核技术利用建设项目

核医学科建设项目

环境影响报告表

青岛市中医医院

（青岛市海慈医院、青岛市康复医学研究所）

2023 年 6 月

环境保护部监制

核技术利用建设项目

核医学科建设项目

环境影响报告表

建设单位名称：青岛市中医医院

（青岛市海慈医院、青岛市康复医学研究所）

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：青岛市市北区人民路4号

邮政编码：266034　　联系人：庄心鑫

电子邮箱：ZXXXJP@163.com　　联系电话：13026533283

目　　录

表 1 项目基本情况 1
表 2 非密封放射性物质 7
表 3 废弃物（重点是放射性废弃物） 8
表 4 评价依据 9
表 5 保护目标与评价标准 11
表 6 环境质量和辐射现状 18
表 7 项目工程分析与源项 23
表 8 辐射安全与防护 30
表 9 环境影响分析 41
表 10 辐射安全管理 56
表 11 结论与建议 65
附件
附件 1 委托书；
附件 2 辐射安全许可证；
附件 3 现有辐射项目验收意见
附件 4 不动产权证
附件 5 成立辐射安全管理机构的文件与辐射安全工作责任书
附件 6 辐射现状检测报告
附件 7 主动公开环境影响评价文件说明
附件 8 公示稿删除内容说明
附件 9 环评报批公示承诺函
附件 10 关于资料提供和环评内容确认的承诺书
附件 11 事业单位法人证书
附件 12 授权委托书
附图
附图 1 本项目地理位置示意图
附图 2 项目周边环境关系影像图
附图 3 医院本部平面布置图
附图 4 B 楼负一层平面布置图
附图 5 B 楼一层平面布置图
附图6 核医学科平面布置图
附图 7 放射性废水收集系统及通风系统设计示意图

表 1 项目基本情况

<table>
<tr><td colspan="2">建设项目名称</td><td colspan="5">核医学科建设项目</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="5">青岛市中医医院（青岛市海慈医院、青岛市康复医学研究所）</td></tr>
<tr><td colspan="2">法人代表</td><td>池一凡</td><td>联系人</td><td>庄心鑫</td><td>联系电话</td><td>13026533283</td></tr>
<tr><td colspan="2">注册地址</td><td colspan="5">青岛市人民路 4 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目建设地点</td><td colspan="5">青岛市市北区人民路 4 号，医院本部 B 楼负一层北侧</td></tr>
<tr><td colspan="2">立项审批部门</td><td colspan="2">/</td><td>批准文号</td><td colspan="2">/</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设项目总投资（万元）</td><td>3000</td><td>项目环保投资（万元）</td><td>125</td><td>投资比例(环保投资/总投资)</td><td>4.17%</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目性质</td><td colspan="3">☑新建 □改建 □扩建 □其他</td><td>占地面积(㎡)</td><td>约 272.8</td></tr>
<tr><td rowspan="9">应用类型</td><td rowspan="2">放射源</td><td>□销售</td><td colspan="4">□Ⅰ类 □Ⅱ类 □Ⅲ类 □Ⅳ类 □Ⅴ类</td></tr>
<tr><td>□使用</td><td colspan="4">□Ⅰ类(医疗使用) □Ⅱ类 □Ⅲ类 □Ⅳ类 □Ⅴ类</td></tr>
<tr><td rowspan="3">非密封放射性物质</td><td>□生产</td><td colspan="4">□制备 PET 用放射性药物</td></tr>
<tr><td>□销售</td><td colspan="4">/</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="4">☑乙 □丙</td></tr>
<tr><td rowspan="3">射线装置</td><td>□生产</td><td colspan="4">□Ⅱ类 □Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>□销售</td><td colspan="4">□Ⅱ类 □Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>□使用</td><td colspan="4">□Ⅱ类 □Ⅲ类</td></tr>
<tr><td colspan="2">其他</td><td colspan="5">/</td></tr>
</table>

1.1 医院概况

青岛市海慈医疗集团于1999年由青岛市第二人民医院、青岛市中医医院、青岛市黄海疗养院三所医院合并组成。是一所集医疗、预防、科研、教学、保健和康复为一体的三级甲等公立综合医院。2019年青岛市机构编制委员会办公室将医院名称规范为青岛市中医医院（青岛市海慈医院、青岛市康复医学研究所），2020年加挂青岛大学附属青岛市海慈医院牌子，2022年青岛市第五人民医院整体纳入海慈医疗集团。

医院拥有医疗、医技、职能科室140个。拥有256层螺旋CT、3.0T核磁共振（MR）、大型血管造影系统（DSA）、全自动生化分析仪、高档彩色多普勒超声诊断仪等先进的大型仪器设备。医院目前在职职工2700余人，拥有享受国务院特殊津贴专家5人，岐黄学者、

全国优秀中医临床人才、全国老中医药专家学术经验继承工作指导老师等国家级人才17人；拥有泰山学者特聘专家、山东省名中医药专家、齐鲁卫生与健康领军人才等省级人才57人；拥有青岛市拔尖人才等市级人才110余人；拥有博士、硕士研究生导师100余人；高级职称专业技术人员400余人、硕博士学历人员500余人。

医院现有本部（市北区人民路4号）、南院区（市南区栖霞路18号）、西院区（青岛市第五人民医院，市南区嘉祥路3号）、城阳院区（在建）和崂山院区（山东中医药大学附属青岛医院项目，在建）共五个院区，目前开放床位2553张。2025年城阳院区将建成启用，项目占地164.24亩，总建筑面积约34万平方米，设置床位1500张。崂山院区计划于2024年建成，占地47.09亩，建筑面积15.9万平方米，开设床位800张，配套建设专家和学生公寓。

1.2 现有项目

1.2.1 核技术利用现状情况及履行环保审批情况

医院现持有《辐射安全许可证》，证书编号：鲁环辐证[02147]，准予使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置，有效期至2026年12月27日。

医院许可辐射项目详见下表：

表1-1 现有已许可射线装置一览表

序号	装置	型号	台数	分类	工作场所	使用状态
1	医用电子加速器	Varian 21EX	1台	Ⅱ类	本部放疗科A楼负二层	在用
2	模拟定位机	SL-ID	1台	Ⅲ类	本部放疗科A楼负二层	在用
3	血管造影机（DSA）	INTEGRISCV	1台	Ⅱ类	本部介入诊疗科	在用
4	血管造影机（DSA）	SiemensZee	1台	Ⅱ类	本部介入诊疗科	在用
5	螺旋CT	Floor deffinitionAS	1台	Ⅲ类	本部放射科	在用
6	16排CT	MX16-silice	1台	Ⅲ类	本部放射科	在用
7	透视机	SiemensLocno	1台	Ⅲ类	本部放射科	在用
8	数字胃肠机	R100	1台	Ⅲ类	本部放射科	在用
9	CR摄片机	Multixfocus	1台	Ⅲ类	本部放射科	在用
10	DR摄片机	DR7500	1台	Ⅲ类	本部放射科	在用
11	DR摄片机	XHX300B	1台	Ⅲ类	本部放射科	在用
12	移动DR机	XD Digital	1台	Ⅲ类	本部放射科	在用
13	移动床边机	Mulitmobil10	1台	Ⅲ类	本部放射科	在用

14	移动床边机	CARTLEXM	1台	III类	本部放射科	在用
15	骨密度仪	MEDIX 90	1台	III类	本部放射科	在用
16	移动C型臂	Siremobil ompact L	1台	III类	本部手术室	在用
17	数字乳腺机	Mammomat Fusion	1台	III类	本部放射科	在用
18	牙片机	INTRAOS70	1台	III类	本部放射科	在用
19	CT机	Definition AS	1台	III类	本部放射科	在用
20	口腔CT	CS9000	1台	III类	本部放射科	在用
21	移动式C型臂	XC30	1台	III类	本部手术室	尚未安装
22	移动式摄影X射线机（移动DR）	DRX-Revolution	1台	III类	本部放射科	尚未安装
23	放舱CT	ENVISION LCT 16	1台	III类	本部放射科	在用
24	移动DR	DRX-Revolution	1台	III类	本部放射科	尚未安装

2023年5月8日，医院本部的《DSA装置应用项目环境影响报告表》取得青岛市生态环境局市北分局批复文件：青环辐审（市北）[2023]02号，该项目正在建设，尚未建成。

综上所述，医院已许可使用射线装置24台，在用21台。

现有1台加速器、2台DSA均已开展竣工环保验收，于2017年4月26日取得验收批复文件（青环辐验[2017]9号），见附件。医院现有辐射项目环保手续齐全。

1.2.2辐射安全管理现状

（1）医院已成立有辐射安全与防护管理领导机构-辐射安全领导小组，签订有辐射安全工作责任书，确定了法人代表为辐射安全工作第一责任人，指定专人负责放射性同位素与射线装置的安全和防护工作。

（2）建立健全了各项辐射安全管理规章制度并严格落实。

（3）已制定辐射事故应急预案，每年定期进行应急演练，医院运行至今未发生辐射安全事故。

（4）各项辐射安全防护设施齐全且有效运行，医护人员和受检者配备有符合要求的个人防护用品（铅衣、铅眼镜、铅围脖、铅帽、铅手套等），配备有满足要求的辐射检测仪器（γ剂量率检测仪、表面污染检测仪、个人剂量报警仪等）。

（5）辐射工作人员均配置有个人剂量计，并定期进行了个人剂量检测。建立有个人剂量档案和健康档案，每人1档。

（6）辐射工作人员均已参加国家核技术利用辐射安全与防护考核，且考核合格后上

岗。

（7）每年对辐射工作场所及周围环境进行辐射监测。并按时向生态环境主管部门上报安全防护状况年度评估报告。

医院辐射安全管理档案健全，符合有关法律法规以及生态环境主管部门要求。

1.3 本项目建设规模

为满足医疗诊断需求，医院拟于本部B楼负一层北侧新建核医学科工作场所，核医学科场所利用现有仓库、采购办公室、卫生间、物价管理科等房间进行改造。使用 ^{99m}Tc 开展SPECT 放射诊断，使用 ^{89}Sr 开展放射治疗。外购 ^{99}Mo-^{99m}Tc 发生器淋洗 ^{99m}Tc，^{89}Sr 直接外购。其中使用 ^{99m}Tc 日等效最大操作量为 1.85×10^{7}Bq，使用 ^{89}Sr 日等效最大操作量为 1.85×10^{8}Bq；进行淋洗操作时 ^{99}M$_0$日等效最大操作量为 1.85×10^{7}Bq，^{99m}Tc 日等效最大操作量为 1.85×10^{8}Bq。场所日等效最大操作量 4.07×10^{8}Bq，属乙级非密封放射性物质工作场所。

本项目使用核素情况如下：

表 1-2 核素使用情况

序号	核素名称	日最大操作量（Bq）	日等效最大操作量（Bq）	年最大操作量（Bq）	用途	场所位置	场所日等效最大操作量（Bq）	场所分级
1	^{99m}Tc（使用）	1.85×10^{10}	1.85×10^{7}	4.625×10^{12}	放射诊断	B楼负一层北侧	4.07×10^{8}	乙级非密封放射性物质工作场所
2	^{89}Sr（使用）	1.85×10^{9}	1.85×10^{8}	2.775×10^{11}	放射治疗			
3	^{99}M$_0$（淋洗-母体）	1.85×10^{10}	1.85×10^{7}	4.625×10^{12}	放射诊断			
4	^{99m}Tc（淋洗-子体）	1.85×10^{10}	1.85×10^{8}	4.625×10^{12}	放射诊断			

项目所在院本部地理位置见附图1，项目周边环境关系影像图见附图2，项目所在院本

部平面布置见附图3。

1.4 产业政策符合性分析

本项目属《产业结构调整指导目录（2019 年本）》（2021 年修订）国家发展和改革委员会令第 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”，符合国家当前产业政策。

1.5 实践正当性分析

本项目使用 ^{99m}Tc 开展 SPECT 诊断，用于早期肿瘤、癌症的筛查；使用 ^{89}Sr 用于骨肿瘤转移治疗。项目有利于提高医院的放射诊疗水平，有效提高区域医疗服务水平，总体上大大节省了医疗费用，争取了宝贵的治疗时间，该项目在保障病人健康的同时也为医院创造了更大的经济效益。经分析，其运行过程中产生的辐射影响可以满足国家有关要求。从代价利益分析，项目可行，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 选址合理性分析

根据医院提供的设计资料及现场勘查，新建核医学科工作场所位于医院本部 B 楼负一层北侧，B 楼为地下一层，地上 6 层、局部 3 层和 1 层的建筑。

核医学科上方为放射科和肠道门诊用房；北侧为制剂更衣室、总务仓库、资料库、制剂库、走廊、运营管理部主任办、煎药室、总务用房、卫生间等；西侧为院内空地；南侧为招标办、仓库、采购办仓库、药库、膏方中心、设备间、图书馆等房间；东侧为制剂库、采购办仓库、走廊、图书馆办公室、物料编码室、办公室等，以及院内空地、儿科楼（2 层）。

本项目位于地下层，集中于无人长期居留的建筑物的底层，设置了相应的物理隔离和单独的人员、物流通道。不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，并与非放射性工作场所有明确的分界隔离。核医学工作场所的排风口拟设置在 B 楼楼顶，尽可能远离了周边高层建筑。

放射性废水衰变池拟建于场所西侧地下，建成后地面恢复为硬化地面，建议设置栅栏，悬挂电离辐射警告标志与中文警示说明，可防止无关人员靠近。

综上所述，核医学科选址符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中 5.1 款关于选址的要求。

经报告表分析，工作场所采取了有效的防护措施，周围剂量率及人员受照剂量满足标

准要求。

项目用于医学诊疗，位于医院内，不新增用地。根据医院产权证（青房地权市第201057752号，见附件2），医院所在地用途为医卫慈善。因此本项目选址符合土地利用规划。

综上所述，本项目核医学科工作场所选址合理。

1.7 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，山东第一医科大学第一附属医院（山东省千佛山医院）委托我单位对其核医学科建设项目进行环境影响评价。

根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》，使用乙级非密封放射性物质工作场所的应编制环境影响报告表。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，我单位编制完成了《山东第一医科大学第一附属医院（山东省千佛山医院）核医学科建设项目环境影响报告表》。

表 2 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	^{99m}Tc	液体，半衰期 6.02h，毒性分组为低毒组，衰变类型为 IT 跃迁	使用	1.85×10^{10}	1.85×10^{7}	4.625×10^{12}	放射诊断	很简单的操作	核医学科	盛于铅罐内，暂存于分装质控室
2	^{89}Sr	液体，半衰期 50.5d，毒性分组为中毒组，衰变类型为纯 β 衰变	使用	1.85×10^{9}	1.85×10^{8}	2.775×10^{11}	放射治疗	简单操作	核医学科	盛于铅罐内，暂存于储源间
3	^{99}Mo（淋洗-母体）	液体，半衰期 66.02d，毒性分组为中毒组，衰变类型为 β 衰变	使用	1.85×10^{10}	1.85×10^{7}	4.625×10^{12}	放射诊断	贮存	核医学科	盛于铅罐内，暂存于储源间
4	^{99m}Tc（淋洗-子体）	液体，半衰期 6.02h，毒性分组为低毒组，衰变类型为 IT 跃迁	使用	1.85×10^{10}	1.85×10^{8}	4.625×10^{12}	放射诊断	简单操作	核医学科	盛于铅罐内，暂存于分装质控室

表 3 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	^{99m}Tc	每 2.7 周产生 1.4985×10^{10}Bq	≈0	≈0	≈0	衰变池	经衰变至少 30 天，进入医院污水处理站进一步处理后外排
放射性固体废物	固态	^{99m}Tc	/	≈0	≈0	≈0	放射性废物衰变箱	暂存超过 30 天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，β表面污染小于 0.8Bq/cm^{2}后，作为一般医疗废物处置
		^{89}Sr	/	/	1.51×10^6	45.26Bq/g	放射性废物衰变箱	暂存超过 505 天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，β表面污染小于 0.8Bq/cm^{2}后，作为一般医疗废物处置
剩余放射性药物	液态	^{99m}Tc	/	少量	少量	/	分别储存于铅罐内，置于废物间	暂存超过 30 天可直接解控排放
		^{89}Sr	/	少量	少量	/		厂家回收
废活性炭	固态	^{99m}Tc、^{89}Sr	/	/	/	/	放射性废物衰变箱	交由有资质的单位处置或暂存超过 505 天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，β表面污染小于 0.8Bq/cm^{2}后，作为一般医疗废物处置
放射性废气	气态	^{99m}Tc、^{89}Sr	/	少量	少量	/	/	经活性炭过滤，通过通风系统排至 B 楼楼顶外环境

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^3；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^3）和活度（Bq）

表 4 评价依据

法规文件	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； 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； 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； 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； 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； 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； 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； 8．《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； 9．《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； 10．《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； 11.《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； 12.《实验动物管理条例》，国家科学技术委员会令第2号，1988年发布，2017.3 第三次修订； 13.《关于药物实验动物尸体是否纳入危险废物管理的复函》，环境保护部土壤环境管理司，土壤函[2018]6号，2018.2； 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；

	15.《山东省环境保护条例》，山东省第十三届人大常务委员会第七次会议，2018年11月30日修订，2019.1施行； 16.《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函[2016]430号），环境保护部办公厅，2016年3月7日。
技术标准	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）； 2. 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）； 3.《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）； 4.《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； 5.《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）； 6.《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）； 7.《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）； 8.《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）； 9.《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）。
其他	1.山东第一医科大学第一附属医院（山东省千佛山医院）核医学科建设项目环境影响评价委托书； 2.医院提供的防护设计方案及其他资料； 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）；

表 5 保护目标与评价标准

5.1 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”。

本项目属乙级非密封放射性物质工作场所，因此评价范围核医学工作场所周围 50m 的区域，评价范围见附图 2。

5.2 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、其他就诊患者及偶然经过的其他公众成员。

表 5-1　本项目主要保护目标情况

保护目标		人数	方位、距离	备注
职业人员	辐射工作人员	5 人	核医学科工作场所内	—
公众成员	核医学科所在 B 楼内其他人员	约 300 人	工作场所周围 50m 以内	地下一层、地上 6 层/3 层
	儿科楼内人员	约 100 人	东侧约 25m	2 层
	场所周围经过的其他就诊患者及偶然经过的其他公众	—	工作场所周围 50m 以内	—

5.3 评价标准

5.3.1 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）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 5-2 所列。

表 5-2　工作场所的放射性表面污染控制水平　（Bq/cm^2）

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 1)	4	4×10^{1}	4×10^{1}
	监督区	4×10^{-1}	4	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	4×10^{-1}	4×10^{-1}	4
	监督区			
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10^{-2}	4×10^{-2}	4×10^{-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五十分之一以下时，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 5-3　非密封源工作场所的分级

级别	日等效最大操作量/Bq
甲	$>4\times10^{9}$
乙	$2\times10^{7}\sim4\times10^{9}$
丙	豁免活度值以上～2×10^{7}

②放射性核素的日等效操作量的计算

$$日等效操作量=\frac{实际日操作量\times核素毒性组别修正因子}{操作方式与放射源状态修正因子}$$

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。放射性核素的毒性组别修正因子见下表。

表 5-4　放射性核素毒性组别修正因子

毒性组别	毒性组别修正因子
极毒	10
高毒	1
中毒	0.1
低毒	0.01

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 ALImin(ALImin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 ALImin，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：

$$I_{j,L}=\frac{DL}{e_j}$$

其中：DL—相应的有效剂量的年剂量限值，20mSv/a；

e_j—GB18871-2002 表B3 给出的工作人员放射性核素j的单位摄入量所致的待积有效剂量的相应值。本项目放射性核素排放导出限值见表 5-5。

表 5-5　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) 吸入$e(g)_{j.ing}$	ALImin 一次排放限值 （Bq）	10ALImin 月排放限值（Bq）
^{99m}Tc	2.9×10^{-11}	6.90×10^{8}	6.90×10^{9}

5.3.2 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）

标准 4.2 辐射工作场所分级

应按照 GB18871 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 5-6　核医学常用放射性核素毒性组别修正因子（HJ1188-2021 附录 A）

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 5-7　核医学常见放射性核素状态与操作方式修正因子（节选自 HJ1188-2021 附录 A）

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（液态）	贮存	100
	子体（液态）	简单操作	1
医疗机构使用	^{18}F、^{99m}Tc（液态）	很简单操作	10

标准 4.3 辐射工作场所分区

标准 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。

标准 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。

标准 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。

标准 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。

标准 4.4 剂量限值与剂量约束值

标准 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。

标准 4.4.2 剂量约束值

标准 4.4.2.1 一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过 5mSv/a；

标准 4.2.2.2 公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

标准 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。

标准 5.1 选址

标准 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。

标准 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。

标准 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。

标准 5.2 布局

标准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。

标准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。

标准 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。

标准 6.1 屏蔽要求

标准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。

标准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。

标准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2.5μSv/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10μSv/h。

标准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2.5μSv/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25μSv/h。

标准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2.5μSv/h。

标准 6.1.8 放射性物质贮存在专门场所内，并应有适当屏蔽。

标准7.3.3 放射性废液排放

标准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24h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GB18871中8.6.2规定方式进行排放。放射性废液总排放口总α不大于1Bq/L、总β不大于10Bq/L、碘-131的放射性活度浓度不大于10Bq/L。

5.3.3 《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。

5.3.4 参考《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）

第 6.1 款 个人防护用品、辅助用品及去污用品配备

第 6.1.1 款 个人防护用品和去污用品

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），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 $^{99}Tc^{m}$ 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}Ga、^{18}F 等正电子放射性药物和 ^{131}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 5-8 个人防护用品（节选自标准附录 K.1）

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}I 的场所	放射性污染防护服	—	—
注：“—”表示不需要求，宜使用非铅防护用品。			

附录 K.2 应急及去污用品

主要包括下列物品：一次性防水手套、气溶胶防护口罩、安全眼镜、防水工作服、胶鞋、去污剂和/或喷雾（至少为加入清洗洗涤剂和硫代硫酸钠的水）；小刷子、一次性毛巾或吸水纸、毡头标记笔（水溶性油墨）、不同大小的塑料袋、酒精湿巾、电离辐射警告标志、胶带、不透水的塑料布、一次性镊子。

第 6.1.2 款 辅助用品

根据根据工作内容及实际需要，合理选择使用移动铅屏风、注射器屏蔽套、带有屏蔽的容器、托盘、长柄镊子、分装柜或生物安全柜、屏蔽运输容器/放射性废物桶等辅助用品。

综合考虑以上标准，本次评价以 5.0mSv作为职业人员的年管理剂量约束值，以 125mSv作为职业人员四肢的年当量剂量约束值；以 5mSv作为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作为公众成员年管理剂量约束值；以 2.5μSv/h作为核医学工作场所控制区边界外以及控制区内各房间外 30cm处剂量率控制目标值。

表 6 环境质量和辐射现状

6.1 项目地理及场所位置

青岛市中医医院（青岛市海慈医院、青岛市康复医学研究所）院本部位于青岛市市北区人民路 4 号，本项目核医学科拟建于院本部 B 楼负一层北侧。核医学科所在的地下一层平面布置图见附图 4，相邻的一层平面布置图见附图 5。

本项目场所周围环境详见表 6-1，现场勘查时现状照片见图 6-1。

表 6-1　核医学科周围环境一览表

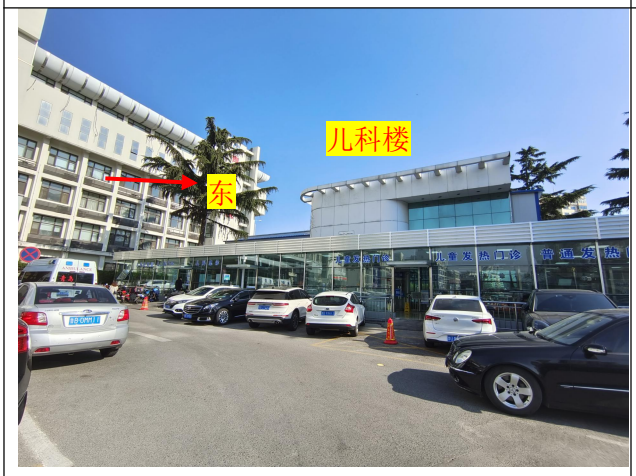
方向	周围场所名称（0～50m）
北侧	制剂更衣室、总务仓库、资料库、制剂库、走廊、运营管理部主任办、煎药室、总务用房、卫生间等
西侧	院内空地
南侧	招标办、仓库、采购办仓库、药库、膏方中心、设备间、图书馆等房间
东侧	制剂库、采购办仓库、走廊、图书馆办公室、物料编码室、办公室等，以及院内空地、儿科楼（2 层）
上方	放射科（CT 室、CR 室）和肠道门诊（药房、化验室、治疗室、腹泻门诊）
下方	——

核医学科所在 B 楼

核医学科拟建区域

核医学科东侧（采购办仓库、走廊、物料编码室、办公室等）

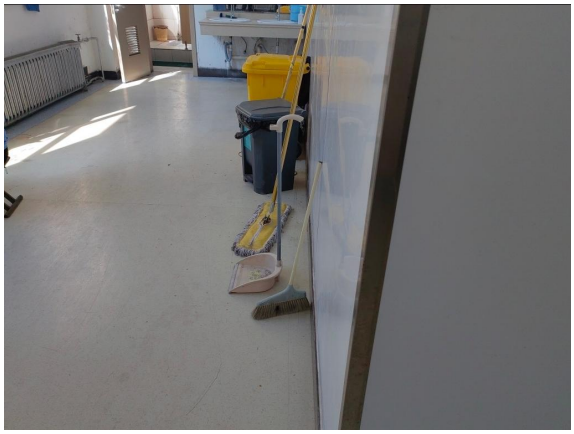
核医学科东侧院内空地



核医学科东侧儿科楼

核医学科西侧院内空地

核医学科南侧（药库、图书馆等）



核医学科上方放射科

图 6-1　现场勘察现状照片（拍摄于 2023 年 3 月 28 日）

6.2 环境天然放射性水平

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，青岛市环境天然 γ

空气吸收剂量率见表 6-2。

表 6-2　青岛市环境天然辐射水平（×10^{-8}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》临沂地区数据，山东省环境监测中心站，1989 年。

6.3 环境质量和辐射现状

本项目利用现有房间进行改造，场所尚未进行建设，根据现场实际情况，对项目拟建区域及周围环境γ辐射空气吸收剂量率、土壤中总β进行现状检测。检测方案如下：

6.3.1 γ辐射空气吸收剂量率

1、检测方案

（1）检测因子

γ辐射空气吸收剂量率。

（2）检测点位

在核医学科拟建区域布设 4 个检测点位，周围及院内布设 8 个检测点位，共 12 个。检测布点示意图见附图 4、附图 3。

（3）质量保证措施

①检测单位

由具备相应检测资质的山东益景检测技术有限公司开展γ剂量率检测，该单位已取得 CMA 资质，已取得生态环境监测机构资质认定。

②检测仪器

设备名称：便携式 X-γ辐射剂量率仪；设备型号：HD-2005；设备编号：A-2020-02；检定证书编号 DLj12023-02574；检定有效期至：2024 年 2 月 28 日；测量范围：1×10^{-8}Gy/h～1×10^{-4}Gy/h；能量响应：30keV～3MeV。

（4）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γ空气吸收剂量率的检测能力。

（5）检测方法

依据《环境γ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。

（6）检测时间与条件

2023 年 4 月 7 日，天气：晴；温度：13.3℃；相对湿度：36.7%。

2、检测结果

γ 辐射空气吸收剂量率现状检测结果见表 6-3。

表 6-3　项目拟建区域及周围环境 γ 辐射空气吸收剂量率检测结果　　单位：×10^{-8}Gy/h

测点编号	点位描述	检测结果	
		环境 γ 空气吸收剂量率	标准差
1#-1	核医学拟建区域内西北侧	10.4	0.6
1#-2	核医学拟建区域内东北侧	12.2	0.7
1#-3	核医学拟建区域内西南侧	11.0	0.6
1#-4	核医学拟建区域内东南侧	11.2	0.7
2#	核医学拟建区域南侧	12.1	0.9
3#	核医学拟建区域东侧	12.0	0.9
4#	核医学拟建区域北侧	11.5	0.7
5#	核医学拟建区域西侧（院内空地）	9.4	0.8
6#	核医学拟建区域上方	9.3	1.0
7#	儿科楼西南侧（院内空地）	9.6	0.8
8#	C 楼东侧（院内空地）	9.7	0.8
9#	A 楼北侧（院内道路）	9.7	0.8
范　围		9.3～12.2	—

注：1.表中检测数据均已扣除宇宙射线响应值

2.宇宙射线响应值为 3.3×10^{-8}Gy/h，建筑物的屏蔽因子，楼房取 0.8、平房取 0.9、原野和道路取 1。

3、环境现状调查结果评价

由表 6-3 可知，项目拟建区域及周围环境 γ 辐射空气吸收剂量率为（9.3～12.2）×10^{-8}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^{-8}Gy/h、室内（3.12～16.16）×10^{-8}Gy/h]。

6.3.2 土壤中总 β 检测

1、检测方案

（1）检测因子

土壤中总 β 。

（2）检测点位

在核医学科拟建区域周围主导风向下风向布设 1 个检测点位，检测土壤中总β。根据项目所在地区气候气象条件，春夏季多东南风，秋冬季多西北风，常年主导风向为东南风，因此在项目拟建区域主导风向下风向（西北侧约 35m 处）取土样进行检测，检测布点示意图见附图 3。

（3）质量保证措施

①检测单位

委托具备辐射检测资质的核工业北京地质研究院分析测试研究中心对土壤中总β进行检测。

②检测仪器

MPC9604 低本底α、β计数仪，仪器编号 17019477。

（4）检测人员

本次采用送样检测方法，由检测单位专业检测人员共同进行实验室分析检测。

（5）检测方法

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

（6）检测时间与条件

土壤中总β：取样时间 2023 年 4 月 12 日，收样日期 2023 年 4 月 14 日，温度 20.5℃，相对湿度 22.6%。

2、检测结果

土壤中总β检测结果见表 6-4。

表 6-4 核医学科周围土壤中总β检测结果

监测点位	监测结果（Bq/g）
核医学科拟建区域西北侧（主导风向下风向）	0.556

由表 6-4 可知，核医学科周围土壤中总β放射性检测结果为 0.556Bq/g，即 556Bq/kg。

表 7 项目工程分析与源项

7.1 施工期

7.1.1 施工期工艺流程简述

本项目施工期建设内容主要为现有场所内墙体拆除、防护工程、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污环节示意图见图 7-1。

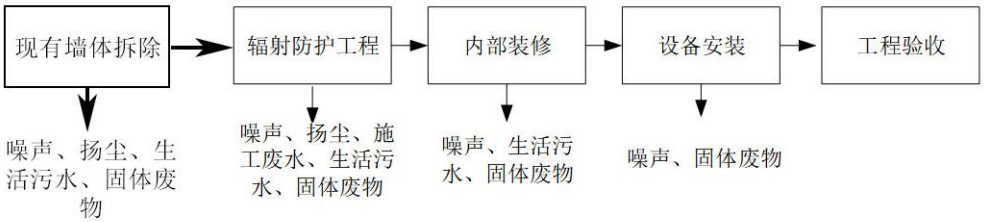


图 7-1　施工期工艺流程及产污环节示意图

7.1.2 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 30 人施工，总施工期约 120 天，用水按每人每天 50L 计算，日用水 0.5m^3/d。废水产生量以 80%计，每天产生生活污水 1.2m^3/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 7.5kg/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。

7.2 营运期

7.2.1 工程设备和工艺分析

本项目核医学科使用 ^{99m}Tc 开展 SPECT 扫描诊断，使用 ^{89}Sr 开展放射治疗。^{99m}Tc 使用外购的 ^{99}Mo-^{99m}Tc 发生器进行淋洗，^{89}Sr 外购。

1.核素使用流程及使用剂量

（1）核素接收与使用

①^{99}Mo-^{99m}Tc 发生器、^{89}Sr 订购、接收与使用

^{99}Mo-^{99m}Tc 发生器、^{89}Sr 均由药物厂家负责运输。医院根据患者预约情况订购药物，核素盛放在厂家提供的铅罐中，由供药单位送至核医学科储源间，由核医学科专人在储源间接收、签字、入库。医院所用 ^{99}Mo-^{99m}Tc 发生器规格最大为 1.85×10^{10}Bq（500mCi），平均每月使用 4 个，每周订购 1 个，年最多购置 50 个发生器 9.25×10^{11}Bq（25Ci）。

医院根据患者患病状况确定用药剂量，在分装质控室手套箱内进行淋洗操作以及 ^{89}Sr 分装操作，使用完的 ^{99}Mo-^{99m}Tc 发生器及随药铅罐由核素供应厂家回收。

分装后的 ^{99m}Tc、^{89}Sr 药物使用注射器防护套和注射器防护提盒转移至注射窗处，对患者实施注射。

^{99m}Tc 注射后的患者进入注射后候诊室，休息一定时间后，进行 SPECT 扫描诊断。扫描后患者直接离开或经留观后离开；注射 ^{89}Sr 的患者可直接离开或经留观后离开。

（2）核素使用方案

①^{99m}Tc（SPECT 诊断）

根据医院提供资料，SPECT 诊断每日最多接诊 25 人次，每周开展 5 天，一年 50 周，年开展 250 天，年最多接诊 6250 人次，年淋洗 250 次。

每位患者一次用 ^{99m}Tc 活度范围一般为 1.85×10^{8}Bq～7.4×10^{8}Bq 即（5～20mCi），则日最大操作量为 $25\times7.4\times10^{8}=1.85\times10^{10}$Bq（500mCi），年最大操作量为 $6250\times7.4\times10^{8}=4.625\times10^{12}$Bq（125Ci）。

③^{89}Sr治疗

每位骨肿瘤患者注射 ^{89}Sr最大为 1.85×10^{8}Bq(5mCi)，每日最多治疗 10 人次，每周开展三天，周最多治疗 30 人次，每年最多接诊 1500 人次，则日最大操作量为 $10\times1.85\times10^{8}=1.85\times10^{9}$Bq（50mCi），年最大操作量为 $1500\times1.85\times108=2.775\times10^{11}$Bq（7.5Ci）。

核医学科核素使用方案如下：

表 7-1　本项目核素使用方案

核素	每人最大用量	日最大接诊量	日最大操作量	门诊安排	年最多接诊量	年最大用量
^{99m}Tc	7.4×10^{8}Bq（20mCi）	25 人次	1.85×10^{10}Bq（500mCi）	5 天/周 250 天/年	6250 人次	4.625×10^{12}Bq（125Ci）
^{89}Sr	1.85×10^{8}Bq（5mCi）	10 人次	1.85×10^{9}Bq（50mCi）	3 天/周；250 天/年	1500 人次	1.48×10^{11}Bq（4Ci）
核素	规格	使用量	日最大操作量	操作次数	年用量	年最大操作量
^{99}Mo	1.85×10^{10}Bq（500mCi）	一周 1 个	1.85×10^{10}Bq（500mCi）	每天淋洗一次	50 个	9.25×10^{11}Bq（25Ci）

2. 工作原理和工艺流程

（1）使用 ^{99m}Tc 进行 SPECT-CT 扫描诊断

①SPECT诊断原理

SPECT 的全称是单光子发射计算机断层扫描仪（Single-Photo Emission Computed Tomography），其使用 ^{99m}Tc 进行诊断的基本原理是：受检者注射 ^{99m}Tc 药物，^{99m}Tc 在特定的器官或组织发射出能量为 140keV 的光子（γ 射线），穿过组织器官后到达 SPECT 探测器。SPECT 使用低能准直器对 γ 射线进行准直，通过闪烁体将 γ 射线能力转换为光信号，再通过光电倍增管将光信号转化为电信号并进行放大，得到的测量值代表在该投影线上的放射性大小，再利用计算机从投影求解断层图形。其主要的功能特点是：除了显示脏器形态结构外，更重要的是可观察到脏器血流灌注、功能和代谢的变化。临床主要应用于骨骼显像、心脏灌注断层显像、甲状腺显像、肾动态显像等。

SPECT 主要由三部分组成，即探头、旋转运动机架、计算机及其辅助设备。探头部分主要由准直器、晶体、光导、光电倍增管、模拟定位计算电路组成。

②使用 ^{99m}Tc 进行 SPECT 扫描诊断流程

A、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，根据患者预约量以及患者病情，确定处方剂量。

B、根据患者预约量以及患者病情，订购 ^{99m}Tc。

C、患者按照约定时间，在用药前候诊区等候，等待叫号；

D、医护人员穿戴好防护用品，在分装质控室手套箱中进行药物淋洗、分装，医护人员取分装后的 ^{99m}Tc 在注射窗对病人进行静脉注射。患者经患者走廊至注射窗处接受注射；

E、注药后的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；

F、患者进入 SPECT 机房，工作人员进入 SPECT 机房指导患者摆位。工作人员撤离，患者接受 SPECT 扫描检查（约 20 分钟）；

G、检查结束后，患者从病人专用通道离开。

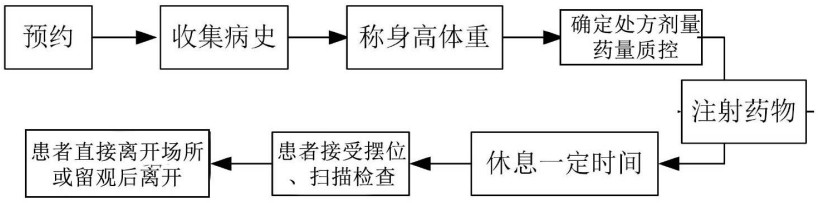


图 7-2 SPECT 患者诊断流程简图

（3）^{89}Sr 治疗

①治疗机理

^{89}Sr 是钙族元素，为一种亲骨性放射性核素，进入体内后同钙一样参加骨矿物质的代谢过程，静脉给药后，恶性肿瘤骨转移病灶内的摄取率大于正常骨组织的 2～25 倍，并滞留在癌灶中，发射平均能量为 1.463MeV 的 β 射线，在组织中最大穿透能力为 8mm，半衰期为 50.5 天，其辐射效应杀伤癌细胞，缩小病灶，起到良好的镇痛作用。

②治疗流程

A、接受患者预约后，医院收集病人病史，并对病人做常规检查，确定处方剂量；

B、根据患者预约量以及患者病情，订购 ^{89}Sr 药物；

C、患者按照约定时间，在用药前候诊区等候，等待叫号；

D、医护人员在分装质控注射室手套箱内进行手动分装，然后对患者进行静脉注射或局部（关节）注射。患者经患者走廊至注射窗处接受注射；

E、患者用药后经观察，无异常情况，可离开核医学科。

两种核素治疗安排不同的时间集中治疗，通过时间管理，^{99m}Tc 就诊患者和 ^{89}Sr 就诊患者错开就诊。

7.2.2 污染源项描述

1、核素特性

（1）^{99m}Tc

核素 ^{99m}Tc 为 ^{99}Tc 的同质异能素，IT%≈100%，半衰期为 6.02 小时，低毒组，主要获取方式：^{99}Mo 衰变子体。^{99m}Tc 发生 IT 跃迁时释放 γ 射线，能量为 145.5keV，裸源周围剂量当量率常数为 0.0303 μSv・m^2/MBq・h。其子体为核素 ^{99}Tc，^{99}Tc 发生 β 衰变，^{99}Tc 的半衰期为 2.14×10^5 年。^{99m}Tc 的衰变纲图如下：

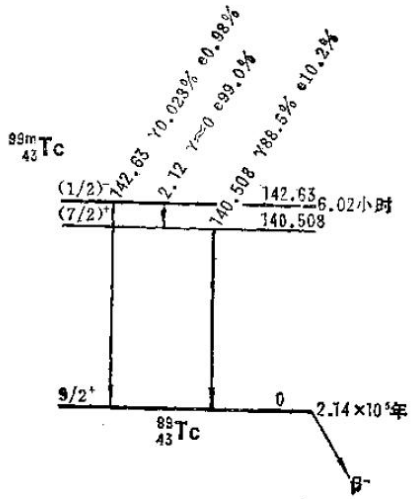


图 7-3 ^{99m}Tc 衰变纲图

^{99m}Tc 源于 ^{99}Mo-^{99m}Tc 发生器。 ^{99}Mo-^{99m}Tc 发生器中附在 Al_2O_3 粒子上的母体 ^{99}Mo 衰变产生的子体 ^{99m}Tc，其中大部分以 $^{99m}TcO_4^-$ 形式存在，用生理盐水淋洗 Al_2O_3，$^{99m}TcO_4^-$ 即被洗下来，收集淋洗液相应活度可直接或用药合标记供受检者静脉注射，用以对患者不同脏器进行诊断检查。^{99m}Tc 与 ^{99}Tc 为同质异能素，是 ^{99}Mo（$T_{1/2}$=66.02h）经 β 衰变的子体产物。

（2）^{89}Sr

^{89}Sr 发射纯 β 射线，β 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 50.5d，属于中毒组。衰变纲见下图：

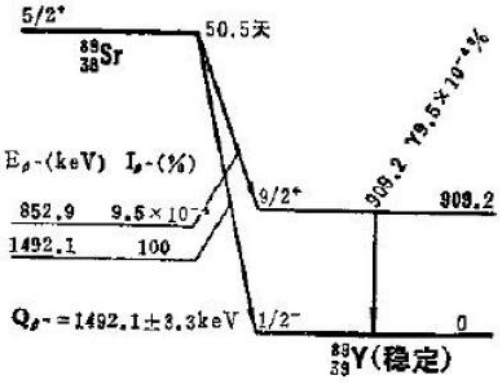


图 7-4 ^{89}Sr 衰变纲图

2、污染因素

（1）γ射线

^{99m}Tc 发生 IT 跃迁时释放γ射线，γ射线穿透能力较强，可能会对周围环境会造成一定的辐射影响。

（2）β射线

^{99m}Tc 的子体 ^{99}Tc、^{89}Sr、^{99}Mo 在衰变过程中释放出β射线，β射线在空气及人体组织中射程均较短，相对于γ射线，较容易防护，不会对环境产生辐射污染。

（3）韧致辐射

^{89}Sr 发射纯β射线，β射线被放射源本身以及源周围的其他物质阻止时产生韧致辐射，韧致辐射会对周围环境产生辐射污染，^{89}Sr 主要考虑韧致辐射影响。

（4）β表面污染

根据核素特性，本项目涉及核素均为β型核素，项目所用核素均为液体制剂，工作人员在操作非密封放射性物质时，尤其是淋洗、分装时，可能因撒漏，引起工作台、地面等放射性沾污，造成β放射性表面污染。

（5）放射性废气

项目涉及核素均不属于挥发性核素，且放射性药物均为液体，暂存和施药时储存于密闭容器中，挥发量极少。淋洗和分装时可能产生极少量挥发性放射性废气，此过程在负压手套箱中进行。

（6）放射性废水

患者注射 ^{99m}Tc 放射性药物后，所产生的排泄物（包括呕吐物）及冲洗水等含有放射性核素。另外，日常清洗去污或事故情况下清洗均可产生放射性废水。其中注射 ^{89}Sr 的患者整个治疗流程较短，注射后停留时间短，其就诊过程产生的废水可忽略不计。

分装质控室、患者专用卫生间、卫生通过间等均设有专用下水管道，收集放射性废水至衰变池。

（7）放射性固体废物

放射性固体废物主要有四类，第一类为诊疗、操作过程中沾染核素的注射器、针头、导管、手套、药棉、纱布、吸水纸、破碎杯皿、擦拭表面污染的抹布等；第二类为使用完的 ^{99}Mo-^{99m}Tc 发生器；第三类为衰变池沉渣；第四类为放射性废气处理系统更换的废活性炭。

（8）剩余放射性药物（^{99m}Tc、^{89}Sr）

本项目放射性药物均为液态，如诊疗区患者不及时就诊，可能有少量放射性药物剩余。

综合上述分析，本项目主要影响因子为γ射线、β表面污染、韧致辐射、放射性废气、放射性废水、放射性固体废物、放射性废液（剩余药物）。

表 8 辐射安全与防护

8.1 项目安全措施

8.1.1 场所布局

本项目核医学科工作场所位于院本部 B 楼负一层北侧，放射性废水处理系统拟建于该场所西侧地下。

核医学科工作场所主要包括储源间、废物间、分装质控室、卫生通过间、注射区、注射后候诊室、SPECT 机房及其控制室、留观室（兼抢救室）、患者走廊、污洗间、用药前候诊区、医生办公室、更衣室、护士站等，注射后候诊室和留观室内均设有患者专用卫生间。

核医学工作场所平面布置图见附图 6。

核医学科根据就诊流程，合理设计场所布局，放废间、储源间、分装质控室、注射区等区域相对集中，防止交叉污染。注射后候诊室、留观室等房间能够有效限制给药后患者的活动空间。用药后的患者走廊与医护通道分开，用药前和用药后的患者不交叉。外购放射性核素与 ^{99}Mo- ^{99m}Tc 发生器送入通道与人员通道不交叉；放射性药物通道以及放射性固体废物运输通道设计紧凑、便捷。各出入口设计门禁，控制无关人员进入和控制用药后的患者随意流动。控制区医护人员出入口设计有卫生通过间，卫生通过间内设置防护用品、可更换衣物、冲洗设施和淋浴、表面污染监测设备，控制区内设置有患者专用卫生间。患者离开出口处为院内空地，出口未设置在门诊大厅或收费处等人员稠密区域。

综上所述，核医学场所布局满足《核医学辐射防护与安全要求》HJ1188-2021 第 5.2 款布局的有关要求。

8.1.2 屏蔽设计

根据建设单位提供的资料，本项目核医学场所各房间屏蔽设计具体见表 8-1。

表 8-1 核医学场所屏蔽设计

场所名称	尺寸（m）	面积（m^2）	四周墙体	室顶	门铅当量	其他
分装质控室	4.4×3.0	13.2	370mm 实心红砖+30mm 硫酸钡	120mm 混凝土+相当于 1mmPb 的钡板	西侧 2 个门，均为 5mmPb	注射窗为 5mmPb
注射区	4.05×2.0	8.1	370mm 实心红砖+30mm	120mm 混凝土	5mmPb（通往注射后候诊室）	

			硫酸钡			
储源间	2.5×1.35	3.38	370mm 实心红砖+30mm 硫酸钡	120mm 混凝土+相当于 1mmPb 的钡板	5mmPb（西侧防护门）	—
废物间	2.5×1.35	3.38	370mm 实心红砖+30mm 硫酸钡	120mm 混凝土	5mmPb（西侧防护门）	—
注射后候诊室（含患者卫生间）	4.05×6.43	24.83	370mm 实心红砖+30mm 硫酸钡	120mm 混凝土+相当于 1mmPb 的钡板	5mmPb（西侧 1 个门，北侧 1 个门）	—
SPECT 机房	6.7×5.93	39.73	370mm 实心红砖+30mm 硫酸钡	120mm 混凝土	5mmPb（西侧 1 个门、南侧 1 个门）	观察窗为 5mmPb
留观室（兼抢救室）	6.7×2.5	16.75	370mm 实心红砖+30mm 硫酸钡	120mm 混凝土+相当于 1mmPb 的钡板	5mmPb（南侧 1 个门、北侧 1 个门）	—
患者走廊 1	2.6×8.63	22.44	370mm 实心红砖+30mm 硫酸钡	120mm 混凝土	5mmPb（患者入口门）	—
患者走廊 2	2.3×8.63	19.85	370mm 实心红砖+30mm 硫酸钡	120mm 混凝土+相当于 1mmPb 的钡板	5mmPb（侧患者出口门）	—
污洗间	1.0×1.0	1	370mm 实心红砖+30mm 硫酸钡	120mm 混凝土	5mmPb	—
注：1、实心红砖密度 1.65g/cm^3，混凝土密度 2.35g/cm^3、所用硫酸钡密度不低于 2.7g/cm^3； 2、核医学科相关房间净高约为 3.5m。						

8.1.3 场所分级、分区

（1）场所分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C 规定的非密封源工作场所分级标准，进行分级。附录 C 提供的非密封源场所放射性核素日等效最大操作量计算公式如下：

$$日等效操作量=\frac{实际日操作量\times核素毒性组别修正因子}{操作方式与放射源状态修正因子}$$

核医学科核素日等效最大操作量计算结果见下表：

表 8-2　放射性同位素日等效最大操作量计算表

序号	核素	日最大操作量（Bq）	毒性组别修正因子	操作方式与放射源状态修正因子	日等效最大操作量（Bq）	场所日等效最大操作量（Bq）
1	^{99m}Tc（使用）	1.85×10^{10}	0.01（低毒组）	10（很简单的操作）	1.85×10^{7}	4.07×10^{8}
2	^{89}Sr（使用）	1.85×10^{9}	0.1（中毒组）	1（简单操作）	1.85×10^{8}	
3	^{99}Mo（淋洗-母体）	1.85×10^{10}	0.1（中毒组）	100（贮存）	1.85×10^{7}	
4	^{99m}Tc（淋洗-子体）	1.85×10^{10}	0.01（低毒组）	1（简单操作）	1.85×10^{8}	

注：毒性组别修正因子、操作方式与放射源状态修正因子等根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）附录 A，具体见表 5-6、表 5-7。

根据上表计算结果，核医学场所日等效最大操作量为 4.07×10^{8}Bq，属于乙级非密封放射性物质工作场所（GB18871-2002 规定的乙级场所日等效最大操作量范围：2×10^{7}～4×10^{9}Bq）。

（2）分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）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《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）以及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中 4.4 款规定。医院拟将核医学场所划分为“控制区”和“监督区”两区管理。监督区和控制区划分示意图见附图 6。

①控制区

医院拟将核医学科工作场所分装质控室、储源间、废物间、注射区、注射后候诊室、SPECT 机房、留观室（兼抢救室）、污洗间、患者走廊、放射性废水处理系统内部等划为控制区。

②监督区

医院拟将核医学科工作场所用药前候诊区、卫生通过间、控制室、护士站、医生办公室、更衣室等与控制区相邻的区域划为监督区。

（3）控制区和监督区采取的防护管理措施

②控制区：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、在控制区进入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。

③监督区：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。

同时，核医学场所内地面设置患者和医护人员导流指示标志。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、物流通道

核医学科人流路径分为医护通道、患者通道、物流通道，各通道分开不交叉。

①人流路径

医护人员路径：

医护人员由核医学科入口进入场所，经医护通道、卫生通过间、进入分装质控室以及废物间和储源间，工作完成后，再经卫生通过间、医护通道、核医学科入口离开。部分医护人员经医护通道进入护士站、医生办公室、值班室、控制室等房间，工作完成后，再经医护通道离开。

患者路径：患者由核医学科入口进入场所，经患者入口、患者走廊 1 进入注射区、注射后进入注射后候诊室，然后进入 SPECT 机房，扫描后穿过留观室经患者走廊 2、患者出口直接离开，或者扫描后进入留观室，经留观再由患者走廊 2、患者出口离开。

②物流路径

^{99}Mo-^{99m}Tc 发生器和放射性药物 ^{89}Sr 储源间西侧防护门送至储源间。

放射性废物路径：放射性废物统一集中至废物间衰变箱内暂存，衰变后经检测达到解

控水平，可按一般医疗废物处理。运输放射性废物的人员在放废间进行废物的简单打包处理后，经废物间、储源间将废物带离。

核医学场所人流、物流示意图见附图6。

8.2.防护设施与措施

8.2.1 安全防防护措施

除了工作场所分级、分区管理，实体屏蔽外，核医学工作场所拟采取以下安全与防护措施：

1、易清洗表面

核医学场所控制区及监督区内各设备表面、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，地面拟采取PVC材质；

2、其他

（1）分装质控室：设置1个手套箱，用于^{99m}Tc淋洗和分装、^{89}Sr分装以及质控；尺寸约为1.5m×0.5m×2.0m，不锈钢外壳，正面铅玻璃和铅钢复合板作为防护，其他防护面以铅钢复合板作为防护，防护能力为5mmPb；1个铅罐（5mmPb）；若干注射器防护套（5mmPb）；2个注射器防护提盒（5mmPb）；1台活度计；分装质控室设置门禁、监控；

（2）注射区设置1个移动式注射防护屏（5mmPb）、1个放射性固体废物收集桶（5mmPb）；

（3）注射后候诊室：座椅间设置2mmPb移动铅屏风，建议不少于6个，减少患者之间的照射；1个放射性固体废物收集桶（5mmPb）；

（4）留观室（兼抢救室）：设置2个移动铅屏风（2mmPb）、1个放射性固体废物收集桶（5mmPb）；

（5）废物间：设置2个衰变箱（5mmPb）；

（6）核医学科医护人员每人拟配置1只个人剂量计，拟配置2部个人剂量报警仪、2台表面污染监测仪，1台便携式辐射剂量率监测仪。

使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；

（7）医护人员配置必要的个人防护用品。

配备铅衣、铅围裙、铅围脖、铅帽及铅玻璃眼镜、放射性污染防护服。

（8）应急去污用品

配置一次性防水手套、气溶胶防护口罩、安全眼镜、防水工作服、胶鞋、去污剂或喷雾；小刷子、一次性毛巾或吸水纸、毡头标记笔、不同大小的塑料袋、酒精湿巾、电离辐射警告标志、胶带、不透水塑料布、一次性镊子。

（9）储源间、废物间、分装质控室、控制区出入口等均设置门禁，无关人员不得入内，并建立放射性药物贮存、使用台账。

（11）^{89}Sr 放射性药物在运输过程置于供货方提供的专门屏蔽容器铅罐或者铅箱内，起到防护和固定作用。

（12）SPECT 机房防护门外设计工作状态指示灯，门与灯联动，门外张贴电离辐射警告标志。

完善以上措施后满足 HJ1188-2021 第 6.2.1 款～第 6.2.5 款、6.2.9 款要求。

8.2.2 放射性废水收集、处理系统

（1）放射性废水收集系统

核医学科卫生通过间、患者专用卫生间、污洗间产生的放射性废水经专用放射性废水收集管道收集，先进入沉淀池，再经提升泵排入衰变池。放射性废水管道采用 2mm 铅皮或铅板防护。

放射性废水收集管道出场所后，在土层下约 1m 地下敷设至槽式放射性废水处理系统。放射性污水管道处做标记，便于检测和检修。根据设计图纸可知，废水收集管道转弯处较少，采取了尽量短的路径，优化设计，尽量避免废水滞留。

核医学科上水拟配备洗消处理设备，控制区和卫生通过间内的淋浴间、盥洗水盆、清洗池等拟采取自动感应式开关，以减少场所内设备的放射性污染。头、眼和面部拟采用向上冲淋的流动水。

综上所述，放射性废水收集系统满足 HJ1188-2021 中 7.3.1 款中有关放射性废液收集的要求。

放射性废水收集系统示意图见附图 7。

（2）放射性废水处理系统

医院拟于核医学场所西侧（见附图 3）地下建设一套槽式放射性废水处理系统，用于处理核医学工作场所产生的放射性废水，该区域四周均为医院空地，地上拟设置栅栏，防止无关人员靠近。且放射性废水处理系统靠近本项目核医学场所，可有效防止下水道较长导致管道内废水堆积等问题发生。

放射性废水处理系统设计有 1 个沉淀池、3 个独立的衰变池、1 个阀门井，沉淀池有效容积为 1m³，单个衰变池有效容积均不低于 5m³。衰变池并联交替贮存，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，当自动控制系统出现故障时发生预警，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，发生故障时可手动操作。自动控制系统主机和显示屏计划设置在医生办公室。沉淀池和衰变池均采用 C30 抗渗混凝土建造，各池四周、底部及顶部均设置 20cm 混凝土予以防护，并做防渗处理，保证衰变池兼顾、耐酸碱腐蚀、防泄露，且内壁光滑。同时各衰变池和沉淀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；各衰变池均设计有液位传感器。防止废液溢出，防止污泥硬化淤积和堵塞进出水口，防止衰变池超压。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。排水口处预留取样口和取样井，便于对衰变后废水进行取样检测。

放射性废水处理系统工作流程如下：废水经沉淀池后，排到 1#或 2#或 3#衰变池，3 个衰变池交替使用。

1#衰变池进水电动控制阀打开，1#出水控制阀及 2#和 3#衰变池进水和出水控制阀均关闭；放射性废水进入 1#衰变池内，当液面到达设定高度，自动关闭 1#衰变池进水控制阀；2#衰变池的进水控制阀打开，出水控制阀保持关闭，当 2#衰变池液位到达设定高度时，自动关闭 2#衰变池进水控制阀；3#衰变池的进水控制阀打开，出水控制阀保持关闭，当 3#衰变池液位到达设定高度时，自动关闭 3#衰变池进水控制阀。此期间 1#衰变池达到设定的贮存时间后打开排水控制阀，将废水通过排水管道排入医院污水处理站。当 1#衰变池水位低至一定程度后，关闭出水控制阀，等待接纳新产生的废水。3 个衰变池依次交替贮存。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。

综上所述，放射性废水处理暂存处理系统满足 HJ1188-2021 中 7.3.2 款关于放射性废液贮存的要求。

放射性废水处理系统示意图见图 8-1。

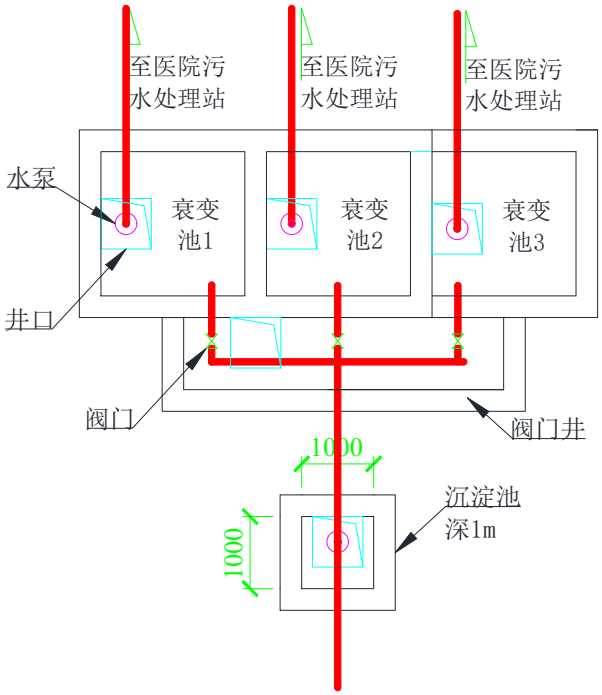


图 8-1 放射性废水处理系统简图

8.2.3 密闭和通风设计

核医学工作场所设计有专用通风系统，并分别设置了场所排风系统和手套箱排风系统。

（1）核医学工作场所设计有专用通风系统，按照气流由清洁区向监督区、再向控制区的方向设计，使控制区内保持负压，清洁区、监督区和清洁区之间保持一定的压差，可防止放射性废气交叉污染。控制区内各房间均设置通风管道，各房间的场所排风管道汇集后自场所西侧出核医学场所后，向上高于 B 楼楼顶排放，即高于 B 楼 6 层区域的楼顶排放，记为排气筒 1。

（2）核素操作（淋洗、分装、质控等）均在密闭的手套箱内进行，操作时手套箱内保持负压。手套箱设置单独的排气管道，手套箱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。手套箱的通风管道自场所西侧出核医学场所后，向上高于 B 楼楼顶排放，即高于 B 楼 6 层区域的楼顶排放，记为排气筒 2。

（3）根据设计资料，通风系统风速不小于 0.5m/s。最终排放口高于 B 楼楼顶排放。

（4）场所排风管道末端、手套箱顶壁均设置活性炭高效过滤装置。活性炭过滤装置拟采取柱状颗粒活性炭，碘值＞800mg/g，去除效率不低于 80%，拟根据厂家推荐的使用时间定期进行更换。建议在活性炭前后设置气压计，获取压差，便于提示更换活性炭。

本项目通风设计可满足 HJ1188-2021 第 6.3 款关于密闭和通过风的要求，本项目放射性废气收集排放管道示意图见附图 7。

8.2.4 剩余核素收集、贮存设施

剩余放射性药物（^{99m}Tc、^{89}Sr）盛放在铅罐中，暂存于废物间。

8.2.5 放射性固体废物收集、贮存设施

（1）被污染的注射器、针管、针头、棉签、手套、药棉、纱布、吸水纸、破碎杯皿及擦拭表面污染的一次性抹布等，利用放射性废物桶进行收集。拟于分装质控室设置 2 个放射性废物收集桶（1 个用于 ^{99m}Tc 废物、1 个用于 ^{89}Sr 废物）、注射区设置 2 个放射性废物收集桶（1 个用于 ^{99m}Tc 废物、1 个用于 ^{89}Sr 废物）、注射后候诊室设置 1 个放射性废物收集桶（用于 ^{99m}Tc 废物）、留观室设置 2 个放射性废物收集桶（1 个用于 ^{99m}Tc 废物、1 个用于 ^{89}Sr 废物），放射性废物收集桶均为 5mmPb、5L。拟于废物间设置 6 个衰变箱用于此类废物暂存衰变，其中 3 个（5mmPb、单个 40L）用于 ^{99m}Tc 放射性固体废物暂存衰变，3 个（5mmPb、单个 100L）用于 ^{89}Sr 放射性固体废物暂存衰变。各房间每天收集的放射性固体废物转入废物间相应的衰变箱。

（2）使用完的 ^{99}Mo-^{99m}Tc 发生器使用厂家提供的防护铅罐，暂存于废物间。

（3）放射性废物桶内放置专用塑料袋，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。

放射性废物收集桶及衰变箱外均张贴电离辐射标志，密封加盖。同时废物间内安装有通风换气装置，其防护门外张贴电离辐射警告标志，安装有门禁，废物间内不存放易燃、易爆、腐蚀性物品。

（4）衰变池内的大部分沉渣随放射性废水经设定的衰变时间后达到解控水平，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。

（4）放射性废气处理系统更换的废活性炭属于放射性固体废物，交由有资质的单位处置，或置于废物间内暂存衰变。采取暂存衰变处置时，废物间内 1 个衰变箱，用于手套箱通风系统、场所排气筒更换的废活性炭暂存，废活性炭暂存至少 505 天，经检测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于废物间暂存，废物间防护门及墙体均具有屏蔽能力，同时放射性废物收集桶和衰变箱均具有屏蔽能力，本报告表要求医院定期对放射性废物收

集桶和衰变箱外表面 30cm 处的剂量率进行检测，确保低于 2.5μSv/h，以满足 HJ1188-2021 第 6.1.7 款、第 6.1.8 款要求。

医院拟按照 HJ1188-2021 相关规定进行管理，放射性固体废物在经设定时间存放并检测达标后可达到解控水平（辐射剂量率满足所处环境本底水平，β表面污染小于 0.8Bq/cm^2），按照一般医疗废物处理。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、入库时间、出库时间和监测结果等。

综上所述，本项目放射性固废的管理措施可满足 HJ1188-2021 第 6.1.7 款、6.1.8 款的屏蔽要去，也满足 7.2.1 款～第 7.2.3 款有关放射性固体废物收集和贮存要求。

8.2.6 其他防护措施

核医学场所内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；SPECT 机房与其控制室之间、注射后候诊室、留观室设计有监控设备和对讲装置，SPECT 机房防护门均设计有闭门装置、工作状态指示灯，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。

8.3 三废的治理

8.3.1 放射性废气

本项目放射性废气产生量极少，核医学工作场所内设计有满足标准要求的专用通风系统，排风口高于所在 B 楼楼顶，尽可能远离了周围高层建筑，对周围环境和周围人员影响较小。

8.3.2 放射性废水

核医学工作场所产生的放射性废水拟由专用管道收集，排至核医学场所西侧放射性废水处理系统中的衰变池，在衰变池停留衰变满足设定时间和排放限值要求后，排至医院污水处理站进一步处理。

8.3.3 剩余核素

剩余放射性药物（^{99m}Tc、^{89}Sr）在铅罐中存放，其中 ^{99m}Tc 在废物间存放超过 30 天后可直接解控排放；^{89}Sr 置于随药铅罐中，连同铅罐一并由厂家回收。

8.3.4 放射性固体废物

（1）诊疗、操作过程中沾染核素的注射器、针管、针头、棉签、手套、药棉、纱布、吸水纸、破碎杯皿及擦拭表面污染的抹布等放射性固体废物在废物间衰变箱中进行贮存衰变，衰变至解控水平后，按一般医疗废物处理。

（2）衰变池内的大部分沉渣经设定时间衰变后可达到解控水平，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。

（3）使用完的 ^{99}Mo-^{99m}Tc 发生器使用厂家提供铅罐在废物间暂存，由厂家回收。

（4）通风系统更换下的废活性炭直接交由有资质的单位处置，或者在衰变箱内暂存设定时间，达到清洁解控水平后按照一般医疗废物处置。自行暂存衰变需满足的暂存时间为 505 天。

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

表 9 环境影响分析

9.1 施工期环境影响分析

本项目施工期主要包括现有墙体拆除、工作场所辐射防护工程建设、内部装修和设备安装等，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；生活污水排入医院内部的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。

9.2 运行阶段对环境的影响

9.2.1 辐射水平预测

1、估算公式

①参考《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中的附录 I，有辐射屏蔽时，随距离变化的空气吸收剂量率计算公式见式 9-1。

$$H_0 = \frac{A \cdot \Gamma}{r^2 \times 10^{x/TVL}} \cdots \text{（式 9-1）}$$

式中：

x　屏蔽体实际屏蔽厚度，单位为毫米（mm）；

TVL　γ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）；

Γ　距源 1m 处的周围剂量当量率常数，单位为μSv·m^2/MBq·h；

H_0　屏蔽体外关注点处剂量率，单位为微希沃特每小时（μSv/h）；

r　参考点与放射源间的距离，单位为米（m）。

②根据（式 9-1），无辐射屏蔽时，随距离变化的空气吸收剂量率计算公式见下式：

$$H_0 = \frac{A \cdot \Gamma}{r^2} \qquad \text{（式 9-2）}$$

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：

$$A=A_0 \times 2^{-t/T} \cdots \text{（式 9-3）}$$

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。

④根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中的附录 L，患者或者受检者家人或探访者与受检者接触的距离（＜3m）时，接触者所受剂量：

$$D = A_R D_1 t/(1000R^{1.5}) \quad （式 9-4）$$

D 患者或受检者家人或探访者接受的剂量，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，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，μSv·m^2/(h·MBq)；

R 患者或受检者家人或探访者离患者或受检者的距离，m。

2、核素操作过程中辐射水平预测

（1）^{99m}Tc

^{99m}Tc 患者最大用药量为 20mCi，根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 H 中的表 H.1，距 ^{99m}Tc 源 1m 处的周围剂量当量率常数 Γ=0.0303 μSv·m^2/MBq·h（裸源），单位活度所致患者 1m 处剂量率为 0.0207 μSv·m^2/MBq·h；根据 GBZ120-2020 中表 I.1，铅对 ^{99m}Tc γ射线的 TVL 为 1mm，混凝土为 110mm、实心砖为 160mm。

①发生器淋洗、转移、暂存过程

本项目 $^{99}M_0$-^{99m}Tc 发生器柱最大活度 1.85×10^{10}Bq（500mCi），发生器色谱柱外面有 40mm 的铅防护。根据式 9-1，经色谱柱外的铅屏蔽后，发生器外 1m 处辐射剂量率为(1.85×10^4×0.0303)/(1^2×$10^{40/1}$)≈5.61×10^{-38} μSv/h，该剂量率较小，可忽略不计。^{99}Mo-^{99m}Tc 发生器在手套箱内进行淋洗，手套箱防护能力为 5mmPb，再经手套箱屏蔽后周围剂量率可基本忽略不计，因此 $^{99}M_0$-^{99m}Tc 发生器转移、淋洗、暂存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 款要求的设备外表面人员操作位剂量率低于 2.5 μSv/h，非正对人员操作位剂量率低于 25 μSv/h。

②分装、取药、注射过程

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，虽然所用手套箱防护能力不同，但分装、取药时手套箱手孔为打开状态，因此也具有可类比性。类比对象检测时注射过程中未使用注射器防护套，

注射器无屏蔽能力，本项目配置有注射器防护套，因此可保守条件下进行类比。类比检测结果如下：

表 9-1 类比项目操作 ^{99m}Tc 过程中人员受照剂量率监测结果　单位：μGy/h

核素	工作过程	点位描述	检测结果		备注
			γ剂量率	标准偏差	
^{99m}Tc	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	
	注射	身体	13.79	0.85	20mCi
		手部	68.6	0.82	

注：1.注射 ^{99m}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，检测时检测部位选在个人防护用品外进行检测。

根据类比项目检测结果可知，在分装 40mCi 的 ^{99m}Tc 时，职业人员身体部位剂量率为 40.1μGy/h，本项目建成后最大分装量为 500mCi，按照该最大工况折算，则职业人员身体部位剂量率为(500×40.1/40)×$10^{-(0.5)/1}$≈158.51μGy/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剂量率：500×68.6/20=1715μGy/h。

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，因此根据类比检测结果可知，取药过程中身体部位剂量率为 522.4×$10^{-(0.5/1)}$≈165.2nGy/h≈0.165μGy/h、手部剂量为 1.90μGy/h；注射过程中身体部位剂量率为 13.79×$10^{-(0.5/1)}$≈4.36μGy/h、手部剂量率为 68.6μGy/h。

综上所述，只考虑铅衣屏蔽，不考虑注射器防护套屏蔽条件下，职业人员在进行 ^{99m}Tc 操作过程中所受剂量率如下表所示：

表 9-2 诊疗区操作 ^{99m}Tc 过程中人员受照剂量率　单位：μGy/h

核素	工作过程	点位描述	防护	γ剂量率	备注
^{99m}Tc	分装	身体	0.5mmPb 铅衣	158.51	500mCi
		手部	—	1715	
	取药	身体	0.5mmPb 铅衣	0.165	20mCi
		手部	—	1.90	
	药物注射	身体	0.5mmPb 铅衣	4.36	20mCi
		手部	—	68.6	

③摆位过程

摆位时，工作人员穿戴 0.5mmPb 铅衣，一般距患者约 1m。根据式 9-1，计算患者周围 1m 处剂量率约为 740×0.0303/（$10^{0.5/1}$×1^2）≈7.09μSv/h。

（2）^{89}Sr

^{89}Sr 为纯β衰变核素，β粒子能量较低，在人体内的射程仅为 2.6mm，影响较小基本可以忽略。但需要考虑其轫致辐射，轫致辐射随距离变化的空气吸收剂量率计算公式见下式：

$$X=1.71\times10^{-4}AZ(E/r)^2f\cdots（式 9-5）$$

式中：

X　距离轫致辐射源 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　β射线的最大能量，MeV；

r　参考点与轫致辐射源的距离，m；

f　转换系数 0.873，cGy/R。

本项目患者单次最大注射 ^{89}Sr 为 1.85×10^8Bq（5mCi）。^{89}Sr β射线最大能量 1.49MeV。本次计算不考虑屏蔽，屏蔽容器按照玻璃考虑。根据（式 9-5），^{89}Sr 轫致辐射产生的γ空气吸收剂量率预测结果见下表：

表 9-3　^{89}Sr 轫致辐射产生的剂量率（μSv/h）

距离 / 核素	0.05m	0.2m	0.3m	0.5m	1m	3m	5m
^{89}Sr（5mCi）	86.17	5.38	2.39	0.86	0.22	0.02	8.62×10^{-3}

由上表可知，^{89}Sr 无屏蔽条件下，0.3m 以外的剂量率已低于 2.5μSv/h，可见 ^{89}Sr 产生的轫致辐射对周围环境影响较小，因此 ^{89}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 2.5μSv/h 限值要求。

3、工作场所主要房间外辐射水平预测

经上述分析，^{89}Sr 影响较小，本次仅估算 ^{99m}Tc 对核医学场所不同房间外剂量率。

患者最多注射 ^{99m}Tc 7.4×10^8Bq（20mCi），即 740MBq，注药后候诊室最多停留 7 名患者，留观室最多停留 5 名患者，其他房间和场所最多停留 1 名患者。^{99m}Tc 源 1m 处的周围剂量当量率常数Γ=0.0303μSv·m^2/MBq·h（裸源），单位活度所致患者 1m 处剂量率为 0.0207μSv·m^2/MBq·h，砖对 ^{99m}Tc γ射线的 TVL 为 160mm，混凝土为 110mm，铅为 1mm。

根据式 9-1 计算各场所或房间外 ^{99m}Tc 产生的剂量率如下表所示：

表 9-4 使用 ^{99m}Tc 的主要房间或场所外剂量率

房间	屏蔽体	A（MBq）	屏蔽厚度	参考点到源最近距离（m）	参考点辐射剂量率（μSv/h）
分装质控室	防护门	740	5mmPb	1.8	6.92×10^{-5}
	四周墙体		370mm 实心红砖+30mm 硫酸钡	1.05	4.81×10^{-2}
	注射窗		5mmPb	1	2.24×10^{-4}
	室顶		120mm 混凝土+相当于 1mmPb 钡板	2.92	0.02
注射区	四周墙体	740	370mm 实心红砖+30mm 硫酸钡	1.5	1.61×10^{-2}
	室顶		120mm 混凝土	2.92	0.11
注药后候诊室	防护门	740×7=5180	5mmPb	2.6	1.59×10^{-4}
	四周墙体		370mm 实心红砖+30mm 硫酸钡	2.5	4.06×10^{-2}
	室顶		120mm 混凝土+相当于 1mmPb 钡板	2.92	0.04
SPECT 机房	防护门	740	5mmPb	3.8	1.06×10^{-5}
	观察窗		5mmPb	3.3	1.41×10^{-5}
	四周墙体		370mm 实心红砖+30mm 硫酸钡	3.5	2.96×10^{-3}
	室顶		120mm 混凝土	2.92	0.11
留观室	防护门	740×5=3700	5mmPb	3.6	5.91×10^{-5}
	四周墙体		370mm 实心红砖+30mm 硫酸钡	1.75	5.92×10^{-2}
	室顶		120mm 混凝土+相当于 1mmPb 钡板	2.92	0.05
患者走廊	出入口防护门	740	5mmPb	1	1.53×10^{-4}
	四周墙体		370mm 实心红砖+30mm 硫酸钡	1	3.62×10^{-2}
	室顶		120mm 混凝土	2.92	0.11

注：①房间净高约 4m，源强距地面视为 1.0m，取室顶外 0.3m 处作为参考点，室顶厚度为 0.12m，则源距室顶上方参考点距离为（4-1）+0.12+0.3=3.42m；

②所用硫酸钡密度不低于 2.7g/cm^3，30mm 硫酸钡相当于混凝土的厚度约为 30×2.7/2.35≈34.5mm；

③储源时，药物盛放在厂家提供的铅罐中，在加上墙体和防护门屏蔽，储源间外剂量率可忽略不计。

根据上表可知，^{99m}Tc使用过程中，控制区内主要房间外各参考点处的辐射剂量率最大为5.92×10^{-2}μSv/h，出现在留观室墙外，满足本次评价提出的控制区内各房间外2.5μSv/h的控制值要求；控制区边界外各参考点剂量率最大为0.11μSv/h，出现在室顶上方，

满足2.5μSv/h的控制值要求。

4、环境保护目标剂量率分析

根据上述计算，控制区边界外剂量率最大为0.11μSv/h，项目东侧的儿科楼距核医学科约25m，仅考虑距离衰减时，经25m距离衰减后剂量率约为$1.02/25^2 \approx 1.63\times10^{-3}$ μSv/h，儿科楼与核医学科中间间隔B楼的主楼，再经B楼主楼多面墙体屏蔽，本项目对环境保护目标儿科楼的剂量率可忽略不计。

9.4.2 年有效剂量估算

1、估算公式

$$E=H\times T \quad （式 9-6）$$

式中：E——年有效剂量，Sv/a；

T——年受照时间，h；

H——辐射剂量率，Sv/h。

2、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）附录 A。

表 9-5 不同场所的居留因子

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、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：相邻的治疗室、与屏蔽室相邻的病人检查室 1/5：走廊、雇员休息室、职员休息室
偶然居留	1/16	1/8-1/40	1/8：各治疗室门 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：仅有行人车辆来往的户外区域、无人看管的停车场、车辆自动卸货/卸客区域、楼梯、无人看管的电梯

3、职业人员年有效剂量

本项目核医学科工作人员共 5 人，其中 2 名医师、2 名技师、1 名护士。其中技师负责操作 SPECT 并指导患者摆位，2 人可分开轮流工作，也可能同时工作；医师制定处方剂量、判定检查结果等工作；护士负责淋洗分装、活度测定以及注射给药等工作。

（1）^{99m}Tc 相关操作

根据上文分析，淋洗时有钼锝发生器外的铅防护以及手套箱防护，周围剂量率较低，可不考虑此过程。分装过程约 2min/天、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，年接诊 ^{99m}Tc 就诊患者最多 6250 人，每天淋洗分装 1 次，一天开展 250 天，则分装时间为 250×2/60=8.33h/a、取药时间为 6250×10/3600=17.36h/a、注射时间为 6250×30/3600≈52.08h/a、摆位指导过程时间为 6250×1/60=104.17h/a、扫描过程时间为 6250×20/60=2083.33h/a。

表 9-6 ^{99m}Tc 附加年有效剂量或年当量剂量

操作	人均年操作时间（h）	参考部位	剂量率（μSv/h）	年有效剂量或年当量剂量（mSv）
分装	8.33	躯干	158.51	1.32
		手部	1715	14.29
取药	17.36	躯干	0.165	2.86×10^{-3}
		手部	1.90	0.03
注射	52.08	躯干	4.36	0.23
		手部	68.6	3.57
摆位	104.17	躯干	7.09	0.74
		手部	7.09	0.74
扫描	2083.33	躯干	2.96×10^{-3}	6.17×10^{-3}
		手部	2.96×10^{-3}	6.17×10^{-3}

（2）^{89}Sr 相关操作

辐射工作人员进行取药和注射等操作，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核素 0.05m 和 0.5m 处的韧致辐射剂量率进行估算（详见表 9-3）。取药过程约 10s/例、注射过程约 30s/例，年最大诊疗量均为 1500 人次，则取药时间为 10×1500/3600≈4.17h/a、注射时间为 30×1500/3600≈12.5h/a，操作时间为 4.17+12.5=16.67h/a。

表 9-8 ^{89}Sr 附加年有效剂量或年当量剂量

核素	操作	人均年操作时间（h）	部位	剂量率（μSv/h）	年有效剂量或年当量剂量（mSv）
^{89}Sr	取药和注射	16.67	躯干	0.86	0.01
			手部	86.17	1.44

由表 9-7、表 9-8 可知辐射工作人员受照剂量如下表所示：

表 9-9 辐射工作人员受照剂量

职业人员	操作	参考部位	年有效剂量或年当量剂量（mSv）
护士	淋洗、分装、注射	躯干	$1.32+2.86\times10^{-3}+0.23+0.01\approx1.56$
		手部	14.29+0.03+3.57+1.44=19.33
技师	摆位、操作 SPECT	躯干	$0.74+6.17\times10^{-3}\approx0.75$
		手部	$0.74=6.17\times10^{-3}\approx0.75$

根据上表可知，职业人员年有效剂量最大为 1.56mSv、手部年当量剂量最大为 19.33mSv，分别低于职业人员年有管理剂量约束值 5mSv、四肢年当量剂量约束值 125mSv。

4、慰问者（探访者或受检者家人）

（1）每位 ^{99m}Tc 患者最大注射量为 20mCi，保守计仅考虑物理衰变，注射 3 天后患者体内药物活度约为 5.02×10^{-3}mCi，可见注射 ^{99m}Tc 患者对外环境影响持续时间较短。本次保守按 ^{99m}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，慰问者距 ^{99m}Tc 患者 1m 计。根据式 9-4，慰问者受照射剂量为（$20\times3.7\times10^{7}\div10^{6}$）$\times0.0207\times24\times3/$（$1000\times1^{1.5}$）≈1.10mSv，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。

（2）^{89}Sr 患者最大注射量为 1.85×10^{8}Bq（5mCi），物理半衰期 50.5d，仅考虑物理衰变时，注射 2 个月后，活度衰减至 $1.85\times10^{8}/2^{(60/50.5)}\approx8.119\times10^{7}$Bq，1m 处剂量率衰减至 0.095μSv/h，已较低。按照用药后 2 个月内每天分段累加，即使每天陪护 24h，则慰问者受照剂量仅约 0.22mSv，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。

需要指出的是，上述慰问者所受剂量是以患者最大用药进行计算的，当服药量较小，且非 24 小时陪护时，慰问者所受剂量将低于上述计算值。患者出院时医院拟向患者及患者家属提供指导意见，根据具体服药量给出慰问者每日最大接触时间等指导信息，以及患者用药前期尽量减少外出，接触距离近了控制在 1m 以上，用药前期尽量减少接触时间。

5、公众成员

（1）核医学周围公众成员

根据上文分析可知，^{89}Sr 影响较小，核医学科周围主要受 ^{99m}Tc 的影响，公众人员受照剂量估算仅考虑 ^{99m}Tc 即可。核医学科场所周围公众年有效剂量如下表所示：

表 9-10　核医学工作场所周围公众成员附加年有效剂量

位置	对应区域场所名称	剂量率最大值（μSv/h）	居留因子（T）	时间（h/a）	年有效剂量（mSv）
场所北侧	制剂更衣室、总务仓库、资料库、制剂库	3.62×10^{-2}	1/10	520.83	1.89×10^{-3}
场所西侧	院内空地	可忽略不计	—	—	可忽略不计
场所南侧	招标办、仓库、采购办仓库、药	4.81×10^{-2}	1（最大为 1）	1500	0.07

	库				
场所东侧	制剂库、采购办仓库	5.92×10^{-2}	1/10	1500	0.01
患者走廊 2 上方	CT 和 CR 控制室	0.11	1	520.83	0.06
SPECT 机房上方	CR 室和 CT 室	0.11	1/2	500	0.03
留观室上方	走廊	0.05	1/5	1500	0.02
注射后候诊室上方	药房和走廊	0.04	1	1500	0.06
注射区上方	化验室和走廊	0.11	1	104.17	0.01
患者走廊 1 上方	走廊	0.11	1/5	520.83	0.01

注：1.场所北侧分为患者通道，患者停留时间较短，按照每人次停留 5min 计，则总停留时间为 6250×5/60≈520.83h；

2.场所西侧主要分布储源间，经上文分析，储源间外剂量率可忽略不计；

3.场所南侧主要分布为注射后候诊室和分装质控室，该区域一般每天预计有药或有患者停留的时间约 6h，则总停留时间为 6×250=1500h；

4.场所东侧主要分布为患者走廊、留观室、注射后候诊室，该区域中患者在留观室和注射后候诊室内停留较长，每天约 6h，则总停留时间为 6×250=1500h；

5.①患者走廊 2 中按照患者每人次停留 5min 计，则总停留时间为 6250×5/60≈520.83h；②SPECT 机房上方 CR 室和 CT 室内停留较多的为进入 CR 室和 CT 室指导摆位的其他医护人员，按照每天停留 2h 计，则总居留时间为 2×250=500h；③留观室内患者停留时间为 1500h；④注射后候诊室内患者停留时间为 1500h；⑤注射区内患者停留时间每人次约 1min，则总停留时间为 6250×1/60≈104.17h；⑥患者走廊 1 内患者停留时间为 520.83h。

根据上表可知，核医学工作场所周围公众年有效剂量最大为 0.07mSv，低于本次评价提出的公众成员 0.1mSv 的年管理剂量约束值。

（2）其他环境保护目标人员剂量

根据上文分析，本项目对最近的环境保护目（儿科楼）的影响可忽略不计，因此核医学科对环境保护目标不造成附加年有效剂量，保护目标处公众附加年有效剂量预计低于公众成员 0.1mSv 的年管理剂量约束值。

（3）被动与患者接触公众

根据式 9-2、式 9-3，计算注射 ^{99m}Tc 患者用药 48 小时后距离患者 1m 处剂量率为（$740\div2^{(48/6.02)}$）×0.0207/1^2≈0.06μSv/h，对周围环境影响较小。本次按注射 ^{99m}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。根据上文分析，患者注射药物后 1m 处剂量率约为 18.82μSv/h，保守计以该剂量率进行估算，则公众成员年有效剂量为 18.82×（8×2）×（1/16）÷1000≈0.02mSv。

根据式 9-5、式 9-3，计算注射 ^{89}Sr 患者用药 60 天后，距患者 1m 处剂量率约为 0.095μSv/h，影响已较小。本次按注射 ^{89}Sr 患者离院 60 天内与公众接触，每天外出时间

按 8 小时，居留因子取 1/16。按天分段累积剂量约为 4.48×10^{-3}mSv。

综上所述，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。

9.4.3 三废环境影响分析

1、放射性废水

根据上文分析，核医学工作场所注射^{89}Sr的患者停留时间短，就诊过程产生的废水可忽略不计。放射性废水主要为注射^{99m}Tc的患者排泄物（包括呕吐物）及冲洗水，日常清洗废水和事故清洗水。

^{99m}Tc年接诊6250人次，每周开展5天，患者不住院，废水产生量较少。患者以及因患者就诊日常清洗产生的用水量按照15L/人次计，废水产生系数取0.8，则放射性废水年产生量为6250×15×0.8/1000=75m^3，每周产生量为1.5m^3。此外，因操作失误等导致产生的清洗废水属未预见水量，参考《医院污水处理工程技术规范》（HJ2029-2013）第4.2.4款规定，保守取患者产生量的20%，则核医学场所产生的未预见水量为75×20%=15m^3/年，即0.3m^3/周。因此，核医学科放射性废水产生量为75+15=90m^3/年，即1.8m^3/周。

放射性废水处理系统设计3个衰变池，单个容积均不低于5m^3，并联运行。单个衰变池至少可容纳2.7周的放射性废水，后两个衰变池充满的时间即为前一个衰变池内废水的停留衰变时间，则放射性废水停留衰变时间为2.7×2=5.4周（约38天），大于30天。^{99m}Tc半衰期为6.02h，小于24h，放射性废水暂存衰变时间满足HJ1188-2021第7.3.3.1款a）要求。因此，本项目放射性废水停留衰变后可直接解控排放。

参考同类项目，放射性废水中的活度暂按核素用量的 6%计，衰变池内放射性废水中^{99m}Tc 含量见下表：

表 9-16　衰变池废水中核素含量

核素	半衰期	2.7 周核素最大用量（Bq）	单池 2.7 周收集的废水中核素含量（Bq）	暂存 5.4 周后废水中核素含量（Bq）	暂存 5.4 周后废水中核素活度浓度（Bg/L）	月排放限值（Bq）	一次排放限值(Bq)
^{99m}Tc	6.02h	2.4975×10^{11}	1.4985×10^{10}	约为 0	约为 0	6.90×10^{9}	6.90×10^{8}

由上表可知，核医学科放射性废水处理系统每 5.4 周（约 38 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，排放时废水中核素近似为 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，排放浓度也满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中放射性废液总排放口总 β 不大于

10Bq/L 的要求。

放射性废水经衰变池暂存后排入医院污水处理站，经医院污水处理站进一步处理后排放，对周围水环境影响较小。

此外，放射性废水管道采用 2mm 铅板防护，接入衰变池之前的地下管道位于土层下约 0.5m～1m。沉淀池和衰变池四周、底部及顶部均为 20cm 混凝土防护，正常情况下放射性废水管道以及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。

2、剩余核素

剩余 ^{99m}Tc 暂存于铅罐中，在废物间存放超过 30 天后可直接解控排放；^{89}Sr 置于随药铅罐中，连同铅罐一并由厂家回收。满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）要求。

3、放射性固体废物

核医学科产生的放射性固体废物主要有四类：第一类为沾染核素的注射器、针管、针头、棉签、手套、药棉、纱布、吸水纸、破碎杯皿及擦拭表面污染的抹布等；第二类为使用完的 ^{99}Mo-^{99m}Tc 发生器；第三类为衰变池沉渣；第四类为放射性废气处理系统更换的废活性炭。医院拟分别采取不同的处理措施：

（1）第一类放射性固体废物

沾染核素的注射器、针管、针头、棉签、手套、药棉、纱布、吸水纸、破碎杯皿及擦拭表面污染的抹布等放射性固体废物，沾染不同核素的废物分开收集和暂存衰变，其中沾染^{99m}Tc的废物收集后在衰变箱暂停超过30天，沾染^{89}S的使用放射性废物收集后在其衰变箱暂存超过505天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，β表面污染小于0.8Bq/cm^{2}后，作为一般医疗废物处置。

核医学科年最多接诊^{99m}Tc患者6250人次，^{89}Sr患者1500人次，^{99m}Tc一年开展250天，^{89}Sr一年开展150天。平均每人次产生废物0.02kg。考虑到产生的未预见放射性固体废物，分别按照每天产生0.2kg计。则满负荷运行时，^{99m}Tc放射性废物产生量为6250×0.02+250×0.2=175kg/年、3.5kg/周（约合10.5L）、0.7kg/天；^{89}Sr放射性废物产生量为1500×0.02+150×0.2=60kg/年、1.2kg/周（约合3.6L）、0.4kg/天。

废物间内设置3个衰变箱（5mmPb，单个40L）用于^{99m}Tc放射性废物暂存衰变，依次轮流交替使用，单个衰变箱可收集3.8周（40/10.5≈3.8周）的放射性固体废物，存满后封

存，放射性固体废物最长可暂存53.2天（2×40/10.5≈7.6周，约为53.2天），大于30天。医院按照暂存大于30天进行管理。则单个衰变箱3.8周收集的放射性固体废物中核素（^{99m}Tc）含量为1%×3.8×4.625×10^{12}/50=3.515×10^{9}Bq，经过30天衰变后，活度衰减至约为0，活度浓度也约为0，可忽略不计。

废物间设置3个衰变箱（5mmPb，单个100L）用于^{89}Sr放射性废物衰变，依次轮流交替使用，单个衰变箱可收集27.8周（100/3.6≈27.8周）的放射性固体废物，3个衰变箱充满时间为3×100/3.6≈83.3周，约583天，大于最长半衰期的10倍（10×50.5天=505天），医院按照暂存505天以上进行管理。则单个衰变箱27.8周收集的放射性固体废物中核素（^{89}Sr）的含量为1%×27.8×2.775×10^{11}/50=1.5429×10^{9}Bq，经过505天衰变后，^{89}Sr活度分别衰减至约为1.51×10^{6}Bq，^{89}Sr废物活度浓度为1.51×10^{6}/（27.8×60000/50）≈45.26Bq/g，低于GB18871-2002规定的^{89}Sr豁免活度浓度1×10^{3}Bq/g。此类废物一年最多排放一次，年排放量即为1.51×10^{6}Bq。

综上所述，^{99m}Tc放射性废物分别暂存大于30天，^{89}Sr放射性废物暂存大于505天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，β表面污染小于0.8Bq/cm^{2}后，作为一般医疗废物处置。满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）7.2.3.1 款要求。

（2）第二类放射性固体废物

使用完的 ^{99}Mo-^{99m}Tc 发生器由厂家回收，回收前暂存于废物间。

（3）第三类放射性固体废物

放射性废水沉淀池和衰变池内设有排渣泵，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）第四类放射性固体废物

手套箱顶壁和场所通风系统排气筒末端拟安装活性炭，通风系统更换下的废活性炭直接交由有资质的单位处置，或者在衰变箱内暂存设定时间，达到清洁解控水平后按照一般医疗废物处置。

拟使用的活性炭碘值＞800mg/g，吸附效率不低于 80%。医院拟按《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）,根据厂家推荐的使用时间定期更换。排风口末端拟使用的活性炭过滤器内安装活性炭规格为约 18kg，手套箱活性炭过滤器内安装活性炭规格约 3kg。如采用再存衰变模式，则废活性炭应至少暂存 505 天，经监测辐射剂量率满足所处环境本

底水平，β表面污染小于0.8Bq/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均得到妥善处置。

4、放射性废气

本项目使用的各类核素均不属于挥发性核素，物质稳定，均为液体，项目运行过程中产生的放射性废气极少。核医学工作场所分别设置了满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）要求的通风系统，分场所排风系统和手套箱排风系统，排放口高于所在B楼楼顶，尽量远离了周围高层建筑。该场所属乙级非密封放射性物质工作场所，设置了手套箱，淋洗、分装等操作均在保持负压的手套箱内进行，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中6.2.2要求。且排风口末端以及手套箱顶壁设计有活性炭高效过滤装置，过滤效率不低于80%。医院拟根据厂家推荐的使用时间定期更换活性炭，保证活性炭过滤效果，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中7.4款要求。

因此，在采取以上措施后，本项目对周围环境影响较小。

根据表7-1，^{99m}Tc年最大操作量为125Ci；^{89}Sr年最大操作量为4Ci，放射性核素挥发量极少，保守按照十万分之一计，则^{99m}Tc挥发量为125Ci×10^{-5}=1.25mCi、^{89}Sr挥发量为4Ci×10^{-5}=0.04mCi。核素淋洗、分装均在密闭的负压手套箱内操作，无组织排放极少，可按照完全经排气筒有组织排放考虑。活性炭吸附效率不低于80%，经过手套箱活性炭吸附后，核素^{99m}Tc年排放量为1.25×（1-80%）=25mCi=9.25×10^{8}Bq、^{89}Sr年排放量为0.04×（1-80%）=0.008mCi=2.96×10^{5}Bq。排风系统运行时间按250天（50周×5天/周），每天至少运行5h，排气筒排风量不低于10000m^3/h，则^{99m}Tc排放浓度约为9.25×10^8/（10000×250×5）=74Bq/m^3，^{89}Sr排放浓度约为2.96×10^5/（10000×250×5）≈0.02Bq/m^3。排风口末端均位于B楼6层区域的楼顶上方，高于楼顶排放，经空气稀释后对周围环境保护目标的影响较小。

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录J，吸入内照射剂量估算如下：

$$E(\tau)=A_0e(\tau) \qquad （式9-7）$$

$$A_{0吸}=C_{空}B_{空} \qquad （式9-8）$$

式中：

E（τ）-待积有效剂量，mSv；

A_0-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；

$A_{0吸}$-通过呼吸道的摄入量，Bq；

$C_{空}$-核素在空气中的活度浓度，Bq/m^3；

$B_{空}$-呼吸率，m^3/h（$B_{空}$值成年人取0.83m^3/h）。

对于 e（τ），公众吸入单位核素摄入量所致待积有效剂量取 GB18871-2002 中表 B7 肺中速吸收的相应值：2.4×10^{-11}Sv/Bq（^{99m}Tc）、7.3×10^{-9}Sv/Bq（^{89}Sr）。

保守按照排放浓度估算环境保护目标（儿科楼）公众内照射剂量，放射性废气主要来自手套箱排风系统，根据工作量手套箱排风系统每天运行最多 5h。

根据式 9-7、式 9-8，环境保护目标处公众内照射剂量为（74×0.83×250×5）×（2.4×10^{-11}）×1000+（0.02×0.83×250×5）×（7.3×10^{-9}）×1000≈1.84×10^{-3}+1.51×10^{-4}≈1.99×10^{-3}mSv/a。

根据上文估算，本项目外照射对环境保护目标公众的影响可忽略不计，则环境保护目标处公众剂量约为0.56mSv/a，低于公众成员0.1mSv的年管理剂量约束值。

综上所述，因此本项目产生的放射性废气对周围环境影响较小，同时也满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）有关要求。

9.4.4 表面污染影响分析

核医学科运行过程中，放射性药物或患者，以及科研区动物可能对台面、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β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，核素临时贮存于手套箱内。

（3）如有核素洒落等情况，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，操作时穿放射性污染防护服和一次性手套；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，医院拟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，发现污染，及时采取去污措施。在采取上述措施后应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 40Bq/cm^2（控制区内工作台、设备、墙壁和地面）、4Bq/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 4Bq/cm^2；手、皮肤、内衣、工作袜表面污染控制水平 0.4Bq/cm^2。

9.5 辐射事故影响分析

9.5.1 可能的辐射事故

（1）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，未及时进行个人剂量检测，造成超剂量照射。

9.5.2 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。本项目分装质控注射室、储源室以及放射性药物储存室等均设置有门锁，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，并做好相应的台账记录和监测记录，经充分衰变达到解控水平后方可按照免管固废处置；

（5）医院定期委托设备厂家检查和维护通风设施，根据厂家推荐的使用时间定期更换活性炭，确保活性炭过滤效果；

（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，个人剂量计佩戴于铅衣内部左胸前，定期进行检测，检测周期不超过 3 个月

表 10 辐射安全管理

10.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

10.1.1 管理机构

按照国务院令第 449 号《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》及生态环境主管部门的要求，医院已成立辐射安全与防护管理领导机构-辐射安全领导小组，已签订辐射工作安全责任书，明确了法人代表为辐射安全工作第一责任人。明确了机构人员组成及各自职责。小组成员如下：

组　长：池一凡

副组长：郑心、唐明、刘庆涛、王莉

成　员：刘卫国、郭鹏、宋小芸、侯芳霖、张勇、徐慧

党计锋、刘鹏、念丁芳、李民、张彦平、马红梅。

领导小组下设办公室医务部，办公室主任：刘卫国（兼）。

职责：

（1）全面负责医院辐射防护管理工作。

（2）根据国家相关法律法规政策的要求，制定医院的放射防护管理规章制度、工作计划，并组织实施。

（3）指导有关科室制定相应的规章制度，并督促落实。

（4）定期对辐射安全与防护工作进行督查，检查本院放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。

10.1.2 职业人员培训

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，本项目辐射工作人员均应进行辐射安全防护培训，考核合格后上岗。

本项目拟设置 5 名辐射工作人员，医院拟安排 5 人及时参加国家核技术利用辐射安全与防护培训，考核合格后上岗。

10.2 辐射安全管理规章制度

青岛市中医医院（青岛市海慈医院、青岛市康复医学研究所）作为持有辐射安全许可证的单位，已按照国务院令第 449 号《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》生态环境主管部门的要求，制定了适用于现有辐射项目的辐射安全管理规章制度，医院已制定《辐射工作人员岗位职责》、《辐射工作人员培训制度》、《辐射工作场所和环境辐射水平监测方案》、《辐射工作人员个人剂量监测和健康查体管理制度》、《辐射防护和安全

保卫管理制度》、《自行检查和年度评估制度》等规章制度。

针对本次核医学科建设项目，医院拟补充制定《核医学科工作人员岗位职责》、《放射性药品安全操作规程》、《SPECT 操作规程》、《核医学科放射防护制度》、《放射性废物处理制度》、《核医学科放射防护用品管理制度》、《放射性药品采购、登记、使用、核对、保管制度》、《核医学科监测计划》、《核医学科质量控制制度》等规章制度。

现有制度以及拟补充制度满足本项目环境管理要求。医院现有辐射项目严格落实了各项规章制度并建立有辐射安全管理档案。

10.3 辐射监测

10.3.1 监测仪器

核医学科拟配置 2 部个人剂量报警仪、2 台表面污染监测仪，1 台便携式辐射剂量率监测仪用于自主监测使用。拟为辐射工作人员每人配置个人剂量计，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。

拟配备的监测仪器满足本项目辐射管理要求。

10.3.2 辐射监测方案

根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019），医院已制定《辐射工作人员个人剂量监测和健康查体管理制度》，根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021），医院拟制定《核医学科监测计划》，建议按照以下内容完善有关内容：

1.个人剂量监测

（1）严格遵守《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）等辐射环境管理法规；

（2）所有辐射工作人员接受个人剂量监测，建立个人剂量档案，个人剂量档案应包括个人基本信息、工作单位及剂量监测结果等信息，并终生保存；

（3）每位辐射工作人员工作期间须按要求佩戴个人剂量计；

（4）个人剂量计的读取周期不超过 90 天；

（5）辐射工作人员受照剂量超过年管理剂量约束值时，应查明原因，采取改进措施；

（6）安排专人负责个人剂量监测管理。

2.核医学工作场所监测方案

表 10-1 核医学科监测方案

监测类型	监测对象	布点	覆盖区域	监测项目	频次	监测单位
辐射环境监测	γ辐射	以核医学科工作场所为中心 50m 范围内	控制区的每个区域、监督区的每个区域、衰变池上方、废物间内，周围环境保护目标	γ辐射空气吸收剂量率	1 次/年	委托有资质的单位
	土壤	以核医学科工作场所为中心 50m-300m 范围内		土壤中总β或应用核素	1 次/年	
	废水	放射性废水衰变系统排放口		总β、应用核素	1-2 次/年	
	废气	放射性废气排放口		应用的核素或总β	1 次/年	
	放射性固体废物	废物间、放射性废物桶（箱）外表面、衰变箱外表面		γ辐射空气吸收剂量率、β表面污染	1-2 次/年	
流出物监测	气载流出物	放射性废气排放口		应用核素或总β	1 次/年	委托有资质的单位
	液态流出物	放射性废水衰变系统排放口		应用核素或总β	1-2 次/年	
辐射工作场所自主监测	工作场所外照射	核医学科控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性的区域，包含核医学场所楼上对应区域；存放放射性物质的设备或装置的表面；放射性固体废物桶（箱）表面		γ辐射空气吸收剂量率	根据操作情况随时进行监测，定期监测 1 个月 1 次	自主监测
	放射性固体废物	放射性固体废物表面		γ辐射空气吸收剂量率、β表面污染	每次解控前	
	工作	核医学科核素操作台面、设备表面、墙壁和		β表面污	核医学科每次	

	场所表面污染	地面，注射后候诊室、留观室等，各房间内设施表面、手套箱手孔、门把手、墙壁和地面等； 放射性废物桶和包装袋表面； 工作人员手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等	染	工作结束后；事故工况时监测； 定期监测：1个月1次	

3.监测记录与保存

所有辐射监测记录和监测报告建档保存。监测中如发现异常情况，医院应查找原因并及时报告，采取改进措施。

10.3.3 质量控制检测和检查

根据相关规范，医院拟制定《核医学科质量控制制度》，主要相关内容有：

1、新或维修过的显像器件，使用前测量其相关的物理参数，并且以后对其进行定期测量，每年不少于1次，并做好记录；

2、严格控制患者受照剂量，对放射性药物进行活度测定，活度计定期进行校准，做好患者用药记录。

3、相关记录建档保存。

10.3.4 现有辐射项目辐射监测落实情况

现有辐射工作人员均进行了定期个人剂量检测，每3个月1次。辐射工作场所定期进行监测，落实了监测方案。定期进行设备维护和相关物理参数测量，落实了各项质量控制要求。

10.4 辐射事故应急

10.4.1 辐射事故应急预案

医院为持有辐射安全许可证的单位，已按照《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）以及《突发环境事件信息报告办法》（环保部令第17号）中的有关要求，制定了《辐射性事故应急预案》（见附件），该应急预案主要相关内容如下：

一、应急组织机构

（一）应急处理领导小组

成立有辐射事故应急处理领导小组，同辐射安全领导小组，见10.1.1。

应急处理电话：0532-8377398　　0532-83777033

职责：

（1）定期组织对放射诊疗场所、设备和人员进行辐射防护情况进行自查和监测，发现事故隐患及时上报至医务科并落实整改措施；

（2）发生人员受超剂量照射事故时，应启动本预案；

（3）事故发生后立即组织有关部门和人员进行辐射事故应急处理；

（4）负责向市北区及市卫计委和卫生监督局、市生态环境局市北分局及时报告事故情况；

（5）负责辐射事故应急处理具体方案的研究确定和组织实施工作；

（6）辐射事故中人员受照时，要通过个人剂量计或其它工具、方法迅速估算受照人员的受照剂量；

（7）负责迅速安置受照人员就医，组织控制区内人员的撤离工作，并及时控制事故影响，防止事故的扩大蔓延。

（二）应急专家组

组 长：郑 心(副总院长)

副组长：唐明(副院长) 刘庆涛(副院长) 王莉(党委委员) 范传波(党委委员)

组员：刘卫国 王玉春 于忠祥 姜文青 党计锋 杨希重 侯增涛 孔军 刘鹏 宋永欣 宗金宝 念丁芳 崔国方 张彦平 王野 马红梅

职责：

负责参与指导辐射事故应急处置工作，为领导小组的决策提供科学依据；对调查处理工作和控制措施提出意见；组织并参与对辐射防护、医疗救治等相关技术人员的指导与培训；组织并参与指导辐射事故现场放射防护及医学应急救援。

（三）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。

（四）辐射事故应急处理程序

1、事故发生后，当事人应立即通知同工作场所的工作人员离开，并及时逐级上报院领导；安全办：0532-83773980，院办：0532-83777010，节假日报告医院行政总值班：0532-83777527，事故发生后立即上报。

2、应急处理领导小组召集专业人员，根据具体情况迅速制定事故处理方案。

3、事故处理必须在单位负责人的领导下，在有经验的工作人员和卫生防护人员的参与下进行。未取得防护检测人员的允许不得进入事故区。

4、除上述工作外，防护检测人员还应进行以下几项工作。

（1）迅速确定现场的辐射强度及影响范围，划出禁区防止外照射的危害。

（2）根据现场辐射强度，决定工作人员在现场工作的时间。

（3）协助和指导在现场执行任务的工作人员佩戴防护用具及个人剂量仪。对严重剂量事故，应尽可能记下现场辐射强度和有关情况。并对现场重复测量，估计当事人所受剂量，根据受照剂量情况决定是否送医院进行医学处理或治疗。

（4）各种事故处理以后，必须组织有关人员进行讨论分析事故发生原因，从中吸取经验教训，采取措施防止类似事故重复发生。凡严重或重大的事故，应向区、市卫生监督局、卫健委放射防护管理处、青岛市生态环境局、青岛市生态环境局市北分局报告。

青岛市生态环境局应急电话：0532-82875110；

青岛市生态环境局市北分局应急电话：0532-83717302；

青岛市卫生健康委员会综合监督执法局：0532-85788600；

环境保护热线：12345；公安局：110。

（五）相关部门职责

1、医务科：负责组建应急救援医疗队，组织对受辐射损伤人员进行现场医疗救助及伤员转送，做好医疗救护信息记录及报告。

2、预防保健科：负责组织医务人员参加辐射防护技术培训、体检及个人剂量监测;做好对辐射事故中参与应急医学救援或受辐射损伤医务人员进行医学随访。

3、设备科：负责辐射事故应急物资储备及供应，包括辐射防护用品、防护设备及口罩、防护衣等医疗用品等组织协调发生事故设备的处置。

4、保卫科：负责撤离和疏散放射事故现场人员，封锁和保护事故现场:加强放射诊疗及辐射防护设备的防盗安全检查。

5、财务部：负责应急保障经费预算，确保卫生应急所需资金到位。

6、放射科室：认真贯彻落实放射诊疗安全操作规程及技术规范，做好日常质量控制，加强辐射安全防护执行力度，提高预防突发事件发生的意识及应对能力;发生辐射事故迅速采取措施控制事故蔓延，及时报告有关部门；配备必要的辐射防护用品及设备等。

二、应急准备

1、应急物资和装备

有关部门及科室应做好辐射事故应急物资和装备准备包括：个人剂量计、个人防护设备（铅防护服、铅眼镜、铅围脖等）、表面污染监测仪等辐射应急监测仪器，并及时更新和维护

2、培训与演练

针对本院开展放射技术应用的实际情况和需要，由辐射安全管理领导小组定期组织开展辐射事故应急培训与应急演练，对辐射事故应急技术人员和管理人员进行国家有关法规和应急专业知识培训和继续教育，使应急救援人员熟练掌握放射损伤医疗救治、应急处置、辐射防护等知识不断提高应急反应及救援能力，确保在突发辐射事故时能够及时、安全、有效开展应急工作。

3、资金保障

有关部门应做好辐射事故应急保障经费预算，用于人才培养、应急物资配备与更新、培训与演练，以确保辐射事故应急所需资金到位。

三、应急处置措施

领导小组接到报告后，应指挥相关成员迅速赶赴现场开展指挥、技术指导及医学救援工作，相关部门在相应职责范围内开展工作，积极采取措施保护工作人员和患者的生命安全，保护环境不受污染，最大限度控制事态发展。事故现场完成处置、初步调查并经检测达到安全水平后，方可解除封锁。应急响应终止。参加辐射事故处理人员应及时安排进行体格检查等医学随访。并给出了医院现有辐射项目（加速器、DSA 和其他III类射线装置）的辐射事故应急处理措施。

四、具体操作人员处置措施

给出了使用射线装置对患者进行诊疗过程中发生剂量事故、联锁装置失效、机械故障、因患者原因导致额外照射等事故情况下的处置措施。

五、应急人员防护

1、应急人员防护的总体原则。在实施紧急救援时，应急救援人员首先应做好个人的放射防护措施，配带个人剂量计。根据现场救援工作的实际情况，尽量提高救援行动速度，缩短在污染环境中停留时间，必要时轮换作业，力求把受照剂量减到最少。

2、应急照射剂量的控制。实施应急救援时，应急人员的受照剂量应符合 GB18871-2002 有关要求。

3、应急救援人员应熟练掌握通用防护导则和返回剂量导则，根据不同救援任务预先

确定返回剂量预置值，在超出剂量限值时及时返回。

4、应急人员防护措施。应急人员应按要求做好有关的防护措施后才能进入现场开展救援工作，应急防护措施包括配带个人剂量仪，穿戴防护服、防护面具或口罩等，必要时服用稳定性碘。

六、辐射事故调查

1、本单位发生重大辐射事故后，应立即成立由事故相应科室第一责任人为组长的，由医务部负责人参加的事故调查组善后处理组和恢复工作组

2、调查组要遵循实事求是的原则对事故的发生时间、地点、起因、过程和人员伤害情况及财产损失情况进行细致的调查分析，并认真做好调查记录，记录要妥善保管

3、配合医院应急救援领导小组编写、上报事故报告书方面的工作，同时，协助卫生行政部门、公安部门、生态环境部门进行事故调查、处理等各方面的相关事宜。

4、调查工作结束后，领导小组应总结经验教训，制定或修改相关措施，加强日常安全管理，杜绝类似事故发生。

医院制定的《辐射性事故应急处理预案》内容较为全面，可操作性较强，适用于医院现有辐射项目以及本次评价项目。建议补充补充辐射事故分级与报告、核医学有关事故情况下的应急措施、辐射事故应急演练和培训有关内容：

1、事故分级与报告

依据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将辐射事故分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级。

特别重大辐射事故，是指Ⅰ类、Ⅱ类放射源丢失、被盗、失控造成大范围严重辐射污染后果，或者放射性同位素和射线装置失控导致 3 人以上（含 3 人）急性死亡。

重大辐射事故，是指Ⅰ类、Ⅱ类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 2 人以下（含 2 人）急性死亡或者 10 人以上（含 10 人）急性重度放射病、局部器官残疾。

较大辐射事故，是指Ⅲ类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 9 人以下（含 9 人）急性重度放射病、局部器官残疾。

一般辐射事故，是指Ⅳ类、Ⅴ类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。

发生事故后，发生辐射事故时立即报告医院辐射事故应急领导小组，并在 2 小时内填

写《辐射事故初始事故表》，及时报告生态环境部门、公安部门和卫健部门。

2、应急处理措施

本次新增使用非密封放射性核素，发生下列情况之一，应立即启动本预案：1、放射性药品泄漏污染；2、放射性药品丢失；3、人员受超剂量照射。

（1）发生放射性核素泄漏污染环境时，控制人员进入。选择合理的去污方法，防止交叉污染。去污时佩戴有效的个人防护用品。一般核素药物为液态，若发生撒漏，可用抹布擦拭清除，抹布作为放射性固体废物，储存于放射性废物桶中达到标准要求的解控水平后，作为普通的医疗垃圾处理。为防止污染的扩散，去污程序应先从污染轻的周围渐向污染重的部位。如经反复清洗效果不明显时，可根据放射性核素的化学性质和污染表面的性质，选用有效的去污剂进一步去污。严重污染事故时要及时向生态环境部门报告，立即通知在场的其他人员，同时迅速标出污染范围，防止其他人员进入污染区。污染区的人员经采取减少危害和防止污染扩散的必要措施后，要脱去污染的衣服并将其留在污染区，立即离开此区。事故发生后，应尽快通知防护负责人和主管人员，并立即向有关监督管理部门报告。防护人员应迅速提出全面处理事故的方案，并协助主管人员组织实施。污染区经去污、监测后，经防护人员批准方可重新工作。

（2）发生放射性药物丢失或被盗、误置、遗弃事故时，所在科室应当迅速迅速根据放射源种类、活度，立即报告科主任、医院辐射事故应急处理领导小组，并保护好现场。积极配合公安和卫生行政部门做好调查、侦破工作，尽快追回丢失的放射性药物。

（3）对受照人员进行剂量评估，采取必要的医学处理措施。

3、辐射事故应急演练和培训

（1）应急培训

医院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

医院每年定期进行辐射事故应急演练，模拟事故现场，保持应急人员的应急能力。演练由辐射事故应急领导小组负责，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。

表 11 结论与建议

11.1 结论

1.项目概况

青岛市中医医院（青岛市海慈医院、青岛市康复医学研究所）院本部位于青岛市市北区人民路 4 号，医院现持有辐射安全许可证，鲁环辐证[02147]，准予使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置，有效期至 2026 年 12 月 27 日。

医院拟于院本部 B 楼负一层北侧新建核医学科工作场所，核医学科场所利用现有仓库、采购办公室、卫生间、物价管理科等房间进行改造。使用 ^{99m}Tc 开展 SPECT 放射诊断，使用 ^{89}Sr 开展放射治疗。外购 ^{99}Mo- ^{99m}Tc 发生器淋洗 ^{99m}Tc，^{89}Sr 直接外购。其中使用 ^{99m}Tc 日等效最大操作量为 1.85×10^{7}Bq，使用 ^{89}Sr 日等效最大操作量为 1.85×10^{8}Bq；进行淋洗操作时 ^{99}M$_0$ 日等效最大操作量为 1.85×10^{7}Bq，^{99m}Tc 日等效最大操作量为 1.85×10^{8}Bq。场所日等效最大操作量 4.07×10^{8}Bq，属乙级非密封放射性物质工作场所。新建放射性废水衰变系统位于该场所西侧地下，放射性废气排气筒位于 B 楼楼顶上方，高于楼顶排放。

本项目核医学科用于放射诊疗，用于早期肿瘤、癌症的筛查，骨肿瘤转移治疗，该项目在保障病人健康的同时也为医院创造了更大的经济效益。从代价利益分析，项目可行，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。

2.选址合理性

项目位于医院内，不新增用地，医院所在地用途为医卫慈善用地，因此本项目选址符合土地利用规划。

根据医院提供的图纸及现场勘查，项目位于院内 B 楼负一层北侧，本项目位于地下层，集中于无人长期居留的建筑物的底层，设置了相应的物理隔离和单独的人员、物流通道。不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，并与非放射性工作场所有明确的分界隔离。核医学工作场所的排风口拟设置在 B 楼 6 层区域的楼顶，尽可能远离了周边高层建筑。放射性废水衰变池拟建于核医学场所西侧地下，地面恢复为硬化地面，周围建议设置栅栏，悬挂电离辐射警告标志与中文警示说明，防止无关人员靠近。

因此，核医学科选址合理，符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）有关要求。

3.现状检测

现状检测结果表明，项目拟建区域及周围环境保护目标处γ辐射空气吸收剂量率处于青岛市环境天然辐射水平范围内；项目周围土壤中总β放射性检测结果为0.556Bq/g。

4.环境影响评价结论

（1）核医学科采取实体屏蔽，诊疗流程合理，控制区相对集中，防止交叉污染。设立有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。各出入口设计门禁，控制无关人员进入。控制区医护人员出入口设计有卫生通过间，场所布局合理。根据GB18871-2002及GBZ120-2020的有关规定，核医学工作场所划分为“控制区”和“监督区”两区进行管理。

（2）经估算，在最大工作负荷条件下，核医学科控制区边界外以及控制区内主要房间四周屏蔽墙、防护门及防护窗外辐射剂量率可满足本次评价提出的2.5μGy/h的限值要求。

（3）人员所受辐射剂量估算

职业人员年有效剂量为1.56mSv，手部年剂量当量19.33mSv，分别低于本报告采用的职业人员年有效剂量管理约束值5mSv/a、职业人员四肢年当量剂量管理约束值125mSv/a。

慰问者年有效剂量最大为1.10mSv/a，低于本报告采用的慰问者管理剂量约束值5.0mSv/a。

公众成员受照射的年有效剂量最大为0.07mSv/a，低于本报告采用的公众成员年有效剂量管理约束值0.1mSv/a。

（4）三废环境影响分析结论：

①放射性废水：核医学科产生的放射性废水排入并联式放射性废水处理系统的衰变池内，经暂存5.4周（约38天）后排放，暂存时间大于30天。一次排放量和月排放量均低于一次排放限值和月排放限值，排放浓度满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）规定的放射性废液总排放口总β不大于10Bq/L的要求。放射性废水经衰变池暂存后排入医院污水处理站，经医院污水处理站进一步处理后排放，对周围水环境影响较小。

②剩余核素：剩余^{99m}Tc放射性药物暂存于铅罐中，暂存于废物间，超过30天后可直接解控排放；剩余^{89}Sr暂存于随药铅罐中，由厂家回收。满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）要求。

③放射性固废：项目产生的放射性固废可分为四类。第一类为沾染核素的注射器、针管、针头、棉签、手套、药棉、纱布、吸水纸、破碎杯皿及擦拭表面污染的抹布等，沾染

^{99m}Tc和^{89}Sr的放射性固体废物分类收集和暂存，其中前者暂存超过30天，后者暂存超过505天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，β表面污染小于0.8Bq/cm^{2}后，作为一般医疗废物处置。第二类为使用完的^{99}Mo-^{99m}Tc发生器,由厂家回收。第三类为放射性废水衰变池产生的沉积物污泥，大部分放射性固体废物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，由切割型排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。第四类为通风系统更换下的废活性炭，交由有资质的单位处置，或置于废物间衰变箱内，暂存至少505天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，β表面污染小于0.8Bq/cm^{2}后，按照一般医疗废物处置。放射性固体废物处置满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）7.2.3.1 款要求。

④放射性废气：核医学工作场所分别设置了场所排风系统和手套箱排风系统。本项目使用的各类核素均不属于挥发性核素，物质稳定，均为液体，挥发到空气中的份额较少。核素淋洗、分装以及活度测定均在手套箱内进行，手套箱保持负压工况，可避免职业人员吸入放射性废气造成内照射影响；手套箱设置专用通风管道，场所内控制区主要房间内设置排风管道。手套箱顶壁和场所排风系统排气筒末端均设置活性炭高效过滤装置（根据厂家推荐时间定期更换，过滤效率不低于 80%）。两个排风口均位于 B 楼楼顶上方，高于楼顶排放，放射性废气经活性炭过滤净化后排放。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，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）。

（5）医院拟通过一系列污染防治措施，做好表面污染监测，确保核医学场所β表面污染水平满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求。

8.辐射安全管理结论

（1）医院已成立辐射安全与防护管理领导机构，签订有辐射安全工作责任书。已按照有关要求制定并落实了各项辐射安全管理制度，本次拟补充制定核医学有关制度。已制定有《辐射性事故应急预案》，建议根据环评进行完善相关内容。在完善各项规章制度和应急预案，并严格落实的情况下，可以确保工作人员和公众成员的安全。

（2）本项目拟配置 5 名核医学科工作人员，医院拟安排 5 人及时参加国家核技术利用辐射安全与防护培训，考核合格后上岗。满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求。

（3）核医学科拟配置活度计 1 台，2 部个人剂量报警仪，2 台表面污染监测仪，1 台便携式辐射剂量率监测仪。，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，青岛市中医医院（青岛市海慈医院、青岛市康复医学研究所）核医学科建设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。

11.2 承诺和建议

11.2.1 承诺

1.落实设计以及环评报告提出的各项辐射安全防护措施；

2.完善并落实各项辐射安全管理制度和辐射事故应急预案；

3.配备足够数量的活度计、个人剂量报警仪、便携式辐射环境检测仪、表面污染检测仪等监测设备；

4.辐射工作人员及时参加国家核技术利用与辐射安全防护考核，考核合格后上岗；

5.做好放射性固体废物收集、暂存、处理工作；定期检查安全防护设施，确保安全有效性；定期检查通风系统活性炭过滤装置的有效性，根据厂家建议的周期定期更换活性炭。

6.按照国家有关规定，按时重新申领辐射安全许可证和组织建设项目竣工环境保护验收。

11.2.2 建议

1、加强辐射安全教育培训，提高职业工作人员对辐射防护的理解和执行辐射防护措施的自觉性，杜绝辐射事故的发生。

2、医院应结合工作实际情况对辐射安全管理制度不断进行修改和完善。

下一级生态环境部门意见 公 章 经办人签字　　年　月　日
审批意见 公 章 经办人签字　　年　月　日