

报告编号：浙亿检（2025 年）环字第 010 号

核技术利用建设项目

温州医科大学附属第一医院

肿瘤中心扩建核医学科和 1 台 DSA 项目

环境影响报告表

（公示稿）

温州医科大学附属第一医院

2025 年 9 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

温州医科大学附属第一医院

肿瘤中心扩建核医学科和 1 台 DSA 项目

环境影响报告表

建设单位名称：_____温州医科大学附属第一医院_____

建设单位法人代表（签名或签章）：_____

通讯地址：_____浙江省温州市瓯海区南白象_____

邮政编码：_____325000_____ 联系人：_____

电子邮箱 _____ 联系电话：_____

目录

表 1 项目基本情况	1
表 2 放射源	23
表 3 非密封放射性物质	23
表 4 射线装置	25
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	26
表 6 评价依据	30
表 7 保护目标与评价标准	33
表 8 环境质量和辐射现状	44
表 9 项目工程分析与源项	51
表 10 辐射安全与防护	81
表 11 环境影响分析	113
表 12 辐射安全管理	161
表 13 结论与建议	172
表 14 审批	180

表 1 项目基本情况

建设项目名称		温州医科大学附属第一医院肿瘤中心扩建核医学科和 1 台 DSA 项目			
建设单位		温州医科大学附属第一医院			
法人代表		联系人		联系电话	
注册地址		浙江省温州市瓯海区南白象			
项目建设地点		温州市瓯海区生命健康小镇（茶白片区上蔡单元）B-10b 地块			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资 (万元)		51746.16	项目环保投资 (万元)	350	投资比例（环保 投资/总投资） 0.68%
项目性质		<input type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他			占地面积 (m ²) /
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 type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input checked="" 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 checked="" type="checkbox"/> III 类		
	其他	/			

1.1 项目概述

1.1.1 建设单位基本情况

温州医科大学附属第一医院（以下简称“医院”）建于 1919 年，是浙江省首批通过三甲评审的四家综合性医院之一，医院现有三个院区，其中公园路院区位于浙江省温州市鹿城区府学巷 2 号，南白象院区位于浙江省温州市瓯海区南白象镇，龙港院区位于龙港市新城大道 980-1208 号。医院三个院区占地总面积 764 余亩，建筑面积 74 万平方米，核定床位 3800 张，现有在岗职工 6802 余人，其中高级职称 908 人、硕士生导师 404 人、博士生导师 68 人。拥有百千万人才工程国家级人选、国家有突出贡献中青年专家等各类人才近 500 人次。医院学科设置齐全，整体综合实力突出，2024 年，医院门急

诊量 634 万人次，出院病人 29.12 万人次，手术 13.23 万台次。

医院南白象院区一期位于马屿河以北，已于 2012 年投入使用，建设有核医学科、放疗中心、导管室、放射影像中心、医疗保健中心、内镜中心、泌尿外科、口腔科等涉及放射类科室；预留二期位于马屿河以南，已于 2021 年开工建设，预计 2028 年投入使用，包括一座行政楼、一座高端体检楼、一座肿瘤中心楼和一座实验楼，分三个阶段建设，一阶段实验楼已建成并开始内部装修，二阶段行政楼和高端体检楼刚完成地下室建设，三阶段肿瘤中心楼于 2025 年 2 月 24 日，温州市生态环境局对医院建设项目出具了《温州医科大学附属第一医院肿瘤中心建设工程环境影响报告表》的批复（文号：温环瓯建[2025]22 号），具体详见附件 9。医院南白象院区规划设计图见图 1-1。



图 1-1 医院南白象院区规划设计图

1.1.2 项目由来及建设规模

1、项目由来

为提升当地和周边区域群众的医疗服务水平，满足医院发展需要，医院拟在南白象院区二期肿瘤中心楼开展下列核技术利用项目，主要包括：

(1) 因医院现有核医学科的回旋加速器已使用近 10 年，只能生产核素 ^{18}F ，无法生产其他核素，产量勉强够现有核医学科日常使用，已限制科室未来发展，面临淘汰，科室根据门诊量和生产其他核素用于科研的需要，在肿瘤中心楼地下一层扩建核医学科，包括正电子药物生产区和核素诊疗区，正电子药物生产区配备 1 台回旋加速器，生产 ^{18}F 正电子药物，生产的正电子药物供本项目及医院现有的核医学科使用（当医院南白象院区现有回旋加速器进行维修维护时或淘汰后，才由本项目回旋加速器进行生产供

药），生产的 ^{18}F 药物的放化质检在本项目核医学科中进行，微生物质检依托现有核医学科进行；核素诊疗区配备1台PET/CT、1台SPECT/CT，使用 ^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{67}Ga 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{123}I 放射性药物进行显像诊断，除 ^{18}F 放射性药物为自行生产外，其他放射性药物均为外购成品针剂；拟购买 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 成品药物注射针剂，进行门诊核素治疗；并拟在ECT注射室的手套箱内使用 ^{32}P 放射性核素制备 ^{32}P 敷贴器，在敷贴室内进行 ^{32}P 核素皮肤敷贴治疗， ^{32}P 敷贴器的处方剂量和形状由医务人员根据病人皮肤病变部位、病变性质确定并制备。此外，核素诊疗区还设置一间吸碘率测试间，使用放射性核素 ^{131}I 用于测量甲状腺对放射性碘的摄取量，评估甲状腺的功能状态。

(2) 因现有核医学科无核素住院治疗病房，为满足患者住院治疗的需求，医院在肿瘤中心楼一楼建设核素病房，共设置6间病房，四间双人间、两间单人间，共10张病床，外购 ^{131}I 、 ^{177}Lu 、 ^{225}Ac 放射性药物进行住院核素治疗；

(3) 在肿瘤中心楼三楼的手术中心扩建一间DSA复合手术室，配备1台DSA（型号未定），用于放射诊断和介入治疗。

同时，医院在肿瘤中心楼的地下二层建设一间放射性废水衰变室，配备一套长半衰期放射性废水衰变系统和一套短半衰期放射性废水衰变系统，长半衰期放射性废水衰变系统供一楼的核素病房使用，短半衰期放射性废水衰变系统供地下一层的核医学科使用。

本项目核医学科和核素病房投入使用后，医院一期现有的核医学科仍继续使用，由核医学科科室统一管理，除本项目回旋加速器可能会向现有核医学科供药，以及生产的放射性药物的微生物质检依托现有核医学科外，本项目核医学科和核素病房的场所、人员、辐射防护用品、辐射监测设备、放射性废物的处置均独立于医院一期现有的核医学科。

2、建设规模

(1) 地下一层核医学科

本项目核医学科设有正电子药物生产区和核素诊疗区，正电子药物生产区与核素诊疗区共用医护通道、放射性固废间、放射性废水衰变系统等，为一个完成的工艺流程，根据《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函[2016]430号），本项目将正电子药物生产区和核素诊疗区作为一个非密封放射性物质工作场所。

①正电子药物生产区

正电子药物生产区设有回旋加速器机房、合成分装室、质控室以及辅助房间等，回旋加速器机房配备1台PETtrace型回旋加速器，合成分装室内配备合成热室和分装热

室，回旋加速器负责生产 ^{18}F 放射性核素，合成分装室负责 ^{18}F 正电子药物的合成和分装，质控室负责正电子药物的即时质检，待放射性药物衰变至基本无放射性后，依托医院现有的核医学科进行理化和微生物检验。

根据本项目核素诊疗区 ^{18}F 日最大操作量为 $7.40\text{E}+09\text{Bq}$ （见表 1-2），考虑到 ^{18}F 的衰变以及工艺损失，按 3 倍进行生产备药，则每天需为本项目生产 ^{18}F 正电子药物不超过 $2.22\text{E}+10\text{Bq}$ ；同时考虑现有核医学科已许可的 ^{18}F 日最大操作量为 $7.40\text{E}+10\text{Bq}$ ，则本项目回旋加速器日生产 ^{18}F 正电子药物总共不超过 $9.62\text{E}+10\text{Bq}$ ，年工作 250 天，年生产量不超过 $2.41\text{E}+13\text{Bq}$ 。本项目正电子药物生产区放射性核素 ^{18}F 操作量见表 1-1。

表 1-1 本项目正电子药物生产区核素用量情况一览表

项目名称	核素	日最大生产量 (Bq)	年工作时间 (天)	年最大生产量 (Bq)
正电子药物生产区	^{18}F	$9.62\text{E}+10$	250	$2.41\text{E}+13$

②核素诊疗区

核素诊疗区包括 1 台 PET/CT、1 台 SPECT/CT，其中 PET/CT 使用 ^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{67}Ga 、 ^{68}Ga 正电子药物进行显像诊断，SPECT/CT 使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{123}I 放射性药物进行显像诊断；吸碘率测试间使用 ^{131}I 放射性药物进行测试；使用 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 放射性药物进行门诊核素治疗；使用 ^{32}P 放射性核素制备 ^{32}P 敷贴器，在敷贴室内进行 ^{32}P 核素皮肤敷贴治疗，敷贴器的处方剂量和形状、源面积大小等由工作人员根据患者病变性质和病变部分确定。本项目核素诊疗区各核素用量见表 1-2。

表 1-2 本项目核素诊疗区各核素用量情况一览表

项目名称	核素	单人最大用药量 (Bq)	日最大门诊量 (人)	日最大操作量 (Bq)	年门诊量 (人)	年最大用量 (Bq)
PET/CT 诊断	^{18}F	$3.70\text{E}+08$	20	$7.40\text{E}+09$	5000	$1.85\text{E}+12$
	^{64}Cu	$3.70\text{E}+08$	2	$7.40\text{E}+08$	100	$3.70\text{E}+10$
	^{67}Ga	$3.70\text{E}+08$	5	$1.85\text{E}+09$	200	$7.40\text{E}+10$
	^{68}Ga	$1.85\text{E}+08$	5	$9.25\text{E}+08$	200	$3.70\text{E}+10$
SPECT/CT 诊断	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$9.25\text{E}+08$	20	$1.85\text{E}+10$	5000	$4.63\text{E}+12$
	^{123}I	$3.70\text{E}+08$	10	$3.70\text{E}+09$	100	$3.70\text{E}+10$
吸碘率测试	^{131}I	$3.70\text{E}+05$	10	$3.70\text{E}+06$	2000	$7.40\text{E}+08$
核素门诊治疗	^{89}Sr	$1.48\text{E}+08$	2	$2.96\text{E}+08$	100	$1.48\text{E}+10$
	^{223}Ra	$7.40\text{E}+06$	2	$1.48\text{E}+07$	50	$3.70\text{E}+08$
	^{32}P	$4.44\text{E}+08$	6	$2.664\text{E}+09$	1000	$4.44\text{E}+11$

此外，本项目拟为PET/CT配备2枚²²Na V类校准源，单枚活度不超过1.48E+07Bq。

(2) 一楼核素病房

本项目核素病房共设置6间病房，分别为两间¹³¹I单人病房，两间¹³¹I双人病房，一间¹⁷⁷Lu双人病房，一间²²⁵Ac双人病房，为避免使用不同放射性药物治疗患者之间的相互辐射影响，¹³¹I、¹⁷⁷Lu、²²⁵Ac核素治疗采取错时措施不同时开展，即每次只开展一种核素的给药住院治疗，组织患者集中给药，给药后患者在其对应的病房内住院治疗（此时，其他种类核素的病房上锁，避免患者进入其他种类核素的病房），待患者治疗结束出院以及场所和污物打扫清洁后，再开展另一种核素的治疗。

本项目¹³¹I甲癌治疗每周最多开展2次，每次住院3~4天，每次最多6名患者；¹⁷⁷Lu核素治疗每周最多开展5次，每次住院不超过24小时，每次最多2名患者；²²⁵Ac核素治疗每周最多开展2次，每次住院3天左右，每次最多2名患者；本项目核素病房年工作50周，各核素用量见表1-3。

表 1-3 本项目核素病房各核素用量情况一览表

项目名称	核素	单人最大用药量 (Bq)	日最大门诊量 (人)	日最大操作量 (Bq)	年门诊量 (人)	年最大用量 (Bq)
核素病房	¹³¹ I	3.70E+09	6	2.22E+10	600	2.22E+12
	¹⁷⁷ Lu	7.40E+09	2	1.48E+10	500	3.70E+12
	²²⁵ Ac	1.48E+07	2	2.96E+07	200	2.96E+09

(3) 三楼 DSA 复合手术室

本项目手术中心的 DSA 复合手术室，拟配备 1 台 DSA（型号未定，最大管电压≤125kV、最大管电流≤1250mA），用于放射诊断和介入治疗。

1.1.3 工作场所等级划分

根据《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函[2016]430号）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020），¹⁸F生产、使用为简单操作；⁶⁴Cu、⁶⁷Ga、⁶⁸Ga、^{99m}Tc、¹²³I用于放射性诊断，均为外购成品，为很简单的操作；³²P、⁸⁹Sr、²²³Ra、¹³¹I、¹⁷⁷Lu、²²⁵Ac用于放射性治疗，为简单操作；以及经过毒性组别及核素的操作方式修正后，本项目核医学科和核素病房日等效最大操作量详见表1-4。

表 1-4 本项目核医学科日等效最大操作量一览表

工作场所	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)
核医学科	¹⁸ F	9.62E+10	低毒, 0.01	简单操作（液体），1	9.62E+08

	⁶⁴ Cu	7.40E+08	低毒, 0.01	很简单的操作 (液体), 10	7.40E+05
	⁶⁷ Ga	1.85E+09	中毒, 0.1	很简单的操作 (液体), 10	1.85E+07
	⁶⁸ Ga	9.25E+08	低毒, 0.01	很简单的操作 (液体), 10	9.25E+05
	^{99m} Tc	1.85E+10	低毒, 0.01	很简单的操作 (液体), 10	1.85E+07
	¹²³ I	3.70E+09	低毒, 0.01	很简单的操作 (液体), 10	3.70E+06
	¹³¹ I	3.70E+06	中毒, 0.1	简单操作 (液体), 1	3.70E+05
	⁸⁹ Sr	2.96E+08	中毒, 0.1	简单操作 (液体), 1	2.96E+07
	²²³ Ra	1.48E+07	极毒, 10	简单操作 (液体), 1	1.48E+08
	³² P	2.664E+09	中毒, 0.1	简单操作 (液体), 1	2.664E+08
	合计				
核素病房	¹³¹ I	2.22E+10	中毒, 0.1	简单操作 (液体), 1	2.22E+09
	¹⁷⁷ Lu	1.48E+10	中毒, 0.1	简单操作 (液体), 1	1.48E+09
	²²⁵ Ac	2.96E+07	极毒, 10	简单操作 (液体), 1	2.96E+08
	合计				

根据表 1-4, 本项目核医学科日等效最大操作量为 1.45E+09Bq, 核素病房日等效最大操作量为 3.996E+09Bq, 根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002), 均属于乙级非密封放射性物质工作场所(2.0E+07~4.0E+09)。

1.1.4 小结

根据表 1-1~表 1-4, 本次核技术利用具体情况见表 1-5。

表 1-5 本项目核技术利用情况一览表

放射源									
序号	放射源名称	数量	单枚活度(Bq)	放射源类别	工作场所名称	活动种类	环评情况	许可情况	备注
1	²² Na	2	1.48×10 ⁷	V	核医学科	使用	扩建项目 本次环评	未许可	校准源
非密封放射性物质工作场所									
序号	工作场所等级	核素名称	活动种类	工作场所名称	日等效最大操作量(Bq)	年最大用量(Bq)	备注		
1	乙级	¹⁸ F	生产、使用	肿瘤中心楼 地下一层 核医学科	9.62E+08	2.41E+13	扩建项目 本次环评		
2		⁶⁴ Cu	使用		7.40E+05	3.70E+10			
3		⁶⁷ Ga	使用		1.85E+07	7.40E+10			
4		⁶⁸ Ga	使用		9.25E+05	3.70E+10			

5		^{99m} Tc	使用		1.85E+07	4.63E+12	
6		¹²³ I	使用		3.70E+06	3.70E+10	
7		¹³¹ I	使用		3.70E+05	7.40E+08	
8		⁸⁹ Sr	使用		2.96E+07	1.48E+10	
9		²²³ Ra	使用		1.48E+08	3.70E+08	
10		³² P	使用		2.664E+08	4.44E+11	
11	乙级	¹³¹ I	使用	肿瘤中心楼 一楼 核素病房	2.22E+09	2.22E+12	
12		¹⁷⁷ Lu	使用		1.48E+09	3.70E+12	
13		²²⁵ Ac	使用		2.96E+08	2.96E+09	

射线装置

序号	射线装置名称	数量	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	类别	工作场所名称	环评情况	许可情况	备注
1	PET/CT (型号未定)	1	≤140	≤800	III	核医学科 PET/CT 扫描室	扩建项目 本次环评	未许可	新购
2	SPECT/CT (型号未定)	1	≤140	≤800	III	核医学科 SPECT/CT 扫描室		未许可	新购
3	DSA (型号未定)	1	≤125	≤1250	II	手术中心 DSA 复合手术室		未许可	新购
4	PETtrace 型回旋加速器	1	最大能量 16.5MeV	束流 (80×2) μA	II	核医学科回旋加速器机房		未许可	新购

为保护环境和公众利益，防止辐射污染，根据《中华人民共和国环境影响评价法》、《中华人民共和国放射性污染防治法》、《建设项目环境保护管理条例》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的要求，医院应办理核技术应用项目环境影响评价手续。

本项目为使用 V 类放射源、生产和使用非密封放射性物质（乙级非密封放射性物质工作场所）、使用 II 类和 III 类射线装置，根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版），应编制环境影响报告表。受温州医科大学附属第一医院的委托，浙江亿达检测技术有限公司承担该医院本次核技术利用项目的环境影响评价工作。我公司通过资料调研、项目工程分析，并在结合现场勘察等工作的基础上，编制了该项目的环境影响报告表。

1.2 项目周边保护目标及项目选址情况

1、医院位置

温州医科大学附属第一医院南白象院区位于温州市瓯海区南白象街道上蔡村，医院

地理位置示意图见附图 1。医院东侧为学府北路；南侧为泰康之家疗养基地和中国基因药谷基地；西侧依次为河流、桥头河路、桥头河锦园小区；北侧为帆海西路，医院南白象院区平面布局及周围环境情况见附图 2。

2、本项目位置及四至关系

(1) 核医学科

本项目核医学科拟建址位于肿瘤中心楼地下一层的西部，其东侧50m评价范围依次为下沉庭院、消防器材室、热水机房、水箱间、地下一层非机动车库、地下一层停车库等；南侧50m评价范围楼内依次为地下一层停车库、土层，楼外依次为医院道路及围墙、泰康之家一期疗养基地道路以及1#和2#楼房；西侧50m评价范围楼内为地下一层停车库，楼外依次为医院道路、高端体检楼；北侧50m评价范围楼内依次为负压吸引机房等辅助机房、地下一层停车库、土层，楼外依次为医院道路及绿化、马屿河；楼上为核素病房和医院道路及绿化等；楼下为放射性废水衰变室、太平间、发电机房、水泵房、地下二层停车库等。

(2) 核素病房

本项目核素病房拟建址位于肿瘤中心楼一楼的西南角，其东侧50m评价范围依次为住院大厅、大楼外墙、医院道路及绿化；南侧50m评价范围依次为配电房和大楼外墙、医院道路及围墙、泰康之家一期疗养基地道路；西侧50m评价范围依次为医院道路及绿化、高端体检楼；北侧50m评价范围依次为核医学科办公室等、大楼外墙、医院道路及绿化、马屿河；楼上为住院药房、走廊和医护公共休闲区等；楼下为核医学科、走廊和负压吸引机房等辅助机房。

(3) DSA复合手术室

本项目DSA复合手术室拟建址位于肿瘤中心楼三楼的东南角，其东侧50m评价范围依次为术前准备室、大楼外墙、医院道路及绿化；南侧50m评价范围依次为大楼外墙、医院道路及围墙、泰康之家一期疗养基地道路；西侧50m评价范围为手术中心其他手术室；北侧50m评价范围依次为手术中心走廊、电梯厅、大楼外墙、医院道路及绿化、马屿河；楼上为净化空调机房、值班室、综合办公室和耗材间等，楼下为换药室和休闲区等。

(4) 放射性废水衰变室

此外，本项目核医学科和核素病房配套建设的放射性废水衰变室位于肿瘤中心楼地下二层的西南部，其东侧50m评价范围依次为地下二层停车库、水泵房和制冷机房等；南侧50m评价范围楼内依次为地下一层停车库、土层，楼外依次为医院道路及围墙、泰康之家一期疗养基地道路以及1#和2#楼房；西侧50m评价范围楼内为地下二层停车库，

楼外依次为医院道路、高端体检楼；北侧50m评价范围楼内依次为太平间、发电机房和水泵房等、地下二层停车库，楼外为医院道路及绿化；楼上为核医学科；地下无建筑。

医院肿瘤中心楼地下二层平面布局见附图3，地下一层平面布局见附图4，一楼平面布局见附图5，二楼平面布局见附图6，三楼平面布局见附图7，四楼平面布局见附图8。

3、项目选址合理性分析

对照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中对核医学科的选址要求，本项目核医学科和核素病房选址合理性分析见表 1-6。

表 1-6 本项目选择情况与 HJ1188-2021 要求对比一览表

序号	标准要求	本项目选址情况	是否满足标准要求
1	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。	本项目核医学科位于肿瘤中心楼地下一层的西部，核素病房位于肿瘤中心楼一楼的西部，均设置有相应的物理隔断和单独的人员、物流通道。	满足
2	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，并应与非放射性工作场所所有明确的分界隔离。	本项目核医学科四周为下沉庭院、地下一层停车库、负压吸引机房，楼上为核素病房和医院道路及绿化等，楼下为放射性废水衰变室和太平间等，不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，且与非放射性工作场所均有明确的分界隔离以及物理隔离。 本项目核素病房四周为清洁被服间和空调机房、医院道路及绿化、配电房，楼上为住院药房、走廊和医护公共休闲区等，楼下为核医学科和负压吸引机房等，不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，且与非放射性工作场所均有明确的分界隔离以及物理隔离。	满足
3	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。	本项目核医学科和核素病房的排风口位于肿瘤中心楼的楼顶西北角，排风口高于周边建筑，并远离周边高层建筑。	满足

综上，本项目核医学科和核素病房拟建址位于建筑物的一端，均设置有相应的物理隔断和单独的人员、物流通道，并与非放射性工作场所所有明确的分界隔离，均不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，周围无环境制约因素，项目选址合理。

本项目不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地等环境敏感区，泰康之家一期疗养基地的 1#、2#楼距本项目核医学科最近约为 41m，为本项目环境敏感点，环境保护目标主要是本项目辐射工作人员、医院内的其他工作人员、病

患及陪同家属等流动人员以及泰康之家一期疗养基地 1#、2#楼的居民。

1.3 规划符合性分析

(1) 用地规划符合性分析

本项目位于温州市瓯海区南白象街道上蔡村，本项目用地性质为医疗卫生用地，且周围无环境制约因素，符合土地利用规划要求。

(2) “三线一单”符合性分析

根据浙江省生态环境厅关于印发《浙江省生态环境分区管控动态更新方案》的通知（浙环发〔2024〕18号），生态环境分区管控是以改善生态质量为核心，明确生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线，划定生态环境管控单元，在一张图上落实“三线”的管控要求，编制生态环境准入清单，构建生态环境分区管控体系。本项目“三线一单”符合性判定情况见表 1-7。

表 1-7 “三线一单”符合性分析

生态保护红线	本项目建设地点位于温州市瓯海区生命健康小镇（茶白片区上蔡单元）B-10b地块，根据《温州市生态环境分区管控动态更新方案》（见附图23）及《温州市生态保护红线分布图》（见附图24），本项目所在区域属于浙江省温州市瓯海区一般管控单元，环境管控单元编码：ZH33030430001，未涉及其划定的生态保护红线。
资源利用上线	本项目施工过程中用到水资源，用水量均不大，不会超出用水总量目标，符合水资源利用上线。本项目运营过程中主要消耗一定量的电能，消耗量相对区域资源利用总量较少，且项目不使用高耗能、低效率的设备，符合资源利用上线的要求。
环境质量底线	根据环境质量现状监测结果，本项目拟建址周围环境辐射水平属于正常本底范围。在落实本环评提出的各项污染防治措施后，不会对周围环境产生不良影响，能维持周边环境质量现状，满足该区域环境质量功能要求，因此本项目符合环境质量底线要求。
生态环境准入清单	根据《温州市生态环境分区管控动态更新方案》，本项目所在地属于浙江省温州市瓯海区一般管控单元（编码：ZH33030430001），该管控单元生态环境准入清单内容要求如下： 一、空间布局约束 原则上禁止新建三类工业项目，现有三类工业项目扩建、改建不得增加污染物排放总量并严格控制环境风险。禁止新建涉及一类重金属、持久性有机污染物排放的二类工业项目；工业功能区（包括小微园区、工业集聚点等）外现有工业用地在土地性质调整之前，在不加大环境影响、符合污染物总量控制的基础上，可以从事符合当地产业定位的一、二类工业。建立集镇居住商业区、耕地保护区与工业功能区等集聚区块之间的防护带。严格执行畜禽养殖禁养区规定，根据区域用地和消纳水平，合理确定养殖规模。加强基本农田保护，严格限制非农项目占用耕地。 二、污染物排放管控 落实污染物总量控制制度，根据区域环境质量改善目标，削减污染物排放总量。加强农业面源污染治理，严格控制化肥农药施加量，合理水产养殖布局，控制水产养殖污染，逐步削减农业面源污染物排放量。 三、环境风险管控

加强生态公益林保护与建设，防止水土流失。禁止向农用地排放重金属或者其他有毒有害物质含量超标的污水、污泥，以及可能造成土壤污染的清淤底泥、尾矿、矿渣等。加强农田土壤、灌溉水的监测及评价，对周边或区域环境风险源进行评估。

四、资源开发效率要求

无。

本项目为医疗服务设施建设项目，为卫生和社会工作行业，不属于工业项目，不涉及空间布局约束条件中禁止的项目，且不属于高能耗、高污染、高排放产业和低端制造业发展，符合生态环境准入清单相关要求。

综上，本项目不涉及生态保护红线、符合环境质量底线、资源利用上线和生态环境准入清单的要求，项目建设符合《温州市生态环境分区管控动态更新方案》的要求。

1.4 产业政策符合性分析

结合国家发展和改革委员会第7号令《产业结构调整指导目录（2024年本）》，本项目属于第三十七项“卫生健康”中第1款的医疗卫生服务设施建设，属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策的要求。

1.5 实践正当性评价

本项目投入使用能够更好的满足患者的就诊需求，在做好辐射防护的基础上，本项目的建设运行对受照个人或社会所带来的利益能够弥补其可能引起的辐射危害，该项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）“实践的正当性”的原则。

1.6 医院现有核技术利用项目许可及辐射安全管理情况

1.6.1 医院现有核技术利用项目许可情况

医院目前持有的辐射安全许可证书编号：浙环辐证[C0014]，有效期至2028年11月16日，使用的种类和范围：使用Ⅲ类、Ⅴ类放射源；使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级非密封放射性物质工作场所。医院辐射安全许可证复印件见附件5，医院现有核技术利用项目见表1-8，医院现有核技术利用项目环评批复及竣工环保验收意见见附件7。

表 1-8 医院现有核技术利用项目一览表

放射源								
序号	核素	类别	总活度 (贝克) /活度 (贝克) ×枚数		活动种类	环评情况	验收情况	
1	⁹⁰ Sr (⁹⁰ Y)	V类	1.11E+09*1		使用	浙环辐 (2015) 30号	未投入使用	
2	²² Na	V类	3.70E+06*1		使用	浙环辐 (2015) 30号	2018年1月11日 自主验收	
3	²² Na	V类	3.70E+05*6		使用	浙环辐 (2015) 30号		
4	¹⁹² Ir	III类	3.70E+11*1		使用	温环辐 (2016) 7号	2023年12月自主验收	
非密封放射性物质								
序号	工作场所	场所等级	核素	活动种类	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	环评情况	验收情况
1	南白象院区核医学科	乙级	⁸⁹ Sr	使用	3.70E+06	7.40E+09	浙环辐 (2015) 30号	2018年1月11日 自主验收
2			³² P	使用	7.40E+07	1.48E+11	新建: 浙环辐 (2015) 30号 改扩建: 浙环辐 (2022) 011号 2023年3月进行了增量	2023年12月自主验收
3			⁹⁹ Mo (^{99m} Tc)	使用	2.22E+07	1.11E+12	新建: 浙环辐 (2015) 30号 改扩建: 浙环辐 (2022) 011号	新建: 2018年1月11日 自主验收 改扩建: 未投入使用
4			¹³¹ I	使用	1.85E+09	3.70E+11		新建: 2018年1月11日 自主验收 改扩建: 2023年12月 自主验收
5			¹²³ I	使用	1.85E+07	4.63E+10		2023年12月自主验收

6				^{90}Y	使用	6.00E+07	6.00E+11	浙环辐(2022)011号	2023年12月自主验收
7				$^{99\text{m}}\text{Tc}$	使用	1.85E+07	4.62E+12	浙环辐(2022)011号	
8				^{223}Ra	使用	3.70E+08	5.55E+09	浙环辐(2022)011号	
9				^{68}Ga	使用	1.85E+07	4.63E+11	新建:浙环辐(2015)30号 改扩建:浙环辐(2022)011号	2023年12月自主验收
10	南白象院区PET-CT	乙级		^{18}F	生产、销售、使用	7.40E+08	1.85E+13		新建:2018年1月11日自主验收 改扩建:2023年12月自主验收
11	南白象院区(急诊CT二号机房、外周导管室一号DSA机房、外周导管室二号DSA机房、手术室手术时A04、医疗保健中心CT十号机房)	乙级		^{125}I (粒子源)	使用	5.92E+07	5.92E+11	浙环辐(2015)30号	2018年1月11日自主验收
12	南白象院区外周导管室三号机房	乙级		^{90}Y	使用	4.20E+07	4.20E+11	浙环辐(2022)011号	2023年12月自主验收
13				$^{99\text{m}}\text{Tc}$	使用	2.96E+05	7.40E+10		
射线装置									
序号	设备名称	类别	数量	型号	工作场所位置	活动种类	环评情况	验收情况	
1	模拟定位 CT	III类	1	Brilliance CT Big Bore	南白象院区放疗中心:CT模拟定位室1	使用	温环辐(2016)7号	2022年1月自主验收	
2	口腔 CT	III类	1	Kavo OP 3D Vision	公园路院区口腔科:6号楼2层口腔CBCT机房	使用	备案号:202233030400000100		

3	牙片机	III类	1	FOCUS	公园路院区口腔科：6号楼2层口腔牙片机房	使用	备案号：202233030400000100	
4	口腔全景机	III类	1	CS 8100SC	公园路院区口腔科：六号楼二层全景机房	使用	备案号：202133030400000144	
5	口腔颌面曲面体层 X 射线机	III类	1	OC200D	南白象院区口腔科：门诊全景机房	使用	登记表 202033030400000665	
6	口腔 CT	III类	1	Kavo 3D eXam	南白象院区口腔科：门诊口腔科 CT 室	使用	浙环辐（2015）30 号	浙环辐验（2017）66 号
7	牙片机	III类	1	CS 2100	南白象院区口腔科：牙片机房	使用	备案号：202233030400000014	
8	直线加速器	II类	1	Synergy	南白象院区放疗中心：直线加速器 1 室	使用	温环辐（2022）44 号	2023 年 12 月自主验收
9	直线加速器	II类	1	Elekta Infinity	南白象院区放疗中心：直线加速器 2 室	使用	温环辐（2016）7 号	2022 年 1 月自主验收
10	直线加速器	II类	1	Elekta syneugy	南白象院区放疗中心：直线加速器 4 室	使用	温环辐（2016）7 号	2023 年 12 月自主验收
11	直线加速器	II类	1	Varian Edge	南白象院区放疗中心：直线加速器 3 室	使用	温环辐（2016）7 号	2022 年 9 月自主验收
12	细胞和小动物 X 光辐照仪	III类	1	RS2000-225	南白象院区动物中心：动物房一楼屏障操作间	使用	备案号：202133030400000144	
13	DSA	II类	1	IGS 5	公园路院区心导管室：8 号机房	使用	温环辐（2022）44 号	2023 年 12 月自主验收
14	DSA	II类	1	IGS 5	公园路院区心导管室：7 号机房	使用	温环辐（2022）04 号	2022 年 9 月自主验收
15	DSA	II类	1	UNIQ FD2020	南白象院区手术室：手术间 23	使用	浙环辐（2015）30 号	2021 年 3 月自主验收
16	DSA	II类	1	Artis Qceiling	南白象院区外周导管室：1 号机房	使用	浙环辐（2022）44 号	2023 年 12 月自主验收
17	DSA	II类	1	Siemens Artis Zee III biplane	南白象院区外周导管室：3 号机房	使用	浙环辐（2015）30 号	2021 年 3 月自主验收
18	DSA	II类	1	Innova 4100-IQ	南白象院区外周导管室：2 号机房	使用	浙环辐（2015）30 号	浙环辐验（2017）66 号

19	DSA	II类	1	Innova IGS520	南白象院区心导管室： 5号机房	使用	温环辐（2019）01号	2021年3月自主验收
20	DSA	II类	1	AZURION 7B20	南白象院区心导管室： 3号机房	使用	浙环辐（2015）30号	浙环辐验（2017）66号
21	DSA	II类	1	IGS 5	南白象院区心导管室： 6号机房	使用	温环辐（2022）04号	2022年9月自主验收
22	DSA	II类	1	Allura XperFD10	南白象院区心导管室： 2号机房	使用	浙环辐（2015）30号	浙环辐验（2017）66号
23	DSA	II类	1	ALLura XperFD10	南白象院区心导管室： 1号机房	使用	浙环辐（2015）30号	浙环辐验（2017）66号
24	CT	III类	1	Revolution apex	公园路院区12号楼： CT22号机房	使用	备案号：202233030200000112	
25	CT	III类	1	uCT 710	公园路院区12号楼： CT21号机房	使用	备案号：202233030200000120	
26	CT	III类	1	LightSpeed Pro16	公园路院区放射科： 门诊一楼CT室一号机 房	使用	浙环辐（2008）30号（以评代验）	
27	CT	III类	1	LightSpeed VCT	公园路院区放射科：门 诊一楼CT室二号机房	使用	浙环辐（2008）30号（以评代验）	
28	CT	III类	1	UCT 530	公园路院区医疗保健中 心：CT三号机房	使用	备案号：202033030400000665	
29	CT	III类	1	Neu Viz Extra	公园路院区医疗保健中 心：CT23号机房	使用	备案号：202333030200000116	
30	PET-CT	III类	1	Gemini TF	南白象院区PET-CT： 1号机房	使用	浙环辐（2015）30号	2018年1月11日自主验收
31	PET-CT	III类	1	Umi Panorama 35S	南白象院区PET-CT： 2号机房	使用	浙环辐（2022）011号	2023年12月自主验收
32	CT	III类	1	UCT 530	南白象院区独立CT 楼：CT14号机房	使用	备案号：202233030400000054	
33	移动CT	III类	1	ScintCare CT16	南白象院区方舱CT	使用	备案号：202033030400000593	

34	CT	III类	1	Revolution Apex	南白象院区放射影像中心：CT7号机房	使用	新建：备案号：202033030400000665 设备更新：备案号：202233030400000100	
35	CT	III类	1	Aquilion One TSX-301A	南白象院区放射影像中心：CT4号机房	使用	浙环辐（2015）30号	浙环辐验（2017）66号
36	CT	III类	1	Bright Speed Elite	南白象院区放射影像中心：CT6号机房	使用	浙环辐（2015）30号	浙环辐验（2017）66号
37	CT	III类	1	uCT 710	南白象院区放射影像中心：CT5号机房	使用	浙环辐（2015）30号	浙环辐验（2017）66号
38	CT	III类	1	NeuViz Prime	南白象院区放射影像中心：CT8号机房	使用	备案号：202233030400000100	
39	SPECT-CT	III类	1	Discovery NM/CT670	南白象院区核医学科：SPECT-CT机房	使用	浙环辐（2015）30号	2018年1月11日自主验收
40	CT	III类	1	Aquilion TSX-101A	南白象院区急诊：CT12号机房	使用	备案号：201833030400000030	
41	CT	III类	1	LightSpeed VCT	南白象院区急诊：CT11号机房	使用	浙环辐（2015）30号	浙环辐验（2017）66号
42	CT	III类	1	NeuViz Extra	南白象院区急诊：CT13号机房	使用	浙环辐（2015）30号	浙环辐验（2017）66号
43	CT	III类	1	Philips CT Big Bore	南白象院区外周导管室	使用	备案号：202333030400000004	
44	CT	III类	1	Discovery CT50HD	南白象院区医疗保健中心：CT10号机房	使用	浙环辐（2015）30号	2018年1月11日自主验收
45	CT	III类	1	Brilliance CT	南白象院区医疗保健中心：CT9号机房	使用	备案号：202033030400000593	
46	移动 X 射线机	III类	1	uDR 380i	公园路院区 54 病区	使用	备案号：202333030400000004	
47	移动 X 射线机	III类	1	uDR 380i	公园路院区 631 病区	使用	备案号：202333030400000004	
48	移动 X 射线机	III类	1	MUX-200D	公园路院区 ICU	使用	备案号：202033030400000665	
49	移动 X 射线机	III类	1	MUX-100DJ	公园路院区 NICU	使用	浙环辐（2008）30号（以评代验）	

50	DR	III类	1	新东方 1000FB	公园路院区急诊楼： DR21号机房	使用	备案号：202233030200000120	
51	移动式C臂机	III类	1	uMC560i	公园路院区急诊手术 室：1/2/3/4/6间	使用	备案号：202233030200000204	
52	移动式C臂机	III类	1	BV Endura	公园路院区急诊手术 室：1/2/3/4/6间	使用	备案号：202133030400000144	
53	移动式C臂机	III类	1	BV Vectra	公园路院区急诊手术 室：1间	使用	浙环辐（2008）30号（以评代验）	
54	DR	III类	1	Digital Diagnost	公园路院区放射科：门 诊三楼DR2号机房	使用	浙环辐（2008）30号（以评代验）	
55	DR	III类	1	DRX-Evlution Plus	公园路院区放射科：门 诊三楼拍片室1	使用	浙环辐（2008）30号（以评代验）	
56	DR	III类	1	Digital Diagnost	公园路院区医疗保健中 心：胸片DR室	使用	浙环辐（2008）30号（以评代验）	
57	钼靶乳腺机	III类	1	FDR MS-3500	公园路院区医疗保健中 心：乳腺DR室	使用	备案号：202033030400000665	
58	X射线骨密度检测仪	III类	1	Prodigy Advance	公园路院区医疗保健中 心：双能X线检测机房	使用	备案号：202133030200000020	
59	移动DR	III类	1	uDR 370i	南白象院区 EICU	使用	备案号：202033030400000665	
60	移动DR	III类	1	MobiEye 700A	南白象院区 ICU	使用	备案号：202033030400000665	
61	移动DR	III类	1	MobiEye 700A	南白象院区 NICU	使用	备案号：202033030400000665	
62	DR	III类	1	Digital Diagnost	南白象院区放射影像中 心：DR1号机房	使用	浙环辐（2015）30号	浙环辐验（2017）66号
63	DR	III类	1	uDR 780i	南白象院区放射影像中 心：DR3号机房	使用	备案号：202033030400000665	
64	骨密度仪	III类	1	Prodigy Primo	南白象院区放射影像中 心：DR6号机房	使用	浙环辐（2015）30号	浙环辐验（2017）66号
65	钼靶乳腺机	III类	1	FDR MS-3500	南白象院区放射影像中 心（DR5号机房）	使用	浙环辐（2015）30号	浙环辐验（2017）66号

66	DR	III类	1	uDR 780i	南白象院区放射影像中心：DR2号机房	使用	备案号：202033030400000593	
67	数字胃肠机	III类	1	Sonial Vision Safire Plus	南白象院区放射影像中心：DR4号机房	使用	浙环辐（2015）30号	浙环辐验（2017）66号
68	DR	III类	1	Digital Diagnost	南白象院区急诊：DR11号机房	使用	浙环辐（2015）30号	浙环辐验（2017）66号
69	体外冲击波碎石机	III类	1	Compact deltaII	南白象院区泌尿外科：门诊碎石室	使用	浙环辐（2015）30号	浙环辐验（2017）66号
70	ERCP	III类	1	Ultimax-i DREX-UI80	南白象院区内镜中心：ERCP机房	使用	备案号：201833030400000030	
71	移动式C臂机	III类	1	BV Endura	南白象院区手术室：手术间B24/A501	使用	浙环辐（2015）30号	浙环辐验（2017）66号
72	移动式C臂机	III类	1	BV Endura	南白象院区手术室：手术间C43/C46/C47	使用	备案号：201833030400000030	
73	移动式C臂机	III类	1	BV Endura	南白象院区手术室：手术间B21	使用	浙环辐（2015）30号	浙环辐验（2017）66号
74	移动式C臂机	III类	1	BV Endura	南白象院区手术室：手术间A04	使用	备案号：201833030400000030	
75	移动式C臂机	III类	1	BV Endura	南白象院区手术室：手术间B25	使用	浙环辐（2015）30号	浙环辐验（2017）66号
76	移动式C臂机	III类	1	uMC560i	南白象院区手术室：手术间A501	使用	备案号：202333030400000093	
77	动态DR	III类	1	DT570E	南白象院区医疗保健中心：DR7号机房	使用	浙环辐（2015）30号	2018年1月11日自主验收
78	骨密度仪	III类	1	Prodigy Advance	南白象院区医疗保健中心：DR9号机房	使用	浙环辐（2015）30号	2021年3月自主验收
79	钼靶乳腺机	III类	1	FDR MS-1000	南白象院区医疗保健中心：DR8号机房	使用	浙环辐（2015）30号	2018年1月11日自主验收
80	回旋加速器	II类	1	Qilin	南白象院区PET-CT：回旋加速器机房	使用	浙环辐（2015）30号	2018年1月11日自主验收
81	DSA	II类	1	Innova2100-IQ	南白象院区心导管室：10号机房	使用	温环辐（2024）7号	2025年2月自主验收

82	DSA	II类	1	Azurion 7 M12	南白象院区心导管室： 9号机房	使用	温环辐（2024）7号	2025年2月自主验收
83	DSA	II类	1	Azurion 7 B20	公园路院区外周导管 室：介入导管室（4）	使用	温环辐（2024）7号	2025年2月自主验收

1.6.2 医院现有辐射安全管理情况

1、现有辐射安全管理机构的设置情况

医院已成立辐射安全防护领导小组，由 1 名组长、3 名副组长以及多名组员组成。各成员根据所处科室或岗位落实相应职责。医院三个院区共用一套辐射安全防护领导小组，医院现有辐射安全防护领导小组已明确规定各成员的职责，分工明确、职责分明，成员间具有监督管理机制。医院成立辐射安全管理机构的通知见附件 8。

2、现有辐射安全管理规章制度的制定及落实情况

医院已制定《辐射安全事故应急处置预案》《辐射安全防护管理制度》《放射工作人员职业健康管理制度》《辐射防护用品管理制度》《受检者辐射危害告知与防护制度》《放射性核素存储与使用管理制度》《核医学放射性废物处置管理制度》《核医学放射性“三废”处置管理制度》《监测方案》等规章制度。

其中，医院现有核医学科产生的含有核素 ^{99m}Tc 、 ^{123}I 、 ^{131}I 、 ^{89}Sr 、 ^{32}P 、 ^{223}Ra 、 ^{90}Y 和 ^{18}F 、 ^{68}Ga 的放射性废水排入医院南大厅南侧现有的推流式放射性废水衰变系统，医院在放射性废水衰变系统的排放口设置有在线监测系统，放射性废水衰变系统中的放射性废水经监测满足排放标准要求后，排入医院污水处理系统；现有核医学科设置有独立的排风系统，产生的放射性废气经活性炭吸附后通过排风系统在本楼屋顶排放；现有核医学科产生的含有核素 ^{99m}Tc 、 ^{123}I 、 ^{131}I 、 ^{89}Sr 、 ^{32}P 、 ^{223}Ra 、 ^{90}Y 和 ^{18}F 、 ^{68}Ga 的放射性固体废物根据核素种类分类收集，放在现有核医学科的放射性固废间的废物桶内，所含核素半衰期小于 24h 的放射性固体废物暂存时间超过 30 天、所含核素半衰期大于 24h 的放射性固体废物暂存时间超过半衰期的 10 倍、含 ^{131}I 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天，经监测辐射剂量率处于环境本底水平， α 表面污染小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，作为医疗废物由有资质单位统一回收处理。医院现有核医学科放射性三废的处置措施满足相关环保要求，无遗留问题。

医院现有辐射管理制度内容健全完善且合理规范，符合相关要求。医院已严格落实了各项规章制度，各辐射防护设施运行、维护、检测工作良好，在辐射安全和防护制度的建立、落实及档案管理等方面运行较好。

3、现有辐射工作人员管理情况

(1) 医院现有辐射工作人员均已在温州市放射工作人员放射防护知识培训平台通过考核。

(2) 医院已安排现有辐射工作人员参加了职业健康体检，并建立了辐射工作人员职业健康监护档案。辐射工作人员在岗前、在岗期间和离岗前均进行职业健康体检，在岗

期间体检周期不超过 2 年。根据辐射工作人员的职业健康体检报告，现有辐射工作人员均可从事放射工作或可继续原放射工作。

(3) 医院委托有资质单位对现有辐射工作人员进行了个人剂量监测，个人剂量计每三个月送检一次，并建立了个人剂量档案。根据医院提供的 2024 年第二季度至 2025 年第一季度的个人剂量检测报告，现有辐射工作人员近一年内连续四个季度个人有效剂量最大为 1.258mSv，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002) 中对职业人员“剂量限值”的要求，也符合年剂量约束值 5mSv/a 的管理要求。

4、现有辐射监测仪器与防护用品配备情况

医院现有辐射监测仪器与防护用品配备情况见表 1-9，可满足医院现阶段辐射工作的需求。其中，现有核医学科配备了 3 台 γ 射线检测仪和 3 台 α 、 β 表面污染仪辐射监测设备，以及足够的铅衣、铅帽、铅眼镜、铅围脖、铅屏风等个人防护用品，满足现有核医学科的需求。

表 1-9 医院现有辐射监测仪器与防护用品一览表

名称	数量	名称	数量
活度仪	4 个	方巾	3 件
γ 射线检测仪	11 个	铅屏风	13 块
X- γ 个人剂量报警仪	17 个	铅帽	62 件
α 、 β 表面污染仪	3 个	铅眼镜	17 件
铅衣	194 件	铅围脖	159 件
铅裙	19 件	铅手套	6 副
铅围裙	141 件	防护罐	13 个
个人剂量计	258 个	/	/

5、辐射防护措施与设施落实情况

医院所有辐射工作场所均已根据项目实际情况划分了控制区与监督区，实行两区管理。医院各射线装置机房均按标准要求设置了工作状态指示灯、电离辐射警告标志等辐射安全措施。医院核医学工作场所于控制区的入口及防护门上粘贴了醒目的电离辐射警告标志并标明了控制区标志；监督区入口处设有标明监督区的标志，并标出患者进出口通道和流动路线及文字说明；各注射室、扫描室、留观室、住院病房设有监控探头与对讲系统；储源室实行双人双锁管理。医院各辐射工作场所采取的辐射安全措施可满足相应的辐射安全要求。

6、辐射安全和防护状况年度评估情况

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，医院每季度对本单位的辐射工作场所进行了监测，并每年委托有资质单位对本单位的辐射工作场所进行了监测，各辐射场所周围剂量当量率、核医学科工作场所表面污染水平与放射性废水排放均满足相关的标准要求（医院现有核医学科最近一年的年度监测报告见附件 11，因回旋加速器维修，已于近期进行了补测，暂未出具监测报告），并每年对本单位辐射工作场所的安全和防护状况进行了年度评估，于每年 1 月 31 日前在全国核技术利用辐射安全申报系统上提交了上一年度的放射性同位素与射线装置安全和防护状况评估报告，满足环保相关管理要求。

7、现有辐射事故应急执行情况

医院已针对现有核技术利用项目可能发生的辐射事故制定了《辐射事故应急预案》，医院定期开展辐射事故应急演练（医院现有核医学科最近一次辐射事故应急演练记录见附件 12），并对演练结果进行总结，及时对辐射事故应急预案进行完善和修订。经与建设单位核实，医院自开展辐射活动以来，无辐射事故发生。

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	²² Na	1.48×10 ⁷ ×2	V	使用	校准源	核医学科	贮存在核医学科储源室的储源罐中	定期更换，退役后由原生产厂家回收或送省城市放射性废物库收贮
/	/	/	/	/	/	/	/	/

注：放射源包括放射性中子源，对其要说明是何种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	¹⁸ F	液态、低毒	生产、使用	9.62E+10	9.62E+08	2.41E+13	PET/CT 扫描	简单操作	核医学科	不贮存，当天生产，当天使用
2	⁶⁴ Cu	液态、低毒	使用	7.40E+08	7.40E+05	3.70E+10		很简单的操作		不贮存，当天送达，当天使用
3	⁶⁷ Ga	液态、中毒	使用	1.85E+09	1.85E+07	7.40E+10		很简单的操作		
4	⁶⁸ Ga	液态、低毒	使用	9.25E+08	9.25E+05	3.70E+10		很简单的操作		

5	^{99m} Tc	液态、低毒	使用	1.85E+10	1.85E+07	4.63E+12	SPECT/CT 扫描	很简单的操作	核医学科	不贮存，当天 送达，当天使 用
6	¹²³ I	液态、低毒	使用	3.70E+09	3.70E+06	3.70E+10		很简单的操作		
7	¹³¹ I	液态、中毒	使用	3.70E+06	3.70E+05	7.40E+08	吸碘率测试	简单操作		未用完的放置 在铅罐，并贮 存在储源室内
8	⁸⁹ Sr	液态、中毒	使用	2.96E+08	2.96E+07	1.48E+10	核素治疗	简单操作		不贮存，当天 送达，当天使 用
9	²²³ Ra	液态、极毒	使用	1.48E+07	1.48E+08	3.70E+08		简单操作		
10	³² P	液态、中毒	使用	2.664E+09	2.664E+08	4.44E+11		简单操作		
11	¹³¹ I	液态、中毒	使用	2.22E+10	2.22E+09	2.22E+12	核素治疗	简单操作	核素病房	不贮存，当天 送达，当天使 用
12	¹⁷⁷ Lu	液态、中毒	使用	1.48E+10	1.48E+09	3.70E+12		简单操作		
13	²²⁵ Ac	液态、中毒	使用	2.96E+07	2.96E+08	2.96E+09		简单操作		
/	/	/	/	/	/	/	/	/		

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）。

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	回旋加速器	II	1	PETtrace	质子	16.5	(80×2) μA	生产放射性核素 ¹⁸ F	核医学科回旋加速器机房	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(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	PET/CT	III	1	型号未定	140	800	显像扫描	核医学科 PET/CT 机房	/
2	SPECT/CT	III	1	型号未定	140	800	显像扫描	核医学科 SPECT/CT 机房	/
3	DSA	II	1	型号未定	125	1250	放射诊疗	手术中心 DSA 复合手术室	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大靶电流 (μA)	中子强度	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度	贮存方式	数量	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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
回旋加速器更换下来的含长半衰期核素的废靶膜等高活性放射性固体废物，以及一次性沾污废物等非高活性固体废物	固体	长半衰期活化核素	/	/	约 0.6kg	/	暂存在回旋加速器机房内的放射性废物铅桶内	定期由有资质单位回收处置或送省城市放射性废物库
核医学科放射性药物生产及制备过程中更换的过滤网、传输软管等	固体	¹⁸ F	/	/	约 1kg	≤1×10 ⁴ Bq/kg	暂存于合成分装室的废物铅桶中	集中收集暂存在核医学科的放射性固废间中，暂存时间超过 30 天，经监测辐射剂量率处于环境本底水平，α表面污染小于 0.08Bq/cm ² 、β表面污染小于 0.8Bq/cm ² 后，作为医疗废物由有资质单位统一回收处理
核医学科放射性药物生产、质检过程以及患者检查治疗过程产生的一次性注射器、棉签、服药杯、手套、口罩、滤纸、擦拭废纸、绷带、废试剂瓶、废弃滴管等	固态	¹⁸ F、 ⁶⁴ Cu、 ⁶⁷ Ga、 ⁶⁸ Ga、 ^{99m} Tc、 ¹²³ I、 ⁸⁹ Sr、 ²²³ Ra、 ¹³¹ I	/	约 89.6kg	约 1075kg	≤1×10 ⁴ Bq/kg	根据核素种类分类收集于各场所的废物铅桶中	集中收集暂存在核医学科的放射性固废间中，所含核素半衰期小于 24h 的放射性固体废物暂存时间超过 30 天、所含核素半衰期大于 24h 的放射性固体废物暂存时间超过半衰期的 10 倍、含 ¹³¹ I 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天，经监测辐射剂量率处于环境本底水平，α表面污染小于 0.08Bq/cm ² 、β表面污染小于 0.8Bq/cm ² 后，作为医疗废物由有资质单位统一回收处理

敷贴器制作及治疗过程产生的一次性手套、口罩、滤纸、擦拭废纸、废敷贴源、胶布等	固体	^{32}P	/	约 6.25kg	约 75kg	$\leq 1 \times 10^6 \text{Bq/kg}$	暂存于 ECT 注射室的废物铅桶内	集中收集暂存在核医学学科的放射性固废间中，自然衰变至少 143 天后，经监测，辐射剂量率处于环境本底水平、 α 表面沾污小于 0.08Bq/cm^2 、 β 表面沾污小于 0.8Bq/cm^2 后，作为医疗废物处理。
核医学科通风系统更换下来的废活性炭高效过滤材料	固态	^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{67}Ga 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{123}I 、 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 、 ^{32}P 、 ^{131}I	/	/	约 370kg	$\leq 1 \times 10^4 \text{Bq/kg}$	集中收集放置在核医学学科的放射性固废间中	暂存时间超过 180 天，经监测辐射剂量率处于环境本底水平、 α 表面污染小于 0.08Bq/cm^2 、 β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 后，作为非放射性固体废物由有资质单位统一回收处理
^{22}Na 退役废源	固态	^{22}Na	/	/	/	/	贮存在储源罐中，放置在核医学学科的储源室内	交由原生产厂家回收或由省城市放射性废物库回收处置
核医学科放射性药物生产、质检过程产生的少量工艺废水以及给药后患者产生的含放射性核素的排泄物和冲洗水以及人员和场所等产生的含放射性核素的清洗废水	液态	^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{67}Ga 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{123}I	/	约 14.2m^3	约 170.25m^3	总 $\alpha \leq 1 \text{Bq/L}$ ， 总 $\beta \leq 10 \text{Bq/L}$	经专用管道排至短半衰期放射性废水衰变系统中	自然衰变超过 33 天，经监测满足总 α 不大于 1Bq/L 、总 β 不大于 10Bq/L ，监测结果经审管部门认可后，排放至医院污水处理系统，作为医疗废水处理
敷贴器制备过程产生的少量含 ^{32}P 的工艺废水	液体	^{32}P	/	约 0.002m^3	约 0.025m^3	总 $\alpha \leq 1 \text{Bq/L}$ ， 总 $\beta \leq 10 \text{Bq/L}$ ， $^{32}\text{P} \leq 1 \times 10^6 \text{Bq/L}$	单独收集在塑料桶中，并放置在 ECT 注射室的铅桶内	在桶内自然衰变至少 143 天后，经监测满足总 α 不大于 1Bq/L 、总 β 不大于 10Bq/L 、 ^{32}P 放射性活度浓度不大于 $1 \times 10^6 \text{Bq/L}$ 的要求，监测结果经审管部门认可后，排放至医院污水处理系统，作为医疗废水处理

回旋加速器运行时产生的活化气体	气体	感生放射性核素	/	微量	微量	/	不暂存	经活性炭高效过滤器过滤后，由排风系统排至肿瘤中心楼的楼顶排放
核医学科产生的含微量放射性核素的挥发气体	气态	¹⁸ F、 ⁶⁴ Cu、 ⁶⁷ Ga、 ⁶⁸ Ga、 ^{99m} Tc、 ¹²³ I、 ⁸⁹ Sr、 ²²³ Ra、 ³² P、 ¹³¹ I	/	微量	微量	/	不暂存	经活性炭高效过滤器过滤后，由排风系统排至肿瘤中心楼的楼顶排放
核素病房产生的一次性注射器、棉签、服药杯、手套、口罩、擦拭废纸、绷带等	固态	¹³¹ I、 ¹⁷⁷ Lu、 ²²⁵ Ac	/	/	约 1500kg	$\leq 1 \times 10^5 \text{Bq/kg}$	暂存于各房间的废物铅桶内	根据核素种类分类收集，贮存在核素病房的放射性固废间中，所含核素半衰期大于 24h 的放射性固体废物暂存时间超过半衰期的 10 倍、含 ¹³¹ I 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天，经监测辐射剂量率处于环境本底水平， α 表面污染小于 0.08Bq/cm ² 、 β 表面污染小于 0.8Bq/cm ² 后，作为医疗废物由有资质单位统一回收处理
核素病房通风系统更换下来的废活性炭高效过滤材料	固态	¹³¹ I、 ¹⁷⁷ Lu、 ²²⁵ Ac	/	/	约 140kg	$\leq 1 \times 10^5 \text{Bq/kg}$	集中收集放置在核素病房的放射性固废间中	暂存时间超过 180 天，经监测辐射剂量率处于环境本底水平、 α 表面污染小于 0.08Bq/cm ² 、 β 表面污染小于 0.8Bq/cm ² 后，作为非放射性固体废物由有资质单位统一回收处理

核素病房给药后患者产生的含放射性核素的排泄物和冲洗水以及人员和场所等产生的含放射性核素的清洗废水	液态	¹³¹ I、 ¹⁷⁷ Lu、 ²²⁵ Ac	/	约 18m ³	约 215m ³	总α≤1Bq/L，总β≤10Bq/L	经专用管道排至长半衰期放射性废水衰变系统中	自然衰变超过 180 天，经监测满足总α不大于 1Bq/L、总β不大于 10Bq/L，监测结果经审管部门认可后，排放至医院污水处理系统，作为医疗废水处理
放射性废水衰变室通风系统更换下来的废活性炭高效过滤材料	固态	¹⁸ F、 ⁶⁴ Cu、 ⁶⁷ Ga、 ⁶⁸ Ga、 ^{99m} Tc、 ¹²³ I、 ⁸⁹ Sr、 ²²³ Ra、 ³² P、 ¹³¹ I、 ¹⁷⁷ Lu、 ²²⁵ Ac	/	/	约 40kg	≤1×10 ⁴ Bq/kg	集中收集放置在核医学科的放射性固废间中	暂存时间超过 180 天，经监测辐射剂量率处于环境本底水平、α表面污染小于 0.08Bq/cm ² 、β表面污染小于 0.8Bq/cm ² 后，作为非放射性固体废物由有资质单位统一回收处理
核素病房产生的含微量放射性核素的挥发气体	气态	¹³¹ I、 ¹⁷⁷ Lu、 ²²⁵ Ac	/	微量	微量	/	不暂存	经活性炭高效过滤器过滤后，由排风系统排至肿瘤中心楼的楼顶排放
回旋加速器机房、PET/CT 和 SPECT/CT 扫描机房、DSA 复合手术室产生的臭氧和氮氧化物	气态	/	/	微量	微量	/	不暂存	由排风系统排至肿瘤中心楼的楼顶排放，臭氧在常温常压下稳定性较差，常温常压的空气中臭氧有效化学分解时间约为 50 分钟，可自动分解为氧气
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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/m³，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/m³）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

<p>法规文件</p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》（1989年12月26日第七届全国人民代表大会常务委员会第十一次会议通过；2014年4月24日第十二届全国人民代表大会常务委员会第八次会议修订），2015年1月1日施行；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2002年10月28日通过，中华人民共和国主席令第77号公布，自2003年9月1日起施行；2016年7月2日第一次修正；2018年12月29日第二次修正）；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003年10月1日起施行；</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》（1998年11月29日中华人民共和国国务院令第253号发布施行；2017年7月16日中华人民共和国国务院第682号令修订，自2017年10月1日起施行）；</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2005年9月14日经国务院令第449号公布，2014年7月29日经国务院令第653号修改，2019年3月2日经国务院令第709号修改）；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2006年1月18日经国家环境保护总局令第31号公布，2008年12月6日经环境保护部令第3号修改；2017年12月20日经环境保护部令第47号修改，2019年8月22日经生态环境部令第7号修改，2021年1月4日经生态环境部令第20号修改）；</p> <p>(7) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021年版），生态环境部令第16号，2021年1月1日起施行；</p> <p>(8) 《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年5月1日起施行；</p> <p>(9) 《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》，国家环境保护总局文件，环发[2006]145号文；</p> <p>(10) 《关于发布射线装置分类的公告》（2017年修订版），环境保护部 国家卫生计生委公告2017年公告第66号公布，自2017年12月5日起施行；</p> <p>(11) 《关于发布放射源分类办法的公告》，国家环保总局公告，公告2005年第62号，2005年12月23日发布；</p> <p>(12) 关于印发《建设项目环境影响评价政府信息公开指南（试行）》的通知，环办[2013]103号，2014年1月1日起施行；</p> <p>(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</p>
-------------	--

	<p>部、国防科工局公告 2017 年公告第 65 号公布，自 2018 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(14) 《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，发改委令第 7 号，自 2024 年 2 月 1 日起施行；</p> <p>(15) 《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，生态环境部令第 9 号，2019 年 11 月 1 日起施行；</p> <p>(16) 《关于发布<建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法>配套文件的公告》，生态环境部公告 2019 年第 38 号，2019 年 11 月 1 日起施行；</p> <p>(17) 《生态环境部关于启用环境影响评价信用平台的公告》，生态环境部公告 2019 年第 39 号，2019 年 10 月 25 日生成；</p> <p>(18) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，生态环境部公告 2019 年第 57 号，2020 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(19) 《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；</p> <p>(20) 《浙江省建设项目环境保护管理办法》（2011 年 10 月 25 日浙江省人民政府令第 288 号公布，根据 2014 年 3 月 13 日浙江省人民政府令第 321 号公布的《浙江省人民政府关于修改〈浙江省林地管理办法〉等 9 件规章的决定》第一次修正，根据 2018 年 1 月 22 日浙江省人民政府令第 364 号公布的《浙江省人民政府关于修改〈浙江省建设项目环境保护管理办法〉的决定》第二次修正，根据 2021 年 2 月 10 日浙江省人民政府令第 388 号公布的《浙江省人民政府关于修改〈浙江省价格监测预警办法〉等 9 件规章的决定》第三次修正）；</p> <p>(21) 《浙江省辐射环境管理办法》（2011 年 12 月 18 日浙江省人民政府令第 289 号公布，根据 2021 年 2 月 10 日浙江省人民政府令第 388 号公布的《浙江省人民政府关于修改〈浙江省价格监测预警办法〉等 9 件规章的决定》修正）；</p> <p>(22) 《浙江省人民政府办公厅关于印发浙江省辐射事故应急预案的通知》，浙政办发〔2018〕92 号，2018 年 9 月 18 日起施行；</p> <p>(23) 《浙江省生态环境厅关于发布<省生态环境主管部门负责审批环境影响评价文件的建设项目清单（2024 年本）>的通知》（浙环发[2024]67 号），2024 年 12 月 31 日起施行。</p>
<p>技术标准</p>	<p>(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》（HJ 10.1-2016）；</p> <p>(2) 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）；</p>

	<p>(3) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》 (HJ 1157-2021) ;</p> <p>(4) 《表面污染测定 第 1 部分: β 发射体 ($E_{\beta\max} > 0.15 \text{ MeV}$) 和 α 发射体》 (GB/T 14056.1-2008) ;</p> <p>(5) 《辐射防护仪器 中子周围剂量当量 (率) 仪》 (GB/T14318-2019) ;</p> <p>(6) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》 (GB 18871-2002) ;</p> <p>(7) 《医疗机构水污染物排放标准》 (GB 18466-2005) ;</p> <p>(8) 《操作非密封源的辐射防护规定》 (GB 11930-2010) ;</p> <p>(9) 《核医学放射防护要求》 (GBZ 120-2020) ;</p> <p>(10) 《核医学辐射防护与安全要求》 (HJ 1188-2021) ;</p> <p>(11) 《关于核医学标准相关条款咨询的复函》 (辐射函[2023]20 号) ;</p> <p>(12) 《放射诊断放射防护要求》 (GBZ130-2020) ;</p> <p>(13) 《职业性外照射个人监测规范》 (GBZ128-2019) 。</p>
其他	<p>报告附件:</p> <p>附件 1: 医院营业执照</p> <p>附件 2: 项目委托书</p> <p>附件 3: 射线装置使用承诺书</p> <p>附件 4: 放射性核素使用承诺书</p> <p>附件 5: 医院辐射安全许可证复印件</p> <p>附件 6: 本项目辐射环境现状检测报告及检测单位资质</p> <p>附件 7: 医院现有核技术利用项目环评批复及竣工环保验收意见</p> <p>附件 8: 医院成立辐射安全管理机构的通知</p> <p>附件 9: 医院肿瘤中心建设工程环评批复</p> <p>附件 10: 回旋加速器技术参数资料</p> <p>附件 11: 医院现有核医学科最近一年年度监测报告</p> <p>附件 12: 医院现有核医学科最近一次辐射事故应急演练记录</p> <p>附件 13: 技术审查意见及修改清单</p>

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》（HJ10.1-2016）的要求，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，乙级、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。

本项目为使用 V 类放射源、生产和使用非密封放射性物质（乙级非密封放射性物质工作场所）、使用 II 类和 III 类射线装置，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》（HJ10.1-2016）的要求，本项目评价范围应分别为核医学科、核素病房、放射性废水衰变室、DSA 复合手术室实体边界外 50m 以内区域。本项目评价范围见附图 2。

7.2 保护目标

本项目不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地等环境敏感区，泰康之家一期疗养基地的 1#、2#楼距本项目核医学科最近约为 41m，为本项目环境敏感点，环境保护目标主要是本项目辐射工作人员、医院内的其他工作人员、病患及陪同家属等流动人员以及泰康之家一期疗养基地 1#、2#楼的居民。

本项目核医学科工作场所环境保护目标见表 7-1，核素病房工作场所环境保护目标见表 7-2，放射性废水衰变室环境保护目标见表 7-3，DSA 复合手术室环境保护目标见表 7-4。

表 7-1 本项目核医学科工作场所环境保护目标分布

保护目标			方位	距核医学科最近距离	人员规模	保护要求
辐射工作人员	核医学科工作场所内	操作技师、放射性核素操作人员等	核医学科工作场所内	/	约 10 名工作人员	5mSv/a
评价范围内公众	下沉庭院	医院工作人员以及病患及陪同家属等流动人员	核医学科东侧	紧邻	约 50 人/d	0.1mSv/a
	消防器材室、热水机房、水箱间	医院工作人员		约 25m	平时无人员逗留	
	地下一层非机动车库	医院工作人员以及病患及陪同家属等流动人员		约 31m	约 500 人/d	
	地下一层停车库			约 46m	约 500 人/d	

地下一层停车 库	医院工作人员以及 病患及陪同家属等 流动人员	核医学科南侧	紧邻	约 500 人/d
			医院道路	约 12m
泰康之家一期 疗养基地道路	小区内居民		约 23m	约 150 人/d
泰康之家一期 疗养基地 1# 和 2#楼房	1#和 2#楼内居民		约 41m	约 300 人
地下一层停车 库	医院工作人员以及 病患及陪同家属等 流动人员	核医学科西侧	紧邻	约 500 人/d
医院道路			约 16m	约 500 人/d
高端体检楼			约 28m	约 300 人/d
负压吸引机房 等辅助机房	医院工作人员	核医学科北侧	紧邻	平时无人员 逗留
地下一层停 车库	医院工作人员以及 病患及陪同家属等 流动人员		约 15m	约 500 人/d
医院道路			约 10m	约 500 人/d
马屿河	河上行人		约 21m	一般无人员 逗留
核素病房	核素病房工作人员 以及病患及陪同家 属等流动人员	核医学科 正上方	紧邻	约 8 人/d
医院道路	医院工作人员以及 病患及陪同家属等 流动人员		紧邻	约 500 人/d
地下二层停 车库等	医院工作人员以及 病患及陪同家属等 流动人员	核医学科 正下方	紧邻	约 500 人/d
放射性废水衰 变室、太平 间、发电机 房、水泵房	医院工作人员		紧邻	平时无人员 逗留

表 7-2 本项目核素病房工作场所环境保护目标分布

保护目标			方位	距核素病房 最近距离	人员规模	保护要求
辐射工作 人员	核素病房工 作场所内	放射性核素 操作人员	核素病房工 作场所内	/	约 4~6 名 工作人员	5mSv/a
评价范围 内公众	住院大厅	医院工作人员以 及病患及陪同家 属等流动人员	核素病房东侧	紧邻	约 200 人/d	0.1mSv/a
	医院道路			约 42m	约 500 人/d	

	配电房	医院工作人员		紧邻	平时无人员逗留
	医院道路	医院工作人员以及病患及陪同家属等流动人员	核素病房南侧	约 25m	约 500 人/d
	泰康之家一期疗养基地道路	小区内居民		约 37m	约 150 人/d
	医院道路	医院工作人员以及病患及陪同家属等流动人员	核素病房西侧	紧邻	约 500 人/d
	高端体检楼			约 31m	约 300 人/d
	核医学科办公室等	医院工作人员以及病患及陪同家属等流动人员	核素病房北侧	紧邻	约 50 人/d
	医院道路			约 13m	约 500 人/d
	马屿河	河上行人		约 25m	一般无人员逗留
	住院药房、走廊和医护公共休闲区	医院工作人员以及病患及陪同家属等流动人员	核素病房正上方	紧邻	约 200 人/d
	核医学科工作场所	核医学科工作人员以及病患及陪同家属等流动人员	核素病房正下方	紧邻	约 70 人/d
	负压吸引机房等辅助机房	医院工作人员		紧邻	平时无人员逗留

表 7-3 本项目放射性废水衰变室环境保护目标分布

保护目标		方位	距衰变室最近距离	人员规模	保护要求
辐射工作人员	衰变室场所内	衰变室管理人员	废水处理时在衰变室内，平时在核医学科办公区	2 名工作人员	5mSv/a
评价范围内公众	地下二层停车库	医院工作人员以及病患及陪同家属等流动人员	衰变室东侧	紧邻	约 500 人/d
	水泵房和制冷机房等	医院工作人员		约 17m	平时无人员逗留
	地下二层停车库	医院工作人员以及病患及陪同家属等流动人员	衰变室南侧	紧邻	约 500 人/d
	医院道路			约 12m	约 500 人/d
	泰康之家一期疗养基地道路	小区内居民		约 23m	约 150 人/d
	泰康之家一期疗养基地 1#和 2#楼房	1#和 2#楼内居民		约 41m	约 300 人

	地下二层停车 库	医院工作人员以及 病患及陪同家属等 流动人员	衰变室西侧	紧邻	约 500 人/d
	医院道路			约 15m	约 500 人/d
	高端体检楼			约 24m	约 300 人/d
	发电机房和 水泵房等	医院工作人员	衰变室北侧	紧邻	平时无人员 逗留
	太平间	医院工作人员以及 病患及陪同家属等 流动人员		紧邻	约 20 人/d
	地下二层停 车库			约 24m	约 500 人/d
	医院道路			约 29m	约 500 人/d
	核医学科 工作场所			核医学科工作人员	衰变室正上方

表 7-4 本项目 DSA 工作场所环境保护目标分布

保护目标			方位	距 DSA 机 房最近距离	人员规模	保护要求
辐射工作 人员	DSA 复合手 术室内	操作技师和护士、 介入手术人员	DSA 复合手术 室内	/	约 10 名 工作人员	5mSv/a
评价范围 内公众	术前准备室	手术中心工作人员 以及病患及陪同家 属等流动人员	DSA 机房东侧	紧邻	约 100 人/d	0.1mSv/a
	医院道路	医院工作人员以及 病患及陪同家属等 流动人员		约 23m	约 500 人/d	
	医院道路	医院工作人员以及 病患及陪同家属等 流动人员	DSA 机房南侧	约 29m	约 500 人/d	
	泰康之家一期 疗养基地道路	小区内居民		约 41m	约 150 人/d	
	手术中心其他 手术室	医院工作人员以及 病患及陪同家属等 流动人员	DSA 机房西侧	紧邻	约 100 人/d	
	手术中心走 廊、电梯厅	医院工作人员以及 病患及陪同家属等 流动人员	DSA 机房北侧	约 2m	约 100 人/d	
	医院道路	医院工作人员以及 病患及陪同家属等 流动人员		约 18m	约 500 人/d	
	马屿河	河上行人		约 38m	一般无人员 逗留	

	净化空调机房等	医院工作人员	DSA 机房正上方	紧邻	平时无人员逗留
	耗材间、值班室、综合办公室	医院工作人员		紧邻	约 10 人/d
	换药室	医院工作人员以及病患及陪同家属等流动人员	DSA 机房正下方	紧邻	约 50 人/d
	休闲区			紧邻	约 200 人/d

7.3 评价标准

(1) 剂量限值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），本项目辐射工作人员及公众的年照射剂量限值，见表 7-5。

表 7-5 照射剂量限值

	剂量限值
职业照射剂量限值	工作人员所接受的职业照射水平不应超过下述限值： ①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； ②任何一年中的有效剂量，50mSv。
公众照射剂量限值	实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估计值不应超过下述限值： ①年有效剂量，1mSv； ②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。

(2) 剂量约束值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）“剂量约束值通常应在公众照射剂量限值 10%~30%（即 0.1mSv/a~0.3 mSv/a）的范围之内。”的规定，以及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求，遵循辐射防护最优化原则，制定的本项目剂量约束值管理目标见表 7-6。

表 7-6 剂量约束值

适用范围	剂量约束值
职业照射	5mSv/a
公众照射	0.1mSv/a

(3) 辐射管理分区

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

对于需要专门防护手段或安全措施的区域划分为控制区，对于未被设定为控制区，不需要专门防护手段或安全措施但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域，划分为监督区。对控制区和监督区的人员活动进行限制，辐射控制区和辐射监督区以外区域对人员活动不限制。

(4) 工作场所分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）规定的非密封源工作场所的分级，应按表 7-7 将非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级。

表 7-7 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 $\sim 2 \times 10^7$

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）与该核素毒性因子的积除以与操作方式有关的修正因子所得的商。本项目放射性核素的毒性分组及毒性组别修正因子见表 7-8，与操作方式有关的修正因子见表 7-9。

表 7-8 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

表 7-9 操作方式与放射源状态修正因子

操作方式	放射源状态			
	表面污染水平 较低的固体	液体，溶液， 悬浮液	表面有污染 的固体	气体，蒸汽，粉末，压 力很高的液体，固体
源的贮存	1000	100	10	1
很简单的操作	100	10	1	0.1
简单操作	10	1	0.1	0.01
特别危险的操作	1	0.1	0.01	0.001

(5) 表面污染控制水平

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中表 B11 和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的规定，对于工作场所的放射性表面污染，应满足表 7-10 的控制水平。

表 7-10 工作场所放射性表面污染控制水平（单位：Bq/cm²）

表面类型		β放射性物质
工作台、设备、墙壁、地面	控制区	40
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	4
	监督区	
手、皮肤、内衣、工作袜		0.4
1) 该区内的高污染子区除外		

(6) 辐射剂量率控制水平

①根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的屏蔽要求：

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。

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。

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。

6.1.8 放射性物质贮存在专门场所内，并应有适当屏蔽。

②根据《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函[2023]20 号）的屏蔽要求：

《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021，以下称核医学标准）第 6.1.5 节规定，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。本条规定的具体含义为：

1.控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子≥1/2），周围剂量当量率应小于 2.5μSv/h。

2.控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所（人员居留因子 $<1/2$ ），如给药/分装注射室防护门外、给药后患者候诊室防护门外、核素治疗住院病房防护门外以及核医学科患者走廊等位置，周围剂量当量率应小于 $10\mu\text{Sv/h}$ 。

③《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）

6.3.1 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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；测量时，X 射线设备连续出束时间应大于仪器响应时间；

c) 具有短时、高剂量率曝光的摄影程序（如 DR、CR、屏片摄影）机房外的周围剂量当量率应不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ ，当超过时应进行机房外人员的年有效剂量评估，应不大于 0.25mSv ；

本项目辐射剂量率控制水平：

①回旋加速器机房四周墙体、防护门、顶部外表面 30cm 处及底部人员可达处的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

②核医学科和核素病房控制区各房间的四周墙体、防护门、顶部外表面 30cm 处及底部人员可达处的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；若控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所（人员居留因子 $<1/2$ ），周围剂量当量率应小于 $10\mu\text{Sv/h}$ 。

③合成分装热室、手套箱、通风柜、碘自动分装仪外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 $25\mu\text{Sv/h}$ 。

④药物注射位或给药位、废物铅桶表面 30cm 、放射性废水衰变室四周墙体、防护门、顶部外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

⑤DSA 设备在透视工况下，DSA 机房周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；在摄影工况下，DSA 机房周围剂量当量率应不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ 。

(7) 液态放射性废物的管理

①根据《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005），医疗机构放射性废水排放口执行“总 $\alpha\leq 1\text{Bq/L}$ 、总 $\beta\leq 10\text{Bq/L}$ ”的要求。

②根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）第 7.3.3 条规定，

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}I 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 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。

7.3.3.3 放射性废液的暂存和处理应安排专人负责，并建立废物暂存和处理台账，详细记录放射性废液所含的核素名称、体积、废液产生起始日期、责任人员、排放时间、监测结果等信息。

③根据《关于核医学标准相关条款咨询的复函》，辐射函[2023]20号的规定：

一、关于槽式衰变池中含碘-131放射性废水排放

含碘-131放射性废水可按照下列任意一种方式进行排放：

（一）根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》第8.6.2条规定，经监管部门确认单次排入普通下水道的废水中碘-131活度不超过1ALImin（9E+5贝可），每月排放的废水中碘-131总活度不超过10ALImin（9E+6贝可）。

（二）暂存180天后，衰变池废水可以直接排放。

（三）暂存不满180天但监测结果表明碘-131活度浓度已降至不高于10贝可/升水平，也可直接排放。

（8）气态放射性废物的管理

①根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）第5.2.3条规定：

核医学工作场所的通风按表1要求，通风系统独立设置，应保持核医学工作场所良好的通风条件，合理设置工作场所的气流组织，遵循自非放射区向监督区再向控制区的流向设计，保持含放射性核素场所负压以防止放射性气体交叉污染，保证工作场所的空气质量。合成和操作放射性药物所用的通风橱应有专用的排风装置，风速应不小于0.5m/s。排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置，排出空气浓度应达到环境主管部门的要求。

②根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）第6.3条和7.4条规定：

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。

6.3.4 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。

7.4 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。

③根据《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函[2023]20号）的规定：

三、关于独立通风要求

核医学标准第 6.3.4 节规定，手套箱、通风橱等密闭设备应设计单独的排风系统。单独的排风系统意为手套箱、通风橱等设备的排风管道在汇入“主排风管道前”的部分，应独立设置，防止发生气体回流和交叉污染。经过滤后的气体汇入到一个主管道中排放不违反标准要求。

（9）固体放射性废物的管理

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求：

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， α 表面污染小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 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 24h 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 24h 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。

7.2.3.3 固体放射性废物的存储和处理应安排专人负责，并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、重量、废物产生起始日期、责任人员、出库时间和监测结果等信息。

（10）其他标准

①《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）

②《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）

6.1 X 射线设备机房布局

6.1.5 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、技术引进项目的 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 2（即表 7-11）的规定。

表 7-11 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 ^d (m ²)	机房内最小单边长度 ^e (m)
CT 机（不含头颅移动 CT）	30	4.5
单管头 X 射线设备 ^b （含 C 形臂，乳腺 CBCT）	20	3.5

^b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。

^d机房内有效使用面积指机房内可划出的最大矩形的面积。

^e机房内单边长度指机房内有效使用面积的最小边长。

6.2 X 射线设备机房屏蔽

6.2.1 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 3（即表 7-12）的规定。

表 7-12 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	非有用线束方向铅当量 mm
C 形臂 X 射线设备机房	2.0	2.0
CT 机（不含头颅移动 CT）	2.5	

(11) 参考资料

- ① 《辐射防护导论》，方杰主编
- ② 《辐射防护手册》，李德平、潘自强主编

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 环境质量和辐射现状

8.1.1 项目地理和场所位置

1、医院位置

温州医科大学附属第一医院南白象院区位于温州市瓯海区南白象街道上蔡村，医院地理位置示意图见附图 1。医院东侧为学府北路；南侧为泰康之家疗养基地和中国基因药谷基地；西侧依次为河流、桥头河路、桥头河锦园小区；北侧为帆海西路，医院南白象院区平面布局及周围环境情况见附图 2。

2、本项目位置及四至关系

(1) 核医学科

本项目核医学科拟建址位于肿瘤中心楼地下一层的西部，其东侧50m评价范围依次为下沉庭院、消防器材室、热水机房、水箱间、地下一层非机动车库、地下一层停车库等；南侧50m评价范围楼内依次为地下一层停车库、土层，楼外依次为医院道路及围墙、泰康之家一期疗养基地道路以及1#和2#楼房；西侧50m评价范围楼内为地下一层停车库，楼外依次为医院道路、高端体检楼；北侧50m评价范围楼内依次为负压吸引机房等辅助机房、地下一层停车库、土层，楼外依次为医院道路及绿化、马屿河；楼上为核素病房和医院道路及绿化等；楼下为放射性废水衰变室、太平间、发电机房、水泵房、地下二层停车库等。

(2) 核素病房

本项目核素病房拟建址位于肿瘤中心楼一楼的西南角，其东侧50m评价范围依次为住院大厅、大楼外墙、医院道路及绿化；南侧50m评价范围依次为配电房和大楼外墙、医院道路及围墙、泰康之家一期疗养基地道路；西侧50m评价范围依次为医院道路及绿化、高端体检楼；北侧50m评价范围依次为核医学科办公室等、大楼外墙、医院道路及绿化、马屿河；楼上为住院药房、走廊和医护公共休闲区等；楼下为核医学科、走廊和负压吸引机房等辅助机房。

(3) DSA复合手术室

本项目DSA复合手术室拟建址位于肿瘤中心楼三楼的东南角，其东侧50m评价范围依次为术前准备室、大楼外墙、医院道路及绿化；南侧50m评价范围依次为大楼外墙、医院道路及围墙、泰康之家一期疗养基地道路；西侧50m评价范围为手术中心其他手术室；北侧50m评价范围依次为手术中心走廊、电梯厅、大楼外墙、医院道路及绿化、马屿河；楼上为净化空调机房、值班室、综合办公室和耗材间等，楼下为换药室和休闲区等。

(4) 放射性废水衰变室

此外，本项目核医学科和核素病房配套建设的放射性废水衰变室位于肿瘤中心楼地下二层的西南部，其东侧50m评价范围依次为地下二层停车库、水泵房和制冷机房等；南侧50m评价范围楼内依次为地下一层停车库、土层，楼外依次为医院道路及围墙、泰康之家一期疗养基地道路以及1#和2#楼房；西侧50m评价范围楼内为地下二层停车库，楼外依次为医院道路、高端体检楼；北侧50m评价范围楼内依次为太平间、发电机房和水泵房等、地下二层停车库，楼外为医院道路及绿化；楼上为核医学科；地下无建筑。

医院肿瘤中心楼地下二层平面布局见附图3，地下一层平面布局见附图4，一楼平面布局见附图5，二楼平面布局见附图6，三楼平面布局见附图7，四楼平面布局见附图8。

本项目所在肿瘤中心楼拟建址及周围环境现状见图 8-1。



图 8-1 本项目所在肿瘤中心楼拟建址及周边环境现状图

8.1.2 环境现状检测

本项目运行期间主要的环境污染物为放射性核素产生的 α 射线、 γ 射线、 β 射线及韧致辐射、 α - β 表面污染，以及射线装置产生的 X 射线、中子等电离辐射污染。本项目放射性废水不直接外排，放射性药物的操作均在热室、手套箱、通风柜、碘自动分装仪内完成，挥发的放射性废气很少，故本项目在进行现状调查时，主要调查本项目拟建址及周围环境的 γ 辐射剂量率、 α 、 β 表面污染水平和中子剂量率。

1、环境现状评价对象、检测因子、检测点位

环境现状评价对象：本项目拟建址及周围辐射环境

检测因子： γ 辐射剂量率、 α 、 β 表面污染及中子剂量率

检测点位：根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）有关布点原则进行布点，在本项目拟建址及周围环境共计布设 13 个 γ 辐射剂量率检测点位、7 个 α 、 β 表面污染检测点位和 5 个中子剂量率检测点位，并确保设立的检测点位能够反映本项目拟建址及周围环境的辐射环境现状，具体点位见图 8-2~图 8-4。

2、检测方案

- (1) 检测单位：浙江环安检测有限公司
- (2) 检测报告编号：HAJC25-03-0114
- (3) 检测时间：2025 年 1 月 18 日
- (4) 检测天气：晴；温度：15℃；相对湿度：52%
- (5) 检测仪器：

名称	型号	编号	有效量程	能量响应	检定有效期
Gemini-N 便携式 NaI 谱仪	Gemini-N-5050	2024022	10nSv/h~0.1mSv/h	X: 30keV~3MeV、 γ	2024.09.05-2025.09.04
α 、 β 表面污染测量仪	CoMo170	2018002	0cps~20000cps	α 、 β	2024.11.08-2025.11.07
中子周围剂量当量率仪	JC-XYZ500	2018012	1 μ Sv/h~200mSv/h	≤ 14 MeV	2024.03.15-2025.03.14

(6) 检测方法 & 数据处理：按照《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）、《表面污染测定 第 1 部分： β 发射体（ $E_{\beta\max} > 0.15$ MeV）和 α 发射体》（GB/T 14056.1-2008）和《辐射防护仪器 中子周围剂量当量（率）仪》（GB/T14318-2019）中的要求进行，每组读 10 个数据，取算术平均值计算结果。

3、质量保证措施

- ①委托的检测机构已通过计量认证，具备有相应的检测资质和检测能力，其计量认证证书及检测能力证书见附件 6；
- ②委托的检测机构制定有质量体系文件，所有活动均按照质量体系文件要求进行，实施全过程质量控制；
- ③委托的检测机构所采用的监测设备均通过计量部门检定，并在检定有效期内；
- ④所有检测人员均通过专业的技术培训和考核；
- ⑤检测仪器在使用前、后进行性能检查；
- ⑥检测报告实行三级审核。

4、检测结果及评价

本项目拟建址及周围环境的 γ 辐射剂量率检测结果见表 8-1， α 、 β 表面污染水平检测结果见表 8-2，中子剂量率检测结果见表 8-3，检测点位见图 8-2~图 8-4。

表 8-1 本项目拟建址及周围环境 γ 辐射剂量率检测结果

监测点号	监测点位置	监测结果 (nGy/h)	
		校正值	标准差
1	肿瘤中心楼拟建址西南部	115	0.9
2	肿瘤中心楼拟建址中南部	118	1.0
3	肿瘤中心楼拟建址东南部	116	0.8
4	肿瘤中心楼拟建址西北部	116	1.0
5	肿瘤中心楼拟建址中北部	114	1.1
6	肿瘤中心楼拟建址东北部	115	1.2
7	肿瘤中心楼拟建址东侧	114	1.1
8	肿瘤中心楼拟建址南侧 (衰变室拟建址处)	119	0.8
9	肿瘤中心楼拟建址西侧	116	0.8
10	肿瘤中心楼拟建址北侧	117	0.9
11	肿瘤中心楼拟建址西侧在建高端体检楼处	115	1.2
12	泰康之家一期疗养基地 1#楼西北侧楼下	116	1.1
13	泰康之家一期疗养基地 2#楼东北侧楼下	118	0.6

注：1、本次测量时，仪器探头垂直向下，距地面的参考高度为 1m，仪器读数稳定后，以 10s 为间隔读取 10 个数据；

2、依据 HJ 1157-2021 标准：测量值=读数平均值 \times 校准因子 k_1 \times 仪器检验源效率因子 k_2 \div 空气比释动能和周围剂量当量的换算系数；校准因子 k_1 为 1.12，效率因子 k_2 取 1，本项目监测仪器读数为空气比释动能率 nSv/h，空气比释动能和周围剂量当量的换算系数为 1.20；

3、以上监测结果均已对宇宙射线的响应值修正，环境 γ 辐射空气吸收剂量率=测量值-屏蔽修正因子 k_3 \times 测量点宇宙射线响应值 D_c ， k_3 楼房取 0.8、平房取 0.9、原野和道路取 1，仪器对宇宙射线的响应值为 12.9nGy/h；

4、所有点号均为室外监测点位。

表 8-2 本项目拟建址及周围环境 α 、 β 表面污染检测结果

监测点号	监测点位置	α 表面污染监测结果 (Bq/cm ²)	β 表面污染监测结果 (Bq/cm ²)
1	肿瘤中心楼拟建址西南部	<MDL	<MDL
2	肿瘤中心楼拟建址中南部	<MDL	<MDL
3	肿瘤中心楼拟建址东南部	<MDL	<MDL
4	肿瘤中心楼拟建址西北部	<MDL	<MDL
5	肿瘤中心楼拟建址中北部	<MDL	<MDL
6	肿瘤中心楼拟建址东北部	<MDL	<MDL
7	肿瘤中心楼拟建址南侧地面 (衰变室拟建址处)	<MDL	<MDL

注：1、本次测量时，仪器探头垂直向下，仪器读数稳定后，以 10s 为间隔读取 10 个数据。

2、监测仪器 α 表面污染探测下限 MDL 为 0.00Bq/cm²， β 表面污染探测下限 MDL 为 0.04Bq/cm²。

表 8-3 回旋加速器机房拟建址及周围环境γ辐射剂量率检测结果

序号	检测点位描述	检测结果 ($\mu\text{Sv/h}$)	标准差 ($\mu\text{Sv/h}$)	备注
1	回旋加速器机房拟建址	<MDL	/	/
2	回旋加速器机房拟建址东侧	<MDL	/	
3	回旋加速器机房拟建址南侧	<MDL	/	
4	回旋加速器机房拟建址西侧	<MDL	/	
5	回旋加速器机房拟建址北侧	<MDL	/	

注：检测仪器中子剂量率探测下限 MDL 为 $0.01\mu\text{Sv/h}$ 。

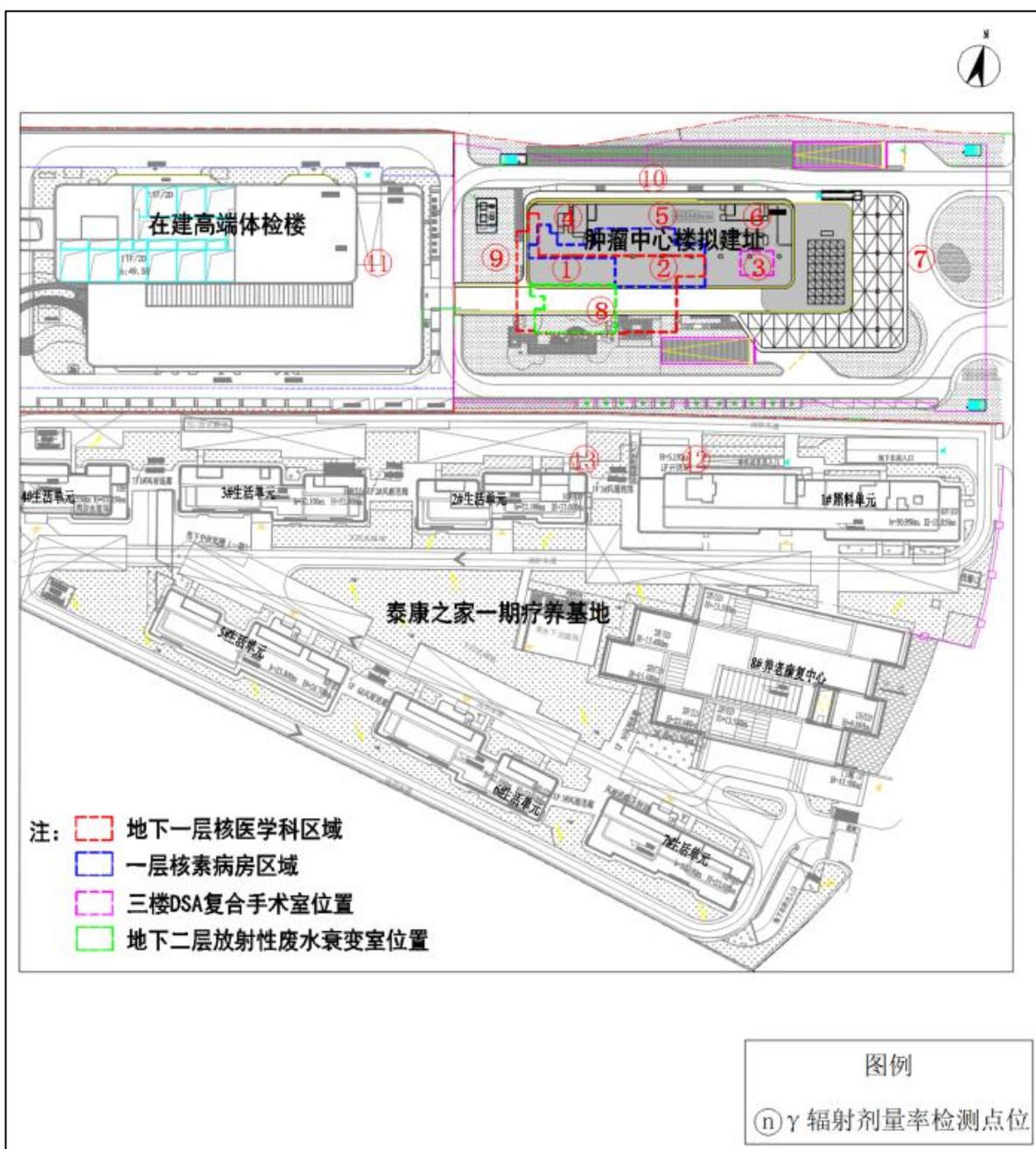


图 8-2 本项目拟建址及周围环境 γ 辐射剂量率检测点位示意图

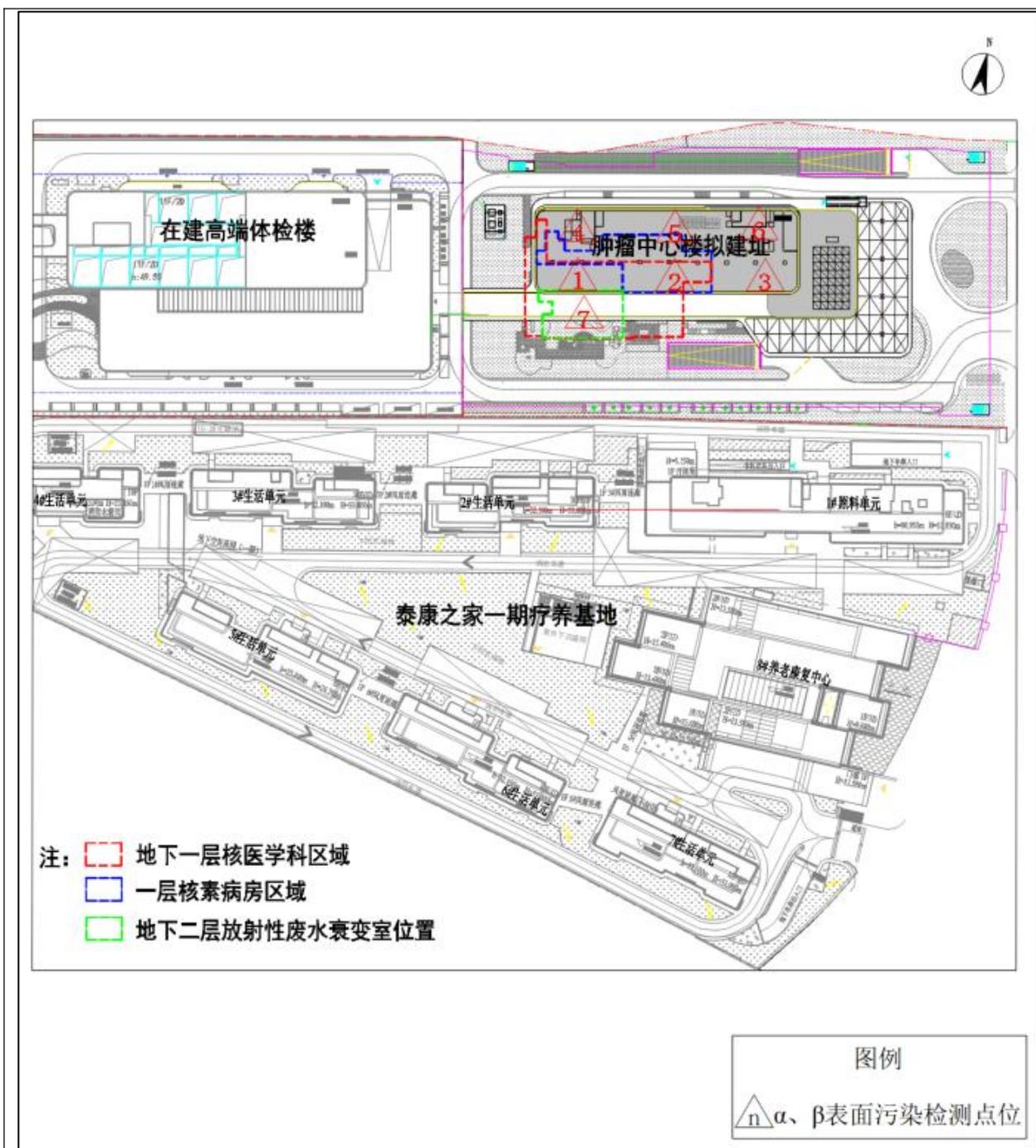


图 8-3 本项目拟建址及周围环境 α 、 β 表面污染检测点位示意图

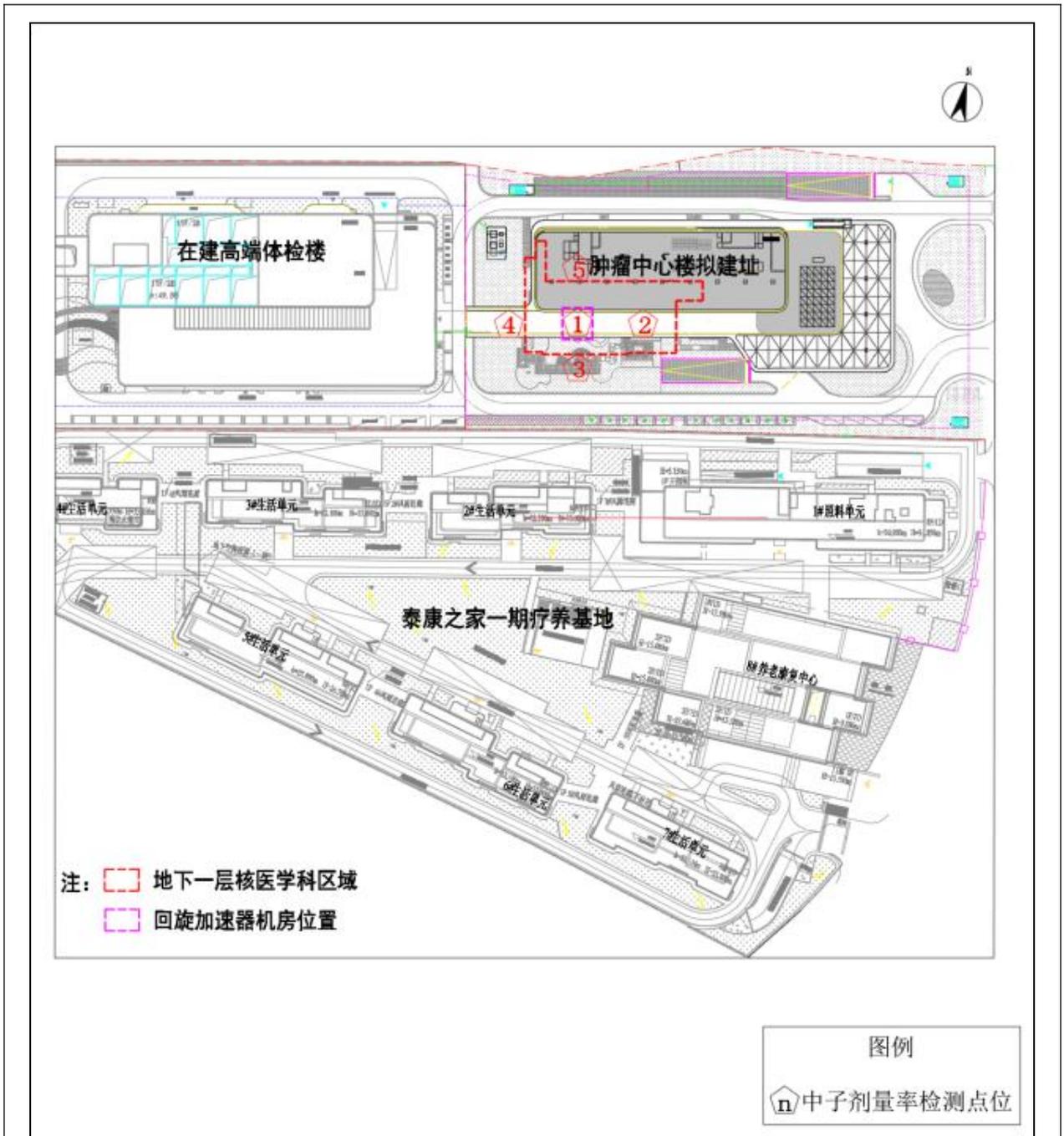


图 8-4 本项目回旋加速器机房拟建址及周围环境中子剂量率检测点位示意图

根据表 8-1 可知，本项目拟建址及周围环境的室外 γ 辐射剂量率为（114~119）nGy/h，由《浙江省环境天然放射性水平调查报告》，温州地区建筑物室内 γ 辐射剂量率的范围为（73~198）nGy/h，道路上 γ 辐射剂量率的范围为（36~154）nGy/h，原野 γ 辐射剂量率的范围为（41~148）nGy/h，可知，本项目拟建址及周围环境辐射水平在浙江省温州市环境天然 γ 辐射空气吸收剂量率范围内，处于正常辐射本底水平范围内。

根据表 8-2 可知，本项目拟建址及周围环境 α 、 β 表面污染监测结果均小于仪器探测下限，未见异常。

根据表8-3可知，本项目回旋加速器机房拟建址及周围环境未检出中子，未见异常。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 工程设备和工艺分析

9.1.1 施工期工艺流程及污染源项

本项目的建设依托肿瘤中心楼主体工程的建设，项目建设内容主要包括墙体的土建施工、防护装修以及设备的安装调试等，在此过程中会产生少量的扬尘、废水、固体废弃物以及噪声等。

1、土建施工、防护装修期间污染源项分析

(1) 扬尘

本项目在土建施工和防护装修阶段将产生少量的扬尘，但这方面的影响仅局限在医院内。在进行施工时采取保持场所清洁、湿润的措施，将减少扬尘对周围环境的影响。

(2) 噪声

本项目在土建施工和防护装修阶段，各类机械、运输车辆将产生不同程度的噪声，对周围环境造成一定的影响。但本项目施工量小，施工方式主要为人工作业，机械设备使用较少，对周围环境影响很小。

(3) 废水

本项目在土建施工和防护装修阶段将产生少量的施工废水和施工人员的生活污水，产生的施工废水经处理后回收利用，对周围环境影响很小。

(4) 固体垃圾

本项目在土建施工和防护装修阶段，将产生少量的固体垃圾，施工单位将对固体垃圾进行定点堆放，并委托有资质的单位清运，对周围环境影响很小。

2、设备安装调试的污染分析

设备安装调试阶段污染物主要有废弃包装材料及设备调试时产生的 X、 γ 射线、中子、感生放射性以及射线电离空气产生的少量臭氧和氮氧化物。在安装调试阶段，医院应加强辐射防护的管理，不得自行安装和调试设备，在调试过程中应保证各屏蔽防护措施到位。

本项目施工期工艺流程及产污环节如图 9-1 所示：

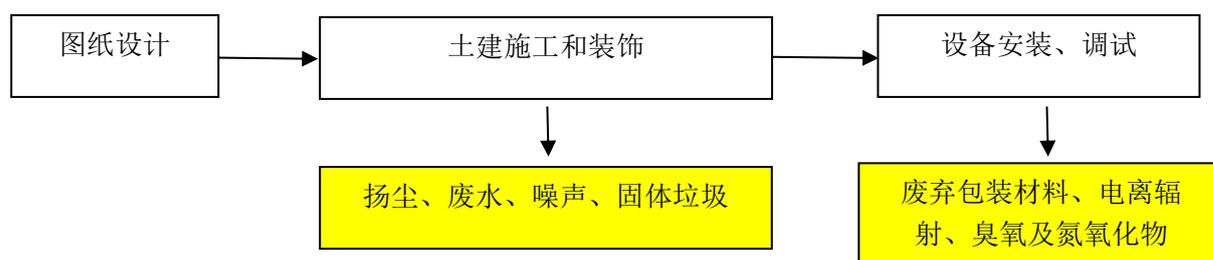


图 9-1 本项目施工期工艺流程及产污环节示意图

9.1.2 设备组成及工作方式

1、设备组成

(1) 回旋加速器

根据招标意向，医院拟配置的回旋加速器为 GE 公司生产的 PETtrace 型自屏蔽回旋加速器，其最大质子能量为 16.5MeV，双束流设计（ $80\mu\text{A}\times 2$ ），单次生产仅使用一个靶。本项目 PETtrace 型回旋加速器外观见图 9-2。



图 9-2 本项目 PETtrace 型回旋加速器外观图

i、设备组成

本项目回旋加速器由磁场系统、射频系统、真空系统、离子源系统、提取系统、靶系统和冷却系统等主系统组成；

①磁场系统：提供被加速的带电粒子在所控制的轨道中做圆周运动所需要的磁场强度，由磁铁、线圈、磁场电源配给系统等组成；

②射频系统：提供加速带电粒子所需的高频振荡加速电压，其频率与粒子多级轨道的旋转频率相等，由射频谐振腔、射频发生器和馈通电缆组成；

③离子源系统：产生需要加速的负离子，由离子源、离子源电源配给器和气体控制系统组成。离子源的类型是冷阴极电离计，产生氢负离子或氘负离子；

④束流提取系统：直接将加速的带电负离子从真空箱中引出，该系统的基础是剥离膜。被加速的负离子在通过剥离膜时被脱去 2 个电子而转变为阳离子，并能够调整引出的束流进入所选定的核素生产靶；

⑤靶系统：是完成特定核反应而产生正电子核素的装置，各种类型的靶系统主要由自动充靶系统、靶室、真空绝缘箔、冷却系统组成；自动充靶系统采用气动装置将靶物

质注入靶室；

⑥真空系统：建立离子加速所需要的真空压力水平，降低束流的丢失，为高电压射频场提供绝缘；

⑦冷却系统：包括水冷却系统和氦冷却系统。水冷却系统主要用于从不同系统中将热量带出，带出的热量在二级冷却系统中进行热交换，并将热量传送到初级冷却系统。氦冷却系统主要在轰击期间对靶室和靶窗的箔膜和钛箔膜之间进行冷却，两个箔膜之间的氦气流提供了所必须的冷却。

ii、特征参数

本项目 PETtrace 型回旋加速器为自屏蔽回旋加速器，根据 GE 公司提供的资料，该自屏蔽系统由重混凝土（密度不小于 3.5g/cm^3 ）构成，能够有效阻挡回旋加速器运行时产生的大部分中子及 γ 射线等。本项目 PETtrace 型回旋加速器生产放射性核素的基本参数分别见表 9-1。

表 9-1 本项目 PETtrace 型回旋加速器生产放射性核素的基本参数

生产核素	靶材料	核反应	能量 (MeV)	最大加速束流强度 (μA)	照射时间	最大产额
^{18}F	液体靶 (H_2^{18}O 重氧水)	$^{18}\text{O}(\text{p},\text{n})^{18}\text{F}$	16	80	约 60min	2.5Ci

(2) PET/CT

PET/CT 全称为正电子发射断层与计算机断层诊断技术，是将 PET 与 CT 融为一体，由 PET 提供病灶详尽的功能与代谢等分子信息，而 CT 提供病灶的精确解剖定位，一次显像可获得全身各方位的断层图像，具有灵敏、准确、特异及定位精确等特点，可一目了然的了解全身整体状况，达到早期发现病灶和诊断疾病的目的。

PET 系统的主要部件包括机架、环形探测器、符合电路、检查床及工作站等。探测系统是正电子发射显像系统中的主要部分，它采用的块状探测结构有利于消除散射、提高计数率。许多块结构组成一个环，再由数十个环构成整个探测器。

CT 主要有扫描部分、计算机系统、图像显示和存储系统组成，其中扫描部分由 X 线管、探测器和扫描架组成。

医院拟配置的 PET/CT 型号暂未定，最大管电压为 140kV，最大管电流为 800mA。常见 PET/CT 外观见图 9-3。



图 9-3 常见的 PET/CT 外观图

(3) SPECT/CT

SPECT 即单光子发射型计算机断层显像，SPECT/CT 是单光子发射型计算机断层显像仪和 CT 一体化组合的影像诊断设备，将功能代谢与解剖结构完美结合显示成像，是目前临床核医学最广泛应用的医学影像诊断设备。

本项目 SPECT/CT 使用含放射性同位素 ^{99m}Tc 、 ^{123}I 的药物进行显像， ^{99m}Tc 、 ^{123}I 为纯 γ 光子发射体，方便易得，几乎可用于人体各重要脏器的形态和功能显像，是显像检查中最常用的放射性核素。目前全世界应用的显像药物中， ^{99m}Tc 及其标记的化合物占 80%以上，广泛用于心、脑、肾、骨、肺等多种脏器疾患的显像检查。

医院拟配置的 SPECT/CT 型号暂未定，最大管电压为 140kV、最大管电流为 800mA。常见的 SPECT/CT 外观见图 9-4。



图 9-4 常见的 SPECT/CT 外观图

(4) DSA

DSA因其整体结构像大写的“C”，因此也称作C型臂X光机。DSA成像系统按功能和结构划分，主要由五部分构成：X线发生装置、影像检测和显示系统、影像处理和系统控制部分、机架系统和检查床、影像存储和传输系统。

① X线发生装置

X线发生装置主要包括X线球管、高压发生器和X线遮光器。介入治疗需要连续发射X射线，要求有较高的球管热容量和散射率，因此DSA必须具有阳极热容量在1MHU以上、具有大小焦点的X线球管。此外，还需具有一个能产生高千伏、短脉冲和恒定输出的高压发生器、X线遮光器用来限制X线照射视野，避免患者接受不必要的辐射。

② 影像检测和显示系统

影像检测和显示系统用于将X线信息影像转换成可见影像。目前数字成像系统共有两种：影像增强器和平板探测器。影像增强器接收穿过人体的X线并转换为亮度增强数千倍的输出图像后，经摄像机转换为电子图像，再经A/D转换成数字图像；而平板探测器是直接接收穿过人体的X线信息后转换成数字图像。现代大型DSA设备普遍使用平板探测器，其转换环节少，减少了噪声，使X线光子信号的损失降到了最低限度，大大提高了光电转换效率。不但保证了优质的图像质量，而且降低了射线剂量。

③ 影像处理和系统控制部分

DSA影像被数字化后，则需进行各种算术逻辑运算，并对减影的图像进行各种后处理。计算机系统是DSA的关键部件，具有快速处理能力，主要对数字影像进行对数变换处理、时间滤波处理和对比度增强处理。系统控制部分具有多种接口，用于协调X线机、机架、计算机处理器和外设联动等。

④ 机架系统和检查床

机架系统有悬吊式和落地式两种，各有利弊，可根据工作特点和机房情况选择。检查床具有手术床和透视诊断床两种功能，多采用高强度、低衰减系统的碳素纤维床面，减少对X线的吸收。

⑤ 影像存储和传输系统

影像存储和传输系统采用在线存储和近线存储两种存储方式，充分利用网络技术实现影像资料的共享，方便随时调阅，更加高效的交流和管理DSA影像信息。

DSA在工作时，能够实现曝光采集及透视功能。目前主流的DSA多采用脉冲透视功能，能够实现短时间、低电压、大电流连续脉冲式动态采集。同时还能自动根据成像区衰减状态调整kV、mA等参数，使X射线管保持最佳负荷状态，在安全辐射剂量范围内获取最佳图像质量。

医院拟配置的 DSA 型号暂未定，最大管电压为 125kV、最大管电流为 1250mA。常见 DSA 外观见图 9-5。

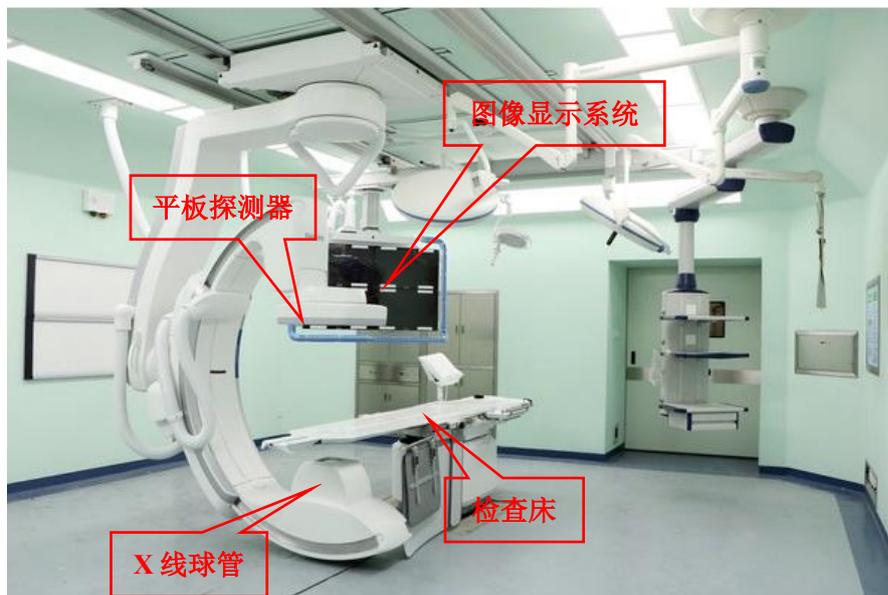


图 9-5 常见 DSA 的外观示意图

9.1.3 工作原理、工艺流程及产污环节

一、核医学科

1、回旋加速器生产放射性核素

(1) 工作原理

在回旋加速器中心部位的离子源经高压电弧放电而使气体电离发射出粒子束流，该粒子束流在称为 Dee 的半圆形电极盒（简称 D 型盒）中运动。D 型盒与高频振荡电源相联为加速粒子提供交变的电场。在磁场和电场的作用下被加速的粒子在近似于螺旋的轨道中运动加速，经多次加速后被加速粒子能量达到一定值时偏转引出，与其路径上的靶核碰撞，入射粒子被靶核吸收，激活的靶核发生核反应发射出中子或 α 粒子，同时可产生具有一定阈能的正电子放射性核素。放射性核素的产率取决于束流强度、被轰击靶物的量、核反应截面及轰击时间，通过改变靶物质可获得不同的放射性核素。

根据回旋加速器基本原理，本项目加速粒子（质子）在真空中加速至指定能量，加速粒子加速过程不产生感生放射性核素，仅在加速粒子打在靶材料上之后，靶材料俘获加速粒子，产生放射性同位素；同时，周围屏蔽材料俘获加速粒子后，可能会产生少量短半衰期放射性同位素。

回旋加速器的工作原理如图 9-6 所示。

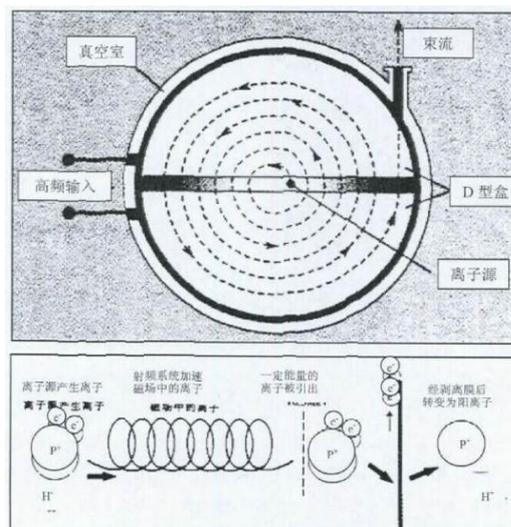


图 9-6 回旋加速器工作原理示意图

(2) 工作流程及产污环节

本项目回旋加速器主要用于生产 ^{18}F 放射性核素，生产放射性核素 ^{18}F 的靶材料为液体靶，生产所需的靶材料均为外购成品，生产出的 ^{18}F 核素为液体形态，通过地沟自动吹送至合成分装室的合成热室。核素具体生产工艺流程如下：

- ①检查各安全装置是否正常；
- ②检查正常后打开主机电源，使加速器主机预热；
- ③同时制定工作方案，如确定同位素产量、热室及化学药品的准备等；
- ④制备靶物质，其中包括数量等；
- ⑤关闭机房防护门，按工作方案确定的打靶时间在操作台设置开机参数，后开启主机打靶；
- ⑥打靶结束后，轰击过的靶物质通过气路转移至热室，进行下一道化学分离与合成工序。
- ⑦生产结束，关机。

回旋加速器生产放射性核素具体工艺流程及产污环节见图 9-7。

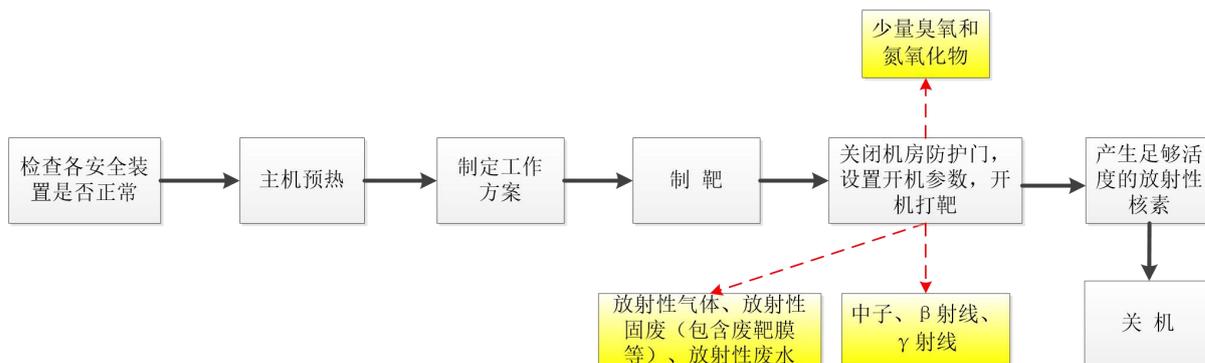


图 9-7 回旋加速器生产放射性核素具体工艺流程及产污环节

2、正电子药物的合成、质检、分装

(1) 工作原理

^{18}F -FDG（氟脱氧葡萄糖）是临床应用最为广泛的正电子放射性药物，是一种葡萄糖代谢示踪剂，进入细胞的机制与葡萄糖相同，而葡萄糖代谢增加是恶性细胞的一个特征。其主要用于 PET 上的肿瘤显像，已广泛应用在神经、心血管、肿瘤及内分泌等系统疾病的诊断，并仍然会保持其在 PET 检查显像剂首席的位置。 ^{18}F -FDG 以液态重氧水为原料，通过核反应生产氟离子，将其用氮气吹扫传输到合成热室，用阴离子捕获柱捕获，与含 ^{18}O 的水分离，用 K_2CO_3 溶液将 ^{18}F 溶于冠醚或铵盐等有机溶剂并与乙腈共沸去除体系中的水。最后与前体（三氟甘露糖）发生氟化反应生产四乙酰基- α -氟葡萄糖，再经除杂、纯化、水解而得到 ^{18}F -FDG。

(2) 工作流程及产污环节

回旋加速器打靶生成正电子核素后，正电子核素液体经地下传输管道传送至指定的合成热室中，经计算机程序自动控制合成药物，分装热室内配备自动分装仪，自动分装至注射器中，并通过机械手将注射器放置在注射器铅套内，控制程序驱动注射器铅套下降至抽屉，工作人员拉出抽屉，取出装有放射性药物的注射器铅套。

正电子药物的合成、质检、分装主要步骤包括：

i、合成

通过核反应生产 ^{18}F 离子，将其用氮气吹扫传输到合成热室，在合成热室中 ^{18}F 离子被阴离子捕获柱捕获，与含 ^{18}O 的水分离，用 K_2CO_3 溶液将 ^{18}F 溶于冠醚或铵盐等有机溶剂并与乙腈共沸去除体系中的水。最后与前体（三氟甘露糖）发生氟化反应生产四乙酰基- α -氟葡萄糖，再经除杂、纯化、水解而得到 ^{18}F -FDG。

核素在热室的合成过程采用计算机程序自动控制，无需人员干预。在洁净合成热室中，计算机自动设置的步骤主要包括：

①捕获淋洗：从加速器传过来的核素离子经过 QMA 柱，其中核素离子被附着在柱子上，废水及其中的杂质离子流到废水瓶中收集，单次产生量为 2.5ml/次。用溶液淋洗 QMA 柱，将上面的核素离子带入反应管。

②除水：淋洗结束后加热反应管使乙腈与水共沸进行除水。

③亲核反应：待冷却完毕后向反应管中加入三氟甘露糖溶液进行亲核反应， ^{18}F 取代三氟甘露糖上的一个羟基。

④水解：向反应管中加氢氧化钠溶液进行水解后，加入酸中和。

⑤精制：粗产品经过树脂柱中和过量的盐酸，分离提纯，经过无菌滤膜过滤获得最终产品。

ii、质检

正电子药物在合成热室中合成后，经核素传输管道进入药物分装热室，工作人员在分装热室内先分装出活度不大于 $3.7 \times 10^7 \text{Bq}$ (1mCi) 的药物样品至无菌瓶内，放至铅罐中，通过传递窗传递至质控室，在质控室内对正电子药物进行稀释、取样，对放射性药物的性状、放射性活度及浓度、PH 值、放射化学纯度等进行放化检验。

放化检测合格后，将根据要求开展追溯性质检项目，待衰变至少十个半衰期至基本无放射性后，从质控室取少量样品送至医院现有的理化和微生物检验室进行药品的残留溶剂等理化检验和无菌检验、无菌阳性对照实验、细菌内毒素检验、微生物限度实验等微生物学方面的检验。对于理化检验和微生物检验，需先将待检验的正电子药物样品在质控室内存放至少十个半衰期，待核素衰变基本无放射性后再进行实验，因此理化检验和微生物检验过程基本无辐射影响。

iii、分装

放化检验合格后，正电子药物经过传输管道传输至分装热室，正电子药物在分装热室的分装过程也采用计算机全自动控制，无需人工干预，药物在分装热室中将根据预先设计的程序，将试剂分装到注射器中，并通过机械手将注射器放置在注射器铅套内，控制程序驱动注射器铅套下降至抽屉，工作人员拉出抽屉，取出装有放射性药物的注射器铅套，通过传递窗传递至外包间，利用转运铅盒和推车运至 PET 注射室。

仅当医院南白象院区现有回旋加速器进行维修维护时，才由本项目回旋加速器进行生产供药，届时本项目生产、合成、分装好的正电子药物（分装至注射器，外由注射器铅套防护）由本项目核医学科工作人员使用推车运至外送药物通道的入口处（地下一层停车库），然后由一期核医学科工作人员使用转运车运至一期核医学科，此种情况发生的概率较小。

本项目正电子药物合成、质检、分装工艺流程及产污环节见图 9-8。

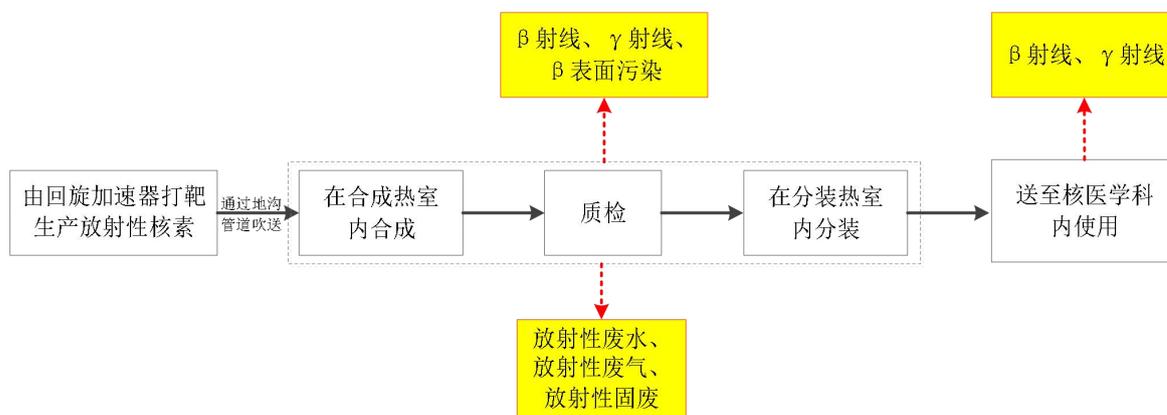


图 9-8 正电子药物合成、质检、分装工艺流程及产污环节

3、PET/CT 显像检查

(1) 工作原理

PET/CT 是通过正电子核素或其标记的示踪剂，示踪人体内特定生物物质的生物活动，采用多层、环形排列于发射体周围的探头，由体外探测正电子示踪剂湮灭辐射所产生的光子，然后将获得的信息，通过计算机处理，以解剖影像的形式及其相应的生理参数，显示靶器官或病变组织的状况，借此诊断疾病，又称为生化显像或功能分子显像，是目前唯一可以在活体分子水平完成生物学显示的影像技术；同时结合应用高档多排 CT 技术进行精确定位，可精确地提供靶器官的解剖和功能双重信息，并能够独立完成多排螺旋 CT 的临床显像，大大提高临床使用价值。

正电子发射是放射性核素衰变的方式之一。这类核素在自发的从不稳定状态向基态衰变过程中，从核内释放出与普通电子一样但电荷相反的粒子，即正电子。正电子是一种反物质，从核内放出后很快与环境中的自由电子碰撞湮灭，转化为一对方向相反、能量为 0.511MeV 的 γ 光子。如果在这对光子飞行方向上对置一对探测器，便可以几乎同时接受到这两个光子，并可推定光子发源（即正电子发射）点在两探头间连线上。通过环绕 360° 排列的多组配对探头，经探头对之间符合线路检验判定每只探头信号时间耦合性，排除其他来源射线的干扰，得到探头对连线上的一维信息，再用滤波反投影方式，将信号按探头对的空间位置向中心点反投影，便可形成与探头组连线轴平行的断层正电子发射示踪剂分布图像。这种探测方式一次只反映一个层面的信息。实用中常用多层排列的探头对，配合层间符合线路，以利探测并重建更多层面的图像。

(2) 工艺流程及产污环节分析

①在核医学科开诊之前， ^{18}F 成品药物由回旋加速器生产，分装成针剂传递至 PET 注射室， ^{64}Cu 、 ^{67}Ga 、 ^{68}Ga 药物成品注射针剂由供货商运至医院，由核医学科专职工作人员接收，暂存在储源室，门诊开诊时转移至 PET 注射室内；

②依托现有的核医学科进行检查前的问诊，问诊后由院内中转车转运至本项目核医学科，患者在本项目核医学科留置针窗口预埋留置针，并在注射前候诊区候诊；

③经语音呼叫后，患者至 PET 注射窗口注射放射性药物；

④注射药物后的患者进入 PET 注射后候诊室进行候诊；

⑤候诊约 30~60min，待药物代谢至靶器官后，经语音呼叫后进入 PET/CT 机房，经医护人员通过对讲装置指导摆位或现场指导摆位后（每位患者现场摆位时间约 1min），开始 PET/CT 扫描检查，单次扫描用时约 10~20min；

⑥扫描完成后，经语音指导在 PET 留观室留观，留观约 10~20min，无碍后经语音呼

叫从患者专用出口离开。

本项目PET/CT显像检查具体工艺流程及产污环节见图9-9。

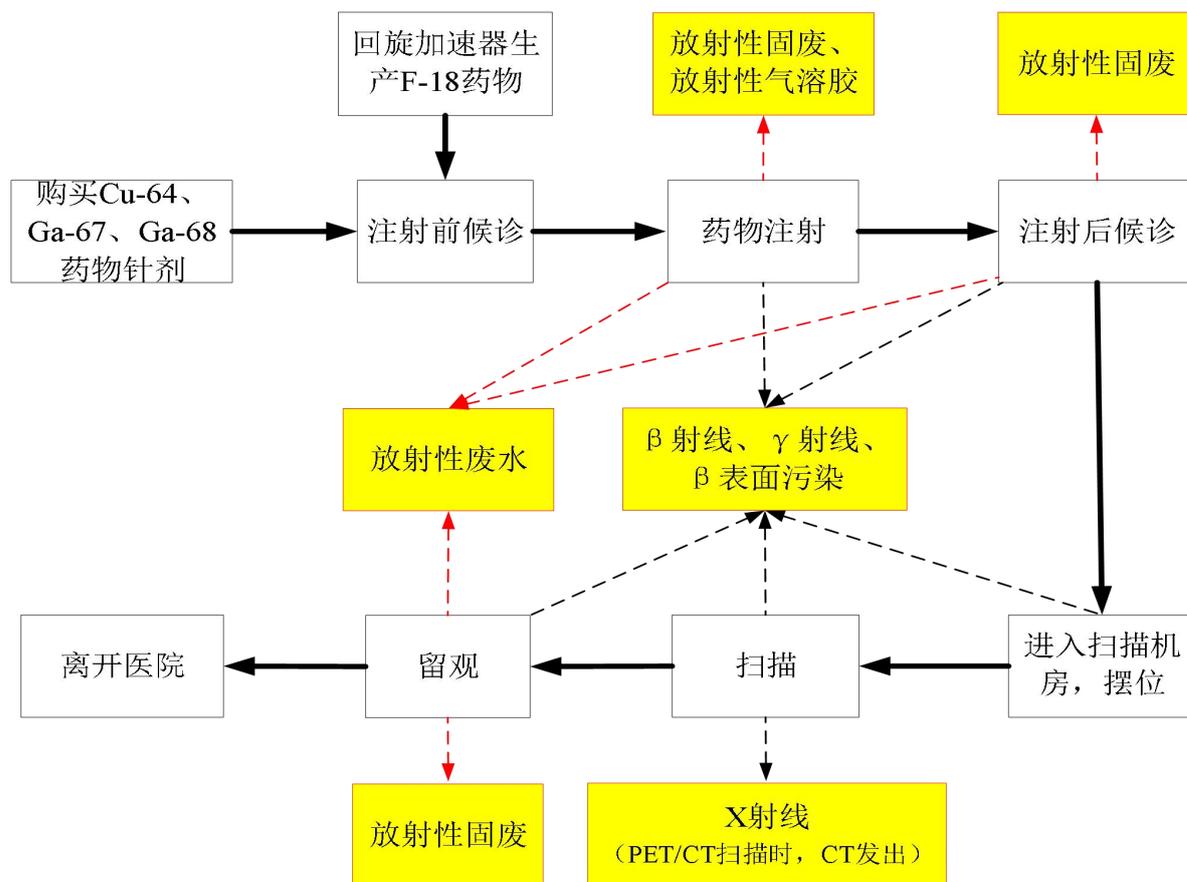


图9-9 本项目PET/CT显像检查具体工艺流程及产污环节示意图

4、SPECT/CT 显像检查

(1) 工作原理

SPECT 显像原理是利用引入人体内的放射性核素发出的 γ 射线经碘化钠晶体产生闪光，闪烁光子再与光电倍增管的光阴极发生相互作用，产生光电效应。光电效应产生的光电子经光电倍增管的放大后在光阳极形成电脉冲，其经过放大器放大成形，再经过位置计算电路形成 X、Y 位置信号。各个光电倍增管输出信号之和为能量信号 Z。X、Y 信号经处理后加入显示器偏转极，Z 信号加入启挥极，从而在荧光屏上形成闪烁影像。利用滤波反投影方法，借助计算机处理系统可以从一系列投影影像重建横向断层影像，由横向断层影像的三维信息再经影像重建组合获得矢状、冠状断层或任意斜位方向的断层影像。

(2) 工艺流程及产污环节分析

①在核医学科开诊之前，供货商将 ^{99m}Tc 、 ^{123}I 药物成品注射针剂运至医院，由核医学科专职工作人员接收，暂存在储源室，门诊开诊时转移至 ECT 注射室内；

②依托现有的核医学科进行检查前的问诊，问诊后由院内中转车转运至本项目核医

学科，患者在本项目核医学科留置针窗口预埋留置针，并在注射前候诊区候诊；

③经语音呼叫后，患者至 ECT 注射窗口注射放射性药物；

④注射药物后的患者在 ECT 注射后候诊室内候诊约 30~60min 待药物代谢至靶器官，部分患者可能需要在运动负荷室内加强运动使心率达到一定水平、促使药物代谢至靶器官（或患者在运动负荷室内运动使心率达到一定水平后再注射药物）；

⑤药物代谢至靶器官的患者，经语音呼叫后进入 SPECT/CT 机房，经医护人员通过对讲装置指导摆位或现场指导摆位后（每位患者现场摆位时间约 1min），开始 SPECT/CT 扫描检查，每次扫描约 15~30min，得到最终的 SPECT/CT 扫描图像；

⑥扫描完成后，经语音指导在 ECT 留观室留观约 10~20min，无碍后经语音呼叫从患者专用出口离开。

本项目 SPECT/CT 显像检查具体工艺流程及产污环节见图 9-10。

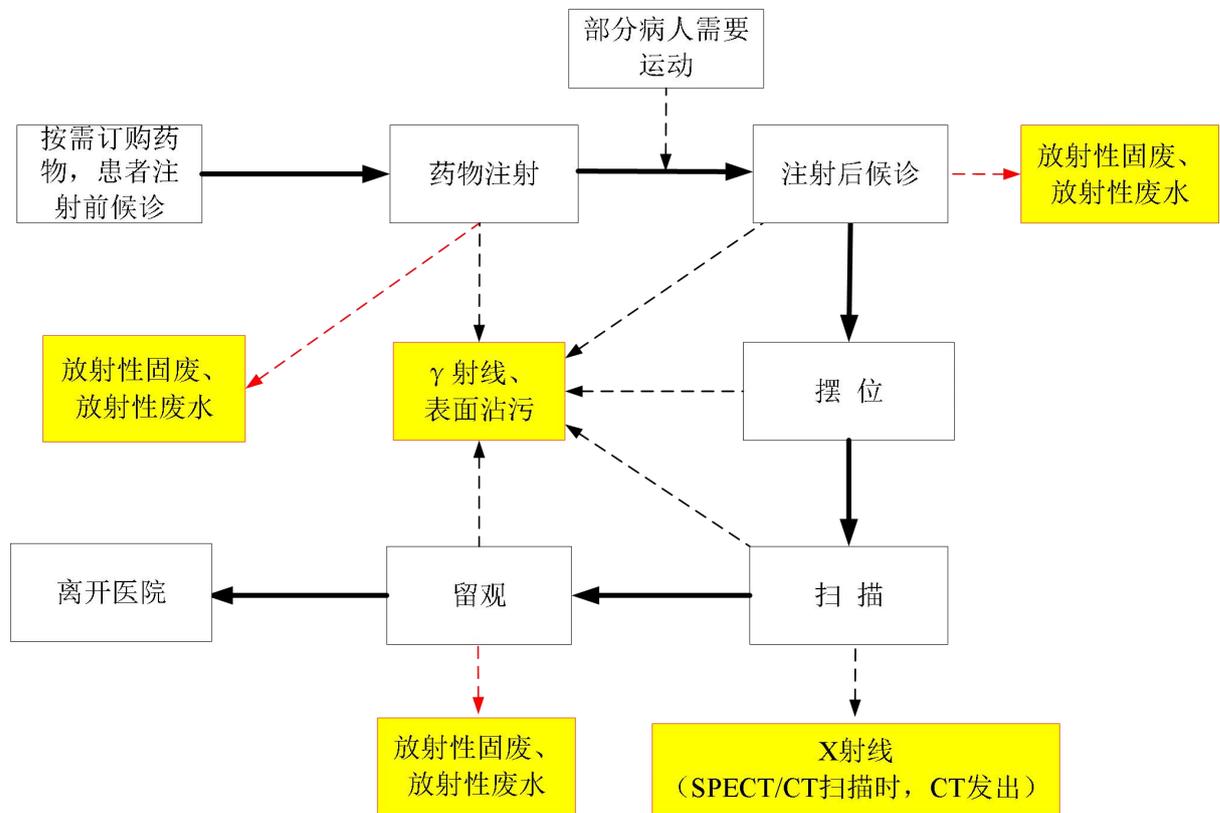


图 9-10 本项目 SPECT/CT 显像检查具体工艺流程及产污环节示意图

5、核素门诊治疗

(1) 工作原理

放射性核素主要发射三种粒子，分别是 α 粒子、 β 粒子和 γ 粒子， α 射线和 β 射线电离辐射的生物效应较强，而 γ 射线则穿透力更强。因此在治疗领域，常用的核素主要为 α 粒子和 β 粒子，但相比之下， α 射线具有更强的电离辐射，对肿瘤的杀伤作用也更为显著。 β 射线已经在广泛的临床实践中被证实对肿瘤具有良好的治疗效果，但 β 射线穿透力强，因此治疗时的副作用无可避免。 α 射线相较于 β 射线能量更强，穿透力弱，正常的脏器、

组织摄取较少，可实现对肿瘤骨转移病灶的精准高效作用。

^{32}P 、 ^{89}Sr 核素治疗主要是利用核素放射出的 β 射线， ^{32}P 主要用于治疗真性红细胞增多症等， ^{89}Sr 主要用于治疗前列腺以及乳腺癌造成的骨转移等。 ^{223}Ra 核素治疗主要是利用核素放射出的 α 射线，用于骨转移癌、神经内分泌性肿瘤等病症的治疗。

(2) 工艺流程及产污环节分析

- ①患者提前预约，医院向厂家预约定药；
- ②由供货商将 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 药物成品注射针剂运至医院，由核医学科专职工作人员接收，暂存在储源室，门诊开诊时转移至 ECT 注射室内；
- ③患者就诊时，告知病人核素治疗需要注意的事项；
- ④经语音呼叫后，患者在 ECT 注射窗口注射药物，注射后病人从患者专用出口离开。

核素门诊治疗具体工艺流程及产污环节见图 9-11。

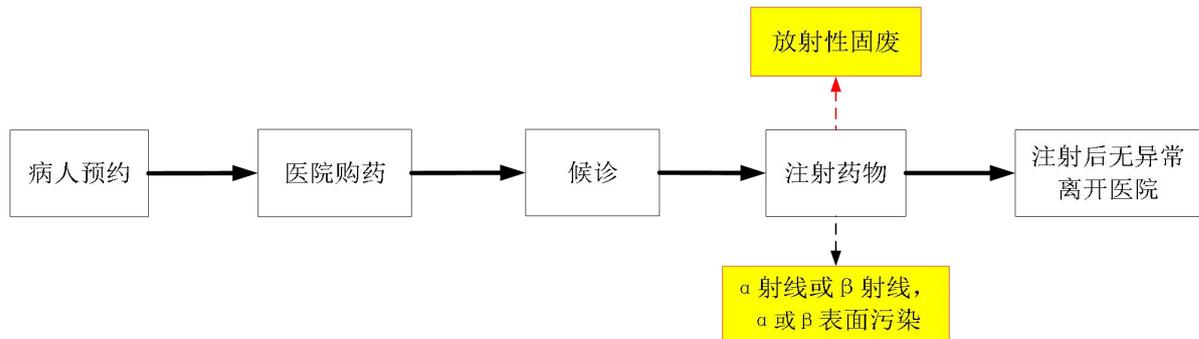


图 9-11 核素门诊治疗具体工艺流程及产污环节示意图

5、 ^{32}P 敷贴治疗

(1) 工作原理

^{32}P 在衰变过程中释放出纯 β 射线，该射线射程短，电离密度较大，电离能力强，其直接照射增生组织细胞，能使局部皮肤组织中的毛细血管的增生抑制，皮肤病变破坏，局部微血管萎缩甚至闭塞，核固缩和细胞膜消失变成合体细胞，从而减少了组织的合成与沉积，达到治疗局部浅层的皮肤毛细血管瘤的作用，又不会引起深部组织和邻近组织的损伤，达到治疗目的。主要用于局限性血管瘤、瘢痕疙瘩、表皮赘生物（基底细胞乳头状瘤等）等疾病的治疗。

(2) 工艺流程及产污环节分析

- ①制备 ^{32}P 敷贴器：医院购置的 ^{32}P 核素为成罐药剂， ^{32}P 敷贴器一般为临时配备，取厚薄与密度均匀的高级滤纸，剪成与病变大小一致的形状，作为支撑物，将所需放射性活度的 ^{32}P 溶液用适量蒸馏水或生理盐水稀释混匀，均匀地涂在滤纸上，用红外线灯烤干或晾干，装于塑料薄膜袋中密封备用。

②先对病变部位做清洁处理（毛发部位应先去毛），然后将制备好的敷贴器按病变形状对齐贴紧并用医用胶布固定。

③敷贴一定时间达到预计的照射剂量后应立即去除敷贴器，病人离开医院。

^{32}P 敷贴器是根据病变形状而制作成敷贴器，达到完全覆盖病变组织，真正得到靶式照射，一般采用一疗程一次治疗法，以使病变组织得到最大照射效应。具体工艺流程及产污环节见图 9-12。

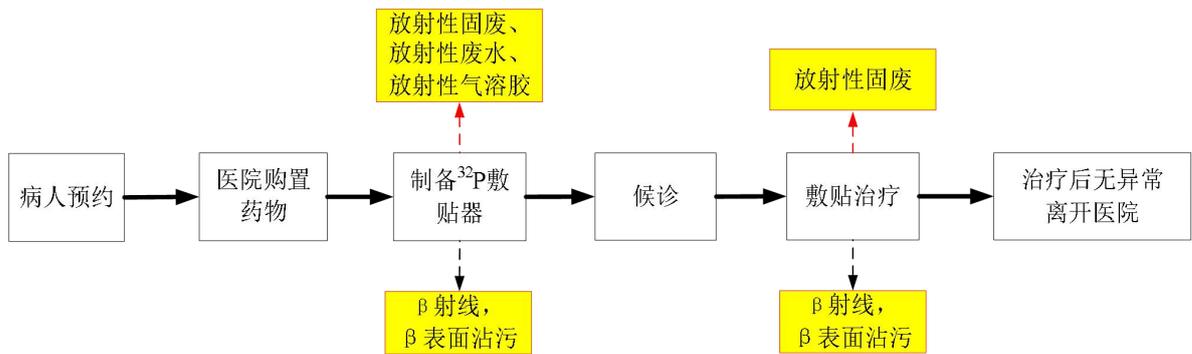


图 9-12 ^{32}P 敷贴治疗工艺流程及产污环节示意图

6、甲状腺功能测定

(1) 工作原理

患者在甲亢和甲癌治疗前，需进行甲状腺功能测定，碘是甲状腺合成甲状腺激素的原料之一，放射性的 ^{131}I 也能被摄取并参与甲状腺激素的合成，其被摄取的数量和速度与甲状腺功能密切相关。将 ^{131}I 引入受检者体内，利用体外探测器测定甲状腺部位放射性计数的变化，可以了解 ^{131}I 被甲状腺摄取的情况，从而判断甲状腺的功能。

(2) 工艺流程及产污环节分析

本项目甲状腺功能测定所需的 ^{131}I 药物由核素病房中的 ^{131}I 药物稀释后，分装出不大于 1mCi 的药物利用铅罐送至 ECT 注射室的手套箱中。

医护人员在 ECT 注射室的手套箱内分装出微量的放射性药物（每人最大服药量不超过 $10\mu\text{Ci}$ ），在注射窗口供患者服用，服药后患者从患者专用出口离开，然后分别于 2h、4h、24h 后返回核医学科的甲功室进行吸碘率测试。

甲状腺功能测定具体工艺流程及产污环节见图 9-13。

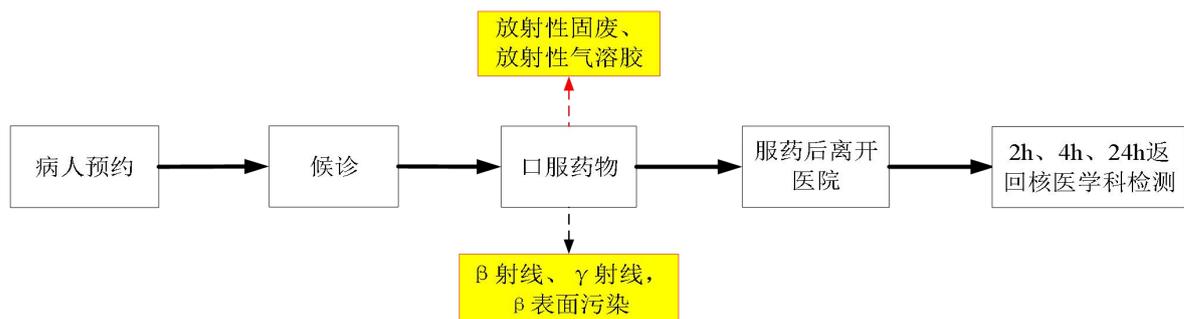


图 9-13 甲状腺功能测定具体工艺流程及产污环节示意图

二、核素病房

(1) 工作原理

放射性核素主要发射三种粒子，分别是 α 粒子、 β 粒子和 γ 粒子， α 射线和 β 射线电离辐射的生物效应较强，而 γ 射线则穿透力更强。因此在治疗领域，常用的核素主要为 α 粒子和 β 粒子，但相比之下， α 射线具有更强的电离辐射，对肿瘤的杀伤作用也更为显著。 β 射线已经在广泛的临床实践中被证实对肿瘤具有良好的治疗效果，但 β 射线穿透力强，因此治疗时的副作用无可避免。 α 射线相较于 β 射线能量更强，穿透力弱，正常的脏器、组织摄取较少，可实现对肿瘤骨转移病灶的精准高效作用。

甲状腺癌则是原发在甲状腺的癌症，属于甲状腺恶性肿瘤当中最常见的一个类型，甲状腺细胞对碘化物具有特殊的亲和力，正常的甲状腺细胞和甲状腺癌细胞具有同样的性质，服用含有放射性碘的溶液，口服的 ^{131}I 药剂大都被甲状腺细胞或甲状腺癌细胞摄取聚集在甲状腺内， ^{131}I 衰变时能放射出 β 射线(占99%)和 γ 射线(占1%)。 β 射线在组织内有效射程仅0.5~2毫米，因此 β 粒子的能量几乎全部释放在甲状腺组织内，选择性地破坏甲状腺腺泡上皮而不影响邻近组织。甲状腺癌患者，手术切除癌变甲状腺组织后，利用 ^{131}I 长时间的集中照射甲状腺组织，去除残留的甲状腺组织。

^{177}Lu 核素治疗主要是利用核素放射出的 β 射线治疗前列腺癌等病症， ^{225}Ac 核素治疗主要是利用核素放射出的 α 射线治疗骨转移癌、神经内分泌性肿瘤等病症。

(2) 工艺流程及产污环节分析

医院 ^{131}I 、 ^{177}Lu 、 ^{225}Ac 药物由专业供货商按需供货，由核素病房专人接收、登记， ^{131}I 为成罐药物暂存在分装室的碘自动分装仪中，该碘自动分装仪由电脑控制自动分装药物， ^{177}Lu 、 ^{225}Ac 则为成品针剂，暂存在分装室的手套箱中。

1) ^{131}I 甲癌治疗工艺流程及产污环节

- ①医院每周最多开展2次甲癌治疗，每次集中预约患者来院服药进行甲癌治疗；
- ②给药前，医护人员核对患者姓名、给药量等信息后，工作人员在分装室通过电脑控制碘自动分装仪自动分装药物，并通过监控和语音系统指导患者服药；
- ③患者服药后将一次性纸杯、擦拭纸放入给药室内的废物铅桶内，然后进入各自相应的病房，住院观察治疗。
- ④甲癌患者出院前，使用测量体内活度的设备或测量周围剂量当量率的仪器对患者进行监测，待患者体内的放射性活度降至400 MBq或距离患者体表1 m处的周围剂量当量率不大于25 $\mu\text{Sv/h}$ 后，方可出院。

由于甲癌患者的甲状腺大部分或者全部切除，其对碘的摄取量非常少，大部分碘由大小便及汗液排出，因此，在核素半衰期及生物半排期同时作用下，患者体内的 ^{131}I 约一天后只剩一半（参考《分化型甲状腺癌患者的 ^{131}I 有效半衰期》），住院约3~4天后

体内的 ^{131}I 药物活度将小于 400MBq 。 ^{131}I 甲癌治疗具体工艺流程及产污环节见图 9-14。

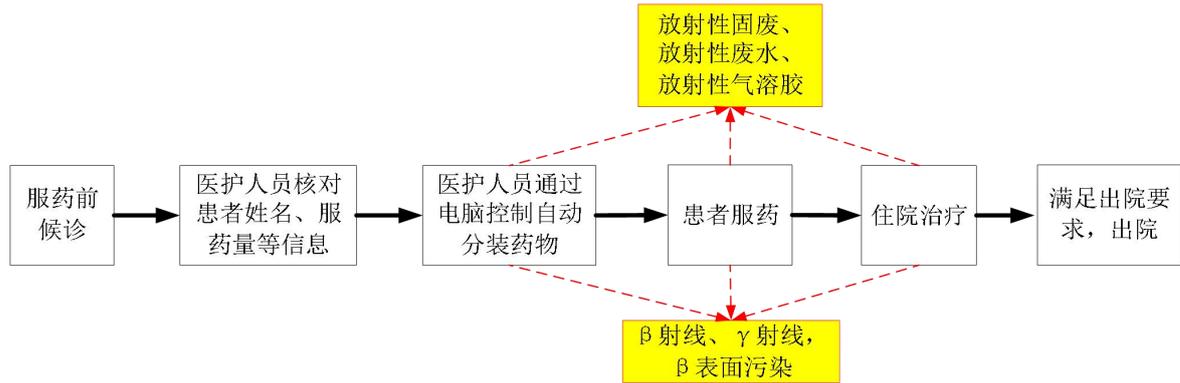


图 9-14 ^{131}I 甲癌治疗具体工艺流程及产污环节示意图

2) ^{177}Lu 、 ^{225}Ac 核素治疗工艺流程及产污环节

①医院 ^{177}Lu 治疗每周最多开展 5 次， ^{225}Ac 治疗每周最多开展 2 次，每次集中预约患者来院注射药物；

②给药前，医护人员核对患者姓名、给药量等信息后，工作人员在分装室注射窗口为患者注射药物；

③给药后，患者进入各自相应的病房，住院观察治疗。

④ ^{177}Lu 治疗的患者需留院观察 1 晚即可出院，住院时间不超过 24h； ^{225}Ac 治疗的患者需留院观察 3 天左右即可出院。

^{177}Lu 、 ^{225}Ac 核素治疗具体工艺流程及产污环节见图 9-15。

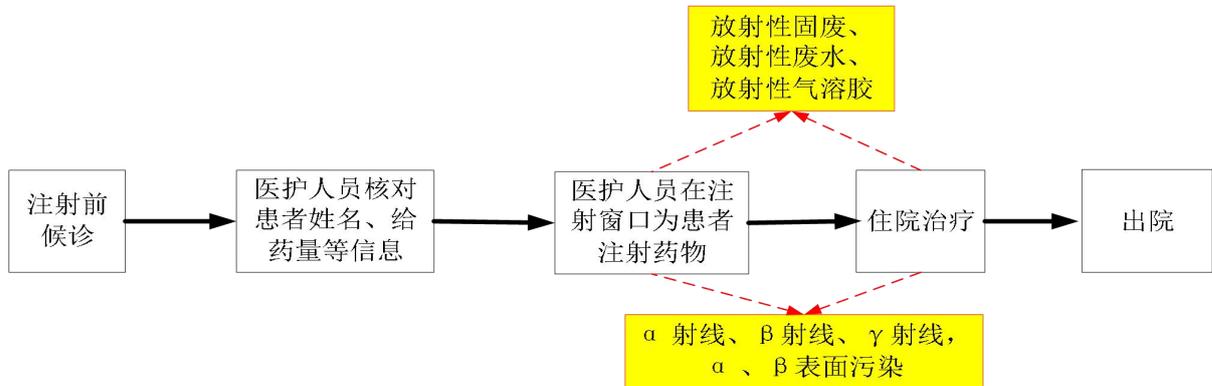


图 9-15 ^{177}Lu 、 ^{225}Ac 核素治疗具体工艺流程及产污环节示意图

三、DSA

(1) 工作原理

数字减影血管造影技术是常规血管造影术和电子计算机图像处理技术相结合的产物。DSA的成像基本原理为：将受检部位没有注入造影剂和注入造影剂后的血管造影X射线荧光图像，经电子计算机处理并将两幅图像的数字信息相减，最终获得去除骨骼、肌肉和其他软组织，只留下单纯血管影像的减影图像，通过显示器显示出来。通过DSA处理的图像，使血管的影像更为清晰，在进行介入手术时更为安全。

本项目拟配备的DSA属于平板探测器型，其成像原理为：①曝光前对非晶硒两面的偏置电极板预先施加1~5000V正向电压形成偏执电场，像素矩阵处于预置初始状态；②X线曝光时在偏执电场作用下形成电流→垂直运动→电荷采集电极→给储存电容充电；③读取TFT储存电容内的电荷→放大→A/D转换成数字信号→计算机运算→形成数字图像；④消除残存电荷，其系统结构示意图见图9-16。

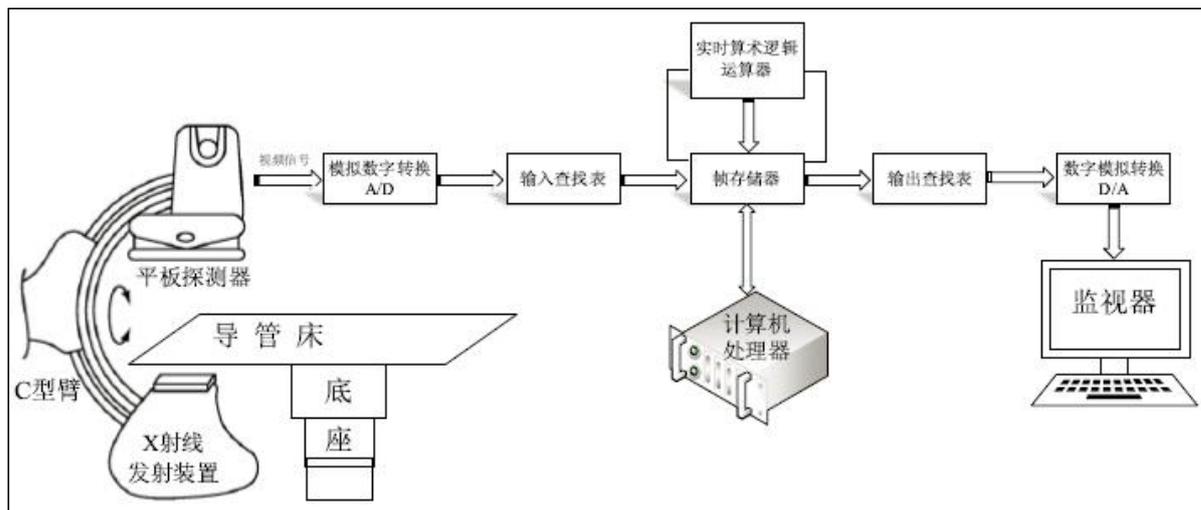


图 9-16 平板探测器型 DSA 系统结构图

介入治疗是在医学影像设备的引导下，通过置入体内的各种导管的体外操作和独特的处理方法，对体内病变进行治疗。介入治疗具有不开刀、创伤小、恢复快、效果好的特点。

(2) 工艺流程及产污环节分析

①医生穿戴铅衣等个人防护用品，做好准备工作后进入手术室，按工作程序完成所有准备工作，包括给患者摆位；

②为患者病变部位拍摄普通片，并在脉冲透视下插入导管至目标部位，此过程会产生 X 射线和微量的臭氧、氮氧化物；

③然后通过导管加压输送造影剂，并拍摄造影片，减影过程会产生 X 射线和微量的臭氧、氮氧化物；

④医护人员根据减影图像进行诊断，无需介入治疗的患者离开手术室，需要介入治疗的患者进行介入手术；

⑤医护人员在 DSA 引导下为患者进行介入手术，手术结束后，患者离开手术室，此过程会产生 X 射线和微量的臭氧、氮氧化物。

本项目 DSA 放射诊断和介入治疗的工作流程及产污环节具体见图 9-17。

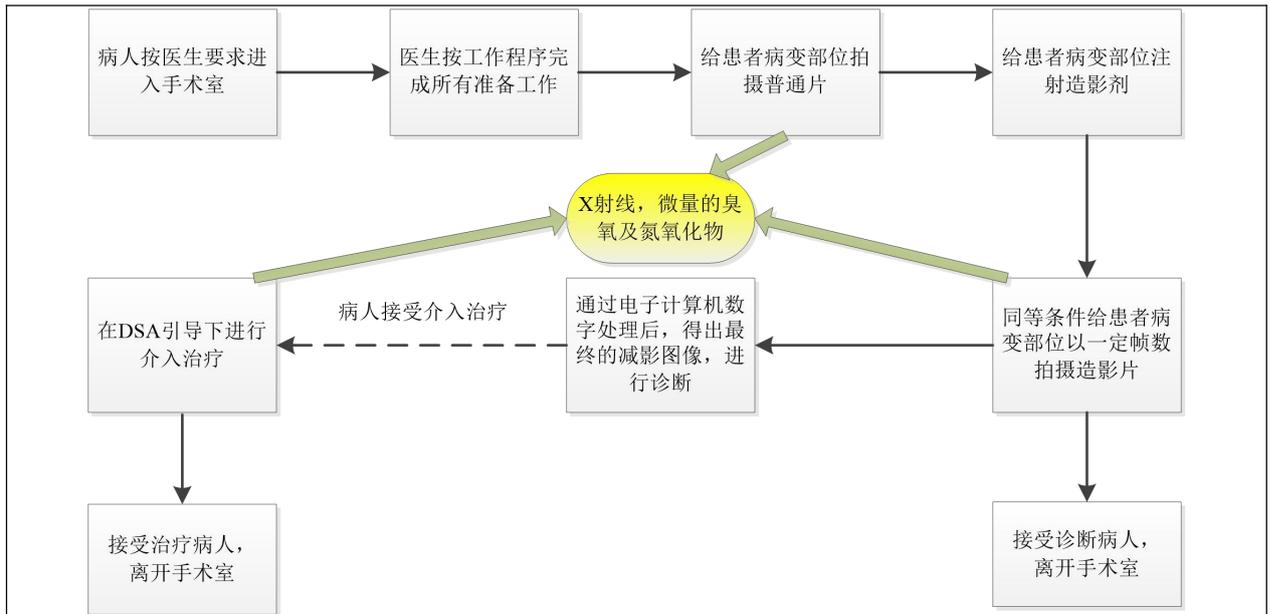


图9-17 本项目DSA放射诊断和介入治疗工作流程及产污环节示意图

9.1.4 人流、物流路径规划

一、核医学科

1、工作人员路径

回旋加速器工作人员路径：地面→5#楼梯→核医学科内部走廊→回旋加速器控制室→工作结束后原路返回。

合成分装室工作人员路径：地面→5#楼梯→核医学科内部走廊→一更→二更→缓冲→洁净走廊→合成分装室→工作结束后原路返回。

注射室工作人员路径：地面→5#楼梯→核医学科内部走廊→卫生通过间→PET 注射室或 ECT 注射室→工作结束后原路返回。

PET、SPECT 控制室工作人员路径：核医学科东侧电梯厅下至地下一层→走廊→PET、SPECT 控制室→工作结束后原路返回。

2、患者路径

PET/CT 检查患者路径：核医学科东侧电梯厅下至地下一层→留置针窗口打留置针→注射前候诊区→PET 注射窗口注射药物→PET 注射后候诊室候诊→PET/CT 机房扫描→PET 留观室内留观→患者专用出口离开。

SPECT/CT 检查患者路径：核医学科东侧电梯厅下至地下一层→留置针窗口打留置针→注射前候诊区→ECT 注射窗口注射药物→ECT 注射后候诊室候诊（部分患者需要在运动负荷室内加强运动使心率达到一定水平）→SPECT/CT 机房扫描→ECT 留观室内留观→患者专用出口离开。

核素门诊治疗患者路径：核医学科东侧电梯厅下至地下一层→注射前候诊区→ECT

注射窗口注射药物→患者专用出口离开。

³²P 敷贴治疗患者路径：核医学科东侧电梯厅下至地下一层→注射前候诊区→敷贴室敷贴治疗→患者专用出口离开。

甲功测定患者路径：核医学科东侧电梯厅下至地下一层→注射前候诊区→ECT 注射窗口服药→患者专用出口离开→不同时间段返回甲功室检查。

3、放射性药物路径

¹⁸F 放射性药物路径：回旋加速器打靶生产→合成分装室合成分装→传递窗→外包间→PET 注射室。

外购放射性药物路径：核医学科西南角药物通道入口→走廊→注射走廊→储源室→PET 注射室或 ECT 注射室。

4、放射性固体废物路径

各房间产生的放射性固体废物暂存在各房间的废物铅桶内→分类收集打包并贴上标签（标明核素种类、存放日期）→放射性固废间的废物桶内衰变→满足清洁解控要求后从患者专用出口运至医院的医疗垃圾处理站作为医疗废物处理。

二、核素病房

1、工作人员路径

核医学门厅→医护走廊→缓冲→分装室→工作结束后原路返回。

2、患者路径

核医学门厅→缓冲→给药室给药→病房留院治疗→患者专用出口离开。

3、放射性药物路径

患者专用出口→患者走廊→分装室内手套箱或碘自动分装仪内。

4、放射性固体废物路径

各房间产生的放射性固体废物暂存在各房间的废物铅桶内→分类收集打包并贴上标签（标明核素种类、存放日期）→放射性固废间的废物桶内衰变→满足清洁解控要求后从患者专用出口运至医院的医疗垃圾处理站作为医疗废物处理。

5、送餐路径

核医学门厅→医护走廊→配餐间→通过传递窗传递至取餐间。

三、DSA

控制室工作人员路径：洁净走廊→控制室→工作结束后原路返回。

手术室工作人员路径：洁净走廊→前室→洗消、穿戴铅衣等防护用品→手术室→工作结束后原路返回。

患者路径：洁净走廊→前室→手术室接受诊断与治疗→手术后原路离开。

污物路径：从手术室污物防护门运出→污物通道→医院医疗废物处理站。

本项目核医学科、核素病房患者的每个就诊阶段均由工作人员语音呼叫或语音指导下进行，减少患者在核医学科、核素病房场所内的交叉辐射影响。本项目核医学科人流、物流路径见附图 9，核素病房人流、物流路径见附图 10，DSA 人流、物流路径见附图 11。

9.1.5 劳动定员和工作负荷

一、核医学科

1、劳动定员

本项目核医学科共拟配备 10 名辐射工作人员，部分从现有辐射工作人员中调配、部分为新招人员，其中 2 名工作人员负责回旋加速器的操作；2 名工作人员负责 ^{18}F 的合成、分装、质检以及质检用 ^{18}F 药物的转移；1 名工作人员负责 ^{18}F 药物的领取、活度测量、PET 诊断患者给药，1 名工作人员负责 SPECT 诊断用药物活度测量、患者给药、治疗用药物注射给药、敷贴器的制备及患者敷贴治疗、甲功测定检查；4 名工作人员分为 2 人一组，负责 PET/CT 和 SPECT/CT 的操作和患者摆位。本项目核医学科辐射工作人员只负责本项目核医学科的辐射工作，不从事其他辐射工作。

2、工作制度

每天工作 8 小时，每年工作 250 天。

3、工作负荷

本项目核医学科辐射工作人员年工作时间见表 9-2。

表 9-2 本项目核医学科辐射工作人员年工作时间一览表

辐射工作人员	工作内容	年总工作时间 (h)	备注
回旋加速器 操作人员	回旋加速器的 操作	1000	每天开机不超过4h，年工作250天
合成分装室工 作人员	^{18}F 放射性药物 合成、分装	250	^{18}F 放射性药物合成、分装每天不超过1h， 年工作250天
	^{18}F 放射性药物 放化质检	500	^{18}F 放射性药物放化质检每天不超过2h，年 工作250天
	质检用 ^{18}F 放射 性药物转移	12.5	每天转移不超过3min，年工作250天
PET注射窗口 工作人员	正电子药物活度 测量	91.7	每个针剂活度测量用时不超过1min，年门 诊量5500名患者
	正电子药物注射	91.7	每名患者注射用时不超过1min，年门诊量 5500名患者
	^{18}F 放射性药物 的领取	8.33	每天领取用时不超过2min，年工作250天

ECT注射窗口 工作人员	ECT诊断用药物 活度测量	85	每个针剂活度测量用时不超过1min, 年门诊量5100名患者
	ECT诊断用药物 注射	85	每名患者注射用时不超过1min, 年门诊量5100名患者
	治疗用药物注射	2.5	每名患者注射用时不超过1min, 年门诊量150名患者
	³² P敷贴器的 制备	500	每名患者敷贴器的制备用时不超过30min, 年门诊量1000名患者
	近距离协助患者 敷贴治疗	500	每名患者敷贴治疗用时不超过30min, 年门诊量1000名患者
	¹³¹ I药物分装	33.3	每次分装用时不超过1min, 年门诊量2000名患者
	¹³¹ I甲功测定给药	33.3	每名患者服用用时不超过1min, 年门诊量2000名患者
每名PET/CT 操作技师	2名工作人员同时 在岗, 共同负责患 者的摆位和PET/CT 扫描	扫描: 1833	每名患者扫描时间10~20min, 年门诊量5500名患者
		摆位: 45.8	年门诊量5500名患者, 每名工作人员各摆位2750名, 每名患者摆位用时不超过1min
每名SPECT/CT 操作技师	2名工作人员同时 在岗, 共同负责患 者的摆位和SPECT/CT 扫描	扫描: 2550	每名患者扫描时间15~30min, 年门诊量5100名患者
		摆位: 42.5	年门诊量5100名患者, 每名工作人员各摆位2550名, 每名患者摆位用时不超过1min

注: ①实际运行后, PET/CT和SPECT/CT操作技师之间、注射窗口工作人员之间会每月进行轮岗, 为便于计算各辐射工作人员的年有效剂量, 本项目在计算时保守假设各岗位工作人员不轮岗。

②放射性核素主要集中在人体组织中, 转移至放射性固体废物中的量较少, 则收集转移放射性固体废物所致工作人员的年受照剂量相对较小, 可忽略不计; 核素病房工作人员收集转移放射性固体废物所致年受照剂量也忽略不计。

二、核素病房

本项目核素病房共配备 4~6 名辐射工作人员, 4~6 名辐射工作人员分为两班, 每周工作最多 5 天, 每天 8 小时工作制, 年工作 50 周。本项目核素病房辐射工作人员只负责本项目核素病房的辐射工作, 不从事其他辐射工作。

三、DSA

本项目 DSA 复合手术室使用科室涉及神经外科、神经内科、心内科等, 共配备一组操作技师和护士和 3 组介入手术人员, 每组介入手术人员年手术量不超过 300 台, 平均每台手术透视时间约为 25min、减影时间约为 2min, 则每组介入手术人员年透视受照时间约为 125h, 年减影受照时间约为 10h; 操作技师和护士年透视受照时间约为 375h, 年减影受照时间约为 30h。

9.2 污染源项描述

9.2.1 污染源项

一、核医学科

1、正电子药物的生产过程

本项目回旋加速器拟生产的放射性核素为 ^{18}F ， ^{18}F 正电子药物在生产过程中不涉及化学合成和粉末操作等危险操作，放射性药物生产过程中产生的放射性污染因子主要包括： γ 射线、中子、感生放射性、放射性废气、放射性废水及放射性固体废物。

(1) γ 射线

本项目回旋加速器生产放射性核素过程中产生最大能量为 10MeV 的 γ 射线，在正电子药物合成、质检、分装过程中，放射性核素也会对局部环境产生能量为 0.511MeV 的 γ 射线外照射。因此， γ 射线是放射性药物生产过程中的主要污染因子。

(2) 中子

回旋加速器用高能的质子轰击靶发生核反应，在产生放射性核素的同时，也产生最大能量为 15MeV 的中子。因此，中子辐射也是回旋加速器运行过程中的主要污染因子。

(3) β 表面污染

工作人员在对放射性药物的操作中，会引起工作台、工作服和手套等产生放射性沾污，造成小面积的 β 表面污染。

(4) 放射性废水

正电子药物生产过程中，产生的放射性废水主要包括正电子药物生产过程中产生的少量工艺废水、器具、工作人员和工作场所的清洗废水以及事故情况下人员的应急淋浴废水，每天产生工艺废水、器具、工作人员的清洗废水不超过 5L，工作场所每周清洗一次，每次清洗产生放射性废水不超过 30L，则放射性药物生产区的放射性废水周产生量不超过 0.055m³，年工作 250 天，则年产生放射性废水量不超过 2.75m³。

本项目回旋加速器的冷却水总量不超过 100L，水冷系统是为设备发热部件冷却而设计的封闭循环系统，是加速器整体部件中的一部分，回旋加速器工作中靶体的冷却水受中子照射被活化，但该冷却水系统采用闭合回路循环使用均不外排，正常情况下不会产生放射性废水。若因事故或检修等原因需外排活化的冷却水，则外排的冷却水集中收集在专用容器中，暂存在回旋加速器机房内。活化的冷却水中大多是短半衰期感生放射性核素，长半衰期感生放射性核素主要是 ^3H 和 ^7Be ， ^3H 的半衰期为 12.32a， ^7Be 的半衰期为 53.28d，外排的冷却水暂存 1 年后取样检测，满足总 $\alpha < 1\text{Bq/L}$ 、总 $\beta < 10\text{Bq/L}$ 后，

作为普通医疗废水排入医院的污水处理系统。放射性核素 ^3H 和 ^7Be 的能量最大为 0.0493MeV ，能量较低，对周围环境辐射影响很小，无需进行特殊防护。

(5) 放射性废气

回旋加速器运行时，加速器机房室内空气受中子照射后将生成放射性活化气体，主要核素有 ^{11}C （半衰期 20.4min ）、 ^{13}N （半衰期 10min ）、 ^{15}O （半衰期 2.1min ）和 ^{41}Ar （半衰期 110min ）等，其中关键核素为 ^{41}Ar 。由于空气中可以生成 ^{41}Ar 的 ^{40}Ar 只占 1.3% ，加上产生 ^{41}Ar 的活化反应截面很小，所以 ^{41}Ar 的生成率极低。因此，本项目其他活化气体和放射性气溶胶的危害几乎可以忽略。

本项目放射性核素生产为自动化工艺，停机后，工作人员无需进入回旋加速器机房内进行操作；放射性药物合成、分装时会产生少量放射性气体，整个过程在密封的热室内进行，质检在通风柜内进行，空气中挥发散逸的放射性同位素几乎没有，其对医务人员和公众呼吸入体内造成的内照射影响可以忽略。

(6) 放射性固体废物

正电子药物生产过程中，产生的放射性固体废物主要有以下几种：①回旋加速器维修更换产生的高活性放射性固体废物，如废靶膜等，年产生量约为 0.1kg ；②回旋加速器装卸靶过程中产生的一次性沾污废物等非高活性固废，年产生量不超过 0.5kg ；③放射性药物生产过程中更换的过滤网、传输软管等，年产生量约为 1kg ；④质检过程、正电子药物生产过程中，产生的沾有少量放射性核素的一次性手套、口罩、废试剂瓶、废弃滴管、注射器、棉签、滤纸、擦拭纸等，日产生量约为 0.5kg ，年工作 250 天，年产生量约为 125kg ；⑤回旋加速器机房、合成分装室和热室的通风系统中置换下的废活性炭高效过滤材料，每半年更换一次，年产生量约为 140kg 。

(7) 感生放射性

感生放射性是指当射束停止后，仍有“残留”辐射的现象，通常是中子活化的结果，较高能量的粒子加速器（大于 10MeV ）都可能通过 $(\gamma\text{-n})$ 、 (p-n) 等核反应产生泄漏或污染中子，进而产生感生放射性。感生放射性衰减较快，一般 $2\sim 10$ 分钟可减少一半或更多，如人员在停止出束后立即进入机房，可能受到感生放射性的照射。

回旋加速器的感生放射性主要是由中子引起的，这是因为不管中子能量如何，均会产生活化，感生放射性的辐射水平取决于加速粒子的能量、种类、束流强度和加速器的运行时间等因素。对于 γ 射线引起的感生放射性，从核反应的阈能来看，能够直接产生感生核素的被加速带电粒子能量多数需要在 10MeV 以上，本项目回旋加速器产生的 γ 射线平均能量不超过 10MeV ，因此，不需要考虑 γ 射线引起的活化。

感生放射性主要产生于回旋加速器的结构材料、冷却水、周围土壤以及加速器机房

的空气中，与此同时还伴有放射性废物的产生。

2、核素诊疗区

本项目核素诊疗区放射性药物在操作过程中，以及给药后患者在候诊、扫描、留观等过程中，主要考虑各核素衰变时产生的 α 射线和（或） β 射线（包括 β 射线所致韧致辐射）和（或） γ 射线的辐射影响；放射性药物在操作过程中可能会发生撒落事故，对工作台、设备、墙壁、地面等产生放射性沾污，造成 α 、 β 局部放射性表面污染。

（1）辐射

① γ 射线

根据表 9-6，本项目核素诊疗区主要考虑 γ 射线辐射影响的核素主要有 ^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{67}Ga 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{123}I 、 ^{131}I 共 7 种核素，根据公式（11-4）可估算得出，无屏蔽情况下，单名患者最大给药量下 γ 射线对周围环境的辐射影响见表 9-3。

表9-3 无屏蔽情况下单名患者最大给药量下 γ 射线对周围环境的辐射影响

核素	单名患者最大用药量 (Bq)	单名给药患者所致 1m 处辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
^{18}F	3.70E+08	52.9
^{64}Cu	3.70E+08	10.7
^{67}Ga	3.70E+08	9.81
^{68}Ga	1.85E+08	24.8
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	9.25E+08	28.0
^{123}I	3.70E+08	22.6
^{131}I	3.70E+05	0.022

本项目校准源 ^{22}Na 的活度为 $1.48 \times 10^7 \text{Bq}$ ，裸源时所致 1m 处的辐射剂量率为 $4.93 \mu\text{Sv/h}$ ，贮存在不低于 10mmPb 储源罐中，经过 10mmPb 储源罐屏蔽后，储源罐表面 1m 处的辐射剂量率约为 $1.23 \mu\text{Sv/h}$ ，其对周围环境的辐射影响较正电子药物可忽略不计。

② β 射线及其所致韧致辐射

根据表 9-6，本项目核素诊疗区主要考虑 β 射线及韧致辐射影响的核素主要为核素 ^{32}P 、 ^{89}Sr ， β 射线穿透能力较弱，使用活度为 $4.44\text{E}+08\text{Bq}$ 的 ^{32}P 敷贴器所致 1m 处韧致辐射最大为 $0.144 \mu\text{Sv/h}$ ，放射性药物 ^{89}Sr 注入患者身体后，被人体组织屏蔽，对外环境的辐射影响相对 γ 射线来说很小，故本项目不再考虑 β 射线的辐射影响， β 粒子被自身源物质及周围的其他物质阻止时将产生韧致辐射，在估算外照射剂量时，主要考虑韧致辐射对周围环境的辐射影响。本项目放射性药物 ^{89}Sr 注射入患者体后均有组织（近似为水）

屏蔽，根据《辐射防护导论》表 4.4，水的 Z_e 为 6.66。根据公式 (11-8) 可估算得出，无屏蔽情况下，单名患者最大给药量下 β 射线所致致辐射对周围环境的辐射影响，具体见表 9-4。

表 9-4 无屏蔽情况下单名患者最大给药量下 β 射线所致致辐射对周围环境的辐射影响

核素	单名患者最大用药量 (Bq)	单名给药患者所致 1m 处辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
^{89}Sr	1.48E+08	0.034

③ α 射线

根据表 9-6，本项目核素诊疗区主要考虑 α 射线辐射影响的核素主要为 ^{223}Ra ， α 射线穿透能力差，在空气中的射程只有几厘米，只要一张纸或健康的皮肤就能挡住，因此没有外照射危险； α 核素若摄入体内将造成内照射。本项目辐射工作人员进入控制区均穿戴工作服、一次性手套、工作鞋，并佩戴过滤式口罩，人员不在控制区内进行进食、饮水、吸烟、化妆等无关工作，本项目放射性药物 ^{223}Ra 为成品针剂，无需分装等操作，在正常过程中，不会被工作人员摄入体内，不会造成内照射影响。

④ X 射线

本项目 PET/CT、SPECT/CT 扫描时 CT 发出能量最大为 140kV 的 X 射线，在 PET/CT、SPECT/CT 扫描过程中，机头有用线束直接照向患者，机头使用影像增强器，可阻挡主射线，初级辐射的强度会大幅度地被病人、影像接收器和支撑影像接收器的结构减弱，因此 PET/CT、SPECT/CT 屏蔽估算时可不考虑主束照射。因此，本次评价重点考虑泄漏辐射和散射辐射对周围环境的辐射影响。

i、泄漏射线

根据国际放射防护委员会第 33 号出版物《医用外照射源的辐射防护》“(77) 用于诊断目的的每一个 X 射线管必须封闭在管套内，以使得位于该套管内的 X 射线管在制造厂规定的每个额定值时，离焦点 1m 处所测得的泄漏辐射在空气中的比释动能不超过 1mGy/h ”（在距离源 1m 处不超过 100cm^2 的面积上或者在离管或源壳 5cm 处的 10cm^2 面积上进行平均测量），以及《医用电气设备 第 1-3 部分：基本安全和基本性能的通用要求 并列标准：诊断 X 射线设备的辐射防护》(GB 9706.103-2020) 中 12.4 的相应要求，本项目 PET/CT、SPECT/CT 离焦点 1m 处的泄漏辐射空气比释动能率均取 1.0mGy/h 。

ii、散射线

本项目 PET/CT、SPECT/CT 的散射线主要考虑有用线束照射到受检者人体产生的侧向散射线，其强度与有用线束的 X 射线散射线能量、X 射线机的输出量、散射面积和

距离等有关。PET/CT、SPECT/CT具有自动照射量控制调节功能（AEC），摄影时，如果受检者体型偏瘦，功率自动降低，照射量率减小；如果受检者体型较胖，功率自动增强，照射量率增大。为了防止球管烧毁并延长其使用寿命，实际使用时，管电压和管电流通常留有一定的裕量。

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中 5.1.5 c）“除牙科摄影和乳腺摄影用 X 射线设备外，X 射线有用线束中的所有物质形成的等效总滤过，应不小于 2.5 mmAl”，本项目 PET/CT、SPECT/CT 的厂家、型号均未定，其过滤材料均保守按 2.5mmAl 进行计算，本项目 PET/CT、SPECT/CT 日常使用中管电压范围为 80kV~120kV，根据《辐射防护导论》（方杰著）附图 3，由内插法可得，在管电压为 120kV、过滤材料为 2.5mmAl 的条件下，离靶 1 米处的发射率约为 $9\text{mGy}\cdot\text{m}^2/\text{mA}\cdot\text{min}$ 。

（2）放射性废水

本项目核素诊疗区的放射性废水主要为给药后患者的排泄物和冲洗水、工作人员和工作场所的清洗废水以及事故情况下的应急淋浴废水等。

本项目门诊核素治疗和甲功测定患者给药后不留观，基本不产生放射性废水。PET/CT 和 SPECT/CT 显像检查日门诊量总共不超过 62 人，平均每人产生放射性废水不超过 10L，则患者每日产生放射性废水不超过 620L；工作人员和工作场所每天清洗产生的放射性废水不超过 50L，则核素诊疗区放射性废水日产生量不超过 0.67m^3 ，年工作 250 天，年产生量不超过 167.5m^3 。

本项目 ^{32}P 敷贴治疗在治疗过程不产生放射性废水，在敷贴器制备过程日产生不超过 0.1L 的工艺废水，年工作 250 天，年产生量不超过 0.025m^3 。

（3）放射性废气

本项目核素诊疗区使用的放射性药物 ^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{67}Ga 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{123}I 、 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 为成品注射针剂，直接注射； ^{32}P 敷贴器的制备和 ^{131}I 药物的分装在带有通风装置的手套箱内进行，空气中挥发散逸的放射性核素几乎没有，放射性气溶胶非常少，其对人员呼吸入体内造成的内照射影响可以忽略。

（4）放射性固体废物

本项目核素诊疗区产生的放射性固体废物主要为一次性注射器、服药杯、棉签、手套、口罩、滤纸、擦拭废纸、绷带、废敷贴源、胶布等带微量放射性核素的医疗固体废物，日门诊量不超过 82 人，平均每人产生放射性固体废物不超过 0.05kg，则放射性固体废物日产生量不超过 4.1kg，年工作 250 天，年产生量不超过 1025kg。

本项目核素诊疗区工作场所和手套箱、通风柜的通风系统中置换下的废活性炭高效过滤材料，每半年更换一次，年产生量约为 230kg。

3、其他非放射性废物

(1) 辐射工作人员工作中产生的生活污水和办公垃圾。

(2) 回旋加速器机房、PET/CT 机房、SPECT 机房内产生的少量臭氧和氮氧化物。

二、核素病房

1、辐射

根据表 9-6，本项目核素病房放射性核素 ^{131}I 、 ^{177}Lu 主要考虑 γ 射线的辐射影响，放射性核素 ^{225}Ac 主要考虑 α 射线的辐射影响，单名患者最大给药量下 γ 射线对周围环境的辐射影响见表 9-5。

表9-5 无屏蔽情况下单名患者最大给药量下 γ 射线对周围环境的辐射影响

核素	单名患者最大用药量 (Bq)	单名给药患者所致 1m 处辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
^{131}I	3.70E+09	220
^{177}Lu	7.40E+09	46.6

2、放射性废水

本项目核素病房每次最多接收 6 名患者，平均每人日产生放射性废水不超过 100L，周产生放射性废水不超过 4.2m³；工作人员和工作场所每周产生的清洗废水不超过 100L，则核素病房周产生放射性废水不超过 4.3m³，年产生放射性废水不超过 215m³。

3、放射性废气

本项目核素病房的放射性药物 ^{177}Lu 、 ^{225}Ac 为成品注射针剂，直接注射；放射性药物 ^{131}I 的操作在带有通风装置的碘自动分装仪内进行，碘自动分装仪由工作人员远距离控制自动分装给药，空气中挥发散逸的放射性核素很少，空气中放射性气溶胶非常少，其对医务人员和公众呼吸入体内造成的内照射影响可以忽略。

4、放射性固体废物

本项目核素病房产生的放射性固体废物主要为一次性注射器、服药杯、棉签、手套、口罩、滤纸、擦拭废纸、绷带等带微量放射性核素的医疗固体废弃物，核素病房每次最多接收 6 名患者，平均每人日产生放射性固体废物不超过 1kg，周产生量不超过 30kg，年工作 50 周，年产生量不超过 1500kg。本项目核素病房工作场所、手套箱、碘自动分装仪的通风系统中置换下的废活性炭高效过滤材料，每半年更换一次，年产生量约为 140kg。

三、地下二层放射性废水衰变室

地下二层放射性废水衰变室正常情况下无放射性废水产生，放射性废水贮存衰变过

程中会产生少量的放射性气溶胶，放射性固体废物主要为通风系统中置换下的废活性炭高效过滤材料，每半年更换一次，年产生量约为 40kg。

5、其他非放射性废物

- (1) 项目运行期产生的废水主要为工作人员产生的少量生活污水。
- (2) 项目运行期产生的固体废物主要为工作人员产生的少量生活垃圾。

三、DSA

1、辐射

根据 DSA 的工作原理可知，X 射线是随机器的开关而产生和消失。因此，在非诊疗状态下不产生 X 射线，只有在开机处于出线状态时才会发出 X 射线。因此，在开机期间，X 射线为污染环境的主要因子。本项目 DSA 最大管电压为 125kV、最大管电流为 1250mA。

在介入手术过程中，机头有用线束直接照向患者，根据《Structural Shielding Design For Medical X-Ray Imaging Facilities》（NCRP147 号出版物）第 4.1.6 节指出，在血管造影术中将使用影像增强器，可阻挡主射线，初级辐射的强度会大幅度地被病人、影像接收器和支撑影像接收器的结构减弱，因此 DSA 屏蔽估算时可不考虑主束照射。因此，本次评价重点考虑泄漏辐射和散射辐射对周围环境的辐射影响。

(1) 泄漏射线

根据国际放射防护委员会第 33 号出版物《医用外照射源的辐射防护》“（77）用于诊断目的的每一个 X 射线管必须封闭在管套内，以使得位于该套管内的 X 射线管在制造厂规定的每个额定值时，离焦点 1m 处所测得的泄漏辐射在空气中的比释动能不超过 1mGy/h”（在距离源 1m 处不超过 100cm² 的面积上或者在离管或源壳 5cm 处的 10cm² 面积上进行平均测量），以及《医用电气设备 第 1-3 部分：基本安全和基本性能的通用要求 并列标准：诊断 X 射线设备的辐射防护》（GB 9706.103-2020）中 12.4 的相应要求，本项目 DSA 离焦点 1m 处的泄漏辐射空气比释动能率均取 1.0mGy/h。

(2) 散射线

本项目 DSA 的散射线主要考虑有用线束照射到受检者人体产生的侧向散射线，其强度与有用线束的 X 射线散射线能量、X 射线机的输出量、散射面积和距离等有关。DSA 具有自动照射量控制调节功能（AEC），摄影时，如果受检者体型偏瘦，功率自动降低，照射量率减小；如果受检者体型较胖，功率自动增强，照射量率增大。为了防止球管烧毁并延长其使用寿命，实际使用时，管电压和管电流通常留有一定的裕量。

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中 5.1.5 c）“除牙科摄影和乳腺摄影用 X 射线设备外，X 射线有用线束中的所有物质形成的等效总滤过，应不小于 2.5

mmAl”，本项目 DSA 最大管电压为 125kV，医院拟购置的 DSA 的过滤材料为 0.5mmCu，根据《辐射防护导论》（方杰著）附图 3，摄影（100kV）时 X 射线发射率常数 $\delta_{100kV}=1.8\text{mGy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ，则 $H_{0(100kV)}=1.08 \times 10^5 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ；透视（80kV）时 X 射线发射率常数 $\delta_{80kV}=0.8 \text{mGy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ，则 $H_{0(80kV)}=4.8 \times 10^4 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

2、非放射性废物

本项目 DSA 工作时产生的 X 射线会使手术室内的空气电离产生少量臭氧和氮氧化物。

本项目事故工况下的辐射污染因子与正常工况下的污染因子一致。本项目核医学科和核素病房的淋浴、拖把池、马桶选用脚踏式或自动感应式开关，洗手池采用自动感应式开关，并采用节水模式，以上措施可减少放射性废水的产生和场所内的设备放射性污染，洗手池安装伸缩式水龙头，方便头、眼和面部受污染时，采用向上流动的水进行冲淋。

9.2.2 核素特性

本项目放射性核素的特性见表 9-6。

表 9-6 本项目放射性核素特性一览表

核素	半衰期	衰变类型及分支比 (%)	主要 α 、 β 射线能量 (keV) 与绝对强度 (%)	主要 γ 射线能量 (keV) 与绝对强度 (%)	周围剂量当量率常数 ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)
^{18}F	109.8min	ϵ (3.27) β^+ (96.73)	633.5 (96.73)	γ_{\pm} : 511 (≤ 193.46)	0.143
^{64}Cu	12.7h	ϵ (43.6) β^+ (17.4)	653.09 (17.4)	1345.77 (0.473) γ_{\pm} : 511 (≤ 34.79)	0.029
^{67}Ga	3.2612d	ϵ (100)	—	93.311 (39.2) 184.577 (21.2) 300.219 (16.8) 393.529 (4.68)	0.0265
^{68}Ga	68.3min	ϵ (10.9) β^+ (89.1)	1899.1 (88.0)	1077.33 (3.0) γ_{\pm} : 511 (≤ 178.2)	0.134
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6.02h	IT(100)	—	140.511(88.5)	0.0303
^{123}I	13.2h	ϵ (100)	—	158.97 (83.3) 528.96 (1.39)	0.061
^{32}P	14.26d	β^- (100)	1710.3 (100.0)	—	—
^{89}Sr	50.53d	β^- (100)	1495.1 (99.99036)	—	—

²²³ Ra	11.44d	α (100)	5606.73 (25.7) 5716.23 (52.6)	154.21 (5.62) 269.459 (13.7)	0.0265
¹³¹ I	8.02d	β^- (100)	247.9 (2.1) 333.8 (7.27) 606.3 (89.9)	80.185 (2.62) 284.305 (6.14) 364.489 (81.7) 636.989 (7.17) 722.911 (1.77)	0.0595
¹⁷⁷ Lu	6.73d	β^- (100)	176.5 (12.2) 248.1 (0.053) 384.8 (9.1) 497.8 (78.6)	112.9498 (6.4) 208.3664 (11.0)	0.0063
²²⁵ Ac	10.0d	β^- (<1.6) α (100)	5732 (8.0) 5790.6 (8.6) 5793.1 (18.3) 5830 (50.7)	10.6 (9.3)	5.83×10^{-3}
²² Na	2.6 a	EC (9.7) β^+ (90.26)	545.6 (90.2) 1820.1 (0.06)	1274.54 (99.94) XK:0.84(0.12) γ_{\pm} : 511 (180.5)	0.333

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 核医学科

1、防护要求

根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120—2020），核医学的非密封放射性物质工作场所根据日操作最大量放射性核素的加权活度分为三类，见表 10-1。

表 10-1 核医学工作场所分类一览表

分类	日操作最大量放射性核素的加权活度（MBq）
I	>50000
II	50~50000
III	<50

注：加权活度=（计划的日操作最大活度×核素的毒性权重因子）/操作性质修正因子。

本项目核医学科放射性核素毒性权重因子和操作性质修正因子见表 10-2 和 10-3。

表 10-2 本项目核医学科放射性核素毒性权重因子

类别	放射性核素	核素的毒性权重因子
A	⁸⁹ Sr、 ³² P、 ¹³¹ I、 ²²³ Ra	100
B	¹⁸ F、 ⁶⁴ Cu、 ⁶⁷ Ga、 ⁶⁸ Ga、 ^{99m} Tc、 ¹²³ I	1

表 10-3 不同操作性质的修正因子

操作方式和地区	操作性质修正因子
贮存	100
废物处理；闪烁法计数和显像；候诊区及诊断病床区	10
配药、分装以及施给药；简单放射性药物制备；治疗病床区	1
复杂放射性药物配置	0.1

根据表 10-2 和表 10-3，本项目核医学科放射性核素加权活度计算结果见表 10-4。

表 10-4 本项目核医学科放射性核素加权活度计算结果

工作场所	核素	日最大操作量（Bq）	毒性权重因子	操作性质修正因子	计算结果（Bq）	小计（MBq）	场所分类
合成分装室	¹⁸ F	9.62E+10	1	1	9.62E+10	9.62E+04	I类
质控室	¹⁸ F	3.70E+07	1	1	3.70E+07	3.70E+01	III类
PET 注射室	¹⁸ F	7.40E+09	1	1	7.40E+09	1.09E+04	II类
	⁶⁴ Cu	7.40E+08	1	1	7.40E+08		
	⁶⁷ Ga	1.85E+09	1	1	1.85E+09		
	⁶⁸ Ga	9.25E+08	1	1	9.25E+08		

PET 注射后候诊室、PET/CT 机房、PET 留观	¹⁸ F	7.40E+09	1	10	7.40E+08	1.09E+03	II 类
	⁶⁴ Cu	7.40E+08	1	10	7.40E+07		
	⁶⁷ Ga	1.85E+09	1	10	1.85E+08		
	⁶⁸ Ga	9.25E+08	1	10	9.25E+07		
ECT 注射室	^{99m} Tc	1.85E+10	1	1	1.85E+10	3.2E+05	I 类
	¹²³ I	3.70E+09	1	1	3.70E+09		
	¹³¹ I	3.70E+06	100	1	3.70E+08		
	⁸⁹ Sr	2.96E+08	100	1	2.96E+10		
	²²³ Ra	1.48E+07	100	1	1.48E+09		
	³² P	2.664E+09	100	1	2.664E+11		
运动负荷室、ECT 注射后候诊室、ECT 留观室、SPECT/CT 机房	^{99m} Tc	1.85E+10	1	10	1.85E+09	2.22E+03	II 类
	¹²³ I	3.70E+09	1	10	3.70E+08		
储源室	¹⁸ F	7.40E+09	1	100	7.40E+07	3.31E+03	II 类
	⁶⁴ Cu	7.40E+08	1	100	7.40E+06		
	⁶⁷ Ga	1.85E+09	1	100	1.85E+07		
	⁶⁸ Ga	9.25E+08	1	100	9.25E+06		
	^{99m} Tc	1.85E+10	1	100	1.85E+08		
	¹²³ I	3.70E+09	1	100	3.70E+07		
	⁸⁹ Sr	2.96E+08	100	100	2.96E+08		
	²²³ Ra	1.48E+07	100	100	1.48E+07		
	³² P	2.664E+09	100	100	2.664E+09		
甲功室	¹³¹ I	3.70E+06	100	10	3.70E+07	3.70E+01	III 类
敷贴室	³² P	2.664E+09	100	1	2.664E+11	2.664E+05	I 类

根据表 10-4 计算结果，可得出本项目核医学科用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求，具体见表 10-5。

表 10-5 本项目核医学科用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求

种类	分类		
	I	II	III
结构屏蔽	需要	需要	不需要
地面	与墙壁接缝无缝隙	与墙壁接缝无缝隙	易清洗

表面	易清洗	易清洗	易清洗
分装柜	需要	需要	不必须
通风	特殊的强制通风	良好通风	一般自然通风
管道	特殊的管道 ^a	普通管道	普通管道
盥洗与去污	洗手盆 ^b 和去污设备	洗手盆 ^b 和去污设备	洗手盆 ^b
^a 下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修检测。 ^b 洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制。			

2、工作场所布局与分区

(1) 工作场所布局

本项目核医学科放射性药物操作场所的出入口设有卫生通过间，为工作人员提供更更换的衣物、防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备，控制区相对集中，高活区集中在一端，并设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，给药后患者与给药前患者不交叉，注射后候诊室和留观室内设有用药患者的专用卫生间，减少给药后患者对其他人员的照射，进药时间与就诊时间错开，放射性药物和放射性废物运送通道短捷，可有效避免工作人员、患者与放射性药物之间的交叉污染，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的布局要求，布局合理。

(2) 工作场所分区

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“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”和“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区相连的其他场所或区域”。

医院拟将核医学科的回旋加速器机房、合成分装室、外包间、质控室、PET注射室、ECT注射室、敷贴室、运动负荷兼抢救室、甲功室、放射性固废间、储源室、PET/CT机房、SPECT/CT机房、PET注射后候诊室、ECT注射后候诊室、PET留观室、ECT留观室、洁具间、配电小间、给药后患者走廊和专用电梯作为控制区，控制区入口处明显位置粘贴符合GB18871-2002要求的电离辐射警告标志和中文警示说明，未经授权的无关人员禁止进入；将回旋加速器的控制室、设备间、净化机房和气瓶间、合成分装室的一更和二更、注射室的卫生通过间、办公室、患者注射前候诊区、扫描机房的控制室和设备间、南侧走廊、核医学科工作场所外1m宽的区域（在地面粘贴警戒线）划为监督区，监督区入口处明显位置粘贴监督区标识，禁止无关人员进入。本项目核医学科的控制区和监督区划分明显，布局合理，符合《电离辐射防护与辐射源安全基

本标准》（GB18871-2002）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中有关辐射工作场所的分区规定。本项目核医学科控制区与监督区的划分具体见表 10-6，两区划分示意图见附图 12。

表 10-6 本项目核医学科控制区和监督区划分一览表

场所	控制区	监督区
本项目核医学科	回旋加速器机房、合成分装室、外包间、质控室、PET 注射室、ECT 注射室、敷贴室、运动负荷兼抢救室、甲功室、放射性固废间、储源室、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、PET 注射后候诊室、ECT 注射后候诊室、PET 留观室、ECT 留观室、洁具间、配电小间、给药后患者走廊和专用电梯	回旋加速器的控制室、设备间、净化机房和气瓶间、合成分装室的一更和二更、注射室的卫生通过间、办公室、患者注射前候诊区、扫描机房的控制室和设备间、南侧走廊、核医学科工作场所外 1m 宽的区域

3、辐射防护设计

本项目核医学科控制区的屏蔽防护参数见表 10-7。

表 10-7 本项目核医学科控制区屏蔽防护情况一览表

场所	屏蔽体	屏蔽厚度设计
回旋加速器机房	四周墙体	700mm 砼
	顶部	700mm 砼
	底部	700mm 砼+650mm 素混凝土
	防护门	20mmPb 防护门+150mm 含硼聚乙烯
PET 注射室	四周墙体	240mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡防护涂料
	顶部	300mm 砼+30mm 硫酸钡防护涂料
	底部	300mm 砼+30mm 硫酸钡防护涂料
	防护门	8mmPb 防护门
	注射窗	采用一体化注射台，PET 注射窗口为 40mmPb 注射窗
ECT 注射室	四周墙体	240mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡防护涂料
	顶部	300mm 砼+30mm 硫酸钡防护涂料
	底部	300mm 砼+30mm 硫酸钡防护涂料
	防护门	6mmPb 防护门
	注射窗	采用一体化注射台，ECT 注射窗口为 20mmPb 注射窗
敷贴室、运动负荷兼抢救室、放射性固废间、储源室	四周墙体	240mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡防护涂料
	顶部	300mm 砼+30mm 硫酸钡防护涂料
	底部	300mm 砼+30mm 硫酸钡防护涂料
	防护门	6mmPb 防护门

甲功室	东墙	240mm 实心砖墙+40mm 硫酸钡防护涂料
	南、西、北墙	240mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡防护涂料
	顶部	300mm 砼+30mm 硫酸钡防护涂料
	底部	300mm 砼+30mm 硫酸钡防护涂料
	防护门	6mmPb 防护门
PET/CT 机房	四周墙体	240mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡防护涂料
	顶部	300mm 砼+30mm 硫酸钡防护涂料
	底部	300mm 砼+30mm 硫酸钡防护涂料
	防护门	8mmPb 防护门
	观察窗	8mmPb 观察窗
SPECT/CT 机房	东、南墙	240mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡防护涂料
	西、北墙	240mm 实心砖墙+40mm 硫酸钡防护涂料
	顶部	300mm 砼+30mm 硫酸钡防护涂料
	底部	300mm 砼+30mm 硫酸钡防护涂料
	防护门	6mmPb 防护门
	观察窗	6mmPb 观察窗
PET 注射后候诊室 1、 PET 注射后候诊室 2、 PET 注射后候诊室 3	四周墙体	240mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡防护涂料
	顶部	300mm 砼+60mm 硫酸钡防护涂料
	底部	300mm 砼+30mm 硫酸钡防护涂料
	防护门	8mmPb 防护门
ECT 注射后候诊室	东、北墙	240mm 实心砖墙+40mm 硫酸钡防护涂料
	南、西墙	240mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡防护涂料
	顶部	300mm 砼+60mm 硫酸钡防护涂料
	底部	300mm 砼+30mm 硫酸钡防护涂料
	防护门	6mmPb 防护门
ECT 留观室	东墙	700mm 砼+40mm 硫酸钡防护涂料
	南、西墙	240mm 实心砖墙+40mm 硫酸钡防护涂料
	北墙	240mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡防护涂料
	顶部	300mm 砼+30mm 硫酸钡防护涂料
	底部	300mm 砼+30mm 硫酸钡防护涂料
	防护门	6mmPb 防护门

PET 留观室 1、 PET 留观室 2	东、南、北墙	240mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡防护涂料
	西墙	400mm 砼++60mm 硫酸钡防护涂料
	顶部	300mm 砼+30mm 硫酸钡防护涂料
	底部	300mm 砼+30mm 硫酸钡防护涂料
	防护门	8mmPb 防护门
洁具间	东、南墙	240mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡防护涂料
	西、北墙	240mm 实心砖墙+40mm 硫酸钡防护涂料
	顶部	300mm 砼+30mm 硫酸钡防护涂料
	底部	300mm 砼+30mm 硫酸钡防护涂料
	防护门	6mmPb 防护门
患者走廊	顶部	300mm 砼+30mm 硫酸钡防护涂料
	底部	300mm 砼+30mm 硫酸钡防护涂料
	进、出防护门	8mmPb 防护门
专用电梯	四周墙体	240mm 实心砖墙+80mm 硫酸钡防护涂料
	顶部	300mm 砼+30mm 硫酸钡防护涂料
	底部	300mm 砼+30mm 硫酸钡防护涂料
其他场所	四周墙体	龙骨方钢+洁净彩钢板
	顶部	300mm 砼+30mm 硫酸钡防护涂料
	底部	300mm 砼+30mm 硫酸钡防护涂料
合成分装室箱	合成热室	共 4 套，操作面 80mmPb，其他面 70mmPb
	分装热室	共 2 套，操作面 80mmPb，其他面 70mmPb
PET 注射室	手套箱	六面 40mm 铅当量
ECT 注射室	手套箱	六面 20mm 铅当量
质控室	通风柜	六面 20mm 铅当量
¹⁸ F 注射器铅套		多套，10mm 铅当量
¹⁸ F 注射器转运铅盒		2 套，10mm 铅当量
¹⁸ F 药物铅罐		20mm 铅当量
废物铅桶（带铅盖）		1 套 50mmPb；6 套 20mm 铅当量
防护铅衣、铅围脖、铅帽、铅眼镜等个人防护用品		7 套，0.5mm 铅当量

注：实心砖密度为 1.65g/cm³；砼密度为 2.35g/cm³；铅的密度为 11.34g/cm³；素混凝土密度为 2.2g/cm³；硫酸钡防护涂料密度为 3.8g/cm³，10mm 硫酸钡防护涂料约为 1mm 铅当量。

本项目回旋加速器机房的防护门与各侧墙体搭接宽度不小于100mm，大于防护门与墙体之间缝隙的10倍，防止射线泄漏。本项目回旋加速器机房控制电缆通过电缆沟连接至设备间和控制室，电缆沟采用埋地U型穿墙，电缆沟上面铺设3mm厚不锈钢盖板，不锈钢盖板与机房地面齐平；强弱电、照明等电缆管线穿墙孔较小，采用45°斜穿墙的方式连接至控制室；加速器打靶生产出的核素通过核素传输管道传输至合成分装室，核素传输管道采用地沟方式，地沟深500mm，上面铺设50mm厚铅砖予以防护，再铺设3mm厚不锈钢盖板，不锈钢盖板与机房地面齐平。回旋加速器机房电缆沟埋地U型穿墙示意图见图10-1，核素传输管道示意图见图10-2。

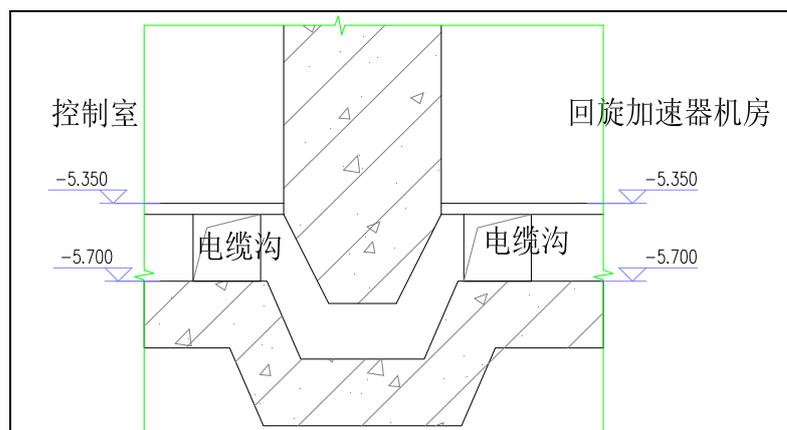


图 10-1 回旋加速器机房电缆沟埋地 U 型穿墙示意图（单位：m）

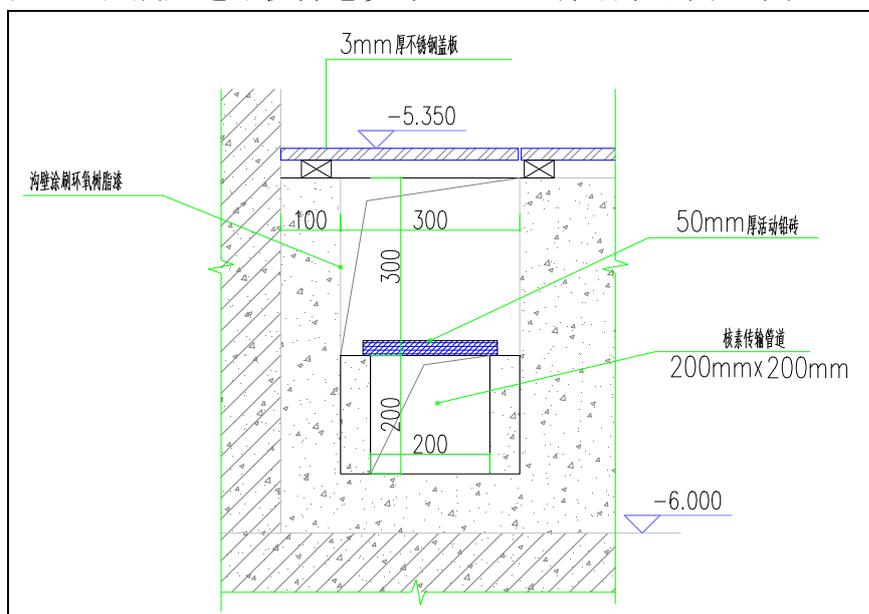


图 10-2 回旋加速器机房核素传输管道示意图（单位：mm）

4、辐射安全和防护措施

本项目核医学科根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）设计有相应的辐射安全措施，主要有：

(1) 回旋加速器机房

①加速器操作许可

加速器控制台用户操作控制界面，设计有用户密码，只有被专门授权许可的操作人员才能进行回旋加速器的开机操作。

②钥匙开关

回旋加速器机房防护门处设计有钥匙开关，钥匙开关控制加速器系统的运行，钥匙开关为未闭合状态时加速器无法开机。

③安全联锁和延时开门措施

i、门机联锁和延时开门措施：回旋加速器机房入口门与加速器的高压设计有联锁（即门机联锁），当防护门未关闭到位时，加速器无法开启高压出束；当加速器工作过程中误操作打开防护门时，加速器立即停止出束。设备停机后，防护门设置了延时15min 开门的安全联锁，该功能通过加速器程序控制，延时的目的是使得通过通风和时间衰减，降低机房内的感生放射性和臭氧浓度。

ii、加速器自屏蔽安全联锁装置：同时回旋加速器本身设计有一套完整的安全联锁装置，只有当加速器自屏蔽体封闭、离子源射频屏蔽箱盖关闭、射频电源箱柜的门关闭、加速器冷水系统达到一定流量时（即冷却系统准备完毕），加速器才能出束。自屏蔽体打开后加速器无法开启高压出束，防止自屏蔽体打开后加速器开机对机房外工作人员和公众的误照射。

④信号警示装置

回旋加速器机房防护门外设计有红黄绿三色工作指示灯和音响警告信号，并与加速器联锁，用于提示机房内设备的运行状态。红灯亮表示加速器正在出束工作，同时音响警告信号发出音响报警；黄灯亮表示机房屏蔽门处于关闭状态、设备处于待机状态；绿灯亮表示加速器已停机，机房屏蔽门处于打开状态，非职业工作人员禁止入内。

⑤电离辐射警告标志

回旋加速器机房防护门、放射性废物铅桶表面设计有符合 GB18871-2002 规范的电离辐射警告标志，用于提醒无关人员不要靠近和逗留。

⑥急停按钮

回旋加速器机房内四周墙壁和控制室内设计有急停按钮（共5个），急停按钮处设有标签和使用说明。紧急状态下，按下急停按钮，即终止加速器的运行，防止误照射，急停按钮按下后需要手动复位。

⑦固定式辐射监测仪

回旋加速器机房内和控制室内设计有的固定式辐射剂量监测探头，显示屏设计在控

制室内，实时显示机房内和控制室内的辐射剂量率，并与加速器机房防护门联锁。当机房内剂量率高于预设阈值时，加速器处于运行状态，防护门不能从外面打开，只能通过机房内侧紧急开门按钮打开（此时触发急停）或停机后打开防护门。

⑧视频监控

回旋加速器机房内设计有视频监控，可无死角覆盖机房内部，监视器设计在控制室内，工作人员可及时掌握机房内部情况，防止出束时人员误入、滞留等辐射事故发生。

⑨紧急开门按钮

回旋加速器机房内侧靠近防护门处设计有紧急开门按钮，并设有中文标识，当人员被关在机房内时，紧急情况下按下开门按钮，可实现防护门从内部打开，同时因门机联锁装置，门一打开加速器停止运行。

⑩巡检开关

回旋加速器机房内四周墙壁设计有巡检开关，工作人员开机前巡视机房并按顺序手动按下巡检开关后，并关闭防护门后，才能开启加速器。防护门被再次打开后，机房内的巡检开关被复位，需要重新巡检才能启动加速器，回旋加速器开机出束前若无防护门开启记录则不需要巡检。

⑪门禁系统

回旋加速器控制室设计有门禁系统，只有授权的工作人员才能进入，防止无关人员进入。其他人员如有必要确需进入，则由辐射安全管理人员陪同。

本项目回旋加速器机房拟采取的部分安全措施布设示意图见图 10-3。

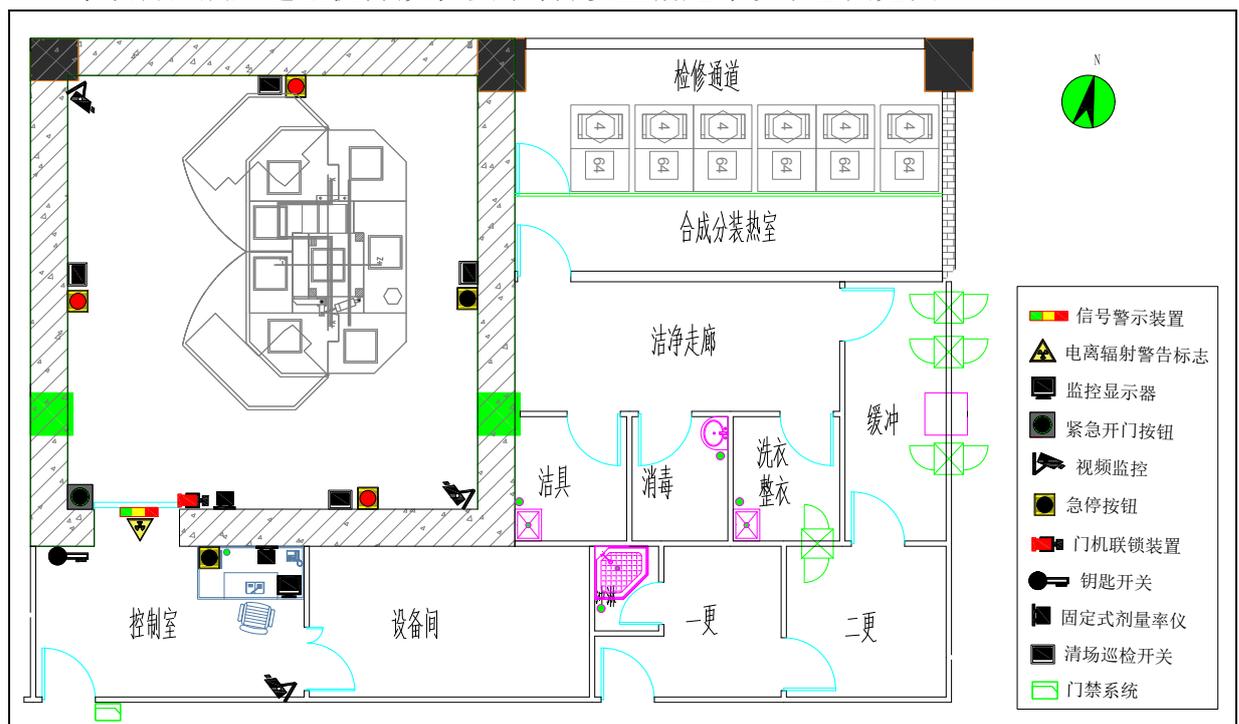


图 10-3 本项目回旋加速器机房拟采取的部分安全措施布设示意图

(2) 合成分装室和质控室

① 电离辐射警告标志

合成分装室入口、质控室入口以及热室、通风柜、废物铅桶表面醒目设计有符合 GB18871-2002 规范的电离辐射警告标志。

② 固定式辐射监测仪

合成分装室内设计有固定式辐射监测仪，用于实时监测合成分装室内的辐射剂量率。

③ 视频监控

合成分装室内、质控室内设计有视频监控，显示器设置于回旋加速器的控制室内，可实时监控合成分装室、质控室内情况。

④ 热室准备联锁

放射性核素在回旋加速器机房内制备完成传输之前，热室将根据程序设定，自动检测热室的门是否已经关闭，内部压力是否满足负压要求；只有这两项条件满足的情况下，放射性核素才能通过管道进行传送，同时在回旋加速器控制室内操作台上设计有相应的核素传输工作状态指示灯。

⑤ 门禁系统

合成分装室入口、质控室入口处设计有门禁系统，只有权限的辐射工作人员刷卡进入，禁止无关人员进入。

(3) 核素诊疗区

① 工作状态指示灯

PET/CT 机房、SPECT/CT 机房的患者通道防护门上方设计有工作状态指示灯，灯箱上设置“射线有害、灯亮勿入”的警示语句，工作状态指示灯与患者通道防护门设置门灯联锁装置。

② 防夹和自动闭门装置

PET/CT 机房、SPECT/CT 机房的患者通道防护门设计有防夹装置和门关闭方可开机的管理措施，医护通道防护门设计有自动闭门装置确保防护门处于常闭状态。

③ 双人双锁和监控系统

储源室设计有双人双锁和监控系统，钥匙由核医学科不同的工作人员保管，监控显示器位于医院保卫处的值班室，实时储源室内部情况。

④ 电离辐射警告标志

控制区内各防护门表面、手套箱表面、废物铅桶表面设计有符合 GB18871-2002 要求的电离辐射警告标志，警告无关人员不要靠近和逗留。

⑤ 单向门及门禁系统

工作人员入口防护门设有门禁；患者进、出口防护门设计为单向门并设有门禁，入口只进不出，出口只出不进，禁止无关人员进入。控制区与外部相通的其他防护门为常闭消防门，设计有门禁，禁止人员进出。患者专用电梯设有门禁，禁止无关人员使用，且电梯只能到达地面一楼。

⑥监控及对讲系统

注射室、注射后候诊室、扫描机房、留观室、敷贴室、运动负荷兼抢救室内及患者走廊设计有监控探头，并设计有对讲系统，监控显示器位于核医学科的护士站处，实时监控控制区内给药后患者情况。扫描机房同时设计有观察窗和监控，工作人员在控制室内可实时观察患者情况，防止意外情况的发生。

⑦导向标识

控制区入口设计有符合 GB18871-2002 要求的电离辐射警告标志及标明控制区的标志，监督区入口处设计有标明监督区的标志，并标出患者进出口通道和流动路线及文字说明。

⑧急停按钮

PET/CT 机房、SPECT/CT 机房的控制室内设置急停按钮，以便在发生意外时可以及时停止出束。

(4) 敷贴治疗

①³²P敷贴器制作时在水箱内操作，制作者戴乳胶手套，并对自制的³²P敷贴器的数量、活度、使用情况等进行登记。

②³²P敷贴治疗设计有专用敷贴室，敷贴室内使用面积满足治疗要求；³²P敷贴室内地面铺设可更换的质地较软又容易去污染的铺料，敷贴室内患者座位之间保持1.2m的距离。

③实施敷贴治疗前，详细登记治疗日期、使用敷贴源的辐射类型、活度、照射部位与面积，并发给具有患者姓名、性别、年龄、住址、诊断和照射次数等项目的治疗卡。

④每次敷贴治疗前，先收回患者的治疗卡，再给予实施敷贴治疗。治疗完毕，先收回敷贴器再发给治疗卡。

⑤实施敷贴治疗时禁止将敷贴源带出敷贴室外。

⑥实施敷贴治疗时，用不小于3mm厚的橡皮泥或橡胶板等屏蔽周围的正常组织。对颜面部部位的病变，屏蔽其周围正常皮肤；对其他部位的病变，则在病变周围露出正常皮肤不大于0.5cm。并在周围已屏蔽的皮肤上覆盖一张玻璃纸或塑料薄膜后，将敷贴器紧密贴在病变部位。

⑦敷贴治疗时，照射时间长的用胶布固定，照射时间短的由医护人员亲自按压固定敷贴器。

⑧每次敷贴治疗时有专人使用能报警的计时器控制照射时间。治疗过程中将密切观察治疗反应和病变治疗情况，及时调整照射剂量，防止产生并发症。

⑨敷贴治疗中，医护人员将身着0.5mmPb铅服，戴有机玻璃眼镜或面罩和尽量使用远距离操作工具等个人防护措施。

⑩敷贴器使用中应避免锐器损坏源窗面，禁止将敷贴器浸入水、酒精等溶剂中，使用后放置在铅废物桶内作为放射性固体废物进行处理。

(5) 核医学科其他安全管理措施要求

①控制区内墙面、地面均拟采用易于去污的材料或涂料，并平整光滑；地面与墙面交接做成圆角，且有一定的坡度朝向地漏；放射性药物操作设备的表面、工作台台面等平整光滑，室内地面与墙壁衔接处无缝，易于清洗、去污。

②辐射工作人员在控制区内不得进食、饮水、吸烟、化妆，也不得进行无关工作及存放无关物件，防止含有微量放射性核素的空气被医务人员吸入体内造成内照射。

③卫生通过间配备1台 α - β 表面沾污仪，辐射工作人员操作放射性药物后离开控制区前应洗手和作表面污染监测，如其污染水平超过规定限值，采取去污措施。从控制区取出任何物件都应进行表面污染水平监测，以保证超过规定限值的物件不携出控制区。

④核医学科的上水配备洗消处理设备，工作场所内的淋浴、拖把池、马桶选用脚踏式或自动感应式开关，洗手池采用自动感应式开关，并采用节水模式，以上措施可减少放射性废水的产生和场所内的设备放射性污染；洗手池安装伸缩式水龙头，方便头、眼和面部受污染时，采用向上流动的水进行冲淋。

⑤辐射工作人员进入控制区均穿戴工作服、一次性手套，佩戴过滤式口罩，近距离接触放射性药物或给药后患者时还将穿戴铅衣等个人防护用品，并尽可能熟练操作技能、缩短操作时间。

⑥诊疗前告知患者使用放射性核素检查的影响，以及注意事项和检查中的有关要求。

⑦在回旋加速器机房、合成分装室、质控室、注射室、注射后候诊室、留观室、敷贴室等位置放置废物铅桶，废物铅桶表面粘贴电离辐射警示标志。

⑧废物铅桶内放置专用塑料袋直接收纳废物，装满后的废物袋密封，不破漏，及时转送放射性固废暂存间，放入废物桶中存储，每袋废物的表面剂量率应不超过0.1mSv/h， α 、 β 表面污染水平 $<0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，质量不超过20kg。

⑨注射器和碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，先装入利器盒中，然后再装入专用塑料袋内；废物袋、废物桶安全可靠，并在显著位置标有废物类型、核素种类、存放日期等说明。

本项目核医学工作场所的辐射安全与防护措施与《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)中要求的符合性分析情况见表10-8。

表10-8 本项目核医学工作场所辐射安全与防护措施与HJ1188-2021中要求对照一览表

HJ1188-2021 中要求	本项目设计方案	对照结论
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。	本项目核医学工作场所的放射性核素操作设备的表面、工作台台面等均拟采取平整光滑的材料，室内地面与墙壁衔接处设计无接缝，易于清洗、去污。	符合要求
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。	本项目为乙级非密封放射性物质工作场所，场所内拟设置有热室、手套箱和通风柜，放射性核素的操作均在热室、手套箱或通风柜内进行；从事放射性药物操作的工作人员拟配备不低于0.5mmPb的防护铅衣、防护铅围脖、铅眼镜、铅帽等个人防护用品；放射性药物针剂外均拟设置注射器防护套；PET给药后患者候诊室内每次最多两名患者同时候诊，可通过增加两名患者座椅之间的距离减少患者之间的相互影响；ECT给药后患者候诊室内患者座椅之间至少1m，可通过距离减少患者之间的相互影响。	符合要求
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。	放射性药物生产区、门诊诊断和治疗区医护人员进出口处均拟设置卫生通过间，卫生通过间内拟设置应急淋浴，并拟配备表面污染监测设备，从控制区离开的人员和物品均要求进行表面污染监测，如表面污染水平超出控制标准，则采取相应的去污措施。	符合要求
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。	放射性药物先暂存于储源室内，开始工作后放射性药物将送至相应的注射室的手套箱内暂存，未用完的放射性药物放置在铅罐，并贮存在储源室内，储源室、注射室均划为控制区并设置门禁，禁止无关人员进入。医院建立放射性物质台账，及时登记，确保账物相符。	符合要求
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。	核医学科拟配备有足够屏蔽的储存、转运容器，生产的 ¹⁸ F拟配备10mmPb注射器铅套、10mmPb转运铅盒以及20mm铅罐，外购的药物针剂由厂家配备有注射器铅套，放射性废物铅桶不低于20mmPb，容器表面均拟设置电离辐射标志，容器在运送时均拟设置适当的固定措施。	符合要求
6.2.7 敷贴器治疗场所应设置专门的治疗室，治疗时严禁将敷贴源带出治疗室外。敷贴治疗中，医务人员应采取有效的个人防护措施，对病人的正常组织应采用合适的屏蔽措施。敷贴器使用中应避免锐器损坏	核医学科拟配备敷贴室，作为专门的敷贴治疗室，治疗时严禁将敷贴源带出敷贴室外。敷贴治疗时，医护人员将身着0.5mmPb铅服，戴有机玻璃眼镜或面罩等个人防护措施；患者用不小于3mm厚的橡皮泥或橡胶板等屏蔽周围的正常组织，对颜面部部位的病变，屏蔽其周围正常皮肤，	符合要求

源窗面，不得将敷贴器浸入水、酒精等溶剂中，使用后应存放于干燥的贮源箱内。	对其他部位的病变，则在病变周围露出正常皮肤不大于 0.5cm，并在周围已屏蔽的皮肤上覆盖一张玻璃纸或塑料薄膜后，将敷贴器紧密贴在病变部位。敷贴器使用中应避免锐器损坏源窗面，禁止将敷贴器浸入水、酒精等溶剂中，使用后放置在铅废物桶内作为放射性固体废物进行处理。	
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、紧急开门按钮和清场措施，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。	回旋加速器机房拟设置以下辐射安全与防护措施，包括：钥匙开关、加速器操作许可、门机联锁等联锁装置、机房入口与加速器联锁的工作状态指示灯和声光报警装置、电离辐射警告标志、机房内紧急开门按钮、急停按钮、巡检开关、固定式辐射剂量监测系统和延时开门措施、视频监控系統。	符合要求
6.2.9 扫描机房外门框上方应设置工作状态指示灯。	PET/CT 机房、SPECT/CT 机房的患者通道防护门上方拟设置工作状态指示灯，灯箱上拟设置“射线有害、灯亮勿入”的警示语句，工作状态指示灯与患者通道防护门拟设置门灯联锁装置。	符合要求

5、辐射安全联锁逻辑关系

本项目回旋加速器为自屏蔽加速器，自屏蔽体打开状态，加速器无法开机，此外，机房还设计了功能齐全、性能可靠的辐射安全联锁装置，包括加速器操作许可、门机联锁、紧急停机按钮、剂量联锁等多项联锁装置。上述联锁装置与联锁主机共同构成联锁系统，通过 PLC 编程按照标准联锁逻辑编程控制，当所有终端符合逻辑图开机条件时，由主机向加速器发出允许开机命令，加速器方可开机加高压；当终端被触发达到急停条件时，主机将触发保护机制，使得运行中的加速器紧急停机切断高压实现保护机制。安全联锁装置无旁路设置。本项目回旋加速器辐射安全联锁逻辑图见图 10-4。

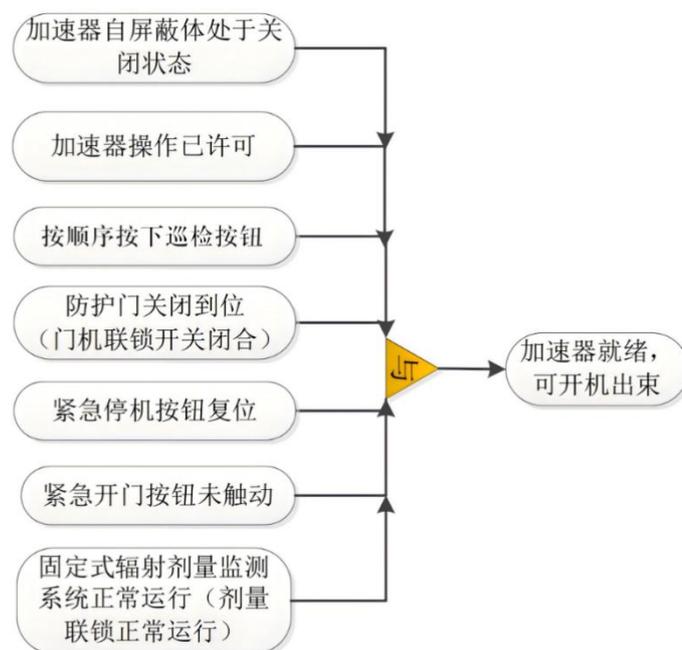


图 10-4 本项目回旋加速器辐射安全联锁逻辑图

10.1.2 核素病房

1、防护要求

根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120—2020），本项目核素病房放射性核素毒性权重因子见表 10-9。

表 10-9 本项目核素病房放射性核素毒性权重因子

类别	放射性核素	核素的毒性权重因子
A	^{131}I 、 ^{177}Lu 、 ^{225}Ac	100

根据表 10-3 和表 10-9，本项目核素病房放射性核素加权活度计算结果见表 10-10。

表 10-10 本项目核素病房放射性核素加权活度计算结果

工作场所	核素	日最大操作量 (Bq)	毒性权重因子	操作性质修正因子	计算结果 (Bq)	小计 (MBq)	场所分类
1#、2#核素病房	^{131}I	3.70E+09	100	1	3.70E+11	3.70E+05	I类
3#、4#核素病房	^{131}I	7.40E+09	100	1	7.40E+11	7.40E+05	I类
5#核素病房	^{225}Ac	2.96E+07	100	1	2.96E+09	2.96E+03	II类
6#核素病房	^{177}Lu	1.48E+10	100	1	1.48E+12	1.48E+06	I类
储源室	^{131}I	1.11E+10	100	100	1.11E+10	2.59E+04	II类
	^{225}Ac	2.96E+07	100	100	2.96E+07		
	^{177}Lu	1.48E+10	100	100	1.48E+10		

根据表 10-10 计算结果，可得出本项目核素病房内表面及装备结构的基本放射防护要求，具体见表 10-5。

2、工作场所布局与分区

(1) 工作场所布局

本项目核素病房的出入口设有卫生通过间，为工作人员提供可更换的衣物、防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备，控制区相对集中，高活区集中在一端，并设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，工作人员通道与患者通道不交叉，药物通道与工作人员通道不交叉，药物通道与给药前患者通道不交叉，给药后患者与给药前患者不交叉，进药时间与患者出院时间不同，可从时间上使药物与患者出院不交叉，病房内设有用药患者的专用卫生间，减少给药后患者对其他人员的照射，进药时间与就诊时间错开，放射性药物和放射性废物运送通道短捷，可有效避免工作人员、患者与放射性药物之间的交叉污染，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的布局要求，布局合理。

(2) 工作场所分区

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），医院拟将 1#~6#核素病房、

抢救室、配餐间、取餐间、储源室、给药室、分装室、放射性固废间、视频室、洁具间、放射性废物间、给药后患者走廊作为控制区，控制区入口处明显位置粘贴符合 GB18871-2002 要求的电离辐射警告标志和中文警示说明，未经授权的无关人员禁止进入；将患者入口缓冲间、清洁被服库、工作人员卫生通过间、北侧应急出口缓冲间以及核素病房工作场所外 1m 宽的区域（在地面粘贴警戒线）划为监督区，监督区入口处明显位置粘贴监督区标识，禁止无关人员进入。本项目核素病房的控制区和监督区划分明显，布局合理，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中有关辐射工作场所的分区规定。本项目核素病房控制区与监督区的划分具体见表 10-11，两区划分示意图见附图 13。

表 10-11 本项目核素病房控制区和监督区划分一览表

场所	控制区	监督区
本项目核素病房	1#~6#核素病房、抢救室、配餐间、取餐间、储源室、给药室、分装室、放射性固废间、视频室、洁具间、放射性废物间、给药后患者走廊	患者入口缓冲间、清洁被服库、工作人员卫生通过间、北侧应急出口缓冲间以及核素病房工作场所外 1m 宽的区域

3、辐射防护设计

本项目核素病房控制区的屏蔽防护参数见表 10-12。

表 10-12 本项目核素病房控制区屏蔽防护情况一览表

场所	屏蔽体	屏蔽厚度设计
1#~6#核素病房	四周墙体	370mm 实心砖墙+80mm 硫酸钡防护涂料
	顶部	300mm 砼+60mm 硫酸钡防护涂料
	底部	300mm 砼+60mm 硫酸钡防护涂料
	防护门	10mmPb 防护门
	高窗	20mmPb 密封高窗（2m 以上）
抢救室、视频室	东、西、北墙	240mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡防护涂料
	南墙	240mm 实心砖墙+70mm 硫酸钡防护涂料
	顶部	300mm 砼+60mm 硫酸钡防护涂料
	底部	300mm 砼+60mm 硫酸钡防护涂料
	南侧防护门	8mmPb 防护门
	北侧防护门	12mmPb 防护门
取餐间	东、西、北墙	240mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡防护涂料
	南墙	240mm 实心砖墙+70mm 硫酸钡防护涂料
	顶部	300mm 砼+60mm 硫酸钡防护涂料

	底部	300mm 砼+60mm 硫酸钡防护涂料
	防护门	8mmPb 防护门
	传递箱	10mmPb 传递箱
	观察窗	10mmPb 铅玻璃
配餐间	四周墙体	240mm 实心砖墙+80mm 硫酸钡防护涂料
	顶部	300mm 砼+60mm 硫酸钡防护涂料
	底部	300mm 砼+60mm 硫酸钡防护涂料
	防护门	12mmPb 防护门
注射室	东、西、北墙	240mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡防护涂料
	南墙	240mm 实心砖墙+70mm 硫酸钡防护涂料
	顶部	300mm 砼+60mm 硫酸钡防护涂料
	底部	300mm 砼+60mm 硫酸钡防护涂料
	防护门	8mmPb 防护门
	给药窗	20mmPb 铅玻璃
储源室、 放射性污物间	四周墙体	240mm 实心砖墙+80mm 硫酸钡防护涂料
	顶部	300mm 砼+60mm 硫酸钡防护涂料
	底部	300mm 砼+60mm 硫酸钡防护涂料
	防护门	8mmPb 防护门
分装室、 放射性固废间、 洁具间	东、西、北墙	240mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡防护涂料
	南墙	240mm 实心砖墙+70mm 硫酸钡防护涂料
	顶部	300mm 砼+60mm 硫酸钡防护涂料
	底部	300mm 砼+60mm 硫酸钡防护涂料
	防护门	8mmPb 防护门
患者走廊	顶部	300mm 砼+30mm 硫酸钡防护涂料
	底部	300mm 砼+30mm 硫酸钡防护涂料
	进、出防护门	12mmPb 防护门
	高窗	20mmPb 密封高窗（2m 以上）
分装室	手套箱	1 套，六面 10mm 铅当量
	碘自动分装仪	1 套，六面 40mm 铅当量
病床之间铅屏风		4 套，10mm 铅当量
废物铅桶（带铅盖）		3 套，20mm 铅当量

防护铅衣、铅围脖、铅帽、铅眼镜等个人防护用品

4套, 0.5mm 铅当量

注: 实心砖密度为 $1.65\text{g}/\text{cm}^3$; 砷密度为 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$; 铅的密度为 $11.34\text{g}/\text{cm}^3$; 硫酸钡防护涂料密度为 $3.8\text{g}/\text{cm}^3$, 10mm 硫酸钡防护涂料约为 1mm 铅当量。

4、辐射安全和防护措施

本项目核素病房根据《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)、《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)、《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)设计有相应的辐射安全措施, 主要有:

(1) 门禁系统和监控系统

分装室防护门设计有门禁, 并在分装室内安装监控探头, 监控显示器位于核素病房的护士站处, 实时监控放射性药物情况。

(2) 电离辐射警告标志

患者走廊防护门表面、控制区内各房间防护门表面、手套箱表面、碘自动分装仪表面、废物铅桶表面设计有符合 GB18871-2002 要求的电离辐射警告标志, 警告无关人员不要靠近和逗留。

(3) 单向门及门禁系统

患者进出口防护门设计为单向门并设有门禁, 入口只进不出, 出口只出不进, 禁止无关人员进入。控制区与外部相通的其他防护门为常闭消防门, 设计有门禁, 禁止人员进出。

(4) 监控及对讲系统

患者出入口处、核素病房、抢救室、取餐间、配餐间、给药室、视频室、患者走廊安装监控探头, 并设置对讲系统, 监控显示器位于核素病房的护士站处, 实时监控控制区场所内和用药患者情况。

(5) 铅屏风遮挡

核素病房内病床之间用 10mm 铅当量的铅屏风屏蔽。

(6) 导向标识

控制区入口设计有符合 GB18871-2002 要求的电离辐射警告标志及标明控制区的标志, 监督区入口处设计有标明监督区的标志, 并标出患者进出口通道和流动路线及文字说明。

(7) 双人双锁

储源室设计有双人双锁和监控系统, 钥匙由核素病房不同的工作人员保管, 监控显示器位于医院保卫处的值班室, 实时储源室内部情况。

(8) 其他安全管理措施要求

①控制区内墙面、地面均拟采用易于去污的材料或涂料，并平整光滑；地面与墙面交接做成圆角，且有一定的坡度朝向地漏；放射性药物操作设备的表面、工作台台面等平整光滑，室内地面与墙壁衔接处无接缝，易于清洗、去污。

②辐射工作人员在控制区内不得进食、饮水、吸烟、化妆，也不得进行无关工作及存放无关物件，防止含有微量放射性核素的空气被医务人员吸入体内造成内照射。

③卫生通过间配备 1 台 α - β 表面沾污仪，辐射工作人员操作放射性药物后离开控制区前应洗手和作表面污染监测，如其污染水平超过规定限值，采取去污措施。从控制区取出任何物件都应进行表面污染水平监测，以保证超过规定限值的物件不携出控制区。

④核素病房的上水配备洗消处理设备，工作场所内的淋浴、拖把池、马桶选用脚踏式或自动感应式开关，洗手池采用自动感应式开关，并采用节水模式，以上措施可减少放射性废水的产生和场所内的设备放射性污染；洗手池安装伸缩式水龙头，方便头、眼和面部受污染时，采用向上流动的水进行冲淋。

⑤辐射工作人员进入控制区均穿戴工作服、一次性手套，佩戴过滤式口罩，近距离接触放射性药物或给药后患者时还将穿戴铅衣等个人防护用品，并尽可能熟练操作技能、缩短操作时间。

⑥核素病房的抢救室内设置被服暂存柜，每批患者出院后，患者使用过的被服分类收集先暂存在抢救室内的被服暂存柜中，暂存衰变至少一个半衰期后，送至医院的洗涤中心进行清洗，清洗后重复利用，不作为放射性固体废物处理。

⑦治疗前告知患者使用放射性核素治疗的影响，以及注意事项和治疗的有关要求，并和患者签署知情同意书。

⑧甲癌病房宜为单人间，如不能实现，每间病房最多不应超过 2 人，并且 2 人之间应设置适当的防护屏蔽。

⑨在 ^{131}I 病房场所应使用专用的保洁用品，不能和其他场所（包括核医学其他放射性场所）混用，病房区域内应有存放及清洗保洁用品的场所。

(9) ^{131}I 治疗期间的放射防护要求

①宜订购按照患者人份分装的 ^{131}I 药物，如果需要分装，则应配备分装防护通风橱，宜采用自动分装、机械手分装或半自动分装。分装室与给药室之间药物传递应便捷，分装好的 ^{131}I 宜采用机械或自动、半自动的方式传递到给药室，给药过程应有监控。

②除医护人员之外的人员不应进入病房。

③向病房内传递生活必需品，应通过病房外的缓冲区传递。

④ 2 名及以上患者不宜近距离接触或者集聚。

⑤给药过程中应提供防污染措施。

⑥医护人员宜通过视频及对讲进行查房等医疗活动。当医护人员必须进入专用病房对患者进行救治时，应穿戴个人防护用品。

⑦病房区域内应配备测量患者体内活度的设备或可测量周围剂量当量率的仪器，患者体内的核素含量降至 400MBq 以下或距患者体表 1m 处周围剂量当量率不大于 25 μ Sv/h 方可出院。

⑧应减少放射性废物的产生量。患者食物宜选用产生废物少的食材。

本项目核素病房的辐射安全与防护措施与《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)中要求的符合性分析情况见表10-13。

表10-13 本项目核素病房辐射安全与防护措施与HJ1188-2021中要求对照一览表

HJ1188-2021 中要求	本项目设计方案	对照结论
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缝，易于清洗、去污。	本项目核素病房的放射性核素操作设备的表面、工作台台面等均拟采取平整光滑的材料，室内地面与墙壁衔接处设计无缝，易于清洗、去污。	符合要求
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。	本项目为乙级非密封放射性物质工作场所，场所内拟设置有手套箱和碘自动分装仪，放射性药物的操作均在手套箱或碘自动分装仪内进行；从事放射性药物操作的工作人员拟配备不低于 0.5mmPb 的防护铅衣、防护铅围脖、铅眼镜、铅帽等个人防护用品； ¹⁷⁷ Lu、 ²²⁵ Ac 放射性药物针剂外均拟设置注射器防护套， ¹³¹ I 放射性药物拟装在铅罐内；核素病房内床位之间拟设置 10mmPb 铅屏风。	符合要求
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。	核素病房区医护人员进出口处拟设置卫生通过间，卫生通过间内拟设置应急淋浴，并拟配备表面污染监测设备，从控制区离开的人员和物品均要求进行表面污染监测，如表面污染水平超出控制标准，则采取相应的去污措施。	符合要求
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。	放射性药物先暂存于储源室内，开始工作后放射性药物将送至相应的手套箱或碘自动分装仪内暂存，放射性药物当天用完，储源室、分装室均划为控制区并设置门禁，禁止无关人员进入。医院建立放射性物质台账，及时登记，确保账物相符。	符合要求
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。	核素病房拟配备有足够屏蔽的储存、转运容器，外购的 ¹⁷⁷ Lu、 ²²⁵ Ac 药物针剂由厂家配备有注射器铅套， ¹³¹ I 放射性药物由厂家配备有铅罐，放射性废物铅桶为 20mmPb，容器表面均拟设置电离辐射标志，容器在运送时均拟设置适当的固定措施。	符合要求

10.1.4 患者或受检者出院及放射防护管理措施

(1) 患者或受检者出院的管理措施

本项目 ^{89}Sr 核素治疗单人最大用药量为 $1.48\text{E}+08\text{Bq}$ ， ^{32}P 核素治疗单人最大用药量为 $1.85\text{E}+08\text{Bq}$ ， ^{131}I 核素治疗单人最大用药量为 $3.70\text{E}+09\text{Bq}$ ，对照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）附录 B， ^{89}Sr 治疗患者出院时体内放射性活度要求为 $\leq 200\text{MBq}$ ， ^{32}P 治疗患者出院时体内放射性活度要求为 $\leq 800\text{MBq}$ ， ^{131}I 治疗患者出院时体内放射性活度要求为 $\leq 400\text{MBq}$ ，本项目 ^{89}Sr 给药活度小于 200MBq ， ^{32}P 给药活度小于 800MBq ，患者注射药物后即离开医院， ^{131}I 给药活度大于 400MBq ，给药后患者需住院治疗，经 4~5 天的生理代谢和核素衰变，体内的核素含量降至 400MBq 以下或距患者体表 1m 处周围剂量当量率不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ 方可出院。

对接受放射性药物诊断或治疗的患者或受检者，医院应制定出院后的辐射防护指导，如离院后 2 天内应注意：①多饮水、多排泄，以加快排出放射性药物；②便后及时冲水，洗手并冲洗水槽；③与周围人保持至少 1 米的距离，尤其是减少与孕妇喝儿童的近距离接触；④不使用公共交通工具，尽可能自驾，如果乘坐他人开的车，坐在与司机和其他乘客尽可能远的座椅上；⑤不与他人同寝。

(2) 陪护者和家属的防护管理措施

正常情况下，本项目患者或受检者在接受放射性药物诊断或治疗过程中不允许人员陪护，任何时候，均不允许孕妇及 3 岁以下儿童接触正在接受放射性药物诊断或治疗的患者或受检者。特殊情况下，患者或受检者在接受放射性药物诊断或治疗过程中需要人陪护时，医护人员将告知陪护者和家属在陪护过程中需采取的辐射防护措施，如：①向陪护者、家属提供铅衣等个人防护用品，并指导其正确穿戴个人防护用品；②陪护前，医护人员根据患者或受检者放射性药物施用情况，根据《核医学放射防护要求》

（GBZ120-2020）附录 L.1 中要求，限定其接触或接近患者或受检者的时间，同时为其提供个人剂量报警仪，对陪护过程中的累积剂量进行监测并记录档案，确保其在患者或受检者诊断或治疗期间所受的剂量不超过 5mSv ；③陪护过程中，除必要情况下（如患者或受检者行动不便需搀扶），要求陪护者应与患者或受检者保持尽量远的距离，同时应尽量减少接触或接近患者或受检者的时间；④陪护者陪同患者或受检者注射后候诊或留观时，尽量不安排其他患者或受检者在同一间候诊室或留观室内停留，尽量减少陪护者的受照剂量。

10.1.5 核医学科和核素病房配套的放射性废水处理系统

1、工作场所分区

本项目在地下二层建设一间放射性废水衰变室，拟将放射性废水衰变室作为控制区，控制区入口处设计有符合 GB18871-2002 要求的电离辐射警告标志，禁止无关人员

进入；将衰变室的控制室、真空排水泵房划为监督区，监督区入口处明显位置粘贴监督区标识，禁止无关人员进入。本项目放射性废水衰变室的控制区和监督区划分明显，布局合理，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中有关辐射工作场所的分区规定。本项目放射性废水衰变室控制区与监督区的划分示意图见附图 14。

2、辐射防护设计

本项目放射性废水衰变室的屏蔽防护参数见表 10-14。

表 10-14 本项目放射性废水衰变室屏蔽防护情况一览表

场所	屏蔽体	屏蔽厚度设计
放射性废水衰变室	东、南墙	400mm 砼
	西墙	南侧部分为 400mm 砼，北侧部分为 240mm 实心砖
	北墙	300mm 砼
	顶部	350mm 砼+30mm 硫酸钡防护涂料
	防护门	8mmPb 防护门
	各衰变池	与衰变室相邻的墙体为 200mm 砼，不与衰变室相邻的墙体为 300mm 砼，顶部为 250mm 砼，检修口为 5mmPb 防护铅盖
真空排水泵房	东墙	400mm 砼+20mm 硫酸钡防护涂料
	南墙	东侧部分：500mm 砼+20mm 硫酸钡防护涂料；西侧部分 300mm 砼+40mm 硫酸钡防护涂料
	西、北墙	240mm 实心砖墙+40mm 硫酸钡防护涂料
	顶部	350mm 砼+30mm 硫酸钡防护涂料
	防护门	8mmPb 防护门

注：砼密度为 2.35g/cm³；铅的密度为 11.34g/cm³；硫酸钡防护涂料密度为 3.8g/cm³，10mm 硫酸钡防护涂料约为 1mm 铅当量。

3、辐射安全措施

本项目放射性废水衰变室入口处设计有符合 GB18871-2002 要求的电离辐射警告标志，警告无关人员不要靠近和逗留。放射性废水衰变室设计有门禁，并在衰变室内安装监控探头，监控显示器位于核医学科的护士站处。

10.1.6 DSA

1、工作场所布局与分区

(1) 工作场所布局

本项目 DSA 工作场所设有单独的机房，控制室位于机房外，满足拟用辐射设备的

布局要求；DSA 机房内最小使用面积、最小单边长度见表 10-15，符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“每台固定使用的 X 射线设备应设有单独的机房，机房应满足使用设备的布局要求”等标准的相关要求，布局合理。

表 10-15 本项目 DSA 机房使用面积、单边长度一览表

机房名称	拟用设备	手术室内最小有效使用面积 m ²		手术室内最小单边长度 m		评价
		本项目	标准要求	本项目	标准要求	
DSA 复合手术室	DSA	52.5	20	5.965	3.5	符合要求

(2) 工作场所分区

医院拟将 DSA 机房作为控制区，控制区入口处明显位置粘贴符合 GB18871-2002 要求的电离辐射警告标志和中文警示说明，工作期间禁止除介入手术人员和患者外的其他人员进入；将控制室、设备间以及患者通道和污物通道防护门外 1m 宽的通道（在地面粘贴警戒线）划为监督区，工作期间禁止任何无关人员进入。本项目 DSA 复合手术室的控制区和监督区划分明显，布局合理，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中有关辐射工作场所的分区规定。本项目 DSA 复合手术室控制区与监督区划分示意图见图 10-5。

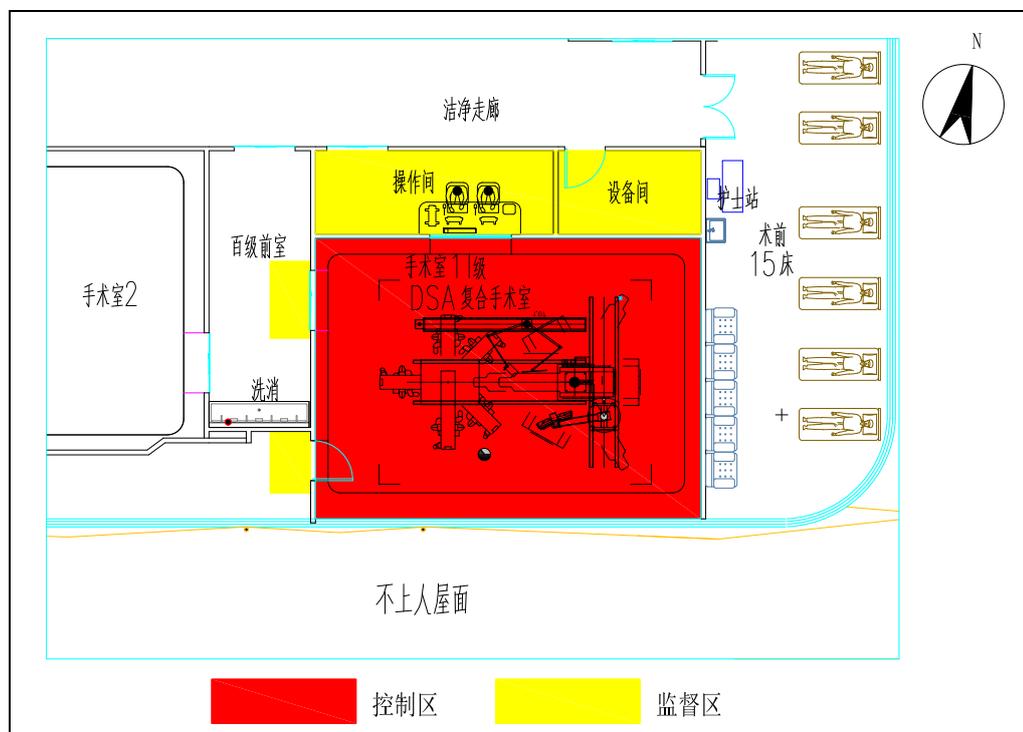


图 10-5 本项目 DSA 复合手术室控制区与监督区划分示意图

2、辐射防护设计

本项目 DSA 复合手术室屏蔽防护设计参数见表 10-16。

表 10-16 本项目 DSA 复合手术室屏蔽防护设计一览表

场所	屏蔽体	屏蔽防护措施
DSA 复合手术室	四周墙体	龙骨架+4mm 铅板
	顶部	120mm 砼+2mm 铅板
	底部	120mm 砼+20mm 硫酸钡防护涂料
	患者防护门、 医护防护门、 污物通道防护门	4.0mmPb 防护门
	观察窗	4.0mmPb 铅玻璃

注：砼密度为 2.35g/cm³；铅的密度为 11.34g/cm³；硫酸钡防护涂料密度为 3.8g/cm³，10mm 硫酸钡防护涂料约为 1mm 铅当量。

本项目 DSA 复合手术室防护门设计安装时，防护门与屏蔽墙之间的间隙应小于 1cm，防护门与屏蔽墙及地面有重叠搭接，防护门与屏蔽墙的搭接宽度应大于缝隙的 10 倍，防止门缝处的射线泄漏。

3、辐射安全和防护措施

为保障 DSA 安全运行，避免在开机期间人员误留或误入手术室内而发生误照射事故，本项目 DSA 拟设计相应的辐射安全装置和保护措施，主要有：

(1) 设备固有措施

- ①设备设计有可调限束装置，使装置发射的线束宽度尽量减小，以减少泄漏辐射。
- ②采用光谱过滤技术：在 X 射线管头放置合适的铜过滤板，以消除软 X 射线及减少二次散射，优化有用 X 射线谱。
- ③采用脉冲透视技术：在透视图像数字化基础上实现脉冲透视，改善图像清晰度，可减少透视剂量。
- ④采用图像冻结技术：每次透视的最后一帧图像被暂存并保留在监视器上显示，即称之为图像冻结，此技术可缩短总透视时间，达到减少不必要的照射。
- ⑤治疗床上设有急停按钮。

(2) 场所辐射安全措施

①工作状态指示灯

DSA 复合手术室患者通道防护门上方设计有工作状态指示灯，灯箱上设置“射线有害、灯亮勿入”的警示语句，工作状态指示灯与患者通道防护门拟设置门灯联锁装置。

②防夹和曝光时关闭的管理措施

DSA 复合手术室的患者通道防护门为电动推拉门，污物通道防护门为平开门，平开

门设计有闭门装置，电动推拉门设计有防夹装置并设置曝光时关闭的管理措施。

③电离辐射警告标志

DSA 复合手术室各防护门外表面均设计有符合 GB18871-2002 规范的电离辐射警告标志，用于提醒无关人员不要靠近和逗留。

④监控与对讲装置

DSA 复合手术室设计有观察窗和实时监控装置与一套对讲装置，对讲装置设置于控制台处，工作人员在控制室内可及时了解患者情况及防护门开闭情况，防止意外情况的发生。

⑤个人防护用品

医院拟为本项目 DSA 复合手术室配备至少 4 套 0.5mmPb 的铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、0.25mmPb 铅防护眼镜和 0.025mmPb 的介入防护手套个人防护用品以及 0.5mmPb 的铅悬挂防护屏、床侧防护帘辅助防护设施，并为受检者配备 0.5mmPb 的铅橡胶性腺防护围裙、铅橡胶颈套个人防护用品。介入手术人员在手术室内进行介入手术时穿戴铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜和介入防护手套，同时在 DSA 机头处安装铅悬挂防护屏和床侧防护帘进行防护，对患者重要部位使用铅橡胶性腺防护围裙、铅橡胶颈套进行防护。

⑥其他辐射安全措施

由于 DSA 介入治疗需要长时间的透视和大量的摄片，X 射线球管工作时产生的散射线对机房内介入手术人员有较大影响，根据辐射防护“三原则”，医院还应在以下方面加强对介入治疗的防护工作：

- ◆引入的辐射设备及配套设备必须符合国际的或者国家的标准，满足各种特殊操作的要求，其性能必须与操作性质相符合；设备应该常规调节到满足低剂量的有效范围内，并尽可能提高图像质量；

- ◆临床介入手术时，采用床侧立地防护屏、防护手术手套、床侧竖屏及床上防护屏、床下帘、床侧帘等屏蔽防护措施，能够有效降低介入手术人员的吸收剂量；

- ◆一般说来，降低患者的剂量的措施可以同时降低工作人员的辐射剂量，应加强对介入手术人员的培训，包括辐射防护的培训，参与介入手术的工作人员应该技术熟练、动作迅速，以减少患者和介入手术人员的剂量；

- ◆操作中减少透视时间和减少照相的次数可以显著降低工作人员的辐射剂量，介入手术人员在操作时应尽量远离检查床。

本项目 DSA 工作场所辐射安全措施布设示意图见图 10-6。

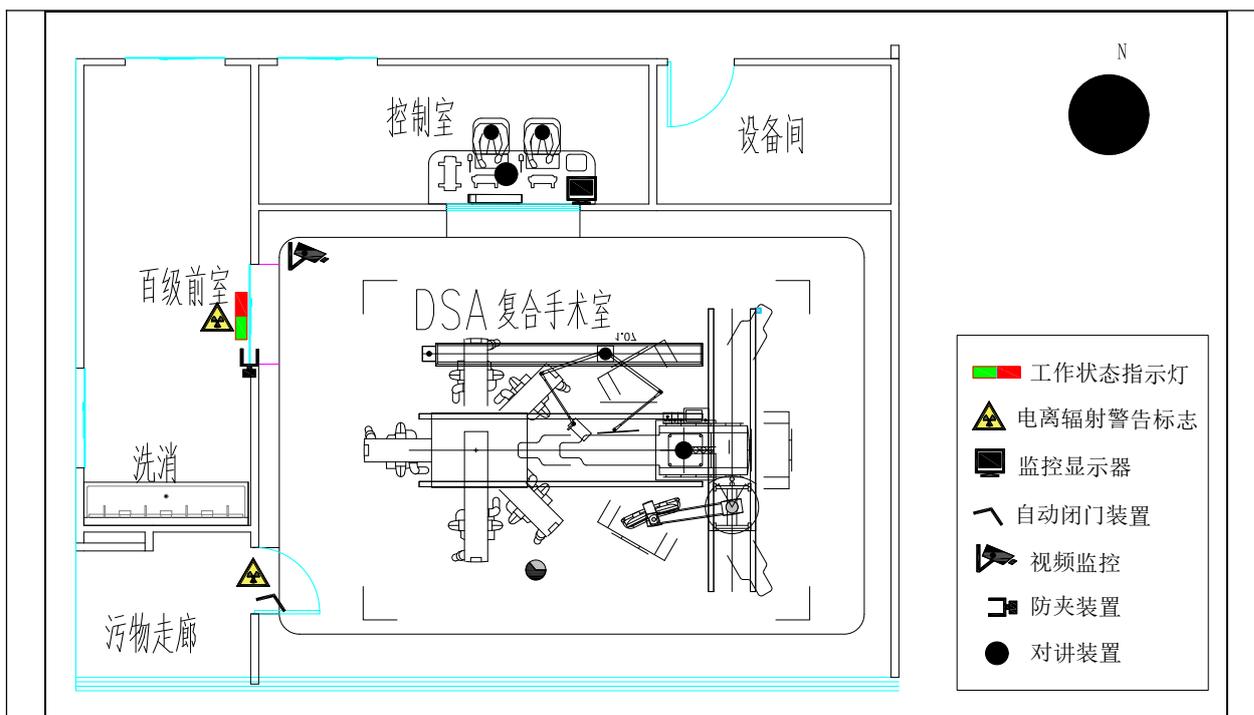


图 10-6 本项目 DSA 工作场所辐射安全措施布设示意图

本项目 DSA 工作场所拟采取的管理措施和辐射安全措施与《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中要求对照，能够满足要求，具体对照符合性分析情况见表 10-17。

表 10-17 本项目拟采取的管理措施和辐射安全措施与 GBZ 130-2020 中要求对照一览表

GBZ130-2020 要求	本项目设计方案	对照结论
6.4.1 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。	DSA复合手术室拟设置观察窗，同时拟设置对讲装置，工作人员在控制室内可及时观察患者情况及防护门开闭情况，防止意外情况的发生。	符合要求
6.4.2 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。	DSA复合手术室内不堆放与放射诊断/介入治疗工作无关的杂物。	符合要求
6.4.3 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。	DSA复合手术室内拟设置动力通风系统，并保持良好的通风。	符合要求
6.4.4 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。	DSA复合手术室各防护门外表面均拟设置电离辐射警告标志；DSA复合手术室患者通道防护门上方拟设置工作状态指示灯，灯箱上设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句；患者通道防护门旁醒目处拟设置放射防护注意事项告知栏。	符合要求
6.4.5 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机房门的管理措施；工作状态指示灯能与机房门有效关联。	DSA复合手术室平开防护门拟设置自动闭门装置，电动推拉防护门拟设置曝光时关闭的管理措施；工作状态指示灯与患者通道防护门拟设置门灯联锁装置。	符合要求
6.4.6 电动推拉门宜设置防夹装置。	DSA复合手术室电动推拉防护门拟设置防夹装置。	符合要求

6.4.7 受检者不应在机房内候诊；非特殊情况，检查过程中陪检者不应滞留在机房内。	受检者在机房外候诊，不在机房内候诊；非特殊情况，检查过程中，陪检者不允许留在机房内。	符合要求
---	--	------

10.2 三废的治理

1、放射性废水处理措施

本项目在地下二层设计有一个由混凝土浇筑的放射性废水衰变室，衰变室内配备 2 套槽式放射性废水衰变系统，其中 1#~4#衰变池为长半衰期放射性废水衰变系统，5#~8#衰变池为短半衰期放射性废水衰变系统，每套放射性废水衰变系统由 4 个混凝土浇筑的衰变池、1 套多功能生物降解槽、取样口组成，多功能生物降解槽内设有铰刀式潜水泵，将固体杂质搅碎后排入衰变池，衰变池内设计有电缆浮球液位计，4 个衰变池交替使用，本项目槽式放射性废水衰变系统的设计满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中槽式废液衰变池应由污泥池和槽式衰变池组成，衰变池本体设计为 2 组或以上槽式池体，交替贮存、衰变和排放废液，在废液池上预设取样口，有防止废液溢出等相关措施的要求。本项目放射性废水衰变室结构及放射性废水衰变系统见附图 15。

本项目核医学科内产生的含有核素 ^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{67}Ga 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{123}I 的放射性废水经专用管道排至短半衰期放射性废水衰变系统，放射性废水排水管道先在核医学科北侧的排水管道井楼板下方汇集，然后接入地下二层真空排水泵房的真空泵，最后由真空泵抽至短半衰期放射性废水衰变系统；核素病房产生的含有核素 ^{131}I 、 ^{177}Lu 、 ^{225}Ac 的放射性废水经专用管道排至长半衰期放射性废水衰变系统，放射性废水排水管道先在排水管道井楼板下方汇集，然后接入地下二层真空排水泵房的真空泵，最后由真空泵抽至长半衰期放射性废水衰变系统。本项目核医学科放射性废水排水管道布设见附图 16，核素病房放射性废水排水管道布设见附图 17。

本项目 2 套放射性废水衰变系统的工作原理相同，具体工作流程以长半衰期放射性废水衰变系统为例：核素病房产生的放射性废水先通过专用管道连接至地下二层真空排水泵房的真空泵，由真空泵抽至降解槽，杂质经打碎均匀混合后由提升泵先抽至衰变池 1，当衰变池 1 电缆浮球液位计报警时，电子控制系统将自动关闭衰变池 1 的进水阀，同时打开衰变池 2 的进水阀，当衰变池 2 电缆浮球液位计报警时，电子控制系统将自动关闭衰变池 2 的进水阀，同时打开衰变池 3 的进水阀，当衰变池 3 电缆浮球液位计报警时，电子控制系统将自动关闭衰变池 3 的进水阀，同时打开衰变池 4 的进水阀，当衰变池 4 中放射性废水储存到该衰变池的 80%时，并确认放射性废水已至少衰变 180 天后，医院委托有资质检测单位通过取样口取衰变池 1 的水样，经监测，满足总 α 不大于

1Bq/L、总 β 不大于 10Bq/L 的要求，监测结果经审管部门认可后，手动通过电子控制系统打开衰变池 1 的排水阀，将衰变池 1 中放射性废水排至医院的污水处理系统，通过电子控制系统关闭衰变池 4 的进水阀，同时打开衰变池 1 的进水阀，4 个衰变池轮流使用。

本项目短半衰期放射性废水衰变系统中废水在每次排放前确保放射性废水已至少衰变 33 天，长半衰期放射性废水衰变系统中废水在每次排放前确保放射性废水已至少衰变 180 天，并取样监测，监测结果满足总 α 不大于 1Bq/L、总 β 不大于 10Bq/L 的要求，监测结果经审管部门认可后，方可排放至医院的污水处理系统，作为医疗废水进行处理。

此外，本项目将在 ECT 注射室内设置两个 15L 的塑料桶，敷贴器制备过程产生的少量含 ^{32}P 的工艺废水单独收集在塑料桶中，并放置在 ECT 注射室 20mmPb 铅桶内，每个塑料桶可暂存 30 周（即 210 天）的废水量，每个塑料桶集满后，标明日期后密封衰变，在桶内自然衰变至少 143 天后，经检测，满足总 α 不大于 1Bq/L、总 β 不大于 10Bq/L、 ^{32}P 的放射性活度浓度不大于 1×10^6 Bq/L 的要求，监测结果经审管部门认可后，排至医院的污水处理系统，作为医疗废水进行处理。

本项目衰变池在施工时应确保池体应坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性、内壁光滑和具有可靠的防泄漏措施，核医学科、核素病房至放射性废水衰变室的排水管道拟包裹 6mm 铅皮，本项目放射性废水排水管道将使用含铅铸铁，并在管道走向上设有标记，便于检测和维修。医院拟在放射性废水衰变室四周设置电离辐射警告标志和警示标语，禁止公众靠近和在此逗留。医院将安排专人负责放射性废水衰变室，定期检查放射性废水衰变系统设施的有效性，并负责放射性废水的暂存和处理，建立废水暂存和处理台账，详细记录放射性废水所含的核素名称、体积、废液产生起始日期、责任人员、排放时间等信息。

2、放射性废气处理措施

本项目核医学科共拟设置 7 套排风系统，分别为回旋加速器机房拟设置一套单独的排风系统，在楼顶排风口处设置一级活性炭高效过滤器（吸附效率 $\geq 99\%$ ）；合成分装室拟设置一套单独的排风系统，在楼顶排风口处设置一级活性炭高效过滤器（吸附效率 $\geq 99\%$ ）；合成分装室的卫生通过间等配套区域拟共用一套单独的排风系统，在楼顶排风口处设置一级活性炭高效过滤器（吸附效率 $\geq 99\%$ ）；合成分装室内的热室拟设置一套单独的排风系统，在热室的顶壁以及楼顶排风口处共设置两级活性炭高效过滤器（每级吸附效率 $\geq 99\%$ ）；放射性诊疗区的卫生通过间、储源室和给药区拟共用一套单独的排风系统，在楼顶排风口处设置一级活性炭高效过滤器（吸附效率 $\geq 99\%$ ）；外包间、

质控室和放射性诊疗区的注射后候诊区、扫描机房、留观室拟共用一套单独的排风系统，在楼顶排风口处设置一级活性炭高效过滤器（吸附效率 $\geq 99\%$ ）；放射性诊疗区的2个手套箱和质控室的1个通风柜拟共用一套单独的排风系统，在手套箱和通风柜的顶壁以及楼顶排风口处共设置两级活性炭高效过滤器（每级吸附效率 $\geq 99\%$ ）。

本项目回旋加速器机房每小时换气次数不少于6次，热室、通风柜、手套箱设计风速不小于0.5m/s，不同房间的排风管道内设置止回阀，确保废气不回流，通过控制不同场所的风量或压差，控制气流流向遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计，以防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。本项目核医学科共设计有7套排风系统，核医学科产生的放射性废气由各自排风管道延伸至肿瘤中心楼的楼顶后经活性炭高效过滤器过滤后排放（屋顶高度为57.2m，共有7个放射性废气排放口，排放口高于屋顶2.1m），排风口设置于楼顶的西北角，50m评价范围内无高层建筑。本项目核医学科工作场所排风管道平面布置示意图见附图18，核医学科放射性废气排放口在肿瘤中心楼楼顶布设示意图见附图20。

本项目回旋加速器机房的通风管道采用Z型穿墙，并包裹6mm铅板进行屏蔽补偿，可确保满足机房墙外的防护要求。本项目回旋加速器通风管道穿墙示意图10-7。

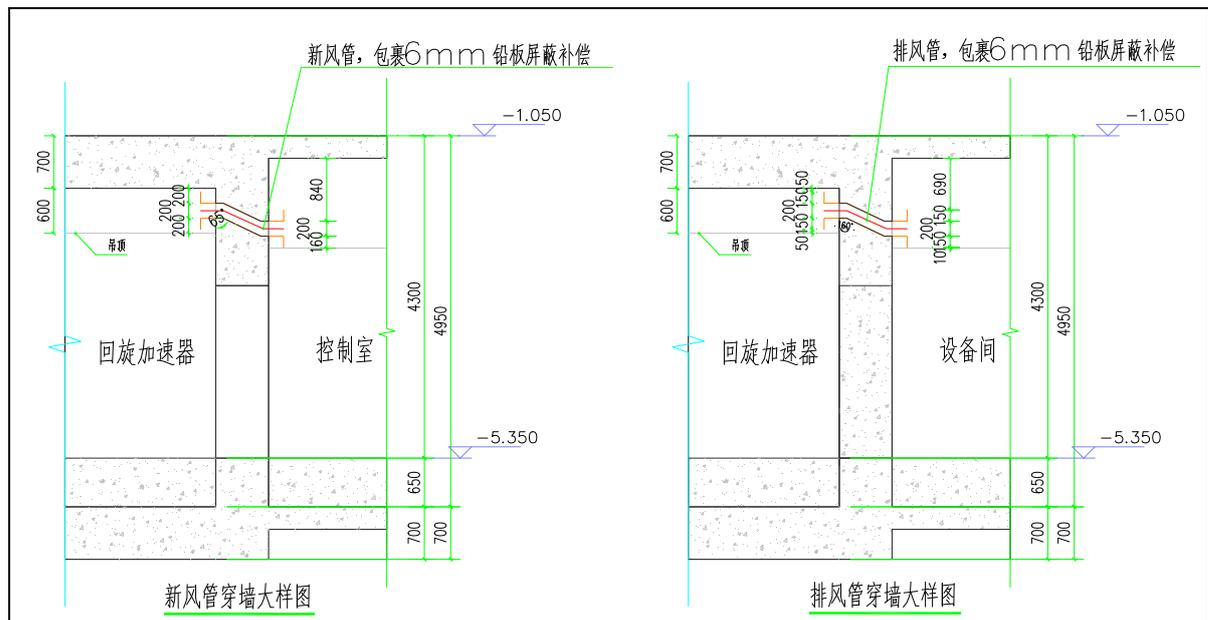


图 10-7 本项目回旋加速器通风管道穿墙示意图

本项目核素病房共拟设置3套排风系统，分别为6间病房、分装室、放射性固废间、储源室、给药室拟共用一套单独的排风系统，在楼顶排风口处设置一级活性炭高效过滤器（吸附效率 $\geq 99\%$ ）；核素病房的其他场所拟共用一套单独的排风系统，在楼顶排风口处设置一级活性炭高效过滤器（吸附效率 $\geq 99\%$ ）；核素病房的手套箱和碘自动分装仪拟共用一套单独的排风系统，在手套箱和碘自动分装仪的顶壁以及楼顶排风口处共设置两级活性炭高效过滤器（每级吸附效率 $\geq 99\%$ ）。

本项目核素病房的手套箱、碘自动分装仪设计风速不小于 0.5m/s，不同房间的排风管道内设置止回阀，确保废气不回流，通过控制不同场所的风量或压差，控制气流流向遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计，以防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。本项目核素病房共设计有 3 套排风系统，核素病房产生的放射性废气由各自排风管道延伸至肿瘤中心楼的楼顶后经活性炭高效过滤器过滤后排放（屋顶高度为 57.2m，共有 3 个放射性废气排放口，排放口高于屋顶 2.1m），排风口设置于楼顶的西北角，50m 评价范围内无高层建筑。本项目核素病房工作场所排风管道平面布置示意图见附图 19，核素病房放射性废气排放口在肿瘤中心楼楼顶布设示意图见附图 20。

本项目地下二层的放射性废水衰变室拟设置一套单独的排风系统，在楼顶排风口处设置一级活性炭高效过滤器（吸附效率 $\geq 99\%$ ）。放射性废水衰变室内的放射性气溶胶由排风管道延伸至肿瘤中心楼的楼顶后经活性炭高效过滤器过滤后排放（屋顶高度为 57.2m，共 1 个放射性废气排放口，排放口高于屋顶 2.1m），放射性废水衰变室每小时换气次数不少于 5 次，本项目放射性废水衰变室工作场所排风管道平面布置示意图见图 10-8，放射性废水衰变室放射性废气排放口在肿瘤中心楼楼顶布设示意图见附图 20。

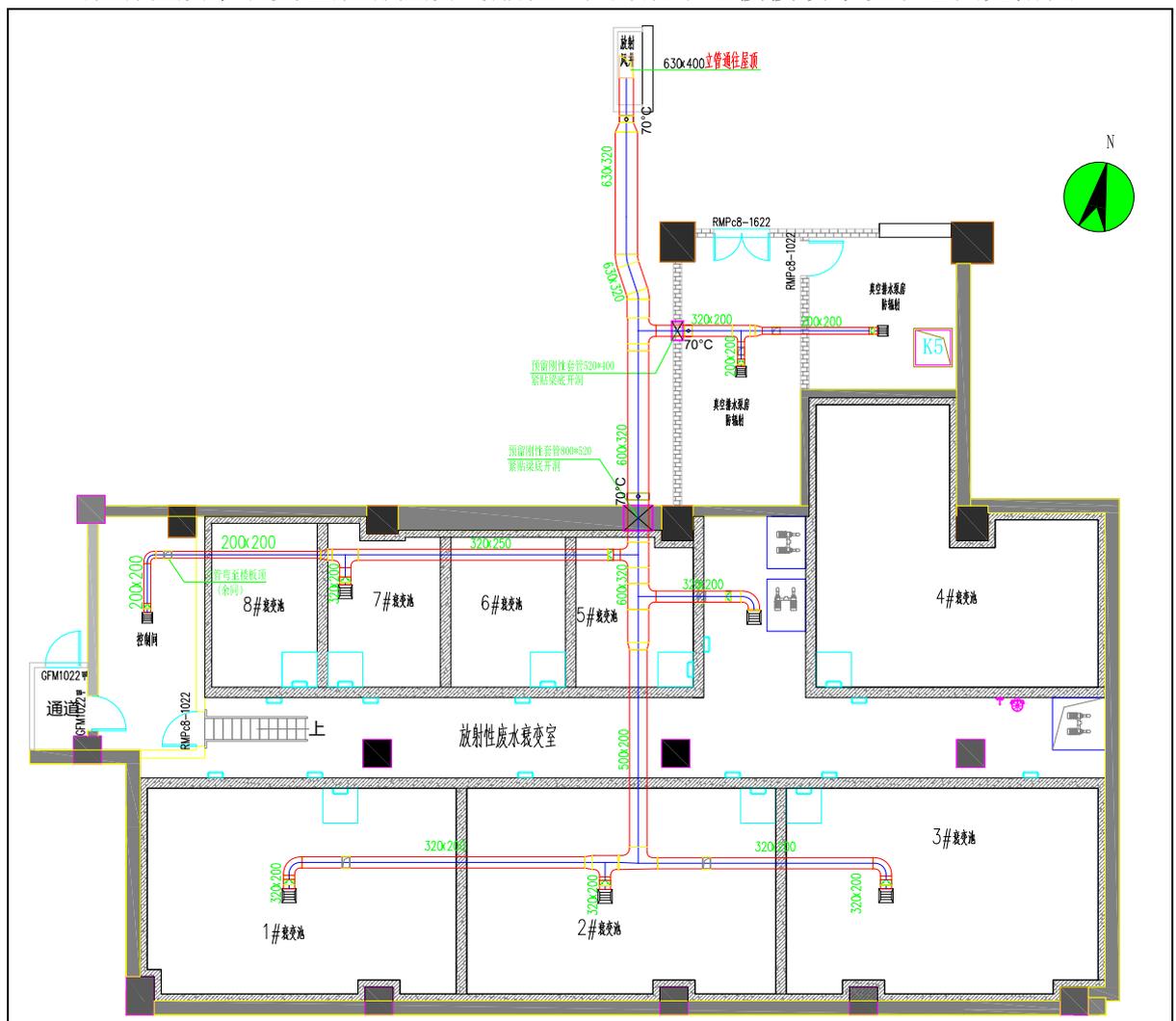


图 10-8 放射性废水衰变室工作场所排风管道平面布置示意图

医院将安排专人负责定期检查通风系统，确保通风系统正常工作，并应定期更换活性炭高效过滤装置（医院计划每半年更换一次），确保活性炭高效过滤装置的吸附效率，通风系统内更换下来的含放射性核素的废活性炭高效过滤材料将作为放射性固体废物进行收集、处理。

3、放射性固体废物处理措施

本项目回旋加速器机房内设置 1 个高活性放射性废物铅桶（50mmPb）和 1 个非高活性放射性废物铅桶（20mmPb），分别用于收集废靶膜等高活性固废和非高活性固废，放射性固废经暂存后定期由有资质单位回收处置或送省城市放射性废物库。

本项目核医学科内各房间拟设置废物铅桶或废物桶，废物铅桶和废物桶内放有专用塑料袋，各房间产生的放射性固体废物先暂存在各房间的废物铅桶或废物桶内，注射器针头等尖刺和棱角的放射性废物装入利器盒中，每日工作结束后分类收集密封并贴上标签（标明核素种类、存放日期等信息）储存在核医学科的放射性固废间内，半衰期小于 24h 的核素配备两个废物桶（单个废物桶容积为 0.24m³），半衰期大于 24h 的每个核素单独配备两个废物桶（单个废物桶容积为 0.24m³），其中一个废物桶暂存满后，粘贴封条（标明核素种类、封条时间及解封时间），启用第二个废物桶，两个废物桶轮流使用，所含核素半衰期小于 24h 的放射性固体废物暂存时间超过 30 天、所含核素半衰期大于 24h 的放射性固体废物暂存时间超过半衰期的 10 倍、含 ¹³¹I 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天，经监测辐射剂量率处于环境本底水平， α 表面污染小于 0.08Bq/cm²、 β 表面污染小于 0.8Bq/cm²后，作为医疗废物由有资质单位统一回收处理。

本项目核医学科通风系统中置换下的含放射性核素的废活性炭高效过滤材料集中收集于专用塑料袋内，贴上标签（标明存放日期等信息）后储存在核医学科的放射性固废间内，自然衰变超过 180 天，经监测辐射剂量率处于环境本底水平、 α 表面污染小于 0.08Bq/cm²、 β 表面污染小于 0.8Bq/cm²后，作为非放射性固体废物由有资质单位统一回收处理。

本项目核医学科退役的校准源 ²²Na 贮存在储源罐中，放置在储源室内，最终由原生产厂家回收或由省城市放射性废物库回收处置。

本项目核素病房内各房间拟设置废物铅桶或废物桶，废物铅桶和废物桶内放有专用塑料袋，各房间产生的放射性固体废物先暂存在各房间的废物铅桶或废物桶内，注射器针头等尖刺和棱角的放射性废物装入利器盒中，病人出院后集中收集密封并贴上标签（标明核素种类、存放日期等信息）储存在核素病房的放射性固废间内，每个核素至少配备 2 个废物桶（单个废物桶容积为 0.24m³），其中一个废物桶暂存满后，粘贴封条

（标明核素种类、封条时间及解封时间），启用第二个废物桶，废物桶轮流使用，含¹³¹I的放射性固体废物暂存时间超过180天，含¹⁷⁷Lu的放射性固体废物暂存时间超过68天，含²²⁵Ac的放射性固体废物暂存时间超过100天，经监测辐射剂量率处于环境本底水平， α 表面污染小于0.08Bq/cm²、 β 表面污染小于0.8Bq/cm²后，作为医疗废物由有资质单位统一回收处理。

本项目核素病房通风系统中置换下的含放射性核素的废活性炭高效过滤材料集中收集于专用塑料袋内，贴上标签（标明存放日期等信息）后储存在核素病房的放射性固废间内，自然衰变超过180天，经监测辐射剂量率处于环境本底水平、 α 表面污染小于0.08Bq/cm²、 β 表面污染小于0.8Bq/cm²后，作为非放射性固体废物由有资质单位统一回收处理。

本项目放射性废水衰变室通风系统中置换下的含放射性核素的废活性炭高效过滤材料集中收集于专用塑料袋内，贴上标签（标明存放日期等信息）后储存在核医学科的放射性固废间内，自然衰变超过180天，经监测辐射剂量率处于环境本底水平、 α 表面污染小于0.08Bq/cm²、 β 表面污染小于0.8Bq/cm²后，作为非放射性固体废物由有资质单位统一回收处理。

医院应分别安排专人负责本项目核医学科和核素病房的放射性固体废物的存储和处理，建立废物存储和处理台账，详细记录放射性固体废物的核素名称、重量、废物产生起始日期、责任人员、出库时间和监测结果等信息。

4、非放废物处理措施

（1）项目运行期间产生的生活污水将依托医院的污水处理系统进行处置，处理达标后排入城市污水管网。

（2）项目运行期间产生的少量生活垃圾，依托医院的保洁措施，分类收集后交由环卫部门统一处理。

（3）回旋加速器机房、PET/CT机房、SPECT/CT机房、DSA复合手术室设计有机机械通风系统，机房内产生的臭氧和氮氧化物可通过通风系统排至室外，臭氧常温下可自行分解为氧气，对周围环境影响很小。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

本项目依托肿瘤中心楼主体工程进行建设，在建设过程中会产生一定量的扬尘、施工噪声、施工废水、固体垃圾等污染物，将对周围环境产生一定的影响。本项目建设施工时通过对施工时段的控制以及施工现场严格管理等手段，可使本项目施工期环境影响的范围和强度进一步减小。

(1) 大气：本项目在建设施工期，各种施工作业将产生地面扬尘，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。针对上述大气污染采取以下措施：a.及时清扫施工场地，并保持施工场地一定的湿度；b.车辆在运输建筑材料时尽量采取遮盖、密闭措施，以减少沿途抛洒；c.施工路面保持清洁、湿润，减少地面扬尘。

(2) 噪声：本项目在建设施工期，各种施工设备及运输车辆等在运行中都将产生不同程度的噪声，对周围环境造成一定的影响。在施工时将严格执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523—2011）的标准，尽量使用低噪声设备，合理安排施工时间，禁止运输车辆鸣笛等措施，保证施工过程对施工现场附近区域的影响满足标准要求。

(3) 固体废物：本项目施工期间产生的固体废物主要有建筑施工过程中产生的建筑垃圾、装修垃圾以及施工人员产生的生活垃圾，建筑垃圾应堆放在指定地点并委托有资质的单位清运，并做好清运工作中的装载工作，防止建筑垃圾在运输途中散落；装修垃圾和生活垃圾由环卫部门统一及时清运处理，做到日产日清。施工期临时堆放场地应妥善处置，减少雨水冲刷造成地表污染，并保持工区环境的洁净卫生。

(4) 废水：本项目施工期污水主要为各种施工机械设备的清洗用水和施工现场清洗、建材清洗产生的废水以及施工人员的生活污水，生活污水经化粪池预处理后，纳入市政污水管网，清洗用水用于场地洒水抑尘、场地浇灌等，含有泥浆的建筑废水进行回收利用。

综上所述，项目施工期间对环境存在一定的影响，但是这些影响具有时效性，随着施工期的结束，对环境的影响也消除。医院只要在施工阶段采取上述污染防治措施，将施工期的影响控制在医院内，对周围环境影响较小。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 核医学科

一、回旋加速器运行期辐射环境影响分析

本项目回旋加速器在机房内摆放位置及机房周围关注点见图 11-1。

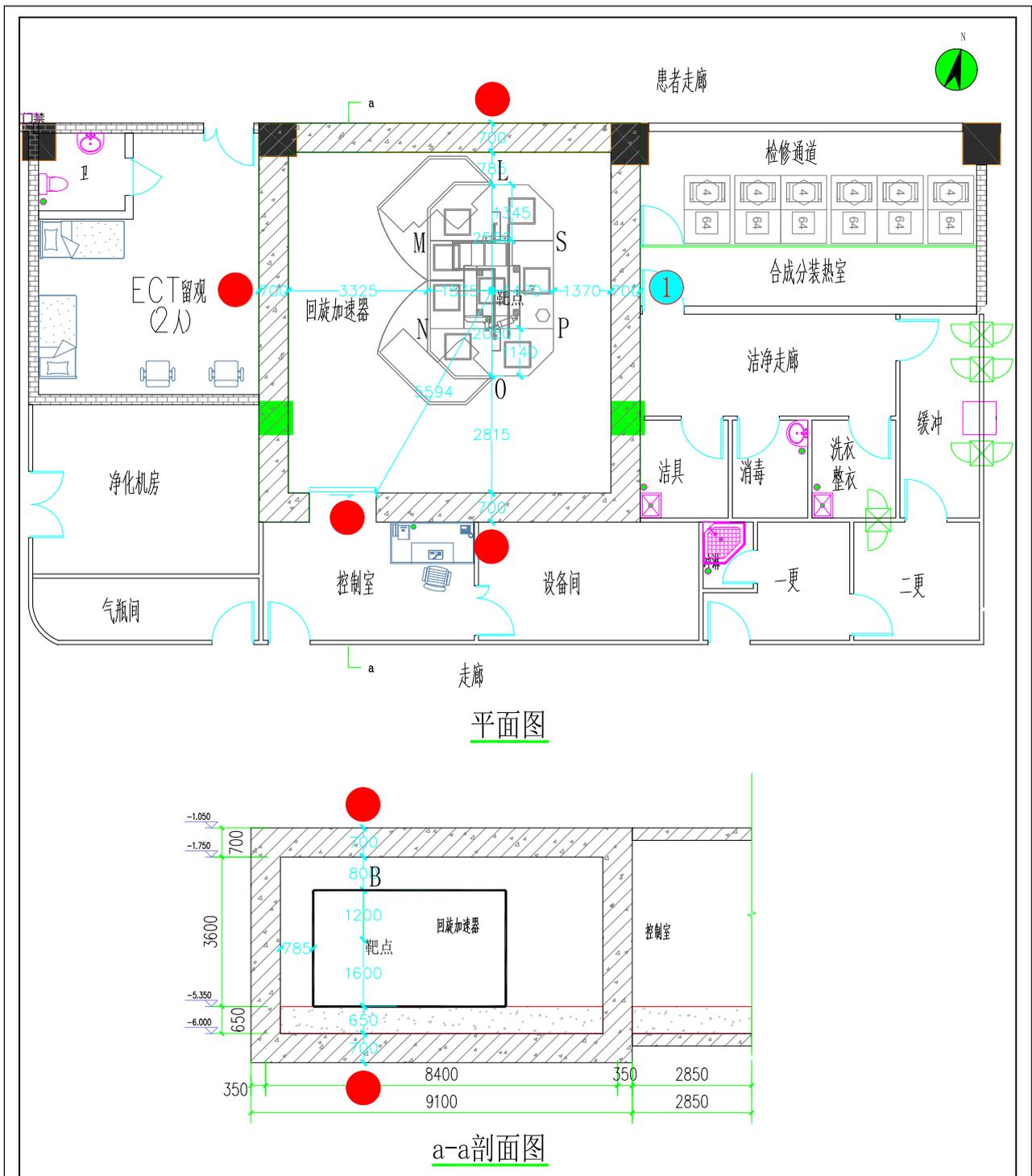


图 11-1 回旋加速器机房关注点示意图（单位：mm）

根据厂家提供资料（见附件 10），加速器生产 ^{18}F 正常运行工况下，回旋加速器前、后、左、右、顶部、底部表面 5cm 测得的 γ 射线和中子的最大剂量率见表 11-1。

表 11-1 生产 ^{18}F 正常运行工况下，加速器自屏蔽表面 γ 射线和中子的最大剂量率一览表

点位	X- γ 剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	中子剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	对应机房参考点
1 东墙表面 30cm	50	12	加速器背面 (S 点)
2 南墙表面 30cm	20	3	加速器右面 (O 点)

3	西墙表面 30cm	150	10	加速器前面 (M 点)
4	北墙表面 30cm	50	10	加速器左面 (L 点)
5	防护门表面 30cm	20	3	加速器右面 (O 点)
6	顶部表面 30cm	170	12	加速器顶面 (B 点)
7	底部地面 1.7m 处	170	12	加速器底部 (B 点)

正常运行时, 加速器运行过程中最高中子流由靶体上 $^{18}\text{O}(\text{p},\text{n})^{18}\text{F}$ 反应产生, 最高中子能量约为 15MeV, 最高 γ 射线能量约为 10MeV。

1、回旋加速器机房四周墙体、屋顶及底部外辐射剂量率计算

对于自屏蔽型回旋加速器, 机房外的剂量率可参考《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020) 附录 I 中公式 (I.2) 进行估算, 估算公式见式 11-1。

$$\dot{H}_R = \left(\frac{r_0}{R}\right)^2 \cdot (\dot{H}_n \cdot 2^{-x/\text{HVL}_n} + \dot{H}_\gamma \cdot 2^{-x/\text{HVL}_\gamma}) \quad \text{公式 (11-1)}$$

式中:

\dot{H}_R —回旋加速器室外关注点剂量率, 单位为微希沃特每小时 ($\mu\text{Sv/h}$);

r_0 —参考点距靶的距离, 单位为米 (m);

R —屏蔽墙外 30cm 关注点距靶的距离, 单位为米 (m);

\dot{H}_n —参考点 r_0 处的中子剂量率, 单位为微希沃特每小时 ($\mu\text{Sv/h}$);

x —屏蔽体厚度, 单位为厘米 (cm);

HVL_n —中子射线在屏蔽体中的半值层厚度, 单位为厘米 (cm);

\dot{H}_γ —参考点 r_0 处的 γ 射线剂量率, 单位为微希沃特每小时 ($\mu\text{Sv/h}$);

HVL_γ — γ 射线在屏蔽体中的半值层厚度, 单位为厘米 (cm)。

回旋加速器机房四周墙体、顶部表面 30cm 和底部人员可达处屏蔽防护计算参数及计算结果见表 11-2。

表 11-2 回旋加速器机房屏蔽防护计算参数及计算结果

	东墙	南墙	西墙	北墙	顶部	底部
x (cm)	70 砵	70 砵	70 砵	70 砵	70 砵	70+60
r_0 (m)	1.52	2.1	1.585	2.6	1.25	1.65
R (m)	3.84	5.865	5.86	4.335	3	5.95
\dot{H}_n ($\mu\text{Sv/h}$)	12	3	10	10	12	12
HVL_n (cm)	9	9	9	9	9	9
\dot{H}_γ ($\mu\text{Sv/h}$)	50	20	150	50	170	170

HVL _γ (cm)		13	13	13	13	13	13
关注点 剂量率 H _R (μSv/h)	估算值	0.196	0.063	0.266	0.447	0.716	0.013
	控制值	2.5	2.5	10	2.5	2.5	2.5
	评价结果	满足	满足	满足	满足	满足	满足

注：①根据《辐射防护导论》图 5.14，15MeV 的中子对于混凝土的 HVL_n 约为 9cm。

②根据《辐射防护手册》（第三分册）表 2.12，10MeV 的γ射线对于混凝土（密度 2.2g/cm³）的 HVL_γ 为 13cm，本项目混凝土密度为 2.35g/cm³，HVL_γ 保守取 13cm。

③根据密度换算，650mm 素混凝土约为 600 混凝土。

④地下二层层高为 5.4m。

2、回旋加速器机房迷道防护门外散射辐射剂量率估算

本项目回旋加速器机房采用无迷道设计，防护门外表面 30cm 处 X-γ 辐射剂量率可以通过《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 I 中公式（I.2）变形得出，计算公式见公式（11-2）计算参数及计算结果见表 11-3。

$$\dot{H}_R = \left(\frac{r_0}{R}\right)^2 \cdot (\dot{H}_\gamma \cdot 2^{-x/HVL_\gamma}) \quad \text{公式（11-2）}$$

式中：各参数意义同上。

表 11-3 回旋加速器机房入口处 X-γ 辐射剂量率计算参数及计算结果

	防护门
x (cm)	2
r ₀ (m)	2.1
R (m)	5.894
H _γ (μSv/h)	20
HVL _γ (cm)	1.7
关注点剂量率估算值 H _R (μSv/h)	1.12

注：根据《辐射防护手册》（第三分册）表 2.12，能量为 10MeV 的γ射线对于铅的 HVL_γ 为 1.7cm。

对于防护门外的中子剂量率可以通过（《辐射防护导论》第五章 5.13 式）变形进行估算：

$$\dot{H} = \left(\frac{r_0}{R}\right)^2 \cdot \dot{H}_0 \cdot e^{-\Sigma_R \cdot d} \quad \text{公式（11-3）}$$

式中：r₀、R 意义同上，

H----防护门外的中子剂量率，μSv/h；

H₀----未经过防护门屏蔽的中子剂量率，μSv/h；

Σ_R----屏蔽材料对中子的宏观分出截面，cm⁻¹，根据《辐射防护导论》表 5.9 可知聚乙烯的Σ_R为 0.123cm⁻¹；

d ---屏蔽材料厚度，cm。

根据公式（11-3）可估算，回旋加速器机房防护门外表面 30cm 处中子剂量率为 0.06 μ Sv/h。由此可知，本项目回旋加速器机房防护门外表面 30cm 处辐射剂量率为 1.18 μ Sv/h（1.12 μ Sv/h+0.06 μ Sv/h）。

综上所述，本项目回旋加速器机房四周墙体、防护门、顶部外 30cm 处以及底部人员可达处的辐射剂量率在（0.013~1.18） μ Sv/h 之间，满足本项目回旋加速器机房四周墙体、顶、防护门处表面 30cm 处以及底部人员可达处的周围剂量当量率应小于 2.5 μ Sv/h 的要求。

二、正电子药物生产区和核素诊疗区运行期辐射环境影响分析

1、 γ 射线辐射影响分析

发射 γ 射线的放射性药物，其周围剂量当量率可近似按照点源模式计算，采用《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 I 中公式（I.1）计算参考点周围剂量当量率：

$$K_{\alpha} = \frac{A \cdot \Gamma}{R^2} \cdot \eta \quad \text{公式（11-4）}$$

上式中：

K_{α} —周围剂量当量率， μ Sv/h；

A —放射性药物的活度，MBq；

Γ —周围剂量当量率常数， μ Sv·m²/(MBq·h)；

R —距放射源的距离，m；

η —透射比，无屏蔽情况下取 1，有屏蔽情况下，根据相对应屏蔽材料的什值层计算相应的透射比。

$$\eta = 10^{-X/\text{TVL}} \quad \text{公式（11-5）}$$

上式中： X —屏蔽物质厚度，与 TVL 取相同的单位。

根据表 9-3，本项目核素诊疗区主要考虑 γ 射线辐射影响的核素主要有 ¹⁸F、⁶⁴Cu、⁶⁷Ga、⁶⁸Ga、^{99m}Tc、¹²³I、¹³¹I 共 7 种核素，本项目选取辐射影响较大的放射性核素 ¹⁸F、^{99m}Tc、¹³¹I 进行估算，单名甲功测试患者所致周围辐射剂量率很低，可忽略不计。根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020），放射性核素 ¹⁸F、^{99m}Tc、¹³¹I 对应铅、砖、混凝土的什值层见表 11-4。

表 11-4 放射性核素对应屏蔽物质的什值层取值一览表（单位：mm）

核素	铅（11.3g/cm ³ ）	砖（1.65g/cm ³ ）	混凝土（2.35g/cm ³ ）
¹⁸ F	16.6	263	176
^{99m} Tc	1	160	110
¹³¹ I	11	240	170

本项目核医学科中 PET 注射后候诊室每次最多 2 名患者同时候诊，PET 留观室每次最多 2 名患者同时留观，SPECT 注射后候诊室每次最多 12 名患者同时候诊，SPECT 留观室每次最多 2 名患者同时留观。根据公式（11-4）和公式（11-5），核医学科各参考点处的辐射水平计算结果见表 11-5，参考点位置见附图 21。

表 11-5 本项目核医学科各参考点位辐射水平计算结果一览表

参考点位		活度 A (Bq)	衰减距离 R (m)	防护措施	透射比 η	参考点辐射 水平($\mu\text{Sv/h}$)		
合成 分装室	热室人员操作位表面 30cm		9.62E+10 (^{18}F , 日最大操作量)	0.6	80mmPb	1.52E-05	0.581	
	热室非正对人员操作位表面			0.35	70mmPb	6.07E-05	6.82	
	1	顶部表面 30cm		4.7	70mmPb 热室+300mm 砷+30mm 硫酸钡防护涂料	7.90E-07	4.92E-04	
	2	楼下地面 1.7m 处		4.7	70mmPb 热室+300mm 砷+30mm 硫酸钡防护涂料	7.90E-07	4.92E-04	
	控制 区	东墙表面 30cm		1.1	70mmPb 热室+240mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡防护涂料	3.23E-06	3.67E-02	
		南墙（门）表面 30cm		2.8	80mmPb 热室	1.52E-05	2.67E-02	
		西墙表面 30cm		2.6	70mmPb 热室 +700mm 砷	6.40E-09	1.30E-05	
		北墙表面 30cm		2.4	70mmPb 热室	6.07E-05	0.145	
质控室	通风柜人员操作位表面 30cm		3.70E+07 (^{18}F , 日最大操作量)	0.5	20mmPb	6.24E-02	1.32	
	通风柜非正对人员操作位表面			0.25	20mmPb	6.24E-02	5.28	
	3	东墙表面 30cm		3.45	20mmPb 通风柜	6.24E-02	0.028	
	4	南墙表面 30cm		0.7	20mmPb 通风柜	6.24E-02	0.674	
	5	顶部表面 30cm		4.7	20mmPb 通风柜 +300mm 砷+30mm 硫酸钡防护涂料	8.13E-04	1.95E-04	
	6	楼下地面 1.7m 处		4.7	20mmPb 通风柜 +300mm 砷+30mm 硫酸钡防护涂料	8.13E-04	1.95E-04	
	控制 区	西墙（门）表面 30cm		1.3	20mmPb 通风柜	6.24E-02	0.195	

		北墙表面 30cm		4.5	20mmPb 通风柜	6.24E-02	0.016
PET 注射室	手套箱人员操作位 表面 30cm		3.70E+08 (¹⁸ F 单人最大 注射量)	0.5	40mmPb	3.89E-03	0.824
	手套箱非正对人员 操作位表面			0.25	40mmPb	3.89E-03	3.30
	7	注射窗口	3.70E+08 (¹⁸ F 单人最大 注射量)	0.5	40mmPb 注射窗 +0.5mm 铅衣	3.63E-03	0.769
ECT 注射室	手套箱人员操作位 表面 30cm		3.70E+07 (¹³¹ I, 日最 大贮存量)	0.5	20mmPb	1.52E-02	0.134
	手套箱非正对人员 操作位表面			0.25	20mmPb	1.52E-02	0.535
	手套箱人员操作位 表面 30cm		9.25E+08 (^{99m} Tc 单人 最大注射量)	0.5	20mmPb	1.00E-20	1.12E-18
	手套箱非正对人员 操作位表面			0.25	20mmPb	1.00E-20	4.48E-18
	8	注射窗口	3.70E+05 (¹³¹ I 单人最大 用药量)	0.5	20mmPb 注射窗 +0.5mm 铅衣	1.37E-02	1.21E-03
			9.25E+08 (^{99m} Tc 单人 最大注射量)	0.5	20mmPb 注射窗 +0.5mm 铅衣	3.16E-21	3.54E-19
运动负荷 兼抢救室	9	顶部表面 30cm	9.25E+08 ×1 (^{99m} Tc, 1 人运动)	4.7	300mm 砼+30mm 硫酸 钡防护涂料	1.87E-06	2.37E-06
	10	楼下地面 1.7m 处		4.7	300mm 砼+30mm 硫酸 钡防护涂料	1.87E-06	2.37E-06
	控制 区	四周墙体 表面 30cm		1.0	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂料	3.16E-08	8.86E-07
		防护门表面 30cm		1.0	6mmPb 防护门	1.00E-06	2.80E-05
ECT 注射后 候诊室	11	东墙表面 30cm	9.25E+08 ×12 (^{99m} Tc, 12 人同时候 诊)	3.5	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料	3.16E-06	8.68E-05
	12	南墙表面 30cm		2.8	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂料	3.16E-08	1.36E-06
	13	北墙表面 30cm		1.4	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料	3.16E-06	5.42E-04
	14	顶部表面 30cm		4.7	300mm 砼+60mm 硫酸 钡防护涂料	1.87E-09	2.85E-08
	15	楼下地面 1.7m 处		4.7	300mm 砼+30mm 硫酸 钡防护涂料	1.87E-06	2.85E-05
	控制	西墙表面 30cm		3.9	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂料	3.16E-08	6.99E-07

	区	防护门表面 30cm		2.8	6mmPb 防护门	1.00E-06	4.29E-05
PET 注射 后候诊室 1、2、3	16	北墙表面 30cm	3.70E+08 ×2 (¹⁸ F, 2 人 同时候诊)	2.9	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂料	5.32E-02	0.669
	17	顶部表面 30cm		4.7	300mm 砼+60mm 硫酸 钡防护涂料	8.59E-03	4.11E-02
	18	楼下地面 1.7m 处		4.7	300mm 砼+30mm 硫酸 钡防护涂料	1.30E-02	6.23E-02
	控制 区	东(西)墙 表面 30cm		1.0	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂料	5.32E-02	5.63
		南墙表面 30cm		2.4	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂料	5.32E-02	0.977
		防护门表面 30cm		2.4	8mmPb 防护门	3.30E-01	6.06
SPECT /CT 机房	19	摆位工作位	9.25E+08 ×1 (^{99m} Tc, 1 人扫描)	1	0.5mmPb 铅衣	3.16E-01	8.86
	20	操作位		4.9	6mmPb 观察窗	1.00E-06	1.17E-06
	21	西墙表面 30cm		4.9	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料	3.16E-06	3.69E-06
	22	医护防护门 表面 30cm		4.9	6mmPb 防护门	1.00E-06	1.17E-06
	23	北墙表面 30cm		3.3	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料	3.16E-06	8.13E-06
	24	顶部表面 30cm		4.7	300mm 砼+30mm 硫酸 钡防护涂料	1.87E-06	2.37E-06
	25	楼下地面 1.7m 处		4.7	300mm 砼+30mm 硫酸 钡防护涂料	1.87E-06	2.37E-06
	控制 区	东墙表面 30cm		4.0	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂料	3.16E-08	5.54E-08
		南墙表面 30cm		3.2	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂料	3.16E-08	8.65E-08
		患者防护门 表面 30cm		3.2	6mmPb 防护门	1.00E-06	2.74E-06
PET/CT 机房	26	摆位工作位	3.70E+08 ×1 (¹⁸ F, 1 人 扫描)	1.0	0.5mmPb 铅衣	9.33E-01	49.4
	27	操作位		5.1	8mmPb 观察窗	3.30E-01	0.671
	28	东墙表面 30cm		5.1	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂料	5.32E-02	0.108
	29	医护防护门 表面 30cm		5.1	8mmPb 防护门	3.30E-01	0.671

	30	西墙表面 30cm		3.8	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂料	5.32E-02	0.195
	31	北墙表面 30cm		3.3	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂料	5.32E-02	0.258
	32	顶部表面 30cm		4.7	300mm 砼+30mm 硫酸 钡防护涂料	1.30E-02	3.11E-02
	33	楼下地面 1.7m 处		4.7	300mm 砼+30mm 硫酸 钡防护涂料	1.30E-02	3.11E-02
	控制 区	南墙表面 30cm		3.2	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂料	5.32E-02	0.275
		患者防护门 表面 30cm		3.2	8mmPb 防护门	3.30E-01	1.71
ECT 留观室	34	南墙表面 30cm	9.25E+08 ×2 (^{99m} Tc, 2 人同时留 观)	1.0	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料	3.16E-06	1.77E-04
	35	西墙表面 30cm		1.0	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料	3.16E-06	1.77E-04
	36	顶部表面 30cm		4.7	300mm 砼+30mm 硫酸 钡防护涂料	1.87E-06	4.75E-06
	37	楼下地面 1.7m 处		4.7	300mm 砼+30mm 硫酸 钡防护涂料	1.87E-06	4.75E-06
	控制 区	东墙表面 30cm		1.8	700mm 砼+40mm 硫酸 钡防护涂料	4.33E-11	7.49E-10
		北墙表面 30cm		3.1	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂料	3.16E-08	1.84E-07
		防护门 表面 30cm		3.1	6mmPb 防护门	1.00E-06	5.83E-06
PET 留观 室 1、2	38	南墙表面 30cm	3.70E+08 ×2 (¹⁸ F, 2 人 同时留观)	2.1	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂料	5.32E-02	1.28
	39	西墙表面 30cm		1.8	400mm 砼+60mm 硫酸 钡防护涂料	2.32E-03	7.58E-02
	40	北墙表面 30cm		4.0	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂料	5.32E-02	0.352
	41	顶部表面 30cm		4.7	300mm 砼+30mm 硫酸 钡防护涂料	1.30E-02	6.23E-02
	42	楼下地面 1.7m 处		4.7	300mm 砼+30mm 硫酸 钡防护涂料	1.30E-02	6.23E-02
	控制 区	东墙表面 30cm		1.0	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂料	5.32E-02	5.63
		防护门 表面 30cm		2.3	8mmPb 防护门	3.30E-01	6.60
甲功室	43	东墙表面 30cm	3.70E+05 ×1	1.0	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料	4.33E-02	9.53E-04

	44	顶部表面 30cm	(131I, 1人 诊断)	4.7	300mm 砼+30mm 硫酸 钡防护涂料	9.17E-03	9.14E-06
	45	楼下地面 1.7m 处		4.7	300mm 砼+30mm 硫酸 钡防护涂料	9.17E-03	9.14E-06
	控 制 区	南、西、北墙 表面 30cm		1.0	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂料	2.85E-02	6.27E-04
		防护门 表面 30cm		1.0	6mmPb 防护门	0.285	6.27E-03
18F 注射用药物传递			3.70E+08 ×10 (每批次转 运量)	0.5	10mmPb 注射器铅套 +10mmPb 转运铅盒	6.24E-02	132
18F 质检用药物传递			3.70E+07	0.5	20mmPb 铅罐	6.24E-02	1.32

注：地下一层层高为 5.4m，地下二层层高为 5.4m。

根据表 11-5 计算结果可知，核医学科内操作放射性核素 ^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{67}Ga 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{123}I 、 ^{131}I 时：

(1) 热室表面 30cm 处人员操作位的辐射剂量率最大为 $0.581\mu\text{Sv/h}$ ，非正对人员操作位表面的辐射剂量率最大为 $6.82\mu\text{Sv/h}$ ；质控室的通风柜 30cm 处人员操作位的辐射剂量率最大为 $1.32\mu\text{Sv/h}$ ，非正对人员操作位表面的辐射剂量率最大为 $5.28\mu\text{Sv/h}$ ；PET 注射室的手套箱 30cm 处人员操作位的辐射剂量率最大为 $0.824\mu\text{Sv/h}$ ，非正对人员操作位表面的辐射剂量率最大为 $3.30\mu\text{Sv/h}$ ；ECT 注射室的手套箱 30cm 处人员操作位的辐射剂量率最大为 $0.134\mu\text{Sv/h}$ ，非正对人员操作位表面的辐射剂量率最大为 $0.535\mu\text{Sv/h}$ ，满足热室、通风柜、手套箱外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 $25\mu\text{Sv/h}$ 的要求；

(2) 核医学科控制区边界外表面 30cm 处辐射剂量率最大为 $1.28\mu\text{Sv/h}$ ，控制区内各房间外人员居留因子小于 1/2 处的周围剂量当量率最大为 $6.60\mu\text{Sv/h}$ ，满足控制区内各房间的四周墙体、防护门、顶部外表面 30cm 处及底部人员可达处的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，若控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所（人员居留因子 $<1/2$ ），周围剂量当量率应小于 $10\mu\text{Sv/h}$ 的要求；

(3) PET 注射位处辐射剂量率最大为 $0.769\mu\text{Sv/h}$ ，ECT 注射位处辐射剂量率最大为 $3.54\text{E-}19\mu\text{Sv/h}$ ，满足注射位处周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要求；

(4) 摆位工作位、 ^{18}F 注射用药物转移时辐射剂量率较大，工作人员开展上述工作时应穿戴个人防护用品，并尽量缩短受照时间。

2、β射线及韧致辐射影响分析

根据表 9-4，本项目主要考虑β射线及韧致辐射影响的核素主要为核素 ^{32}P 、 ^{89}Sr 。

(1) β 射线对周围环境的影响

β 粒子在低 Z 物质中的射程，与能量等于 β 粒子最大能量的单能电子的射程是一样的，可以采用方杰主编的《辐射防护导论》中的公式（4.15）进行计算：

$$d \approx R/\rho \quad \text{公式 (11-6)}$$

公式中：

d: β 粒子的最大射程，cm；

R: β 粒子在低 Z 物质中的射程，g/cm²；

ρ : 物质的密度，g/cm³。

本项目放射性核素 ³²P、⁸⁹Sr 在低 Z 物质中的射程 R 可根据方杰主编的《辐射防护导论》中的公式（4.13）进行计算：

$$R=0.412 \cdot E^{(1.265-0.0954 \cdot \ln E)} \quad \text{公式 (11-7)}$$

公式中：E: β 射线能量（MeV）。

根据公式（11-6）和公式（11-7）可估算出本项目放射性核素衰变放出的 β 射线在不同材料中的射程，预测结果见表 11-6。

表 11-6 放射性核素衰变放出的 β 射线在不同材料中的射程

核素	E (MeV)	R (g·cm ⁻²)	材料	密度 (g·cm ⁻³)	射程 (cm)
³² P	1.71	0.79	有机玻璃	1.18	0.67
			铅	11.34	0.07
			实心砖	1.65	0.479
			混凝土	2.35	0.336
			水	1	0.79
			空气	1.293×10 ⁻³	611
⁸⁹ Sr	1.5	0.677	有机玻璃	1.18	0.574
			铅	11.34	0.06
			实心砖	1.65	0.411
			混凝土	2.35	0.288
			水	1	0.677
			空气	1.293×10 ⁻³	524

由表 11-6 可知，放射性核素 ³²P、⁸⁹Sr 衰变放出的 β 射线在空气中的射程分别为 611cm 和 524cm，在未屏蔽情况下对周围环境影响较大。

本项目放射性核素 ⁸⁹Sr 为成品注射针剂，注射器为有机玻璃，且在有足够厚度的实体屏蔽的房间内进行，可有效的降低 β 射线的影响。本项目 ³²P 敷贴器的制备在手套箱内

进行，手套箱壁约为 20mmPb，ECT 注射室和敷贴室有足够厚度的实体屏蔽，均能够将β射线完全屏蔽，不会对外部产生辐射影响。制备或实施治疗时工作人员将身着 0.5mmPb 铅服，戴有机玻璃眼镜或面罩等个人防护措施，对工作人员影响很小。制作好的敷贴器背面（不接触患者或受检者皮肤的一面）用不小于 3mm 的橡皮覆盖屏蔽，可有效的降低β射线的影响。

(2) 韧致辐射对周围环境的影响

对于能量为 E 的β射线在屏蔽材料中产生的韧致辐射可采用方杰主编的《辐射防护导论》中的公式（4.21）进行计算：

$$\dot{H}_r = 4.58 \times 10^{-14} A \cdot Z_e \cdot \left(\frac{E_b}{r}\right)^2 \cdot \frac{\mu_{en}}{\rho} \cdot q \cdot \eta \quad \text{公式 (11-8)}$$

上式中：

\dot{H}_r — β射线在屏蔽材料中产生的韧致辐射在 r (m) 处剂量当量率，Sv/h；

A — 放射源活度，Bq；

Z_e — 吸收β粒子的屏蔽材料有效原子序数，查《辐射防护导论》P129 表 4.4；

μ_{en}/ρ — 韧致辐射的平均能量在空气中的质量能量吸收系数， $m^2 \cdot kg^{-1}$ ，可查《辐射防护导论》附表 1；

q — 居留因子；

r — 参考点到放射源的距离，m；

η — 透射比，查《辐射防护导论》附表 9 和附表 11；

E_b — 韧致辐射的平均能量，MeV，根据《辐射防护导论》P132“韧致辐射具有连续能谱。在实际屏蔽计算时，可以假定韧致辐射的平均能量 E_b 是入射β粒子的最大能量的 1/3，即 $E_b \approx E_{max}/3$ ”。

在进行韧致辐射预测时保守假设：①放射源与参考点之间的β射线屏蔽材料取空气；②居留因子 q 取 1。β射线所致韧致辐射防护计算参数及预测结果见表 11-7。

表 11-7 β射线所致韧致辐射剂量预测结果（核素 ^{90}Y ）

参考点位	屏蔽防护	A (Bq)	E_b (MeV)	μ_{en}/ρ	Z_e	η	r (m)	参考点处 剂量率 \dot{H}_r 估算值 ($\mu Sv/h$)
ECT 注射室的 注射位	手套箱人员操作位表面 30cm	2.664E+09 (^{32}P 日最大操作量)	0.57	2.46E-03	7.36	8.33E-02	0.5	0.239
	手套箱非正对人员操作位表面		0.57	2.46E-03	7.36	8.33E-02	0.25	0.957
	20mmPb 注	1.48E+08	0.5	2.966E-03	7.36	5.00E-02	0.5	7.40E-03

	射窗+0.5mm 铅衣	(⁸⁹ Sr 单人最大注射量)						
敷贴室	四周墙体表面 30cm	4.44E+08 (单个 ³² P 敷贴器最大用量)	0.57	2.46E-03	7.36	5.56E-03	1	6.65E-04
	防护门表面 0.3m		0.57	2.46E-03	7.36	0.5	1.5	2.66E-02
	顶部表面 30cm		0.57	2.46E-03	7.36	4.17E-02	4.7	2.26E-04
	楼下地面 1.7m 处		0.57	2.46E-03	7.36	4.17E-02	4.7	2.26E-04
	单名患者敷贴位		0.57	2.46E-03	7.36	1	0.5	0.478

根据表 11-7 计算结果可知：

(1) 在手套箱内制备 ³²P 敷贴器时，手套箱表面 30cm 处人员操作位的辐射剂量率最大为 0.239 μ Sv/h，非正对人员操作位表面的辐射剂量率最大为 0.957 μ Sv/h，满足手套箱外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 2.5 μ Sv/h，非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 25 μ Sv/h 的要求；

(2) 在敷贴室内进行敷贴治疗时，敷贴室外辐射剂量率最大为 2.66E-02 μ Sv/h，满足控制区内各房间的四周墙体、防护门、顶部外表面 30cm 处及底部人员可达处的周围剂量当量率小于 2.5 μ Sv/h，若控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所（人员居留因子 < 1/2），周围剂量当量率应小于 10 μ Sv/h 的要求；

(3) 注射 ⁸⁹Sr 时的注射位处辐射剂量率最大为 7.40E-03 μ Sv/h，单名患者敷贴位处辐射剂量率最大为 0.478 μ Sv/h，满足注射位处周围剂量当量率小于 2.5 μ Sv/h 的要求。

3、 α 射线辐射影响分析

α 射线在空气中的射程很短，本项目核医学科采取了实体屏蔽措施，在满足 γ 射线防护的情况下， α 射线对医护人员和周围公众外照射辐射影响较小，可忽略不计。

本项目 ²²³Ra 放射性药物为成品注射针剂，注射器为有机玻璃，且在有足够厚度的实体屏蔽的房间内进行，工作场所内设计有良好的通风，辐射工作人员进入控制区均穿戴工作服、一次性手套、工作鞋，并佩戴过滤式口罩，人员不在控制区内进行进食、饮水、吸烟、化妆等无关工作，本项目放射性药物正常操作过程中，不会被工作人员摄入体内，不会造成内照射影响。

4、X 射线辐射影响分析

(1) 机房的屏蔽防护铅当量厚度与标准要求的相符性

对于 PET/CT 机房、SPECT/CT 机房，除考虑放射性药物产生的 γ 射线的辐射影响外，还需考虑 PET/CT、SPECT/CT 运行时 CT 产生的 X 射线的辐射影响。针对 PET/CT、SPECT/CT 中 CT 发出的 140kV 的 X 射线，根据表 10-7 并对照《放射诊断放射

防护要求》（GBZ130-2020）附录表 C，本项目 PET/CT 机房、SPECT/CT 机房屏蔽体等效屏蔽铅当量及尺寸大小见表 11-8。

表 11-8 本项目 PET/CT 机房、SPECT/CT 机房屏蔽符合性分析

场所名称	屏蔽体	屏蔽设计参数	等效铅当量 (mm)	标准要求铅当量 (mm)	评价结果
PET/CT 机房	四周墙体	240mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡防护涂料	8	2.5	满足要求
	顶部	300mm 砼+30mm 硫酸钡防护涂料	6.5	2.5	满足要求
	底部	300mm 砼+30mm 硫酸钡防护涂料	6.5	2.5	满足要求
	患者防护门	8mmPb 防护门	8	2.5	满足要求
	医护防护门	8mmPb 防护门	8	2.5	满足要求
	观察窗	8mmPb 铅玻璃	8	2.5	满足要求
	尺寸大小	长 7.76m、宽 4.53m，有效使用面积约为 35.2m ²			
SPECT/CT 机房	东、南墙	240mm 实心砖墙+60mm 硫酸钡防护涂料	8	2.5	满足要求
	西、北墙	240mm 实心砖墙+40mm 硫酸钡防护涂料	6	2.5	
	顶部	300mm 砼+30mm 硫酸钡防护涂料	6.5	2.5	满足要求
	底部	300mm 砼+30mm 硫酸钡防护涂料	6.5	2.5	满足要求
	患者防护门	6mmPb 防护门	6	2.5	满足要求
	医护防护门	6mmPb 防护门	6	2.5	满足要求
	观察窗	6mmPb 铅玻璃	6	2.5	满足要求
	尺寸大小	长约 7.3m、宽 4.48m，有效使用面积约为 32.7m ²			

根据表 11-8，本项目 PET/CT 机房、SPECT/CT 机房的尺寸大小均能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“CT 机房最小单边长度应不小于 4.5m、最小有效使用面积应不小于 30m²”的要求，机房四周墙体、顶部、底部、防护门及观察窗屏蔽厚度均不小于 6mm 铅当量，能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）“CT 机房屏蔽防护铅当量厚度不小于 2.5mm 铅当量”的要求。

（2）机房屏蔽效果预测

本项目 PET/CT、SPECT/CT 日常使用中管电压范围为 80kV~120kV、管电流为 20~200mA，本项目在计算漏射线和散射线辐射影响时，工况保守取 120kV、200mA 进行计算。

① 泄漏辐射预测

泄漏辐射空气比释动能率 \dot{H}_L 采用下式计算：

$$\dot{H}_L = \frac{H_1 \cdot B}{R^2} \quad \text{公式 (11-9)}$$

式中：

H_1 —距靶 1m 处泄漏射线的空气比释动能率，本项目 PET/CT、SPECT/CT 离焦点 1m 处的泄漏辐射空气比释动能率为 1.0mGy/h；

R—靶点至关注点的距离，见附图 21；

B—屏蔽透射因子，无量纲，计算公式见式 (11-10)。

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{-\alpha X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{\frac{1}{\gamma}} \quad \text{公式 (11-10)}$$

式中：

α 、 β 、 γ —铅对相应管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数，根据 GBZ 130-2020 表 C.2 管电压为 120kV（本项目正常运行最大管电压）下铅的 α 、 β 、 γ 数值分别为 2.246、5.73、0.547；

X—铅厚度。

将有关参数代入公式 (11-9) 和公式 (11-10)，本项目 PET/CT、SPECT/CT 机房四周屏蔽体、顶部、底板外关注点处的泄漏辐射空气比释动能率计算结果见表 11-9。

表 11-9 PET/CT、SPECT/CT 机房外关注点处泄漏辐射空气比释动能率计算结果

场所名称	关注点位置	H_1 (mGy/h)	等效铅当量 (mmPb)	R (m)	B	\dot{H}_L (μ Gy/h)
PET/CT 机房	东墙表面外 30cm	1	8	5.1	1.55E-09	5.96E-08
	南墙表面外 30cm	1	8	3.2	1.55E-09	1.51E-07
	西墙表面外 30cm	1	8	3.8	1.55E-09	1.07E-07
	北墙表面外 30cm	1	8	3.3	1.55E-09	1.42E-07
	楼上地面 30cm	1	6.5	4.7	4.51E-08	2.04E-06
	楼下地面 1.7m	1	6.5	4.7	4.51E-08	2.04E-06
	患者防护门表面外 30cm	1	8	3.2	1.55E-09	1.51E-07
	医护防护门表面外 30cm	1	8	5.1	1.55E-09	5.96E-08
	观察窗表面外 30cm	1	8	5.1	1.55E-09	5.96E-08
SPECT/CT 机房	东墙表面外 30cm	1	8	4.0	1.55E-09	9.69E-08
	南墙表面外 30cm	1	8	3.2	1.55E-09	1.51E-07
	西墙表面外 30cm	1	6	4.9	1.39E-07	5.77E-06
	北墙表面外 30cm	1	6	3.3	1.39E-07	1.27E-05
	楼上地面 30cm	1	6.5	4.7	4.51E-08	2.04E-06

	楼下地面 1.7m	1	6.5	4.7	4.51E-08	2.04E-06
	患者防护门表面外 30cm	1	6	3.2	1.39E-07	1.35E-05
	医护防护门表面外 30cm	1	6	4.9	1.39E-07	5.77E-06
	观察窗表面外 30cm	1	6	4.9	1.39E-07	5.77E-06

②散射辐射预测

由《辐射防护手册》（第一分册）给出的X射线机散射线在关注点的周比释动能计算公式（公式 10.10）进行推导，得到散射线在关注点处的比释动能率 H_s 的计算公式（推导中，将原公式中的使用因子、居留因子均取为 1）：

$$H_s = \frac{H_0 \cdot I \cdot a \cdot (s / 400) \cdot B_s}{d_0^2 \cdot d_s^2} \quad \text{公式 (11-11)}$$

式中：

H_0 —距靶点 1m 处的最大剂量率， $\text{mGy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ；本项目 PET/CT、SPECT/CT 距靶点 1m 处的最大剂量率取 $9\text{mGy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ；

a —人体对 X 射线的散射照射量与入射照射量之比值，查《辐射防护手册》（第一分册）表 10.1，对于本项目设备正常工作使用电压最大为 120kV 时的 a 查取值为 0.0014；

S —主束在患者体上的散射面积，本项目取 100cm^2 ；

d_0 —源至受照点的距离，根据 GBZ130-2020 第 5.2.1 条，本项目 d_0 保守取最小值 0.3m；

d_s —受照体至关注点的距离，m；

B_s —屏蔽材料对散射线的透射因子，无量纲，按公式（11-10）计算。此处的散射线指本项目最大常用管电压（120kV，即 0.12MV）下有用线束（初级 X 射线）的散射线，其能量偏保守取有用线束侧向（散射角 $\theta=90^\circ$ ）的一次散射线能量，可借鉴康普顿散射定律计算一次散射线能量 E 与入射的初级 X 射线能量 E_0 之比值为 $E/E_0=1/[1+E_0(1-\cos\theta)/0.511]=1/[1+0.12(1-\cos90^\circ)/0.511]=0.81$ ，继而计算一次散射线能量 E 对应的 kV 值为 $120\text{kV} \times 0.81=97.2\text{kV}$ ，近似取为 100kV，再从 GBZ 130-2020 表 C.2 中查取对应于 100kV 的 α 、 β 、 γ 数值（具体见表 11-10），将其代入公式（11-11）计算散射辐射屏蔽透射因子 B_s 。

表 11-10 铅对管电压 100kV 的 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

管电压	α	β	γ
100kV	2.507	15.33	0.9124

将有关参数代入公式（11-10）和公式（11-11），本项目 PET/CT、SPECT/CT 机房四

周屏蔽体、顶部、底板外关注点处的散射辐射空气比释动能率计算结果见表 11-11。

表 11-11 PET/CT、SPECT/CT 机房外关注点处散射辐射空气比释动能率计算结果

场所名称	关注点位置	H_0 ($\text{mGy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$)	I (mA)	a	S (cm^2)	B_s	d_0 (m)	d_s (m)	H_s ($\mu\text{Gy}/\text{h}$)
PET/CT 机房	东墙表面 外 30cm	9	200	0.0014	100	2.27E-10	0.3	5.1	3.66E-06
	南墙表面 外 30cm	9	200	0.0014	100	2.27E-10	0.3	3.2	9.31E-06
	西墙表面 外 30cm	9	200	0.0014	100	2.27E-10	0.3	3.8	6.60E-06
	北墙表面 外 30cm	9	200	0.0014	100	2.27E-10	0.3	3.3	8.75E-06
	楼上地面 30cm	9	200	0.0014	100	9.75E-09	0.3	4.7	1.85E-04
	楼下地面 1.7m	9	200	0.0014	100	9.75E-09	0.3	4.7	1.85E-04
	患者防护 门表面外 30cm	9	200	0.0014	100	2.27E-10	0.3	3.2	9.31E-06
	医护防护 门表面外 30cm	9	200	0.0014	100	2.27E-10	0.3	5.1	3.66E-06
	观察窗表 面外 30cm	9	200	0.0014	100	2.27E-10	0.3	5.1	3.66E-06
SPECT/CT 机房	东墙表面 外 30cm	9	200	0.0014	100	2.27E-10	0.3	4.0	5.96E-06
	南墙表面 外 30cm	9	200	0.0014	100	2.27E-10	0.3	3.2	9.31E-06
	西墙表面 外 30cm	9	200	0.0014	100	3.41E-08	0.3	4.9	5.97E-04
	北墙表面 外 30cm	9	200	0.0014	100	3.41E-08	0.3	3.3	1.32E-03
	楼上地面 30cm	9	200	0.0014	100	9.75E-09	0.3	4.7	1.85E-04
	楼下地面 1.7m	9	200	0.0014	100	9.75E-09	0.3	4.7	1.85E-04
	患者防护 门表面外 30cm	9	200	0.0014	100	3.41E-08	0.3	3.2	1.40E-03
	医护防护 门表面外 30cm	9	200	0.0014	100	3.41E-08	0.3	4.9	5.97E-04
	观察窗表 面外 30cm	9	200	0.0014	100	3.41E-08	0.3	4.9	5.97E-04

③叠加辐射预测

根据表 11-9 和表 11-11，并叠加放射性核素发出的 γ 射线对 PET/CT、SPECT/CT 机房外关注点的辐射影响（表 11-5），本项目 PET/CT、SPECT/CT 机房四周屏蔽体、顶部、底板外关注点处的叠加辐射剂量率计算结果见表 11-12。

表 11-12 PET/CT、SPECT/CT 机房外关注点处叠加辐射剂量率计算结果（ $\mu\text{Sv/h}$ ）

场所名称	关注点位置	X 射线泄漏辐射 ($\mu\text{Gy/h}$)	X 射线散射辐射 ($\mu\text{Gy/h}$)	γ 射线辐射 ($\mu\text{Sv/h}$)	叠加剂量 ($\mu\text{Sv/h}$)	剂量限值 ($\mu\text{Sv/h}$)
PET/CT 机房	东墙表面外 30cm	5.96E-08	3.66E-06	0.108	0.108	2.5
	南墙表面外 30cm	1.51E-07	9.31E-06	0.275	0.275	
	西墙表面外 30cm	1.07E-07	6.60E-06	0.195	0.195	
	北墙表面外 30cm	1.42E-07	8.75E-06	0.258	0.258	
	楼上地面 30cm	2.04E-06	1.85E-04	3.11E-02	3.13E-02	
	楼下地面 1.7m	2.04E-06	1.85E-04	3.11E-02	3.13E-02	
	患者防护门表面 外 30cm	1.51E-07	9.31E-06	1.71	1.71	
	医护防护门表面 外 30cm	5.96E-08	3.66E-06	0.671	0.671	
	观察窗表面外 30cm	5.96E-08	3.66E-06	0.671	0.671	
SPECT/CT 机房	东墙表面外 30cm	9.69E-08	5.96E-06	5.54E-08	6.11E-06	2.5
	南墙表面外 30cm	1.51E-07	9.31E-06	8.65E-08	9.55E-06	
	西墙表面外 30cm	5.77E-06	5.97E-04	3.69E-06	6.06E-04	
	北墙表面外 30cm	1.27E-05	1.32E-03	8.13E-06	1.34E-03	
	楼上地面 30cm	2.04E-06	1.85E-04	2.37E-06	1.89E-04	
	楼下地面 1.7m	2.04E-06	1.85E-04	2.37E-06	1.89E-04	
	患者防护门表面 外 30cm	1.35E-05	1.40E-03	2.74E-06	1.42E-03	
	医护防护门表面 外 30cm	5.77E-06	5.97E-04	1.17E-06	6.04E-04	
	观察窗表面外 30cm	5.77E-06	5.97E-04	1.17E-06	6.04E-04	

注：Sv 与 Gy 转换系数保守取 1。

根据表 11-12 可知，PET/CT、SPECT/CT 中的 CT 运行对机房周围环境的辐射影响较小，叠加放射性核素发出的 γ 射线所致辐射剂量率后，本项目 PET/CT、SPECT/CT 机房外关注点处的叠加辐射剂量率仍能满足本项目辐射剂量率的管理限值。

本项目回旋加速器区域在科室开诊前生产 ^{18}F 药物，故回旋加速器与 PET/CT、SPECT/CT 不会同时开机。同时根据表 11-12 可知，PET/CT 所致控制室处的辐射剂量率

为 0.671 μ Sv/h，SPECT/CT 所致控制室处的辐射剂量率为 6.04E-04 μ Sv/h，则 PET/CT、SPECT/CT 同时开机所致控制室处的叠加辐射剂量率为 0.672 μ Sv/h，仍能满足本项目辐射剂量率的管理限值。

5、 α 、 β 表面污染辐射影响分析

α 、 β 表面污染的影响主要来源于液体放射性核素操作时打翻、漏洒造成地面、台面、设备仪器表面污染，对周围环境产生辐射影响。因此，为了使本项目非密封放射性物质工作场所的 α 、 β 表面污染水平达到 GB18871-2002 规定的要求，医院拟采取以下防护措施：

- ①使用、操作放射性物质的工作人员接受相关培训，具备相应的技能与防护知识；
- ②合成、分装、开瓶等易产生放射性物质逸出或飞散的操作，其操作在热室、通风柜、手套箱内进行；
- ③操作液体放射性物质在易去除污染的工作台上进行，并铺以吸水性好的材料；
- ④不允许用裸露的手直接接触放射性物质或进行污染物件操作；
- ⑤划定控制区和监督区，禁止无关人员进入控制区；
- ⑥放射性操作之后对工作台、设备、地面及个人防护用品等进行表面污染检测，如 α 、 β 表面污染水平超过 GB18871-2002 规定值，暂停开展相关业务，去污经监测符合标准后方可重新开展工作。

11.2.2 核素病房

1、 γ 射线辐射影响分析

根据表 9-5，本项目核素病房放射性核素 ^{131}I 、 ^{177}Lu 主要考虑 γ 射线的辐射影响，根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）和《辐射防护手册》（第三分册），放射性核素 ^{131}I 、 ^{177}Lu 对应铅、砖、混凝土的什值层见表 11-13。

表 11-13 放射性核素对应屏蔽物质的什值层取值一览表（单位：mm）

核素	铅（11.3g/cm ³ ）	砖（1.65g/cm ³ ）	混凝土（2.35g/cm ³ ）
^{131}I	11	240	170
^{177}Lu	2.5	213	150

根据公式（11-4）和公式（11-5），本项目核素病房各参考点处的辐射水平计算结果见表 11-14，参考点位置见附图 22。

表 11-14 本项目核素病房各参考点位辐射水平计算结果一览表

参考点位		活度 A (Bq)	衰减距离 R (m)	防护措施	透射比 η	参考点辐射 水平($\mu\text{Sv/h}$)	
分装室	碘自动分装仪人员 操作位表面 30cm	2.22E+10 (^{131}I , 日最 大操作量)	0.5	40mmPb	2.31E-04	1.22	
	碘自动分装仪非正 对人员操作位表面		0.25	40mmPb	2.31E-04	4.88	
	手套箱人员操作位 表面 30cm	1.48E+10 (^{177}Lu , 日 最大操作 量)	0.5	10mmPb	1.00E-04	0.037	
	手套箱非正对人员 操作位表面		0.25	10mmPb	1.00E-04	0.149	
	^{131}I 给药位	3.70E+09 (^{131}I , 单人最 大用量)	0.5	40mmPb 碘分装仪 +20mmPb 铅玻璃	3.51E-06	3.09E-03	
	^{177}Lu 注射位	7.40E+09 (^{177}Lu , 单人 最大注射量)	0.5	20mmPb 铅玻璃	1.00E-08	3.73E-06	
	1	北墙表面 30cm	2.22E+10 (^{131}I , 日最 大操作量)	3.2	40mmPb 碘分装仪 +240mm 实心砖 +60mm 硫酸钡防护涂 料	6.58E-06	8.49E-04
	2	顶部表面 30cm		4.7	40mmPb 碘分装仪 +300mm 砼+60mm 硫 酸钡防护涂料	1.13E-06	6.76E-05
	3	楼下地面 1.7m 处		4.7	40mmPb 碘分装仪 +300mm 砼+60mm 硫 酸钡防护涂料	1.13E-06	6.76E-05
	控制 区	南墙表面 30cm		2.3	40mmPb 碘分装仪 +240mm 实心砖 +70mm 硫酸钡防护涂 料	5.34E-06	1.33E-03
南侧防护门 表面 30cm		2.3		40mmPb 碘分装仪 +8mmPb 防护门	4.33E-05	1.08E-02	
西侧防护门 表面 30cm		5.9		40mmPb 碘分装仪 +8mmPb 防护门	4.33E-05	1.64E-03	
1# (2#) 核素 病房	4	3.70E+09 $\times 1$ (^{131}I , 1 人 住院治疗)		3.9	370mm 实心砖+80mm 硫酸钡防护涂料	5.38E-03	7.79E-02
	5		南墙表面 30cm	3.2	370mm 实心砖+80mm 硫酸钡防护涂料	5.38E-03	0.116
			防护高窗	3.2	20mmPb	1.52E-02	0.327
	6		顶部表面 30cm	4.7	300mm 砼+60mm 硫酸 钡防护涂料	4.90E-03	4.88E-02

	7	楼下地面 1.7m处		4.7	300mm 砼+60mm 硫酸 钡防护涂料	4.90E-03	4.88E-02
	控制区	西(东)墙 表面 30cm		1.3	370mm 实心砖+80mm 硫酸钡防护涂料	5.38E-03	0.701
		北墙表面 30cm		6.5	370mm 实心砖+80mm 硫酸钡防护涂料	5.38E-03	2.80E-02
		防护门表面 30cm		6.5	10mmPb 防护门	0.123	0.641
3#(4#) 核素 病房	8	南墙表面 30cm	3.70E+09 ×2 (¹³¹ I, 2人 住院治疗)	2.2	370mm 实心砖+80mm 硫酸钡防护涂料	5.38E-03	0.489
		防护高窗		2.2	20mmPb	1.52E-02	1.38
	9	顶部表面 30cm		4.7	300mm 砼+60mm 硫酸 钡防护涂料	4.90E-03	9.77E-02
	10	楼下地面 1.7m处		4.7	300mm 砼+60mm 硫酸 钡防护涂料	4.90E-03	9.77E-02
	控制区	东(西)墙 表面 30cm		3.9	370mm 实心砖+80mm 硫酸钡防护涂料	5.38E-03	0.156
		西(东)墙 表面 30cm		1.3	370mm 实心砖+80mm 硫酸钡防护涂料	5.38E-03	1.40
		北墙表面 30cm		5.0	370mm 实心砖+80mm 硫酸钡防护涂料	5.38E-03	9.48E-02
		防护门表面 30cm		5.0	10mmPb 防护门	0.123	2.17
6#核素 病房	11	南墙表面 30cm	7.40E+09 ×2 (¹⁷⁷ Lu, 2 人住院治 疗)	2.2	370mm 实心砖+80mm 硫酸钡防护涂料	1.16E-05	2.23E-04
		防护高窗		2.2	20mmPb	2.99E-10	5.77E-09
	12	西墙表面 30cm		4.0	370mm 实心砖+80mm 硫酸钡防护涂料	1.16E-05	6.76E-05
	13	顶部表面 30cm		4.7	300mm 砼+60mm 硫酸 钡防护涂料	3.98E-05	1.68E-04
	14	楼下地面 1.7m处		4.7	300mm 砼+60mm 硫酸 钡防护涂料	3.98E-05	1.68E-04
	控制区	东墙表面 30cm		1.3	370mm 实心砖+80mm 硫酸钡防护涂料	1.16E-05	6.40E-04
		北墙表面 30cm		5.0	370mm 实心砖+80mm 硫酸钡防护涂料	1.16E-05	4.33E-05
		防护门表面 30cm		5.0	10mmPb 防护门	1.00E-04	3.73E-04
抢救室	15	东墙表面 30cm	3.70E+09 ×1 (¹³¹ I, 1人 抢救)	1.6	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂料	2.85E-02	2.45
	16	北墙表面 30cm		3.5	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂料	2.85E-02	0.512

	17	北侧防护门表面 30cm		3.8	12mmPb 防护门	8.11E-02	1.24
	18	顶部表面 30cm		4.7	300mm 砼+60mm 硫酸钡防护涂料	4.90E-03	4.88E-02
	19	楼下地面 1.7m 处		4.7	300mm 砼+60mm 硫酸钡防护涂料	4.90E-03	4.88E-02
	控制区	南墙表面 30cm		1.9	240mm 实心砖+70mm 硫酸钡防护涂料	2.31E-02	1.41
		西墙表面 30cm		2.9	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂料	2.85E-02	0.746
		南侧防护门表面 30cm		2.4	8mmPb 防护门	0.187	7.15

注：①一楼层高为 5.4m，地下一楼层高为 5.4m。

②3#、4#、6#核素病房取最近病床至各侧参考点的距离，并保守不考虑铅屏风屏蔽效果。

根据表 11-14 可知，核素病房内操作放射性核素 ^{131}I 、 ^{177}Lu 时：

(1) 碘自动分装仪表面 30cm 处人员操作位的辐射剂量率最大为 $1.22\mu\text{Sv/h}$ ，非正对人员操作位表面的辐射剂量率最大为 $4.88\mu\text{Sv/h}$ ；手套箱 30cm 处人员操作位的辐射剂量率最大为 $0.037\mu\text{Sv/h}$ ，非正对人员操作位表面的辐射剂量率最大为 $0.149\mu\text{Sv/h}$ ，满足碘自动分装仪、手套箱外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 $25\mu\text{Sv/h}$ 的要求；

(2) 核素病房控制区边界外表面 30cm 处辐射剂量率最大为 $2.45\mu\text{Sv/h}$ ，控制区内各房间外人员居留因子小于 1/2 处的周围剂量当量率最大为 $7.15\mu\text{Sv/h}$ ，满足控制区内各房间的四周墙体、防护门、顶部外表面 30cm 处及底部人员可达处的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，若控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所（人员居留因子 $<1/2$ ），周围剂量当量率应小于 $10\mu\text{Sv/h}$ 的要求；

(3) ^{131}I 给药位处辐射剂量率最大为 $3.09\text{E-}03\mu\text{Sv/h}$ ， ^{177}Lu 注射位处辐射剂量率最大为 $3.73\text{E-}06\mu\text{Sv/h}$ ，满足注射位或给药位处周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要求。

2、 α 射线辐射影响分析

根据表 9-6，本项目核素病房放射性核素 ^{225}Ac 主要考虑 α 射线的辐射影响，其辐射影响及拟采取的防护措施同核医学科。

3、 α 、 β 表面污染辐射影响分析

本项目核素病房 α 、 β 表面污染辐射影响及拟采取的防护措施同核医学科。

11.2.3 DSA 复合手术室

1、机房屏蔽符合性分析

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中表 3，C 型臂 X 射线设备机房有用线束方向和非有用线束方向铅当量均不低于 2.0mmPb 。本项目拟配备的 DSA 最大管电

压为 125kV，根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 C，在管电压 125kV 下，经内插法可得 120mm 砼约为 1.5mmPb。DSA 复合手术室采取的屏蔽厚度符合性分析见表 11-15。

表 11-15 DSA 复合手术室屏蔽符合性分析

项目		防护参数	等效屏蔽 (mmPb)	标准要求 (mmPb)	符合性
DSA 复合手术室	四周墙体	龙骨架+4mm 铅板	4	2.0	符合
	顶部	120mm 砼+2mm 铅板	1.5+2		符合
	底板	120mm 砼+2mmPb 硫酸钡防护涂料	1.5+2		符合
	防护门	4.0mmPb 防护门	4		符合
	观察窗	4mm 铅当量铅玻璃	4		符合

从表 11-15 可知，本项目 DSA 复合手术室的屏蔽防护措施能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中相关要求，即 C 型臂 X 射线设备机房屏蔽防护铅当量厚度不小于 2mm 铅当量的要求。

2、DSA 复合手术室辐射剂量计算

本项目 DSA 尚未运行，对机房周围辐射环境影响评价采用模式预测的方法进行影响分析。本项目 DSA 采用微机控制的自动剂量率控制高频 X 射线发生器，实际运行过程中会根据病人的身体情况和防护情况自动进行工况调节。一般情况下，DSA 透视常用最大管电压为 80kV，常用最大管电流 20mA；减影常用最大管电压 100kV，最大管电流 500mA。

本项目 DSA 复合手术室关注点见图 11-2，辐射源点至手术室外关注点的距离见表 11-16。

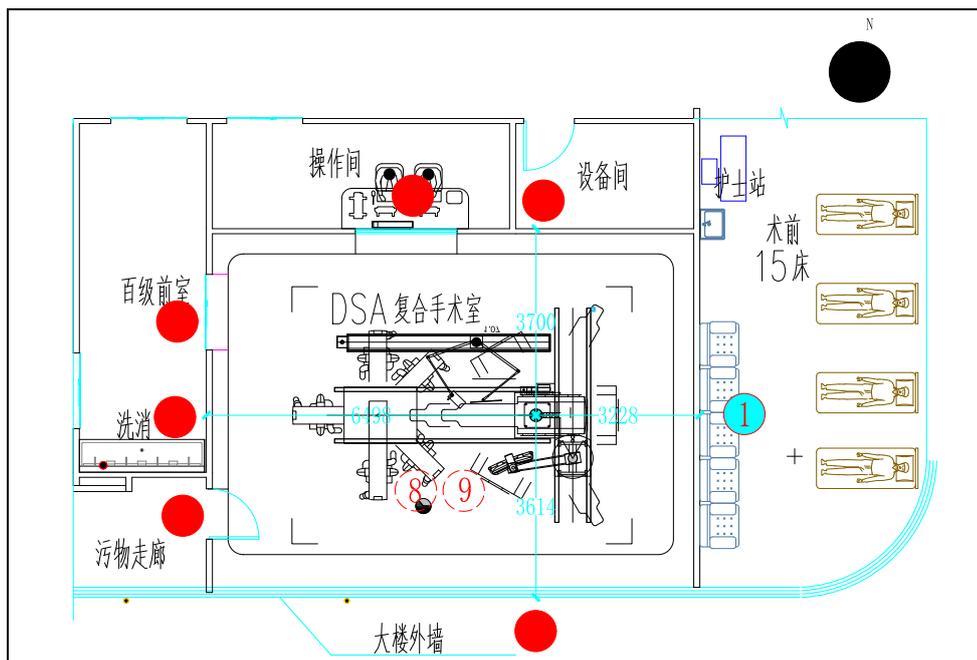


图 11-2 DSA 复合手术室关注点示意图（单位：mm）

表 11-16 DSA 复合手术室内辐射源点至手术室外关注点的距离

	编号	关注点位置	辐射源点至关注点的距离 d (m)
DSA 复合手 术室	1	手术室东墙外 30cm (术前准备室)	3.5
	2	手术室南墙外 30cm (不上人屋面)	3.9
	3	手术室西墙外 30cm (手术前室)	6.8
	4	手术室北墙外 30cm (控制室和设备间)	4.0
	5	观察窗表面 30cm (控制室)	4.0
	6	污物通道防护门表面外 30cm (污物走廊)	6.8
	7	患者通道防护门表面外 30cm (前室)	6.8
	8	手术室正上方 (综合办公室、值班室和净化空调机房地面 0.3m)	4.1
	9	手术室正下方 (换药室和休闲区地面 1.7m)	4.7

注：三层层高为 4.8m，二层层高为 5.4m。

本项目摄影工况按 100kV 取值，透射工况保守按 90kV 取值（GBZ 130-2020 附录 C 表 C.2 中仅有管电压 70kV 和 90kV 的参数取值，无 80kV 的参数取值），屏蔽透射因子取值如下：

表 11-17 各关注点位的屏蔽透射因子计算结果

类型	工作模式	关注点位	防护情况	折算铅当量	α	β	γ	B
泄漏 辐射	摄影	手术室东墙外 30cm	龙骨架+4mm 铅板	4mmPb	2.500	15.28	0.7557	3.39E-06
		手术室南墙外 30cm	龙骨架+4mm 铅板	4mmPb	2.500	15.28	0.7557	3.39E-06
		手术室西墙外 30cm	龙骨架+4mm 铅板	4mmPb	2.500	15.28	0.7557	3.39E-06
		手术室北墙外 30cm	龙骨架+4mm 铅板	4mmPb	2.500	15.28	0.7557	3.39E-06
		观察窗表面 30cm	4mm 铅当量铅玻璃	4mmPb	2.500	15.28	0.7557	3.39E-06
		污物通道防护门表面外 30cm	4.0mmPb 防护门	4mmPb	2.500	15.28	0.7557	3.39E-06
		患者通道防护门表面外 30cm	4.0mmPb 防护门	4mmPb	2.500	15.28	0.7557	3.39E-06
		手术室正上方	120mm 砵+2mm 铅板	3.5mmPb	2.500	15.28	0.7557	1.18E-05
		手术室正下方	120mm 砵+2mmPb 硫酸钡防护涂料	3.5mmPb	2.500	15.28	0.7557	1.18E-05

透视	手术室东墙 外 30cm	龙骨架+ 4mm 铅板	4mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69E-07	
	手术室南墙 外 30cm	龙骨架+ 4mm 铅板	4mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69E-07	
	手术室西墙 外 30cm	龙骨架+ 4mm 铅板	4mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69E-07	
	手术室北墙 外 30cm	龙骨架+ 4mm 铅板	4mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69E-07	
	观察窗表面 30cm	4mm 铅当量 铅玻璃	4mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69E-07	
	污物通道防 护门表面外 30cm	4.0mmPb 防护门	4mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69E-07	
	患者通道防 护门表面外 30cm	4.0mmPb 防护门	4mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69E-07	
	手术室 正上方	120mm 砼 +2mm 铅板	3.5mmPb	3.067	18.83	0.7726	1.17E-06	
	手术室 正下方	120mm 砼 +2mmPb 硫酸 钡防护涂料	3.5mmPb	3.067	18.83	0.7726	1.17E-06	
	第一术者位、 第二术者位 (铅衣内)	0.5mmPb 铅衣 +0.5mmPb 床侧 防护帘	1mmPb	3.067	18.83	0.7726	4.08E-03	
	第一术者位、 第二术者位 (铅衣外)	0.5mmPb 床侧防护帘	0.5mmPb	3.067	18.83	0.7726	2.52E-02	
	散射 辐射	摄影	手术室东墙 外 30cm	龙骨架+ 4mm 铅板	4mmPb	2.507	15.33	0.9124
手术室南墙 外 30cm			龙骨架+ 4mm 铅板	4mmPb	2.507	15.33	0.9124	5.14E-06
手术室西墙 外 30cm			龙骨架+ 4mm 铅板	4mmPb	2.507	15.33	0.9124	5.14E-06
手术室北侧 屏蔽墙外 30cm			龙骨架+ 4mm 铅板	4mmPb	2.507	15.33	0.9124	5.14E-06
观察窗表面 30cm			4mm 铅当量 铅玻璃	4mmPb	2.507	15.33	0.9124	5.14E-06
医护人员通 道防护门表 面外 30cm			4.0mmPb 防护门	4mmPb	2.507	15.33	0.9124	5.14E-06
患者通道防 护门表面外 30cm			4.0mmPb 防护门	4mmPb	2.507	15.33	0.9124	5.14E-06
手术室 正上方			120mm 砼 +2mm 铅板	3.5mmPb	2.507	15.33	0.9124	1.80E-05
手术室 正下方			120mm 砼 +2mmPb 硫酸 钡防护涂料	3.5mmPb	2.507	15.33	0.9124	1.80E-05

透视	手术室东墙外 30cm	龙骨架+4mm 铅板	4mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69E-07
	手术室南墙外 30cm	龙骨架+4mm 铅板	4mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69E-07
	手术室西墙外 30cm	龙骨架+4mm 铅板	4mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69E-07
	手术室北墙外 30cm	龙骨架+4mm 铅板	4mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69E-07
	观察窗表面 30cm	4mm 铅当量铅玻璃	4mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69E-07
	医护人员通道防护门表面外 30cm	4.0mmPb 防护门	4mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69E-07
	患者通道防护门表面外 30cm	4.0mmPb 防护门	4mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69E-07
	手术室正上方	120mm 砼+2mm 铅板	3.5mmPb	3.067	18.83	0.7726	1.17E-06
	手术室正下方	120mm 砼+2mmPb 硫酸钡防护涂料	3.5mmPb	3.067	18.83	0.7726	1.17E-06
	第一术者位、第二术者位（铅衣内）	0.5mmPb 铅衣+0.5mmPb 床侧防护帘	1mmPb	3.067	18.83	0.7726	4.08E-03
	第一术者位、第二术者位（铅衣外）	0.5mmPb 床侧防护帘	0.5mmPb	3.067	18.83	0.7726	2.52E-02

注：砼密度为 2.35g/cm³，铅的密度为 11.34g/cm³，根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 C，在管电压 125kV 下，经内插法可得 120mm 砼约为 1.5mmPb。

（1）泄漏辐射空气比释动能率计算

将相关参数代入公式（11-9），计算 DSA 复合手术室外各关注点处的泄漏辐射空气比释动能率，计算结果见表 11-18。

表 11-18 关注点处泄漏辐射空气比释动能率计算结果

工作模式	关注点位置	H _i (μGy/h)	R (m)	B	H _L 估算结果 (μGy/h)
减影	手术室东墙外 30cm	1000	3.5	3.39E-06	2.77E-04
	手术室南墙外 30cm	1000	3.9	3.39E-06	2.23E-04
	手术室西墙外 30cm	1000	6.8	3.39E-06	7.33E-05
	手术室北墙外 30cm	1000	4.0	3.39E-06	2.12E-04
	观察窗表面 30cm	1000	4.0	3.39E-06	2.12E-04
	污物通道防护门表面外 30cm	1000	6.8	3.39E-06	7.33E-05
	患者通道防护门表面外 30cm	1000	6.8	3.39E-06	7.33E-05

	手术室正上方	1000	4.1	1.18E-05	7.04E-04
	手术室正下方	1000	4.7	1.18E-05	5.36E-04
透视	手术室东墙外 30cm	1000	3.5	3.69E-07	3.01E-05
	手术室南墙外 30cm	1000	3.9	3.69E-07	2.43E-05
	手术室西墙外 30cm	1000	6.8	3.69E-07	7.98E-06
	手术室北墙外 30cm	1000	4.0	3.69E-07	2.31E-05
	观察窗表面 30cm	1000	4.0	3.69E-07	2.31E-05
	污物通道防护门表面外 30cm	1000	6.8	3.69E-07	7.98E-06
	患者通道防护门表面外 30cm	1000	6.8	3.69E-07	7.98E-06
	手术室正上方	1000	4.1	1.17E-06	1.02E-04
	手术室正下方	1000	4.7	1.17E-06	7.75E-05

(2) 散射辐射空气比释动能率计算

将相关参数代入公式 (11-11)，计算 DSA 复合手术室外各关注点处的散射辐射空气比释动能率，计算结果见表 11-19。

表 11-19 关注点处散射辐射空气比释动能率计算结果

工作模式	关注点位置	H_0 ($\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)	I (mA)	B_s	d_0 (m)	d_s (m)	H_s ($\mu\text{Gy}/\text{h}$)
减影	手术室东墙外 30cm	108000	500	5.14E-06	0.3	3.5	8.18E-02
	手术室南墙外 30cm	108000	500	5.14E-06	0.3	3.9	6.59E-02
	手术室西墙外 30cm	108000	500	5.14E-06	0.3	6.8	2.17E-02
	手术室北墙外 30cm	108000	500	5.14E-06	0.3	4.0	6.26E-02
	观察窗表面 30cm	108000	500	5.14E-06	0.3	4.0	6.26E-02
	污物通道防护门表面外 30cm	108000	500	5.14E-06	0.3	6.8	2.17E-02
	患者通道防护门表面外 30cm	108000	500	5.14E-06	0.3	6.8	2.17E-02
	手术室正上方	108000	500	1.80E-05	0.3	3.8	0.243
	手术室正下方	108000	500	1.80E-05	0.3	5.0	0.14
透视	手术室东墙外 30cm	48000	20	3.69E-07	0.3	3.5	1.04E-04
	手术室南墙外 30cm	48000	20	3.69E-07	0.3	3.9	8.41E-05
	手术室西墙外 30cm	48000	20	3.69E-07	0.3	6.8	2.77E-05
	手术室北墙外 30cm	48000	20	3.69E-07	0.3	4.0	8.00E-05
	观察窗表面 30cm	48000	20	3.69E-07	0.3	4.0	8.00E-05

	污物通道防护门表面外 30cm	48000	20	3.69E-07	0.3	6.8	2.77E-05
	患者通道防护门表面外 30cm	48000	20	3.69E-07	0.3	6.8	2.77E-05
	手术室正上方	48000	20	1.17E-06	0.3	3.8	4.11E-04
	手术室正下方	48000	20	1.17E-06	0.3	5.0	2.37E-04

(3) 关注点处辐射空气比释动能率计算结果叠加

根据表 11-18~表 11-19 计算结果, 可得出 DSA 复合手术室外各关注点处的叠加空气比释动能率, 计算结果见表 11-20。

表 11-20 关注点处空气比释动能率叠加计算结果

工作方式	关注点位置	泄漏辐射 ($\mu\text{Sv/h}$)	散射辐射 ($\mu\text{Sv/h}$)	总辐射剂量 ($\mu\text{Sv/h}$)	目标限值 ($\mu\text{Sv/h}$)
减影	手术室东墙外 30cm	2.77E-04	8.18E-02	8.21E-02	25
	手术室南墙外 30cm	2.23E-04	6.59E-02	6.61E-02	
	手术室西墙外 30cm	7.33E-05	2.17E-02	2.18E-02	
	手术室北墙外 30cm	2.12E-04	6.26E-02	6.28E-02	
	观察窗表面 30cm	2.12E-04	6.26E-02	6.28E-02	
	污物通道防护门表面外 30cm	7.33E-05	2.17E-02	2.18E-02	
	患者通道防护门表面外 30cm	7.33E-05	2.17E-02	2.18E-02	
	手术室正上方	7.04E-04	0.243	0.244	
	手术室正下方	5.36E-04	0.14	0.141	
透视	手术室东墙外 30cm	3.01E-05	1.04E-04	1.34E-04	2.5
	手术室南墙外 30cm	2.43E-05	8.41E-05	1.08E-04	
	手术室西墙外 30cm	7.98E-06	2.77E-05	3.57E-05	
	手术室北墙外 30cm	2.31E-05	8.00E-05	1.03E-04	
	观察窗表面 30cm	2.31E-05	8.00E-05	1.03E-04	
	污物通道防护门表面外 30cm	7.98E-06	2.77E-05	3.57E-05	
	患者通道防护门表面外 30cm	7.98E-06	2.77E-05	3.57E-05	
	手术室正上方	1.02E-04	4.11E-04	5.13E-04	
	手术室正下方	7.75E-05	2.37E-04	3.15E-04	

根据表 11-20 可知, 减影工况条件下, DSA 复合手术室周围关注点的辐射剂量率最大值为 $0.244\mu\text{Gy/h}$; 透视工况条件下, DSA 复合手术室周围关注点的辐射剂量率最大值

为 $5.13E-04\mu\text{Gy/h}$ 。根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），光子的辐射权重因子 $WR=1$ ，当量剂量跟吸收剂量在数值上是相等的，即 1Sv 数值上等于 1Gy 。因此，本项目 DSA 复合手术室周围辐射剂量率能够满足在透视工况下，DSA 机房周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，在摄影工况下，DSA 机房周围剂量当量率应不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ 的要求。

11.3 保护目标剂量评价

参考点人员的有效剂量由方杰主编的《辐射防护导论》中的公式算出：

$$D_{\text{Eff}}=K_a \cdot t \cdot T \cdot U \quad \text{公式 (11-12)}$$

上式中：

D_{Eff} —参考点人员有效剂量（Sv）；

K_a —参考点的周围剂量当量率（ $\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ）；

t —参考点处受照时间（h）；

T —居留因子；

U —使用因子，本项目取 1。

11.3.1 核医学科

1、辐射工作人员年有效剂量评价

本项目核医学科工作人员部分从现有辐射工作人员中调配，部分为新招聘人员，仅负责本项目放射工作，不再从事其他放射工作。本项目核医学科辐射工作人员年有效剂量计算结果见表 11-21。

表 11-21 本项目核医学科辐射工作人员年有效剂量估算结果一览表

保护目标	工作内容	参考点位置及辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年工作时间 (h)	居留因子	年有效剂量 (mSv)	叠加年有效剂量(mSv)
回旋加速器操作人员	回旋加速器的操作	0.063 (南墙表面 30cm)	1000	1	6.30E-02	0.211
		1.18 (防护门表面 30cm)	1000	1/8	0.148	
合成分装室工作人员	^{18}F 放射性药物合成、分装	0.581 (热室人员操作位)	250	1	0.145	0.822
	^{18}F 放射性药物放化质检	1.32 (通风柜人员操作位)	500	1	0.66	
	质检用 ^{18}F 放射性药物传递	1.32 (传递铅罐表面 50cm)	12.5	1	1.65E-02	
PET注射窗口工作人员	正电子药物注射活度测量	0.824 (手套箱人员操作位)	91.7	1	7.56E-02	1.25
	正电子药物注射	0.769 (PET 注射窗口)	91.7	1	7.05E-02	
	^{18}F 放射性药物的领取	132 (转运铅盒表面 50cm)	8.33	1	1.10	

ECT注射窗口工作人员	^{99m} Tc 药物活度测量 (手套箱人员操作位)	1.12E-18	85	1	9.52E-20	0.375
	ECT 诊断用药物注射 (ECT 注射窗口)	3.54E-19	85	1	3.01E-20	
	治疗用药物注射 (ECT 注射窗口)	7.40E-03	2.5	1	1.85E-05	
	³² P 敷贴器的制备 (手套箱人员操作位)	0.239	500	1	0.12	
	近距离协助患者敷贴治疗 (单名患者敷贴位)	0.478	500	1	0.239	
	¹³¹ I 药物分装 (手套箱人员操作位)	0.134	33.3	1	4.46E-03	
	¹³¹ I 甲功测定给药 (ECT 注射窗口)	1.21E-03	33.3	1	4.03E-05	
	吸碘率测试 (用药患者 1m 处)	0.022	500	1	1.10E-02	
每名PET/CT操作技师	PET/CT 扫描 (操作位)	0.671	1833	1	1.23	3.49
	PET 患者摆位 (摆位工作位)	49.4	45.8	1	2.26	
	SPECT/CT 扫描 (操作位)	6.04E-04	2550	1	1.54E-03	
每名SPECT/CT操作技师	SPECT/CT 扫描 (操作位)	6.04E-04	2550	1	1.54E-03	1.61
	SPECT 患者摆位 (摆位工作位)	8.86	42.5	1	0.377	
	PET/CT 扫描 (操作位)	0.671	1833	1	1.23	

注：保守假设每名患者均需近距离指导摆位。

此外，PET/CT 操作技师还需用校准源对 PET/CT 进行质控，质控一般每周一次。操作技师在对设备进行质控前，穿戴 0.5mmPb 的铅衣和铅眼镜将装有校准源的储源罐拎至检查床旁，用长柄镊子将校准源放置在检查床上，然后退出扫描机房，在控制室的操作位对设备进行质控；质控结束后，穿戴 0.5mmPb 的铅衣和铅眼镜进入扫描机房，用长柄镊子将校准源夹至储源罐，并将储源罐送至储源室。本项目使用的校准源 ²²Na 的活度最大为 $1.48 \times 10^7 \text{Bq}$ ，在取源、收源过程，工作人员处的辐射剂量率约为 $18.4 \mu\text{Sv/h}$ （距裸源约 0.5m），每次取源、收源共用时约 1min，则取源、收源过程所致操作技师的年有效剂量约为 0.015mSv；在质检过程，操作位处的辐射剂量率为 $0.064 \mu\text{Sv/h}$ ，每次质控用时约 15min，则质控过程所致操作技师年有效剂量约为 $8.00 \text{E}-04 \text{mSv}$ ；在送、取源过程，工作人员处的辐射剂量率约为 $4.92 \mu\text{Sv/h}$ （距储源罐约 50cm），每次送、取源共用时约 2min，则送、取源过程所致操作技师年有效剂量约为 $8.20 \text{E}-03 \text{mSv}$ ；则整个质控过程所致操作技师的年有效剂量约为 0.024mSv，对辐射工作人员辐射影响较小，可忽略不计。

综上所述，本项目核医学科辐射工作人员年有效剂量最大约为 3.49mSv，满足职业人员年有效剂量不超过 5mSv 的要求。

为防止核医学科个别岗位辐射工作人员的年有效剂量偏高，医院将采取每月轮岗的工作方式来平均工作量，降低个别岗位的年受照剂量。辐射工作人员近距离指导患者摆位时所致受照剂量较大，辐射工作人员应尽量使用语音系统远距离指导患者进行摆位，当必须要近距离指导患者摆位时，应使用铅屏风进行防护，并尽量保持与患者之间的距离以及缩短摆位时间。医院应加强对辐射工作人员的个人剂量监测管理，当个人累积剂量将超过年有效剂量 5mSv 时，应及时告知本人，并减少其辐射工作量或为其调整工作岗位，确保其年累积剂量不超过项目管理目标。

2、公众年有效剂量评价

根据公式（11-12），本项目核医学科周围公众年受照剂量计算结果见表 11-22。

表 11-22 本项目核医学科周围公众年有效剂量估算一览表

关注对象	参考点位置 (参考点)	参考点辐射 剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年受照时间 (h)	居留因子	人员年有效 剂量(mSv)
核医学科东侧 会议室处公众	ECT 注射后候诊室 东墙表面 30cm (参考点 11)	8.68E-05	2000 (公众日工作约 8h, 年工作日 250 天)	1/16	1.09E-05
核医学科东侧 注射前候诊区处 公众	ECT 注射后候诊室 南墙表面 30cm (参考点 12)	1.36E-06			1.70E-07
核医学科东侧 下沉庭院处公众	甲功室东墙表面 30cm (参考点 43)	9.53E-04			1.19E-04
核医学科南侧机 动车道处公众	由参考点 4 的值，根 据与距离的平方成反 比的关系算出机动车 道处辐射剂量率	0.026	2000 (公众日工作约 8h, 年工作日 250 天)	1/16	3.25E-03
核医学科西侧楼 梯间处公众	PET 留观室 1 南墙表面 30cm (参考点 38)	1.28	2000 (公众日工作约 8h, 年工作日 250 天)	1/40	6.40E-02
核医学科西侧地 下停车库处公众	PET 留观室 1 西墙表面 30cm (参考点 39)	7.58E-02	2000 (公众日工作约 8h, 年工作日 250 天)	1/16	9.48E-03
核医学科北侧 走廊处公众	ECT 注射后候诊室 北墙表面 30cm (参考点 13)	5.42E-04	2000 (公众日工作约 8h, 年工作日 250 天)	1/16	6.78E-05
	PET 注射后候诊室 北墙表面 30cm (参考点 16)	0.669			8.36E-02
	SPECT/CT 机房 北墙表面 30cm (参考点 23)	1.34E-03			1.68E-04
	PET/CT 机房 北墙表面 30cm (参考点 31)	0.258			3.23E-02

核医学科北侧 空压机房处公众	PET 留观室 2 北墙表面 30cm (参考点 39)	0.352	2000 (公众日工作约 8h, 年工作日 250 天)	1/16	4.40E-02
核医学科楼上 楼外绿化处公众	回旋加速器机房 楼上地面 30cm	0.716	2000 (公众日工作约 8h, 年工作日 250 天)	1/40	3.58E-02
	合成分装室 楼上地面 30cm (参考点 1)	4.92E-04			2.46E-05
	质控室楼上地面 30cm (参考点 5)	1.95E-04			9.75E-06
	运动负荷兼抢救室 楼上地面 30cm (参考点 9)	2.37E-06			1.19E-07
	ECT 留观室 楼上地面 30cm (参考点 36)	4.75E-06			2.38E-07
	甲功室楼上地面 30cm (参考点 44)	9.14E-06			4.57E-07
	敷贴室楼上地面 30cm	2.26E-04			1.13E-05
核医学科楼上 核素病房处住院 患者	ECT 注射后候诊室 楼上地面 30cm (参考点 14)	2.85E-08	32 (核素病房最多住院 治疗 4 天, 核医学科 每天运行约 8h)	1	9.12E-10
	PET 注射后候诊室 楼上地面 30cm (参考点 17)	4.11E-02			1.32E-03
核医学科楼上 配电房处公众	SPECT/CT 机房 楼上地面 30cm (参考点 24)	1.89E-04	2000 (公众日工作约 8h, 年工作日 250 天)	1/16	2.36E-05
	PET/CT 机房 楼上地面 30cm (参考点 32)	3.13E-02			3.91E-03
核医学科楼上 道路处公众	PET 留观室 楼上地面 30cm (参考点 41)	6.23E-02	2000 (公众日工作约 8h, 年工作日 250 天)	1/16	7.79E-03
核医学科楼下 地下停车场、太 平间、发电机 房、真空排水泵 房等处公众	回旋加速器机房 楼下地面 1.7m	0.013	2000 (公众日工作约 8h, 年工作日 250 天)	1/16	1.63E-03
	合成分装室 楼下地面 1.7m (参考点 2)	4.92E-04			6.15E-05
	质控室楼下地面 1.7m (参考点 6)	1.95E-04			2.44E-05
	运动负荷兼抢救室 楼下地面 1.7m (参考点 10)	2.37E-06			2.96E-07
	甲功室楼下地面 1.7m (参考点 45)	9.14E-06			1.14E-06
	ECT 注射后候诊室 楼下地面 1.7m (参考点 15)	2.85E-05			3.56E-06

	PET 注射后候诊室 楼下地面 1.7m (参考点 18)	6.23E-02			7.79E-03
	SPECT/CT 机房 楼下地面 1.7m (参考点 25)	1.89E-04			2.36E-05
	PET/CT 机房 楼下地面 1.7m (参考点 33)	3.13E-02			3.91E-03
	ECT 留观室 楼下地面 1.7m (参考点 37)	4.75E-06			5.94E-07
	PET 留观室 楼下地面 1.7m (参考点 42)	6.23E-02			7.79E-03
	敷贴室楼下地面 1.7m	2.26E-04			2.83E-05
医院南侧泰康之家一期疗养基地 (敏感点)	距核医学科最近约 23m, 取质控室南墙 23m 处辐射剂量率	6.24E-04	2000 (年工作时间)	1	1.25E-03

根据表 11-22 可知, 本项目核医学科周围公众年有效剂量最大约为 $8.36E-02\text{mSv}$, 50m 评价范围内其他公众距本项目核医学科相对较远, 经距离的进一步衰减后, 基本湮灭在环境本底辐射中, 满足公众年受照剂量不超过 0.1mSv 的要求。

11.3.2 核素病房

1、辐射工作人员年有效剂量评价

本项目核素病房辐射工作人员年有效剂量计算结果见表 11-23。

表 11-23 本项目核素病房辐射工作人员年有效剂量估算结果一览表

保护目标	工作内容	参考点位置及辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年工作时间 (h)	居留因子	年有效剂量 (mSv)	叠加年有效剂量(mSv)
核素病房 辐射工作 人员	控制 ^{131}I 药物分装	1.22 (碘自动分装仪人员 操作位表面 30cm)	10 (每次分装用时 不超过 1min, 年 门诊量 600 人)	1	1.22E-02	1.25E-02
	^{131}I 给药	3.09E-03 (^{131}I 给药位)	10 (每人给药用时 不超过 1min, 年 门诊量 600 人)	1	3.09E-05	
	^{177}Lu 药物 拿取	0.037 (手套箱人员操作位 表面 30cm)	8.33 (每次拿药用时 不超过 1min, 年 门诊量 500 人)	1	3.08E-04	
	^{177}Lu 给药	3.73E-06 (^{177}Lu 注射位)	10 (每人给药用时 不超过 1min, 年 门诊量 600 人)	1	3.73E-08	

根据表 11-23 可知，本项目核素病房辐射工作人员年有效剂量最大约为 1.25E-02 mSv，满足职业人员年有效剂量不超过 5mSv 的要求。

2、公众年有效剂量评价

本项目核素病房周围公众年受照剂量计算结果见表 11-24。

表 11-24 本项目核素病房周围公众年有效剂量估算一览表

关注对象	参考点位置 (参考点)	参考点辐射 剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年受照时间 (h)	居留因子	人员年有效 剂量(mSv)
核素病房东侧 预处理室处公众	抢救室东墙表面 30cm (参考点 15)	2.45	50 (抢救室年抢救时间 不超过 50h)	1/16	7.66E-03
核素病房东侧 大厅专用空调机 房处公众	1#核素病房 东墙表面 30cm (参考点 4)	7.79E-02	2000 (公众日工作约 8h, 年工作日 250 天)	1/16	9.74E-03
核素病房南侧 楼外绿化处公众	1#、2#核素病房 南墙表面 30cm (参考点 5)	0.116	2000 (公众日工作约 8h, 年工作日 250 天)	1/40	5.80E-03
	3#、4#核素病房 南墙表面 30cm (参考点 8)	0.489			2.45E-02
	6#核素病房 南墙表面 30cm (参考点 11)	2.23E-04			1.12E-05
核素病房西侧 配电房处公众	6#核素病房 西墙表面 30cm (参考点 12)	6.76E-05	2000 (公众日工作约 8h, 年工作日 250 天)	1/16	8.45E-06
核素病房北侧 医护走廊处公众	分装室北墙表面 30cm (参考点 1)	8.49E-04	2000 (公众日工作约 8h, 年工作日 250 天)	1/16	1.06E-04
	抢救室北墙表面 30cm (参考点 16)	0.512	50 (抢救室年抢救时间 不超过 50h)	1/16	1.60E-03
	抢救室北侧防护门 表面 30cm (参考点 17)	1.24			3.88E-03
核素病房楼上 医废间、普通药 配置间处公众	分装室楼上地面 30cm (参考点 2)	6.76E-05	2000 (公众日工作约 8h, 年工作日 250 天)	1	1.35E-04
	抢救室楼上地面 30cm (参考点 18)	4.88E-02	50 (抢救室年抢救时间 不超过 50h)	1	2.44E-03
核素病房楼上 住院药房的工作 位及自动包药、 盐水库房、耗材 库处公众	1#、2#核素病房 楼上地面 30cm (参考点 6)	4.88E-02	2000 (公众日工作约 8h, 年工作日 250 天)	1	9.76E-02
核素病房楼上 住院药房的药架 处公众	3#、4#核素病房 楼上地面 30cm (参考点 9)	9.77E-02	2000 (公众日工作约 8h, 年工作日 250 天)	1/4	4.89E-02

核素病房楼上 住院药房的更衣 及办公室处公众	6#核素病房 楼上地面 30cm (参考点 13)	1.68E-04	2000 (公众日工作约 8h, 年工作日 250 天)	1	3.36E-04
核素病房楼下 负压吸引机房、 网络汇聚机房处 公众	分装室楼下地面 1.7m (参考点 3)	6.76E-05	2000 (公众日工作约 8h, 年工作日 250 天)	1/16	8.45E-06
	抢救室楼下地面 1.7m (参考点 19)	4.88E-02	50 (抢救室年抢救时间 不超过 50h)	1/16	1.53E-04
核素病房楼下 核医学科患者注 射后候诊室处 公众	1#、2#核素病房 楼下地面 1.7m (参考点 7)	4.88E-02	1 (核医学科每名患者 注射后等候不超过 1h)	1	4.88E-05
	3#、4#核素病房 楼下地面 1.7m (参考点 10)	9.77E-02			9.77E-05
	6#核素病房 楼下地面 1.7m (参考点 14)	1.68E-04			1.68E-07
医院南侧泰康之 家一期疗养基地 (敏感点)	距核素病房最近约 37m, 取治疗病房南墙 37m 处叠加辐射剂量率	4.60E-03	6000 (甲癌患者年住院最 大时间)	1	0.028

根据表 11-24 可知, 本项目核素病房周围公众年有效剂量最大约为 9.76E-02mSv, 50m 评价范围内其他公众距本项目核素病房相对较远, 经距离的进一步衰减后, 基本湮灭在环境本底辐射中, 满足公众年受照剂量不超过 0.1mSv 的要求。

11.3.3 DSA 复合手术室

1、辐射工作人员年有效剂量评价

(1) 控制室辐射工作人员

本项目 DSA 控制室辐射工作人员年有效剂量计算结果见表 11-25。

表 11-25 本项目 DSA 控制室辐射工作人员年有效剂量估算结果一览表

保护目标	工作内容	参考点位置及辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年工作时间 (h)	居留因子	年有效剂量 (mSv)	叠加年有效剂量(mSv)
DSA 控制室辐射工作人员	减影	6.28E-02 (观察窗表面 30cm)	30	1	1.88E-03	1.92E-03
	透视	1.03E-04 (观察窗表面 30cm)	375	1	3.86E-05	

(2) 介入手术辐射工作人员

根据《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)的要求, 每名介入工作人员需佩戴 2 枚个人剂量计, 1 枚佩戴在铅围裙外锁骨对应的领口处, 1 枚佩戴在铅围裙内躯干上。医院已为现有介入手术医生配备了 2 枚个人剂量计, 1 枚佩戴在铅围裙外领口处, 1 枚佩戴在铅围裙内躯干上。

本项目 DSA 介入手术医生年有效剂量可根据《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)中公式进行估算, 估算方法如下:

$$E = \alpha H_u + \beta H_0 \quad \text{公式 (11-13)}$$

式中：

E —有效剂量中的外照射分量，单位为 mSv ；

α —系数，有甲状腺屏蔽时，取 0.79，无屏蔽时，取 0.84；本项目有屏蔽，取 0.79；

H_u —铅围裙内佩戴的个人剂量计测得的 $H_p(10)$ ，单位为 mSv ；

β —系数，有甲状腺屏蔽时，取 0.051，无屏蔽时，取 0.1；本项目有屏蔽，取 0.051；

H_0 —铅围裙外锁骨对应的衣领位置佩戴的个人剂量计测得的 $H_p(10)$ ，单位为 mSv 。

$$H_u = \dot{H}_u \cdot T \cdot \eta \quad \text{公式 (11-14)}$$

式中：

\dot{H}_u —铅围裙外腰部附近的辐射水平，本项目 \dot{H}_u 保守取 $400\mu Sv/h$ （参考《医用 X 射线诊断设备质量控制检测规范》（WS76-2020）附录 B）；

T —每名介入手术医生年透视受照时间，本项目每组介入手术人员年透视受照时间约为 125h；

η —透射比，其值见表 11-17。

$$H_0 = \dot{H}_0 \cdot T \quad \text{公式 (11-15)}$$

式中： T 意义同前；

\dot{H}_0 —铅围裙外锁骨对应的衣领附近的辐射水平，其值同 \dot{H}_u 。

简化估算： $1mGy$ 近似为 $1mSv$ 。

将相关参数分别代入公式（11-14）、公式（11-15）可得， $H_u=1.26mSv$ 、 $H_0=50mSv$ ，再代入公式（11-13）可得， $E=3.55mSv$ 。

综上所述，本项目 DSA 辐射工作人员年有效剂量最大为 $3.55mSv$ ，满足职业人员年有效剂量不超过 $5mSv$ 的要求。

2、公众年有效剂量评价

将相关参数代入公式（11-12），可估算出本项目 DSA 复合手术室周围公众年有效剂量，计算结果见表 11-26。

表 11-26 DSA 复合手术室周围公众年有效剂量估算结果

关注点	模式	t (h)	T	辐射剂量率 ($\mu Sv/h$)	年有效剂量 H_{Er} (mSv/a)	
手术室东墙外 30cm 处术前准备室处公众	减影	30	保守取 1	8.21E-02	2.46E-03	2.51E-03
	透视	375		1.34E-04	5.03E-05	

手术室西墙外 30cm 处手术前室	减影	30	1/16	2.18E-02	4.09E-05	4.17E-05
	透视	375		3.57E-05	8.37E-07	
手术室污物通道防护门表面 30cm 处污物走廊	减影	30	1/16	2.18E-02	4.09E-05	4.17E-05
	透视	375		3.57E-05	8.37E-07	
手术室正上方值班室、综合办公室、耗材室、净化空调机房等处公众	减影	30	保守取 1	0.244	7.32E-03	7.51E-03
	透视	375		5.13E-04	1.92E-04	
手术室正下方换药室、休闲区等处公众	减影	30	保守取 1	0.141	4.23E-03	4.35E-03
	透视	375		3.15E-04	1.18E-04	
医院南侧泰康之家一期疗养基地（敏感点）	减影	30	1	6.61E-02 （保守取手术室南墙表面 30cm 处剂量率）	1.98E-03	2.02E-03
	透视	375		1.08E-04 （保守取手术室南墙表面 30cm 处剂量率）	4.05E-05	

注：DSA 复合手术室南侧为不上人屋面。

根据表 11-26 可知，本项目 DSA 复合手术室周围公众年有效剂量最大约为 7.51E-03mSv，50m 评价范围内其他公众距本项目 DSA 复合手术室相对较远，经距离的进一步衰减后，基本湮灭在环境本底辐射中，满足公众年受照剂量不超过 0.1mSv 的要求。

11.3.4 叠加辐射影响分析

本项目核医学科位于地下一层，核素病房位于一层，核医学科的患者注射后候诊区与核素病房的住院病房相重叠，会对周围人员产生叠加辐射影响。其中，核医学科所致周围公众年有效剂量最大为 8.36E-02mSv，核素病房所致楼下公众年有效剂量最大为 1.53E-04mSv，则核医学科周围公众叠加年有效剂量最大为 8.38E-02mSv；核素病房所致周围公众年有效剂量最大为 2.45E-02mSv，核医学科所致楼上公众年有效剂量最大为 3.58E-02mSv，则核素病房周围公众叠加年有效剂量最大为 6.03E-02mSv；本项目环境敏感点医院南侧泰康之家一期疗养基地受核医学科、核素病房和 DSA 所致的叠加年有效剂量最大为 3.13E-02mSv；仍能满足公众年受照剂量不超过 0.1mSv 的要求。

根据核医学科所致楼上公众年有效剂量最大为 3.58E-02mSv，核素病房所致楼下公众年有效剂量最大为 1.53E-04mSv 可知，其对辐射工作人员的叠加辐射影响很小，可忽略不计。

11.4 三废的治理评价

1、放射性废水处理措施评价

根据附图 15，本项目放射性废水衰变室中的 1#~4#衰变池为长半衰期放射性废水衰

变系统，5#~8#衰变池为短半衰期放射性废水衰变系统，长半衰期1#衰变池容积为179m³（有效容积为153.45m³），2#衰变池容积为180m³（有效容积为154.29m³），3#衰变池容积为179.9m³（有效容积为154.2m³），4#衰变池容积为175.14m³（有效容积为150.12m³）；短半衰期5#衰变池容积为49.07m³（有效容积为42.06m³），6#衰变池容积为49m³（有效容积为42.03m³），7#衰变池容积为49.1m³（有效容积为42.09m³），8#衰变池容积为49.35m³（有效容积为42.3m³）。本项目投入运行后，核医学科产生的含有核素¹⁸F、⁶⁴Cu、⁶⁷Ga、⁶⁸Ga、^{99m}Tc、¹²³I的放射性废水排入短半衰期放射性废水衰变系统（5#~8#衰变池），核医学科每年产生放射性废水不超过170.25m³，放射性废水中半衰期最长的核素为⁶⁷Ga（半衰期为3.26d），根据放射性废水衰变系统的工作原理，放射性废水可在该放射性废水衰变系统中衰变最长约0.692年（ $(42.06\text{m}^3+42.03\text{m}^3+42.09\text{m}^3 \times 80\%) \div 170.25\text{m}^3/\text{年}$ ），即约252天；核素病房产生的含有核素¹³¹I、¹⁷⁷Lu、²²⁵Ac的放射性废水排入长半衰期放射性废水衰变系统（1#~4#衰变池），核素病房每年产生放射性废水不超过215m³，放射性废水中半衰期最长的核素为²²⁵Ac（半衰期为10.0d），根据放射性废水衰变系统的工作原理，放射性废水可在该放射性废水衰变系统中衰变最长约1.99年（ $(150.12\text{m}^3+153.45\text{m}^3+154.2\text{m}^3 \times 80\%) \div 215\text{m}^3/\text{年}$ ），即约726天，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中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，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天的要求。本项目放射性废水每次排放前确保短半衰期放射性废水衰变系统中废水已至少衰变33天，长半衰期放射性废水衰变系统中废水已至少衰变180天，并取样监测，监测结果满足总α不大于1Bq/L、总β不大于10Bq/L的要求，监测结果经审管部门认可后，方可排放至医院的污水处理系统，作为医疗废水进行处理，满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中放射性废水处置要求，对周围环境辐射影响很小。

因SPECT/CT使用的放射性核素^{99m}Tc、¹²³I的辐射影响较小，在计算放射性废水衰变室外辐射剂量率时，不再考虑放射性核素^{99m}Tc、¹²³I的辐射影响，仅考虑PET/CT使用的正电子放射性核素的辐射影响。本项目短半衰期放射性废水衰变系统最多可储存约1年（ $(42.06\text{m}^3+42.03\text{m}^3+42.09\text{m}^3+42.3\text{m}^3) \div 170.25\text{m}^3/\text{年}$ ）的放射性废水，假设年操作量的10%的正电子放射性核素排入放射性废水，本项目保守以操作量最大的¹⁸F代替计算，则短半衰期放射性废水衰变系统中的正电子放射性核素活度最大约为1.09E+09Bq（ $1+e^{-\frac{0.693}{0.076}} + \left(e^{-\frac{0.693}{0.076}}\right)^2 + \dots + \left(e^{-\frac{0.693}{0.076}}\right)^{364}$ ） $\approx 1.09\text{E}+09\text{Bq}$ 。同理，因¹¹⁷Lu、²²⁵Ac的辐射影响较小，在计算放射性废水衰变室外辐射剂量率时，不再考虑其辐射影

响，仅考虑放射性核素 ^{131}I 的辐射影响。本项目长半衰期放射性废水衰变系统最多可储存约 3 年 $((153.45\text{m}^3+154.29\text{m}^3+154.2\text{m}^3+150.12\text{m}^3) \div 215\text{m}^3/\text{年})$ 的放射性废水，假设每次服药量的 80% 的 ^{131}I 排入放射性废水，则长半衰期放射性废水衰变系统中的 ^{131}I 活度最大约为 $1.78\text{E}+10\text{Bq} (1+e^{-\frac{0.693 \times 4}{8.02}} + (e^{-\frac{0.693 \times 4}{8.02}})^2 + \dots + (e^{-\frac{0.693 \times 4}{8.02}})^{299}) \approx 6.23\text{E}+10\text{Bq}$ 。

则在短半衰期和长半衰期放射性废水衰变系统储满放射性废水的状态下，放射性废水衰变室外辐射剂量率见表 11-27。

表 11-27 放射性废水衰变室辐射影响一览表

参考点位	活度 A (Bq)	衰减距离 R (m)	防护措施	透射比 η	参考点辐射水平($\mu\text{Sv/h}$)	叠加辐射水平($\mu\text{Sv/h}$)
衰变室东墙表面 30cm	1.09E+09 (^{18}F)	9.2	600mm 砼	3.90E-04	7.18E-04	5.93E-03
	6.23E+10 (^{131}I)	14.5	600mm 砼	2.96E-04	5.21E-03	
衰变室南墙表面 30cm	1.09E+09 (^{18}F)	11.8	600mm 砼	3.90E-04	4.36E-03	0.08
	6.23E+10 (^{131}I)	3.8	600mm 砼	2.96E-04	0.076	
衰变室西墙表面 30cm	1.09E+09 (^{18}F)	7.4	200mm 砼+240mm 实心砖	8.93E-03	2.54E-02	0.031
	6.23E+10 (^{131}I)	14.4	600mm 砼	2.96E-04	5.28E-03	
衰变室北墙表面 30cm	1.09E+09 (^{18}F)	3.2	500mm 砼	1.44E-03	0.022	0.055
	6.23E+10 (^{131}I)	11.3	500mm 砼	1.15E-03	0.033	
衰变室顶部表面 30cm	1.09E+09 (^{18}F)	4.15	250 砼+350mm 砼+30mm 硫酸钡防护涂料	2.57E-04	2.33E-03	0.036
	6.23E+10 (^{131}I)	4.15	250 砼+350mm 砼+30mm 硫酸钡防护涂料	1.58E-04	0.034	

注：衰变距离保守取以衰变池区域的中心至墙外 30cm 处的距离。

根据表 11-27 可知，本项目放射性废水衰变室外辐射剂量率最大为 $0.08\mu\text{Sv/h}$ ，满足本项目放射性废水衰变室周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要求。本项目放射性废水衰变室位于地下二层，周围人流量很小，对周围环境辐射影响很小。

此外，本项目将在 ECT 注射室内设置两个 15L 的塑料桶，敷贴器制备过程产生的少量含 ^{32}P 的工艺废水单独收集在塑料桶中，并放置在 ECT 注射室 20mmPb 铅桶内，每个塑料桶可暂存 30 周（即 210 天）的废水量，每个塑料桶集满后，标明日期后密封衰变，

在桶内自然衰变至少 143 天后，经检测，满足总 α 不大于 1Bq/L、总 β 不大于 10Bq/L、 ^{32}P 的放射性活度浓度不大于 1×10^6 Bq/L 的要求，监测结果经审管部门认可后，排至医院的污水处理系统，作为医疗废水进行处理，满足放射性废水处置要求。转移至工艺废水中的核素 ^{23}P 活度较小，经 20mmPb 铅桶屏蔽后，可满足铅桶外周围剂量当量率小于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 的要求，对周围环境辐射影响很小。

2、放射性废气处理措施评价

本项目核医学科工作场所以及热室、通风柜、手套箱拟设置独立排风系统（共设计 7 套排风系统），热室、通风柜、手套箱设计风速不小于 0.5m/s，不同房间的排风管道内设置止回阀，确保废气不回流，通过控制不同场所的风量或压差，控制气流流向遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计，以防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。核医学科工作场所的排风系统在楼顶排风口处拟设置一级活性炭高效过滤装置，热室、通风柜、手套箱的顶壁以及楼顶排风口处共拟设置两级活性炭高效过滤装置，本项目核医学科产生的放射性废气由各自排风管道延伸至肿瘤中心楼的楼顶后经活性炭高效过滤器过滤后排放（共有 7 个放射性废气排放口），排风口设置于楼顶的西北角，50m 评价范围内无高层建筑，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中放射性废气排放的要求，对周围环境辐射影响很小。

本项目核素病房的工作场所、手套箱、碘自动分装仪拟设置独立排风系统（共设计 3 套排风系统），手套箱、碘自动分装仪设计风速不小于 0.5m/s，不同房间的排风管道内设置止回阀，确保废气不回流，通过控制不同场所的风量或压差，控制气流流向遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计，以防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。核素病房工作场所的排风系统在楼顶排风口处拟设置一级活性炭高效过滤装置，手套箱、碘自动分装仪的顶壁以及楼顶排风口处共拟设置两级活性炭高效过滤装置，本项目核素病房产生的放射性废气由各自排风管道延伸至肿瘤中心楼的楼顶后经活性炭高效过滤器过滤后排放（共有 3 个放射性废气排放口），排风口设置于楼顶的西北角，50m 评价范围内无高层建筑，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中放射性废气排放的要求，对周围环境辐射影响很小。

本项目地下二层的放射性废水衰变室拟设置一套单独的排风系统，在楼顶排风口处设置一级活性炭高效过滤器，放射性废水衰变室内的废气由排风管道延伸至肿瘤中心楼的楼顶后经活性炭高效过滤器过滤后排放（共 1 个废气排放口），排风口设置于楼顶的西北角，50m 评价范围内无高层建筑，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中放射性废气排放的要求，对周围环境辐射影响很小。

本项目放射性药物的操作均在热室、手套箱、通风柜或碘自动分装仪内操作，热

室、手套箱、通风柜、碘自动分装仪以及工作场所均设计有良好的通风，辐射工作人员进入控制区均穿戴工作服、一次性手套、工作鞋，并佩戴过滤式口罩，人员不在控制区内进行进食、饮水、吸烟、化妆等无关工作，本项目放射性药物正常操作过程中，不会被工作人员摄入体内，不会对工作人员造成内照射影响。同时，热室、手套箱、通风柜、碘自动分装仪的顶壁以及楼顶排风口处均拟设置活性炭高效过滤装置，每级活性炭高效过滤装置过滤效率 $\geq 99\%$ ，本项目排放至大气环评的放射性气溶胶很少，不会对周围公众造成内照射影响。

3、放射性固体废物处理措施评价

本项目回旋加速器机房内设置 1 个高活性放射性废物铅桶（50mmPb）和 1 个非高活性放射性废物铅桶（20mmPb），分别用于收集废靶膜等高活性固废和非高活性固废，放射性固废经暂存后定期由有资质单位回收处置或送省城市放射性废物库。

本项目核医学科内各房间拟设置废物铅桶或废物桶，废物铅桶和废物桶内放有专用塑料袋，各房间产生的放射性固体废物先暂存在各房间的废物铅桶或废物桶内，注射器针头等尖刺和棱角的放射性废物装入利器盒中，每日工作结束后分类收集密封并贴上标签（标明核素种类、存放日期等信息）储存在核医学科的放射性固废间内，半衰期小于 24h 的核素配备两个废物桶（单个废物桶容积为 0.24m^3 ），半衰期大于 24h 的每个核素单独配备两个废物桶（单个废物桶容积为 0.24m^3 ），其中一个废物桶暂存满后，粘贴封条（标明核素种类、封条时间及解封时间），启用第二个废物桶，两个废物桶轮流使用，所含核素半衰期小于 24h 的放射性固体废物暂存时间超过 30 天、所含核素半衰期大于 24h 的放射性固体废物暂存时间超过半衰期的 10 倍、含 ^{131}I 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天，经监测辐射剂量率处于环境本底水平， α 表面污染小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，作为医疗废物由有资质单位统一回收处理。

本项目核医学科通风系统中置换下的含放射性核素的废活性炭高效过滤材料集中收集于专用塑料袋内，贴上标签（标明存放日期等信息）后储存在核医学科的放射性固废间内，自然衰变超过 180 天，经监测辐射剂量率处于环境本底水平、 α 表面污染小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，作为非放射性固体废物由有资质单位统一回收处理。

本项目核医学科退役的校准源 ^{22}Na 贮存在储源罐中，放置在储源室内，最终由原生产厂家回收或由省城市放射性废物库回收处置。

本项目核素病房内各房间拟设置废物铅桶或废物桶，废物铅桶和废物桶内放有专用塑料袋，各房间产生的放射性固体废物先暂存在各房间的废物铅桶或废物桶内，注射器针头等尖刺和棱角的放射性废物装入利器盒中，病人出院后集中收集密封并贴上标签

（标明核素种类、存放日期等信息）储存在核素病房的放射性固废间内，每个核素至少配备 2 个废物桶（单个废物桶容积为 0.24m^3 ），其中一个废物桶暂存满后，粘贴封条（标明核素种类、封条时间及解封时间），启用第二个废物桶，废物桶轮流使用，含 ^{131}I 的放射性固体废物暂存时间超过 180 天，含 ^{177}Lu 的放射性固体废物暂存时间超过 68 天，含 ^{225}Ac 的放射性固体废物暂存时间超过 100 天，经监测辐射剂量率处于环境本底水平， α 表面污染小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，作为医疗废物由有资质单位统一回收处理。

本项目核素病房通风系统中置换下的含放射性核素的废活性炭高效过滤材料集中于专用塑料袋内，贴上标签（标明存放日期等信息）后储存在核素病房的放射性固废间内，自然衰变超过 180 天，经监测辐射剂量率处于环境本底水平、 α 表面污染小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，作为非放射性固体废物由有资质单位统一回收处理。

本项目放射性废水衰变室通风系统中置换下的含放射性核素的废活性炭高效过滤材料集中于专用塑料袋内，贴上标签（标明存放日期等信息）后储存在核医学科的放射性固废间内，自然衰变超过 180 天，经监测辐射剂量率处于环境本底水平、 α 表面污染小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，作为非放射性固体废物由有资质单位统一回收处理。

综上所述，本项目放射性固体废物的处理满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中有关放射性固体废物处理的要求。

本项目核医学科的放射性固废间面积为 3.84m^2 （长 2.4m、宽 1.6m），核素病房的放射性固废间面积为 5.14m^2 （长 3.06m、宽 1.68m），固废间内将配备足够数量的废物桶，单个废物桶容积为 0.24m^3 ，废物桶将轮流使用，确保能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中所含核素半衰期小于 24h 的放射性固体废物暂存时间超过 30 天、所含核素半衰期大于 24h 的放射性固体废物暂存时间超过半衰期的 10 倍、含 ^{131}I 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天的要求。

本项目放射性固体废物本身沾染的放射性核素活度浓度较低，经放射性固废间屏蔽后，对周围环境辐射影响很小，可满足控制区内各房间的四周墙体、防护门、顶部外表面 30cm 处及底部人员可达处的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，若控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所（人员居留因子 $< 1/2$ ），周围剂量当量率应小于 $10\mu\text{Sv}/\text{h}$ 的要求。

4、非放废物处理措施评价

（1）项目运行期间产生的生活污水将依托医院的污水处理系统进行处置，处理达

标后排入城市污水管网，对周围环境影响很小。

(2) 项目运行期间产生的少量生活垃圾，依托医院的保洁措施，分类收集后交由环卫部门统一处理，对周围环境影响很小。

(3) 回旋加速器机房、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、DSA 复合手术室设计有机机械通风系统，机房内产生的臭氧和氮氧化物可通过通风系统排至室外，臭氧常温下可自行分解为氧气，对周围环境影响很小。

采取上述措施后，本项目的废物处置方式合理恰当，能够满足当前环保管理要求。

11.4 事故影响分析

1、本项目可能产生的辐射事故主要有：

(1) 回旋加速器事故工况

①在防护门关闭后，人员滞留在加速器机房内；安全连锁系统失效、人员误入加速器机房，加速器运行产生误照射。

②回旋加速器装置失灵、损坏、调试和操作失误等，导致放射性核素因意外停留在传输管道中，合成系统管道堵塞或泄漏等情况下，可能导致工作人员误照射或放射性核素污染相关工作场所。

③回旋加速器排风系统的故障，停机后工作人员立即进入机房，可能导致工作人员误照射。

④辐射工作人员违反操作规程或误操作，造成意外照射。

⑤束流强度超出靶材耐受阈值或冷却系统故障，可能导致靶材局部过热，可能导致回旋加速器发生熔靶和靶水吸附事故。

⑥回旋加速器设计安装不规范，密封件老化或压力传感器失效，可能导致回旋加速器发生反应器倾翻和破裂事故。

⑦高效过滤器失效导致放射性物质通过通风系统扩散至机房外，导致环境辐射污染和人员超剂量照射。

(2) 放射性同位素操作过程事故工况

①辐射工作人员误操作，导致放射性药物漏洒造成操作台面、地面或仪器设备受到表面污染。

②由于保管或管理工作不到位导致放射性药物、放射源丢失、被盗等情况导致公众受到大剂量照射。

③放射性药物在转移过程中由于操作人员违反操作规定或误操作引起意外泄漏而造成放射性表面污染。

④用药患者未按要求在相应的场所内等候或治疗，在本项目核医学科和核素病房以

外的区域随意走动，导致公众受到照射。

⑤工作人员未按要求穿戴工作服和手套等，造成不必要的手或皮肤等的污染。

⑥辐射工作人员违反操作规程或误操作，造成意外照射。

(3) 放射性废物管理事故工况

①放射性废水未经足够的时间衰变即进行排放，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。

②放射性固体废物未经足够的时间衰变，存放时间过短，即进行擅自处理，可能对环境造成污染。

③放射性废水排水管道、衰变池因施工质量问题等原因，长时间使用后导致放射性废水渗漏。

④放射性废气过滤吸附装置因失灵、损坏等，放射性废气未经过滤吸收直接排放至大气中，可能对环境造成污染和对公众造成危害。

(4) DSA 事故工况

①DSA 正常工作时，人员误留、误入机房，导致发生误照射。

②操作人员违反操作规程或误操作，造成意外超剂量照射。

③安全联锁装置或工作状态指示灯发生故障的状况下，人员误入射线装置正在运行的机房。

2、事故预防措施

辐射事故可以通过完善辐射防护安全设施、制定相关管理规章制度等进行防范。医院拟在以下几个方面采取一系列的预防措施，尽可能减小或控制事故的危害和影响：

(1) 回旋加速器

①回旋加速器与防护门实现门机联锁保护装置，防护门打开时加速器自动停止出束，回旋加速器机房防护门外设计有信号警示装置和电离辐射警示标识；回旋加速器机房内及控制室均设计有紧急停机按钮，机房内设计有紧急逃逸装置、视频监控。辐射工作人员严守操作规程，回旋加速器每次开机运行前均确认机房内无人后，才能开始运行。辐射工作人员必须定期检查防护门上的工作状态指示灯和门机联锁装置是否正常，如果失灵，应立即修理，使其恢复正常。

②回旋加速器机房内设计有固定式辐射监测仪，并与加速器机房防护门联锁。当探测到机房内辐射剂量率超过设置阈值时，加速器机房防护门无法打开，同时实时监控机房内辐射剂量率。

③加强对工作人员安全教育，严格按操作规程操作。为避免加速器运行时人员滞留

误入造成的辐射事故，工作人员每次上班时需要检查防护门上工作状态指示灯等辐射安全设施是否正常。如果工作状态指示灯等辐射安全设施未能正常运行，应立即修理，恢复正常。一旦出现设备控制系统出现故障，工作人员应立即切断电源、关闭机房防护门，然后尽快联系专业人员维修。项目应严格遵循所用辐射设备的安全使用年限，避免机械事故造成辐射污染，严禁超期使用。

④规范操作流程，采用冗余冷却设计，采用防腐蚀材料，定期检查维护回旋加速器靶系统和冷却系统，及时更换老化部件。

⑤规范设计安装流程，设置防震基座，采用冗余密封设计和防腐蚀材料，定期检查系统密封性，及时更换老化部件。

⑥采用冗余排风设计、定期检查和监测高效过滤器的有效性，定期更换高效过滤器。

(2) 放射性同位素操作

①工作人员进行岗前培训，合格后方可上岗；制定完善的操作规范，对辐射工作人员定期培训，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。操作过程中，操作者应穿戴防护服、防护眼镜及手套，如果意外事故下放射性液体溅到皮肤上，立即用自来水冲洗。

②制定和完善放射性核素安全管理制度，在日常工作中，设置专人负责放射性同位素管理；做好日常检查，防止放射性药物和放射源被盗、丢失。制定和完善放射性核素安全管理制度，在日常工作中，设置专人负责放射性药物和放射源的管理和登记，设立使用台账。

③对工作场所进行严格的分区管理，设置控制区和监督区，控制区禁止无关人员进入。

④辐射工作场所按要求设置相应的辐射安全与防护设施，定期检查辐射工作场所和设备的辐射安全措施运行情况，确保各项安全措施始终保持良好的工作状态。

⑤用药前，医生对患者进行健康教育，加强对用药患者的管理，避免用药患者在场所外随意走动。

(3) 放射性废物管理

①加强放射性废物的管理，对放射性废物制定放射性三废的处理制度，设置放射性废物专职管理员，对放射性废物分类收集，按照国家规定处理。对储存的放射性废物，在废物桶外标明放射性废物的类型、核素种类和存放日期等的说明，并做好相应的记录。放射性废水和固体废物经衰变，满足排放要求后，方可排放或按照一般医疗废物处

理，或经暂存后委托有资质单位回收处理或送省城市放射性废物库，并做好监测记录。

②本项目放射性废水排水管道将使用含铅铸铁，具有耐磨、耐腐蚀性，有较长的使用寿命，管道接口处使用密封圈，形成良好的密封效果，防止废水泄漏；衰变池将由混凝土浇筑，施工时确保池体坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性、内壁光滑和具有可靠的防泄漏措施，放射性废水衰变室还设有集水井，渗漏的放射性废水延地面坡度自行流入集水井，便于渗漏的放射性废水的收集处理。医院将安排专人负责放射性废水衰变室，定期检查放射性废水衰变系统设施的有效性，并负责放射性废水的暂存和处理，建立废水暂存和处理台账。

③医院将安排专人负责定期检查通风系统，确保通风系统正常工作，并应定期更换活性炭高效过滤装置，确保活性炭高效过滤装置的吸附效率。

(4) DSA

①加强对工作人员安全教育，严格按操作规程操作，每次开机运行前均确认机房内无其他无关人员时，才能开机出束。

②工作人员进入辐射工作场所应佩戴个人计量计，在机房内进行介入手术时，应穿戴铅衣、铅帽、手套，必要时戴防护眼镜。

③为避免人员滞留、误入机房造成的辐射事故，工作人员每次上班时需检查工作状态指示灯等辐射安全设施是否正常。如果工作状态指示灯等辐射安全设施未能正常运行，应立即修理，恢复正常后方可开机工作。

3、应急处理措施

在发生事故时，医院拟采取的应急处理措施如下：

(1) 回旋加速器

①在加速器机房内及控制室人员易到达位置均设计有紧急停机按钮，并在醒目处设置标签，标明使用方法，一旦有人员滞留立即按下紧急停止按钮，切断电源。

②若发生回旋加速器装置失灵、损坏、调试和操作失误及生产核素的过程中盛放靶核素的管子破裂，合成系统管道堵塞或泄漏等情况，加速器将立即自动停机，并且要经过 24 小时后，加速器才能重新启动，若有必要，可继续停机一段时间，再进行换靶和去污。如发生传输管道脱落或破裂等导致放射性核素泄漏事故，应及时采取去污措施防止污染扩散，并对去污后的工作场所进行必要检测，如发现异常需再去污。

③若回旋加速器排风系统发生故障，立即停止回旋加速器工作，并且要经过 24 小时后，相关人员才被允许进入到机房内检修。排风系统功能恢复前不得开启回旋加速器。

④若发生回旋加速器熔靶和靶水吸附事故，立即切断束流，启动备用冷却系统，封

闭机房防止放射性物质扩散，并对污染区域进行辐射监测及去污。

⑤若发生反应器倾翻和破裂事故，立即切断束流并释放压力，封闭机房防止放射性物质扩散，并对污染区域进行辐射监测及去污。

⑥若发生高效过滤器失效事故，立即切断束流，封闭污染区域并启动应急排风系统，对污染区域进行辐射监测及去污，对可能受到大剂量照射的人员，应及时送医院检查和治疗。

(2) 放射性同位素操作

①当发生液态放射性药物泼洒、泄漏导致的表面污染事故时，应及时去污，尽量转移至放射性固废。如：迅速用吸附衬垫或滤纸吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。应注意从污染区的边沿向中心擦抹，直到擦干污染区。去污结束后，需用 α - β 表面沾污仪测量污染区，如果测量结果大于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中工作场所的放射性表面污染控制水平，则表明该污染区未达到去污控制标准，这时应用酒精浸湿药棉或纸巾擦拭，确保测量结果符合 GB18871-2002 中工作场所的放射性表面污染控制水平要求。

②当发生放射性药物或放射源丢失、被盗时，应立即启动本单位辐射事故应急措施，第一时间将事故情况通报有关主管部门（生态环境、公安、卫生健康等），向主管部门提供有用线索，并积极配合主管部门查找丢失的放射性药物或放射源。对放射性药物或放射源丢失前存放场所进行监测，根据现场辐射剂量率的大小确定是否受污染。如现场受到污染出现辐射剂量率异常情况，根据辐射剂量率大小划定警戒线，撤离警戒区域内的所有人员，事故处理人员应穿戴防护用品，佩戴个人剂量计进入事故现场。

③应尽可能记录下现场有关情况，对工作人员可能受到的事故照射剂量，可针对事故实际情况进行评估，并对工作人员进行健康检查和跟踪，按照国家有关放射卫生防护标准和规范以及相关程序，评估事故对工作人员健康的影响；事故处理后，必须组织有关人员进行讨论，分析事故发生的原因，从中吸取经验和教训，必须采取措施防止类似事故再次发生。

④一旦发现给药后患者在场所外随意走动，工作人员应立刻通过语音系统告知，使患者回到各自房间内。

(3) 放射性废物管理

①当放射性废物管理或处置不当造成污染时，应立即划定警戒区，设置放射性污染标识，限制人员随意走动或靠近，由专业人员处理，根据现场辐射强度，确定工作人员在现场处置的工作时间；现场经监测满足解控要求后再解除警戒。

②当排水管道发生放射性废水渗漏时，应立即停止相关场所的使用，并及时进行检

修，更换密封圈等，直至不再泄漏时方可重新投入使用；当衰变池发生放射性废水泄漏时，应停止该衰变池的使用，将该衰变池中的废水排入别的衰变池，并及时进行维修，直至不再泄漏时方可重新投入使用。

③当发生放射性废气过滤吸附装置失灵、损坏等，应立即停止相关场所的使用，并及时进行检修，更换废气过滤吸附装置等，直至废气过滤吸附装置正常工作时方可重新投入使用。

(4) DSA

①切断电源，确保射线装置停止工作；

②对可能受到大剂量照射的人员，应及时送医院检查和治疗。

根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中“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”，医院应根据本项目可能发生的辐射事故配备铅橡胶衣、铅橡胶围裙、放射性污染防护服、铅橡胶围脖、铅橡胶帽、铅玻璃眼镜、宜使用远距离操作工具、有机玻璃眼镜或面罩、不小于 3mm 厚的橡皮泥或橡胶板等个人防护用品，以及一次性防水手套、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 and 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、标签、不透水的塑料布、一次性镊子等应急及去污用品。

根据原国家环保总局《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》以及《浙江省人民政府办公厅关于印发浙江省辐射事故应急预案的通知》（浙政办发〔2018〕92 号）的要求，当发生辐射事故时，医院应立即向所在地 110 社会应急联动中心报告，并按本单位辐射事故应急预案启动相应级别的应急响应，采取必要的先期处置措施，并在 2 小时内、力争 1 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告，积极配合政府管理部门做好事故调查和善后工作。

医院应继续加强管理，严格要求辐射工作人员按照操作规程进行操作，并在实际工作中不断对辐射安全管理制度进行完善，加强职工辐射防护知识的培训，定期检查辐射安全措施的有效性，定期对工作场所进行检测，尽可能避免辐射事故的发生。通过上述措施，能够有效避免辐射事故的发生或尽量减轻辐射事故的后果。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》等法律法规要求，使用射线装置、放射性同位素的单位应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有1名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作；辐射安全与环境保护管理工作人员和辐射工作人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核；自2020年1月1日起，新从事辐射活动的人员，以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台报名并参加考核，2020年1月1日前已取得的原培训合格证书在有效期内继续有效。

医院已成立了专门的辐射安全与环境保护管理机构，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确了各成员管理职责。医院辐射防护专职管理人员及现有辐射工作人员均已参加并通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核，合格证书均在有效期内。

医院应组织本项目新进人员参加辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训，通过考核后，方能满足辐射工作人员的岗位要求。同时，医院应为其配备个人剂量计并定期送检，定期组织其进行职业健康体检，建立个人剂量档案及职业健康档案。

12.2 辐射安全管理规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中的有关要求，温州医科大学附属第一医院已制定了相关的辐射安全管理制度，主要有《辐射防护和安全保卫制度》《操作规程》《岗位职责》《设备检修维护制度》《人员培训计划》《监测方案》《台账管理制度》《放射性三废管理制度》及《辐射事故应急预案》等，医院制定的辐射安全管理规章制度具有一定的针对性和可操作性，满足现有核技术利用项目和本项目对辐射安全管理规章制度的需求。

医院已开展回旋加速器生产¹⁸F放射性药物、PET/CT和SPECT/CT核素检查以及相关核素治疗多年，相关辐射安全管理规章制度较完善，现对医院已制定的辐射安全管理制度的重点总结如下：

辐射防护和安全保卫制度：已根据射线装置、放射性同位素操作的具体情况制定了

相应的辐射防护和安全保卫制度，预防辐射安全事故的发生。

操作规程：明确了辐射工作人员的资质条件要求、操作过程中应采取的具体防护措施及步骤。加强辐射工作人员的管理，严禁无证人员操作放射性同位素和射线装置。

岗位职责：明确了辐射工作人员的岗位责任，并落实到个人，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任。

设备检修维护制度：明确了设备和辐射安全装置等在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，确保辐射安全装置有效运转；重点是辐射安全联锁装置、剂量报警仪或检测仪器等必须保持良好工作状态。

放射性同位素、射线装置使用登记制度：建立了射线装置和放射性同位素使用登记制度，明确了射线装置的购买、使用以及放射性同位素的使用、贮存情况等由专人负责登记、专人形成台账、每月核对，确保账物相符。

人员培训计划：明确了培训对象、内容、周期、方式以及考核的办法等内容，并强调对培训档案的管理，做到有据可查。

个人剂量监测方案和职业健康管理：明确了辐射工作人员开展辐射工作时应佩戴个人剂量计，个人剂量计定期送有资质部门进行监测，明确了个人剂量计的佩戴和监测周期，个人剂量监测结果及时告知辐射工作人员，使其了解其个人剂量情况，以个人剂量检测报告为依据，严格控制职业人员受照剂量，防止个人剂量超标；明确了辐射工作人员进行职业健康体检的周期，建立了个人累积剂量和职业健康体检档案。

辐射环境监测方案：购置了相应的监测设备，明确日常工作的监测项目和监测频次，监测结果定期上报生态环境行政主管部门。每年对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年1月31日前在全国核技术利用辐射安全申报系统上提交上一年度的评估报告。

放射性三废管理制度：制定了放射性三废管理制度，明确放射性废物应根据类型分开单独收集处理，制定放射性废气排放管理措施，以及放射性废水、放射性固体废物收集、贮存、衰变、处置措施，安排专人做好放射性废物产生、处理、处置（包括排放）的记录，并建立档案。

事故应急预案：已针对可能产生的辐射事故制定了辐射事故应急预案，明确相应的辐射防护措施及事故处理程序等，预案中明确了应急机构的组成、职责分工、应急人员的培训、事故报告制度、辐射防护措施及事故处理程序等。发生辐射事故时，应当立即启动事故应急预案，采取必要的防范措施，并在事故发生后一小时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康部

门报告。同时，在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告。

本项目辐射工作人员应在医院辐射安全与防护领导小组的领导下，明确各人员岗位职责，严格落实辐射安全管理规章制度，定期对设备的辐射安全措施进行检查。医院在之后的实际工作中还应不断根据法律法规及实际情况对各管理制度进行补充和完善，使其具有较强的针对性和可操作性。

12.3 辐射监测

12.3.1 监测仪器

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求，使用放射性同位素和射线装置的单位，应配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量报警、便携式辐射监测、表面污染监测等设备，对直接从事使用活动的工作人员进行个人剂量监测和职业健康检查，建立个人剂量档案和职业健康监护档案。

医院已配备 1 台便携式辐射监测仪，还应为本项目核医学科配备 2 台 α - β 表面沾污仪和 2 台个人剂量报警仪，为核素病房配备 1 台 α - β 表面沾污仪和 2 台个人剂量报警仪，为 DSA 复合手术室配备 2 台个人剂量报警仪。以上监测仪器按要求配备后，能够满足本项目的仪器配备要求。

12.3.2 监测方案

根据国家相关法律法规要求，开展辐射工作的单位应当对其工作场所防护以及放射工作人员职业受照情况定期开展自主或者委托监测，以保障辐射工作的正常开展以及人员的健康和安全。医院已根据现有核技术利用项目制定了相应的辐射监测计划，并已认真落实以上监测方案，并于每年 1 月 31 日前在全国核技术利用辐射安全申报系统提交了上一年度的评估报告。

本项目监测计划如下：

1、个人剂量和职业健康监测

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》和《职业性外照射个人监测规范》中的相关要求，医院委托有资质的单位定期（不少于 1 次/3 个月）对辐射工作人员个人剂量进行监测，并建立辐射工作人员个人剂量档案，并对个人剂量档案终生保存。

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》和《放射工作人员健康要求及监护规范》中的相关要求，医院组织辐射工作人员定期进行职业健康检查，职业健康检查包括上岗前、在岗期间、离岗时、

受到应急照射或者事故照射时的健康检查，以及职业性放射性疾病患者和受到过量照射的放射工作人员的医学随访观察；放射工作人员在岗期间职业健康检查周期为1~2年，但不得超过2年，必要时可适当增加检查次数。医院对从事辐射工作的工作人员建立并终生保存职业健康监护档案，并由专人负责管理。

2、工作场所及周围环境监测

(1) 竣工环保验收监测

根据《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》，本项目竣工后3个月内，医院应委托有资质的单位对本项目辐射工作场所的辐射水平和表面污染进行监测，并按照国务院生态环境行政主管部门规定的标准和程序，对配套建设的环境保护设施进行自主验收。

(2) 年度监测

医院应委托有资质的单位定期对本项目辐射工作场所的辐射水平和表面污染进行监测，监测频次不少于1次/年。监测结果连同单位的年度辐射安全评估报告一起，在次年的1月31日前在全国核技术利用辐射安全申报系统提交。

(3) 企业自主监测

医院利用自配的辐射监测仪器对本项目辐射工作场所进行定期自主监测，并建立档案，监测内容包括：

①用自配备的环境辐射巡测仪定期对射线装置机房外开展X- γ 辐射周围剂量当量率监测，并记录档案，监测频次不少于1次/季度；

②用自配备的环境辐射巡测仪定期对非密封放射性物质工作场所的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点位开展X- γ 辐射周围剂量当量率监测，并记录档案，监测频次不少于1次/月；

③用自配备的 α - β 表面沾污仪在每次工作结束后对非密封放射性物质工作场所的放射性表面污染进行监测，监测点位包括：放射性核素操作台面、设备表面、墙壁和地面，给药后患者候诊室，核素治疗场所的设施、墙壁和地面等，放射性废物桶和包装袋表面，工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等。当出现放射性药物洒落应及时进行监测。

本项目落实上述监测方案后，方能满足辐射安全管理的要求。本项目监测方案见表12-1~表12-3。

表 12-1 本项目回旋加速器工作场所及周围环境监测计划

监测项目	监测类型	监测因子	监测单位和监测频次	监测点位	监测依据
工作场所监测	竣工环保验收监测	γ辐射剂量率、中子剂量率	请有资质单位监测，取得辐射安全许可证后 3 个月内	①机房四周墙体、顶外 30cm 以及楼下人员可达处； ② 防护门表面 30cm，测门表面和四周门缝； ③控制室内人员操作位、机房周围人员经常活动的位置。	《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）
	年度监测	γ辐射剂量率、中子剂量率	请有资质单位监测，不少于 1 次/年		
	日常监测	γ辐射剂量率	自主监测，不少于 1 次/月		

表 12-2 本项目非密封放射性物质工作场所及周围环境监测计划

监测项目	监测类型	监测因子	监测单位和监测频次	监测点位	监测依据
工作场所监测	竣工环保验收监测	γ辐射剂量率、α、β表面污染	请有资质单位监测，取得辐射安全许可证后 3 个月内	辐射水平： 控制区和监督区以及楼上、楼下所有工作人员和公众可能居留的有代表性的点位以及热室、手套箱、通风柜、放射性废物铅桶表面； 表面污染： 放射性核素操作台面、设备表面、墙壁和地面等；放射性废物铅桶和包装袋表面；工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等；出口处电梯和地面等。	《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）
	年度监测	γ辐射剂量率、α、β表面污染	请有资质单位监测，不少于 1 次/年		
	日常监测	γ辐射剂量率、α、β表面污染	γ辐射剂量率自主监测不少于 1 次/月，α、β表面污染自主监测为每次工作结束后进行监测（出现放射性药物洒落应及时进行监测）		

表 12-3 本项目 DSA 工作场所及周围环境监测计划

监测项目	监测类型	监测因子	监测单位和监测频次	监测点位	监测依据
工作场所监测	竣工环保验收监测	γ辐射剂量率	请有资质单位监测，取得辐射安全许可证后 3 个月内	①机房四周墙体、顶外 30cm 以及楼下人员可达处； ② 各防护门外 30cm，测门表面和门缝四周； ③控制室内人员操作位、机房周围人员经常活动的位置。	《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）
	年度监测	γ辐射剂量率	请有资质单位监测，不少于 1 次/年		
	日常监测	γ辐射剂量率	自主监测，不少于 1 次/季度		

12.4 辐射事故应急

依照国家环保总局的《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》（环发[2006]145号文）中的有关要求，辐射事故可分为特别重大辐射事故、重大事故、较大事故和一般辐射事故。本项目事故多为放射性药物或放射源的丢失、被盗或泼洒而发生污染，以及射线装置开机误照射。

为加强辐射工作过程中的辐射安全和管理，预防和控制放射性突发事件的发生而造成的危害，保障辐射工作人员和周围公众的健康与安全，医院已根据现有核技术利用项目制定了事故应急方案，应急方案内容包括：

- (1) 应急机构和职责分工；
- (2) 辐射事故分级与应急响应措施；
- (3) 应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；
- (4) 应急演习计划；
- (5) 辐射事故调查、报告和处理程序。

温州医科大学附属第一医院制定的应急预案有效可行，满足环保相关要求。此外，医院应加强管理，加强职工辐射防护知识的培训，学习结束后应进行总结，每年开展辐射应急演习，发现问题及时解决，并在实际工作中不断完善辐射安全管理制度，尽可能避免辐射事故的发生，确保辐射工作安全有效运转。

发生辐射事故时，应当立即启动事故应急方案，采取必要的防范措施，并在事故发生后立即向所在地生态环境部门和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康部门报告。同时，在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告。

12.5 “三同时”验收

根据《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》，本项目竣工后，医院应当按照国务院生态环境行政主管部门规定的标准和程序，对配套建设的环境保护设施进行自主验收，编制验收报告，“三同时”验收清单见表12-4。

表 12-4 “三同时”验收一览表

项目	“三同时”验收内容	验收要求
防护措施	核医学科和核素病房墙体采用实心砖+硫酸钡防护涂料，顶部和底部采用混凝土+硫酸钡防护涂料，门采用铅防护门，观察窗、注射窗采用铅玻璃等实体屏蔽防护措施，具体屏蔽参数见报告中表10-7和表10-11。 DSA工作场所墙体采用龙骨架+4mm铅板，顶部采用混凝土+铅板，底部采用混凝土+硫酸钡	辐射工作场所表面外辐射剂量率满足本项目辐射剂量管理限值要求；辐射工作人员和周围公众年受照剂量满足：职业人员年受照剂量不超过5mSv，公众年受照剂量不超过0.1mSv。

	防护涂料，门采用铅防护门，观察窗采用铅玻璃等实体屏蔽防护措施，具体屏蔽参数见报告中表10-14。	
安全措施	<p>1、回旋加速器机房：</p> <p>①加速器操作许可，②钥匙开关，③安全联锁和延时开门措施，④信号警示装置，⑤电离辐射警告标志，⑥急停按钮，⑦固定式辐射监测仪，⑧视频监控，⑨紧急开门按钮，⑩巡检开关，⑪门禁系统。</p> <p>2、合成分装室和质控室：</p> <p>①电离辐射警告标志，②固定式辐射监测仪，③视频监控，④热室准备联锁，⑤门禁系统。</p> <p>3、核素诊疗区：</p> <p>①工作状态指示灯，②防夹和自动闭门装置，③门禁和监控系统，④电离辐射警告标志，⑤单向门及门禁，⑥监控及对讲系统，⑦导向标识，⑧急停按钮，⑨配备个人防护用品等。</p> <p>4、核素病房：</p> <p>①门禁系统和监控系统，②电离辐射警告标志，③单向门及门禁系统，④监控及对讲系统，⑤铅屏风隔挡，⑥导向标识，⑦双人双锁，⑧配备个人防护用品等。</p> <p>5、放射性废水衰变室：</p> <p>①电离辐射警告标志，②门禁系统，③监控探头。</p>	满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中的相关要求。
	<p>6、DSA工作场所：</p> <p>①工作状态指示灯，②防夹和曝光时关闭的管理措施，③电离辐射警告标志，④监控与对讲装置，⑤个人防护用品。</p>	《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中的相关要求。
	所有辐射工作人员均参加辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训，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》中人员培训要求。
人员配备	所有辐射工作人员均配备个人剂量计，并定期（不超过3个月）送有资质部门进行监测，医院建立个人累积剂量档案。	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》《职业性外照射个人监测规范》中个人剂量监测的要求。
	所有辐射工作人员均定期（不超过1次/2年）进行职业健康体检，医院建立职业健康监护档案。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》《放射工作人员健康要求及监护规范》中职业健康体检的要求。

监测仪器和防护用品		医院已配备 1 台环境辐射巡测仪。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中监测仪器和防护用品配备的要求。
		核医学科配备 2 台 α - β 表面沾污仪和 2 台个人剂量报警仪；核素病房配备 1 台 α - β 表面沾污仪和 2 台个人剂量报警仪；DSA 复合手术室配备 2 台个人剂量报警仪。	
		核医学科至少配备 7 套铅衣、铅围脖等个人防护用品；核素病房至少配备 2 套铅衣、铅围脖等个人防护用品；DSA 至少配备 4 套铅衣、铅围脖等个人防护用品。	
管理措施	管理机构	已成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确各成员管理职责。	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中辐射安全管理的要求。
	管理制度	已制定《辐射防护和安全保卫制度》《操作规程》《岗位职责》《设备检修维护制度》《人员培训计划》《监测方案》《台账管理制度》《放射性三废管理制度》及《辐射事故应急预案》等辐射安全管理制度进行补充和完善，在之后的实际工作中落实到实处。	
放射性“三废”处理措施		<p>放射性废水处理措施：</p> <p>地下二层新建放射性废水衰变室，衰变室内设置 2 套放射性废水衰变系统，1#~4#衰变池为长半衰期放射性废水衰变系统，5#~8#衰变池为短半衰期放射性废水衰变系统，长半衰期 1#衰变池容积为 179m³（有效容积为 153.45m³），2#衰变池容积为 180m³（有效容积为 154.29m³），3#衰变池容积为 179.9m³（有效容积为 154.2m³），4#衰变池容积为 175.14m³（有效容积为 150.12m³），短半衰期 5#衰变池容积为 49.07m³（有效容积为 42.06m³），6#衰变池容积为 49m³（有效容积为 42.03m³），7#衰变池容积为 49.1m³（有效容积为 42.09m³），8#衰变池容积为 49.35m³（有效容积为 42.3m³）。核医学科产生的含有核素 ¹⁸F、⁶⁴Cu、⁶⁷Ga、⁶⁸Ga、^{99m}Tc、¹²³I 的放射性废水排入短半衰期放射性废水衰变系统，核素病房产生的含有核素 ¹³¹I、¹⁷⁷Lu、²²⁵Ac 的放射性废水排入长半衰期放射性废水衰变系统，每次排放前确保短半衰期放射性废水衰变系统中废水已至少衰变 33 天，长半衰期放射性废水衰变系统中废水已至少衰变 180 天，并取样监测，监测结果满足总α不大于 1Bq/L、总β不大于 10Bq/L 的要求，监测结果经审管部门认可后，方可排放至医院的污水处理系统，作为医疗废水进行处理。</p> <p>在 ECT 注射室内设置两个 15L 的塑料桶，敷贴器制备过程产生的少量含 ³²P 的工艺废水单独收</p>	满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中放射性废水处理要求。

	<p>集在塑料桶中，并放置在 ECT 注射室 20mmPb 铅桶内，每个塑料桶可暂存 30 周（即 210 天）的废水量，每个塑料桶集满后，标明日期后密封衰变，在桶内自然衰变至少 143 天后，经检测，满足总α不大于 1Bq/L、总β不大于 10Bq/L、^{32}P 的放射性活度浓度不大于 1×10^6 Bq/L 的要求，监测结果经审管部门认可后，排至医院的污水处理系统，作为医疗废水进行处理。</p>	
	<p>放射性废气处理措施：</p> <p>核医学科工作场所以及热室、通风柜、手套箱拟设置独立排风系统（共设计 7 套排风系统），热室、通风柜、手套箱设计风速不小于 0.5m/s，不同房间的排风管道内设置止回阀，确保废气不回流，通过控制不同场所的风量或压差，控制气流流向遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计，以防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。核医学科工作场所的排风系统在楼顶排风口处拟设置一级活性炭高效过滤装置，热室、通风柜、手套箱的顶壁以及楼顶排风口处共拟设置两级活性炭高效过滤装置，本项目核医学科产生的放射性废气由各自排风管道延伸至肿瘤中心楼的楼顶后经活性炭高效过滤器过滤后排放（共有 7 个放射性废气排放口），排风口设置于楼顶的西北角，50m 评价范围内无高层建筑。</p> <p>核素病房的工作场所、手套箱、碘自动分装仪拟设置独立排风系统（共设计 3 套排风系统），手套箱、碘自动分装仪设计风速不小于 0.5m/s，不同房间的排风管道内设置止回阀，确保废气不回流，通过控制不同场所的风量或压差，控制气流流向遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计，以防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。核素病房工作场所的排风系统在楼顶排风口处拟设置一级活性炭高效过滤装置，手套箱、碘自动分装仪的顶壁以及楼顶排风口处共拟设置两级活性炭高效过滤装置，本项目核素病房产生的放射性废气由各自排风管道延伸至肿瘤中心楼的楼顶后经活性炭高效过滤器过滤后排放（共有 3 个放射性废气排放口），排风口设置于楼顶的西北角，50m 评价范围内无高层建筑。</p> <p>地下二层的放射性废水衰变室拟设置一套单独的排风系统，在楼顶排风口处设置一级活性炭高效过滤器，放射性废水衰变室内的废气由排风管道延伸至肿瘤中心楼的楼顶后经活性炭高效过</p>	<p>满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置的要求。</p>

	<p>滤器过滤后排放（共 1 个废气排放口），排风口设置于楼顶的西北角，50m 评价范围内无高层建筑。</p>	
	<p>放射性固体废物处理措施：</p> <p>回旋加速器机房内设置 1 个高活性放射性废物铅桶（50mmPb）和 1 个非高活性放射性废物铅桶（20mmPb），分别用于收集废靶膜等高活性固废和非高活性固废，放射性固废经暂存后定期由有资质单位回收处置或送省城市放射性废物库。</p> <p>核医学科内各房间拟设置废物铅桶或废物桶，废物铅桶和废物桶内放有专用塑料袋，各房间产生的放射性固体废物先暂存在各房间的废物铅桶或废物桶内，注射器针头等尖刺和棱角的放射性废物装入利器盒中，每日工作结束后分类收集密封并贴上标签（标明核素种类、存放日期等信息）储存在核医学科的放射性固废间内，所含核素半衰期小于 24h 的放射性固体废物暂存时间超过 30 天、所含核素半衰期大于 24h 的放射性固体废物暂存时间超过半衰期的 10 倍、含 ¹³¹I 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天，经监测辐射剂量率处于环境本底水平，α 表面污染小于 0.08Bq/cm²、β 表面污染小于 0.8Bq/cm² 后，作为医疗废物由有资质单位统一回收处理。</p> <p>核医学科通风系统中置换下的含放射性核素的废活性炭高效过滤材料集中收集于专用塑料袋内，贴上标签（标明存放日期等信息）后储存在核医学科的放射性固废间内，自然衰变超过 180 天，经监测辐射剂量率处于环境本底水平、α 表面污染小于 0.08Bq/cm²、β 表面污染小于 0.8Bq/cm² 后，作为非放射性固体废物由有资质单位统一回收处理。</p> <p>核医学科退役的校准源 ²²Na 贮存在储源罐中，放置在储源室内，最终由原生产厂家回收或由省城市放射性废物库回收处置。</p> <p>核素病房内各房间拟设置废物铅桶或废物桶，废物铅桶和废物桶内放有专用塑料袋，各房间产生的放射性固体废物先暂存在各房间的废物铅桶或废物桶内，注射器针头等尖刺和棱角的放射性废物装入利器盒中，病人出院后集中收集密封并贴上标签（标明核素种类、存放日期等信息）储存在核素病房的放射性固废间内，含 ¹³¹I 的放射性固体废物暂存时间超过 180 天，含 ¹⁷⁷Lu 的放射性固体废物暂存时间超过 68 天，含 ²²⁵Ac 的放射性固体废物暂存时间超过 100 天，经监测辐射剂量率处于环境本底水平，α 表面污染小于</p>	<p>满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中有关放射性固体废物处理的要求。</p>

	<p>0.08Bq/cm²、β表面污染小于 0.8Bq/cm²后，作为医疗废物由有资质单位统一回收处理。</p> <p>核素病房通风系统中置换下的含放射性核素的废活性炭高效过滤材料集中收集于专用塑料袋内，贴上标签（标明存放日期等信息）后储存在核素病房的放射性固废间内，自然衰变超过 180 天，经监测辐射剂量率处于环境本底水平、α表面污染小于 0.08Bq/cm²、β表面污染小于 0.8Bq/cm²后，作为非放射性固体废物由有资质单位统一回收处理。</p> <p>放射性废水衰变室通风系统中置换下的含放射性核素的废活性炭高效过滤材料集中收集于专用塑料袋内，贴上标签（标明存放日期等信息）后储存在核医学科的放射性固废间内，自然衰变超过 180 天，经监测辐射剂量率处于环境本底水平、α表面污染小于 0.08Bq/cm²、β表面污染小于 0.8Bq/cm²后，作为非放射性固体废物由有资质单位统一回收处理。</p>	
--	--	--

表 13 结论与建议

13.1 结论

1、项目概况

为提升当地和周边区域群众的医疗服务水平，满足医院发展需要，医院拟在肿瘤中心楼开展以下核技术利用项目：

(1) 在肿瘤中心楼地下一层扩建核医学科，包括正电子药物生产区和核素诊疗区，正电子药物生产区配备 1 台回旋加速器，生产 ^{18}F 正电子药物；核素诊疗区配备 1 台 PET/CT、1 台 SPECT/CT，使用 ^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{67}Ga 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{123}I 放射性药物进行显像诊断，除 ^{18}F 放射性药物为自行生产外，其他放射性药物均为外购成品针剂；拟购买 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 成品药物注射针剂，进行门诊核素治疗；并拟在 ECT 注射室的手套箱内使用 ^{32}P 放射性核素制备 ^{32}P 敷贴器，在敷贴室内进行 ^{32}P 核素皮肤敷贴治疗。此外，核素诊疗区还设置一间吸碘率测试间，使用放射性核素 ^{131}I 用于测量甲状腺对放射性碘的摄取量，评估甲状腺的功能状态；并拟为 PET/CT 配备 2 枚 ^{22}Na V 类校准源。核医学科日等效最大操作量为 $1.45\text{E}+09\text{Bq}$ ，属于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的乙级非密封放射性物质工作场所；

(2) 在肿瘤中心楼一楼建设核素病房，共 10 张病床，外购 ^{131}I 、 ^{177}Lu 、 ^{225}Ac 放射性药物进行住院核素治疗，核素病房日等效最大操作量为 $3.996\text{E}+09\text{Bq}$ ，属于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的乙级非密封放射性物质工作场所；

(3) 在肿瘤中心楼三楼的手术中心扩建一间 DSA 复合手术室，配备 1 台 DSA（最大管电压 $\leq 125\text{kV}$ 、最大管电流 $\leq 1250\text{mA}$ ），用于放射诊断和介入治疗，为 II 类射线装置。

2、产业政策符合性和实践正当性评价

结合国家发展和改革委员会第 7 号令《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，本项目属于第三十七项“卫生健康”中第 1 款的医疗卫生服务设施建设，属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策的要求。

本项目投入使用能够更好的满足患者的就诊需求，在做好辐射防护的基础上，本项目的建设运行对受照个人或社会所带来的利益能够弥补其可能引起的辐射危害，该项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）“实践的正当性”的原则。

3、选址、布局合理性评价

本项目核医学科和核素病房拟建址位于建筑物的一端，设置有相应的物理隔断和单独的人员、物流通道，并与非放射性工作场所有明确的分界隔离，不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，周围无环境制约因素，项目选址合理。

本项目核医学科放射性药物操作场所的出入口设有卫生通过间，为工作人员提供可更换的衣物、防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备，控制区相对集中，高活区集中在一端，并设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，给药后患者与给药前患者不交叉，注射后候诊室和留观室内设有用药患者的专用卫生间，减少给药后患者对其他人员的照射，进药时间与就诊时间错开，放射性药物和放射性废物运送通道短捷，可有效避免工作人员、患者与放射性药物之间的交叉污染，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的布局要求，布局合理。

医院拟将核医学科的回旋加速器机房、合成分装室、外包间、质控室、PET 注射室、ECT 注射室、敷贴室、运动负荷兼抢救室、甲功室、放射性固废间、储源室、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、PET 注射后候诊室、ECT 注射后候诊室、PET 留观室、ECT 留观室、洁具间、配电小间、给药后患者走廊和专用电梯作为控制区，控制区入口处明显位置粘贴符合 GB18871-2002 要求的电离辐射警告标志和中文警示说明，未经授权的无关人员禁止进入；将回旋加速器的控制室、设备间、净化机房和气瓶间、合成分装室的一更和二更、注射室的卫生通过间、办公室、患者注射前候诊区、扫描机房的控制室和设备间、南侧走廊、核医学科工作场所外 1m 宽的区域（在地面粘贴警戒线）划为监督区，监督区入口处明显位置粘贴监督区标识，禁止无关人员进入。本项目核医学科的控制区和监督区划分明显，布局合理，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中有关辐射工作场所的分区规定。

本项目核素病房的出入口设有卫生通过间，为工作人员提供可更换的衣物、防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备，控制区相对集中，高活区集中在一端，并设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，给药后患者与给药前患者不交叉，病房内设有用药患者的专用卫生间，减少给药后患者对其他人员的照射，进药时间与就诊时间错开，放射性药物和放射性废物运送通道短捷，可有效避免工作人员、患者与放射性药物之间的交叉污染，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的布局要求，布局合理。

医院拟将 1#~6#核素病房、抢救室、配餐间、取餐间、储源室、给药室、分装室、放射性固废间、视频室、洁具间、放射性污物间、给药后患者走廊作为控制区，控制区入口处明显位置粘贴符合 GB18871-2002 要求的电离辐射警告标志和中文警示说明，未经授权的无关人员禁止进入；将患者入口缓冲间、清洁被服库、工作人员卫生通过间、北侧应急出口缓冲间以及核素病房工作场所外 1m 宽的区域（在地面粘贴警戒线）划为监督区，监督区入口处明显位置粘贴监督区标识，禁止无关人员进入。本项目核素病房的控制区和监督区划分明显，布局合理，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中有关辐射工作场所的分区规定。

此外，医院拟将核医学科和核素病房配套的放射性废水衰变室作为控制区，控制区入口处设计有符合 GB18871-2002 要求的电离辐射警告标志，禁止无关人员进入；将衰变室的控制室、真空排水泵房划为监督区，监督区入口处明显位置粘贴监督区标识，禁止无关人员进入。本项目放射性废水衰变室的控制区和监督区划分明显，布局合理，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中有关辐射工作场所的分区规定。

本项目 DSA 工作场所设有单独的机房，控制室位于机房外，满足拟用辐射设备的布局要求；DSA 机房内最小使用面积、最小单边长度符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“每台固定使用的 X 射线设备应设有单独的机房，机房应满足使用设备的布局要求”等标准的相关要求，布局合理。

医院拟将 DSA 机房作为控制区，控制区入口处明显位置粘贴符合 GB18871-2002 要求的电离辐射警告标志和中文警示说明，工作期间禁止除介入手术人员和患者外的其他人员进入；将控制室、设备间以及患者通道和污物通道防护门外 1m 宽的通道（在地面粘贴警戒线）划为监督区，工作期间禁止任何无关人员进入。本项目 DSA 复合手术室的控制区和监督区划分明显，布局合理，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中有关辐射工作场所的分区规定。

4、辐射防护措施评价

本项目核医学科、核素病房、DSA 工作场所均采用实体屏蔽防护措施，根据理论预测及分析，本项目核医学科、核素病房、DSA 工作场所的屏蔽防护设计均满足辐射防护要求，场所周围辐射剂量率满足相应剂量率管理限值要求。

5、辐射安全措施评价

本项目核医学科的回旋加速器机房拟采取的辐射安全措施主要有：加速器操作许

可、钥匙开关、安全联锁和延时开门措施、信号警示装置、电离辐射警告标志、急停按钮、固定式辐射监测仪、视频监控、紧急开门按钮、巡检开关、门禁系统等。

本项目核医学科的合成分装室和质控室拟采取的辐射安全措施主要有：电离辐射警告标志、固定式辐射监测仪、视频监控、热室准备联锁、门禁系统等。

本项目核医学科的核素诊疗区拟采取的辐射安全措施主要有：工作状态指示灯、防夹和自动闭门装置、门禁和监控系统、电离辐射警告标志、单向门及门禁、监控及对讲系统、导向标识、急停按钮、配备个人防护用品等。

本项目核素病房拟采取的辐射安全措施主要有：门禁系统和监控系统、电离辐射警告标志、单向门及门禁系统、监控及对讲系统、铅屏风隔挡、导向标识、双人双锁、配备个人防护用品等。

本项目放射性废水衰变室拟采取的辐射安全措施主要有：电离辐射警告标志、门禁系统、监控探头等。

本项目 DSA 工作场所拟采取的辐射安全措施主要有：工作状态指示灯、防夹和曝光时关闭的管理措施、电离辐射警告标志、监控与对讲装置、个人防护用品等。

落实以上辐射安全和防护措施后，本项目的辐射安全措施能够满足辐射安全防护要求。

6、保护目标剂量评价

根据理论估算结果，本项目在做好个人防护措施、安全措施的情况下，辐射工作人员和公众年受照剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和本项目管理目标（职业人员年受照剂量不超过 5mSv，公众年受照剂量不超过 0.1mSv）的剂量限值要求。

7、辐射防护监测仪器评价

医院已配备 1 台便携式辐射监测仪，还应为本项目核医学科配备 2 台 α - β 表面沾污仪和 2 台个人剂量报警仪，为核素病房配备 1 台 α - β 表面沾污仪和 2 台个人剂量报警仪，为 DSA 复合手术室配备 2 台个人剂量报警仪。以上监测仪器按要求配备后，能够满足本项目的仪器配备要求。

8、放射性废物处理措施评价

（1）放射性废水处理措施评价

医院拟在肿瘤中心楼的地下二层新建一间放射性废水衰变室，衰变室内设置 2 套放射性废水衰变系统，1#~4#衰变池为长半衰期放射性废水衰变系统，5#~8#衰变池为短半

衰期放射性废水衰变系统。核医学科产生的含有核素 ^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{67}Ga 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{123}I 的放射性废水排入短半衰期放射性废水衰变系统，核素病房产生的含有核素 ^{131}I 、 ^{177}Lu 、 ^{225}Ac 的放射性废水排入长半衰期放射性废水衰变系统，每次排放前确保短半衰期放射性废水衰变系统中废水已至少衰变 33 天，长半衰期放射性废水衰变系统中废水已至少衰变 180 天，并取样监测，监测结果满足总 α 不大于 1Bq/L、总 β 不大于 10Bq/L 的要求，监测结果经审管部门认可后，方可排放至医院的污水处理系统，作为医疗废水进行处理，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中放射性废水处置要求，对周围环境辐射影响很小。

此外，本项目将在 ECT 注射室内设置两个 15L 的塑料桶，敷贴器制备过程产生的少量含 ^{32}P 的工艺废水单独收集在塑料桶中，并放置在 ECT 注射室 20mmPb 铅桶内，每个塑料桶可暂存 30 周（即 210 天）的废水量，每个塑料桶集满后，标明日期后密封衰变，在桶内自然衰变至少 143 天后，经检测，满足总 α 不大于 1Bq/L、总 β 不大于 10Bq/L、 ^{32}P 的放射性活度浓度不大于 1×10^6 Bq/L 的要求，监测结果经审管部门认可后，排至医院的污水处理系统，作为医疗废水进行处理，满足放射性废水处置要求，对周围环境辐射影响很小。

（2）放射性废气处理措施评价

本项目核医学科工作场所以及热室、通风柜、手套箱拟设置独立排风系统（共设计 7 套排风系统），热室、通风柜、手套箱设计风速不小于 0.5m/s，不同房间的排风管道内设置止回阀，确保废气不回流，通过控制不同场所的风量或压差，控制气流流向遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计，以防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。核医学科工作场所的排风系统在楼顶排风口处拟设置一级活性炭高效过滤装置，热室、通风柜、手套箱的顶壁以及楼顶排风口处共拟设置两级活性炭高效过滤装置，本项目核医学科产生的放射性废气由各自排风管道延伸至肿瘤中心楼的楼顶后经活性炭高效过滤器过滤后排放（共有 7 个放射性废气排放口），排风口设置于楼顶的西北角，50m 评价范围内无高层建筑，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中放射性废气排放的要求，对周围环境辐射影响很小。

本项目核素病房的工作场所、手套箱、碘自动分装仪拟设置独立排风系统（共设计 3 套排风系统），手套箱、碘自动分装仪设计风速不小于 0.5m/s，不同房间的排风管道内设置止回阀，确保废气不回流，通过控制不同场所的风量或压差，控制气流流向遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计，以防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成

交叉污染。核素病房工作场所的排风系统在楼顶排风口处拟设置一级活性炭高效过滤装置，手套箱、碘自动分装仪的顶壁以及楼顶排风口处共拟设置两级活性炭高效过滤装置，本项目核素病房产生的放射性废气由各自排风管道延伸至肿瘤中心楼的楼顶后经活性炭高效过滤器过滤后排放（共有3个放射性废气排放口），排风口设置于楼顶的西北角，50m评价范围内无高层建筑，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中放射性废气排放的要求，对周围环境辐射影响很小。

本项目地下二层的放射性废水衰变室拟设置一套单独的排风系统，在楼顶排风口处设置一级活性炭高效过滤器，放射性废水衰变室内的废气由排风管道延伸至肿瘤中心楼的楼顶后经活性炭高效过滤器过滤后排放（共1个废气排放口），排风口设置于楼顶的西北角，50m评价范围内无高层建筑，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中放射性废气排放的要求，对周围环境辐射影响很小。

（3）放射性固体废物处理措施评价

本项目回旋加速器机房内设置1个高活性放射性废物铅桶（50mmPb）和1个非高活性放射性废物铅桶（20mmPb），分别用于收集废靶膜等高活性固废和非高活性固废，放射性固废经暂存后定期由有资质单位回收处置或送省城市放射性废物库。

本项目核医学科内各房间拟设置废物铅桶或废物桶，废物铅桶和废物桶内放有专用塑料袋，各房间产生的放射性固体废物先暂存在各房间的废物铅桶或废物桶内，注射器针头等尖刺和棱角的放射性废物装入利器盒中，每日工作结束后分类收集密封并贴上标签（标明核素种类、存放日期等信息）储存在核医学科的放射性固废间内，所含核素半衰期小于24h的放射性固体废物暂存时间超过30天、所含核素半衰期大于24h的放射性固体废物暂存时间超过半衰期的10倍、含 ^{131}I 核素的放射性固体废物暂存超过180天，经监测辐射剂量率处于环境本底水平， α 表面污染小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，作为医疗废物由有资质单位统一回收处理。

本项目核医学科通风系统中置换下的含放射性核素的废活性炭高效过滤材料集中收集于专用塑料袋内，贴上标签（标明存放日期等信息）后储存在核医学科的放射性固废间内，自然衰变超过180天，经监测辐射剂量率处于环境本底水平、 α 表面污染小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，作为非放射性固体废物由有资质单位统一回收处理。

本项目核医学科退役的校准源 ^{22}Na 贮存在储源罐中，放置在储源室内，最终由生产厂家回收或由省城市放射性废物库回收处置。

本项目核素病房内各房间拟设置废物铅桶或废物桶，废物铅桶和废物桶内放有专用

塑料袋，各房间产生的放射性固体废物先暂存在各房间的废物铅桶或废物桶内，注射器针头等尖刺和棱角的放射性废物装入利器盒中，病人出院后集中收集密封并贴上标签（标明核素种类、存放日期等信息）储存在核素病房的放射性固废间内，含¹³¹I的放射性固体废物暂存时间超过180天，含¹⁷⁷Lu的放射性固体废物暂存时间超过68天，含²²⁵Ac的放射性固体废物暂存时间超过100天，经监测辐射剂量率处于环境本底水平， α 表面污染小于0.08Bq/cm²、 β 表面污染小于0.8Bq/cm²后，作为医疗废物由有资质单位统一回收处理。

本项目核素病房通风系统中置换下的含放射性核素的废活性炭高效过滤材料集中于专用塑料袋内，贴上标签（标明存放日期等信息）后储存在核素病房的放射性固废间内，自然衰变超过180天，经监测辐射剂量率处于环境本底水平、 α 表面污染小于0.08Bq/cm²、 β 表面污染小于0.8Bq/cm²后，作为非放射性固体废物由有资质单位统一回收处理。

本项目放射性废水衰变室通风系统中置换下的含放射性核素的废活性炭高效过滤材料集中于专用塑料袋内，贴上标签（标明存放日期等信息）后储存在核医学科的放射性固废间内，自然衰变超过180天，经监测辐射剂量率处于环境本底水平、 α 表面污染小于0.08Bq/cm²、 β 表面污染小于0.8Bq/cm²后，作为非放射性固体废物由有资质单位统一回收处理。

综上，本项目放射性固体废物的处理满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中有关放射性固体废物处理的要求。

9、辐射安全管理评价

温州医科大学附属第一医院已成立了专门的辐射安全与环境保护管理机构，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确了各成员的管理职责。医院辐射防护专职管理人员及现有辐射工作人员均已参加并通过了辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核，合格证书均在有效期内，并建立了个人剂量监测档案及职业健康监护档案。医院应组织本项目新进人员参加并通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核，并为新进辐射工作人员配备个人剂量计并定期送检，定期组织新进辐射工作人员进行职业健康体检，建立个人剂量监测档案及职业健康监护档案。医院已制定了相应的辐射安全管理规章制度，并具有较强的针对性和可操作性，同时在工作中将其落到实处，确保辐射工作的安全。医院在落实上述各项辐射防护措施及管理要求后，将具备从事本项目辐射活动的综合能力。

可行性结论：

综上所述，温州医科大学附属第一医院肿瘤中心扩建核医学科和 1 台 DSA 项目在落实本报告所提出的各项污染防治和管理措施后，该单位具备与其所从事的辐射活动相适应的技术能力和辐射安全防护措施，其运行对周围环境产生的影响较小，故从辐射环境保护角度论证，该项目的建设运行是可行的。

13.2 建议与承诺

(1) 该项目运行中，应严格遵循操作规程，加强对医务人员的培训，杜绝麻痹大意思想，以避免意外事故造成对公众和职业人员的附加影响，使对环境的影响降低到最低。

(2) 项目取得批复并建成后，应根据有关规定及时重新申领辐射安全许可证。

(3) 建设项目竣工后，医院应按照国家生态环境行政主管部门规定的程序和标准，组织对配套建设的环境保护设施进行验收，确保建设项目需要配套建设的环境保护设施与主体工程同时投产或者使用。

表 14 审批

下一级生态环境部门预审意见

经办人

公 章
年 月 日

审批意见

经办人

公 章
年 月 日