

核技术利用建设项目

**核医学工作场所、医用电子加速器、<sup>192</sup>Ir 后装  
机、托姆刀、DSA 装置及 ERCP 装置应用项目**

**环境影响报告表**

青岛山大齐鲁医院

2021 年 11 月

环境保护部监制

核技术利用建设项目

**核医学工作场所、医用电子加速器、<sup>192</sup>Ir 后装  
机、托姆刀、DSA 装置及 ERCP 装置应用项目**

**环境影响报告表**

建设单位名称：青岛山大齐鲁医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：青岛市市北区合肥路 758 号

邮政编码：266000

联系人：张鹏

电子邮箱：466463616@qq.com

联系电话：15953219265

**表 1 项目基本情况**

建设项目名称	核医学工作场所、医用电子加速器、 <sup>192</sup> Ir 后装机、托姆刀、DSA 装置及 ERCP 装置应用项目				
建设单位	青岛山大齐鲁医院				
法人代表	焉传祝	联系人	张鹏	联系电话	15953219265
注册地址	青岛市市北区合肥路 758 号				
项目建设地点	青岛市市北区合肥路 758 号甲，医疗综合楼地下三层、地下二层、地下一层、五层及六层				
立项审批部门	/		批准文号	/	
建设项目总投资 (万元)	35000	项目环保投资 (万元)	15000	投资比例 (环保投资/总投资)	42.86%
项目性质	<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他			占地面积 (m <sup>2</sup> )	约 10000
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I 类 (医疗使用) <input type="checkbox"/> II 类 <input checked="" type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
	非密封放射性物质	<input checked="" type="checkbox"/> 生产	<input checked="" type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
<input checked="" type="checkbox"/> 使用		<input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类			
其他	/				

## 1 项目概述

### 1.1 医院简介

青岛山大齐鲁医院于 2013 年 12 月 26 日正式开诊，医院一期项目占地面积 36 亩，建筑面积 9 万平方米，开放 49 个业务科室，床位 1338 张，拥有员工 1900 余人，医院设备先进，技术实力雄厚。拥有飞利浦 3.0T 全光纤磁共振、西门子光子 CT 机、卡尔蔡司手术显微镜、Brainlab 神经外科手术导航系统等先进设备。建院以来，共开展青岛市级以上各类新技术 190

余项，部分项目填补了山东省空白，脑科中心的“多模态导航下介入栓塞与手术切除联合根治复杂脑动静脉畸形”、耳鼻咽喉头颈外科的“光纤激光喉外科治疗”等多项技术为国内首次开展。

医院二期项目位于一期项目西侧，门牌号为青岛市市北区合肥路 758 号甲（即劲松四路以东、合肥路以北），主要建设 1 座医疗综合楼。2020 年 3 月 30 日，青岛市生态环境局市北分局对“山东大学齐鲁医院（青岛）二期项目环境影响报告书”进行审批（青环北审[2020]3 号），目前二期项目正在建设中。

医院所在地理位置见附图 1，周边影像关系见附图 2。

## 1.2 医院现有工程规模

医院现持有辐射安全许可证（鲁环辐证[02192]），许可种类和范围为使用 II 类、III 类射线装置，乙级非密封放射性物质工作场所，有效期至 2023 年 12 月 6 日。

医院现有 1 处乙级非密封放射性物质工作场所（<sup>125</sup>I 粒子植入）、30 台射线装置，医院现有非密封放射性物质、射线装置分别见表 1-1、表 1-2。

表 1-1 医院现有非密封放射性物质一览表

核素名称	批准的日等效最大操作量 (Bq)	批准的年最大使用量 (Bq)	场所分级	环评批复	验收批复
<sup>125</sup> I	$2.22 \times 10^7$	$2.13 \times 10^{12}$	乙级	登记备案号为 201937020300000033	/

表 1-2 医院现有射线装置一览表

序号	射线装置名称	规格型号	数量 (台)	类别	环评批复	验收批复
1	DSA	Artis Zee	1	II 类	鲁环辐表审[2015]1 号	青环辐验 [2017]10 号
2	DSA	Artis Zee	1	II 类		
3	CT	Brilliance 64	1	III 类		
4	CT	Definition	1	III 类		
5	数字肠胃机	Luminos	1	III 类		
6	数字肠胃机	Luminos	1	III 类		
7	数字钼靶机	Inspiration	1	III 类		
8	移动 DR	XP	1	III 类		
9	移动 DR	XP	1	III 类		

10	移动 C 型臂	ARCACIS	1	III类				
11	移动 C 型臂	ARCACIS	1	III类				
12	移动 C 型臂	Compuat	1	III类				
13	移动 C 型臂	OEC	1	III类				
14	DR	Ysio	1	III类				
15	DR	Ysio	1	III类				
16	DR	Sapuie	1	III类				
17	胃肠机	DFW	1	III类				
18	DR	DRX	1	III类				
19	全景颌面体层 X 光机	Promax	1	III类				
20	牙科 X 光机	Prox	1	III类				
21	DR	DR580i	1	III类			登记备案号为 201737020300000054	/
22	DR	550i	1	III类				
23	移动 C 型臂	cios select sl	1	III类				
24	移动 DR	MoniEye700T	1	III类			登记备案号为 20183702030000987	/
25	移动 C 型臂	ARCADIS Orbic	1	III类				
26	双能 X 射线骨密度仪	DCS-600EXV	1	III类			登记备案号为 202037020300001699	/
27	全身型双能 X 射线骨密度仪	Discovery wl	1	III类				
28	移动式数字化医用 X 射线摄影系统	WG-YD-5	1	III类				
29	上海联影 64 层螺旋 CT	uCT710	1	III类	登记备案号为 202037020300003323	/		
30	CT	uCT510	1	III类				

根据表 1-1、表 1-2 可知，医院现有辐射项目均已开展环境影响评价或环境影响登记备案，其中进行环境影响评价的射线装置均已通过竣工环境保护验收，因此医院现有辐射项目环保手续齐全。

### 1.3 本项目建设规模

根据整体发展规划，医院拟于二期项目医疗综合楼内建设核医学工作场所、医用电子加速器、<sup>192</sup>Ir 后装机、托姆刀、DSA 装置及 ERCP 装置应用项目，该项目涉及的工作场所为放疗科、

核医学科、介入中心、中心手术部及内镜中心。项目建设内容具体如下：

### 1. 放疗科

本项目放疗科拟建于医疗综合楼地下三层西北侧，共涉及四座加速器机房（两座 15MV 加速器机房、两座 10MV 加速器机房）、一座后装机机房及一座托姆刀机房。拟购置 2 台 15MV 医用电子加速器、2 台 10MV 医用电子加速器、1 台后装机（内置 1 枚  $^{192}\text{Ir}$  放射源，填装活度  $3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$ ，根据《关于发布放射源分类办法的公告》（国家环境保护总局公告 2005 年第 62 号）规定，属于 III 类放射源）、1 台 6MV 托姆刀，型号均未定。

### 2. 核医学科（核素使用及 PET 用药物制备）

本项目核医学科拟建于医疗综合楼地下三层东北侧和地下二层东北侧，其中地下三层部分东侧区域为回旋加速器中心，拟购置 1 台 Qilin 型回旋加速器，制备 PET 用药物  $^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$ ，制备的核素通过药物传输管道运送至西侧 PET 区域，同时场所西侧设计有 SPECT 区域，开展核素  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  和  $^{89}\text{Sr}$  的应用。地下二层部分为利用  $^{131}\text{I}$  开展甲功测定、甲亢及甲癌治疗。根据《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办函[2016]430 号），对于放射性药品生产、使用场所，如果有相对独立、明确的监督区和控制区划分，工艺流程连续完整，且有相对独立的辐射防护措施，应当作为一个单独场所进行日等效操作量核算。本项目两个楼层的场所均满足上述条件，因此按照两个场所分别核定场所等级。其中地下三层核医学场所日等效最大操作量为  $4.00 \times 10^8\text{Bq}$ ，地下二层核医学场所日等效最大操作量为  $3.89 \times 10^9\text{Bq}$ ，均属乙级非密封放射性物质工作场所。

### 3. 介入中心、中心手术部及内镜中心

本项目介入中心拟建于医疗综合楼地下一层西侧中部，涉及六座 DSA 机房，拟新增 6 台 DSA，用于开展综合介入、外周介入等手术，最大管电压均为 150kV，最大管电流均为 1250mA，型号未定。

本项目中心手术部拟建于医疗综合楼五层东侧，共涉及两座 DSA 杂交手术室、一座 DSA 复合手术室，拟新增 2 台 DSA 装置安装于 DSA 杂交手术室内；复合手术室内除新增 1 台通用的 DSA 装置外，还使用 1 台 CT 和 MR 开展术前患者成像和术后影像评估等，其中 MR 为核磁共振，非射线装置，为核磁类设备，CT 为 III 类射线装置，医院拟另行开展登记备案，对于 CT 在复合手术室使用过程中需采取的安全防护措施包含在本次评价内容中。中心手术部拟新增的 3 台 DSA 装置最大管电压均为 150kV，最大管电流均为 1250mA，型号未定。

本项目内镜中心拟建于医疗综合楼六层西南侧，涉及两座 ERCP 机房，拟新增 2 台 ERCP 装置，用于开展胆、胰等疾病的介入诊断，最大管电压均为 150kV，最大管电流均为 1250mA，型号未定。

医院拟对核医学工作场所内 SPECT-CT、PET-CT、<sup>68</sup>Ge 校准源和放疗科的 CT 模拟定位机，同复合手术室内的 CT 另行于建设项目环境影响登记表备案系统（山东省）内单独备案，因此本次评价不涉及 V 类放射源、III 类射线装置的评价分析。

经现场勘查，本项目所在医疗综合楼正在进行地基及主体工程的建设，各辐射工作场所辐射防护工程尚未开工建设，设备尚未购置。医疗综合楼地下三层、地下二层涉及的非密封放射性物质分别见表 1-2、表 1-3，本次评价涉及的放射源及射线装置情况详见表 1-4、表 1-5。

表 1-2 地下三层核医学工作场所涉及的非密封放射性物质

场所	核素	每日最大操作量 (Bq)	年最大操作量 (Bq)	操作 方式	日等效最大操作 量 (Bq)	工作场 所分级
核素使用区域	<sup>99m</sup> Tc (淋洗母体)	1.48×10 <sup>10</sup>	3.7×10 <sup>12</sup>	源的贮存	1.48×10 <sup>7</sup>	乙级非密封 放射性物质 工作场所
	<sup>99m</sup> Tc (淋洗子体)	1.48×10 <sup>10</sup>	3.7×10 <sup>12</sup>	简单操作	1.48×10 <sup>8</sup>	
	<sup>99m</sup> Tc (使用)	1.48×10 <sup>10</sup>	3.7×10 <sup>12</sup>	很简单的操作	1.48×10 <sup>7</sup>	
	<sup>89</sup> Sr	1.85×10 <sup>8</sup>	4.625×10 <sup>10</sup>	简单操作	1.85×10 <sup>7</sup>	
	<sup>18</sup> F	7.4×10 <sup>9</sup>	1.85×10 <sup>12</sup>	很简单的操作	7.4×10 <sup>6</sup>	
	<sup>11</sup> C	3.7×10 <sup>8</sup>	1.85×10 <sup>10</sup>	很简单的操作	3.7×10 <sup>6</sup>	
	<sup>13</sup> N	3.7×10 <sup>8</sup>	1.85×10 <sup>10</sup>	很简单的操作	3.7×10 <sup>6</sup>	
回旋加速器中心（核素制备区域）	<sup>18</sup> F	7.4×10 <sup>9</sup>	9.25×10 <sup>11</sup>	简单操作	7.4×10 <sup>7</sup>	
	<sup>11</sup> C	3.7×10 <sup>8</sup>	1.85×10 <sup>10</sup>	简单操作	3.7×10 <sup>7</sup>	
	<sup>13</sup> N	3.7×10 <sup>8</sup>	1.85×10 <sup>10</sup>	简单操作	3.7×10 <sup>7</sup>	
	<sup>15</sup> O	3.7×10 <sup>8</sup>	1.85×10 <sup>10</sup>	简单操作	3.7×10 <sup>7</sup>	
合计	/	/	/	/	4.00×10 <sup>8</sup>	

注：核素使用方案详见 13.1.1 章节。

表 1-3 地下二层核医学工作场所涉及的非密封放射性物质

核素名称		每日最大操作量 (Bq)	年最大操作量 (Bq)	操作 方式	日等效最大操作量 (Bq)	工作场所 分级
<sup>131</sup> I	甲功测定	$3.7 \times 10^6$	$1.85 \times 10^8$	简单 操作	$3.7 \times 10^5$	乙级非密封 放射性物质 工作场所
	甲亢	$1.85 \times 10^9$	$9.25 \times 10^{10}$		$1.85 \times 10^8$	
	甲状腺	$3.7 \times 10^{10}$	$6.29 \times 10^{12}$		$3.7 \times 10^9$	
合计		/	/	/	$3.89 \times 10^9$	

注：核素使用方案详见 13.1.1 章节。

表 1-4 本次评价涉及的放射源

放射源名称	封装活度 (Bq)	数量	类别	意向 厂家	工作场所	备注
<sup>192</sup> Ir	$3.7 \times 10^{11}$	1 枚	III类 放射源	未定	医疗综合楼地下三层放疗 科拟建后装机治疗室内	拟购置

表 1-5 本次评价涉及的射线装置

序号	装置名称	型号	数量	类别	意向 厂家	工作场所		使用 状态
1	15MV 医用电子 加速器	未定	2 台	II类	未定	医疗综合楼地下 三层放疗科	15MV 加速器机 房治疗室	拟购置
2	10MV 医用电子 加速器	未定	2 台	II类	未定		10MV 加速器机 房治疗室	拟购置
3	托姆刀	未定	1 台	II类	未定		托姆刀机房 治疗室	拟购置
4	回旋加速器	Qilin	1 台	II类	GE	医疗综合楼地下 三层核医学科	回旋加速器室	拟配置
5	DSA 装置	未定	6 台	II类	未定	医疗综合楼地下 一层介入中心	DSA 机房 介入室	拟购置
6	DSA 装置	未定	2 台	II类	未定	医疗综合楼五层 中心手术部	杂交手术室	拟购置
7	DSA 装置	未定	1 台	II类	未定		复合手术室	拟购置
8	ERCP 装置	未定	2 台	II类	未定	医疗综合楼六层 内镜中心	ERCP 机房 ERCP 室	拟购置

本次评价涉及 4 台医用电子加速器、1 台托姆刀、1 台 <sup>192</sup>Ir 后装机（内置 1 枚 <sup>192</sup>Ir 放射源，封装活度为  $3.7 \times 10^{11}$ Bq）、1 台回旋加速器、9 台 DSA 装置、2 台 ERCP 装置及 2 处乙级非密



封放射性物质工作场所，核技术利用类型为使用 II 类射线装置；使用 III 类放射源；使用乙级非密封放射性物质工作场所。

### 1.3 产业政策符合性分析

医院二期项目为《产业结构调整指导目录（2019 年本）》国家发展和改革委员会令 29 号）中的鼓励类项目“三十七 卫生健康、5、医疗卫生服务设施建设”，本项目属服务于医院主体建设项目的辅助项目，因此本项目符合国家当前产业政策。

### 1.4 选址合理性分析

根据青岛市市北区浮山新区片区控制性详细规划图（见附图 3），医院二期项目建设区域土地利用类型为医疗卫生用地，本项目建设地点位于二期项目内部，不涉及新增用地，因此用地符合相关规划要求。

根据医院提供的图纸及现场勘查，本项目放疗科位于医疗综合楼地下三层西北侧，位于该建筑物底层的一端，相对独立，周围无儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区，周围无关人员居留较少；两处核医学工作场所分别位于医疗综合楼地下三层东北侧和地下二层东北侧，其中地下三层除放疗科及核医学科以外其他区域主要为地下停车场及人防医院（战时启用，日常呈关闭状态，无人进入），地下二层除核医学科以外其他区域主要为地下停车场，该两层均无人长期居留，且核医学科不邻接产科、儿科及食堂等部门，周围无关人员相对流动较少，场所独立，与周围区域以实体墙体进行物理隔离，并有单独的人员、物流通道，核医学科最终排风口远离周围高层建筑；介入中心六座 DSA 机房、中心手术部三座 DSA 手术室、内镜中心两座 ERCP 机房均相对集中分布，便于日常辐射管理，且各机房周围无关人员相对较少。经现场勘查，本项目评价范围内存在 1 处医院内后勤保障楼、1 处门诊病房楼及 3 处临时施工板房，均为医院内建筑物，其中施工板房拟于本项目投运前拆除，各场所周围评价范围内无居民区、学校等环境保护目标，因此本项目选址合理可行。

### 1.5 实践正当性分析

本项目地下三层核医学工作场所利用回旋加速器制备 PET 用放射性药品  $^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$ ，并利用核素  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$  进行临床显像诊断，利用核素  $^{89}\text{Sr}$  进行转移性骨肿瘤等疾病治疗；地下二层核医学工作场所利用核素  $^{131}\text{I}$  进行甲功测定、甲亢及甲癌患者治疗；医用电子加速器及托姆刀主要用于开展全身肿瘤的放射治疗， $^{192}\text{Ir}$  后装机主要用于开展宫颈肿瘤的放射治

疗；DSA 装置用于医学诊断，主要进行脑血管、综合介入、外周介入手术及心脏复合杂交手术等；ERCP 装置主要用于对胆、胰疾病的介入诊断。本项目有利于提高医院的放射诊疗水平，具有良好的社会效益和经济效益，在采取相应辐射安全防护措施的情况下，运行过程中产生的辐射影响可以满足国家有关要求，带来的社会、经济效益足以弥补其可能引起的辐射危害，因此本项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践正当性”的要求。

## 1.6 目的和任务的由来

本项目在运行过程中可能对环境产生一定的辐射影响。为保护环境，保障公众的环境权益，根据《中华人民共和国放射性污染防治法》、《中华人民共和国环境影响评价法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规对伴有辐射建设项目环境管理的规定，青岛山大齐鲁医院委托我单位对其核医学工作场所、医用电子加速器、<sup>192</sup>Ir 后装机、托姆刀、DSA 装置及 ERCP 装置应用项目进行环境影响评价。在收集资料、现场调查、辐射环境现状检测以及理论分析等基础上，我单位于 2021 年 11 月编制完成了《青岛山大齐鲁医院核医学工作场所、医用电子加速器、<sup>192</sup>Ir 后装机、托姆刀、DSA 装置及 ERCP 装置应用项目环境影响报告表》。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) /活度 (Bq) ×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	<sup>192</sup> Ir	3.7×10 <sup>11</sup> Bq×1 枚	III类放射源	使用	放射治疗	医疗综合楼地下三层拟建后装机治疗室内	后装机贮源器内	拟购

注：放射源包括放射性中子源，对其要说明是何核素以及产生的中子流强度 (n/s)。

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
1	<sup>99m</sup> Tc (淋洗母体)	液体，中毒组，半衰期 2.75 天	贮存	1.48×10 <sup>10</sup>	1.48×10 <sup>7</sup>	3.7×10 <sup>12</sup>	放射诊断	源的贮存	医疗综合楼地下三层核医学工作场所	于核医学工作场所 SPECT 区域质控室手套箱内贮存
2	<sup>99m</sup> Tc	液态，半衰期 6.02h，毒性分组为低毒组， <sup>99m</sup> Tc 为 <sup>99</sup> Tc 的同核异能素，IT% ≈100%，发生 IT 跃迁（同质异能跃迁）时释放 γ 射线	使用	1.48×10 <sup>10</sup>	1.48×10 <sup>8</sup>	3.7×10 <sup>12</sup>	放射诊断	简单操作		
			使用	1.48×10 <sup>10</sup>	1.48×10 <sup>7</sup>	3.7×10 <sup>12</sup>	放射诊断	很简单的操作		
3	<sup>89</sup> Sr	液态，半衰期 50.5d，毒性分组为中毒组， <sup>89</sup> Sr 发射纯 β 射线，在组织内的辐射距离约 2.4mm	使用	1.85×10 <sup>8</sup>	1.85×10 <sup>7</sup>	4.625×10 <sup>10</sup>	放射治疗	简单操作		
4	<sup>18</sup> F	液态，半衰期 109.8min，毒性分组为低毒组，其衰变类型为 β <sup>+</sup> 衰变	生产	7.4×10 <sup>9</sup>	7.4×10 <sup>7</sup>	1.85×10 <sup>12</sup>	放射	很简单的操作		
			使用	7.4×10 <sup>9</sup>	7.4×10 <sup>6</sup>	1.85×10 <sup>12</sup>	诊断	简单操作		
5	<sup>11</sup> C	液态，半衰期为 20.4min，毒性分组	生产	3.7×10 <sup>8</sup>	3.7×10 <sup>7</sup>	1.85×10 <sup>10</sup>	放射	简单操作		回旋加速器中心生产，在 PET 区域

		为低毒组，其衰变类型为 $\beta$ +衰变	使用	$3.7 \times 10^8$	$3.7 \times 10^6$	$1.85 \times 10^{10}$	诊断			质控室药物储存柜中贮存
6	$^{13}\text{N}$	液态，物理半衰期为10min，毒性分组为低毒组，其衰变类型为 $\beta$ +衰变	生产	$3.7 \times 10^8$	$3.7 \times 10^7$	$1.85 \times 10^{10}$	放射诊断	简单操作		
			使用	$3.7 \times 10^8$	$3.7 \times 10^6$	$1.85 \times 10^{10}$				
7	$^{15}\text{O}$	液态，物理半衰期为2.1min，毒性分组为低毒组，其衰变类型为 $\beta$ +衰变	生产	$3.7 \times 10^8$	$3.7 \times 10^7$	$1.85 \times 10^{10}$	放射诊断	简单操作		
			使用	$3.7 \times 10^8$	$3.7 \times 10^6$	$1.85 \times 10^{10}$				
8	$^{131}\text{I}$	液态，半衰期8.04d，毒性分组为中毒组， $^{131}\text{I}$ 衰变类型为 $\beta$ 衰变	使用	$3.89 \times 10^{10}$	$3.89 \times 10^9$	$6.38 \times 10^{12}$	放射治疗	简单操作	医疗综合楼地下二层核医学工作场所	于核医学工作场所质控室手套箱内贮存

## 表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) /剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	医用电子 加速器	II类	2台	未定	电子	X射线: 15MV 电子线: 18MeV	1440Gy/h	放射治疗	医疗综合楼地下三 层放疗科拟建 15MV 加速器治疗室	拟购
2	医用电子 加速器	II类	2台	未定	电子	X射线: 10MV 电子线: 15MeV	1440Gy/h	放射治疗	医疗综合楼地下三 层放疗科拟建 10MV 加速器治疗室	拟购
3	托姆刀	II类	1台	未定	电子	X射线: 6MV 电子线: 6MeV	510Gy/h	放射治疗	医疗综合楼地下三 层放疗科拟建托姆 刀治疗室	拟购
4	回旋加速 器	II类	1台	Qilin	质子	9.6MeV	/	核素制备	医疗综合楼地下三 层核医学科拟建回 旋加速器室	拟购

(二) X射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	DSA 装置	II类	6台	未定	150	1250	放射诊断	医疗综合楼地下一层介入科 DSA 机房	拟购
2	DSA 装置	II类	2台	未定	150	1250	放射诊断	医疗综合楼五层中心手术部杂交手术室	
3	DSA 装置	II类	1台	未定	150	1250	放射诊断	医疗综合楼五层中心手术部复合手术室	拟购
4	ERCP 装置	II类	2台	未定	150	1250	放射诊断	医疗综合楼六层内镜中心 ERCP 机房	拟购

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
放射性废水	液态	$^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	/	$\approx 0$	$\approx 0$	$\approx 0$	衰变池	暂存时间不小于 30 天，并衰变至低于 GB18871-2002 规定限值后进入医院污水处理站进一步处理后外排
		$^{131}\text{I}$	/	0.27Bq	0.54Bq	$1.11 \times 10^{-6}\text{Bq/L}$	衰变池	暂存时间不小于 180 天，并衰变至低于 GB18871-2002 规定限值后进入医院污水处理站进一步处理后外排
放射性固废	固态	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	/	/	/	/	衰变箱	暂存时间不小于 30 天，并检测达标后作一般医疗废物处理
		$^{89}\text{Sr}$	/	/	/	/	衰变箱	暂存时间不小于 10 个半衰期，并检测达标后作一般医疗废物处理
		$^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$	/	/	/	/	衰变箱/靶防护储存衰变槽	暂存时间不小于 30 天，并检测达标后作一般医疗废物处理
		$^{131}\text{I}$	/	/	/	/	衰变箱	暂存时间不小于 180 天，并检测达标后作一般医疗废物处理
废活性炭	固态	$^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{89}\text{Sr}$ 、 $^{131}\text{I}$	/	/	/	/	地下二层衰变箱	暂存时间不小于 1 年半，并检测达标后作一般医疗废物处理
剩余放射性药物	液态		/	/	/	/	储存于铅罐内，放置于储源间内	供货厂家回收
放射性废气	气态	主要为 $^{131}\text{I}$	/	/	/	$2.13\text{Bq/m}^3$	/	通过通风系统排至大楼顶部外部环境
废靶件、准直器及束流阻止	固态	/	/	/	/	/	不暂存	属于放射性废物，直接交由具有放射性废物处置资

器等部件 (回旋加速器、医用电子加速器)								质的单位进行处置
非放射性废气 (加速器、后装机及托姆刀)	气态	/	/	/	/	/	/	通过机房通风系统排至大楼外部环境
感生放射性废气 (15MV 加速器)	气态	/	/	/	/			通过机房通风系统排至大楼外部环境
放射性废水 (加速器、托姆刀)	液态	<sup>15</sup> O、 <sup>16</sup> N	/	/	/	/	/	放置 30 天以上, 满足 GBZ18871-2002 规定的一次排放限值后, 按照医院一般废水排入医院污水处理站处理
报废或退役的 <sup>192</sup> Ir 放射源	固态	<sup>192</sup> Ir	/	/	/	/	/	由供源厂家于机房内直接换源回收, 并负责运输
注: 1. 常规废弃物排放浓度, 对于液态单位为 mg/L, 固体为 mg/kg, 气态为 mg/m <sup>3</sup> ; 年排放总量用 kg。 2. 含有放射性的废物要注明, 其排放浓度、年排放总量分别用比活度 (Bq/L 或 Bq/kg 或 Bq/m <sup>3</sup> ) 和活度 (Bq)								

**表 6 评价依据**

法规 文件	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 《中华人民共和国环境保护法》，中华人民共和国主席令第 9 号，2015.1 施行；</li> <li>2. 《中华人民共和国环境影响评价法（2018 年修订）》，中华人民共和国主席令第 24 号，2018.12 施行；</li> <li>3. 《中华人民共和国放射性污染防治法》，中华人民共和国主席令第 6 号；2003.10 施行；</li> <li>4. 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，中华人民共和国主席令第 43 号公布，2020.4 修订，2020.9 施行；</li> <li>5. 《建设项目环境保护管理条例（2017 修订）》，国务院令第 682 号，2017.10 施行；</li> <li>6. 《建设项目环境影响评价分类管理名录》，生态环境部令第 16 号公布，2021.1 施行；</li> <li>7. 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令第 449 号，2005.12 施行，2014.7 第一次修订，2019.3 第二次修订并施行；</li> <li>8. 《关于发布〈射线装置分类〉的公告》，环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告，2017 年第 66 号，2017.12 施行；</li> <li>9. 《关于发布放射源分类办法的公告》，国家环境保护总局公告 2005 年第 62 号，2005.12 施行；</li> <li>10. 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，国家环境保护总局令第 31 号，2006.3 施行，2021.1 第四次修订并施行；</li> <li>11. 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》环境保护部令第 18 号，2011.5 施行；</li> <li>12. 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》，国家环保总局环发[2006]145 号，2006.9 施行；</li> <li>13. 《关于发布〈放射性废物分类〉的公告》，环境保护部、工业和信息化部、国家国防科技工业局公告 2017 年第 65 号，2018.1 施行；</li> <li>14. 《山东省辐射污染防治条例》，山东省人民代表大会常务委员会公告第 37 号，2014.5 施行；</li> </ol>
----------	---



	15. 《山东省环境保护条例》，山东省第十三届人大常委会第七次会议，2018 年 11 月 30 日修订，2019.1 施行。
技术标准	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1-2016);</li> <li>2. 《环境 <math>\gamma</math> 辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021);</li> <li>3. 《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021);</li> <li>4. 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002);</li> <li>5. 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019);</li> <li>6. 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》(GBZ/T201.1-2007);</li> <li>7. 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T201.2-2011);</li> <li>8. 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分：<math>\gamma</math> 射线源放射治疗机房》(GBZ/T201.3-2014);</li> <li>9. 《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021);</li> <li>10. 《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020);</li> <li>11. 《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021);</li> <li>12. 《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020);</li> <li>13. 《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)</li> <li>14. 《放射性废物管理规定》(GB14500-2002);</li> <li>15. 《山东省医疗机构污染物排放控制标准》(DB37/596-2020)。</li> </ol>
其他	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 青岛山大齐鲁医院核医学工作场所、医用电子加速器、<math>^{192}\text{Ir}</math> 后装机、托姆刀、DSA 装置及 ERCP 装置应用项目环境影响评价委托书;</li> <li>2. 青岛山大齐鲁医院提供的辐射安全许可证、防护设计图纸及其他文件;</li> <li>3. 《山东省环境天然放射性水平调查研究报告》(山东省环境监测中心站, 1989 年);</li> <li>4. 《南水北调东线山东段沿线土壤的放射性水平》(邓大平、许家昂等, 中国辐射卫生 2006 年 12 月第 15 卷第 4 期)。</li> </ol>

## 表 7 保护目标与评价标准

### 7.1 评价范围

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》(HJ 10.1-2016) 规定要求：“放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目的评价范围，甲级取半径 500m 的范围，乙、丙级取半径 50m 的范围。放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围”。

本项目核技术利用类型为使用 II 类射线装置，使用 III 类放射源，使用乙级非密封放射性物质工作场所，因此本次评价范围为各加速器治疗室、后装机治疗室、托姆刀治疗室外 50m 的范围；各 DSA 介入室及手术室、ERCP 室外 50m 的范围；两处乙级核医学工作场所外 50m 的范围。

### 7.2 保护目标

本项目保护目标为评价范围内活动的职业人员和公众成员。其中，职业人员指利用本项目相关设备及放射性药物开展放射诊疗工作的辐射工作人员，公众成员为评价范围内的非本项目医护人员、其他就诊患者、慰问者以及偶然经过的其他公众成员。

表 7-1 本项目主要保护目标情况

保护目标	人数	区域	方位、距离	环境特征
职业人员	91	各工作场所内的辐射工作人员	——	——
公众成员	约 200	医院内后勤保障楼	东侧约 15m	5 层（局部 6 层、局部 2 层）建筑，砖混结构，高约 15m（局部 18m、7m）
	约 500	医院内门诊病房楼	东侧约 20m	20 层（局部 5 层）建筑，砖混结构，高约 60m（局部 18m）
	约 800	各场所周围经过的非本项目医护人员、其他就诊患者、慰问者及偶然经过的其他公众成员	各工作场所周围 0~50m 范围内	——

注：临时施工板房拟在本项目投运前拆除，因此不再考虑临时施工板房内的公众成员。

### 7.3 评价标准

#### 一、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002) 附录 B 规定：

## 1. 人员照射剂量限值

### (1) 职业照射

- a) 由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv；
- b) 任何一年中的有效剂量，50mSv；
- c) 眼晶体的年当量剂量，150mSv；
- d) 四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv。

### (2) 公众照射

#### ①公众照射剂量限值

- a) 年有效剂量，1mSv；
- b) 特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv。

c) 眼晶体的年当量剂量，15mSv；

d) 皮肤的年当量剂量，50mSv。

#### ②慰问者的剂量限值

对患者的慰问者（并非自身职责、明知会受到照射却自愿帮助护理、支持和探视、慰问正在接受医学诊断或治疗的患者的人员）所受到的照射加以约束，使他们在患者诊断和治疗期间所受到的剂量不超过 5mSv。

## 2. 表面污染控制水平

职业人员体表、内衣、工作服以及工作场所的设备和地面等表面放射性污染的控制应遵循 GB18871-2002 附录 B 中表 B11 所规定的限制要求。

工作场所的表面污染控制水平如表 7-2 所列。

表 7-2 工作场所的放射性表面污染控制水平（Bq/cm<sup>2</sup>）

表面类型		α 放射性物质		β 放射性物质
		极毒性	其他	
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 <sup>1)</sup>	4	4×10 <sup>1</sup>	4×10 <sup>1</sup>
	监督区	4×10 <sup>-1</sup>	4	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	4×10 <sup>-1</sup>	4×10 <sup>-1</sup>	4

	监督区		
手、皮肤、内衣、工作袜	$4 \times 10^{-2}$	$4 \times 10^{-2}$	$4 \times 10^{-1}$
注：1) 该区内的高污染子区除外。			

B2.2 款“工作场所中的某些设备与用品，经去污使其污染水平降低至表 7-2 中所列设备类的控制水平的五分之一以下时，经审管部门或审管部门授权的部门确认同意后，可当作普通物品使用。”

### 3. 非密封源工作场所分级

根据GB18871-2002 附录C中对非密封源工作场所分级原则及计算方法规定如下：

#### ①非密封源工作场所分级原则

表 7-3 非密封源工作场所的分级

级别	日等效最大操作量/Bq
甲	$>4 \times 10^9$
乙	$2 \times 10^7 \sim 4 \times 10^9$
丙	豁免活度值以上 $\sim 2 \times 10^7$

#### ②放射性核素的日等效操作量的计算

$$D_{\text{日等效}} = \frac{\sum (D_{\text{实际}} \times \text{修正因子})}{\text{修正因子}} \quad (7-1)$$

放射性核素的日等效操作量等于放射性核素的实际日操作量（Bq）与该核素毒性组别修正因子的积除以与操作方式的修正因子所得的商。

### 4. 放射性物质向环境排放的控制

根据GB18871-2002 中 8.6.2 条款规定：不得将放射性废液排入普通下水道，除非经审管部门确认是满足下列条件的低放废液，方可直接排入流量大于 10 倍排放注量的普通下水道，并应对每次排放作好记录：

a) 每月排放的总活度不超过 10 ALI<sub>min</sub> (ALI<sub>min</sub>是相应于职业照射的食入和吸入ALI值中的较小者，其具体数值可按B1.3.4 和B1.3.5 条的规定获得)；

b) 每一次排放的活度不超过 1 ALI<sub>min</sub>，并且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗。根据B1.3.4 和B1.3.5 条规定，对于职业照射，在一定的假设下可将 $I_{j, L}$ 用作ALI。由相应的单位摄入量的待积有效剂量的值得到放射性核素j的年摄入量限值 $I_{j, L}$ 计算公式：

(7-2)

其中：DL—相应的有效剂量的年剂量限值，本次取 5mSv/a；

$e_j$ —GB18871-2002 给出的放射性核素j的单位摄入量所致的待积有效剂量的相应值。

本项目涉及放射性废水排放的放射性核素排放导出限值见表 7-4。

表 7-4 放射性核素排放导出限值

放射性核素	职业照射待积有效剂量 (Sv/Bq)		ALImin 一次排放限值 (Bq)	10ALImin 月排放限值 (Bq)
	吸入 $e(g)_{j,ing}$	转移因子 $f_1$		
$^{99m}Tc$	$2.9 \times 10^{-11}$	0.800	$1.38 \times 10^8$	$1.38 \times 10^9$
$^{131}I$	$1.1 \times 10^{-8}$	1.000	$4.55 \times 10^5$	$4.55 \times 10^6$
$^{18}F$	$9.3 \times 10^{-11}$	1.000	$5.38 \times 10^7$	$5.38 \times 10^8$

## 二、《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)

### 4.2 辐射工作场所分级

应按照 GB18871 的规定，将辐射工作场所的规定，将辐射工作场所按放射性核素日等效最大操量的大小分为甲级、乙级和丙级。核医学常用放射性核素的毒性与操作方式修正因子可参考附录 A。

表 7-5 核医学常用放射性核素毒性组别修正因子

毒性组别	常用核素名称	毒性组别修正因子
高毒	$^{90}Sr$	1
中毒	$^{22}Na$ 、 $^{32}P$ 、 $^{63}Ni$ 、 $^{67}Ga$ 、 $^{89}Sr$ 、 $^{90}Y$ 、 $^{99}Mo$ 、 $^{111}In$ 、 $^{125}I$ 、 $^{131}I$ 、 $^{153}Sm$	0.1
低毒	$^{13}H$ 、 $^{11}C$ 、 $^{11}CO$ 、 $^{11}CO_2$ 、 $^{14}CO$ 、 $^{14}CO_2$ 、 $^{18}F$ 、 $^{51}Cr$ 、 $^{99m}Tc$ 、 $^{111m}In$ 、 $^{123}I$ 、 $^{127}Xe$ 、 $^{133}Xe$ 、 $^{201}Tl$	0.01

表 7-6 核医学常见放射性核素状态与操作方式修正因子

活动类型	核素及状态	操作方式界定	操作方式修正因子
发生器淋洗	母体 (状态)	贮存	100
	字体 (状态)	简单操作	1
医疗机构使用	$^{18}F$ 、 $^{99m}Tc$	很简单操作	10
	$^{125}I$ 籽源 (固态)	很简单操作	100

放射性药品生产	分装、标记（液态）	简单操作	1
	分装、标记（固态）	简单操作	10
核素治疗	<sup>131</sup> I（液态）	简单操作	1

### 4.3 辐射工作场所分区

4.3.1 应按照 GB 18871 的要求将核医学工作场所划分出控制区和监督区，并进行相应的管理。

4.3.2 核医学工作场所的控制区主要包括回旋加速器机房、放射性药物合成和分装室、放射性药物贮存室、给药室、给药后候诊室、扫描室、核素治疗病房、给药后患者的专用卫生间、放射性废物暂存库、衰变池等区域。

4.3.3 核医学工作场所的监督区主要包括回旋加速器和显像设备控制室、卫生通过间以及与控制室相连的其他场所或区域。

4.3.4 控制区的入口应设置规范的电离辐射警告标志及标明控制区的标志，监督区入口处应设置标明监督区的标志。

### 4.4 剂量限值与剂量约束值

#### 4.4.1 剂量限值

核医学工作人员职业照射剂量限值应符合 GB 18871 附录 B 中 B1.1 的相关规定，核医学实践使公众成员所受到的剂量照射限值应符合 GB 18871 附录 B 中 B1.2 的相关规定。

#### 4.4.2 剂量约束值

4.4.2.1 一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过 5mSv/a；

4.4.2.2 公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

#### 4.4.3 放射性表面污染控制水平

核医学工作场所的放射性表面污染控制水平按照 GB 18871 执行。

### 第 4.5 款服药患者出院要求

4.5.2 接受碘-131 治疗的患者，应在其体内的放射性活度降至 400MBq 以下或距离患者体表 1 米处的周围剂量当量率不大于 25 μSv/h 方可出院。

## 5 选址和布局

### 5.1 选址

5.1.1 核医学工作场所宜建在医疗机构内单独的建筑物内，或集中于无人长期居留的建

筑物的一端或底层，设置相应的物理隔离和单独的人员、物流通道。

5.1.2 核医学工作场所不宜毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，并应与非放射性有明显的分界隔离。

5.1.3 核医学工作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑。

## 5.2 布局

5.2.1 核医学工作场所应合理布局，住院治疗场所和门诊诊断场所应相对分开布置；同一工作场所内应根据诊疗流程合理设计各功能区域的布局，控制区应相对集中，高活室集中在一端，防止交叉污染。尽量减小放射性药物、放射性废物的存放范围，限制给药后患者的活动空间。

5.2.2 核医学工作场所应设立相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。工作人员通道和患者通道分开，减少给药后患者对其他人员的照射。注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉，人员与放射性药物通道不交叉，放射性药物和放射性废物运送通道应尽可能短捷。

5.2.3 核医学工作场所宜采取合适的措施，控制无关人员随意进入控制区和给药后患者的随意流动，避免工作人员和公众受到不必要的照射。控制区的出入口应设立卫生缓冲区，为工作人员和患者提供必要的可更换衣物、防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备。控制区内应设有给药后患者的专用卫生间。

## 6 工作场所的辐射安全与防护

### 6.1 屏蔽要求

6.1.1 核医学场所屏蔽层设计应适当保守，按照可能使用的最大放射性活度、最长时间和最短距离进行计算。

6.1.2 设计核医学工作场所墙壁、地板及顶面的屏蔽层时，除应考虑室内的辐射源外，还要考虑相邻区域存在的辐射源影响以及散射辐射带来的照射。

6.1.3 回旋加速器机房的建造应避免采用富含铁矿物质的混凝土，避免混凝土中采用重晶石或铁作为骨料；不带自屏蔽的回旋加速器应有单独的设备间，机房选择不易中子活化的混凝土材料。

6.1.4 回旋加速器机房的电缆管沟、通风管道等穿过屏蔽体时，应采用地沟或S型、V型、Z型穿过墙壁，并进行屏蔽补偿，确保满足屏蔽体墙外的防护要求。防护门与墙体连接处

应进行有效搭接，避免出现防护薄弱环节。

6.1.5 距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面30cm处的周围剂量当量率应小于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于 $10 \mu\text{Sv/h}$ 。

6.1.6 放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备应设有屏蔽结构，以保证设备外表面30cm处人员操作位的周围剂量当量率小于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ，放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 $25 \mu\text{Sv/h}$ 。

6.1.7 固体放射性废物收集桶、曝露于地面致使人员可以接近的放射性废液收集罐体和管道应增加相应屏蔽措施，以保证其外表面30cm处的周围剂量当量率小于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

6.1.8 放射性物质贮存在专门场所内，并应有适当屏蔽。

## 6.2 场所安全措施要求

6.2.1 核医学工作场所的放射性核素操作设备的表面、工作台台面等平整光滑，室内地面与墙壁衔接处应无接缝，易于清洗、去污。

6.2.2 操作放射性药物场所级别达到乙级应在手套箱中进行，丙级可在通风橱内进行。应为从事放射性药物操作的工作人员配备必要的防护用品。放射性药物给药器应有适当的屏蔽，给药后患者候诊室内、核素治疗病房的床位旁应设有铅屏风等屏蔽体，以减少对其他患者和医护人员的照射。

6.2.3 操作放射性药物的控制区出口应配有表面污染监测仪器，从控制区离开的人员和物品均应进行表面污染监测，如表面污染水平超出控制标准，应采取相应的去污措施。

6.2.4 放射性物质应贮存在专门场所的贮存容器或保险箱内，定期进行辐射水平监测，无关人员不应入内。贮存的放射性物质应建立台账，及时登记，确保账物相符。

6.2.5 应为核医学工作场所内部放射性物质运送配备有足够屏蔽的贮存、转运等容器，容器表面应张贴电离辐射标志，容器在运送时应有适当的固定措施。

6.2.8 回旋加速器机房应设置门机联锁装置和延时开门措施，机房内应设置紧急停机开关、紧急开门按钮及清场措施，并安装固定式剂量率报警仪。机房门口应有声光报警装置和工作状态指示灯，并与加速器联锁。

6.2.9 扫描机房外门框上方应设置工作状态指示灯。

## 6.3 密闭和通风要求



6.3.1 核医学工作场所应保持有良好的通风，工作场所的气流流向应遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计，保持工作场所的负压和各区之间的压差，以防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。

6.3.2 使用回旋加速器制备放射性药物的工作场所应设有单独的通风系统，加速器自屏蔽区内应有单独排气管道，并相对加速器室呈负压状态。

6.3.3 碘-131治疗病房应设有单独的通风系统，病房的门窗应有封闭措施，保持治疗区域内的负压，治疗区域内的空气应经单独的排气管道有组织排放。

6.3.4 放射性物质的合成、分装以及挥发性放射性核素的操作应在手套箱、通风橱等密闭设备中进行，防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出。手套箱、通风橱等密闭设备应设计单独的排风系统，并在密闭设备的顶壁安装活性炭或其他过滤装置。

6.3.5 通风橱应有足够的通风能力。制备放射性药物的回旋加速器工作区域、碘-131治疗病房以及设有通风橱、手套箱等场所的通风系统排气口应高于本建筑物屋顶，尽可能远离邻近的高层建筑。

### 7.2.3 固体放射性废物处理

7.2.3.1 固体放射性废物暂存时间满足下列要求的，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， $\alpha$ 表面污染小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 $\beta$ 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理：

- a) 所含核素半衰期小于24小时的放射性固体废物暂存时间超过30天；
- b) 所含核素半衰期大于24小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的10倍；
- c) 含碘-131核素的放射性固体废物暂存超过180天。

7.2.3.2 不能解控的放射性固体废物应该按照放射性废物处理的相关规定予以收集、整备，并送交有资质的单位处理。放射性废物包装体外的表面剂量率应不超过 $0.1\text{mSv}/\text{h}$ ，表面污染水平对 $\beta$ 和 $\gamma$ 发射体以及低毒性 $\alpha$ 发射体应小于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、其他 $\alpha$ 发射体应小于 $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。

### 7.3.3 放射性废液排放

7.3.3.1 对于槽式衰变池贮存方式：

- a) 所含核素半衰期小于24小时的放射性废液暂存时间超过30天后可直接解控排放；
- b) 所含核素半衰期大于24小时的放射性废液暂存时间超过10倍最长半衰期（含碘-131核

素的暂存超过180天），监测结果经审管部门认可后，按照GB 18871中8.6.2规定方式进行排放。放射性废液总排放口总 $\alpha$ 不大于1Bq/L、总 $\beta$ 不大于10 Bq/L、碘-131的放射性活度浓度不大于10Bq/L。

#### 7.4 气态放射性废物的管理

7.4.1 产生气态放射性废物的核医学场所应设置独立的通风系统，合理组织工作场所的气流，对排出工作场所的气体进行过滤净化，避免污染工作场所和环境。

7.4.2 应定期检查通风系统过滤净化器的有效性，及时更换失效的过滤器，更换周期不能超过厂家推荐的使用时间。更换下来的过滤器按放射性固体废物进行收集、处理。

### 三、参考《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）

#### 6.1.1 个人防护用品及去污用品

开展核医学工作的医疗机构应根据工作内容，为工作人员配备合适的防护用品和去污用品（见附录 K，即本报告中表 7-7），其数量应满足开展工作需要。对陪检者应至少配备铅橡胶防护衣。当使用的 $^{99}\text{Tc}^m$ 活度大于 800MBq 时，防护用品的铅当量应不小于 0.5mmPb，个人防护用品及去污用品具体配置见附录 K；对操作 $^{68}\text{Ga}$ 、 $^{18}\text{F}$ 等正电子放射性药物和 $^{131}\text{I}$ 的场所，此时应考虑其他的防护措施，如：穿戴放射性污染防护服、熟练操作技能、缩短工作时间、使用注射器防护套和先留置注射器留置针等措施。

表 7-7 个人防护用品

场所类型	工作人员		患者或受检者
	必备	选备	
普通核医学和 SPECT 场所	铅橡胶衣、铅橡胶围裙和放射性污染防护服、铅橡胶围脖	铅橡胶帽、铅玻璃眼镜	—
正电子放射性药物和 $^{131}\text{I}$ 的场所	放射性污染防护服	—	—

### 四、《山东省医疗机构污染物排放控制标准》（DB37/596-2020）

标准表 1 中医疗机构放射性衰变池出口水污染物总 $\beta$ 排放限值为 10Bq/L。

### 五、《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）

#### 第 6.1 款 剂量评价一般原则

第 6.1.1 款 对职业照射用年有效剂量评价，应符合 GB18871-2002 的 B1.1 的规定。

第 6.1.3 款 对职业照射受照剂量大于调查水平时，除记录个人监测的剂量结果外，还应作进一步调查，本标准建议的年调查水平为有效剂量 5.0mSv/a。

## 六、《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)

4.8 辐射工作人员和公众成员的辐射照射应符合GB 18871-2002中剂量限值相关规定。

4.9 从事放射治疗的工作人员职业照射和公众照射的剂量约束值应符合以下要求：

- a) 一般情况下，从事放射治疗的工作人员职业照射的剂量约束值为5mSv/a。
- b) 公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

### 5.1 选址与布局

5.1.1 放射治疗场所的选址应充分考虑其对周边环境的辐射影响，不得设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。

5.1.2 放射治疗场所宜单独选址、集中建设，或设置在多层建筑物的底层的一端，尽量避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域。

### 5.2 分区原则

5.2.1 放射治疗场所应划分控制区和监督区。一般情况下，控制区包括加速器大厅、治疗室（含迷路）等场所，如质子/重离子加速器大厅、束流输运通道和治疗室，直线加速器机房、含源装置的治疗室、放射性废物暂存区域等。开展术中放射治疗时，术中放射治疗室应确定为临时控制区。

5.2.2 与控制区相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域划定为监督区（如直线加速器治疗室相邻的控制室及与机房相邻区域等）。

### 6.1 屏蔽要求

6.1.1 放射治疗室屏蔽设计应按照额定最大能量、最大剂量率、最大工作负荷、最大照射野等条件和参数进行计算，同时应充分考虑所有初、次级辐射对治疗室邻近场所中驻留人员的照射。

6.1.2 放射治疗室屏蔽材料的选择应考虑其结构性能、防护性能，符合最优化要求。使用中子源放射治疗设备、质子/重离子加速器或大于10 MV的X射线放射治疗设备，须考虑中子屏蔽。

6.1.3 管线穿越屏蔽体时应采取不影响其屏蔽效果的方式，并进行屏蔽补偿。应充分考

虑防护门与墙的搭接，确保满足屏蔽体外的辐射防护要求。

#### 6.1.4 剂量控制应符合以下要求：

a) 治疗室墙和入口门外表面30cm处、邻近治疗室的关注点、治疗室房顶外的地面附近和楼层及在治疗室上方已建、拟建二层建筑物或在治疗室旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点治疗室房顶内表面边缘所张立体角区域时，距治疗室顶外表面30cm处和在该立体角区域内的高层建筑人员驻留处的周围剂量当量率应同时满足下列1)和2)所确定的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ ：

1) 使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子（可依照附录A选取），由以下周剂量参考控制水平（ $\dot{H}_c$ ）求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c, d(\mu\text{Sv/h})$ ：

机房外辐射工作人员： $\dot{H}_c \leq 100 \mu\text{Sv/周}$ ；

机房外非辐射工作人员： $\dot{H}_c \leq 5 \mu\text{Sv/周}$ 。

2) 按照关注点人员居留因子的不同，分别确定关注点的最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c, max(\mu\text{Sv/h})$ ：

人员居留因子 $T > 1/2$ 的场所： $\dot{H}_c, max \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$ ；

人员居留因子 $T \leq 1/2$ 的场所： $\dot{H}_c, max \leq 10 \mu\text{Sv/h}$ 。

b) 穿出机房顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射，以年剂量 $250 \mu\text{Sv}$ 加以控制。

c) 对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶，机房顶外表面30cm处的剂量率参考控制水平可按 $100 \mu\text{Sv/h}$ 加以控制（可在相应位置处设置辐射告示牌）。

#### 6.2 安全防护设施和措施要求

##### 6.2.1 放射治疗工作场所，应当设置明显的电离辐射警告标志和工作状态指示灯等：

a) 放射治疗工作场所的入口处应设置电离辐射警告标志，贮源容器外表面应设置电离辐射标志和中文警示说明；

b) 放射治疗工作场所控制区进出口及其他适当位置应设电离辐射警告标志和工作状态指示灯；

c) 控制室应设有在实施治疗过程中能观察患者状态、治疗室和迷道区域情况的视频装置，并设置双向交流对讲系统。

##### 6.2.2 质子/重离子加速器大厅和治疗室内、含放射源的放射治疗室、医用电子直线加速

器治疗室（一般在迷道的内入口处）应设置固定式辐射剂量监测仪并应有异常情况下报警功能，其显示单元设置在控制室内或机房门附近。

6.2.3 放射治疗相关的辐射工作场所，应设置防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全联锁措施：

a) 放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置门-机/源联锁装置，防护门未完全关闭时不能出束/出源照射，出束/出源状态下开门停止出束或放射源回到治疗设备的安全位置。含放射源的治疗设备应设有断电自动回源措施；

b) 放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置室内紧急开门装置，防护门应设置防夹伤功能；

c) 应在放射治疗设备的控制室/台、治疗室迷道出入口及防护门内侧、治疗室四周墙壁、质子/重离子加速器大厅和束流输运通道内设置急停按钮；急停按钮应有醒目标识及文字显示能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发；

d) 质子/重离子治疗装置安全联锁系统还应包括清场巡检系统、门钥匙开关（身份识别系统）。质子/重离子治疗室、加速器大厅和束流输运通道应建立分区清场巡检和束流控制的逻辑关系，清场巡检系统应考虑清场巡检的最长响应时间和分区调试情况的联锁设置。日常清场巡检时，如超出设定的清场巡检响应时间，需重新进行清场巡检；

e) 质子/重离子治疗装置应考虑建立调试、检修、运行维护人员的人身安全联锁系统，将调试、检修、运行维护人员的受照剂量与进入控制区的权限实施联锁管控；

f) 安全联锁系统一旦被触发后，须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动；安装调试及维修情况下，任何联锁旁路应通过单位辐射安全管理机构的批准与见证，工作完成后应及时进行联锁恢复及功能测试。

6.2.4 后装治疗室内应配备合适的应急贮源容器和长柄镊子等应急工具。

## 8 放射性废物管理要求

### 8.2 固体废物管理要求

#### 8.2.1 废旧放射源管理要求

废旧放射源应按法律法规要求返回放射源生产厂家或原出口方。确定无法交回生产单位或者返回原出口方的，送交有相应资质的单位收贮，并承担相关费用。

#### 8.2.2 其他固体废物管理要求

8.2.2.1 质子/重离子加速器、直线加速器等治疗装置在调试及运行过程中，如活化后的回旋加速器、准直器、束流阻止器及加速器靶等组成部件，在更换或退役时，应作为放射性固体废物处理，拆卸后先放进屏蔽容器或固体废物暂存间衰变暂存，最终送交有资质的单位收贮。

8.2.2.2 低水平的活化部件如质子/重离子加速器治疗头器件、磁铁等，以及处理质子/重离子加速器冷却水的废树脂，集中放置在固体废物暂存间暂存衰变，经衰变后仍超出清洁解控水平的（放射性废物豁免的活度、活度浓度见附录B）送交有资质的单位收贮。

8.2.2.3 建立放射性固体废物台账，存放及处置前进行监测，记录部件名称、质量、辐射类别、监测设备、监测结果（剂量当量率）、监测日期、去向等相关信息，低于清洁解控水平的可作为一般固体废物处置，并做好存档记录。

### 8.3 液态废物管理要求

事故或检修状况下质子/重离子加速器的活化冷却水按照放射性废液管理要求妥善收集贮存，暂存衰变至低于豁免水平后可作为普通废液处理，并做好存档记录。

### 8.4 气态废物管理要求

8.4.1 放射治疗室内应设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，换气次数不少于4次/h，排气口位置不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置。

8.4.2 质子/重离子加速器停机后，加速器大厅应加强通风排气，采取措施使人员延时进入，以降低活化空气的感生放射性水平，减少人员受照剂量。

## 七、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）

第 6.1.1 款：应合理设置X射线设备、机房的门、窗和管线口位置，应尽量避免有用线束直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位。

第 6.1.2 款：X 射线设备机房（照射室）的设置应充分考虑邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护与安全。

第 6.1.5 款：除床旁摄影设备、便携式 X 射线设备和车载式诊断 X 射线设备外，对新建、改建和扩建项目和技术改造、技术引用项目的 X 射线设备机房，其最小有效使用面积、最小单边长度应符合表 7-8 的规定。

表 7-8 X 射线设备机房（照射室）使用面积、单边长度的要求

设备类型	机房内最小有效使用面积 <sup>d</sup> (m <sup>2</sup> )	机房内最小单边长度 <sup>e</sup> (m)
单管头 X 射线设备 <sup>b</sup> (含 C 形臂, 乳腺 CBCT)	20	3.5

<sup>b</sup>单管头、双管头或多管头 X 射线设备的每个管球各安装在 1 个房间内。  
<sup>d</sup>机房内有效使用面积指机房内可划出的最大矩形的面积。  
<sup>e</sup>机房内单边长度指机房内有效使用面积的最小边长。

第 6.2.1 款：不同类型 X 射线设备（不含床旁摄影设备和便携式 X 射线设备）机房的屏蔽防护应不低于表 7-9 的规定。

表 7-9 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向铅当量 mm	非有用束方向铅当量 mm
标称 125kV 以上的摄影机房	3.0	2.0
C 形臂 X 射线设备机房	2.0	2.0

第 6.2.3 款：机房的门和窗关闭时应满足表 7-9 的要求。

第 6.3.1 款：机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

a) 具有透视功能的 X 射线设备在透视条件下检测时，周围剂量当量率应不大于 2.5 μSv/h；测量时，X 射线设备连续出束时间应大于仪器响应时间。

第 6.4.1 款：机房应设有观察窗或摄像监控装置，其设置的位置应便于观察到受检者状态及防护门开闭情况。

第 6.4.3 款：机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。

第 6.4.4 款：机房门外应有电离辐射警告标志；机房门上方应有醒目的工作状态指示灯，灯箱上应设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句；候诊区应设置放射防护注意事项告知栏。

第 6.4.5 款：平开机房门应有自动闭门装置；推拉式机房门应设有曝光时关闭防护门的管理措施；工作状态指示灯能与机房门有效关联。

第 6.4.6 款：电动推拉门宜设置防夹装置。

第 6.5.1 款：每台 X 射线设备根据工作内容，现场应配备不少于表 7-11 基本种类要求的工作人员、受检者防护用品与辅助防护设施，其数量应满足开展工作需要，对陪检者应至少配备铅橡胶防护衣。

第 6.5.3 款：除介入防护手套外，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于 0.25mmPb；介入防护手套铅当量应不小于 0.025mmPb；甲状腺、性腺防护用品铅当量应不小于 0.5mmPb；移动铅防护屏风铅当量应不小于 2mmPb。

第 6.5.4 款：应为儿童的 X 射线检查配备保护相应组织和器官的防护用品，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于 0.5mmPb。

表 7-10 个人防护用品和辅助防护设施配置要求

放射检查 类型	工作人员		受检者	
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施
介入放射 学操作	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套 选配：铅橡胶帽子	铅悬挂防护屏/铅防护帘、床侧防护帘/床侧防护屏 选配：移动铅防护屏风	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套 选配：铅橡胶帽子	—

注：“—”表示不做要求。

参考以上标准，本次评价以 5.0mSv 作为职业人员的年管理剂量约束值，以 125mSv 作为核医学工作场所及负责介入诊断职业人员四肢的年当量剂量约束值，以 37.5mSv 作为负责介入诊断职业人员眼晶体的年当量剂量约束值；以 5mSv 作为核医学工作场所慰问者在患者诊断和治疗期间所受到的管理剂量约束值，以 0.1mSv 作为各辐射工作场所周围公众成员的年管理剂量约束值；以 2.5 μSv/h 作为加速器治疗室、<sup>192</sup>Ir 后装机治疗室、托姆刀治疗室、DSA 介入室及手术室、ERCP 室屏蔽层外关注点处的剂量率目标控制值，以 2.5 μSv/h 作为核医学工作场所控制区内部各房间外关注点及控制区外关注点处的剂量率目标控制值。

#### 八、参考《辐射防护导论》

<sup>131</sup>I 放射性核素排风口导出浓度 DAC 为  $1.30 \times 10^1 \text{Bq/m}^3$ 。

#### 九、环境天然辐射水平

根据山东省环境监测中心站对山东省环境天然放射性水平的调查，青岛市环境 γ 空气吸收剂量率见表 7-11。

表 7-11 青岛市环境天然辐射水平 ( $\times 10^{-8} \text{Gy/h}$ )

监测内容	范围	平均值	标准差
原野	4.24~13.00	6.62	1.45
道路	1.15~12.40	6.90	2.38
室内	3.12~16.16	11.09	2.33

注：表中数据摘自《山东省环境天然放射性水平调查研究报告》，山东省环境监测中心站，1989 年。



## 表 8 环境质量和辐射现状

### 8.1 项目地理及场所位置

青岛山大齐鲁医院一期项目位于青岛市市北区合肥路 758 号，医院二期项目位于一期项目西侧，即劲松四路以东、合肥路以北。医院总平面布置见附图 4。

本项目放疗科位于医疗综合楼地下三层西北侧，共涉及四座加速器机房、一座后装机机房及一座托姆刀机房；两处核医学工作场所分别位于医疗综合楼地下三层东北侧和地下二层东北侧；介入中心位于地下一层西侧中部，共涉及六座 DSA 机房；中心手术部位于医疗综合楼五层东侧，共涉及两座 DSA 杂交手术室及一座 DSA 复合手术室，内镜中心位于医疗综合楼六层西南侧，共涉及两座 ERCP 机房。医疗综合楼地下三层、地下二层、地下一层、五层及六层平面布置分别见附图 5~附图 9。本项目各场所周围环境详见表 8-1，医疗综合楼拟建区域现场勘查时现状照片见图 8-1。

表 8-1 本项目各辐射工作场所周围环境一览表

工作场所	方向	周围场所名称 (0~50m)	工作场所	方向	周围场所名称 (0~50m)
加速器治疗室 1	北面	办公室、更衣室、地下土层	加速器治疗室 2	北面	办公室、楼梯、地下土层
	东面	加速器机房 2、托姆刀机房、留观室、工具间、楼梯、加速器机房 3		东面	托姆刀机房、留观室、工具间、楼梯、加速器机房 3 及机房 4
	南面	等候室、控制室及水冷机房、等候区、人防医院		南面	等候室、控制室及水冷机房、等候区、人防医院
	西面	走廊、楼梯、地下土层		西面	加速器机房 1、走廊、楼梯、地下土层
	楼上	地下停车场		楼上	地下停车场
	楼下	地下土层		楼下	地下土层
加速器治疗室 3	北面	地下土层	加速器治疗室 4	北面	地下土层
	东面	加速器机房 4、走廊、观察室、后装机机房、核医学工作场所		东面	走廊、观察室、后装机机房、核医学工作场所
	南面	等候室、控制室、水冷机房及更衣室、CT 模拟定位机机房、治疗计划室、物理室、地下停车场等		南面	等候室、控制室、水冷机房及更衣室、CT 模拟定位机机房、地下停车场
	西面	走廊、加压机房、服务器机房、阅片室、新风机房、办公室、工具间、留观室、楼梯		西面	加速器机房 3、走廊、加压机房、服务器机房、新风机房、办公室、工具间、留观

		间、托姆刀机房、加速器机房 2 及机房 1 等			室、托姆刀机房、加速器机房 2 及机房 1 等
	楼上	地下停车场		楼上	地下停车场
	楼下	地下土层		楼下	地下土层
后装机治疗室	北面	楼梯、地下土层	托姆刀治疗室	北面	楼梯、新风机房、地下土层
	东面	核医学工作场所		东面	服务器机房等、走廊、工具间、留观室、楼梯、加速器机房 3 及机房 4
	南面	走廊、楼梯、新风机房、弱电间及强电间、电梯、地下停车场等		南面	控制室、服务器机房、设备间、配电间、人防医院及地下停车等
	西面	控制室、候诊室、观察室、加速器机房 4 及机房 3、加压机房等		西面	加速器机房 2 及机房 1、走廊、楼梯、地下土层
	楼上	地下停车场、新风机房		楼上	地下停车场
	楼下	地下土层		楼下	地下土层
	地下三层核医学工作场所	北面		地下土层	地下二层核医学工作场所
东面		地下土层	东面	配电间、楼梯及电梯、加压机房及报告室、地下土层	
南面		地下停车场	南面	地下停车场	
西面		放疗科	西面	新风机房、库房、强电间及弱电间、地下停车场	
楼上		核医学工作场所 ( $^{131}\text{I}$ )	楼上	药房	
楼下		地下土层	楼下	核医学工作场所 ( $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{18}\text{F}$ 、 $^{89}\text{Sr}$ 等)	
介入室 1		北面	走廊、无菌药品室及工具间等、超声科、地下土层	介入室 2	
	东面	控制室及设备间、介入室 2、强电间、污物暂存间、电梯等	东面		走廊、强电间、污物暂存间、电梯、商业及商务区
	南面	走廊、介入室 3、介入室 5、导管室及电梯、铅衣间、强电间、医护办、会议示教室	南面		走廊、介入室 4、介入室 6、麻醉准备室、值班室、就餐休息室、更衣室
	西面	走廊及窗井、地下土层	西面		控制室及设备间、介入室 1、走廊及窗井、地下土层
	楼上	妇科	楼上		妇科
	楼下	地下停车场	楼下		地下停车场
	介入室 3	北面	走廊、介入室 1、超声科、地下土层		介入室 4
东面		控制室及设备间、介入室 4、排	东面	走廊、排烟机房及净化空调	

		烟机房及净化空调机房、大厅			机房、大厅
	南面	走廊、介入室 5、楼梯及导管室、铅衣间、强电间、医护办、会议示教室		南面	走廊、介入室 6、麻醉准备室、值班室、就餐休息室、更衣室、地下停车场
	西面	走廊、地下土层、消防水池及消防泵房		西面	控制室及设备间、介入室 3、走廊、地下土层、消防水池及消防泵房
	楼上	妇科		楼上	妇科
	楼下	地下停车场		楼下	地下停车场
介入室 5	北面	走廊、介入室 1 及介入室 5、超声科	介入室 6	北面	走廊、介入室 4 及介入室 2、导管室、护工间、超声科及地下土层
	东面	控制室及设备间、介入室 6、楼梯、大厅、厕所		东面	楼梯、大厅、厕所、病员等候区
	南面	走廊、导管室、楼梯、铅衣间、强电间、医护办、会议示教室、地下停车场		南面	走廊、麻醉准备复苏室、值班室、就餐休息室、值班室、更衣室、地下停车场
	西面	走廊、楼梯、地下土层、消防水池及消防泵房		西面	控制室及设备间、介入室 5、楼梯、地下土层、消防水池及消防泵房
	楼上	骨科门诊		楼上	骨科门诊
	楼下	垃圾分类处理间、地下停车场		楼下	地下停车场
杂交手术室 1	北面	设备间、心外手术室、走廊、室外环境	杂交手术室 2	北面	杂交手术室 1、设备间、心外手术室、走廊、室外环境
	东面	走廊、楼梯、室外环境		东面	走廊、污物暂存间、强电间、楼梯、室外环境
	南面	杂交手术室 2、设备间及器械间、手术室		南面	设备间及器械间、手术室、强电间
	西面	缓冲区、耗材室、控制室、预麻区、楼梯、等候区、DSA 复合手术室		西面	耗材室、缓冲区、预麻区、强电间、DSA 复合手术室
	楼上	净化机房		楼上	净化机房
	楼下	静脉配置中心		楼下	静脉配置中心
DSA 复合手术室	北面	手术室、走廊、室外环境	ERCP 室 1	北面	走廊、污物间、洗消室等
	东面	设备间、控制室、缓冲区、等候区、缓冲兼换床区、楼梯、强电间、预麻区、耗材室等		东面	ERCP 室 2、走廊、电梯、更衣室等
	南面	大厅、辅助用房、楼梯、辅助用房、手术室		南面	控制室、走廊、排烟机房、避难间、室外环境

	西面	控制室、缓冲区、楼梯及厕所、庭院上空、日间留观室		西面	走廊、更衣室、庭院上空、避难间、楼梯、室外环境
	楼上	净化机房		楼上	屋顶
	楼下	病房药房		楼下	手术室、麻醉室
ERCP 室 2	北面	走廊、腔镜杂交手术室、示教室、诊疗室			/
	东面	走廊电梯及楼梯、更衣室等			
	南面	控制室、消化动力检测室、复苏区、室外环境			
	西面	ERCP 室 1、走廊、更衣室、庭院上空、避难间、楼梯			
	楼上	屋顶			
	楼下	手术室、麻醉室			



图 8-1 本项目所在医疗综合楼拟建区域现场勘察时现状照片（拍摄于 2021 年 10 月）

## 8.2 环境质量和辐射现状

为了解本项目各辐射工作场所拟建区域及周围的辐射环境现状，本次对各辐射工作场所拟建区域及周围环境  $\gamma$  空气吸收剂量率进行检测，对核医学工作场所拟建区域及周围  $\beta$  表面污染水平进行检测。并对核医学工作场所拟建区域上风向和下风向土壤中总  $\beta$  进行检测。

### 8.2.1 场所周围辐射环境现状检测方案

本次对各辐射工作场所拟建区域及周围辐射环境现状进行检测，检测方案如下所示：

#### 1. 环境现状评价对象

本项目所在区域及周围辐射环境现状。

#### 2. 检测因子

环境  $\gamma$  空气吸收剂量率、 $\beta$  表面污染。

### 3. 检测点位

本项目所在医疗综合楼正在进行地基及主体工程的建设，受现场施工因素的制约，本次评价仅在放疗科、核医学科、介入中心、中心手术部杂交手术室和复合手术室、内镜中心 ERCP 机房拟建区域对应位置各布设 1 个环境  $\gamma$  空气吸收剂量率检测点位，在核医学科对应区域布设 5 个  $\beta$  表面污染检测点位。在环境保护目标门诊病房楼、后勤保障楼处各布设 1 个检测点位，同时在二期项目南侧空地布设 1 个检测点位，作为对照点，环境保护目标和对照点同时检测环境  $\gamma$  空气吸收剂量率和  $\beta$  表面污染。检测布点示意图见附图 2。

### 4. 质量保证措施

#### (1) 检测单位

本次评价委托具备辐射检测资质的山东丹波尔环境科技有限公司开展检测，该公司已取得生态环境认证，具备环境  $\gamma$  空气吸收剂量率、 $\beta$  表面污染的检测资质。

#### (2) 检测仪器

##### ①环境 $\gamma$ 空气吸收剂量率检测仪器

检测仪器为 FH40G 型便携式 X- $\gamma$  剂量率仪，测量范围：1nGy/h~100  $\mu$ Gy/h，能量响应：60keV~3MeV。经上海市计量测试技术研究院校准合格，校准证书编号为 2020H21-10-2928432001，检定校准有效期至 2021 年 12 月 15 日，在有效期内。

##### ②表面污染检测仪器

BG9611 型  $\alpha$ 、 $\beta$  表面污染测量仪，计数范围为 1-106，探测效率： $\alpha \geq 30\%$ （对  $^{239}\text{Pu}$ ） $\beta \geq 25\%$ 。经山东省计量科学研究院检定合格，检定证书编号为 Y15-20210046；检定有效期至 2022 年 3 月 9 日。

#### (3) 检测人员

本次由两名检测人员共同进行现场检测，具备环境  $\gamma$  空气吸收剂量率和  $\beta$  表面污染的检测能力。

#### (4) 检测方法

依据《环境  $\gamma$  辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）和《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）的要求和方法进行现场测量。将仪器接通电源预热 15min 以上，仪器探头离地 1m，设置好测量程序，仪器自动读取 10 个数据，计算均值和标准偏差。

依据《表面污染测定 第 1 部分 第一部分  $\beta$  发射体（ $E_{\beta \text{max}} > 0.15\text{MeV}$ ）和  $\alpha$  发射体》

(GB/T14056.1-2008)的要求进行表面污染的检测。

### 5. 检测时间与条件

2021年11月1日,天气:晴,气温:18.3℃,相对湿度:59.8%。

### 6. 检测结果

环境 $\gamma$ 空气吸收剂量率现状检测结果见表8-2, $\beta$ 表面污染检测结果见表8-3。

**表8-2 本项目周围环境 $\gamma$ 空气吸收剂量率检测结果 单位:nGy/h**

检测点位	点位描述	检测结果	
		环境 $\gamma$ 空气吸收剂量率	标准偏差
1#	放疗科对应区域	97.5	1.52
2#	核医学科对应区域	103.2	1.29
3#	介入中心对应区域	106.4	1.32
4#	中心手术部 DSA 杂交手术室对应区域	95.7	1.05
5#	中心手术部 DSA 复合手术室对应区域	105.7	1.58
6#	内镜中心 ERCP 机房对应区域	106.0	1.75
7#	门诊病房楼位置	104.7	1.17
8#	后勤保障楼位置	105.0	1.16
9#	二期项目南侧空地(对照点)	105.8	1.26

注:1.表中数据已扣除宇宙射线响应值 15.7nGy/h,宇宙射线响应值的屏蔽修正因子,原野及道路取1,平房取0.9,多层建筑物取0.8;

2.医疗综合楼拟建区域西北侧、东北侧及南侧存在临时施工板房,项目投运前拟拆除,因此本次不再于施工板房处布点检测。

**表8-3 核医学科对应区域 $\beta$ 表面污染检测结果 单位:Bq/cm<sup>2</sup>**

检测点位	点位描述	$\beta$ 表面污染检测结果	标准偏差
A	核医学科对应区域中心位置地面	0.35	0.53
B	核医学科对应区域西侧地面	0.44	0.74
C	核医学科对应区域南侧地面	0.56	0.52
D	核医学科对应区域东侧地面	0.56	0.52
E	核医学科对应区域北侧地面	0.46	0.47
F	门诊病房楼位置地面	0.56	0.52
G	后勤保障楼位置地面	0.53	0.48
H	二期项目南侧空地(对照点)	0.53	0.48

### 8.2.2 核医学科周围土壤总 $\beta$ 放射性检测方案

医院核医学科应用非密封放射性物质<sup>131</sup>I、<sup>99m</sup>Tc、<sup>18</sup>F、<sup>11</sup>C、<sup>13</sup>N、<sup>15</sup>O、<sup>89</sup>Sr,根据《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)要求,本次委托核工业北京地质研究院分析测试研究中心

(核工业地质分析测试研究中心)对医疗综合楼拟建区域上风向和下风向处的土壤进行了检测,具体内容如下:

#### 1. 收样时间及天气条件

2021年10月21日,温度:17.9℃,相对湿度57.5%。

#### 2. 检测项目

总β放射性

#### 3. 检测方法和依据

ISO 18589-6:2019 (E)《环境放射性的测量-土壤-第6部分:总α和总β活度的测量》

#### 4. 仪器型号及名称

型号:MPC9604型低本底α β计数器,仪器编号:17019477。

#### 5. 取样位置及检测结果

根据项目所在地区气候气象条件,当地以SE风向为主,因此在核医学科对应区域东南侧和西北侧分别取土样进行检测,土壤取样位置见附图2,核医学科拟建区域上风向和下风向区域土壤总β放射性检测结果见表8-4。

表8-4 核医学科拟建区域周围土壤总β放射性检测结果 (单位:Bq/g)

取样点位	样品编号	样品位置	总β放射性
01	58561	核医学科对应区域东南侧(上风向)	0.696
02	58562	核医学科对应区域西北侧(下风向)	0.709

### 8.2.3 环境现状调查结果评价

由表8-2可知,本项目各辐射工作场所对应区域及周围的环境γ空气吸收剂量率为95.7nGy/h~106.4nGy/h[即(9.57~10.64)×10<sup>-8</sup>Gy/h],处于青岛市环境天然辐射水平范围内[道路(1.15~12.40)×10<sup>-8</sup>Gy/h]。

由表8-3可知,核医学科对应区域、东侧门诊病房楼和后勤保障楼处的β表面污染检测结果为0.35Bq/cm<sup>2</sup>~0.56Bq/cm<sup>2</sup>,与对照点处的β表面污染处于同一水平。

由表8-4可知,核医学科拟建区域上风向和下风向区域土壤总β放射性检测结果分别为0.696Bq/g、0.709Bq/g,参考《南水北调东线山东段沿线土壤的放射性水平》(邓大平、许家昂等,中国辐射卫生2006年12月第15卷第4期),核医学科对应区域上风向和下风向区域土壤总β放射性与南水北调山东段沿线土壤中的总β放射性水平处于同一水平。

## 表 9 施工期环境影响分析

### 9.1 施工期工艺流程简述

本项目施工期建设内容为各辐射工作场所的辐射防护工程建设、内部装修及设备安装。施工期可能的污染因素均为常规环境要素，主要为噪声、扬尘、废水、固体废物等。

施工期工艺流程及产物示意环节见图 9-1。

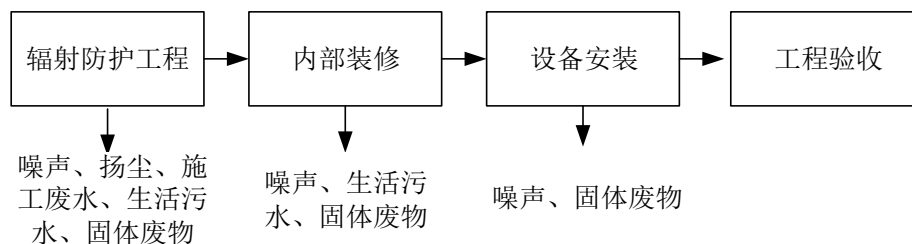


图 9-1 施工期工艺流程及产污环节示意图

### 9.2 施工期污染源项描述

#### 1. 噪声

本项目施工期噪声主要来自各种建筑施工机械运转时的噪声以及建筑材料运输过程中的交通噪声，另外还有突发性、冲击性、不连续性的敲打撞击噪声。

#### 2. 废水

施工期废水主要来自两个方面：一是施工泥浆废水，二是施工人员的生活废水，施工泥浆废水主要来自混凝土养护、砌实心砖保湿。本项目施工期最多时期有约 40 人施工，总施工期约 8 个月，用水按每人每天 50L 计算，日用水 2m<sup>3</sup>/d。废水产生量以 80%计，每天产生生活污水 1.6m<sup>3</sup>/d。

#### 3. 固体废物

固体废物主要是建筑垃圾和施工人员的生活垃圾，生活垃圾以每人每天 0.25kg 计，产生量为 10kg/d。

#### 4. 扬尘

施工期各种施工将产生地面扬尘，另外机械和运输车辆作业时排放废气和扬尘，但这些方面的影响仅局限在施工现场附近区域。

综上，施工期主要环境影响评价因子为：施工噪声、施工废水和生活污水、生活垃圾和建



筑垃圾、施工扬尘。

### 9.3 施工期环境影响分析

本项目施工期主要包括各工作场所辐射防护工程的建设、内部装修和设备的安装等，主要产生噪声、扬尘、施工废水、生活污水及固体废物。施工期通过设置防尘罩等各项防尘抑尘措施控制扬尘污染；选用低噪声设备并合理控制施工时间以减少噪声污染；若进行本项目建设时，二期项目污水处理系统尚未投运，则将本项目施工期产生的生活污水排入施工场地内的临时厕所然后接市政污水管网，若污水处理系统已建成投运，则本项目产生的生活污水排入二期项目污水处理站进一步处理后接市政污水管网；施工废水上清水重复利用，淤泥集中堆放后期用作回填土；并尽量回收尚可利用的建筑材料，生活垃圾和无利用价值的建材垃圾由环卫部门清运，以减少固体废物对周围环境的影响。通过以上诸多措施，本项目施工期对周围环境影响较小。

表 10 医用电子加速器环境影响评价

10.1 项目工程分析与源项

10.1.1 工程设备和工艺分析

本项目放疗科拟建于医疗综合楼地下三层西北侧，平面布置见附图 10。放疗科涉及四座加速器机房，自西向东依次为机房 1、机房 2、机房 3 及机房 4。其中西侧两座为 15MV 加速器机房，东侧两座机房为 10MV 加速器机房，医院拟新增 2 台 15MV 加速器及 2 台 10MV 加速器，用于开展放射治疗。

一、医用电子加速器简介

1. 用途

医用电子加速器作为体外照射的一种医疗设备，利用其特定装置产生的高能电子、X 射线，应用计算机通过立体定位系统进行图像三维重建和剂量分步重建，对人体有恶性肿瘤的部位进行照射，使肿瘤组织受到不可逆损毁，同时肿瘤周围正常结构得到最大限度的保护，达到治疗肿瘤疾病的目的。

2. 医用电子加速器主要参数

根据医院提供的资料，拟购置的 2 台 15MV 加速器参数完全相同，2 台 10MV 加速器参数完全相同，具体参数详见表 10-1。

表 10-1 本项目医用电子加速器主要参数

参数	15MV 医用电子加速器	10MV 医用电子加速器
型号	未定	未定
加速粒子	电子	电子
电子能量 MeV	最大为 18MeV	最大为 15MeV
X 射线能量 MV	两档，10/15MV	两档，6/10MV
最大方形照射野	40cm×40cm	40cm×40cm
最大输出剂量率	2400cGy/min	2400cGy/min
源轴距	100cm	100cm
等中心高度	1295mm	1295mm
X 射线泄漏率	≤0.1%	≤0.1%
射束最大出射角	28°	28°
靶材料	钨合金	钨合金
恒温水机组水箱用水要求	蒸馏水	蒸馏水

治疗头转动范围	-180℃~180℃	-180℃~180℃
意向厂家	未定	未定

### 3. 设备组成

医用电子加速器通常是以磁控管为微波功率源的驻波型直线加速器，它的结构单元为：加速管、电子枪、微波系统、调制器、束流传输系统及准直系统、真空系统、恒温水冷系统和控制保护系统。电子枪产生的电子由微波加速波导管加速后进入偏转磁场，所形成的电子束由电子窗口射出，通过 2cm 左右的空气射到金属钨靶，产生大量高能 X 线，经一级准直器和滤线器形成剂量均匀稳定的 X 线束，再通过监测电离室和二次准直器限束，最后到达患者病灶实现治疗目的。

医用电子加速器内部结构见图 10-1，典型医用电子加速器外观见图 10-2。

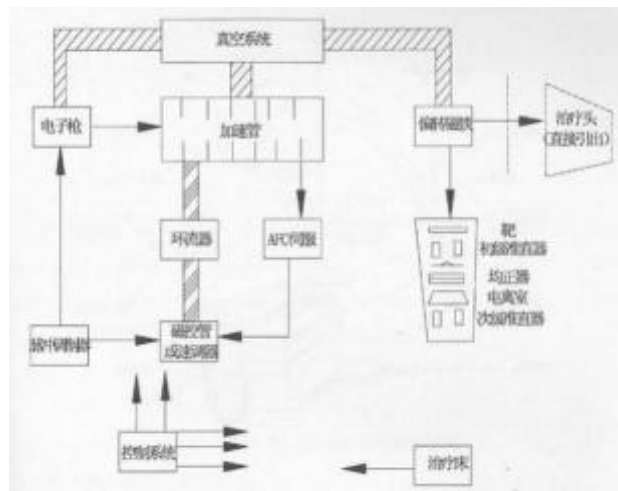


图 10-1 医用电子加速器内部结构图

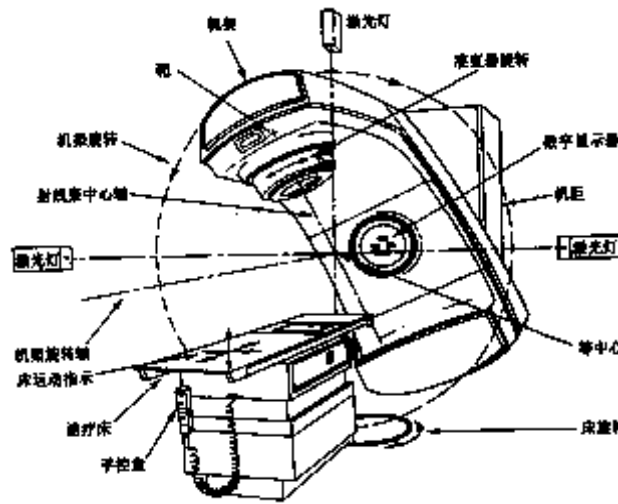


图 10-2 典型医用电子加速器示意图

#### 4. 工作原理

医用电子加速器是将电子枪产生的电子经加速管加速后形成高能电子束的装置。利用高能电子束与靶物质相互作用时的韧致辐射产生 X 射线束。作为一种体外照射的治疗设备，医用电子加速器利用其特定装置产生的高能电子束或 X 射线，应用计算机立体定位系统进行图像三剂量分步重建，对人体有恶性肿瘤的部位进行照射，使肿瘤组织受到不可逆损毁。可根据所诊断癌症类型及其在体中的位置、患者的身体状况和各次给予剂量之间的时间间隔，以最佳输出能量对人体肿瘤进行照射治疗，同时肿瘤周围正常结构得到最大限度保护，达到治疗肿瘤疾病目的。

#### 二、工作流程

医用电子加速器放射治疗流程如下：

1. 登记候诊：对肿瘤放疗患者进行登记、候诊；
2. 模拟定位：使用 CT 模拟定位机对患者的肿瘤进行定位检查，放疗科涉及两座 CT 模拟定位机机房，位于本项目加速器机房 3 和机房 4 南侧；
3. 制定治疗计划：根据患者瘤体的类型、部位和大小等初步确定照射剂量和照射时间，并进一步制定相应的治疗计划；
4. 治疗计划验证：对放疗患者进行放疗计划验证；
5. 摆位准备：摆位前认真查对病人信息、照射条件及摆位要求，调整治疗床高度，严格按照摆位要求实施摆位；摆位结束，摆位人员等非患者均离开机房，关闭防护门；
6. 实施照射：根据放疗计划，运用医用电子加速器技术实施精确照射；
7. 照射结束：病人离开治疗室，摆位人员 3min 后进行下一个患者摆位准备。

医用电子加速器放射治疗流程及产污环节详见下图 10-3。

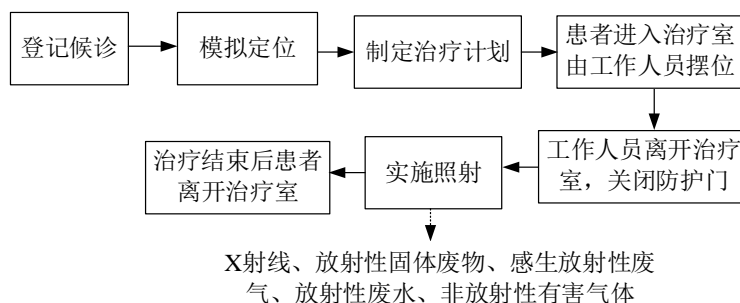


图10-3 医用电子加速器放射治疗流程及产污环节示意图

### 10.1.2 污染源项描述

本项目加速器冷却水循环系统均使用蒸馏水，无废离子交换树脂产生。

#### 1. X射线、电子线

本项目医用电子加速器电子枪产生的电子最高能量为 18MeV，电子经过加速后，受到金属靶的阻止而产生韧致辐射 X 射线，由于 X 射线的贯穿能力极强，对周围环境可能造成辐射污染，但运行时产生的 X 射线随加速器的开、关而产生和消失。加速器在运行时产生的高能电子束，因其贯穿能力远弱于 X 射线，在 X 射线得到充分屏蔽的条件下，电子束亦能得到足够的屏蔽。因此在加速器开机时，产生的 X 射线为主要辐射环境污染因素。

#### 2. 中子辐射、俘获 $\gamma$ 射线、感生放射性

根据HJ1198-2021第6.1.2款规定及GBZ121-2020第7.1款规定，大于10MV的X射线放射治疗设备需考虑中子屏蔽及感生放射性防护。因此本项目2台15MV加速器需考虑其中子辐射及其俘获  $\gamma$  射线、感生放射性影响，2台10MV加速器不再考虑中子辐射及其俘获  $\gamma$  射线、感生放射性影响。

#### 3. 放射性废水

医用电子加速器设备中设计有冷却水循环系统，在加速器运行期间，冷却水尤其是靶部分水被活化的而含有放射性核素主要为  $^{15}\text{O}$ 、 $^{16}\text{N}$ ，它们的半衰期分别为 2.1min 和 7.3s，半衰期很短，在放置 30 天以上待其活度满足 GBZ18871-2002 规定的一次排放限值后，可按一般废水处理，排入医院污水处理系统，预处理后经市政污水管网排入城市污水处理厂处理。

#### 4. 放射性固体废物

加速器靶、准直器及束流阻止器等部件更换或退役时作为放射性固体废物处置，待其产生时不于医院内暂存，直接交由具有放射性废物处置资质的单位处置。

#### 5. 废气

医用电子加速器在开机运行时，产生的 X 射线与空气作用可产生少量臭氧 ( $\text{O}_3$ ) 和氮氧化物 ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ )。同时在加速器运行过程产生的中子可与空气作用产生放射性核素，电子能量超过反应阈能时，与空气中的 C、O、N 等相互作用，可诱发感生放射性核素  $^{11}\text{C}$ 、 $^{15}\text{O}$ 、 $^{13}\text{N}$ ，产生少量感生放射性废气。各机房均设有强制排风系统，采用全排全送的通风方式，通风次数大于 4 次/h，可明显降低其浓度，满足 HJ1198-2021 的要求。

由上述分析可知，本项目医用电子加速器涉及的污染因素为 X 射线、非放射性有害气体及放射性废水、放射性固体废物，其中 15MV 加速器还需考虑中子辐射、俘获  $\gamma$  射线、感生放射性。评价重点均为 X 射线。

## 10.2 辐射安全与防护

### 10.2.1 项目安全措施

#### 1. 机房布局

本项目四座加速器机房自西向东依次为机房 1、机房 2、机房 3 及机房 4，其中机房 1 和机房 2 相邻，均为 15MV 加速器机房，均由加速器治疗室、等候室、控制室及水冷机房组成（水冷机房两机房共用）；机房 3 和机房 4 相邻，均为 10MV 加速器机房，均由加速器治疗室、等候室、控制室、更衣室及水冷机房组成。各机房的控制室、水冷机房等辅助用房均与治疗室分开设置，位于各治疗室南侧，4 台加速器主射束方向均为向西、向东、向上及向下照射，控制室避开有用线束的照射，同时各机房内均设计有“L”型迷道，布局合理。

#### 2. 项目分区

医院拟对各加速器机房进行分区管理，将机房治疗室四周墙壁围成的区域及迷道划为控制区，与墙壁外部相邻区域的控制室、等候室、更衣室及水冷机房划为监督区，并在控制区边界张贴电离辐射警告标志，满足 HJ1198-2021 第 5.2 款中关于分区管理的要求。

#### 3. 屏蔽设计

根据医院提供的防护方案，各机房墙体均为混凝土结构，四座治疗室西墙、东墙及室顶受主射束直接照射，东墙、西墙及室顶均设计有主屏蔽和次屏蔽，其中主屏蔽均采用内凸设计。等中心位于治疗室中心位置，距地高度约 1295mm。各机房治疗室尺寸、屏蔽设计具体详见表 10-2，其中机房 1、机房 2 平面布置见附图 11，剖面图见附图 12。机房 3、机房 4 平面布置见附图 13，剖面图见附图 14。



迷道外墙（南墙）	厚度为 1400mm
防护门	平移式，宽 1.9m，高 2.3m，厚度 20cm，防护材料为 22mmPb，门洞宽 1.6m，高 2.1m，与门洞上下搭接量均为 10cm、左右搭接量均为 15cm，搭接处缝隙约 0.5cm，搭接宽度与缝隙比例均在 10:1 之上，满足防护要求
<p>注：1. 医院拟使用的混凝土密度为 2.35g/cm<sup>3</sup>；</p> <p>2. 东西长指治疗室主束墙间距，南北宽指治疗室北墙至迷道内墙的距离，高指治疗室室顶主屏蔽区内表面至地面的距离；面积与容积已扣除主屏蔽内凸墙体所占部分，且包含迷道。</p>	

### 10.2.2 项目防护措施

除工作场所屏蔽设计的安全防范措施外，医院将进一步完善和加强以下几个方面的防护措施。

#### 1. 安全防护装置

①各控制台处均设计有 1 处急停按钮，各治疗室防护门内侧、迷道出入口、西墙、东墙、北墙西侧及北墙东侧均设计有一处急停按钮，加速器治疗床自带 2 个急停按钮，医院拟于各急停按钮处张贴醒目标识及文字显示牌，急停按钮位置能够使人员从各个方向均能观察到且便于触发，在紧急情况下及时按下急停按钮，防止发生辐射安全事故，具体位置见附图 11、附图 13；

②各治疗室防护门设计有门-机联锁装置，门完全关上时才可出束，出束期间开门则自动停止出束，必须重新设置才可重新出束；治疗室内设计有紧急开门装置，防护门设计有防挤压红外线碰撞装置，门外设计有工作状态指示灯及张贴电离辐射警告标志；

③各加速器治疗室与控制室间设计有电视监视及双向交流对讲系统，各治疗室内设 2 个监控探头，迷道内设 1 个监控探头，方便观察治疗室内情况、患者情况及迷道内情况，并方便与患者沟通；

④医院拟于放疗科入口醒目位置张贴电离辐射警告标志，提醒周围无关人员；

⑤各机房迷道内入口处设计有固定式辐射剂量监测仪并设有异常情况下报警功能，显示单位设在控制室内，用于监测机房内的辐射水平并帮助辐射工作人员判断设备的工作状态；

⑥安全联锁系统一旦被触发，须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动；安装调试及维修情况下，任何联锁旁路应通过单位辐射安全管理机构的批准和见证，工作结束后及时进行联锁恢复及功能测试；

⑦电缆管线口位于南墙，避开控制台位置，采用地下“U”型穿墙，电缆沟坑道两侧均采



用混凝土填充，并在穿墙管线入口及出口处进行屏蔽补充。防护门与四周墙壁均存在搭接，搭接宽度与缝隙比例均在 10: 1 之上。

以上设计能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021) 中第 6.1.3 款、第 6.2.1 款、第 6.2.2 款、第 6.2.3 款要求。

## 2. 其他防护设备

本项目加速器机房拟配置 12 名职业人员，包括 4 名医师、4 名技师及 4 名物理师，该 12 名人员拟专职负责加速器放疗工作，目前人员尚未确定，待人员到位后拟配备个人剂量计 12 支（每人一支，由检测单位配发）、个人剂量报警仪 4 部，医院拟为二期项目配备辐射监测仪 1 台，并利用辐射监测仪定期进行自主监测，做好记录，以满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条第五款的要求；同时医院拟定期对安全防护设施进行自查，保证正常使用。操作人员应遵守各项操作规程，认真检查安全联锁，保障安全联锁正常运行，在进行放射治疗工作时，须确保有两名及以上操作人员协作，做好当班记录，严格执行交接班制度，密切关注控制台仪器和患者情况，发现异常及时处理，不得擅自离开岗位。在加速器试用、调试及检修期间，控制室设人员值守。任何人员未经授权或允许不得进入控制区，工作人员须在确认加速器停止出束的情况下方可进入治疗室，以满足《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021) 中第 6.2.3 款 f) 条、7.1 款~第 7.3 款要求。

## 3. 放射性固废管理

医院拟建立放射性固废台账，存放及处置前进行监测，记录部件名称、质量、辐射类别、监测设备、监测结果、监测日期、去向等信息，并做好存档记录，以满足 HJ1198-2021 第 8.2.2.3 款要求。

## 4. 空间、通风设计

本项目四座加速器治疗室面积最小为 97.7m<sup>2</sup>，能够确保设备的临床应用需求；治疗室内均设计有强制排风系统，采用全排全送的通风方式，各治疗室均设计有 2 处进风口和 2 处排风口，其中机房 1 和机房 3 内的进风口均位于治疗室顶部的东北侧和东南侧，尺寸约 40cm×40cm，排风口均位于治疗室西北侧和西南侧，尺寸约 40cm×40cm，距地面 30cm，机房 2、机房 4 内的进风口和排风口位置分别与机房 1、机房 3 内的进风口和排风口位置呈东西对称分布，各机房进风口和排风口位置满足“上进下出，对角布置”的原则。进风管道和排风管道穿墙方式均为“Z”型，可保证屏蔽墙体的防护能力，排风口与楼内排风管道相连，将运行期

间产生的有害气体排至医疗综合楼外医院内空地，其中机房 1 和机房 2 最终排放口位于医疗综合楼外西北侧医院内空地，机房 3 和机房 4 最终排放口位于医疗综合楼外东北侧医院内空地，两区域非人员密集区，且有效通风量为 2500m<sup>3</sup>/h，本项目加速器治疗室净容积最大约 574.9m<sup>3</sup>，排风次数大于 4 次/h，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中第 8.4.1 款规定。进风口和排风口的具体位置见附图 11、附图 13。

### 10.2.3 三废的治理

#### 1. 废气

本项目医用电子加速器运行过程中产生少量臭氧、氮氧化物。臭氧、氮氧化物属于非放射性有害气体。当加速器发出的射线能量达到或超过空气中某些核素的（ $\gamma, n$ ）的反应阈能时，将产生感生放射性气体，如<sup>13</sup>N、<sup>15</sup>O、<sup>11</sup>C等，半衰期分别为10min、2.1min、20.5min。放射性气体产额很低，半衰期较短，通过合理的通风系统可使其影响降低。同时工作人员适当延缓进入机房，尽量缩短摆位时间，定期对机房内的辐射剂量进行监测，对周围环境影响较小。同时机房设计有强制排风系统，通风次数大于4次/h，可明显降低其浓度。机房内产生的非放射性废气和少量感生放射性气体通过强制排风系统排至大楼外部环境。

#### 2. 废水

本项目医用电子加速器运行过程产生的循环冷却水具有放射性，冷却水中被活化的而形成的放射性核素主要为<sup>15</sup>O、<sup>16</sup>N，它们的半衰期分别为2.1min和7.3s，半衰期很短，在放置30天以上，待其活度满足GBZ18871-2002规定的一次排放限值后，可按照一般废水处理，排入医院污水处理站进一步处理后接入市政污水管网。

#### 3. 固体废物

加速器靶、准直器及束流阻止器更换或退役时作为放射性固体废物处置，待产生时不于医院内贮存，直接交由具有放射性废物处置资质的单位进行处置。

### 10.3 运行期环境影响分析

本次评价采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范-第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）中推荐公式采取理论计算的方式分析加速器运行后产生的X射线对周围环境的影响。两座15MV加速器机房屏蔽设计相同，尺寸略有不同，2台加速器参数相同，两座10MV加速器机房屏蔽设计相同，尺寸略有不同，2台加速器参数相同，因此本次选择尺寸较小

的机房2和机房3进行计算。

### 10.3.1 辐射屏蔽效果估算与评价

#### 一、技术参数及估算重点

##### 1. 技术参数

估算时采用医用电子加速器在最大工作负荷时的参数，详见表 10-1。

##### 2. 主屏蔽墙厚度估算

主屏蔽墙外剂量率在主射束直接照射的条件下，根据最大工作负荷（机房 2：X 射线能量最大为 10MV、最大输出剂量率为 2400cGy/min；机房 3：X 射线能量最大为 15MV、最大输出剂量率：2400cGy/min）进行计算。

##### 3. 次屏蔽墙厚度估算

次屏蔽墙厚度估算综合考虑泄漏辐射以及散射辐射。

##### 4. TVL（什值层）

根据 GBZ/T201.2-2007 附录 B 表 B.1、表 B.4，采用密度为  $2.35\text{t/m}^3$  的普通混凝土屏蔽时，10MV 及 15MV X 射线主射线束和次级射线的什值层厚度如下：

##### **15MV：**

主射束：TVL<sub>1</sub>为 44cm，TVL 为 41cm；泄漏辐射：TVL<sub>1</sub>为 36cm，TVL 为 33cm；患者散射辐射：TVL 为 31cm。

##### **10MV：**

主射束：TVL<sub>1</sub>为 41cm，TVL 为 37cm；泄漏辐射：TVL<sub>1</sub>为 35cm，TVL 为 31cm；患者散射辐射：TVL 为 28cm。

此外，采用铅板屏蔽时，10MV X 射线泄漏辐射及散射辐射的什值层厚度如下：

泄漏辐射：TVL=46.2mm（依据《辐射源室屏蔽设计与评价》表 3.1）；

散射辐射：铅的 TVL=0.5cm（依据 GBZ/T201.2-2011 第 5.2.6.1 部分式（13）注释）。

#### 二、屏蔽墙体及室顶估算

##### 1. 按照剂量率估算主、副屏蔽厚度

采用 GBZ/T201.2-2011 中推荐公式

有效屏蔽厚度

$$X_e = X \cdot \sec \theta \quad (10-1)$$

式中：Xe—有效屏蔽厚度，cm

X—屏蔽厚度，cm

$\theta$ —斜射角，即入射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角

辐射屏蔽透射因子

$$B = 10^{-(X+TVL-TVL_1)/TVL} \quad (10-2)$$

式中：X—屏蔽厚度，cm；

$TVL_1$ —第一什值层厚度，cm

$TVL$ —平衡什值层厚度，cm

$B$ —辐射屏蔽透射因子

主射线和漏射线剂量率

$$\dot{H} = \frac{H_0 \cdot f}{R^2} \cdot B$$

(10-3)

式中： $H$ —关注点剂量率参考控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$H_0$ —加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ；

$R$ —靶点至关注点距离，m；

$f$ —泄漏辐射比率，对有用线束为 1，根据医院提供资料，泄漏辐射最大为 0.1%。

### 1) 15MV 加速器机房 2 屏蔽墙体及室顶估算

本次选取加速器治疗室 2 屏蔽墙外的  $a_1$ 、 $b_1$ 、 $c_1$ 、 $d_1$ 、 $l_1$ 、 $m_1$ 、 $e_1$ 、 $f_1$ 、 $k_1$  关注点进行计算， $o$  为等中心点， $o_1$ 、 $o_2$ 、 $o_3$  点为朝不同方向照射时的靶点位置，关注点分布及辐射路径见图 10-4。

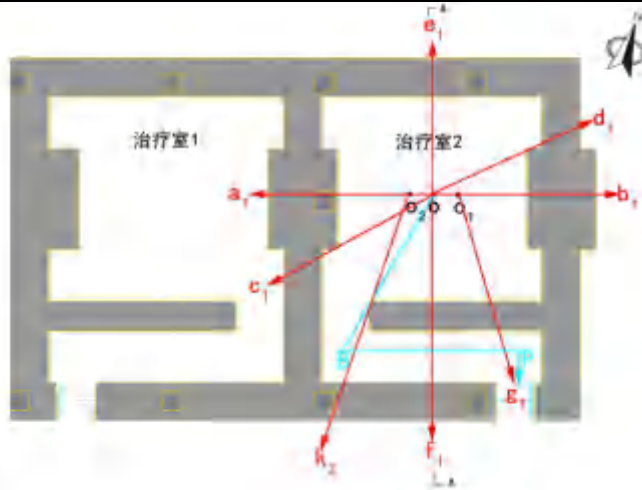


图 10-4 (a) 加速器机房 2 平面关注点及辐射路径示意图

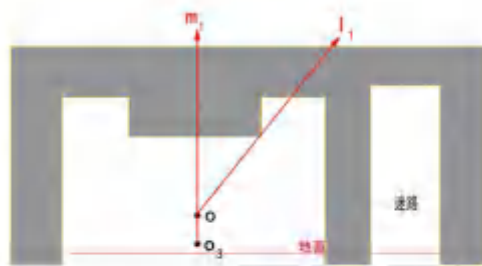


图 10-4 (b) 加速器机房 2 剖面关注点及辐射路径示意图 (A-A 剖面)

(1) 受有用线照射的西墙、东墙主屏蔽外关注点  $a_1$ 、 $b_1$  及室顶主屏蔽外关注点  $l_1$  剂量率

根据公式 10-1~公式 10-3 估算，加速器机房 2 主屏蔽区墙外 30cm 关注点处辐射剂量率预测结果见表 10-3。

表 10-3 加速器治疗室 2 主屏蔽区墙外关注点估算结果

路径	屏蔽墙	屏蔽性质	初始剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	设计厚度 (cm)	至墙外 30cm 处距离 $d$ (m)	墙外 30cm 处剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	剂量率参考控制水平 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	是否合格
$o_1-a_1$	西墙	主屏蔽	$1.44 \times 10^9$	300	8.30	1.19	2.5	是
$o_2-b_1$	东墙	主屏蔽	$1.44 \times 10^9$	300	8.30	1.19	2.5	是
$o_3-l_1$	室顶	主屏蔽	$1.44 \times 10^9$	300	6.855	1.75	2.5	是

注：混凝土  $\text{TVL}_1$  为 44cm， $\text{TVL}$  为 41cm

由上表可知，本项目加速器机房 2 东、西主屏蔽区墙外关注点剂量率为  $1.19 \mu\text{Sv/h}$ ，室顶主屏蔽区外关注点剂量率为  $1.75 \mu\text{Sv/h}$ ，均低于  $2.5 \mu\text{Sv/h}$  的剂量率参考控制水平。

(2) 与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区墙外关注点  $c_1$ 、 $d_1$ 、 $m_1$  剂量率

该处关注点考虑泄漏辐射和患者散射辐射的叠加作用。

① 泄漏辐射

表 10-4 加速器治疗室 2 次屏蔽区墙外关注点泄漏辐射估算结果

路径	屏蔽墙	屏蔽性质	泄漏辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	有效屏蔽层厚度 (cm)	至墙外 30cm 处距离 d (m)	墙外 30cm 处泄漏辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )
$o-c_1$	西墙	次屏蔽	$1.44 \times 10^6$	194	7.58	0.041
$o-d_1$	东墙	次屏蔽	$1.44 \times 10^6$	251	8.34	0.006
$o-m_1$	室顶	次屏蔽	$1.44 \times 10^6$	228	7.87	0.004

注:  $\text{TVL}_1$  为 36cm,  $\text{TVL}$  为 33cm

② 患者散射辐射

按照 GBZ/T201.2-2011 给出的患者一次散射辐射的剂量估算:

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_s^2} \cdot B \quad (10-4)$$

式中:  $\dot{H}$ —关注点剂量率参考控制水平,  $\mu\text{Sv/h}$ ;

$\dot{H}_0$ —加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率,  $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ;

$F$ —最大照射野面积,  $\text{cm}^2$ ;

$R_s$ —患者 (位于等中心点) 至关注点的距离, m。

$\alpha_{ph}$ —患者  $400\text{cm}^2$  面积上垂直之入射 X 射线散射至距其 1m (关注点方向) 处的剂量比例, 又称  $400\text{cm}^2$  面积上的散射因子; 取患者散射角为  $30^\circ$ , GBZ/T201.2-2011 附表 B.2 无 15MV 对应值, 10MV 对应值大于 18MV 对应值, 本次保守取 10MV、 $30^\circ$  对应值  $3.18 \times 10^{-3}$ 。

估算结果见表 10-5。

表 10-5 加速器治疗室 2 次屏蔽区墙外关注点患者散射辐射估算结果

路径	屏蔽墙	屏蔽性质	初始剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	有效屏蔽层厚度 (cm)	至墙外 30cm 处距离 d (m)	墙外 30cm 处患者散射辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )
$o_1-o-c_1$	西墙	次屏蔽	$1.44 \times 10^9$	194	7.58	0.176
$o_2-o-d_1$	东墙	次屏蔽	$1.44 \times 10^9$	251	8.34	$2.11 \times 10^{-3}$
$o_3-o-m_1$	室顶	次屏蔽	$1.44 \times 10^9$	228	7.87	0.013

注:  $\text{TVL}$  为 31cm

则与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区墙外关注点剂量率见表 10-6。

表 10-6 加速器治疗室 2 次屏蔽区墙外关注点辐射剂量率估算结果

关注点	泄漏辐射剂量率贡献 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	患者散射辐射剂量率贡献 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	墙外 30cm 处剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	剂量率参考控制水平 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	是否合格
$c_1$	0.041	0.176	0.217	2.5	是
$d_1$	0.006	$2.11 \times 10^{-3}$	$8.11 \times 10^{-3}$	2.5	是
$m_1$	0.004	0.013	0.017	2.5	是

由上表可知，机房 2 与主屏蔽区直接相连的西墙、东墙次屏蔽区墙外关注点辐射剂量率最大为  $0.217 \mu\text{Sv/h}$ ，室顶次屏蔽区墙外关注点辐射剂量率为  $0.017 \mu\text{Sv/h}$ ，均低于  $2.5 \mu\text{Sv/h}$  的剂量率参考控制水平。

(3) 侧屏蔽墙外关注点  $e_1$ 、 $f_1$ 、 $k_1$  处剂量率

该区域考虑泄漏辐射屏蔽，估算方法类似主屏蔽区，其中  $f=0.1\%$ ，根据公式 10-1~公式 10-3，侧屏蔽墙外关注点  $e_1$ 、 $f_1$ 、 $k_1$  处剂量率如下所示：

表 10-7 加速器治疗室 2 侧屏蔽墙外关注点泄漏辐射估算结果

路径	屏蔽墙	屏蔽性质	泄漏辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	有效屏蔽层厚度 (cm)	至墙外 30cm 处距离 $d$ (m)	墙外 30cm 处泄漏辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	剂量率参考控制水平 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	是否合格
$o-e_1$	北墙	侧屏蔽	$1.44 \times 10^6$	170	6.40	0.31	2.5	是
$o-f_1$	迷道内墙+ 迷道外墙 (南墙)	侧屏蔽	$1.44 \times 10^6$	300	9.90	$1.47 \times 10^{-5}$	2.5	是
$o_2-k_1$	迷道外墙 (南墙)	侧屏蔽	$1.44 \times 10^6$	155	10.27	0.34	2.5	是

注： $\text{TVL}_1$  为 36cm， $\text{TVL}$  为 33cm

由上表可知，侧屏蔽墙外关注点辐射剂量率最大为  $0.34 \mu\text{Sv/h}$ ，低于  $2.5 \mu\text{Sv/h}$  剂量率参考控制水平。

(4) 主屏蔽宽度估算

采用 GBZ/T201.1-2007 中公式进行估算，见公式 10-5。

$$Y_p = 2[(\alpha + SAD)\tan\theta + 0.3] \quad (10-5)$$

式中：

$Y_p$  - 机房有用主屏蔽区的宽度，m；

SAD - 源轴距，m；

$\theta$  - 有用束最大张角(相对于束中的轴线)，加速器射束最大出射角  $28^\circ$ ， $\theta$  取  $14^\circ$ ；

$\alpha$  - 等中心点至墙的距离，m。机房东墙、西墙及室顶主屏蔽墙均为内凸，为等中心点到与东墙、西墙及室顶主屏蔽相连的次屏蔽墙内表面的距离，即距西墙、东墙分别为 4.65m、4.80m，距室顶为 3.855m。

计算结果见表 10-8。

表 10-8 主屏蔽宽度计算结果

序号	墙体	$\alpha + \text{SAD}$ (m)	所需宽度 (m)	设计宽度 (m)	是否合格
1	西墙	4.65+1	3.42	4.4	是
2	东墙	4.80+1	3.49	4.4	是
3	室顶	3.855+1	3.02	4.4	是

综上所述，机房 2 主屏蔽区设计宽度满足要求。

## 2) 10MV 加速器机房 3 屏蔽墙体及室顶估算

本次选取加速器治疗室 3 屏蔽墙外的  $a_2$ 、 $b_2$ 、 $c_2$ 、 $d_2$ 、 $l_2$ 、 $m_2$ 、 $e_2$ 、 $f_2$ 、 $k_2$  关注点进行计算， $w$  为等中心点， $w_1$ 、 $w_2$ 、 $w_3$  点为朝不同方向照射时的靶点位置，关注点分布及辐射路径见图 10-7。

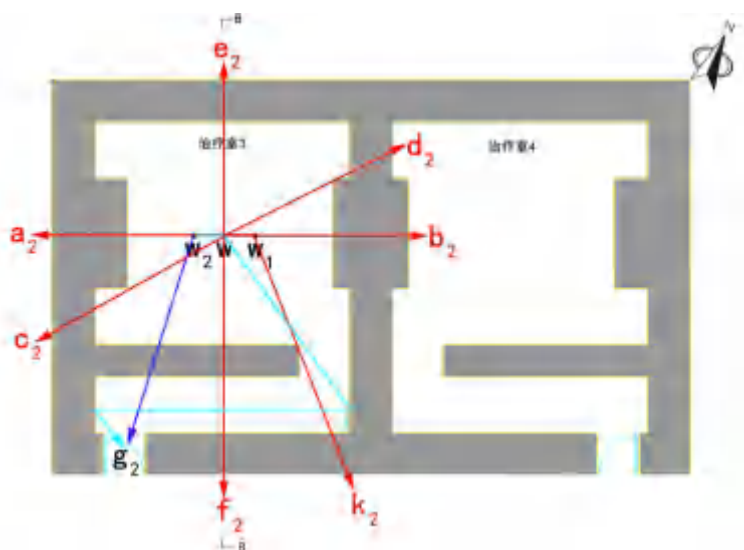


图 10-5 (a) 加速器机房 3 平面关注点及辐射路径示意图



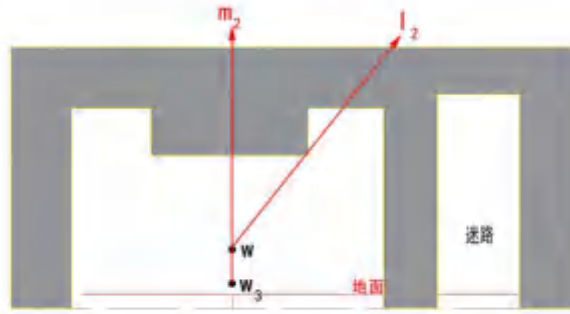


图 10-5 (b) 加速器机房 3 剖面关注点及辐射路径示意图 (B-B 剖面)

(1) 受有用线照射的西墙、东墙主屏蔽外关注点  $a_2$ 、 $b_2$  及室顶主屏蔽外关注点  $l_2$  剂量率

根据公式 10-1~公式 10-3 估算, 加速器机房 3 主屏蔽区墙外 30cm 关注点处辐射剂量率预测结果见表 10-9。

表 10-9 加速器治疗室 3 主屏蔽区墙外关注点估算结果

路径	屏蔽墙	屏蔽性质	初始剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	设计厚度 (cm)	至墙外 30cm 处距离 d (m)	墙外 30cm 处剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	剂量率参考控制水平 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	是否合格
$w_1-a_2$	西墙	主屏蔽	$1.44 \times 10^9$	280	8.275	0.73	2.5	是
$w_2-b_2$	东墙	主屏蔽	$1.44 \times 10^9$	280	8.275	0.73	2.5	是
$w_3-l_2$	室顶	主屏蔽	$1.44 \times 10^9$	280	6.855	1.06	2.5	是

注: 混凝土  $\text{TVL}_1$  为 41cm,  $\text{TVL}$  为 37cm

由上表可知, 本项目加速器机房 3 东、西主屏蔽区墙外关注点剂量率为  $0.73 \mu\text{Sv/h}$ , 室顶主屏蔽区外关注点剂量率为  $1.06 \mu\text{Sv/h}$ , 均低于  $2.5 \mu\text{Sv/h}$  的剂量率参考控制水平。

(2) 与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区墙外关注点  $c_2$ 、 $d_2$ 、 $m_2$  剂量率

该处关注点考虑泄漏辐射和患者散射辐射的叠加作用。

① 泄漏辐射

按照公式 10-3 进行估算, 估算结果见表 10-10。

表 10-10 加速器治疗室 3 次屏蔽区墙外关注点泄漏辐射估算结果

路径	屏蔽墙	屏蔽性质	泄漏辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	有效屏蔽层厚度 (cm)	至墙外 30cm 处距离 d (m)	墙外 30cm 处泄漏辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )
w-c <sub>2</sub>	西墙	次屏蔽	$1.44 \times 10^6$	170	8.23	0.09
w-d <sub>2</sub>	东墙	次屏蔽	$1.44 \times 10^6$	170	8.23	0.09
w-m <sub>2</sub>	室顶	次屏蔽	$1.44 \times 10^6$	192	7.51	0.022

注: TVL<sub>1</sub> 为 35cm, TVL 为 31cm

②患者散射辐射

按照公式 10-4 进行估算, 估算结果见表 10-11。

表 10-11 加速器治疗室 3 次屏蔽区墙外关注点患者散射辐射估算结果

路径	屏蔽墙	屏蔽性质	初始剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	有效屏蔽层厚度 (cm)	至墙外 30cm 处距离 d (m)	墙外 30cm 处患者散射辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )
w <sub>1</sub> -w-c	西墙	次屏蔽	$1.44 \times 10^9$	170	8.23	0.229
w <sub>2</sub> -w-d	东墙	次屏蔽	$1.44 \times 10^9$	170	8.23	0.229
w <sub>3</sub> -w-m	室顶	次屏蔽	$1.44 \times 10^9$	192	7.51	0.045

注: TVL 为 28cm

则与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区墙外关注点剂量率见表 10-12。

表 10-12 加速器治疗室 3 次屏蔽区墙外关注点辐射剂量率估算结果

关注点	泄漏辐射剂量率贡献 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	患者散射辐射剂量率贡献 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	墙外 30cm 处剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	剂量率参考控制水平 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	是否合格
c <sub>2</sub>	0.09	0.229	0.319	2.5	是
d <sub>2</sub>	0.09	0.229	0.319	2.5	是
m <sub>2</sub>	0.022	0.045	0.067	2.5	是

由上表可知, 与主屏蔽区直接相连的西墙、东墙次屏蔽区墙外关注点辐射剂量率均为  $0.319 \mu\text{Sv/h}$ , 室顶次屏蔽区墙外关注点辐射剂量率为  $0.067 \mu\text{Sv/h}$ , 均低于  $2.5 \mu\text{Sv/h}$  的剂量率参考控制水平。

(3) 侧屏蔽墙外关注点 e<sub>2</sub>、f<sub>2</sub>、k<sub>2</sub> 处剂量率

该区域考虑泄漏辐射屏蔽, 估算方法类似主屏蔽区, 其中 f=0.1%, 根据公式 10-1~公式 10-3, 侧屏蔽墙外关注点 e<sub>2</sub>、f<sub>2</sub>、k<sub>2</sub> 处剂量率如下所示:

表 10-13 加速器治疗室 3 侧屏蔽墙外关注点泄漏辐射估算结果

路径	屏蔽墙	屏蔽性质	泄漏辐射剂量率 ( $\mu$ Sv/h)	有效屏蔽层厚度 (cm)	至墙外 30cm 处距离 d (m)	墙外 30cm 处泄漏辐射剂量率 ( $\mu$ Sv/h)	剂量率参考控制水平 ( $\mu$ Sv/h)	是否合格
w-e <sub>2</sub>	北墙	侧屏蔽	$1.44 \times 10^6$	150	6.40	0.69	2.5	
w-f <sub>2</sub>	迷道内墙+ 迷道外墙 (南墙)	侧屏蔽	$1.44 \times 10^6$	270	9.90	$3.86 \times 10^{-5}$	2.5	是
w <sub>1</sub> -k <sub>2</sub>	迷道外墙 (南墙)	侧屏蔽	$1.44 \times 10^6$	146	10.30	0.36	2.5	是

注: TVL<sub>1</sub> 为 35cm, TVL 为 31cm

由上表可知, 侧屏蔽墙外关注点辐射剂量率最大为 0.69  $\mu$  Sv/h, 低于 2.5  $\mu$  Sv/h 剂量率参考控制水平。

#### (4) 主屏蔽宽度估算

根据公式 10-5 进行估算, 根据设计图纸可知, 机房 3 东墙、西墙及室顶主屏蔽墙均为内凸, 为等中心点到与东墙、西墙及室顶主屏蔽相连的次屏蔽墙内表面的距离, 即距西墙、东墙分别为 5.475m、4.825m, 距室顶为 4.055m。

计算结果见表 10-14。

表 10-14 主屏蔽宽度计算结果

序号	墙体	$\alpha + \text{SAD}$ (m)	所需宽度 (m)	设计宽度 (m)	是否合格
1	西墙	5.475+1	3.83	4.4	是
2	东墙	4.825+1	3.50	4.4	是
3	室顶	4.055+1	3.12	4.4	是

综上所述, 机房 3 主屏蔽区设计宽度满足要求。

### 三、防护门估算与评价

#### 1) 15MV 加速器机房 2 防护门估算与评价

##### (1) 迷路入口 ( $g_1$ 点, 防护门内) X 射线的辐射路径

参照标准 GBZ/T201.2-2011, 本项目加速器有用线束不向迷路内墙照射, 则机房迷路入口  $g_1$  点辐射路径为:

①泄漏辐射穿过迷路内墙， $o_1$  位置穿过迷路内墙的泄漏辐射在  $g_1$  处的剂量率 ( $o_1-g_1$  路径);

②中子 (加速器机头外杂散中子、杂散中子在机房内壁的散射中子和相互作用中生成的热中子) 在迷路内的散射中子和中子俘获  $\gamma$  射线在  $g_1$  点处的辐射剂量率 ( $o-B-P-g_1$ )。

(2) 迷路入口 ( $g_1$  点, 防护门内) 辐射剂量率估算

按照 GBZ/T201.2-2011 给出的方法:

① $o_1-g_1$  路径在  $g_1$  点的泄漏辐射剂量率

迷路内墙各段厚度相同, 按照 GBZ/T201.2-2011 给出的公式 (公式 10-1~公式 10-3), 计算机房 2 内  $o_1-g_1$  路径的泄漏辐射 (泄漏辐射穿过迷路内墙, 到达迷路入口处的辐射), 经计算  $o_1-g_1$  路径的泄漏辐射在迷路入口  $g_1$  处的剂量率为  $0.43 \mu Sv/h$  ( $o_1-g_1$  路径约 8.48m, 迷路内墙有效屏蔽厚度 157cm)。

②防护门处的中子剂量率

a、总中子注量:

迷路中的中子散射路径为  $o-B-P-g_1$ , B 点是从等中心点与迷路内墙端的连线和迷路长轴中心线之间的交点, 在 B 点的总中子注量按式 10-6 计算。

$$\phi_B = \frac{Q_n}{4\pi d_1^2} + \frac{5.4Q_n}{2\pi S} + \frac{1.26Q_n}{2\pi S} \quad (10-6)$$

式中的三项分别是加速器机头外的杂散中子、杂散中子在测试机房内壁的散射中子及所形成的热中子。

式中:

$\phi_B$  ——等中心处 1Gy 治疗照射时 B 处的总中子注量, (中子数/ $m^2$ )/Gy;

$Q_n$  ——在等中心处每 1Gy 治疗照射时射出加速器机头的总中子数, 中子数/Gy, 查 NCRP NO. 151 表 B. 9, 保守取 18MV 对应值, 为  $Q_n = 0.46 \times 10^{12}$  (中子数/Gy);

$d_1$  ——为等中心点 o 至 B 点的距离, 约为 7.8m;

S ——为治疗机房的总内表面积, 包括四壁墙, 顶面和底面, 不包括迷路内各面积, 机房 2 为  $385m^2$ ;

本项目加速器机头为钨屏蔽, 式 10-6 中的第一项和第二项均乘衰减因子 0.85。

将上述数据代入公式，可得机房2的 $\phi_B$ 约为 $1.63 \times 10^9$  [单位均为 (中子数/m<sup>2</sup>)/Gy]。

b、机房入口的中子俘获 $\gamma$ 射线的剂量率

机房内及迷路中的中子在与屏蔽物质作用时产生中子俘获 $\gamma$ 射线，机房迷路入口处的中子俘获 $\gamma$ 射线的剂量率 $H_\gamma$  ( $\mu$  Sv/h) 按式10-7计算：

$$H_\gamma = 6.9 \times 10^{-16} \times \phi_B \times 10^{-(d_2/TVD)} \times H_0 \quad (10-7)$$

式中：

$6.9 \times 10^{-16}$ —该方法中的经验因子，Sv/(中子数/m<sup>2</sup>)；

$\phi_B$ —等中心处1Gy治疗照射时i处的总中子注量，(中子数/m<sup>2</sup>)/Gy；

$d_2$ —B点至机房入口( $g_1$ )的距离，对于二阶迷路，为 $d_{BP}+d_{Pg1} \approx 7.00+1.15=8.15$ m；

$TVD$ —将 $\gamma$ 辐射剂量减至其十分之一的距离(称为什值距离)，15MV加速器对应值3.9m；

$H_0$ —等中心点处治疗X射线剂量率( $\mu$  Gy/h)，取 $1.44 \times 10^9 \mu$  Gy · m<sup>2</sup>/h。

将上述数据代入公式，可得机房2的 $H_\gamma$ 约为13.17  $\mu$  Sv/h。

c、机房入口处的中子剂量率

机房内的中子经迷路散射后在机房迷路入口处的剂量率 $H_n$  ( $\mu$  Sv/h)：

$$H_n = 2.4 \times 10^{-15} \cdot \phi_B \cdot \sqrt{\frac{S_0}{S_1}} \cdot [1.64 \times 10^{-(d_2/1.9)} + 10^{-(d_2/T_n)}] \cdot H_0 \quad (10-8)$$

式中：

$2.4 \times 10^{-15}$ —该计算方法中的经验因子，Sv/(中子数/m<sup>2</sup>)；

$S_0$ —迷路内口处面积，为21.09m<sup>2</sup>；

$S_1$ —迷路横截面积，为11.845m<sup>2</sup>；

$d_2$ —B点至机房入口( $g_1$ )的距离，对于二阶迷路，约为 $d_{BP}+d_{Pg1} \approx 7.00+1.15=8.15$ m；

$T_n$ —迷路中能量相对较高的中子剂量组分(即上式)方括号中的第二项项衰减至十分之一行径的距离(m)，称为什值距离。 $T_n$ 是一个经验值，与迷路横截面积有关， $T_n$ 按照式10-9计算：

$$T_n = 2.06\sqrt{S_1} \quad (10-9)$$

根据计算，机房2的 $T_n$ 约为7.09m。

将上述数据代入公式，可得机房2的 $H_n$ 为586  $\mu$  Sv/h。

### (3) 防护门外辐射剂量率

在给定防护门的铅屏蔽厚度 $X$  (cm) 时，防护门外的辐射剂量率按下式计算：

$$\dot{H} = \dot{H}_\gamma \cdot 10^{-(X_\gamma/TVL_\gamma)} + \dot{H}_n \cdot 10^{-(X_n/TVL_n)} + \dot{H}_{og} \cdot B_{og} \quad (10-10)$$

式中：

$H_{og}$  —— $o_1$ -g路径在g点的泄漏辐射剂量率；

$X_\gamma$  和  $X_n$  分别为屏蔽上述两种辐射的不同屏蔽材料的厚度，cm，其中  $X_\gamma$  为3.0， $X_n$  为20；

$TVL_\gamma$  和  $TVL_n$  分别为中子俘获  $\gamma$  射线和中子在上述两种屏蔽材料中的什值层，cm，其中  $TVL_\gamma$  为3.1， $TVL_n$  为4.5（依据GBZ/T201.2-2007附录C）；

$B_{og}$  ——防护门对  $H_{og}$  的屏蔽透射因子，参考《辐射源室屏蔽设计与评价》（王时进编，北京市放射卫生防护所，1990年），铅对15MV能量X射线次射线束的TVL值取4.71cm；

将上述数据代入公式10-10，可得机房2防护门外的剂量率约为1.54  $\mu$  Sv/h，满足2.5  $\mu$  Sv/h的剂量率参考控制水平。根据设计图纸可知，相邻两座15MV加速器机房周围关注点距离较远，本次不再考虑叠加影响。

## 2) 10MV 加速器机房 3 防护门估算与评价

### 1. 迷路入口（ $g_2$ 点，防护门内）X射线的辐射路径

参照标准 GBZ/T201.2-2011，本项目加速器有用线束不向迷道内墙照射，则机房迷道入口（g）点辐射路径为：

(1) 人体受有用线束照射时，散射至 i 点的辐射并再次受墙的二次散射至 g 处的辐射，散射路径为  $w_2$ -w-i-g<sub>2</sub>；

(2) 泄漏辐射穿过迷道内墙， $w_2$  位置穿过迷道内墙的泄漏辐射在  $g_2$  处的剂量率（ $w_2$ - $g_2$  路径）。

### 2. 迷路入口（ $g_2$ 点）辐射剂量率估算

按照 GBZ/T201.2-2011 给出的方法:

(1) 患者散射辐射的计算公式见公式 10-11。

$$H_g = H_0 \cdot \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} \quad (10-11)$$

式中:

$H_g$ — $g_2$ 处散射辐射剂量率,  $\mu\text{Sv/h}$ ;

$H_0$ —距靶 1m 处的辐射剂量率,  $\mu\text{Gy/h}$ , 取  $1.44 \times 10^9 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ;

$\alpha_{ph}$ —患者  $400\text{cm}^2$  面积上的散射因子, 根据 GBZ/T201.2-2011 附表 B.2 查得 10MV、 $30^\circ$  的  $\alpha_{ph}$  为  $3.18 \times 10^{-3}$ ;

$\alpha_2$ —砼墙入射的患者散射辐射的散射因子, 根据 GBZ/T201.2-2011 附表 B.6 查得  $\alpha_2$  为  $5.8 \times 10^{-3}$ ;

$A$ —i 处的散射面积, 为  $6.00 \times 5.11 = 30.66\text{m}^2$ ;

$F$ —有用束在等中心处的最大治疗野面积, 取  $1600\text{cm}^2$ ;

$R_1$ —“w-i”之间的距离, 取 8.46m;

$R_2$ —“i- $g_2$ ”之间的距离, 保守按照一次散射考虑, 取 i 至西墙散射点的距离 10.3m。

经计算,  $w_2$ -w-i- $g_2$  路径关注点  $g_2$  处散射辐射剂量率为  $429.0 \mu\text{Sv/h}$ 。

(2)  $w_2$ - $g_2$  路径在  $g_2$  点的泄漏辐射剂量率

迷道内墙各段厚度相同, 按照 GBZ/T201.2-2011 给出的公式 (公式 10-1~公式 10-3), 本次计算  $w_2$ - $g_2$  路径的泄漏辐射 (泄漏辐射穿过迷道内墙, 到达迷道入口处的辐射), 经计算  $w_2$ - $g_2$  路径的泄漏辐射在迷路入口  $g_2$  处的剂量率为  $0.83 \mu\text{Sv/h}$  ( $w_2$ - $g_2$  路径约 8.77m, 迷道内墙有效屏蔽厚度 139cm)。

### 3. 防护门外的辐射剂量率

$w_2$ - $g_2$  路径的泄漏辐射在迷路入口  $g_2$  处的剂量率经防护门屏蔽后防护门外的辐射剂量率为  $0.83 \times 10^{-(22/46.2)} \approx 0.28 \mu\text{Sv/h}$ 。

在给定防护门的铅屏蔽厚度  $X$  (cm) 时, 防护门外的辐射剂量率  $H$  按下式计算:

$$H = H_g \cdot 10^{-(X/TVL)} + H_{og} \quad (10-12)$$

式中： $H_{og}$ —— $O_2-g$ 路径在防护门外g点的泄漏辐射剂量率；

TVL——0.5cm铅。

经计算，防护门外的剂量率为 $429.0 \times 10^{- (2.2/0.5)} + 0.28 \approx 0.30 \mu Sv/h$ 。根据设计图纸可知，相邻两座10MV加速器机房周围关注点距离较远，本次不再考虑叠加影响。

本项目机房1尺寸大于机房2，机房4尺寸大于机房3，因此在机房1和机房3屏蔽设计满足标准要求的情况下，机房2和机房4亦满足。综上所述，本项目四座加速器治疗室外各关注点处的辐射剂量率均满足 $2.5 \mu Sv/h$ 的剂量率参考控制水平。

#### 四、通风口和电缆管线口外辐射水平分析

本项目各加速器机房进风口和排风口处均采用“Z”型穿墙方式，在“Z”型通风管道处射线至少经过3次散射，每次散射剂量率减小1~2个数量级，电缆管线口均采用地下“U”型穿墙，因此通风口和电缆管线口不会影响墙体的屏蔽效果，预计通风口和电缆管线口外剂量率可低于 $2.5 \mu Sv/h$ 的限值。

#### 五、天空反散射及侧散射

根据上述计算可知，本项目各加速器机房室顶外剂量率最大值为 $1.75 \mu Sv/h$ ，低于 $2.5 \mu Sv/h$ 的限值，因此本次不再考虑天空反散射影响。加速器机房周围评价范围内无高层建筑，因此不再考虑侧散射的影响。

#### 10.3.2 感生放射性的影响

本项目15MV加速器需考虑其感生放射性影响。鉴于医用电子加速器运行期间的感生放射性存在不确定性，感生放射性通过类比进行估算，类比对象为邹城市中医院的美瓦里安Clinac CX型15MV加速器，与本项目加速器高档位的X射线能量相同，具有较好类比性。

1. 检测设备：FH40G-10型便携式X- $\gamma$ 剂量率仪；
2. 检测时间：2014年2月；
3. 检测单位：济南丹波尔环境监测有限公司；
4. 检测点位示意图见图10-6；



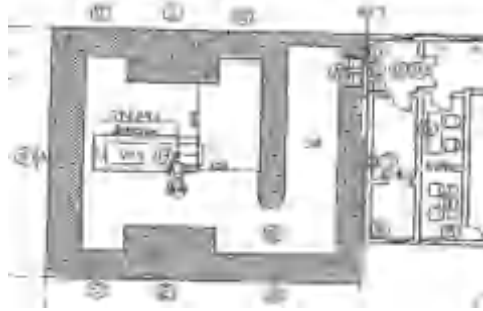


图 10-6 类比对象检测点位示意图

5. 检测结果见下表10-15。

表 10-15 类比对象感生放射性检测结果（单位：μ Gy/h）

测点编号	点位描述	照射终止 10s 后 3min 内	照射终止 10s 后 5min 内
A3#	加速器治疗头表面 5cm	2.54	2.16
A4#	加速器治疗头表面 1m	1.83	1.42

由表 10-15 可知，该加速器停机 10s 后 3min 内测得感生放射性的周围剂量当量率在离外壳表面 5cm 和 1m 处的分别为 2.54 μ Gy/h 和 1.83 μ Gy/h。

### 10.3.3 年有效剂量

#### 1. 年有效剂量估算公式

$$H = D_r \times T \quad (10-13)$$

式中： $H$ ——年有效剂量当量，Sv/a；

$T$ ——年受照时间，h；

$D_r$ ——X 剂量率，Sv/h。

#### 2. 照射时间及利用因子

放射治疗手术量：预计每台加速器每天最多开展放射治疗约 40 人次，考虑到调强治疗模式，所需时间较长，故每人每次照射时间按照 3min 估算，每年开展 250 天，则单台加速器照射时间为 500h。医院拟为 4 台加速器配备 12 名专职辐射工作人员，拟根据工作需要轮流开展工作，为控制人员受照剂量，医院规定每名工作人员参与的放射治疗量不超过 20000 人次，其中 10MV 加速器和 15MV 加速器各不超过 10000 人次，则职业人员受单台加速器照射时间为 500h。

治疗束朝向利用因子：机头向下出束的时间约为年工作量的 70%，机头向东、向西和向上出束时间均约占年工作量的 10%。

### 3. 居留因子

居留因子参照《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)。

表10-16 居留因子的选取

场所	居留因子 (T)		示例
	典型值	范围	
全居留	1	1	管理人员或职员办公室、治疗计划区、治疗控制室、护士站、移动式电子加速器的相邻手术室与诊室、咨询台、有人护理的候诊室以及周边建筑中的驻留区
部分居留	1/4	1/2-1/5	1/2: 与屏蔽室相邻的患者检查室 1/5: 走廊、工作人员休息室
偶然居留	1/16	1/8-1/40	1/8: 各治疗机房房门外 30cm 处、相邻的 (共用屏蔽墙) 放射诊疗机房 1/20: 公厕、自动售货区、储藏室、设有座椅的户外区域、无人护理的候诊室、病人滞留区域、屋顶、门岗室 1/40: 仅有来往行人车辆的户外区域、无人看管的停车场、车辆自动卸货区域、楼梯、无人看管的电梯

### 4. 职业人员的年有效剂量

本项目加速器治疗室周围对职业人员的影响区域主要在治疗室迷道外墙 (南墙) 外的控制室, 本次保守按照机房 2 和机房 3 南墙外的最大剂量率  $0.34 \mu\text{Sv/h}$ 、 $0.36 \mu\text{Sv/h}$  进行计算, 该位置受漏射束照射, 利用因子取 1, 居留因子为 1, 则职业人员年有效剂量为  $0.34 \times 500 \times 1 \times 1 \div 1000 + 0.36 \times 500 \times 1 \times 1 \div 1000 \approx 0.35\text{mSv}$ 。辐射工作人员进入加速器治疗室进行摆位时可能同时受相邻机房加速器的影响, 经核实, 每人摆位约 2min, 治疗室 2 内的工作人员摆位时间最大为  $10000 \times 2 \div 60 = 333.3\text{h}$ , 根据上文计算可知加速器机房 1 东墙外剂量率不大于机房 2 西墙外的剂量率, 本次按照  $1.19 \mu\text{Sv/h}$  计算, 受有用线束照射, 居留因子取 1, 利用因子为 10%, 则加速器机房 1 内的加速器对机房 2 内的摆位人员造成的附加年有效剂量最大值为  $1.19 \times 333.3 \times 1 \times 10\% \div 1000 \approx 0.04\text{mSv}$ , 同样可得机房 4 内的加速器对机房 3 内的摆位人员造成的附加年有效剂量为  $0.73 \times 333.3 \times 1 \times 10\% \div 1000 \approx 0.024\text{mSv}$ 。此外, 职业人员在 15MV 加速器机房内进行摆位时, 还受感生放射性影响, 根据类比检测数据, 采用 1m 处较大的剂量率值  $1.83 \mu\text{Sv/h}$  估算职业人员摆位时的受照剂量, 居留因子、方向利用因子为 1, 职业人员受感生放射性照射有效剂量为  $1.83 \times 333.3 \times 1 \times 1 \div 1000 \approx 0.61\text{mSv}$ 。本项目加速器机房 2 与托姆刀机房相邻, 职业人员在机房 2 内进行摆位时, 还同时受托姆刀的照射,

根据下文表 12-4 可知，托姆刀机房西墙外剂量率为  $7.40 \times 10^{-4} \mu\text{Sv/h}$ ，进行加速器放射治疗的患者每人摆位时间为 2min，则加速器机房 2 内的职业人员受托姆刀照射时间最大为  $10000 \times 2 \div 60 = 333.3 \text{h/a}$ ，居留因子为 1，托姆刀机房西侧利用因子为 25%，则加速器机房职业人员在摆位时受托姆刀的附加剂量最大为  $7.40 \times 10^{-4} \times 333.3 \times 1 \times 25\% \div 1000 \approx 6.17 \times 10^{-5} \text{mSv}$ ，因此加速器机房每名职业人员年有效剂量最大为  $0.35 + 0.04 + 0.024 + 0.61 + 6.17 \times 10^{-5} \approx 1.024 \text{mSv}$ ，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的 20mSv 的年有效剂量限值，也低于本报告提出的 5mSv 的年管理剂量约束值。

### 5. 公众成员年有效剂量

本项目加速器机房周围各区域公众附加年有效剂量详见表10-17。

表10-17 加速器机房周围公众成员附加年有效剂量一览表

位置	场所名称	剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	居留因子 (T)	利用因子	照射时间 (h/a)	年有效剂量 (mSv)
机房 1、机房 2 北侧	走廊	0.31	1/5	1	500	0.031
机房 1 西墙主屏蔽区外	走廊	1.19	1/5	10%	500	0.012
机房 1 西墙次屏蔽区外	走廊	$8.11 \times 10^{-3}$	1/5	100%	500	$8.11 \times 10^{-4}$
机房 1 东墙主屏蔽区外	加速器机房 2	1.19	1/8	10%	500	$7.44 \times 10^{-3}$
机房 1 东墙次屏蔽区外	加速器机房 2	0.217	1/8	100%	500	0.014
机房 2 西墙主屏蔽区外	加速器机房 1	1.19	1/8	10%	500	$7.44 \times 10^{-3}$
机房 2 西墙次屏蔽区外	加速器机房 1	0.217	1/8	100%	500	0.014
机房 2 东墙主屏蔽区外	托姆刀机房	1.19	1/8	10%	500	$7.44 \times 10^{-3}$
机房 2 东墙次屏蔽区外	托姆刀机房	$8.11 \times 10^{-3}$	1/8	100%	500	$5.07 \times 10^{-4}$
机房 1、机房 2 防护门外	等候室	1.54	1/8	1	500	0.096
机房 1、机房 2 室顶外	地下停车场	1.75	1/40	10%	500	$2.19 \times 10^{-3}$
机房 3 西墙主屏蔽区外	走廊	0.73	1/5	10%	500	$7.30 \times 10^{-3}$
机房 3 西墙次屏蔽区外	走廊	0.319	1/5	100%	500	0.032
机房 3 东墙主屏蔽区外	加速器机房 4	0.73	1/8	10%	500	$4.56 \times 10^{-3}$
机房 3 东墙次屏蔽区外	加速器机房 4	0.319	1/8	100%	500	0.02
机房 4 东墙主屏蔽区外	走廊	0.73	1/5	10%	500	$7.30 \times 10^{-3}$
机房 4 东墙次屏蔽区外	走廊	0.319	1/5	100%	500	0.032
机房 4 西墙主屏蔽区外	加速器机房 3	0.73	1/8	10%	500	$4.56 \times 10^{-3}$
机房 4 西墙次屏蔽区外	加速器机房 3	0.319	1/8	100%	500	0.02
机房 3、机房 4 防护门外	等候室	0.30	1/8	1	500	0.019

机房 3、机房 4 室顶外	地下停车场	1.06	1/40	10%	500	$1.325 \times 10^{-3}$
注：机房 1 西侧剂量率保守按照机房 2 东侧剂量率考虑；机房 4 东侧剂量率保守按照机房 3 西侧剂量率考虑。						

根据表 10-17 可知，本项目加速器机房周围公众年有效剂量最大为 0.096mSv，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的 1mSv 的年有效剂量限值，也低于本报告提出的 0.1mSv 的年管理剂量约束值。

综上所述，在加强日常管理情况下，本项目职业人员及公众成员所接受的年有效剂量均满足本次评价提出的管理剂量约束值，满足国家有关要求。

### 10.3.4 三废环境影响分析

#### 1. 废气环境影响分析

在医用电子加速器开机运行时，产生的X射线与空气相互作用可产生少量臭氧和氮氧化物。对于臭氧和氮氧化物，主要危害是臭氧，臭氧的产额比氮氧化物高一个量级，只要臭氧能够达到标准，氮氧化物也能达标。此外，当15MV加速器发出的射线能量达到或超过空气中某些核素的（ $\gamma, n$ ）的反应阈能时，产生少量感生放射性气体。本项目医用电子加速器机房设计有强制排风系统，四座加速器机房排风系统不与楼内其他排风管道联通，有效通风量均约2500m<sup>3</sup>/h，排风次数大于4次/h，能够满足HJ1198-2021第8.4.1款要求。根据设计方案，本项目进风管道和排风管道均采用“Z”型穿墙方式，能够确保机房屏蔽墙体不受到影响。本项目加速器机房内产生的非放射性废气及感生放射性气体最终通过排风管道排至医疗综合楼外医院内空地，排放口周围非人员密集区，因此本项目产生的废气不会对周围环境和人员产生影响。

#### 2. 废水环境影响分析

医用电子加速器系统中设计有冷却水循环系统，共设两个水箱，分别为外循环水箱和内循环水箱，水箱容积分别为 200L、20L，冷却基本工艺流程如下：在水泵的作用下，冷却水打向加速管及靶冷却器，带走热量流向散热器，散热后进入水过滤器，经过滤后流向水箱，完成循环。冷却水中被活化的而形成的放射性核素主要为 <sup>15</sup>O、<sup>16</sup>N，它们的半衰期分别为 2.1min 和 7.3s，半衰期很短，在放置 30 天以上，待其活度衰减至 GB18871-2002 规定的一次排放限值后按照医院一般废水进行管理处置。经核实，医院拟外购蒸馏水作为冷却水，日常工作状态下冷却水循环使用，仅设备检修等特殊情况下产生，产生量较少，因此本项目产生的废水不会对周围环境产生影响。

### 3. 固体废物环境影响分析

本项目加速器冷却水循环系统使用蒸馏水，无废离子交换树脂产生；加速器靶、准直器及束流阻止器等部件更换或退役时作为放射性固体废物处置，待产生时不于医院内贮存，直接交由具有放射性废物处置资质的单位进行处置。

## 10.4 事故影响分析

### 10.4.1 风险识别

1. 本项目加速器治疗室和迷道内设有监控摄像头，防护门设有门机联锁装置，控制室内同时工作的人员不少于 2 名，因此此类情况发生概率极低，一旦发现此情况，操作人员按下急停开关，可防止人员受到进一步照射，一般受到误照射的人员受照剂量可控制在 1mSv 以下，不会造成受照人员的放射损伤；

2. 工作人员或病人家属在防护门关闭后尚未撤离机房，加速器运行，会对工作人员或病人家属产生不必要的 X 射线照射；

3. 工作人员在机房内为患者摆位或其他准备工作，控制台处操作人员误开机出束，发生事故性出束，对工作人员造成辐射伤害；

4. 加速器控制系统出现故障，照射治疗不能停止，病人受到计划外照射；

5. 维修期间的事故，加速器维修工程师在检修期间误开机出束，造成辐射伤害。

### 10.4.2 风险防范措施

1. 制定自检制度，且严格进行经常性自查，每周自检一次，如发现门-机联锁、电视监视及对讲装置、工作状态指示灯、电离辐射警告标志不够完善或失灵，以及防护门出现故障，应立即补充和修复。定期进行门机联锁装置、工作状态指示灯检查，防止人员误入；

2. 加强人员培训，制定规范的操作规程并落实；

3. 出现摆位时误开机时，紧急按下急停按钮，将受到误照射的人员撤离出机房，分析其受照剂量，并在日常工作中制定完善的操作规范，对操作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，实施照射前控制台工作人员应先观察监控确保机房内摆位工作人员已撤出；

4. 做好设备保养维护工作，定期对设备开展维护维修；

5. 医院应联系专业维修人员前来对设备进行维护，不得私自拆卸维修加速器。

表 11 <sup>192</sup>Ir 后装机环境影响分析

11.1 项目工程分析与源项

11.1.1 工程设备和工艺分析

本项目拟新增 1 台后装机，使用 <sup>192</sup>Ir 放射源 1 枚，装源活度为  $3.7 \times 10^{11}$ Bq (10Ci)，该 <sup>192</sup>Ir 放射源属于 III 类放射源。

一、后装机简介

1. 后装机主要技术指标

本项目后装机主要参数详见表 11-1。

表 11-1 本项目后装机主要技术指标

名称	后装治疗机
生产厂家	未定
型号	未定
放射源	<sup>192</sup> Ir
最大装源活度	$3.7 \times 10^{11}$ Bq (10Ci)
γ 射线平均能量	0.37MeV
治疗通道数	18 通道
最大送源距离	850mm±1mm
移动步长精度	±0.5mm
放射源从贮源器至施源器的最大传输时间	<5s
机头升降范围	≥350mm
贮源器部件辐射防护性能	距离贮源器表面 50cm 处的任何位置，因泄漏辐射所致周围剂量当量率不大于 50 μSv/h
	距离贮源器表面 100cm 处的球面上，任何一点因泄漏辐射所致周围剂量当量率不大于 5 μSv/h

2. 设备组成及自屏蔽措施

<sup>192</sup>Ir 后装机主要由治疗机、控制机和治疗计划系统组成。<sup>192</sup>Ir 近距离遥控后装机具有良好的自屏蔽措施，<sup>192</sup>Ir 放射源装于机头源罐内，源罐由外而内分别为不锈钢外壳、铅防护、钨合金防护，防护性能良好。

<sup>192</sup>Ir 放射源源罐结构见图 11-1。

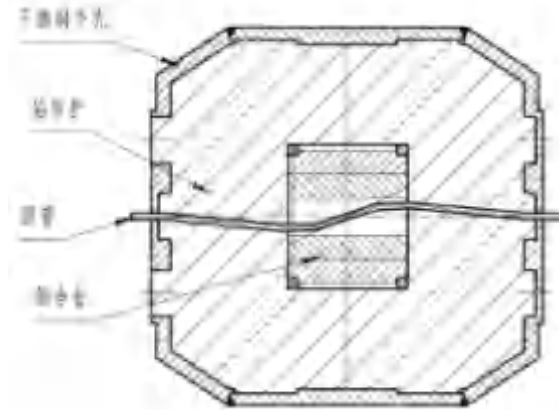


图 11-1  $^{192}\text{Ir}$  放射源源罐结构图

### 3. 治疗原理

后装机采用近距离后装治疗方式，利用  $^{192}\text{Ir}$  放射源发出的  $\gamma$  射线束形成一高剂量率的靶区。对人体有恶性肿瘤的部位进行照射，使肿瘤组织受到不可逆损毁。可通过腔内、管内、鼻咽、支气管、前列腺、胸部等体内肿瘤和皮肤浅表肿瘤进行近距离放射治疗。整机由后装机及控制操作软件和放疗计划系统软件构成，可由治疗计划系统给出治疗方案，也可由医生对病变部位和体内器官的剂量要求，通过人机对话的方式输入各通道的驻留点位置及各点的驻留时间，从而精确的控制照射剂量，把对相邻正常组织的影响限制到最低水平，得到最佳的治疗效果。

### 4. $^{192}\text{Ir}$ 辐射特性

①半衰期：74 天。

②衰变方式：

a.  $\beta$  % = 95.4%。主要有 3 种能量的  $\beta$  射线，分别为 225.9keV、256.0keV、672.3keV。

b. EC% = 4.6%。

c. X- $\gamma$  射线： $^{192}\text{Ir}$  发射的 X 射线份额较少，有 20 余种不同能量的  $\gamma$  射线， $\gamma$  射线有 4 种分支比较大，能量分别为 316.5keV(82.8%)、468.1keV(47.7%)、308.5keV(29.8%)、296.0keV(28.6%)。

③衰变纲图。

$^{192}\text{Ir}$  简化衰变纲图如图 11-2 所示。

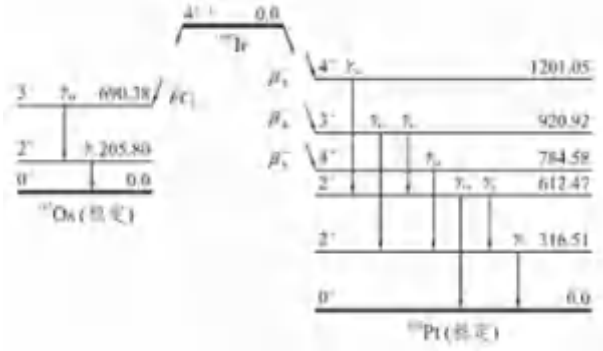


图 11-2  $^{192}\text{Ir}$  简化衰变纲图

(数据摘自计量测试技术手册, 第 12 卷, 中国计量出版社)

## 二、工作流程

后装机放射治疗流程如下:

1. 登记候诊: 对肿瘤放疗患者进行登记、候诊;
2. 模拟定位: 使用放疗科内的 2 台 CT 模拟定位机对患者的肿瘤进行定位检查;
3. 制定治疗计划: 根据定位图像和病灶位置、大小制定治疗计划, 并反复优化最佳方案;
4. 术前准备: 于准备室在患者体腔内放置施源器, 并再次进行模拟定位, 确保施源器位置准确无误;
5. 摆位准备: 将后装机与人体内的施源器连接, 并对患者进行摆位, 摆位结束后工作人员等非患者均离开机房, 关闭防护门;
6. 实施照射: 控制台输出治疗剂量和时间, 放射源进入腔内, 实施照射;
7. 照射结束: 将放射源回位, 取出施源器。

后装机放射治疗流程及产污环节详见下图 11-3。

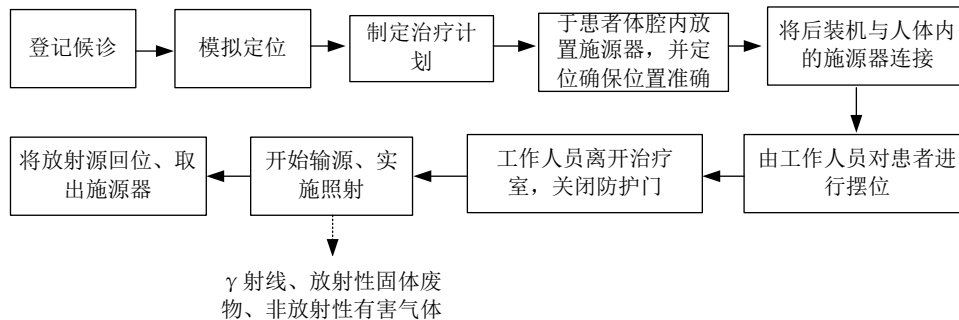


图11-3 后装机放射治疗流程及产污环节示意图

### 11.1.2 污染源项描述



### 1. $\gamma$ 射线、 $\beta$ 射线

后装治疗机的  $^{192}\text{Ir}$  所释放的  $\gamma$  射线穿透屏蔽设施会对周围人员及环境产生辐射危害； $^{192}\text{Ir}$  位于贮源器内时的泄漏辐射可对摆位人员、周围环境产生辐射危害；在使用后装治疗机进行放射治疗时会对周围环境和人员产生辐射影响；后装治疗机维修或更换密封放射源时，人员在近距离较长时间操作时可能受到较大剂量的照射或裸源的直接照射。

后装治疗机的  $^{192}\text{Ir}$  所释放的  $\beta$  射线穿透能力很弱，设备的外包装可以完全屏蔽，再加上墙体屏蔽， $\beta$  射线不能释放到环境中。

### 2. 放射性固体废物

后装治疗机产生的放射性固体废物为报废或退役的  $^{192}\text{Ir}$  放射源。医院拟与供源厂家签订废源回收协议，报废或退役放射源由供源厂家于机房内直接换源回收，并负责运输。

### 3. 非放射性有害气体

后装治疗机  $^{192}\text{Ir}$  产生的  $\gamma$  射线与空气作用可产生少量臭氧 ( $\text{O}_3$ ) 和氮氧化物 ( $\text{NO}$ 、 $\text{NO}_2$ )。根据机房设计方案，后装机机房设计有强制排风系统，可明显降低非放射性有害气体的浓度，减轻其对工作场所的环境污染。

由上述分析可知，本项目后装机的污染因素主要是  $\gamma$  射线、放射性固体废物及非放射性有害气体，其中  $\gamma$  射线为评价重点。

## 11.2 辐射安全与防护

### 11.2.1 项目安全措施

#### 1. 机房布局

根据医院提供的设计图纸，本项目后装机机房位于医疗综合楼地下三层 10MV 加速器机房东侧，机房主要包括后装机治疗室、控制室和候诊室等，其中控制室、候诊室位于后装机治疗室西侧，后装机治疗室内设计有迷道，迷道外口处设计有一处防护门，布局合理。后装机机房平面布置见附图 13，剖面图见附图 15。

#### 2. 项目分区

医院拟对后装机机房进行分区管理，将后装机所在治疗室四周墙壁围成的区域及迷道划为控制区，与墙壁外部相邻区域控制室、候诊室等划为监督区，并拟在控制区边界设警示标识。

### 3. 屏蔽设计

根据医院提供的资料，本项目后装机机房主要设计参数如下：

表 11-2 后装机机房屏蔽设计

项目	尺寸及屏蔽设计等参数
治疗室尺寸	治疗室东西长 5.05m，南北宽 8.00m，高 6.35m，治疗室净面积约 40.4m <sup>2</sup> ，治疗室+迷路净容积约 358.1m <sup>3</sup>
南墙、东墙	600mm 厚纯混凝土结构
北墙	700mm 厚纯混凝土结构
迷路墙	迷路内墙为 500mm 厚纯混凝土结构，迷路外墙为 500mm 厚纯混凝土结构
室顶	500mm 厚纯混凝土结构
防护门	铅钢结构，电动平移式，高约 2.3m、宽约 1.8m，厚度约 5cm，防护能力为 8mmPb，门洞高 2.0m，宽 1.5m，防护门与门洞四周的搭接量均为 15cm，搭接处缝隙约 0.5cm，搭接宽度与缝隙比例不小于 10:1，满足防护要求

注：1. 医院拟使用的混凝土密度为 2.35g/cm<sup>3</sup>；  
2. 东西长指东墙至迷路内墙的距离，面积不包含迷路。

#### 11.2.2 项目防护措施

##### 1. 防护安全配备

①后装机治疗室防护门内侧、迷路出入口、东墙、北墙、南墙及控制室控制台各设计有 1 处急停按钮，后装机设备表面自带 1 处急停按钮，医院拟于各急停按钮处张贴醒目标识及文字显示牌，按下急停按钮，可使放射源自动退回贮源器，防止发生辐射事故；

②防护门设计有门-源联锁装置，门未完全关闭时不能出源照射，出源照射状态下若开门放射源自动回到贮源器内；治疗室内设计有紧急开门装置，另外，防护门设计有防挤压装置、门外设有工作状态指示灯及张贴电离辐射警告标志；

③后装机治疗室与控制室之间设计有电视监视及双向交流对讲系统，治疗室内设 2 个监控探头，迷路内设 1 个监控探头，方便观察治疗室内情况、患者情况及迷路内情况，并方便与患者沟通；

④后装机治疗室迷路出入口位置设计有固定式辐射剂量监测仪并设有异常情况下报警功能，其显示单位设在控制室控制台处；

⑤本项目后装机自带安全保护系统，当发生事故或故障及断电时，放射源能够自动返回

至贮源器内，并显示已照射的时间和剂量，同时控制室控制台处发出声光报警信号，起到提示辐射工作人员和避免对患者造成误照射的作用；后装机自带手动回源装置，当自动回源装置故障时，辐射工作人员可通过操控手动回源装置使放射源返回至贮源器内；此外，还配备有应急储源器和长柄镊子等应急工具，紧急状态下放射源进入应急储源器内储存；

⑥安全联锁系统一旦被触发，须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动；安装调试及维修情况下，任何联锁旁路应通过单位辐射安全管理机构的批准和见证，工作结束后及时进行联锁恢复及功能测试；

⑦电缆管线口位于西墙北侧，避开控制台位置，采用地下“U”型穿墙，电缆沟坑道两侧均采用混凝土填充，并在穿墙管线入口及出口处进行屏蔽补充。防护门与四周墙壁均存在搭接，搭接宽度与缝隙比例均在 10: 1 之上；

⑧后装机治疗场所入口醒目位置拟设置电离辐射警告标志，贮源器外表面设有电离辐射标志和中文警示说明。

以上设计能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021) 中第 6.1.3 款、第 6.2.1 款~第 6.2.4 款要求。

## 2. 其他防护设备

医院拟为本项目后装机机房配备 4 名专职辐射工作人员，其中医生 1 名、物理师 1 名，技师 2 名。目前人员尚未确定，待人员到位后拟配备 4 支个人剂量计（委托个人剂量检测后由检测单位配发）、2 部个人剂量报警仪和 1 部后装源活度测量仪，进入后装机治疗室时应佩戴个人剂量报警仪，利用辐射监测仪开展自主监测，做好记录，以满足《后装 $\gamma$ 源治疗的患者防护与质量控制检测规范》的相关要求；操作人员应遵守各项操作规程，认真检查安全联锁，保障安全联锁正常运行，在进行放射治疗工作时，须确保有两名及以上操作人员协作，做好当班记录，严格执行交接班制度，密切关注控制台仪器和患者情况，发现异常及时处理，不得擅自离开岗位。在后装机试用、调试及检修期间，控制室设人员值守。任何人员未经授权或允许不得进入控制区，工作人员须在确认加速器停止出束的情况下方可进入治疗室。以满足《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021) 中第 6.2.3 款 f) 条、7.1 款~第 7.3 款要求。

## 3. 放射源倒装活动

医院拟加强放射源倒装活动的辐射安全管理，倒装活动由供源厂家专业人员负责，须具

有相应能力且通过辐射安全考核，提前制定倒装方案，对辐射监测与报警仪器的有效性、操作场所分区隔离设置、倒源屏蔽体搭建进行确认；倒装放射源时对治疗室周围和后装机表面进行辐射监测，关注自屏蔽体的辐射防护效果和后装机设备的表面污染情况，做好安装和更换的放射源清点并记录；倒源结束后对后装机设备、场所与周围环境进行辐射监测。以满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中第 7.4 款要求。

#### 4. 放射性固废管理

医院拟建立放射性固废台账，存放及处置前进行监测，记录部件名称、质量、辐射类别、监测设备、监测结果、监测日期、去向等信息，并做好存档记录，以满足 HJ1198-2021 第 8.2.2.3 款要求。

#### 5. 空间、通风设计

本项目  $^{192}\text{Ir}$  后装机治疗室内净面积为  $40.4\text{m}^2$ ，能够满足使用需求；后装机治疗室内设计有 1 处进风口和 1 处排风口，其中进风口位于治疗室东北侧，吊顶内安装，尺寸约  $30\text{cm}\times 30\text{cm}$ ；排风口位于治疗室西南侧，距地面约  $0.3\text{m}$ ，尺寸为  $30\text{cm}\times 30\text{cm}$ 。进风管道和排风管道穿墙方式均为“Z”型，可保证屏蔽墙体的防护能力，排风口与排风管道相连，运行期间产生的有害气体由排风管道排至所在医疗综合楼外东北侧医院内空地。根据设计方案，有效通风换气量约  $2000\text{m}^3/\text{h}$ ，本项目后装机治疗室+迷路净容积约  $358.1\text{m}^3$ ，通风次数大于 4 次/h，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中第 8.4.1 款规定。进风口和排风口的具体位置见附图 13。

### 11.2.3 三废的治理

后装机诊疗过程中不产生放射性废气和废水， $^{192}\text{Ir}$  产生的  $\gamma$  射线与空气作用可产生少量臭氧 ( $\text{O}_3$ ) 和氮氧化物 ( $\text{NO}$ 、 $\text{NO}_2$ )，后装机房设计有强制排风系统，设计通风量约  $2000\text{m}^3/\text{h}$ ，机房治疗室+迷道净容积约  $358.1\text{m}^3$ ，通风换气次数大于 4 次/h，可明显降低非放射性有害气体的浓度，机房内产生的臭氧及氮氧化物最终通过排风管道排至医疗综合楼东北侧医院内空地，非人员密集区，不会对周围环境和人员产生影响。

运行过程退役或更换的废旧  $^{192}\text{Ir}$  放射源由供源厂家回收，医院拟与供源厂家签订废源回收协议，报废或退役放射源由供源厂家于机房内直接换源回收，并负责运输。退役或更换的废旧  $^{192}\text{Ir}$  放射源可得到妥善处置。

## 11.3 运行阶段环境影响分析

### 11.3.1 辐射屏蔽效果估算与评价

#### 一、技术参数及估算重点

本评价采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分：γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）中推荐公式进行辐射屏蔽估算。根据 6.1 款规定“治疗机房应考虑治疗源 4π 发射的 γ 射线（即初级辐射）对墙和室顶的直接照射及其散射辐射在机房入口处的照射”。

#### 1. 估算公式选取

##### （1）计算公式及相关参数

在给定屏蔽物质厚度 X（mm）时，按公式 11-1 计算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B，再按公式 11-2 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 H（μSv/h）。

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \quad (11-1)$$

式中：

B：屏蔽物质的屏蔽透射因子；

X<sub>e</sub>：有效屏蔽厚度，mm；

TVL：辐射在屏蔽物质中的平衡什值层厚，mm。查 GBZ/T201.3-2014 表 C.1，<sup>192</sup>Ir 在混凝土中 TVL 为 152mm；

TVL<sub>1</sub>：辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度，mm。当未指明 TVL<sub>1</sub> 时，TVL<sub>1</sub>=TVL。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad (11-2)$$

式中：

H：关注点剂量率，μSv/h；

H<sub>0</sub>：活度为 A 的放射源在距其 1m 处的剂量率，μSv/h；按照公式 11-3 计算；

R：辐射源至关注点的距离，m；

f：对有用线束为 1。

$$H_0 = A \cdot K_\gamma \quad (11-3)$$

式中：

- A： 放射源的活度，MBq，本项目  $^{192}\text{Ir}$  放射源活度为  $3.7 \times 10^5 \text{MBq}$ ；  
 $K_\gamma$ ： 放射源的空气比释动能率常数（或称  $K_\gamma$  常数），在屏蔽计算中以周围剂量当量作为空气比释动能的近似，此时， $K_\gamma$  的单位记为  $\mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$ 。查 GBZ/T201.3-2014 表 C.1，核素  $^{192}\text{Ir}$   $K_\gamma$  为  $0.111 \mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$ 。

入口处的散射辐射剂量率：

$$\dot{H} = \frac{A \cdot K_\gamma \cdot S_w \cdot \alpha_w}{R_1^2 \cdot R_2^2} \quad (11-4)$$

式中：

- A： 放射源的活度，MBq，本项目  $^{192}\text{Ir}$  放射源活度为  $3.7 \times 10^5 \text{MBq}$ ；  
 $K_\gamma$ ： 放射源的空气比释动能率常数（或称  $K_\gamma$  常数），核素  $^{192}\text{Ir}$   $K_\gamma$  为  $0.111 \mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$ ；  
 $S_w$ ： 迷道内口墙的散射面积，其为辐射源和机房入口共同可见的墙区面积， $\text{m}^2$ ；  
 $\alpha_w$ ： 散射体的散射因子；  
 $R_1$ ： 辐射源至散射体中心点的距离，m；  
 $R_2$ ： 散射体中心点至计算点的距离，m。

## 2. 后装机房屏蔽墙外剂量率预测

经与医院核实，本项目后装机机房各屏蔽墙体均可受到有用射束的照射。本项目  $^{192}\text{Ir}$  最大装源活度为  $3.7 \times 10^5 \text{MBq}$ ，根据公式 11-3 估算，距源 1m 处的辐射剂量率为  $41070 \mu\text{Sv/h}$ 。本次在后装机治疗室南墙外、东墙外、迷道外墙外、北墙外、室顶及防护门外 30cm 处分别设置关注点 a~e、g 进行估算，关注点分布及辐射路径见图 11-4、图 11-5。

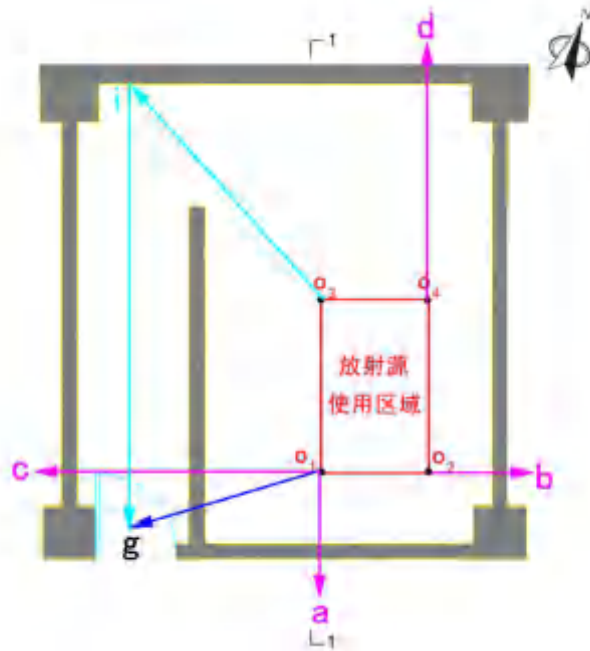


图 11-4 后装机机房剂量率参考点及辐射路径示意图

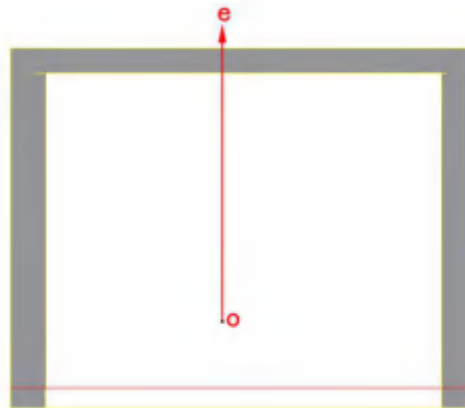


图 11-5 后装机机房剖面剂量率参考点及辐射路径示意图（1-1 剖面）

本项目后装机机房墙体结构为纯混凝土结构，其中南墙、东墙厚度为 600mm，北墙厚度为 700mm，迷道内墙、迷道外墙厚度均为 500mm，室顶厚度为 500mm。

本项目后装机机房内  $^{192}\text{Ir}$  放射源距地面最大高度 1.2m，放射源使用区域为矩形，南北长 3.0m，东西宽 2.0m。距南墙、东墙最近为 1m，距北墙最近为 4.0m，距迷道内墙最近为 2.25m，距室顶为 5.15m。各屏蔽墙体外 30cm 处关注点辐射剂量率预测结果见表 11-3。

表 11-3 后装机机房各屏蔽墙体剂量率估算结果

路径	屏蔽墙	有效屏蔽厚度 (mm)	源距关注点距离 d (m)	关注点处剂量 率 (μSv/h)	剂量率参考控制 水平 (μSv/h)	是否 合格
o <sub>1</sub> -a	南墙	600mm 混凝土	1.90	1.28	2.5	是
o <sub>2</sub> -b	东墙	600mm 混凝土	1.90	1.28	2.5	是
o <sub>1</sub> -c	迷道内墙+迷 道外墙	1000mm 混凝土	5.35	$3.78 \times 10^{-4}$	2.5	是
o <sub>4</sub> -d	北墙	700mm 混凝土	5.00	0.04	2.5	是
o-e	室顶	500mm 混凝土	5.95	0.60	2.5	是

注：混凝土 TVL 为 152mm, TVL<sub>1</sub>=TVL

根据上表计算结果可知，本项目 <sup>192</sup>Ir 后装治疗机正常运行时，后装机机房屏蔽墙体各关注点的辐射剂量率最大为 1.28 μSv/h，低于 2.5 μSv/h 的剂量率参考控制水平，表明后装机机房各屏蔽墙体的屏蔽设计可以满足要求。

### 3. 后装机机房防护门外剂量率预测

#### 1. 迷路入口 (g 点，防护门内) γ 射线的辐射路径

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分：γ 射线源放射治疗机房》(GBZ/T201.3-2014) 6.1：“治疗机房应考虑治疗源 4π 发射的 γ 射线（即初级辐射）对墙和室顶的直接照射及其散射辐射在机房入口处的照射”。则机房迷路入口 g 点辐射路径为：

(1) 有用射束穿过迷路内墙，o<sub>1</sub> 位置穿过迷路内墙的有效射束在 g 处的剂量率 (o<sub>1</sub>-g 路径)；

(2) 有用线束照射到北墙，散射至 g 处的剂量率 (o<sub>3</sub>-i-g 路径)。

#### 2. 迷路入口 (g 点，防护门内) 辐射剂量率估算

(1) o<sub>1</sub>-g 路径在 g 点的剂量率

根据公式 11-2 进行计算，o<sub>1</sub>-g 路径在 g 点的剂量率约为 0.71 μSv/h (o<sub>1</sub>-g 路径约 3.88m，迷道内墙有效屏蔽厚度约 545mm)。

(2) o<sub>3</sub>-i-g 路径在 g 点的剂量率

根据公式 11-4 进行计算，o<sub>3</sub>-i-g 路径在 g 点的剂量率约为 9.26 μSv/h [S<sub>w</sub> 散射面积为 2.0 × 6.35 = 12.7m<sup>2</sup>；R<sub>1</sub> = 5.35m，R<sub>2</sub> = 8.3m；α<sub>w</sub> 散射因子为 3.50 × 10<sup>-2</sup> (依据 GBZ/T201.3-2014 表 C.4，保守取 0.25MeV 对应的最大散射因子)]。



### 3. 防护门外的辐射剂量率估算

根据 GBZ/T201.3-2014, 散射辐射能量约为 0.2MeV 时, 散射线对应铅中的 TVL 值可取 5mm (依据 GBZ/T201.3-2014 第 5.2.2.5.1 部分), 有用射束对应铅的 TVL 值取 16mm (依据 GBZ/T201.3-2014 附录 C 表 C.1)。经 8mmPb 防护门屏蔽后, 防护门外剂量率为  $0.71 \times 10^{-8/16} + 9.26 \times 10^{-8/5} \approx 0.46 \mu\text{Sv/h}$ , 低于  $2.5 \mu\text{Sv/h}$  的剂量率参考控制水平。

综上所述, 本项目后装机机房治疗室周围墙体、室顶、防护门外各关注点的剂量率均低于  $2.5 \mu\text{Sv/h}$  的剂量率参考控制水平。说明本项目后装机机房防护门、周围墙体及室顶的防护设计均满足要求。

### 4. 通风口和电缆管线口外辐射水平分析

本项目后装机机房进风口和排风口均采用“Z”型穿墙方式, 在“Z”型通风管道处射线至少经过3次散射, 每次散射剂量率减小1~2个数量级, 电缆管线口均采用地下“U”型穿墙, 因此通风口和电缆管线口不会影响墙体的屏蔽效果, 预计通风口和电缆管线口外剂量率可低于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的限值。

### 5. 天空反散射及侧散射

根据上述计算可知, 本项目后装机机房室顶外剂量率仅为  $0.60 \mu\text{Sv/h}$ , 低于  $2.5 \mu\text{Sv/h}$  的限值, 因此本次不再考虑天空反散射影响。后装机机房评价范围内无高层建筑, 因此本次不再考虑侧散射影响。

## 11.3.2 年有效剂量估算

### 1. 年有效剂量估算公式、居留因子选取

根据工作负荷对职业人员辐射年有效剂量进行理论估算, 估算公式见式 10-13, 居留因子参照《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021), 见上文表 10-16。

### 2. 照射时间

根据医院规划, 拟为后装机机房配置 4 名职业人员, 其中医生 1 名、物理师 1 名, 技师 2 名, 专职负责后装机治疗操作。

根据医院提供的资料, 预计本项目后装机年最大治疗工作量约 1500 人次, 每人每次照射时间最大为 6min, 按照职业人员参与全部后装机诊疗工作考虑, 则年最大受照时间为 150h, 每次摆位时间约 2min, 则年最大摆位时间 50h。

### 3. 职业人员的年有效剂量

工作人员摆位一般距机头 1m 左右, 根据医院提供的后装机技术参数可知, 距离贮源器表面 100cm 处的球面上, 任何一点因泄漏辐射所致周围剂量当量率不大于  $5 \mu\text{Sv/h}$ , 居留因子取 1, 则摆位人员接受的年有效剂量为  $5 \times 50 \div 1000 \approx 0.25\text{mSv}$ 。

本项目后装机治疗室周围对职业人员的影响区域主要在治疗室西墙外的控制室, 根据表 11-3, 该区域辐射剂量率为  $7.83 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$ 。居留因子、方向利用因子均为 1, 职业人员附加年有效剂量为  $7.83 \times 10^{-3} \times 150 \times 1 \times 1 \div 1000 \approx 1.17 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ , 因此后装机对职业人员造成的附加年有效剂量为  $0.25 + 1.17 \times 10^{-3} \approx 0.25\text{mSv}$ , 低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的 20mSv 的年有效剂量限值, 也低于本报告提出的职业人员 5mSv 的年管理剂量约束值。

#### 4. 公众成员年有效剂量估算

本项目后装机机房周围公众成员年有效剂量详见表11-4。

表11-4 后装机机房周围公众成员附加年有效剂量一览表

位置	对应区域场所名称	剂量率最大值 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	照射时间	居留因子 (T)	利用因子	年有效剂量 (mSv)
治疗室室顶外	地下停车场、新风机房	0.60	150	1/40	1	$2.25 \times 10^{-3}$
治疗室东墙外	走廊	1.28	150	1/5	1	0.038
治疗室西墙外	候诊室	$7.83 \times 10^{-3}$	150	1/20	1	$5.87 \times 10^{-5}$
治疗室北墙外	楼梯	0.04	150	1/40	1	$1.5 \times 10^{-4}$
治疗室南墙外	走廊	1.28	150	1/5	1	0.038
防护门外	缓冲区	0.46	150	1/8	1	$8.63 \times 10^{-3}$

根据表 11-4 可知, 本项目后装机机房周围公众年有效剂量最大为 0.038mSv, 低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的 1mSv 的年有效剂量限值, 也低于本报告提出的 0.1mSv 的年管理剂量约束值。

综上所述, 在加强日常管理情况下, 本项目后装机机房职业人员及公众成员所接受的年有效剂量均满足本次评价提出的管理剂量约束值, 满足国家有关要求。

#### 11.3.3 放射源运输与换源

本项目  $^{192}\text{Ir}$  密封源运输事宜由供源厂家承担, 密封源是由专人、专车运输, 保证运输安全。经与医院核实, 本项目装换源由供源厂家负责。医院负责协助源厂家进行换装源操作, 在换装源过程中, 严格按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的有关规定,

做好安全与防护工作；安装放射源后须请有监测资质的单位对剂量率进行监测，因此，换装源过程的影响是可控的。换装源完成后，放射源即贮存于后装机机头自屏蔽体内，经过自屏蔽体和治疗室墙体的屏蔽后，放射源对周围环境影响较小。

#### 11.3.4 放射性固废及非放射性有害气体环境影响分析

本项目后装治疗机正常治疗过程中，不产生放射性固体废物，但经一定使用年限后，会产生报废或退役的<sup>192</sup>Ir放射源。按照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》有关规定，未经批准不得擅自处理。医院拟与供源厂家签订废源回收协议，报废或退役的<sup>192</sup>Ir放射源由供源厂家于机房内直接换源回收，并负责运输。废放射源回收参照放射源转让程序办理，在按规范对报废或退役的<sup>192</sup>Ir放射源进行妥善处置后，废放射源不会对环境造成影响。

本次评价要求废放射源送贮完成之日起20日内，及时向山东省生态环境主管部门备案，申请办理放射源注销手续。在报废或退役的放射源按照设计方案妥善处置后，放射性固废的环境影响可基本消失。

后装机机房设计有强制排风系统，运行期间产生的少量臭氧（O<sub>3</sub>）和氮氧化物（NO、NO<sub>2</sub>）由排风管道排至医疗综合楼外东北侧医院内空地，该区域非人员密集区。根据设计方案，进风管道和排风管道均采用“Z”型穿墙方式，能够确保机房屏蔽墙体不受到影响，且有效通风换气量约2000m<sup>3</sup>/h，通风次数大于4次/h，可明显降低机房内有害气体浓度，因此本项目产生的非放射性有害气体不会对周围环境和人员产生影响。

### 11.4 事故影响分析

#### 1. 风险识别

①门-源联锁装置发生故障或工作人员未及时观察到机房内存在无关人员等情况下，人员误入正在运行的机房而造成γ射线误照射。本项目后装机治疗室和迷道内设有监控摄像头，防护门设有门源联锁装置，控制室内同时工作的人员不少于2名，因此此类情况发生概率极低，一旦发现此情况，操作人员按下急停开关，可防止人员受到进一步照射，一般受到误照射的人员受照剂量可控制在1mSv以下，基本不会对人造成永久性损伤，若误照射时间较长、近距离接触放射源，可能对人员造成可恢复的临时性损伤；

②后装机放射源卡源导致放射源不能回到贮存位置，造成误照射，受照剂量可能超过1mSv，可能对病人等造成可恢复的临时性损伤；

③由于管理不善，发生放射源失窃，导致公众受照和环境受到辐射污染。

## 2. 风险防范措施

①工作人员必须定期检查门-源联锁装置等防护设施是否正常，如果失灵，应立即修理，使其恢复正常；每次开机时，首先通过机房内的监控确认机房内无无关人员的情况下再开机，防止对误入人员造成误照射；

②发生卡源、开关失灵或其他故障时，应立即停止工作，工作人员和病人要迅速撤离治疗室，通过操控手动回源装置使放射源返回至贮源器内；

③非工作状态下， $^{192}\text{Ir}$  放射源于后装机贮源器贮存，且防护门处于关闭状态，防护门加锁，设置专人管理，日常工作中做好使用台账，只要加强管理，一般不会出现放射源失窃的情况。一旦出现放射源失窃的情况，医院应及时上报当地生态环境部门、公安部门及卫生部门，并配合相关部门调查，及时找回放射源。

## 表 12 托姆刀环境影响分析

### 12.1 项目工程分析与源项

#### 12.1.1 工程设备和工艺分析

本项目涉及新增 1 台托姆刀（6MV），托姆刀机房拟建于医疗综合楼地下三层西北侧放疗科内。

#### 一、托姆刀简介

##### 1. 用途

托姆刀是 TomoTherapy（螺旋断层放射治疗系统）的简称，是集 IMRT（调强适形放疗）、IGRT（影像引导调强适形放疗）、DGRT（剂量引导调强适形放疗）于一体、以螺旋 CT 旋转方式治疗癌症的放射治疗设备。

##### 2. 托姆刀主要参数

本项目托姆刀主要参数详见表 12-1。

表 12-1 本项目托姆刀主要参数

装置名称	托姆刀
型号	未定
加速粒子	电子
治疗射线能量（额定）	6MV
成像射线能量	3.5MV
最大输出剂量率	850cGy/min
多叶式光栅(MLC)叶片	64 片，凸凹槽式设计交叉排列
最大治疗体积	长度 160cm×直径 60cm 的圆柱体
最大照射野	5cm×40cm（纵向×横向）
多叶式光栅(MLC)叶片宽度	6.25mm
多叶式光栅(MLC)叶片材质、厚度	钨合金（含钨量>90%）、厚 100mm
源轴距（SAD）	85cm
等中心高度	1130mm
X 射线泄漏率	≤0.25%
主射线档厚度	130mm 铅板
靶材料	钨合金
恒温水机组水箱用水要求	蒸馏水
意向厂家	未定

##### 3. 设备组成及工作原理

托姆刀是将一台 6MV 的医用电子加速器的主要部件安装在 64 排螺旋 CT 的滑环机架上，集 IMRT（调强放射治疗）和 IGRT（图像引导放射治疗）于一体，以螺旋 CT 旋转扫描

方式，结合高科技计算机断层影像导航调校，通过 360° 旋转，51 个弧度照射，从而实现照射范围内的任何剂量分布要求，杀死这一范围内的各种分布、各种位置和各种形状的癌细胞。

在机头旋转照射的过程中，扇形束通过二元气动多叶光栅来调制强度，二元气动多叶光栅可以迅速开关来根据需要切割扇形束的出束分布。

每一个多叶光栅叶片从关闭状态到张开再回到关闭状态位置的过程定义为一个子束流。子束流最大出束强度为每一段弧形子野时光栅始终张开。相对应的，要输出一个小的束流强度，叶片可以在每一段弧形子野的中点前打开，过中点后关闭。螺旋断层放疗系统象螺旋 CT 一样，在机架和床的联动过程中用螺旋断层方式进行放射治疗。它每旋转一圈有 51 个弧形子野并且有 64 片二元气动多叶光栅（气动，无需马达）。光栅叶片可以在 20 毫秒内关闭或打开扇形宽度方向上的射束。每一个治疗点都会被旋转的扇形束重叠照射 2~5 次，大概可以照射 100~250 个子束流，并且子束流可以分为 0~100 的不同强度水平。每一次治疗都会用到几万个子束流。这样的强度调制能力是无可比拟的，尤其在靶区附近的正常组织需要规避时仍能非常好的维持靶区剂量的均匀性。从而高效的达到治疗肿瘤疾病目的。

典型托姆刀外观及结构简图见图 12-1。

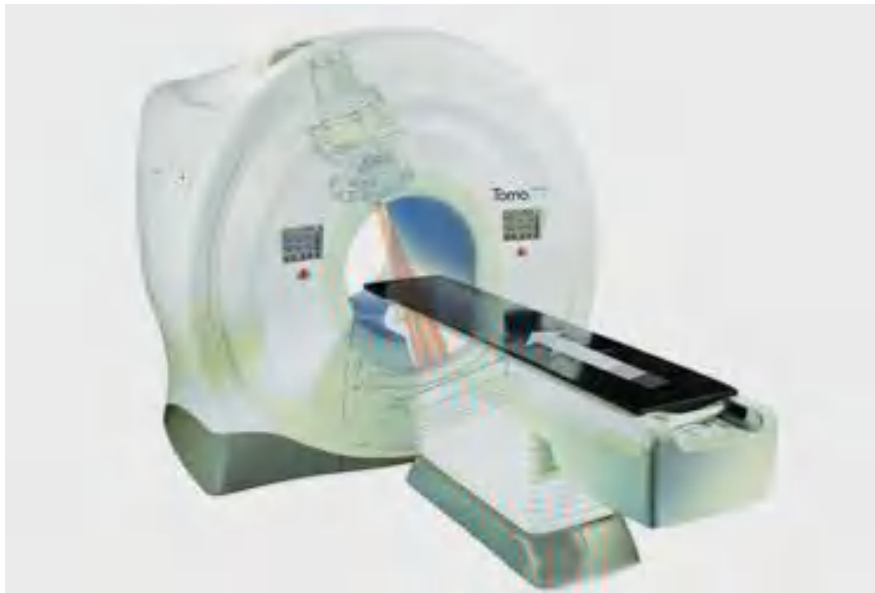


图 12-1 典型托姆刀外观及结构简图

## 二、工作流程

本项目托姆刀与医用电子加速器的放射治疗工作流程相同，具体见 10.1.1，本小节不再列出。

### 12.1.2 污染源项描述

托姆刀与医用电子加速器原理相同，主要采用调强放射治疗模式，本项目托姆刀能量为 6MV，不涉及中子辐射、俘获  $\gamma$  射线和感生放射性影响，其他污染源和评价因子与本项目 10MV 医用电子加速器相同，具体见 10.1.2，本小节不再列出。

由上述分析可知，本项目托姆刀的污染因素是 X 射线、非放射性有害气体、放射性废水及放射性固体废物，评价重点为 X 射线。

## 12.2 辐射安全与防护

### 12.2.1 项目安全措施

#### 1. 机房布局

本项目托姆刀机房由托姆刀治疗室、控制室、设备间、模具室、物理室、服务器机房及等候室组成，其中控制室、设备间等辅助用房均与治疗室分开设置，位于治疗室南侧和东侧，同时机房内设计有直迷道，布局合理。

#### 2. 项目分区

医院拟对托姆刀机房进行分区管理，将托姆刀治疗室四周墙壁围成的区域及迷道划为控制区，将与治疗室相邻的控制室、设备间、等候室等区域划为监督区，并在控制区边界张贴电离辐射警告标志。

#### 3. 屏蔽设计

本项目托姆刀主射束方向为东西  $360^\circ$  照射，机房四周屏蔽墙和室顶均使用混凝土结构，托姆刀治疗室具体屏蔽设计、尺寸详见表 12-2。托姆刀机房平面布置见附图 11，剖面图见附图 16。

表 12-2 托姆刀治疗室尺寸及屏蔽设计一览表

项目	屏蔽设计及尺寸等参数
治疗室	南北净长 9.0m（北墙至迷道内墙的距离），东西净宽 7.15m，净高 5.35m，治疗室净面积约 64.35m <sup>2</sup> ，治疗室+迷道净容积约 443.7m <sup>3</sup>
迷道内墙、迷道外墙	厚度均为 1300mm
北墙、东墙、室顶	厚度均为 1500mm
西墙	与加速器机房 2 共用墙体，其中中间部分厚度为 3000mm，南侧和北侧部分厚度为 2200mm
防护门	平移式，宽 1.8m，高 2.3m，厚度 20cm，防护能力为 10mmPb，门洞宽 1.6m，高 2.1m，与门洞四周搭接量均为 10cm，搭接处缝隙约 0.5cm，搭接宽度与缝隙比例均在 10:1 之上，满足防护要求

### 12.2.2 项目防护措施

## 1. 防护安全配备

①控制台处设计有 1 处急停按钮，治疗室防护门内侧、迷道出入口、西墙、东墙、北墙中间位置均设计有 1 处急停按钮，托姆刀治疗床自带 2 个急停按钮，医院拟于各急停按钮处张贴醒目标识及文字显示牌，急停按钮位置能够使人员从各个方向均能观察到且便于触发，在紧急情况下及时按下急停按钮，防止发生辐射安全事故，具体位置见附图 11；

②治疗室防护门设计有门-机联锁装置，门完全关上时才可出束，出束期间开门则自动停止出束，必须重新设置才可重新出束；治疗室内设计有紧急开门装置，防护门设计有防挤压红外线碰撞装置，门外设计有工作状态指示灯及张贴电离辐射警告标志；

③托姆刀治疗室与控制室间设计有电视监视及双向交流对讲系统，治疗室内设 2 个监控探头，迷道内设 1 个监控探头，方便观察治疗室内情况、患者情况及迷道内情况，并方便与患者沟通；

④医院拟于放疗科入口醒目位置张贴电离辐射警告标志，提醒周围无关人员；

⑤机房迷道内入口处设计有固定式辐射剂量监测仪并设有异常情况下报警功能，显示单位设在控制室内，用于监测机房内的辐射水平并帮助辐射工作人员判断设备的工作状态；

⑥电缆管线口位于南墙西侧和东侧，避开控制台位置，采用地下“U”型穿墙，电缆沟坑道两侧均采用混凝土填充，并在穿墙管线入口及出口处进行屏蔽补充。防护门与四周墙壁均存在搭接，搭接宽度与缝隙比例均在 10: 1 之上。

以上设计能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021) 中第 6.1.3 款、第 6.2.1 款、第 6.2.2 款、第 6.2.3 款要求。

## 2. 其他防护装置

医院拟为本项目托姆刀机房配置 4 名职业人员，其中医师 1 名、物理师 1 名、技师 2 人，专职负责本项目托姆刀放疗工作，目前人员尚未确定，待人员到位后拟配备个人剂量计 4 支（每人一支，由检测单位配发）、个人剂量报警仪 2 部，并利用辐射监测仪定期进行自主监测，做好记录，以满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条第五款的要求；同时医院拟定期对安全防护设施进行自查，保证正常使用。操作人员应遵守各项操作规程，认真检查安全联锁，保障安全联锁正常运行，在进行放射治疗工作时，须确保有两名及以上操作人员协作，做好当班记录，严格执行交接班制度，密切关注控制台仪器和患者情况，发现异常及时处理，不得擅自离开岗位，在托姆刀试用、调试及检修期间，控制室设人员值守。任何人员未经授权或允许不得进入控制区，工作人员须在确认托姆刀停止出束的情况下方可进入治疗室。以满足《放射治疗辐射安全与防护要求》



(HJ1198-2021) 中第 6.2.3 款 f) 条、7.1 款~第 7.3 款要求。

### 3. 空间、通风设计

本项目托姆刀治疗室面积为 64.35m<sup>2</sup>，能够确保设备的临床应用需求；治疗室内设计有强制排风系统，设计有 2 处进风口和 2 处排风口，其中进风口位于治疗室顶部西北侧和西南侧，尺寸约 40cm×40cm，排风口位于治疗室东北侧和东南侧，尺寸约 40cm×40cm，距地面 30cm，进风口和排风口位置满足“上进下出，对角布置”的原则。进风管道和排风管道穿墙方式均为“Z”型，可保证屏蔽墙体的防护能力，排风口与楼内排风管道相连，将运行期间产生的有害气体排至大楼外部环境，有效通风量为 2000m<sup>3</sup>/h，本项目托姆刀治疗室+迷道净容积约 443.7m<sup>3</sup>，排风次数大于 4 次/h，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021) 中第 8.4.1 款规定。进风口和排风口位置见附图 11。

## 12.2.3 三废的治理

### 1. 非放射性气体

托姆刀运行过程中产生少量臭氧、氮氧化物，机房设有通风系统，通风次数大于 4 次/h，可明显降低非放射性有害气体的浓度，机房内产生的臭氧及氮氧化物最终通过排风管道排至医疗综合楼西北侧医院内空地，非人员密集区，不会对周围环境和人员产生影响。

### 2. 放射性废水

托姆刀运行过程产生的循环冷却水具有放射性，冷却水中被活化的而形成的放射性核素主要为<sup>15</sup>O、<sup>16</sup>N，它们的半衰期分别为2.1min和7.3s，半衰期很短，在在放置30天以上，待其活度满足GBZ18871-2002规定的一次排放限值后，可按照一般废水处理，排入医院污水处理站，预处理后经市政污水管网排入城市污水处理厂处理。

### 3. 放射性固体废物

本项目托姆刀冷却水循环系统使用蒸馏水，无废离子交换树脂产生。托姆刀靶、准直器及束流阻止器等部件更换或退役时作为放射性固体废物处置，待其产生时不于医院内暂存，直接交由具有放射性废物处置资质的单位处置。

## 12.3 运行阶段环境影响分析

本次评价采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范-第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T201.2-2011) 中推荐公式进行理论计算的方式评估托姆刀运行后产生的 X 射线对周围环境的影响，依据 GBZ/T201.2-2011 中附录 D.2 “螺旋断层加速器放射治疗装置与机房屏蔽示例” 进行托姆刀机房辐射屏蔽效果估算与评价。

### 12.3.1 辐射屏蔽效果估算与评价

## 一、技术参数及估算重点

### 1. 技术参数

估算时采用托姆刀在最大工作负荷时的参数，详见表 12-3。

表 12-3 托姆刀最大工作负荷参数

序号	项目	指标内容
1	X 射线能量最大标称值	6MV
2	成像射线能量	3.5MV
3	源轴距 (SAD)	85cm
4	最大输出剂量率	850cGy/min
5	最大照射野	40cm×5cm
6	等中心高度	1130mm
7	X 射线泄漏率	≤0.25%

托姆刀成像射线能量为 3.5MV，其穿透能力低于治疗射束，本次以托姆刀最高标称能量、最大输出剂量率、最大照射野等参数进行估算。

### 2. 屏蔽墙厚度估算

根据 GBZT201.2-2011 中 D.2 示例说明，在托姆刀机架旋转治疗筒内，有用束对应的筒壁区带有 13cm 的铅板，由于其和治疗筒结构件的总屏蔽效能，使有用束对应的治疗筒外的辐射剂量与泄漏辐射相当。在治疗室屏蔽估算时，忽略患者散射辐射，按屏蔽泄漏辐射考虑机房屏蔽。对有用线束直接投射的区域，也按屏蔽泄漏辐射考虑。

### 3. TVL (什值层)

①采用密度为  $2.35\text{t/m}^3$  的普通混凝土屏蔽时，6MV X 射线主射线束和次级射线的什值层厚度如下：

泄漏辐射：TVL<sub>1</sub> 为 34cm，TVL 为 29cm (依据 GBZ/T201.1-2007 附录 B 表 B.1)；

此外，采用铅板屏蔽时，6MV X 射线泄漏辐射及散射辐射的什值层厚度如下：

泄漏辐射：铅的 TVL=45.0mm (依据《辐射源室屏蔽设计与评价》表 3.1)；

散射辐射：铅的 TVL=0.5cm (依据 GBZ/T201.2-2011 第 5.2.6.1 部分式 (13) 注释)。

### 4. 调强放射治疗特点

与常规治疗模式相比，具备以下特点：(1) 等中心点的输出剂量率相当；(2) 分区域针对性照射，照射野较小；(3) 每野次出束时间较短，照射野次增多；(4) 每次放疗总出束时间较普通放疗要多。

## 二、屏蔽墙体及室顶估算

托姆刀屏蔽估算采用 GBZ/T201.2-2011 中推荐公式，按照剂量率估算屏蔽厚度，公式见式 10-1 至式 10-3，具体见 10.3.1 小节，本小节不再列出。

本次评价选取机房屏蔽墙、室顶外 30cm 处的 a、b、c、d、e、l 关注点进行估算，o 为等中心点，o<sub>1</sub>、o<sub>2</sub>、o<sub>3</sub>、o<sub>4</sub> 点为朝不同方向照射时的靶点位置，托姆刀机房估算关注点分布见图 12-2 及图 12-3。

本项目托姆刀机房内等中心点距地面最大高度 1.130m，距东墙、西墙均为 3.575m，距迷道内墙为 6.37m，距南墙（迷道外墙）10.27m，距北墙 2.63m，距室顶为 4.22m。

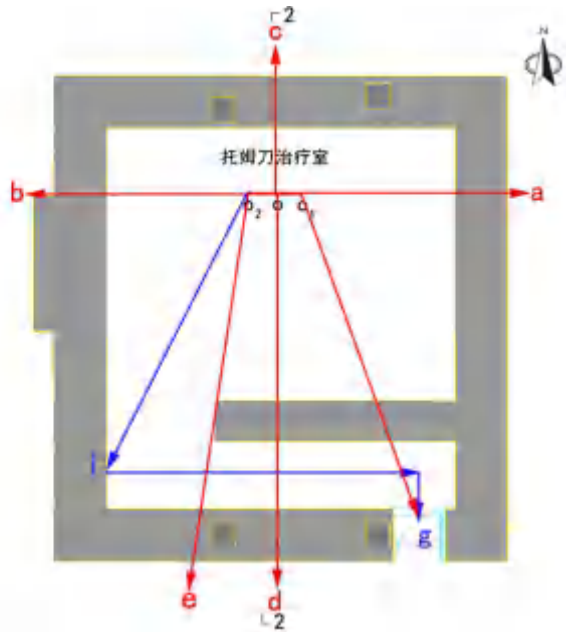


图 12-2 托姆刀机房平面关注点及辐射路径示意图

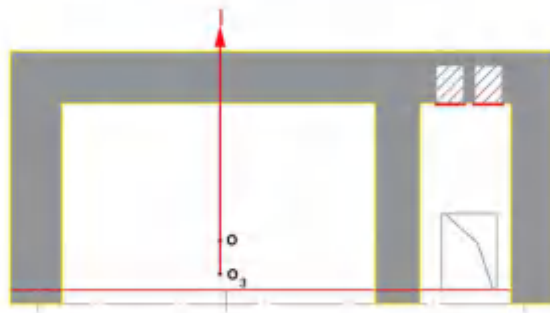


图 12-3 托姆刀机房剖面关注点及辐射路径示意图（2-2 剖面）

本项目托姆刀主要采用调强放射治疗模式，该模式下输出剂量率不变，本次采用托姆刀给出参数估算其泄漏剂量率。根据 GBZ/T201.2-2011 附录 D.2.3.3，距靶点 1m 处最大输出剂量率  $\dot{H}_0 = 850 \times 60 \times 0.85^2 \times 10^{-2} \times 10^6 \approx 3.68 \times 10^8 \mu\text{Sv/h}$ ，X 射线泄漏率为 0.25%，则泄漏剂量率为  $9.20 \times 10^5 \mu\text{Sv/h}$ 。

根据公式 10-1 至公式 10-3 估算，托姆刀机房各屏蔽墙体外 30cm 关注点处辐射剂量

率预测结果如下表所示。

表 12-4 托姆刀机房各屏蔽墙体外关注点估算结果

路径	屏蔽墙	泄漏辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	有效屏蔽层厚度 (cm)	至墙外 30cm 处距离 d (m)	墙外 30cm 处剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	剂量率参考控制水平 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	是否合格
$o_2$ -a	东墙	$9.20 \times 10^5$	150	6.225	0.24	2.5	是
$o_1$ -b	西墙	$9.20 \times 10^5$	220	6.925	$7.40 \times 10^{-4}$	2.5	是
$o$ -c	北墙	$9.20 \times 10^5$	150	4.43	0.47	2.5	是
$o$ -d	迷道内墙+ 迷道外墙	$9.20 \times 10^5$	260	11.87	$1.05 \times 10^{-5}$	2.5	是
$o_2$ -e	迷道外墙	$9.20 \times 10^5$	131	11.88	0.29	2.5	是
$o_3$ -l	室顶	$9.20 \times 10^5$	150	6.87	0.19	2.5	是

注：1. 混凝土  $\text{TVL}_1$  为 34cm，TVL 为 29cm；

2. 西墙保守按照较薄区域厚度 220cm 计算。

根据表 12-4 可知，本项目托姆刀机房四周屏蔽墙和室顶外各关注点的辐射剂量率最大为  $0.47 \mu\text{Sv/h}$ ，均低于  $2.5 \mu\text{Sv/h}$  的剂量率参考控制水平。

### 三、防护门估算与评价

#### 1. 迷道入口 (g 点, 防护门内) X 射线的辐射路径

参照标准 GBZ/T201.2-2011，在托姆刀治疗室屏蔽估算时，忽略患者散射辐射，按屏蔽泄漏辐射考虑机房屏蔽，则机房迷道入口 (g) 点辐射路径为：

(1) 泄漏辐射入射至 i 墙的辐射散射至 g 点处的辐射 ( $o_2$ -i-g)；

(2) 泄漏辐射穿过迷道内墙， $o_1$  位置穿过迷道内墙的泄漏辐射在 g 处的剂量率 ( $o_1$ -g 路径)。

#### 2. 迷道入口 (g 点) 辐射剂量率估算

(1) 采用 GBZ/T201.1-2007 中公式进行估算，见公式 12-1。

$$H = \frac{f \cdot H_0 \cdot A \cdot \alpha_w}{R_L^2 \cdot R_2^2} \quad (12-1)$$

式中：

$H$ —计算点 g 处辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$H_0$ —距靶 1m 处的辐射剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ，取  $3.68 \times 10^8 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ；

$f$ —托姆刀的泄漏辐射比率，为 0.25%；

$A$ —i 处的散射面积，i 处取  $13.91\text{m}^2$  ( $2.6\text{m} \times 5.35\text{m}$ )；

$\alpha_w$ —散射体的散射因子，单位面积 ( $1\text{m}^2$ ) 散射体散射至距其 1m 处的散射辐射剂量率

与该面积上的入射辐射剂量率的比。 $\alpha_w$ 与入射角和反射角有关，本次评价按 $45^\circ$ 入射辐射在混凝土散射体上考虑，根据GBZ/T201.2-2011附表B.5查得6MV、 $45^\circ$ 的 $\alpha_w$ 为 $7.3 \times 10^{-3}$ ；

$R_L$ —泄漏辐射始点至散射体中心点的距离，取9.37m；

$R$ —散射体中心点至计算点的距离，取7.15m。

经计算， $o_2$ -i-g路径在g处辐射剂量率为 $20.81 \mu\text{Sv/h}$ 。

(2)  $o_1$ -g路径在g点的泄漏辐射剂量率

按照GBZ/T201.2-2011给出的公式（公式10-1~公式10-3），计算 $o_1$ -g路径的泄漏辐射（泄漏辐射穿过迷道内墙，到达迷道入口处的辐射）。经计算， $o_1$ -g路径在g处的辐射剂量率为 $0.32 \mu\text{Sv/h}$ （ $o_1$ -g路径约9.37m，迷道内墙有效屏蔽厚度136cm）。

3. 防护门外的辐射剂量率

$o_1$ -g路径的泄漏辐射在迷路入口g处的剂量率经防护门屏蔽后防护门外的辐射剂量率为 $0.32 \times 10^{-(1.0/0.45)} \approx 1.92 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$ 。

防护门外的辐射剂量率按公式10-12计算，经计算，防护门外的辐射剂量率约为 $20.81 \times 10^{-(1.0/0.5)} + 1.92 \times 10^{-3} \approx 0.21 \mu\text{Sv/h}$ ，低于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的剂量率参考控制水平。

综上所述，托姆刀治疗室四周屏蔽墙、室顶、防护门外各关注点的剂量率均能满足 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的剂量率参考控制水平要求，说明本项目托姆刀机房防护门、四周墙壁、室顶的屏蔽设计均可以满足辐射防护要求。

4. 通风口和电缆管线口外辐射水平分析

本项目托姆刀机房进风口和排风口均采用“Z”型穿墙方式，在“Z”型通风管道处射线至少经过3次散射，每次散射剂量率减小1~2个数量级，电缆管线口均采用地下“U”型穿墙，且进行屏蔽补偿，因此通风口和电缆管线口不会影响墙体的屏蔽效果，预计通风口和电缆管线口外剂量率可低于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的限值。

5. 天空反散射及侧散射

根据上述计算可知，本项目托姆刀机房室顶外剂量率仅为 $0.19 \mu\text{Sv/h}$ ，低于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的限值，因此本次不再考虑天空反散射影响。托姆刀机房周围评价范围内无高层建筑，因此不再考虑侧散射影响。

### 12.3.2 年有效剂量

1. 年有效剂量估算公式、居留因子选取

根据工作负荷对职业人员辐射年有效剂量进行理论估算，估算公式见式10-13，居留因

子参照《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021), 见表 10-16。

## 2. 照射时间及利用因子

根据医院规划, 拟为托姆刀机房配置 4 名职业人员, 其中医生 1 名、物理师 1 名, 技师 2 名, 专职负责托姆刀治疗操作。

根据医院提供的资料, 预计本项目托姆刀每天最多开展放射治疗约 30 人次, 采用调强治疗模式, 每人最大照射时间按照 6min 考虑, 职业人员参与全部工作, 每年开展 250 天, 则年最大照射时间为 750h。

主射束 360° 旋转, 治疗床同步移动, 因此东、西、上、下方向利用因子均取 25%, 南、北受漏射及散射影响, 方向利用因子均为 1。

## 3. 职业人员年有效剂量

托姆刀治疗室周围对职业人员的影响区域主要在治疗室东侧的模具室等及南侧控制室等处, 本次评价保守按照东墙及南墙外辐射剂量率最大值 $0.29 \mu\text{Sv/h}$ 计算, 方向利用因子保守取 1, 居留因子取 1, 则职业人员年有效剂量为 $0.29 \times 750 \times 1 \times 1 \div 1000 \approx 0.22\text{mSv/a}$ 。由于本项目加速器机房 2 与托姆刀机房相邻, 因此职业人员在托姆刀治疗室内进行摆位时, 还同时受加速器机房 2 内的加速器影响, 摆位人员活动区域位于加速器机房 2 主屏蔽区外, 根据上文表 10-3 及表 10-5 可知, 加速器机房 2 东墙主屏蔽区外剂量率最大为 $1.19 \mu\text{Sv/h}$ , 进行托姆刀放射治疗的每名患者摆位时间为 2min, 则托姆刀治疗室内的职业人员摆位时受加速器照射时间最大为 $30 \times 250 \times 2 \div 60 = 250\text{h/a}$ , 居留因子为 1, 加速器机房 2 东墙主屏蔽区外利用因子为 10%, 则托姆刀机房职业人员在摆位时受加速器的附加剂量最大为 $1.19 \times 250 \times 1 \times 10\% \div 1000 \approx 0.03\text{mSv}$ , 综上所述, 本项目托姆刀职业人员年有效剂量为 $0.22 + 0.03 = 0.25\text{mSv}$ , 低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 的 $20\text{mSv}$ 的年有效剂量限值, 也低于本报告提出的 $5\text{mSv}$ 的年管理剂量约束值。

## 4. 公众成员年有效剂量

本项目托姆刀机房周围公众成员年有效剂量详见表 12-5。

表 12-5 托姆刀机房周围公众成员附加年有效剂量一览表

位置	对应区域场所名称	剂量率最大值 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	照射时间	居留因子 (T)	利用因子	年有效剂量 ( $\text{mSv/a}$ )
治疗室室顶外	地下停车场	0.19	750	1/40	25%	$8.91 \times 10^{-4}$
治疗室东墙外	服务器机房	0.24	750	1/20	25%	$2.25 \times 10^{-3}$
治疗室南墙外	服务器机房、设备间	0.29	750	1/20	1	0.011
治疗室西墙外	加速器机房 2	$7.40 \times 10^{-4}$	750	1/8	25%	$1.73 \times 10^{-5}$
防护门外	等候室	0.21	750	1/8	1	0.02

根据表 12-5 可知，本项目托姆刀机房周围公众年有效剂量最大为 0.02mSv，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的 1mSv 的年有效剂量限值，也低于本报告提出的 0.1mSv 的年管理剂量约束值。

综上所述，在加强日常管理情况下，本项目职业人员及公众成员所接受的年有效剂量均满足本次评价提出的管理剂量约束值，满足国家有关要求。

### 12.3.3 三废环境影响分析

#### 1. 废气环境影响分析

在托姆刀开机运行时，产生的X射线与空气相互作用可产生少量臭氧和氮氧化物。对于臭氧和氮氧化物，主要危害是臭氧，臭氧的产额比氮氧化物高一个量级，只要臭氧能够达到标准，氮氧化物也能达标，因而本报告只考虑臭氧。

机房内空气中产生的非放射性有害气体主要靠通风换气来控制。本项目托姆刀机房设计有强制排风系统，设计排风量为 2000m<sup>3</sup>/h，治疗室净容积约 443.7m<sup>3</sup>，换气次数大于 4 次/h，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)中第 8.4.1 款规定，产生的非放射性有害气体对周围环境影响较小。

#### 2. 放射性废水环境影响分析

托姆刀系统中设计有冷却水循环系统，共设两个水箱，分别为外循环水箱和内循环水箱，水箱容积分别为 150L、20L，冷却基本工艺流程如下：在水泵的作用下，冷却水打向托姆刀管及靶冷却器，带走热量流向散热器，散热后进入水过滤器，经过滤后流向水箱，完成循环。冷却水中被活化的而形成的放射性核素主要为 <sup>15</sup>O、<sup>16</sup>N，它们的半衰期分别为 2.1min 和 7.3s，半衰期很短，在放置 30 天以上，待其活度衰减至 GB18871-2002 规定的一次排放限值后按照医院一般废水进行处理。经核实，医院拟外购蒸馏水作为冷却水，日常工作状态下冷却水循环使用，仅设备检修等特殊情况下产生，产生量较少，因此本项目产生的废水不会对周围环境产生影响。

#### 3. 固体废物环境影响分析

本项目托姆刀冷却水循环系统使用蒸馏水，无废离子交换树脂产生。托姆刀靶、准直器及束流阻止器等部件更换或退役时作为放射性固体废物处置，待其产生时不于医院内暂存，直接交由具有放射性废物处置资质的单位处置。

## 12.4 事故影响分析

### 12.4.1 风险识别

1. 门-机联锁装置发生故障情况下，人员误入正在运行的机房而造成 X 射线误照射；

2. 工作人员或病人家属在防护门关闭后尚未撤离机房，托姆刀运行，会对工作人员或病人家属产生不必要的 X 射线照射；

3. 工作人员在机房内进行准备工作，控制台处操作人员误开机出束，发生事故性出束，对工作人员造成辐射伤害；

4. 托姆刀控制系统出现故障，照射治疗不能停止，病人受到计划外照射；

5. 维修期间的事故，托姆刀维修工程师在检修期间误开机出束，造成辐射伤害。

#### 12.4.2 风险防范措施

1. 制定自检制度，且严格进行经常性自查，如发现门-机联锁装置、电视监视及对讲装置、工作状态指示灯、电离辐射警告标志不够完善或失灵，以及防护门出现故障，应立即补充和修复。定期进行门-机联锁装置、工作状态指示灯检查，防止人员误入；

2. 加强人员培训，制定规范的操作规程并落实；

3. 制定完善的操作规范，对操作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，实施照射前控制台工作人员应先观察监控确保机房内无关人员已撤出；

4. 做好设备保养维护工作，定期对设备开展维护维修；

5. 医院应联系有维修资质的人员前来对设备进行维护，不得私自拆卸维修托姆刀。



## 表 13 核医学工作场所环境影响分析

### 13.1 项目工程分析与源项

#### 13.1.1 工程设备和工艺分析

本项目地下三层核医学工作场所涉及 6 种核素的应用，分别为  $^{99m}\text{Tc}$ 、 $^{18}\text{F}$ 、 $^{89}\text{Sr}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$ ，其中核素  $^{99m}\text{Tc}$  依托 SPECT-CT 开展诊断工作，核素  $^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$  依托 PET-CT 或 PET-MR 开展诊断工作。地下二层核医学工作场所涉及核素  $^{131}\text{I}$  的应用。

#### 1. 核素制备区域（回旋加速器中心）简介

##### (1) 回旋加速器结构

回旋加速器主要由磁场系统、高频系统、离子源系统、真空系统、引出系统、靶系统、冷却系统、控制系统等组成。

回旋加速器系统基本组成见图 13-1。

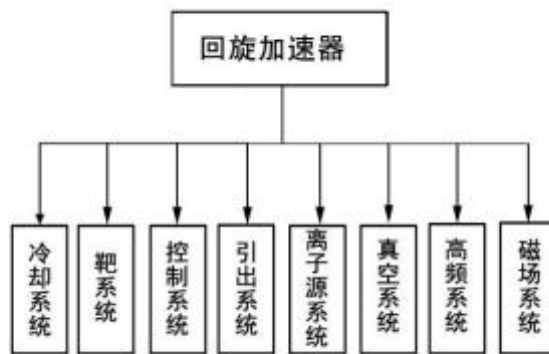


图 13-1 回旋加速器系统基本组成

##### ① 磁场系统

磁场系统包括上下磁轭、磁场线圈、磁场电源等。在维修时，上磁轭可用液压装置将其打开。磁场靠安装在上下磁轭之间线圈上的电流获得能量。线圈由连续的铜片组成，线圈的这种组成方法使得线圈内产生的热量可通过线圈外冷却水的传导而排出，这样就不必要应用中通冷却水的磁场线圈。每一磁场极含有 4 个磁峭，临近磁峭之间的区域称之为磁谷，加速的束流在到达提取半径的路径中交替经过磁峭与磁谷确定的强和弱的磁场。当束流通过每一次磁峭区域时，由于强磁场的影响，束流轨迹近似为圆形；然而在磁谷区域时，束流轨迹接近于笔直的路径向下一个磁峭区。这交替的磁场（方位角变化的）对束流粒子在加速的中心层面提供了强的聚焦力，这些强的聚焦力引导粒子返回中心层面，产生高的束流引出效率。

##### ② 高频（RF）系统

高频系统作用是对“D”盒结构提供一个交替的高电压用以加速 H<sup>-</sup> 离子。“D”盒结

构为径向的扇形小腔体，束流每一圈经过 2 个“D”盒各一次，得到 2 次加速。束流以这种方式得到能量，其轨道半径也逐渐增加。当向提取半径方向加速时，束流的轨迹被描述为准螺旋形。当束流提取到达提取半径时，其能量也将达到预定能量。射频系统包括初级放大器、中级放大器、末级放大器、频率合成器、耦合器，以及相应的控制和检测电路，随着温度的变化，频率也不断且自动地受 RF 控制元件调整以维持共振。

### ③离子源系统

回旋加速器的离子源系统是垂直安装在真空内部的潘宁离子源（PIG离子源）。离子源的机械安装与更换仅在维修中进行，在正常操作中不需要进行调试或干预性操作。离子源有 2 个位于中心层面上下的钽电极，1 个中空的位于两个阴极之间圆柱型阳极。氢气分子电离产生等离子体，偏压下提取出氢负离子，进入加速区域，不断得到能量，直到达到需要的能量并被引出。

### ④真空系统

真空系统包括磁轭之间的真空仓，用于抽气的泵，仪表和控制部分。真空仪表和控制部分用于监测仓室的压力及在系统出现故障时对仪器起到保护作用。真空仓连续不断的抽取以排除来源于离子源及真空室内表面的气体。真空系统通常要求每天 24 小时不停的工作以保证真空仓内残留的气体达到最小，加速器的性能最优化，这将有利于提高离子的提取效率，减少加速器内部的活化。真空泵分为两种：机械泵用于初级真空的获得，扩散泵用于高真空的获得。当维修时或有提前通知停电时，需要手动关闭真空系统，此时需要先关闭扩散泵，等冷却后才能关机械泵。

### ⑤束流引出系统

引出系统的作用主要是将加速器加速到一定能量的束流靶体上，与相应原料发生核反应。现代很多回旋加速器都使用 H 离子源，因此，引出系统相对简单。这种引出系统仅使用一块很薄的碳膜（微米量级），当 H 经过碳膜时，H 中 2 个电子被剥离，是束流从负离子变成正离子 H<sup>+</sup>，结果使其受到的磁场作用力相反，带正电荷的束流偏向预定的出口并轰击靶体。Qilin 加速器支持双束流引出，可服务于多达 6 个靶位。

### ⑥靶系统

回旋加速器的靶系统包括准直器、装靶接口和对应靶体支持单元。循环的冷却水和氦气，通过换靶装置流动，用于排除靶内的热量。靶支持单元模块安装在加速器旁的橱柜内，这些模块含有使用每个靶所必需的控制与检测仪器、用于轰击的原材料传输、阀门等。

### ⑦冷却系统

加速器运行中产生的热量有三种方式加以排出，第一种是用 He 冷，第二种是水冷，第三种是风冷。在回旋加速器中，对靶窗的冷却采用 He 冷却，而对其他很多系统产生的热量，如：磁体、D 盒、真空泵、离子源等，则采用水冷却。风冷则主要使用在一些不方便或者不能使用水冷却的系统，如高频以及集成电路板等。

### (2) 回旋加速器工作原理

回旋加速器是由一个具有高度真空的对称分成两侧的 D 型盒组成。D 型盒放入高场强的直流磁极之间，两侧 D 型盒加上交流高频高压。被加速带电离子如质子和氦核从两侧 D 型盒中心注入，在磁场作用下，带电离子作圆周运动。当离子在一侧加速到最大速度时改变磁场方向使离子到磁场另一侧 D 型盒中被加速。离子每通过两侧 D 型盒一次，能量得到增加，同时运动轨道半径随之加大。经过许多圈的加速离子达到所要求的能量并被处理后去轰击靶产生放射性同位素。回旋加速器经特殊设计，粒子在运行一周中被加速四次。

回旋加速器工作原理如下图所示。

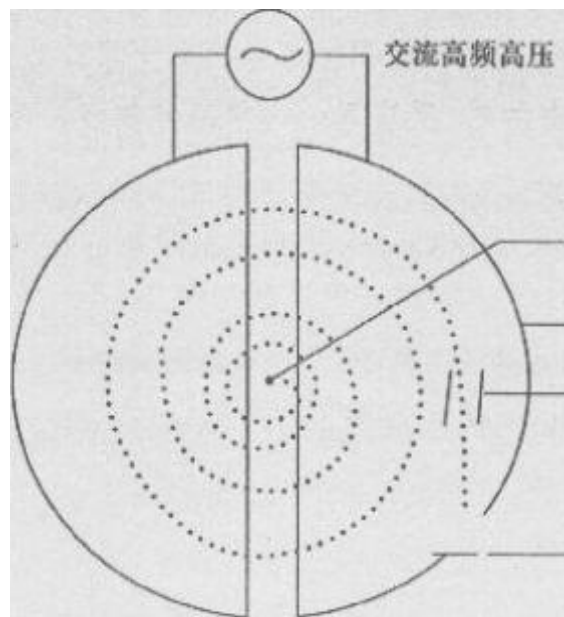


图 13-2 回旋加速器工作原理

### (3) 工作流程

正电子放射性核素  $^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$  制备工作流程如下：

①根据预约的病人量和就诊病人情况选择靶材及综合制剂单位，进行放射性同位素生产前的物料准备；

②在回旋加速器开机前，工作人员先进入机房进行巡视，确保机房内无人及各个环节准备（靶物质、冷却系统、通风系统等）就绪后，关闭回旋加速器室防护门，进入回旋加速器控制室内开启回旋加速器；

③回旋加速器由自动控制的加液泵经小孔径管道将液态靶物质装载于靶中（液态靶物

质无放射特性)，设定制备条件，轰击不同靶位一定时间（视核素种类和所需制备量而定）生成所需核素后，通过靶产物传输管道进入放化合成室内进行化学合成，自动分装或活度计中直接测定活度，并用水和氦气将回旋加速器管道吹干。以上整个过程（包括加速器打靶及化学合成）为全自动控制，无需工作人员进入回旋加速器室内，仅在控制室监控整个过程的执行情况；

④化学合成、分装后进入全检质控室检验（主要为观察药物的澄明度，测量其 pH 值，再检测其放射化学纯度），待检验合格后，制备的药物转入铅罐经由专用药物通道进入西侧 PET 区域的质控室。

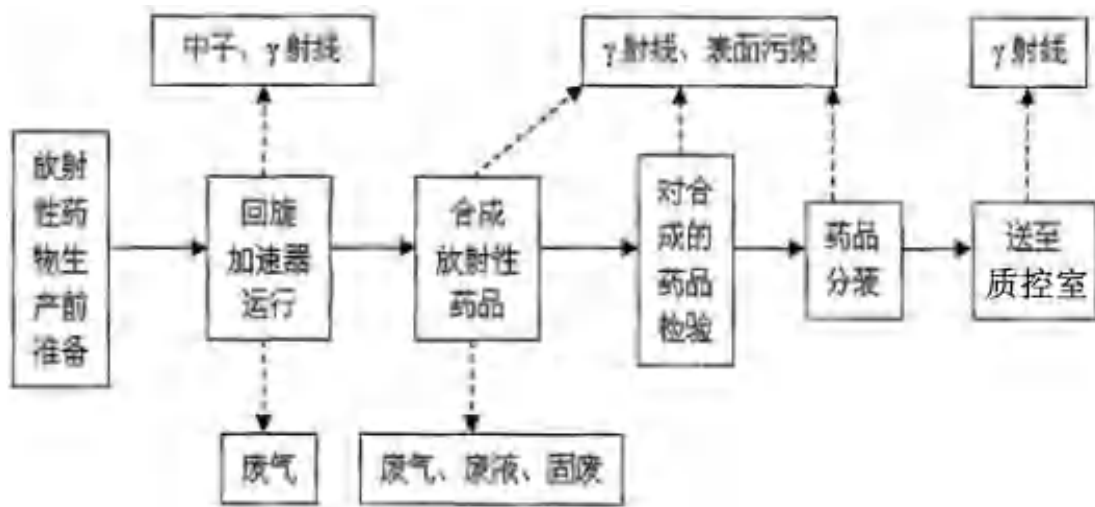


图 13-3 回旋加速器生产放射性核素的工艺流程及产污环节图

#### (4) 核素特性及制备剂量

##### ①核素制备剂量

根据生产厂家提供资料，Qilin 型回旋加速器系统生产能力见表 13-1 所示。

表 13-1 Qilin 型回旋加速器生产能力一览表

核素种类	靶物质名称	制备时束流强度 (μA)	质子能量 (MeV)	最大生产能力 (mCi/min)
<sup>18</sup> F	铌靶	70	9.6	3500mCi/120min
<sup>11</sup> C	铝靶	35	9.6	900mCi/30min
<sup>13</sup> N	银靶	35	9.6	75mCi/25min
<sup>15</sup> O	铝靶	35	9.6	75mCi/25min

本项目回旋加速器中心按核医学科需求量进行核素制备，按全年 50 周计，回旋加速器制备 <sup>18</sup>F 时每周开机 5 天，每天开机 1 次，每日最大制备量  $7.4 \times 10^9$ Bq (200mCi)，年最大制备量为  $1.85 \times 10^{12}$ Bq (50Ci)；<sup>11</sup>C、<sup>13</sup>N、<sup>15</sup>O 每周各开机 1 天，每天均开机 1 次，每日最大制备量均为  $3.8 \times 10^8$ Bq (10mCi)，年最大制备量均为  $1.85 \times 10^{10}$ Bq (500mCi)。

表 13-2 本项目回旋加速器制备核素生产计划一览表

序号	核素	日制备核素量	制备次数	年制备次数	年制备核素量
1	<sup>18</sup> F	7.4×10 <sup>9</sup> Bq (200mCi)	5 次/周	250	1.85×10 <sup>12</sup> Bq (50Ci)
2	<sup>11</sup> C	3.7×10 <sup>8</sup> Bq (10mCi)	1 次/周	50	1.85×10 <sup>10</sup> Bq (500mCi)
3	<sup>13</sup> N	3.7×10 <sup>8</sup> Bq (10mCi)	1 次/周	50	1.85×10 <sup>10</sup> Bq (500mCi)
4	<sup>15</sup> O	3.7×10 <sup>8</sup> Bq (10mCi)	1 次/周	50	1.85×10 <sup>10</sup> Bq (500mCi)

注：每年按 50 周计。

②放射性核素特性

正电子放射性核素<sup>18</sup>F、<sup>11</sup>C、<sup>13</sup>N、<sup>15</sup>O自然衰变过程为β<sup>+</sup>辐射，β<sup>+</sup>粒子在自然界中不能长时间独立存在，很快会与原子中轨道电子结合发生湮灭反应，同时释放出2个能量相同(0.511MeV)、方向相反的γ光子，即γ射线，γ射线对周围环境产生外照射辐射影响。

核素<sup>18</sup>F、<sup>11</sup>C、<sup>13</sup>N、<sup>15</sup>O自然衰变过程为β纯辐射，β射线在空气及人体组织中射程均较短，不会对周围环境产生外照射辐射污染，但β<sup>+</sup>粒子发生湮灭反应后产生的γ光子将会对周围环境产生外照射影响。正电子发射及其湮灭图见图13-4。

正电子放射性核素<sup>18</sup>F、<sup>11</sup>C、<sup>13</sup>N、<sup>15</sup>O的最大特点是半衰期较短。放射性核素<sup>18</sup>F的半衰期最长，仅109.8min，放射性核素<sup>15</sup>O的半衰期最短，约2分钟。正电子放射性核素的湮灭光子能量为0.511MeV，<sup>18</sup>F的γ射线照射量常数为0.58 R·m<sup>2</sup>/h·Ci；<sup>13</sup>N、<sup>11</sup>C、<sup>15</sup>O的γ射线照射量常数为0.6R·m<sup>2</sup>/h·Ci。

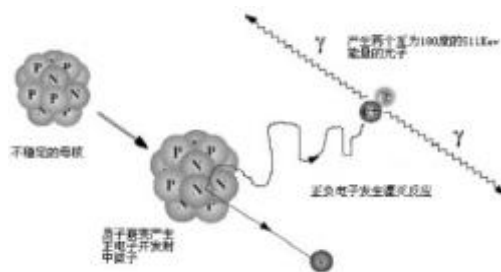


图 13-4 正电子发射及其湮灭简图

正电子放射性核素<sup>18</sup>F、<sup>11</sup>C、<sup>13</sup>N、<sup>15</sup>O的物理特性如表 13-3 所示。

表 13-3 回旋加速器生产正电子放射性核素的特性

核素	衰变类型	半衰期	最大电子能量 (MeV)	最大射程 (mm)	平均射程 (mm)
<sup>18</sup> F	β <sup>+</sup> 、EC	109.8min	0.63	2.4	0.22
<sup>11</sup> C	β <sup>+</sup> 、EC	20.40min	0.96	5.0	0.28
<sup>13</sup> N	β <sup>+</sup>	10.0min	1.19	5.4	0.62
<sup>15</sup> O	β <sup>+</sup> 、EC	2.1min	1.72	8.2	1.10

2. 核素使用区域简介

## 1) 核素使用流程及用量

### (1) 核素使用流程

#### ①<sup>99m</sup>Tc 订购

本项目<sup>99m</sup>Tc由<sup>99</sup>Mo-<sup>99m</sup>Tc发生器制取，<sup>99</sup>Mo-<sup>99m</sup>Tc发生器拟由专业厂家供应，直接送至医疗综合楼地下三层核医学 SPECT 区域储源间内贮存。进行诊疗前，医护人员将<sup>99</sup>Mo-<sup>99m</sup>Tc发生器转移至储源间北侧质控室内，在质控室手套箱内制取<sup>99m</sup>Tc后根据患者用量进行分装，于注射窗口对患者进行注射，注射后患者根据就诊类型于注射后候诊室等候，依托 SPECT-CT 诊断后无异常可直接离开。

#### ②<sup>89</sup>Sr 订购

本项目<sup>89</sup>Sr拟由专业厂家供应，医院拟直接订购分装好的药品，药品装于铅罐中，直接送至医疗综合楼地下三层核医学科 SPECT 区域质控室手套箱内贮存。医护人员在手套箱内取药，于注射窗口处对患者进行注射，注射后患者无异常可直接离开。

#### ③<sup>18</sup>F、<sup>11</sup>C、<sup>13</sup>N、<sup>15</sup>O 订购

本项目核素<sup>18</sup>F、<sup>11</sup>C、<sup>13</sup>N、<sup>15</sup>O在回旋加速器中心制备分装好后，由专用药物传输管道传送至 PET 区域质控室药物储存柜中，职业人员在药物储存柜中取药，于注射窗口对患者进行注射，注射后患者根据疾病类型于注射后候诊室休息一定时间，依托 PET-CT 或 PET-MR 诊断后无异常可直接离开。

#### ④<sup>131</sup>I 订购

本项目<sup>131</sup>I拟由专业厂家供应，用于开展甲亢、甲癌治疗的药品拟放于铅罐中，于治疗当天送至医疗综合楼地下二层质控室的手套箱内贮存，医护人员将铅罐由手套箱转移到碘全自动分装仪内，于监控室内操作计算机设定样品的分配活度、体积及计划使用时间，系统自动完成放射性原液的稀释、定量分配、在线活度测量和样品体积配比的工作，医护人员操作碘全自动分装仪将药物分装到预先放置的一次性杯子，通过对讲系统指导患者通过服药窗拿取药物后口服。甲亢患者服药后无异常可直接离开；甲癌患者服药后进入甲癌患者病房住院，根据医院实际情况，甲癌患者一般在住院 4 天后进行 SPECT-CT 检查，无异常可直接离开。

### (2) 核素使用方案

根据医院提供材料，本项目核素使用方案如下所示：

#### ①<sup>99m</sup>Tc 诊断

据医院提供材料，<sup>99</sup>Mo-<sup>99m</sup>Tc发生器规格为 400mCi，本项目<sup>99m</sup>Tc诊断每日最多 20 人，每人最大用量  $7.40 \times 10^8 \text{Bq}$  (20mCi)，则日最大使用量为  $1.48 \times 10^{10} \text{Bq}$  (400mCi)，每周开

展 5 天，每年按 50 周计，全年开展 5000 人次诊断，则年最大使用量为  $3.7 \times 10^{12}$ Bq (100Ci)。本项目注射  $^{99m}\text{Tc}$  患者诊断工作依托 SPECT-CT 开展。

### ② $^{89}\text{Sr}$ 治疗

本项目  $^{89}\text{Sr}$  治疗患者每日最多 5 人，每人最大用量  $1.85 \times 10^8$ Bq (5mCi)，则日最大使用量为  $9.25 \times 10^8$ Bq (25mCi)，每周最多开展 1 天，每年开展 50 周，全年最多开展 250 人次治疗，则年最大使用量  $4.625 \times 10^{10}$ Bq (1.25Ci)。

### ③ $^{18}\text{F}$ 诊断

本项目  $^{18}\text{F}$  诊断患者每日最多 20 人， $^{18}\text{F}$  注射量为 0.1mCi/kg，按照患者体重 100kg 保守考虑，即每人最大用量为  $3.7 \times 10^8$ Bq (10mCi)，则日最大使用量为  $7.4 \times 10^9$ Bq (200mCi)，每周开展 5 天，每年按 50 周计，全年开展 5000 人次诊断，则年最大使用量  $1.85 \times 10^{12}$ Bq (50Ci)。注射  $^{18}\text{F}$  患者诊断工作依托 PET-CT 或 PET-MR 开展。

### ④ $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$ 诊断

本项目  $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$  诊断患者每日最多均 1 人，3 种核素患者每人最大用量均为  $3.7 \times 10^8$ Bq (10mCi)，则日最大使用量均为  $3.7 \times 10^8$ Bq (10mCi)，每周均开展 1 天，每年按 50 周计，全年均开展 50 人次诊断，则年最大使用量  $1.85 \times 10^{10}$ Bq (500mCi)。注射  $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$  患者诊断工作依托 PET-CT 或 PET-MR 开展。

### ⑤ $^{131}\text{I}$ 治疗

#### a、甲功测定

经核实，本项目甲功测定每日最多 10 人，每人最大用量  $3.7 \times 10^5$ Bq ( $10 \mu\text{Ci}$ )，每周开展 1 天计算，则日最大使用量为  $3.7 \times 10^6$ Bq (0.1mCi)，每年按 50 周计，全年开展甲功测定 500 人次，则年最大使用量  $1.85 \times 10^8$ Bq (5mCi)。

#### b、甲亢患者治疗

本项目  $^{131}\text{I}$  治疗甲亢患者每日最多 5 人，每人最大用量  $3.7 \times 10^8$ Bq (10mCi)，则日最大使用量为  $1.85 \times 10^9$ Bq (50mCi)，每周开展 1 天，每年按 50 周计，全年开展 250 人次治疗，则年最大使用量  $9.25 \times 10^{10}$ Bq (2.5Ci)。

#### c、甲癌患者治疗

本项目  $^{131}\text{I}$  治疗甲癌患者每日最多 5 人，每人最大用量为  $7.4 \times 10^9$ Bq (200mCi)，则日最大使用量为  $3.7 \times 10^{10}$ Bq (1000mCi)，每周开展 4 天 (其中 2 天每天最多 5 人，1 天最多 4 人，1 天最多 3 人)，每年按 50 周计，全年开展 850 人次治疗，则年最大使用量  $6.29 \times 10^{12}$ Bq (170Ci)。

综上，本项目  $^{131}\text{I}$  日最大使用量为  $3.885 \times 10^{10}$ Bq (1050.1mCi)，年最大使用量为

6.  $3.8 \times 10^{12} \text{Bq}$  (172.505Ci)。

### (3) 门诊安排

根据医院门诊安排，本项目  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{89}\text{Sr}$  患者诊疗时间错开， $^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$  患者诊断时间错开，避免相互影响， $^{131}\text{I}$  治疗场所独立， $^{131}\text{I}$  患者与其他核素患者不存在交叉影响。

本项目各核素使用方案见表 13-4。

表 13-4 本项目各核素使用方案

序号	核素	每人最大用量	日最多诊疗人数	日实际最大操作量	门诊安排	年最多诊疗人数	年最大用量	
1	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$7.40 \times 10^8 \text{Bq}$ (20mCi)	20	$1.48 \times 10^{10} \text{Bq}$ (400mCi)	5 天/周	5000	$3.7 \times 10^{12} \text{Bq}$ (100Ci)	
2	$^{99}\text{Mo}$	$1.48 \times 10^{10} \text{Bq}$ (400mCi)	一天一个	$1.48 \times 10^{10} \text{Bq}$ (400mCi)	5 天/周	250 个	$3.7 \times 10^{12} \text{Bq}$ (100Ci)	
3	$^{89}\text{Sr}$	$1.85 \times 10^8 \text{Bq}$ (5mCi)	5	$9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ (25mCi)	1 天/周	250	$4.625 \times 10^{10} \text{Bq}$ (1.25Ci)	
4	$^{18}\text{F}$	$3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)	20	$7.4 \times 10^9 \text{Bq}$ (200mCi)	5 天/周	5000	$1.85 \times 10^{12} \text{Bq}$ (50Ci)	
5	$^{11}\text{C}$	$3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)	1	$3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)	1 天/周	50	$1.85 \times 10^{10} \text{Bq}$ (500mCi)	
6	$^{13}\text{N}$	$3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)	1	$3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)	1 天/周	50	$1.85 \times 10^{10} \text{Bq}$ (500mCi)	
7	$^{15}\text{O}$	$3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)	1	$3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)	1 天/周	50	$1.85 \times 10^{10} \text{Bq}$ (500mCi)	
8	$^{131}\text{I}$	甲功测定	$3.7 \times 10^5 \text{Bq}$ (10 $\mu\text{Ci}$ )	10	$3.7 \times 10^6 \text{Bq}$ (0.10mCi)	1 天/周	500	$1.85 \times 10^8 \text{Bq}$ (5mCi)
		甲亢	$3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)	5	$1.85 \times 10^9 \text{Bq}$ (50mCi)	1 天/周	250	$9.25 \times 10^{10} \text{Bq}$ (2.5Ci)
		甲癌	$7.4 \times 10^9 \text{Bq}$ (200mCi)	5	$3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$ (1000mCi)	4 天/周	850 <sup>①</sup>	$6.29 \times 10^{12} \text{Bq}$ (170Ci)

注：①：其中 2 天每天最多 5 人，1 天最多 4 人，1 天最多 3 人，每周患者最多 17 人，每年按照 50 周考虑，则甲癌患者每年最多 850 人。

## 2) 放射性核素特性

### (1) $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 特性

本项目使用  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  放射性药物（无色澄明溶液）作为 SPECT-CT 示踪显像剂施行诊断。

$^{99\text{m}}\text{Tc}$  的主要衰变方式是同质异能跃迁，同时发射 0.14MeV 的  $\gamma$  射线，半衰期 6.02h，衰变



图纲见图 13-5。

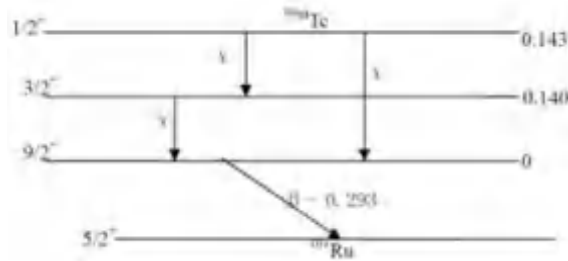


图 13-5  $^{99m}\text{Tc}$ 衰变纲简图

(2)  $^{89}\text{Sr}$  特性

$^{89}\text{Sr}$  发射纯  $\beta$  射线， $\beta$  粒子的平均能量为 0.58MeV，最大能量达 1.49MeV，在组织内的辐射距离约 2.4mm，半衰期为 50.5 天。通过对患者注射  $^{89}\text{Sr}$  药物，利用  $^{89}\text{Sr}$  在体内释放  $\beta$  射线治疗病症。衰变纲图见图 13-6。

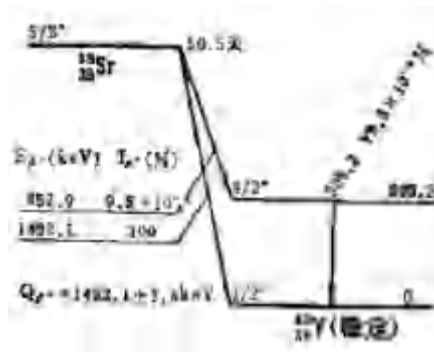


图 13-6  $^{89}\text{Sr}$ 衰变纲图

(3)  $^{131}\text{I}$  特性

$^{131}\text{I}$ 的半衰期为8.04天，衰变方式为 $\beta$ 衰变（ $\beta\%=100$ ），能衰变出多条 $\beta$ 射线，其中分支比最大的是89.2%，能量为606.3keV；还能释放多条 $\gamma$ 射线，其中分支比最大的是81.1%，能量为364.5keV。 $^{131}\text{I}$ 衰变纲图见图13-7。

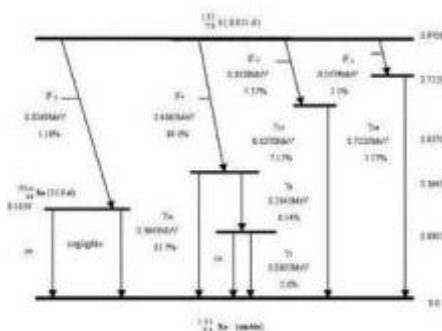


图 13-7  $^{131}\text{I}$ 衰变纲图

(4)  $^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$ 特性见上文“核素制备区域（回旋加速器中心）简介”章节。

3) 核素应用原理

(1)  $^{99m}\text{Tc}$ 、 $^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$ 诊断显像原理

当某种放射性核素或其标记物通过注射、口服等方式进入患者体内后，依其化学及生物学特性不同，随血液等进入某些特定的组织器官，参与或模仿某些生命物质在人体内的病理生理、引流代谢的过程。由于正常组织和病变组织在这个过程中的差异，使其聚集这种放射性核素或其标记物的能力发生了变化。利用发射型计算机断层显像装置来探测这种放射性核素发射的 $\gamma$ 射线在体内的分布状态并还原成图像，其影像不仅显示脏器和病变的位置、形态、大小等解剖结构，也可以显示脏器的功能、代谢情况，提供有关脏器的血流、功能、代谢和引流等方面定性的和定量的信息。

本项目核素 $^{99m}\text{Tc}$ 为发射 $\gamma$ 射线放射性核素，患者注射核素 $^{99m}\text{Tc}$ 后，利用单光子发射计算机断层照相装置（SPECT-CT）显像，该装置采用横向断层扫描，即断层面与人体垂直，将一个或两个 $\gamma$ 照相机探头绕人体轴连续或分度旋转一周，将探头从多角度上得到的连续的二维投影数据重建后得到横断面的图像。

本项目核 $^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$ 为正电子放射性核素，患者注射核素后，利用PET-CT或PET-MR显像。当人体内含含有发射正电子的核素时，正电子在人体中很短的路程内和周围负电子发生湮灭产生的一对 $\gamma$ 光子，这两个 $\gamma$ 光子的运动方向相反，能量均为0.511MeV，用两个位置相对的探测器分别探测两个 $\gamma$ 光子，并进行符合测量即可对人体的脏器成像。

## （2） $^{89}\text{Sr}$ 治疗原理

$^{89}\text{Sr}$ 是一种发射纯 $\beta$ 射线的放射性核素，是目前临床治疗骨肿瘤应用较多的一种放射性药物。放射性核素 $^{89}\text{Sr}$ 治疗为一种姑息治疗，通过静脉注射 $^{89}\text{Sr}$ ，利用 $^{89}\text{Sr}$ 与骨组织高特异性结合，在骨肿瘤部位出现较高的浓集。利用 $^{89}\text{Sr}$ 发射的 $\beta$ 射线对病灶进行照射，达到缓解疼痛、杀伤肿瘤细胞和提高生活质量的目的。

## （3） $^{131}\text{I}$ 诊疗原理

### ①甲功测定

甲状腺具有高度选择性摄取 $^{131}\text{I}$ 的能力，功能亢进的甲状腺组织摄取量将更多，可高达血浆的几百倍，且在甲状腺内停留的时间较长，有效半衰期可达3.5~4.5天。在患者服用 $^{131}\text{I}$ 后，90%以上的 $^{131}\text{I}$ 都会聚集到患者的甲状腺，其余的 $^{131}\text{I}$ 随代谢排出体外，基于 $^{131}\text{I}$ 对甲状腺的摄取特性，以开展甲功测定工作。

### ②甲亢

$^{131}\text{I}$ 衰变为 $^{131}\text{Xe}$ 时放射出95%的 $\beta$ 射线，该射线能量低，在甲状腺内的平均射程仅有0.5mm，一般不会造成甲状腺周围组织例如甲状旁腺、喉返神经等的辐射损伤。 $^{131}\text{I}$ 治疗可使部分甲状腺组织受到 $\beta$ 射线的集中照射，使部分甲状腺细胞引发炎症、萎缩、直至功能丧失，从而减少甲状腺激素的分泌，使亢进的异常功能恢复正常，达到甲亢治疗的目的。

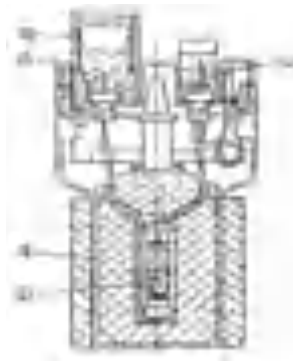
### ③甲癌患者治疗

由于  $^{131}\text{I}$  可以高度选择性聚集在分化型甲状腺癌及转移灶，且  $^{131}\text{I}$  衰变时发射出射程很短的  $\beta$  射线和能量跃迁时发出  $\gamma$  射线，通过高剂量  $^{131}\text{I}$  对病变组织进行内照射治疗，在局部产生足够的电离辐射生物学效应，达到抑制或者破坏病变组织的目的，取得类似部分切除甲状腺的效果，从而达到甲癌治疗的目的。

### 4) 工作流程

#### (1) $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 诊断流程

- ①接受受检者预约后，医院收集病人病史，并对病人做常规检查；
- ②根据病人病情，制备  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ；放射性药物  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  制取流程：打开  $^{99}\text{Mo}-^{99\text{m}}\text{Tc}$  发生器顶部的铅屏蔽盖，由于负压作用淋洗出  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  标记液， $^{99}\text{Mo}-^{99\text{m}}\text{Tc}$  发生器内部结构见图 13-8；
- ③根据剂量控制进行分装，医护人员取用分装后  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  标记液供给病人静脉注射；
- ④施药后受检者在注射后候诊室休息一定时间（根据疾病类型和病人情况休息时间不同），等待检查；
- ⑤受检者进入 SPECT-CT 机房，进行检查；
- ⑥检查结束后，受检者从病人专用通道离开。



①吸附  $^{99}\text{Mo}$  的色谱柱；②双针插座，淋洗时将生理盐水瓶插上；③单针插座淋洗时将生理真空瓶插上；④铅屏蔽体，40mm；⑤淋洗液接收的铅防护容器。

图 13-8  $^{99}\text{Mo}-^{99\text{m}}\text{Tc}$  发生器内部结构

$^{99\text{m}}\text{Tc}$  患者的诊断流程见图 13-9。

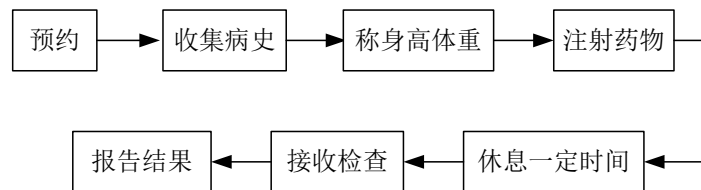


图 13-9  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  患者诊断流程简图

#### (2) $^{89}\text{Sr}$ 治疗流程

医生对患者进行检查，根据病情确定注射剂量，与患者预约，根据患者数量订购  $^{89}\text{Sr}$  注射药物，注射药物后短暂观察如无异常情况，患者可离开医院。

(3)  $^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$  诊断流程

- ①接受受检者预约后，医院收集病人病史，并对病人做常规检查；
- ②职业人员根据病人病情，根据剂量控制进行分装；
- ③医护人员将分装后  $^{18}\text{F}$  标记液供给病人静脉注射；
- ④施药后患者进入注射后候诊室休息（约 60min），然后进入 PET-CT/PET-MR 机房进行检查；
- ⑤检查结束后，患者留观一段时间，无异常后从病人专用通道离开。

$^{18}\text{F}$  患者的治疗流程见图 13-10。

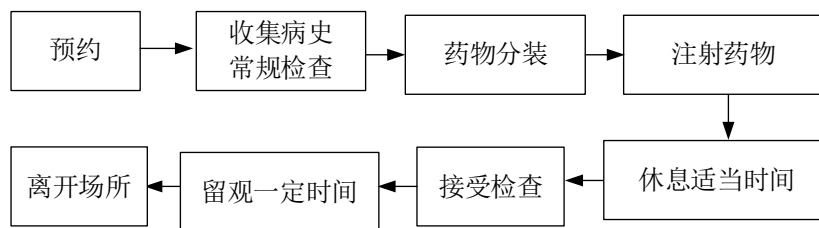


图 13-10  $^{18}\text{F}$  患者诊断流程简图

(4)  $^{131}\text{I}$  治疗流程

甲亢和甲癌患者治疗前需先进行甲功测定，由职业人员利用碘全自动分装仪远程将药物分装，监督指导患者服药，甲功测定患者在服药后 2、4、24h 测定甲状腺部位及速率，计算甲状腺摄取  $^{131}\text{I}$  率，绘制  $^{131}\text{I}$  率曲线，并注明各时间点的摄碘率；职业人员根据甲亢患者测定情况对患者进行指导服药甲亢患者服药后，进行一定时间观察后（一般为 10min）如无异常情况，患者即可离开医院；甲癌患者服药后进入甲癌患者病房住院（住院 4 天），出院当天依托 SPECT-CT 进行扫描复查，以观察甲癌残留灶及转移灶的摄碘情况。

### 13.1.2 污染源项描述

#### 1. 核素制备区域（回旋加速器中心）

##### (1) 质子

回旋加速器将 H 离子加速，到达末端时经过靶膜后成为能量为 9.6MeV 的质子（p），被聚焦为直径不大于 0.6mm 的一股束流射向靶，在空间所占体积很小，质子的穿透性很弱（在物质中的射程很短，仅为同等能量电子射程的几十分之一到百分之一），很易被物质所阻挡。因此，对这种作为内束应用的质子束，其外照射的防护不必考虑。

##### (2) 中子

当高能粒子作用于任何一种物质均可引起核反应而释放出中子。中子具有很强的穿

透能力，对加速器周围环境产生辐射影响。以制备 $^{18}\text{F}$ 为例，当质子的能量为11MeV时， $^{18}\text{O}$  ( $\text{p}, \text{n}$ )  $^{18}\text{F}$ 反应所释放中子的最大能量为5MeV，中子的散率为 $1.2 \times 10^{11}\text{n/s}$ 。中子的强穿透能力使其可能穿过屏蔽体，对加速器周围环境产生辐射影响。

### (3) $\gamma$ 射线、 $\beta$ 射线

回旋加速器制备、合成、分装和质检过程中，核素  $^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$  在衰变过程中释放  $\gamma$  射线、 $\beta$  射线，由于  $\beta$  或 ( $\beta+$ ) 穿透能力较弱， $\gamma$  射线穿透能力很强，对周围环境会造成一定的辐射影响，本项目主要考虑核素  $^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$  的  $\gamma$  射线影响。

### (4) 放射性废气

回旋加速器运行过程中，室内空气受中子照射后生成放射性活化气体，主要含  $^{15}\text{O}$ (2.1min)、 $^{13}\text{N}$ (10min)、 $^{11}\text{C}$ (20.4min)，半衰期较短；在放射性药物制备、合成热室、分装热室及质检过程中，其自屏蔽体内产生微量含  $^{18}\text{F}$  等的放射性气体。本项目回旋加速器中心设计有放射性废气处理系统，该系统采用负压排风方式，于回旋加速器室、放化合成室、全检质控室等房间设置集气口，自屏蔽箱设有单独的排气管道，可有效收集场所内产生的放射性活化气体及自屏蔽体内产生的放射性气体，经收集的放射性废气通过系统尾部配置的高效过滤装置（约2年更换一次）进行过滤处理，总排风口末端位于楼顶上方，高于屋脊。放射性废气处理系统的运行可有效降低室内放射性气体浓度，不会对环境造成污染。

### (5) 放射性废水

回旋加速器制备核素过程中不产生废水，在设备维护的过程中冲洗靶会产生冲靶后废水，一年最多维护两次，每次的水量大约2L。本项目放射性废水产生环节主要为冲淋、洗手等环节，另外无菌检测、阳性对照也会产生少量的放射性废水。上述废水均进入衰变池，衰变达标后进入医院污水处理站，预处理后经市政污水管网排入城市污水处理厂处理。

### (6) 放射性固体废物

本项目放射性固体废物主要为：放射性药物制取时更换产生放射性残留物碳柱、滤膜等，放射性药物常规操作和药物质检等产生的口罩、手套等，回旋加速器维护时更换过的滤网、靶膜等，放射性废气处理系统置换下的过滤废物；回旋加速器更换或退役时，活化后的回旋加速器、准直器、束流阻止器、治疗头器件、磁铁等。

综合上述分析，回旋加速器中心的主要污染因素为中子、 $\gamma$  射线、放射性废气、放射性废水及放射性固体废物，其中中子和  $\gamma$  射线为评价重点。

## 2. 核素使用区域

本项目非密封放射性核素  $^{18}\text{F}$  在工作情况下产生的放射性危害因素分析如下：

(1)  $\gamma$  射线、 $\beta$  射线及韧致辐射

①核素  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{131}\text{I}$  在 IT 跃迁时释放  $\gamma$  射线和  $\beta$  射线。 $\beta$  射线穿透能力较弱，外照射的影响相对较小； $\gamma$  射线穿透能力很强，对周围环境会造成一定的辐射影响，本项目主要考虑核素  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{131}\text{I}$  的  $\gamma$  射线影响。

②核素  $^{89}\text{Sr}$  等为强  $\beta$  辐射源，在衰变过程中均释放出  $\beta$  射线， $\beta$  射线穿透能力很弱，在空气及人体组织中射程均较短，较容易防护，不会对环境产生辐射污染。但  $\beta$  射线被放射源物质本身以及源周围的其它物质阻止时产生的韧致辐射不可忽略，韧致辐射会对周围环境会产生辐射污染。

③核素  $^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$  在衰变过程中释放  $\gamma$  射线。 $\gamma$  射线穿透能力很强，对周围环境会造成一定的辐射影响，本项目主要考虑  $\gamma$  射线影响。

(2) 放射性废气

核医学科使用的  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{89}\text{Sr}$ 、 $^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$  属于非挥发性核素，操作过程比较简单，不经过加热、振荡等步骤，无放射性气体产生；使用的  $^{131}\text{I}$  属于挥发性核素，但本项目使用的  $^{131}\text{I}$  以碘 [ $^{131}\text{I}$ ] 化钠形式存在，挥发性低，正常使用过程中有微量放射性气体产生。为安全起见，医院于质控室内设置了手套箱，放射性药物的取药过程中可能存在洒出污染危险，通常都在负压手套箱内操作，不存在食入、吸入等内照射影响。

(3) 放射性废水

核医学科放射性废水产生环节主要为患者注射  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$  和口服  $^{131}\text{I}$  放射性药物后，所产生的排泄物（包括呕吐物）以及冲洗水，内含有放射性核素，具有放射性；注射  $^{89}\text{Sr}$  患者整个治疗流程较短，注射后不作停留，在就诊过程中产生的废水可基本忽略不计。

(4) 放射性固体废物

本项目产生的放射性固废可分为四类，第一类为废旧  $^{99}\text{Mo}$ - $^{99\text{m}}\text{Tc}$  发生器，第二类为被污染的注射器、针头、手套、导管、药棉、纱布、吸水纸、破碎杯皿及擦拭表面污染的抹布等；第三类为衰变池内产生的沉积物污泥；第四类为通风系统更换下的废活性炭。

(5) 剩余放射性药物

患者若不及时就诊，可能剩余少量放射性药物。

(6) 表面污染

在核素转移和注射过程中由于操作人员违反操作规程或误操作引起的放射性物质泄漏或倾洒，对工作台面、地面造成的放射性表面污染。

## 13.2 辐射安全与防护

### 13.2.1 项目安全措施

#### 1. 场所布局

本项目核医学科地下三层回旋加速器中心主要包括回旋加速器室及控制室、气瓶间及设备间、放化合成室及控制室、全检质控室、阳性对照室、无菌检查室、更衣室、冲淋室、缓冲间、消毒室、保洁间、更衣室、整衣及洗衣室等；核素使用区域主要包括 SPECT 区域和 PET 区域，其中 SPECT 区域包括 2 间 SPECT-CT 扫描间及控制室、抢救室、2 间注射后候诊室及留观室（含卫生间）、运动负荷室、卫生通过间及淋浴间、保洁间、注射室及质控室、污物间、储源间、患者走廊；PET 区域主要包括 PET-CT 扫描间及控制室、PET-MR 扫描间及控制室、设备间、抢救室、3 间注射后候诊室及留观室（含卫生间）、注射室及质控室、卫生通过间及淋浴间、污物间、保洁间等。地下二层部分主要包括质控室、服碘室、吸碘率测定室、储源间（放置患者服药后的空铅罐等）、污物间、9 间甲癌患者病房（含卫生间，其中 1 间单人病房，其余 8 间为双人病房）、备餐间、抢救室、监控室、办公室、卫生通过间及淋浴室、更衣室及诊室等。两处场所各设计有 1 套放射性废水衰变系统，位于医疗综合楼外东北侧医院内空地，具体位置见附图 4。

本项目两处乙级非密封放射性物质工作场所平面布置分别见附图 17、附图 18，根据图纸可知，本项目核医学科住院治疗场所和门诊诊疗场所分开布置，根据诊疗流程合理设计场所布局，质控室均设计在场所南侧，各区域均设计有污物间和储源间，集中存放药物和放射性固废，同时场所内的患者走廊、留观室、注射后候诊室及甲癌患者病房等房间能够有效限制给药后患者的活动空间，满足 HJ1188-2021 第 5.2.1 款要求。

#### 2. 屏蔽设计

##### 1) 回旋加速器中心

根据医院提供的资料，本项目回旋加速器机房墙体选择不易中子化的纯混凝土，拟使用的混凝土密度为  $2.35\text{t/m}^3$ ，满足 HJ1188-2021 第 6.1.3 款要求。医疗综合楼地下三层回旋加速器中心屏蔽设计具体如下：

##### (1) 机房屏蔽设计

###### ①回旋加速器室

回旋加速器室南北长 8.2m，东西宽 6.95m、高 6.25m，面积  $56.99\text{m}^2$ 。室内设有放射性气体和液体传输管道，废液排放管道外包防护砂浆，气体管道外包铅板防护。机房西墙及南墙为 600mm 厚混凝土结构，东墙及北墙为 650mm 厚混凝土结构，迷道墙为 300mm 厚混凝土结构，室顶为 650mm 混凝土结构。门口采用电动平移式防护门，尺寸  $1800\text{mm} \times$

2500mm, 铅当量 15mmpb+100mm 中子屏蔽材料。

### ②放化合成室

放化合成室东西长 7.5m, 南北宽 5.0m, 高 6.55m, 面积 37.50m<sup>2</sup>。北墙为 600mm 厚混凝土结构, 东墙为 650mm 厚混凝土结构, 南墙及西墙为 300mm 厚混凝土结构, 室顶为 350mm 混凝土结构, 防护门及观察窗 8mmPb, 药物传递窗 10mmPb。

### (2) 设备自屏蔽设计

#### ①回旋加速器自屏蔽

本项目拟新增 1 套 Qilin 型回旋加速器系统, 回旋加速器采用完全自屏蔽技术, 自屏蔽材料使用了含有对  $\gamma$  射线有效阻挡的高效材料, 同时在离子源部位周边增加了吸收中子的防辐射材料, 组装完成后集成屏蔽体尺寸为 3.6m×2.1m×2.15m (长×宽×高)。回旋加速器系统在工作流程上采用自动化操作, 避免了工作人员接受不必要的放射性辐射。

本项目回旋加速器屏蔽材料及厚度见表 13-5。

表 13-5 回旋加速器自屏蔽材料及厚度

材料	自屏蔽材料厚度 (cm)				
	正面	侧面	背面	上侧	下侧
复合材料	140	74	140	55	0

### ②放化合成室

本项目拟购 4 套合成热室, 用于正电子放射性药物合成。防护能力 70mmPb, 正面平开门上安装显示器 (内部配摄像头) 或铅玻璃视窗, 外形尺寸为 1.15m×1.15m×2.40m (长×宽×高); 内胆采用 2mm 厚不锈钢板, 内胆尺寸为 0.8m×0.7m×0.7m (长×宽×高)。

本项目拟购 1 套分装热室, 内部设置自动分装仪器, 用于合成后正电子放射性药物的分装。分装热室整体防护能力 70mmPb, 正面平开门上设有 2 个操作手孔和 1 个铅玻璃视窗 (铅玻璃尺寸 0.25mm×0.20mm), 外形尺寸为 1.15m×1.15m×2.40m (长×宽×高); 内胆采用 2mm 厚不锈钢板, 内胆尺寸为 0.85m×0.7m×0.7m (长×宽×高)。

### ③PET 专用通风柜

本项目拟购 1 套 PET 专用通风柜, 放置于全检质控室, 为放射性药物的质控提供洁净安全的无菌环境。其整体采用铅屏蔽防护, 防护当量 50mmPb, 正面平开门上设有 2 个操作手孔和 1 个铅玻璃视窗 (铅玻璃尺寸 0.20mm×0.25mm), 外形尺寸为 1.15m×0.95m×2.30m (长×宽×高); 内胆采用 2.0 厚不锈钢板, 内胆尺寸为 0.85m×0.7m×0.7m (长×宽×高)。



### (3) 传输管道的屏蔽

本项目回旋加速器制备的放射性同位素经管道自动传输到合成柜中，此管道设置在地沟内，地沟两侧及上方均设置放射性药物传输产品管线的屏蔽防护。合成柜和分装柜之间地沟两侧及上方也设置有放射性药物传输产品管线的屏蔽防护。采用不小于 50mmPb 的铅砖屏蔽，管道尺寸为 80mm×80mm，盖板为铅砖尺寸为 50mm×200mm。

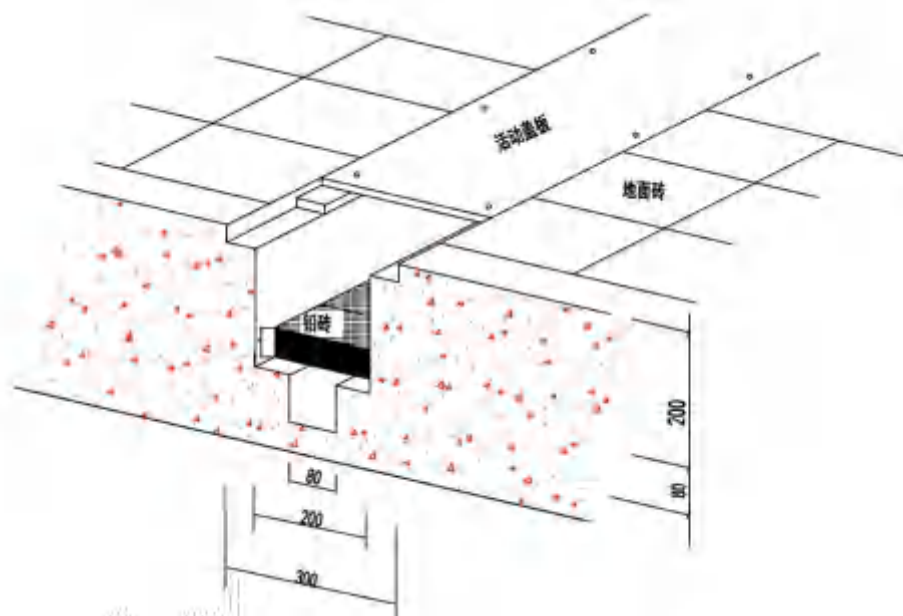


图 13-10 本项目放射性管道地沟示意图

医院核医学科地下三层核素使用区域及地下二层场所主要房间屏蔽设计分别见表 13-5、表 13-6，其中医院拟使用的混凝土密度为  $2.35\text{t}/\text{m}^3$ ，实心砖密度为  $1.65\text{t}/\text{m}^3$ ，钡砂密度为  $2.7\text{t}/\text{m}^3$ 。

表 13-5 核医学科地下三层核素使用区域主要房间辐射防护设计一览表

PET 区域主要房间:							
房间名称	尺寸 (m)	面积 (m <sup>2</sup> )	四周墙体	室顶	地板	门铅当量	窗铅当量
质控室	6.30×3.80	23.94	370mm 实心砖+40mm 钡砂	350mm 混凝土	---	南侧: 10mmPb; 东侧 8mmPb	---
注射室	2.00×2.20	4.40	370mm 实心砖+40mm 钡砂	350mm 混凝土	---	10mmPb	50mmPb
注射后候诊室 1	8.75×3.40	29.75	370mm 实心砖+40mm 钡砂	350mm 混凝土	---	10mmPb	---
注射后候诊室 2	5.20×3.80	19.76	370mm 实心砖+40mm 钡砂	350mm 混凝土	---	10mmPb	---
注射后候诊室 3	5.20×3.30	17.16	370mm 实心砖+40mm 钡砂	350mm 混凝土	---	10mmPb	---
PET-MR 扫描间	8.70×5.80	50.46	370mm 实心砖+40mm 钡砂	350mm 混凝土	---	10mmPb	10mmPb
PET-CT 扫描室	8.80×5.70	50.16	370mm 实心砖+40mm 钡砂	350mm 混凝土	---	10mmPb	10mmPb
留观室	7.90×3.20	25.28	北、南、西墙: 370mm 实心砖 +40mm 钡砂; 东墙: 400mm 混凝土	350mm 混凝土	---	10mmPb	---
抢救室	4.50×2.50	11.25	370mm 实心砖+40mm 钡砂	350mm 混凝土	---	10mmPb	---
污物间	2.00×4.00	8.00	370mm 实心砖+20mm 钡砂	350mm 混凝土	---	8mmPb	---
SPECT 区域主要房间:							
房间名称	尺寸 (m)	面积 (m <sup>2</sup> )	四周墙体	室顶	地板	门铅当量	窗铅当量
储源间	2.50×2.40	6.00	370mm 实心砖+40mm 钡砂	250mm 混凝土	---	6mmPb	---
质控室	4.30×3.70	15.91	370mm 实心砖+40mm 钡砂	250mm 混凝土	---	6mmPb	---
注射室	1.20×2.50	3.00	370mm 实心砖+40mm 钡砂	250mm 混凝土	---	6mmPb	10mmPb
注射后候诊室 1	8.80×2.50	22.00	370mm 实心砖+20mm 钡砂	250mm 混凝土	---	6mmPb	---
注射后候诊室 2	3.50×4.00	14.00	370mm 实心砖+20mm 钡砂	350mm 混凝土	---	6mmPb	---
SPECT-CT 扫描间 1	8.80×5.60	49.28	370mm 实心砖+20mm 钡砂	350mm 混凝土	---	6mmPb	6mmPb
SPECT-CT 扫描间 2	8.00×5.70	45.6	370mm 实心砖+20mm 钡砂	350mm 混凝土	---	6mmPb	6mmPb
抢救室	3.40×2.50	8.50	370mm 实心砖+20mm 钡砂	350mm 混凝土	---	6mmPb	---
留观室	8.80×2.50	22.00	370mm 实心砖+20mm 钡砂	350mm 混凝土	---	6mmPb	---
污物间	3.00×2.40	7.20	370mm 实心砖+40mm 钡砂	250mm 混凝土	---	6mmPb	---

运动负荷室	6.10×1.90	11.59	370mm 实心砖+20mm 钡砂	250mm 混凝土	——	6mmPb	——
-------	-----------	-------	-------------------	-----------	----	-------	----

注：PET 患者入口及出口处防护门 10mmPb，SPECT 患者入口及出口处防护门 6mmPb。

表 13-6 核医学科地下二层主要房间辐射防护设计一览表

房间名称	尺寸 (m)	面积 (m <sup>2</sup> )	四周墙体	室顶	地板	门铅当量	窗铅当量
质控室	4.30×9.60	41.28	370mm 实心砖+40mm 钡砂	350mm 混凝土	350mm 混凝土	8mmPb	——
服碘室	2.60×2.60	6.76	370mm 实心砖+40mm 钡砂	350mm 混凝土	350mm 混凝土	15mmPb	20mmPb
甲癌患者病房 1-5	3.50×7.00	24.50	病房 5 东墙：400mm 混凝土；其他病房南、西、东墙：370mm 实心砖+40mm 钡砂，北墙：400mm 混凝土	350mm 混凝土	350mm 混凝土	病房 5：12mmPb；其余病房：15mmPb	——
甲癌患者病房 6-9	3.70×5.80	21.46	病房 9 东墙：450mm 混凝土，其余墙体：370mm 实心砖+40mm 钡砂	350mm 混凝土	350mm 混凝土	12mmPb	——
抢救室	8.00×3.80	30.40	370mm 实心砖+40mm 钡砂	350mm 混凝土	350mm 混凝土	西侧：12mmPb；南侧：20mmPb	——
储源间	2.60×2.60	6.76	370mm 实心砖+20mm 钡砂	350mm 混凝土	350mm 混凝土	8mmPb	——
污物间	2.60×2.60	6.76	370mm 实心砖+20mm 钡砂	350mm 混凝土	350mm 混凝土	8mmPb	——
备餐间	2.60×2.40	6.24	370mm 实心砖+40mm 钡砂	300mm 混凝土	300mm 混凝土	——	20mmPb
吸碘率测定室	2.60×2.60	6.76	370mm 实心砖+40mm 钡砂	350mm 混凝土	350mm 混凝土	4mmPb	——
被服间	1.40×2.20	3.08	370mm 实心砖+40mm 钡砂	350mm 混凝土	350mm 混凝土	10mmPb	——

注：患者出口处防护门为 10mmPb，病房 6 和病房 1 西南侧防护门、病房 5 东南侧防护门、病房 7 南侧防护门均为 18mmPb。

### 3. 场所分级、分区

#### 1) 分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)附录 C 中对非密封放射性物质工作场所分级原则及计算方法。日等效最大操作量计算方法：日等效最大操作量=日最大操作量×放射性核素毒性组别修正因子/操作方式与辐射源状态修正因子。

(1) 地下三层：该场所放射性核素日等效最大操作量计算结果见表 13-7。

表 13-7 地下三层场所放射性核素日等效最大操作量

场所	核素种类	日最大操作量 (Bq)	毒性组别修正因子	操作方式修正因子	日等效最大操作量 (Bq)	场所等级
核素使用区域	<sup>99</sup> Mo	1.48×10 <sup>10</sup>	0.1	100	1.48×10 <sup>7</sup>	乙级 (日等效最大操作量为 4.00×10 <sup>8</sup> Bq)
	<sup>99m</sup> Tc	1.48×10 <sup>10</sup>	0.01	1 (淋洗)	1.48×10 <sup>8</sup>	
	<sup>99m</sup> Tc	1.48×10 <sup>10</sup>	0.01	10 (使用)	1.48×10 <sup>7</sup>	
	<sup>89</sup> Sr	1.85×10 <sup>8</sup>	0.1	1	1.85×10 <sup>7</sup>	
	<sup>18</sup> F	7.4×10 <sup>9</sup>	0.01	10	7.4×10 <sup>6</sup>	
	<sup>11</sup> C	3.7×10 <sup>8</sup>	0.01	1	3.7×10 <sup>6</sup>	
	<sup>13</sup> N	3.7×10 <sup>8</sup>	0.01	1	3.7×10 <sup>6</sup>	
回旋加速器中心	<sup>15</sup> O	3.7×10 <sup>8</sup>	0.01	1	3.7×10 <sup>6</sup>	
	<sup>18</sup> F	7.4×10 <sup>9</sup>	0.01	1	7.4×10 <sup>7</sup>	
	<sup>11</sup> C	3.7×10 <sup>8</sup>	0.01	1	3.7×10 <sup>7</sup>	
	<sup>13</sup> N	3.7×10 <sup>8</sup>	0.01	1	3.7×10 <sup>7</sup>	
	<sup>15</sup> O	3.7×10 <sup>8</sup>	0.01	1	3.7×10 <sup>7</sup>	

注：1 根据 HJ1188-2021 表 A.1、表 A.2 确定核毒性组别修正因子和操作方式修正因子，其中 <sup>15</sup>O 参考 <sup>18</sup>F、<sup>11</sup>C、<sup>13</sup>N；  
2. 发生器淋洗环节，<sup>99</sup>Mo 作为母体，操作方式修正因子为 100，淋洗出的 <sup>99m</sup>Tc 为子体，操作方式修正因子为 1，核素使用环节，<sup>99m</sup>Tc 操作方式为很简单操作，操作方式修正因子为 10。

2) 地下三层：该场所放射性核素日等效最大操作量计算结果见表 13-8。

表 13-8 地下二层场所放射性核素日等效最大操作量

核素种类	治疗类型	日最大操作量 (Bq)	毒性组别修正因子	操作方式修正因子	日等效最大操作量 (Bq)	场所等级
<sup>131</sup> I	甲功测定	3.7×10 <sup>6</sup>	0.1	1	3.7×10 <sup>5</sup>	乙级 (日等效最大操作量为 3.89×10 <sup>9</sup> Bq)
	甲亢	1.85×10 <sup>9</sup>	0.1	1	1.85×10 <sup>8</sup>	
	甲癌治疗	3.7×10 <sup>10</sup>	0.1	1	3.7×10 <sup>9</sup>	

#### 2) 分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)第 6.4 款规定，应把辐射工作场所分为控制区和监督区以便于辐射防护管理和职业照射控制。根据该规定要

求，医院拟将本项目两处核医学场所划分为“控制区”和“监督区”两区管理。

#### (1) 地下三层：

①控制区：将场所内的储源间、污物间、质控室、注射室、保洁间、运动负荷室、注射后候诊室、抢救室、留观室、SPECT-CT 扫描间、PET-CT 扫描间、PET-MR 扫描间、患者走廊、回旋加速器室、放化合成室、全检质控室、阳性对照室、无菌检查室、集水井及放射性废水衰变系统等划为控制区。此外，场所南侧的敷贴室内的  $^{90}\text{Sr}$  放射源及骨密度室内的骨密度仪医院拟另外开展环境影响登记备案，本次仅将该 2 处房间划为控制区管理。

②监督区：将场所内的护士站、注射前候诊区、诊室、静脉预置室、卫生通过间及淋浴间、控制室、设备间、医护卫生间、更衣室、控制室、医护人员走廊、办公室等辅助用房等划为监督区。

#### (2) 地下二层：

①控制区：将场所内的甲癌患者病房、保洁间、被服间、质控室、服碘室、吸碘率测定室、储源间、污物间、抢救室、患者走廊 1 及患者走廊 2、放射性废水衰变系统等划为控制区。

②监督区：将场所内的备餐间、监控室、办公室、卫生通过间及淋浴间、一更及二更、男值更及女值更、诊室、护士站及服药前候诊区等划为监督区。

控制区内防护及管理措施如下：a、非有关职业人员严禁入内，不允许有药患者随便出入，除特别需要外不允许亲友陪护；b、在控制区进出口及其他适当位置处设置电离辐射警告标志及标明控制区的标志，并给出相应的辐射水平和污染水平的指示；c、控制区出入口设立卫生缓冲区，为职业人员和患者提供防护用品、可换洗衣物、冲洗设施和表面污染监测设备，同时控制区内设有给药后患者专用卫生间；d、工作场所严格按照 GB18871-2002 附录 B 中“表 B11 表面放射性物质污染控制水平”的有关规定执行；e、及时清理放射性固废，患者痰液、呕吐物入专用收集容器。

监督区防护及管理措施如下：a、其他无关公众人员严禁入内；b、在监督区入口处设立标明监督区的标志；c、监督区与控制区分割处设置防护门，将控制区与监督区分开，设有门禁，人员不得随意出入。

在采取以上措施后，能够满足 HJ1188-2021 第 4.3.1~第 4.3.4 款要求、第 5.2.3 款要求。

#### 4. 人流、物流情况

本项目两处核医学场所人流路径均分为医护通道和患者通道，医护通道和患者通道分

开不交叉，放射性药物和放射性废物运输选择在人员活动较少的清晨时段，避免对无关人员造成污染。

## 1) 地下三层:

### (1) 人流路径

#### ① 医护人员

核素使用区域内的操作人员更衣后依次经 A 处、卫生通过间进入质控室进行淋洗、分装、转移及注射药物等，工作结束后原路径返回；负责设备操作的医护人员依次经 A 处、医护人员走廊进入控制室，然后通过连接各扫描间和控制室的小防护门进入扫描间指导患者摆位；回旋加速器中心内的操作人员经医护人员入口进入控制室等房间，结束工作后原路返回。

#### ② 患者

$^{99m}\text{Tc}$ 、 $^{89}\text{Sr}$  患者由 B 处进入核医学科，在护士站登记，然后进入各自候诊区等候， $^{99m}\text{Tc}$  患者经 C 处进入注射室进行药物注射，注射后进入注射后候诊室等候，然后进入 SPECT-CT 扫描间进行检查，检查完成后进入留观室留观一段时间，无异常后依次由 D 处、E 处离开； $^{89}\text{Sr}$  患者经 C 处依次至注射室进行药物注射，留观一段时间无异常可直接经 D 处、E 处离开； $^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$  患者由 F 处进入注射室进行药物注射，注射后进入注射后候诊室休息一段时间，然后进入 PET-CT 或 PET-MR 扫描间进行检查，检查完成后进入留观室留观一段时间，无异常后由 G 处离开。

### (2) 物流路径

#### ① 放射性药物路径

回旋加速器中心制备出的  $^{18}\text{F}$  等核素经专用药物传输管道运输至 PET 区域质控室内的药物储存柜中。本项目  $^{99m}\text{Tc}$ 、 $^{89}\text{Sr}$  由专业公司负责运输，运输  $^{99}\text{Mo}$ - $^{99m}\text{Tc}$  发生器及  $^{89}\text{Sr}$  药物的人员经 B 处进入场所，其中  $^{99}\text{Mo}$ - $^{99m}\text{Tc}$  发生器放置于储源间内，运输  $^{89}\text{Sr}$  药物的人员经储源间进入质控室，将药物放置于质控室手套箱内。

#### ② 放射性废物路径

本项目产生的放射性固体废物经审管部门批准后，统一集中在各区域污物间衰变箱内贮存，暂存衰变至满足解控水平后，按一般医疗废物处理。运输放射性废物的人员经 B 处进入两个污物间进行废物的预处理后原路返回离开核医学科。

地下三层核医学场所分区管理及人流、物流示意图见附图 19。

## 2) 地下二层

## (1) 人流路径

### ①医护人员

医护人员依次经场所东侧医护人员入口、更衣室、卫生通过间进入吸碘率测定室，或进入质控室将手套箱内的核素放置于碘全自动分装仪内，然后进入监控室远程操作碘全自动分装仪。

### ②患者

$^{131}\text{I}$  甲功测定、甲亢及甲癌患者由 B 处进入服药前候诊区等候，其中甲功测定患者由 C 处进入甲功测定室服碘进行甲功测定，结束后经患者走廊 1 由 D 处离开核医学科；甲亢患者进入服碘室口服药物，然后经 D 处离开核医学科；甲癌患者于服碘室口服药物后进入甲癌患者病房住院，出院当天经 D 处进入地下三层场所内的 SPECT-CT 扫描间进行扫描复查。经核实，D 处防护门设有门禁，日常情况下，地下三层人员及患者无法通过该位置楼梯进入地下二层。

## (2) 物流路径

### ①放射性药物路径

本项目放射性药物  $^{131}\text{I}$  由专业公司负责运输，运输药物的人员依次经 E 处、C 处、储源室进入质控室将药物放于手套箱内贮存。

### ②放射性废物路径

地下二层场所内产生的放射性废物经审管部门批准后，统一放置于场所内的污物间衰变箱中贮存，暂存衰变至满足解控水平后，按一般医疗废物处理。运输废物的人员在污物间进行废物的预处理后依次经 C 处、E 处、西侧电梯将废物带离场所。

地下二层核医学场所分区管理及人流、物流示意图见附图 20。

本项目两处核医学场所具有相对独立的的人流、物流路径，场所布局和人流、物流路径满足 HJ1188-2021 第 5.2.2 款要求。

## 13.2.2 项目防护措施

除工作场所屏蔽设计外，医院通过以下几个方面进一步完善和加强防护措施。

### 1. 场所安全措施

#### 1) 回旋加速器中心

(1) 场所内控制区所涉及的区域如回旋加速器室、放化合成室、全检质控室等房间设备表面、工作台台面等平整光滑，室内地面与墙壁衔接处无接缝，易清洗、去污。

(2) 配备 1 个钨合金药物分装翻转防护罐、2 个药物转运防护罐，用来盛放或运输

西林瓶装放射性药物，60mmPb。

(3) 配备正电子药物废物衰变箱， $\phi 300\text{mm}\times 450\text{mm}$ （高），2 个，20mmPb，放置于全检质控室内；配备靶防护储存衰变槽 1 个，分 2 格，总容积 200L，40mmPb，放置于 PET 区域污物间内。

(4) 本项目回旋加速器中心配备 4 名专职辐射工作人员，仅负责回旋加速器中心的辐射工作，目前人员尚未确定，待确定后为人员配备个人剂量计（委托个人剂量检测后由检测单位配发）、个人剂量报警仪 4 支、辐射巡检仪 1 台、活度计 1 台、表面污染检测仪 1 台，并配备放射性污染防护服，利用表面污染检测仪对离开控制区的人员和物品进行表面污染监测，若超标，采取相应的去污措施；进入回旋加速器室的人员须佩戴个人剂量报警仪。

(5) 放化合成室和回旋加速器机房（迷道内入口处）内各安装 1 台固定式辐射剂量监测仪，并设有异常情况下报警功能，其显示单位设置在控制室内。

(6) 回旋加速器室防护门设有门机联锁装置和延时开门措施，回旋加速器控制室操作台、迷道出入口、防护门内侧、回旋加速器室四面墙体及束流输运通道各设有 1 处急停按钮，机架本身自带 2 处急停按钮，医院拟于各急停按钮处张贴醒目标识及文字显示牌，急停按钮位置能够使人员从各个方向均能观察到且便于触发，在紧急情况下及时按下急停按钮，防止发生辐射安全事故；回旋加速器室内设有紧急开门装置及清场措施，防护门设计有防挤压红外线碰撞装置，门口设有声光报警装置和工作状态指示灯，并与加速器联锁。

(7) 回旋加速器室电缆管线口位于西墙北侧，避开控制台位置，采用地下“U”型穿墙，电缆沟坑道两侧均采用混凝土填充，并在穿墙管线入口及出口处进行屏蔽补充。防护门与四周墙壁均存在搭接，搭接宽度与缝隙比例均在 10: 1 之上。

(8) 回旋加速器本身具有 1 套完整的安全联锁系统，只有当靶、离子源、D 型盒、磁铁线圈、冷水系统达到一定流量时，束流才能达到靶上；只有当自屏蔽体封闭、离子源射频屏蔽箱盖关闭、射频电源箱柜的门关闭才能出束。此外，还设计有清场巡检系统、门钥匙开关（身份识别系统）。

(9) 医院拟定期对安全联锁系统进行自查，保存自查记录，保证正常使用，检修人员进入回旋加速器室内时先进行辐射监测，经辐射安全管理机构批准后方可进入。参观人员在辐射工作人员的带领下进入。建立调试、检修、运行维护人员的人身安全联锁系统，将此类人员受照剂量与进入控制区的权限实施联锁管控。在检修调试期间，加强人员安全



管理，开机状态下严禁调试及检修人员滞留控制区，对辐射水平热点区域进行屏蔽，接入人身安全联锁系统的受照剂量监测设备采用直读式仪器。此外，在安全联锁系统触发时，人工就地复位并通过控制台方可重新启动，安装调试及维修情况下，任何联锁旁路须通过医院辐射安全管理机构的批准和见证，工作结束后及时进行联锁恢复和功能测试。

在采取以上防护措施后，可满足 HJ1198-2021 第 6.2.2 款、6.2.3 款、7.1 款、7.3 款、7.5 款要求及 HJ1188-2021 第 6.1.4 款、6.2.1 款、6.2.2 款、6.2.3 款、6.2.5 款、6.2.8 款等要求。

## 2) 核素使用区域

(1) 两处核医学场所内涉及到核素操作的质控室等房间设备表面、工作台台面等平整光滑，室内地面与墙壁衔接处无接缝，易清洗、去污；

(2) SPECT 区域质控室和  $^{131}\text{I}$  治疗场所质控室各配备手套箱 1 个，尺寸为  $1.5\text{m}\times 0.5\text{m}\times 2.0\text{m}$ ，不锈钢外壳，正面铅玻璃+铅钢复合板作为防护，侧面和后面铅钢复合板作为防护，防护能力分别为  $20\text{mmPb}$ 、 $40\text{mmPb}$ ， $^{99\text{m}}\text{Tc}$  的淋洗、分装等均在手套箱内进行。医院拟为 SPECT 区域和 PET 区域各配备 3 个注射防护套，并为各注射后候诊室、留观室及甲癌患者病房等房间配备移动铅屏风，减少患者之间的照射；

(3) 医院拟为地下三层 SPECT 区域、PET 区域及地下二层核医学场所配备 18 名专职辐射工作人员，拟根据工作需要轮流开展工作，目前人员尚未确定，待确定后为人员配备个人剂量计（每人一支，委托个人剂量检测后由检测单位配发）、个人剂量报警仪 18 支、辐射巡检仪 3 台、表面污染检测仪 6 台，利用表面污染检测仪对离开控制区的工作人员和患者及物品进行表面污染监测，若超标，采取相应的去污措施；同时医院拟为工作人员配备必要的防护用品，包括铅衣、铅围裙、铅围脖、铅帽及铅玻璃眼镜、放射性污染防护服等。

(4) 放射性药物  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  在 SPECT 区域质控室手套箱内淋洗， $^{89}\text{Sr}$  贮存于 SPECT 区域质控室手套箱内，手套箱防护能力分别为  $20\text{mmPb}$ 、 $40\text{mmPb}$ ， $^{18}\text{F}$  贮存于 PET 区域质控室药物储存柜中，药物储存柜防护能力为  $50\text{mmPb}$ ， $^{131}\text{I}$  贮存于地下二层场所质控室手套箱内。定期对贮存容器进行辐射水平监测，质控室设有门禁，无关人员不得入内，并建立放射性药物贮存使用台账。

(5) 放射性药物在运输过程均放置于供货方提供的专门屏蔽容器铅罐内，储存  $^{89}\text{Sr}$ 、 $^{131}\text{I}$  的铅罐屏蔽厚度分别为  $20\text{mmPb}$ 、 $30\text{mmPb}$ ， $^{99\text{m}}\text{Mo}$ - $^{99\text{m}}\text{Tc}$  发生器及铅罐表面张贴电离辐射警告标志，并将铅罐放置于药物桶内，起到一定的固定作用。

(6) PET-CT/MR 扫描间及 SPECT-CT 扫描间外门框上方均设计有工作状态指示灯。防护门设计有门灯联动装置，并张贴电离辐射警告标志。

在采取以上措施后，可满足 HJ1188-2021 第 6.2.1 款~第 6.2.5 款、6.2.9 款要求。

## 2. 密闭及通风设计

### (1) 回旋加速器中心

回旋加速器中心放射性废气产生环节主要为放射性药物的制备、合成、分装等工序。对于各工序产生的放射性废气，医院拟于回旋加速器中心设置单独的通风系统，其中回旋加速器室设有 1 个独立的排气管道，加速器自屏蔽区内设有单独的排气管道，相对加速器室呈负压状态。并于放化合成室、冲淋间、全检质控室、阳性对照室设置集气口，其中放化合成室单独 1 个排气管道，5 个热室单独 1 个排气管道，冲淋间单独 1 个排气管道，全检质控室和阳性对照室共用 1 个排气管道，收集的放射性废气通过管道尾部的高效过滤装置（约 2 年更换一次）进行过滤处理，最终排放口位于医疗综合楼楼顶上方东北侧，高于屋脊 3m，且总排放口周边无邻近的高层建筑。

### (2) 核素使用区域

本项目放射性废气产生环节主要为放射性药物的分装、取送药、口服注射等工序。对于取送药、口服注射等各工序产生的放射性废气，本项目 SPECT 区域、PET 区域内主要房间各设置排气管道，涉及到核素操作的手套箱和药物存储柜各设置单独的排气管道；<sup>131</sup>I 治疗场所内的污物间、储源间、吸碘率测定、服碘室及质控室设置 1 个单独的排气管道，9 间甲癌患者病房、保洁间、被服间、抢救室及患者走廊设置 1 个单独的排气管道，且病房门窗设有密封胶条，各排气管道出口均设置活性炭高效过滤装置（约 2 年更换一次）。对于淋洗、分装及取药工序产生的放射性废气，SPECT 区域质控室手套箱和 <sup>131</sup>I 治疗场所服碘室手套箱内各设置单独的排气管道，PET 区域药物存储柜设置单独的排气管道，手套箱和药物储存柜均为负压工况操作，密闭设备的顶壁安装活性炭高效过滤装置，可避免职业人员吸入放射性废气造成内照射影响，各排气管道出口均设置活性炭高效过滤装置（约 2 年更换一次），根据设计参数，风速不小于 0.5m/s。最终排放口均位于医疗综合楼楼顶上方东北侧，高于屋脊 3m，且总排放口周边无邻近的高层建筑。

本项目通风设计可满足 HJ1188-2021 第 6.3.1 款~第 6.3.5 款要求，本项目放射性废气收集管道示意图分别见附图 21、附图 22。

## 3. 放射性废水收集、处理系统设计

医院拟于医疗综合楼外东北侧位置建设两套槽式放射性废水处理系统，其中 1 套用于

处理地下三层核医学场所产生的放射性废水，1套用于处理地下二层核医学场所产生的放射性废水。该区域四周均为医院内空地，周围公众成员居留较少，选址满足要求，且靠近本项目两处核医学场所，可有效防止下水道较长导致管道内废物堆积等问题发生。

地下三层设有5个地下式放射性废水集水井，其中3个用于收集地下三层产生的放射性废水，另外2个用于收集地下二层产生的放射性废水，汇入集水井的放射性废水再经提升泵和专用排水管道最终排入各自的放射性废水处理系统中暂存衰变。用于收集地下三层放射性废水的3个集水井分别位于PET-MR机房控制室北侧、PET区域注射后候诊室1内及注射后候诊室2南侧，用于收集地下二层放射性废水的2个集水井分别位于SPECT-CT机房控制室北侧及SPECT区域注射后候诊室2北侧，各集水井所在区域张贴电离辐射警告标志提醒周围无关人员，各集水井均为24小时连续运行，每小时可连续提升运送15吨放射性废水，且各集水井顶部设计有固定式辐射剂量率检测仪探头，实时监控集水井顶部的剂量率，确保处于本底水平。集水井墙体为C30抗渗混凝土结构，厚度为30cm，井盖为10cm混凝土上铺15mmPb铅防护，并设有60cm×60cm检修口，各集水井内设计有切割式潜水泵，可将固体废物粉碎，随废水一并排入衰变池内。

本项目核素使用场所各区域及回旋加速器中心均设有卫生通过间和淋浴间，控制区及卫生通过间、淋浴间内的洗手池均采用脚踏式或自动感应式的开关。留观室、注射后候诊室及甲癌患者病房等房间均设有患者专用卫生间，各场所内产生的放射性废水先经专用的排水管道排入相对较近的集水井内，然后再经专用的排水管道和提升泵排至衰变池内暂存衰变，排水管道外侧均设置8mmPb铅防护。放射性废水收集管道示意图见附图23、附图24。

地下三层放射性废水处理系统设计有1个沉淀池和2个衰变池，沉淀池有效容积约 $9.8\text{m}^3$ ，2个衰变池有效容积均约 $32\text{m}^3$ 。地下二层放射性废水处理系统设计有1个沉淀池和3个衰变池，沉淀池有效容积约 $14\text{m}^3$ ，2个衰变池有效容积均约 $248\text{m}^3$ ，第3个衰变池尺寸为有效容积约 $243\text{m}^3$ 。

各衰变池均为并联运行，由一套高度智能自动控制系统控制，通过PLC和触摸屏设定工作参数和状态，设有报警机制，所有运行自行监测，可在无人值守状态下实现全自动稳定运行，各池均采用C30抗渗混凝土建造，各池四周、底部及顶部均设置30cm混凝土予以防护，并做防渗处理。同时沉淀池内设有排渣泵，各衰变池内泵体均采用切割式潜水泵，可将大部分固体废物粉碎成颗粒，衰变后随废水一并排放，防止污泥硬化淤积。各衰变池均设计有液位传感器，防止废液溢出，排水口处预留取样口，以便于对衰变后废水进

行取样检测，放射性废水收集管道具有一定坡度，使废水中的固废能够一并随废水排至衰变系统内，防止堵塞进出水口。根据设计图纸可知，本项目放射性废水收集管道转弯处较少，转弯及交接处其水流转角不小于  $90^\circ$ ，同时衰变池内设有防止超压措施。本项目放射性废水经专用管道进入放射性废水处理系统，管道外侧设置  $8\text{mmPb}$  铅防护。具体工作流程如下（以地下二层系统为例）：

1#衰变池上部电动控制阀打开，下部控制阀及其余衰变池控制阀关闭，废水经专用管道进入 1#衰变池内，当液面到达设定高度，自动关闭 1#衰变池上部控制阀，2#衰变池的上部控制阀打开，当 2#衰变池液面到达设定高度时，自动关闭 2#衰变池上部控制阀，3#衰变池的上部控制阀打开，当 3#衰变池液面到达设定高度时，自动关闭 3#衰变池上部控制阀，打开 1#衰变池下部控制阀，将废水通过管道排入医院污水处理站，当水位低至一定程度后，关闭下部控制阀，等待接纳新产生的废水。各电动控制阀旁设计有手动控制阀，电动控制阀损坏时使用。

本项目放射性废水收集处理系统可满足 HJ1188-2021 第 7.3.1 款~第 7.3.2 款要求，放射性废水处理系统示意图见图 13-11。

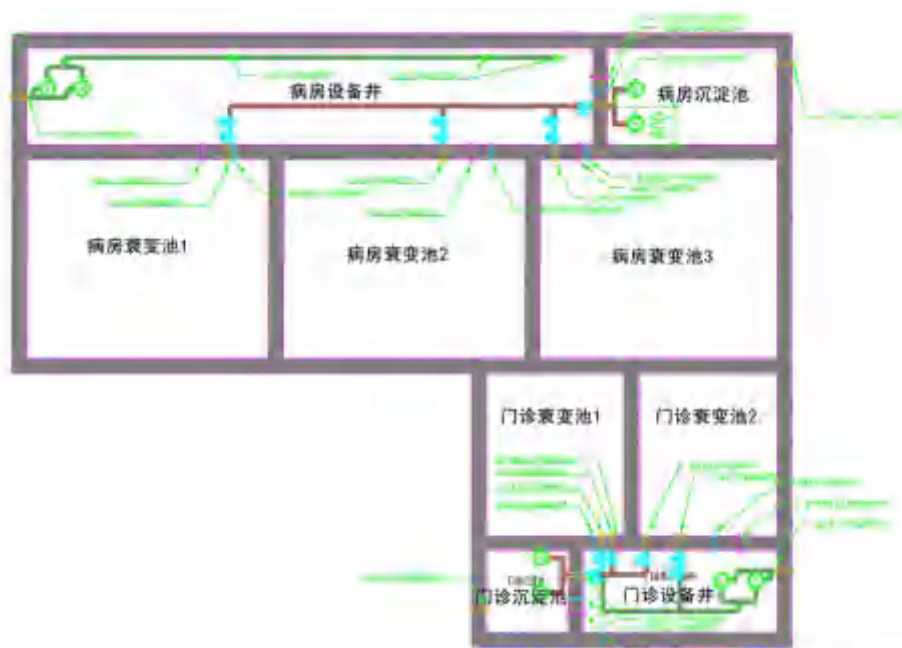


图 13-11 本项目放射性废水处理系统示意图

#### 4. 放射性固体废物处理设施

##### 1) 回旋加速器中心

本项目回旋加速器中心拟配备 1 个放射性废物衰变箱（容积  $2 \times 30\text{L}$ ， $20\text{mmPb}$  当量），放置于全检质检室内，主要用于收集放射性药物制取、常规操作和药物质检环节产生的碳柱、滤膜、口罩、手套等放射性固体废物；配置 1 个靶防护储存衰变槽（2 格，总容积约

200L, 40mmPb 当量), 放置于 PET 区域污物间内, 用于收集回旋加速器维护时更换过的滤网、靶膜及放射性废气处理系统置换下的过滤废物。放射性废物中主要含有  $^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$  等短寿命放射性核素, 采用衰变贮存方式处置, 在经设定周期存放并检测达标后可达到解控水平, 按照一般医疗废物处理。

## 2) 核素使用区域

本项目产生的放射性固废可分为四类, 第一类为废旧  $^{99}\text{Mo}$ - $^{99\text{m}}\text{Tc}$  发生器, 由供货厂家回收。

第二类为被污染的手套、抹布等物品、病人使用的一次性杯子等, 医院拟于地下三层 SPECT 区域质控室、注射后候诊室、留观室、抢救室各放置 2 个放射性废物污物桶 (屏蔽厚度为 10mm 铅当量, 容积为 5L), 1 个用于收集  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  放射性固废, 1 个用于收集  $^{89}\text{Sr}$  放射性固废, 于 SPECT 区域污物间内放置 4 个衰变箱 (屏蔽厚度为 10mm 铅当量, 容积为 50L), 其中 2 个用于暂存  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  放射性废物, 2 个用于暂存  $^{89}\text{Sr}$  放射性废物; PET 区域质控室、注射后候诊室、留观室、抢救室各放置 1 个放射性废物污物桶 (屏蔽厚度为 10mm 铅当量, 容积为 5L), 用于收集  $^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$  放射性固废, 于污物间内放置 2 个衰变箱 (屏蔽厚度为 10mm 铅当量, 容积为 50L), 用于暂存  $^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$  放射性废物; 拟于地下二层甲癌患者病房、抢救室内各放置 1 个放射性废物污物桶 (屏蔽厚度为 10mm 铅当量, 容积为 5L), 用于收集各房间内产生的  $^{131}\text{I}$  放射性固废, 污物间内放置 2 个衰变箱 (屏蔽厚度为 10mm 铅当量, 容积为 120L), 用于暂存  $^{131}\text{I}$  放射性废物, 定期将各房间产生的放射性固废转移至污物间衰变箱内暂存衰变, 衰变箱内放置专用塑料袋, 每袋废物重量不超过 20kg, 对于有尖刺和棱角的废物, 医院拟预先进行包装处理, 再装入塑料袋内。污物桶及衰变箱外均张贴电离辐射标志, 日常工作状态下进行密封加盖, 同时污物间内安装有通风换气装置, 防护门外张贴电离辐射警告标志, 安装有门禁, 污物间内不存放易燃、易爆、腐蚀性物品。

第三类为衰变池内的沉渣, 大部分沉渣经设定周期存放后可达到解控水平, 经审管部门确认或批准, 由切割式潜水泵粉碎后随废水一并排放, 对于少量难于排出的沉渣, 确保达到清洁解控水平后, 进行酸化预处理, 然后排入医院污水处理站进一步处理。

第四类为更换下的废活性炭, 属于放射性固体废物, 拟放置于地下二层污物间内暂存衰变至少 1 年半, 经设定周期暂存衰变, 并达到清洁解控水平后按照一般医疗废物处置。

本项目产生的放射性固体废物暂存于各场所内的污物间暂存, 污物间防护门及墙体均具有屏蔽能力, 同时污物桶和衰变箱均具有屏蔽能力, 本次评价要求医院定期对污物桶外

表面 30cm 处的剂量率进行检测，确保低于  $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ，以满足 HJ1188-2021 第 6.1.7 款、第 6.1.8 款要求。

本次评价要求医院按照 HJ1188-2021 相关规定进行管理，在经设定周期存放并检测达标后可达到解控水平，按照一般医疗废物处理，其中辐射剂量率满足所处环境本底水平， $\beta$  表面污染小于  $0.8\text{Bq/cm}^2$ ，并安排专人负责放射性固体废物存储和处理工作，建立废物存储和处理台账，详细记录放射性废物的核素名称、废物类别、重量、废物产生起始时间、责任人员、出库时间和监测结果等。

本项目放射性固废的管理措施可满足 HJ1188-2021 第 6.1.7 款、7.2.1 款~第 7.2.3 款要求。

### 5. 其他防护措施

经核实，本项目各场所控制区入口及出口均设置门锁权限控制和单向门，限制患者的随意流动，控制区入口、边界等处设计有电离辐射警告标志，可对职业人员和公众人员起到一定的警示作用，提示人们尽量减少停留时间，保障职业人员和公众人员的健康水平；场所内设有明确的患者导向标识和导向提示；机房控制室与注射后候诊室、留观室及扫描间之间设计有监控设备和对讲装置，扫描间防护门均设计有闭门装置、工作状态指示灯及电离辐射警告标志，且工作状态指示灯能够与防护门有效联动，可满足相关要求。

## 13.3 三废的治理

### 13.3.1 放射性废气治理

本项目放射性废气产生环节主要为放射性药物的分装、取送药及药物注射口服等工序。本项目放射性废气产生量极少，本项目核医学工作场所内设计有通风系统，总排放口位于医疗综合楼顶上方，高于屋脊 3m，并远离周围邻近高层建筑，不会对周围环境和周围人员造成影响。

### 13.3.2 放射性废水治理

本项目核医学工作场所产生的放射性废水拟由专用管道收集，排至医疗综合楼东北侧放射性废水处理系统中的衰变池内，在衰变池停留衰变满足存放时间和排放限值要求后，排至医院污水处理站，预处理后经市政污水管网排入城市污水处理厂处理。剩余的放射性药物储存在铅罐内，铅罐外张贴有电离辐射警告标志，由供货厂家回收。

### 13.3.3 放射性固体废物治理

废旧  $^{99}\text{Mo}$ - $^{99\text{m}}\text{Tc}$  发生器，由供货厂家回收。

被污染的手套、抹布等放射性固体废物转移至衰变箱中进行暂存衰变，衰变至解控水

平后，按一般医疗废物处理。

衰变池内的大部分沉渣经设定周期存放后可达到解控水平，由切割式潜水泵粉碎后随废水一并排放，对于少量难于排出的沉渣，达到清洁解控水平后进行酸化预处理，然后排入医院污水处理站进一步处理。

通风系统更换下的废活性炭放置于地下二层污物间内暂存衰变至少 1 年半，达到清洁解控水平后按照一般医疗废物处置。

综上所述，本项目产生的放射性固体废物在妥善处置后不会对周围环境和人员产生影响。

## 13.4 运行阶段对环境的影响

### 13.4.1 回旋加速器中心

#### 一、运行阶段对环境的影响

$^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$   $\gamma$  射线照射量常数相近，本项目主要应用核素  $^{18}\text{F}$ （半衰期为 109.8min），其他 3 种核素  $^{11}\text{C}$ （半衰期为 20.4min）、 $^{13}\text{N}$ （半衰期为 10.0min）、 $^{15}\text{O}$ （半衰期为 2.1min）应用较少，且半衰期较短。因此，本报告表以  $^{18}\text{F}$  进行分析评价，满足对  $^{18}\text{F}$  的辐射安全防护管理要求，即可同时满足对  $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$  的辐射安全防护管理要求。

#### 1. 估算公式选取

依据 GBZ120-2020 附录 I，回旋加速器室外的剂量率可采用生产厂家提供的泄漏辐射剂量等高线，采用近似估算方式，估算公式见公式 13-1：

$$H_R = \left( \frac{r_0}{R} \right)^2 \cdot \left( H_n \times 10^{-x/TVL_n} + H_\gamma \times 10^{-x/TVL_\gamma} \right) \quad (13-1)$$

式中：

- $H_R$ ：回旋加速器室外关注点剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；
- $r_0$ ：参考点距靶心的距离，m；
- $R$ ：屏蔽墙外关注点距靶心的距离，m；
- $x$ ：屏蔽墙厚度，cm；
- $H_n$ ：参考点  $r_0$  处的中子剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；
- $H_\gamma$ ：参考点  $r_0$  处的  $\gamma$  射线剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；
- $TVL_n$ ：中子射线的十分之一减弱层厚度，cm；
- $TVL_\gamma$ ： $\gamma$  射线的十分之一减弱层厚度，cm，对于 11MeV 回旋加速器，泄漏辐射  $\gamma$  射线的能量约为 8MeV，中子的能量约为 5MeV。

## 2. 参数选取

根据 GE（中国）医疗集团提供的设备资料，本项目回旋加速器在最大运行负荷情况下其表面  $\gamma$  射线和中子剂量分布见图 13-12 和图 13-13，本项目回旋加速器表面  $\gamma$  射线和中子剂量取值见表 13-9 所示。

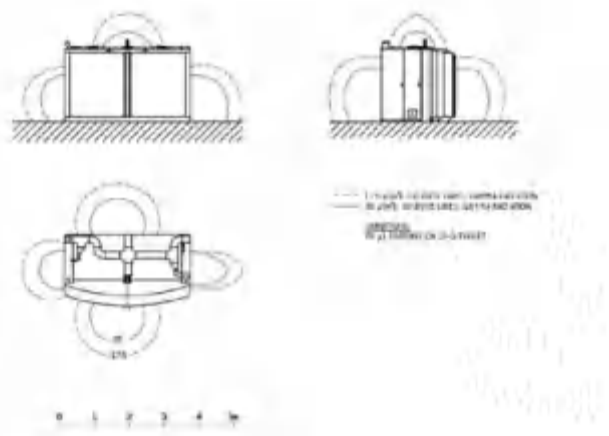


图 13-12 本项目回旋加速器表面  $\gamma$  射线等剂量率示图

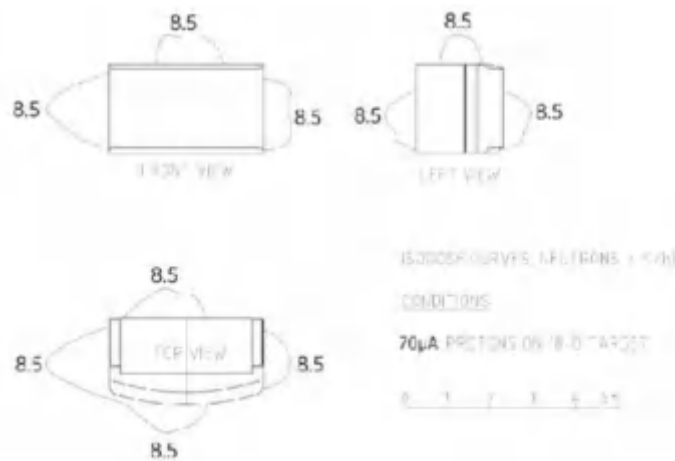


图 13-13 本项目回旋加速器表面中子等剂量率示图

表 13-9 本项目回旋加速器表面 1m 处  $\gamma$  射线和中子剂量取值

方位	$\gamma$ 剂量当量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	中子剂量当量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )
前方 1m (西侧方向)	35.0	4.4
左侧 1m (南侧方向)	35.0	3.8
上方 1m (室顶方向)	15.4	4.2

注：上述数据依据 GE（中国）医疗集团提供的设计参数。

依据 GBZ120-2020 附录 I，对于能量为 11MeV 回旋加速器，穿过自屏蔽的中子和  $\gamma$  射线平均能量为 5MeV 和 8MeV，给出了相应的不同屏蔽材料的 TVL 值，见表 13-10。本项目回旋加速器能量为 9.6MeV，略小于文献给出的回旋加速器能量，其相关参数可代表说明本项目回旋加速器自屏蔽外中子和  $\gamma$  射线能量情况。



表 13-10 不同屏蔽材料的 TVL 值

材料	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	TVL (cm)	
		n (5MeV)	γ (8MeV)
混凝土	2.35	43	38
铅	11.3	47.8	5
聚乙烯	0.97	24	80

### 3. 估算结果

#### (1) 回旋加速器室外剂量率估算

回旋加速器室东墙及北墙外为地下土层，东墙及北墙仅满足承重即可，本次仅对回旋加速器室南墙、西墙及室顶外 30cm 处的剂量率进行估算，估算结果详见表 13-11。

表 13-11 回旋加速器室外 30cm 处中子和 γ 射线辐射剂量率

位置	距加速器表面1m处的剂量 (μSv/h)		回旋加速器与室外表面30cm处距离R(m)	TVL (cm)		屏蔽层厚度X (cm)	剂量率 (μSv/h)
	n	γ		n	γ		
西墙外 30cm 处	4.4	35.0	4.40 <sup>①</sup>	43	38	60	0.057
南墙外 30cm 处	3.8	35.0	6.40 <sup>②</sup>	43	38	60	0.023
室顶上方30cm处	4.2	15.4	3.45 <sup>③</sup>	43	38	65	0.069

注：①4.40m (回旋加速器离西墙距离约3.50m，四周墙体厚度0.60m，取墙外0.30m)；  
②6.40m (回旋加速器离南墙距离约5.50m，四周墙体厚度0.60m，取墙外0.30m)；  
③3.45m (回旋加速器离室顶距离约2.50m，室顶厚度0.65m，取室顶外0.30m)。

由表 13-11 可得出，回旋加速器室墙体外剂量率最大为 0.069 μSv/h，位于回旋加速器室室顶外 30cm 处，低于 2.5 μGy/h 剂量率目标控制值。

#### (2) 防护门外剂量率估算

本项目防护门主要受回旋加速器南侧及西侧表面剂量率影响，屏蔽体西侧1m处初始中子剂量率、γ 剂量率分别取值4.4 μGy/h、35 μGy/h，防护门外剂量率主要考虑：中子和 γ 射线穿过防护门的剂量率；

源至防护门计算点距离为6.5m，屏蔽层为30cm混凝土和15mmPb铅，根据式13-1，计算得剂量率为0.088 μGy/h [ (1/6.5)<sup>2</sup> × (4.4 × 10<sup>-(30/43)</sup> + 35 × 10<sup>-(30/38)</sup> × 10<sup>-(1.5/5)</sup> ]。

综上所述，回旋加速器机房外剂量率最大值为防护门外0.088 μGy/h，低于2.5 μGy/h 剂量率控制目标。

#### (2) 放化合成室外剂量率估算

合成后药物于合成热室、分装热室依次流转，对于核素合成、分装过程中对周围的辐射水平计算公式，本次评价参考《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)中的附录 I。

①有辐射屏蔽时，随距离变化的空气吸收剂量率计算公式见公式 13-2。

$$H_0 = \frac{A \times \Gamma}{r^2} \times 10^{-x/TVL} \dots\dots\dots (13-2)$$

式中：

- x 屏蔽体实际屏蔽厚度，单位为毫米（mm）；
- TVL  $\gamma$  射线的十分之一值层厚度，单位为毫米（mm）；
- A 单个患者或受检者所用放射源的最大活度，单位为兆贝可（MBq）；
- $\Gamma$  距源 1m 处的周围剂量当量率常数，单位为  $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{MBq} \cdot \text{h}$ ；
- $H_0$  关注点处实际剂量率，单位为微希沃特每小时（ $\mu\text{Sv/h}$ ）；
- r 参考点与放射源间的距离，单位为米（m）。

②根据公式 13-2，无辐射屏蔽时，随距离变化的空气吸收剂量率计算公式见式 13-3。

$$H_0 = \frac{A \times \Gamma}{r^2} \dots\dots\dots (13-3)$$

③放射源活度随时间的衰变计算公式本次参考《放射卫生学》所列公式，具体见公式 13-4。

$$A = A_0 \times 2^{-t/T} \dots\dots\dots (13-4)$$

式中：

- $A_0$  放射源初始活度，Bq；
- A 放射源衰变后活度，Bq；
- T 半衰期，d；
- t 衰变天数，d。

各公式参数选取及估算结果如下所示：

a、合成热室

假设源到药物合成工作柜外表面约为 0.5m， $^{18}\text{F}$  日最大操作量为  $7.4 \times 10^9 \text{Bq}$ （200mCi），根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录H， $^{18}\text{F}$  空气吸收剂量率常数  $\Gamma = 0.143 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{MBq} \cdot \text{h}$ ，铅（ $11.3 \text{g}/\text{cm}^3$ ）对  $^{18}\text{F}$   $\gamma$  射线的TVL为16.6mm。

经计算，无屏蔽时工作柜表面剂量率为  $4232.8 \mu\text{Sv/h}$ （ $7.4 \times 10^9 \times 0.143 \div 0.5^2$ ）。在此条件下当采用不低于70mmPb合成热室柜体屏蔽时，工作柜外表面剂量率为  $0.26 \mu\text{Sv/h}$ 。再经墙体屏蔽和距离衰减，则合成过程中放化合成室外剂量率应低于  $0.26 \mu\text{Sv/h}$ ，满足  $2.5 \mu\text{Gy/h}$  剂量率控制目标。

b、分装热室

药物在合成热室合成后自动传输至分装热室进行自动分装，人员不近距离接触。分装

热室防护能力为70mmPb，药物距通风柜表面距离取0.5m，根据式13-2，在此屏蔽条件下通风柜表面剂量率为 $0.26 \mu\text{Sv/h}$  ( $7.4 \times 10^3 \times 0.143 \times 10^{- (70/16.6)} \div 0.5^2$ )。再经墙体屏蔽和距离衰减，则分装热室分装过程中放化合成室外剂量率低于 $0.26 \mu\text{Sv/h}$ ，满足 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 剂量率控制目标。

### (3) 全检质控室

分装后的药物盛放在20mmPb注射器防护套中，外有50mmPb药物转运防护罐。一天的用药量200mCi分2次转运，每次最大转运量100mCi。由式13-2，转运防护罐外表面1m处剂量率为 $0.03 \mu\text{Sv/h}$ ，因铅罐距全检质控室墙体距离大于1m，则全检质控室外剂量率低于 $0.03 \mu\text{Sv/h}$ ，满足 $2.5 \mu\text{Gy/h}$ 剂量率控制目标。

### (4) 药物传输管道

单名患者用药量盛放在20mmPb注射器防护套中，放置于铅罐内，铅罐防护能力50mmPb，经药物传输管道内的传送带运输，药物距药物传输管道表面约0.5m，则药物传输管道外表面辐射剂量率为 $0.013 \mu\text{Sv/h}$ ，满足 $2.5 \mu\text{Gy/h}$ 剂量率控制目标。

## 二、年有效剂量估算

### 1. 估算公式、居留因子选取

根据工作负荷对职业人员辐射年有效剂量进行理论估算，估算公式见式 10-13，居留因子见表 10-15。

### 2. 人员配置及操作时间选取

医院拟配备 4 名职业人员专职负责回旋加速器核素制备、质检等工作，其中技师 2 人，物理师 1 人，化学师 1 人。

根据医院预计，回旋加速器用于生产放射性核素  $^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$ ，全年最多开机 250 次，年开机时间约 250h。

### 3. 职业人员年有效剂量

本项目回旋加速器中心工作的辐射工作人员受照射环节可能为：制药、合成、分装、质控、维护和药物运输等。

#### ①回旋加速器运转制药、合成、分装

本项目放射性核素制备、合成及分装过程为自动化工艺，工作人员基本不接受附加剂量。该过程中人员受照剂量本次忽略不计。

#### ②质控

质控时操作量最多为  $7.4 \times 10^6\text{Bq}$  ( $0.2\text{mCi}$ )，质控过程工作人员穿  $0.5\text{mmPb}$  当量防护衣，于 PET 专用通风柜进行质控操作，距离身体约为 50cm。本次引用 2017 年《潍坊市人

民医院核医学工作场所  $^{18}\text{F}$ 、 $^{89}\text{Sr}$  应用项目辐射环境检测报告》操作  $^{18}\text{F}$  时检测数据，检测时工作人员穿戴 0.5mmPb 当量防护衣，与本项目相同，具有一定可类比性；根据检测数据，在打开含 30mCi  $^{18}\text{F}$  的铅罐时 5cm 处剂量率为  $91423.5 \times 10^{-8}\text{Gy/h}$ ，0.5m 处剂量率为  $2056.7 \times 10^{-8}\text{Gy/h}$ ，类比得 0.2mCi 药物 5cm 处剂量率应为  $609.49 \times 10^{-8}\text{Gy/h}$  ( $6.0949 \mu\text{Gy/h}$ )，0.5m 处剂量率为  $13.711 \times 10^{-8}\text{Gy/h}$  ( $0.137 \mu\text{Gy/h}$ )。每次质控时间为 20min，全年质控最多 250 次，则其手部的年剂量为  $6.0949 \times 83.3 \div 1000 \approx 0.51\text{mSv}$ ，身体的年有效剂量为  $0.137 \times 83.3 \div 1000 \approx 0.01\text{mSv}$ 。

#### ③从回旋加速器内卸下靶盒和过滤膜

每次用时 5min，全年最多卸 8 次，共用 40min。在停机 2~3 天后卸靶，根据设备厂商提供的资料，靶前（即卸靶人手部）剂量率约为  $400 \mu\text{Sv/h}$ ，距靶 50cm（即卸靶人身体）剂量率约为  $30 \mu\text{Sv/h}$ 。则卸下靶盒和过滤膜过程工作人员手部的年剂量为  $400 \times 40 \div 60 \div 1000 \approx 0.27\text{mSv}$ ，身体年剂量率为  $30 \times 40 \div 60 \div 1000 \approx 0.02\text{mSv}$ 。

#### ④洗靶

本项目回旋加速区采用全自动洗靶，洗靶过程中无需靠近，工作人员基本不接受附加剂量，洗靶过程中人员受照剂量本次忽略不计。

#### ⑤药物转运

根据医院提供的资料，从放化合成室转运至全检质控室整个转运过程一次用时约 1min，全年最多转运 600 次（ $^{18}\text{F}$  最多 500 次/年， $^{11}\text{C}$  最多 50 次/年， $^{13}\text{N}$  最多 50 次/年），则转运过程工作人员全年受照时间最大为 10h。该过程工作人员距防护罐表面距离按 1m 考虑，根据上文计算可知，距防护罐表面距离 1m 处  $\gamma$  空气吸收剂量率为  $0.03 \mu\text{Gy/h}$ ，则转运过程工作人员所受年剂量为  $3.00 \times 10^{-4}\text{mSv}$  ( $0.03 \times 10 \div 1000$ )。

本项目药物通过专用药物传输管道由全检质控室运输至 PET 区域，无需人员操作，不会对人员造成附加剂量。

综上所述，本项目职业人员年有效剂量详见下表。

表 13-12 职业人员剂量估算详情 单位：mSv/a

过程	制备、合成、分装	质控	维护	洗靶	转运	总和
手部	0	0.51	0.27	0	$3.00 \times 10^{-4}$	0.78
身体	0	0.01	0.02	0	$3.00 \times 10^{-4}$	0.03

由上表可知，本项目回旋加速器中心职业人员手部年受照剂量为 0.78mSv，低于本评价提出的 125mSv 的当量剂量约束值；身体年受照剂量为 0.03mSv，低于本评价提出的 5.0mSv 的年管理剂量约束值。

本次评价要求在实际工作中，工作人员应注重个人防护，综合采用时间、距离、屏蔽防护措施加强辐射防护，尽量缩短受照时间、增加距离、加强屏蔽防护。

#### 4. 公众成员年有效剂量

由上述估算结果可知，回旋加速器工作场所边界外公众可到达区域为室顶外，该区域为报告厅，根据表 13-11，回旋加速器室室顶外剂量率为  $0.069 \mu\text{Sv/h}$ ，放化合成室及全检质控室外剂量率不大于  $0.26 \mu\text{Sv/h}$ ，本次保守按照  $0.26 \mu\text{Sv/h}$  考虑，各房间全年工作时间最大为  $250\text{h/a}$ ，居留因子取 1，则公众成员年有效剂量为  $0.26 \times 250 \times 1 \div 1000 \approx 0.065\text{mSv}$ ，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》中规定的公众  $1\text{mSv}$  的年有效剂量限值，同时低于本评价提出的  $0.1\text{mSv}$  的公众成员年管理剂量约束值。

### 三、三废环境影响分析

#### 1. 放射性废水环境影响分析

本项目放射性废水产生环节主要为洗靶废水、更衣区淋洗、质控室仪器清洗、无菌检测、阳性和洗手等环节，根据设备商提供的运行经验，本项目回旋加速器中心运行过程中放射性废水平均每天产生量约  $15\text{L/d}$ ，则年产生量  $3.75\text{m}^3/\text{a}$ 。上述废水全部进入衰变池，衰变达到排放标准后排入医院污水处理站，预处理后经市政污水管网排入城市污水处理厂处理。本项目废水产生量较少，且所含放射性核素属于短半衰期类型，基本不会对地下三层核医学场所放射性废水衰变池系统产生影响。

#### 2. 固体废物环境影响分析

本项目产生的放射性废物为放射性药物制取时更换产生放射性残留物碳柱、滤膜等，放射性药物常规操作和药物质检等产生的口罩、手套等，回旋加速器维护时更换过的滤网、靶膜等，放射性废气处理系统置换下的过滤废物；回旋加速器更换或退役时，活化后的回旋加速器、准直器、束流阻止器、治疗头器件、磁铁等。

本项目回旋加速器中心拟配置 2 个放射性废物衰变箱（容积  $2 \times 30\text{L}$ ， $20\text{mmPb}$  当量）、1 个靶防护储存衰变槽（2 格，容积约  $100\text{L/格}$ ， $40\text{mmPb}$  当量），其中放射性废物衰变箱主要用于收集放射性药物制取、常规操作和药物质检环节产生的碳柱、滤膜、口罩、手套等放射性固体废物，产生量约为  $20\text{kg/年}$ （约  $60\text{L}$ ），按放射性废物衰变箱收集 2 个月固废，2 个衰变箱轮流使用考虑，单月收集放射性废物为  $3.3\text{kg}$ （约  $10\text{L}$ ）， $30\text{L}$  放射性废物衰变箱可满足贮存要求；靶防护储存衰变槽用于收集回旋加速器维护时更换过的滤网、靶膜及放射性废气处理系统置换下的过滤废物，产生量约为  $50\text{kg/年}$ （约  $150\text{L}$ ），按靶防护储存衰变槽单格收集收集 2 个月固废，2 格轮流使用考虑，单月收集放射性废物为  $8.3\text{kg}$ （约  $25\text{L}$ ），靶防护储存衰变槽单格  $100\text{L}$  容积可满足贮存要求。此外，回旋加速器更换或退役

时，活化后的回旋加速器、准直器、束流阻止器、治疗头器件、磁铁等产生后不于医院内暂存，直接交于具有放射性废物处置资质的单位处置。

本项目产生的放射性固体废物经放射性废物衰变箱、靶防护储存衰变槽收集后暂存衰变 2 个月，经检测辐射剂量率满足所处环境本底水平， $\beta$  表面污染小于  $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$  后，达到解控水平，可按照一般医疗废物处置。

### 3. 放射性废气环境影响分析

本项目制备的核素  $^{18}\text{F}$  等均属于非挥发性核素，正常操作过程中放射性气体产生量较少，对于放射性药物制备、合成、分装等工序中产生的及少量放射性废气，医院拟于回旋加速器中心内设置通风系统，其中回旋加速器室设有 1 个独立的排气管道，加速器自屏蔽区内设有单独的排气管道，相对加速器室呈负压状态。并于放化合成室、冲淋间、全检质控室、阳性对照室设置集气口，其中放化合成室单独 1 套排气管道，冲淋间单独 1 套排气管道，全检质控室和阳性对照室共用 1 套排气管道，放化合成室内的自屏蔽箱设有单独的排气管道，经收集的放射性废气通过管道尾部的高效过滤装置（约 2 年更换一次）进行过滤处理，最终排放口位于医疗综合楼楼顶上方东北侧，高于屋脊 3m，且总排放口周边无邻近的高层建筑，因此本次放射性废气对周围环境和人员不会造成影响。

## 四、事故影响分析

### 1. 风险识别

- (1) 回旋加速器机房门-机联锁失效或操作人员失误，人员误入机房，造成误照射。
- (2) 回旋加速器生产过程中，由于设备故障导致放射性气体可能会发生泄漏。
- (3) 由于管理不善，发生放射性药物失窃，导致公众受照和环境受到辐射污染。
- (4) 在转移过程中由于操作人员违反操作规程或误操作引起的意外泄漏，造成台面、地面辐射污染。
- (5) 工作人员未按要求穿戴个人防护用品等，造成额外附加照射剂量。
- (6) 放射性废水或放射性固废衰变时间不够，未达到解控水平或排放标准即进行处理。

### 2. 风险防范措施

- (1) 定期开展安全装置与设施检查，保证门机联锁装置有效。制定并落实操作规范，工作人员定期培训。
- (2) 做好设备保养维护工作，定期对设备开展维护维修。
- (3) 医院须制定和完善放射性核素制备的安全管理制度，设专人负责，做好核素的制备、转运登记工作，确保放射性药物安全。

(4) 医院制定完善的操作规范，对操作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，减少药物洒漏事故的发生，发生事故后，应及时用棉布或者吸水纸等擦拭，擦拭物收集放到放射性废物衰变箱中。

(5) 医院要求职业人员进入控制区须穿戴防护用品，个人剂量计佩戴于左胸前，穿戴放射性污染防护服，尽量利用长柄钳、镊子等工具操作，增加与放射性药物距离。

(6) 放射性废物衰变箱、靶防护储存衰变槽外标注内含核素种类、封存时间。加强放射性废水和固废排放处理管理，按要求的衰变时间停留衰变，处理前进行监测，达到解控水平后方可进行进一步处理。

### 13.4.2 核素使用区域

#### 一、辐射水平预测

##### 1. 估算公式选取

有辐射屏蔽、无辐射屏蔽时，随距离变化的空气吸收剂量率计算公式见上文公式 13-2、公式 13-3。放射源活度随时间的衰变计算公式见公式 13-4。韧致辐射随距离变化的空气吸收剂量率计算公式见公式 13-5：

$$X=1.71 \times 10^{-4}AZ(E/r)^2f \dots\dots\dots (13-5)$$

式中：

- X 距离韧致辐射源 r 米处的空气吸收剂量率，cGy/h；
- A 放射源活度，Ci；
- Z 电子屏蔽材料的有效原子序数，玻璃取 13、密封源包壳取 56；
- E  $\beta$  射线的最大能量，MeV；
- r 参考点与韧致辐射源的距离，m；
- f 转换系数 0.873，cGy/R。

##### 2. 核素操作过程中辐射水平预测

###### 1) $^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$ 辐射水平预测

$^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$   $\gamma$  射线照射量常数相近，本项目主要应用核素  $^{18}\text{F}$ （半衰期为 109.8min），其他 3 种核素  $^{11}\text{C}$ （半衰期为 20.4min）、 $^{13}\text{N}$ （半衰期为 10.0min）、 $^{15}\text{O}$ （半衰期为 2.1min）应用较少，且半衰期较短。本次以  $^{18}\text{F}$  进行分析评价，满足对  $^{18}\text{F}$  的辐射安全，即可满足对  $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$  的要求。

$^{18}\text{F}$  患者单次最大注射  $^{18}\text{F}$  为  $3.7 \times 10^8\text{Bq}$ （10mCi），根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 H， $^{18}\text{F}$  空气吸收剂量率常数  $\Gamma=0.143 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{MBq} \cdot \text{h}$ ，铅（ $11.3\text{g}/\text{cm}^3$ ）对  $^{18}\text{F}$   $\gamma$  射线的 TVL 为 16.6mm。

(1) 药物保存过程中的辐射水平预测

药物传输管道每次运输 1 名患者的 <sup>18</sup>F 药物，本次保守按照单名 <sup>18</sup>F 患者最大注射药物量 10mCi 计算药物保存过程中的剂量率，药物储存柜屏蔽厚度为 50mmPb。经计算，储存柜外 1m 处的辐射剂量率已低至 0.05 μSv/h，低于 2.5 μSv/h，因此 <sup>18</sup>F 保存过程中对周围环境影响较小。工作人员操作位及非正对人员操作位表面的剂量率满足 HJ1188-2021 第 6.1.6 款要求。

(2) 药物转移及注射过程

药物转移及注射过程中人员所受剂量率本次采用类比的方法进行分析，类比数据参考《日照市人民医院核医学工作场所、<sup>125</sup>I 粒籽源植入、DSA 装置应用项目（二期）验收监测报告》中的验收监测结果，根据该验收监测报告，日照市人民医院使用的通风橱与本项目药物储存柜防护能力一致，且该项目注射过程中未使用注射器屏蔽套，注射器无屏蔽能力，因此具有良好的类比性。

①监测单位：山东鼎嘉环境检测有限公司。

②监测时间及条件：2019 年 6 月 20 日；天气：多云，气温：25.5℃，相对湿度：43.3%。

③监测仪器：AT1123 型辐射检测仪，设备编号为 A-1804-02，测量范围：剂量率 50nSv/h~10Sv/h，能量范围 15keV~3MeV，检定单位华东国家计量测试中心，检定证书编号 2019H21-20-1779665002，检定有效期至 2020 年 4 月 1 日。

根据类比监测数据，操作人员在分装、取药及注射时手部、身体剂量率见表 13-13。

表 13-13 类比项目操作药物 <sup>18</sup>F 过程中人员受照剂量率监测结果 单位：μGy/h

工作过程	点位描述	监测结果		备注
		X-γ 辐射剂量率	标准偏差	
取药	身体	5.31	0.14	<sup>18</sup> F 用量为 10mCi
	手部	212.9	1.20	
药物注射	身体	2.15	0.01	
	手部	213.0	1.05	

注：上述注射过程中未使用注射器屏蔽套，注射器无屏蔽能力。

回旋加速器中心直接提供分装后的药物，由于类比项目取药和注射过程中药品活度与本项目单名患者最大用量一致，因此本次不再折算，直接采用上述验收监测数据。

综上，本项目职业人员在进行 <sup>18</sup>F 等核素操作过程中所受剂量率详见表 13-14。



表 13-14 本项目职业人员在进行  $^{18}\text{F}$  等核素操作过程中所受剂量率 单位:  $\mu\text{Gy/h}$

工作过程	点位描述	X- $\gamma$ 辐射剂量率
取药 (10mCi)	身体	5.31
	手部	212.9
药物注射 (10mCi)	身体	2.15
	手部	213.0

## 2) $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 辐射水平预测

本项目  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  患者最大服药量为 20mCi, 参考《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020) 附录 H 中的表 H.1,  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  空气吸收剂量率常数  $\Gamma=0.0303 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{MBq} \cdot \text{h}$ , 铅对  $^{99\text{m}}\text{Tc}$   $\gamma$  射线的 TVL 为 1mm。

### (1) 转移、淋洗过程

本次评价取  $^{99}\text{Mo}-^{99\text{m}}\text{Tc}$  发生器柱最大活度  $1.48 \times 10^{10}\text{Bq}$  (400mCi), 发生器色谱柱外面有 40mm 的铅, 经色谱柱外的铅屏蔽后, 发生器外 1m 处辐射剂量率为  $4.48 \times 10^{-38} \mu\text{Sv/h}$ 。 $^{99}\text{Mo}-^{99\text{m}}\text{Tc}$  发生器在质控室手套箱内工作, 手套箱的防护能力为 20mmPb, 再经手套箱的屏蔽后周围剂量率可忽略不计,  $^{99}\text{Mo}-^{99\text{m}}\text{Tc}$  发生器转移、储存和淋洗过程的辐射环境影响均可忽略不计。因此手套箱外工作人员操作位及非正对人员操作位表面的剂量率满足 HJ1188-2021 第 6.1.6 款要求。

### (2) 分装、取药、注射过程

药物分装、取药及注射过程中人员所受剂量率本次采用类比的方法进行分析, 类比数据参考《滨州市人民医院现有核医学科改扩建及新建一处 PET-CT 中心应用项目》中的现状检测结果, 根据该项目检测报告, 滨州市人民医院使用的通风橱与本项目手套箱防护能力一致, 且该项目注射过程中未使用注射器屏蔽套, 注射器无屏蔽能力, 因此具有良好的类比性。

①检测单位: 山东丹波尔环境科技有限公司。

②检测时间及条件: 2020 年 11 月 4 日; 天气: 晴, 气温:  $17.8^\circ\text{C}$ , 相对湿度: 42.5%。

③检测仪器: FH40G 型便捷式 X- $\gamma$  剂量率仪, 能量范围为 60keV~3MeV, 测量范围为  $1\text{nGy/h} \sim 100 \mu\text{Gy/h}$ , 检定单位为中国计量科学研究院, 检定证书编号 DLj12019-02026, 检定有效期至 2020 年 12 月 18 日。

根据类比监测数据, 操作人员在分装、取药及注射时手部、身体剂量率见表 13-15。

表 13-15 类比项目操作药物  $^{99m}\text{Tc}$  过程中人员受照剂量率监测结果 单位:  $\mu\text{Gy/h}$

核素	工作过程	点位描述	检测结果		备注
			X- $\gamma$ 辐射剂量率	标准偏差	
$^{99m}\text{Tc}$	药物分装	身体	40.1	0.59	40mCi
	取药	身体	522.4nGy/h	2.04	20mCi
		手部	1.90	0.03	
	药物注射	身体	13.79	0.85	20mCi
		手部	68.6	0.82	

注: 1. 注射  $^{99m}\text{Tc}$  时未使用注射器防护套, 注射器无屏蔽能力;  
2. 医护人员在进行药物分装、取药等过程中均佩戴铅衣、铅围脖等个人防护用品及个人剂量计, 本次检测数据偏保守, 点位选在个人防护用品外进行检测。

根据类比项目现状检测结果可知, 在分装 40mCi 的药物  $^{99m}\text{Tc}$  时, 职业人员身体的剂量率为  $40.1 \mu\text{Gy/h}$ , 本项目建成后日最大分装量为 400mCi, 按照该最大工况折算, 则身体的剂量率最大为  $401 \mu\text{Gy/h}$ 。因分装过程无法监测手部剂量率, 本次按照注射过程中手部所受剂量率折算药物分装过程中手部所受剂量率, 为  $400 \div 20 \times 68.6 \approx 1372 \mu\text{Gy/h}$ ; 本项目单名患者最大注射量为 20mCi, 与现状检测时取药及药物注射时工况相同, 因此根据现状检测结果可知, 取药过程中身体和手部的剂量率分别为  $522.4\text{nGy/h}$ 、 $1.90 \mu\text{Gy/h}$ , 药物注射过程中身体和手部的剂量率分别为  $13.79 \mu\text{Gy/h}$ 、 $68.6 \mu\text{Gy/h}$ 。

综上, 本项目职业人员在进行  $^{99m}\text{Tc}$  操作过程中所受剂量率详见表 13-16。

表 13-16 本项目职业人员在进行  $^{99m}\text{Tc}$  操作过程中所受剂量率 单位:  $\mu\text{Gy/h}$

核素	工作过程	点位描述	X- $\gamma$ 辐射剂量率	备注
$^{99m}\text{Tc}$	药物分装	身体	401	400mCi
		手部	1372	
	取药	身体	522.4nGy/h	20mCi
		手部	1.90	
	药物注射	身体	13.79	20mCi
		手部	68.6	

### 3) $^{89}\text{Sr}$ 辐射水平预测

$^{89}\text{Sr}$  发射纯  $\beta$  射线,  $\beta$  粒子的平均能量为  $0.58\text{MeV}$ , 最大能量达  $1.49\text{MeV}$ , 在组织内的辐射距离约  $2.4\text{mm}$ , 不会对环境产生明显的影响, 基本可以忽略。但  $\beta$  射线被放射源本身以及源周围的其他物质阻止时将产生韧致辐射, 从而对周围环境产生辐射污染。本次环评考虑在无任何屏蔽、受照物体为玻璃 (注射针管按照玻璃考虑) 的情况下, 对  $^{89}\text{Sr}$  导致韧致辐射产生的  $\gamma$  空气吸收剂量率进行预测分析。

本项目患者单次最大注射  $^{89}\text{Sr}$  为  $1.85 \times 10^8\text{Bq}$  ( $5\text{mCi}$ );  $\beta$  射线最大能量  $1.49\text{MeV}$ 。根

据公式 13-5 计算，<sup>89</sup>Sr 导致韧致辐射产生的  $\gamma$  空气吸收剂量率预测结果见表 13-17。

表 13-17 不同距离 <sup>89</sup>Sr 导致韧致辐射产生的空气吸收剂量率 ( $\mu$ Sv/h)

核素 \ 距离	0.05m	0.2m	0.5m	1m	3m	5m
<sup>89</sup> Sr (5mCi)	86.17	5.39	0.86	0.21	0.03	0.009

由表 13-17 可知，无屏蔽条件下，距 <sup>89</sup>Sr 裸源 0.5m 以外的韧致辐射剂量率已低于 2.5  $\mu$ Sv/h，可见 <sup>89</sup>Sr 产生的韧致辐射对周围环境影响较小，因此 <sup>89</sup>Sr 治疗场所四周墙体及防护门、窗外的辐射剂量率均可满足本次评价提出的限值要求。

#### 4) <sup>131</sup>I 辐射水平预测

本项目 <sup>131</sup>I 用于甲功测定、甲亢治疗和甲癌治疗，甲功测定单次最大口服 <sup>131</sup>I 为  $3.7 \times 10^5$ Bq (10  $\mu$ Ci)，甲亢患者单次最大口服 <sup>131</sup>I 为  $3.7 \times 10^8$ Bq (10mCi)，甲癌患者单次最大口服 <sup>131</sup>I 为  $7.4 \times 10^9$ Bq (200mCi)。由于甲功测定时 <sup>131</sup>I 服用量微小，基本不会对周围环境产生影响，因此本次评价主要对甲亢、甲癌治疗过程进行辐射环境影响评价。

<sup>131</sup>I 空气吸收剂量率常数  $\Gamma = 0.0595 \mu$ Sv  $\cdot$  m<sup>2</sup>/MBq  $\cdot$  h，铅对 <sup>131</sup>I  $\gamma$  射线的 TVL 为 11mm。

##### (1) 药物保存过程中的辐射水平预测

根据医院提供材料，<sup>131</sup>I 临时贮存于质控室手套箱铅罐内，手套箱、铅罐的屏蔽厚度分别为 40mmPb、30mmPb。考虑到甲亢、甲癌患者可能于同一天进行治疗，本次以 <sup>131</sup>I 单日最大用量 1050mCi 进行计算。经计算，手套箱外 1m 处的辐射剂量率已低至  $1.00 \times 10^{-3} \mu$ Gy/h，手套箱外工作人员操作位及非正对人员操作位表面的剂量率满足 HJ1188-2021 第 6.1.6 款要求。且 <sup>131</sup>I 一般于用药当日送达，保存时间较短，因此对周围环境影响较小。

##### (2) 药物转移及打开铅罐、分装等过程

根据医院提供材料，医院拟于质控室内设置碘全自动分装仪 (40mmPb)，职业人员将存有 <sup>131</sup>I 原液的铅罐置于碘全自动分装仪内，操作员远程操作分装仪将药物分装到一次性杯子，患者直接由服药窗口处拿取药物后服药。

在 <sup>131</sup>I 药物分装和患者服药过程中，职业人员为远程监督，不近距离接触药物及患者；职业人员近距离接触药物的过程为将铅罐从质控室手套箱内取出放在分装仪上并打开铅罐瞬间。因此本次评价仅考虑转移和打开铅罐过程中职业人员受照影响。同样参考《滨州市人民医院现有核医学科改扩建及新建一处 PET-CT 中心应用项目》中的现状检测结果，根据该项目检测报告，滨州市人民医院使用的通风橱与本项目手套箱防护能力一致，储存药物铅罐防护能力与本项目一致，因此具有良好的类比性。检测时间、检测单位及仪

器等详见“<sup>99m</sup>Tc 辐射水平预测”部分。根据类比监测数据，操作人员在转移及打开铅罐过程中手部、身体剂量率见表 13-18。

表 13-18 类比项目操作药物 <sup>131</sup>I 过程中人员受照剂量率监测结果 单位：μ Gy/h

核素	工作过程	点位描述	X-γ 辐射剂量率	备注
<sup>131</sup> I	转移铅罐	身体	2.2	50mCi
		手部	13.8	
	打开铅罐	身体	17.6	50mCi
		手部	77.7	

根据类比检测结果可知，在转移 50mCi 的药物 <sup>131</sup>I 时，职业人员身体及手部的剂量率分别为 2.2 μ Gy/h、13.8 μ Gy/h，本项目建成后每天最大操作量为 1050mCi，按照该最大工况折算，则身体的剂量率为  $1050 \div 50 \times 2.2 \approx 46.2$  μ Gy/h，手部的剂量率最大约为  $1050 \div 50 \times 13.8 \approx 289.8$  μ Gy/h。同样，根据类比检测结果按照最大工况折算打开铅罐时人员受照剂量率，打开铅罐时职业人员身体的剂量率为  $1050 \div 50 \times 17.6 \approx 369.6$  μ Gy/h，手部的剂量率最大约为  $1050 \div 50 \times 77.7 \approx 1631.7$  μ Gy/h。

综上，本项目职业人员在进行 <sup>131</sup>I 操作过程中所受剂量率详见表 13-19。

表 13-19 本项目职业人员在进行 <sup>131</sup>I 操作过程中所受剂量率 单位：μ Gy/h

核素	工作过程	点位描述	X-γ 辐射剂量率	备注
<sup>131</sup> I	转移铅罐	身体	46.2	1050mCi
		手部	289.8	
	打开铅罐	身体	369.6	1050mCi
		手部	1631.7	

### (3) 摆位过程

甲癌患者出院前利用 SPECT-CT 扫描过程中，职业人员于机房内对患者进行摆位指导，摆位指导过程医护人员与患者间隔大约 1m，本次评价按照出院患者（体内核素活度值为 8.54mCi）的 1m 外剂量率考虑，经理论估算可知身体、手部剂量率为 18.8 μ Gy/h。

### 3. 工作场所主要房间屏蔽水平预测

#### 1) 核素 <sup>18</sup>F、<sup>11</sup>C、<sup>13</sup>N、<sup>15</sup>O 对主要房间屏蔽水平预测

PET 区域本次同样按照 <sup>18</sup>F 进行计算，在使用 <sup>18</sup>F 情况下各房间屏蔽设计能够满足要求的情况下，其他 3 种核素 <sup>11</sup>C、<sup>13</sup>N、<sup>15</sup>O 亦能够满足要求。本次采用类比方式确定患者注射药物后 1m 处的剂量率，然后根据公式 13-2，计算屏蔽体外剂量率，类比数据参考《济南市中心医院核医学工作场所（<sup>99m</sup>Tc、<sup>131</sup>I、<sup>18</sup>F、<sup>89</sup>Sr、<sup>32</sup>P）应用项目、10MV 医用电子加速器应

用项目竣工环境保护验收监测报告表》中的验收监测数据，根据该项目验收监测报告表可知，监测时患者注射量为 12.17mCi，与本项目单名患者最大服药量 10mCi 相近，具有良好的类比性。类比对象检测情况如下：

①检测单位：山东鼎嘉环境检测有限公司。

②检测时间及条件：2021 年 9 月 27 日；天气：阴，气温：24.1℃，相对湿度：63.5%。

③检测仪器：AT1123 型辐射检测仪，能量范围为 15keV~3MeV，测量范围为 50nSv/h~10Sv/h，检定单位为山东省计量科学研究院，检定证书编号为 Y16-20210471，检定有效期至 2022 年 3 月 31 日。

根据类比监测数据，注射量为 12.17mCi 的患者注射后 1m 处的剂量率为 36.94  $\mu$  Sv/h，按照本项目最大工况（单名患者最大注射量为 10mCi）折算，则本项目患者注射 10mCi 药物后身体外 1m 处的剂量率为  $10 \div 12.17 \times 36.94 = 30.4 \mu$  Sv/h，根据公式 13-4 推算患者休息 1 小时后 1m 处的剂量率为 20.8  $\mu$  Sv/h。

两个扫描间每次最多容留1人，按照患者休息1小时后衰变考虑，源强为20.8  $\mu$  Sv/h，留观室每次最多容留3人，按照患者休息1小时后衰变考虑，源强为62.4  $\mu$  Sv/h。注射后候诊室1最多容留2人，源强为60.8  $\mu$  Sv/h，其他两个注射后候诊室每次最多容留1人，源强为30.4  $\mu$  Sv/h，注射室及抢救室每次最多容留1人，源强为30.4  $\mu$  Sv/h。

实心砖、混凝土及铅对<sup>18</sup>F  $\gamma$ 射线的TVL分别约为263mm、176mm、16.6mm。代入公式 13-2，得到上述房间周围剂量率。

表13-20 操作核素<sup>18</sup>F时主要房间外辐射剂量率计算结果 单位： $\mu$  Sv/h

序号	房间	屏蔽体	参考点到源最近距离 (m)	屏蔽厚度	参考点辐射剂量率	剂量率参考控制水平
1	注射室 (30.4 $\mu$ Sv/h)	防护门	2.0	10mmPb	1.90	2.5
		注射窗	1.2	50mmPb	0.021	2.5
		四周墙体	1.2	370mm 实心砖+40mm 钡砂	0.47	2.5
		室顶	6.15	350mm 混凝土	$8.00 \times 10^{-3}$	2.5
2	注射后候诊室 1 (60.8 $\mu$ Sv/h)	防护门	3.6	10mmPb	1.17	2.5
		四周墙体	1.7	370mm 实心砖+40mm 钡砂	0.47	2.5
		室顶	6.15	350mm 混凝土	0.017	2.5
3	PET-CT/PET-MR 扫描间 (20.8 $\mu$ Sv/h)	防护门	2.5	10mmPb	0.83	2.5
		观察窗	2.5	10mmPb	0.83	2.5
		四周墙体	2.5	370mm 实心砖+40mm 钡砂	0.07	2.5
		室顶	6.15	350mm 混凝土	0.006	2.5

4	留观室 (62.4 μSv/h)	防护门	2.8	10mmPb	1.99	2.5
		北、南、西墙	1.7	370mm 实心砖+40mm 钡砂	0.48	2.5
		东墙	1.7	400mm 混凝土	0.12	2.5
		室顶	6.15	350mm 混凝土	0.017	2.5
5	抢救室 (30.4 μSv/h)	防护门	2.6	10mmPb	1.12	2.5
		四周墙体	1.7	370mm 实心砖+40mm 钡砂	0.23	2.5
		室顶	6.15	350mm 混凝土	0.008	2.5
6	患者走廊 (30.4 μSv/h)	防护门	2.5	10mmPb	1.22	2.5

注：1. PET 区域层高约 6.5m，源强距地面距离视为 1.0m，距室顶距离为 5.5m，取室顶外 0.3m 处作为参考点，则源强距楼上参考点距离为 6.5-1.0+0.35+0.3=6.15m。楼上为 <sup>131</sup>I 治疗场所，存在监督区和控制区；  
2. 370mm 实心砖+40mm 钡砂相当于 435mm 实心砖。

在操作核素<sup>18</sup>F过程中主要房间外各参考点处的辐射剂量率最大值出现于留观室防护门外，辐射剂量率为1.99 μSv/h，为控制区内部，可满足本次评价提出的控制区内部各房间外2.5 μSv/h的控制值要求，控制区边界外各参考点处的辐射剂量率也均满足2.5 μSv/h的控制值要求。

PET-CT中的CT为III类射线装置，医院拟购置的PET-CT最大管电压为140kV，PET-CT扫描间四周墙体为370mm实心砖+40mm钡砂（相当于435mm实心砖），室顶为350mm混凝土，保守按照受有用射束照射考虑，依据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）表C.7，140kV管电压条件下，受有用射束照射时相当于3mmPb的材料厚度为混凝土249mm（2.35g/cm<sup>3</sup>），则扫描间四周墙体相当于铅的防护能力为435/249×3≈5.24mmPb，室顶相当于铅的防护能力为350/249×3≈4.22mmPb，防护门及观察窗为10mmPb，均满足GBZ130-2020中规定的CT机房屏蔽防护铅当量不小于2.5mmPb的要求，且本项目PET-CT工作条件低于诊断用CT机，因此在严格按照屏蔽设计方案进行建设，尽可能减小各防护门与周围墙体之间缝隙，并加强日常管理后，预计<sup>18</sup>F患者在扫描时扫描间周围的剂量率可满足限值要求。

## 2) 核素<sup>99m</sup>Tc对主要房间屏蔽水平预测

本次采用类比方式确定<sup>99m</sup>Tc患者注射药物后1m处的剂量率，然后根据公式13-2，计算屏蔽体外剂量率，类比数据参考《济南市中心医院核医学工作场所（<sup>99m</sup>Tc、<sup>131</sup>I、<sup>18</sup>F、<sup>89</sup>Sr、<sup>32</sup>P）应用项目、10MV医用电子加速器应用项目竣工环境保护验收监测报告表》中的验收监测数据，根据该项目验收监测报告表可知，监测时患者注射量为25mCi，与本项目单名患者最大服药量20mCi相近，具有良好的类比性。检测时间、检测单位及仪器等详见上文“核素<sup>18</sup>F、<sup>11</sup>C、<sup>13</sup>N、<sup>15</sup>O对主要房间屏蔽水平预测”部分。根据类比检测数据，患者注射25mCi药物后，患者1m处剂量率为23.52 μSv/h，按照本项目单名患者最大注射量

20mCi 折算，则本项目  $^{99m}\text{Tc}$  患者注射 20mCi 药物后身体外 1m 处的剂量率为 18.82  $\mu\text{Sv/h}$ 。

SPECT-CT扫描间、注射室及抢救室每次容留人数为1人，保守不考虑时间衰减，源强按照患者注射药物后1m处的辐射剂量率为18.82  $\mu\text{Sv/h}$ 进行计算，每个注射后候诊室每次最多容留2人，源强按照37.64  $\mu\text{Sv/h}$ 计算，留观室每次最多容留3人，源强按56.46  $\mu\text{Sv/h}$ 计算。

实心砖、混凝土及铅对 $^{99m}\text{Tc}$   $\gamma$ 射线的TVL分别约为160mm、110mm、1mm。代入公式13-2，得到上述房间周围剂量率。

表13-21 操作核素 $^{99m}\text{Tc}$ 时主要房间外辐射剂量率计算结果 单位： $\mu\text{Sv/h}$

序号	房间	屏蔽体	参考点到源最近距离 (m)	屏蔽厚度	参考点辐射剂量率	剂量率参考控制水平
1	SPECT-CT 扫描间 (18.82 $\mu\text{Sv/h}$ )	防护门	2.5	6mmPb	$3.01 \times 10^{-6}$	2.5
		观察窗	2.5	6mmPb	$3.01 \times 10^{-6}$	2.5
		四周墙体	2.5	370mm 实心砖+20mm 钡砂	0.01	2.5
		室顶	6.15	350mm 混凝土	$3.27 \times 10^{-4}$	2.5
2	注射后候诊室 (37.64 $\mu\text{Sv/h}$ )	防护门	1.7	6mmPb	$1.30 \times 10^{-5}$	2.5
		四周墙体	1.7	6mmPb	$1.30 \times 10^{-5}$	2.5
		室顶	6.15	250mm 混凝土	0.005	2.5
3	注射室 (18.82 $\mu\text{Sv/h}$ )	防护门	1.2	6mmPb	$1.31 \times 10^{-5}$	2.5
		注射窗	1.2	10mmPb	$1.31 \times 10^{-9}$	2.5
		四周墙体	1.2	370mm 实心砖+40mm 钡砂	0.025	2.5
		室顶	6.15	250mm 混凝土	0.003	2.5
4	留观室 (56.46 $\mu\text{Sv/h}$ )	防护门	1.7	6mmPb	$1.95 \times 10^{-9}$	2.5
		四周墙体	1.7	370mm 实心砖+20mm 钡砂	0.06	2.5
		室顶	6.15	350mm 混凝土	$9.82 \times 10^{-4}$	2.5
5	抢救室 (18.82 $\mu\text{Sv/h}$ )	防护门	1.7	6mmPb	$6.51 \times 10^{-6}$	2.5
		四周墙体	1.7	370mm 实心砖+20mm 钡砂	0.02	2.5
		室顶	6.15	350mm 混凝土	$3.27 \times 10^{-4}$	2.5
6	患者走廊 (18.82 $\mu\text{Sv/h}$ )	防护门	1.2	6mmPb	$1.31 \times 10^{-5}$	2.5
		西墙	1.2	600mm 混凝土	$4.59 \times 10^{-5}$	2.5

注：1. SPECT 区域层高约 6.5m，源强距地面距离视为 1.0m，距室顶距离为 5.5m，取室顶外 0.3m 处作为参考点，则源强距楼上参考点距离为 6.5-1.0+0.35+0.3=6.15m。楼上为  $^{131}\text{I}$  治疗场所，存在监督区和控制区；

2. 370mm 实心砖+40mm 钡砂相当于 435mm 实心砖，370mm 实心砖+20mm 钡砂相当于 403mm 实心砖。

根据上表可知，在操作核素 $^{99m}\text{Tc}$ 过程中主要房间外各参考点处的辐射剂量率最大值出现于留观室四周墙体外，辐射剂量率为0.06  $\mu\text{Sv/h}$ ，为控制区内部，可满足本次评价提出

的控制区内部各房间外 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的控制值要求，控制区边界外各参考点处的辐射剂量率也均满足 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的控制值要求。

SPECT-CT中的CT为III类射线装置，医院拟购置的SPECT-CT最大管电压为140kV，PET-CT扫描间四周墙体为370mm实心砖+20mm钡砂（相当于403mm实心砖），室顶为350mm混凝土，保守按照受有用射束照射考虑，依据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）表C.7，140kV管电压条件下，受有用射束照射时相当于3mmPb的材料厚度为混凝土249mm（ $2.35\text{g/cm}^3$ ），则扫描间四周墙体相当于铅的防护能力为 $403/249 \times 3 \approx 4.86\text{mmPb}$ ，室顶相当于铅的防护能力为 $350/249 \times 3 \approx 4.22\text{mmPb}$ ，防护门及观察窗为6mmPb，均满足GBZ130-2020中规定的CT机房屏蔽防护铅当量不小于2.5mmPb的要求，且本项目SPECT-CT工作条件低于诊断用CT机，因此在严格按照屏蔽设计方案进行建设，尽可能减小各防护门与周围墙体之间缝隙，并加强日常管理后，预计 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 患者在扫描时扫描间周围的剂量率可满足限值要求。

### 3) 核素 $^{131}\text{I}$ 对主要房间屏蔽水平预测

由于甲功测定时 $^{131}\text{I}$ 服用量微小，基本不会对周围环境产生影响，本次评价主要对可能受到甲亢、甲癌患者治疗过程中辐射影响的服碘室、备餐窗口、甲癌患者病房、抢救室、SPECT-CT扫描间外的剂量率进行计算。

本次采用类比方式确定 $^{131}\text{I}$ 甲癌患者服药后1m处的剂量率，然后根据公式13-2，计算屏蔽体外剂量率，类比数据同样参考《济南市中心医院核医学工作场所（ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{131}\text{I}$ 、 $^{18}\text{F}$ 、 $^{89}\text{Sr}$ 、 $^{32}\text{P}$ ）应用项目、10MV医用电子加速器应用项目竣工环境保护验收监测报告表》中的验收监测数据，根据该项目验收监测报告表可知，监测时 $^{131}\text{I}$ 甲癌患者服药量为150mCi，与本项目单名患者服药量200mCi相近，具有良好的类比性。检测时间、检测单位及仪器等详见上文“核素 $^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$ 对主要房间屏蔽水平预测”部分。根据类比检测数据，患者服用150mCi药物后，患者1m处剂量率为 $248.2 \mu\text{Sv/h}$ ，按照本项目单名患者最大服药量200mCi折算，则本项目 $^{131}\text{I}$ 甲癌患者服用200mCi药物后身体外1m处的剂量率为 $330.9 \mu\text{Sv/h}$ 。

服碘室、抢救室、备餐窗口及甲癌患者病房5每次容留人数为1人，源强按 $330.9 \mu\text{Sv/h}$ 考虑，其余病房可容纳2名甲癌患者，源强按 $661.8 \mu\text{Sv/h}$ 计算，SPECT-CT扫描间源强活度按患者住院4天后考虑，根据《分化型甲状腺癌患者的 $^{131}\text{I}$ 有效半衰期》（易艳玲等，原子能科学与技术，Vol144，suppl.2010.9）分析，甲癌患者（服药后120h内） $^{131}\text{I}$ 平均有效半衰期为 $(14.6 \pm 6.5) \text{h}$ ，本次评价保守取最大值21.1h，按照公式13-4计算患者住院4天后体内核素活度，为8.54mCi，根据类比检测结果进行折算，则住院4天后患者1m处剂量



率为 $8.54 \div 150 \times 248.2 \approx 14.13 \mu\text{Sv/h}$ 。

实心砖、混凝土及铅对 $^{131}\text{I}$   $\gamma$ 射线的TVL分别约为240mm、170mm、11mm。代入公式13-2，得到上述房间周围剂量率。

表13-22 操作核素 $^{131}\text{I}$ 时主要房间外辐射剂量率计算结果 单位： $\mu\text{Sv/h}$

序号	房间	屏蔽体	参考点到源最近距离 (m)	屏蔽厚度	参考点辐射剂量率	剂量率参考控制水平
1	服碘室 (330.9 $\mu\text{Sv/h}$ )	防护门	2.51	15mmPb	2.27	2.5
		服药窗	1.51	20mmPb	2.21	2.5
		四周墙体	1.51	370mm 实心砖+40mm 钡砂	2.23	2.5
		室顶	5.65	350mm 混凝土	0.09	2.5
		地板	6.15	350mm 混凝土	0.08	2.5
2	抢救室 (330.9 $\mu\text{Sv/h}$ )	西侧防护门	3.9	12mmPb	1.76	2.5
		南侧防护门	3.2	20mmPb	0.49	2.5
		四周墙体	1.7	370mm 实心砖+40mm 钡砂	1.76	2.5
		室顶	5.65	350mm 混凝土	0.09	2.5
		地板	6.15	350mm 混凝土	0.08	2.5
3	单人病房 (330.9 $\mu\text{Sv/h}$ )	防护门	3.7	12mmPb	1.96	2.5
		西、南墙	2.2	370mm 实心砖+40mm 钡砂	1.05	2.5
		东墙	2.2	400mm 混凝土	0.30	2.5
		室顶	5.65	350mm 混凝土	0.09	2.5
		地板	6.15	350mm 混凝土	0.08	2.5
5	双人病房 (661.8 $\mu\text{Sv/h}$ )	防护门	3.7	15mmPb	2.09	2.5
		病房9东墙	2.2	450mm 混凝土	0.31	2.5
		其余墙体	2.2	370mm 实心砖+40mm 钡砂	2.11	2.5
		室顶	5.65	350mm 混凝土	0.18	2.5
		地板	6.15	350mm 混凝土	0.15	2.5
6	SPECT-CT 扫描间 (14.13 $\mu\text{Sv/h}$ )	防护门	2.5	6mmPb	0.03	2.5
		观察窗	2.5	6mmPb	0.03	2.5
		四周墙体	2.5	370mm 实心砖+20mm 钡砂	0.05	2.5
		室顶	6.15	350mm 混凝土	0.08	2.5
7	患者走廊 (330.9 $\mu\text{Sv/h}$ )	防护门	2.5	18mmPb	1.22	2.5
		西墙	2.5	370mm 实心砖+40mm 钡砂	0.82	2.5
8	备餐窗口 (330.9 $\mu\text{Sv/h}$ )	传递窗	1.7	20mmPb	1.74	2.5

注：1. 地下二层层高约 6m，源强距地面距离视为 1.0m，距室顶距离为 5m，取室顶外 0.3m 处作为参考点，则源强距楼上参考点距离为  $6-1.0+0.35+0.3=5.65\text{m}$ 。楼下为 SPECT 区域和 PET 区域，存在监督区和控制区；同时本次选取各房间楼下距该楼层地面 1.7m 处进行剂量率计算，则源强距地板下参考点距离为  $4.8+1.0+0.35=6.15\text{m}$ ；

- 2. 甲癌患者病房 1-5 北墙外为地下土层，北墙仅满足承重即可，本次不再对北墙外剂量率进行估算；
- 3. 370mm 实心砖+40mm 钡砂相当于 435mm 实心砖，370mm 实心砖+20mm 钡砂相当于 403mm 实心砖。

根据上表可知，在操作核素<sup>131</sup>I过程中主要房间外各参考点处的辐射剂量率最大值出现于服碘室防护门外30cm处，辐射剂量率为2.27 μSv/h，为控制区内部，可满足本次评价提出的控制区内部各房间外2.5 μSv/h的控制值要求，控制区边界外各参考点处的辐射剂量率均满足2.5 μSv/h的控制值要求。

#### 4. 患者出院时体内放射性核素活度

本项目仅<sup>131</sup>I甲癌患者需要住院，其他患者诊疗结束无异常后可直接离开，本次评价要求医院按照HJ1188-2021附录B.2款要求对<sup>131</sup>I甲癌患者服药后距患者水平距离3米，探测器离地面垂直距离1m处的剂量率进行检测，同时对患者出院时该位置处的剂量率进行计算，按照HJ1188-2021附录B中的公式B.1计算患者出院时体内滞留的放射性活度，待患者体内放射性活度不大于400MBq或距离患者体表1m处的周围剂量当量率不大于25 μSv/h方可出院。

## 二、年有效剂量估算

### 1. 估算公式、居留因子选取

根据工作负荷对职业人员辐射年有效剂量进行理论估算，估算公式见式 10-13，居留因子参照表 10-15。

### 2. 操作时间选取

使用<sup>99m</sup>Tc过程中，职业人员进行淋洗、分装、取药和注射、摆位指导过程、扫描，其中淋洗过程约15min，分装过程约1min/次、取药过程约10s/例、注射过程约30s/例、摆位指导约1min/例、扫描过程约20min/例，医院年最大诊疗人数5000人，则淋洗时间为62.5h/a、分装时间为4.17h/a、取药时间为13.89h/a、注射时间为41.67h/a、摆位指导过程时间为83.3h/a、扫描过程时间为1666.7h/a。

使用<sup>89</sup>Sr过程中，职业人员取药过程约10s/例、注射过程约30s/例，医院年最大治疗人数为250人，则取药时间为0.69h/a，注射时间为2.08h/a，共计2.77h/a。

使用核素<sup>18</sup>F、<sup>11</sup>C、<sup>13</sup>N、<sup>15</sup>O过程中（<sup>11</sup>C、<sup>13</sup>N、<sup>15</sup>O受照情况保守按<sup>18</sup>F考虑），职业人员进行取药和注射、摆位指导过程、扫描，其中取药过程约10s/例、注射过程约30s/例、摆位指导约1min/例、扫描过程约20min/例，年最大诊疗人数5150人，年工作时间250天，则取药时间为14.31h/a、注射时间为42.92h/a、摆位指导过程85.83h/a、扫描过程1716.7h/a。

使用<sup>131</sup>I过程中，职业人员转移铅罐过程约20s/次，打开铅罐过程约10s/次，医院

每周订购 4 次，每年操作次数为 200 次，则转移铅罐过程受照射时间为 1.11h/a，打开铅罐过程受照射时间为 0.56h/a；在甲癌患者出院扫描时摆位指导过程约 1min/例、扫描过程约 20min/例，每年接诊 850 名甲癌患者，则年摆位指导过程 14.2h/a、扫描过程 283.3h/a。

### 3. 估算结果

#### (1) 职业人员的年有效剂量

医院拟为地下二层和地下三层核素使用区域配备 18 名专职辐射工作人员，拟根据需要平均分为 2 组轮换开展诊疗工作。

#### ①<sup>99m</sup>Tc 药物分装、取药及注射、摆位指导、扫描

a、分装过程中手部受照剂量率为 1372 μGy/h，身体受照剂量率为 401 μGy/h，居留因子取 1，则医护人员手部年当量剂量为  $1372 \times 4.17 \times 1 \div 1000 \approx 5.72\text{mSv}$ ；躯干年有效剂量为  $401 \times 4.17 \times 1 \div 1000 \approx 1.67\text{mSv}$ 。

b、取药过程中手部受照剂量率为 1.90 μGy/h，身体受照剂量率为 522.4nGy/h，居留因子取 1，则医护人员手部年当量剂量为  $1.90 \times 13.89 \times 1 \div 1000 \approx 0.026\text{mSv}$ ；躯干年有效剂量为  $522.4 \times 13.89 \times 1 \div 10^6 \approx 7.26 \times 10^{-3}\text{mSv}$ 。

c、注射过程中手部受照剂量率为 68.6 μGy/h，身体受照剂量率为 13.79 μGy/h，居留因子取 1，则医护人员手部年当量剂量为  $68.6 \times 41.67 \times 1 \div 1000 \approx 2.86\text{mSv}$ ；躯干年有效剂量为  $13.79 \times 41.67 \times 1 \div 1000 \approx 0.57\text{mSv}$ 。

d、医护人员在扫描间内指导注射后患者正确摆位姿势，摆位指导过程医护人员与患者间隔大约 1m，保守不考虑时间衰减，保守按照类比的<sup>99m</sup>Tc 患者注射药物后 1m 外剂量率考虑，即手部、身体受照剂量率为 18.82 μGy/h，居留因子取 1，则医护人员手部年当量剂量、躯干年有效剂量均为  $18.82 \times 83.3 \times 1 \div 1000 \approx 1.57\text{mSv}$ 。

e、扫描过程中技师在操作台受照剂量率保守按照操作位所在一侧墙体外剂量率 0.01 μGy/h 计算，则技师手部年当量剂量、躯干年有效剂量均为  $0.01 \times 1666.7 \times 1 \div 1000 \approx 0.02\text{mSv}$ 。

#### ②<sup>89</sup>Sr 取药、注射

本项目职业人员进行<sup>89</sup>Sr 取药、注射操作时会受到韧致辐射的影响，进行上述操作时药物距离手部约为 5cm，距离身体约为 50cm，本次评价保守按照无屏蔽状态下距<sup>89</sup>Sr 0.05m 和 0.5m 处的韧致辐射剂量率进行估算（详见表 13-17），即手部受照剂量率为 86.17 μSv/h，身体受照剂量率为 0.86 μSv/h，则医护人员手部年当量剂量为  $86.17 \times 2.77 \times 1 \div 1000 \approx 0.24\text{mSv}$ ；躯干年有效剂量为  $0.86 \times 2.77 \times 1 \div 1000 \approx 2.38 \times 10^{-3}\text{mSv}$ 。

③<sup>18</sup>F、<sup>11</sup>C、<sup>13</sup>N、<sup>15</sup>O 药物取药、注射、摆位指导、扫描

本项目 <sup>18</sup>F、<sup>11</sup>C、<sup>13</sup>N、<sup>15</sup>O 药物由回旋加速器中心负责制取、分装，本次评价不考虑职业人员在 <sup>18</sup>F、<sup>11</sup>C、<sup>13</sup>N、<sup>15</sup>O 药物制取、分装过程的受照影响，仅考虑取药、注射、摆位指导、扫描过程中职业人员受照影响。

a、取药过程中手部受照剂量率为 212.9 μGy/h，身体受照剂量率为 5.31 μGy/h，居留因子取 1，则医护人员手部年当量剂量为  $212.9 \times 14.31 \times 1 \div 1000 \approx 3.05\text{mSv}$ ；躯干年有效剂量为  $5.31 \times 14.31 \times 1 \div 1000 \approx 0.08\text{mSv}$ 。

b、注射过程中手部受照剂量率为 213.0 μGy/h，身体受照剂量率为 2.15 μGy/h，居留因子取 1，则医护人员手部年当量剂量为  $213.0 \times 42.92 \times 1 \div 1000 \approx 9.14\text{mSv}$ ；躯干年有效剂量为  $33.15 \times 42.92 \times 1 \div 1000 \approx 1.42\text{mSv}$ 。

c、医护人员在扫描间内指导注射后患者正确摆位姿势，摆位指导过程医护人员与患者间隔大约 1m，本次评价保守按照类比的 <sup>18</sup>F 患者注射药物 1 小时后 1m 外剂量率考虑，即手部、身体受照剂量率为 20.8 μGy/h，则医护人员手部年当量剂量、躯干年有效剂量均为  $20.8 \times 85.83 \times 1 \div 1000 \approx 1.79\text{mSv}$ 。

d、扫描过程中技师在操作台受照剂量率为 0.83 μGy/h，则技师手部年当量剂量、躯干年有效剂量均为  $0.83 \times 1716.7 \times 1 \div 1000 \approx 1.42\text{mSv}$ 。

④<sup>131</sup>I 药物分装、指导服药

本项目 <sup>131</sup>I 药物分装采用碘全自动分装仪，药物分装、指导服药过程均为远程操作，且职业人员通过可视对讲对甲癌患者进行查房，不进入控制区内部，因此本次评价不考虑职业人员在 <sup>131</sup>I 药物分装、患者服药及查房过程的受照影响。本次评价仅考虑医护人员在转移铅罐、打开铅罐及甲癌患者出院前扫描过程中医护人员受照影响。

a、转移铅罐过程中手部受照剂量率为 289.8 μGy/h，身体受照剂量率为 46.2 μGy/h，居留因子取 1，则医护人员手部年当量剂量为  $289.8 \times 1.11 \times 1 \div 1000 \approx 0.32\text{mSv}$ ；躯干年有效剂量为  $46.2 \times 1.11 \times 1 \div 1000 \approx 0.05\text{mSv}$ 。

b、打开铅罐过程中手部受照剂量率为 1631.7 μGy/h，身体受照剂量率为 369.6 μGy/h，居留因子取 1，则医护人员手部年当量剂量为  $1631.7 \times 0.56 \times 1 \div 1000 \approx 0.91\text{mSv}$ ；躯干年有效剂量为  $369.6 \times 0.56 \times 1 \div 1000 \approx 0.21\text{mSv}$ 。

c、医护人员在扫描间内指导患者正确摆位姿势，摆位指导过程医护人员与患者间隔大约 1m，本次评价按照出院患者（体内核素活度值为 8.54mCi）的 1m 外剂量率考虑，即手部、身体受照剂量率为 18.8 μGy/h，医护人员居留因子取 1，则医护人员手部年当量剂量和躯干年有效剂量均为  $18.8 \times 14.2 \times 1 \div 1000 \approx 0.27\text{mSv}$ 。

e、扫描过程中技师位于控制室内进行设备操作，根据计算结果，扫描过程中该区域辐射剂量率最大为  $0.01 \mu\text{Gy/h}$ ，居留因子取 1，则职业人员手部年当量剂量和躯干年有效剂量均为  $0.01 \times 283.3 \times 1 \div 1000 \approx 2.83 \times 10^{-3} \text{mSv}$ 。

此外，职业人员除在核素操作过程中受到照射外，还同时受相邻场所的照射，如地下三层 SPECT-CT 机房及 PET-CT 机房控制室内的职业人员受地下二层病房区域患者的影响，根据表 13-22 可知，病房楼下剂量率最大为  $0.15 \mu\text{Sv/h}$ ，SPECT 区域摆位和扫描时间共  $16.7+333.3=350\text{h}$ ，PET 区域摆位和扫描时间共  $83.3+1666.7=1750\text{h}$ 。则地下二层对地下三层职业人员造成的附加年有效剂量为  $0.15 \times (350+1750) \times 1 \div 1000 \approx 0.315\text{mSv}$ 。同样，地下三层 SPECT 区域注射后候诊室 1 区域对应地下二层职业人员办公区域，本次主要考虑  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  患者在注射后候诊室 1 期间对楼上职业人员造成的附加年有效剂量，注射后候诊室 1 楼上剂量率  $0.005 \mu\text{Sv/h}$ ，照射时间按照  $8\text{h/d}$  保守考虑，则楼上职业人员受照剂量为  $0.005 \times 8 \times 250 \times 1 \div 1000 \approx 0.01\text{mSv}$ 。其他区域职业人员停留时间较短，受相邻场所附加剂量本次忽略不计。因此在参加全部诊疗工作的情况下，职业人员受到相邻场所的附加剂量为  $0.315+0.01 \approx 0.325\text{mSv}$ 。

根据上述分析，核医学工作场所职业人员受照剂量见表 13-23。

表13-23 职业人员年受照剂量汇总 单位 mSv

核素名称	操作过程	手部当量剂量	躯干剂量
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	分装	5.72	1.67
	取药	0.026	$7.26 \times 10^{-3}$
	注射	2.86	0.57
	摆位	1.57	1.57
	扫描	0.02	0.02
$^{89}\text{Sr}$	取药、注射	$2.38 \times 10^{-3}$	$2.38 \times 10^{-3}$
$^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$	取药	3.05	0.08
	注射	9.14	1.42
	摆位	1.79	1.79
	扫描	1.42	1.42
$^{131}\text{I}$	转移铅罐过程	0.32	0.05
	打开铅罐过程	0.91	0.21
	摆位	0.27	0.27
	扫描	$2.83 \times 10^{-3}$	$2.83 \times 10^{-3}$
受相邻场所影响		0.325	0.325
合计		27.43	9.41

根据上表，核医学工作场所运行过程中，职业人员参加全部诊疗情况下手部年当量剂

量最大值为 27.43mSv、躯干年有效剂量最大值为 9.41mSv，本项目 18 名职业人员分为两组交替开展工作，则本项目职业人员人均手部年当量剂量最大值为 13.715mSv、躯干人均年有效剂量最大值为 4.705mSv。分别低于本报告采用的职业人员四肢（手和脚）或皮肤 125mSv 的年当量剂量约束值、躯干 5mSv 的年管理剂量约束值。

本次核素操作过程中人员受照剂量率检测为在个人防护用品外进行检测，因此计算保守，本评价建议辐射工作人员在实际工作中要注重个人防护，熟练操作过程，综合采用时间、距离、屏蔽防护措施加强辐射防护，尽量缩短受照时间，尽量加强距离及屏蔽防护，从而有效地减少受照射剂量。

(2) 内照射影响

本项目使用的 <sup>99m</sup>Tc、<sup>89</sup>Sr、<sup>18</sup>F、<sup>11</sup>C、<sup>13</sup>N、<sup>15</sup>O 均属于非挥发性核素，正常操作过程中无放射性气体产生；使用的 <sup>131</sup>I 属于挥发性核素，内照射剂量估算参考中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所发布的工业卫生与职业病 2013 年底 39 卷第 3 期论文中关于 4 家核医学工作场所空气中 <sup>131</sup>I 活度浓度的监测结果，见表 13-24 所示，辐射工作人员内照射计算公式见公式 13-6 和公式 13-7。

表13-24 4家医院核医学工作场所空气中<sup>131</sup>I活度浓度

采样地点	采样时间 (h)	采样体积 (m <sup>3</sup> )	<sup>131</sup> I活度浓度 (Bq/m <sup>3</sup> )	<sup>131</sup> I操作量 (GBq)	操作方式
四川省A医院检查 服药室	5	120	28	10	自动
四川省B医院检查 服药室	5	123	320	5	手动
河南省某医院 <sup>131</sup> I 分装室	5	98	197	30	手动
山东省某医院 <sup>131</sup> I 分装室	5	78	5.8	2	手动
平均值	5	105	137	12	—

从事 <sup>131</sup>I 治疗的工作人员摄入放射性核素所致待积有效剂量采用公式：

$$E(\tau) = A_0 e^{-\lambda \tau} \dots \dots \dots (13-6)$$

其中：A<sub>0</sub>-放射性核素摄入量，Bq；

E(τ)-每单位摄入量引起的待积有效剂量，mSv/Bq。

在进行职业内照射剂量估算时，吸入的气溶胶粒子的空气动力学直径活度中值 (AMAD) 通常取 5 μm；对放射性核素 <sup>131</sup>I，当 AMAD 为 5 μm 时对应的 E(τ) 为 1.1×10<sup>-5</sup> mSv/Bq。

用空气采样方法估算吸入所致放射性核素摄入量时，可用公式13-7计算：

$$A_{0吸} = C_{空} B_{空} \dots\dots\dots (13-7)$$

其中： $A_{0吸}$ -通过呼吸道的摄入量Bq；

$C_{空}$ -核素在空气中的时间积分浓度， $Bq \cdot h/m^3$ ；

$B_{空}$ -工作人员呼吸率， $m^3/h$  ( $B_{空}$ 值成年人取 $0.83m^3/h$ )。

根据表13-24可知，四川省A医院检查服药室 $^{131}I$ 操作量为10GBq，操作方式为自动操作，其工作场所空气中 $^{131}I$ 活度浓度为 $28Bq/m^3$ ，该医院与本项目操作方式一致，因此可用该调查数据预测本项目运行后辐射工作人员所受到的内照射剂量。根据本项目医院提供的资料，本项目每天核素最大操作量为1050mCi (38.85GBq)，则根据表中类比推算，本项目工作场所空气中 $^{131}I$ 活度浓度为 $108.78Bq/m^3$ ，假设医院辐射工作人员在质控室平均每天工作约为1h， $^{131}I$ 甲亢及甲癌治疗每周共开展4天，周累计停留时间为4h，利用公式13-6和公式13-7可计算出辐射工作人员在质控室内每周因吸入所致待积有效剂量 $3.97 \times 10^{-3}mSv$ ，以每年50周计算，则每年吸入所致待积有效剂量为0.20mSv，该接触水平所致工作人员内照射剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的要求。

### (3) 慰问者所受剂量估算

由于 $^{89}Sr$ 在人体组织内辐射距离较短，不会对环境产生明显影响，因此家属及慰问者与注射 $^{89}Sr$ 患者接触时，所受剂量基本可以忽略。

其他患者在进行放射诊疗时一般不需要陪护人员，如果陪护人员与注药患者近距离接触，则陪护人员受照射剂量计算公式见公式13-8。由于核素 $^{18}F$ 、 $^{11}C$ 、 $^{13}N$ 、 $^{15}O$   $\gamma$ 射线照射量常数相近，且患者服用剂量相同，本次评价以 $^{18}F$ 用药患者对慰问者的照射剂量分析代表说明 $^{11}C$ 、 $^{13}N$ 、 $^{15}O$ 用药患者影响。

$$D = A_R \times D_1 \times t / (1000R^{1.5}) \dots\dots\dots (13-8)$$

式中：

$D$ ：患者或受检者家人或探访者接受的剂量，单位为mSv；

$A_R$ ：放射性药物施用到患者或受检者后，某一时刻体内的放射性活度，单位为MBq；

$D_1$ ：患者或受检者体内单位放射性活度所致体外1m处的剂量率，单位为 $\mu Sv \cdot m^2 / (MBq \cdot h)$ ， $^{99m}Tc$ 取值为 $0.0207 \mu Sv \cdot m^2 / (MBq \cdot h)$ 、 $^{131}I$ 取值为 $0.0583 \mu Sv \cdot m^2 / (MBq \cdot h)$ 、 $^{18}F$ 取值为 $0.092 \mu Sv \cdot m^2 / (MBq \cdot h)$ ；

t: 接触时间, 单位为 h;

R: 患者或受检者家人或探访者离患者或受检者的距离, 单位为 m。

本项目单名  $^{99m}\text{Tc}$  患者最大注射量为 20mCi, 注射 3 天后患者体内药物活度为  $5.02 \times 10^{-3}\text{mCi}$ , 可见注射  $^{99m}\text{Tc}$  患者对外环境影响持续时间较短。本次保守按  $^{99m}\text{Tc}$  患者注射药物后 3 天内与陪护者接触考虑, 居留因子取 1, 根据公式 13-8, 陪护者距离  $^{99m}\text{Tc}$  患者 1m 进行保守计算, 则陪护者陪护受照射剂量为  $20 \times 3.7 \times 10^7 \div 10^6 \times 0.0207 \times 24 \times 3 / (1000 \times 1^{1.5}) \approx 1.10\text{mSv}$ , 满足本次提出的慰问者在患者诊断和治疗期间受到的剂量不超过 5mSv 的要求。

本项目单名  $^{18}\text{F}$  患者最大注射量为 10mCi, 注射 1 天后患者体内药物活度为  $1.13 \times 10^{-3}\text{mCi}$ , 可见注射  $^{18}\text{F}$  患者对外环境影响持续时间较短。本次保守按  $^{18}\text{F}$  患者注射药物后 1 天内与陪护者接触考虑, 居留因子取 1, 根据公式 13-8, 陪护者距离  $^{18}\text{F}$  患者 1m 进行保守计算, 则陪护者陪护受照射剂量为  $10 \times 3.7 \times 10^7 \div 10^6 \times 0.092 \times 24 / (1000 \times 1^{1.5}) \approx 0.82\text{mSv}$ , 满足本次提出的慰问者在患者诊断和治疗期间受到的剂量不超过 5mSv 的要求。

本项目单名  $^{131}\text{I}$  甲亢患者最大服药量为 10mCi, 对服用  $^{131}\text{I}$  的甲亢患者, 根据卫生部医政司主编的《核医学诊断与治疗规范》,  $^{131}\text{I}$  在人体内的有效半衰期约 3.5d~4.5d, 本次评价保守按照核素  $^{131}\text{I}$  有效半衰期 4.5 天考虑。根据公式 13-3 和公式 13-4, 口服  $^{131}\text{I}$  甲亢患者接受治疗 45 天后距离  $^{131}\text{I}$  患者 (最大服药量 10mCi) 1m 处的剂量率可降至  $0.02 \mu\text{Gy/h}$ , 对周围环境影响较小。本次按口服  $^{131}\text{I}$  甲亢患者出院 45 天内与慰问者接触, 以每天接触 24h 计算, 患者服药后、4.5 天后、9 天后、13.5 天后、18 天后、22.5 天后、27 天后、31.5 天后、36 天后、40.5 天后体内核素含量分别为 10mCi、5mCi、2.5mCi、1.25mCi、0.625mCi、0.3125mCi、0.15625mCi、0.078125mCi、0.039mCi、0.02mCi, 居留因子取 1, 根据公式 13-8, 以  $^{131}\text{I}$  各有效半衰期内距甲亢患者 1m 处的剂量率进行分时段计算加和, 则慰问者的年有效剂量为  $(10+5+2.5+1.25+0.625+0.3125+0.15625+0.078125+0.039+0.02) \times 3.7 \times 10^7 \div 10^6 \times 0.0583 \times 4.5 \times 24 / (1000 \times 1^{1.5}) \approx 4.65\text{mSv}$ , 满足慰问者在患者诊断和治疗期间受到的剂量不超过 5mSv 的要求。

本项目单名  $^{131}\text{I}$  甲癌患者最大服药量为 200mCi, 根据《分化型甲状腺癌患者的  $^{131}\text{I}$  有效半衰期》(易艳玲等, 原子能科学与技术, Vol144, suppl.2010.9) 分析, 甲癌患者 (服药后 120h 内)  $^{131}\text{I}$  平均有效半衰期为  $(14.6 \pm 6.5) \text{h}$ , 本次评价保守取最大值 21.1h, 5 天后按照  $^{131}\text{I}$  的正常半衰期 8.04 天计算。根据公式 13-3 和公式 13-4, 口服  $^{131}\text{I}$  甲癌患者接受治疗 45 天后距离  $^{131}\text{I}$  患者 (最大服药量 200mCi) 1m 处的剂量率可降至  $0.27 \mu\text{Sv/h}$ ,



对周围环境影响较小。本次按口服<sup>131</sup>I 甲癌患者接受治疗 45 天内与慰问者接触（住院的 4 天时间无人陪护，不计算在内），以每天接触 16h 计算，患者服药 4 天后、5 天后、13 天后、21 天后、29 天后、37 天后体内核素含量分别为 8.54mCi、3.88mCi、1.94mCi、0.97mCi、0.485mCi、0.24mCi，居留因子取 1，以<sup>131</sup>I 各半衰期内距甲癌患者 1m 处的剂量率进行分时段计算加和，则慰问者受照射的年有效剂量为  $8.54 \times 3.7 \times 10^7 / 10^6 \times 0.0583 \times 16 / (1000 \times 1^{1.5}) + (3.88 + 1.94 + 0.97 + 0.485 + 0.24) \times 3.7 \times 10^7 / 10^6 \times 0.0583 \times 8 \times 16 / (1000 \times 1^{1.5}) \approx 2.37\text{mSv}$ ，低于本评价提出的 5mSv 的慰问者管理剂量约束值。

需要指出的是，本次评价是以单名患者最大服药的极端情况进行核算，当服药量较小时，慰问者每天与患者最大接触时间可等比例增加，医院拟于患者出院时向患者家属提供指导意见，根据具体服药量给出具体的慰问者每日最大接触时间等指导信息。

根据上述计算，慰问者在控制与用药患者接触时间、接触距离情况下，其受照剂量可满足慰问者在患者诊断和治疗期间受到的年剂量不超过 5mSv 的要求。本次评价要求医院加强患者离开场所时的指导，要求患者尽可能减少与慰问者接触时间，增加接触距离。

#### ① 公众被动与患者近距离接触

根据公式 13-3、公式 13-4 计算，注射<sup>99m</sup>Tc 患者离开医院后 48 小时后距离患者 1m 处剂量率已降至 0.09 μGy/h，对周围环境影响较小。本次按注射<sup>99m</sup>Tc 患者离院 48h 内与公众接触，每天外出时间按 8 小时，居留因子取 1/16，按照类比出的<sup>99m</sup>Tc 患者注射药物后 1m 处的剂量率 18.82 μSv/h 计算，则公众成员年有效剂量为  $18.82 \times 8 \times 2 \div 16 \div 1000 \approx 0.02\text{mSv}$ 。

根据公式 13-3、公式 13-4 计算，注射<sup>18</sup>F 患者离开医院后 1 天后距离患者 1m 处剂量率已降至 0.0060 μSv/h，可见注射<sup>18</sup>F 患者离开医院后对外环境影响持续时间较短。本次按注射<sup>18</sup>F 患者 1 天内与公众接触考虑，外出时间按 8 小时计算，居留因子取 1/16，按照类比出的<sup>18</sup>F 患者注射药物后 1m 处的剂量率 30.4 μSv/h 计算，则公众成员受照射的年有效剂量为  $30.4 \times 8 \div 16 \div 1000 \approx 0.015\text{mSv}$ 。

根据公式 13-3、公式 13-4 计算，口服<sup>131</sup>I 甲亢患者离开医院 45 天后（10 个有效半衰期）后距离<sup>131</sup>I（最大 10mCi）患者 1m 处的剂量率可降至 0.02 μGy/h，对周围环境影响较小。本次按口服<sup>131</sup>I 甲亢患者出院 45 天内与公众接触，每天外出时间按 8 小时计算，居留因子取 1/16，根据公式 13-3、公式 13-4 计算出患者服药后、4.5 天后、9 天后、13.5 天后、18 天后、22.5 天后、27 天后、31.5 天后、36 天后、40.5 天后剂量率分别为 22.02 μSv/h、1.01 μSv/h、5.5 μSv/h、2.75 μSv/h、1.38 μSv/h、0.69 μSv/h、0.34 μSv/h、0.17 μSv/h、0.09 μSv/h、0.04 μSv/h。则公众成员受照射的年有效剂量为

$(22.02+11.01+5.5+2.75+1.38+0.69+0.34+0.17+0.09+0.04) \times 8 \times 4.5 \div 16 \div 1000 \approx 0.010\text{mSv}$ 。

根据公式 13-3、公式 13-4 计算，口服  $^{131}\text{I}$  甲癌患者接受治疗 45 天后距离  $^{131}\text{I}$  患者（最大 200mCi）1m 处的剂量率可降至  $0.27 \mu\text{Sv/h}$ ，对周围环境影响较小。本次按口服  $^{131}\text{I}$  甲癌患者出院后与公众接触（住院 4 天内不与公众接触），每天外出时间按 8 小时计算，居留因子取 1/16，根据公式 13-3、公式 13-4 计算出出院时、5 天后、13 天后、21 天后、29 天后、37 天后患者 1m 处剂量率分别为  $18.80 \mu\text{Sv/h}$ 、 $8.54 \mu\text{Sv/h}$ 、 $4.29 \mu\text{Sv/h}$ 、 $2.16 \mu\text{Sv/h}$ 、 $1.08 \mu\text{Sv/h}$ 、 $0.55 \mu\text{Sv/h}$ 。则公众成员受照射的年有效剂量为  $18.80 \times 8 \div 16 \div 1000 + (8.54+4.29+2.16+1.08+0.55) \times 8 \times 8.04 \div 16 \div 1000 \approx 0.076\text{mSv}$ 。

根据上述计算，公众成员在控制与用药患者接触时间、接触距离情况下，其受照剂量可满足本报告提出的 0.1mSv 的公众成员年管理剂量约束值。

### ②核医学工作场所核素使用区域周围公众成员年有效剂量

本项目核医学工作场所核素使用区域周围公众年有效剂量计算结果详见表 13-25。

表 13-25 核医学工作场所核素使用区域周围公众成员年有效剂量计算结果

位置	对应区域场所名称	剂量率最大值 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	居留因子 (T)	时间 (h/a)	年有效剂量 (mSv/a)
地下三层场所西侧	走廊、后装机房	$4.59 \times 10^{-5}$	1/5	250×8	$1.84 \times 10^{-6}$
地下三层场所楼上	$^{131}\text{I}$ 治疗场所	0.017	1	250×8	0.034
地下二层场所楼上	药房	0.18	1/20	250×24	0.054
地下二层场所西侧	新风机房、地下停车场等	0.82	1/40	250×1	$5.13 \times 10^{-3}$
地下二层场所东侧	大厅	0.31	1/20	250×24	0.093

注：1. 地下二层病房区域主要对应楼下场所的 SPECT-CT 机房、医护人员走廊及 PET-CT 机房，该区域无公众，本次主要分析甲癌患者住院期间对楼下职业人员造成的附加年有效剂量。同样，地下三层 SPECT 区域注射后候诊室 1 区域对应地下二层职业人员办公区域，本次主要考虑  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  患者在注射后候诊室 1 期间对楼上职业人员造成的附加年有效剂量；

2. 根据表 13-22 可知，病房 9 东侧剂量率大于病房 5 东侧剂量率，本次按照病房 9 东侧剂量率进行计算；

3. 地下二层西侧患者走廊内患者停留时间较短，本次保守按照每天患者停留 1h 考虑。

由表 13-25 可知，本项目核医学工作场所核素使用区域周围的公众成员年有效剂量最大值为 0.093mSv，均低于本报告提出的 0.1mSv 的公众成员年管理剂量约束值。

## 三、放射性废水环境影响分析

### 1. 放射性废水产生情况

#### (1) 地下三层核医学工作场所

地下三层核医学工作场所放射性废水产生环节主要包括注射  $^{99m}\text{Tc}$ 、 $^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$  患者的排泄物（包括呕吐物）及冲洗水。注射  $^{89}\text{Sr}$  患者整个治疗流程较短，注射后不作停留，产生的废水可基本忽略不计。此外，回旋加速器中心每天产生 15L 的放射性废水，产生量较少，该部分废水所含放射性核素  $^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$  属于短半衰期类型，含量微小，本次仅考虑其水量对系统的影响。

本项目  $^{99m}\text{Tc}$  患者每天就诊人数为 20 人，每周开展 5 天， $^{18}\text{F}$  患者每天就诊人数为 20 人，每周开展 5 天， $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$  每天就诊人数为 1 人，每周开展 1 天，上述患者诊断后无异常可直接离开，排泄物较少，平均用水量按照 15L/人·天考虑，废水量产生量均按 80% 计，则上述 5 种核素患者每周废水产生量为  $203 \times 15 \times 80\% \div 1000 \approx 2.436\text{m}^3$ 。此外，医护人员有时也会因操作失误等导致产生清洗废水，此部分废水为未预见水量，参考《医院污水处理工程技术规范》（HJ2029-2013）第 4.2.4 款规定，均保守取患者产生量的 20%，则场所内产生的未预见水量为  $2.436 \times 20\% \approx 0.49\text{m}^3$ 。回旋加速器中心平均每天废水产生量为 15L/d，每周开展 5 天，放射性废水产生量为  $15 \times 5 \div 1000 = 0.075\text{m}^3$ 。综上，地下三层场所产生的放射性废水总量为  $2.436 + 0.49 + 0.075 \approx 3.001\text{m}^3/\text{周}$ 。

## （2）地下二层核医学工作场所

本项目  $^{131}\text{I}$  甲亢患者每周就诊人数为 5 人。甲癌患者每周就诊人数最多 17 人， $^{131}\text{I}$  甲亢患者治疗后无异常可直接离开，排泄物较少，平均用水量按照 15L/人·天考虑， $^{131}\text{I}$  甲癌患者平均用水量按照 150L/人·天考虑，住院 4 天，废水量产生量均按 80% 计，则  $^{131}\text{I}$  甲亢及甲癌患者每周废水产生量为  $(5 \times 15 + 17 \times 150 \times 4) \times 80\% \div 1000 \approx 8.22\text{m}^3$ ，此外，未预见水量保守取患者产生量的 20%，则场所内产生的未预见水量为  $8.22 \times 20\% \approx 1.644\text{m}^3$ 。综上，地下二层场所内产生的放射性废水总量为  $8.22 + 1.644 \approx 9.864\text{m}^3/\text{周}$ 。

## 2. 放射性废水处理系统设计方案及放射性废水衰变情况

### （1）地下三层核医学工作场所

根据医院提供的放射性废水处理系统设计图纸，核医学地下三层放射性废水处理系统设置有 2 个衰变池，各衰变池有效容积均为  $32\text{m}^3$ ，正常情况下为并联运行。则单池充满时间约为  $32 \div 3.001 \approx 10.66$  周，放射性废水停留衰变时间为 10.66 周（按照最后进入衰变池废水的停留衰变时间保守估算）， $^{99m}\text{Tc}$ 、 $^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$  半衰期均小于 24h，暂存衰变时间满足 HJ1188-2021 第 7.3.3.1 款 a) 要求，可直接解控排放。参考同类项目，本次评价以患者排泄废水及清洗废水中的活度暂按核素总量的 6% 估算（1% 活度进入沉渣，5% 活度进入废水）。根据公式 13-4 计算，本项目地下三层核医学场所衰变池内放射性废水中  $^{99m}\text{Tc}$ 、 $^{18}\text{F}$  含量情况见表 13-26。

表 13-26 地下三层核医学场所放射性废水衰变系统废水中核素活度和活度浓度

核素	半衰期	10.66 周 核素最大用量 (Bq)	单池 10.66 周收集的 废水中核素含量 (Bq)	静存 10.66 个周后 废水中核素含量 (Bq)	月排放限值 (Bq)	一次排放限值 (Bq)
<sup>99m</sup> Tc	6.02h	7.89×10 <sup>11</sup>	4.73×10 <sup>10</sup>	1.32×10 <sup>-79</sup> ≈0	1.38×10 <sup>9</sup>	1.38×10 <sup>8</sup>
<sup>18</sup> F	109.8min	3.94×10 <sup>11</sup>	2.36×10 <sup>10</sup>	≈0	5.38×10 <sup>8</sup>	5.38×10 <sup>7</sup>

由表 13-26 可知，本项目地下三层核医学场所放射性废水处理系统单池衰变池每 10.66 周（约 74 天）排放一次，所含核素半衰期小于 24 小时，能够满足停留时间超过 30 天的要求，经估算，排放时废水中 <sup>99m</sup>Tc、<sup>18</sup>F 近似为 0，低于本次评价采用的放射性废水月排放限值和一次排放限值，排放浓度也低于《山东省医疗机构污染物排放控制标准》（DB37/596-2020）中规定的衰变池排放口总 β 排放限值 10Bq/L。

鉴于废水中核素 <sup>11</sup>C（半衰期为 20.33min）、<sup>13</sup>N（半衰期为 10.0min）、<sup>15</sup>O（半衰期为 2.1min）半衰期较短，在 <sup>18</sup>F 满足衰变时间的情况下，经充分衰变后排放的废水活度浓度可忽略不计。

### （2）地下二层核医学工作场所

地下二层核医学工作场所放射性废水处理系统设计有 3 个衰变池，各衰变池有效容积分别为 248m<sup>3</sup>、248m<sup>3</sup>、243m<sup>3</sup>，正常情况下为并联运行。则各池充满时间分别为 25.1 周、25.1 周、24.6 周，3 个衰变池交替使用，则单个衰变池内放射性废水停留衰变时间最小为 49.7 周（按照最后进入衰变池废水的停留衰变时间保守估算）。<sup>131</sup>I 半衰期大于 24h，暂存衰变时间满足 HJ1188-2021 第 7.3.3.1 款 b) 要求。该部分废水主要是来自 <sup>131</sup>I 患者的排泄物（包括呕吐物）及冲洗水，参考同类项目，本次评价以 <sup>131</sup>I 甲亢患者排泄废水及清洗废水中的活度暂按核素总量的 6%估算（1%活度进入沉渣，5%活度进入废水），<sup>131</sup>I 甲癌患者排泄废水及清洗废水中的活度保守按核素总量的 90%估算（15%活度进入沉渣，75%活度进入废水）。根据公式 13-4 计算，本项目地下二层核医学场所衰变池内放射性废水中各核素含量情况见表 13-27。

表 13-27 地下二层核医学场所放射性废水衰变系统废水中核素活度和活度浓度

核素	半衰期	25.1 周 核素最大用量 (Bq)	单池 25.1 周收集的 废水中核素含量 (Bq)	静存 49.7 个周后 废水中核素含量 (Bq)		月排放限值 (Bq)	一次排放限值 (Bq)
<sup>131</sup> I 甲亢	8.04d	4.64×10 <sup>10</sup>	2.78×10 <sup>9</sup>	2.62×10 <sup>-4</sup>	0.27	4.55×10 <sup>6</sup>	4.55×10 <sup>5</sup>
<sup>131</sup> I 甲癌	8.04d	3.16×10 <sup>12</sup>	2.844×10 <sup>12</sup>	0.27		4.55×10 <sup>6</sup>	4.55×10 <sup>5</sup>

由表 13-27 可知，本项目放射性废水处理系统单池衰变池最少每 49.7 周（约 348 天）排放一次，<sup>131</sup>I 半衰期大于 24 小时，能够满足停留时间超过 180 天的要求，经估算，排放时废水中 <sup>131</sup>I 含量约为 0.27Bq，低于本次评价采用的放射性废水月排放限值和一次排放限值。<sup>131</sup>I 排放浓度最小为  $0.27/243/10^3 \approx 1.11 \times 10^{-6}$ Bq/L，低于 HJ1188-2021 第 7.3.3.1 中 b) 款规定的总 β 和 <sup>131</sup>I 放射性活度浓度不大于 10Bq/L 的要求。

本项目放射性废水处理系统衰变池内的放射性废水经存放后排入医院污水处理站，预处理后经市政污水管网排入城市污水处理厂处理，对周围水环境影响较小。

此外，放射性废水排水管道外均设 8mmPb 铅皮进行包裹，排入衰变池之前的管道均位于地下土层内（距地面至少 30cm），且各池四周、底部及顶部均设置 30cm 混凝土予以防护，正常情况下衰变池对外部环境造成的辐射影响较小，本次评价要求医院在进行排水管道维修和衰变池清淤时应采取先对管道进行检测等辐射防护措施（确保在环境本底水平），以减少操作人员可能受到辐射照射。

#### 四、放射性固废环境影响分析

该项目产生的放射性固废可分为四类，第一类为 <sup>99m</sup>Mo-<sup>99m</sup>Tc 发生器；第二类为被污染的注射器、针头、手套、导管、药棉、纱布、吸水纸、破碎杯皿及擦拭表面污染的抹布等；第三类为清理放射性废水衰变池时产生的沉渣；第四类为废活性炭。医院拟分别采取不同的处理措施：

##### 1. 第一类放射性固废

废旧 <sup>99m</sup>Mo-<sup>99m</sup>Tc 发生器暂存于储源间内，由供货厂家回收。

##### 2. 第二类放射性固废

被污染的注射器、针头、手套、导管、药棉、纱布、吸水纸、破碎杯皿及擦拭表面污染的抹布等，经放射性废物衰变箱封存，待活度衰变降至解控水平以下后，作一般医疗废物处理。

根据本项目开展方案，放射性固废产生情况见下表所示。

表 13-28 放射性固体废物产生情况

核素类型	核素		周就诊人次	固废产生系数	周固废产生量
半衰期小于 24 小时的核素	<sup>99m</sup> Tc		100	0.05kg/·人	5kg/a（约合 10L）
	<sup>89</sup> Sr		5		0.25kg/a（约合 0.5L）
	<sup>18</sup> F、 <sup>11</sup> C、 <sup>13</sup> N、 <sup>15</sup> O		103		5.15kg/a（约合 10.3L）
半衰期大于 24 小时的核素	<sup>131</sup> I	甲亢患者	5	0.1kg/·人	0.25kg/a（约合 0.5L）
		甲癌患者	17		1.7kg/a（约合 3.4L）

SPECT 区域每周产生 10L  $^{99m}\text{Tc}$  放射性固体废物，产生的放射性固废放置于污物间 50L 的衰变箱内暂存衰变，衰变箱满时固废暂存时间为  $50 \div 10 \times 7 = 35$  天，满足 HJ1188-2021 第 7.3.3.1 款 a) 要求； $^{89}\text{Sr}$  放射性固废每周产生 0.5L，每年产生 25L，放置于污物间 50L 的衰变箱内暂存衰变，衰变箱满时暂存时间为  $50 \div 25 = 2$  年，满足 HJ1188-2021 第 7.3.3.1 款 b) 要求。

PET 区域每周产生 10.3L 含  $^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$  的放射性固废，产生的放射性固废放置于污物间 50L 的衰变箱内暂存衰变，暂存时间为  $50 \div 10.3 \times 7 \approx 33$  天，以上核素半衰期均小于 24 小时，暂存时间满足 HJ1188-2021 第 7.3.3.1 款 a) 要求。

地下二层核医学场所每周产生 3.9L  $^{131}\text{I}$  放射性固废，产生的放射性固废放置于污物间 120L 的衰变箱内暂存衰变，暂存时间为  $120 \div 3.9 \times 7 \approx 215$  天，满足 HJ1188-2021 第 7.3.3.1 款 c) 要求。

医院须在处理放射性固废前对固废表面的辐射剂量率和  $\beta$  表面污染检测，辐射剂量率满足所处环境本底水平， $\beta$  表面污染小于  $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$  后方可按照一般医疗废物处置。

### 3. 第三类放射性固废

本项目放射性废水衰变系统沉淀池内设有排渣泵，各衰变池内设有切割式潜水泵，可将大部分固体废物粉碎成颗粒，衰变后随废水一并排放。根据上述分析，衰变池内的沉渣随废水一并排放时可满足各核素的清洁解控水平限值要求。少量沉渣难于排出时，确保达到清洁解控水平后，医院拟对其进行酸化预处理，然后再排入下水道系统。

### 4. 第四类放射性固废

通风系统更换下的废活性炭放置于地下二层场所污物间衰变箱内暂存衰变至少 1 年半，辐射剂量率满足所处环境本底水平， $\beta$  表面污染小于  $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$  后，按照一般医疗废物处置。

综上所述，本项目核医学工作场所产生的放射性废物在设定周期存放后可达到解控水平，经审管部门确认或批准，可作为一般医疗废物处理。

## 五、放射性废气环境影响分析

本项目使用的  $^{99m}\text{Tc}$ 、 $^{89}\text{Sr}$ 、 $^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$  均属于非挥发性核素，正常操作过程中无放射性气体产生；使用的  $^{131}\text{I}$  属于挥发性核素，因此本项目主要气载放射性气体为  $^{131}\text{I}$ ，主要包括两大部分，一是甲亢及甲癌患者服药后呼出的放射性废气，由于  $^{131}\text{I}$  甲亢患者服药量较小，停留时间较短，因此本次主要考虑  $^{131}\text{I}$  甲癌患者呼出的放射性废气，因患者服药后绝大部分核素随患者的排泄物排出，故随患者呼吸所排入场所内的  $^{131}\text{I}$  放射性废气视

为患者服药量的 1/10000，核素挥发量约为使用量的 1/10000，年工作时间为  $250 \times 8 = 2000\text{h}$ ，通风量  $3000\text{m}^3/\text{h}$ ，过滤装置处理效率为 99%，则过滤处理后放射性废气排放浓度为  $172.5 \times 3.7 \times 10^{10} \times 2/10000 \div (2000 \times 3000) \times 1\% \approx 2.13\text{Bq}/\text{m}^3$ ，低于  $^{131}\text{I}$  导出排放限值。

本项目两处核医学工作场所控制区内主要房间设置专门的排气管道，各手套箱设置独立的排气管道，通风系统出口均设置活性炭高效过滤装置（去除效率 99%），各排风口均位于医疗综合楼楼顶上方，高于屋脊。总排放口不邻近周围高层建筑，距东侧一期项目后勤保障楼和门诊病房楼最近距离约 55m，距离较远，因此本项目产生的放射性废气对周围环境影响较小。

## 六、表面污染分析

本项目医护人员在核素操作过程中，可能对台面、设备、墙壁、地面等造成放射性表面污染。医院拟采取以下措施控制表面污染：

1. 对医护人员进行岗前培训，使其熟练操作；
2. 操作放射性物质在易去污的工作台上进行，核素临时贮存于质控室手套箱内；
3. 如有核素洒落等操作，医护人员用棉布或吸水纸将其擦拭处理，擦拭物放至放射性衰变箱内，衰变达到清洁解控水平后按一般医疗废物处理；
4. 工作人员进出工作场所需更衣，操作时穿防护服；本项目控制区房间内地板和墙壁之间的接缝无缝隙设计施工；设置易清洗、防污性能好的墙面、地面等；室内设置通风系统；配置清洗及去污设备。

在严格落实以上措施的情况下可有效避免表面污染带来的辐射影响，医院应每日对场所内的表面污染水平进行自主检测，并做好检测记录，在采取上述措施后确保场所内表面污染水平能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的表面污染控制水平  $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ （控制区内工作台、设备、墙壁和地面）、 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ （监督区内工作台、设备、墙壁和地面）；工作服、手套和工作鞋表面污染控制水平  $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ；手、皮肤、内衣、工作袜表面污染控制水平  $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。

## 13.5 事故影响分析

### 13.5.1 风险识别

1. 在取放射性药物等过程中，由于职业人员或患者违规操作、误操作，引起放射性药物倾洒，造成的放射性表面污染；
2. 由于管理不善，发生放射性药物失窃，导致公众受照和环境受到辐射污染；

3. 放射性废水未经足够的时间衰变进行排放，使排放超出规定的限值，可能对环境或人体造成一定的危害；

4. 放射性固体废物未经足够的时间衰变进行擅自处理，可能对环境造成污染和对公众造成危害；

5. 通风系统中的过滤装置活性炭失效，放射性废气未达到排放标准排放；

6. 职业人员未按要求穿戴个人防护用品，造成超剂量照射。

### 13.5.2 风险防范措施

1. 医院拟制定完善的操作规范，对操作人员定期培训，使之熟练操作，在患者注射药物前，进行详细指导，严格按照操作规范操作，减少药物洒漏事故的发生。发生事故后，应及时用棉布或者吸水纸等擦拭，擦拭物收集放到放射性废物衰变箱中；

2. 医院拟制定完善的放射性核素安全管理制度，设专人负责，做好核素的领取、使用登记工作，确保放射性药物的安全。本项目高活室设置有门锁，正常情况下不会发生放射性药物失窃事件；

3. 医院须加强放射性废水处理系统日常维护，严格控制放射性废水衰变时间，放射性废水经充分衰变满足 GB18871-2002 规定值后方可排放；

4. 医院须加强放射性废物的管理，做好登记记录，在衰变箱外标明放射性废物的类型、核素种类和存放日期的说明，并做好相应的记录，经充分衰变达到解控水平后方可按照免管固废处置；

5. 医院须定期让设备厂家检查维护通风设施，及时更换失效的过滤装置，活性炭约 2 年更换一次，具体更换周期不能超过厂家推荐的使用时间，确保放射性废气排放浓度满足要求排放；

6. 医院须要求职业人员进入控制区时穿戴辐射防护用品，注射过程使用注射器防护套等防护用品，个人剂量计佩戴于铅衣内部左胸前。



**表 14 DSA 装置及 ERCP 装置环境影响评价**

**14.1 项目工程分析与源项**

**14.1.1 工程设备和工艺分析**

医院介入中心拟建于医疗综合楼地下一层西侧中部，共涉及六座 DSA 机房，拟新增 6 台 DSA 装置；中心手术部拟建于医疗综合楼五层东侧，共涉及两座 DSA 杂交手术室及一座复合手术室，拟新增 3 台 DSA 装置，其中复合手术室内除安装 DSA 装置外，还使用 1 台 CT 和 MR；内镜中心拟建于医疗综合楼六层西南侧，涉及两座 ERCP 机房，拟新增 2 台 ERCP 装置。

**一、射线装置简介**

**1. 设备参数**

本项目涉及 9 台 DSA 装置及 2 台 ERCP 装置，目前型号、厂家未定，医院拟购置的设备最大管电压均为 150kV，最大管电流均为 1250mA。

**2. 设备组成**

DSA 装置主要由平板探测器、球管、C-arm 支持系统、导管床、高压注射器、操作台及工作站系统组成。ERCP 装置和 DSA 装置类似，主要由平板探测器、球管、C-arm 支持系统、造影导管、操作台及工作站系统等组成。

**3. 基本原理**

**① DSA 装置**

DSA 介入诊断是计算机与常规血管造影相结合的一种检查方法，是集电视技术、影像增强、数字电子学、计算机技术、图像处理技术多种科技手段于一体的系统。数字减影血管造影机 (DSA 装置) 主要采用时间减影法，即将造影剂未达到欲检部位前摄取的蒙片与造影剂注入后摄取的造影片在计算机中进行数字相减处理，仅显示有造影剂充盈的结构，具有高精密度和灵敏度。利用计算机系统将注射造影剂前的透视影像转换成数字形式贮存于记忆盘中，称作蒙片。然后将注入造影剂后的造影区的透视影像也转换成数字，并减去蒙片的数字，将剩余数字再转换成图像，即成为除去了注射造影剂前透视图像上所见的骨骼和软组织影像，剩下的只是清晰的纯血管造影像。

在血管造影时，X 射线照射人体后产生的影像，经影像增强器强化，由摄像机接收并把它变成模拟信号输入模-数转换器，把模拟信号转变成数字信号，然后把数字信号存入存储器。同时电子计算机图像处理系统把图像分成许多像素，并通过数-模转换器把数字信号变成模拟信号，再输入监视器，从监视器屏幕上就可见到实时纯血管的图像。

**② ERCP 装置**

经内镜逆行性胰胆管造影系统（ERCP 装置）是指将十二指肠镜通过口腔、胃部送至十二指肠降段，找到十二指肠乳头后，通过活检孔道将造影导管自十二指肠乳头插入，并经该导管注入造影剂，使胆道和胰管显影。通过此项技术发现病变，从而对胆胰管进行诊断。

#### 4. DSA、CT 及 MR 复合设备组成、布置和用途

复合手术室除使用 DSA 装置进行介入诊疗外，还使用 CT 及 MR（MR 为核磁共振，不属于射线装置，为核磁类设备）进行患者术前和术后评价（DSA、CT 及 MR 共用一个导管床）。复合手术室又称为联合手术室或一站式复合手术室，适用于不同学科、不同类型的各类型影像学检查和手术。由于患者无须在不同类型手术室之间多次转移，从而避免了患者在转运过程中可能带来的缺氧和生命体征不稳定等风险；同时可即时采用 CT 等手段对手术疗效进行评估，指导手术实施。

本项目复合手术室内的 3 台设备分开放置，通过滑轨精准移动设备，实现结构上和功能上的融合。患者接受 DSA 介入诊疗过程中，如果需要 CT 和 MR 进行影像检查确认，无需更换手术床，可将 CT 或 MR 通过滑轨移至 DSA 导管床，直接进行 CT 或 MR 扫描。扫描时与常规 CT 和 MR 不同的是，CT 和 MR 机架通过滑轨步进，可以保证患者在不移动的情况下同时接受多种影像设备的检查，提高了治疗的效率及临床的安全性。

## 二、工作流程

### 1. DSA 装置

本项目 DSA 放射介入诊断流程如下所示：

- （1）制定手术及检查方案；
- （2）根据不同手术及检查方案，设置 DSA 系统的相关技术参数，以及其他仪器的设定；
- （3）参与手术的医师和护士穿戴好个人防护用品，通过密切配合，完成介入手术或检查。在透视和摄影过程中，工作人员均可能在介入室或手术室停留；
- （4）完成手术或检查，整理手术记录和图像处理，出具诊断报告。

DSA 介入诊断流程及产污环节见图 14-1。

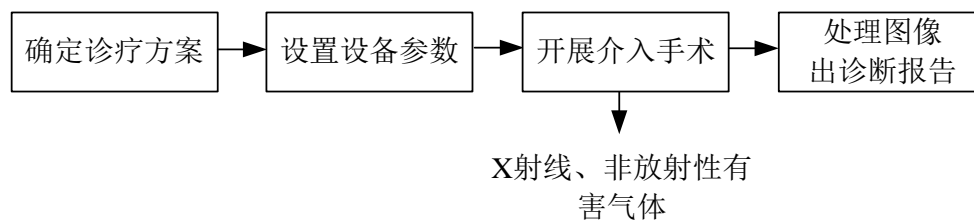


图 14-1 DSA 装置介入诊断工艺流程及产污环节示意图

## 2. DSA-CT-MR

复合手术室除使用DSA进行介入诊疗外，还使用CT和MR进行患者的术前和术后评价，具体操作流程如下：

①CT或MR模式：使用CT或MR时，其余2台设备的C形臂须先处于远离DSA导管床的停止位并触发位置信号开关，此时才可将CT或MR滑动机架从停止位沿导轨移至工作位，到达工作区域时触发位置信号开关CT或MR才可进行曝光操作；使用CT或MR模式下，因软硬件互锁DSA系统的所有移动和曝光功能均被禁用。使用CT或MR前，工作人员须对复合手术室清场，并确保CT及MR曝光期间各防护门处于关闭状态。

②DSA 模式：CT 及 MR 使用结束后，将 CT 及 MR 滑动机架移至停止位并触发信号位置开关时，DSA 系统才可恢复正常使用。

## 3. ERCP 装置

本项目 ERCP 介入诊断流程如下所示：

- (1) 由主管医生填写介入诊断申请单；
- (2) 对病人做术前碘造影剂过敏试验；对于需要行十二指肠乳头切开的病人，需提前一周停用抗血小板药物以及抗凝药物，术前检测血小板和凝血指标；
- (3) 根据不同手术及检查方案，设置 ERCP 系统的相关技术参数，以及其他仪器设定；
- (4) 参与手术的医师和护士穿戴好个人防护用品，手术医师指导患者采取俯卧位或左侧卧位，十二指肠镜经口依次通过食管、胃进入十二指肠降段，找到十二指肠乳头，经活检孔插入导管，调节角度钮及抬钳器，使导管与乳头开口垂直；
- (5) 在透视下经造影导管注入造影剂，在荧光屏上见到胆管或胰管显影，显示病变。胰胆管显影后，进行拍片存储。根据患者胰胆管病变情况，采取不同内镜下治疗手术（如括约肌切开取石、放置引流管或支架缓解胆管梗阻、瘻管支架放置等）；
- (6) 根据不同的治疗方案，医师及技师密切配合，完成 ERCP 介入手术或检查；
- (7) 手术医师应及时书写手术记录，技师应及时处理图像、刻录光盘或照片，急症病人应尽快将胶片交给病人。

ERCP 介入诊断流程见图 14-2。

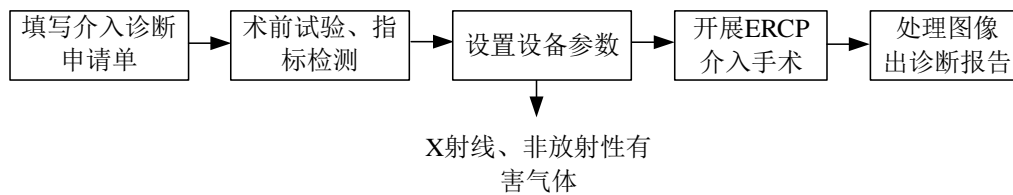


图 14-2 ERCP 装置介入诊断工艺流程及产污环节示意图

### 13.1.2 污染源项描述

#### 1. 放射性污染因素

##### (1) X 射线

本项目 DSA 装置和 ERCP 装置开机后产生 X 射线，对周围环境产生辐射影响，关机后 X 射线随之消失。

##### (2) 放射性废物

本项目 DSA 装置和 ERCP 装置运行过程不产生放射性固体废物、放射性废水和放射性废气。

#### 2. 非放射性污染因素分析

DSA 装置和 ERCP 装置运行中可能产生非放射性有害气体  $\text{NO}_x$  和  $\text{O}_3$  等。空气在 X 射线的辐射下，空气吸收辐射能量并通过电离作用产生少量  $\text{NO}_x$  和  $\text{O}_3$ ，它们是具有刺激性作用的非放射性有害气体。

由上述分析可知，本项目评价因子为 X 射线和非放射性有害气体，评价重点为 X 射线。

## 14.2 辐射安全与防护

### 14.2.1 平面布局与屏蔽设计

#### 1. 机房平面布局

##### (1) 介入中心六座 DSA 机房

介入中心六座 DSA 机房均主要包括介入室、控制室及设备间，各机房均设有 3 个防护门，分别为医护人员进出防护门、患者进出防护门及污物传递防护门。其中医护人员进出防护门连接介入室和控制室，用于工作人员进出，患者进出防护门连接介入室和患者走廊，用于患者进出，污物传递防护门用于传递污物，将手术过程中产生的污物进行打包，在患者离开后经污物传递防护门运送至介入中心东北侧污物处置及污物暂存间内。各介入室与控制室之间均设有 1 个铅玻璃观察窗。西侧走廊内设有刷手池。

##### (2) 中心手术部两座杂交手术室和复合手术室

### ①杂交手术室

两座杂交手术室均主要包括 DSA 手术室、设备间、控制室（两机房共用）、耗材室及缓冲区，两机房均设有 2 个防护门，分别为医护人员及患者进出防护门、污物传递防护门。其中医护人员及患者进出防护门连接手术室和缓冲区，用于工作人员和患者进出，污物传递防护门用于传递污物，将手术过程中产生的污物进行打包，在患者离开后经污物传递防护门运送至杂交手术室 2 东侧的污物暂存间。各手术室与控制室之间均设有 1 个铅玻璃观察窗，同时缓冲区内设有刷手池。

### ②复合手术室

复合手术室主要包括手术室及 3 处控制室、2 处设备间、4 处缓冲区，其中手术室包括 MR 区、DSA 区及 CT 区，各区域之间设有电动平移三折自动门，便于机架滑动和设备独立使用，防护能力为 3mmPb，各防护门关闭状态下，CT、MR 及 DSA 可单独进行放射诊断等。手术室内设有滑轨，可将 CT 和 MR 移动至 DSA 导管床处进行复合手术，此种工作状态下 3 台设备交替使用，不能同时开机。根据设计图纸，MR 区西侧设计有 1 处医护人员进出防护门、1 处患者进出防护门及 1 处观察窗，东侧设计有 1 处患者进出防护门，2 处患者进出防护门方便各区域患者进出；DSA 区东侧设计有 1 处患者进出防护门、1 处观察窗、1 处医护人员进出防护门；CT 设备区西侧及东侧均设计有 1 处医护人员进出防护门、1 处患者进出防护门及 1 处观察窗，方便不同区域及不同类型的患者进出，同时方便不同区域的医护人员操作设备。

### （3）内镜中心 ERCP 两座机房

内镜中心两座 ERCP 机房均主要包括 ERCP 室及控制室，其中控制室为两机房共用，各机房均设计有 2 个防护门，分别为医护人员进出防护门、患者进出防护门。其中医护人员进出防护门连接 ERCP 室和控制室，用于工作人员进出，患者进出防护门连接 ERCP 室和患者走廊，各 ERCP 室南墙中间位置设有 1 个铅玻璃观察窗，控制室西侧走廊内设有刷手池。此外，手术产生的污物在患者离开后经大防护门运送至 EPRC 室 1 西南侧的污物间内。

本项目介入中心六座 DSA 机房平面布置见附图 25，中心手术部两座杂交手术室平面布置见附图 26，复合手术室平面布置见附图 27，内镜中心两座 ERCP 机房平面布置见附图 28。

## 2. 机房尺寸、面积

本项目各 DSA 介入室、杂交室、复合手术室、ERCP 室的尺寸、面积等参数及设备照射方向详见表 14-1。

表 14-1 各 DSA 介入室、杂交室、复合手术室、ERCP 室尺寸、面积等参数及设备照射方向一览表

科室	机房	尺寸、面积及容积	DSA 照射方向
介入中心	介入室 1	东西净长 8.70m, 南北净宽 8.10m, 净高 3.5m, 有效使用面积约 70.47m <sup>2</sup> , 净容积约 246.6m <sup>3</sup>	导管床东西方向放置, 主射束照射方向为向北、向南、向上、向下
	介入室 2	东西净长 8.70m, 南北净宽 8.10m, 净高 3.5m, 有效使用面积约 70.47m <sup>2</sup> , 净容积约 246.6m <sup>3</sup>	导管床东西方向放置, 主射束照射方向为向北、向南、向上、向下
	介入室 3	东西净长 8.70m, 南北净宽 7.10m, 净高 3.5m, 有效使用面积约 61.77m <sup>2</sup> , 净容积约 216.2m <sup>3</sup>	导管床东西方向放置, 主射束照射方向为向北、向南、向上、向下
	介入室 4	东西净长 8.70m, 南北净宽 7.10m, 净高 3.5m, 有效使用面积约 61.77m <sup>2</sup> , 净容积约 216.2m <sup>3</sup>	导管床东西方向放置, 主射束照射方向为向北、向南、向上、向下
	介入室 5	东西净长 8.70m, 南北净宽 8.10m, 净高 3.5m, 有效使用面积约 70.47m <sup>2</sup> , 净容积约 246.6m <sup>3</sup>	导管床东西方向放置, 主射束照射方向为向北、向南、向上、向下
	介入室 6	东西净长 8.70m, 南北净宽 8.10m, 净高 3.5m, 有效使用面积约 70.47m <sup>2</sup> , 净容积约 246.6m <sup>3</sup>	导管床东西方向放置, 主射束照射方向为向北、向南、向上、向下
中心手术部	手术室 1 (杂交)	东西净长 10.0m, 南北净宽 7.70m, 净高 3.5m, 有效使用面积约 77.0m <sup>2</sup> , 净容积约 269.5m <sup>3</sup>	导管床东西方向放置, 主射束照射方向为向北、向南、向上、向下
	手术室 2 (杂交)	东西净长 10.0m, 南北净宽 7.00m, 净高 3.5m, 有效使用面积约 70.0m <sup>2</sup> , 净容积约 245m <sup>3</sup>	导管床东西方向放置, 主射束照射方向为向北、向南、向上、向下
	手术室 (复合)	整个复合手术室南北净长 27.1m (其中 DSA 部分南北长 9.5m), 东西净宽 7.1m, 净高 3.5m, DSA 有效使用面积为 67.45m <sup>2</sup> , 净容积为 236.1m <sup>3</sup>	导管床南北方向放置, 主射束照射方向为向东、向西、向上、向下
内镜中心	ERCP 室 1	东西净长 6.6m, 南北净宽 5.7m, 净高 3.5m, 有效使用面积约 37.62m <sup>2</sup> , 净容积约 131.67m <sup>3</sup>	导管床东西方向放置, 主射束照射方向为向北、向南、向上、向下
	ERCP 室 2	东西净长 6.6m, 南北净宽 5.7m, 净高 3.5m, 有效使用面积约 37.62m <sup>2</sup> , 净容积约 131.67m <sup>3</sup>	导管床东西方向放置, 主射束照射方向为向北、向南、向上、向下

根据表 14-1 可知, 本项目各 DSA 介入室、杂交手术室、复合手术室、ERCP 室的有效使用面积和最小单边长度满足 GBZ130-2020 第 6.1.5 款要求。

### 3. 项目分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002), 医院拟对各机房进行分区管理, 将各 DSA 介入室、手术室、ERCP 室四周墙壁围成的区域划为控制区, 与墙壁外部相邻的控制室、设备间等其他区域划为监督区, 并在控制区边界设置电离辐射警告标志。分区管理示意图见附图 25~附图 28。

### 4. 屏蔽设计

根据医院提供的防护方案, 本项目各机房屏蔽设计见表 14-2。

表 14-2 本项目各机房屏蔽设计情况一览表

1. 介入中心六座 DSA 介入室:	
屏蔽体	屏蔽参数
四周墙体	轻钢龙骨+1mmPb 钡板+2mmPb 铅板
室顶、地板	270mm 混凝土
观察窗	铅玻璃结构, 尺寸约为 2.1m×1.1m, 防护能力为 3.0mmPb
医护人员进出防护门、污物传递防护门 (小防护门)	铅钢结构, 电动推拉式, 尺寸约为 1.2m×2.0m, 防护能力为 3.0mmPb
患者进出防护门 (大防护门)	铅钢结构, 电动推拉式, 尺寸约为 1.8m×2.20m, 防护能力为 3.0mmPb
2. 中心手术部两座杂交手术室:	
屏蔽体	屏蔽参数
四周墙体	轻钢龙骨+1mmPb 钡板+2mmPb 铅板
室顶、地板	270mm 混凝+20mm 钡水泥
观察窗	铅玻璃结构, 尺寸约为 2.1m×1.1m, 防护能力为 3.0mmPb
医护人员及患者进出防护门 (大防护门)	铅钢结构, 电动推拉式, 尺寸约为 1.8m×2.20m, 防护能力为 3.0mmPb
污物传递防护门 (小防护门)	铅钢结构, 电动平开式, 尺寸约为 1.2m×2.0m, 防护能力为 3.0mmPb
3. 中心手术部复合手术室 (MR 设备区北墙、东墙、西墙、防护门窗、室顶及地板为磁屏蔽材质):	
屏蔽体	屏蔽参数
DSA 区、CT 区四周墙体及手术室内隔断墙体	轻钢龙骨+1mmPb 钡板+2mmPb 铅板
DSA 区、CT 区室顶、地板	270mm 混凝+20mm 钡水泥
观察窗	铅玻璃结构, 尺寸约为 2.1m×1.1m, 防护能力为 3.0mmPb
医护人员进出防护门	铅钢结构, 电动平开式, 尺寸约为 1.2m×2.0m, 防护能力为 3.0mmPb
患者进出防护门	CT 区为电动推拉式, 其他区域患者进出防护门为电动平开式, 尺寸均约为 1.8m×2.20m, 防护能力均为 3.0mmPb
4. 内镜中心 ERCP 室:	
屏蔽体	屏蔽参数
四周墙体	370mm 实心砖
室顶、地板	270mm 混凝土
观察窗	铅玻璃结构, 尺寸约为 2.1m×1.1m, 防护能力为 3.0mmPb
医护人员进出防护门 (小防护门)	铅钢结构, 电动平开式, 尺寸约为 1.2m×2.0m, 防护能力为 3.0mmPb
患者进出防护门 (大防护门)	铅钢结构, 电动推拉式, 尺寸约为 1.8m×2.20m, 防护能力为 3.0mmPb

注：实心砖密度为  $1.65\text{g}/\text{cm}^3$ ，混凝土密度为  $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ ，钡水泥密度为  $2.7\text{g}/\text{cm}^3$ 。

本次将中心手术部两座杂交手术室及复合手术室室顶折合混凝土厚度为  $270+20\times 2.7\div 2.35\approx 293\text{mm}$ 。将 ERCP 室四周墙体折合为混凝土厚度为  $370\times 1.65\div 2.35\approx 259\text{mm}$ 。本项目各 DSA 和 ERCP 装置最大管电压为  $150\text{kV}$ ，根据《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 表 C.6， $150\text{kV}$  条件下，受有用射束照射时相当于  $3\text{mmPb}$  的材料厚度为混凝土  $255\text{mm}$  ( $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ )，受非有用射束照射时相当于  $3\text{mmPb}$  的材料厚度为混凝土  $216\text{mm}$  ( $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ )。则各机房四周墙体、室顶及地板、防护门及观察窗的防护能力相当于铅的厚度见表 14-3。

表 14-3 本项目各机房屏蔽铅当量计算一览表

1. 介入中心 DSA 介入室：			
项目	结构	折合后的铅当量 (有用线束)	折合后的铅当量 ( $90^\circ$ 非有用线束)
四周墙体	轻钢龙骨+1mmPb 钡板 +2mmPb 铅板	3.0mmPb	
室顶、地板	270mm 混凝土	$270/255\times 3\approx 3.18\text{mmPb}$	---
观察窗	铅玻璃结构	3.0mmPb	
防护门	铅钢结构	3.0mmPb	
2. 中心手术部杂交手术室：			
项目	结构	折合后的铅当量 (有用线束)	折合后的铅当量 ( $90^\circ$ 非有用线束)
四周墙体	轻钢龙骨+1mmPb 钡板 +2mmPb 铅板	3.0mmPb	
室顶、地板	270mm 混凝土+20mm 钡水泥	$293/255\times 3\approx 3.45\text{mmPb}$	---
观察窗	铅玻璃结构	3.0mmPb	
防护门	铅钢结构	3.0mmPb	
3. 中心手术部复合手术室：			
项目	结构	折合后的铅当量 (有用线束)	折合后的铅当量 ( $90^\circ$ 非有用线束)
四周墙体	轻钢龙骨+1mmPb 钡板 +2mmPb 铅板	3mmPb	
室顶、地板	270mm 混凝土+20mm 钡水泥	$293/255\times 3\approx 3.45\text{mmPb}$	---
观察窗	铅玻璃结构	3.0mmPb	
防护门	铅钢结构	3.0mmPb	
4. 内镜中心 ERCP 室：			
项目	结构	折合后的铅当量 (有用线束)	折合后的铅当量 ( $90^\circ$ 非有用线束)



四周墙体	370mm 实心砖	259/255×3≈3.05mmPb	259/216×3≈3.60mmPb
室顶、地板	270mm 混凝土	270/255×3≈3.18mmPb	270/216×3≈3.75mmPb
观察窗	铅玻璃结构	3.0mmPb	
防护门	铅钢结构	3.0mmPb	

根据表 14-3 可知，本项目各机房四周墙体、室顶、地板、防护门及观察窗的防护能力均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中第 6.2.1 款要求规定的 C 形臂 X 射线设备机房屏蔽防护铅当量不小于 2.0mmPb 的要求。此外，本项目 DSA 和 ERCP 装置最大管电压均为 150kV，且具有摄影功能，受有用线束照射的墙体及防护门等防护铅当量均不小于 3.0mmPb，受非有用线束照射的墙体、防护门等防护铅当量均不小于 2mmPb，满足 GBZ130-2020 中第 6.2.1 款要求规定的标称 125kV 以上的摄影机房有用线束方向屏蔽防护铅当量不小于 3.0mmPb、非有用线束方向屏蔽防护铅当量不小于 2.0mmPb 的要求。医院拟尽可能减小各防护门与周围墙体之间缝隙，使机房的门窗关闭时也能够确保有效屏蔽厚度满足 GBZ130-2020 中第 6.2.3 款要求。

#### 14.2.2 项目防护措施

除屏蔽设计的安全防范措施外，医院还完善和加强以下几个方面的防护措施。

##### 1. 辐射安全措施

（1）经核实，本项目各 DSA 装置及 ERCP 装置日常工作状态时，向南北或东西两侧方向照射时，C 型臂仅偏离一定角度，最大约 30°，因此各机房防护门及观察窗能够尽量避开有用线束的照射，满足 GBZ130-2020 第 6.1.1 款要求。

（2）本项目各机房所在区域相对独立，周围无关人员流动较少，充分考虑了周围（含楼上和楼下）的人员防护和安全，满足 GBZ130-2020 第 6.1.2 款要求。

（3）本项目各机房均设有观察窗及双向对讲装置，便于监视观察和通话，其中观察窗位置便于医护人员观察到受检者状态及防护门开闭情况，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中第 6.4.1 款要求。

（4）各机房平开门均设计有自动闭门装置；电动推拉式门均设有曝光时关闭机房门的管理措施和防夹装置，DSA 及 ERCP 装置曝光期间，推拉式防护门呈关闭状态，人员无法从机房外打开防护门，各防护门外均设有工作状态指示灯，门与灯能够有效联动，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中第 6.4.5 款、第 6.4.6 款要求。

（5）本项目各机房防护门外均张贴电离辐射警告标志，灯箱上设有“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句，医院拟在等候区设置放射防护注意事项告知栏，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中第 6.4.4 款要求。

(6) 各 DSA 及 ERCP 装置导管床处均设有紧急停机按钮，各机房控制台处均设有 1 处紧急停机按钮，紧急状态下按下紧急停机按钮即可实现紧急停机，防止发生辐射安全事故。

(7) 机房内不堆放杂物，机房管线口均采用“U”型穿墙，可避免有用射束直接照射。

(8) 除以上各机房共有的安全措施外，复合手术室还设计有 DSA-CT-MR 软硬件互锁措施，以确保各设备使用时的辐射安全，具体见上文“14.1.1 工作流程”章节。

(9) 医院拟为各机房配备铅衣、铅帽等个人防护用品，详见表 14-4。

**表 14-4 本项目个人防护用品和辐射防护用品一览表**

为工作人员配备的个人防护用品和辅助防护设施	每个机房拟配备分体铅衣 5 件、连体铅衣 5 件、铅橡胶围裙 5 件、铅橡胶颈套 5 件、铅防护眼镜 5 件、铅橡胶帽子 5 件、儿童防护用品 2 件，防护能力均为 0.5mmPb；每个机房拟配备介入防护手套 5 双，防护能力为 0.025mmPb；DSA 装置自带 1 个床侧防护帘和铅悬挂防护屏，防护能力为 0.5mmPb
为患者配备的个人防护用品	每个机房拟配备分体铅衣 2 件、连体铅衣 2 件、铅橡胶围裙 2 件、铅橡胶颈套 2 件、铅橡胶帽子 2 件，防护能力均为 0.5mmPb

由表 14-4 可知，本项目个人防护用品和辅助防护设施均满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 中第 6.5.1 款、第 6.5.3 款、第 6.5.4 款要求，并满足日常工作的需要。

## 2. 通风设计

本项目各机房内均设有层流净化通风系统，该系统通过风机系统将空气进行过滤消毒，以保证机房内部空气的清洁以及温度、湿度的恒定，进风口和排风口均位于室顶，吊顶内安装，尺寸均约 40cm×40cm，排风口与楼内排风管道相连，废气经排风管道最终排放至大楼顶部外环境，有效通风量为 2000m<sup>3</sup>/h，能够保持良好通风，可明显降低各机房内有害气体浓度，不会对周围环境和人员造成影响，通风设计符合《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 中第 6.4.3 款要求。

## 3. 其他

医院现有介入科共有 7 名专职辐射工作人员，其他科室如普外科、神经内科、心外科及心内科参与介入手术的辐射工作人员共有 17 人，本项目投运后，上述人员拟同时负责医院现有 DSA 装置及本项目介入科 6 台 DSA 装置，除此以外，医院拟再为本项目介入科配备 10 名辐射工作人员，同时拟为中心手术部配备 9 名辐射工作人员，为内镜中心配备 6 名辐射工作人员，拟配备人员目前尚未确定，现有参与介入手术的人员目前均配备有个人剂量计（每人 2 支，由检测单位配发），其余人员待确定后拟配备个人剂量计（每人 2

支)，并为二期项目配备辐射监测仪 1 台，拟利用辐射监测仪定期进行自主监测，做好记录，以满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条第五款和《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）第 5.3.3 款要求。

### 14.3 运行阶段环境影响分析

#### 14.3.1 防护要求对照分析

根据表 14-3 可知，本项目各 DSA 介入室、手术室 ERCP 室及四周墙体、室顶、地板、防护门及观察窗的防护能力均大于 2mmPb，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中关于“介入 X 射线设备机房有用线束方向铅当量 2mm；非有用线束方向铅当量 2mm”的要求，本项目 DSA 及 ERCP 装置最大管电压均为 150kV，且具有摄影功能，受有用线束照射的墙体、防护门等防护铅当量均不小于 3.0mmPb，受非有用线束照射的墙体、防护门等防护铅当量均不小于 2mmPb，满足 GBZ130-2020 中第 6.2.1 款要求规定的标称 125kV 以上的摄影机房有用线束方向屏蔽防护铅当量不小于 3.0mmPb、非有用线束方向屏蔽防护铅当量不小于 2.0mmPb 的要求。本项目介入中心六座 DSA 机房分布相对集中，但南北方向两相邻机房之间存在走廊，其中 1 台 DSA 装置对其相邻机房周围关注点的影响随距离而衰减，因此各机房之间的叠加影响可忽略。机房施工时在严格按照屏蔽设计方案进行建设，尽可能减小各防护门与周围墙体之间缝隙，并加强日常管理后，预计各 DSA 介入室、手术室及 ERCP 室屏蔽体外的辐射水平能够满足 GBZ130-2020 中规定的  $2.5 \mu\text{Sv/h}$  剂量率参考控制水平要求。

#### 14.3.2 年有效剂量

##### 1. 年有效剂量估算公式、居留因子选取

根据工作负荷对职业人员辐射年有效剂量进行理论估算，估算公式见式 10-13，居留因子参照修订版 ICRP 第 15 号出版物选取，见表 10-16。

##### 2. 照射时间

###### （1）DSA 装置

本项目每台 DSA 装置预计每年开展手术量最大约 600 例，平均每例最大照射时间约 10min（透视 8min，摄影 2min）。经核实，职业人员根据实际手术需要进行分组操作，为控制医护人员受照剂量，医院要求每名职业人员年参加介入手术不得超过 800 台，则职业人员年最大照射时间为 133.3h/a（透视 106.6h/a，摄影 26.7h/a）。

###### （2）ERCP 装置

本项目每台 ERCP 装置预计每年开展介入手术量最大约 400 例，平均每例最大照射时间约 10min（透视 8min，摄影 2min）。为控制医护人员受照剂量，医院要求每名职业人员

年参加介入手术不得超过 500 台，则职业人员年最大照射时间为 83.3h/a（透视 66.6h/a，摄影 16.7/a）。

### 3. 职业人员年有效剂量

#### 1) DSA 机房职业人员年有效剂量

本次评价采用类比监测的方法评价职业人员可能接受的辐射年有效剂量。本项目 DSA 装置的最大管电压均为 150kV。经核实，本项目 DSA 装置一般情况管电压会保留 30% 的余量，即工作电压均不大于 105kV，本次评价采用青岛市第九人民医院 1 台 Vicor-CV100 型 DSA 装置作为类比对象，该 DSA 装置最大管电压为 150kV，最大管电流为 1250mA，监测时工作电压摄影状态和透视状态下电压分别为 125kV、110kV，且类比对象防护铅屏为 0.5mmPb 当量，与本项目配备的防护铅屏一致，类比结果可作为本项目 DSA 装置运行后的最大剂量率参考。

监测日期：2018年12月20日。

监测单位：山东华标检测评价有限公司。

检测仪器：AT1123型辐射检测仪，测量范围： $1 \times 10^{-5}$ Gy/h $\sim 1 \times 10^{-1}$ Gy/h，能量响应范围：5keV $\sim 10$ MeV，变化的限值为 $\pm 15\%$ ，剂量率指示的固有误差：不大于 5.0%，使用环境温度： $-30 \sim +50^{\circ}\text{C}$ 。经山东正衡测试技术有限责任公司检定合格，检定有效期至 2020 年 2 月 28 日，检定证书编号 DYj12018-7159。

各部位辐射水平监测结果见表 14-5。

表 14-5 Vicor-CV100 型 DSA 装置介入工作人员操作位辐射剂量率监测结果

点位描述		测量结果	标准偏差	备注	
透视 状态	防护屏前手术位		81.6	1.2	手部
	防护屏后床 侧术者位	床侧第一 术者位	14.1	0.01	头部（检测点距地面 155cm）
			16.3	0.01	胸部（检测点距地面 125cm）
			16.5	0.01	腹部（检测点距地面 105cm）
			12.4	0.01	下肢（检测点距地面 80cm）
			11.8	0.01	足部（检测点距地面 20cm）
		床侧第二 术者位	10.4	0.02	头部（检测点距地面 155cm）
			12.3	0.01	胸部（检测点距地面 125cm）
			13.5	0.01	腹部（检测点距地面 105cm）
			10.6	0.01	下肢（检测点距地面 80cm）
			10.1	0.01	足部（检测点距地面 20cm）
摄影 状态	防护屏前手术位		105.2	0.01	手部
	防护屏后床 侧术者位	床侧第一 术者位	23.5	0.01	头部（检测点距地面 155cm）
			33.4	0.01	胸部（检测点距地面 125cm）

			37.2	0.02	腹部（检测点距地面 105cm）
			36.8	0.01	下肢（检测点距地面 80cm）
			35.4	0.01	足部（检测点距地面 20cm）
		床侧第二术者位	18.7	0.01	头部（检测点距地面 155cm）
			32.1	0.01	胸部（检测点距地面 125cm）
			33.5	0.01	腹部（检测点距地面 105cm）
			31.4	0.01	下肢（检测点距地面 80cm）
			28.7	0.01	足部（检测点距地面 20cm）
注：检测时主射束向上、使用水体模；透视状态电压为 110kV，电流自动；摄影状态电压为 125kV，电流为 500mA。					

### （1）介入室及手术室内职业人员年有效剂量

根据表14-5，计算第一术者位和第二术者位辐射工作人员的受照剂量，具体如下：

#### ①第一术者：

DSA介入手术时透视、摄影状态下铅衣内第一术者位躯干（胸部、腹部）最大剂量率分别为 $16.5 \mu\text{Gy/h}$ 、 $37.2 \mu\text{Gy/h}$ ；透视、摄影状态下四肢（手部、下肢、足部）最大剂量率分别为 $81.6 \mu\text{Gy/h}$ 、 $105.2 \mu\text{Gy/h}$ ；透视、摄影状态下眼部（取头部检测数据）剂量率分别为 $14.1 \mu\text{Gy/h}$ 、 $23.5 \mu\text{Gy/h}$ 。每名职业人员每年最多参加800台手术，居留因子取1，则第一术者躯干可能接受的最大年有效剂量为 $(16.5 \times 106.6 + 37.2 \times 26.7) \times 1 \div 1000 \approx 2.75\text{mSv}$ ；四肢接受的年当量剂量为 $(81.6 \times 106.6 + 105.2 \times 26.7) \times 1 \div 1000 \approx 11.51\text{mSv}$ ；眼部年当量剂量为 $(14.1 \times 106.6 + 23.5 \times 26.7) \times 1 \div 1000 \approx 2.13\text{mSv}$ 。

#### ②第二术者：

DSA介入手术时透视、摄影状态下铅衣内第二术者位躯干（胸部、腹部）最大剂量率分别为 $13.5 \mu\text{Gy/h}$ 、 $33.5 \mu\text{Gy/h}$ ；透视、摄影状态下眼部（取头部检测数据）剂量率分别为 $10.4 \mu\text{Gy/h}$ 、 $18.7 \mu\text{Gy/h}$ 。每名职业人员每年最多参加800台手术，居留因子取1，则第二术者躯干可能接受的最大年有效剂量为 $(13.5 \times 106.6 + 33.5 \times 26.7) \times 1 \div 1000 \approx 2.33\text{mSv}$ ；眼部年当量剂量为 $(10.4 \times 106.6 + 18.7 \times 26.7) \times 1 \div 1000 \approx 1.61\text{mSv}$ 。根据检测数据及估算结果，可知第二术者受照剂量低于第一术者，因此第二术者四肢受照剂量也满足本评价采用的职业人员四肢不超过 $125\text{mSv/a}$ 的管理要求。

综上所述，在每名职业人员年参加本项目介入科DSA开展的介入手术800台，年最大照射时间为 $133.3\text{h/a}$ 情况下，职业人员躯干年有效剂量最大值为 $2.75\text{mSv}$ ，四肢年当量剂量最大值为 $11.51\text{mSv}$ ，眼部年当量剂量最大值为 $2.13\text{mSv}$ ，分别满足本评价采用的职业人员年剂量管理目标值不超过 $5.0\text{mSv}$ 、四肢不超过 $125\text{mSv}$ 、眼晶体不超过 $37.5\text{mSv}$ 的管理要求。

## (2) 介入室及手术室外职业人员年有效剂量

本项目医师和护士在介入室及手术室内进行介入手术，技师仅在控制室内进行设备操作，为隔室操作，本项目DSA介入室及手术室防护设计符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）防护要求，在严格按照设计方案建设，并加强日常管理后，介入室及手术室周围的剂量率可满足 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的限值要求，本次保守按照控制台处剂量率为 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 进行计算，居留因子为1，利用因子保守取1，则技师年有效剂量为 $2.5 \times 133.3 \times 1 \times 1 \div 1000 \approx 0.33\text{mSv}$ ，低于 $5.0\text{mSv}$ 的年管理剂量约束值。本项目介入科各控制室均位于两座介入室中间，控制室受两台DSA开机时的叠加影响，根据设计图纸可知，相邻操作位最近距离约 $3.5\text{m}$ ，距离较远，因此本次不再对技师受照剂量进行叠加分析。

本项目投运后，医院现有介入科7名辐射工作人员及其他科室的17名辐射工作人员将同时负责本项目介入科6台DSA装置及医院现有2台DSA装置，根据个人剂量检测报告可知，负责现有DSA装置的辐射工作人员年有效剂量最大为 $2.49\text{mSv}$ 。因此本项目投运后辐射工作人员躯干年有效剂量最大为 $2.75+2.49=5.24\text{mSv}$ ，医院现有DSA装置每台每年开展的最大手术量与本项目单台DSA开展的介入手术量相当，现有DSA最大管电压及最大管电流小于本项目DSA，因此预测辐射工作人员在同时负责现有DSA及本项目介入科DSA装置的情况下，眼晶体及四肢受照剂量满足本次评价采用的职业人员年管理剂量约束值。

## 2) ERCP机房职业人员年有效剂量

### (1) ERCP室内职业人员年有效剂量

本次评价采用类比监测的方法评价ERCP机房职业人员可能接受的年有效剂量。ERCP装置与DSA装置类似，均用于介入诊断。本项目ERCP装置的最大管电压为 $150\text{kV}$ 、最大管电流为 $1250\text{mA}$ ，ERCP日常最大运行工况小于本项目DSA装置，因此本次评价采用本项目DSA装置类比对象青岛市第九人民医院1台Vicor-CV100型DSA装置（管电压 $150\text{kV}$ 、管电流 $1250\text{mA}$ ）正常运行时监测数据估算职业人员年有效剂量。同时根据医院提供的资料，本项目正常开展ERCP手术时的工况不超过类比检测工况，因此具有较好的类比性。本次按照类比对象第一竖者位的检测数据进行估算，居留因子取1，则ERCP室内职业人员躯干可能接受的最大年有效剂量为 $(16.5 \times 66.6 + 37.2 \times 16.7) \times 1 \div 1000 \approx 1.72\text{mSv}$ ；四肢接受的年当量剂量为 $(81.6 \times 66.6 + 105.2 \times 16.7) \times 1 \div 1000 \approx 7.19\text{mSv}$ ；眼部年当量剂量为 $(14.1 \times 66.6 + 23.5 \times 16.7) \times 1 \div 1000 \approx 1.33\text{mSv}$ 。

### (2) ERCP室外职业人员年有效剂量

本项目ERCP室防护设计符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）防护要求，在严格按照设计方案建设，并加强日常管理后，ERCP室周围的剂量率可满足 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的

限值要求，本次保守按照控制台处剂量率为 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 进行计算，居留因子、利用因子均为1，则技师年有效剂量为 $2.5 \times 83.3 \times 1 \times 1 \div 1000 \approx 0.21\text{mSv/a}$ ，满足本次评价提出的限值要求。

#### 4. 公众成员年有效剂量估算

本项目每台 DSA 装置、ERCP 装置每年最多开展手术量分别为 600、400 例，DSA 机房、ERCP 机房周围公众受照时间分别为 100h、66.7h，本次保守按照机房外各关注点剂量率为 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 进行计算，DSA 及 ERCP 机房周围公众成员受照剂量具体见表 14-6。

表 14-6 本项目公众成员年有效剂量计算结果

机房	位置	对应场所名称	受照时间 (h)	利用因子	居留因子	年有效剂量 (mSv)
介入科 DSA 机 房	北墙、南墙外	走廊	100	2/9	1/5	0.01
	西墙外	走廊	100	1	1/5	0.05
	室顶外	妇科、骨科门诊	100	1/3	1	0.08
	地板下	地下停车场、垃圾分类处理间	100	2/9	1/40	$1.39 \times 10^{-3}$
中心手 术部杂 交手术 室	手术室 1 北墙外	心外手术室、设备间	100	2/9	1	0.06
	手术室 1 南墙外	手术室 2	100	2/9	1/8	$6.94 \times 10^{-3}$
	手术室 2 南墙外	设备间及器械间	100	2/9	1/20	$2.78 \times 10^{-3}$
	手术室 2 北墙外	手术室 1	100	2/9	1/8	$6.94 \times 10^{-3}$
	西墙外	缓冲区、耗材室	100	1	1/8	0.03
	东墙外	走廊	100	1	1/5	0.05
	室顶外	净化机房	100	1/3	1/20	$4.17 \times 10^{-3}$
	地板下	静脉配置中心	100	2/9	1	0.06
中心手 术部复 合手术 室	北墙外	MR 区	100	1	1/8	0.03
	西墙、东墙外	缓冲区、设备间	100	2/9	1/8	$6.94 \times 10^{-3}$
	南墙外	CT 区	100	1	1/8	0.03
	室顶外	净化机房	100	1/3	1/20	$4.17 \times 10^{-3}$
	地板下	病房药房	100	2/9	1	0.06
内镜中 心 ERCP 室	北墙外	走廊	66.7	2/9	1/5	$7.41 \times 10^{-3}$
	ERCP 室 1 西墙外	走廊	66.7	1	1/5	0.03
	ERCP 室 1 东墙外	ERCP 室 2	66.7	1	1/8	0.021
	ERCP 室 2 东墙外	走廊	66.7	1	1/5	0.03
	ERCP 室 2 西墙外	ERCP 室 1	66.7	1	1/8	0.021
	室顶外	屋顶	66.7	1/3	1/20	$2.78 \times 10^{-3}$
	地板下	病房药房、手术室、麻醉室	66.7	2/9	1	0.037

注：1. DSA 及 ERCP 主射束向上出束的时间约为年工作量的 1/3，向其余 3 个主射束照射时间均约占年工作量的 2/9；

2. 复合手术室中单独使用 DSA 时，中间的三折防护门处于关闭状态，北侧的 MR 及南侧的 CT 可单独使用，因此本次对该区域的公众受照剂量进行计算。

本项目介入中心南北相邻的两座介入室中间走廊处的公众受两台 DSA 装置的叠加影响，如介入室 1 和介入室 3 中间的走廊等。本次对该区域公众受照剂量进行叠加考虑，为  $0.01+0.01=0.02\text{mSv}$ ，同样，本次对两座 ERCP 室北侧走廊处的公众受照剂量进行叠加影响，为  $7.41\times 10^{-3}+7.41\times 10^{-3}=0.015\text{mSv}$ ，由于各介入室对应的楼上及楼下为不同房间，因此本次不再对楼上及楼下的公众受照剂量进行叠加。综上所述，本项目各机房周围公众成员年有效剂量最大值为  $0.08\text{mSv}$ ，满足本评价采用的公众成员年管理剂量约束值不超过  $0.1\text{mSv}$  的要求。

### 5. CT 的辐射影响

根据 GBZ130-2020，对于使用 CT 的机房，机房屏蔽要求不低于  $2.5\text{mmPb}$ ，本项目 CT 主要用于 DSA 患者的术前、术后评价，年使用量远低于放射科一般使用的 CT，且复合手术室机房屏蔽厚度不低于  $3\text{mm}$  铅当量，因此本项目 CT 对周围人员的辐射影响远小于 DSA，CT 对公众造成的附加剂量本次忽略不计。且 CT 出束时技师位于操作台处进行操作，因此 CT 对操作人员造成的附加剂量本次忽略不计。

综上所述，在加强日常管理情况下，本项目职业人员及公众成员所接受的年有效剂量满足本次评价提出的管理剂量约束值，满足国家有关要求。

需说明的是工作人员接受的剂量与手术类型、手术位置、防护条件、防护意识等诸多因素有关。因此辐射工作人员在手术过程中须佩戴个人剂量计及个人防护用品，并采取必要的防护措施。通过监督性监测，如有超过管理剂量约束值趋势时，应及早提示工作人员，加强介入手术中的辐射防护，尽可能减少受照剂量，使之控制在管理约束值范围内。

### 14.3.3 三废环境影响分析

本项目 DSA 装置及 ERCP 装置在运行过程中不产生放射性废气、放射性废水和放射性固体废物。

DSA 装置及 ERCP 装置在开机运行时，产生的 X 射线与空气作用可产生少量臭氧和氮氧化物。本项目各机房内均设有层流净化通风系统，该系统通过风机系统将空气进行过滤消毒，以保证机房内部空气的清洁以及温度、湿度的恒定，进风口和排风口均位于室顶，吊顶内安装，尺寸均约  $40\text{cm}\times 40\text{cm}$ ，排风口与楼内排风管道相连，废气经排风管道最终排放至大楼顶部外环境，有效通风量为  $2000\text{m}^3/\text{h}$ ，能够保持良好通风，可明显降低介入室和



心导管室内有害气体浓度，且楼顶无人到达，通风设计符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中第 6.4.3 款要求。

## 14.4 事故影响分析

### 14.4.1 风险识别

结合 DSA 装置和 ERCP 装置工艺流程，事故风险主要来自于设备工作状态环节。其潜在的危害因素主要有：

1. 机房局部屏蔽厚度不能满足辐射安全需要，造成辐射工作人员和公众受到误照射；
2. 装置不能正常关机，导致进入介入室和 ERCP 室内的辐射工作人员和公众成员受到误照射；
3. 工作状态指示灯、紧急停机按钮、电离辐射警告标志等防护设施不完善或失灵，或者防护门发生故障，导致人员误入或停留介入室、手术室和 ERCP 室内而造成误照射；
4. 辐射工作人员不按要求佩戴个人防护用品，造成误照射，患者不按要求佩戴个人防护用品，造成不必要照射。

### 14.4.2 风险防范措施

本项目风险防范管理如下：

1. 严格按照辐射监测计划进行辐射水平监测，如果辐射水平监测结果表明防护墙外局部偏高，可适当增加局部防护墙厚度。依照本次环评评价结果看，本项目各机房屏蔽墙厚度均能满足防护要求，假如日后由于某些特殊原因导致局部屏蔽墙防护能力下降，应及时增加防护厚度；
2. 在正常使用中，定期对射线装置进行检查和维护，发现问题应及时进行维修；
3. 制定自检制度，每日对工作状态指示灯、闭门装置进行检查，对其余防护设施进行定期检查，如发现闭门装置、紧急停机按钮、工作状态指示灯、电离辐射警告标志等防护设施不够完善或失灵，或防护门出现故障，应及时检修和维护；
4. 制定 DSA 和 ERCP 的安全操作规程，加强人员培训；配备铅衣等防护用品，医护人员和患者均按照要求正确佩戴个人防护用品。

## 表 15 辐射安全管理

### 15.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

#### 15.1.1 管理机构

医院目前已经建立了辐射安全与环境保护管理领导机构，医院目前设有专门的辐射安全领导小组，负责辐射安全与环境保护。小组成员组成及工作职责具体如下：

##### 领导小组成员名单如下：

组长：焉传祝；

副组长：高海东、于洪臣、孟祥水

成员：袁英、王素云、徐晓东、刘爱芬、于良宁、庄严、王奉杰

##### 领导小组工作职责如下：

1. 负责制定医院质量与安全管理方案，定期专题研究医院质量和安全管理工作；
2. 负责拟定辐射防护工作计划和实施方案，制定相关制度；
3. 做好辐射工作人员的辐射安全与防护培训、防护设施的供应与管理以及辐射防护档案的建立与管理等工作；
4. 组织实施本院辐射工作人员职业健康检查，建立个人健康管理档案；
5. 定期对辐射安全与防护工作进行督查，检查医院辐射工作人员的技术操作情况，指导做好个人及患者的辐射防护，确保不发生辐射安全事故。

#### 15.1.2 职业人员

医院拟为本项目配备 91 名职业工作人员，包括放疗科 20 人，核医学科 22 人，中心手术部 9 人，内镜中心 6 人，介入科 34 人。其中 24 人拟于本项目投运后同时负责本项目介入科 DSA 装置和医院现有 DSA 装置，该 24 人目前均持有辐射安全与防护考核培训证书或考核合格成绩单，且在有效期内，具体培训考核情况详见表 15-1。其余人员目前尚未确定，待确定后拟根据实际人员到岗情况，合理制定职业工作人员培训计划，分批次参加辐射安全与防护考核，考核合格后方可上岗，以满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求。

表 15-1 负责本项目介入科 DSA 装置的现有辐射工作人员辐射安全防护考核情况

姓名	科室	岗位	证书编号	是否在有效期内
陈聪聪	介入科	护士	鲁环辐培证字第 18B4095 号	是
周军		医师	FS21SD0200166	是
于东升		医师	FS21SD0100558	是
刘静		护士	鲁环辐培证字第 18B4101 号	是

张骏腾		技师	鲁环辐培证字第 18B4102 号	是
吴晗		技师	FS20SD0101707	是
宋晓磊		医师	鲁环辐培证字第 18B4293 号	是
姜远辉	普外科	医师	FS21SD0100974	是
范鲁峰		医师	FS21SD0100975	是
马杰		医师	FS21SD0100976	是
邵闻冲		医师	FS21SD0100977	是
武涵		医师	FS21SD0100984	是
王益华	神经外科	医师	FS21SD0101307	是
黄德章		医师	FS21SD0102065	是
何伟		医师	FS21SD0102068	是
孙斌		医师	FS21SD0101274	是
孙文字	心外科	医师	FS21SD0101931	是
霍玉峰		医师	FS21SD0100972	是
王君涛	心内科	医师	FS21SD0101234	是
梁欢		医师	FS20SD0101956	是
王守东		医师	FS21SD0100973	是
孟庆峰		医师	FS21SD0101891	是
王浩		医师	FS21SD0101978	是
由倍安		医师	FS21SD0102078	是
李宣龙		医师	FS21SD0100982	是

## 15.2 辐射安全管理规章制度

青岛山大齐鲁医院作为持有辐射安全许可证的单位，在现有辐射项目运行过程中，目前已制定的制度主要有《辐射防护制度》、《设备保养与维修制度》、《辐射工作人员岗位职责》、《辐射环境监测方案》、《辐射事故应急预案》、《工作人员个人健康管理制度》、《台账管理制度》、《自行检查和年度评估制度》、《工作人员培训和再培训管理制度》等规章制度，以上辐射安全管理规章制度从人员培训、辐射防护等方面均做出了明确要求和规定，医院拟根据本项目补充制定《核医学科岗位职责》、《放射性同位素使用登记制度》、《回旋加速器操作规程》、《回旋加速器中心岗位职责》、《后装机操作规程》、《医用电子加速器操作规程》、《托姆刀操作规程》、《三废处置制度》、《放射源使用登记制度》等，并补充完善《辐射监测方案》、《辐射事故应急预案》。

## 15.3 辐射监测

### 15.3.1 辐射监测方案

医院目前制定有《辐射环境监测方案》，主要内容如下：

## 1. 个人剂量监测

①本院从事辐射工作的医务人员在操作射线装置时须按要求佩戴个人剂量计，个人剂量监测须委托有资质单位进行监测，常规监测周期为 30 天，最长不超过 90 天；

②建立个人剂量档案，终生保存，并将结果记录入个人剂量档案中；

③允许辐射工作人员查阅、复印本人的个人剂量监测档案。

## 2. 辐射工作场所监测

### (1) 监测因子

监测因子为  $X(\gamma)$  空气吸收剂量率。

### (2) 监测频率

定期监测：正常情况下，每年进行 1~2 次自主监测。

应急监测：工作场所如发现异常情况或怀疑有异常情况，应对工作场所和环境进行应急监测。

年度监测：每年委托有资质单位对各辐射工作场所周围辐射水平和设备性能进行监测，出具年度监测报告。

验收监测：新建辐射工作场所及射线装置安装调试后，委托有资质的单位进行验收监测。

### (3) 监测范围

控制室操作位处、场所周围公众活动区域。

### (4) 监测布点

监测点位布点原则为应在巡测的基础上，对关注点的局部屏蔽和缝隙进行重点检测。

若发现机房周围剂量率超过  $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ，应及时停止工作，查明原因，及时改进。

### 医院拟根据本项目特点按照以下内容进行补充完善：

①监测范围：核医学工作场所除监测控制室操作位处、场所周围公众活动区域外，还应对控制区内部进行监测，监测点主要为场所内主要房间如质控室、扫描间、注射后候诊室、留观室、服碘室、甲癌患者病房外关注点处；监测因子除  $X(\gamma)$  空气吸收剂量率外，还应监测表面污染水平、放射性废水活度浓度和放射性固废表面的辐射剂量率、 $\beta$  表面污染，其中辐射剂量率不少于 1 次/月，表面污染水平监测于每次操作核素后，监测 1 次，出现放射性药物洒落时及时监测；放射性废水处理系统中的废水排放前，监测其活度浓度，达标后排放；放射性固体废物处置前，监测其表面辐射剂量率和  $\beta$  表面污染，达标后当做一般医疗废物处置。另在发生污染事故或怀疑有污染时，应及时进行监测。并对废

水排放和固废处置情况记录存档。

### 15.3.2 医院监测方案落实情况

经核实，医院现有辐射工作人员均配有个人剂量计，委托有资质单位每三个月检测一次，出具个人剂量检测报告，由医院提供的个人剂量检测报告可知，医院现有辐射工作人员年有效剂量均满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定职业人员剂量限值，医院建立有个人剂量档案，检测数据填入个人剂量档案，档案每人一册，由专人保管，个人剂量档案应终生保存。待本项目辐射工作人员确定后，为职业人员配备个人剂量计（介入人员每人 2 支，其他人员每人 1 支，委托个人剂量检测后由检测单位配发）。同时医院已委托有资质单位对各辐射工作场所周围进行检测，出具年度检测报告，医院目前配备 1 台 RadPavise-H 型辐射监测仪，拟再为二期项目配备 1 台辐射巡检仪，定期对各辐射工作场所周围辐射水平进行自主监测，并做好记录，记录中应包括测量对象、测量条件、测量方法、测量仪器、测量时间和测量人员等，并定期对辐射监测结果进行评价，监测中发现异常应查找原因并及时报告，同时提出改进措施，以全面落实《辐射环境监测方案》，确保满足 HJ1188-2021 第 8 款要求。

## 15.4 辐射事故应急

### 15.4.1 环境风险事故应急预案

根据《放射性同位素和射线装置安全和防护条例》等法律法规的有关要求，医院目前已制定《辐射事故应急预案》，一旦发生辐射事故时，能迅速采取必要和有效的应急响应行动，保护工作人员、公众和环境的安全，该预案主要规定了辐射事故应急处理机构的成员组成及职责、辐射事故应急救援应遵循的原则、辐射事故处理程序及辐射事故调查、报告和处理等内容，具体如下：

#### 1. 组织机构

##### ①成立辐射事故应急工作领导小组

医院成立辐射事故应急处理工作领导小组，领导小组成员名单如下：

组长：马祥兴、潘新良、焉传祝、张彤

副组长：孟祥水、高海东、于洪臣、刘晔、程玉峰、辛国

组员：王文汇、陈军、张婷、于良宁、刘景斌、秦放

紧急联系电话：66850986

主要职责：

监督检查放射安全工作，防止辐射事故的发生；针对防范措施失效和未落实防范措施

提出整改意见；负责每年定期进行辐射事故应急演练；对已发生辐射事故的现场进行组织协调、安排救助、并向辐射工作人员与公众通报；负责向上级行政主管部门报告辐射事故发生和应急救援情况，负责恢复正常秩序、稳定受照人员情绪等方面的工作。

## 2. 辐射事故应急处理的责任划分

①医院辐射安全领导小组组长负责辐射事故应急处理的组织及指挥工作。

②医院辐射安全领导小组组长负责辐射事故应急处理中人员、物资的调动调配工作，向院应急救援领导小组及生态环境、卫生行政部门、公安部门快速上报，最迟不得超过两小时。《辐射事故初始报告表》在 24 小时内填报。

③医院辐射防护管理领导小组副组长应全力协助安全第一责任人，在抓好放射性事故应急处理工作的同时，协助做好受伤害人员的家属安抚工作。

④现场处置组要认真做好事故现场的保护工作，协助上级主管部门调查事故、搜集证据，整理资料并做好记录。

⑤参加事故应急救援人员要自觉遵守纪律，服从命令，听从指挥，为完成救援任务尽职尽责，通过积极工作最大限度地控制事故危害，为尽快恢复工作创造条件。

⑥加强对发生事故现场的治安保卫工作，现场处置组要密切配合、做好事故现场的保卫工作，防止现场物资及财产被盗或丢失。

## 3. 辐射事故应急救援应遵循的原则

①迅速报告原则；

②主动抢救原则；

③生命第一的原则；

④科学施救，控制危险源，防止事故扩大的原则；

⑤保护现场，收集证据的原则。

## 4. 应急处置程序

本单位一旦发生辐射事故，必须立即采取措施（如切断电源，迫使设备停止曝光）防止事故继续发生和蔓延而扩大危害范围，并在第一时间向辐射事故应急工作领导小组组长报告，同时启动应急指挥系统，具体程序如下：

①现场处置

1) 操作开关失灵

操作开关可能会失灵。当松开操作开关后，如果设备还在运行或者该灭的灯还亮着，应采取如下措施：

a、立即关掉电源；  
b、如果有受检者在机房，应将受检者迅速从机房内移开；  
c、操作人员不得试图再次开机，应联系维修人员进行维修，在确保设备能够正常运行和操作开关电路正常时才能重新开机。

#### ②迅速报告

必须立即将发生事故的性质、时间、地点、科室名称、联系人、电话等报告给辐射事故应急工作领导小组组长，组长接到报告后立即通知现场处置组组长并做好准备。

#### ③现场控制

应急处置组组长接到事故发生报告后，立即集合人员赶赴现场，首先采取措施保护工作人员和公众的生命安全，最大限度控制事态发展；用警示条划定紧急隔离区，禁止无关人员进入，保护好现场；迅速、正确判断事件性质，将事故情况报告应急指挥部。

#### ④现场报告

根据现场情况，由本单位应急指挥部将事故发生时间、地点、造成事故射线装置、危害程度和范围及射线装置的名称等主要情况报告卫计委、生态环境局、公安局等相关部门以及上级行政主管部门。

#### ⑤查找事故原因

配合上级有关部门对现场进行勘查以及环保安全技术处理，检测等工作，查找事故发生的原因，进行调查处理。将事故处理结果及时报上级卫生行政主管部门。

#### ⑥警报解除

总结经验教训，制定或修改防范措施，加强日常环境安全管理，杜绝类似事故发生。

### 5. 应急能力的保持

#### ①应急培训

每年定期进行辐射事故应急培训，主要内容为辐射事故种类、应急程序、应急人员职责等，培训材料归档保存。

#### ②应急演练

每年定期进行辐射事故应急演练，模拟真实事故现场，保持应急人员的应急能力。演练由辐射事故应急工作领导小组负责，事先制定演练方案，事中检查演练过程并及时发现问题，事后形成事故演练评价，对发现的问题及时纠正，应急演练所有材料均归档保存。

医院拟根据本项目补充完善《辐射事故应急预案》，须补充完善的主要内容有当地生

态环境部门、卫生部门及公安部门的联系方式、辐射事故分级，并根据非密封放射性物质工作场所和放射源的特点，完善核医学工作场所和后装机可能出现的辐射事故，并对应给出相应的辐射事故处理程序等内容。经核实，医院针对现有辐射项目定期开展辐射事故应急演练，最近一次为 2021 年 5 月 26 日，详细记录了演练的过程、参与人员等，对存在的问题进行了总结并提出相应的改进措施，对演练材料进行归档保存，落实情况较好，经核实，医院未发生过辐射安全事故。



表 16 结论与建议

## 16.1 结论

### 1. 项目概况

青岛山大齐鲁医院现持有辐射安全许可证（鲁环辐证[02192]），许可种类和范围和使用 II 类、III 类射线装置，乙级非密封放射性物质工作场所，有效期至 2023 年 12 月 6 日。

医院拟于二期医疗综合楼地下三层及地下二层东北侧新建核医学科，涉及 2 处非密封放射性物质工作场所，其中地下三层场所日等效最大操作量为  $4.00 \times 10^8 \text{Bq}$ ，地下二层场所日等效最大操作量为  $3.89 \times 10^9 \text{Bq}$ ，均属于乙级非密封放射性物质工作场所；拟于医疗综合楼地下三层西北侧新建放疗科，涉及四座加速器机房（两座 15MV 加速器机房、两座 10MV 加速器机房）、一座后装机机房（内置 1 枚  $^{192}\text{Ir}$  放射源，填装活度  $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ ，属于 III 类放射源）及一座 6MV 托姆刀机房；拟于医疗综合楼地下一层西侧中部新建介入科，涉及六座 DSA 机房，拟于医疗综合楼五层中心手术部新建两座 DSA 杂交手术室、一座 DSA 复合手术室；拟于医疗综合楼六层内镜中心新建两座 ERCP 机房。项目总投资 35000 万元。本项目各装置均用于医学诊断和治疗，能够提高医院的治疗水平，具有良好的社会效益和经济效益，符合实践的正当性原则。

### 2. 选址合理性

医院二期项目已取得环评批复，用地性质属医疗卫生用地，本项目建设于医院内部，不新增用地，用地性质符合规划要求。各辐射工作场所相对独立，周围无关人员相对较少，场所周围评价范围内仅存在 1 处医院内后勤保障楼、1 处门诊病房楼及 3 处临时施工板房，均为医院内建筑物，其中施工板房拟于本项目投运前拆除，各场所周围评价范围内无居民区、学校等环境保护目标，因此本项目选址合理可行。

### 3. 现状检测

现状检测结果表明，本项目各辐射工作场所对应区域及周围的环境  $\gamma$  空气吸收剂量率为  $95.7 \text{nGy/h} \sim 106.4 \text{nGy/h}$ ，处于青岛市环境天然辐射水平范围内；核医学科对应区域、东侧门诊病房楼和后勤保障楼处的  $\beta$  表面污染检测结果为  $0.35 \text{Bq/cm}^2 \sim 0.56 \text{Bq/cm}^2$ ，与对照点处的  $\beta$  表面污染处于同一水平；核医学科拟建区域上风向和下风向区域土壤总  $\beta$  放射性检测结果分别为  $0.696 \text{Bq/g}$ 、 $0.709 \text{Bq/g}$ ，处于较低水平。

### 4. 医用电子加速器环境影响分析结论

（1）防护安全措施：医院拟进行分区管理，将治疗室划为控制区，将相邻的控制室等区域划为监督区；本项目各加速器治疗室内及控制台处均设计有急停按钮；防护门设计

有防挤压装置、紧急开门装置、门-机联锁装置、工作状态指示灯及张贴电离辐射警告标志；加速器治疗室与控制室之间设计有电视监视及对讲装置；治疗室内设有固定式辐射剂量监测仪；电缆管线口采用“U”型穿墙，并进行屏蔽补偿；各加速器治疗室内均设计有强制排风系统，有效通风换气量均约 2500m<sup>3</sup>/h，通风次数大于 4 次/h，满足 HJ1198-2021 第 8.4.1 款要求。

(2) 根据对各医用电子加速器治疗室屏蔽墙外剂量率的估算，屏蔽墙外各关注点的剂量率均低于 2.5 μSv/h 的剂量率参考控制水平，防护门外的剂量率最大为 1.54 μSv/h，低于 2.5 μSv/h 的剂量率参考控制水平。本项目加速器机房防护门及屏蔽墙体的防护设计均满足要求。

### (3) 人员所受辐射剂量估算

在每台加速器年最大治疗工作量为10000人次，每名人员参与的放射治疗量不超过20000人次/年的情况下，职业人员年有效剂量不超过1.024mSv/a，满足本评价采用的职业人员管理剂量约束值不超过5.0mSv/a的要求。公众成员年有效剂量不超过0.096mSv/a，满足本评价采用的公众成员管理剂量约束值不超过0.1mSv/a的要求。

(4) 三废环境影响分析结论：放射性废水放置 30 天以上按照一般废水排至医院污水处理站，预处理后经市政污水管网排入城市污水处理厂处理；机房内设计有强制排风系统，通风次数大于 4 次/h，产生的少量非放射性有害气体通过排风系统排至医疗综合楼外环境，对周围环境和人员影响较小；加速器靶、准直器等部件更换或退役时属放射性废物，由具有放射性废物处置资质的单位进行妥善处置后不会对周围环境产生影响。

## 5. <sup>192</sup>Ir 后装机环境影响分析结论

(1) 防护安全措施：医院拟进行分区管理，将治疗室划为控制区，将相邻的控制室等区域划为监督区；治疗室及控制室控制台处均设计有急停按钮；防护门设计有门-机联锁装置、紧急开门装置及防挤压装置，门外设计有工作状态指示灯及张贴电离辐射警告标志；后装机治疗室与控制室之间设计有电视监视及对讲装置；迷路出入口位置设计有固定式辐射剂量监测仪，并有报警功能；后装机治疗室内设计有强制排风系统，有效通风换气量约 2000m<sup>3</sup>/h，通风次数大于 4 次/h；后装机自带手动回源装置及安全保护系统等，并配备有应急储源器；电缆沟采用地下“U”型穿墙，并进行屏蔽补偿，能够有效避免控制室受到射线的影响。

(2) 经预测分析，后装机机房屏蔽墙、室顶、防护门外各关注点的剂量率均低于 2.5 μSv/h，本项目后装机机房防护门及屏蔽墙体的防护设计均满足要求。

### (3) 人员所受辐射剂量估算

在年最大治疗工作量约1500人次的情况下，职业人员年有效剂量不超过0.25mSv/a，满足本评价采用的职业人员管理剂量约束值不超过5.0mSv/a的要求。公众成员年有效剂量不超过0.038mSv/a，满足本评价采用的公众成员管理剂量约束值不超过0.1mSv/a的要求。

(4) 三废环境影响分析结论： $^{192}\text{Ir}$  后装机运行过程中不产生放射性废水和放射性废气，仅产生少量非放射性废气，后装机治疗室内设计有强制排风系统，有效通风换气次数大于4次/h，废气最终排至大楼外部环境，对周围环境影响较小。报废或退役的 $^{192}\text{Ir}$ 放射源，由供源厂家回收并妥善处理，不会对环境造成影响。

## 6. 托姆刀环境影响分析评价

(1) 防护安全措施：医院拟进行分区管理，将治疗室划为控制区，将相邻的控制室等区域划为监督区；本项目托姆刀治疗室内及控制台处均设计有急停按钮；防护门设计有防挤压装置、紧急开门装置、门-机联锁装置、工作状态指示灯及张贴电离辐射警告标志；治疗室与控制室之间设计有电视监视及对讲装置；治疗室内设有固定式辐射剂量监测仪；电缆管线口采用“U”型穿墙，并进行屏蔽补偿；治疗室内均设计有强制排风系统，有效通风换气量均约2000m<sup>3</sup>/h，通风次数大于4次/h，满足HJ1198-2021第8.4.1款要求。

(2) 根据对托姆刀治疗室屏蔽墙外剂量率的估算，屏蔽墙外各关注点的剂量率均低于2.5μSv/h的剂量率参考控制水平，防护门外的剂量率最大为0.21μSv/h，低于2.5μSv/h的剂量率参考控制水平。本项目托姆刀机房防护门及屏蔽墙体的防护设计均满足要求。

### (3) 人员所受辐射剂量估算

在托姆刀年最大治疗工作量为7500人次，职业人员参与全部工作情况下，职业人员年有效剂量不超过0.25mSv/a，满足本评价采用的职业人员管理剂量约束值不超过5.0mSv/a的要求。公众成员年有效剂量不超过0.02mSv/a，满足本评价采用的公众成员管理剂量约束值不超过0.1mSv/a的要求。

(4) 三废环境影响分析结论：放射性废水放置30天以上按照一般废水排至医院污水处理站，预处理后经市政污水管网排入城市污水处理厂处理；机房内设计有强制排风系统，通风次数大于4次/h，产生的少量非放射性有害气体通过排风系统排至医疗综合楼外环境，对周围环境和人员影响较小；托姆刀靶、准直器及束流阻止器等部件更换或退役时作为放射性固体废物处置，直接交由具有放射性废物处置资质的单位处置。

## 7. 核医学工作场所环境影响分析结论

(1) 根据 GB18871-2002 及 HJ1188-2021 的有关规定，工作场所划分为“控制区”和“监督区”两区进行管理。

(2) 屏蔽厚度校核表明，在操作核素过程中，核医学工作场所内相关房间屏蔽墙体、室顶、地板、防护门、观察窗的设计厚度均能满足  $2.5 \mu\text{Sv/h}$  剂量率目标控制值。

(3) 人员所受辐射剂量估算

①职业人员所受剂量：在核医学工作场所运行过程中，职业人员可能接受的手部年当量剂量为  $13.715\text{mSv/a}$ ，躯干年有效剂量为  $4.705\text{mSv/a}$ 。手部受照剂量符合 GB18871-2002 中职业人员四肢（手和脚）或皮肤  $125\text{mSv/a}$  当量剂量约束值；躯干受照剂量低于本次评价采用的  $5\text{mSv/a}$  的年管理剂量约束值。

②慰问者所受剂量：与注射  $^{89}\text{Sr}$  患者接触所受剂量基本可以忽略；在与注射核素  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  患者接触过程中，慰问者受照剂量为  $1.10\text{mSv/a}$ ；在与注射核素  $^{18}\text{F}$  患者接触过程中，慰问者受照射的年有效剂量为  $0.82\text{mSv/a}$ ；在与口服核素  $^{131}\text{I}$  甲亢患者接触过程中，慰问者受照射的年有效剂量为  $4.65\text{mSv/a}$ ；在与口服核素  $^{131}\text{I}$  甲癌患者接触过程中，慰问者受照射的年有效剂量为  $2.37\text{mSv/a}$ 。均低于本评价提出的  $5.0\text{mSv/a}$  的慰问者管理剂量约束值。

③公众成员所受剂量：与注射  $^{89}\text{Sr}$  患者接触所受剂量基本可以忽略；在与注射  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  患者接触（外出 8 小时）过程中，公众成员受照射的年有效剂量为  $0.02\text{mSv/a}$ ；在与注射  $^{18}\text{F}$  患者接触（外出 8 小时）过程中，公众成员受照射的年有效剂量为  $0.015\text{mSv/a}$ ；在与口服  $^{131}\text{I}$  甲亢患者接触（外出 8 小时）过程中，公众成员受照射的年有效剂量为  $0.010\text{mSv/a}$ ；在与口服  $^{131}\text{I}$  甲癌患者接触（外出 8 小时）过程中，公众成员受照的年有效剂量为  $0.076\text{mSv/a}$ ；核医学工作场所运行过程中，工作场所周围公众成员受照年有效剂量不大于  $0.093\text{mSv/a}$ ，均低于本评价提出的  $0.1\text{mSv/a}$  公众成员年管理剂量约束值。

(5) 核素  $^{89}\text{Sr}$  应用不产生放射性废水，其他核素应用过程中产生的废水排入并联式放射性废水衰变系统的衰变池内，经设定周期静态存放后排放，一次排放放射性废水中各核素含量低于《电离辐射防护与辐射源基本安全标准》(GB 18871-2002) 规定的放射性废液月排放限值和一次排放限值。

(6) 放射性固废：对于回旋加速器中心产生的放射性固体，配置 2 个放射性废物衰变箱和 1 个靶防护储存衰变槽（2 格），对放射性固体废物进行收集轮流，在经充分衰变后，达到解控水平后，作为一般医疗固体废物处理；对于核素使用区域产生的放射性固体废

物，可分为四类。第一类为剩余放射性药物、废旧  $^{99}\text{Mo}$ - $^{99\text{m}}\text{Tc}$  发生器，均由供源厂家回收；第二类为被污染的注射器、针头、手套、导管、药棉、纱布、吸水纸、破碎杯皿、擦拭表面污染的抹布和病人使用的一次性杯子，设置衰变箱内对放射性固废进行分类储存、贮存衰变，经设定周期存放达到解控水平，并检测达标后作为一般医疗固体废物处理；第三类为清理放射性废水沉淀池时产生的沉积物污泥，确保达到清洁解控水平后，医院拟对其进行酸化预处理，然后再排入下水道系统；第四类为通风系统更换下的废活性炭，放置于地下二层场所污物间衰变箱内暂存衰变至少 1 年半，检测达标后按照一般医疗废物处置。

③放射性废气：核素活度测定在手套箱内进行，手套箱为负压工况操作，可避免职业人员吸入放射性废气造成内照射影响；医院拟于手套箱内设置专用通风管道，根据设计参数，风机运行后手套箱处的排风管道风速不低于 0.5m/s。场所内控制区主要房间内设置排风管道。通风系统出口设置活性炭高效过滤装置（约 2 年更换一次，去除效率 99%），总排风口位于所在建筑物楼顶上方，总排放口高于屋脊，并远离周围高层建筑物，经分析，放射性废气排放浓度满足标准限值要求。

## 7. 辐射安全管理结论

（1）医院已成立了辐射安全与环境保护管理领导机构，制定了《辐射防护制度》、《设备保养与维修制度》等辐射安全管理规章制度，医院拟根据本项目补充制定《核医学科岗位职责》、《放射性同位素使用登记制度》、《回旋加速器操作规程》、《回旋加速器中心岗位职责》、《后装机操作规程》、《医用电子加速器操作规程》、《托姆刀操作规程》、《三废处置制度》、《放射源使用登记制度》等，补充完善《辐射环境监测方案》、《辐射事故应急预案》，并严格落实各项管理规章制度，以保障辐射工作人员和公众的健康和安全。

（2）医院拟为本项目配备 91 名辐射工作人员，其中 24 人为医院现有辐射工作人员，均持有辐射安全与防护考核培训证书或考核合格成绩单，其余人员尚未确定，待人员确定后，医院拟安排本项目辐射工作人员参加辐射安全与防护考核，考核合格后方可上岗，以满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求。

（3）医院拟配备个人剂量计（介入人员每人 2 支，其余人员每人一支）辐射监测仪、活度计、表面污染检测仪及个人剂量报警仪等监测设备，待配备后可满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求和工作需求。

（4）医院现有院区已定期开展辐射事故应急演练，同时对演练材料进行归档保存，落实情况较好，医院未发生过辐射安全事故。

综上所述，青岛山大齐鲁医院核医学工作场所、医用电子加速器、 $^{192}\text{Ir}$  后装机、托姆

刀、DSA 装置及 ERCP 装置应用项目，在切实落实报告中提出的辐射管理、辐射防护等各项措施，严格执行相关法律法规、标准规范等文件，严格落实各项辐射安全管理、防护措施的前提下，该项目对职业人员和公众成员是安全的，对周围环境产生的辐射影响较小，不会引起周围辐射水平的明显变化。因此，从环境保护角度分析，项目建设是可行的。

## 16.2 承诺和建议

### 16.2.1 承诺

1. 待人员确定后，为辐射工作人员配备个人剂量计，并安排辐射工作人员参加辐射安全与防护考核；

2. 补充制定《核医学科岗位职责》、《放射性同位素使用登记制度》、《回旋加速器操作规程》、《回旋加速器中心岗位职责》、《后装机操作规程》、《医用电子加速器操作规程》、《托姆刀操作规程》、《三废处置制度》、《放射源使用登记制度》等规章制度，并完善《辐射环境监测方案》、《辐射事故应急预案》；

3. 配备辐射监测仪、活度计、表面污染检测仪及个人剂量报警仪等监测设备；

4. 按照国家有关规定，及时自行组织建设项目竣工环境保护验收。

### 16.2.2 建议

医院应结合工作实际情况对辐射安全管理制度进行不断修改和完善。

下一级环保部门意见

公章

经办人签字

年 月 日

审批意见

公章

经办人签字

年 月 日

## 委 托 书

**委托单位：**青岛山大齐鲁医院

**被委托单位：**山东海美依项目咨询有限公司

**工程名称：**核医学工作场所、医用电子加速器、 $^{192}\text{Ir}$  后装机、托姆刀、DSA 装置及 ERCP 装置应用项目

**工程地点：**青岛市市北区

**委托内容：**医院拟新建两处核医学工作场所，拟新增 2 台 15MV 医用电子加速器、2 台 10MV 医用电子加速器、1 台  $^{192}\text{Ir}$  后装治疗机、1 台 6MV TOMO 治疗机、9 台 DSA 装置及 2 台 ERCP 装置。根据《中华人民共和国放射性污染防治法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》以及《山东省辐射污染防治条例》等有关法律法规的规定和要求，该项目需办理环境影响审批手续，现委托贵单位承担该项目环境影响评价工作。

特此委托。

委托单位：青岛山大齐鲁医院

2021 年 10 月 15 日



# 青岛市生态环境局市北分局文件

青环北审〔2020〕3号

## 青岛市生态环境局市北分局 关于青岛山大齐鲁医院投资管理有限公司 山东大学齐鲁医院（青岛）二期项目 环境影响报告书的批复

青岛山大齐鲁医院投资管理有限公司：

你单位报送的《山东大学齐鲁医院（青岛）二期项目环境影响报告书》收悉。经研究，批复如下：

一、该项目位于青岛市市北区合肥路北、劲松四路东，总用地面积约 39925m<sup>2</sup>，总建筑面积约 297650m<sup>2</sup>（其中地上建筑面积约 163450m<sup>2</sup>，地下建筑面积约 134200m<sup>2</sup>）。项目新建 1 座医疗综合楼，2 座仓储式地下立体停车库及配套地下消防设施等，规划床位 1197 张。项目为集医疗、教学、科研于一体的三级甲等综合性医院，年工作 365 天，实行三班 8 小时工作制度。

— 1 —

项目医疗综合楼主楼地上十六层，地下三层；裙楼地上六层，地下三层（主楼与裙楼地下空间连为一体）。主要功能为门诊、医技、病房、办公、地下停车场等。

地上一层至九层为儿科门诊、妇科门诊、产科门诊、妇产专用超声中心、门诊药房、核磁共振、外科门诊、门诊手术、特需门诊、康复治疗、中医门诊、特检中心、内科门诊、中心供应室、中心检验科、美容皮肤科、耳鼻喉门诊、眼科门诊、病房药房、静脉配置中心、病理科、输血科、内窥镜中心、中心手术部、心外 ICU、手术净化机房、心外科病房、重症监护室、产科病房、产房、PICU、NICU 等。十至十六层为标准护理单元（每层 4 个），十七至十九层为机房和设备层。

项目不设传染科、中医煎药室。食堂及太平间依托青岛山大齐鲁医院一期工程，不新建。采暖和制冷采用模块式风冷冷热水机组，机组位于医院综合楼主楼楼顶，不设冷却塔。生活热水采用贮水式电加热器提供，消毒灭菌采用电蒸汽锅制备饱和蒸汽，不设锅炉房。

地下三层的局部、二层、一层的局部为停车场，停车位 495 个；地下三层的局部为大型医技治疗中心（肿瘤中心），地下一层的局部为超声科、介入中心、影像中心、变配电室、药库、危废暂存间、柴油发电机房等。

项目医疗综合楼西侧、北侧地下空间各建设 1 座仓储式立体停车库，建筑面积约 65100 m<sup>2</sup>，共设车位 1765 个。

项目主要医疗设备有：直线加速器、CT 模拟定位机、后装机、

ECT、PET/CT、DSA、CT、MRI、DR、X光、数字胃肠、B超、心电、彩超等。

项目设1座约200 m<sup>3</sup>的危废暂存间，位于医疗综合楼地下一层东北角；设1座污水处理站，处理能力为1200m<sup>3</sup>/d，采用“水解酸化+生物接触氧化+次氯酸钠消毒”处理工艺，位于院区东南角地下。

项目总投资286000万元，其中环保投资1260万元。

该项目符合国家产业政策，从环境保护角度考虑，我局同意该项目按照报告书中所列建设项目的性质、规模、地点、工艺、环保措施进行建设。

二、项目在建设和运行过程中应严格落实以下要求

(一)施工废水分类收集、分质处理，经隔油沉淀池处理后用于洒水抑尘；施工期生活污水采取环保移动厕所，通过市政管网排入李村河污水处理厂处理。

营运期产生的废水主要为生活污水、门诊废水、病房废水、中心供应室废水、实验室废水、纯水制备废水和特殊性质污水，不产生酸性污水、含氟污水、含汞污水、含铬污水和洗印污水。

生活污水、门诊、病房废水经化粪池预处理，中心供应室废水经降温池降温处理，肿瘤中心及放化疗病房放射性废水经衰变池预处理后，与其他废水一起经院区污水处理站处理后，通过市政污水管网排入李村河污水处理厂处理。排放废水水质执行《医疗污染物排放标准》(DB37/596-2006)中的三级标准、《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)中表2预处理标准要求。

(二) 施工期大气污染主要为扬尘及施工机械尾气。施工过程须严格按照《山东省扬尘污染防治管理办法》《青岛市防治城市扬尘污染管理规定》《防治城市扬尘污染技术规范》(HJ/T393-2007)规定执行。

营运期产生的废气主要为污水处理站废气、实验室废气、地下车库废气及备用柴油发电机废气。污水处理站各构筑物应加盖密闭、废气集中收集并经“高效离子除臭装置”处理后，由专用竖井引至医疗综合楼楼顶排放。氨、硫化氢和臭气浓度排放执行《恶臭污染物排放标准》(GB14554-93)中相关限值要求、污水处理站周边氨、硫化氢、臭气浓度执行《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)中污水处理站周边环境大气污染物最高允许浓度限值要求。

实验室须设置通风橱，实验废气通过专用竖井引至医疗综合楼楼顶，经“活性炭吸附装置”净化后排放。非甲烷总烃排放浓度及排放速率执行《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996)标准限值要求。

柴油发电机(2台800KW)作为备用应急电源。燃油废气经专用管道引至医疗综合楼北侧通过排气筒排放。二氧化硫、氮氧化物、颗粒物排放浓度执行《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996)标准限值要求。

地下停车库设有机械通风系统，废气收集后经侧墙窗井排放。

(三) 项目基础开挖阶段有爆破施工，建设单位应采用先进爆破工艺，严格落实报告书提出的各项减缓爆破振动、噪声影响

的措施,将爆破作业对周边环境及敏感目标的影响降至最低水平。

施工期需合理布置施工场地,选用低噪声机械设备和工法,挖掘机、装载机等施工机械应远离敏感建筑布设,并采取隔声、降噪措施;妥善安排作业时间,夜间施工应取得青岛市生态环境局市北分局许可证明,并公告附近居民后实施。施工期噪声执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011)的要求。

地下车库风机、各类水泵及柴油发电机等设备须选用先进的低噪声设备,并采取吸隔音、消声、减振等措施。西厂界、南厂界噪声执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008)中的4类标准限值要求;东厂界、北厂界噪声执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008)中的1类标准限值要求。

(四)项目施工期产生的土石方应尽量用于场内周转和绿地、道路建设,其余废弃土石方、建筑垃圾运送至政府指定渣土消纳场处置;生活垃圾由环卫部门定期清运。

运营期产生的医疗废物、废活性炭、污水处理站污泥等作为危险废物分类暂存于危废暂存间,须与生活垃圾分开收集,不得随意弃置,委托有经营资质的单位处置。医疗废物的收集、贮存、包装、转运等须执行《医疗污染物排放标准》(DB37/596-2006)、《危险废物贮存污染控制标准》(GB18597-2001)及《医疗废物集中处置技术规范(试行)》标准要求;药盒、药箱等包装材料等一般固体废物外售综合利用;生活垃圾由环卫部门定期外运处置。

(五)项目涉及辐射设备和防治辐射环境影响的环保设施等须另行环评。

(六) 建设单位须严格落实环境监测技术规范和报告书提出的环境管理与监测制度，污水处理站按规定安装自动监测设备，并与生态环境主管部门联网；按照《排污单位自行监测技术指南—总则》(HJ819-2017)要求，完善项目自行监测计划，并按规定公布监测结果。按照有关规定设置规范的污染物排放口和标志牌。污染防治设施应加装专用电表，记录电量消耗情况备查。建设单位应在项目建成运行前办理排污许可手续。

(七) 建设单位应加强环境管理工作，认真制定《突发环境事件应急预案》，严格落实各项规章制度和风险防范措施，定期组织应急演练，加强环境风险管控。

(八) 项目建设还须符合相关部门要求及设计使用规范，因违反有关规定而产生的一切责任，由项目建设单位自行承担。

三、项目建设中须严格落实环境影响评价文件和本批复要求。违反本规定要求，对环境造成不良影响的，依据《山东省实施〈中华人民共和国环境影响评价法〉办法》第二十五条规定予以处罚。

四、项目须严格按照申报及批复内容建设，项目规模、生产工艺以及污染防治措施等发生重大变更时，应按照法律法规的规定，重新履行相关审批手续。

五、项目建设须严格执行配套建设的污染防治设施与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用的环境保护“三同时”制度。项目竣工后，须按《建设项目环境保护管理条例》、《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》组织验收，验收合格后，项

目方可正式投入运行。违反本规定要求的，承担相应环保法律责任。

青岛市生态环境局市北分局

2020年3月30日

---

抄送：北京中气京诚环境科技有限公司

---

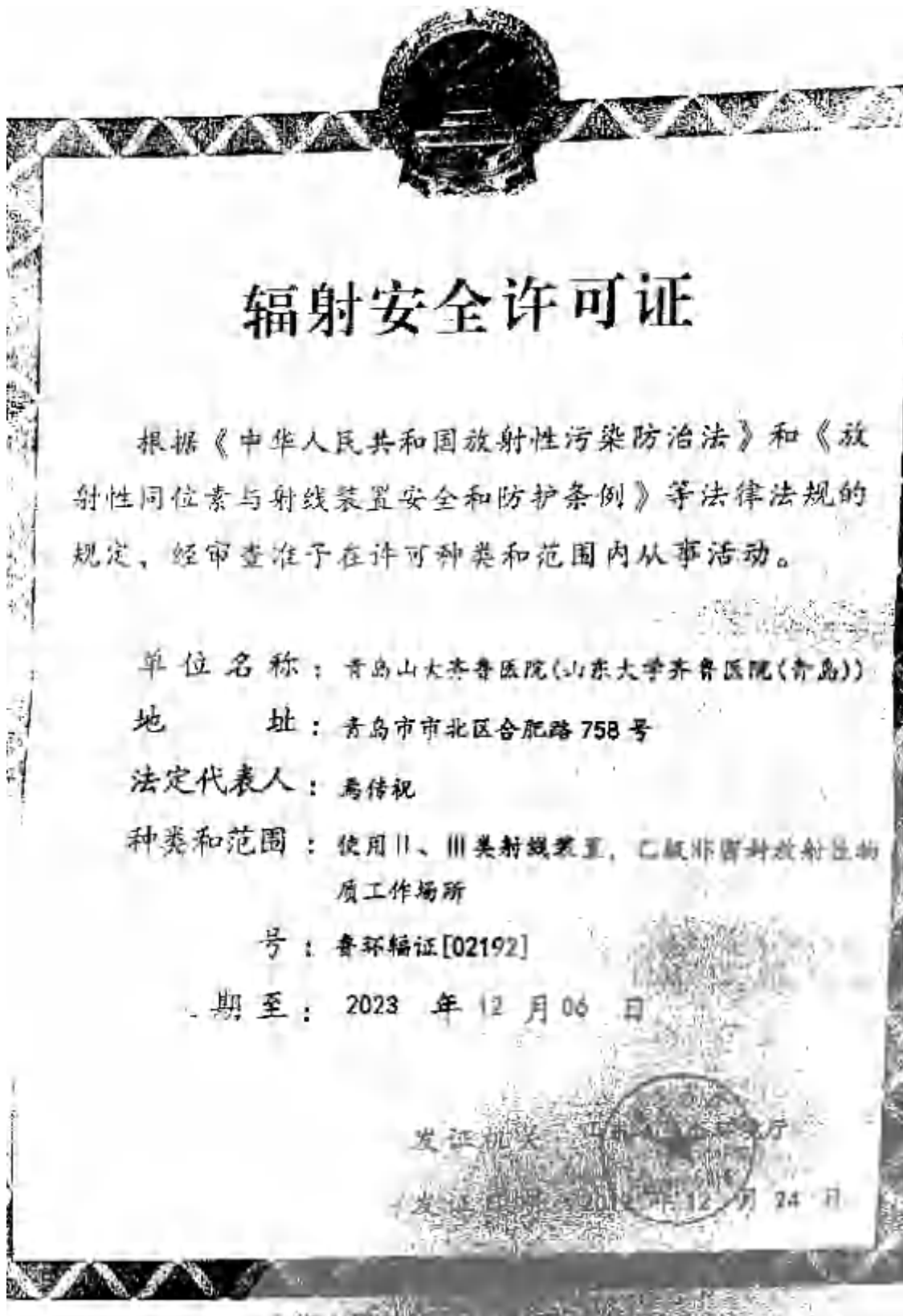
青岛市生态环境局市北分局

2020年3月30日印发

---

统一社会信用代码：91370200MA3C4F5G9P

— 7 —





根据《中华人民共和国放射性污染防治法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的规定，经审查准予在许可种类和范围内从事活动。

单位名称	青岛山大齐鲁医院(山东大学齐鲁医院(青岛))		
地 址	青岛市市北区合肥路 758 号		
法定代表人	焉传祝	电话	18561811811
证件类型	身份证	号码	370102196410170838
涉源 部 门	名 称	地 址	负责人
	合肥路院区	合肥路 758 号	孟祥水
	合肥路院区 放射科介入室	合肥路 758 号	于东升
	浮新院区	富源二路 16 号乙	孟祥水
	台东门诊部	丰盛路 20 号	孟祥水
种类和范围	使用 II、III 类射线装置，乙级非密封放射性物质工作场所		
许可证条件			
证书编号	鲁环辐证[02192]		
有效期至	2023 年 12 月 06 日		
发证日期	2019 年 12 月 24 日 (发证机关章)		

孟祥水  
2020.7.22







### 台帐明细登记 (三) 射线装置



序号	装置名称	规格型号	类别	用途	场所	来源	去向	审核人	审核日期
1	DSA	Artis Zoo	II	介入治疗	综合楼一层介入室	来源	西门子	高峰	2015.02.11
						去向			
2	DSA	Artis Zoo	II	介入治疗	综合楼一层介入室	来源	西门子	高峰	2015.02.11
						去向			
3	CT	Brilliance 64	III	放射诊断	综合楼一层放射科	来源	飞利浦	高峰	2015.02.11
						去向			
4	CT	Definition	III	放射诊断	综合楼一层放射科	来源	西门子	高峰	2015.02.11
						去向			
5	数字胃肠机	Luminos	III	放射诊断	综合楼一层放射科	来源	西门子	高峰	2015.02.11
						去向			
6	数字胃肠机	Luminos	III	放射诊断	综合楼一层放射科	来源	西门子	高峰	2015.02.11
						去向			
7	数字钼靶机	Inspiration	III	放射诊断	综合楼一层放射科	来源	西门子	高峰	2015.02.11
						去向			
8	移动DR	XP	III	放射诊断	综合楼一层放射科	来源	西门子	高峰	2015.02.11
						去向			

### 台帐明细登记 (三) 射线装置



序号	装置名称	规格型号	类别	用途	场所	来源	去向	审核人	审核日期
9	移动DR	XP	III	放射诊断	综合楼一层放射科	来源			2015.02.11
						去向			
10	移动C型臂	ARCACIS	III	放射诊断	手术室	来源	西门子	高峰	2015.02.11
						去向			
11	移动C型臂	ARCACIS	III	放射诊断	手术室	来源	西门子	高峰	2015.02.11
						去向			
12	移动C型臂	Comquat	III	放射诊断	手术室	来源	西门子	高峰	2015.02.11
						去向			
13	移动C型臂	OEC	III	放射诊断	综合楼一层放射科	来源	GE	高峰	2015.02.11
						去向			
14	DR	Ysio	III	放射诊断	综合楼一层放射科	来源	西门子	高峰	2015.02.11
						去向			
15	DR	Ysio	III	放射诊断	综合楼一层放射科	来源	西门子	高峰	2015.02.11
						去向			
16	DR	Sapuie	III	放射诊断	浮新区区	来源	西门子	高峰	2015.02.11
						去向			

## 台帐明细登记

### (三) 射线装置



序号	装置名称	规格型号	类别	用途	场所	来源/去向		审核人	审核日期
						来源	去向		
17	胃肠机	DPW	III	放射诊断	浮新院区	来源			2015.02.1
						去向			
18	DR	DRX	III	放射诊断	查体办	来源	上海锐克	高峰	2015.02.1
						去向			
19	口腔全景线机	X-550	III	放射诊断	台东门诊部	来源	日本森田	高峰	2015.02.1
						去向	海清		2015.02.1
20	牙科拍片机	JYF-10	III	放射诊断	台东门诊部	来源	中联海诺	高峰	2015.02.1
						去向	海清		2015.02.1
21	全景颌面体层X光机	Promax	III	放射诊断	口腔科	来源	芬兰	高峰	2015.02.1
						去向			
22	牙科X光机	Prox	III	放射诊断	口腔科	来源	芬兰	高峰	2015.02.1
						去向			
	以下空白					来源			
						去向			
						来源			
						去向			

## 台帐明细登记

### (三) 射线装置



序号	装置名称	规格型号	类别	用途	场所	来源/去向		审核人	审核日期
						来源	去向		
23	DR	DR590i	III	放射诊断	放射科	来源	上海锐克	高峰	2019.02.18
						去向			
24	CT	uCT510	III	放射诊断	放射科	来源	上海锐影	高峰	2019.02.18
						去向			
25	DR	550i	III	放射诊断	放射科	来源	上海锐影	高峰	2019.02.18
						去向			
26	移动C型臂	cios select sl	III	放射诊断	手术室	来源	西门子	高峰	2019.02.18
						去向			
27	移动DR	MoniEye70 QT	III	放射诊断	放射科	来源	迈瑞	高峰	2019.02.18
						去向			
28	移动C型臂	ARCADIS Orbic	III	放射诊断	手术室	来源	西门子	高峰	2019.02.18
						去向			
						来源			
						去向			
						来源			
						去向			

### 台帐明细登记

#### (三) 射线装置

证书编号:

序号	装置名称	规格型号	类别	用途	场所	来源/去向	审核人	审核日期
1	双能X射线骨密度仪	DCS-600RX	III	诊断	体检中心	来源 山东福恩 去向	宋雷	2020.7.22
2	全身型双能X射线骨密度仪	Diffrax	III	诊断	骨密度室	来源 北京和理 去向	宋雷	2020.7.22
3	移动式数字化医用X射线摄影系统	特5	III	诊断	放射科	来源 山东威高 去向		
						来源		
						去向		
						来源		2020.7.22
						去向		
						来源		
						去向		
						来源		
						去向		

### 台帐明细登记

#### (三) 射线装置

证书编号:

序号	装置名称	规格型号	类别	用途	场所	来源/去向	审核人	审核日期
1	上海联影64层螺旋CT	uCT710	III	放射诊断	放射科	来源 上海联影 去向	宋雷	2020.11.19
						来源		
						去向		
						来源		
						去向		
						来源		
						去向		
						来源		
						去向		
						来源		
						去向		

附件 4 现有工程环评批复、验收批复及登记备案文件

山东大学齐鲁医院(青岛)DSA及Ⅲ类射线装置应用项目环境影响报告表

省级环保部门审批意见

鲁环辐表审〔2015〕1号

经研究,对《山东大学齐鲁医院(青岛)DSA及Ⅲ类射线装置应用项目环境影响报告表》提出审批意见如下:

一、山东大学齐鲁医院(青岛)新建院区位于青岛市合肥路758号,台东门诊部(原市北区骨伤科医院)位于青岛市丰盛路20号,浮新院区(原市北区医院)位于青岛市富源二路16号。本项目内容为:(1)在新建院区综合楼一层使用2台DSA,属Ⅱ类射线装置;(2)在新建院区综合楼一层使用2台CT、2台数字胃肠机、1台钼靶X光机、2台移动DR和2台DR,综合楼三层使用1台全景口腔X光机和1台牙科X光机,综合楼四层使用4台移动C型臂,综合楼查体办使用1台DR,在台东门诊部使用2台牙科拍片机,在浮新院区使用1台CT、1台DR、1台胃肠机和1台拍片机,共22台,均属Ⅲ类射线装置。该项目在落实环境影响报告表提出的辐射安全和防护措施及本审批意见的要求后,对环境的影响符合国家有关规定和标准。该项目已建成,此次为补办环评手续。

二、该项目应严格落实环境影响报告表提出的辐射安全与防护措施和以下要求。

(一)严格执行辐射安全管理制度

1.落实辐射安全管理责任制。医院法人代表为辐射安全工作第一责任人,分管负责人为直接责任人。医院设立的辐射安全与环境保护管理机构,指定1名本科以上学历、专职负责辐射安全管理工作的技术人员,统一负责全院的辐射安全管理工作。各辐射工作场所应安排相应的技术人员负责各自的辐射安全工作,落实岗位职责。

2.落实射线装置使用登记制度、DSA等装置操作规程、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、培训计划和监测方案等,建立辐射安全管理档案。

(二)加强辐射工作人员及患者的安全和防护工作

1.制定培训计划,组织辐射工作人员参加辐射安全培训和再培训,经考核合格后持证上岗;考核不合格的,不得从事辐射工作。

2.建立辐射工作人员个人剂量档案,做到1人1档。辐射工作人员应佩戴个人剂量计,每3个月进行1次个人剂量监测。从事DSA的医护人员,应当将个人剂量计佩戴在防护服内。安排专人负责个

人剂量监测管理，发现个人剂量监测结果异常的，应当立即核实和调查，并向环保部门报告。

3. 使用 DSA 和移动 C 型臂时，医护人员应穿戴铅衣、铅帽、铅眼镜等个人防护用品，并在铅防护屏后工作，确保辐射工作人员所受照射剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)规定的标准限值。

4. 从事放射治疗或诊断时，应对患者采取有效辐射安全与防护措施，严格控制受照剂量。

(三) 做好辐射工作场所的安全和防护工作

1. 医院辐射工作场所醒目位置上应设置电离辐射警告标志，标志应符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的要求。

2. DSA 及 III 类射线装置机房应落实屏蔽墙、防护门、工作状态指示灯等安全与防护设施，符合《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013)，确保距机房墙体及防护门外表面 0.3m 处剂量当量率不大于  $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

做好射线装置、安全与防护设施的维护、维修，并建立维修、维护档案。

3. 制定并严格执行辐射环境监测计划。配备辐射巡测仪，开展辐射环境监测，并向环保部门上报监测数据。

(四) 定期开展应急演练，修订辐射事故应急预案。若发生辐射事故，应及时向环保、公安和卫生等部门报告。

三、自批准之日起三个月内落实以上要求，向青岛市环境保护局申请该项目竣工环境保护验收，经验收合格后，方可正式投入运行。验收合格 10 内，将验收材料报我厅备案。

四、接到本审批意见后 10 日内，将环境影响报告表及本审批意见送青岛市环境保护局和青岛市环境保护局市北分局备案。

经办人：高峰





# 青岛市环境保护局文件

青环辐验〔2017〕10号

---

## 青岛市环境保护局

### 关于山东大学齐鲁医院（青岛）DSA及Ⅲ类射线 装置项目竣工环境保护验收意见的函

山东大学齐鲁医院（青岛）：

你院《DSA及Ⅲ类射线装置项目竣工环境保护验收的请示》及相关材料收悉。经研究，函复如下：

一、山东大学齐鲁医院（青岛）位于青岛市市北区合肥路758号。2015年1月8日，省环保厅以鲁环辐表审〔2015〕1号文件批准了山东大学齐鲁医院（青岛）DSA及Ⅲ类射线装置应用项目环境影响评价文件，并颁发了辐射安全许可证（鲁环辐证〔02192〕），准予使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置。

本次验收项目包括：2台DSA，属Ⅱ类射线装置；20台Ⅲ类射线装置。浮新院区报废1台CT和1台DR。该项目核技术利

用总投资约为 4600 万元，其中环保投资约 500 万元，占总投资的 10.8%。

二、2016 年 5 月，青岛市环境监测中心站编制了《山东大学齐鲁医院（青岛）DSA 及 III 类射线装置项目竣工环境保护验收监测报告》（青验监 2016 第 018），结论表明：

（一）辐射安全和防护措施落实情况

1、落实了辐射安全管理责任制，确定医院法人代表为辐射安全工作第一责任人，分管负责人为直接责任人。成立了辐射安全与环境保护管理领导小组，指定了辐射安全与防护专职负责人，明确了岗位职责。

2、制定了《射线装置使用登记及台帐管理制度》《DSA 管理制度和操作规程》《辐射防护和安全保卫制度》《射线装置检维修制度》《射线装置从业人员培训计划》《医院辐射环境监测方案》《辐射事故应急预案》等相关制度。

3、DSA 机房及 III 类射线装置机房均设置有电离辐射警告标志，防护门、工作状态指示灯等运行良好。

4、DSA 机房四周墙壁采用 24cm 厚砖混结构，内衬 2cm 硫酸钡；机房与监控室分隔的墙上安装 4mmPb 当量的铅玻璃观察窗，大、小防护门为 4mmPb 当量。

III 类射线装置检查室墙体均采用 24cm 厚的砖墙，机房顶棚为 20cm 混凝土。机房与控制室分隔的墙上装有 4mmPb 当量的铅玻璃观察窗，防护门为 4mmPb 当量。

5、现有 138 名辐射工作人员，113 人取得了辐射工作人员岗位合格证。

6、配备了 160 个人剂量计（22 名 DSA 工作人员配备双卡），并按季度进行了个人剂量监测，建立了个人剂量档案。

7、配备了 1 台 Radpavise-h 型剂量仪和 9 台个人剂量报警

仪。定期对工作场所和周围环境进行监测。

8、编制了《辐射事故应急处理预案》，定期组织进行了辐射事故应急演练。

## (二) 验收监测结果

### 1、DSA 装置

非工作状态下，DSA 机房周围 X- $\gamma$  辐射剂量率监测值处于青岛市天然放射性本底水平范围内。工作状态下，DSA 机房周围 X- $\gamma$  辐射剂量率监测值满足《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013) 要求。

### 2、III 类射线装置

非工作状态下，各射线机房周围 X- $\gamma$  辐射剂量率监测值处于青岛市天然放射性本底水平范围内。工作状态下，各射线机房周围 X- $\gamma$  辐射剂量率监测值满足《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013) 要求。

## (三) 个人剂量结果

依据个人剂量监测结果及估算结果可知，辐射工作人员和公众所接受年有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 限值要求。

三、项目基本落实了环境影响报告表及其批复中的各项要求，辐射安全与防护措施有效，辐射安全管理制度较齐全，验收监测结果满足有关要求，符合建设项目竣工环境保护验收条件，项目竣工环境保护验收合格。

四、你院要严格按照《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013) 要求开展工作；加强辐射工作人员的培训和再提高培训工作，确保工作人员持证上岗；定期修订和完善辐射事故应急预案并开展应急演练；定期检查辐射安全防护设施，确保其安全有效。

五、你院应接受各级环保部门对该项目的环境保护监督检查。



---

抄送 山东省环境保护厅，青岛市环境监察支队，青岛市环境保护局市北分局。

青岛市环境保护局办公室

2017年6月9日印发

---

## 建设项目环境影响登记表

填报日期: 2018-05-29

项目名称	III类射线装置核技术应用项目		
建设地点	山东省青岛市市北区合肥路758号山东大学齐鲁医院(青岛)	占地面积(m <sup>2</sup> )	200
建设单位	青岛山大齐鲁医院	法定代表人或者主要负责人	刘玉欣
联系人	刘晓晨	联系电话	18561812769
项目投资(万元)	500	环保投资(万元)	100
拟投入生产运营日期	2018-07-01		
建设性质	改建		
备案依据	该项目属于《建设项目环境影响评价分类管理名录》中应当填报环境影响登记表的建设项目,属于第191核技术应用建设项目(不含在已许可场所增加不超过已许可活动种类和不超过已许可范围等级的核素或射线装置)项中销售I类、II类、III类、IV类、V类放射源的;使用IV类、V类放射源的;医疗机构使用植入治疗用放射性粒子源的;销售非密封放射性物质的;销售II类射线装置的;生产、销售、使用III类射线装置的。		
建设内容及规模	拟增加迈瑞公司生产的型号为MobiEye700T 移动DR一台 管电压可调范围40-150KV,管电流500mA。西门子生产的型号为ARCADIS Orbic移动式C型X射线机一台管电压40-110kv,管电流23mA。共计两台三类射线装置。		
主要环境影响	辐射环境影响	采取的环保措施及排放去向	环保措施: 移动DR当做固定DR使用,机房屏蔽墙体采用砖混黏土结构,观察窗采用3pbmm铅玻璃防护/移动C型臂放置于手术室使用,手术室均有铅门进行防护,且配备铅屏风。经检测确保无射线外泄。门外均设置了电离辐射警告标志和工作指示灯。
<p>承诺: 青岛山大齐鲁医院刘玉欣承诺所填写各项内容真实、准确、完整,建设项目符合《建设项目环境影响登记表备案管理办法》的规定。如存在弄虚作假、隐瞒欺骗等情况及由此导致的一切后果由青岛山大齐鲁医院刘玉欣承担全部责任。</p> <p style="text-align: right;">法定代表人或主要负责人签字:</p>			

**备案回执**

该项目环境影响登记表已经完成备案，备案号：201837020300000987。

### 建设项目环境影响登记表

填报日期: 2017-06-27

项目名称	III类射线装置核技术应用项目		
建设地点	山东省青岛市市北区合肥路758号	占地(建筑、营业)面积(m <sup>2</sup> )	200
建设单位	青岛山大齐鲁医院/山东大学齐鲁医院(青岛)	法定代表人或者主要负责人	刘玉成
联系人	刘景斌	联系电话	18661907050
项目投资(万元)	2000	环保投资(万元)	100
拟投入生产运营日期	2017-08-01		
项目性质	新建		
备案依据	该项目属于《建设项目环境影响评价分类管理名录》中应当填报环境影响登记表的建设项目,属于第198核技术应用建设项目(在已许可场所增加不超过已许可活动种类和不超过已许可范围等级的核素或射线装置除外项中销售、使用IV类、V类放射源的;生产、销售、使用III类射线装置的。		
建设内容及规模	拟增加上海联影公司生产uCT510型号螺旋CT一台,管电压140kV管电流420mA。上海联影医疗公司生产的uDR580i型DR机一台,管电压150kV管电流为600mA。上海联影医疗公司生产的uDR550i型DR机一台,管电压150kV管电流为630mA。西门子移动式C型臂一台,型号为cios select sl,管电压110kV管电流为24mA。共计四台三类射线装置。		
主要环境影响	辐射环境影响	采取的环保措施及排放去向	环保措施: CT室机房地体采用砖混结构,室顶均采用混凝土浇筑,机房门采用铅板防护,观察窗采用3pbmm铅玻璃防护。门外设置了电离辐射警告标志和工作指示灯。 DR机房地体采用砖混结构,室顶均采用混凝土浇筑。所有机房门采用铅板防护,铅当量为5pbmm,观察窗采用铅玻璃防护。门外设置了电离辐射警告标志和工作指示灯。

**承诺**

青岛山大齐鲁医院/山东大学齐鲁医院（青岛）刘玉欣承诺所填写各项内容真实、准确、完整，建设项目符合《建设项目环境影响登记表备案管理办法》的规定。如存在弄虚作假、隐瞒欺骗等情况及由此导致的一切后果由青岛山大齐鲁医院/山东大学齐鲁医院（青岛）刘玉欣承担全部责任。

法定代表人或主要负责人签字：

**备案回执**

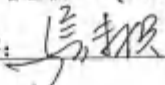
该项目环境影响登记表已经完成备案，备案号：201737020300000054。



## 建设项目环境影响登记表

填报日期：2020-06-28

项目名称	山东大学齐鲁医院（青岛）新增骨密度仪和移动DR项目		
建设地点	山东省青岛市市北区合肥路街道合肥路758号	占地面积(m <sup>2</sup> )	36
建设单位	山东大学齐鲁医院（山东） 山东大学齐鲁医院（青岛）	法定代表人或者 主要负责人	高传祝
联系人	张振宇	联系电话	18561810880
项目投资(万元)	262	环保投资(万元)	12
拟投入生产运营日期	2020-08-22		
建设性质	新建		
备案依据	该项目属于《建设项目环境影响评价分类管理名录》中应当填报环境影响登记表的建设项目，属于第191核技术利用建设项目（不含在核素许可场所增加不超出已许可活动种类和不高于已许可范围等级的核素或射线装置）项中销售Ⅰ类、Ⅱ类、Ⅲ类、Ⅳ类、Ⅴ类放射源的；使用Ⅳ类、Ⅴ类放射源的；医疗机构使用植入治疗用放射性粒子源的；销售非密封放射性物质的；销售Ⅱ类射线装置的；生产、销售、使用Ⅲ类射线装置的。		
建设内容及规模	拟增加双能X射线骨密度仪，给需要人员做骨密度检测，该骨密度仪属于微型移动式；拟增加全身型双能X射线骨密度仪1台；拟增加移动式数字化医用X射线摄影系统1台；		

主要环境影响	辐射环境影响	<p>环保措施：          拟增加双能X射线骨密度仪1台，给需要人员做骨密度检测，该骨密度仪属于微型移动式；经第三方检测，超过1米后无射线；购买铅屏风1个，张贴电离辐射标志，购买铅衣铅帽铅围裙防护用品。拟增加全身型双能X射线骨密度仪1台；按照放射标准机房做好防护，机房外防护们设置密闭门装置，避免设备工作中机房外部人员误入机房。机房控制室与机房间设置对讲装置，以便工作人员在操作过程中与受检者及时沟通。拟增加移动式数字化医用X射线摄影系统1台；病房为砖混结构，满足放射防护的要求，配置铅衣铅帽等防护用具，满足病人及相关人员的防护。</p>
<p>承诺：青岛山大齐鲁医院（山东大学齐鲁医院（青岛））为传祝承诺所填写各项内容真实、准确、完整，建设项目符合《建设项目环境影响登记表备案管理办法》的规定。如存在弄虚作假、隐瞒欺骗等情况及由此导致的一切后果由青岛山大齐鲁医院（山东大学齐鲁医院（青岛））为传祝承担全部责任。</p> <p style="text-align: right;">法定代表人或主要负责人签字：</p>		
<p>备案回执          该项目环境影响登记表已经完成备案，备案号：202037020300001699。</p>		


## 建设项目环境影响登记表

填报日期：2020-10-29

项目名称	山东大学齐鲁医院（青岛）变更CT场所和新增CT项目		
建设地点	山东省青岛市市北区合肥路758号	占地面积(m <sup>2</sup> )	45
建设单位	山东大学齐鲁医院（青岛）	法定代表人或者主要负责人	焉传祝
联系人	赵基平	联系电话	18561810880
项目投资(万元)	650	环保投资(万元)	50
拟投入生产运营日期	2020-11-10		
建设性质	新建		
备案依据	该项目属于《建设项目环境影响评价分类管理名录》中应当填报环境影响登记表的建设项目，属于第191核技术利用建设项目（不含在已许可场所增加不超过已许可活动种类和不超过已许可范围等级的核素或射线装置）项中销售I类、II类、III类、IV类、V类放射源的；使用IV类、V类放射源的；医疗机构使用植入治疗用放射性粒子源的；销售非密封放射性物质的；销售II类射线装置的；生产、销售、使用III类射线装置的。		
建设内容及规模	为了满足医院工作需要，拟新增方舱1个，将放射科CT3室上海联影16层螺旋CT移到急诊CT室内，拟在CT3室新增64层CT 1台。		
主要环境影响	辐射环境影响	采取的环保措施及排放去向	<p>环保措施：                      新增方舱按照放射标准机房做好防护，机房外防护门设置闭门装置，避免误入。机房外工作人员误入机房，机房控制室与机房设置对讲装置，以便工作人员在操作过程中与受检者及时沟通。张贴电离辐射标志，购买铅衣铅帽铅围裙防护用品。方舱建设完成后，将CT3室上海联影16层螺旋CT迁移到该机房中。原CT3室为标准CT机房为砖混结构，满足放射防护的要求，配置铅衣铅帽等防护用品，满足病人及相关人员的防护。</p>

承诺：青岛山大齐鲁医院（山东大学齐鲁医院（青岛））葛传祝承诺所填写各项内容真实、准确、完整，建设项目符合《建设项目环境影响登记表备案管理办法》的规定。如存在弄虚作假、隐瞒欺骗等情况及由此导致的一切后果由青岛山大齐鲁医院（山东大学齐鲁医院（青岛））葛传祝承担全部责任。

法定代表人或主要负责人签字：



备案回执

该项目环境影响登记表已经完成备案，备案号：202037020300003323。

## 建设项目环境影响登记表

国环发〔2015〕16号

项目名称	碘125籽源植入应用项目		
建设地点	山东省青岛市市北区合肥路758号齐鲁医院（青岛）	占地面积(m <sup>2</sup> )	300
建设单位	青岛山大齐鲁医院	法定代表人或者主要负责人	马祥兴
联系人	赵振平	联系电话	18561810880
项目投资(万元)	500	环保投资(万元)	15
拟投入生产运营日期	2019-04-16		
建设性质	新建		
备案依据	该项目属于《建设项目环境影响评价分类管理名录》中应当填报环境影响登记表的建设项目，属于第191核技术利用建设项目（不含在已许可场所增加不超出已许可活动种类和不高于已许可范围等级的核素或射线装置）项中销售I类、II类、III类、IV类、V类放射源的；使用IV类、V类放射源的；医疗机构使用植入治疗用放射性粒子源的；销售非密封放射性物质的；销售II类射线装置的；生产、销售、使用III类射线装置的。		
建设内容及规模	<p>一、建设内容</p> <p>为满足放射诊疗发展需求，山东大学齐鲁医院（青岛）拟建设碘125籽源植入应用项目。该项目使用乙级非密封放射性物质。</p> <p>二、建设规模</p> <p>根据单枚籽源活度为<math>2.96 \times 10^7</math>（次方）Bq（0.8mCi），每人每天植入最大量为<math>3.7 \times 10^9</math>（次方）Bq（100mCi），每天最多6个病人；</p> <p>1、日最大操作量为<math>2.22 \times 10^{10}</math>（次方）Bq（600mCi）医院每周开展籽源植入2天；</p> <p>2、按医院每月48个患者，计算碘125每月送药最大量为<math>1.77 \times 10^{11}</math>（次方）Bq（4.8Ci）；</p> <p>3、碘125每年送药最大量<math>2.13 \times 10^{12}</math>（次方）Bq（57.6Ci）。</p>		



主要环境影响

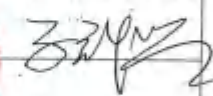
采取的环保措施  
及排放去向

(盖章)



辐射环境影响

保护措施：  
 一、污染控制区防护措施及管  
 理措施如下：A、非本项目  
 工作人员严禁入内，便  
 于出入，除特别需要外，不  
 允许进入。B、在控制区  
 设置电离辐射警告标志  
 ，并应给出相应的辐射水  
 平和污染水平指示。C、个  
 人为防护用品、个人衣物存  
 柜、被污染衣物储存柜  
 ，工作场所内配备辐射防  
 护监测仪、表面污染仪。  
 D、工作场所严格按照《电  
 离辐射防护与辐射源安全  
 基本标准》（GB18871-  
 2002）附录B中“表B11表  
 面放射性物质污染控制水  
 平”的有关规定执行。E、  
 及时清理放射性固废，患  
 者的痰液、呕吐物等用专  
 用收集容器收集。②监督  
 区防护及管理措施如下：  
 A、其他无关公众人员严  
 禁入内；B、在监督区入口  
 处设立表明监督区的标牌。  
 2、项目防护措施1、防  
 护器材配备①科内拟配备  
 8套个人防护用品，包括铅  
 衣、铅手套、铅眼镜、铅  
 围脖、铅帽等。②本项目  
 已配备2部辐射防护监测仪  
 、1部活度计。③患者病房  
 内病床拟用1mmPb铅屏风防  
 护，病房入口门内侧用  
 1mmPb铅屏风防护。④在储  
 源室、植入手术室和患者  
 病房内分别配备铅罐（不  
 小于3mmPb当量），用于盛  
 放手术待用的、剩余的或  
 患者意外漏出体外的粒籽  
 源以及事故工况下破裂的  
 粒籽源。⑤在粒籽源储源  
 室设置1个保险柜，用于暂  
 存粒籽源。2、运输和贮存  
 防护措施125I粒籽源在运  
 输过程中放置于供货方提  
 供的专用屏蔽容器铅罐内  
 ，125I粒籽源临时贮存于  
 储源室保险柜内。储源室  
 应设置视频监控系統、红  
 外报警系統、双人双锁等

		<p>措施,并十时显位置          处,射警吉标志。二          安管射措施1、有专          理人负责辐射安全          管。2、规章制度:操          程。岗位职责、辐射          和安保卫制度、设          维护制、放射性同          素使用登制、人培          训计、监测方。3、          射事急措施。4、个          剂量检、个人剂、          业健、康体、个          康档三、废弃物最          向1、本项125I粒          入在应过中不产          射性气和放射性          本项125I粒源植          射性固废物主为          工况下产生,且          小。2、破125I          患因咳或排等情          意外流出的完          源应放于铅罐          存于粒源储源          源厂家回收。</p>
<p>承诺:青岛山大齐鲁医院马祥兴承诺所填写各项内容真实、准确、完整,建设项目符合《建设项目环境影响登记表备案管理办法》的规定。如存在弄虚作假、隐瞒欺骗等情况及由此导致的一切后果由青岛山大齐鲁医院马祥兴承担全部责任。          法定代表人或主要负责人签字: </p>		
<p>备案回执          该项目环境影响登记表已经完成备案,备案号:201937020300000033。</p>		



附件 5 本项目检测报告



161512030262



丹波尔环境科技



# 检测报告

丹波尔辐检[2021]第 531 号

项目名称：青岛山大齐鲁医院核医学、放射治疗设备及介入诊断设备应用项目

委托单位：青岛山大齐鲁医院

检测单位：山东丹波尔环境科技有限公司

报告日期：2021年11月9日

## 说 明

1. 报告无本单位检测专用章、骑缝章及 **CMA** 章无效。
2. 未经本【检测机构】书面批准,不得复制(全文复制除外)检测报告。
3. 自送样品的委托检测,其检测结果仅对来样负责。对不可复现的检测项目,结果仅对采样(或检测)所代表的时间和空间负责。
4. 对检测报告如有异议,请于收到报告之日起两个月内以书面形式向本公司提出,逾期不予受理。

山东丹波尔环境科技有限公司

地址: 济南市历下区燕子山西路 58 号

邮编: 250013

电话: 0531-61364346

传真: 0531-61364346

## 检测报告

检测项目	X- $\gamma$ 辐射剂量率、 $\beta$ 表面污染		
委托单位、联系人及联系方式	青岛山大齐鲁医院 崔经理 18505329227		
检测类别	委托检测	检测地点	医院内
委托日期	2021年10月30日	检测日期	2021年11月1日
检测依据	1. HJ61-2021 《辐射环境监测技术规范》 2. GB/T14056.1-2008 《表面污染测定第一部分 $\beta$ 发射体(E $\beta$ MAX>0.15MeV)和 $\alpha$ 发射体》		
检测设备	1. FH40G型便携式X- $\gamma$ 剂量率仪: 能量范围60keV~3MeV, 探头量程范围1nGy/h~100 $\mu$ Gy/h; 由上海市计量测试技术研究院校准, 校准证书编号: 2020H21-10-2928432001, 校准有效期至2021年12月15日。 2. BG9611型 $\alpha$ 、 $\beta$ 表面污染测量仪: 计数范围: 1~106, 探测效率: $\alpha \geq 30\%$ (对239Pu), $\beta \geq 25\%$ ; 由山东省计量科学研院校准, 校准证书编号: Y15-20210046; 校准有效期至2022年3月9日。		
环境条件	天气: 晴      温度: 18.3℃      相对湿度: 59.8%		
解释与说明	<p>青岛山大齐鲁医院拟新建核医学、放射治疗设备及介入诊断设备应用项目, 依据有关标准对本项目各场所周围辐射环境情况进行检测。</p> <p>下表中检测数据均已扣除宇宙射线响应值15.7nGy/h, 宇宙射线响应值的屏蔽修正因子, 原野及道路取1, 平房取0.9, 多层建筑物取0.8。</p> <p>检测结果见第2-3页; 检测布点示意图及检测照片见附图。</p>		

## 检测报告

表1 拟建核医学科诊疗区 X-γ 辐射剂量率检测结果 (nGy/h)

点位	点位描述	剂量率	标准偏差
1#	放疗科对应区域	97.5	1.52
2#	核医学科对应区域	103.2	1.29
3#	介入中心及对应区域	106.4	1.32
4#	中心手术部杂交手术室对应区域	95.7	1.05
5#	中心手术部复合手术室对应区域	105.7	1.58
6#	内镜中心对应区域	106.0	1.75
7#	门诊病房楼位置	104.7	1.17
8#	后勤保障楼位置	105.0	1.16
9#	二期项目南侧空地(对照点)	105.8	1.26
范 围		95.66~106.41	

## 检测报告

表2 拟建核医学科诊疗区β表面污染现状检测结果(Bq/cm<sup>2</sup>)

点位	点位描述	β表面污染	标准偏差
A	核医学科对应区域中心位置地面	0.35	0.53
B	核医学科对应区域西侧地面	0.44	0.74
C	核医学科对应区域南侧地面	0.56	0.52
D	核医学科对应区域东侧地面	0.56	0.52
E	核医学科对应区域北侧地面	0.46	0.47
F	门诊病房楼位置地面	0.56	0.52
G	后勤保障楼位置地面	0.53	0.48
H	二期项目南侧空地处地面(对照点)	0.53	0.48
范 围		0.35~0.56	

# 检测报告

附图 1: 检测布点示意图



# 检测报告

附图2：现场照片



以 下 空 白

检测人员 苏 昂 核验人员 韩 帅 帅 批准人 刘 金 强  
编制日期 2021.11.9 核验日期 2021.11.9 批准日期 2021.11.9





180021181001



核工业北京地质研究院分析测试研究中心

核工业地质分析测试研究中心

# 分析测试报告

报告编号： 2021-2978

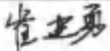
委托单位： 山东大学齐鲁医院（青岛）

分析项目： 总β

样品名称： 土壤

样品数量： 2 个

检测类别： 委托检测

报告签发人： 崔建勇 

签发日期： 2021年10月29日

## 注意事项

1. 报告无“测试专用章”或测试中心公章无效。
2. 复制报告未重新加盖“测试专用章”或测试中心公章无效。
3. 报告无编制人、审核人、报告签发人签字无效。
4. 一般情况下，报告仅对来样负责。
5. 依照有关规定，原始记录在本中心只保存六年。
6. 报告中标注\*符号的检测项目不在CMA认证和CNAS认可范围之内。

**单位名称：核工业北京地质研究院分析测试研究中心**

**(核工业地质分析测试研究中心)**

**地 址：北京市安外小关东里10号院**

**通 信：北京9818信箱5分箱**

**邮政编码：100029**

**电 话：(010) 64965990**

**传 真：(010) 64965960**

# 分析测试报告

报告编号： 2021-2978

委托单位		山东大学齐鲁医院（青岛）		送样人	夏子通
样品特性		粉末		收样日期	2021-10-21
样品数量(个)	2	温度(°C)	17.9	相对湿度(%)	57.5
检测方法和依据		ISO 18589-6:2019 (E) 《环境放射性的测量-土壤-第6部分：总α和总β活度的测量》			
仪器型号及名称		MPC9604 低本底αβ计数器		仪器编号	17019477
检测项目与参数		总β			
测试结果汇总					
序号	统一编号	样品原号	总β Bq/g		
1	58561	1# 核医学科对应区 城东南侧（上城山）	0.696		
2	58562	2# 核医学科对应区 城西北侧（夏风园）	0.709		
备注		无			

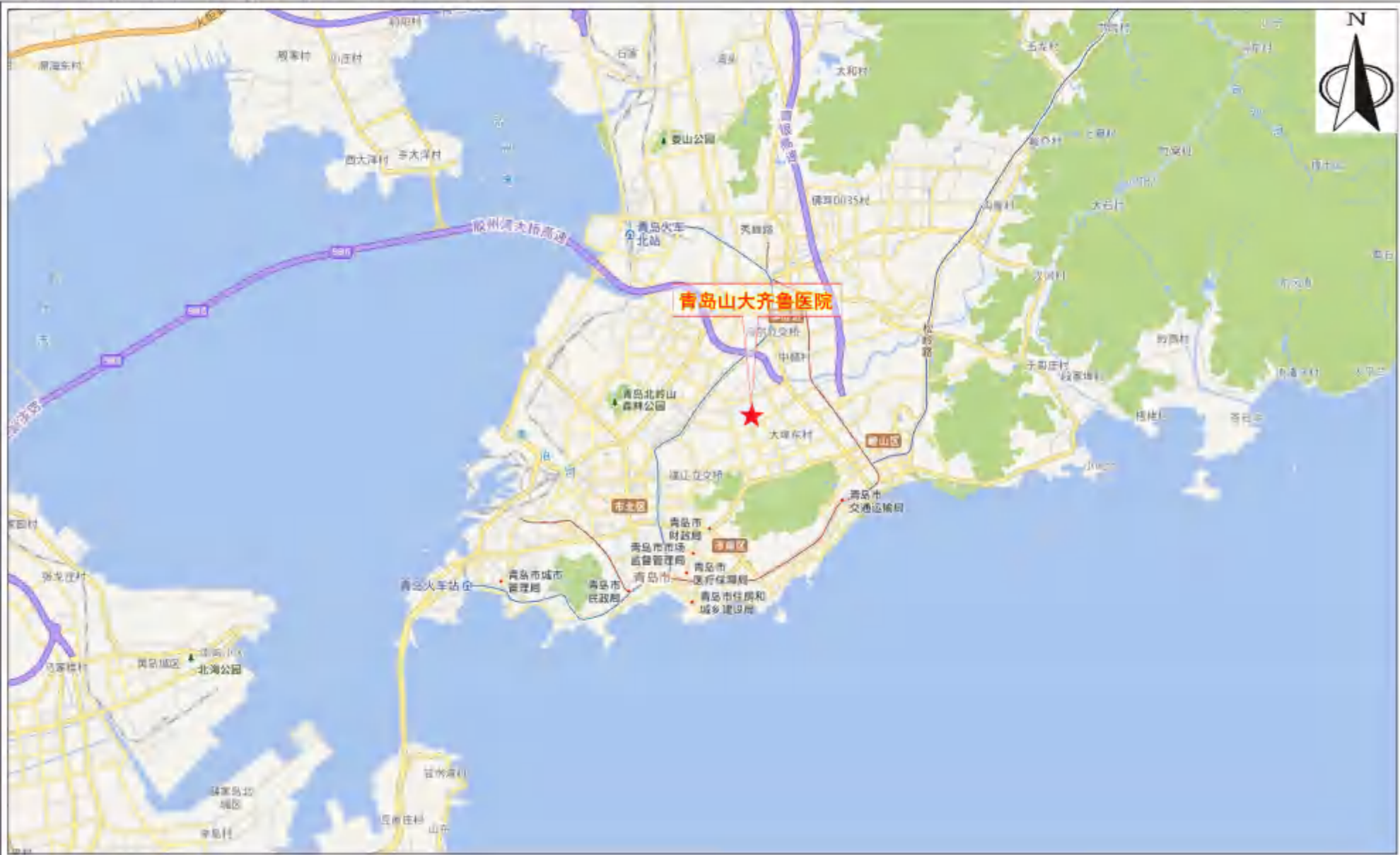
编制人：王铁健 **王铁健**

审核人：朱明燕 **朱明燕**

报告日期：2021-10-28



附图1 医院所在地理位置图 比例尺 1:18万



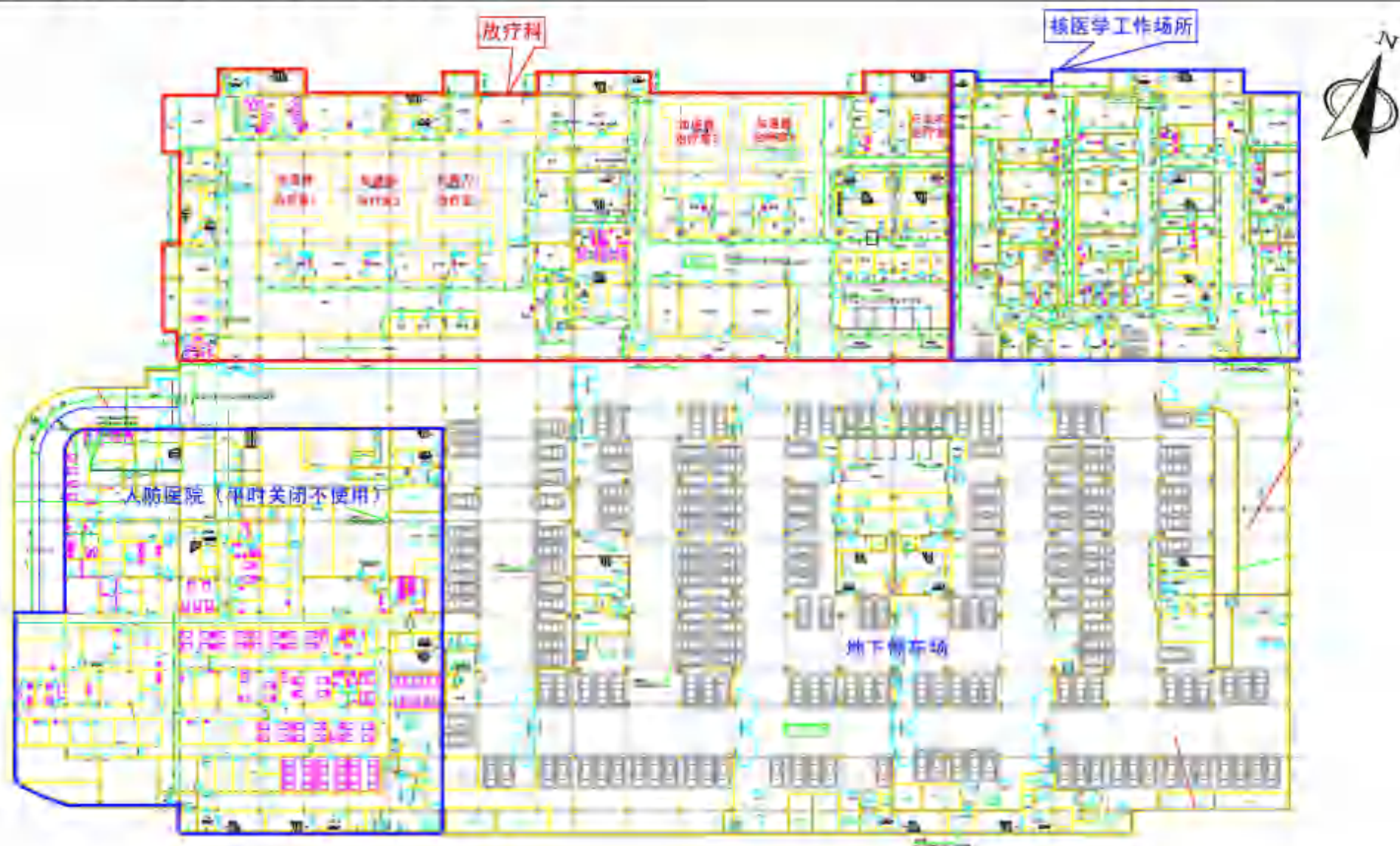
附图2 医院周边影像关系图 比例尺 1:2500







附图5 医疗综合楼地下三层平面布置图 比例尺 1:850

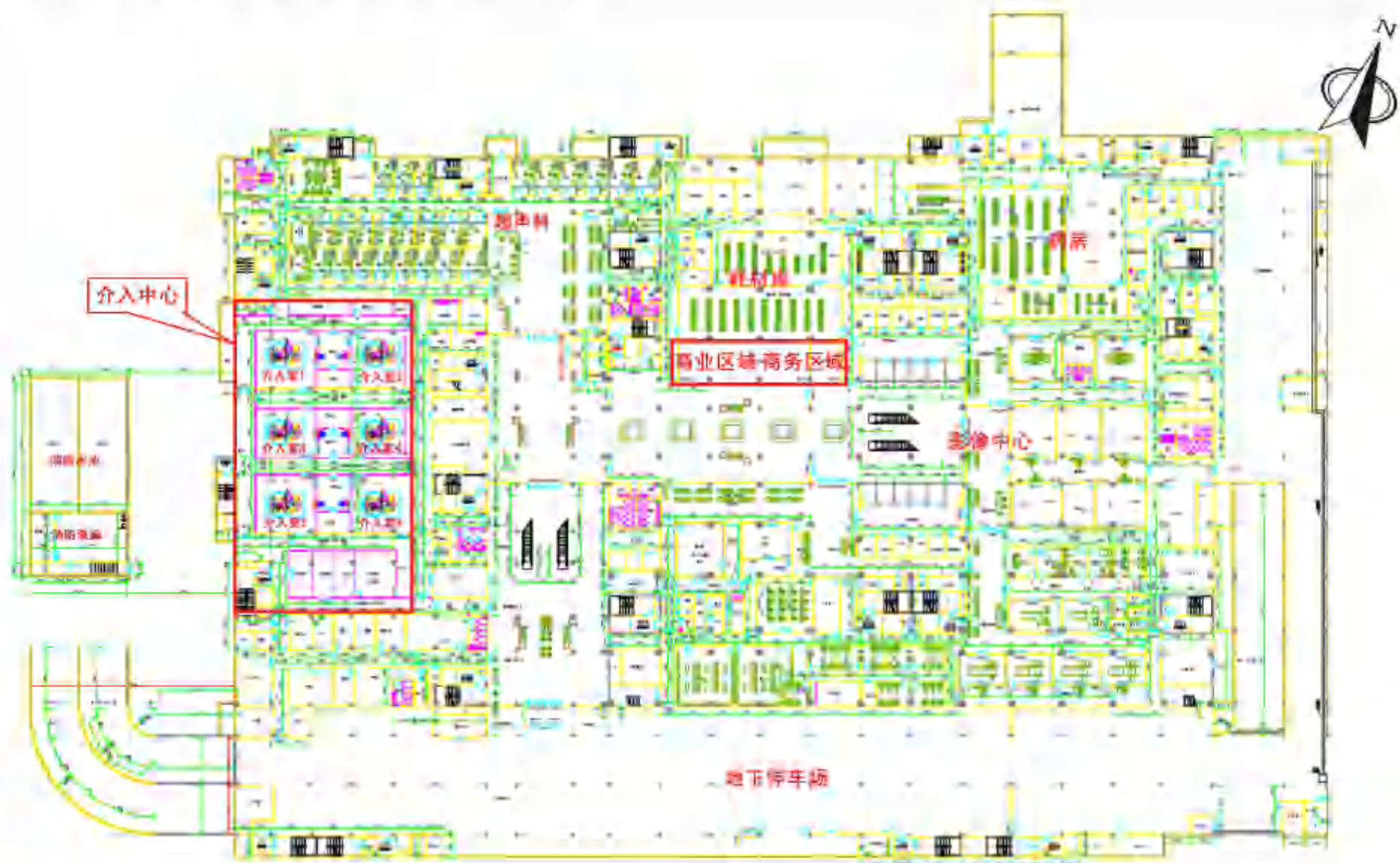




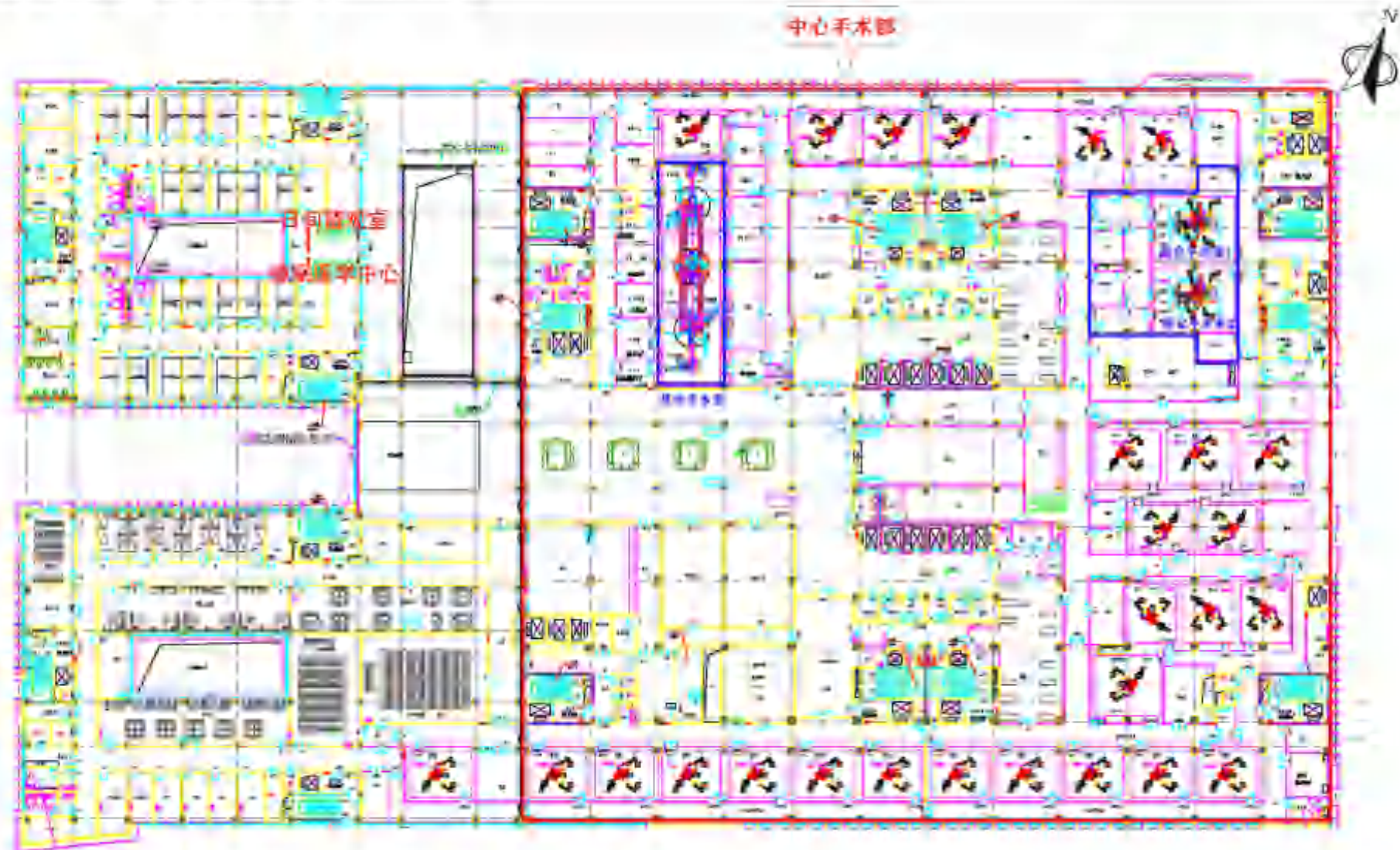
附图6 医疗综合楼地下二层平面布置图 比例尺 1: 900



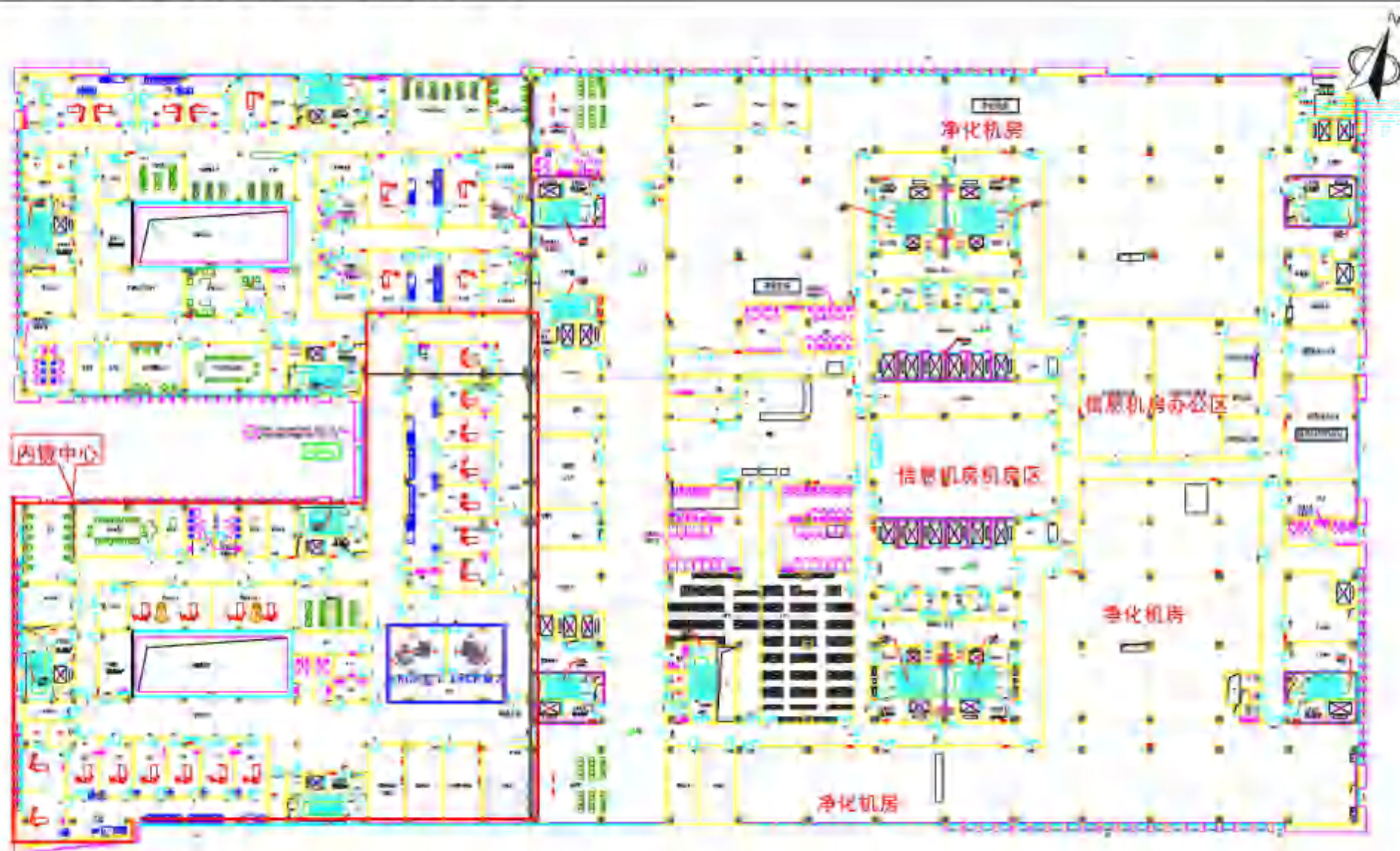
附图7 医疗综合楼地下一层平面布置图 比例尺 1:900



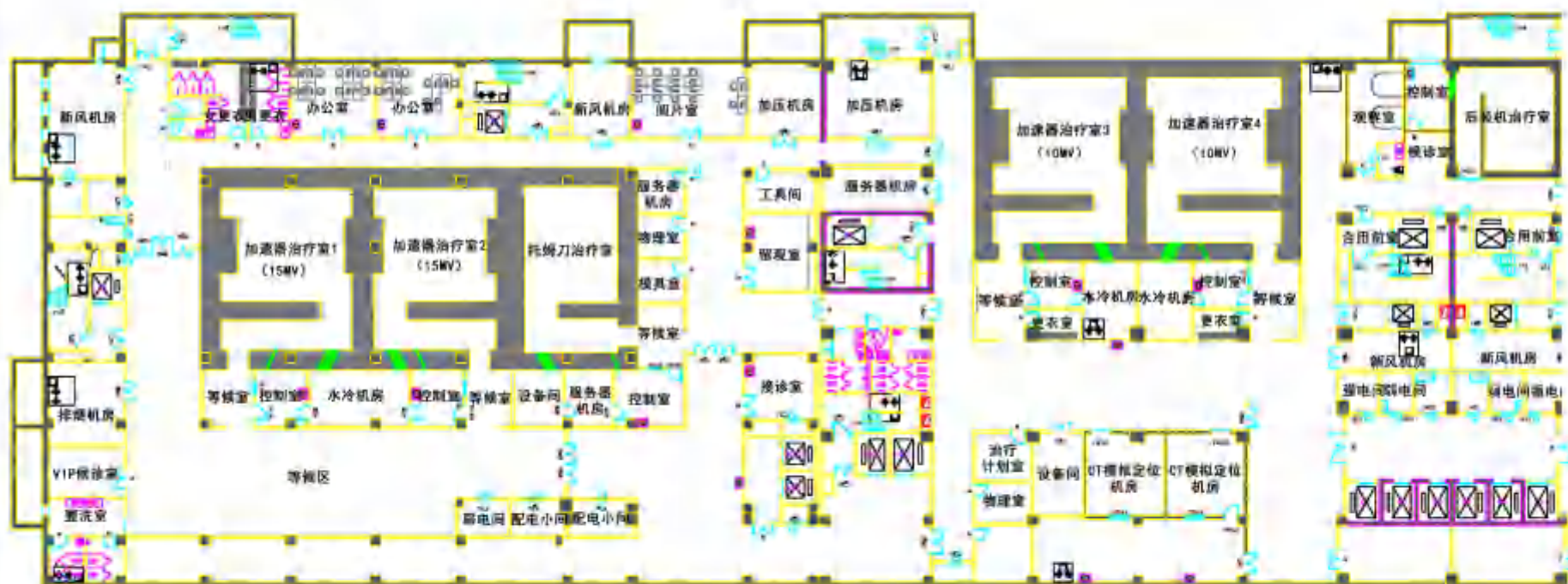
附图8 医疗综合楼五层平面布置图 比例尺 1:700



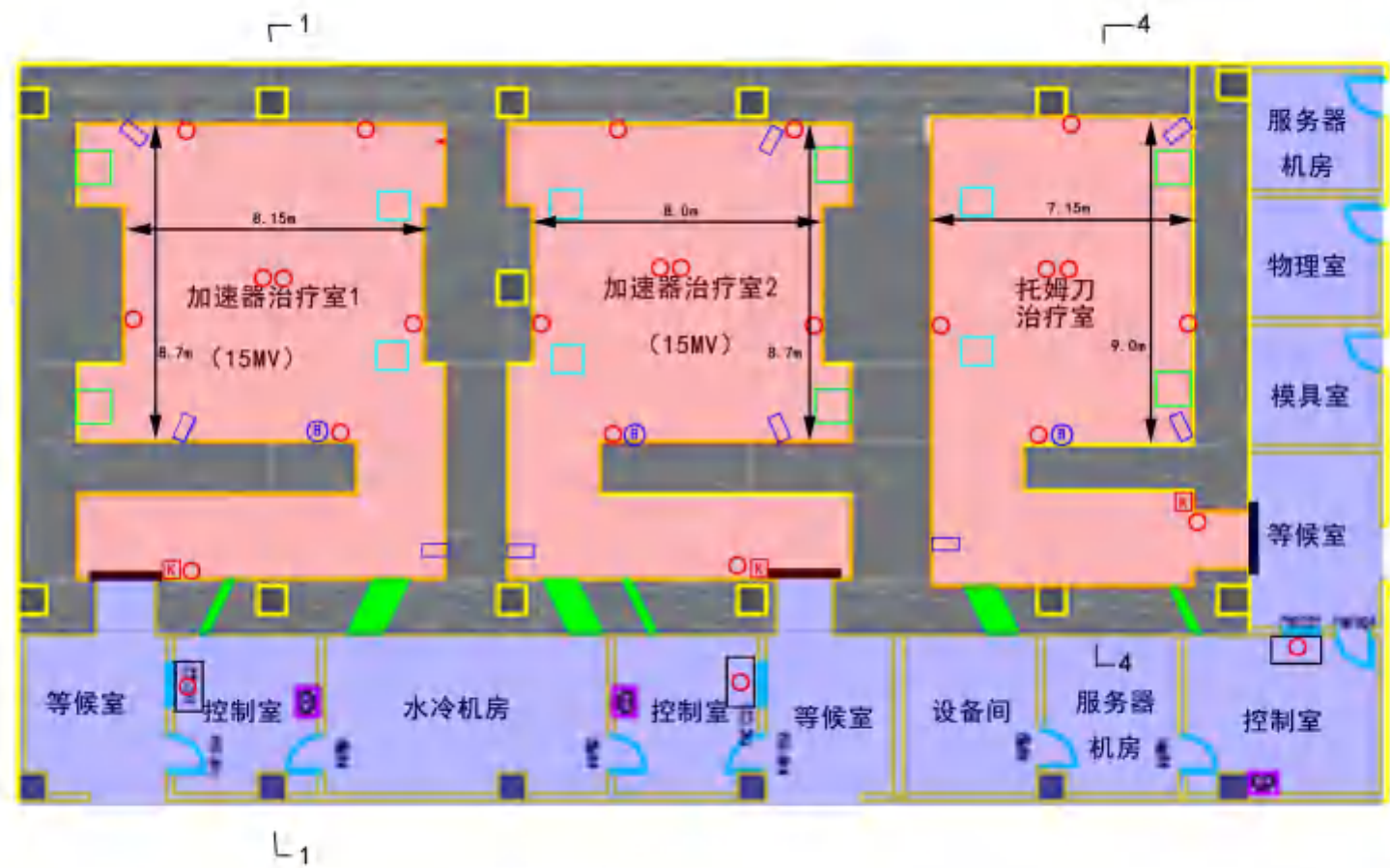
附图9 医疗综合楼六层平面布置图 比例尺 1:700



附图10 放疗科平面布置图 比例尺 1:500

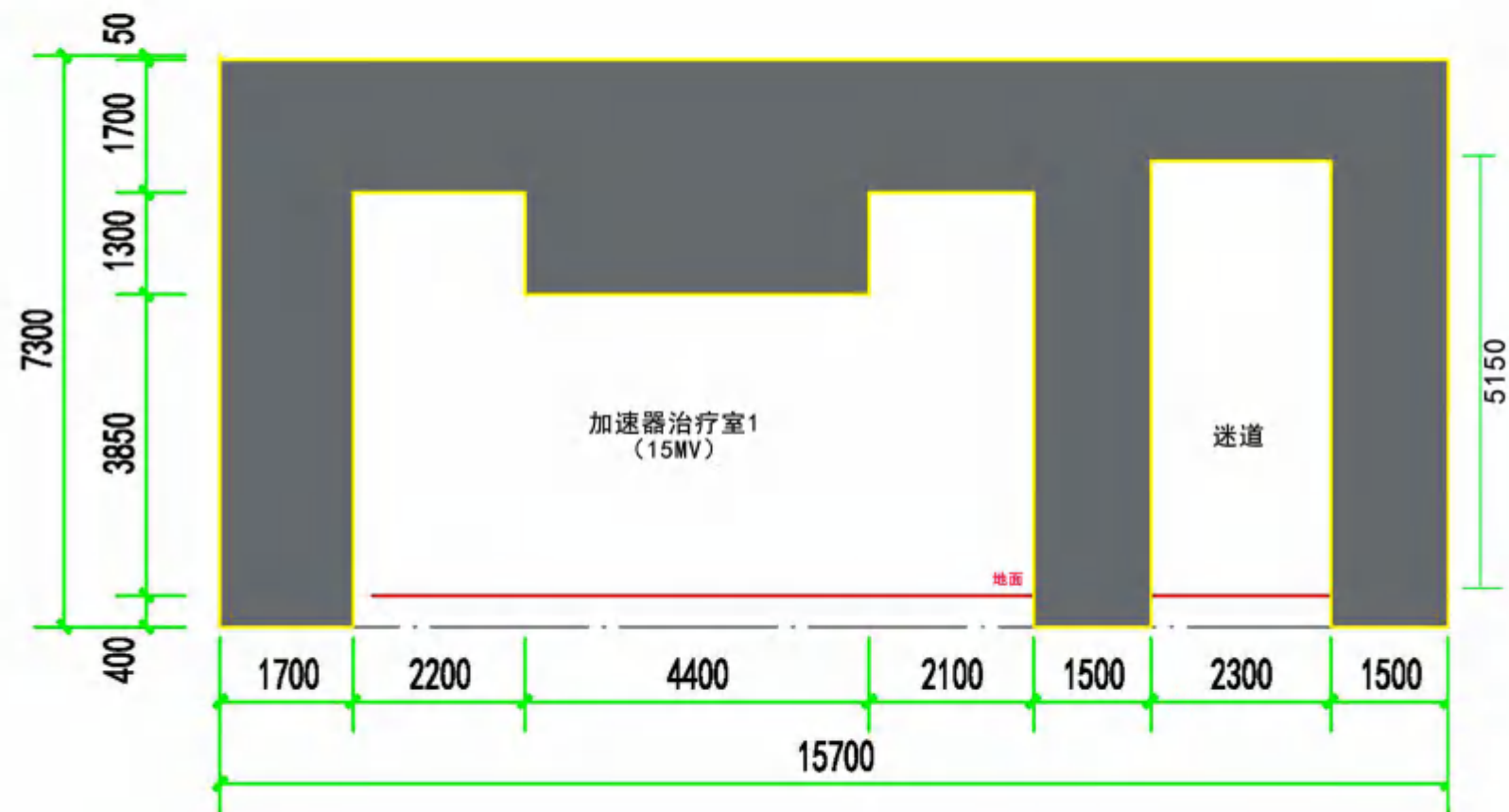


附图11 15MV加速器机房及托姆刀机房平面布置图 比例尺 1:200



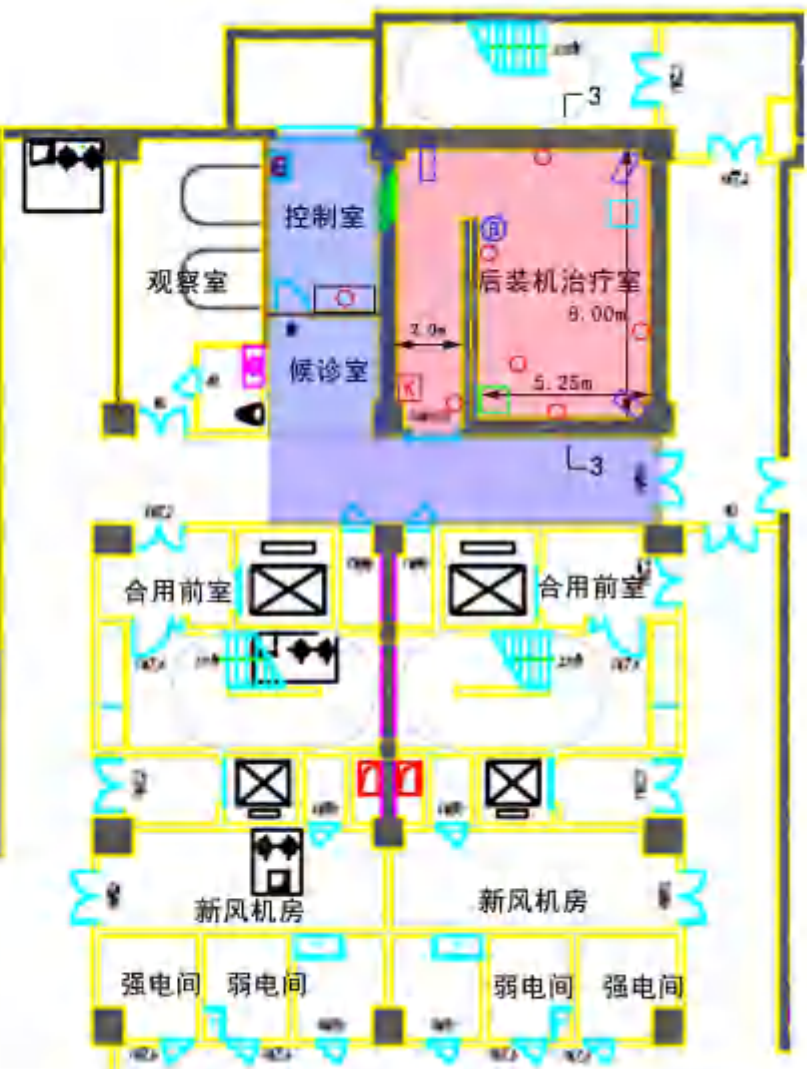
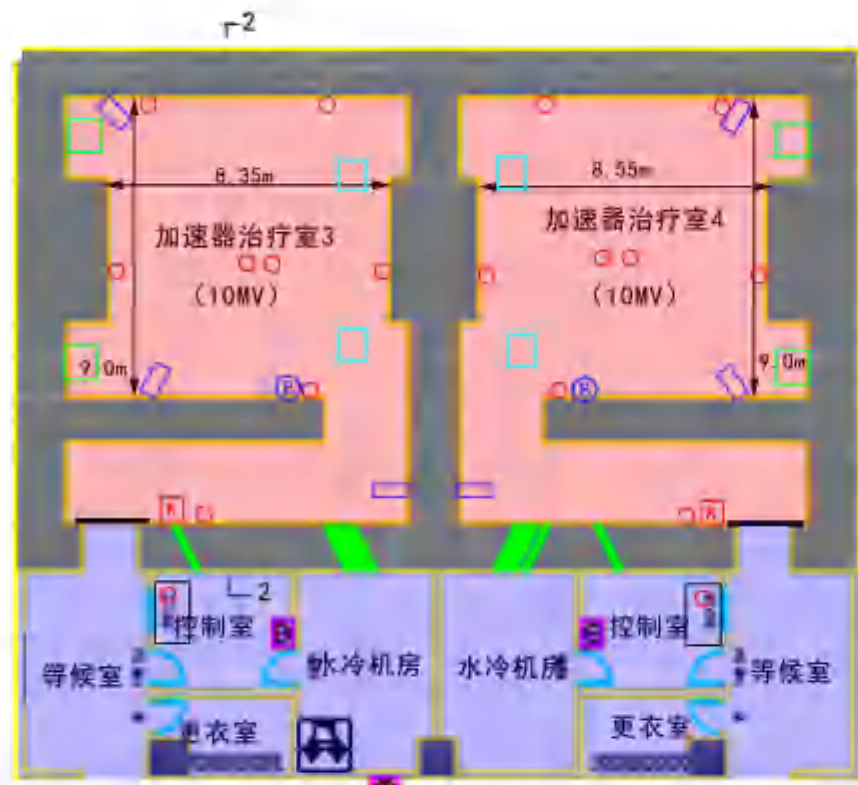
图例	
	紧急开门装置
	固定式辐射剂量监测仪
	进风口
	排风口
	控制区
	监督区
	监控摄像头
	急停按钮

附图12 15MV加速器机房剖面图 (1-1剖面) 比例尺 1:90



单位: mm

附图13 10MV加速器机房及后装机机房平面布置图 比例尺 1: :20

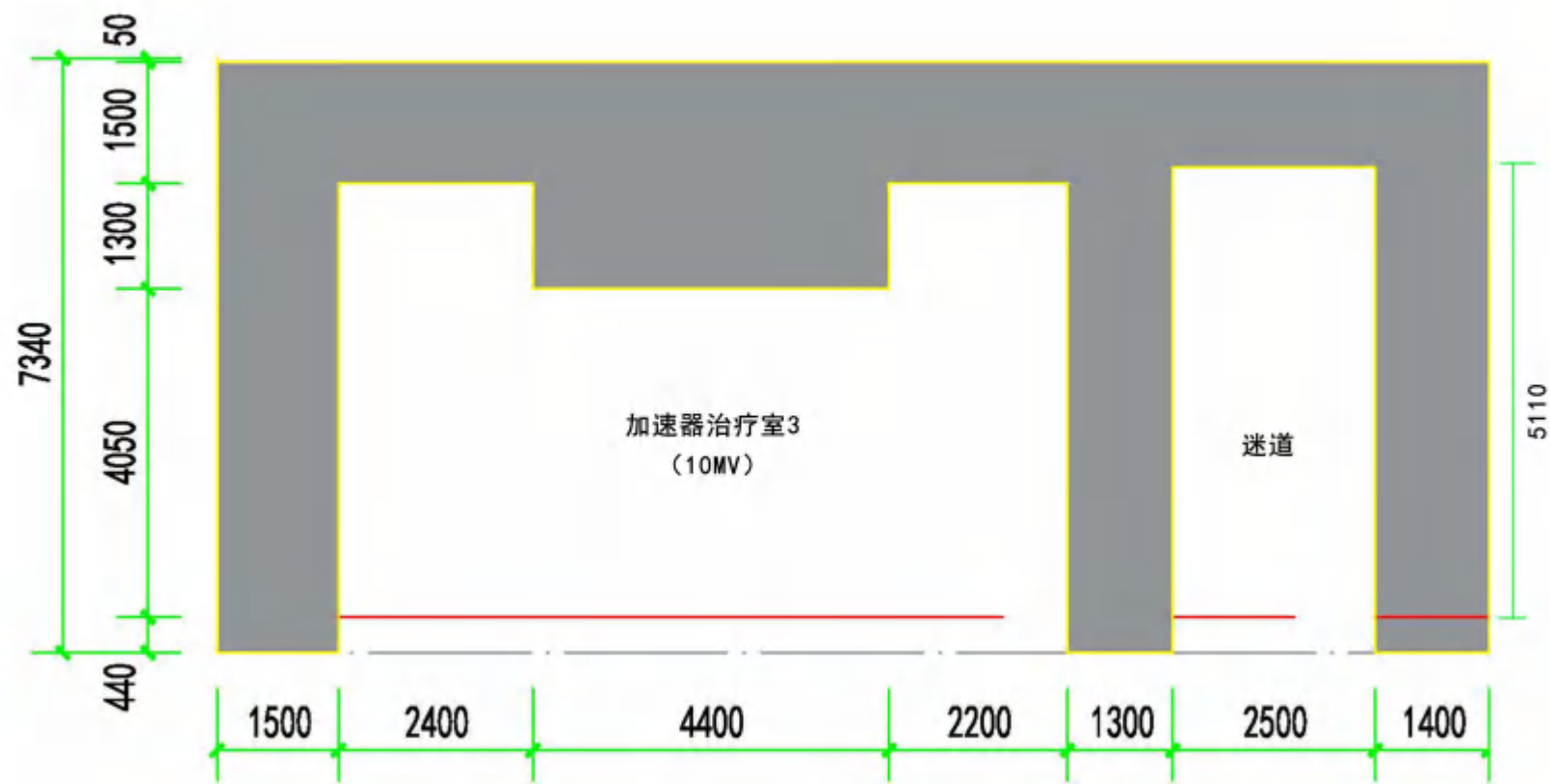


图例

- 控制区
- 监督区
- 监控摄像头
- 急停按钮
- 固定式辐射剂量监测仪
- 进风口
- 排风口
- 紧急开门装置

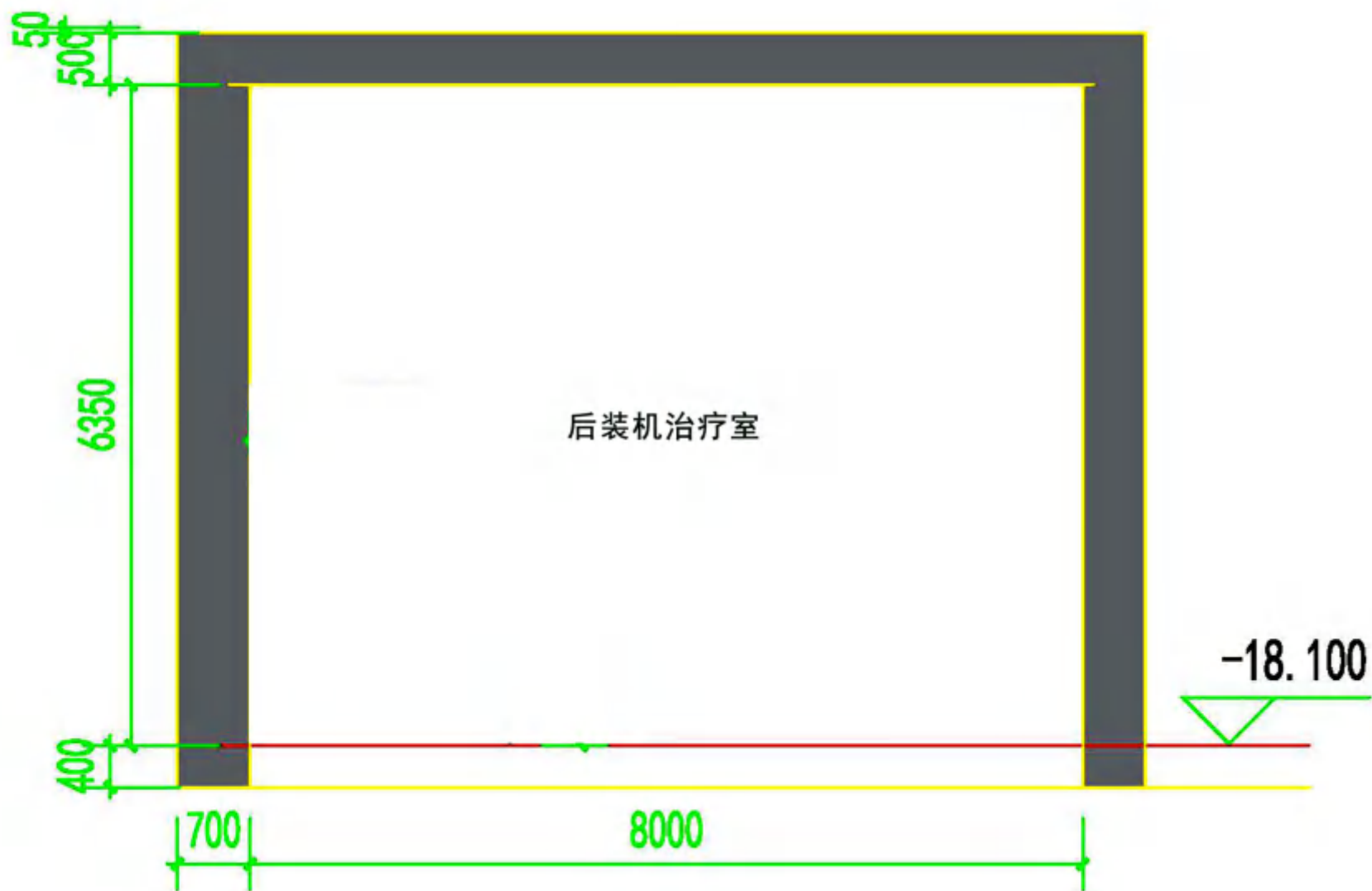


附图13 10MV加速器机房剖面图（2-2剖面） 比例尺 1:90

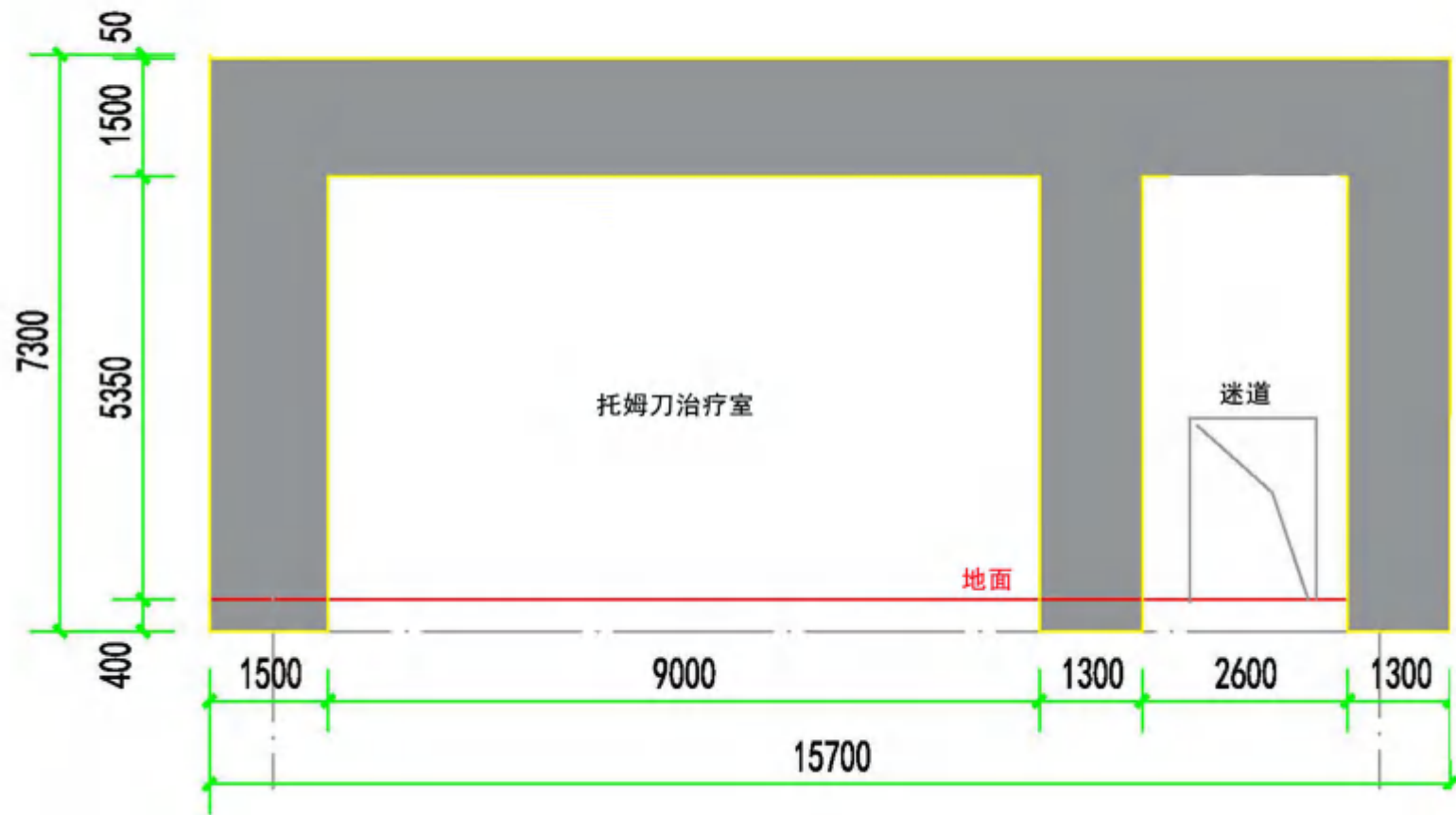


单位: mm

附图15 后装机机房剖面图（3-3剖面） 比例尺 1:60

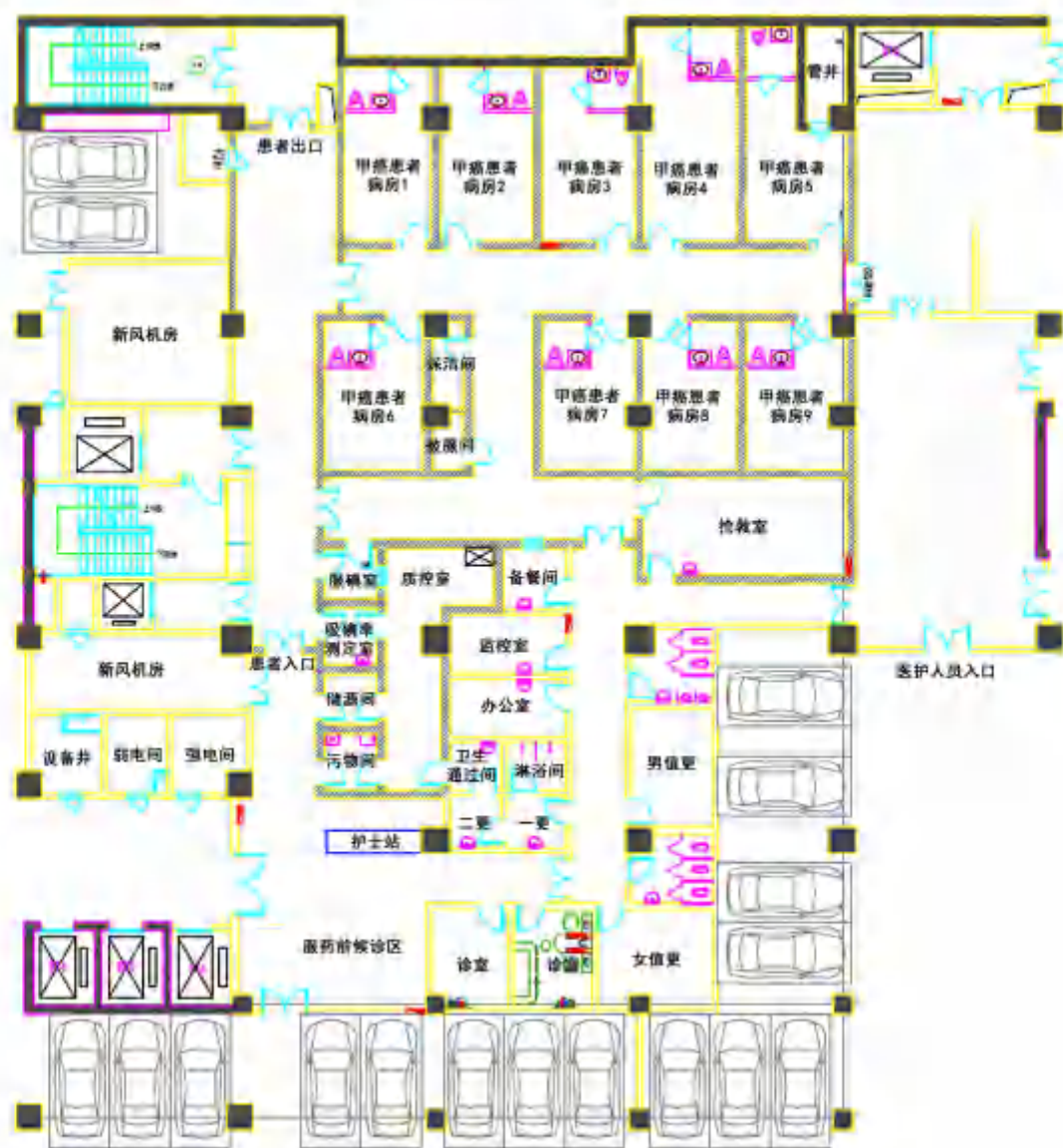


附图16 托姆刀机房剖面图（4-4剖面） 比例尺 1:90





附图18 地下二层核医学科平面布置图 比例尺 1:300



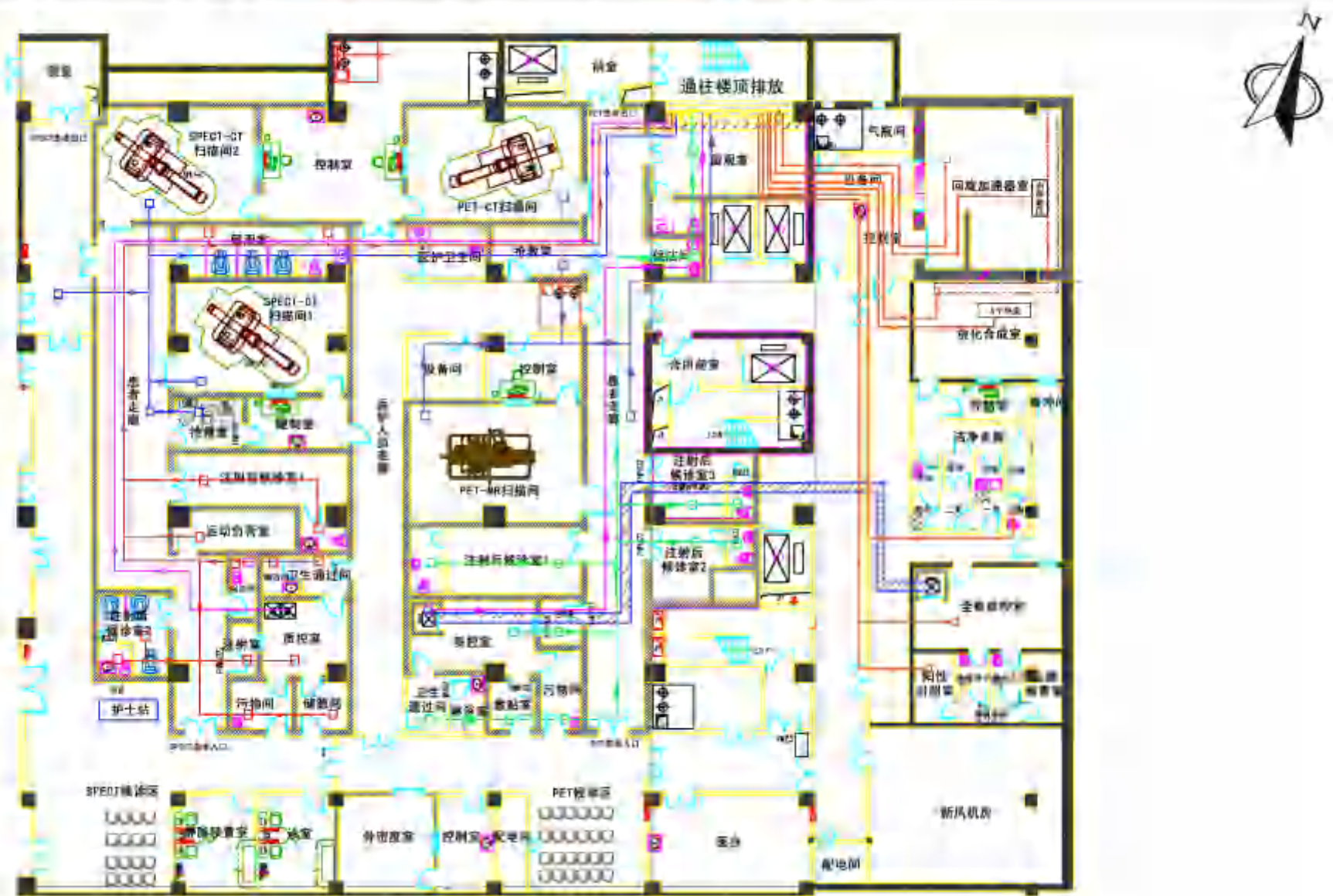
附图19 地下三层核医学场所分区管理示意图及人流、物流示意图 比例尺 1:300



附图20 地下二层核医学场所分区管理及人流、物流示意图 比例尺 1:300

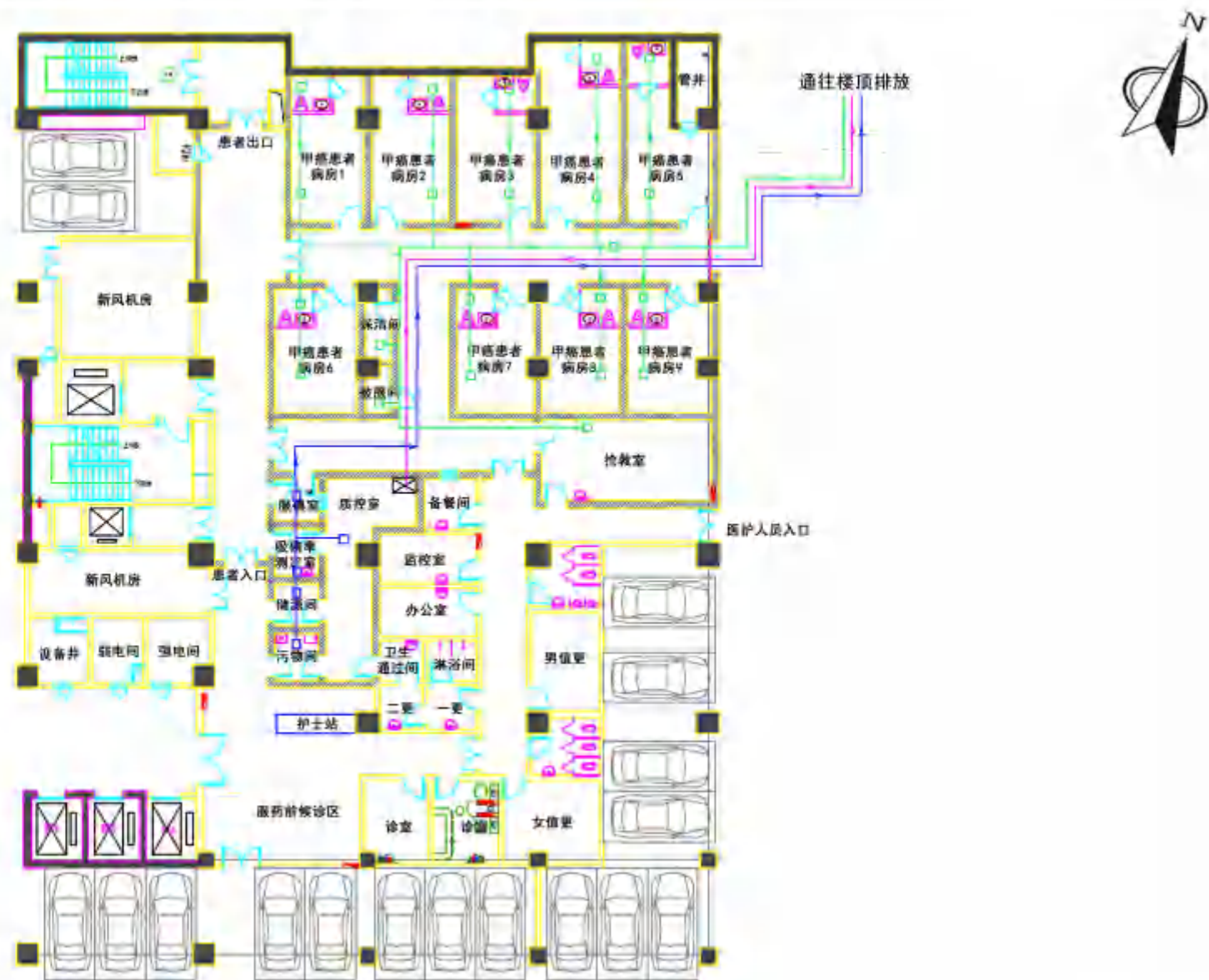


附图21 医疗综合楼地下三层核医学科放射性废气收集管道示意图 比例尺 1:300

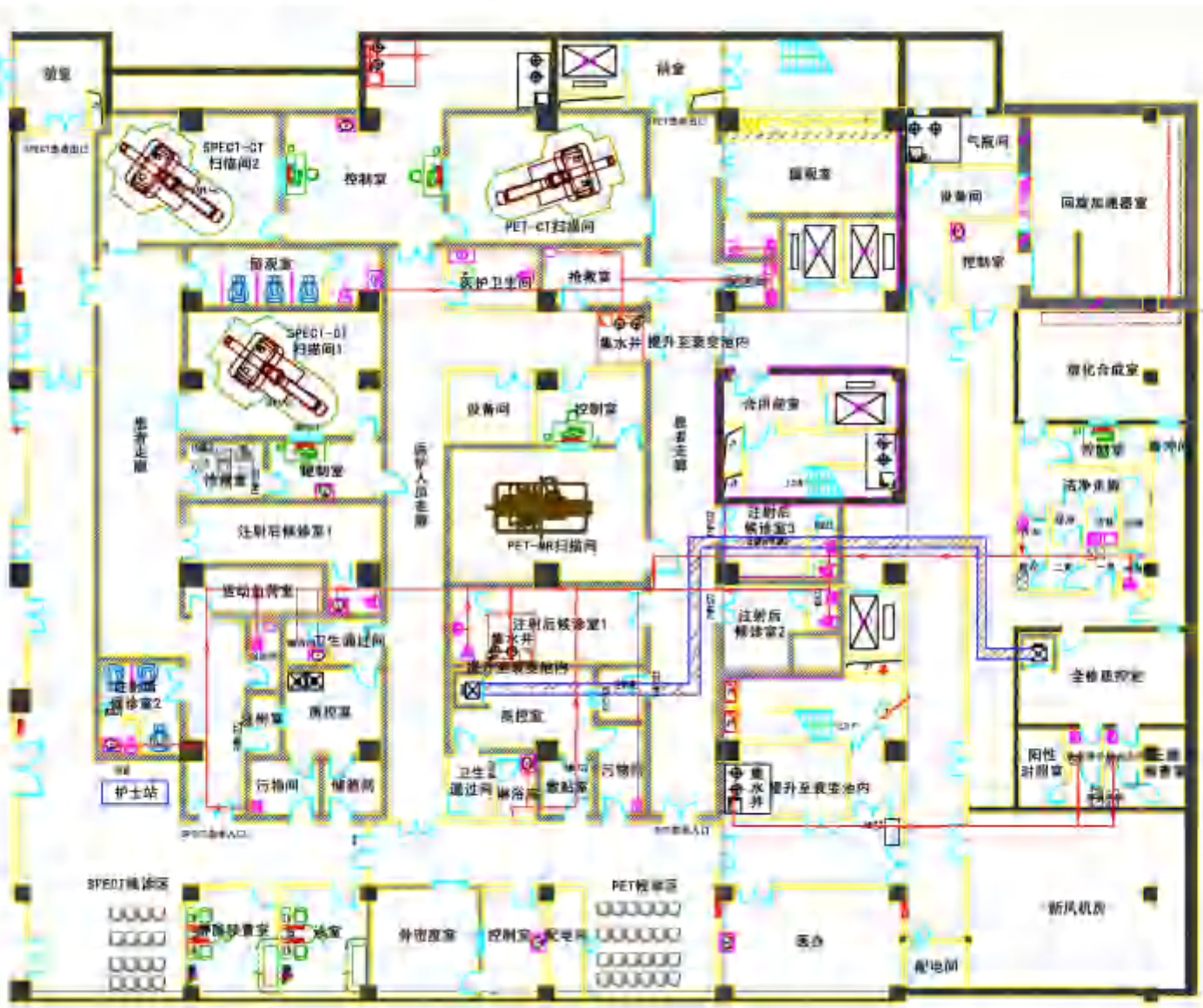




附图22 地下二层核医学科放射性废气收集管道示意图 比例尺 1:300

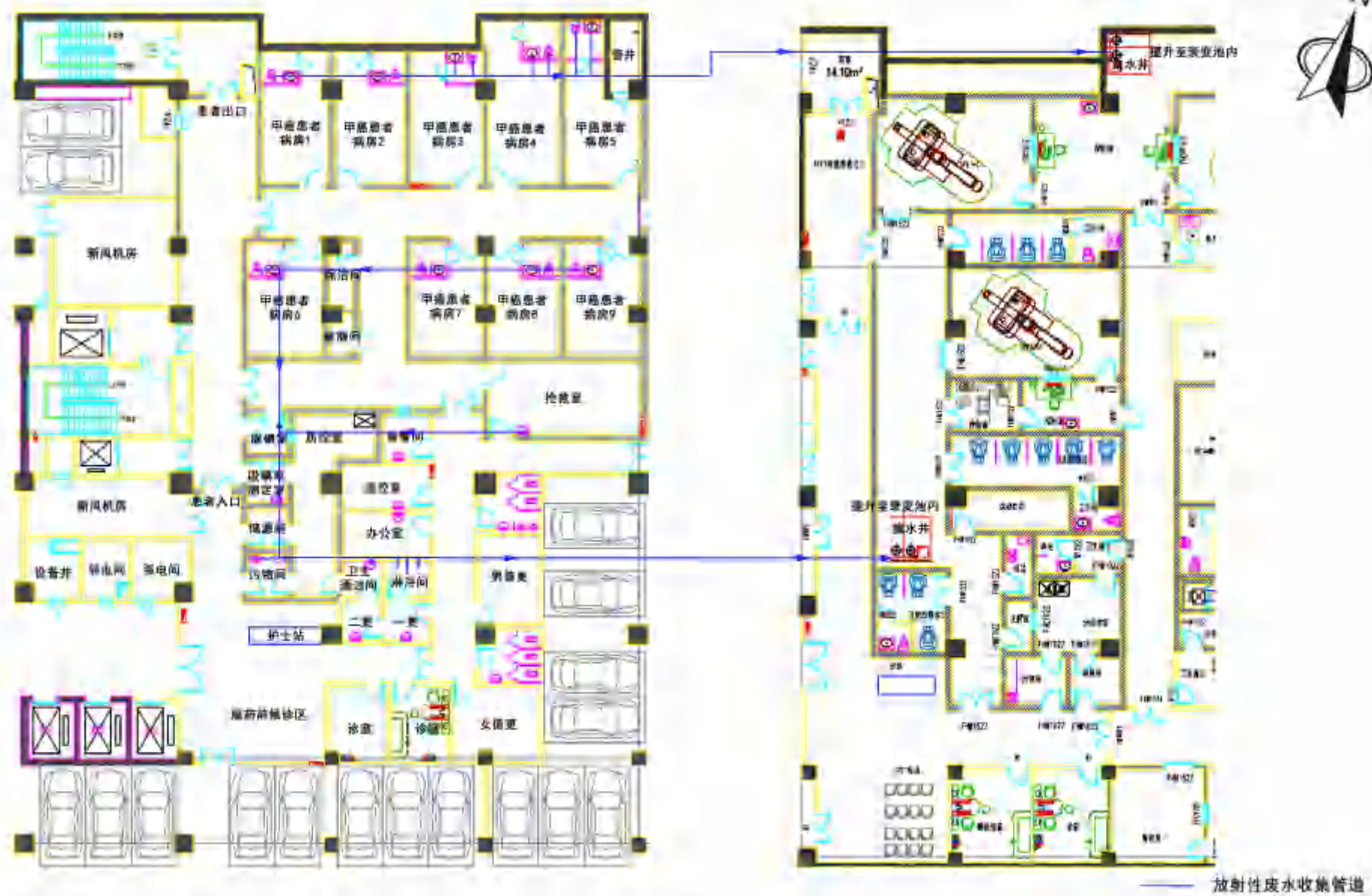


附图23 医疗综合楼地下三层放射性废水收集管道示意图 比例尺 1:300

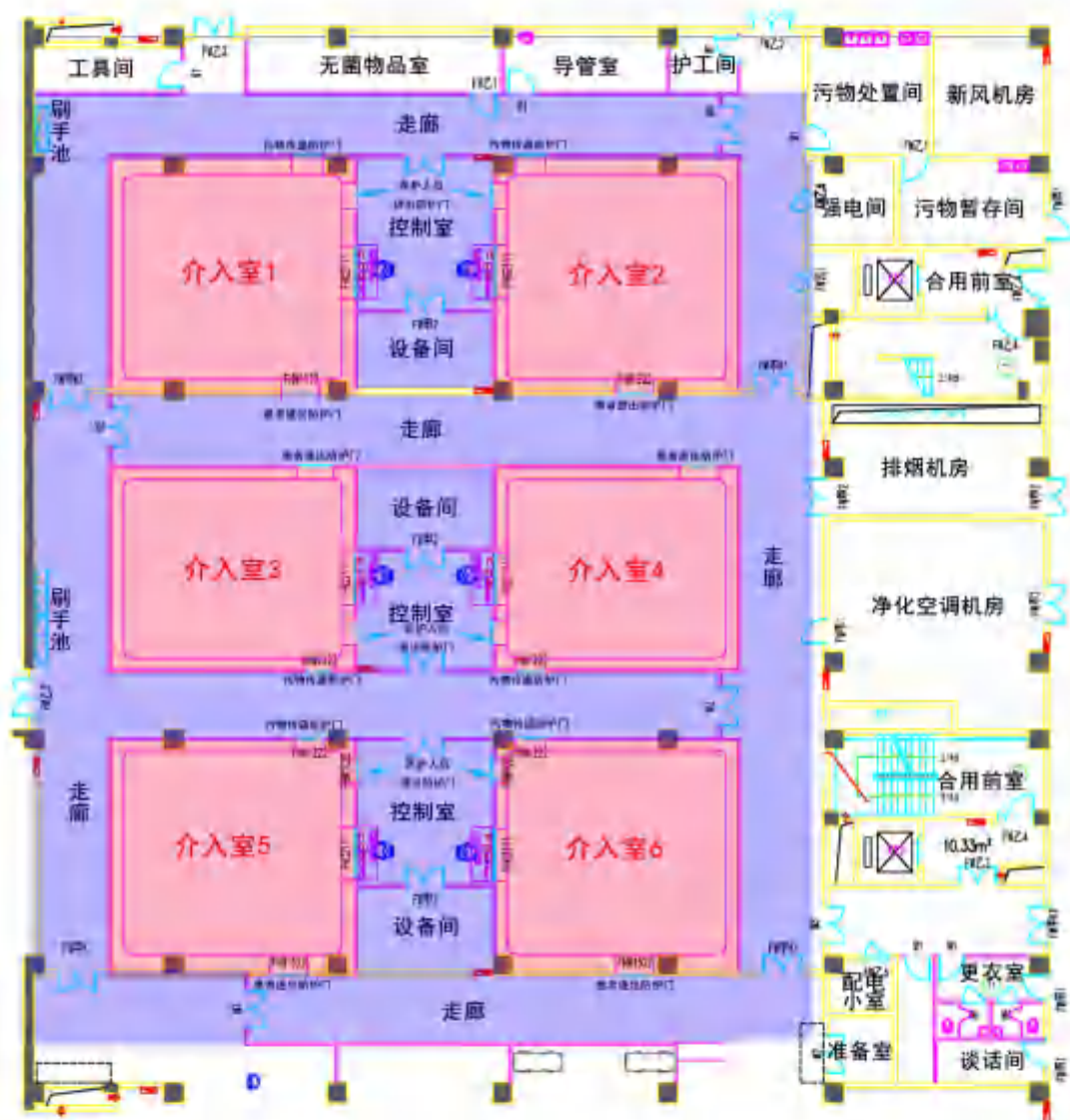


——放射性废水收集管道

附图24 地下二层放射废水收集管道示意图 比例尺 1:300



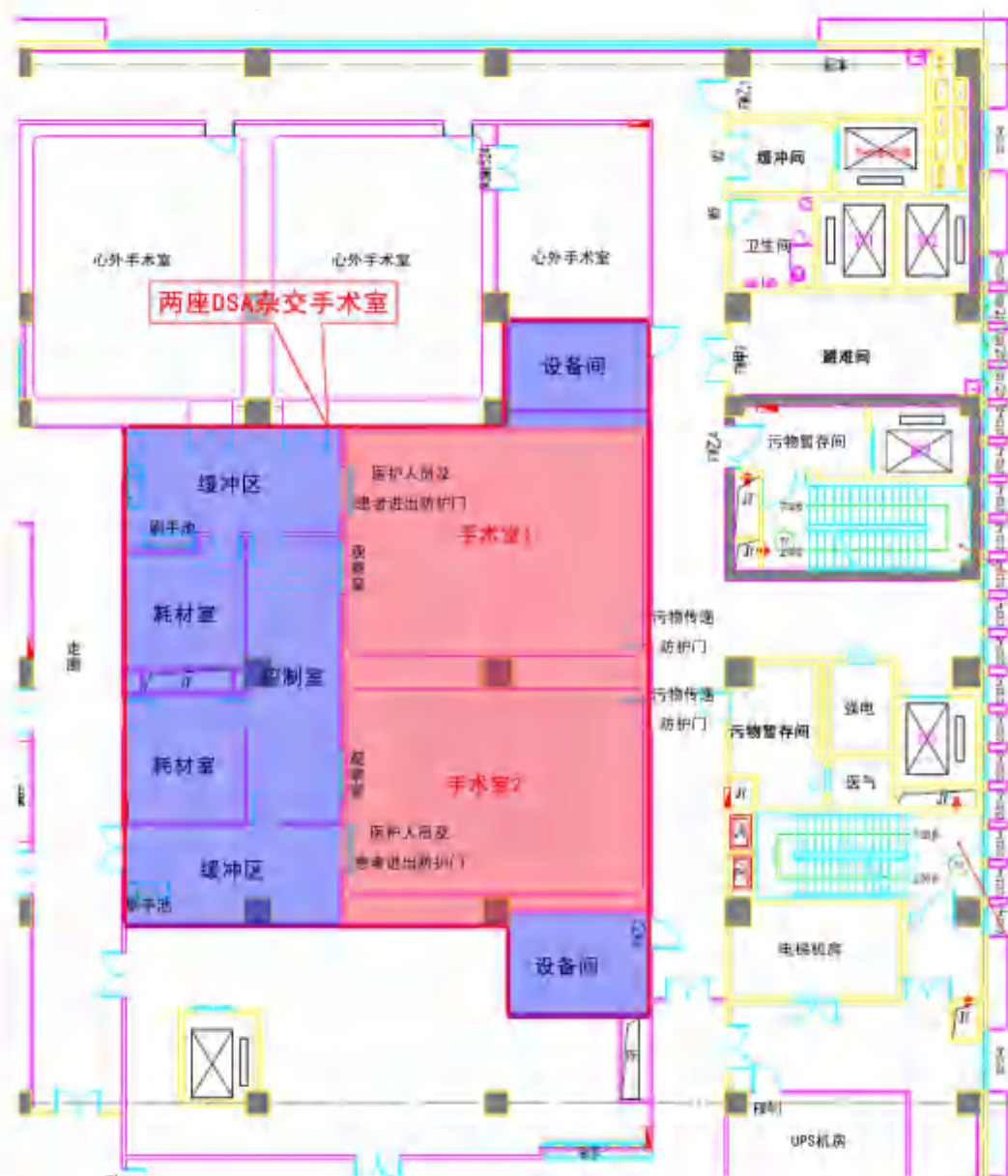
附图25 介入中心六座DSA机房平面布置图 比例尺 1:300



图例

- 控制区
- 监督区

附图26 中心手术部两座杂交手术室平面布置图 比例尺 1: 250

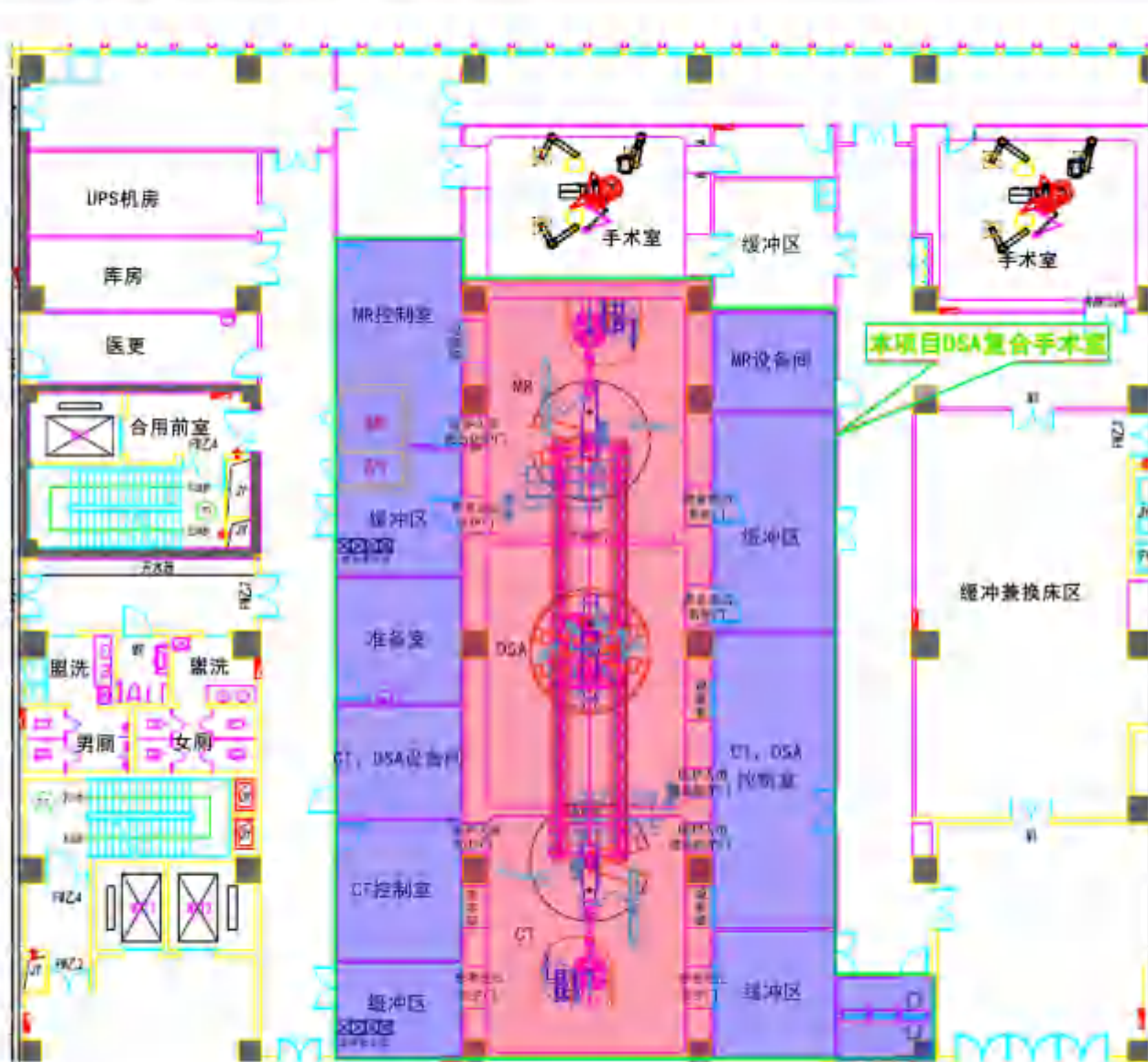


图例

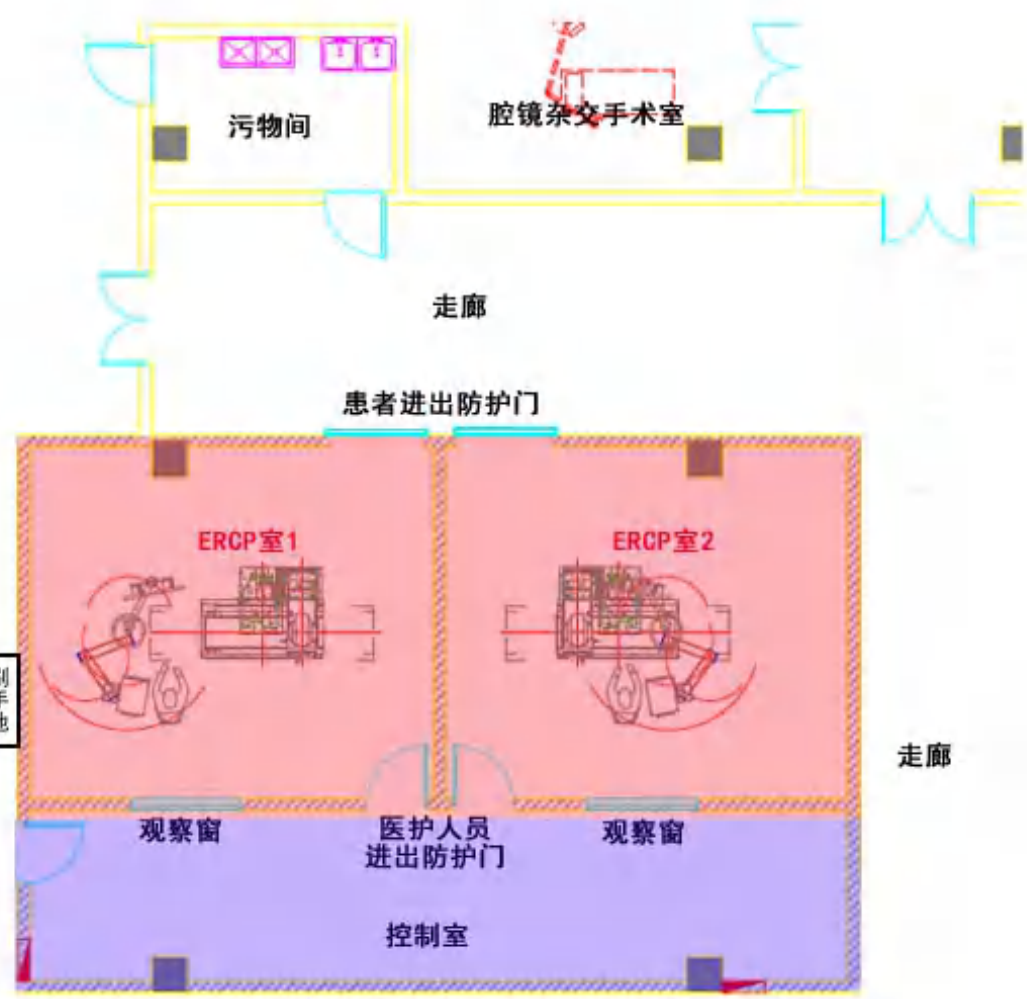
控制区

监督区

附图23 中心手术部复合手术室平面布置图 比例尺 1:250



附图24 内镜中心ERCP机房平面布置图 比例尺 1:120



图例

- 控制区
- 监督区

### 建设项目环评审批基础信息表

<b>建设单位（盖章）：</b>		青岛山大齐鲁医院				<b>填表人（签字）：</b>		<b>建设单位联系人（签字）：</b>					
<b>建设项目</b>	<b>项目名称</b>	核医学工作场所、医用电子加速器、 <sup>192</sup> Ir后装机、托姆刀、DSA装置及ERCP装置应用项目				<b>建设内容、规模</b>		建设内容：新建核医学工作场所、医用电子加速器、 <sup>192</sup> Ir后装机、托姆刀、DSA装置及ERCP装置应用项目 建设规模：新建两处乙级非密封放射性物质工作场所（涉及核素制备和核素使用），拟新增4台医用电子加速器、1台 <sup>192</sup> Ir后装机（内置1枚 <sup>192</sup> Ir放射源，封装活度为10Ci，为III类放射源）、1台6MV托姆刀机房、9台DSA装置及2台ERCP装置，核技术利用类型为使用II类射线装置；使用III类放射源；使用乙级非密封放射性物质工作场所。					
	<b>项目代码<sup>1</sup></b>	2020-370200-84-01-000004											
	<b>建设地点</b>	青岛市市北区合肥路758号甲，医疗综合楼地下三层、地下二层、地下一层、五层及六层											
	<b>项目建设周期（月）</b>	9.0				<b>计划开工时间</b>	2022年12月						
	<b>环境影响评价行业类别</b>	五十五、核与辐射，172、核技术利用建设项目				<b>预计投产时间</b>	2023年8月						
	<b>建设性质</b>	新建（迁建）				<b>国民经济行业类型<sup>2</sup></b>	Q8411综合性医院						
	<b>现有工程排污许可证编号（改、扩建项目）</b>	无				<b>项目申请类别</b>	新申项目						
	<b>规划环评开展情况</b>	不需开展				<b>规划环评文件名</b>	无						
	<b>规划环评审查机关</b>	无				<b>规划环评审查意见文号</b>	无						
	<b>建设地点中心坐标<sup>3</sup>（非线性工程）</b>	<b>经度</b>	120.419447	<b>纬度</b>	36.112189	<b>环境影响评价文件类别</b>		<b>环境影响报告表</b>					
	<b>建设地点坐标（线性工程）</b>	<b>起点经度</b>		<b>起点纬度</b>		<b>终点经度</b>		<b>终点纬度</b>		<b>工程长度（千米）</b>			
<b>总投资（万元）</b>	35000.00				<b>环保投资（万元）</b>		15000.00		<b>环保投资比例</b>	42.86%			
<b>建设单位</b>	<b>单位名称</b>	青岛山大齐鲁医院		<b>法人代表</b>	焉传祝		<b>评价单位</b>	<b>单位名称</b>	山东海美依项目咨询有限公司		<b>证书编号</b>	国环评证乙字第2452号	
	<b>统一社会信用代码（组织机构代码）</b>	12370200077375118F		<b>技术负责人</b>	张鹏			<b>环评文件项目负责人</b>	任建坤		<b>联系电话</b>	18615268609	
	<b>通讯地址</b>	青岛市市北区合肥路758号		<b>联系电话</b>	15953219265			<b>通讯地址</b>	济南市经十路9777号鲁商国奥城2号楼2101室				
<b>污染物排放量</b>	<b>污染物</b>		<b>现有工程（已建+在建）</b>		<b>本工程（拟建或调整变更）</b>		<b>总体工程（已建+在建+拟建或调整变更）</b>				<b>排放方式</b>		
			①实际排放量（吨/年）	②许可排放量（吨/年）	③预测排放量（吨/年）	④“以新带老”削减量（吨/年）	⑤区域平衡替代本工程削减量 <sup>4</sup> （吨/年）	⑥预测排放总量（吨/年） <sup>5</sup>	⑦排放增减量（吨/年） <sup>5</sup>				
	<b>废水</b>	废水量（万吨/年）						0.000	0.000	<input checked="" type="radio"/> 不排放 <input type="radio"/> 间接排放： 工业污水处理厂 <input type="radio"/> 直接排放：受纳水体 _____			
		COD						0.000	0.000				
		氨氮						0.000	0.000				
		总磷						0.000	0.000				
	<b>废气</b>	总氮						0.000	0.000				
		废气量（万标立方米/年）						0.000	0.000	/			
		二氧化硫						0.000	0.000	/			
氮氧化物						0.000	0.000	/					
颗粒物						0.000	0.000	/					
挥发性有机物						0.000	0.000	/					
<b>项目涉及保护区与风景名胜区的情况</b>	<b>影响及主要措施</b>		<b>名称</b>		<b>级别</b>	<b>主要保护对象（目标）</b>	<b>工程影响情况</b>	<b>是否占用</b>	<b>占用面积（公顷）</b>	<b>生态防护措施</b>			
	生态保护目标		自然保护区					否		<input type="checkbox"/> 避让 <input type="checkbox"/> 减缓 <input type="checkbox"/> 补偿 <input type="checkbox"/> 重建（多选）			
			饮用水水源保护区（地表）			/		否		<input type="checkbox"/> 避让 <input type="checkbox"/> 减缓 <input type="checkbox"/> 补偿 <input type="checkbox"/> 重建（多选）			
			饮用水水源保护区（地下）			/		否		<input type="checkbox"/> 避让 <input type="checkbox"/> 减缓 <input type="checkbox"/> 补偿 <input type="checkbox"/> 重建（多选）			
			风景名胜区			/		否		<input type="checkbox"/> 避让 <input type="checkbox"/> 减缓 <input type="checkbox"/> 补偿 <input type="checkbox"/> 重建（多选）			

注：1、同级经济部门审批核发的唯一项目代码  
 2、分类依据：国民经济行业分类(GB/T 4754-2017)  
 3、对多点项目仅提供主体工程的中心坐标  
 4、指该项目所在区域通过“区域平衡”专为本工程替代削减的量  
 5、⑦=③-④-⑤；⑥=②-④+③，当②=0时，⑥=①-④+③