

检索号	2022-HP-0150
商密级别	普通商密

核技术利用建设项目

宁波市第一医院改、扩建核医学科 项目环境影响报告表

宁波市第一医院

2022 年 12 月

生态环境部监制

表 1 项目基本情况

建设项目名称		宁波市第一医院改、扩建核医学科项目				
建设单位		宁波市第一医院				
法人代表	孙杰	联系人	杨炯	联系电话	13989319735	
注册地址		浙江省宁波市海曙区柳汀街 59 号				
项目建设地点		宁波市奉化方桥东环北路以东，儒江路以南，北仓西路以北 (方桥院区)				
立项审批部门		/		批准文号	/	
建设项目总投资 (万元)		8000	项目环保投资 (万元)	500	投资比例(环保 投资/总投资)	6.25%
项目性质		<input type="checkbox"/> 新建 <input checked="" 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 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 type="checkbox"/> V 类			
	非密封放射 性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input 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 type="checkbox"/> II 类 <input checked="" type="checkbox"/> III 类			
其他	/					
<p>1.1 项目概述</p> <p>1.1.1 建设单位基本情况</p> <p>宁波市第一医院（浙江大学宁波医院）位于浙江省宁波市海曙区柳汀街 59 号，始建于 1913 年，是一所集医疗、教学、科研、预防为一体的三级甲等综合性医院。因发展需求，医院异地建设方桥分院，方桥分院位于宁波市奉化方桥东环北部以东，儒江路以南，北仓西路以北，共分为两期建设，其中一期已建建筑主要包括 1#传染门诊综合楼、2#门急诊医技综合楼、4#医技综合楼、6#病房楼、7#病房综合楼、8#动力中心 1、9#动力中心 2、11#地下室，医院方桥院区一期工程（《宁波市第一医院异地建设（一期）项目环境影响报告书》）于 2019 年 1 月 11 日取得了宁波市生态环境局奉化分局的批复，批复文号为奉环字[2019]3 号，目前方桥院区一期工程部分主体大楼已投入运行。医院二期工程</p>						

主要包括 3#门诊综合楼、5#门诊综合楼、10#应急物资库和实验楼、12#病房综合楼、15#发热门诊楼、21#动力中心楼、22#传染病房综合楼 A、23#传染病房综合楼 B、24#垃圾站、31#宿舍楼，医院方桥院区二期工程《宁波市公共卫生临床中心新建项目环境影响报告书》于 2022 年 5 月 19 日取得了宁波市生态环境局奉化分局的批复，批复文号为奉环字[2022]13 号，目前二期主体工程正处在施工建设中。医院方桥院区一期、二期工程建设项目环评批复见附件 6。

目前，医院本院区核医学科开展有使用放射性核素 ^{99m}Tc 进行 SPECT/CT 显像检查，许可的日等效最大操作量为 $2.08 \times 10^8 \text{Bq}$ ；使用放射性核素 ^{201}Tl 、 ^{131}I 、 ^{89}Sr 、 ^{125}I 粒子源进行治疗，许可的日等效最大操作量依次为 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ 、 $3.7 \times 10^9 \text{Bq}$ 、 $4.4 \times 10^8 \text{Bq}$ 、 $3.7 \times 10^7 \text{Bq}$ 。医院辐射安全许可证见附件 4。

1.1.2 项目由来

因医疗业务的需要，2020 年医院规划在方桥院区 5#门诊综合楼地下一层建设核医学科，拟开展 PET/CT 和 SPECT/CT 放射诊断项目（使用核素 ^{18}F 、 ^{99m}Tc ，使用 3 枚 ^{68}Ge 放射源）、甲癌治疗项目（使用核素 ^{131}I ），该项目于 2020 年 7 月委托江苏辐环环境科技有限公司进行了环境影响评价，并于 2020 年 8 月 7 日取得了宁波市生态环境局的批复，批复文号：甬环建表[2020]22 号。医院方桥院区核医学科原环评内容见表 1-1，原环评报告表主要内容、场所布局及批复见附件 8。目前，该核医学科正处在建设阶段。

表 1-1 医院方桥院区核医学科原环评内容一览表

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	^{68}Ge	3	1.11×10^8	V	PET/CT 检查室、PET/MR 检查室	使用	/	未许可	校准源，新购
非密封放射性物质工作场所									
序号	工作场所等级	核素名称	种类范围	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	使用	地下层 PET 诊断场所	2.22×10^7	2.59×10^{12}	/		
2		^{99m}Tc	使用	地下层 SPECT 诊断场所	3.33×10^8	3.7×10^{12}			
3		^{99}Mo (^{99}Mo - ^{99m}Tc 发生器)	使用		2.96×10^7	1.48×10^{12}			
4	乙级	^{131}I	使用	地下层 甲癌治疗区	3.7×10^9	1.85×10^{12}			

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	150	800	III	核医学科 PET/CT 检查室	/	未许可	新购
2	SPECT/CT (型号未定)	1	150	800	III	核医学科 SPECT/CT 检查室		未许可	新购

为满足宁波地区的医疗需求和医院的发展规划，在实际建设时，医院对该核医学科的布局进行了局部调整，并新增加了 ^{32}P 敷贴治疗和 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 核素治疗项目以及 PET 诊断新增使用 ^{68}Ga 核素，同时已审批的 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 等核素的操作量也进行了调整，调整后的核医学科具体内容及核素使用种类、规模如下：

1、PET 诊断场所

拟在核医学科的中部设置 PET 诊断场所，包含 1 间 PET/CT 扫描室、1 间 PET/MR 扫描室及注射室、淋洗室等，拟使用 ^{18}F 、 ^{68}Ga 正电子药物进行显像检查；其中 ^{68}Ga 药物由核医学科购置 ^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器自行淋洗制备， ^{18}F 药物为直接购买成罐的成品药剂。

此外，本项目 PET/CT 和 PET/MR 使用 3 枚 ^{68}Ge 密封源（1 枚活度为 $1.11 \times 10^8 \text{Bq}$ ，2 枚活度为 $4.6 \times 10^7 \text{Bq}$ ）、1 枚 ^{137}Cs 密封源（活度为 $5.55 \times 10^6 \text{Bq}$ ）和 1 枚 ^{57}Co 密封源（活度为 $3.7 \times 10^7 \text{Bq}$ ）进行校准，该 5 枚校准源已由医院进行了建设项目环境影响登记备案，并于 2022 年 9 月 13 日获得了辐射安全许可，本项目不再对该 5 枚校准源进行评价。

2、SPECT 诊断场所

拟在核医学科的北部设置 SPECT 诊断场所，拟开展的具体项目内容包括：

(1) SPECT 诊断项目：包含 1 间 SPECT/CT 扫描室及注射室、高活室等；拟使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物进行显像检查， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物由核医学科购置 ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器自行淋洗。

(2) ^{32}P 敷贴治疗项目：拟在 SPECT 诊断场所内设置 ^{32}P 敷贴治疗场所，包括 1 间 ^{32}P 敷贴器制备间和 1 间 ^{32}P 敷贴室，用于 ^{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。

(3) ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 核素治疗项目：拟购买 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 成品药物注射针剂，在 SPECT 诊断场所内使用 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 两种核素开展前列腺癌、骨转移癌等肿瘤放射性核素治疗项目。病人在 SPECT 注射窗口注射药物后无需留观即可离开医院。

本项目 SPECT 诊断场所内的 SPECT 诊断项目、 ^{32}P 敷贴治疗项目及 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 核素治疗项目采取错时措施，并制定错时诊断和治疗管理制度，每天依次开展 SPECT 诊断、 ^{223}Ra 和 ^{225}Ac 核素治疗、 ^{32}P 敷贴治疗，保证各项目的患者不会造成交叉辐射影响。

3、甲癌病房区

拟在核医学科的南部设置甲癌病房区，拟开展的具体项目内容包括：

(1) ^{131}I 甲癌治疗项目：拟设置 2 间双人间病房和 2 间单人间病房，共 6 张病床，使用 ^{131}I 核素进行甲癌治疗；给药室内拟配备一台自动分装给药仪，医院购置 ^{131}I 药物后通过自动分装给药仪进行分装、给药。

(2) ^{131}I 甲亢治疗项目：拟在甲癌病房区内开展 ^{131}I 甲亢治疗项目，每周开展一次，每次均在甲癌患者住院前开展，病人在给药室内服药后无需留观即可离开医院。

医院方桥院区核医学科改、扩建后基本情况见表 1-2。

表 1-2 医院方桥院区核医学科改、扩建后基本情况一览表

非密封放射性物质工作场所									
序号	工作场所等级	核素名称	种类范围	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	使用	地下一层核医学科 PET 诊断场所	1.48×10^7	3.33×10^{12}	PET 诊断		
2		^{68}Ga	使用		8.88×10^6	8.88×10^{10}			
3		^{68}Ge (^{68}Ga)	使用		1.85×10^6	3.7×10^9			
4		$^{99\text{m}}\text{Tc}$	使用	地下一层核医学科 SPECT 诊断场所	1.48×10^8	3.7×10^{12}	SPECT 诊断		
5		^{99}Mo ($^{99\text{m}}\text{Tc}$)	使用		1.85×10^7	9.25×10^{11}			
6		^{32}P	使用		8.88×10^7	1.11×10^{11}	敷贴治疗		
7		^{223}Ra	使用		1.2×10^8	7.2×10^8	核素治疗		
8		^{225}Ac	使用		1.48×10^8	8.88×10^8			
9		^{131}I	使用	地下一层核医学科 甲癌病房区	2.22×10^9	1.11×10^{12}	甲癌治疗		
10		^{131}I	使用		3.7×10^8	1.85×10^{11}	甲亢治疗		
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	改、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

与 2020 年规划相比，医院对核医学科的布局进行了局部调整，新增加了 ^{32}P 敷贴治疗和 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 核素治疗项目以及 PET 诊断新增使用 ^{68}Ga 核素，同时已审批的 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 等核素的操作量也进行了调整，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，本项目应重新办理环境影响评价手续，并重新报审管部门审批。

本项目为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 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。受宁波市第一医院的委托，江苏辐环环境科技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（委托江苏核众环境监测技术有限公司对项目拟建场址及周围环境进行辐射环境现状监测）等工作的基础上，编制了该项目的环境影响报告表。

1.1.3 项目建设规模

本项目核医学科改、扩建后，建设规模如下：

（1）PET 诊断项目

本项目核医学科 PET 诊断场所拟配备 1 台 PET/CT、1 台 PET/MR，使用 ^{18}F 、 ^{68}Ga 正电子药物进行显像检查，其中 ^{18}F 药物为外购，由厂商送货， ^{68}Ga 由医院购置 ^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器自行淋洗制备，淋洗的 ^{68}Ga 只供本项目核医学科使用。考虑到放射性药物 ^{18}F 的半衰期较短，每人均按最大用药量进行送药，每天分两批次进行送药，每批次送药量最大为 $7.4 \times 10^9 \text{Bq}$ ，确保足够的备药量。本项目 PET 诊断项目基本情况见表 1-3。PET/CT 情况见表 1-2。

表 1-3 本项目 PET 诊断项目基本情况一览表

工作场所	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 诊断场所	^{18}F	3.7×10^8	40	1.48×10^{10}	9000	3.33×10^{12}
	^{68}Ga	2.22×10^8	4	8.88×10^8	400	8.88×10^{10}
	^{68}Ge (^{68}Ga)	日最大操作量： $50\text{mCi}/\text{柱} \times 1 \text{柱} = 1.85 \times 10^9 \text{Bq}/\text{日}$ ； 年最大用量： $50\text{mCi}/\text{柱} \times 2 \text{柱}/\text{年} = 3.7 \times 10^9 \text{Bq}/\text{年}$				

（2）SPECT 诊断项目

本项目核医学科 SPECT/CT 诊断场所拟配备 1 台 SPECT/CT，使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 进行显像检查。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 拟由医院自购 ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器淋洗制备，淋洗的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 只供本项目核医学科使用。本项目 SPECT 诊断项目基本情况见表 1-4，SPECT/CT 情况见表 1-2。

表 1-4 本项目 SPECT 诊断项目基本情况一览表

工作场所	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)
SPECT 诊断场所	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	7.4×10^8	20	1.48×10^{10}	5000	3.7×10^{12}
	^{99}Mo ($^{99\text{m}}\text{Tc}$)	日最大操作量： $500 \text{mCi}/\text{柱} \times 1 \text{柱} = 1.85 \times 10^{10} \text{Bq}$ ； 年最大用量： $500\text{mCi}/\text{柱} \times 1 \text{柱}/\text{周} \times 50 \text{周}/\text{年} = 25 \text{Ci} = 9.25 \times 10^{11} \text{Bq}/\text{年}$				

(3) ^{32}P 敷贴治疗项目

本项目拟在 SPECT 诊断场所内设置 ^{32}P 敷贴治疗场所，使用 ^{32}P 核素自制敷贴器进行敷贴治疗，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。医院预计每天敷贴治疗约 1~2 人，敷贴治疗项目基本情况见表 1-5。

表 1-5 本项目 ^{32}P 敷贴治疗项目基本情况一览表

工作场所	核素	敷贴器最大活度 (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)
SPECT 诊断场所	^{32}P	4.44×10^8	2	8.88×10^8	250	1.11×10^{11}

(4) ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 核素治疗项目

医院拟购买 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 成品药物注射针剂，在 SPECT 诊断场所内开展前列腺癌、骨转移癌等肿瘤放射性核素治疗， ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 核素治疗项目基本情况见表 1-6。

表 1-6 本项目 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 核素治疗项目用药量一览表

工作场所	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)
SPECT 诊断场所	^{223}Ra	6.0×10^6	2	1.2×10^7	120	7.2×10^8
	^{225}Ac	7.4×10^6	2	1.48×10^7	120	8.88×10^8

(5) ^{131}I 甲癌治疗项目

本项目核医学科甲癌病房区拟设置 2 间双人间病房和 2 间单人间病房，共 6 张病床，使用 ^{131}I 核素进行甲癌治疗，每周开展一次，每次最多接收 6 名住院患者， ^{131}I 甲癌治疗基本情况见表 1-7。

表 1-7 本项目 ^{131}I 甲癌治疗项目基本情况一览表

工作场所	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)
甲癌病房区	^{131}I (甲癌)	3.7×10^9	6	2.22×10^{10}	300	1.11×10^{12}

(6) ^{131}I 甲亢治疗项目

本项目核医学科 ^{131}I 甲亢治疗项目拟依托甲癌病房区，每周开展一次，每次均在甲亢患者住院前开展，甲亢病人在给药室内服药后无需留观即可离开医院。 ^{131}I 甲亢治疗基本情况见表 1-8。

表 1-8 本项目 ^{131}I 甲亢治疗项目基本情况一览表

工作场所	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)
甲癌病房区	^{131}I (甲亢)	3.7×10^8	10	3.7×10^9	500	1.85×10^{11}

3、工作场所及等级划分

本项目核医学科包括 PET 诊断场所、SPECT 诊断场所和甲癌病房区，PET 诊断场所位于核医学科的中部区域，SPECT 诊断场所位于核医学科的北部区域，甲癌病房区位于核医学科的南部区域。因 PET 诊断场所和 SPECT 诊断场所共用控制走廊，PET 诊断场所、SPECT 诊断场所和甲癌病房区共用患者出口通道以及放射性固体废物和药物运输通道，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）要求，本项目将 PET 诊断场所、SPECT 诊断场所和甲癌病房区作为一个非密封放射性物质工作场所进行管理。

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），核素 ^{18}F 的操作方式为很简单的操作；核素 ^{68}Ga 需淋洗，参考核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的操作方式为简单操作；治疗用核素 ^{32}P 、 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 的操作方式为简单操作，经过毒性组别及核素的操作方式双重修正后，本项目核医学科非密封放射性物质工作场所分级详见表 1-9。

表 1-9 核医学科放射性工作场所日等效最大操作量及工作场所分级一览表

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)	场所等级
核医学科	^{18}F	1.48×10^{10}	低毒, 0.01	很简单的操作 (液体), 10	1.48×10^7	乙级
	^{68}Ga	8.88×10^8	低毒, 0.01	简单操作 (液体), 1	8.88×10^6	
	^{68}Ge (^{68}Ga)	1.85×10^9	中毒, 0.1	源的贮存 (液体), 100	1.85×10^6	
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1.48×10^{10}	低毒, 0.01	简单操作 (液体), 1	1.48×10^8	
	$^{99\text{m}}\text{Mo}$ ($^{99\text{m}}\text{Tc}$)	1.85×10^{10}	中毒, 0.1	源的贮存 (液体), 100	1.85×10^7	
	^{32}P	8.88×10^8	中毒, 0.1	简单操作 (液体), 1	8.88×10^7	
	^{223}Ra	1.2×10^7	极毒, 10	简单操作 (液体), 1	1.2×10^8	
	^{225}Ac	1.48×10^7	极毒, 10	简单操作 (液体), 1	1.48×10^8	
	^{131}I (甲癌)	2.22×10^{10}	中毒, 0.1	简单操作 (液体), 1	2.22×10^9	
	^{131}I (甲亢)	3.7×10^9	中毒, 0.1	简单操作 (液体), 1	3.7×10^8	
合计					3.14×10^9	乙级

根据表 1-9 可知，本项目核医学科非密封放射性物质工作场所日等效最大操作量为 $3.14 \times 10^9 \text{Bq}$ ，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002），属于乙级非密封放射性物质工作场所。

1.2 项目周边保护目标及项目选址情况

1、医院位置

宁波市第一医院方桥院区位于宁波市奉化方桥东环北路以东、儒江路以南、北仓西路以北、医院方桥院区地理位置示意图见附图 1。医院东侧为规划居住用地，南侧为北仓西路，西侧为东环北路，北侧为儒江路，医院方桥院区平面布局及周围环境情况见附图 2。

2、核医学科位置

医院地下层的南部为地下两层，北部为地下一层，本项目核医学科拟建场址位于 5# 门诊综合楼处的地下层，该处地下仅有一层。核医学科拟建场址地下一层东侧、南侧 50m 范围为地下车库和设备用房等，西侧 50m 范围为土层，北侧 50m 范围为地下车库和设备用房等；楼上为 5# 门诊综合楼的特需门诊和室外庭院；地下无建筑；地上东侧 4# 医技综合楼距核医学科最近距离约 29m，南侧 3# 门诊综合楼距核医学科最近距离约 36m，西侧 8# 动力中心楼距核医学科最近距离约 47m，北侧 7# 病房综合楼和 10# 应急物资库和实验楼距核医学科最近距离分别约 24m 和 49m。

医院地下一层平面布局见附图 3，地下二层见附图 4，5# 门诊综合楼一层平面布局见附图 5。

3、选址合理性分析

本项目核医学科拟建场址位于建筑物底层的一端，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。本项目评价范围均在医院范围内，无居民区、学校等环境敏感目标，且不涉及国家公园、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。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。

1.3 “三线一单”符合性分析

根据《关于实施“三线一单”生态环境分区管控的指导意见（试行）》，环环评〔2021〕108 号，“三线一单”即“生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线和生态环境准入清单”，项目建设应强化“三线一单”约束作用。

本项目“三线一单”符合性判定情况见表 1-10。

表 1-10 “三线一单”符合性分析

生态 保护红线	<p>本项目位于宁波市奉化区方桥地块，根据宁波市生态保护红线划定方案，本项目所在地不在宁波市生态保护红线范围内，故本项目的实施未涉及生态保护红线，符合宁波市生态保护红线划定方案。</p>
资源 利用上线	<p>本项目营运过程中会消耗一定量的电源、水资源等，主要来自工作人员的日常生活用水和设施用电，但项目资源消耗量相对区域资源利用总量较少，符合资源利用上线要求。</p>
环境 质量底线	<p>根据环境质量现状监测结果，本项目拟建址及周围环境辐射环境质量现状属于正常本底范围。在落实本环评提出的各项污染防治措施后，本项目运行对周围环境影响很小，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。</p>
生态环境 准入清单	<p>根据《宁波市“三线一单”生态环境分区管控方案》，项目所在区域位于宁波市奉化区锦屏、岳林、江口、西坞和萧王庙城镇生活重点管控单元（ZH33021320002），该管控单元生态环境准入清单如下：</p> <p>①空间布局约束</p> <p>禁止新建、扩建三类工业项目，现有三类工业项目改建不得增加污染物排放总量，鼓励现有三类工业项目搬迁关闭。禁止新建涉及一类重金属、持久性有机污染物排放等环境健康风险较大的二类工业项目。除工业功能区（小微园区、工业集聚点）外，原则上禁止新建其他二类工业项目。现有二类工业项目改建、扩建，不得增加管控单元污染物排放总量。</p> <p>②污染物排放管控</p> <p>严格实施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。污水收集管网范围内，禁止新建除城镇污水处理设施外的入河排污口，现有的入河排污口应限期拆除，但相关法律法规和标准规定必须单独设置排污口的除外。加快污水处理设施建设与提标改造，加快完善城乡污水管网，加强对现有雨污合流管网的分流改造，推进生活小区“零直排区建设。加强噪声和臭气异味防治，强化餐饮油烟治理，严格施工扬尘监管。加强土壤和地下水污染防治与修复。</p> <p>③环境风险防控</p> <p>合理布局工业、商业、居住、科教等功能区块，严格控制噪声、恶臭、油烟等污染排放较大的建设项目布局。</p> <p>④资源开发效率</p> <p>全面开展节水型社会建设，推进节水产品推广普及，限制高耗水服务业用水。落实煤炭消费减量替代要求，提高资源能源利用效率。</p> <p>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。</p>
<p>因此，本项目的建设符合“三线一单”的要求。</p>	

1.4 产业政策符合性分析

对照《产业结构调整指导目录（2019 年本）》（2021 年修订），本项目核医学科属于国家鼓励类的第六项“核能”中第 6 款中“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，符合国家产业发展政策。

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，本项目的建设和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 现有核技术利用项目许可及辐射安全管理情况

1.6.1 现有核技术利用项目许可情况

宁波市第一医院目前持有的辐射安全许可证书编号为：浙环辐证[B0018]，许可种类和范围：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、丙级非密封放射性物质工作场所。许可证有效期至 2027 年 09 月 12 日。医院现有辐射安全许可证复印件见附件 4。

1.6.2 该单位现有辐射安全管理情况

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，已针对现有核技术利用项目制定了辐射安全管理制度，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，监测结果满足相关标准要求。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。

医院现有辐射工作人员约 100 名，均已参加并通过宁波市医疗机构放射工作人员放射防护培训和考核，培训均在有效期内。医院现有辐射工作人员的数量满足现有核技术利用项目对人员的需求。医院已安排所有辐射工作人员分别于 2021 年度和 2022 年度在宁波市第一医院进行职业健康体检，并建立了辐射工作人员职业健康监护档案，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继续原放射工作；医院委托宁波市疾病预防控制中心对辐射工作人员进行个人剂量监测，并建立了个人剂量档案，根据辐射工作人员的个人剂量检测报告，现有辐射工作人员最近一年的受照剂量均未超过职业人员年剂量管理限值 5mSv/a，满足环保相关管理要求。

医院现有核技术利用项目均履行了相关环保手续，无遗留环保问题，医院本院区核

技术利用项目竣工环保验收材料见附件 7。医院现有核技术利用项目一览表见表 1-11。

表 1-11 医院现有核技术利用项目一览表

放射源										
序号	放射源名称	数量	总活度 (Bq) 活度 (Bq) × 枚数	放射源类别	工作场所名称	活动种类	环评情况	许可情况	验收情况	
1	¹⁹² Ir	1	$3.7 \times 10^{11} \times 1$	III	本院区 后装机机房	使用	已环评	已许可	已验收	
2	⁶⁸ Ge	1	$1.11 \times 10^8 \times 1$	V	方桥院区 核医学科	使用	已备案	已许可	暂未 购置	
3	⁶⁸ Ge	2	$4.6 \times 10^7 \times 2$	V		使用	已备案	已许可		
4	¹³⁷ Cs	1	$5.55 \times 10^6 \times 1$	V		使用	已备案	已许可		
5	⁵⁷ Co	1	$3.7 \times 10^7 \times 1$	V		使用	已备案	已许可		
非密封放射性物质										
序号	工作场所等级	核素名称	日等效最大 操作量 (Bq)	年最大用 量 (Bq)	工作场所 名称	活动 种类	环评 情况	许可 情况	验收 情况	
1	丙级	²⁰¹ Tl	3.7×10^8	3.7×10^{10}	本院区 核医学科	使用	已环评	已许可	已验收	
2	乙级	^{99m} Tc	2.08×10^8	5.2×10^{12}		使用	已环评	已许可	已验收	
3	丙级	⁸⁹ Sr	4.4×10^8	4.4×10^{10}		使用	已环评	已许可	已验收	
4	乙级	¹³¹ I	3.7×10^9	3.7×10^{11}		使用	已环评	已许可	已验收	
5	乙级	¹²⁵ I(粒 子源)	3.7×10^7	3.7×10^{11}		使用	已环评	已许可	已验收	
射线装置：本院区										
序号	射线装置 名称	数量	管电压 (kV)	管电流 (mA)	类别	工作场所 名称	活动 种类	环评 情况	许可 情况	备注
1	SPECT/CT	1	130	345	III	核医学科：3 号楼 1 层 SPECT 机房	使用	已 环评	已 许可	已 验收
2	DR	1	150	900	III	放射科：3 号楼 1 层 1 号机房	使用	已 备案	已 许可	/
3	DR	1	150	1100	III	放射科：3 号楼 1 层 2 号机房	使用	已 备案	已 许可	/
4	上海联影 CT 机	1	140	420	III	放射科：3 号楼 1 层放射科 4 号机 房	使用	已 备案	已 许可	/
5	DR	1	150	900	III	放射科：3 号楼 1 层 3 号机房	使用	已 备案	已 许可	/
6	数字化乳腺 X 光机	1	35	710	III	放射科：3 号楼 1 层 5 号机房	使用	已 备案	已 许可	/

7	CT	1	135	500	III	放射科：3号楼 1层6号机房	使用	已 备案	已 许可	/
8	CT	1	135	550	III	放射科：3号楼 1层7号机房	使用	已 备案	已 许可	/
9	CT	1	140	400	III	放射科：3号楼 1层9号机房	使用	已 备案	已 许可	/
10	数字化乳腺 X光机	1	150	800	III	放射科：3号楼 1层10号机房	使用	已 备案	已 许可	/
11	DSA	1	125	1250	II	介入科：3号楼 2层2号机房 (DSA室1)	使用	已 环评	已 许可	已 验收
12	DSA	1	125	1250	II	介入科：3号楼 2层3号机房 (DSA室2)	使用	已 环评	已 许可	正履 行自 主验 收手 续
13	DSA	1	125	1250	II	介入科：3号楼 2层4号机房 (DSA室3)	使用	已 环评	已 许可	已 验收
14	DSA	1	125	831	II	介入科：3号楼 9层DSA机房	使用	已 环评	已 许可	已 验收
15	骨密度仪	1	76	3	III	放射科：广济街 31号健康管理中 心四楼全身骨密 度机房	使用	已 备案	已 许可	/
16	CT	1	140	450	III	放射科：广济街 31号健康管理中 心四楼CT2机房	使用	已 备案	已 许可	/
17	移动式C型臂 X射线系统	1	110	3	III	放射科：2楼3楼 11号手术室	使用	已 备案	已 许可	/
18	DR	1	150	800	III	放射科：1号楼 7层体检中心 DR室	使用	已 备案	已 许可	/
19	双能X射线 骨密度仪	1	80	0.25	III	放射科：广济街 31号健康管理中 心四楼双能骨密 度机房	使用	已 备案	已 许可	/
20	口腔CT机	1	110	20	III	放射科：5号楼3 层口腔CT机房	使用	已 备案	已 许可	/
21	口腔全景机	1	90	12	III	放射科：5号楼3 层口腔全景机房	使用	已 备案	已 许可	/

22	牙片机	1	70	7	III	放射科：5号楼 3层牙片机房	使用	已 备案	已 许可	/
23	方舱 CT	1	140	400	III	放射科：国税楼 一楼发热门诊 CT 机房	使用	已 备案	已 许可	/
24	移动 DR	1	125	500	III	放射科：2号楼 8层 ICU 病区	使用	已 备案	已 许可	/
25	移动 DR	1	100	300	III	放射科：全院移 动	使用	已 备案	已 许可	/
26	移动 DR	1	100	300	III	放射科：全院移 动	使用	已 备案	已 许可	/
27	移动 DR	1	133	540	III	放射科：3号楼 7层 ICU 病区	使用	已 备案	已 许可	/
28	直线加速器	1	X≤10MV		II	放疗科：地下一 层加速器治疗室	使用	已 环评	已 许可	已 验收
29	大孔径 CT	1	140	500	III	放疗科：地下一 层模拟定位机房	使用	已 备案	已 许可	/
30	DG3310 系列 C 形臂 X 射线	1	110	5	III	放疗科：后装机 房	使用	已 备案	已 许可	/
31	C 形臂 X 光 机	1	150	160	III	放射科：3号楼 9楼 6号手术室	使用	已 备案	已 许可	/
32	CT	1	140	440	III	放射科：3号楼 1层放射科 8号 机房	使用	已 备案	已 许可	/
33	移动式 C 形 臂 X 射线机	1	110	30	III	放射科：2楼 3楼 12号手术室	使用	已 备案	已 许可	/
34	CT	1	140	420	III	放射科：广济街 31号健康管理中 心四楼 CT1 机房	使用	已 备案	已 许可	/
35	飞利浦透视 摄影 X 射线 机	1	150	714.3	III	介入科：2号楼 2楼 ERCP 机房	使用	已 备案	已 许可	/
36	康达 DSA	1	100	1000	II	介入科：3号楼 2层 1号机房	使用	已 环评	已 许可	正履 行自 主验 收手 续
37	泌尿外科诊 疗床	1	125	400	III	放射科：6号楼 3楼泌尿外科诊 疗床机房	使用	已 备案	已 许可	/
38	体外冲击破 碎石机	1	110	0.5	III	放射科：6号楼泌 尿外科碎石机房	使用	已 备案	已 许可	/

39	40排CT	1	140	350	III	放射科：3号楼 1楼35号机房	使用	已 备案	已 许可	/
40	体外冲击破 碎石机	1	110	80	III	放射科：6号楼3 层泌尿外科碎石 机房2	使用	已 备案	已 许可	/
射线装置：方桥院区										
1	后64排CT	1	150	1300	III	方桥院区4号楼 1楼12号机房	使用	已 备案	已 许可	/
2	62排CT	1	140	625	III	方桥院区4号楼 1楼11号机房	使用	已 备案	已 许可	/
3	移动C臂	1	110	35	III	方桥院区全院移 动	使用	已 备案	已 许可	/
4	移动C臂	1	110	35	III	方桥院区全院移 动	使用	已 备案	已 许可	/
5	64排CT	1	140	667	III	方桥院区2号楼1 楼急诊1号机房	使用	已 备案	已 许可	/
6	40排CT	1	140	350	III	方桥院区4号楼 1楼7号机房	使用	已 备案	已 许可	/
7	40排CT	1	140	350	III	方桥院区4号楼 3楼手术室15号 机房	使用	已 备案	已 许可	/
8	40排CT	1	140	420	III	方桥院区4号楼 1楼6号机房	使用	已 备案	已 许可	/
9	移动DR	1	150	400	III	方桥院区全院移 动	使用	已 备案	已 许可	/
10	移动DR	1	150	400	III	方桥院区全院移 动	使用	已 备案	已 许可	/
11	双板悬吊DR	1	150	800	III	方桥院区4号楼 1楼3号机房	使用	已 备案	已 许可	/
12	双板悬吊DR	1	150	800	III	方桥院区4号楼 1楼2号机房	使用	已 备案	已 许可	/
13	双板悬吊DR	1	150	800	III	方桥院区2号楼1 楼急诊2号机房	使用	已 备案	已 许可	/
14	乳腺钼靶机	1	35	120	III	方桥院区4号楼 1楼5号机房	使用	已 备案	已 许可	/
15	数字肠胃机	1	150	1000	III	方桥院区4号楼 1楼4号机房	使用	已 备案	已 许可	/
16	体外冲击波 碎石机	1	110	80	III	方桥院区1号楼 4楼泌尿中心碎 石机房	使用	已 备案	已 许可	/

17	ERCP 专用 X 光机	1	150	714.3	III	方桥院区 4 号楼 2 楼内镜中心 ERCP 机房	使用	已备案	已许可	/
18	双能 X 射线骨密度仪	1	140	10	III	方桥院区 1 号楼 2 楼骨密度仪机房	使用	已备案	已许可	/
19	DSA	1	125	1000	II	方桥院区 2 号楼 1 楼急诊介入 DSA 机房	使用	已环评	已许可	暂未投入使用, 暂未验收
20	DSA(复合手术室双 C)	1	125	1000	II	方桥院区 4 号楼 3 楼复合手术室 DSA 机房	使用	已环评	已许可	
21	DSA	1	125	1000	II	方桥院区 2 号楼 3 楼介入中心 DSA 机房	使用	已环评	已许可	

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
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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 T _{1/2} =109.8min	使用	1.48×10 ¹⁰	1.48×10 ⁷	3.33×10 ¹²	显像检查	很简单的操作	地下一层 核医学科 PET 诊断场所	不贮存，按需购买，当天送达，当天使用
2	⁶⁸ Ga	液态、低毒 T _{1/2} =68.3min	使用	8.88×10 ⁸	8.88×10 ⁶	8.88×10 ¹⁰	显像检查	简单操作		不贮存，当天淋洗，当天使用
3	⁶⁸ Ge (⁶⁸ Ga)	液态、中毒 T _{1/2} =270.8d	使用	1.85×10 ⁹	1.85×10 ⁶	3.7×10 ⁹	淋洗制备 ⁶⁸ Ga	源的贮存		贮存在 PET 诊断场所的专用手套箱内

4	^{99m}Tc	液态、低毒 $T_{1/2}=6.02\text{h}$	使用	1.48×10^{10}	1.48×10^8	3.7×10^{12}	显像检查	简单操作	地下一层 核医学科 SPECT 诊断 场所	不贮存，当天淋洗，当天使用
5	^{99}Mo (^{99m}Tc)	液体、中毒 $T_{1/2}=66\text{h}$	使用	1.85×10^{10}	1.85×10^7	9.25×10^{11}	淋洗制备 ^{99m}Tc	源的贮存		贮存在 SPECT 诊断场所的专用手套箱内
6	^{32}P	液态、中毒 $T_{1/2}=14.26\text{d}$	使用	8.88×10^8	8.88×10^7	1.11×10^{11}	核素治疗	简单操作		不贮存，按需购买，当天送达，当天使用
7	^{223}Ra	液态、极毒 $T_{1/2}=11.44\text{d}$	使用	1.2×10^7	1.2×10^8	7.2×10^8	核素治疗	简单操作		
8	^{225}Ac	液态、极毒 $T_{1/2}=10.0\text{d}$	使用	1.48×10^7	1.48×10^8	8.88×10^8	核素治疗	简单操作		
9	^{131}I (甲癌)	液态、中毒 $T_{1/2}=8.02\text{d}$	使用	2.22×10^{10}	2.22×10^9	1.11×10^{12}	核素治疗	简单操作	地下一层 核医学科 甲癌病房区	不贮存，按需购买，当天送达，当天使用
10	^{131}I (甲亢)	液态、中毒 $T_{1/2}=8.02\text{d}$	使用	3.7×10^9	3.7×10^8	1.85×10^{11}	核素治疗	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
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(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	显像诊断	核医学科 PET/CT 扫描室	/
2	SPECT/CT	III	1	型号未定	≤140	≤800	显像诊断	核医学科 SPECT/CT 扫描室	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(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 (n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	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
PET 诊断场所产生的一次性注射器、棉签、手套、口罩、滤纸、擦拭废纸等	固体	¹⁸ F、 ⁶⁸ Ga、	/	约 92kg	约 1100kg	$\leq 1 \times 10^4 \text{Bq/kg}$	暂存于淋洗室、质控室、注射室、注射后候诊室、留观室中的废物铅桶内	集中收集放置在 PET 诊断场所的放射性固废暂存间中，自然衰变至少 30 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
SPECT 诊断场所产生的一次性注射器、棉签、手套、口罩、滤纸、擦拭废纸等	固体	^{99m} Tc	/	约 42kg	约 500kg	$\leq 1 \times 10^5 \text{Bq/kg}$	暂存于高活室、注射室、注射后候诊室、留观室的废物铅桶内	集中收集放置在 SPECT 诊断场所的放射性固废暂存间中，自然衰变至少 30 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
SPECT 诊断场所产生的一次性手套、口罩、滤纸、擦拭废纸、废敷贴源、胶布等	固体	³² P	/	约 4.2kg	约 50kg	$\leq 1 \times 10^6 \text{Bq/kg}$	暂存于制备间的废物铅桶内	集中收集放置在 SPECT 诊断场所的放射性固废暂存间中，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
SPECT 诊断场所产生的一次性注射器、棉签、手套、口罩等	固体	²²³ Ra、 ²²⁵ Ac	/	约 8.3kg	约 100kg	$\leq 1 \times 10^5 \text{Bq/kg}$	暂存于注射室的废物铅桶内	集中收集放置在 SPECT 诊断场所的放射性固废暂存间中，自然衰变至少 115 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

甲癌病房区产生的一次性手套、口罩、服药杯、擦拭废纸等	固体	^{131}I	/	约 125kg	约 1500kg	$\leq 1 \times 10^5 \text{Bq/kg}$	暂存于服药室、病房的废物铅桶内	集中收集放置在甲癌病房区的放射性固废暂存间中，自然衰变至少 180 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
PET 诊断场所和 SPECT 诊断场所通风系统更换下来的废活性炭	固体	^{18}F 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{32}P 、 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac	/	/	约 48kg	$\leq 1 \times 10^4 \text{Bq/kg}$	集中收集放置在 SPECT 诊断场所的放射性固废暂存间中	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，作为非放射性固体废物处理
甲癌病房区通风系统更换下来的废活性炭	固体	^{131}I	/	/	约 32kg	$\leq 1 \times 10^5 \text{Bq/kg}$	集中收集放置在甲癌病房区的放射性固废暂存间中	自然衰变至少 180 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，作为非放射性固体废物处理
废 ^{99}Mo ($^{99\text{m}}\text{Tc}$)	固态	^{99}Mo 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	/	约 4 柱	约 50 柱	单柱活度 $< 4 \times 10^9 \text{Bq}$	暂存在 SPECT 诊断场所高活室的手套箱内	交由原生产厂家回收处理
废 ^{68}Ge (^{68}Ga)	固态	^{68}Ge 、 ^{68}Ga	/	/	不超过 2 柱	单柱活度 $< 9.25 \times 10^8 \text{Bq}$	暂存在 PET 诊断场所淋洗室的专用手套箱内	交由原生产厂家回收处理
PET 诊断场所和 SPECT 诊断场所给药后患者产生的含放射性核素的排泄物和冲洗水以及含放射性核素的清洗废水	液体	^{18}F 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	/	约 9.7m^3	约 116m^3	总 $\alpha \leq 1 \text{Bq/L}$ ， 总 $\beta \leq 10 \text{Bq/L}$	经专用管道排至推流式放射性废水衰变系统	在衰变系统中自然衰变至少 30 天后，排至医院污水处理系统，作为医疗废水处理

SPECT诊断场所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 α ≤1Bq/L, 总 β ≤10Bq/L, ³² P≤1×10 ⁶ Bq/L	单独收集在塑料桶中,并放置在制备间的铅桶内	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1×10 ⁶ Bq/L的要求,监测结果经审管部门认可后,通过控制区内的卫生间排入推流式放射性废水衰变系统,最终排放至医院污水处理系统,作为医疗废水处理
甲癌病房区给药后患者产生的含放射性核素的排泄物和冲洗水以及含放射性核素的清洗废水	液体	¹³¹ I	/	约13m ³	约155m ³	总 α ≤1Bq/L, 总 β ≤10Bq/L, ¹³¹ I≤10Bq/L	经专用管道排至槽式放射性废水衰变系统	在衰变系统中自然衰变至少180天后,经监测满足总 α 不大于1Bq/L、总 β 不大于10Bq/L、 ¹³¹ I放射性活度浓度不大于10Bq/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
PET诊断场所和SPECT诊断场所产生的含微量放射性核素的挥发气体	气态	¹⁸ F、 ⁶⁸ Ga、 ^{99m} Tc、 ³² P、 ²²³ Ra、 ²²⁵ Ac	/	微量	微量	/	不暂存	经专用排风管道延伸至5#门诊综合楼的楼顶排放
甲癌病房区产生的含微量放射性核素的挥发气体	气态	¹³¹ I	/	微量	微量	/	不暂存	经专用排风管道延伸至5#门诊综合楼的楼顶排放
PET/CT扫描室、SPECT/CT扫描室产生的臭氧和氮氧化物	气态	/	/	微量	微量	/	不暂存	经专用排风管道延伸至5#门诊综合楼的楼顶排放,臭氧常温下可自行分解为氧气,对环境影响较小

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》(修订版), 2015 年 1 月 1 日起施行</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》(2018 年修正版), 自 2018 年 12 月 29 日起施行</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》(2017 年修订版), 国务院令 第 682 号, 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》(2019 年修正版), 国务院令 第 709 号, 2019 年 3 月 2 日起施行</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(2021 年修正版), 生态环境部令 第 20 号, 自 2021 年 1 月 4 日起施行</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>(12) 《关于发布<放射性废物分类>的公告》, 环境保护部、工业和信息化部、国防科工局公告 2017 年公告第 65 号公布, 自 2018 年 1 月 1 日起施行</p> <p>(13) 《产业结构调整指导目录(2019 年本)》(2021 年修订), 发改委令 第 49 号, 自 2021 年 12 月 30 日起施行</p> <p>(14) 《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>(15) 《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>(16) 《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>(17) 《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>(18) 《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>(19) 《浙江省建设项目环境保护管理办法》(2021 年修正版)，浙江省人民政府令第 388 号，2021 年 2 月 10 日起施行；</p> <p>(20) 《浙江省辐射环境管理办法》(2021 年修正版)，浙江省人民政府令第 388 号，2021 年 2 月 10 日起施行；</p> <p>(21) 《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>(22) 《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（2019 年本）》，浙环发〔2019〕22 号，2019 年 12 月 20 日起施行；</p> <p>(23) 辐射类建设项目环境影响评价文件审批权限仍按照《浙江省环境保护厅关于发布<省环境保护主管部门负责审批环境影响评价文件的建设项目清单（2015 年本）>及<设区市环境保护主管部门负责审批环境影响评价文件的重污染、高环境风险以及严重影响生态的建设项目清单（2015 年本）>的通知》（浙环发[2015]38 号）执行。</p>
技术标准	<p>(1) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》(HJ 2.1-2016)</p> <p>(2) 《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>(3) 《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021)</p> <p>(4) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)</p> <p>(5) 《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>(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) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)</p>

其他	<p>报告附件：</p> <ul style="list-style-type: none">(1) 项目委托书（附件 1）(2) 射线装置使用承诺书（附件 2）(3) 放射性核素使用承诺书（附件 3）(4) 医院辐射安全许可证复印件（附件 4）(5) 本项目辐射环境现状检测报告及检测单位资质（附件 5）(6) 医院方桥院区一期、二期工程建设项目环评批复（附件 6）(7) 医院本院区核技术利用项目竣工环保验收材料（附件 7）(8) 医院原扩建核医学科项目环评内容及批复（附件 8）(9) 编制单位和编制人员信息表（附件 9）(10) 编制人员近三个月社保缴费清单（附件 10）(11) 环评文件编制主持人现场勘查证明材料（附件 11）(12) 环境影响报告表质量控制记录文件（附件 12）(13) 专家咨询意见及修改清单（附件 13）
----	---

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。

本项目为使用非密封放射性物质(乙级非密封放射性物质工作场所),使用 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,本项目评价范围为核医学科实体屏蔽边界外 50m 以内区域。本项目评价范围见附图 2。

7.2 保护目标

本项目评价范围内无居民区、学校等环境敏感点,环境保护目标主要是本项目辐射工作人员、医院的其他工作人员和公众人员等。本项目环境保护目标见表 7-1。

表 7-1 本项目环境保护目标分布

名称	场所	环境保护目标	方位	距核医学科 距离	规模
核医学科辐射工作人员	核医学科场所内	操作技师、医师、护士等	/	/	约 20 名工作人员
核医学科 评价范围内 公众	核医学科候诊区	医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员	核医学科东侧 (地下一层)	0~8m	约 2 名工作人员,其余为流动人员
	地下车库、设备用房等	医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员		8~50m	流动人员
	下沉庭院	医院工作人员	核医学科南侧 (地下一层)	0~8m	平时无人员逗留
	核医学科其他办公区	医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员		8~14m	约 4 名工作人员,其余为流动人员
	地下车库、设备用房等	医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员		14~50m	流动人员
	预留医疗用房	/	核医学科南侧 (地下二层)	37~50m	平时无人员逗留
	核医学科辅助库房等	医院工作人员	核医学科西侧 (地下一层)	0~8m	平时无人员逗留
	土层	/		8~50m	人员不可达

地下车库、设备用房等	医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员	核医学科北侧（地下一层）	0~50m	流动人员
5#门诊综合楼	医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员	核医学科正对楼上	0~21m	约 100 名工作人员，其余为流动人员
4#医技综合楼	医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员	核医学科东侧（地上）	29~50m	约 50 名工作人员，其余为流动人员
3#门诊综合楼	医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员	核医学科南侧（地上）	36~50m	约 50 名工作人员，其余为流动人员
8#动力中心楼	医院工作人员	核医学科西侧（地上）	47~50m	平时无人员逗留
7#病房综合楼	医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员	核医学科北侧（地上）	24~50m	约 50 名工作人员，其余为流动人员
10#应急物资库和实验楼	医院工作人员		49~50m	约 5 名工作人员，其余为流动人员

7.3 评价标准

(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)

① 剂量限值

本项目辐射工作人员及公众的年照射剂量限值，见表 7-2：

表 7-2 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。

11.4.3.2 剂量约束值通常应在公众照射剂量限值 10%~30%（即 0.1mSv/a~0.3mSv/a）的范围之内。

②辐射管理分区

6.4.1 控制区

6.4.1.1 注册者和许可证持有者应把需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，以便控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散，并预防潜在照射或限制潜在照射的范围。

6.4.2 监督区

6.4.2.1 注册者和许可证持有者应将下述区域定为监督区：这种区域未被定为控制区，在其中通常不需要专门的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。

③工作场所分级

非密封源工作场所的分级应按附录 C（标准的附录 C）的规定进行。

C1 非密封源工作场所的分级

应按表 7-3 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 7-3 非密封源工作场所的分级

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

C2 放射性核素的日等效操作量的计算

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。

$$\text{放射性核素的日等效操作量} = \frac{\text{放射性核素的实际日操作量} \times \text{核素毒性因子}}{\text{与操作方式有关的修正因子}} \quad (\text{式 7-1})$$

本项目放射性核素的毒性分组及毒性组别修正因子见表 7-4，与操作方式有关的修正因子见表 7-5。

表 7-4 放射性核素毒性组别修正因子

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

表 7-5 操作方式与放射源状态修正因子

操作方式	毒性组别修正因子			
	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

④表面污染控制水平

表 7-6 工作场所放射性表面污染控制水平 (单位: Bq/cm²)

表面类型		α 放射性物质		β 放射性 物质
		极毒性	其他	
工作台、设备、墙 壁、地面	控制区	4	40	40
	监督区	0.4	4	4
工作服、手套、工 作鞋	控制区	0.4	0.4	4
	监督区			
手、皮肤、内衣、工作袜		0.04	0.04	0.4

1) 该区内的高污染子区除外

⑤放射性废液向环境排放的控制

8.6.2 不得将放射性废液排入普通下水道, 除非经审管部门确认是满足下列条件的低放废液, 方可直接排入流量大于 10 倍排放流的普通下水道, 并应对每次排放做好记录:

- a) 每月排放的总活度不超过 10ALI_{min}。
- b) 每一次排放的活度不超过 1ALI_{min}, 并且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗。

(2) 清洁解控水平推荐值

根据 GB18871-2002 中 4.2.5.2 的原则, 将其附录 A 所给出的豁免水平作为清洁解控水平的取值依据, 由此得出本项目放射性核素的清洁解控水平推荐值, 列于表 7-7 中。

表 7-7 以核素活度浓度表示的清洁解控水平推荐值

解控水平 (Bq/g)	核素
1×10 ¹	¹⁸ F
1×10 ²	^{99m} Tc、 ²²³ Ra、 ¹³¹ I
1×10 ³	³² P

注 1: 上述解控水平推荐值原则上只适用于在组织良好、人员训练有素的工作场所对产生少量放射性固体废物的医学应用或实验室。

注 2: 严禁为申报清洁解控而采用人工稀释等方法来降低核素活度浓度。

注: 根据水的密度约为 1g/cm³, 可计算出 ³²P 的放射性活度浓度控制水平为 1×10⁶ Bq/L。

(3) 《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)

本项目污水排放放射性，在衰变池排放口执行“总 $\alpha \leq 1\text{Bq/L}$ 、总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$ ”的要求。

(4) 《操作非密封源的辐射防护规定》(GB 11930-2010)

5.3.1 辐射工作人员应熟练掌握安全与防护技能，取得相应资质。

5.3.2 辐射工作人员应根据实际需要配备适用、足够和符合标准的个人防护用具（器械、衣具），并掌握其性能和使用方法。个人防护用具应有备份，均应妥善保管，并应对其性能进行检验。

5.3.3 辐射工作场所应具备适当的防护手段与安全措施，做好个人防护工作。

5.3.4 在伴有外照射的工作场所，应做好个人外照射防护，包括 β 外照射防护。

5.3.5 在任何情况下均不允许用裸露的手直接接触放射性物质或进行污染物件的操作。

5.3.6 辐射工作场所应根据所操作非密封源的特点配备适当的医学防护用品和急救品箱，供处理事故时使用。严重污染事件的医学处理应在医学防护人员的指导下进行。

(5) 《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)

5.1 工作场所平面布局和分区

5.1.1 在医疗机构内部区域选择核医学场址，应充分考虑周围场所的安全，不应邻接产科、儿科、食堂等部门，这些部门选址时也应避开核医学场所。尽可能做到相对独立布置或集中设置，宜有单独出、入口，出口不宜设置在门诊大厅、收费处等人群稠密区域。

5.1.2 核医学工作场所平面布局设计应遵循如下原则：

a) 使工作场所的外照射水平和污染发生的概率达到尽可能小；
b) 保持影像设备工作场所内较低辐射水平以避免对影像质量的干扰；
c) 在核医学诊疗工作区域，控制区的入口和出口应设置门锁权限控制和单向门等安全措施，限制患者或受检者的随意流动，保证工作场所内的工作人员和公众免受不必要的照射；

d) 在分装和给药室的出口处应设计卫生通过间，进行污染检测。

5.1.3 核医学工作场所从功能设置可分为诊断工作场所和治疗工作场所。其功能设置要求如下：

a) 对于单一的诊断工作场所应设置给药前患者或受检者候诊区、放射性药物贮存室、分装给药室（可含质控室）、给药后患者或受检者候诊室(根据放射性核素防护特性分别设置)、质控（样品测量）室、控制室、机房、给药后患者或受检者卫生间和放射性废物储藏室等功能用房；

b) 对于单一的治疗工作场所应设置放射性药物贮存室、分装及药物准备室、给药室、病房（使用非密封源治疗患者）或给药后留观区、给药后患者专用卫生间、值班室和放置急救设施的区域等功能用房；

c) 诊断工作场所和治疗工作场所都需要设置清洁用品储存场所、员工休息室、护士站、更衣室、卫生间、去污淋浴间、抢救室或抢救功能区等辅助用房；

d) 对于综合性的核医学工作场所，部分功能用房和辅助用房可以共同利用。

5.1.4 核医学放射工作场所应划分为控制区和监督区。控制区一般包括使用非密封源核素的房间（放射性药物贮存室、分装及（或）药物准备室、给药室等）、扫描室、给药后候诊室、样品测量室、放射性废物储藏室、病房（使用非密封源治疗患者）、卫生通过间、保洁用品储存场所等。监督区一般包括控制室、员工休息室、更衣室、医务人员卫生间等。应根据GB18871的有关规定，结合核医学科的具体情况，对控制区和监督区采取相应管理措施。

5.1.5 核医学工作场所的布局应有助于开展工作，避免无关人员通过。治疗区域和诊断区域应相对分开布置。根据使用放射性药物的种类、形态、特性和活度，确定核医学治疗区(病房)的位置及其放射防护要求，给药室应靠近病房，尽量减少放射性药物和给药后患者或受检者通过非放射性区域。

5.1.6 通过设计合适的时间空间交通模式来控制辐射源（放射性药物、放射性废物、给药后患者或受检者）的活动，给药后患者或受检者与注射放射性药物前患者或受检者不交叉，给药后患者或受检者与工作人员不交叉，人员与放射性药物通道不交叉。合理设置放射性物质运输通道，便于放射性药物、放射性废物的运送和处理；便于放射性污染的清理、清洗等工作的开展。

5.1.7 应通过工作场所平面布局的设计和屏蔽手段，避免附近的辐射源（核医学周边场所内的辐射装置、给药后患者或受检者）对诊断区设备成像、功能检测的影响。

5.2 放射防护措施要求

5.2.3 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。

5.2.4 分装药物操作宜采用自动分装方式，¹³¹I给药操作宜采用隔室或遥控给药方式。

5.2.5 放射性废液衰变池的设置按环境主管部门规定执行。暴露的污水管道应做好防

护设计。

5.2.6 控制区的入口应设置电离辐射警告标志。

5.2.7 核医学场所中相应位置应有明确的患者或受检者导向标识或导向提示。

5.2.8 给药后患者或受检者候诊室、扫描室应配备监视设施或观察窗和对讲装置。回旋加速器机房内应装备应急对外通讯设备。

5.2.9 应为放射性物质内部运输配备有足够屏蔽的储存、转运等容器。容器表面应设置电离辐射标志。

5.2.10 扫描室外防护门上方应设置工作状态指示灯。

5.3 工作场所的防护水平要求

5.3.1 核医学工作场所控制区的用房，应根据使用的核素种类、能量和最大使用量，给予足够的屏蔽防护。在核医学控制区外人员可达处，距屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，控制区内屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ ，宜不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；核医学工作场所的分装柜或生物安全柜，应采取一定的屏蔽防护，以保证柜体外表面 5cm 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ ；同时在该场所及周围的公众和放射工作人员应满足个人剂量限值要求。屏蔽计算中所涉及的常用放射性药物理化特性参见附录 H。PET 相关房间的辐射屏蔽计算方法和示例参见附录 I。

6.2 放射性药物操作的放射防护要求

6.2.1 操作放射性药物应有专门场所，如临床诊疗需要在非专门场所给药时则需采取适当的防护措施。放射性药物使用前应适当屏蔽。

6.2.2 装有放射性药物的给药注射器，应有适当屏蔽。

6.2.3 操作放射性药物时，应根据实际情况，熟练操作技能、缩短工作时间并正确使用个人防护用品。

6.2.4 操作放射性碘化物等挥发性或放射性气体应在通风柜内进行。通风柜保持良好通风，并按操作情况必要时进行气体或气溶胶放射性浓度的监测；操作放射性碘化物等挥发性或放射性气体的工作人员宜使用过滤式口罩。

6.2.5 控制区内不应进食、饮水、吸烟、化妆，也不应进行无关工作及存放无关物品。

6.2.6 操作放射性核素的工作人员，在离开放射性工作场所前应洗手和进行表面污染检测，如其污染水平超过表2规定值，应采取相应去污措施。

6.2.7 从控制区取出物品应进行表面污染检测，以杜绝超过表 2 规定的表面污染控制水平的物品被带出控制区。

6.2.9 放射性物质的贮存容器或保险箱应有适当屏蔽。放射性物质的放置应合理有

序、易于取放，每次取放的放射性物质应只限于需用的部分。

6.2.10 放射性物质贮存室应定期进行放射防护监测，无关人员不应入内。

6.2.12 贮存的放射性物质应及时登记建档，登记内容包括生产单位、到货日期、核素种类、理化性质、活度和容器表面放射性污染擦拭试验结果等。

6.2.13 所有放射性物质不再使用时，应立即送回原地安全储存。

6.2.14 当发生放射性物质溢出、散漏事故时，应根据单位制定的放射事故处置应急预案，参照使用 6.1.2 和附录 K 所列用品，及时控制、消除放射性污染；当人员皮肤、伤口被污染时，应迅速去污并给予医学处理。

7.2 患者出院的管理要求

7.2.1 接受¹³¹I治疗的患者，应在其体内的放射性活度降至400MBq或距离患者体表1 m处的周围剂量当量率不大于25 μSv/h 方可出院，以控制该患者家庭与公众成员可能受到的照射。对接受其他放射性药物治疗的患者仅当患者体内放射性活度低于附录L中L.2要求时才能出院。患者体内活度检测控制应按附录L中L.3推荐的方法进行。

7.2.2 对甲亢和甲状腺癌患者，出院时应按附录 L 中 L.4 给出接触同事和亲属及到公众场所的合理限制和有关防护措施（限制接触时间及距离等）的书面建议。

8 医用放射性废物的放射防护管理要求

8.1 放射性废物分类，应根据医学实践中产生废物的形态及其中的放射性核素种类、半衰期、活度水平和理化性质等，将放射性废物进行分类收集和分别处理。核医学常用放射性核素的物理特性参见附录H。

8.2 设废物储存登记表，记录废物主要特性和处理过程，并存档备案。

8.3 放射性废液衰变池应合理布局，池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性，并有防泄漏措施。

8.4 开展放射性药物治疗的医疗机构，应为住院治疗患者或受检者提供有防护标志的专用厕所，专用厕所应具备使患者或受检者排泄物迅速全部冲入放射性废液衰变池的条件，而且随时保持便池周围清洁。

8.5 供收集废物的污物桶应具有外防护层和电离辐射警示标志。在注射室、注射后病人候诊室、给药室等位置放置污物桶。

8.6 污物桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物，装满后的废物袋应密封，不破漏，及时转送存储室，放入专用容器中存储。

8.7 对注射器和碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，应先装入利器盒中，然后再装入专用塑料袋内。

8.8 每袋废物的表面剂量率应不超过0.1mSv/h，质量不超过20kg。

8.9 储存场所应具有通风设施，出入口设电离辐射警告标志。

8.10 废物袋、废物桶及其他存放废物的容器应安全可靠，并在显著位置标有废物类型、核素种类、存放日期等说明。

8.11 废物包装体外表面的污染控制水平： $\beta < 0.4 \text{Bq/cm}^2$ 。

10 ^{131}I 治疗患者住院期间的放射防护要求

10.1 场所放射防护要求

10.1.1 ^{131}I 治疗病房区应为相对独立的场所，病房区入口处应设缓冲区。患者住院后，只能在治疗区活动。

10.1.2 ^{131}I 治疗病房区应有独立的通风系统，通风管道应有过滤装置，并定期更换，更换的过滤装置按放射性固体废物处理。

10.1.3 ^{131}I 治疗住院患者的排泄物不应直接排到医院的公共污水管道，应先经过衰变池的衰变。下水管道宜短，露出地面的部分应进行防护和标记。

10.1.4 病房内应设置患者专用厕所和淋浴间，厕所内应有患者冲厕所和洗手的提示。

10.1.5 病房可设置采光窗，采光窗应进行必要的防护，使其符合5.3.1要求。

10.1.6 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。分装室应设置工作人员通过间，通过间应配备表面污染检测及剂量率检测仪表及清洗设施。

10.1.7 施用了 ^{131}I 治疗药物的患者如需住院应使用专用病房。专用病房宜为单人间，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。

10.1.8 病房中应配备对讲、监控等设施。

10.1.9 患者使用过的被服应先进行存放衰变，衰变至少一个半衰期再进行清洗。

10.1.10 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。

10.2 治疗期间的放射防护要求

10.2.1 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。

10.2.2 治疗前应和患者签署知情同意书。

10.2.3 除医护人员之外的人员不应进入病房。

10.2.4 向病房内传递生活必需品，应通过病房外的缓冲区传递。

10.2.5 2名及以上患者不宜近距离接触或者集聚。

10.2.6 给药过程中应提供防污染措施。

10.2.7 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。

10.2.8 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，按照7.2的要求进行出院管理。

10.2.9 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。

12 放射性核素敷贴治疗放射防护要求

12.1 放射性核素敷贴治疗器的放射防护要求

12.1.6 自制敷贴器的处方剂量应根据病变性质和病变部位确定，根据处方剂量和面积大小确定所用放射性核素活度。

12.1.7 眼科用敷贴器可根据病变需要做成不同形状（如圆形、船形、半圆形）或开有上述不同形状的窗的防护套来适应治疗不同角膜、结膜病变的需要。

12.1.8 废弃商品敷贴器应按放射性废源管理，自制敷贴器可根据核素的性质按放射性废物管理。

12.2 自制³²P敷贴器的特殊防护要求

12.2.1 ³²P敷贴器的制作单位应配备活度计及β污染检查仪，并具有制作³²P敷贴器的专用工具。

12.2.2 ³²P敷贴器的制作间，其墙壁、地面及工作台面应铺易去除污染的铺料。

12.2.3 ³²P敷贴器制作时应在通风橱内操作，制作者应戴乳胶手套。

12.2.4 自制³²P敷贴器应保证不直接接触患者皮肤。

12.2.5 实施治疗时，应由医护人员操作，在不接触患者或受检者皮肤的一面用不小于3mm厚的橡皮覆盖屏蔽。

12.2.6 自制的³²P敷贴器，应对其数量、活度、使用情况等进行登记。

12.3 敷贴器贮源箱的放射防护要求

12.3.1 贮源箱的外表面应标有放射性核素名称、最大容许装载放射性活度和牢固、醒目的电离辐射标志（见GB 2894）。

12.3.2 贮源箱的屏蔽层结构应分内外两层。内层为铝或有机玻璃等低原子序数材料，其厚度应大于β辐射在相应材料中的最大射程。外层为适当厚度的铅、铸铁等重金属材料，并具有防火、防盗的性能。

12.3.3 距离贮源箱表面5cm和100cm处因泄漏辐射所致的周围剂量当量率分别不应超过10μSv/h和1μSv/h。

12.4 敷贴治疗设施的放射防护要求

12.4.1 敷贴治疗应设置专用治疗室，该治疗室应与诊断室、登记值班室和候诊室分开设置。治疗室内使用面积应满足治疗要求。

12.4.2 治疗室内高1.5m以下的墙面应有易去污的保护涂层。地面，尤其在治疗患者位置，应铺有可更换的质地较软又容易去污染的铺料。

12.4.3 治疗室内患者座位之间应保持1.2m的距离或设置适当材料与厚度的防护屏蔽。

12.4.4 治疗室内应制定敷贴治疗操作规程及卫生管理制度，并配有 β 污染检查仪等检测仪器。

12.5 敷贴治疗中的放射防护要求

12.5.1 实施敷贴治疗前，应详细登记治疗日期、使用敷贴源的编号、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。

12.5.2 每次治疗前，先收回患者的治疗卡，再给予实施敷贴治疗。治疗完毕，先如数收回敷贴器再发给治疗卡。由工作人员收回敷贴器放回贮源箱内保存。

12.5.3 实施敷贴治疗时不应将敷贴源带出治疗室外。

12.5.4 实施治疗时，应用不小于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。

12.5.5 敷贴治疗时，照射时间长的可用胶布等固定，请患者或陪同人员协助按压敷贴器，照射时间短的可由治疗人员亲自按压固定敷贴器，有条件者可利用特制装置进行远距离操作。

12.5.6 敷贴器应定期进行衰变校正，以调整照射时间。每次治疗时应有专人使用能报警的计时器控制照射时间。治疗过程中应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。

12.5.7 敷贴治疗中，医务人员应采取有效的个人防护措施，如戴有机玻璃眼镜或面罩和尽量使用远距离操作工具。

12.5.8 敷贴器使用中应避免锐器损坏源窗面。不应将敷贴器浸入水、酒精等溶剂中，使用后应存放于干燥处。

(6) 《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188--2021)

4.3 辐射工作场所分区

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

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

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

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

4.4 剂量限值与剂量约束值

4.4.1 剂量限值

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

4.4.2 剂量约束值

4.4.2.1 一般情况下, 职业照射的剂量约束值不超过5 mSv/a;

4.4.2.2 公众照射的剂量约束值不超过0.1 mSv/a。

4.4.3 放射性表面污染控制水平

核医学工作场所的放射性表面污染控制水平按照GB 18871执行。

4.5 服药患者出院要求

4.5.1 为确保放射性核素治疗患者出院后, 不至于使接触患者的家庭成员及公众超过相关的剂量约束或剂量限值, 出院患者体内放射性核素活度应符合附录B的相关规定。

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

5 选址和布局

5.1 选址

5.1.1 核医学工作场所宜建在医疗机构内单独的建筑物内, 或集中于无人长期居留的建筑物的一端或底层, 设置相应的物理隔离和单独的人员、物流通道。

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

5.1.3 核医学工作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑。

5.2 布局

5.2.1 核医学工作场所应合理布局, 住院治疗场所和门诊诊断场所应相对分开布置;

同一工作场所内应根据诊疗流程合理设计各功能区域的布局，控制区应相对集中，高活室集中在一端，防止交叉污染。尽量减小放射性药物、放射性废物的存放范围，限制给药后患者的活动空间。

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

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

6 工作场所的辐射安全与防护

6.1 屏蔽要求

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

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

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

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

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

6.1.8 放射性物质贮存在专门场所内，并应有适当屏蔽。

6.2 场所安全措施要求

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

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

减少对其他患者和医护人员的照射。

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

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

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

6.2.7 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。

6.2.9 扫描机房外门框上方应设置工作状态指示灯。

6.3 密闭和通风要求

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

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

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

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

7.2 固体放射性废物的管理

7.2.1 固体放射性废物收集

7.2.1.1 固体放射性废物应收集于具有屏蔽结构和电离辐射标志的专用废物桶。废物桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物。

7.2.1.2 含尖刺及棱角的放射性废物，应预先进行包装处理，再装入废物桶，防止刺破废物袋。

7.2.1.3 放射性废物每袋重量不超过20 kg。装满废物的塑料袋应密封后及时转送至放射性废物暂存间贮存。

7.2.2 固体放射性废物贮存

7.2.2.1 产生少量放射性废物和利用贮存衰变方式处理放射性废物的单位，经审管部门批准可以将废物暂存在许可的场所和专用容器中。暂存时间和总活度不能超过审管部门批准的限制要求。

7.2.2.2 放射性废物贮存场所应安装通风换气装置，放射性废物中含有易挥发放射性核素的，通风换气装置应有单独的排风管道。入口处应设置电离辐射警告标志，采取有效的防火、防丢失、防射线泄漏等措施。

7.2.2.3 废物暂存间内应设置专用容器盛放固体放射性废物袋（桶），不同类别废物应分开存放。容器表面应注明废物所含核素的名称、废物的类别、入库日期等信息，并做好登记记录。

7.2.2.5 废物暂存间内不得存放易燃、易爆、腐蚀性物品。

7.2.3 固体放射性废物处理

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

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

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

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。

7.3 液态放射性废物的管理

7.3.1 放射性废液收集

7.3.1.1 核医学工作场所应设置有槽式或推流式放射性废液衰变池或专用容器，收集放射性药物操作间、核素治疗病房、给药后患者卫生间、卫生通过间等场所产生的放射性废液和事故应急时清洗产生的放射性废液。

7.3.1.2 核医学工作场所放射性药物标记、分装、注射后的残留液和含放射性核素的

其他废液应收集在专用容器中。含有长半衰期核素的放射性废液应单独收集存放。盛放放射性废液的容器表面应张贴电离辐射标志。

7.3.1.3 核医学工作场所的上水需配备洗消处理设备（包括洗消液）。控制区和卫生通过间内的淋浴间、盥洗水盆、清洗池等应选用脚踏式或自动感应式的开关，以减少场所内的设备放射性污染。头、眼和面部宜采用向上冲淋的流动水。

7.3.1.4 放射性废液收集的管道走向、阀门和管道的连接应设计成尽可能少的死区，下水道宜短，大水流管道应有标记，避免放射性废液集聚，便于检测和维修。

7.3.2 放射性废液贮存

7.3.2.1 经衰变池和专用容器收集的放射性废液，应贮存至满足排放要求。衰变池或专用容器的容积应充分考虑场所内操作的放射性药物的半衰期、日常核医学诊疗及研究中预期产生贮存的废液量以及事故应急时的清洗需要；衰变池池体应坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性、内壁光滑和具有可靠的防泄漏措施。

7.3.2.2 含碘-131治疗病房的核医学工作场所应设置槽式废液衰变池。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、污泥硬化淤积、堵塞进出水口、废液衰变池超压的措施。

7.3.2.3 核医学诊断和门诊碘-131治疗场所，可设置推流式放射性废液衰变池。推流式衰变池应包括污泥池、衰变池和检测池。应采用有效措施确保放射性废液经污泥池过滤沉淀固形物，推流至衰变池，衰变池本体分为3-5级分隔连续式衰变池，池内设导流墙。污泥池池底有防止和去除污泥硬化淤积的措施。

7.3.3 放射性废液排放

7.3.3.1 对于槽式衰变池贮存方式：

a) 所含核素半衰期小于24小时的放射性废液暂存时间超过30天后可直接解控排放；
b) 所含核素半衰期大于24小时的放射性废液暂存时间超过10倍最长半衰期（含碘-131核素的暂存超过180天），监测结果经监管部门认可后，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。

7.3.3.2 对于推流式衰变池贮存方式，所含核素半衰期大于24小时的，每年应对衰变池中的放射性废液进行监测，碘-131和最长半衰期核素的放射性活度浓度应满足GB 18871附录A表A1的要求。

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。

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。

(7) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)

6.1 X 射线设备机房布局

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

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 7-8）的规定。

表 7-8 X 射线设备机房（照射室）使用面积、单边长度的要求

设备类型	机房内最小有效使用面积 ^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

^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 7-9）的规定。

表 7-9 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向铅当量 mm	非有用线束方向铅当量 mm
CT 机（不含头颅移动 CT）	2.5	

6.3 X 射线设备机房屏蔽体外剂量水平

6.3.1 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

b) CT 机、乳腺摄影、乳腺 CBCT、口内牙片摄影、牙科全景摄影、牙科全景头颅摄影、口腔 CBCT 和全身骨密度仪机房外的周围剂量当量率应不大于 2.5 μSv/h。

6.4 X 射线设备工作场所防护

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。

6.4.2 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。

6.4.3 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。

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。

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。

6.4.6 电动推拉门宜设置防夹装置。

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。

(8) 辐射剂量管理限值

综合考虑上述评价标准，本项目管理目标为：

①**辐射剂量率管理限值**：核医学科控制区内房间防护门、观察窗、注射窗、墙体、顶部外表面 30cm 处周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于 $10\mu\text{Sv/h}$ ；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 $25\mu\text{Sv/h}$ ；废物铅桶表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；

②**表面污染控制水平**：核医学科 α 、 β 表面污染控制水平具体见表 7-6；

③**年有效剂量约束值**：职业人员年有效剂量不超过 **5mSv**，公众年有效剂量不超过 **0.1mSv**。

(9) 参考资料

① 《辐射防护导论》，方杰主编

② 根据《浙江省环境天然放射性水平调查报告》，宁波地区建筑物室内 γ 辐射剂量率的范围为 $(80\sim 194)\text{ nGy/h}$ ，道路上 γ 辐射剂量率的范围为 $(64\sim 128)\text{ nGy/h}$ ，原野 γ 辐射剂量率的范围为 $(45\sim 95)\text{ nGy/h}$ 。

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

宁波市第一医院方桥院区位于宁波市奉化方桥东环北路以东、儒江路以南、北仓西路以北，医院东侧为规划居住用地，南侧为北仓西路，西侧为东环北路，北侧为儒江路。

医院地下层的南部为地下两层，北部为地下一层，本项目核医学科拟建场址位于 5# 门诊综合楼处的地下层，该处地下仅有一层。核医学科拟建场址地下一层东侧、南侧 50m 范围为地下车库和设备用房等，西侧 50m 范围为土层，北侧 50m 范围为地下车库和设备用房等；楼上为 5# 门诊综合楼的特需门诊和室外庭院；地下无建筑；地上东侧 4# 医技综合楼距核医学科最近距离约 29m，南侧 3# 门诊综合楼距核医学科最近距离约 36m，西侧 8# 动力中心楼距核医学科最近距离约 47m，北侧 7# 病房综合楼和 10# 应急物资库和实验楼距核医学科最近距离分别约 24m 和 49m。

医院地下层和核医学科地上的 5# 门诊综合楼目前正处在建设阶段，本项目核医学科拟建场址及周围环境现状见图 8-1。



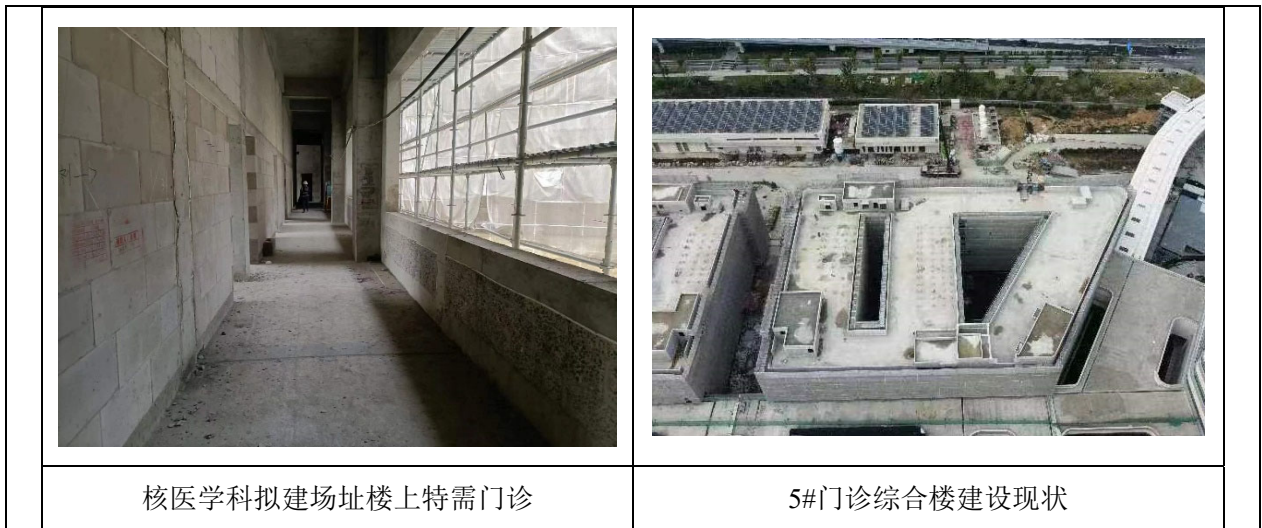


图 8-1 本项目核医学科拟建场址及周边环境现状图

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同位素产生的 γ 射线和 α 、 β 表面污染，以及射线装置产生的 X 射线等电离辐射污染。本项目为医院方桥院区首次开展核医学科项目，且本项目评价范围内及医院周边无与本项目相关核素的放射性气溶胶的排放，故本项目在进行现状调查时，主要调查本项目核医学科拟建场址及周围环境的 γ 辐射剂量率和 α 、 β 表面污染水平。

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：本项目拟建场址及周围辐射环境

检测因子： γ 辐射剂量率及 α 、 β 表面沾污

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，在核医学科拟建场址及周围环境共计布设 10 个 γ 辐射剂量率检测点位和 10 个 α 、 β 表面沾污检测点位，具体点位分别见图 8-2。

2、检测方案

(1) 检测单位：江苏核众环境监测技术有限公司（CMA 证书编号：171012050259）

(2) 检测报告编号：（2022）苏核环监（综）字第（0895）号

(3) 检测时间：2022 年 11 月 3 日

(4) 检测天气：晴

(5) 检测仪器：

① γ 辐射剂量率检测仪器

检测仪器：FH40G+FHZ672E-10 型辐射巡测仪

仪器编号：030360+11395

能量响应范围：40keV~4.4MeV

量程范围：1nSv/h~100μSv/h

检定单位：江苏省计量科学研究院

检测证书编号：Y2022-0026598

检定有效期：2022.4.8~2023.4.7

②β 表面沾污检测仪器

检测仪器：RADIAGEM2000+SABG-100 型 α、β 表面沾污仪

仪器编号：5073+0792

α、β 辐射测量范围：0-10000cps

能量响应范围：主机探测器：40keV-1.5MeV；探头：α>3MeV，β>150keV

检定单位：江苏省计量科学研究院

检测证书编号：Y2022-0085723

校准日期：2022.9.7~2023.9.6

(6) 检测方法：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 (Eβmax>0.15 MeV) 和 α 发射体》(GB/T 14056.1—2008) 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 5；

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

(1) γ 辐射剂量率检测结果及评价

本项目核医学科拟建场址及周围环境的 γ 辐射剂量率检测结果见表 8-1，α、β 表面沾污检测结果见表 8-2，检测点位见图 8-2，详细检测结果见附件 5。

表 8-1 本项目核医学科拟建场址及周围环境 γ 辐射剂量率检测结果

序号	检测点位描述	检测结果 (nSv/h)	备注
1	核医学科拟建场址内 (门诊大厅处)	139	本底检测
2	核医学科拟建场址内 (SPECT 病人通道处)	141	
3	核医学科拟建场址内 (控制走廊处)	137	
4	核医学科拟建场址内 (PET 病人通道处)	139	
5	核医学科拟建场址内 (甲癌患者通道处)	143	
6	核医学科拟建场址东侧地下车库处	139	
7	核医学科拟建场址南侧下沉庭院处	120	
8	核医学科拟建场址西侧走廊处	142	
9	核医学科拟建场址北侧楼梯间处	137	
10	核医学科拟建场址楼上特需门诊处	150	

注：上表数据已扣除检测仪器宇宙射线响应值 (19.4nSv/h)。

表 8-2 本项目核医学科拟建场址及周围环境 α 、 β 表面沾污检测结果

序号	检测点位描述	检测结果 (Bq/cm ²)		备注
		α	β	
1	核医学科拟建场址内地面 (门诊大厅处)	<MDL	<MDL	本底检测
2	核医学科拟建场址内地面 (SPECT 病人通道处)	<MDL	<MDL	
3	核医学科拟建场址内地面 (控制走廊处)	<MDL	<MDL	
4	核医学科拟建场址内地面 (PET 病人通道处)	<MDL	<MDL	
5	核医学科拟建场址内地面 (甲癌患者通道处)	<MDL	<MDL	
6	核医学科拟建场址东侧地下车库处地面	<MDL	<MDL	
7	核医学科拟建场址南侧下沉庭院处地面	<MDL	<MDL	
8	核医学科拟建场址西侧走廊处地面	<MDL	<MDL	
9	核医学科拟建场址北侧楼梯间处地面	<MDL	<MDL	
10	核医学科拟建场址楼上特需门诊处地面	<MDL	<MDL	

注：检测仪器 α 检出限为 0 Bq/cm²， β 检出限为 0.063 Bq/cm²。

根据表 8-1 可知,本项目核医学科拟建场址及周围环境的 γ 辐射剂量率为(120~150) nSv/h, 即 (100~125) nGy/h (本项目检测仪器使用 ¹³⁷Cs 作为检定参考辐射源, 根据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021), Sv/Gy 换算系数取 1.20), 由《浙江省环境天然放射性水平调查报告》中宁波地区建筑物室内 γ 辐射剂量率的范围为 (80~194) nGy/h, 道路上 γ 辐射剂量率的范围为 (64~128) nGy/h 可知, 本项目核医学科拟建场址

及周围环境辐射水平处于浙江省宁波市环境天然 γ 辐射剂量率范围。

根据表 8-2 可知，本项目核医学科拟建场址及周围环境未检出 α 、 β 表面污染。



图 8-2 本项目拟建场址及周围环境 γ 辐射剂量率和 α 、 β 表面沾污检测点位示意图

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 设备组成及工作方式

1、设备组成

(1) 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。探测系统是整个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。

医院拟购的 PET/CT 型号未定，根据医院招标计划，医院拟购置的 PET/CT 的最大管电压 $\leq 140\text{kV}$ ，最大管电流 $\leq 800\text{mA}$ 。常见 PET/CT 外观见图 9-1。



图 9-1 常见 PET/CT 外观图

(2) PET/MR

PET/MR 是正电子发射计算机断层显像仪 PET 和核磁共振成像术 MR 结合一体化组合成的大型功能代谢与分子影像诊断设备，同时具有 PET 和 MR 的检查功能。PET 图像揭示人体内部的分子代谢活动，但是图像解剖结构不清楚，而 MR 可清晰的显示人体组织的解剖结构，当 PET 图像与 MR 图像进行融合后，可以从根本上解决 PET 图像显示解剖结构不清楚的缺陷，将检测部位的生化信息、功能信息和解剖结构信息同时显示在一张图像上对比诊断，大大提高了 PET 显像的临床应用效果。PET/MR 显像仪解决的主要

临床问题是减少 PET/CT 的 CT 放射损伤，并提供高质量的分子影像图像以及与组织分子结构、分子代谢和功能代谢相关的图像。常见 PET/MR 外观示意图见图 9-2。



图 9-2 常见 PET/MR 外观图

MR 与 CT 比较，主要有以下特点：（1）MR 不产生射线辐射，病人检查安全性好；（2）MR 不必注射可能对肾脏有损害的碘化造影剂；（3）MR 有更好的软组织显像，在神经、骨骼肌肉、心脏和肿瘤诊断中有一定的优势；（4）MR 还具有技术功能，如血管造影、功能 MR、弥散和灌注显像等。

（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 的药物进行显像， ^{99m}Tc 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。

医院拟购的 SPECT/CT 型号未定，根据医院招标计划，医院拟购置的 SPECT/CT 的最大管电压 $\leq 140\text{kV}$ ，最大管电流 $\leq 800\text{mA}$ 。常见 SPECT/CT 外观见图 9-3。



图 9-3 常见 SPECT/CT 外观图

(4) ^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器

医院的 ^{68}Ga 药物拟自己使用 ^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器淋洗制备，拟购的 ^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器最大规格为 50mCi/柱，年使用不超过 2 柱，常见 ^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器的外观见图 9-4。



图 9-4 常见 ^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器外观图

本项目 ^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器的工作原理为： ^{68}Ge 离子吸附在色层柱上， ^{68}Ge 离子衰变后产生 ^{68}Ga 离子， ^{68}Ga 离子与 ^{68}Ge 离子化学性质不同，使用时每隔数小时用 0.05~0.15mol/L 的 HCl 溶液淋洗即可得到含有 ^{68}Ga 离子的淋洗液，而 ^{68}Ge 仍留在发生器内。

(5) ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器

医院的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物拟自己使用 ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器淋洗制备，医院预计采购裂变型 ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器（规格为 500mCi/柱），年使用约 50 柱， ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器外形及结构示意图见图 9-5。

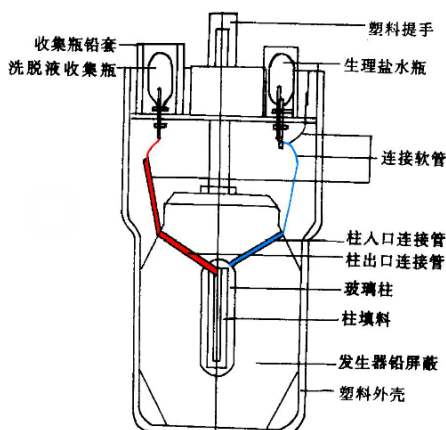


图 9-5 ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器外形及结构示意图

^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器是一种定期从较长半衰期的母体核素（ ^{99}Mo ）中分离出具有较短半衰期的子体核素（ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ）的装置。这种装置结构简单，运输方便，它以长寿命的放射性核素作为运输和储存形式，以可以定期分离得到的短寿命放射性核素作为使用方式。

母体核素 ^{99}Mo 以 $^{99}\text{MoO}_4^-$ 的形式吸附在 Al_2O_3 柱上, 利用母子体化学性质不同可用 0.9% NaCl 洗脱液将子体核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 以 $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$ 的形式洗脱下来, 而母体仍留在发生器内。每日可以按需淋洗。

2、人员配置及工作方式

本项目核医学科的 PET 诊断场所拟配备 8 名辐射工作人员, 4 名工作人员负责药物的淋洗、制备、质控、分装、注射等工作, 4 名工作人员负责 PET/CT 和 PET/MR 的操作和患者的摆位工作; SPECT 诊断场所拟配备 5 名辐射工作人员, 3 名工作人员负责药物的淋洗、制备、分装、注射等工作, 2 名工作人员负责 SPECT/CT 的操作和患者的摆位工作; 核医学科的甲癌病房区拟配备 4 名辐射工作人员, 共同负责甲癌病房区的给药、送餐等工作; 其他 3 名辐射工作人员位于医护办公室处负责其他工作。

9.1.2 工作原理、工艺流程及产污环节

1、PET 显像检查

(1) 工作原理

PET/CT 和 PET/MR 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, 藉此诊断疾病, 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 或 MR 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 或 MR 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籽, 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, 再用滤波反投射方式, 将信号按探头对的空间位置向中心点反投射, 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

本项目 PET 诊断场所使用正电子药物 ^{18}F 、 ^{68}Ga 进行显像扫描检查, ^{18}F 药物一般为

外购的成罐药剂， ^{68}Ga 药物由自购的 ^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器淋洗制备， ^{68}Ga 淋洗、制备的工艺流程如下：

①淋洗：在手套箱内用 75% 酒精棉球擦拭发生器的单针、双针和洗脱液小瓶、负压瓶盖进行消毒，先将洗脱液小瓶插入发生器的双针，然后将置入铅罐的负压瓶插入发生器的单针。借助负压瓶的负压，使洗脱液淋洗发生器的吸附柱，这时由母体 [^{68}Ge] 衰变而得到的子体放射性核素 [^{68}Ga] 即被洗脱入负压瓶中，获得淋洗液；

②合成与分装：淋洗后的 ^{68}Ga 核素在 ^{68}Ga 专用手套箱内进行合成，合成后的药物根据患者的用药量进行分装；

③质检：每批次药物使用前均分装出活度不大于 $3.7 \times 10^7 \text{Bq}$ (1mCi) 的药物样品至无菌瓶内，放至铅罐中，送质控室对合成后的放射性药物的性状、放射性活度及浓度、PH 值、放射化学纯度等进行即时质检。

本项目 ^{68}Ga 单次淋洗、合成、分装共用时约 10min，单次质控用时约 30min。

本项目 PET 显像检查流程如下：

①在核医学科开诊之前，供货商将 ^{18}F 成罐药剂运至医院，由核医学科专职工作人员接收，暂存在淋洗室的 ^{18}F 手套箱内； ^{68}Ga 药物由医院在 ^{68}Ga 专用手套箱内自行淋洗制备；

②患者在注射前候诊区候诊时，在诊室进行问诊、称重、测血糖等相关准备工作，医生告知患者检查需要注意的事项等；

③用生理盐水稀释 ^{18}F 、 ^{68}Ga 药物原液，放射性核素操作人员根据病人体重抽取所需活度的药液，并测定活度，分装的药物活度满足要求后，将注射试剂送至注射窗口，注射人员在注射窗口为病人注射药物；

④经语音呼叫后，病人到达注射窗口，注射药物；

⑤注射药物后的病人进入 PET 注射后候诊室进行候诊，PET/MR 扫描的患者在候诊时需更衣室进行更衣；

⑥候诊约 30~60min，待药物代谢至靶器官后进入 PET/CT 扫描室或 PET/MR 扫描室经医护人员指导摆位后进行扫描，单次扫描用时约 20~30min；

⑦扫描完成后，病人到 PET 留观室留观，留观约 20~30min，无碍后从核医学科专用楼梯或电梯离开。

本项目 PET 显像检查具体工艺流程及产污环节见图 9-6。

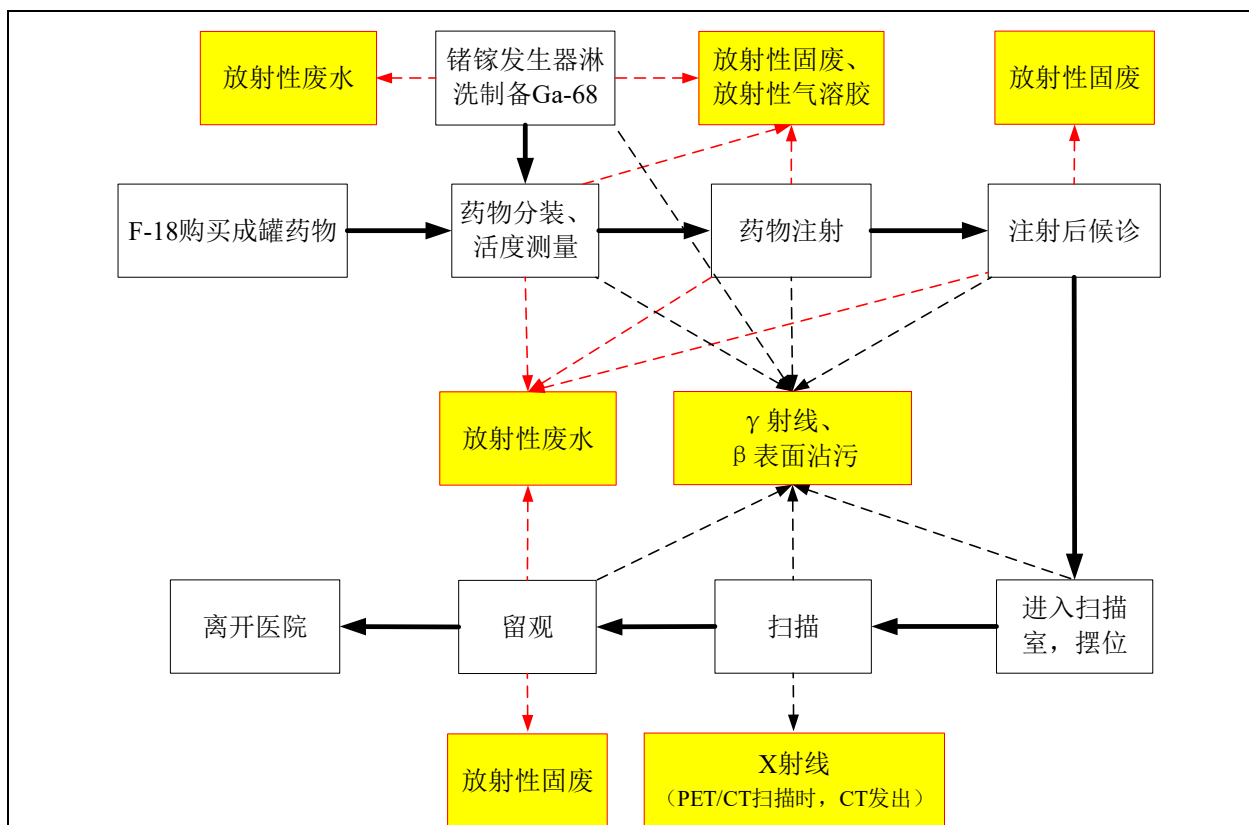


图9-6 本项目PET显像检查具体工艺流程及产污环节示意图

2、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打拿极倍增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

本项目 SPECT 诊断场所使用 ^{99m}Tc 药物进行显像扫描检查， ^{99m}Tc 药物由自购的 ^{99}Mo - ^{99m}Tc 发生器淋洗制备， ^{99m}Tc 淋洗、制备的工艺流程如下：

- ①向专业供货商购置 ^{99}Mo - ^{99m}Tc 发生器，放入高活室的 ^{99m}Tc 手套箱内；
- ②医护人员穿好铅衣，戴口罩和无菌手套，取生理盐水瓶按无菌操作原则安置于 ^{99}Mo - ^{99m}Tc 发生器上；
- ③取负压瓶，放置于铅罐内，按无菌操作原则安置于 ^{99}Mo - ^{99m}Tc 发生器上，淋洗制

备 ^{99m}Tc 溶液；

④取淋洗后的 ^{99m}Tc 溶液测试其放射性活度，并作记录；

⑤根据检查要求，抽取相应 ^{99m}Tc 溶液注入标记物瓶中，充分振摇，使冻干粉（ ^{99m}Tc 配体、还原剂、缓冲剂等按规定配方制备的混合试剂）速溶，静置 5min，即得最终 ^{99m}Tc 标记的放射性药物。

本项目 ^{99m}Tc 单次淋洗、标记、分装共用时约 6min。

本项目 SPECT 显像检查流程如下：

①患者在注射前候诊区候诊，经语音呼叫后，至注射窗口注射放射性药物；

②注射药物后的患者在 SPECT 注射后候诊室内候诊约 30min 待药物代谢至靶器官，部分患者可能需要在运动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；

③药物代谢至靶器官的患者，进入 SPECT/CT 扫描室，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；

④扫描完成后，患者进入 SPECT 留观室留观约 20~30min，无碍后从核医学科专用楼梯或电梯离开。

本项目 SPECT/CT 显像检查具体工艺流程及产污环节见图 9-7。

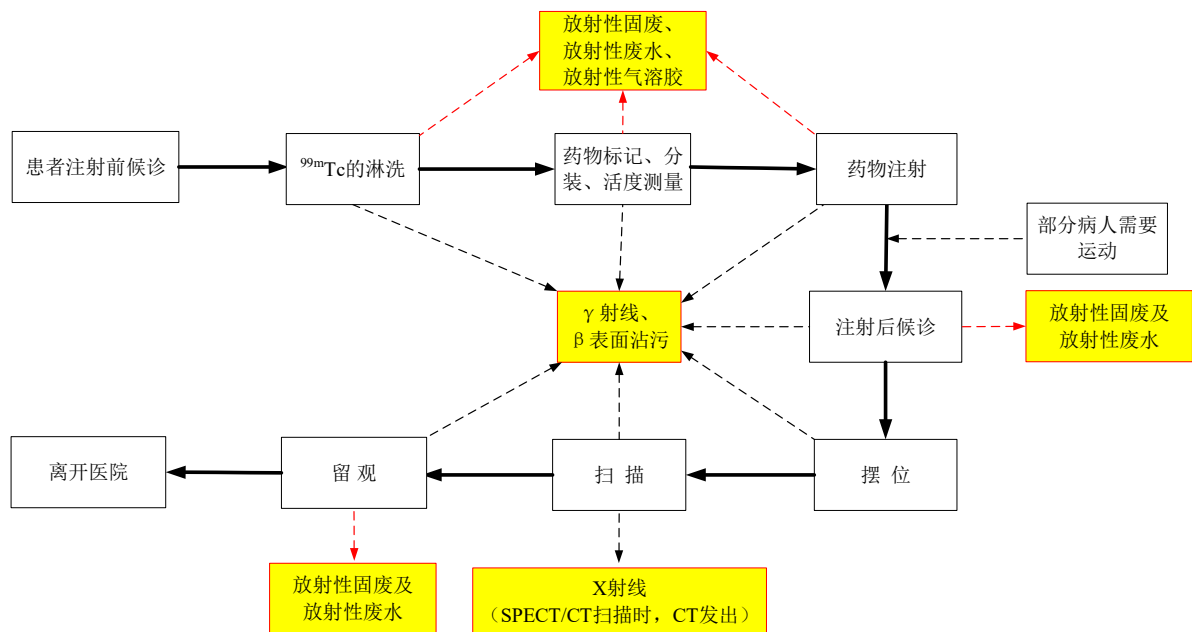


图 9-7 本项目 SPECT/CT 显像检查具体工艺流程及产污环节示意图

3、 ^{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 药物为成罐药剂， ^{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损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做成敷贴器，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 9-8。

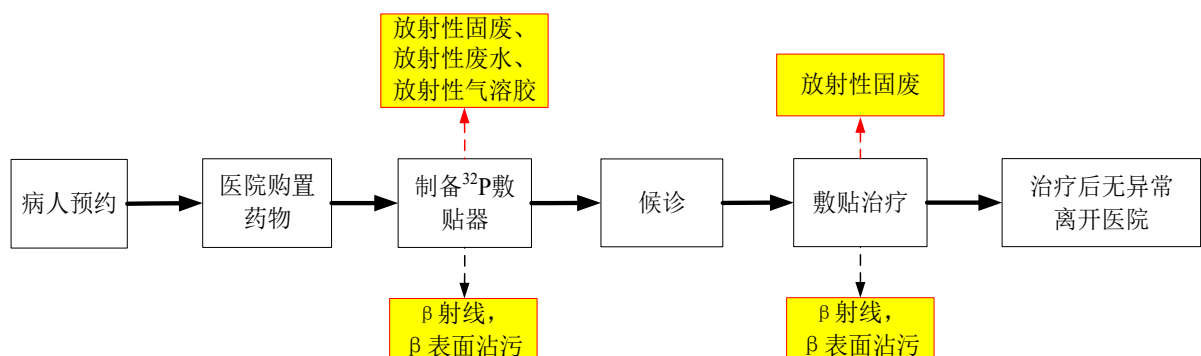


图 9-8 ^{32}P 敷贴治疗工艺流程及产污环节示意图

4、 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 核素治疗

(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。

^{223}Ra 、 ^{225}Ac 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

^{223}Ra 、 ^{225}Ac 核素治疗具体过程如下：

- ①患者提前预约，医院向厂家预约定药；
- ②当天由厂家按需供药，由核医学科专职人员负责药物接收与登记；
- 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，在 SPECT 注射窗口注射药物，注射后病人直接离开医院。

^{223}Ra 、 ^{225}Ac 核素治疗具体工艺流程及产污环节见图 9-9。

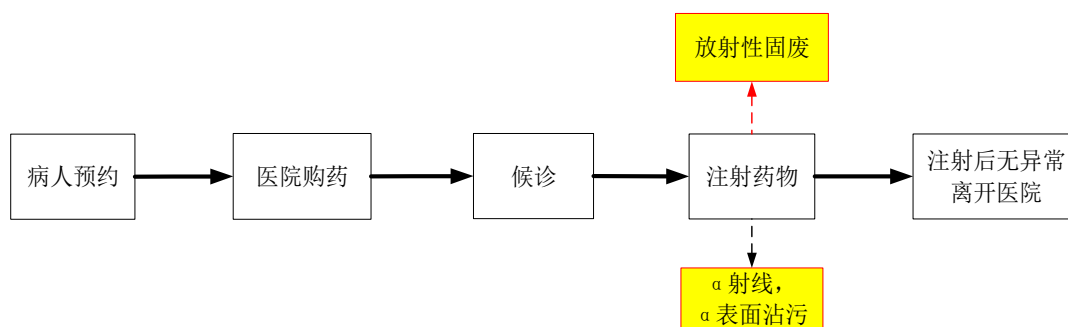


图 9-9 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 核素治疗具体工艺流程及产污环节示意图

5、甲癌和甲亢治疗

(1) 工作原理

甲状腺是人体最大的内分泌腺，甲状腺控制使用能量的速度、制造蛋白质、调节身体对其他荷尔蒙的敏感性。甲状腺细胞从海带等产品中摄取碘来合成甲状腺激素。甲亢是甲状腺功能亢进的简称，它是由于人体内甲状腺激素的含量过高，而导致的以人体代谢率增高和交感神经兴奋性增强为主要特殊的一种病症。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，甲状腺癌的病理类型主要可以分为乳头状腺癌、滤泡状腺癌、未分化癌和髓样癌。

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。甲状腺组织能受到长时间的集中照射，其腺体被破坏后逐渐坏死，代之以无功能的结缔组织，从而降低甲状腺的分泌功能，使甲亢得以治愈，达到类似甲状腺次全切除手术的目的。

分化型甲状腺癌患者，手术切除癌变甲状腺组织后，同样可用 ^{131}I 去除残留的甲状腺组织，或者利用 ^{131}I 显像发现分化型甲状腺癌的转移灶，对其复发或者转移进行诊断。

(2) 工艺流程及产污环节分析

患者在甲亢和甲癌治疗前，需进行甲状腺功能测定，医护人员在给药室的全自动分装给药仪中分装出微量的放射性药物（约 $1\mu\text{Ci}$ ），在给药室内供患者服用，患者服药后分别于 2h、4h、24h 后返回医院甲功室（给药控制室）进行吸碘率测试，确定各患者的用药量，医院向厂家预约定药。医院 ^{131}I 药物由专业供货商每周按需供货一次，由核医学科专人接收、登记，暂存在给药室的全自动分装给药仪中。

本项目拟配备的全自动分装给药仪既可通过电脑控制自动分装药物，又可手动分装药物。本项目甲亢、甲癌患者药物均由电脑控制自动分装药物，甲功测定用药物由工作人员手动分装。

1) 甲癌治疗工艺流程及产污环节

①医院在每周的周一上午，集中预约患者来院服药进行甲癌治疗；

②服药前，医护人员核对患者姓名、服药量等信息后，工作人员在给药控制室通过电脑控制全自动分装给药仪自动分装药物，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 400MBq 或距离患者体表 1m 处的周围剂量当量率不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ 后，方可出院。

此外，给药控制室设有注射窗，患有复合病的住院甲癌患者在该注射窗处注射普通药物针剂。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》），约住院 5 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 9-10。

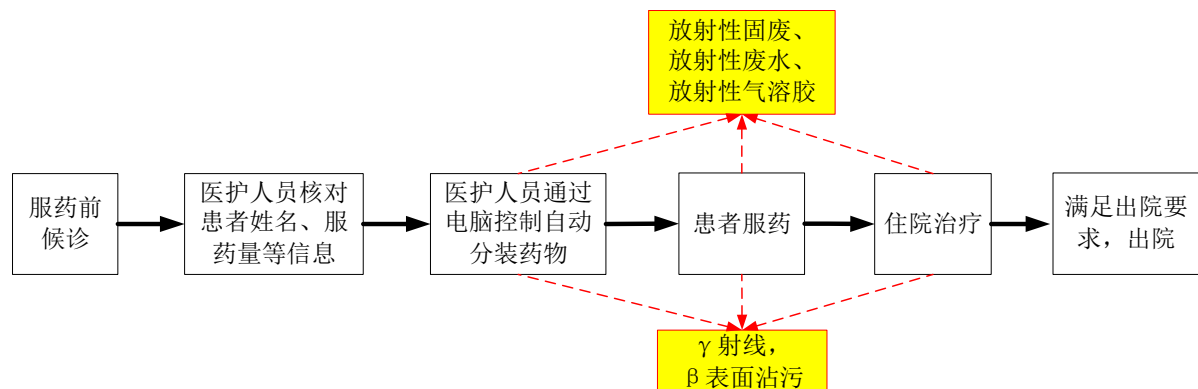


图 9-10 ^{131}I 甲癌治疗具体工艺流程及产污环节示意图

2) 甲亢治疗工艺流程及产污环节

- ①每周一在甲癌患者服药前，医院集中预约患者来院服药进行甲亢治疗；
- ②服药前，医护人员核对患者姓名、服药量等信息后，告知病人需要注意的事项；
- ③工作人员在给药控制室通过电脑控制全自动分装给药仪自动分装药物，并通过监控和语音系统指导患者服药；
- ④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，然后直接离开医院。

^{131}I 甲亢治疗具体工艺流程及产污环节见图 9-11。

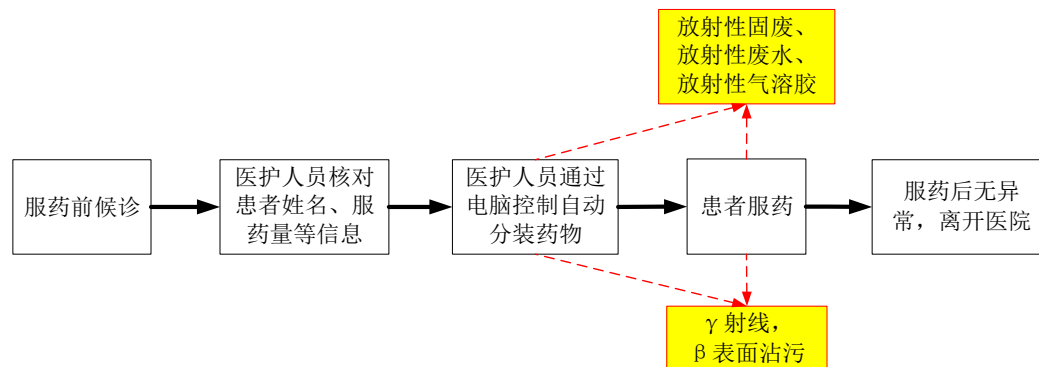


图 9-11 ^{131}I 甲亢治疗具体工艺流程及产污环节示意图

9.1.3 人流、物流路径规划

1、PET 诊断场所

(1) 医护人员路径

操作技师路径：经核医学科候诊大厅直接进入控制走廊，在操作位进行设备的操作以及在扫描室为病人摆位等工作；工作结束后，原路返回离开。

核素操作人员路径：经核医学科候诊大厅进入更衣/缓存间，经更衣后进入淋洗室、质控室和注射室，进行药物的淋洗、制备、质控、注射等工作；工作结束后，在更衣/缓存间进行表面沾污检测，若检测合格，直接更衣后离开，若其污染水平超过 GB18871-2002 规定值，则将被污染的工作服等防护用品脱下放入衣物篮并在淋浴间冲洗，直至检测合格，方可离开。

(2) 患者路径

患者首先在注射前等候区等候，候诊时在问诊室进行称重、测血糖以及问诊等相关准备工作，准备工作完毕后从患者入口进入。

PET/CT 诊断患者路径：在注射窗口注射药物，注射完毕后到注射后候诊室候诊，待放射性药物代谢到相应的靶器官后，到 PET/CT 扫描室进行扫描，扫描完毕后再到留观室留观，在留观室观察约半小时后从患者出口离开。

PET/MR 诊断患者路径：在注射窗口注射药物，注射完毕后到注射后候诊室候诊，

待放射性药物代谢到相应的靶器官后，到更衣室更换专用病服，到 PET/MR 扫描室进行扫描，扫描完毕后再返回更衣室更衣，再到留观室留观，在留观室留观约半小时后从患者出口离开。

（3）放射性药物路径

本项目订购的 ^{18}F 药物由供货商每天在核医学科上班之前送至医院，核医学科工作人员接收药物后，从核医学科患者出口专用电梯刷卡进入核医学科，将放射性药物送入淋洗室的 ^{18}F 手套箱内； ^{68}Ga 药物由供货商在核医学科上班之前送至医院，贮存在 ^{68}Ga 专用手套箱内，每天根据需要进行淋洗制备。

（4）放射性固体废物路径

本项目 PET 诊断场所各房间产生的放射性固体废物先放在各房间的废物铅桶内，下班后再集中收集，放置在 PET 诊断场所的放射性固废暂存间，暂存至少 30 天，并经检测辐射剂量率处于所处环境本底水平、 α 表面沾污小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面沾污小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，从患者出口专用电梯运至医院医疗废物处理站，作为医疗废物处理。

2、SPECT 诊断场所

（1）医护人员路径

操作技师路径：经核医学科候诊大厅直接进入控制走廊到操作位进行设备的操作以及病人的摆位等工作；工作结束后，原路返回离开。

核素操作人员路径：经核医学科候诊大厅进入更衣/缓存间，经更衣后进入高活室和注射室，进行药物的淋洗、制备、注射等工作； ^{32}P 敷贴治疗工作人员在 SPECT 诊断工作结束后，经 SPECT 病人通道进入敷贴室，进行敷贴器的制作和治疗；工作结束后，在更衣/缓冲间进行表面沾污检测，若检测合格，直接更衣后离开，若其污染水平超过 GB18871-2002 规定值，则将被污染的工作服等防护用品脱下放入衣物篮并在淋浴间冲洗，直至检测合格，方可离开。

（2）患者路径

SPECT/CT 诊断患者路径：从患者入口进入，在 SPECT 注射窗口注射药物，注射后需要进行运动的患者在运动室加强运动一段时间后进入 SPECT 注射后候诊室候诊，待放射性药物代谢到相应的靶器官后，到 SPECT/CT 扫描室进行扫描，扫描完毕后再到 SPECT 留观室留观，在留观室留观约半小时后从患者出口离开。

^{32}P 敷贴治疗患者路径：从患者入口进入，经 SPECT 病人通道进入敷贴室，接受敷贴治疗，治疗结束后从患者出口离开。

^{223}Ra 、 ^{225}Ac 治疗患者路径：从患者入口进入，在 SPECT 注射窗口注射药物，注射

后无需留观，直接从患者出口离开。

(3) 放射性药物路径

本项目订购的 ^{32}P 、 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 药物由供货商每天在核医学科上班之前送至医院， ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器由供货商每周一在医院上班之前送至医院，核医学科工作人员接收药物后，从核医学科患者出口专用电梯刷卡进入核医学科， ^{32}P 药物送至敷贴器制备间的手套箱内， ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 注射针剂和 ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器送至高活室的手套箱内，同时将上周退役的 ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器带回。

(4) 放射性固体废物路径

本项目 SPECT 诊断场所各房间产生的放射性固体废物先放在各房间的废物铅桶内，下班后再分类收集（含有 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的放射性固体废物单独收集，含有 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 的放射性固体废物一起收集，含有 ^{32}P 的放射性固体废物单独收集），放置在 SPECT 诊断场所的放射性固废暂存间，含有 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的放射性固体废物自然衰变至少 30 天后，含有 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 的放射性固体废物自然衰变至少 115 天后，含有 ^{32}P 的放射性固体废物自然衰变至少 143 天后，并经检测辐射剂量率处于所处环境本底水平、 α 表面沾污小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面沾污小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，从患者出口专用电梯运至医院医疗废物处理站，作为医疗废物处理。

3、甲癌病房区

(1) 医护人员路径

正常工作时，医护人员经核医学科候诊大厅走廊进入更衣/缓存间，经更衣后进入给药控制室，通过电脑叫号，并远程控制全自动分装给药仪分装药物，通过语音视频监控系統指导患者服药，无需进入控制区。

工作人员需进入控制区时，从给药控制室经给药室进入，工作结束后，原路返回，在更衣/缓冲间进行表面沾污检测，若检测合格，直接更衣后离开，若其污染水平超过 GB18871-2002 规定值，则将被污染的工作服等防护用品脱下放入衣物篮并在淋浴间冲洗，直至检测合格，方可离开。

(2) 患者通道

本项目甲癌和甲亢治疗采取错时服药的方法，甲亢治疗在甲癌患者服药前进行。

甲癌患者路径：甲癌治疗的患者从患者入口进入，经缓冲区进入给药室，根据医生语音指导服药，服药后进入各自病房住院治疗，满足出院要求后，从患者出口离开。

甲亢患者路径：甲亢治疗的患者从患者入口进入，经缓冲区进入给药室，根据医生语音指导服药，服药后无需留观，直接从患者出口离开。

(3) 放射性药物路径

本项目订购的 ^{131}I 药物由供货商每天在核医学科上班之前送至医院，核医学科工作人员接收药物后，从核医学科患者出口专用电梯刷卡进入核医学科，送至给药室的全自动分装给药仪内。

(4) 放射性固体废物路径

本项目甲癌病房区各房间产生的放射性固体废物先放在各房间的废物铅桶内，病人出院后集中收集，放置在甲癌病房区的放射性固废暂存间内，自然衰变至少 180 天后，并经检测辐射剂量率处于所处环境本底水平、 α 表面沾污小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面沾污小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，从患者出口专用电梯运至医院医疗废物处理站，作为医疗废物处理。

(5) 送餐通道

医护人员将餐车从患者入口推入，经缓冲区送入配餐间，并语音通知患者领餐，经传递窗递给患者。

本项目核医学科工作场所人流、物流路径见附图 6。

9.2 污染源项描述

9.2.1 污染源项

1、辐射

PET/CT 显像检查用正电子药物 ^{18}F 、 ^{68}Ga 在操作过程以及给药后患者在候诊、扫描、留观等过程中会发射能量为 0.511MeV 的 γ 射线。PET/CT 扫描时 CT 发射出 X 射线，X 射线能量最大为 140kV 。

SPECT/CT 显像检查用放射性核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 在淋洗制备过程以及给药后患者在候诊、扫描、留观等过程中会产生能量为 0.14MeV 的 γ 射线。SPECT/CT 扫描时 CT 发射出 X 射线，X 射线能量最大为 140kV 。

敷贴治疗用核素 ^{32}P 发出能量约为 1.71MeV 的 β 射线，核素治疗用核素 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 主要发射 α 射线。

甲癌和甲亢治疗用放射性核素 ^{131}I 在操作过程以及服药患者在住院等过程中会发射平均能量为 0.365MeV 的 γ 射线。

本项目注射 $3.7\times 10^8\text{Bq}$ ^{18}F 放射性药物的患者所致 1m 处周围剂量当量率最大为 $52.9\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，注射 $2.22\times 10^8\text{Bq}$ ^{68}Ga 放射性药物的患者所致 1m 处周围剂量当量率最大为 $29.7\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，注射 $7.4\times 10^8\text{Bq}$ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射性药物的患者所致 1m 处周围剂量当量率最大为 $22.4\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，使用 $4.44\times 10^8\text{Bq}$ 的敷贴器所致 1m 处切致辐射最大为 $0.144\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，服用 $3.7\times 10^9\text{Bq}$ ^{131}I 放射性药物的甲癌患者所致 1m 处周围剂量当量率最大为 $220\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，服用 $3.7\times 10^8\text{Bq}$ ^{131}I 放射性药物的甲亢患者所致 1m 处周围剂量当量率最大为 $22\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。PET/CT

和 SPECT/CT 扫描时 CT 发出能量最大为 140kV 的 X 射线，日常使用中管电压范围为 80kV~120kV，根据《辐射防护导论》附图 3，在 120kV 下 1 米处的 X 射线发射率为 $9\text{mGy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ （过滤板保守取 2.5mmAl）。放射性核素发出的 β 射线、 α 射线穿透能力较弱，对周围环境影响很小，其对周围环境的辐射影响较放射性核素可忽略不计。

2、放射性废水

本项目核医学科的放射性废水主要为给药后患者的排泄物和冲洗水、工作人员的淋浴和清洗废水以及工作场所的清洗废水等。本项目核医学科内的淋浴、洗手池、拖把池选用脚踏式或自动感应式的开关，马桶采用节水模式，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。

本项目 PET 诊断日门诊量最大为 44 人，平均每人产生放射性废水约 6L，则 PET 诊断的患者每日约产生放射性废水 264L，PET 诊断场所的医护人员和场所每日产生的清洗废水约 40L，则 PET 诊断场所每日共产生放射性废水最大约 0.304m^3 ，年产生放射性废水最大约 76m^3 。

本项目 SPECT 诊断日门诊量最大为 20 人，平均每人产生放射性废水约 6L，则 SPECT 诊断的患者每日约产生放射性废水 120L； ^{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； ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 核素治疗不产生放射性废水；SPECT 诊断场所的医护人员和场所每日产生的清洗废水约 40L。则 SPECT 诊断场所每日共产生含 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的放射性废水最大约 0.16m^3 ，年产生放射性废水最大约 40m^3 ；每日产生含 ^{32}P 的放射性废水约 0.1L，年产生量约 0.025m^3 。

本项目甲亢患者不留观，基本不产生放射性废水；甲癌治疗每周接收最多 6 名甲癌患者，平均每人日产生放射性废水约 100L，甲癌病房区的医护人员和场所每周产生的清洗废水约 100L，则甲癌病房区每周共产生放射性废水最大约 3.1m^3 ，年产生放射性废水最大约 155m^3 。

参考《放射毒理学》（朱寿彭主编）给出的放射性核素的生理代谢规律，核医学门诊注射或口服的放射性药物在就诊时间内，约有 10%排出体外，本项目保守假设门诊诊断项目约年操作量 10%的放射性核素转入放射性废水，则推流式放射性废水衰变系统中放射性废水中所含放射性核素的活度约为 $7.1188\times 10^{11}\text{Bq}$ ，活度浓度约为 $6.14\times 10^6\text{Bq/L}$ 。

根据《分化型甲状腺癌患者的 ^{131}I 有效半衰期》，甲癌患者在住院期间，约有 80%排出体外，本项目甲癌患者用药量的 80%的放射性核素转入放射性废水，则放射性废水中所含放射性核素的活度约为 $8.88\times 10^{11}\text{Bq}$ ，活度浓度约为 $5.73\times 10^6\text{Bq/L}$ 。

本项目也保守假设年操作量 10%的核素 ^{32}P 转入工艺废水，则放射性废水中所含 ^{32}P

的活度约为 $1.11 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，活度浓度约为 $4.44 \times 10^8 \text{Bq/L}$ 。

3、放射性废气

本项目核医学科的放射性药物的操作均在带有通风装置的手套箱或全自动分装给药仪内进行，全自动分装给药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 PET 诊断场所和 SPECT 诊断场所产生的放射性固体废物主要为放射性药物操作过程中产生的如一次性注射器、手套、口罩、棉签、滤纸、擦拭纸、废敷贴源、胶布等带微量放射性核素的医疗固体废弃物；甲癌病房区产生的放射性固体废物主要为一次性手套、口罩、服药杯、擦拭废纸等。

本项目 PET 诊断场所日门诊量最大为 44 人，平均每人产生放射性固体废物约 0.1kg，则 PET 诊断场所放射性固体废物日产生量约 4.4kg，年产生量约 1100kg。

本项目 SPECT 诊断场所日门诊量最大为 26 人，平均每人产生放射性固体废物约 0.1kg，则 SPECT 诊断场所放射性固体废物日产生量约 2.6kg，年产生量约 650kg。

本项目甲癌病房区周产生量约为 30kg，年产生量约为 1500kg。

除此之外， ^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器、 ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器使用一段时间后会产退役的发生器，本项目年产生不超过 2 柱废 ^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器和 50 柱废 ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器。

本项目保守假设约年操作量 10%的放射性核素转入放射性固体废物，则 PET 诊断场所放射性固体废物中所含放射性核素的活度约为 $3.4188 \times 10^{11} \text{Bq}$ ，活度浓度约为 $3.108 \times 10^8 \text{Bq/kg}$ ；SPECT 诊断场所放射性固体废物中所含放射性核素的活度约为 $3.8126 \times 10^{11} \text{Bq}$ ，活度浓度约为 $5.87 \times 10^8 \text{Bq/kg}$ ；甲癌病房区放射性固体废物中所含放射性核素的活度约为 $1.295 \times 10^{11} \text{Bq}$ ，活度浓度约为 $8.63 \times 10^7 \text{Bq/kg}$ 。

PET 诊断场所和 SPECT 诊断场所通风系统的活性炭每季度更换一次，年产生废活性炭约 48kg，本项目保守假设约年操作量 1%的放射性核素转入放射性气溶胶，则废活性炭中吸附的放射性核素的活度最大约为 $7.2314 \times 10^9 \text{Bq}$ ，活度浓度最大约为 $1.51 \times 10^8 \text{Bq/kg}$ 。

甲癌病房区通风系统的活性炭每季度更换一次，年产生废活性炭约 32kg，本项目保守假设约年操作量 1%的放射性核素转入放射性气溶胶，则废活性炭中吸附的放射性核素的活度最大约为 $1.295 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，活度浓度最大约为 $4.05 \times 10^8 \text{Bq/kg}$ 。

5、非放射性污染

(1) 辐射工作人员工作中产生的生活污水和办公垃圾。

(2) PET/CT、SPECT/CT 开机扫描时，扫描室内产生的少量臭氧和氮氧化物。

9.2.2 核素特性

本项目放射性核素的特性见表 9-1。

表 9-1 本项目放射性核素特性一览表

核素种类	半衰期	衰变类型及分支比 (%)	主要 α 、 β 辐射能量 (keV) 与绝对强度 (%)	主要 γ 、X 射线能量 (keV) 与绝对强度 (%)	周围剂量当量率常数 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$)
^{18}F	109.8min	EC (3.27) β^+ (96.73)	633.5 (96.73)	XK: 0.52 (0.01795) γ^\pm : 511 (≤ 193.46)	0.143
^{68}Ge	270.8d	ϵ (100)	—	XK $_{\beta}$:10.3 (5.45) XK $_{\alpha 2}$:9.22482 (13.07) XK $_{\alpha 1}$:9.25174 (25.6)	0.0112
^{68}Ga	68.3min	ϵ (10.9) β^+ (89.1)	1899.1 (88.1)	1077.4 (3.0) γ^\pm : 511 (178.6)	0.134
^{99}Mo	66h	β^- (100)	436.6 (16.4) 848.1 (1.14) 1214.5 (82.4)	140.511 (89.6) 181.068 (6.01) 739.5 (12.12) 636.989 (7.17) 777.921 (4.26) XK $_{\alpha 1}$:18.3671 (5.7) XK $_{\alpha 2}$:18.2508 (3.0) XK $_{\beta}$:20.6 (1.71)	0.0216
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6.02h	IT(100)	—	140.508(88.5) XK $_{\beta}$:20.6 (1.23) XK $_{\alpha 2}$:18.2508 (2.15) XK $_{\alpha 1}$:18.3671 (4.1)	0.0303
^{32}P	14.26d	β^- (100)	1710.3 (100.0)	----	----
^{223}Ra	11.44d	α (100)	5606.73 (25.7) 5716.23 (52.6) 5607.6 (9.1)	154.21 (5.62) 269.459 (13.7) XK $_{\alpha 1}$:83.78 (24.9)	0.0428
^{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) XL:12.0 (20.8)	0.02

^{131}I	8.02d	β^- (100)	247.9 (2.1) 333.8 (7.27) 606.3 (89.9)	80.183 (2.62) 284.298 (6.05) 364.480 (81.1) 636.973 (7.25) 722.893 (1.80) XK $_{\alpha 1}$:29.779 (2.52) XK $_{\alpha 2}$:29.458 (1.35) XK $_{\beta}$:33.6 (0.90)	0.0595
------------------	-------	-----------------	---	---	--------

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 工作场所布局与分区

1、工作场所布局

本项目核医学科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，SPECT 诊断、 ^{32}P 敷贴治疗及 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 核素治疗错时开展，甲亢治疗和甲癌治疗错时服药，进药时间与就诊时间错开，医护通道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，控制区内设有敷贴室、注射后候诊室、留观室、住院病房和给药后患者的专用卫生间，患者在控制区内为单向流动，给药后患者与给药前患者不交叉，可有效避免工作人员、患者与放射性药物之间的交叉污染，布局合理。

2、工作场所分区

医院拟对本项目核医学科进行分区管理，控制区与监督区的划分见表 10-1 和附图 7。

表 10-1 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
核医学科	PET 诊断场所	储源室、淋洗室、质控室、注射室、放射性固废暂存间、更衣室、污洗间、注射后候诊室 1~3、留观室 1~2、PET/CT 扫描室、PET/MR 扫描室、PET 病人通道	卫生通过间（包括卫生间、淋浴间、更衣/缓冲间）、控制走廊、设备间、铅衣室、给药控制室、缓冲区、配餐间、患者出口走廊、患者出口专用电梯厅及电梯
	SPECT 诊断场所	高活室、注射室、污泵间、放射性固废暂存间、运动/抢救室、注射后候诊室、SPECT/CT 扫描室、留观室 1~2、患者专用卫生间、敷贴室、制备间、污洗间、SPECT 病人通道	
	甲癌病房区	给药室、抢救室、住院病房、放射性固废暂存间、污洗间、甲癌患者通道、污泵间	

除此之外，医院拟将核医学科的衰变室划为控制区，入口处粘贴电离辐射警告标志，禁止无关人员进入。

综上所述，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）中有关辐射工作场所的分区规定。

10.1.2 辐射防护设计

本项目核医学科屏蔽防护设计参数见表 10-2。

表 10-2 本项目核医学科屏蔽防护情况一览表

场所		屏蔽体及设计的屏蔽厚度
PET 诊断 场所	淋浴间	东墙、西墙、北墙：200mm 实心砖墙+4mmPb 硫酸钡防护涂料； 南墙：200mm 实心砖墙+10mmPb 硫酸钡防护涂料； 顶部：350mm 砼； 门：普通门
	更衣/缓冲间	东墙、北墙：200mm 实心砖墙+4mmPb 硫酸钡防护涂料； 南墙、西墙：200mm 实心砖墙+10mmPb 硫酸钡防护涂料； 顶部：350mm 砼； 入口门：普通门
	注射室	四周墙体：200mm 实心砖墙+10mmPb 硫酸钡防护涂料； 顶部：350mm 砼； 防护门：内嵌 8mm 铅板的铅防护门； 注射窗：采用 40mmPb 一体化注射窗
	储源室、放射性固废 暂存间、更衣室、 污洗间	四周墙体：200mm 实心砖墙+10mmPb 硫酸钡防护涂料； 顶部：350mm 砼； 更衣室、污洗间门为普通门，其他为内嵌 8mm 铅板的铅防护门
	淋洗室、质控室	质控室西墙：370mm 实心砖墙+5mmPb 硫酸钡防护涂料； 其他墙体：200mm 实心砖墙+10mmPb 硫酸钡防护涂料； 顶部：350mm 砼+3mmPb 硫酸钡防护涂料； 防护门：内嵌 8mm 铅板的铅防护门
	注射后候诊室 1	东墙、南墙：370mm 实心砖墙+5mmPb 硫酸钡防护涂料； 西墙、北墙：200mm 实心砖墙+10mmPb 硫酸钡防护涂料； 顶部：350mm 砼+3mmPb 硫酸钡防护涂料； 防护门：内嵌 8mm 铅板的铅防护门； 座椅之间设置 10mmPb 铅屏风
	注射后候诊室 2~3、 留观室 1~2	东墙、西墙、北墙：200mm 实心砖墙+10mmPb 硫酸钡防护涂料； 南墙：370mm 实心砖墙+5mmPb 硫酸钡防护涂料； 顶部：350mm 砼+3mmPb 硫酸钡防护涂料； 防护门：内嵌 8mm 铅板的铅防护门； 座椅之间设置 10mmPb 铅屏风
	PET/CT 扫描室、 PET/MR 扫描室	四周墙体：200mm 实心砖墙+10mmPb 硫酸钡防护涂料； 顶部：350mm 砼； 防护门：内嵌 8mm 铅板的铅防护门； 观察窗：20mmPb 铅玻璃
	患者走廊	顶部：350mm 砼； 患者进出口防护门：内嵌 8mm 铅板的铅防护门
	手套箱	¹⁸ F 手套箱：正面 60mmPb，其他五面 50mmPb； ⁶⁸ Ga 淋洗手套箱：正面 50mmPb，其他五面 40mmPb； ⁶⁸ Ga 质控手套箱：六面 20mmPb

SPECT 诊断场所	淋浴间、更衣/缓冲间、污洗间、留观专用卫生间	四周墙体：200mm 实心砖墙+4mmPb 硫酸钡防护涂料； 顶部：350mm 砼； 各房间入口门：普通门
	高活室、注射室	四周墙体：200mm 实心砖墙+4mmPb 硫酸钡防护涂料； 顶部：350mm 砼； 防护门：内嵌 6mm 铅板的铅防护门； 注射窗：采用 40mmPb 一体化注射窗
	污泵间、放射性固废暂存间、敷贴室、运动/抢救室、制备间	四周墙体：200mm 实心砖墙+4mmPb 硫酸钡防护涂料； 顶部：350mm 砼； 防护门：内嵌 4mm 铅板的铅防护门
	注射后候诊室、留观室 1~2	四周墙体：200mm 实心砖墙+4mmPb 硫酸钡防护涂料； 顶部：350mm 砼； 防护门：内嵌 4mm 铅板的铅防护门； 座椅之间设置 2mmPb 铅屏风
	SPECT/CT 扫描室	四周墙体：200mm 实心砖墙+4mmPb 硫酸钡防护涂料； 顶部：350mm 砼； 防护门：内嵌 6mm 铅板的铅防护门； 观察窗：6mmPb 铅玻璃
	患者走廊	顶部：350mm 砼； 患者进出口防护门：内嵌 6mm 铅板的铅防护门
	手套箱	^{99m} Tc 手套箱：六面 10mmPb； ³² P 手套箱：六面 10mmPb（内衬 1cm 厚有机玻璃）
	控制走廊	患者出口走廊处防护门：内嵌 6mm 铅板的铅防护门
甲癌病房区	淋浴间	东墙、南墙、西墙：200mm 实心砖墙+10mmPb 硫酸钡防护涂料； 北墙：370mm 实心砖墙+5mmPb 硫酸钡防护涂料； 顶部：350mm 砼+3mmPb 硫酸钡防护涂料； 门：普通门
	更衣/缓冲间	东墙、南墙：370mm 实心砖墙+5mmPb 硫酸钡防护涂料； 西墙、北墙：200mm 实心砖墙+10mmPb 硫酸钡防护涂料； 顶部：350mm 砼+3mmPb 硫酸钡防护涂料； 防护门：内嵌 8mm 铅板的铅防护门； 高窗：3mmPb 铅玻璃
	给药控制室	东墙、南墙、西墙：200mm 实心砖墙+10mmPb 硫酸钡防护涂料； 北墙：370mm 实心砖墙+5mmPb 硫酸钡防护涂料； 顶部：350mm 砼+3mmPb 硫酸钡防护涂料； 防护门：内嵌 8mm 铅板的铅防护门； 普通药物注射窗：采用 40mmPb 一体化注射窗

污洗间	东墙、南墙：200mm 实心砖墙+10mmPb 硫酸钡防护涂料； 西墙、北墙：370mm 实心砖墙+5mmPb 硫酸钡防护涂料； 顶部：350mm 砼+3mmPb 硫酸钡防护涂料； 门：普通门
放射性固废暂存间	东墙、北墙、部分西墙：370mm 实心砖墙+5mmPb 硫酸钡防护涂料； 南墙、部分西墙：200mm 实心砖墙+10mmPb 硫酸钡防护涂料； 顶部：350mm 砼+3mmPb 硫酸钡防护涂料； 防护门：内嵌 8mm 铅板的铅防护门
给药室、抢救室	南墙、北墙：370mm 实心砖墙+5mmPb 硫酸钡防护涂料； 东墙、西墙：200mm 实心砖墙+10mmPb 硫酸钡防护涂料； 顶部：350mm 砼+3mmPb 硫酸钡防护涂料； 防护门：内嵌 8mm 铅板的铅防护门； 高窗：12mmPb 铅玻璃
住院病房 1、 住院病房 3	南墙、北墙：370mm 实心砖墙+5mmPb 硫酸钡防护涂料； 东墙：200mm 实心砖墙+10mmPb 硫酸钡防护涂料； 西墙：370mm 实心砖墙+8mmPb 硫酸钡防护涂料； 顶部：350mm 砼+3mmPb 硫酸钡防护涂料； 防护门：内嵌 8mm 铅板的铅防护门； 高窗：12mmPb 铅玻璃； 病床之间间隔至少 1.5m，并设置 200mm 实心砖墙
住院病房 2	东墙：370mm 实心砖墙+8mmPb 硫酸钡防护涂料； 南墙、北墙：370mm 实心砖墙+5mmPb 硫酸钡防护涂料； 西墙：200mm 实心砖墙+10mmPb 硫酸钡防护涂料； 顶部：350mm 砼+3mmPb 硫酸钡防护涂料； 防护门：内嵌 8mm 铅板的铅防护门； 高窗：12mmPb 铅玻璃； 病床之间间隔至少 1.5m，并设置 200mm 实心砖墙
住院病房 4	东墙：370mm 实心砖墙+8mmPb 硫酸钡防护涂料； 南墙、西墙、北墙：370mm 实心砖墙+5mmPb 硫酸钡防护涂料； 顶部：350mm 砼+3mmPb 硫酸钡防护涂料； 防护门：内嵌 8mm 铅板的铅防护门； 高窗：12mmPb 铅玻璃； 病床之间间隔至少 1.5m，并设置 200mm 实心砖墙
患者走廊	顶部：350mm 砼+3mmPb 硫酸钡防护涂料； 配餐间传递窗：40mmPb 铅玻璃； 患者进出口防护门：内嵌 8mm 铅板的铅防护门
全自动分装给药仪	六面 40mmPb

注：实心砖密度不小于 1.65g/cm³，砼密度为 2.35g/cm³，铅密度为 11.34g/cm³，硫酸钡防护涂料密度不小于 3.5g/cm³。

10.1.3 辐射安全和防护措施

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),本项目核医学科设计有如下辐射安全和防护措施:

(1) 工作状态指示灯

PET/CT 扫描室、PET/MR 扫描室、SPECT/CT 扫描室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 扫描室、PET/MR 扫描室、SPECT/CT 扫描室的患者通道防护门设计有防夹装置和自动闭门装置,医护通道防护门设计有自动闭门装置。

(3) 门禁和监控系统

储源室、淋洗室、高活室、敷贴器制备间、给药室设计有门禁和监控系统,监控显示器位于医院保卫处的值班室,实时监控放射性药物、敷贴源和校准源的情况。

(4) 电离辐射警告标志

控制区内各防护门表面、手套箱表面、全自动分装给药仪表面、废物铅桶表面、保险柜表面粘贴有符合 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

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。患者出口专用电梯设有门禁,禁止无关人员使用,且电梯只能到达地面一层;患者出口楼梯间门设有门禁,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。

(6) 监控及对讲系统

各注射室、注射后候诊室、扫描室、留观室、运动/抢救室、敷贴室、住院病房、抢救室、配餐间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台处,实时监控控制区给药后患者的情况,一旦发现给药后患者在核医学工作场所内随意走动,不在规定的区域内停留,工作人员应立刻通过语音系统告知,使患者回到规定的区域内。

给药室安装监控探头,并设置对讲系统,监控显示器位于给药控制室内,用于监控和指导患者服药;扫描室设计有观察窗、监控及对讲系统,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) 自动闭门装置

控制区内各房间防护门设计有自动闭门装置，确保防护门处于常闭状态。

(8) 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。

(9) 双人双锁

储源室内配置保险柜，用于贮存 PET 校准源，储源室和保险柜钥匙分别由专人保管，做到双人双锁。

除此之外，核医学科还拟采取如下辐射安全和防护措施：

(1) 工作场所内放射性药物操作设备的表面、工作台台面等平整光滑，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) 各工作场所的卫生通过间配备 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) 核医学科工作场所的上水配备洗消处理设备，控制区内的淋浴、洗手池、拖把池选用脚踏式或自动感应式的开关，马桶采用节水模式，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) 为核医学科配备至少 10 套 0.5mmPb 防护铅衣、铅围脖等个人防护用品。

(6) 在注射室、注射后候诊室、留观室、给药室、住院病房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。

(7) 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 $< 0.4\text{Bq/cm}^2$ ，质量不超过 20kg。

(8) 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。

(9) ^{32}P 敷贴器制作时手套箱内操作，制作者戴乳胶手套，并对自制的 ^{32}P 敷贴器的数量、活度、使用情况等进行登记。

(10) ^{32}P 敷贴治疗设置专用敷贴室，敷贴室内使用面积满足治疗要求。

(11) ^{32}P 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。

(12) 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。

(13) 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。

(14) 实施敷贴治疗时禁止将敷贴源带出敷贴室外。

(15) 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。

(16) 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。

(17) 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。

(18) 敷贴治疗中，医护人员将采取戴有机玻璃眼镜或面罩等个人防护措施。

(19) 禁止将敷贴器浸入水、酒精等溶剂中，使用后作为放射性固体废物进行处理。

(20) 甲癌患者住院治疗前和患者签署知情同意书。

(21) 除医护人员之外的人员不应进入住院病房，医护人员通过病房外的缓冲区向病房内传递生活必需品。

(22) 患者住院治疗期间，禁止2名及以上患者近距离接触或者集聚。

(23) 医护人员应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住院病房对患者进行救治时，应穿戴个人防污染用品。

(24) 甲癌住院病房出口处配备测量体内活度的设备或测量周围剂量当量率的仪器，患者出院前需进行监测，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。

(25) 住院患者食物选用产生废物少的食材，尽量减少放射性废物的产生量。

10.2 三废的治理

10.2.1 放射性废水处理措施

根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)中核医学诊断场所可设置推流式放射性废液衰变池,¹³¹I治疗病房场所应设置槽式废液衰变池的要求。同时,考虑到核医学诊断场所后期可能使用半衰期超过24小时的放射性核素,避免因槽式衰变池排水检测间隔时间较短而导致衰变池无法正常使用,从而影响核医学诊断场所业务的开展。故医院为本项目核医学科设计了一套推流式衰变池和一套槽式衰变池,核医学科的PET诊断场所和SPECT诊断场所使用推流式衰变池,甲癌病房区使用槽式衰变池,即医院拟在5#门诊综合楼西侧的绿化带处建设一间由40cm混凝土浇筑的埋地衰变室,衰变室内包含有控制室、管路设备间、池体间、化粪池,其中池体间设有一套不锈钢材质的推流式衰变池和一套不锈钢材质的槽式衰变池,池体间的衰变池和化粪池分别组成一套推流式放射性废水衰变系统和一套槽式放射性废水衰变系统。

本项目核医学科中的PET诊断和SPECT诊断项目产生的放射性废水经专用管道排至推流式放射性废水衰变系统,甲癌病房区产生的放射性废水经专用管道排至槽式放射性废水衰变系统。其中,推流式放射性废水衰变系统由1#化粪池、1#备用化粪池、1-1#衰变池、1-2#衰变池、1-3#衰变池、排水槽组成,1#化粪池和1#备用化粪池并联使用,1-1#衰变池、1-2#衰变池、1-3#衰变池和排水槽串联使用,化粪池和衰变池串联使用,排水槽内设有取样口,化粪池内设有搅拌棒,将固体杂质搅碎后流入池体间的衰变池,满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)中推流式衰变池应包括污泥池、衰变池和检测池,衰变池本体分为3-5级分隔连续式衰变池,池内设导流墙,污泥池池底有防止和去除污泥硬化淤积的措施等要求;槽式放射性废水衰变系统由2#化粪池、2#备用化粪池、2-1#衰变池、2-2#衰变池、2-3#衰变池、2-4#衰变池组成,2#化粪池和2#备用化粪池并联使用,2-1#衰变池、2-2#衰变池、2-3#衰变池和2-4#衰变池并联使用,化粪池和衰变池串联使用,化粪池内设有搅拌棒,将固体杂质搅碎后流入池体间的衰变池,化粪池和衰变池中设有电缆浮球液位计,每个衰变池设有取样口,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、污泥硬化淤积、堵塞进出水口、废液衰变池超压的措施。

本项目化粪池和衰变室的检修口高于地面,检修口使用3mmPb铅防护盖板和20mm铸铁盖板覆盖,防止雨水流入。放射性废水的排水管道采用含铅铸铁材质,并布设在埋地的砖砌暗沟内,暗沟埋地深度不小于50cm,核医学科的放射性废水由暗管连至衰变室。

由上述可知，本项目衰变室及放射性废水衰变系统结构设计合理，均能够满足防腐、防渗、耐酸碱腐蚀的要求。

本项目放射性废水衰变系统工作原理示意图见图 10-1，放射性废水衰变系统结构见附图 8，核医学科放射性废水排水管道布设见附图 9。

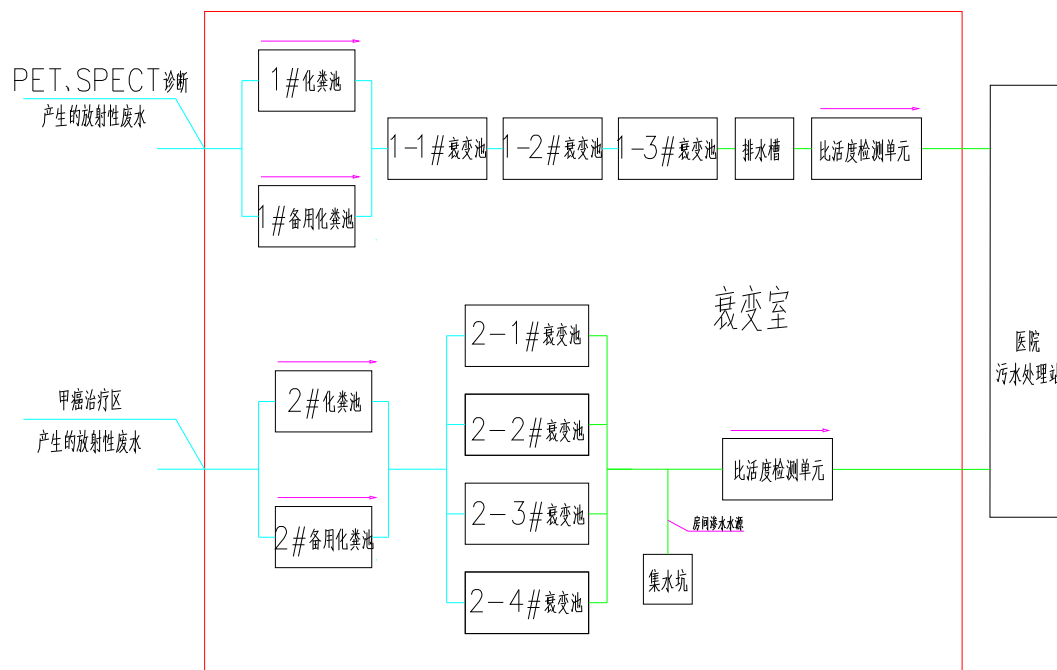


图 10-1 本项目放射性废水衰变系统工作流程示意图

1、PET 诊断场所和 SPECT 诊断场所放射性废水处理措施

本项目核医学科中的 PET 诊断和 SPECT 诊断项目产生的放射性废水经专用管道排至推流式放射性废水衰变系统，推流式放射性废水衰变系统的 1#化粪池的有效容积为 33m^3 ，1#备用化粪池的有效容积为 40m^3 ，1-1#衰变池、1-2#衰变池的有效容积均为 5.75m^3 ($2.5\text{m}\times 1\text{m}\times 2.3\text{m}$)，1-3#衰变池的有效容积为 5.175m^3 ($1.5\text{m}\times 1.5\text{m}\times 2.3\text{m}$)，排水槽的有效容积为 3.2775m^3 ($1.5\text{m}\times 0.95\text{m}\times 2.3\text{m}$)。

本项目推流式放射性废水衰变系统的具体工作流程为：核医学科中 PET 诊断和 SPECT 诊断项目产生的放射性废水先通过专用管道排至核医学科污泵间的污水井内，然后由泵提升至化粪池，经化粪池搅拌预处理后，流入 1-1#衰变池，当 1-1#衰变池中废水满至排水口时，通过管道溢流至 1-2#衰变池，当 1-2#衰变池中废水满至排水口时，通过管道溢流至 1-3#衰变池，当 1-3#衰变池中废水满至排水口时，通过管道溢流至排水槽，当排水槽中电缆浮球液位计报警，由泵抽至医院的污水处理系统，作为医疗废水进行处理。

本项目核医学科的 PET 诊断和 SPECT 诊断项目周产生放射性废水量为 2.32m^3 ，推流式放射性废水衰变系统中衰变池总有效容积为 16.675m^3 ，能够贮存约 7 周的废水量，

即放射性废水可在该推流式放射性废水衰变系统内衰变 49 天，而核素诊断用核素为 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ，半衰期最长的核素为 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ （半衰期为 6.02h），满足 HJ1188-2021 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”的要求。

本项目将在制备间内设置两个 15L 的塑料桶， ^{32}P 敷贴治疗项目产生的少量工艺废水单独收集在塑料桶中，并放置在制备间的铅桶内，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，通过控制区内的卫生间排入推流式放射性废水衰变系统，最终排放至医院污水处理系统，作为医疗废水进行处理。

2、甲癌病房区放射性废水处理措施

本项目甲癌病房区产生的放射性废水经专用管道排至槽式放射性废水衰变系统，槽式放射性废水衰变系统的 2#化粪池和 2#备用化粪池的有效容积均为 13m^3 ，2-1#衰变池、2-2#衰变池、2-3#衰变池和 2-4#衰变池的有效容积均为 37.5m^3 （ $5\text{m}\times 3\text{m}\times 2.5\text{m}$ ）。

本项目槽式放射性废水衰变系统具体工作流程为：甲癌病房区产生的放射性废水先通过专用管道排至核医学科污泵间的污水井内，然后由泵提升至化粪池，经化粪池搅拌预处理后，流入 2-1#衰变池，当 2-1#衰变池的电缆浮球液位计报警时，电子控制系统将自动关闭 2-1#衰变池的进水阀，同时打开 2-2#衰变池的进水阀，当 2-2#衰变池电缆浮球液位计报警时，电子控制系统将自动关闭 2-2#衰变池的进水阀，同时打开 2-3#衰变池的进水阀，当 2-3#衰变池电缆浮球液位计报警时，电子控制系统将自动关闭 2-3#衰变池的进水阀，同时打开 2-4#衰变池的进水阀，当 2-4#衰变池中放射性废水储存到该衰变池容积的 80%时，电缆浮球液位计报警，医院委托有资质检测公司通过取样口取 2-1#衰变池的水样，经监测，满足总 α 不大于 1Bq/L、总 β 不大于 10 Bq/L、 ^{131}I 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L 的要求，监测结果经审管部门认可后，通过电子控制系统打开 2-1#衰变池的排水阀，通过泵排空 2-1#衰变池中放射性废水，同时关闭 2-4#衰变池的进水阀，打开 2-1#衰变池的进水阀，4 个衰变池轮流使用，每次排放前均需取样监测，监测结果满足总 α 不大于 1Bq/L、总 β 不大于 10 Bq/L、 ^{131}I 的放射性活度浓度不大于 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。

本项目甲癌病房区的放射性废水周产生量为 3.1m^3 ，而本项目槽式放射性废水衰变系统设有 4 个衰变池，单个衰变池有效容积为 37.5m^3 ，根据槽式放射性废水衰变系统的工作原理，放射性废水可在该槽式衰变系统中衰变 237 天（ $(37.5\text{m}^3\times 2+37.5\text{m}^3\times 0.8)/3.1\text{m}^3$ ），满足 HJ1188-2021 中含 ^{131}I 核素的放射性废液暂存超过 180 天的要求。

此外，医院应安排专人负责放射性废水的暂存和处理，并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。采取上述措施后，方能满足放射性废水的辐射安全管理要求。

10.2.2 放射性废气处理措施

本项目核医学科的 PET 诊断场所和 SPECT 诊断场所设计一套独立的排风系统，甲癌病房区设计一套独立的排风系统，核医学科场所内的手套箱、全自动分装给药仪设计独立的排风系统，监督区相对清洁区为微负压，控制区相对监督区为负压，手套箱相对控制区为负压，保证各工作场所内的空气由清洁区向监督区再向控制区流动。核医学科各房间的排风量为（100~600）m³/h，手套箱和全自动分装给药仪的风速不小于 0.5m/s，核医学科内空气经各自排风管道（内设止回阀）引至专用排风井，再经排风井引至 5#门诊综合楼的楼顶排放，排风口处设有活性炭过滤装置对放射性气溶胶进行吸附。手套箱和全自动分装给药仪分别在箱体顶部和排风口处设置两级活性炭过滤系统，各工作场所的排风管道在排风口处设置一级活性炭过滤系统。

医院 5#门诊综合楼共 4 层，建筑高度为 21m，核医学科排气口位于 5#门诊综合楼顶楼的中西部，排气口周围无高层建筑，对周围环境辐射影响很小。综上所述，本项目核医学科放射性废气的排放满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）及《核医学辐射防护与安全要求》（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。本项目核医学科的排风系统布设见附图 10。

本项目排风管道采用不锈钢和镀锌钢材质，核医学科中挥发的放射性气溶胶非常少，且排风管道布设在核医学科吊顶上方，对周围环境辐射影响很小，排风管道外无额外的屏蔽防护。本项目核医学科通风系统安装的活性炭过滤装置应不影响通风效率，并应定期更换失效的过滤器，更换周期不能超过厂家推荐的使用时间，建议每季度更换一次，更换的废活性炭作为放射性固体废物处理。

10.2.3 放射性固体废物处理措施

本项目核医学科的 PET 诊断场所产生的放射性固体废物先暂存在各房间的废物铅桶内，废物铅桶内放有专用塑料袋，注射器针头等尖刺和棱角的放射性废物先装入利器盒中，再放入废物铅桶的专用塑料袋中，每日工作结束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）放置在 PET 诊断场所的放射性固废暂存间的废物桶内，暂存至少 30 天，并经监测辐射剂量率处于所处环境本底水平、 α 表面沾污小于 0.08Bq/cm²、 β 表面沾污小于 0.8Bq/cm²后，作为医院医疗废物统一处理。

本项目核医学科的 SPECT 诊断场所产生的放射性固体废物先暂存在各房间的废物铅桶内，废物铅桶内放有专用塑料袋，注射器针头等尖刺和棱角的放射性废物先装入利器

盒中，再放入废物铅桶的专用塑料袋中，每日工作结束后进行分类收集，沾有核素 ^{99m}Tc 的放射性固体废物单独收集，沾有核素 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 的放射性固体废物集中收集，沾有核素 ^{32}P 的放射性固体废物单独收集，收集后密封并贴上标签（标明核素种类、存放日期等信息）放置在 SPECT 诊断场所的放射性固废暂存间的废物桶内，沾有核素 ^{99m}Tc 的放射性固体废物自然衰变至少 30 天，沾有核素 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 的放射性固体废物自然衰变至少 115 天，沾有核素 ^{32}P 的放射性固体废物自然衰变至少 143 天，并经监测辐射剂量率处于所处环境本底水平、 α 表面沾污小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面沾污小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，作为医院医疗废物统一处理。

本项目 PET 诊断场所和 SPECT 诊断场所通风系统更换的废活性炭集中收集放置在 SPECT 诊断场所的放射性固废暂存间的废物桶内，暂存至少 143 天，并经监测辐射剂量率处于所处环境本底水平、 α 表面沾污小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面沾污小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，作为非放射性固体废物处理。

本项目退役的 ^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器暂存在 PET 诊断场所淋洗室的专用手套箱内，退役的 ^{99}Mo - ^{99m}Tc 发生器暂存在 SPECT 诊断场所高活室的手套箱内，最终均交由原生产厂家回收处理，满足相关环保要求。

本项目核医学科的甲癌病房区产生的放射性固体废物先暂存在各房间的废物铅桶内，废物铅桶内放有专用塑料袋，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）放置在甲癌病房区的放射性固废暂存间的废物桶内，暂存至少 180 天，并经监测辐射剂量率处于所处环境本底水平、 α 表面沾污小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面沾污小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，作为医院医疗废物统一处理。

本项目甲癌病房区通风系统更换的废活性炭集中收集放置在甲癌病房区的放射性固废暂存间的废物桶内，暂存至少 180 天，并经监测辐射剂量率处于所处环境本底水平、 α 表面沾污小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面沾污小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，作为非放射性固体废物处理。

本项目 PET 诊断场所、SPECT 诊断场所、甲癌病房区内分别设置一间放射性固废暂存间，面积分别为 3.71 m^2 、 11.5 m^2 、 12 m^2 ，放射性固废暂存间内设置废物桶，每个废物桶的容积不小于 0.5m^3 ，废物桶表面注明核素名称、入库信息等。PET 诊断场所的放射性固废暂存间内设置 3 个废物桶，每个废物桶至少能够暂存 30 天的废物量，3 个废物桶轮流使用。SPECT 诊断场所的放射性固废暂存间内设置 5 个废物桶，2 个废物桶用于暂存沾有核素 ^{99m}Tc 的放射性固体废物，每个废物桶至少能够暂存 60 天的废物量，2 个废物桶轮流使用；1 个废物桶用于暂存沾有核素 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 的放射性固体废物，至少能够暂存一年的废物量；1 个废物桶用于暂存沾有核素 ^{32}P 的放射性固体废物，至少能够暂存一年的废物量；1 个废物桶用于暂存废活性炭，至少能够暂存一年的废活性炭。甲癌病房

区的放射性固废暂存间内设置 9 个废物桶，其中 8 个废物桶用于暂存沾有核素 ^{131}I 的放射性固体废物，每个废物桶至少能够暂存 4 周的废物量，8 个废物桶轮流使用；1 个废物桶用于暂存废活性炭，至少能够暂存一年的废活性炭。本项目核医学科放射性固废暂存间的设计及废物桶的配置能够满足放射性固体废物的暂存需求。所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天，所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍，含 ^{131}I 的放射性固体废物暂存时间超过 180 天，并经监测满足要求后集中处理，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》(HJ1188-2021)中有关放射性固体废物处理的要求。

此外，医院应安排专人负责放射性固体废物的存储和处理，并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。采取上述措施后，方能满足放射性固体废物的辐射安全管理要求。

10.2.4 甲癌病房更换的被服处理措施

本项目甲癌病房每次更换的被服集中收集放在专用塑料袋中，并放置在核医学科的被服暂存间内，暂存至少一个半衰期后再进行清洗重复利用，满足环保相关要求。

10.2.5 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；办公垃圾将依托医院的保洁措施，分类收集后交由环卫部门统一处理。

(2) PET/CT 扫描室、SPECT/CT 扫描室产生的臭氧和氮氧化物由通风系统排出，臭氧常温下自动分解为氧气，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

本项目依托于一期地下室主体工程的建设，医院一期工程已于 2019 年 1 月 11 日取得了宁波市生态环境局奉化分局的批复，批复文号为奉环字[2019]3 号，目前医院地下室主体工程正处在建设阶段。本项目在建设阶段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。本项目建设施工时对环境的影响及应采取的污染防治措施如下：

(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》(GB 12523—2011)的标准，尽量使用噪声低的先进设备，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。同时严禁夜间进行强噪声作业，若需在夜间作业，需取得生态环境部门同意。

(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 运行期辐射环境影响分析

本项目核医学科使用 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{32}P 、 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 、 ^{131}I 放射性药物开展核素诊断和治疗，这些核素在诊断和治疗过程中由于自身衰变会放射出 α 粒子、 β 粒子和 γ 射线，对工作人员及周围环境产生一定的辐射影响。其中 α 粒子、 β 粒子电离能力较强，但射程较短，穿透能力弱； α 粒子主要为内照射影响， β 粒子会对近距离接触的工作人员产生一定的外照射影响； γ 射线穿透能力强，会对核医学科内的工作人员和公众，以及核医学科周围活动的公众产生外照射影响。

根据表 9-1 中各核素的特性， ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 核素主要考虑 α 射线的辐射影响， ^{32}P 核素主要考虑 β 射线及其韧致辐射的辐射影响， ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{131}I 核素主要考虑 γ 射线的辐射影响。

1、 α 射线辐射影响分析

α 射线在空气中的射程很短，普通的实心砖墙、铅衣、铅玻璃等防护材料即可将其屏蔽。本项目核医学科设置了足够厚度的实心砖墙、铅防护门、铅玻璃等屏蔽措施，在满足 γ 射线防护的情况， 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 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 放射性药物在针筒内，无开放液面，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，其对医务人员和公众呼吸入体内造成的内照射影响可以忽略。

2、 β 射线辐射影响分析

本项目中 ^{32}P 为纯 β 核素，其衰变释放出的 β 粒子最高能量为 1.71MeV， β 射线能量较高，敷贴器制备及实施或指导患者实施敷贴治疗过程中对近距离接触敷贴源的医护人员将产生一定的辐射影响。

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：

$$d \approx R/\rho \quad (\text{式 11-1})$$

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。

本项目中 ^{32}P 衰变放出的 β 射线能量为 1.71MeV，其在低 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：

$$R=0.412 \cdot E^{(1.265-0.0954 \cdot \ln E)} \quad (\text{式 11-2})$$

公式中：E：β 射线能量（MeV）。

根据公式（11-1）和公式（11-2）可估算出本项目 ^{32}P 衰变放出的 β 射线在不同材料中的射程，预测结果见表 11-1。

表 11-1 ^{32}P 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	混凝土	2.35	0.33
			实心砖	1.65	0.48
			铅	11.34	0.07
			有机玻璃	1.18	0.67
			橡胶	0.91	0.87
			空气	1.293×10^{-3}	611

由表 11-1 可知，放射性核素 ^{32}P 衰变放出的 β 射线在空气中的射程为 611cm，在未屏蔽情况下对周围环境影响较大，因此通常使用有机玻璃和橡胶板对其进行屏蔽。

本项目 ^{32}P 敷贴器的制备在制备间的手套箱内进行，手套箱壁约为 10mmPb，内部一周拟衬 1cm 厚有机玻璃，敷贴器制备间和敷贴室四周墙壁为 200mm 实心砖墙+4mmPb 硫酸钡防护涂料，顶部为 350mm 砼，门为 4mmPb 铅防护门，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均身着铅服（0.5mmPb）等个人防护用品，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。

3、β 射线所致韧致辐射影响

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：

$$\dot{H}_r = 4.58 \times 10^{-14} A \cdot Z_e \cdot \left(\frac{E_b}{r}\right)^2 \cdot \frac{\mu_{en}}{\rho} \cdot q \cdot \eta \quad (\text{式 11-3})$$

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， $\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$ ，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做以下保守假设: ①敷贴治疗过程, 敷贴源至参考点之间除空气外无任何吸收 β 粒子的屏蔽材料; 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 11-2。

表 11-2 β 射线所致韧致辐射剂量预测结果

参 数 \ 位 置	敷贴器制备过程		敷贴室敷贴治疗过程			
	手套箱 表面 5cm	手套箱 表面 30cm	四周墙体 表面 30cm	防护门 表面 0.3m	顶部 表面 0.3m	单名患者 敷贴位
r (m)	0.25	0.5	1.3	1.3	4.1	0.5
A (Bq)	8.88×10^8	8.88×10^8	8.88×10^8	8.88×10^8	8.88×10^8	4.44×10^8
E_b (MeV)	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57
μ_{en}/ρ	2.965×10^{-3}	2.965×10^{-3}	2.965×10^{-3}	2.965×10^{-3}	2.965×10^{-3}	2.965×10^{-3}
η	0.25	0.25	0.22	0.66	0.025	1
q	1	1	1	1	1	1
Z_e	5.85	5.85	7.36	7.36	7.36	7.36
参考点处剂量率 \dot{H}_r 估算值 ($\mu\text{Sv/h}$)	0.917	0.229	0.038	0.113	4.29×10^{-4}	0.577

注: ①保守假设敷贴源至各侧墙体及防护门的最近距离为 1m。

②地下一层层高为 4.8m。

由表 11-2 可知:

(1) 敷贴器制备过程, 手套箱表面 5cm 处的辐射剂量率最大为 $0.917 \mu\text{Sv/h}$, 表面 30cm 处的辐射剂量率最大为 $0.229 \mu\text{Sv/h}$, 能够满足手套箱外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$, 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) 敷贴治疗过程, 敷贴室表面 30cm 处辐射剂量率最大为 $0.113 \mu\text{Sv/h}$, 能够满足核医学科控制区内房间防护门、墙体、顶部外表面 30cm 处周围剂量当量率小于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的要求。

4、 α 、 β 表面沾污辐射影响分析

α 、 β 表面沾污的影响主要来源于液体放射性药物操作时打翻、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放射性表面污染水平达到 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) 易产生放射性物质逸出或飞散的操作，其操作在手套箱或全自动分装给药仪内进行；
- (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) 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。

5、 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：

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

上式中： K_{α} —周围剂量当量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

A—放射性药物的活度，MBq；

Γ —周围剂量当量率常数， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{MBq} \cdot \text{h})$ ；

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。

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

上式中：X—屏蔽物质厚度，与 TVL 取相同的单位。

本项目 PET 诊断使用核素 ^{18}F 、 ^{68}Ga ，因 ^{18}F 、 ^{68}Ga 发射的 γ 射线能量相同，而 ^{68}Ga 的周围剂量当量率常数小于 ^{18}F ，故在进行 γ 射线辐射影响分析时，选取操作量较大、辐射影响较大的核素 ^{18}F 进行计算。根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020），放射性核素 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 对应铅、砖、混凝土的什值层见表 11-3。

表 11-3 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
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1	160	110
^{131}I	11	240	170

表 11-4 给出了患者单次最大用药在无屏蔽状态下，其周围不同距离位置的周围剂量当量率值。

表 11-4 无屏蔽状态下不同距离的放射性核素周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)

距离(m)	0.3	0.5	1.0	2.0	3.0
单次注射 ^{18}F $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi) 时周围剂量当量率	588	212	52.9	13.2	5.88
单次注射 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ $7.4 \times 10^8 \text{Bq}$ (20mCi) 时周围剂量当量率	249	89.7	22.4	5.61	2.49
单次服用 ^{131}I $3.7 \times 10^9 \text{Bq}$ (100mCi) 时周围剂量当量率	2.45×10^3	881	220	55	24.5

从表中结果看出，裸露状态下的放射性核素辐射水平较高，对周围辐射影响较大；而给药后的患者都可以看做是近似裸源状态。因此，放射性核素的操作均需在良好的屏蔽下进行，而给药后的患者也必须在具有一定辐射防护的房间内候诊、留观或住院治疗，减小其 γ 射线对外环境的辐射影响。

将相关参数带入公式 (11-4) 和公式 (11-5)，可估算出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 11。

表 11-5 本项目核医学科各参考点位辐射水平计算结果

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 ($\mu\text{Sv/h}$)	
SPECT 诊断区 高活室	1	1.85×10^{10} ($^{99\text{m}}\text{Tc}$, 单次最大淋洗量)	0.5	10mmPb 手套箱	1×10^{-10}	2.24×10^{-7}	
	2		0.25	10mmPb 手套箱	1×10^{-10}	8.97×10^{-7}	
	3		1.25	10mmPb 手套箱 +200mm 实心砖 +4mmPb 硫酸钡涂料	5.62×10^{-16}	2.02×10^{-13}	
	4		1			3.15×10^{-13}	
	5		2.72			4.26×10^{-14}	
	6		楼上 地面 30cm	4.1	10mmPb 手套箱 +350mm 砷	6.58×10^{-14}	2.19×10^{-12}
	控制 区内		北墙 表面 30cm	3.3	10mmPb 手套箱 +200mm 实心砖 +4mmPb 硫酸钡涂料	5.62×10^{-16}	2.89×10^{-14}
防护门 表面 30cm		3.52	10mmPb 手套箱 +6mmPb 防护门	1×10^{-16}	4.52×10^{-15}		
SPECT 诊断区 注射室	7	7.4×10^8 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$, 单名患者最大注射量)	0.5	40mmPb 注射窗	1×10^{-40}	8.97×10^{-39}	

SPECT 诊断区 运动/抢救 室	8	东墙 表面 30cm	7.4×10^8 (^{99m}Tc , 单 名患者最大 注射量)	1.5	200mm 实心砖 +4mmPb 硫酸钡涂料	5.62×10^{-6}	5.6×10^{-5}	
	9	北墙 表面 30cm		1.5			5.6×10^{-5}	
	10	楼上 地面 30cm		4.1	350mm 砼	6.58×10^{-4}	8.78×10^{-4}	
	控制 区内			南墙 表面 30cm	1.5	200mm 实心砖 +4mmPb 硫酸钡涂料	5.62×10^{-6}	5.6×10^{-5}
				西墙 表面 30cm	1.5			5.6×10^{-5}
				防护门 表面 30cm	1.5	4mmPb 防护门	1×10^{-4}	9.97×10^{-6}
SPECT 诊断区 注射后 候诊室	11	南墙 表面 30cm	7.4×10^8 $\times 6$ (^{99m}Tc , 最 多 6 名患者 同时候诊, 保守不考虑 铅屏风的防 护)	1	200mm 实心砖 +4mmPb 硫酸钡涂料	5.62×10^{-6}	7.57×10^{-4}	
	12	西墙 表面 30cm		2.2 (最短 距离)			1.56×10^{-4}	
	13	楼上 地面 30cm		4.1	350mm 砼	6.58×10^{-4}	5.27×10^{-3}	
	控制 区内			东墙 表面 30cm	1.5 (最短 距离)	200mm 实心砖 +4mmPb 硫酸钡涂料	5.62×10^{-6}	3.36×10^{-4}
				北墙 表面 30cm	4.38 (最短 距离)			3.94×10^{-5}
				防护门 表面 30cm	4.99 (最短 距离)	4mmPb 防护门	1×10^{-4}	5.4×10^{-4}
SPECT 诊断区 扫描室	14	东墙 表面 30cm	7.4×10^8 (^{99m}Tc , 1 名患者扫 描)	3.86	200mm 实心砖 +4mmPb 硫酸钡涂料	5.62×10^{-6}	8.46×10^{-6}	
	15	南墙 表面 30cm		4.29			6.85×10^{-6}	
	16	西墙 表面 30cm		4.84			5.38×10^{-6}	
	17	医护防护门 表面 30cm		4.67	6mmPb 防护门	1×10^{-6}	1.03×10^{-6}	
	18	观察窗 表面 30cm		4.29	6mmPb 铅玻璃	1×10^{-6}	1.22×10^{-6}	
	19	摆位处		1	0.5mmPb 铅衣	0.316	7.09	

	20	楼上 地面 30cm		4.1	350mm 砼	6.58×10^{-4}	8.78×10^{-4}
	控制 区内	北墙 表面 30cm		3.46	200mm 实心砖 +4mmPb 硫酸钡涂料	5.62×10^{-6}	1.05×10^{-5}
		患者防护门 表面 30cm		4.01	6mmPb 防护门	1×10^{-6}	1.39×10^{-6}
SPECT 诊断区 留观室 1	21	西墙 表面 30cm	7.4×10^8 $\times 2$ (^{99m}Tc , 最 多 2 名患者 同时留观, 保守不考虑 铅屏风的防 护)	1	200mm 实心砖 +4mmPb 硫酸钡涂料	5.62×10^{-6}	2.52×10^{-4}
	22	北墙 表面 30cm		2.6 (最短 距离)			3.73×10^{-5}
	23	楼上 地面 30cm		4.1	350mm 砼	6.58×10^{-4}	1.76×10^{-3}
	控制 区内	东墙 表面 30cm		3.8	200mm 实心砖 +4mmPb 硫酸钡涂料	5.62×10^{-6}	1.75×10^{-5}
		南墙 表面 30cm		2.3 (最短 距离)			4.77×10^{-5}
		东侧防护门 表面 30cm		3.6	4mmPb 防护门	1×10^{-4}	3.46×10^{-4}
		南侧防护门 表面 30cm		3.42 (最短 距离)			3.83×10^{-4}
SPECT 诊断区 留观室 2	24	北墙 表面 30cm	7.4×10^8 (^{99m}Tc , 最 多 1 名患者 留观)	3.06	200mm 实心砖 +4mmPb 硫酸钡涂料	5.62×10^{-6}	1.35×10^{-5}
	25	楼上 地面 30cm		4.1	350mm 砼	6.58×10^{-4}	8.78×10^{-4}
	控制 区内	东墙 表面 30cm		1.99	200mm 实心砖 +4mmPb 硫酸钡涂料	5.62×10^{-6}	3.18×10^{-5}
		南墙 表面 30cm		1			1.26×10^{-4}
		西墙 表面 30cm		1.7			4.36×10^{-5}
防护门 表面 30cm	3.03	4mmPb 防护门	1×10^{-4}	2.44×10^{-4}			
PET 诊断区 淋洗室	26	^{18}F 手套箱 人员操作位 表面 30cm	7.4×10^9 (^{18}F , 单次 最大送药 量)	0.5	60mmPb 手套箱	2.43×10^{-4}	1.03
	27	^{18}F 手套箱非正 对人员操作位 表面 5cm		0.25	50mmPb 手套箱	9.73×10^{-4}	16.5

	28	⁶⁸ Ga 淋洗手套箱人员操作位表面 30cm	1.85×10 ⁹ (⁶⁸ Ga, 单次最大淋洗量)	0.5	50mmPb 手套箱	9.73×10 ⁻⁴	0.964
	29	⁶⁸ Ga 淋洗手套箱非正对人员操作位表面 5cm		0.25	40mmPb 手套箱	3.89×10 ⁻³	15.4
	30	东墙表面 30cm	7.4×10 ⁹ (¹⁸ F, 单次最大送药量, 保守不考虑 ⁶⁸ Ga 的辐射影响)	1	50mmPb 手套箱 +200mm 实心砖 +10mmPb 硫酸钡涂料	4.22×10 ⁻⁵	0.045
	31	南墙表面 30cm		1.85			0.013
	32	楼上地面 30cm		4.1	50mmPb 手套箱 +350mm 砵 +3mmPb 硫酸钡涂料	6.59×10 ⁻⁶	4.15×10 ⁻⁴
	控制区内	西墙表面 30cm		3.3	60mmPb 手套箱 +200mm 实心砖 +10mmPb 硫酸钡涂料	1.05×10 ⁻⁵	0.001
		北墙表面 30cm		2.1	50mmPb 手套箱 +200mm 实心砖 +10mmPb 硫酸钡涂料	4.22×10 ⁻⁵	0.01
		防护门表面 30cm		3.2	50mmPb 手套箱 +8mmPb 防护门	3.21×10 ⁻⁴	0.033
PET 诊断区 质控室	33	⁶⁸ Ga 质控手套箱人员操作位表面 30cm		3.7×10 ⁷ (⁶⁸ Ga, 单次质控最大用量)	0.5	20mmPb 手套箱	0.062
	34	⁶⁸ Ga 质控手套箱非正对人员操作位表面 5cm	0.25		20mmPb 手套箱	0.062	4.95
	35	南墙表面 30cm	1		20mmPb 手套箱 +200mm 实心砖 +10mmPb 硫酸钡涂料	2.71×10 ⁻³	0.013
	36	楼上地面 30cm	4.1		20mmPb 手套箱 +350mm 砵 +3mmPb 硫酸钡涂料	4.22×10 ⁻⁴	1.25×10 ⁻⁴
	控制区内	东墙表面 30cm	3.7		20mmPb 手套箱 +200mm 实心砖 +10mmPb 硫酸钡涂料	2.71×10 ⁻³	9.8×10 ⁻⁴
		西墙表面 30cm	1.77		20mmPb 手套箱 +370mm 实心砖 +5mmPb 硫酸钡涂料	1.22×10 ⁻³	0.002
		北墙表面 30cm	2.95		20mmPb 手套箱 +200mm 实心砖 +10mmPb 硫酸钡涂料	2.71×10 ⁻³	1.54×10 ⁻³

		防护门 表面 30cm		3.99	20mmPb 手套箱 +8mmPb 防护门	0.021	0.006	
PET 诊断区 注射室	37	PET 注射位	3.7×10^8 (^{18}F , 单名 患者最大注 射量)	0.5	40mmPb 铅玻璃	3.89×10^{-3}	0.824	
PET 诊断区 注射后 候诊室 1	控制 区内	38	楼上 地面 30cm	3.7×10^8 $\times 2$ (^{18}F , 最多 2 名患者同 时候诊, 每 名患者用药 量 3.7×10^8)	4.1	350mm 砼 +3mmPb 硫酸钡涂料	6.77×10^{-3}	0.043
		东墙 表面 30cm	3.3		370mm 实心砖 +5mmPb 硫酸钡涂料	1.8	1.96×10^{-2}	0.421
			2.67					
		南墙 表面 30cm	1.17		370mm 实心砖 +5mmPb 硫酸钡涂料	1.96	10^{-2}	0.902
		西墙 表面 30cm	1					
			2.5		200mm 实心砖 +10mmPb 硫酸钡涂料 +10mmPb 铅屏风	1.08	10^{-2}	
		北墙 表面 30cm	3.53					200mm 实心砖 +10mmPb 硫酸钡涂料
			5.03					
		防护门 表面 30cm	3.96		8mmPb 防护门	0.33	1.82	
			4.95					
PET 诊断区 注射后 候诊室 2、留观 室 1	控制 区内	39、 41	楼上 地面 30cm	3.7×10^8 $\times 2$ (^{18}F , 最多 2 名患者同 时候诊或留 观, 每名患 者用药量 3.7×10^8)	4.1	350mm 砼 +3mmPb 硫酸钡涂料	6.77×10^{-3}	0.043
		东墙 表面 30cm	1		200mm 实心砖 +10mmPb 硫酸钡涂料	4.34	10^{-2}	2.38
			2.5					
		南墙 表面 30cm	2.67		370mm 实心砖 +5mmPb 硫酸钡涂料	1.96	10^{-2}	0.902
			1.17					
		西墙 表面 30cm	2.64		200mm 实心砖 +10mmPb 硫酸钡涂料	4.34	10^{-2}	2.09
			1.14					
		北墙 表面 30cm	3.53		200mm 实心砖 +10mmPb 硫酸钡涂料	4.34	10^{-2}	0.275
			5.03					

		防护门 表面 30cm		3.69	8mmPb 防护门	0.33	1.99		
				4.96					
PET 诊断区 注射后 候诊室 3、留观 室 2	40、 43	楼上 地面 30cm	3.7×10 ⁸ ×2 (¹⁸ F, 最多 2 名患者同 时候诊或留 观, 每名患 者用药量 3.7×10 ⁸)	4.1	350mm 砵 +3mmPb 硫酸钡涂料	6.77×10 ⁻³	0.043		
	42	留观室 2 西墙 表面 30cm		1	200mm 实心砖 +10mmPb 硫酸钡涂料	4.34×10 ⁻²	2.38		
				2.5	200mm 实心砖 +10mmPb 硫酸钡涂料 +10mmPb 铅屏风	1.08×10 ⁻²			
	控制 区内	东墙 表面 30cm		1.38 (各房间 最短距离)	200mm 实心砖 +10mmPb 硫酸钡涂料	4.34×10 ⁻²	1.48		
				2.88 (各房间 最短距离)					
		南墙 表面 30cm		2.67	370mm 实心砖 +5mmPb 硫酸钡涂料	1.96×10 ⁻²	0.902		
				1.17					
		北墙 表面 30cm		3.53	200mm 实心砖 +10mmPb 硫酸钡涂料	4.34×10 ⁻²	0.275		
				5.03					
	防护门 表面 30cm	3.78 (各房间 最短距离)		8mmPb 防护门	0.33	1.93			
		4.97 (各房间 最短距离)							
	PET 诊断区 PET/MR 扫描室	44		东墙 表面 30cm	3.7×10 ⁸ (¹⁸ F, 1 名 患者扫描)	3.77	200mm 实心砖 +10mmPb 硫酸钡涂料	4.34×10 ⁻²	0.161
		45		北墙 表面 30cm		4.03			0.141
		46		医护防护门 表面 30cm		5.13	8mmPb 防护门	0.33	0.663
47		观察窗 表面 30cm	4.03	20mmPb 铅玻璃		6.24×10 ⁻²	0.203		
48		摆位处	1	0.5mmPb 铅衣		0.933	49.4		
49		楼上 地面 30cm	4.1	350mm 砵		1.03×10 ⁻²	0.032		

	控制区内	南墙 表面 30cm		5.17	200mm 实心砖 +10mmPb 硫酸钡涂料	4.34×10^{-2}	0.086
		西墙 表面 30cm		5.03			0.091
		患者防护门 表面 30cm		4.61	8mmPb 防护门	0.33	0.821
PET 诊断区 PET/CT 扫描室	50	西墙 表面 30cm	3.7×10^8 (^{18}F , 1 名 患者扫描)	4.5	200mm 实心砖 +10mmPb 硫酸钡涂料	4.34×10^{-2}	0.113
	51	北墙 表面 30cm		3.55			0.182
	52	医护防护门 表面 30cm		4.33	8mmPb 防护门	0.33	0.93
	53	观察窗 表面 30cm		3.55	20mmPb 铅玻璃	6.24×10^{-2}	0.262
	54	摆位处		1	0.5mmPb 铅衣	0.933	49.4
	55	楼上 地面 30cm		4.1	350mm 砵	1.03×10^{-2}	0.032
	控制区内	东墙 表面 30cm		4.05	200mm 实心砖 +10mmPb 硫酸钡涂料	4.34×10^{-2}	0.14
		南墙 表面 30cm		5.65			0.072
		患者防护门 表面 30cm		6.11	8mmPb 防护门	0.33	0.467
甲癌病 房区 给药室	56	自动分装给药 仪人员操作位 表面 30cm	2.59×10^{10} (^{131}I , 单次 最大送药 量)	0.5	40mmPb 给药仪	2.31×10^{-4}	1.42
	57	自动分装给药 仪非正对人员 操作位表面 5cm		0.25	40mmPb 给药仪	2.31×10^{-4}	5.7
	58	东墙 表面 30cm		1.16	40mmPb 给药仪 +200mm 实心砖 +10mmPb 硫酸钡涂料	4.18×10^{-6}	4.79×10^{-3}
	59	南墙 表面 30cm		3.86	40mmPb 给药仪 +370mm 实心砖 +5mmPb 硫酸钡涂料	2.33×10^{-6}	2.41×10^{-4}
	60	高窗 表面 30cm		5.46	40mmPb 给药仪 +17mmPb (12mmPb 铅玻璃 45° 斜穿)	6.58×10^{-6}	3.4×10^{-4}
	61	东侧防护门 表面 30cm		2.59	40mmPb 给药仪 +8mmPb 防护门	4.33×10^{-5}	9.94×10^{-3}

	62	楼上 地面 30cm		4.1	40mmPb 给药仪 +350mm 砵 +3mmPb 硫酸钡涂料	1.08×10^{-6}	9.87×10^{-5}
	控制 区内	西墙 表面 30cm		2.64	40mmPb 给药仪 +200mm 实心砖 +10mmPb 硫酸钡涂料	4.18×10^{-6}	9.24×10^{-4}
		北墙 表面 30cm		2.79	40mmPb 给药仪 +370mm 实心砖 +5mmPb 硫酸钡涂料	2.33×10^{-6}	4.61×10^{-4}
		北侧防护门 表面 30cm		2.42	40mmPb 给药仪 +8mmPb 防护门	4.33×10^{-5}	0.011
甲癌病 房区 抢救室	63	南墙 表面 30cm	3.7×10^9 (^{131}I , 单名 患者最大服 药量)	1.67	370mm 实心砖 +5mmPb 硫酸钡涂料	1.01×10^{-2}	0.796
	64	高窗 表面 30cm		2.36	17mmPb (12mmPb 铅 玻璃 45° 斜穿)	2.85×10^{-2}	1.13
	65	南侧防护门 表面 30cm		3.58	11mmPb (8mmPb 防 护门 45° 斜穿)	0.187	1.72
	66	楼上 地面 30cm		4.1	350mm 砵 +3mmPb 硫酸钡涂料	4.66×10^{-3}	0.061
	控制 区内	东墙 表面 30cm		4.22	200mm 实心砖 +10mmPb 硫酸钡涂料	1.81 $\times 10^{-2}$	1.77
		西墙 表面 30cm		1.5			
		北墙 表面 30cm		2.71			
北侧防护门 表面 30cm		4.61	8mmPb 防护门	0.187			
甲癌病 房区 病房 1	67	南墙 表面 30cm	3.7×10^9 $\times 2$ (^{131}I , 双人 间病房)	1.39	370mm 实心砖 +5mmPb 硫酸钡涂料	1.01×10^{-2}	1.17
				3.53	370mm 实心砖 +5mmPb 硫酸钡涂料 +200mm 实心砖	1.48×10^{-3}	
	68	高窗 表面 30cm		1.97	17mmPb (12mmPb 铅 玻璃 45° 斜穿)	2.85×10^{-2}	1.65
				4.99	17mmPb (12mmPb 铅 玻璃 45° 斜穿) +200mm 实心砖	4.18×10^{-3}	
	69	楼上 地面 30cm		4.1	350mm 砵 +3mmPb 硫酸钡涂料	4.66×10^{-3}	0.122
	控制 区内	东墙 表面 30cm		3.38	200mm 实心砖 +10mmPb 硫酸钡涂料	1.81×10^{-2}	0.697
西墙 表面 30cm		1.17	370mm 实心砖 +8mmPb 硫酸钡涂料	5.37×10^{-3}	1.73		

		北墙 表面 30cm		5.26	370mm 实心砖 +5mmPb 硫酸钡涂料 +200mm 实心砖 +200mm 实心砖	2.17×10^{-4}	0.035
				3.12	370mm 实心砖 +5mmPb 硫酸钡涂料 +200mm 实心砖	1.48×10^{-3}	
		防护门 表面 30cm		3.44	200mm 实心砖 +8mmPb 防护门	2.75 $\times 10^{-2}$	0.722
				5.37			
甲癌病 房区 病房 2	70	南墙 表面 30cm	3.7×10^9 $\times 2$ (^{131}I , 双人 间病房)	1.39	370mm 实心砖 +5mmPb 硫酸钡涂料	1.01×10^{-2}	1.17
				3.53	370mm 实心砖 +5mmPb 硫酸钡涂料 +200mm 实心砖	1.48×10^{-3}	
	71	高窗 表面 30cm		1.97	17mmPb (12mmPb 铅 玻璃 45° 斜穿)	2.85×10^{-2}	1.65
				4.99	17mmPb (12mmPb 铅 玻璃 45° 斜穿) +200mm 实心砖	4.18×10^{-3}	
	72	楼上 地面 30cm		4.1	350mm 砼 +3mmPb 硫酸钡涂料	4.66×10^{-3}	0.122
	控制 区内	东墙 表面 30cm		1.17	370mm 实心砖 +8mmPb 硫酸钡涂料	5.37×10^{-3}	1.73
				3.22	200mm 实心砖 +10mmPb 硫酸钡涂料	1.81×10^{-2}	0.768
		北墙 表面 30cm		5.26	370mm 实心砖 +5mmPb 硫酸钡涂料 +200mm 实心砖 +200mm 实心砖	2.17×10^{-4}	0.035
				3.12	370mm 实心砖 +5mmPb 硫酸钡涂料 +200mm 实心砖	1.48×10^{-3}	
		防护门 表面 30cm		3.43	200mm 实心砖 +8mmPb 防护门	2.75 $\times 10^{-2}$	0.725
				5.37			
	甲癌病 房区 病房 3	73		南墙 表面 30cm	3.7×10^9 (^{131}I , 单人 间病房)	1.89	370mm 实心砖 +5mmPb 硫酸钡涂料
74		高窗 表面 30cm	2.67	17mmPb (12mmPb 铅 玻璃 45° 斜穿)		2.85×10^{-2}	0.88
75		楼上 地面 30cm	4.1	350mm 砼 +3mmPb 硫酸钡涂料		4.66×10^{-3}	0.061

	控制区内	东墙 表面 30cm		3.12	200mm 实心砖 +10mmPb 硫酸钡涂料	1.81×10^{-2}	0.409
		西墙 表面 30cm		1.17	370mm 实心砖 +8mmPb 硫酸钡涂料	5.37×10^{-3}	0.866
		北墙 表面 30cm		4.76	370mm 实心砖 +5mmPb 硫酸钡涂料	1.01×10^{-2}	0.098
		防护门 表面 30cm		4.87	200mm 实心砖 +8mmPb 防护门	2.75×10^{-2}	0.255
甲癌病房区 病房 4	76	南墙 表面 30cm	3.7×10^9 (^{131}I , 单人 间病房)	1.89	370mm 实心砖 +5mmPb 硫酸钡涂料	1.01×10^{-2}	0.622
	77	高窗 表面 30cm		2.67	17mmPb (12mmPb 铅 玻璃 45° 斜穿)	2.85×10^{-2}	0.88
	78	西墙 表面 30cm		3.24	370mm 实心砖 +5mmPb 硫酸钡涂料	1.01×10^{-2}	0.212
	79	楼上 地面 30cm		4.1	350mm 砼 +3mmPb 硫酸钡涂料	4.66×10^{-3}	0.061
	控制区内	东墙 表面 30cm		1.17	370mm 实心砖 +8mmPb 硫酸钡涂料	5.37×10^{-3}	0.866
		北墙 表面 30cm		4.76	370mm 实心砖 +5mmPb 硫酸钡涂料	1.01×10^{-2}	0.098
		防护门 表面 30cm		4.94	200mm 实心砖 +8mmPb 防护门	2.75×10^{-2}	0.248
甲癌病房区 配餐间	80	传递窗 表面 30cm	3.7×10^9 (^{131}I , 单个 病人)	1	40mmPb 铅玻璃	2.31×10^{-4}	0.051
核医学科医护 办公区	81	医护办公室处	3.7×10^9 $\times 2$ (^{131}I , 双人 间病房)	8.94	370mm 实心砖 +5mmPb 硫酸钡涂料	1.01×10^{-2}	0.03
				11.1	370mm 实心砖 +5mmPb 硫酸钡涂料 +200mm 实心砖	1.48×10^{-3}	

注：①本项目拟购的 ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器和 ^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器均由正规生产厂家提供，发生器外均由足够厚度的铅屏蔽，发生器淋洗时，不在考虑发生器中母体的辐射影响。

②地下一层层高 4.8m。

根据表 11-5 估算结果可知：

(1) 本项目核医学科 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 手套箱表面 30cm 处人员操作位的辐射剂量率最大为 $2.24 \times 10^{-7} \mu\text{Sv/h}$ ，非正对人员操作位表面的辐射剂量率最大为 $8.97 \times 10^{-7} \mu\text{Sv/h}$ ； ^{18}F 手套箱表面 30cm 处人员操作位的辐射剂量率最大为 $1.03 \mu\text{Sv/h}$ ，非正对人员操作位表面的辐射剂量率最大为 $16.5 \mu\text{Sv/h}$ ； ^{68}Ga 淋洗手套箱表面 30cm 处人员操作位的辐射剂量率最大为 $0.964 \mu\text{Sv/h}$ ，非正对人员操作位表面的辐射剂量率最大为 $15.4 \mu\text{Sv/h}$ ； ^{68}Ga 质控手套箱表面 30cm 处人员操作位的辐射剂量率最大为 $1.24 \mu\text{Sv/h}$ ，非正对人员操作位表面的辐射剂量率

最大为 4.95 μ Sv/h；全自动分装给药仪表面 30cm 处人员操作位的辐射剂量率最大为 1.42 μ Sv/h，非正对人员操作位表面的辐射剂量率最大为 5.7 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，手套箱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) 本项目核医学科各控制区内各房间防护门、观察窗、墙体以及注射窗外表面 0.3m 处的辐射剂量率最大为 2.38 μ Sv/h，满足核医学科控制区内房间防护门、观察窗、墙体以及注射窗外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 2.5 μ Sv/h 的要求。

6、PET/CT、SPECT/CT 中 CT 设备的辐射影响分析

对于 PET/CT 扫描室、SPECT/CT 扫描室，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 CT 发出的 X 射线，根据表 10-3 并对照《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)附录表 C，PET/CT 扫描室和 SPECT/CT 扫描室屏蔽体等效屏蔽铅当量及尺寸大小见表 11-6。

表 11-6 本项目 PET/CT 扫描室和 SPECT/CT 扫描室屏蔽符合性分析

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 扫描室	四周墙体	200mm 实心砖墙+10mmPb 防护涂料	约 11	2.5	满足要求
	顶部	350mm 砼	4.5	2.5	满足要求
	防护门	内嵌 8mm 铅板的铅防护门	8	2.5	满足要求
	观察窗	20mmPb 铅玻璃	20	2.5	满足要求
	尺寸大小	长 8.2m、宽 7.3m，有效使用面积约为 59.86m ²			
SPECT/CT 扫描室	四周墙体	200mm 实心砖墙+4mmPb 防护涂料	约 5	2.5	满足要求
	顶部	350mm 砼	4.5	2.5	满足要求
	防护门	内嵌 6mm 铅板的铅防护门	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 7.703m、宽 6.75m，有效使用面积约为 52m ²			

根据表 11-6，本项目 PET/CT 扫描室和 SPECT/CT 扫描室的尺寸大小能够满足《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，扫描室四周墙体、顶部、防护门及观察窗屏蔽厚度均不小于 4.5mm 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。

本项目核医学科 PET/CT 扫描室和 SPECT/CT 扫描室的四周墙体、顶部、防护门及观察窗均采用实体屏蔽防护，充分考虑邻室（含楼上）及周围场所的人员防护与安全，且屏

蔽厚度满足核素屏蔽要求，均高于有用线束和非有用线束铅当量防护厚度标准规定值。从 X 射线放射诊断场所的屏蔽方面考虑，本项目的 PET/CT 扫描室和 SPECT/CT 扫描室防护设施的技术要求满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中的相关防护设施的技术要求。因此可进一步得知本次评价的射线装置在正常运行时可满足“周围剂量当量率控制目标值应小于 2.5μSv/h”的要求。

本项目的 PET/CT 扫描室和 SPECT/CT 扫描室拥有专用的机房，射线机房的使用面积、辐射屏蔽厚度及相关防护措施均符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中对诊断 X 射线机房的防护设施的技术要求。《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）是以保证机房外的人员可能受照剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的要求为目的，进行推算规定射线机房的屏蔽厚度要求，由此可进一步得知本项目在运行阶段，PET/CT、SPECT/CT 扫描装置产生的 X 射线对机房外环境的辐射影响叠加放射性核素产生的 γ 射线对机房外环境的辐射影响仍满足小于 2.5μSv/h 的要求。

11.2.2 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：

$$D_{\text{Eff}}=K_{\alpha} \cdot t \cdot T \cdot U \quad (\text{式 11-6})$$

上式中： D_{Eff} —参考点人员有效剂量（Sv）；

K_{α} —参考点的周围剂量当量率（Sv·h⁻¹）；

t—参考点处受照时间（h）；

T—居留因子；

U—使用因子，以点源考虑，U 取 1。

1、核医学科辐射工作人员剂量评价

本项目核医学科辐射工作人员年受照剂量计算结果见表 11-7。

表 11-7 本项目核医学科辐射工作人员年有效剂量估算

保护目标	参考点位置	参考点辐射剂量率（μSv/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)
SPECT 高活室工作人员	^{99m} Tc 手套箱人员操作位表面 30cm（参考点 1）	2.24×10 ⁻⁷	500 （年制备、分装 5000 次，每次 6min）	1	1.12×10 ⁻⁷	0.101
	³² P 敷贴器的制备	0.229	125 （年制备 250 次，每次 30min）	1	0.029	
	近距离协助患者敷贴治疗	0.577	125 （年治疗 250 次，每次 30min）	1	0.072	

SPECT 注射人员	SPECT 注射位 (参考点 7)	8.97×10^{-39}	83.3 (年注射 5000 次, 每次 1min)	1	7.47×10^{-40}	7.47×10^{-40}
SPECT/CT 操作技师	观察窗表面 30cm (参考点 18)	1.22×10^{-6}	2500 (年扫描 5000 次, 每次扫描约 30min)	1	3.05×10^{-6}	0.296
	摆位处 (参考点 19)	7.09	41.7 (人均年摆位 2500 次,每次摆位约 1min)	1	0.296	
PET 淋洗室 工作人员	^{18}F 手套箱人员操 作位表面 30cm (参考点 26)	1.03	150 (年分装、检测 9000 次,每次 1min)	1	0.155	0.219
	^{68}Ga 淋洗手套箱 人员操作位表面 30cm(参考点 28)	0.964	66.7 (年制备、分装 400 次,每次 10min)	1	0.064	
PET 质控室 工作人员	^{68}Ga 质控手套箱 人员操作位表面 30cm(参考点 33)	1.24	125 (年质控 250 次, 每次 30min)	1	0.155	0.155
PET 注射人员	PET 注射位 (参考点 37)	0.824	156.7 (年注射 9400 次, 每次 1min)	1	0.129	0.129
PET/MR 操作技师	观察窗 表面 30cm (参考点 47)	0.203	2200 (年扫描 4400 次, 每次扫描约 30min)	1	0.447	2.26
	摆位处 (参考点 48)	49.4	36.7 (人均年摆位 2200 次,每次摆位约 1min)	1	1.81	
PET/CT 操作技师	观察窗 表面 30cm (参考点 53)	0.262	2500 (年扫描 5000 次, 每次扫描约 30min)	1	0.655	2.72
	摆位处 (参考点 54)	49.4	41.7 (人均年摆位 2500 次,每次摆位约 1min)	1	2.06	
甲癌病房 区辐射工 作人员	给药室东墙 表面 30cm (参考点 58)	4.79×10^{-3}	50 (每周给药不超过 1h, 年工作 50 周)	1	2.4×10^{-4}	7.73×10^{-3}
	配餐间传递窗 表面 30cm (参考点 80)	0.051	125 (每天不超过 30min, 年工作 250 天)	1	6.38×10^{-3}	
	PET 淋洗室 南墙表面 30cm (参考点 31)	0.013	216.7 (PET 淋洗室 总淋洗制备时间)	1/4	7.04×10^{-4}	
	PET 质控室 南墙表面 30cm (参考点 35)	0.013	125 (年质控 250 次, 每次 30min)	1/4	4.06×10^{-4}	

核医学科 办公区辐射 工作人员	核医学科医护 办公室处 (参考点 81)	0.03	2000 (每天工作 8h, 年 工作 250 天)	1	0.06	0.06
核医学科 西侧走廊处 辐射工作 人员	SPECT 留观室 1 西墙表面 30cm (参考点 21)	2.52×10^{-4}	2000 (每天工作 8h, 年 工作 250 天)	1/40	1.26×10^{-5}	1.26×10^{-5}
	SPECT/CT 扫描 室西墙表面 30cm (参考点 16)	5.38×10^{-6}	2000 (每天工作 8h, 年 工作 250 天)	1/40	2.69×10^{-7}	2.69×10^{-7}
	PET/CT 扫描室 西墙表面 30cm (参考点 50)	0.113	2000 (每天工作 8h, 年 工作 250 天)	1/40	5.65×10^{-3}	5.65×10^{-3}
	PET 留观室 2 西墙表面 30cm (参考点 42)	2.38	2000 (每天工作 8h, 年 工作 250 天)	1/40	0.06	0.119

根据表 11-7 可知, 本项目核医学科辐射工作人员年有效剂量最大约为 2.72mSv, 满足职业人员年有效剂量不超过 5mSv 的要求。

此外, PET 操作技师还需用校准源对 PET 进行质控, 质控一般每周一次, 质控用时较短, 校准源活度较低, 相对核素诊断和治疗过程, 其对辐射工作人员辐射影响较小, 可忽略不计。

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。同时, 根据表 11-7 可知, 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、核医学科周围公众剂量评价

将相关参数代入公式(11-6), 本项目核医学科周围公众年受照剂量计算结果见表 11-8。

表 11-8 本项目核医学科周围公众年有效剂量估算

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)
注射前候诊区 公众	保守参考 SPECT 高活 室东墙表面 30cm (参考点 3)	2.02×10^{-13}	2000 (核医学科年 工作时间)	1/16	2.53×10^{-14}
注射前候诊区 护士站工作人员	保守参考 SPECT 高活 室东墙表面 30cm (参考点 3)	2.02×10^{-13}	2000 (核医学科年 工作时间)	1	4.04×10^{-13}

核医学科东侧问诊室、留置针室等处工作人员	保守参考 PET 淋洗室 东墙表面 30cm (参考点 30)	0.045	2000 (核医学科年 工作时间)	1	0.09
甲癌病房南侧 下沉庭院	给药室 南墙表面 30cm (参考点 59)	2.41×10^{-4}	50 (每周给药不超过 1h, 年工作 50 周)	1/40	3.01×10^{-7}
	抢救室 南墙表面 30cm (参考点 63)	0.796	500 (保守假设抢救室年 工作 500h)	1/40	0.01
	甲癌病房 1、2 南墙表面 30cm (参考点 67、70)	1.17	2000 (核医学科年 工作时间)	1/40	0.059
	甲癌病房 3、4 南墙表面 30cm (参考点 73、76)	0.622	2000 (核医学科年 工作时间)	1/40	0.031
核医学科办公 区处非辐射工 作人员	核医学科医护 办公室处 (参考点 81)	0.03	2000 (每天工作 8h, 年工 作 250 天)	1	0.06
核医学科西侧 走廊处公众	甲癌病房 4 西墙表面 30cm (参考点 78)	0.212	2000 (核医学科年 工作时间)	1/40	0.011
核医学科北侧 排烟机房和楼 梯间处公众	SPECT 运动/抢救室 北墙表面 30cm (参考点 9)	5.6×10^{-5}	500 (保守假设年工作 500h)	1/40	7×10^{-7}
	SPECT 留观室 1 北墙表面 30cm (参考点 22)	3.73×10^{-5}	2000 (核医学科年 工作时间)	1/40	1.87×10^{-6}
	SPECT 留观室 2 北墙表面 30cm (参考点 24)	1.35×10^{-5}	2000 (核医学科年 工作时间)	1/40	6.75×10^{-7}
核医学科北侧 楼梯间和卫生 间处公众	敷贴室墙体 表面 30cm	0.038	125 (年治疗 250 次, 每次 30min)	1/40	1.19×10^{-4}
SPECT 诊断场 所楼上预留用 房、公共休闲大 厅和室外庭院 处公众	SPECT 高活室 楼上表面 30cm (参考点 6)	2.19×10^{-12}	2000 (年工作时间)	保守取 1	4.39×10^{-12}
	SPECT 运动/抢救室 楼上表面 30cm (参考点 10)	8.78×10^{-4}	2000 (年工作时间)	保守取 1	1.76×10^{-3}
	SPECT 注射后候诊室 楼上表面 30cm (参考点 13)	5.27×10^{-3}	2000 (年工作时间)	保守取 1	1.05×10^{-2}
	SPECT/CT 扫描室 楼上表面 30cm (参考点 20)	8.78×10^{-4}	2000 (年工作时间)	保守取 1	1.76×10^{-3}

	SPECT 留观室 1 楼上表面 30cm (参考点 23)	1.76×10^{-3}	2000 (年工作时间)	保守取 1	3.52×10^{-3}
	SPECT 留观室 2 楼上表面 30cm (参考点 25)	8.78×10^{-4}	2000 (年工作时间)	保守取 1	1.76×10^{-3}
	敷贴室楼上 表面 30cm	4.29×10^{-4}	125 (年治疗 250 次, 每次 30min)	保守取 1	5.36×10^{-5}
PET 诊断场所 楼上室外庭院 处公众	PET/MR 扫描室 楼上 30cm (参考点 49)	0.032	2000 (年工作时间)	1/16	4×10^{-3}
	PET/CT 扫描室 楼上 30cm (参考点 55)	0.032	2000 (年工作时间)	1/16	4×10^{-3}
PET 诊断场所 楼上特需门诊 处公众	PET 淋洗室楼上 表面 30cm (参考点 32)	4.15×10^{-4}	2000 (年工作时间)	1	8.3×10^{-4}
	PET 质控室楼上 表面 30cm (参考点 36)	1.25×10^{-4}	2000 (年工作时间)	1	2.5×10^{-4}
	PET 注射后候诊室和 留观室楼上表面 30cm (参考点 38~41、43)	0.043	2000 (年工作时间)	1	0.086
甲癌病房区楼 上特需门诊处 公众	给药室楼上 表面 30cm (关注点 62)	9.87×10^{-5}	2000 (年工作时间)	1	1.97×10^{-4}
	抢救室楼上 表面 30cm (关注点 66)	0.061	500 (保守假设抢救室年 工作 500h)	1	0.031
甲癌病房区楼 上医护休息室 处公众	住院病房 1、2 楼上表面 30cm (关注点 69、72)	0.122	2000 (年工作时间)	1/16	0.015
	住院病房 3、4 楼上表面 30cm (关注点 75、79)	0.061	2000 (年工作时间)	1/16	7.63×10^{-3}

根据表 11-8 可知, 本项目核医学科所致四周公众年有效剂量最大约为 0.09mSv, 所致楼上公众年有效剂量最大约为 0.086mSv, 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, 满足公众年有效剂量不超过 0.1mSv 的要求。

11.3 三废的治理评价

11.3.1 放射性废水处理措施评价

医院拟在 5#门诊综合楼西侧的绿化带处建设一间由 40cm 混凝土浇筑的埋地衰变室，衰变室内设置一套推流式放射性废水衰变系统和一套槽式放射性废水衰变系统，均能够满足防腐、防渗、耐酸碱腐蚀的要求。

本项目核医学科的 PET 诊断和 SPECT 诊断项目产生的放射性废水经专用管道排至推流式放射性废水衰变系统，PET 诊断和 SPECT 诊断项目周产生放射性废水量为 2.32m^3 ，推流式放射性废水衰变系统中衰变池总有效容积为 16.675m^3 ，能够贮存约 7 周的废水量，即放射性废水可在该推流式放射性废水衰变系统内衰变 49 天，而核素诊断用半衰期最长的核素为 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ （半衰期为 6.02h），满足 HJ1188-2021 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”的要求。推流式放射性废水衰变系统中放射性废水经衰变至少 30 天后，直接排至医院的污水处理系统作为医疗废水处理，满足放射性废水处置要求。

本项目核医学科的 ^{32}P 敷贴治疗项目产生的少量工艺废水单独收集在塑料桶中，并放置在制备间的铅桶内，每个塑料桶容积为 15L，可暂存 30 周（即 210 天）的废水量，满足 HJ1188-2021 中“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”的要求。含 ^{32}P 的放射性废水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 的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，通过控制区内的卫生间排入推流式放射性废水衰变系统，最终排至医院的污水处理系统作为医疗废水处理，满足放射性废水处置要求。

本项目核医学科的甲癌病房区产生的放射性废水经专用管道排至槽式放射性废水衰变系统，甲癌病房区的放射性废水周产生量为 3.1m^3 ，而本项目槽式放射性废水衰变系统设有 4 个衰变池，单个衰变池有效容积为 37.5m^3 ，可使放射性废水可在该槽式衰变系统中衰变 237 天，满足 HJ1188-2021 中含 ^{131}I 核素的放射性废液暂存超过 180 天的要求。槽式放射性废水衰变系统中放射性废水每次排放前均取样监测，满足总 α 不大于 1Bq/L 、总 β 不大于 10Bq/L 、 ^{131}I 的放射性活度浓度不大于 10Bq/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处理，满足放射性废水处置要求。

本项目核医学科放射性废水的排水管道为埋地设计，埋地深度不小于 50cm，由暗管连至衰变室，并在管道走向上设有标记，便于检测和维修。本项目衰变室位于 5#门诊综合楼西侧的绿化带处，衰变室顶部将栽种绿植。医院应在衰变室顶部绿化带四周设置栅栏隔离，并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，采取上述措施后，本项目衰变室对周围公众辐射影响很小。

11.3.2 放射性废气处理措施评价

本项目核医学科的 PET 诊断场所和 SPECT 诊断场所设计一套独立的排风系统，甲癌病房区设计一套独立的排风系统，核医学科场所内的手套箱、全自动分装给药仪设计独立的排风系统，手套箱和全自动分装给药仪的风速不小于 0.5m/s。核医学科内空气经各自排风管道（内设止回阀）引至专用排风井，再经排风井引至 5#门诊综合楼的楼顶排放，排风口处设有活性炭过滤装置对放射性气溶胶进行吸附，且排气口周围无高层建筑，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》（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，对周围环境辐射影响很小。

11.3.3 放射性固体废物处理措施评价

本项目核医学科的 PET 诊断场所产生的放射性固体废物集中收集密封并贴上标签（标明核素种类、存放日期等信息）放置在 PET 诊断场所的放射性固废暂存间的废物桶内，暂存至少 30 天，并经监测辐射剂量率处于所处环境本底水平、 α 表面沾污小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面沾污小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，作为医院医疗废物统一处理。

本项目核医学科的 SPECT 诊断场所产生的放射性固体废物先暂存在各房间的废物铅桶内，沾有核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的放射性固体废物单独收集，沾有核素 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 的放射性固体废物集中收集，沾有核素 ^{32}P 的放射性固体废物单独收集，收集后密封并贴上标签（标明核素种类、存放日期等信息）放置在 SPECT 诊断场所的放射性固废暂存间的废物桶内，沾有核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的放射性固体废物自然衰变至少 30 天，沾有核素 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 的放射性固体废物自然衰变至少 115 天，沾有核素 ^{32}P 的放射性固体废物自然衰变至少 143 天，并经监测辐射剂量率处于所处环境本底水平、 α 表面沾污小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面沾污小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，作为医院医疗废物统一处理。

本项目 PET 诊断场所和 SPECT 诊断场所通风系统更换的废活性炭集中收集放置在 SPECT 诊断场所的放射性固废暂存间的废物桶内，暂存至少 143 天，并经监测辐射剂量率处于所处环境本底水平、 α 表面沾污小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面沾污小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，作为非放射性固体废物处理。

本项目退役的 ^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器暂存在 PET 诊断场所淋洗室的专用手套箱内，退役的 ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器暂存在 SPECT 诊断场所高活室的手套箱内，最终均交由原生产厂家回收处理。

本项目核医学科的甲癌病房区产生的放射性固体废物在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）放置在甲癌病房区的放射性固废暂存间的废物桶内，暂存至少 180 天，并经监测辐射剂量率处于所处环境本底水平、 α 表面沾污小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面沾污小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，作为医院医疗废物统一处理。

本项目甲癌病房区通风系统更换的废活性炭集中收集放置在甲癌病房区的放射性固废暂存间的废物桶内，暂存至少 180 天，并经监测辐射剂量率处于所处环境本底水平、 α 表面沾污小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面沾污小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，作为非放射性固体废物处理。

本项目 PET 诊断场所和 SPECT 诊断场所的放射性固体废物在每天工作结束后，再收集暂存在放射性固废暂存间，故保守假设沾有日操作量 10% 的放射性固体废物在各房间的废物铅桶内衰变 4 小时后，再集中收集暂存在放射性固废暂存间；甲癌病房区的服药杯、擦拭废纸等放射性固体废物在病人出院后在集中收集暂存在放射性固废暂存间，故保守假设沾有日操作量 10% 的放射性固体废物在废物铅桶内衰变 5 天后，再集中收集暂存在放射性固废暂存间，则当天暂存入放射性固废暂存间的放射性固体废物所致放射性固废暂存间外的辐射剂量率见表 11-9。

表 11-9 放射性固废暂存间辐射影响一览表

场所	核素	日最大操作量 (Bq)	存入放射性固废暂存间的量 (Bq)	放射性固废暂存间屏蔽材料	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
SPECT 诊断场所放射性固废暂存间	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ $+^{32}\text{P}$	1.48×10^{10} $+8.88 \times 10^8$	9.34×10^8 $+8.88 \times 10^7$	墙体: 200mm 实心砖墙 +4mmPb 硫酸钡防护涂料	6.5×10^{-3}
				顶部: 350mm 砼	1.04×10^{-3}
				防护门: 4mmPb 铅门	2.6×10^{-3}
PET 诊断场所放射性固废暂存间	^{18}F $+^{68}\text{Ga}$	1.48×10^{10} $+8.88 \times 10^8$	3.25×10^8 $+7.64 \times 10^6$	墙体: 200mm 实心砖 +10mmPb 硫酸钡防护涂料	2.06
				顶部: 350mm 砼	0.029
				防护门: 11mmPb (8mmPb 铅门 45° 斜穿)	1.65
甲癌病房区放射性固废暂存间	^{131}I	2.59×10^{10}	1.68×10^9	最弱防护: 200mm 实心砖墙 +10mmPb 硫酸钡防护涂料	0.804
				顶部: 350mm 砼 +3mmPb 硫酸钡防护涂料	0.028
				防护门: 8mmPb 铅门	1.01

注: ① ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 核素发射的为 α 射线，相对 γ 射线辐射影响较小，保守忽略不计。

② ^{32}P 核素半衰期较长，不考虑其衰变的影响。

根据表 11-9 可知，SPECT 诊断场所的放射性固废暂存间暂存 143 天的放射性固体废物后，其表面 30cm 处辐射剂量率仍能满足小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 的要求；因核素 ^{18}F 、 ^{68}Ga 的半衰期较短，待第二天存入新的放射性固体废物时，前一天的废物已至少衰变十个半衰期，其辐射影响可忽略不计，故 PET 诊断场所的放射性固废暂存间暂存 30 天的放射性固体废物后，其表面 30cm 处辐射剂量率仍能满足小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 的要求；甲癌病房区的放射性固

废暂存间暂存 180 天（约 26 周）的放射性固体废物后，其表面 30cm 处辐射剂量率最大为 $1.01 \times (1 + 0.547 + 0.299 + 0.163 + 0.089 + 0.049 + 0.027 + \dots + 2.76 \times 10^{-7}) \approx 1.01 \times 2.2 = 2.22 \mu\text{Sv/h}$ ，仍能满足小于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的要求。

由上述可知，本项目放射性固体废物的处理措施有效可行，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》（HJ1188-2021）中有关放射性固体废物处理的要求。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，各房间每天产生的放射性固体废物较少，经过各房间废物铅桶的屏蔽后，废物铅桶外的辐射剂量率满足小于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的要求，对周围环境辐射影响很小。

11.3.4 甲癌病房更换的被服处理措施评价

本项目甲癌病房每次更换的被服集中收集放在专用塑料袋中，并放置在核医学科的被服暂存间内，暂存至少一个半衰期后再进行清洗重复利用，满足环保相关要求，对周围环境辐射影响很小。

11.3.5 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；办公垃圾将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。

②PET/CT 扫描室、SPECT/CT 扫描室产生的臭氧和氮氧化物由通风系统排出，臭氧常温下自动分解为氧气，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的要求。

11.4 事故影响分析

11.4.1 本项目核医学科可能产生的辐射事故主要有：

（1）给药后患者未按要求在相应的场所内等候、留观、住院治疗，在本项目核医学科工作场所以外的区域随意走动，或患者将敷贴源带出敷贴室外，导致公众受到照射。

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

（3）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沾污。

（4）辐射工作人员违反操作规程或误操作，造成意外照射和辐射污染。

（5）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。

（6）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。

(7) 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。

11.4.2 事故预防措施

(1) 给药前或敷贴治疗前，医生对患者进行健康教育，加强对患者的管理，避免给药后患者在注射后候诊室、留观室、病房外随意走动以及患者将敷贴源带出敷贴室外。

(2) 制定放射性药物和敷贴源安全管理制度，在日常工作中，设置专人负责放射性药物和敷贴源的管理，做好日常检查，防止放射性药物和敷贴源丢失、被盗。

(3) 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。

(4) 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，对放射性废物单独收集，按照国家规定处理，并做好相应的记录。

(5) 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。

11.4.3 应急处理措施

(1) 一旦发现给药后患者在核医学工作场所内随意走动，不在规定的区域内停留，工作人员应立刻通过语音系统告知，使患者回到规定的区域内。

(2) 当发生放射性药物或敷贴源丢失、被盗时，应立即启动本单位辐射事故应急措施，封锁现场，工作场所外划出警戒范围，设置明显的电离辐射警告标志，禁止相关人员入内，并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敷贴源。

(3) 当发生液态放射性药物泼洒、泄漏导致的表面沾污事故时，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 α 表面污染大于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ （极毒性）或 β 表面污染大于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，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，确保符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中表B11对于控制区的要求。

(4) 当放射性药物或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，现场处置任务的工作人员应佩戴防护用具及个人剂量计和剂量报警仪。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方可解除警戒，并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。

(5) 如发生误照射，应立即切断电源，确保射线装置停止工作，误入或误留人员应在最短的时间内撤离机房。

(6) 对可能受到大剂量照射的人员，应及时送医院检查和治疗。

医院应加强管理，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，定期、具有针对性的对可能发生的放射事故进行演练，尽可能避免辐射事故的发生。

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。

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辐射安全和防护的培训，培训证书均在有效期内。

本项目辐射工作人员少部分从本部现有辐射工作人员中调配，另外一部分为新招工作人员。医院应组织新进人员通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）报名，学习相应的辐射安全和防护知识，通过考核后，方能满足辐射工作人员的岗位要求。同时，医院应为本项目新增辐射工作人员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。

医院应及时关注辐射工作人员辐射安全和防护专业知识的培训时间，辐射安全培训合格证书快到期人员应当及时通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台报名，重新学习并通过相应考核后，方能继续从事辐射工作。

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，宁波市第一医院已针对现有核技术利用项目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》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对辐射安全管理规章制度的需求。

医院还应根据本项目具体情况对现有辐射安全管理规章制度进行补充和完善，本报

告对各项制度需补充的要点提出以下建议：

辐射防护和安全保卫制度：根据本项目的具体情况补充完善相应的辐射防护和安全保卫制度。重点是：①定期检查相关的辐射安全装置及检测仪器，发现问题及时修理或更换，确保辐射安全装置、个人剂量报警仪、环境辐射剂量监测仪保持良好工作状态；②工作人员定期开展个人剂量检测和职业健康监护；③做好辐射工作场所的安全保卫工作，并定期检查。

操作规程：根据本项目的具体情况补充制定放射性药物的操作规程，明确辐射工作人员的资质条件要求、操作过程中采取的具体防护措施及步骤。重点是：①确保开展辐射工作时所有辐射安全措施均已到位，严格按照规定操作流程操作，防止发生辐射事故；②从事辐射工作时必须佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪。

岗位职责：完善岗位职责，明确管理人员、辐射工作人员、维修人员的岗位责任，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任，并层层落实。

设备检修维护制度：完善设备检修维护制度，明确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：针对本项目具体情况完善使用登记制度，规范放射性药物、校准源、射线装置台账和使用登记记录，对购入的放射性药物、校准源、射线装置的使用情况进行专人登记和跟踪记录，确保正确无误、账物相符。

人员培训计划：完善人员培训计划，明确本项目辐射工作人员的培训内容、周期、方式以及考核的办法等内容，内外结合，加强对培训档案的管理，做到有据可查。

个人剂量监测方案和职业健康管理：明确辐射工作人员开展辐射工作时均应佩戴个人剂量计，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；明确辐射工作人员进行职业健康体检的周期，建立个人累积剂量和职业健康体检档案。

辐射环境监测方案：针对本项目完善辐射环境监测方案，明确本项目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。

事故应急预案：针对本项目可能产生的辐射事故补充完善辐射事故应急预案，明确相应的辐射防护措施及事故处理程序等，并完善预案中应急机构的组成、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。

核医学科错时诊疗制度：针对本项目制定核素诊断和治疗错时制度，核医学科中的 SPECT 诊断项目、 ^{32}P 敷贴治疗项目及 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 核素治疗项目采取错时措施，每天依次开展 SPECT 诊断、 ^{223}Ra 和 ^{225}Ac 核素治疗、 ^{32}P 敷贴治疗；甲亢治疗和甲癌治疗采取错时措施，每周依次开展甲亢治疗、甲癌治疗，甲癌患者住院期间，不得开展甲亢治疗项目，确保各项患者的患者不会造成交叉辐射影响。

甲癌患者出院监测制度：甲癌患者出院前，应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。

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。

医院应为方桥院区配备 1 台环境辐射巡测仪，还应为本项目核医学科配备 3 台 α 、 β 表面沾污仪、6 台个人剂量报警仪。表面沾污仪分别放置在 PET 诊断场所、SPECT 诊断场所、甲癌病房区的卫生通过间，个人剂量报警仪可放置在控制走廊的控制台和给药控制室处，并在甲癌住院病房出口处配备 1 台测量体内活度的设备或测量周围剂量当量率的仪器，用于甲癌患者出院前的监测。落实后，能够满足辐射监测仪器配备要求。

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。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核医学科工作场所的辐射水平和表面沾污进行监测，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核医学科工作场所的辐射水平和表面沾污进行监测，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核医学科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核医学科控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性的点位和存有放射性物质的装置/设备的表面开展 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；

②用自配备的 α 、 β 表面沾污仪在每次工作结束后对核医学科工作场所的放射性表面

沾污进行监测，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。本项目核医学科监测方案见表 12-1。

表 12-1 本项目核医学科辐射监测计划

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	控制要求
工作场所监测	竣工环保验收监测	X-γ 辐射剂量率、α、β 表面沾污	请有资质单位监测，建设项目竣工后 3 个月内	参考 HJ1188-2021 中的表 1	见评价标准中表面污染控制水平和辐射剂量率控制水平
	年度监测	X-γ 辐射剂量率、α、β 表面沾污	请有资质单位监测，不少于 1 次/年		
	日常监测	X-γ 辐射剂量率、α、β 表面沾污	X-γ 辐射剂量率自主监测不少于 1 次/月，α、β 表面沾污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）		
个人剂量监测	/	职业性外照射个人剂量	定期送有资质部门进行监测，不少于 1 次/三个月	/	/

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的丢失、被盗或泼洒而发生污染，敷贴源的丢失、被盗以及开机误照射。

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。

医院还应根据本项目核医学科可能产生的辐射事故对辐射事故应急方案进出补充和

完善，明确相应的辐射防护措施及事故处理程序等，使其具有一定的操作性。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，积极开展辐射应急演练，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。

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 12-2。

表 12-2 “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	核医学科墙体采用实心砖+硫酸钡防护涂料，顶部采用混凝土或混凝土+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 10-2。	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。
安全措施	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、自动闭门装置、导向标识、双人双锁等。	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。
人员配备	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。
	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		医院方桥院区配备 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。
		3 台 α 、 β 表面沾污仪、6 台个人剂量报警仪	
		1 台测量体内活度的设备或测量周围剂量当量率的仪器	
		配备至少 10 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	针对本项目具体情况对已制定的《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》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>在 5#门诊综合楼西侧的绿化带处建设埋地衰变室，衰变室内设置一套推流式放射性废水衰变系统和一套槽式放射性废水衰变系统。核医学科的 PET 诊断和 SPECT 诊断项目产生的放射性废水经专用管道排至推流式放射性废水衰变系统，衰变至少 30 天后，直接排至医院的污水处理系统作为医疗废水处理。甲癌病房区产生的放射性废水经专用管道排至槽式放射性废水衰变系统，暂存超过 180 天，并经监测满足总 α 不大于 1Bq/L、总 β 不大于 10 Bq/L、^{131}I 的放射性活度浓度不大于 10Bq/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处理。</p> <p>核医学科的 ^{32}P 敷贴治疗项目产生的少量工艺废水单独收集在塑料桶中，并放置在制备间的铅桶内，衰变至少 143 天后，并经监测满足 α 不大于 1Bq/L、</p>	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》（HJ1188-2021）中放射性废水处置要求。

	<p>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处理。</p>	
	<p>放射性废气处理措施： PET 诊断场所和 SPECT 诊断场所设计一套独立的排风系统，甲癌病房区设计一套独立的排风系统，核医学科场所内的手套箱、全自动分装给药仪设计独立的排风系统，手套箱和全自动分装给药仪的风速不小于 0.5m/s。核医学科内空气经各自排风管道（内设止回阀）引至专用排风井，再经排风井引至 5#门诊综合楼的楼顶排放，排风口处设有活性炭过滤装置对放射性气溶胶进行吸附。</p>	<p>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》（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>放射性固体废物处理措施： 核医学科的 PET 诊断场所产生的放射性固体废物集中收集密封并贴上标签（标明核素种类、存放日期等信息）放置在 PET 诊断场所的放射性固废暂存间的废物桶内，暂存至少 30 天，并经监测辐射剂量率处于所处环境本底水平、α 表面沾污小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$、$\beta$ 表面沾污小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，作为医院医疗废物统一处理。 核医学科的 SPECT 诊断场所产生的放射性固体废物先暂存在各房间的废物铅桶内，沾有核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的放射性固体废物单独收集，沾有核素 ^{223}Ra、^{225}Ac 的放射性固体废物集中收集，沾有核素 ^{32}P 的放射性固体废物单独收集，收集后密封并贴上标签（标明核素种类、存放日期等信息）放置在 SPECT 诊断场所的放射性固废暂存间的废物桶内，沾有核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的放射性固体废物自然衰变至少 30 天，沾有核素 ^{223}Ra、^{225}Ac 的放射性固体废物自然衰变至少 115 天，沾有核素 ^{32}P 的放射性固体废物自然衰变至少 143 天，并经监测辐射剂量率处于所处环境本底水平、α 表面沾污小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$、$\beta$ 表面沾污小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，作为医院医疗废物统一处理。 PET 诊断场所和 SPECT 诊断场所通风系统更换的废活性炭集中收集放置在 SPECT 诊断场所的放射性固废暂存间的废物桶内，暂存至少 143 天，并经监测辐射剂量率处于所处环境本底水平、α 表面沾污小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$、$\beta$ 表面沾污小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，作为非放射性固体废物处理。</p>	<p>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》（HJ1188-2021）中有关放射性固体废物处理的要求。</p>

	<p>核医学科的甲癌病房区产生的放射性固体废物在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）放置在甲癌病房区的放射性固废暂存间的废物桶内，暂存至少 180 天，并经监测辐射剂量率处于所处环境本底水平、α 表面沾污小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$、$\beta$ 表面沾污小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，作为医院医疗废物统一处理。</p> <p>甲癌病房区通风系统更换的废活性炭集中收集放置在甲癌病房区的放射性固废暂存间的废物桶内，暂存至少 180 天，并经监测辐射剂量率处于所处环境本底水平、α 表面沾污小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$、$\beta$ 表面沾污小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，作为非放射性固体废物处理。</p>	
	<p>退役的 ^{68}Ge -^{68}Ga 发生器暂存在 PET 诊断场所淋洗室的专用手套箱内，退役的 ^{99}Mo -$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器暂存在 SPECT 诊断场所高活室的手套箱内，最终均交由原生产厂家回收处理。</p>	<p>满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中关于放射性废源处置的要求。</p>

表 13 结论与建议

13.1 结论

1、项目概况

为满足宁波地区的医疗需求，医院拟对 5#门诊综合楼地下一层已批复的核医学科进行改扩建，改扩建后的核医学科包括 PET 诊断场所、SPECT 诊断场所和甲癌病房区。其中，PET 诊断场所使用 ^{18}F 、 ^{68}Ga 正电子药物开展 PET/CT 和 PET/MR 显像检查；SPECT 诊断场所使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物开展 SPECT 显像检查，使用 ^{32}P 核素制备敷贴器开展敷贴治疗，使用 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 核素开展核素治疗；甲癌病房区使用 ^{131}I 药物开展甲癌和甲亢治疗。本项目核医学科非密封放射性物质工作场所日等效最大操作量为 $3.14 \times 10^9 \text{Bq}$ ，为乙级非密封放射性物质工作场所。

2、产业政策符合性和实践正当性评价

对照《产业结构调整指导目录（2019 年本）》（2021 年修订），本项目核医学科属于国家鼓励类的第六项“核能”中第 6 款中“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，符合国家产业发展政策。

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

宁波市第一医院方桥院区位于宁波市奉化方桥东环北路以东、儒江路以南、北仑西路以北，本项目核医学科拟建场址位于建筑物底层的一端，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，SPECT 诊断、 ^{32}P 敷贴治疗及 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 核素治疗错时开展，甲亢治疗和甲癌治疗错时服药，进药时间与就诊时间错开，医护通道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，控制区内设有敷贴室、注射后候诊室、留观室、住院病房和给药后患者的专用卫生间，患者在控制区内为单向流动，给药后患者与给药前患者不交叉，可有效避免工作人员、患者与放射性药物之间的交叉污染，布局合理。

医院将对本项目核医学科进行分区管理，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

本项目核医学科墙体采用实心砖+硫酸钡防护涂料，顶部采用混凝土或混凝土+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，根据理论预测及分析，本项目核医学科的屏蔽防护设计满足辐射防护要求，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

本项目核医学科工作场所拟采取的辐射安全和防护措施主要有：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、自动闭门装置、导向标识、双人双锁等。

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、辐射防护监测仪器评价

医院应为方桥院区配备 1 台环境辐射巡测仪，还应为本项目核医学科配备 3 台 α 、 β 表面沾污仪、6 台个人剂量报警仪和 1 台测量体内活度的设备或测量周围剂量当量率的仪器。落实后，能够满足辐射监测仪器配备要求。

7、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。

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 5#门诊综合楼西侧的绿化带处建设埋地衰变室，衰变室内设置一套推流式放射性废水衰变系统和一套槽式放射性废水衰变系统。其中，核医学科的 PET 诊断和 SPECT 诊断项目产生的放射性废水经专用管道排至推流式放射性废水衰变系统，衰变至少 30 天后，直接排至医院的污水处理系统作为医疗废水处理；甲癌病房区产生的放射性废水经专用管道排至槽式放射性废水衰变系统，暂存超过 180 天，并经监测满足总 α 不

大于 1Bq/L、总 β 不大于 10 Bq/L、 ^{131}I 的放射性活度浓度不大于 10Bq/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处理，满足放射性废水处置要求。

本项目核医学科的 ^{32}P 敷贴治疗项目产生的少量工艺废水单独收集在塑料桶中，并放置在制备间的铅桶内，在桶内自然衰变至少 143 天，并经监测满足总 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，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处理，满足放射性废水处置要求。

(2) 放射性废气处理措施评价

本项目核医学科的 PET 诊断场所和 SPECT 诊断场所设计一套独立的排风系统，甲癌病房区设计一套独立的排风系统，核医学科场所内的手套箱、全自动分装给药仪设计独立的排风系统，手套箱和全自动分装给药仪的风速不小于 0.5m/s。核医学科内空气经各自排风管道（内设止回阀）引至专用排风井，再经排风井引至 5#门诊综合楼的楼顶排放，排风口处设有活性炭过滤装置对放射性气溶胶进行吸附，且排气口周围无高层建筑，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》（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，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

本项目核医学科的 PET 诊断场所产生的放射性固体废物集中收集密封并贴上标签（标明核素种类、存放日期等信息）放置在 PET 诊断场所的放射性固废暂存间的废物桶内，暂存至少 30 天，并经监测辐射剂量率处于所处环境本底水平、 α 表面沾污小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面沾污小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，作为医院医疗废物统一处理。

本项目核医学科的 SPECT 诊断场所产生的放射性固体废物先暂存在各房间的废物铅桶内，沾有核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的放射性固体废物单独收集，沾有核素 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 的放射性固体废物集中收集，沾有核素 ^{32}P 的放射性固体废物单独收集，收集后密封并贴上标签（标明核素种类、存放日期等信息）放置在 SPECT 诊断场所的放射性固废暂存间的废物桶内，沾有核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的放射性固体废物自然衰变至少 30 天，沾有核素 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 的放射性固体废物自然衰变至少 115 天，沾有核素 ^{32}P 的放射性固体废物自然衰变至少 143 天，并经监测辐射剂量率处于所处环境本底水平、 α 表面沾污小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面沾污小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，作为医院医疗废物统一处理。

本项目 PET 诊断场所和 SPECT 诊断场所通风系统更换的废活性炭集中收集放置在

SPECT 诊断场所的放射性固废暂存间的废物桶内，暂存至少 143 天，并经监测辐射剂量率处于所处环境本底水平、 α 表面沾污小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面沾污小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，作为非放射性固体废物处理。

本项目核医学科的甲癌病房区产生的放射性固体废物在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）放置在甲癌病房区的放射性固废暂存间的废物桶内，暂存至少 180 天，并经监测辐射剂量率处于所处环境本底水平、 α 表面沾污小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面沾污小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，作为医院医疗废物统一处理。

本项目甲癌病房区通风系统更换的废活性炭集中收集放置在甲癌病房区的放射性固废暂存间的废物桶内，暂存至少 180 天，并经监测辐射剂量率处于所处环境本底水平、 α 表面沾污小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面沾污小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，作为非放射性固体废物处理。

本项目退役的 ^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器暂存在 PET 诊断场所淋洗室的专用手套箱内，退役的 $^{99\text{m}}\text{Mo}$ - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器暂存在 SPECT 诊断场所高活室的手套箱内，最终均交由原生产厂家回收处理。

本项目放射性固体废物的处置方式满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中有关放射性固体废物处理的要求，对周围环境辐射影响很小。

9、辐射安全管理评价

宁波市第一医院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，并以医院内部文件形式明确了各成员的管理职责。医院现有辐射工作人员均已参加辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训并已考核合格，并均已佩戴了个人剂量计和参加了职业健康体检，已按相关要求建立了辐射工作人员个人剂量监测档案和职业健康监护档案。医院应根据本项目具体情况对辐射管理制度及辐射事故应急方案进行补充和完善，还应组织本项目新进辐射工作人员参加辐射安全和防护专业知识的培训，并进行个人剂量监测和职业健康体检，并为其建立个人剂量档案和职业健康监护档案。

可行性结论：

综上所述，宁波市第一医院改、扩建核医学科项目在落实本报告所提出的各项污染防治和管理措施后，该院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，医院应按照国务院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，编制验收报告，公开相关信息，接受社会监督，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，并对验收内容、结论和所公开信息的真实性、准确性和完整性负责，不得在验收过程中弄虚作假。

除需要取得排污许可证的水和大气污染防治设施外，其他环境保护设施的验收期限一般不超过 3 个月；需要对该类环境保护设施进行调试或者整改的，验收期限可以适当延期，但最长不超过 12 个月。

验收期限是指自建设项目环境保护设施竣工之日起至建设单位向社会公开验收报告之日止的时间。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见

经办人

公 章
年 月 日

审批意见

经办人

公 章
年 月 日