

宁夏回族自治区人民医院核医学设备建设项目

环境影响报告表

(送审稿)

建设单位名称：宁夏回族自治区人民医院

建设单位法人代表（签名或签章）：周玮

通讯地址：宁夏回族自治区银川市金凤区正源北街301号

邮政编码：750002 联系人：王瑶

电子邮箱：314324956@qq.com 联系电话：13895015016

表1 项目基本情况

建设项目名称		宁夏回族自治区人民医院核医学设备建设项目			
建设单位		宁夏回族自治区人民医院			
法人代表	周玮	联系人	王瑶	联系电话	13895015016
注册地址		宁夏回族自治区银川市金凤区正源北街301号			
项目建设地点		宁夏回族自治区人民医院总部4#肿瘤综合楼核医学科-1F、1F			
立项审批部门		/	批准文号	/	
建设项目总投资 (万元)		4200	项目环保投资 (万元)	265.8	投资比例 6.33%
项目性质		<input type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他		占地面积 (m ²)	医院现有预留机房， 不新增占地。
应用 类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I类 (医疗使用) <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input checked="" type="checkbox"/> V类		
	非密封放 射性物质	<input checked="" type="checkbox"/> 生产	<input checked="" type="checkbox"/> 制备PET用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 甲 <input checked="" type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II类 <input checked="" type="checkbox"/> III类		

1.1 项目概述

1.1.1 建设单位情况

宁夏回族自治区人民医院创建于1934年，是一所集医疗、教学、科研、预防、保健、康复、急救为一体的三级甲等医院，是宁夏医科大学附属自治区人民医院暨第三临床医学院、北方民族大学非直属关系附属医院。同时，也是宁夏回族自治区人民医院医疗集团核心单位。

宁夏回族自治区人民医院核医学科核素诊断及治疗核技术利用项目于2018年1月23日在宁夏回族自治区生态环境厅审批通过（宁核环〔2018〕1号）；于2023年11月6日

重新领取辐射安全许可证，证书编号：宁环辐证[N0025]，有效期至2028年11月5日，辐射安全许可证种类和范围：使用II类、III类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级非密封放射性物质工作场所。

宁夏回族自治区人民核医学科现开展的业务主要有：

①SPECT/CT诊断项目：利用 ^{99m}Tc 和单光子发射计算机断层显像系统（SPECT/CT），对受检者进行冠心病诊断、危险分层、存活心肌检测及心室功能测定等；骨转移瘤早期诊断、原发骨肿瘤诊断及鉴别诊断等；肾小球滤过功能测定、肾恶性肿瘤鉴别诊断等；甲亢、甲状腺炎、甲旁亢的诊断等。

②核素治疗项目： ^{125}I 粒子源植入治疗肺癌、肝癌、胰腺癌转移瘤等， ^{131}I 治疗甲亢、甲癌及其转移灶等， ^{89}Sr 治疗骨转移瘤等。

截至目前，核医学科SPECT/CT诊断（ ^{99m}Tc ）、 ^{131}I 、 ^{125}I 、 ^{89}Sr 核素诊断及治疗工作正常运行，相关辐射防护措施已投入使用，并于2020年8月通过竣工环境保护验收。

1.1.2本项目建设背景

为满足肿瘤患者的治疗需要，使患者摆脱投医难的困境，医院核医学科经过充分论证，拟在4#楼肿瘤综合楼核医学科1F东南角闲置空房间建设PET/CT机房，拟新购置1台PET/CT设备，利用 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{68}Ga 等核素用于PET/CT正电子放射性药品显像及精准定位穿刺使用；在该楼-1F建设回旋加速器机房及热室，新购置1台回旋加速器，主要用于制备 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 等放射性同位素。

本项目所安装的PET/CT最大管电压为140kV，最大管电流为666mA；回旋加速器最大能量为10MeV，最大束流100 μA ，根据《关于发布<射线装置分类>的公告》（公告2017年第66号）规定，本次新增PET/CT设备均属于III类射线装置，回旋加速器属于II类射线装置；本项目使用的核医学工作场所属于乙类非密封放射性工作场所，本项目所使用的 ^{68}Ge （锗）源为V类放射源，具体同位素应用情况见表1-2。

根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021版）》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2017年修改，部令第47号）规定：“制备PET用放射性药物的；医疗使用I类放射源的；使用II类、III类放射源的；生产、使用II类射线装置的；乙、丙级非密封放射性物质工作场所（医疗机构使用植入治疗用放射性粒子源的除外）；在野外进行放射性同位素示踪试验的；以上项目的改、扩建（不含在已许可场所增加不超出已许可活动种类和不高于已许可范围等级的核素或射线装置的）”应当组织编制环境影响报告表。

本项目使用V类放射源；使用II类、III类射线装置；属于乙级非密封放射性物质工作场所（医疗机构使用植入治疗用放射性粒子源的除外），应当组织编制环境影响报告表。

因此，宁夏绿源长青环保科技有限公司受宁夏回族自治区人民医院的委托，对宁夏回族自治区人民医院核医学科设备建设项目进行环境影响评价（详见附件1）。接到委托后，我司相关人员对现场进行了调查和资料收集工作，依照《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），编制完成了该项目的环境影响报告表。

1.1.3 本项目建设内容和规模

本项目拟在宁夏回族自治区人民医院总部4#肿瘤综合楼核医学科1F东南角闲置空房间建设PET/CT机房，拟新购置1台PET/CT设备安装在此机房内；并在该楼-1F建设回旋加速器机房、热室，新购置1台回旋加速器，本项目工程组成详见表1-1。

表1-1 本项目工程组成一览表

类别	项目名称	建设内容	备注
主体工程	PET/CT机房	PET/CT机房位于4#楼肿瘤综合楼核医学科1F东南角现有闲置空房，净面积54.6m ² ，机房净尺寸7.63m×7.16m，拟安装1台PET/CT设备，使用 ¹⁸ F、 ¹¹ C、 ¹³ N、 ⁶⁸ Ga等正电子核素。	预留机房，新增设备
	PET/CT控制室	PET/CT控制室位于机房西侧，面积为20.1m ² ，净尺寸7.63m×2.63m。	预留房间
	回旋加速器机房	回旋加速器机房位于4#楼肿瘤综合楼核医学科-1F东北处现有闲置空房，占地面积约55m ² ，拟安装一台回旋加速器。	预留机房，新增设备
	回旋加速器操作间	回旋加速器操作间位于机房南侧，面积约18m ² 。	预留机房
辅助工程	热室	热室位于回旋加速器机房西侧，面积约22.5m ² ，主要用于正电子类放射性药物的制备。	预留房间
公用工程	供配电系统	用电来源于市政供电，依托医院现有配电系统。	依托
	给水系统	依托医院现有给水管网，供工作人员生活及医疗用水。	依托
	排水系统	1F排水系统依托医院现有污水排水管网，-1F排水系统新建。（1F和-1F排水汇至设备夹层后一同汇入现有衰变池内）	-1F排水系统新建
环保工程	辐射防护	墙体、顶棚、地面采用混凝土等防护材料，防护门采取铅防护，保证机房满足辐射防护要求。	墙体利旧，新装防护门
	污水处理	本项目产生的放射性废水流入医院现有衰变池衰变至低于GB18871-2002规定限值后，排放至医院的污水管网作为医疗废水处理	依托现有衰变池
	废气排放系统	本项目-1F产生的放射性废气经新建通风橱（管道）引至活性炭过滤后，由排风管道排至室外；1F放射性废气排放经通风橱（管道）引至活性炭过滤后，由排风管道排至室外。	新建
	固体废物	本项目-1F产生的放射性固废经新建废物贮存铅桶（3个）贮存衰变后按照一般医疗废物处理；1F产生的放射性固废	-1F新建3个废物贮存铅桶

	经3个废物贮存铅桶贮存衰变后一般医疗废物处理；衰变池沉积物交由具备相应危险废物处置资质的单位进行规范处置；退役密封源发生器交由自治区核与辐射安全中心贮存后，放宁夏城市放射性废物库贮存。	
--	--	--

①源项情况

本项目所安装的PET/CT最大管电压为140kV，最大管电流为666mA；回旋加速器最大能量为10MeV，最大束流100μA，根据《关于发布<射线装置分类>的公告》（公告2017年第66号），本次新增PET/CT设备属于III类射线装置，回旋加速器属于II类射线装置。本项目使用¹⁸F、¹¹C、¹³N、⁶⁸Ga开展核医学显像诊断工作，其中，¹⁸F、¹¹C、¹³N由本项目回旋加速器制备获得，⁶⁸Ga由外购锗镓发生器后获得。本项目新增⁶⁸Ge校准源3枚，其中：3.0mCi 1枚（桶源）、1.25mCi 2枚（棒源）。

②放射性核素使用量

核医学科现用核素情况见表1-2，本次新增使用¹⁸F、¹¹C、¹³N、⁶⁸Ga开展核医学显像诊断工作，具体情况见表1-3。

表1-2 核医学科现有非密封源同位素应用情况一览表

核素名称	理化性质	单人单次最大用量	日最大接诊量(人)	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	贮存方式与地点	来源
¹²⁵ I	固态/中毒	2.96×10 ⁹	1	2.96×10 ⁹	2.96×10 ⁶	6.51×10 ¹¹	植入治疗肿瘤	很简单的操作	-1F分装储源室	外购药物
^{99m} Tc	液态/低毒	9.25×10 ⁸	10	9.25×10 ⁹	9.25×10 ⁶	2.04×10 ¹²	SPECT/CT显像		1F高活室	
⁸⁹ Sr	液态/中毒	1.48×10 ⁸	1	1.48×10 ⁸	1.48×10 ⁷	3.26×10 ¹⁰	骨转移癌治疗		1F注射室	
¹³¹ I	液态/中毒	7.4×10 ⁹	4	2.96×10 ¹⁰	2.96×10 ⁹	6.51×10 ¹²	甲亢、甲癌治疗	2F分装室		
⁹⁹ Mo	固体/中毒	/	/	1.16×10 ¹⁰	1.16×10 ⁷	4.06×10 ¹¹	淋洗 ^{99m} Tc	源的贮存	1F高活室	外购发生器获得

注：①以上四种核素用量来源于《宁夏回族自治区人民医院核医学科核素诊断及治疗核技术利用项目竣工环境保护验收资料》；

②钼铯发生器规格最大为800mCi，每周外购1根柱子，年最多购买35个，单日^{99m}Tc最大淋洗量约640mCi（淋洗效率取80%），本项目核医学科^{99m}Tc药物日最大用量为250mCi，可满足使用要求。

表1-3 核医学科新增（本项目）非密封源同位素应用情况一览表

核素名称	理化性质	单人单次最大用量	日最大接诊量（人）	年使用天数（天）	日最大操作量（Bq）	年最大用量（Bq）	用途	操作方式	贮存方式与地点	来源
¹⁸ F	液态/低毒	3.7×10 ⁸	30	250	1.11×10 ¹⁰	2.78×10 ¹²	PET/CT显像	很简单的操作	装于铅罐内，贮存于分装室通风橱内	回旋加速器制备外购发生器后获得
¹¹ C	液态/低毒	3.7×10 ⁸	10		3.7×10 ⁹	9.25×10 ¹¹				
¹³ N	液态/低毒	5.55×10 ⁸	10		5.6×10 ⁹	1.4×10 ¹²				
⁶⁸ Ga	液态/低毒	1.48×10 ⁸	10		1.48×10 ⁹	3.7×10 ¹¹				
⁶⁸ Ge	固态/中毒	/	/	/	1.85×10 ⁹	4.63×10 ¹¹	淋洗、贮存			

注：①¹⁸F药物最大用量按3.7×10⁸Bq/人（10mCi/人）计，单日最大接诊量为30人次，年工作250天；
 ②¹¹C药物最大用量按3.7×10⁸Bq/人（10mCi/人）计，单日最大接诊量为10人次，年工作250天；
 ③¹³N药物最大用量按5.55×10⁸Bq/人（15mCi/人）计，单日最大接诊量为10人次，年工作250天；
 ④⁶⁸Ga药物最大用量按1.48×10⁸Bq/人（4mCi/人）计，单日最大接诊量为10人次，年工作250天；
 ⑤根据建设单位提供资料，⁶⁸Ge制备效率约80%计。

③射线装置及放射源情况

本项目新增射线装置见表1-4，新增放射源详见表1-5。

表 1-4 本项目使用射线装置一览表

设备名称	型号	生产厂家	类别	主要参数	用途	放置位置
PET/CT	Biograph Vision (配置600)	西门子 SIEMENS	III类射线装置	最大管电压140KV，管电流666mA	显像诊断及定位穿刺	4#楼肿瘤综合楼核医学科一楼PET/CT机房
回旋加速器	10-HC+	住友	II类射线装置	能量10（MeV）最大束流100(μA)	制备放射同位素	4#楼肿瘤综合楼核医学科负一楼回旋加速器机房

表 1-5 本项目拟使用放射源情况一览表

放射源名称	最大活度	数量	类别	使用场所	贮存位置	用途
⁶⁸ Ge密封源	3.0mCi	1	V	核医学科PET/CT机房	高活室储源柜	PET/CT设备校准
⁶⁸ Ge密封源	1.25mCi	2	V		PET/CT机架	PET/CT设备校准

④核医学工作场所分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全标准》（GB 18871-2002）附录C进行日等效最大操作量的计算，本项目核医学科场所日等效最大操作量核算结果详见表1.6。

表 1-6 本项目建成后整个核医学科日等效最大操作量核算一览表

核素名称	毒性分组	毒性组别修正因子	状态	操作方式	操作方式与状态修正因子	日最大操作量 Bq	日等效最大操作量 Bq
¹⁸ F	低毒	0.01	液体	很简单的操作	10	1.11×10 ¹⁰	1.11×10 ⁷
¹¹ C	低毒	0.01	液体			3.7×10 ⁹	3.7×10 ⁶
¹³ N	低毒	0.01	液体			5.6×10 ⁹	5.6×10 ⁶
⁶⁸ Ga	低毒	0.01	液体			1.48×10 ⁹	1.48×10 ⁶
⁶⁸ Ge	中毒	0.1	固体		100	1.85×10 ⁹	1.85×10 ⁶
¹²⁵ I	中毒	0.1	液体		100	2.96×10 ⁹	2.96×10 ⁶
^{99m} Tc	低毒	0.01	液体		10	9.25×10 ⁹	9.25×10 ⁶
⁸⁹ Sr	中毒	0.1	液体	简单操作	1	1.48×10 ⁸	1.48×10 ⁷
¹³¹ I	中毒	0.1	液体			2.96×10 ¹⁰	2.96×10 ⁹
⁹⁹ Mo	中毒	0.1	固体	源的贮存	100	1.16×10 ¹⁰	1.16×10 ⁷
合计							3.13×10⁹
注：日等效最大操作量计算公式为：日等效最大操作量=日最大操作量×毒性组别修正因子/操作方式修正因子							

根据上表核算结果可知，本次新增核素后整个核医学科场所日等效最大操作量为3.13×10⁹Bq，属于乙级非密封放射性物质工作场所（2×10⁷Bq~4×10⁹Bq）。

⑤人员配备情况

根据建设单位提供资料，现有核医学科已配备12名辐射工作人员，目前12名辐射工作人员均通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台进行辐射安全与防护培训，考核类别为“核医学”（详见附件3），本项目不新增工作人员，沿用现有医务工作者。

具体人员配置情况见表1-7。

表 1-7 核医学科辐射工作人员配置情况一览表

工作场所	人员类别	数量	具体工作内容	人员要求
核医学科	医师	5名	阅片、影像诊断、报告出具、处方剂量、治疗方案等	至少含2名取得核医学影像上岗资质并从事专业工作3年以上的高级专业技术职称医师
	技师	2名	PET/CT和SPECT/CT患者摆位、设备操作、分装仪操作、废物管理等	取得核医学影像上岗资质、具备相关专业知识和技术能力，并通过辐射安全与防护考核
	护师	3名	药物交接、药物分装、注射，放射	须具有相关专业知识和技术

			性废物管理，日常表污监测、患者预约登记、病房查房等	能力，并通过辐射安全与防护考核人员
	化学师	1名	回旋加速器设备使用、配置PET/CT药品、药物质控等	
	物理师	1名	PET/CT和SPECT/CT设备质量控制、回旋加速器操作机正电子药物制备等	

综上所述，核医学科现有辐射工作人员配置情况可满足本项目建成后的工作需求，因此本次不新增劳动定员可行。

1.2 项目周边环保目标

1.2.1 项目选址

本项目建设地点位于宁夏回族自治区银川市金凤区正源北街301号宁夏回族自治区人民医院本部现有4#楼肿瘤综合楼核医学科，其北侧为培训中心（教学楼），东侧为绿化空地，南侧为自治区重大疫情救治基地，西侧为氧疗中心。本项目建设地点周围50m范围内均为医院院内建筑，无居民楼、学校、养老院、超市等环境敏感目标。本项目地理位置见图1.1，宁夏回族自治区人民医院本部平面布局示意图见图1.2。

本项目拟在4#楼肿瘤综合楼核医学科1F东南角闲置房间建成PET/CT机房，位于现有SPECT/CT机房旁，拟新购置1台PET/CT设备安装在此机房内，并在该楼-1F闲置房间建设回旋加速器机房，新购置1台回旋加速器。

本项目毗邻区域敏感点较少，无人员密集区域，且各机房拟采取有效的实体屏蔽防护措施，因此本项目辐射工作场所的选址已充分考虑了周围区域的辐射安全与防护，场所布局具有合理性，对周围公众及环境的影响非常有限。

1.2.2 核医学科工作场所平面布局

本项目涉及肿瘤综合楼的-1F、设备夹层和1F。

核医学科-1F主要为回旋加速器药物制备和质控区，包括回旋加速器机房和控制室、热室、质控室、缓冲、拆包、更衣室、准备间等。回旋加速器机房楼上为夹层（设备层），设备夹层楼上为1F核医学科的PET/CT注射室和注射后候诊室及留观室，无地下2F结构。

4#肿瘤综合楼-1F平面布置示意图详见图1.3，4#肿瘤综合楼-1F核医学科平面布置示意图详见1.4。

核医学科1F主要为SPECT/CT、PET/CT检查区，主要包括3间SPECT/CT机房（1用2预留）及操作走廊、1间PET/CT机房和操作室、甲功室、诊室、注射室、注射后候诊

室、负荷实验室、肺通气室、留观抢救室、药品传递室、药物分装室和危废间等用房，核医学科1F平面布置示意图详见图1.5；PET/CT机房楼上为核医学科甲亢病房，2F平面布置示意图详见图1.6。

1.3与本项目有关的核技术利用现状

1.3.1许可的核技术设备及项目

宁夏回族自治区人民医院于2023年11月6日重新领取辐射安全许可证，证书编号：宁环辐证[N0025]，有效期至2028年11月5日，辐射安全许可证种类和范围为：使用II类、III类射线装置（核医学科1台SPECT/CT）；使用非密封放射性物质（已获许可使用并已验收的非密封放射性物质有： ^{99m}Tc 、 ^{131}I 、 ^{125}I 、 ^{89}Sr ，属于乙级非密封放射性物质工作场所。

宁夏回族自治区人民医院现有核技术利用项目环保手续齐全，医院自从事辐射工作以来，未发生过辐射应急情况。

1.3.2辐射安全管理现状

（1）辐射工作人员个人剂量监测结果

建设单位已为现有辐射工作人员配备了个人剂量计，并委托有资质的第三方定期进行监测。根据《宁夏回族自治区疾病预防控制中心检测报告》（2023年度），共有12人做了剂量监测，其中最高0.10mSv、最低0.02mSv，监测结果满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB1871-2002)中对职业人员受照剂量限值要求以及本项目目标管理值要求（5mSv），个人监测结果均未见异常。（检测报告详见附件4）。

（2）核技术工作场所及外环境监测报告

建设单位每年委托有资质单位进行工作场所及周边环境年度监测，根据建设单位提供资料，医院工作场所及周边环境检测结果良好（详见附件5）。

（3）辐射安全管理机构及辐射制度

建设单位已按照相关标准要求，以正式文件成立了放射防护与辐射安全管理委员会，由副院长（魏述军）担任主任，马军担任副主任，设备科、医务处、质控办、核技术利用涉及的科室负责人等作为委员，并明确了放射防护与辐射安全管理委员会职责。医院制定了《宁夏回族自治区人民医院辐射安全与环境保护管理委员会人员组成及工作职责》、《辐射安全管理质量保证和质量控制体系》等规章制度，以及射线装置许可与申报、放射工作场所防护和设备性能检测、放射工作人员管理、放射工作人员职业健康监护、个人剂量监测管理、放射防护培训制度、个人防护用品发放的使用

及管理、医院放射防护档案管理等具体要求；医院已针对可能发生辐射事故类型，制定了《宁夏回族自治区人民医院辐射事故处理应急预案》。

(4) 防护用品、监测仪器配备情况

医院已根据现有的核技术利用项目规模配备了铅衣、铅眼镜、铅围裙等防护装备，并为相关科室配备了个人剂量报警仪和 X-γ辐射检测仪，表面污染监测仪等设备，用于辐射工作人员、患者或受检者的辐射防护。核医学科已配置的防护用品见表 1-8，配置的质量控制和防护检测设备见表 1-9。

表 1-8 核医学科已配备的个人防护用品一览表

防护用品名称	数量	使用状态
铅衣、铅帽、铅围裙、铅围脖	15套	完好
铅眼镜、铅手套	注射室护士、技师、化学师人均一套	完好
送药防护盒	3个	完好
淋洗罐	若干	完好
注射器防护套	6个	完好
可移动铅屏	16个（放置于病房、机房、候诊室）	完好
铅移动注射车	1台	完好
铅废物桶	8只	完好
铅砖、铅皮、铅罐	若干	完好
工作服、一次性手套、口罩、鞋套	若干	完好

表 1-9 核医学科已配置的质量控制和防护检测设备一览表

设备名称	数量	使用状态
X-γ个人剂量报警仪	6台	完好
辐射防护检测仪	3套	完好
表面污染监测仪	2台	完好
活度计	4台	完好

(5) 辐射工作人员培训情况

医院现有辐射工作人员、管理人员均取得核技术利用辐射安全与防护考核证书，并在有效期内（详见附件3.2）。

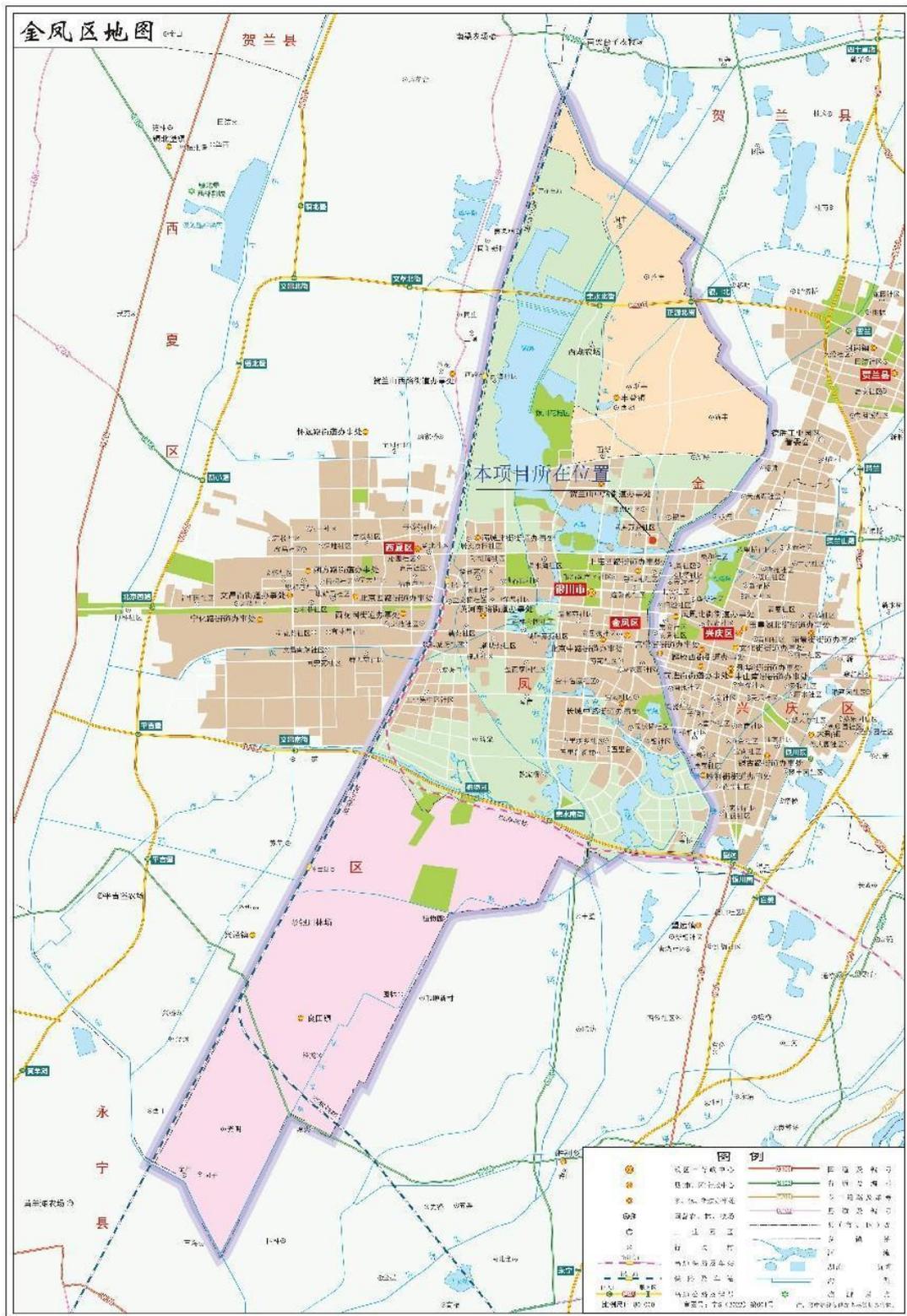


图1.1 本项目地理位置图

宁夏回族自治区自然资源厅编制



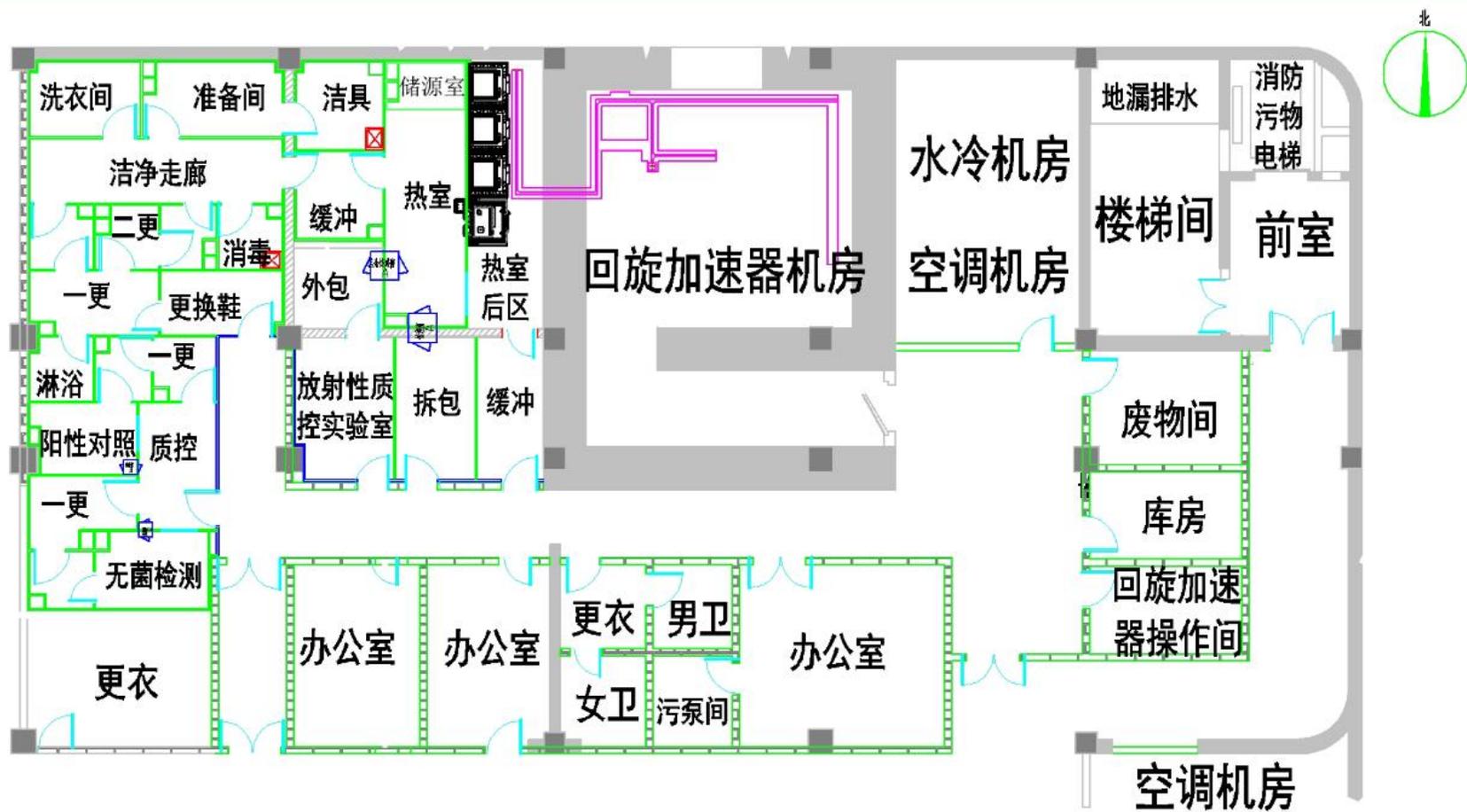


图1.4 4#肿瘤综合楼负一层核医学科平面布置示意图

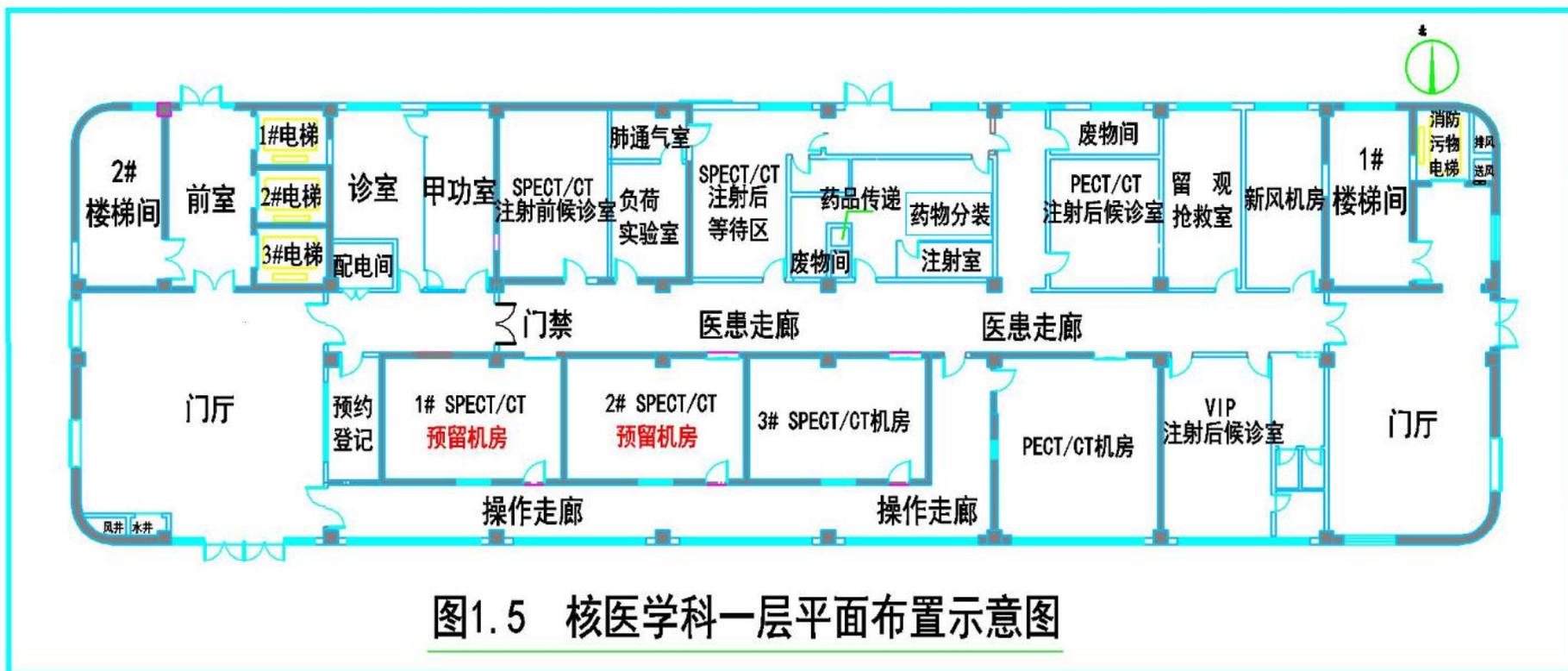


图1.5 核医学科一层平面布置示意图

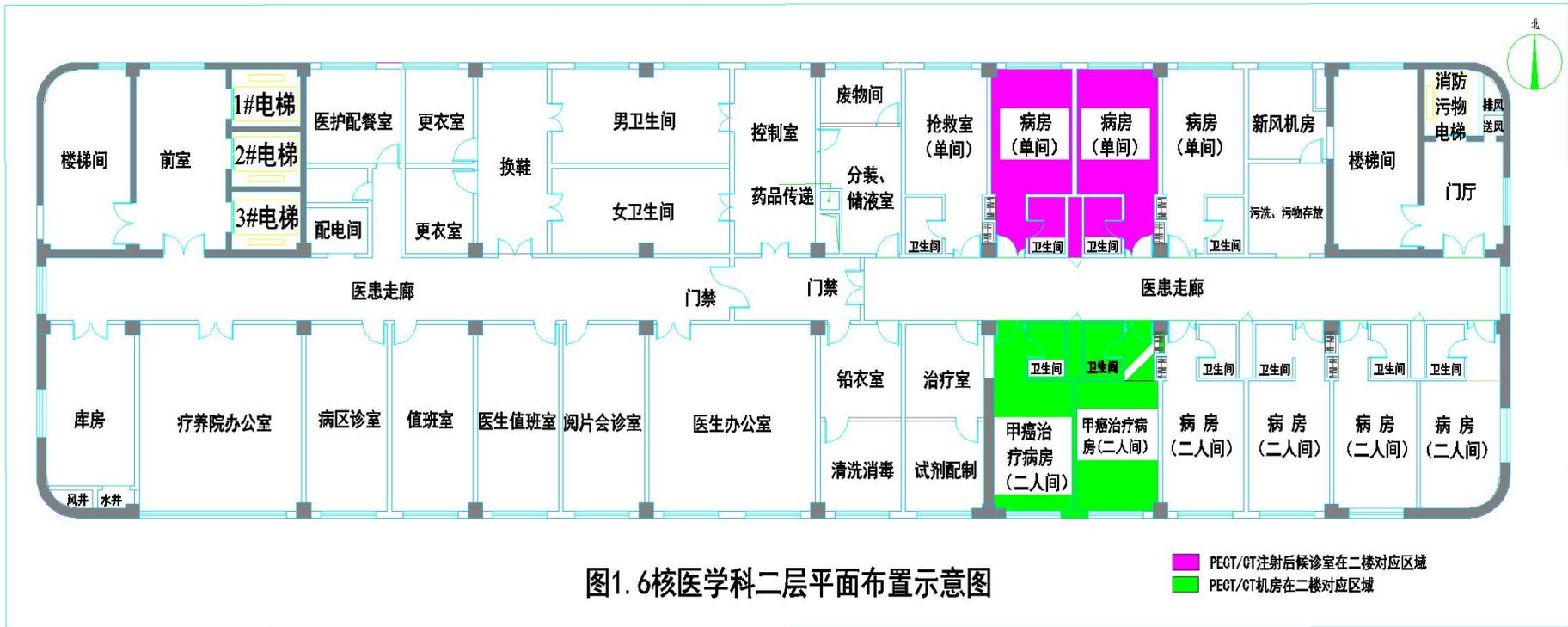


表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (mCi)	枚数 (枚)	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	⁶⁸ Ge (锗)	3.0	1	V	使用	PET/CT设备校准	核医学科PET/CT机房	-1F高活室储源柜	桶源
2	⁶⁸ Ge (锗)	1.25	1	V	使用	PET/CT设备校准		1F PET/CT机架	棒源
3	⁶⁸ Ge (锗)	1.25	1	V	使用	PET/CT设备校准		1F PET/CT机架	棒源

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	使用	1.11×10 ¹⁰	1.11×10 ⁷	2.78×10 ¹²	放射诊断	很简单的操作	核医学科 PET/CT机房	装于铅罐内，贮存于分装室通风橱内
			生产	2.22×10 ¹⁰	2.22×10 ⁷	5.56×10 ¹²		很简单的操作	核医学科 回旋加速器机房	
2	¹¹ C	液态	使用	3.7×10 ⁹	3.7×10 ⁶	9.25×10 ¹¹	放射诊断	很简单的操作	核医学科 PET/CT机房	装于铅罐内，贮存于分装室通风橱内
			生产	4.625×10 ⁹	4.625×10 ⁶	1.156×10 ¹²		很简单的操作	核医学科 回旋加速器机房	
3	¹³ N	液态	使用	5.6×10 ⁹	5.6×10 ⁶	1.4×10 ¹²	放射诊断	很简单的操作	核医学科 PET/CT机房	装于铅罐内，贮存于分装室通风橱内
			生产	7×10 ⁹	7×10 ⁶	1.09×10 ¹²		很简单的操作	核医学科 回旋加速器机房	
4	⁶⁸ Ga	液态	使用	1.48×10 ⁹	1.48×10 ⁶	3.7×10 ¹¹	放射诊断	很简单的操作	核医学科 PET/CT机房	装于铅罐内，贮存于分装室通风橱内
5	⁶⁸ Ge	固态	淋洗、标记	1.85×10 ⁹	1.85×10 ⁶	4.63×10 ¹¹	淋洗、贮存	很简单的操作	核医学科热室	装于铅罐内，贮存于分装室通风橱内

注：根据建设单位提供资料，¹⁸F核素制备效率约为50%，其他核素制备效率约80%计。

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

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) /剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	回旋加速器	II	1	10-HC+	电子	10	最大束流 (μA) : 100	生产正电子核素	核医学科 负一楼	本次新建

(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	Biograph Vision (配置600)	140kV	666mA	显像诊断及定位 穿刺	4#楼肿瘤综合楼核医学科一楼PET/CT 机房	本次 新建

(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
放射性废水	液态	^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{68}Ga	/	/	92.052m ³	总 α <1Bq/L、 总 β <10Bq/L	流入医院衰变池	衰变至低于GB18871-2002规定限值后， 排放至医院的污水管网作为医疗废水处理
放射性固废	固态	^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{68}Ga	/	/	46kg	低于相应核素清 洁解控推荐值	衰变箱 (放射性固废)	含 ^{18}F 核素固废暂存超过30天后，经自 行监测确认符合HJ1188-2021中固废清 洁解控要求后，作为普通医疗废物处 理
剩余放射性药 物	液态	^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{68}Ga	/	/	/	/	贮存于铅罐内自 然衰变	衰变后作为一般医疗废物处理
放射性废气	气态	^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{68}Ga 、 O_3 、 NO_x	/	/	/	/	不暂存	经通风橱引至活性炭过滤后，由排风管 道排至室外
退役密封源发 生器	固体密封 源	^{68}Ge	/	/	/	/	不暂存	交由自治区核与辐射安全中心贮存后， 放宁夏城市放射性废物库贮存。

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》（2014 年修订，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》（中华人民共和国主席令第二十四号，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》（中华人民共和国主席令第六号，2003年10月1日起施行）；</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》（中华人民共和国国务院令第682号，2017年修改，2017年10月1日起施行）；</p> <p>(5) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021年版）（2021年1月1日起施行）；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第449号，2019 年3月2日《国务院关于修改部分行政法规的决定》（国务院令第709号）修订，（2019年实施）；</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2006年，国家环境保护总局令第31号，2008年12月6日经环境保护部令第3号修改，2017年12月20日经环境保护部令第47号修改，2019年8月22日经生态环境部令第7号修改，2021年1月4日经生态环境部令第20号修改）；</p> <p>(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) 《放射工作人员职业健康管理辦法》（卫生部令第55号，2007年）；</p> <p>(10) 《关于发布<射线装置分类>的公告》（公告2017年第66号）；</p> <p>(11) 《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，2006.9.26）；</p> <p>(12) 《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，2019年12月23日，2020年1月1日起施行）；</p> <p>(13) 《关于进一步优化辐射安全考核的公告》（生态环境部公告2021年第9号）；</p> <p>(14) 《生态环境部建设项目环境影响报告书（表）审批程序规定》（生</p>
-------------	--

	<p>态环境部，部令14号，2020年11月23日，2021年1月1日起实施）；</p> <p>（15）《宁夏回族自治区辐射污染防治办法》（2019年2月1日）；</p> <p>（16）《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（中华人民共和国生态环境部司函）（辐射函〔2023〕20号）；</p> <p>（17）《粒子加速器辐射防护规定》(GB5172-1985)；</p> <p>（18）《医疗机构制备正电子类放射性药品管理规定》的通知（国食药监安[2006]4号）；</p> <p>（19）《超导回旋质子加速器辐射屏蔽规范》（GB/T39325-2020）。</p>
<p>技术标准</p>	<p>（1）《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ2.1-2016）；</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》（HJ10.1—2016）；</p> <p>（3）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；</p> <p>（4）《辐射环境监测技术规范》（HJ61—2021）；</p> <p>（5）《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)；</p> <p>（6）《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）；</p> <p>（7）《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）；</p> <p>（8）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）；</p> <p>（9）《环境空气质量标准》（GB3095-2012）；</p> <p>（10）《环境保护部辐射安全与防护监督检查技术程序》；</p> <p>（11）《可免于辐射防护监管的物料中放射性核素活度浓度》（GB27742-2011）；</p> <p>（12）《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）。</p>
<p>其他</p>	<p>（1）宁夏回族自治区人民医院环境影响评价委托书（附件1）；</p> <p>（2）《宁夏回族自治区疾病预防控制中心检测报告》（2023年度）（附件4）；</p> <p>（3）宁夏回族自治区人民医院核医学科辐射环境本底监测报告（2023年）（附件5）；</p> <p>（4）宁夏回族自治区人民医院核技术利用项目相关图纸；</p> <p>（5）其他相关资料。</p>

表 7 保护目标和评价标准

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格式和内容》（HJ10.1-2016）中“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”的要求，并结合本项目实际情况，确定以本项目各辐射工作场所屏蔽墙为边界向外围扩展50m的区域作为评价范围，详见图7.1。



7.2保护目标

本项目位于宁夏回族自治区人民医院本部现有4#楼肿瘤综合楼核医学科，其北侧培训中心（教学楼），东侧为绿化空地，南侧为自治区重大疫情救治基地，西侧为氧疗中心。本项目建设地点周围50m范围内均为医院院内建筑，无居民楼、学校、养老院、超市等环境敏感目标。周围50m范围内主要为氧疗中心、4#肿瘤楼及院内空地，结

合本评价项目的评价范围，确定本项目的保护目标是项目周围（50m范围内）环境中活动的流动人群及本项目放射诊断、治疗的职业人员，详见表7-1。

表 7-1 项目周围50m内主要保护目标

辐射场所		距本项目方位	距离(m)	保护目标名称	人数(人)	保护目标
氧疗中心		西侧	10	办公室、设备科室、中药室	约30	一般工作人员
4# 肿瘤 综合 楼	-1F肿瘤放射治疗科	楼内	紧邻	分装储源室、机房操作人员、药品制备人员、放疗科工作人员	约14	放疗科 辐射工作人员
	1F核医学科		紧邻	注射室、SPECT/CT机房操作人员、诊室、甲功室	约15	核医学科工作人员8人、患者7人
	2F核医学病房、宁养院		紧邻	宁养院办公室、诊室、阅片室、值班室、药品传递室、分装室、病房、治疗区	约20	核医学科工作人员4人、一般工作人员6人、患者10人
	3F肿瘤科病区		2	诊室、值班室、病房、治疗区	约30	放疗科工作人员6人、患者24人
	4F心血管内科病区		4	诊室、值班室、病房、治疗区	约40	一般工作人员、患者
	5F心脏血管外科病区		6	诊室、值班室、病房、治疗区	约40	一般工作人员、患者
	6F脊柱骨肿瘤外科		8	诊室、值班室、病房、治疗区	约40	一般工作人员、患者
	7F甲状腺乳腺科		10	诊室、值班室、病房、治疗区	约40	一般工作人员、患者
	8F日间病房		12	诊室、值班室、病房、治疗区	约40	一般工作人员、患者
	9F麻醉手术部		14	诊室、值班室、手术区	约30	一般工作人员、患者
	楼外通道（室外道路）		北	14	流动人群	约100
东			12	流动人群	约60	公众
南			16	流动人群	约200	公众

7.3评价标准

一、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

（1）防护与安全的最优化

4.3.3.1条款对于来自一项实践中的任一特定源的照射，应使防护与安全最优化，使得在考虑了经济和社会因素之后，个人受照剂量的大小、受照射的人数以及受照射的可能性均保持在可合理达到的尽量低水平，这种最优化应以该源所致个人剂量和潜在

照射危险分别低于剂量约束和潜在照射危险约束为前提条件（治疗性医疗照射除外）。

(2) 辐射工作场所的分区

6.4.1 控制区

6.4.1.1 条款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。

6.4.1.2 条款确定控制区的边界时，应考虑预计的正常照射的水平、潜在照射的可能性和大小，以及所需要的防护手段与安全措施的性质和范围。

6.4.1.3 条款对于范围比较大的控制区，如果其中的照射或污染水平在不同的局部变化较大，需要实施不同的专门防护手段或安全措施，则可根据需要再划分出不同的子区，以方便管理。

6.4.1.4 条款注册者、许可证持有者应：

a) 采用实体边界划定控制区；采用实体边界不现实时也可以采用其他适当的手段；

b) 在源的运行或开启只是间歇性的或仅是把源从一处移至另一处的情况下，采用与主导情况相适应的方法划定控制区，并对照射时间加以规定；

c) 在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的、符合附录F（标准的附录）规定的警告标志，并给出相应的辐射水平和污染水平的指示；

d) 制定职业防护与安全措施，包括适用于控制区的规则与程序；

e) 运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可证制度）和实体屏障（包括门锁和联锁装置）限制进出控制区，限制的严格程度应与预计的照射水平和可能性相适应；

f) 按需要在控制区的入口处提供防护衣具、监测设备和个人衣物贮存柜；

g) 按需要在控制区的出口处提供皮肤和工作服的污染监测仪、被携出物品的污染监测设备、冲洗或淋浴设施以及被污染防护衣具的贮存柜；

h) 定期审查控制区的实际状况，以确定是否有必要改变该区的防护手段或安全措施或该区的边界。

6.4.2 监督区

6.4.2.1 条款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。

6.4.2.2条款注册者和许可证持有者应：

- a) 采用适当的手段划出监督区的边界；
- b) 在监督区入口处的适当地点设立表明监督区的标牌；
- c) 定期审查该区的条件，以确定是否需要采取防护措施和做出安全规定，或是否需要更改监督区的边界。

6.4.3非密封源工作场所的分级

非密封源工作场所的分级应按附录C（标准的附录）的规定进行。

（3）剂量限值

3.1职业照射

①4.3.2.1条款应对个人受到的正常照射加以限制，以保证本标准6.2.2规定的特殊情况外，由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量当量和有关器官或组织的总当量剂量不超过附录B（标准的附录）中规定的相应剂量限值。不应将剂量限值应用于获准实践中的医疗照射。

②B1.1.1.1款应对任何工作人员的照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

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

2.2公众照射

B1.2.1款实践使公众中有关关键人群组的成员所受到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，若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；

③眼晶体的年当量剂量，15mSv；

④皮肤的年当量剂量，50mSv。

（4）表面放射性污染的控制

工作人员体表、内衣、工作服，以及工作场所的设备和地面等表面放射性污染的

控制应遵循附录B（标准的附录B）B11所规定的限制要求。

B11 表面污染控制水平

B2.1 工作场所的表面污染控制水平如表7-2所列。

表 7-2 工作场所的放射性表面污染控制水平

表面类型		β 放射性物质 (Bq/cm ²)
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 ¹⁾	4×10
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	4
	监督区	
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10 ⁻¹

1) 该区内的高污染子区除外

(5) 非密封源工作场所的分级应按附录C（标准的附录）的规定进行

C1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 附录C1非密封源工作场所分级

级别	日等效最大操作量 (Bq)
甲	>4×10 ⁹
乙	2×10 ⁷ ~4×10 ⁹
丙	豁免活度值以上~2×10 ⁷

表 7-4 附录C2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	放射源状态			
	表面污染水平较低的固体	液体, 溶液, 悬浮液	表面有污染的固体	气体, 蒸汽, 粉末, 压力很高的液体, 固体
源的贮存	1000	100	10	1
很简单的操作	100	10	1	0.1
简单操作	10	1	0.1	0.01
特别危险的操作	1	0.1	0.01	0.001

(6) 放射性废液向环境排放的控制

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》规定：不得将放射性废液排入普通下水道，除非经审管部门确认是满足下列条件的低放废液，方可直接排入流量大于10

倍排放流的普通下水道，并应对每次排放做好记录：

每月排放的总活度不超过 $10ALI_{min}$ ；

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。

注： ALI_{min} 是相应职业照射的食入和吸入ALI值中的较小者，其具体数值可按B1.3.4和B1.3.5条的规定获得。

二、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）

（1）CT设备防护性能的专用要求

①在扫描程序开始之前，应指明某一扫描程序期间所使用的CT运行条件。

②对于任意一种CT扫描程序，都应在操作者控制台上显示剂量信息。

③应设置急停按钮，以便在CT扫描过程中发生意外时可以及时停止出束。

（2）X射线设备机房布局

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。

②X射线设备机房（照射室）的设置应充分考虑邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护与安全。

③每台固定使用的X射线设备应设有单独机房，机房应满足使用设备的布局要求。

④对新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、最小单边长度应不小于表7-6要求。

表 7-6 X射线设备机房（照射室）使用面积及单边长度

设备类型	机房内最小有效面积 m^2	机房内最小单边长度 m
CT机	30	4.5

b.单管头、双管头或多管头X射线机的每个管球各安装在1个房间内。

（3）X射线设备机房屏蔽防护应满足如下要求

①不同类型X射线设备机房的屏蔽防护应不小于表7-7要求。

②机房的门和窗关闭时应满足表7-7要求。

表 7-7 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	屏蔽防护铅当量要求（ $mmPB$ ）
CT机	2.5

（4）X射线设备机房屏蔽体外剂量水平：

CT机的周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；测量时，X射线设备连续出束时间应大于仪器响应时间。

(5) X射线设备工作场所防护

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受检者状态及防护门开闭情况。

②机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。

③机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。

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。

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电动推拉门宜设置防夹装置。

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机房出入口宜处于散射辐射相对低的位置。

三、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）

(1) 工作场所平面布局和分区

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。

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风间，进行污染监测。

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；

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、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GB 18871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。

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。

（2）放射防护措施要求

①核医学的工作场所应按照非密封源工作场所分级规定进行分级，并采取相应防护措施。

②应依据计划操作最大量放射性核素的加权活度对开放性放射性核素工作场所进行分类管理，把工作场所分为I、II、III三类。不同类别核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求见表7-8，核医学工作场所分类的加权活度计算方法见附录G。

表 7-8 不同核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求

种类	分类		
	I	II	III
结构屏蔽	需要	需要	不需要
地面	与墙壁接缝无缝隙	与墙壁接缝无缝隙	易清洗
表面	易清洗	易清洗	易清洗
分装柜	需要	需要	不必须
通风	特殊的强制通风	良好通风	一般的自然通风
管道	特殊的管道 ^a	普通管道	普通管道
盥洗与去污	洗手盆 ^b 和去污设备	洗手盆 ^b 和去污设备	洗手盆 ^b

a 下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修检测；
b 洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制。

③核医学工作场所的通风按表7-8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。

④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控制区入口应设置电离辐射警告标志。

⑥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。

⑦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。

⑧扫描室外防护门上方应设置工作状态指示灯。

(3) 工作场所的防护水平要求

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2.5μSv/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25μSv/h，宜不大于2.5μSv/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25μSv/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。

四、《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）；

1. 一般要求

（1）非密封源工作场所应实行严格的分级管理，分区、分级管理的措施，应遵循GB18871-2002的要求。

（2）宜在辐射工作场所的醒目位置悬挂（张贴）辐射警告标志，人员通行和放射性物质传递的路线应严格执行相关规定，防止发生交叉污染。应制定严格的辐射防护规程和操作规程。

（3）操作非密封源的单位应制定辐射防护大纲并对其实施和评价负全面责任。单位应设立相应的安全与防护机构（或专、兼职安全与防护人员），并用文件的形式明确规定其职责。

（4）应建立安全与防护培训制度，培植和保持工作人员良好的安全文化素养，自觉遵守规章制度，掌握辐射防护基本原则、防护基本知识及辐射防护技能。

（5）辐射工作人员对某些操作程序必要时应事先进行模拟试验、冷试验、热试验，当熟练掌握操作技能后方可正式开展工作。

（6）如果操作过程中发现异常情况，应及时报告，并分析原因，采取措施，防止重复发生类似事件。

（7）应定期检查工作场所各项防护与安全措施的有效性，针对不安全因素制定相应的补救措施，并认真落实，确保工作场所处在良好的运行状态。

（8）在原有设施条件下开展新工作（包括工艺流程的重大改变和提高放射性核素日等效最大操作量），如果计划操作的放射性核素种类、操作量、操作方式以及防护设施和设备的要求超出原设计规范，应事先向主管部门提交防护与安全分析报告，经主管部门审查批准后方可进行。

（9）如进行存在临界安全问题的操作，应同时遵守国家有关临界安全的规定。

2 操作条件

（1）非密封源的操作应根据所操作的放射性物质的数量和特性，选择符合安全与防护要求的条件，尽可能在通风柜、工作箱或手套箱内进行。

（2）操作过程中所用的设备、仪器、仪表、器械和传输管道应符合安全与防护要求。吸取液体的操作应使用合适的负压洗液器械，防止放射性液体溅出、溢出，造成污染。储存放射性溶液的容器应由不易破裂的材料制成。

（3）有可能造成污染的操作步骤，应在铺有塑料或不锈钢等易去除污染的工作台

面上或搪瓷盘内进行。

(4) 操作中使用的容器，必要时应在其外面加一个能足以容纳其全部放射性溶液的不易破裂的套筒。

(5) 操作易燃易爆物质，或操作中使用高温、高电压和高气压设备时，应有可靠的防止过热或超压的保护措施，并遵守国家有关安全规定。

(6) 伴有强外照射的操作，应尽可能缩短操作时间，利用合适的屏蔽或采取长柄操作机械等防护措施。

(7) 若需要进行开启密闭工作箱门放入或取出物品及其他危险性较大的操作时，应采取安全防护措施，并在防护人员监督下进行。

(8) 进行污染设备检修时，应当事先拟出计划。主要的工作内容及采取的防护措施，经现场防护人员审查同意并落实辐射防护措施后方可进行。

五、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）

(1) 开展核医学活动的工作场所应实行分级管理。

(2) 开展核医学活动的辐射工作场所应划分出控制区和监督区，合理布局工作场所，规划好人流、物流、气流路径，妥善收集、暂存和处理核医学活动中产生的放射性废物。

(3) 医疗机构应对开展核医学活动的工作场所和周围环境进行定期的辐射监测和评估，证明采取的辐射防护与安全措施的合理性。

(4) 开展核医学活动的医疗机构应制定恰当的辐射事故应急预案，做好辐射事故应急准备和响应工作安排，有效防范辐射事故或缓解辐射事故的后果。

(5) 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、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。

(6) 结合本项目辐射防护以及环境情况等特点，将核医学科-1F回旋加速器机房、热室、质控室、洗衣间、更衣室、更换鞋室、无菌检测、拆包、缓冲、废物间、库房、回旋加速器机房及1F PET/CT机房、SPECT/CT机房、甲功室、诊室、复核实验室、药品传递室、注射室、废物间、注射后候诊区、VIP房、留观室、抢救室、患者走廊等区域划分为控制区；将核医学科-1F办公室等区域及1F PET/CT机房操作走廊、风机房等区域划分为监督区。

(7) 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。

(8) 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。

(9) 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。

(10) 核医学工作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑。

(11) 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。

(12) 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。

(13) 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。

(14) 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。

(15) 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。

(16) 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 $10\mu\text{Sv/h}$ 。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 $25\mu\text{Sv/h}$ 。

(17) 固体放射性废物收集桶、暴露于地面致使人员可以接近的放射性废液收集罐体和管道应增加相应屏蔽措施，以保证其外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于

2.5 μ Sv/h。

(18) 放射性物质贮存在专门场所内，并应有适当屏蔽。

(19) 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。

(20) 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。

(21) 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。

(22) 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。

(23) 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。

(24) 扫描机房外门框上方应设置工作状态指示灯。

(25) 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。

(26) 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。

(27) 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。

(28) 应根据核医学实践中产生废物的形态及其中的放射性核素的种类、半衰期、活度水平和理化性质等，按放射性废物分类要求将放射性废物进行分类收集和分别处理。

(29) 应按照废物最小化的原则区分放射性废物与解控废物，不能混同处理，应尽量控制和减少放射性废物产生量。

(30) 核医学实践中产生的短寿命放射性废物，应尽量利用贮存衰变的方法进行处理，待放射性核素活度浓度满足解控水平后，实施解控。不能解控的放射性废物，应送交有资质的放射性废物收贮或处置机构进行处理。

(31) 应建立放射性废物收集、贮存、排放管理台账，做好记录并存档备案。

(32) 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。

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

(34) 回旋加速器机房的电缆管沟、通风管道等穿过屏蔽体时，应采用地沟或S型、V型、Z型穿过墙壁，并进行屏蔽补偿，确保满足屏蔽体墙外的防护要求。防护门与墙体连接处应进行有效搭接，避免出现防护薄弱环节。

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

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

(37) 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。

六、《粒子加速器辐射防护规定》（GB5172-1985）要求

1. 剂量当量限值

(1) 职业放射性工作人员全身受到照射的剂量当量或全身受到不均照射的有效量当量均不得超过每年50mSv(5rem)；公众中的个人，均不得超过每年5mSv(0.5rem)。

(2) 职业放射性工作人员眼晶体的剂量当量不得超过每年50mSv(5rem)；其他组织或器官的剂量当量均不得超过每年500mSv(50rem)；公众中的个人，任何器或组织的剂量当量均不得超过每年50mSv(5rem)。

(3) 在只受到外照射的情况下，深部剂量当量指数应低于每年50mSv(5rem)。

(4) 必要时经辐射安全机构批准，可允许放射性作业人员接受年剂当限值的照射。但1次事件接受的剂量当量或剂量当量负担，不得超过年限值的2倍；一生中这种照射总共接受的剂量当量或剂量当量负担，不得大于年限值的5倍。具有生育能力的妇女和未满18周岁者，不得接受这种照射。

(5) 从事放射性工作的孕妇、哺乳妇女以及年龄16~18周岁的人员。应在1年的照射不超过年剂量当量限值3/10的条件下工作，并要求剂量当量率比较均匀。未满16周岁者，禁止从事放射性工作。

(6) 从事加速器工作的全体放射性工作人员，年人均剂量当量应低于5mSv (0.5rem)。

(7) 放射性物质污染表面的水平应低于附录D所列数值。

(8) 加速器产生的杂散辐射、放射性气体和放射性废水等，对关键居民组中的个人造成的有效剂量当量应低于每年0.1mSv (10rem)。

2.辐射安全管理

2.1辐射安全机构及职责

(1) 凡有加速器的单位，必须根据该单位拥有的加速器的数量和复杂程度，成立一个辐射安全机构或任命专（兼）职辐射安全员。

(2) 辐射安全机构的职责：

①根据本规定要求，协同有关机构制定实施细则并监督执行；

②对运行人员和实验人员进行有关辐射安全方面的教育和训练；

③向本单位主管部门定期报告监测结果，并提出辐射安全评价和意见；

④参与辐射安全事故的调查和处理；

⑤检查辐射安全设施，监测辐射水平，控制辐射危害，将必要情况通知运行人员和实验人员；对重大的异常情况及时报告本单位主管部门；

⑥由于辐射安全方面的原因，辐射安全人员有权提出停止加速器的运行。

2.2健康管理

(1) 对准备从事加速器工作的人员，须进行就业前的体格检查，健康合格者才能参加这项工作。

(2) 对已从事加速器工作的人员，应定期进行医学检查，建立健康档案，并根据健康状况做出其从事的放射性工作是否适宜或应受到某种限制的鉴定。

(3) 对接受过应急照射或事故照射的人员，须受照射程度进行追踪研究和采取一

定的处理措施（包括劳保待遇）。

（4）对已确诊为放射性职业病的人员，除应按有关规定给予必要的劳保待遇外，还应采取完善的医疗措施，使他早日康复等。

3.环境保护和三废治理

（1）凡有加速器的单位，应做好环境保护工作，力求减少放射性“三废”的产生量，并尽可能少地向环境排放放射性物质。

（2）有加速器的单位，要根据放射性“三废”产生的情况，建立相应的放射废水、废物的储存场所或处理设施。

（3）放射性废物要按其半衰期长短及可否焚烧进行分类处理。焚烧放射性废物时应有专门的焚烧炉。

（4）必须严格控制加速器设施内放射性废水（主要指活化的冷却水）的排放。排放前，必须采取放置衰变措施和净化过滤措施，必须进行辐射监测。

（5）使用含氙量较高的氙靶或产生气载放射性水平较高的加速器，前级泵的排出口或通风系统应采取净化过滤措施。

（6）加速器设施对环境的危害情况，每年应做1次调查或评价，特殊情况下应及时进行环境监测和评价。

七、《医疗机构制备正电子类放射性药品管理规定》

（1）医疗机构配置PET/CT或PET设备，应当持有卫生行政主管部门的配置与使用许可证明文件。医疗机构使用正电子类放射性药品应当持有第Ⅱ类以上（含第Ⅱ类）《放射性药品使用许可证》医疗机构制备正电子类放射性药品应当持有第Ⅲ类以上（含第Ⅲ类）放射性药品使用许可证。

（2）医疗机构制备正电子类放射性药品，应当持有卫生行政主管部门的PET/CT或PET设备配置与使用许可证明文件，并须填写《医疗机构制备正电子类放射性药品申请表》，经所在地省、自治区、直辖市卫生行政主管部门审核同意，向省、自治区、直辖市药品监督管理部门提出制备正电子类放射性药品申请并报送有关资料。

（3）医疗机构之间调剂正电子类放射性药品时，发送机构必须采用配有固定放射性药品设施的封闭车辆运送正电子类放射性药品。

八、《关于核医学标准相关条款咨询的复函》

（1）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）第6.1.5节规定，距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面30cm处的周围剂量当量率应小

于2.5uSv/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10uSv/h。本条规定的具体含义为：

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

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

（2）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）第6.3.4节规定，手套箱、通风橱等密闭设备应设计单独的排风系统。单独的排风系统作为手套箱、通风橱等设备的排风管道在汇入“主排风管道前”的部分，应独立设置，防止发生气体回流和交叉污染。经过滤后的气体汇入到一个主管道中排放不违反标准要求。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理位置和场所位置

本项目建设地点位于宁夏回族自治区银川市金凤区正源北街301号宁夏回族自治区人民医院本部现有4#楼肿瘤综合楼核医学科，其北侧为培训中心，东侧为绿化空地，南侧为自治区重大疫情救治基地，西侧为氧疗中心。项目地理位置图见图1.1，宁夏回族自治区人民医院本部平面布局示意图见图1.2。

8.2 辐射环境现状监测

8.2.1 检测因子及监测点位

依据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）、《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021），宁夏盛世蓝天环保技术有限公司于2023年10月12日对本项目核医学科区域及周围环境进行了环境辐射本底水平现状检测，检测报告详见附件4。

检测因子：本项目PET/CT机房、回旋加速器机房环境地表 γ 辐射瞬时剂量率。

监测点位：本次在地下-1F回旋加速器机房附近及热室附近布设11个环境辐射现状检测监测点位，地上1F PET/CT机房附近布设10个环境辐射现状监测点位，共布设21个环境辐射现状监测点位，监测布点见图8.1、图8.2。

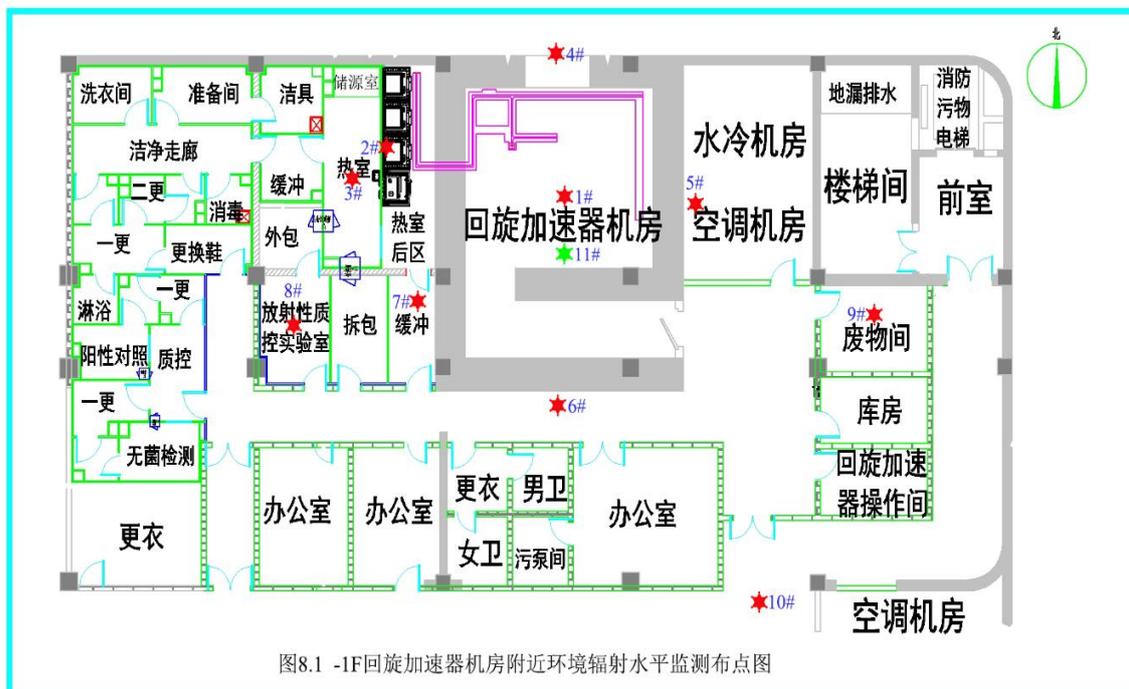
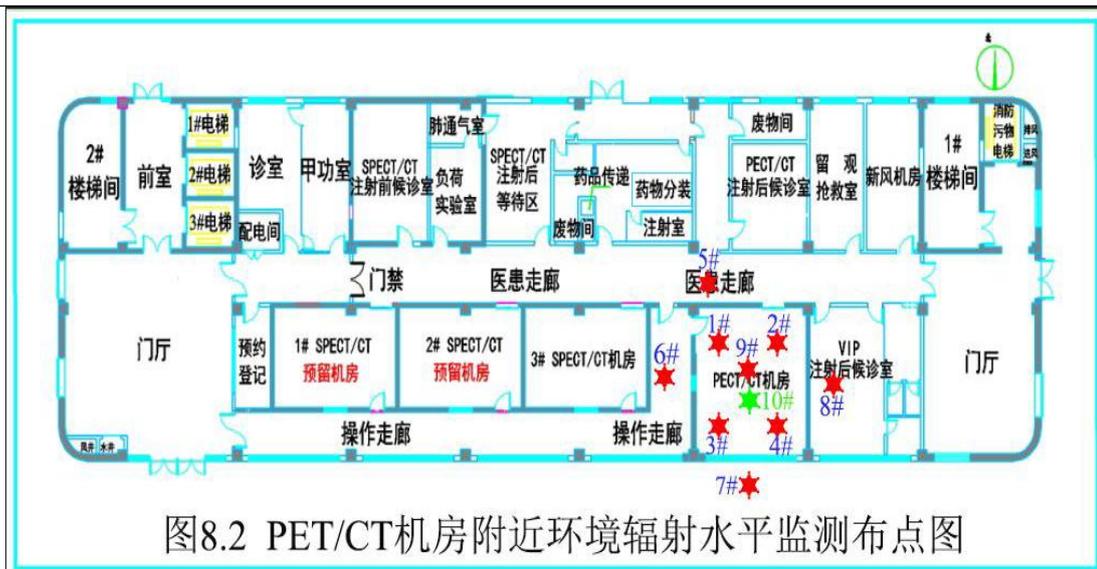


图8.1 -1F回旋加速器机房附近环境辐射水平监测布点图



8.2.2 检测时间、环境条件、检测方法、检测仪器

检测时间：2023年10月12日

环境条件：环境温度25.4℃，湿度32.4%

检测方法：本次环境辐射剂量率监测严格按照《辐射环境监测技术规范》（HJ/T61-2021）、《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157—2021）的相关要求进行监测。

检测仪器：本项目使用的检测仪器情况见下表。

表 8-1 检测仪器参数情况一览表

检测项目	γ辐射瞬时剂量率			
	仪器名称及型号	测量范围	生产厂家	检定与校准
检测仪器	便携式X、γ辐射周围剂量当量率仪 仪器型号：MR-3512	10nGy/h~100mGy/h	微影（上海）仪器科技有限公司	出厂编号：DR2023G230 设备编号：LT-DL04 检定单位：上海市计量测试技术研究院 检定证书号：2023H21-20-484 2274001 证书有效期：2023年9月21日—2024年9月20日
经检测仪器对宇宙射线响应值为：28.1nSv/h (平罗县沙湖106°21'34.36"38°48'48.59"海拔1101米)				

8.2.3 质量保证措施

- (1) 合理布设监测点位，保证各监测点位布设具有代表性、科学性和可比性；
- (2) 采用国家有关部门颁布的标准方法，监测人员经考核并持有合格证书上岗；

- (3) 检测仪器已经过计量部门检定，并处于有效期内；
- (4) 由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录；
- (5) 检测报告严格实行三级审核制度，经过校对、校核，最后由技术总负责人签发。

8.2.4检测结果

本项目工作场所现状检测结果见表8-2。

表 8-2 本项目工作场所现状检测结果一览表

序号	检测点位	γ 辐射瞬时剂量率 (nGy/h)	相对扩展不确定度 U_R , % (k=2)
4#肿瘤楼核医学科-1F			
1	回旋加速器机房	113±1.49 (84.9±1.49)	6.5
2	给药室	110±1.50 (81.9±1.50)	6.6
3	热室	112±1.82 (83.9±1.82)	6.6
4	回旋加速器机房北墙外	93.8±0.56 (65.7±0.56)	6.5
5	回旋加速器机房东墙外	119±1.61 (90.9±1.61)	6.6
6	回旋加速器机房南墙外	120±2.06 (91.9±2.06)	6.6
7	回旋加速器机房西墙外	112±1.98 (83.9±1.98)	6.6
8	放射性质控实验室	111±1.08 (82.9±1.08)	6.5
9	固体废物暂存间	120±1.89 (91.9±1.89)	6.6
10	回旋加速器机房外走廊	128±1.50 (99.9±1.50)	6.5
11	回旋加速器机房楼上	100±1.41 (71.9±1.41)	6.6
4#肿瘤楼核医学科1F			
1	PET/CT机房内部西北侧	102±1.41 (73.9±1.41)	6.6
2	PET/CT机房内部东北侧	102±1.87 (73.9±1.87)	6.6
3	PET/CT机房内部西南侧	103±1.43 (74.9±1.43)	6.6
4	PET/CT机房内部东南侧	102±1.64 (73.9±1.64)	6.6
5	PET/CT机房北墙外	135±1.90 (106.9±1.90)	6.6
6	PET/CT机房西墙外	112±1.71 (83.9±1.71)	6.6
7	PET/CT机房南墙外	111±2.25 (82.9±2.25)	6.6
8	PET/CT机房东墙外	112±1.56 (83.9±1.56)	6.6
9	PET/CT机房楼下	112±1.81 (83.9±1.81)	6.6
10	PET/CT机房楼上	111±2.16 (82.9±2.16)	6.6
对照点			
	对照点	111±1.72 (82.9±1.72)	6.6
注：()中检测结果为扣除仪器对宇宙射线的响应值；取平罗县沙湖平均海拔1101m修正后的宇宙射线响应值28.1nSv/h；其中屏蔽修正因子取1.0（原野）。			

参考《全国环境天然贯穿辐射水平调查研究（1983-1990）》，宁夏地区道路 γ 剂

量率范围为34.7~104.1nGy/h，室内γ剂量率范围为62.3-137.8nGy/h。本项目拟建辐射工作场所环境辐射水平处于65.7±0.56nGy/h~106.9±1.90之间，处于宁夏地区道路和室内γ剂量率范围，未发现辐射水平异常。

8.3 核医学科工作场所表面污染检测结果

本次工作场所表面污染检测结果引用宁夏回族自治区人民医院于2023年8月26日由长润安测科技有限公司实地检测报告（CRNX-FW-64020230374-003），详见附件5。

表 8-3 工作场所表面污染检测结果一览表

MDL: 0.03Bq/cm ²					
检测点位	工作场所	标准要求 (Bq/cm ²)	检测结果 (Bq/cm ²)	单项结论	备注
1	检查室（3）地面	≤4×10	< MDL	合格	⁹⁹ Tc ^m 控制区
2	检查室（3）墙面	≤4×10	< MDL	合格	⁹⁹ Tc ^m 控制区
3	检查室（3）工作人员门把手	≤4×10	< MDL	合格	⁹⁹ Tc ^m 控制区
4	检查室（3）受检者门开关	≤4×10	< MDL	合格	⁹⁹ Tc ^m 控制区
5	检查室（3）设备表面	≤4×10	< MDL	合格	⁹⁹ Tc ^m 控制区
6	检查室（3）设备床面	≤4×10	< MDL	合格	⁹⁹ Tc ^m 控制区
7	SPECT/CT探头一表面	≤4×10	< MDL	合格	⁹⁹ Tc ^m 控制区
8	SPECT/CT探头二表面	≤4×10	< MDL	合格	⁹⁹ Tc ^m 控制区
9	检查室（3）铅垃圾桶表面	≤4×10	< MDL	合格	⁹⁹ Tc ^m 控制区
10	注射前候诊室地面	≤4×10	< MDL	合格	⁹⁹ Tc ^m 控制区
11	注射前候诊室墙面	≤4×10	< MDL	合格	⁹⁹ Tc ^m 控制区
12	注射前候诊室门把手	≤4×10	< MDL	合格	⁹⁹ Tc ^m 控制区
13	注射前候诊室椅面	≤4×10	< MDL	合格	⁹⁹ Tc ^m 控制区
14	注射前候诊室桌面	≤4×10	< MDL	合格	⁹⁹ Tc ^m 控制区
15	负荷试验室地面	≤4×10	< MDL	合格	⁹⁹ Tc ^m 控制区
16	负荷试验室墙面	≤4×10	< MDL	合格	⁹⁹ Tc ^m 控制区
17	负荷试验室门把手	≤4×10	< MDL	合格	⁹⁹ Tc ^m 控制区
18	负荷试验室运动车表面	≤4×10	< MDL	合格	⁹⁹ Tc ^m 控制区
19	负荷试验室铅垃圾桶表面	≤4×10	< MDL	合格	⁹⁹ Tc ^m 控制区
20	负荷试验室床面	≤4×10	< MDL	合格	⁹⁹ Tc ^m 控制区
21	注射后候诊室地面	≤4×10	< MDL	合格	⁹⁹ Tc ^m 控制区
22	注射后候诊室墙面	≤4×10	< MDL	合格	⁹⁹ Tc ^m 控制区
23	注射后候诊室椅面	≤4×10	< MDL	合格	⁹⁹ Tc ^m 控制区
24	注射后候诊室桌面	≤4×10	< MDL	合格	⁹⁹ Tc ^m 控制区
25	注射后候诊室注射车表面	≤4×10	< MDL	合格	⁹⁹ Tc ^m 控制区
26	注射后候诊室南门门把手	≤4×10	< MDL	合格	⁹⁹ Tc ^m 控制区

27	注射后候诊室南东门门把手	$\leq 4 \times 10$	< MDL	合格	$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ 控制区
28	注射后候诊室铅垃圾桶表面	$\leq 4 \times 10$	0.17	合格	$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ 控制区
29	患者卫生间地面	$\leq 4 \times 10$	< MDL	合格	$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ 控制区
30	患者卫生间墙面	$\leq 4 \times 10$	< MDL	合格	$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ 控制区
31	患者卫生间门把手	$\leq 4 \times 10$	< MDL	合格	$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ 控制区
32	患者卫生间马桶表面	$\leq 4 \times 10$	0.18	合格	$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ 控制区
33	肺通气室地面	$\leq 4 \times 10$	< MDL	合格	$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ 控制区
34	肺通气室墙面	$\leq 4 \times 10$	< MDL	合格	$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ 控制区
35	肺通气室门把手	$\leq 4 \times 10$	< MDL	合格	$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ 控制区
36	肺通气室床面	$\leq 4 \times 10$	< MDL	合格	$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ 控制区
37	放射性废物室地面	$\leq 4 \times 10$	< MDL	合格	$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ 控制区
38	放射性废物室墙面	$\leq 4 \times 10$	< MDL	合格	$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ 控制区
39	放射性废物室门把手	$\leq 4 \times 10$	< MDL	合格	$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ 控制区
40	注射室地面	$\leq 4 \times 10$	< MDL	合格	$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ 控制区
41	注射室墙面	$\leq 4 \times 10$	< MDL	合格	$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ 控制区
42	注射室南东门把手	$\leq 4 \times 10$	< MDL	合格	$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ 控制区
43	注射室北东门把手	$\leq 4 \times 10$	< MDL	合格	$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ 控制区
44	注射室桌面	$\leq 4 \times 10$	< MDL	合格	$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ 控制区
45	注射室通风橱表面	$\leq 4 \times 10$	< MDL	合格	$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ 控制区
46	注射室注射台表面	$\leq 4 \times 10$	< MDL	合格	$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ 控制区
47	注射室铅垃圾桶表面	$\leq 4 \times 10$	0.18	合格	$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ 控制区
48	注射室洗手池表面	$\leq 4 \times 10$	< MDL	合格	$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ 控制区
49	留观室地面	$\leq 4 \times 10$	< MDL	合格	$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ 控制区
50	留观室墙面	$\leq 4 \times 10$	< MDL	合格	$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ 控制区
51	留观室门把手	$\leq 4 \times 10$	< MDL	合格	$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ 控制区
52	患者走廊地面	$\leq 4 \times 10$	< MDL	合格	$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ 控制区
53	患者出口门把手	$\leq 4 \times 10$	< MDL	合格	$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ 控制区
54	工作人员手表面	$\leq 4 \times 10^{-1}$	< MDL	合格	$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$
55	工作人员皮肤表面	$\leq 4 \times 10^{-1}$	< MDL	合格	$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$
56	工作人员工作服表面	≤ 4	< MDL	合格	$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$
57	工作人员手套表面	≤ 4	< MDL	合格	$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$
58	工作人员鞋表面	≤ 4	< MDL	合格	$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$

检测结果表明：核医学科工作场所表面污染检测结果均合格。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 PET/CT

9.1.1 PET/CT应用领域

PET/CT (Positron Emission Tomography and Computer Tomography)，全称为正电子发射断层显像/X线计算机体层成像仪，是分子影像领域最先进的显像技术之一，将PET的功能代谢信息与CT解剖形态信息相融合的一种多模态影像成像方式，在肿瘤、心血管、神经系统及各种疑难杂症的诊断和鉴别诊断中具有明显优势。

(1) 肿瘤的早期诊断：能对肺癌、肝癌、结肠癌、淋巴癌、乳腺癌、黑色素瘤、颈部肿瘤、软组织肿瘤、骨髓肿瘤、卵巢肿瘤及其他肿瘤进行早期诊断。其理由是在组织代谢发生功能异常时就能发现病变，而X光、CT、MRI要等组织器官发生明显形态变化时才能发现病灶。从而，PET/CT要比其他影像发现肿瘤早得多。

(2) 良恶性肿瘤的鉴别诊断：通常在常规影像学中发现病变时，很难区别其良恶性，如肺部发现病变中，一般认为肺部结节有50%~60%为良性，CT等影像检查认为恶性而被切除的结节中，仍有20%~40%为良性，经过PET的代谢显像，能理想地鉴别其良恶性，其诊断准确率可达95%~100%。从而可改变手术切除范围或治疗方案，减轻病人的疼痛和创伤。

(3) 恶性肿瘤分期和分级：判断恶性肿瘤是否有区域淋巴结或远隔淋巴结转移，对肿瘤进行临床分期，恶性肿瘤分期和分级是决定治疗方案的重要依据。

(4) 寻找肿瘤原发灶：临床医师经常遇到这样一些病人，只有转移灶的特征，而原发组织器官病灶无法确定，给医生选择治疗方案带来了盲目性，此时做PET/CT全身扫描显像，能有效发现原发灶，其阳性率达90%以上，给临床医生选择治疗药物、治疗方案、是否手术等治疗手段提供了客观依据。

(5) 全身探测恶性肿瘤及其转移：由于PET/CT既能作断层扫描，又能作全身探测性扫描，而且对肿瘤灵敏度高、特异性强，能发现小于1 cm的病灶。该功能可用于健康人的监测和肿瘤患者转移判断。

(6) 放射治疗计划的制定：通过PET/CT检查后可以模拟定位、制定治疗计划、用于适型及调强放疗。

(7) 疗效的评价和预后判断：肿瘤经过有效的放疗、化疗、热疗或其他介入治疗后，肿瘤原有的高糖酵解特性会很快下降，治疗后及时对病灶进行PET/CT功能代谢显像，可了解其治疗效果及其预后判断。帮助医生及时调整治疗方案，达到行之有效的

治疗目的。

(8) 其它：PET/CT除80%的比例应用于肿瘤诊断以外，其他应用于心血管疾病和神经系统疾病：如冠心病的早期诊断，心肌梗死后存活心肌的判断，老年性痴呆诊断和病情评估，癫痫病灶的探测和定位等。

9.1.2 PET/CT工作原理

PET/CT显像检查原理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，由体外探测示踪剂正电子湮灭辐射所产生的光子，然后将获得的信息，通过计算机处理，以解剖影像的形式及其相应的生理参数，显示靶器官或病变组织的状况，借此诊断疾病，又称为生化显像或功能分子显像，是目前唯一可以在活体分子水平完成生物学显示的影像技术；同时结合应用高档多排CT技术进行精确定位，可精确地提供靶器官的解剖和功能双重信息，并能够独立完成多排螺旋CT的临床显像，大大提高临床使用价值。

正电子发射是放射性核素衰变的方式之一。这类核素在自发地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电子，即正电子。正电子是一种反物质，从核内放出后很快与环境中自由电子碰撞湮灭，转化为一对方向相反、能量为0.511MeV的 γ 光子。在这对光子飞行方向上对置一对探测器，便可以几乎同时接收到这两个光子，并可推定光子发射（即正电子发射）源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。

CT是利用X射线进行诊断的，产生X射线的装置主要由X射线管和高压电源组成。X射线管由安装在真空玻璃壳中的阴极和阳极组成，详见图9.1。阴极是钨制灯丝，它装在聚焦杯中，当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，而聚焦杯使这些电子聚集成束，直接向嵌在金属阳极中的靶体射击。靶体一般采用高原子序数的难熔金属制成。高电压加在X射线管的两极之间，使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度，这些高速电子到达靶面为靶所突然阻挡从而产生X射线。

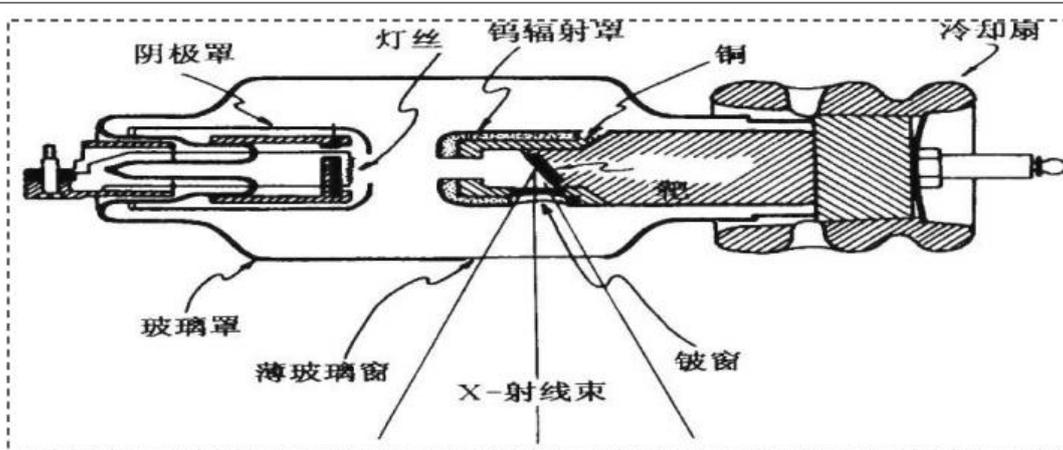


图9.1 X射线管结构原理图



图9.2 PET/CT设备示意图

9.1.3 PET/CT工作流程及产污环节

(1) 诊断规划

根据建设单位提供资料，本项目 ^{18}F 规划日最大操作量为 $1.11 \times 10^{10}\text{Bq}$ 、规划年使用量为 $2.78 \times 10^{12}\text{Bq}$ ， ^{11}C 规划日最大操作量为 $3.7 \times 10^9\text{Bq}$ 、规划年使用量为 $9.25 \times 10^{11}\text{Bq}$ ， ^{13}N 规划日最大操作量为 $5.6 \times 10^9\text{Bq}$ 、规划年使用量为 $1.4 \times 10^{12}\text{Bq}$ ， ^{68}Ga 规划日最大操作量为 $1.48 \times 10^9\text{Bq}$ 、规划年使用量为 $3.70 \times 10^{11}\text{Bq}$ 。上述药物中， ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 由本项目回旋加速器制备获得， ^{68}Ga 由外购发生器后获得。本项目使用的标记物核素以 ^{18}F 为主，属于常规使用的核素，用量最大， ^{68}Ga 核素属于补充型，主要用于某些特定的检查项目，用量相对较少。 ^{18}F 与 ^{68}Ga 均为正电子衰变核素，产生的 γ 射线能量均为 0.5MeV ；而相对于 ^{18}F 而言， ^{68}Ga 的半衰期更短；因此，综上所述，本次评价以 ^{18}F 为主。

(2) PET/CT显像工作流程

①核素制备：医院确定每天用药量，经回旋加速器制备后配送至分装室（ ^{68}Ga 由外购发生器淋洗获得后经质控室检验其放化纯度等指标）；

②分装、药物注射：工作人员认真核对受检者的基本信息，并按受检者的体重利用自动分装仪或手动将正电子药物分装至注射器中，将注射器套上钨合金防护套，再转移至注射窗台；准备好的受检者经过专用通道进入注射区，由医护人员通过注射台为受检者注射药物。

③注射后候诊：注射了放射性药物的受检者进入注射后候检区候诊进行检查前的准备；

④摆位、扫描：注射药物的受检者从注射后候检区直接进入PET/CT机房检查，当受检者依从性不好或者身体状况不佳时，医技人员需要进入机房内伺候受检者摆位，该部分受检者数量占比保守按30%计算，摆位时间平均约2分钟/人次，摆位时利用10mmPb的铅屏风进行辐射防护；扫描时，医技人员在控制室隔室操作。

⑤留观、离开：检查完成后，受检者在留观室短暂留观后通过专用通道离开核医学科。

PET/CT显像工作流程及排污环节示意图9.3，制备流程及产污详见图9.7。

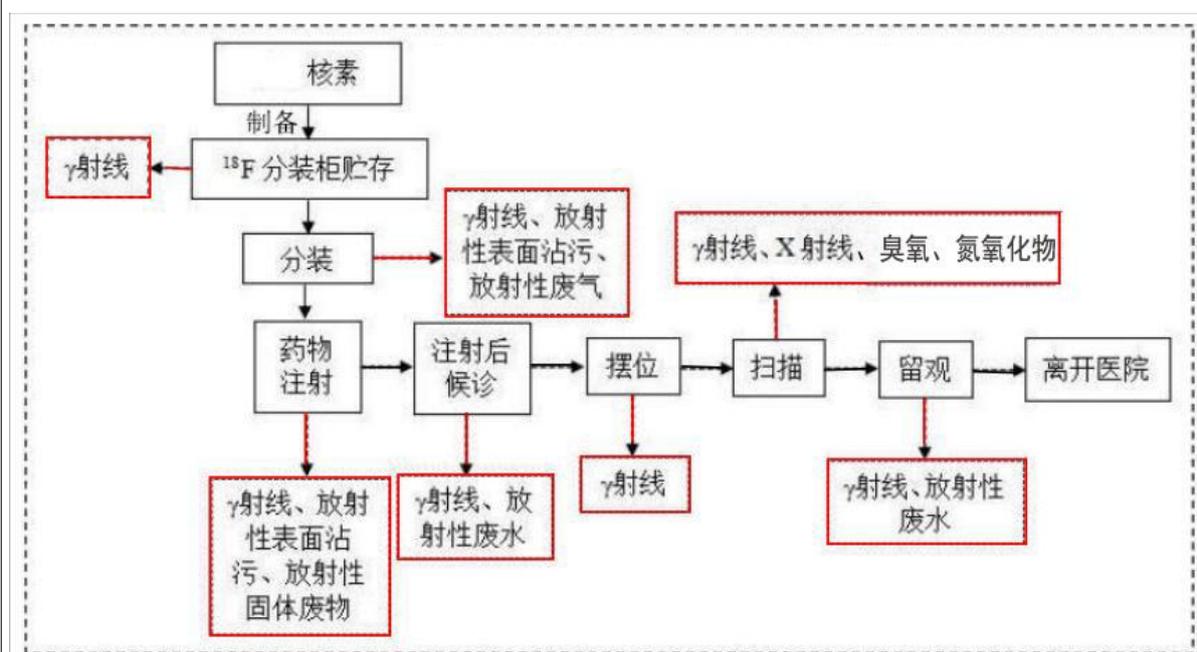


图9.3 PET/CT扫描工作流程及排污环节示意图

(3) ^{68}Ge 校准源工作流程及产污环节

项目使用密封源作PET/CT的校准源，为V类源。 ^{68}Ge 放射源产生的 γ 射线为设备进

行质控校准，以使图像解剖定位更加准确，改善对比度，消除图像畸变，使得深部病灶显示更加清楚。

其工艺流程为：项目根据PET/CT显像情况，定期进行质控校准，第一步将校准源从高活室储源架取出，放入PET/CT设备中，人员离开PET/CT检查室回到控制室开机开始质控校准操作，质控校准结束后，人员进入检查室从PET/CT设备中取出校准源放回原位。工作流程及产污环节见图9.4。放射源的污染物为 γ 射线辐射，无放射性废水和废气产生，废放射源交由自治区核与辐射安全中心贮存后，放宁夏城市放射性废物库贮存。

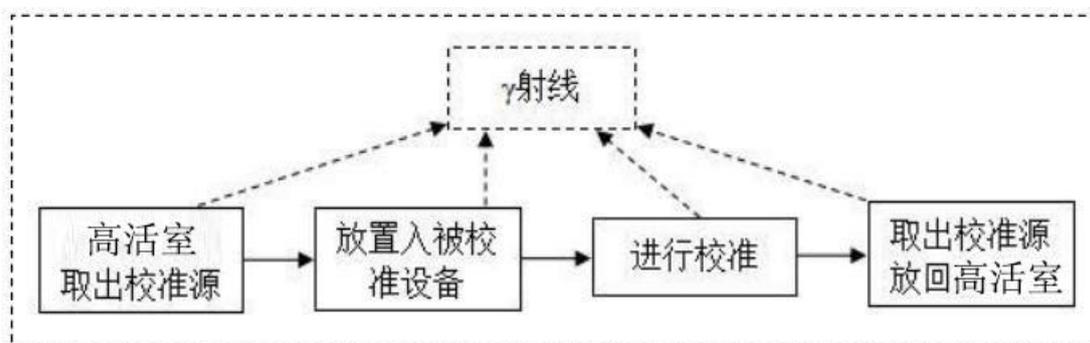


图9.4 PET/CT 质控校准流程及产污环节示意图

9.1.4 人流及物流的路径规划

(1) 工作人员路线及药品路线

PET/CT检查项目工作人员主要分为操作PET/CT设备的医技人员及负责药品分装、注射等操作的医护人员。如图9.5中绿色线路所示，操作PET/CT设备的医技人员从西侧入口进入门厅，由医务人员通道进入PET/CT控制室，因给待检人员摆位需要由操作间出入PET/CT机房。药品注射操作的医护人员从西侧入口进入门厅，进入注射室，注射药品由-1F合成热室制备后通过电梯直接送往1F注射室，避免对人员造成不必要的照射。

医护人员操作非密封放射源工作结束在卫生间通过检测表面污染合格后，方能离开。

(2) 受检者的进出路线

如图9.5中蓝色线路所示，受检者从西侧入口进入门厅，预约登记后进入注射前候诊室，在注射前候诊室候诊，叫号后前往注射室接受注射，注射后往东走进入注射后候诊室或VIP候诊室等待，等待相应时间后进入PET/CT显像机房检查，检查完毕无身体不适的从PET/CT机房出来后由东侧出口离开，如遇特殊情况则进入留观/抢救室处理，确

人可以离开后由东侧出口离开。

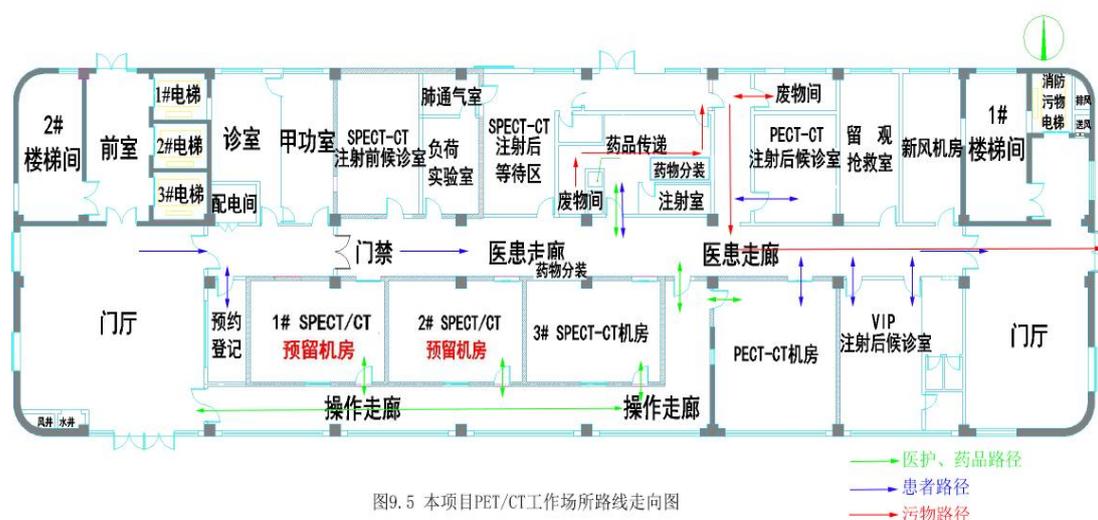


图9.5 本项目PET/CT工作场所路线走向图

(3) 放射性固体废物路线

如图9.5红色路线所示，废物经废物间暂存后，运出。注射位旁设置有脚踏式放射性废物收集桶，项目运行过程产生的可能沾有放射性物质的一次性手套、注射器等固体废物，经收集后定期送至污物间暂存衰变，待其所含放射性核素活度衰变至低于相应核素在GB18871-2002清洁解控水平推荐限值及HJ1188-2021第7.2.3.1款要求后，按一般医疗废物处理。

9.2 回旋加速器

9.2.1 回旋加速器设备构造及原理

回旋加速器原理：回旋加速器通过电流和磁场使带电粒子得到加速轰击靶核后引起的核反应生产放射性核素。在回旋加速器中心部位的离子源（Ion Source）经高压电弧放电而使气体电离发射出粒子束流，该粒子束流在称为 Dees 的半圆形电极盒（简称 D 型盒）中运动。D 型盒与高频振荡电源相连为加速粒子提供交变的电场。在磁场和电场的作用下被加速的粒子在近似于螺旋的轨道中运动飞行。带电粒子经多次加速后，圆周轨道直径达到最大而接近 Dees 的边缘并具有最大的能量，在该点粒子经过束流提取系统的剥离炭膜。被加速的负粒子在通过碳膜期间被脱去二个电子，变成带正电的阳离子，此时，在磁场中粒子的运行轨道是逆时针方向偏转，直接将具有最大能量的带电粒子从真空室引出，通过调整提取膜的位置时引出的束流引导进入所确定的同位素生产靶系统，以一定的初始速度轰击靶体内填充的物质引发核反应。

根据靶物质的不同，该系统在离子加速打靶后可完成临床上所需要的 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 等放射性同位素。其中 ^{18}F 是目前临床使用标记示踪剂最多的正电子放射性核素。

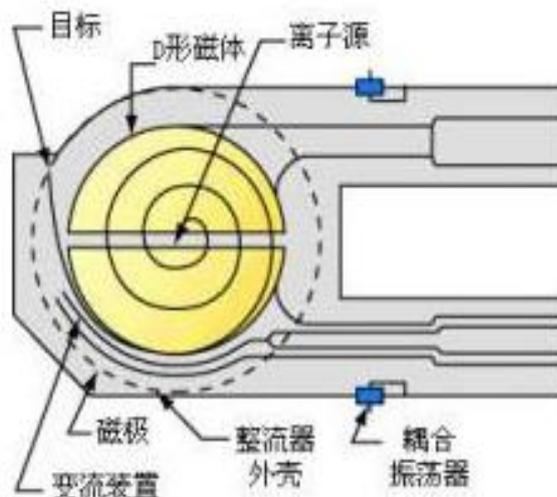


图9.6 回旋加速器的结构原理图

9.2.2 利用回旋加速器制备正电子药物操作流程及产污节点

本项目以生产 ^{18}F -FDG为例，它是利用回旋加速器将质子加速至一定的能量，使其撞击 ^{18}O 发生反应 $^{18}\text{O}(\text{p}, \text{n})^{18}\text{F}$ 而产生 ^{18}F ，回旋加速器生成的 ^{18}F 经标记后用于正电子发射断层成像检查（PET）的注射液。具体制备流程如下：

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

（2）打靶、药物合成：在回旋加速器开机前，工作人员先进入机房进行巡视，确保机房内无人且各个环节准备（靶物质、冷却系统、通风系统等）就绪后，关闭回旋加速器机房防护门，进入回旋加速器控制室内开启回旋加速器。

回旋加速器运行中粒子打击靶体物质生成所需核素后，通过靶体产物传输管道进入合成热室中的合成热室箱进行化学合成，以上整个过程（包括加速器打靶及化学合成）为全自动控制，无工作人员参与，只在控制室监控整个过程的执行情况。

（3）药物质控、转移

化学合成后取样进入全检质控室检验，待检验合格后，制备药物转入铅罐经由专用药物通道进入高活室通风橱。

（4）药物使用：护士对候诊室待诊的患者进行身高、体重、注射剂量和时间等信息登记，建立静脉通道，安静等候注射。

给患者注射示踪剂药物的剂量按操作规程计算，同时根据 ^{18}F 核素的半衰期，一般开始显像的剂量最大不超过 15mCi 进行注射。注射过FDG标记物的患者，按操作规程规定时间在候诊室候诊后进行PET/CT显像。

工作流程图及产污节点详见图9.7。

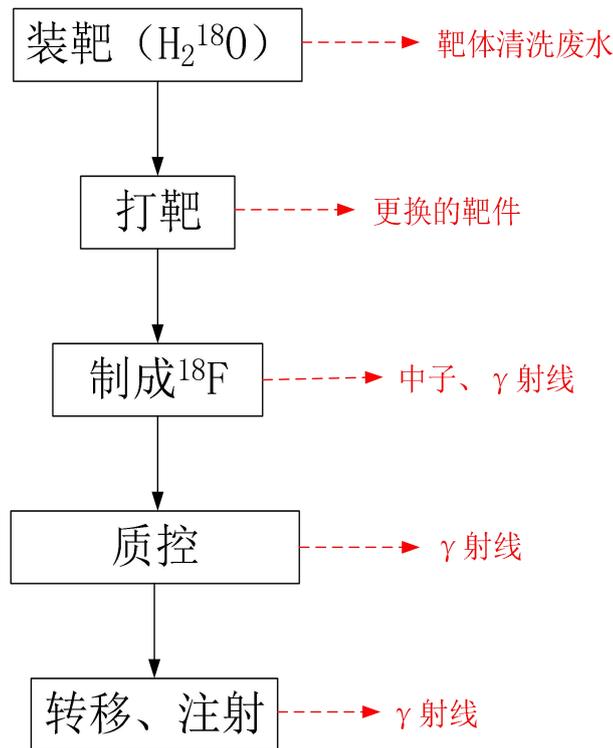


图9.7 回旋加速器工作流程及产污环节图

9.2.3 锆镓发生器组成及工作原理

本项目PECT/CT显像诊断使用的⁶⁸Ga药物是由锆镓发生器淋洗得到的，淋洗剂（0.1M盐酸溶液），锆镓发生器是由较长半衰期的母体核⁶⁸Ge（半衰期约287天）和子体核⁶⁸Ga（半衰期约68min）组成。它具有母体半衰期较长，便于长期使用，子体核半衰期短，降低病人所受的辐射剂量等优点。

锆镓发生器为成熟产品，具有良好的辐射屏蔽。锆镓发生器淋洗系统包括洗脱管和填料筒；填料筒用于盛放吸附剂，吸附剂特异性吸附有⁶⁸Ge；洗脱管包括注入管和输出管；注入管和输出管分别与填料筒两端连接；洗脱剂可以经注入管进入填料筒，再由输出管流出锆镓发生器，将由⁶⁸Ge衰变而成⁶⁸Ga。

本项目医院计划每年订购1次锆镓发生器，单柱发生器的规格不超过500mCi，从具备发生器销售资质的单位直接购买，使用完的废旧发生器交由自治区核与辐射安全中心贮存后，放宁夏城市放射性废物库贮存。

锆镓发生器实物图详见图9.8。



图9.8 锗镓发生器实物图

9.2.4回旋加速器人流及物流的路径规划

(1) 医护人员及维修人员路径

如图9.9中绿色线路所示，医护人员通过东侧楼梯间进入核医学科-1F，出楼梯间后向西进入更衣间，更衣后再向北走更换鞋、一更、二更，通过洁净走廊进入热室，然后进入旁边的药物合成间操作，工作结束后原路返回；

维修人员通过东侧楼梯间进入核医学科-1F，经办公室、缓冲室直接进入热室，维修后原路返回，如图9.9中蓝色线路所示。

核医学科-1F仅医护人员和维修人员可进入。

(2) 物流、放射性固体废物、药品路线路径

医护人员日常工作所需物品（注射器等）经核医学科-1F拆包室送进合成热室，如图9.9中紫色线路所示；

药品经回旋加速器机房内制得后送入热室，经质控实验室检测后由药品传递电梯送至1F药物分装室，药品路线路径见图9.9中黑色线路所示；

放射性固体废物路线如图9.9红色路线所示，注射位旁设置有脚踏式放射性废物收集桶，经收集至废物间后由污物电梯运出。项目运行过程产生的可能沾有放射性物质的一次性手套、注射器等固体废物，经收集后定期送至废物间暂存衰变，待其所含放射性核素活度衰变至低于相应核素在GB18871-2002清洁解控水平推荐限值及HJ1188-2021第7.2.3.1款要求后，按一般医疗废物处理。

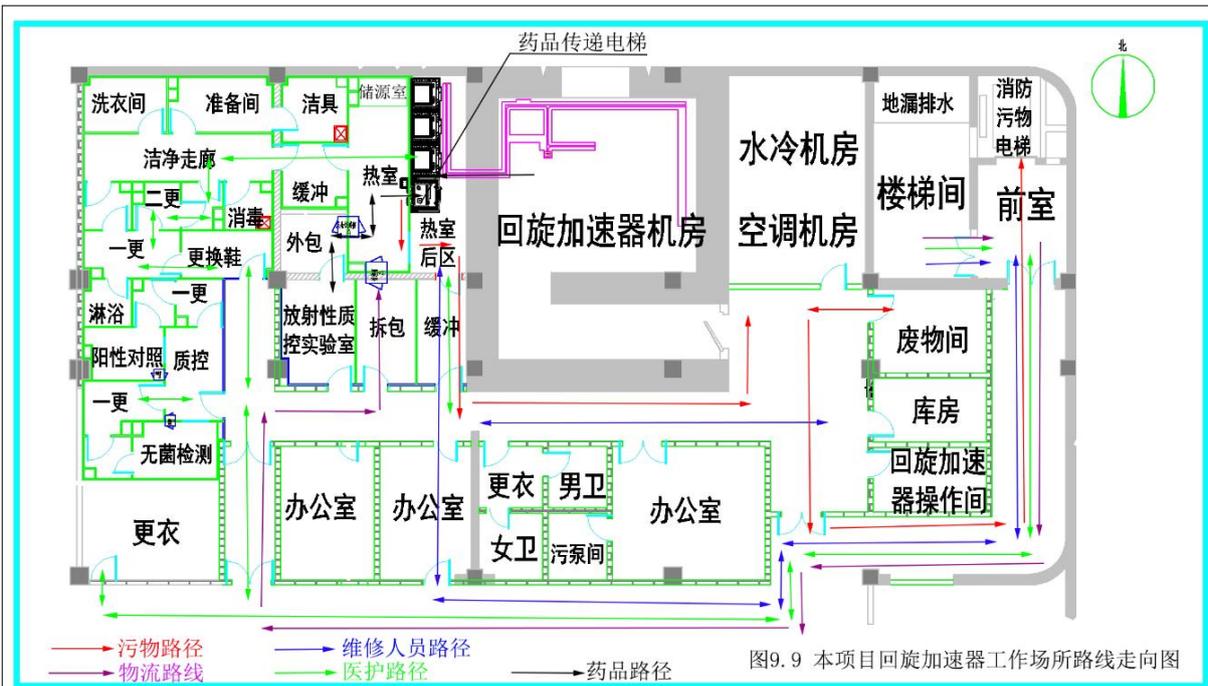


图9.9 本项目回旋加速器工作场所路线走向图

9.3 污染源项描述

9.3.1 正常工况污染源项描述

本项目回旋加速器及PET/CT设备运营过程将产生以下污染：

1、辐射

(1) 中子、 γ 射线贯穿辐射

①本项目使用的放射性同位素在制备过程中伴随回旋加速器使用产生中子以及中子慢化过程产生 γ 射线；正电子核素在发生衰变时会伴随产生 γ 射线，在进行药物贮存、分装、注射等操作时，对周围环境产生 γ 射线贯穿辐射影响。

受检者注射放射性药物后，本身短时间内是一个辐射体（源），对周围的环境可能造成 γ 射线贯穿辐射影响。

②进行PET/CT显像时，受诊病人身体中的放射性核素产生的 γ 射线将对操作人员造成 γ 外照射影响。经过机房的屏蔽， γ 射线或CT运行产生的X射线可能仍有一定的泄漏，环境影响途径为X- γ 射线贯穿辐射影响。

③病人留观时对所在病房周围停留的操作人员和患者可能产生 γ 射线贯穿辐射影响。

④工作人员操作 ^{68}Ge 密封源进行校准作业时会对操作人员造成 γ 射线贯穿辐射影响。

(2) 放射性表面污染

放射性药物在淋洗、标记、分装、注射等活动过程中，可能会引起工作台、地面、

工作服、手套等产生放射性沾污，造成放射性表面污染。

(3) 项目PET/CT设备配套使用的CT装置在开机并处于出线状态时会发出X射线，可能对机房周围环境产生X射线外照射影响。

2、放射性固体废物

(1) 本项目在放射性药品制备、合成时产生含放射性的残留物，如：硅胶、树脂、碳膜、滤膜和靶废材（液体靶、气体靶和靶膜）等，根据类别估算，产生量约26kg/a；

(2) 药品注射过程中会产生一次性注射器、手套、药瓶及病人擦拭废纸等，其产生量大约0.05kg/天，年工作时间按250个工作日计算，则PET/CT检查项目放射性固体废物年产生量约为15kg/a；

(3) 本项目使用的活性炭过滤装置需定期（2次/a）进行更换，更换下的活性炭过滤装置作为放射性固废，产生量约5kg/a；

(4) 退役密封源锞镓发生器

退役密封源发生器交由自治区核与辐射安全中心贮存后，放宁夏城市放射性废物库贮存。

综上，项目每年预计产生上述含放射性固体废物共计46kg，本次新增3个放射性固体废物收集铅桶（单个容积约为30L）一个废物桶可满足超过30天暂存要求；衰变池沉积物交由具备相应危险废物处置资质的单位进行规范处置。

3、废放射源

^{68}Ge 校准源使用一定年限不再使用后，产生报废密封放射源，交由自治区核与辐射安全中心贮存后，放宁夏城市放射性废物库贮存。

4、放射性废水

(1) 靶体清洗废水：对于 ^{18}F 的制备由于使用的是液体靶，每次使用后将进行清洗，产生含有 ^{18}F 的放射性废水，根据建设单位提供资料，靶体清洗废水产生量约1L/次，每年1~2次，共0.002m³/a；

(2) 就诊病人排泄废水：参照同类项目实际情况，PET/CT门诊诊断病人每次入厕和洗手的平均用水量按4L/次，PET/CT检查项目年最大15000次计算，则放射性废水产生量约60m³/a。

(3) 药物质控废水：药物质控废水每次1L，每月开展4次，废水量0.05m³/a；假设每年出现2次应急情况，应急废水总排放量为2m³/a。

(4) 医护人员完成放射性药物操作后清洗去污的废水

工作人员洗手池废水量按60L/天，废水量为15m³/a，工作场所清洁废水量按60L/天，废水量约为15m³/a。

综上所述，本项目放射性废水共计产生量92.052m³/a（0.37m³/d）。

5、放射性废气

回旋加速器运行过程中，室内空气受中子照射后可能产生放射性活化气体，在放射性药物制备、淋洗、标记、药物合成（合成热室、分装热室）及质检过程中，也可能产生微量放射性气体。本项目回旋加速器室及合成室区域均建设了新风和回风系统，该系统采用负压排风方式，于回旋加速器室、热室、质检室设置集气口，并与排放管道相连，可有效排出回旋加速器室内放射性活化气体，可有效降低外排放射性气体浓度，对环境影响较小。

本项目工作场所拟设置良好的通风，工作场所的气流流向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。分装柜设计单独的排风系统，并在密闭设备的顶壁安装活性炭过滤装置。

6、其他气体

回旋加速器和PET/CT运行过程中，空气在γ射线照射下电离产生少量臭氧和氮氧化物。

9.3.2事故工况污染源项描述

本项目拟使用回旋加速器、PET/CT射线装置；利用¹⁸F、¹¹C、¹³N、⁶⁸Ga和⁶⁸Ge五种非密封放射性物质。参考国内外类似项目运营中的资料及国内相关场所的实际考察，现将项目运营中可能出现的辐射事故分列如下：

1、非密封放射性物质工作场所事故工况污染源分析

- (1) 放射性药物试剂发生丢失或被盗，对公众造成误照射；
- (2) 试剂操作时打翻、洒漏造成操作台、地面、仪器设备表面污染；
- (3) 发生火灾造成的放射试剂瓶撒漏，对工作场所造成污染。

非密封放射物质工作场所最大潜在危害及环境风险因子及事故等级列于表9-1。

表 9-1 项目非密封放射性物质的最大潜在危害及环境风险因子及事故等级

项目名称	环境风险因子	可能发生辐射事故的意外条件	受影响人员	危害结果	事故等级
¹⁸ F、 ¹¹ C、 ¹³ N、 ⁶⁸ Ga、 ⁶⁸ Ge非密封放射性物质	γ射线	放射性药物丢失、被盗	公众	短时间内受照射剂量较小，如果持续发生可能受到超过年剂量照射限值	一般辐射事故
	γ、β射线	放射性药物泄漏	职业人员	短时间内受照射剂量较小，如果持续发生可能受到超过年剂量照射限值	一般辐射事故

2、回旋加速器事故工况污染源分析

(1) 安全联锁装置或报警系统发生故障状况下，人员误入正在运行的回旋加速器机房，对职业人员造成误照射；

(2) 加速器在打靶时，由于冷却水断流或流量减少而达不到冷却的要求，束流将局部靶片加热超过熔点，靶窗被打穿，靶物质进入加速器真空系统，冷凝在真空管壁上造成污染；

(3) 制备¹¹C放射性同位素时，热室输送管道破损，¹¹CO₂气体外泄对职业人员造成吸入内照射；

(4) 热室准备联锁装置失效，热室未准备就绪靶液流入热室，导致靶液外泄，对工作场所造成污染。

(5) 放射性药品自动传输电梯出现故障，人工进行药品传输，导致职业人员误照射。

回旋加速器最大潜在危害及环境风险因子及事故等级列于表9-2。

表 9-2 项目回旋加速器的最大潜在危害及环境风险因子及事故等级

项目名称	环境风险因子	可能发生辐射事故的意外条件	受影响人员	危害结果	事故等级
回旋加速器—II类射线装置	中子、γ射线	射线装置失控，人员误入	职业人员	短时间内受照射剂量较小，如果持续发生可能受到超过年剂量照射限值	一般辐射事故
	放射性气载流出物	输送管道破损， ¹¹ CO ₂ 气体外泄	职业人员	受照射剂量不超过20mSv/a	/

3、PET/CT事故工况污染源分析

(1) 门灯联锁装置和报警系统发生故障状况下，人员误入正在运行的射线装置机房，对职业人员或公众造成误照射；

(2) 工作人员或病人家属还未全部撤离机房，外面人员启动设备，造成有关人员

被误照，对工作造成误照射。

PET/CT最大潜在危害及环境风险因子及事故等级列于表9-3。

表 9-3 项目PET/CT的最大潜在危害及环境风险因子及事故等级

项目名称	环境风险因子	可能发生辐射事故的意外条件	受影响人员	危害结果	事故等级
PET/CT—III类射线装置	X射线	射线装置失控，人员误入	职业人员	短时间内受照射剂量较小，如果持续发生可能受到超过年剂量照射限值	一般辐射事故

9.4 劳动定员及工作分配情况

根据建设单位提供资料，现有核医学科配备12名辐射工作人员，本项目不新增工作人员，沿用现有医务工作者，年工作250天计，项目工作人员分配情况见表9-4。

表 9-4 项目工作人员分配情况一览表

序号	项目	操作工序	操作时间	人数/年	人员配置
1	回旋加速器药品制备（淋洗、标记）	使用校准源校准	10min/次	每年12次	物理师1人
		淋洗操作	1周/1次	每年35次	
		分装操作	30s/人次	60人/次 ×250天	化学师1人
		药品制备、转移	2min/人次		护师4人
2	PET/CT检查项目及	注射	30s/人次		护师4人（兼任）
		机房内摆位	2min/人次		技师1人
		药物接收、分装	2min/人次	化学师1人	

9.5 产业政策符合性

根据《产业结构调整指导目录（2024年本）》：本项目属于“鼓励类第十三项、医药类第4条，高端医疗器械创新发展：新型基因、蛋白和细胞诊断设备，新型医用诊断设备和试剂，高性能医学影像设备，高端放射治疗设备，急危重症生命支持设备，人工智能辅助医疗设备，移动与远程诊疗设备，高端康复辅助器具，高端植入介入产品，手术机器人等高端外科设备及耗材，生物医用材料、增材制造技术开发与应用”的类别，符合国家产业政策和发展规划。

本项目的建设将提升宁夏回族自治区人民医院的放射诊疗水平，进一步强化其医疗资源配置，建设更高水平的省级区域医疗中心，为银川市及周边地区上百万群众提供更先进、更便捷的医疗服务，满足人民群众日益增长的医疗服务需求。因此，本项目的建设符合宁夏回族自治区当前的发展规划。

虽然各类放射诊疗设备、放射性药物在使用期间会对环境产生些许的辐射危害，但医院开展放射诊疗为国家社会带来的利益将远大于其辐射危害。宁夏回族自治区人

民医院在开展各类放射诊疗工作期间，将严格按照国家相关法律法规和标准要求，对辐射工作场所采取相应的辐射安全与防护措施，建立健全各项辐射安全管理规章制度、操作规程和辐射事故应急预案。本项目的建设和运行对职业人员、公众以及环境带来的不利影响，远低于其带来的社会效益和经济利益，因此本项目符合“辐射实践的正当性”原则。

表 10 辐射安全与防护

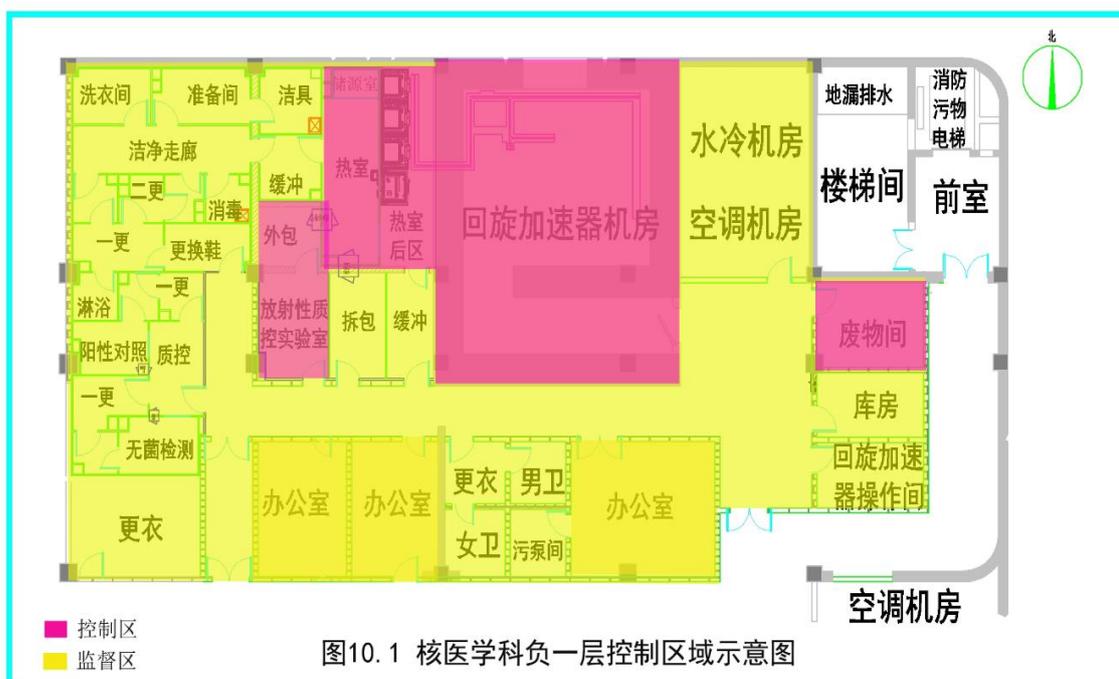
10.1项目安全设施

10.1.1核医学工作场所分区管理

为了便于加强管理，切实做好辐射安全防护工作，按照《电离辐射防护与辐射源安全标准》（GB18871-2002）中的要求在放射性工作场所内划分控制区以及监督区，结合本项目辐射防护以及环境情况等特点，将核医学科-1F回旋加速器机房、热室、质控实验室、外包、废物间等区域划分为控制区，其他区域（除楼梯间、前室、空调机房）划分为监督区；将核医学科1F PET/CT机房操作走廊、新风机房等区域划分为监督区，其他区域（除楼梯间、前室、门厅）划分为控制区。

控制区：在正常工作情况下控制正常照射或防止污染扩散，以及在一定程度上预防或限制潜在照射，要求专门的防护手段和安全措施的限定区域。在控制区域进出口及其他可能行人过往位置处设立醒目的警示标志，运用工作人员工作卡进出和采取门锁及联锁装置等限制进出控制区。

监督区：未被确定为控制区，正常情况下无需采用专门的防护手段或安防措施，但要不断检查其职业照射状况的限定区域。拟在监督区入口及人员路过的合适位置处张贴“当心电离辐射警示标志”，定期检查工作状况，自行巡测确定是否需要防护及安防措施，或是否需要更改监督区的边界。具体划分情况见图10.1和图10.2。



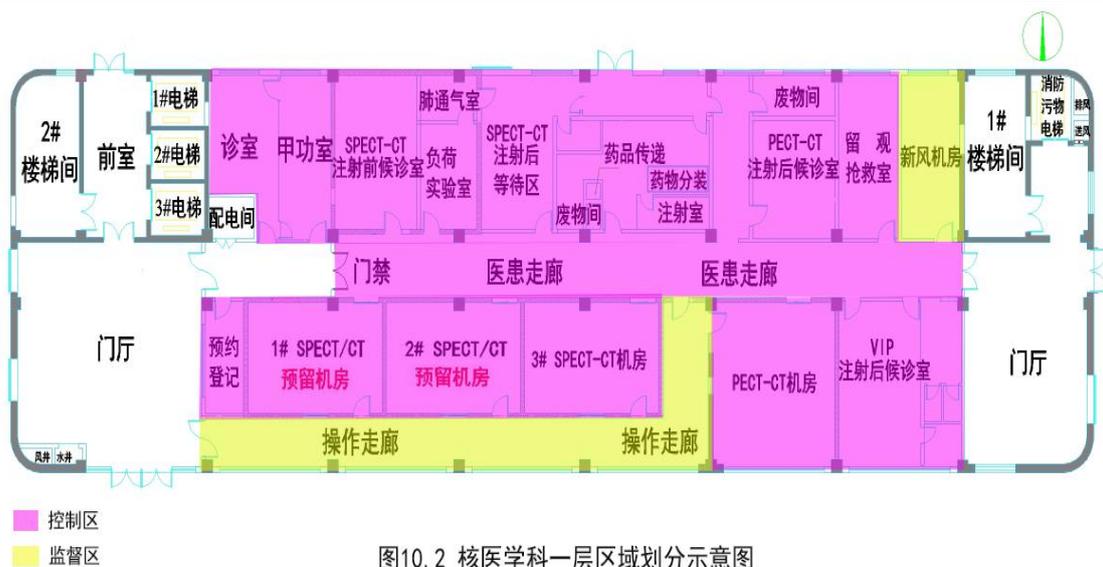


图10.2 核医学科一层区域划分示意图

关于控制区与监督区的防护手段与安全措施，项目建设单位应做到：

(1) 控制区防护手段与安全措施

①控制区进出口及其他适当位置处设立醒目的警告标志，如图10-3；

②制定职业防护与安全管理措施，包括适用于控制区的规则和程序；

③运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可制度）和实体屏障（包括门锁）限制进出控制区；

④在更衣室备有个人防护用品、工作服；

⑤定期检查控制区的实际状况，以确保是否有必要改变该区的防护手段、安全措施或该区的边界。

(2) 监督区防护手段与安全措施

①以黄线警示作为监督区的边界；

②在监督区的入口处的适当地点设立表明监督区的标牌；

③定期检查该区的条件，以确定是否需要采取防护措施和做出安全规定，或是否需要更改监督区的边界。

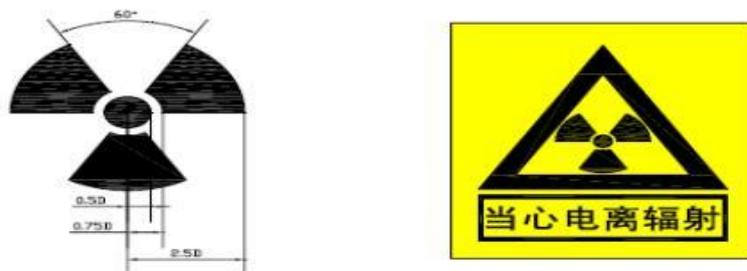


图 10.3 电离辐射标志和电离辐射警示标志

10.1.2 辐射防护屏蔽设计情况

本项目回旋加速器机房位于核医学科-1F预留机房，PET/CT机房位于核医学科1F预留机房，施工内容主要为机房装修及安装铅防护门等。根据建设单位提供资料，本项目辐射防护屏蔽设计见下表。

表 10-1 回旋加速器机房屏蔽设计情况

防护关注点	P ($\mu\text{Sv/h}$)	d_i (m)	理论核算厚度	设计厚度
北墙	2.5	3.5	$\geq 5\text{cm}$ 砼	120cm 砼
东墙	2.5	3.2	$\geq 9\text{cm}$ 砼	120cm 砼
南墙	0.5	6.8	$\geq 10\text{cm}$ 砼	120cm 砼
西墙	0.5	3.2	$\geq 39\text{cm}$ 砼	120cm 砼
顶	0.5	5.1	$\geq 21\text{cm}$ 砼	120cm 砼
防护门	1	5	$\geq 5\text{mm}$ 铅+8cm 含硼聚乙烯	10mm 铅+10cm 含硼聚乙烯

表 10-2 PET/CT 机房屏蔽设计情况

屏蔽体		P ($\mu\text{Sv/h}$)	核算参数	理论核算厚度	设计厚度
PET/CT 机房	顶棚	0.5	$\dot{D}_0 = 76\mu\text{Gy/h}$ $d_i = 3.3\text{m}$	120mm 砼+50mm 硫酸钡	120mm 砼+60mm 硫酸钡
	墙体	2.5	$\dot{D}_0 = 76\mu\text{Gy/h}$ $d_i = 4\text{m}$	240mm 实心砖+20mm 硫酸钡	240mm 实心砖+双面各 20mm 硫酸钡
	观察窗	2.5	$\dot{D}_0 = 76\mu\text{Gy/h}$ $d_i = 4\text{m}$	10mm Pb	8mm Pb
	机房大门	2.5	$\dot{D}_0 = 76\mu\text{Gy/h}$ $d_i = 4.6\text{m}$	8mm Pb	8mm Pb
	机房小门	2.5	$\dot{D}_0 = 76\mu\text{Gy/h}$ $d_i = 5\text{m}$	7mm Pb	8mm Pb

表 10-3 其他用房屏蔽设计情况

屏蔽体		P ($\mu\text{Sv/h}$)	核算参数	理论核算厚度	设计厚度
热合成室	合成柜	2.5	$\dot{D}_0 = 5100\mu\text{Gy/h}$ $d_i = 0.5\text{m}$	75mm Pb	75mm Pb
分装热室	合成柜	2.5	$\dot{D}_0 = 5100\mu\text{Gy/h}$ $d_i = 0.5\text{m}$	65mm Pb	65mm Pb
	铅玻璃观察窗	2.5	$\dot{D}_0 = 5100\mu\text{Gy/h}$ $d_i = 0.5\text{m}$	65mm Pb	65mm Pb
通风橱	橱体	2.5	$\dot{D}_0 = 20\mu\text{Gy/h}$ $d_i = 0.5\text{m}$	65mm Pb	65mm Pb

根据上表可知，医院PET/CT机房均按相关标准要求进行了设计，其机房的屏蔽措施均满足《医用X射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）和《X射线计算机断层摄影放射防护要求》（GBZ165-2012）中较大工作量CT机房一般屏蔽要求。

10.2 辐射安全和防护措施

1、核医学科拟采取的放射防护一般措施

(1) 回旋加速器机房设门-机联锁系统，机房门打开时加速器自动停机，机房门关闭不到位，加速器不能生产；回旋加速器操作间设有故障自动停机系统，故障显示系统；回旋加速器运行启动与辐照参数预选数联锁；回旋加速器操作间及机房、PET/CT机房及操作走廊内设置急停开关。

(2) 回旋加速器和PET/CT机房门口拟悬挂电离辐射警告标志，机房门上设置工作信号指示灯，设置视频监控等装置。

(3) 核医学工作场所的入口及高活性室，如热室、药物注射室、注射后候诊室、留观室、废物间、装有放射性同位素和放射性废物的设备和容器等设置电离辐射警示标志。

(4) 整个区域的入口处、放射性药物储存场所、患者通道内一定位置、注射后候诊室、留观室等位置应设置视频监控系统。

(5) 严格限制病人家属及无关医护技人员进入高活区域，设置相应门禁，保证安全。

(6) 放射性药物的生产量、合成量、使用量、剩余量和相应的操作过程均详细记录，以备核查。

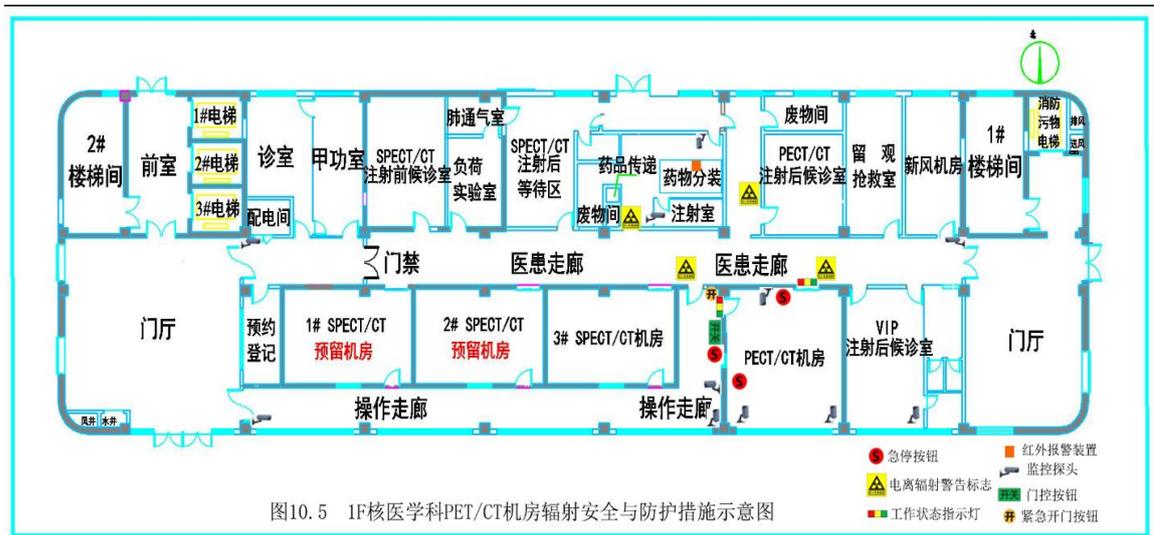
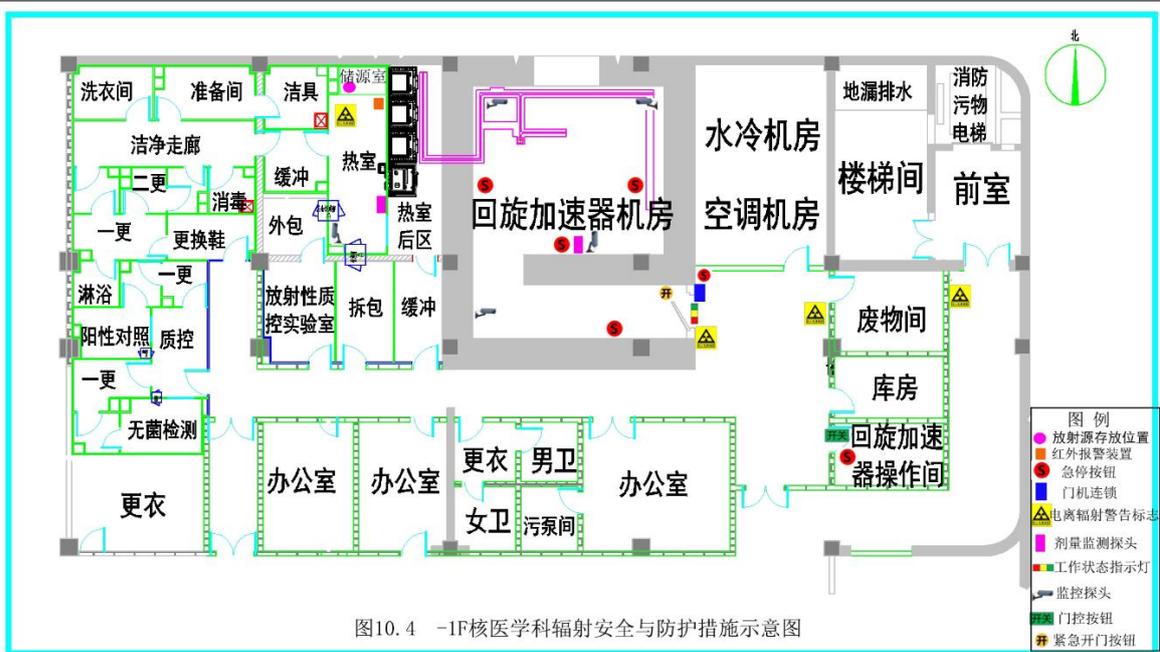
(7) 所有放射性药物的质控、分装等操作放射性药物在通风柜内，通风柜通风速率不小于1m/s；

(8) 设置工作人员专用洗手台盆和卫生通过间；所有上、下水感应式开关均为肘式、脚踏式或红外；设置患者专用卫生间；

(9) 严禁将任何含放射性物质带离指定场所；

(10) 按照《剧毒化学品、放射源存放场所治安防范要求》（GA1002-2012）要求：热室设置视频监控、防盗功能防护门、防闯入报警装置等安防设施；储源室内配备25mmPb储源柜，配置双人双锁、防盗门、防闯入报警装置等措施；热室、储源室各项安防措施须经公安部门验收合格后，场所方可投入使用。

-1F核医学科工作场所及1F（PET/CT）工作场所具体辐射安全设施与防护装置详见图10.4、1F PET/CT工作场所辐射安全设施与防护装置详见图10.5。



2、核医学科表面污染控制与防护措施

(1) 工作场所分区管理

本项目按照拟开展临床核医学项目使用核素的种类及用量对工作场所进行了划分，从非放射性工作区进入放射性工作区需经卫生通过间。其中-1F通往热室的卫生通过间含一更室、二更室、冲淋室和缓冲室；1F经缓冲区通往注射室。

(2) 工作场所表面污染防护

涉及放射性药物操作的工作场所拟采用防止放射污染的措施，地面平整光滑，易于清洗，可铺设塑胶地坪或涂刷塑料油漆。墙面平整光滑，1米以下部位采用浅色无光耐酸油漆或其他易于清洗的涂料，瓷质面砖等。

工作台面要求平整、光滑、易于清洗。可以铺砌磨光花岗岩板材或不锈钢面板等。

墙面与地面、墙面与顶棚、墙面连接转角处，以及工作台边沿宜采取弧形，以尽可能减少表面污染。

除注射、给药外其余涉及放射性药物的所有操作均在通风橱内进行，通风橱操作台面要求光滑、平整、易于清洗去污。

所有涉及放射性物质操作都必须在铺衬有吸水纸的瓷盘内进行。

(3) 工作人员的防护措施

工作人员进入放射工作场所，穿戴工作衣、裤、帽、鞋、防护口罩、胶质手套及相应个人防护用品。工作人员离开放射工作场所，需返经卫生通过间，清洗、淋浴、更衣、并对手部等体表部位进行污染测定，确认未受放射污染，方可离开，进入非放射工作场所。放射性工作区内不得会客、饮食、吸烟等。

(4) 对受检者的防护

受检者根据预约按时来院，在给药处接受注射药物，到指定地点候诊，检查，不应随意走动，并在患者专用卫生间如厕。检查完毕由专门出口处离开。尽量减少对其他人员的影响。

3、核医学科防护用品和质量控制设备配置情况

根据国家标准要求，放射诊疗过程中相关放射工作人员须佩戴防护用品，以减少不必要的照射，核医学科已配置的防护用品见表1-8，配置的质量控制和防护检测设备见表1-9。

4、换靶、检修过程的辐射防护措施

本项目回旋加速器的换靶和检修由于涉及打开机体外壳，该操作由设备厂家专业人员完成，其操作流程是：首先在进入房间前需通过固定式辐射检测仪确定室内辐射水平，确定室内达到安全水平后才能进入；在更换带有放射性的靶材或部件前须通过便携式辐射防护检测仪确定需更换靶材和部件的辐射水平，工作人员需佩戴个人剂量报警仪、个人剂量计，并采用长约1m的长柄夹进行换靶操作，严禁徒手接触活化靶材或活化部件，更换后需立即将活化靶材或活化部件转入专用屏蔽容器中，转入放射性固废间进行衰变处理。

10.3“三废”的治理

10.3.1施工期“三废”治理

(1) 废水

施工过程中产生的施工废水循环使用，施工人员产生的生活污水经医院污水处理站

处理后纳入市政污水管网。

(2) 扬尘

装修过程会产生扬尘，施工拟采取湿法作业，尽量降低建筑粉尘对周围环境的影响，现场堆积建筑原料或建筑垃圾拟采取一定的遮盖措施，避免风力扬尘。

(3) 噪声

施工过程中，各类机械、运输车辆的噪声以及土建施工会产生噪声，医院拟合理制定施工计划，避开午休时间，禁止在夜间施工；施工设备考虑选择低噪音设备，防止噪声超标；合理布局施工场地，避免在同一施工地点安排大量动力机械设备；适当设置临时声障。

(4) 固废

施工过程中会产生建筑垃圾和生活垃圾，建筑垃圾定点堆放，将可回收利用部分进行回收后，由施工单位外运至建筑垃圾堆放场。生活垃圾产生量不大，由医院统一集中收集，交当地环卫部门清运。

10.3.2运营期“三废”治理

(1) 放射性废水治理措施

根据污染源分析，本项目放射性废水主要包括：靶体清洗废水、就诊病人排泄废水及工作场所清洁废水、药物质控废水及医护人员完成放射性药物操作后清洗去污的废水。回旋加速器机房地沟内设置放射性排水点，直接接至衰变池；-1F紧急冲洗室和清洗消毒间设置放射性排水点，污水管道均采用耐腐蚀金属管道，废液收集管道均铺设在核医学科地下土层内；井盖采用不锈钢含铅盖板，防护能力不低于10mmPb，地面井盖处拟采取洒水及密闭措施，防止雨水倒灌；检修通道顶板设通气口，防止超压。1F注射室设置一个放射性排水点；患者专用卫生间污物排至衰变池，放射性废水经医院现有衰变池放置一定的时间，待其活度满足GBZ18871-2002规定的一次排放限值后，可按照一般废水处理，排入医院污水处理系统处理后外排。正常运行时不会对环境造成影响。本项目放射性废水排放管设置示意图见图10.6、10.7。

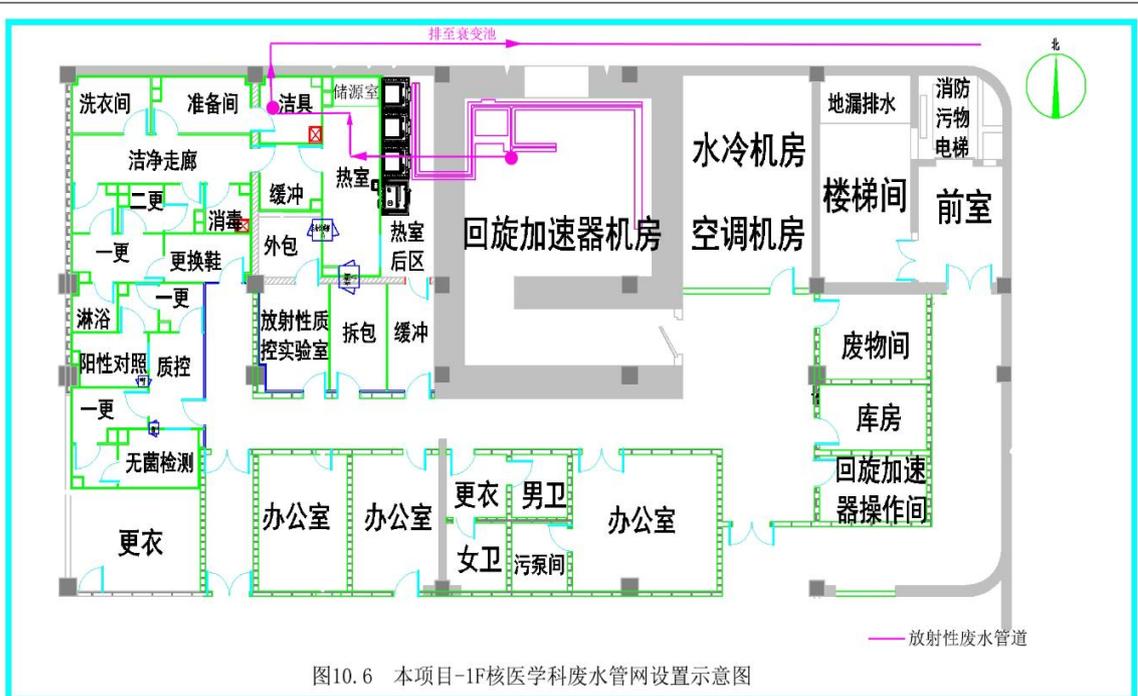


图10.6 本项目-1F核医学科废水管网设置示意图

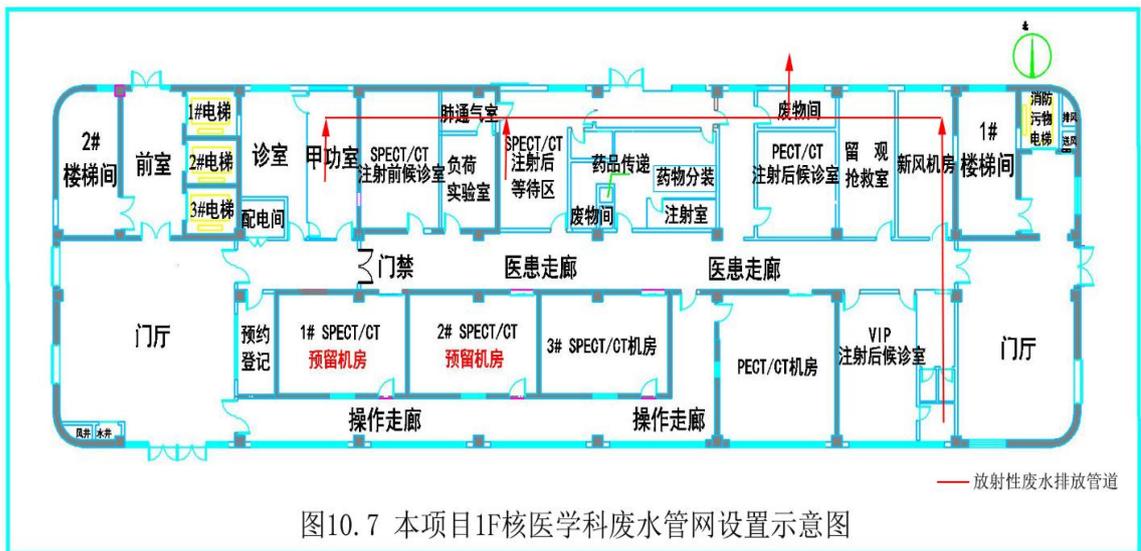


图10.7 本项目1F核医学科废水管网设置示意图

①衰变池容量及现有废水排放情况

现有衰变池位于肿瘤中心综合楼的东北侧地下，总容积约 166.25m^3 ，根据医院核医学科提供的资料，工作场所目前废水排放量约 $0.5\text{m}^3/\text{d}$ 。

现有1F放射性废水通过管道连入化粪池1(7.65m^3)，现有2F二更室、污染防护衣清洗消毒间、配液室及患者专用卫生间下水管连入化粪池2(12.15m^3)。

1F、2F经对应降解槽过滤沉淀后的放射性废水均进入衰变槽系统，衰变槽系统为8个独立衰变池，总容积约 166.25m^3 ，其中衰变槽1~衰变槽6的单个容积为 25m^3 （长 5m 宽 2m 高 2.5m ），变槽7衰变槽8的单个容积为 8.125m^3 （长 2.5m 宽 2m 高 2.5m ），每个衰

变池上均设有1个进、排水电动阀门和液位传感器，当第一个衰变池达到最高液位时，自动关闭进水阀门，同时自动打开第二个衰变池进水阀门，储满第一池再进入第二池以此类推，若出现放射性废水异常排放的情况，导致8个衰变池无法满足放射性废水处理需求，可立即开启应急池1、应急池2暂存放射性废水。在化粪池1北侧设置放射性沉淀物暂存区域，定期对本项目化粪池进行清淤。

1F和2F连接至衰变池的下水管道暴露在外的部分，医院拟采用10mmPb铅板进行防护。

②本项目放射性废水排放情况

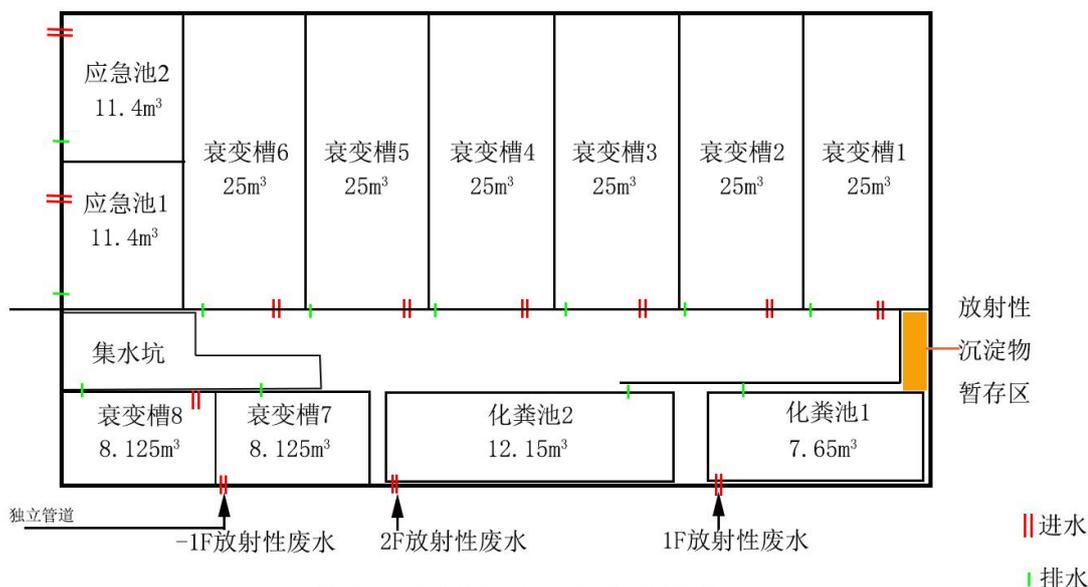
本项目-1F产生的放射性废水产生量为 $32.052\text{m}^3/\text{a}$ ($0.128\text{m}^3/\text{d}$)，经独立收集管道排至衰变槽7中（衰变槽8备用），单槽容积 8.125m^3 ，注满单个衰变槽所用时间约为63天，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“所含核素半衰期小于24小时的放射性废液暂存时间超过30天后可直接解控排放”要求。通过检测槽进行取样监测，监测达标（总B $<10\text{Bg/L}$ ）并且监测结果经生态环境主管部门认可并同意后，进行解控排放；解控废水均排入医院污水处理站进行集中处理，最后排入市政管网。医院应安排专人负责放射性废液的暂存、解控工作，建立放射性废水暂存和解控管理台账，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。

医院现有门诊及病房共计放射性废水排放量 $0.5\text{m}^3/\text{d}$ ，本项目1F放射性废水产生量为 $60\text{m}^3/\text{a}$ ($0.24\text{m}^3/\text{d}$)，放射性废水经现有排水管道（现有废水排放量）排至化粪池1中然后经沉淀后排至衰变槽1，当第一个衰变池达到最高液位时，自动关闭进水阀门，同时自动打开第二个衰变池进水阀门，储满第一池再进入第二池以此类推，若出现放射性废水异常排放的情况，可立即开启应急池1、应急池2暂存放射性废水。待废水经过6个槽存放后，1槽废水已暂存超过其半衰期，委托有资质单位对水进行检测，监测结果经生态环境主管部门认可批准后，打开1槽排水阀和潜水泵进行解控排放，排完后关闭1槽排水阀和潜水泵，废水进入1槽（此时1槽已是排空状态）—待1槽达到程控液位之前，2槽废水已暂存满足解控要求……依照上述流程循环往复运行。

叠加现有放射性废水排放量后，共计废水产生量为 $0.74\text{m}^3/\text{d}$ 。6个衰变槽总容积 150m^3 ，单槽 25m^3 ，注满6个衰变槽所用时间约为220天，满足《核医学辐射防护与安全要求》（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（含碘-131核素的暂存超过180天），监测结果经审管部门认可后，按

照GB18871中8.6.2规定方式进行排放”要求。

医院放射性废水衰变池平面示意图见图10.8。



(2) 放射性固废治理措施

根据源项分析，本项目放射性固废主要有一次性注射器、手套、药瓶及病人擦拭废纸等；硅胶、树脂、碳膜、滤膜等和靶废材和退役密封源发生器等。

本项目运行时拟将放射性固体废物按半衰期长短和性状不同置于专用铅制放射性废物桶内，所有铅桶均内衬专用塑料袋收纳废物，废针头应装入针帽内再丢进铅桶；本项目核医学科-1F设置3个铅桶（热室、回旋加速器机房及外包间）、1F设置3个铅桶（注射室、废物间）。

放射性固废的收集均安排在工作结束后或开始前、核医学科无病人的时间段进行，工作人员将固废按核素种类分开收集、打包密封（单包废物重量不应超过20kg）并标注所含核素种类和收集日期后，转移至相应铅桶内暂存；各废物间内不得堆放与放射性固废暂存无关的任何其他物品。待放射性物质自行衰变后，经自行监测确认符合HJ1188-2021中固废清洁解控要求后，作为普通医疗废物处理。

本项目核准源拟设置于高活室储源架，实行双人双锁管理，并设有视频监控和报警装置。放射源的退役拟根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》的相关要求，交由自治区核与辐射安全中心贮存后，放宁夏城市放射性废物库贮存。

(3) 放射性废气治理措施

对于本项目运营期产生的放射性废气，经各通风橱引至活性炭过滤后，由排风管道

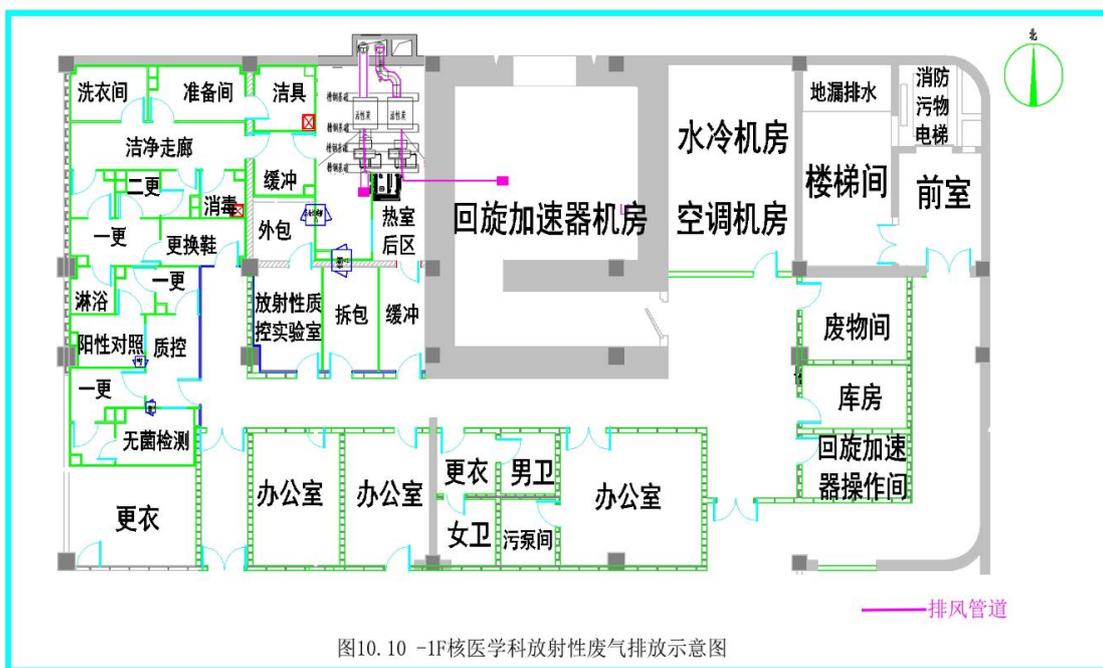


图10.10 -1F核医学科放射性废气排放示意图

②1F核医学工作场所：

本项目1F普通排风系统依托现有，核医学通风经药物分装、传递室新建排风管道引至楼顶排放，排风管道从废物间北部穿出，主管道穿出控制区外的部分拟采用5mmPb铅皮包裹，以减少对周围场所及公众的辐射影响，并在排风管道上安装止回阀和风量调节阀，可以有效地控制外排气体量，并能在意外的情况下，如有大量放射性气体的外排时，关闭排风管道，待废气在密封的系统内衰变后再进行外排（排放口高于本建筑屋脊）。

具体详见图10.11。

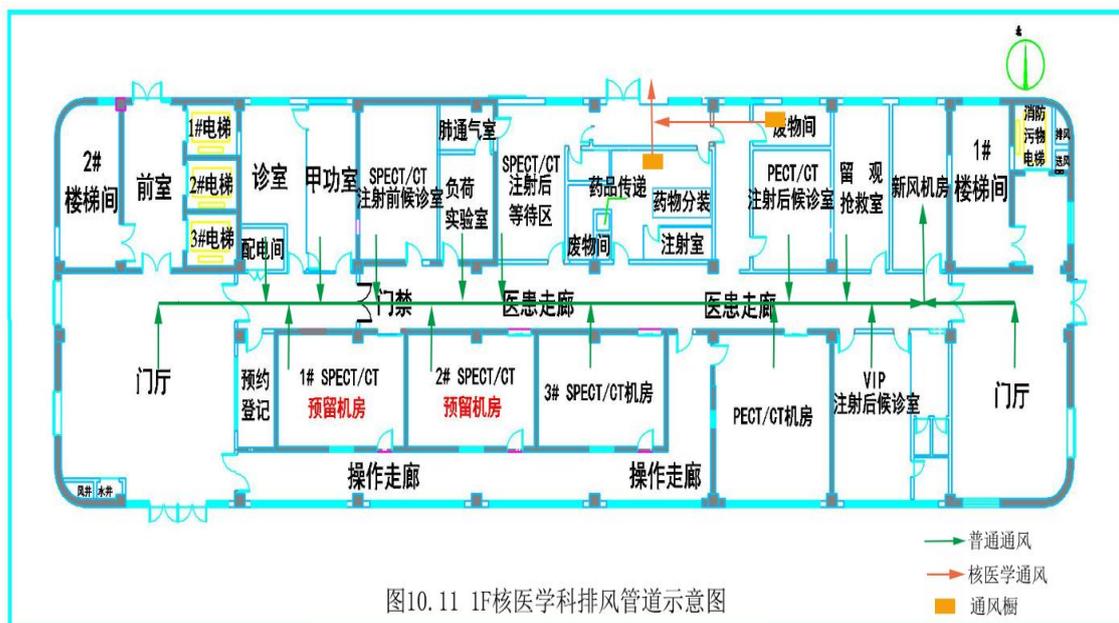


图10.11 1F核医学科排风管道示意图

10.4环保措施及其投资估算

本项目总投资4200万元，环保投资265.8万元，占总投资的6.33%，环保措施及其投资估算详见表10-6。

表10-6 本项目环保设施（措施）及其投资估算一览表

投资项目	具体建设内容	投资估算 (万元)
辐射屏蔽防护	-1F土建、防护工程1F防护工程（机房防护门的安装、机房内部装修、实体屏蔽墙等）	200.0
辐射安全装置	共设置监控摄像头9个、紧急停机按钮至少9个、红外防夹人装置1套、防护门2套、门机联锁装置1套、紧急开门按钮至少1个。	15.8
废气治理措施	有放射性废气排放的屋子设置独立排风系统，经各通风橱引至活性炭过滤后，由排风管道排至室外。	20.0
废水治理措施	1F排水系统依托医院现有污水排水管网，-1F排水系统新建。（1F和-1F排水汇至设备夹层后一同汇入现有衰变池内）	15.0
固体废物	依托医院现有的生活垃圾，新建3个放射性固废收集铅桶，依托现有医疗垃圾收集处理措施（衰变箱）	2
监测仪器	依托医院现有固定式剂量率监测报警仪	/
人员培训	辐射工作人员、管理人员上岗培训、考核	7.0
辐射应急	辐射应急物资、警示标志、辐射事故应急演练	6.0
合计		265.8

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响分析

本项目在建设和安装阶段无辐射产生，对周围环境没有辐射影响。

本次评价项目涉及机房装修、设备安装等，在项目的建设过程中，须采取污染防治措施，减轻对医院及周边地区的环境影响。项目建设期主要的污染因子有：噪声、废水、固体废弃物和扬尘。

(1) 噪声环境影响分析

本项目施工期的噪声主要来自相关设施的安装调试等阶段，由于项目建设工期短，随施工结束声环境影响随之消除，因此，施工期须合理安排施工时间，夜间禁止高噪声机械作业后，对周围的影响不大。

(2) 环境空气影响分析

在整个施工期，扬尘来自材料搬运、装卸和混凝土浇筑等施工活动，由于扬尘源多且分散，属无组织排放。受施工方式、设备、气候等因素制约，产生的随机性和波动性大。但土建工程结束后即可恢复。

(3) 水环境影响分析

本工程施工期污水主要来自施工人员生活污水，经医院现有污水处理设施处理后排放，影响很小。

(4) 固体废物影响分析

施工期间固体废物主要为建筑垃圾。施工过程中的建筑垃圾和生活垃圾必须集中处理，严禁随意堆放和倾倒。生活垃圾置于医院内部垃圾收集箱内，定期由环卫工人送至附近的垃圾中转站。施工期产生的生活垃圾以及装修垃圾均统一收集后交由市政环卫部门处理。

(5) 设备安装阶段：本项目回旋加速器、PET/CT的安装、调试由有资质单位专业人员进行调试，在设备安装调试阶段，加强辐射防护管理，在此过程中保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在机房门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近。人员离开时机房必须上锁并派人看守。由于设备的安装和调试均在机房内进行，经过墙体的屏蔽和距离衰减后对环境的影响是可接受的。设备安装过程中，医院方须及时回收包装材料及其他固体废物并作为一般固体废物进行处置，不得随意丢弃。

综上所述，建设工程在施工期的环境影响是短暂的、可逆的，随着施工期的结束而消失。施工单位严格按照有关规定采取上述措施进行污染防治，并加强监管，使本

项目施工对周围环境的影响降低到最小。

11.2 运行阶段对环境的影响分析

根据工程分析可知，项目运行阶段环境影响主要为PET/CT中CT部分在出束时产生的X射线、回旋加速器在制备放射性核素及核素使用过程中产生的 γ 射线、 β 射线等对医护人员、公众产生的外照射，项目运行过程产生的放射性“三废”。

11.2.1 1台回旋加速器辐射屏蔽估算

本项目使用的放射性核素 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{68}Ga γ 射线照射量常数相近，主要应用核素 ^{18}F （半衰期109.77min），其他核素应用较少，且半衰期较短。因此，本报告以 ^{18}F 进行分析评价，满足对 ^{18}F 的辐射安全防护管理要求，即可同时满足对 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{68}Ga 的辐射安全防护管理要求。

(1) 回旋加速器室外30cm处中子和 γ 射线混合辐射屏蔽计算

①采用下式估算回旋加速器室外中子和 γ 射线混合辐射剂量率。

$$H_R = \left(\frac{r_0}{R} \right)^2 \times \left(H_n \times 10^{-x/TVL_n} + H_g \times 10^{-x/TVL_g} \right) \quad (\text{式11-1})$$

公式中：

H_R —在点R处中子和 γ 射线剂量率的总和，Sv/h；

r_0 —参考点到源的距离，100cm；

R—回旋加速器中心到屏蔽体外30cm处关注点的距离，m；

X—屏蔽物的厚度，cm；

H_n —距回旋加速器中心1m处中子剂量率，Sv/h；

H_g —距回旋加速器中心1m处 γ 剂量率，Sv/h；

TVL_n 、 TVL_g ：屏蔽材料对中子和 γ 射线的十分之一值减弱厚度，cm；

②参数选取及估算结果

本项目回旋加速器安装时带有自屏蔽结构，设备厂家根据设备源项、屏蔽材料及厚度对回旋加速器外剂量率进行了计算，依据设备厂商提供的资料，回旋加速器自屏蔽体外1m处的剂量率参见下表：

表 11-1 回旋加速器自屏蔽外剂量率

参考点	中子 ($\mu\text{Sv/h}$)	γ ($\mu\text{Sv/h}$)	中子和 γ ($\mu\text{Sv/h}$)
A 左侧	11.5	6.5	18
B 右侧	5.0	3.0	8
C 上侧	9.0	5.0	14

D	前侧	28	17	45
E	后侧	7.5	4.5	12

依据《正电子发射扫描仪和回旋加速器建设中的防护评价》，回旋加速器屏蔽体外 γ 射线能量约为8MeV，中子能量约为5MeV。不同屏蔽材料的TVL值见表11-2。由式11-1可以估算得出回旋加速器机房外30cm处的剂量率，结果详见表11-3。

表 11-2 不同屏蔽材料的TVL值

材料	密度 (g/cm ³)	TVL (cm)	
		N (5MeV)	γ (8MeV)
混凝土	2.35	43	38
铅	11.3	-	5.5
聚乙烯	7.85	24	80

由于回旋加速器机房北侧无其他建筑，故本次评价对加速器机房东墙、南墙、西墙及室顶外参考点辐射剂量率进行估算评价，估算结果见下表。

表 11-3 回旋加速器机房外30cm处中子和 γ 射线辐射剂量率估算结果一览表

位置	距加速器中心1m处的剂量率 (μ Sv/h)		回旋加速器中心距与蔽体外表面30cm处的距离R (m)	TVL (cm)		屏蔽层厚度X (cm)	剂量率 (μ Sv/h)
	N	γ		n	γ		
东墙外30cm处A	17.0	9.0	5.19	43	38	120cm混凝土	0.06
南墙外30cm处B			4.18			120cm混凝土	0.092
西墙外30cm处C			4.15			120cm混凝土	0.089
室顶上方30cm处D			3.51			120cm混凝土	0.589

由表11-3可知，回旋加速器机房墙体外剂量率最大值为0.589 μ Sv/h，低于2.5 μ Gy/h剂量率目标控制值。

防护门外剂量率：

防护门外剂量率主要考虑：A、中子和 γ 射线穿过迷道内墙和防护门的剂量率；B、中子和 γ 射线经迷道内散射后穿过防护门的剂量率。

A、初始中子剂量率取17.0 μ Gy/h， γ 剂量率取9.0 μ Gy/h，源至计算点距离为571cm，屏蔽层为30cm混凝土和（15mm铅板+100mm含硼5%聚乙烯），根据式11-1，计算得剂量率为0.058 μ Gy/h。

B、散射终点的散射辐射剂量率按下式计算：

$$H_s = 0.1H_0 \cdot R_0^{-2} \cdot R_s^{-2} \quad (\text{式11-2})$$

式中:

H_s —散射重点的散射辐射剂量率, $\mu\text{Gy/h}$;

H_0 —入射剂量率, $\mu\text{Gy/h}$ (中子剂量率取 $15\mu\text{Gy/h}$, γ 剂量率取 $15\mu\text{Gy/h}$);

R_0 —入射距离, 3.88m;

R_s —散射距离, 8.25m;

防护门外侧的辐射剂量率:

$$H_m = \frac{H_0}{K} \quad (\text{式11-3})$$

式中: H_m —防护门外侧的辐射剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

H_0 —防护门内侧的辐射剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

K —与散射辐射类型、能量及防护材料组成有关的衰减倍数, $10^{\text{屏蔽层厚度/TVL}}$ 。

根据11-2, 计算得出防护门内侧剂量率为 $0.0025\mu\text{Gy/h}$, 再经防护门屏蔽后剂量率为 $0.001\mu\text{Gy/h}$, 则防护门外剂量率为 $0.058+0.001=0.059\mu\text{Gy/h}$ 。

综上所述, 回旋加速器机房外辐射水平最大为室顶外 $0.059\mu\text{Gy/h}$, 低于 $2.5\mu\text{Gy/h}$ 剂量率控制目标。

(2) 热室外30cm处 γ 空气吸收剂量率估算

①估算公式如下:

剂量率:

$$\dot{D} = 0.873 \times k \times \Gamma \times A / r^2 \quad (\text{式11-4})$$

式中:

\dot{D} — γ 剂量率, 10^{-2}Gy/h ;

Γ —照射量率常数, $\text{R}\cdot\text{m}^2/\text{h}\cdot\text{Ci}$;

A —核素活度, Ci;

r —距离点源的距离, m;

k —屏蔽减弱系数, 无量纲。

屏蔽衰减系数

$$k = 2^{\frac{d_p}{HVL}} \quad (\text{式11-5})$$

式中：

HVL—半值层厚度，mm；

d_p —屏蔽层厚度，mm；

k：屏蔽减弱系数，无量纲。

②参数选取及估算结果

假设源到药物合成工作柜/分装工作柜外表面为0.5m， ^{18}F 日最大操作量为 $1.11 \times 10^{10}\text{Bq}$ （1000mCi），铅对 $^{18}\text{F}\gamma$ 射线的半值层约为5.6mm，混凝土对 $^{18}\text{F}\gamma$ 射线的半值层约为5.9cm。由《辐射防护手册》第三分册查出 ^{18}F 的 Γ 的照射量率常数为： $0.58\text{R}\cdot\text{m}^2/\text{h}\cdot\text{Ci}$ 。

（3）热室外剂量率

药物在热室合成后进行自动分装，人员不近距离接触，分装工作完成后，工作人员进入热室，以 ^{18}F 计， ^{18}F 最大制备量为600mCi，药物分装好后置于分装柜中，分装柜正面防护 $\geq 70\text{mmPb}$ 当量，经计算，合成、分装工作柜正面表面30cm处剂量率为 $0.65\mu\text{Gy/h}$ 。

由式11-4、11-5可知热室外30cm处 γ 空气吸收剂量率，详见下表。

表 11-4 热室外30cm处 γ 空气吸收剂量率

位置	r (m)	屏蔽层厚度	k	D ($\mu\text{Gy/h}$)
西墙外30cm处	7.5	60mmPb+300mm混凝土	1.75×10^{-5}	0.003
南墙外30cm处	3.27	70mmPb+300mm混凝土	5.09×10^{-6}	0.0006
北墙外30cm处	1.63	60mmPb+500mm混凝土	1.67×10^{-6}	0.0009
室顶上方30cm处	3.51	60mmPb+160mm混凝土 +11mmPb	2.33×10^{-5}	0.0027
防护门外30cm处	3.44	60mmPb+10mm混凝土	1.73×10^{-4}	0.020
传递窗口外30cm处	3.27	70mmPb+10mm混凝土	5.01×10^{-5}	0.0067

由上表可知，热室外30cm处 γ 空气吸收剂量率数值最大为 $0.02\mu\text{Gy/h}$ ，低于 $2.5\mu\text{Gy/h}$ 的剂量率目标控制值，热室合成室外合成/分装工作柜运行过程中对周围环境影响较小。

（4）药物转运罐外剂量率

药物在热室分装模块箱内进行分装，分装后的药物盛放在20mmPb注射器防护套中，外有40mmPb药物转运防护罐。根据用药当天患者数量及核医学科内患者诊断情

况，在患者注射前分批次将药物分装好（分装成10mCi/支）并转运至核医学科内，每次最大转运10支，故每次最大转运量100mCi。由式11-4、式11-5，转运防护罐外表面不同距离处 γ 空气吸收剂量率，结果详见下表。

表 11-5 转运防护罐外表面不同距离处 γ 空气吸收剂量率

与防护罐外表面距离 (cm)	0	5	30	60	1	2
放射性药物计算点的距离 (m)	0.06	0.11	0.36	0.66	1.06	2.06
剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)	83.72	24.90	2.32	0.70	0.26	0.08

根据表11-5，铅罐外1m处剂量率为0.26 $\mu\text{Gy/h}$ ，铅罐距外包间墙体距离均大于1m，则药物转运罐外剂量率应低于0.26 $\mu\text{Gy/h}$ ，即低于2.5 $\mu\text{Gy/h}$ 剂量率控制目标。

(5) 药物运输装置外表面 γ 空气吸收剂量率估算

当天生产出的放射性药物装于转运防护罐（屏蔽能力为40mmPb当量）内，配备转运推车（带锁具）由专用升降梯送至1F核医学科，然后经过工作人员通道到达高活室，将药物置于核医学科通风橱内，待给患者注射。转运全程用时约2min，从-1F外包间到1F高活室全程约60m，推车速度按照0.5m/s（人的步行速度一般为1.1~1.9m/s）。转运过程周围人员距转运罐距离约为0.3m，防护罐外表面0.3m处剂量率为2.32 $\mu\text{Gy/h}$ ，即低于2.5 $\mu\text{Gy/h}$ 剂量率控制目标。

(6) 质控区外剂量率

制药、淋洗后，药物在分装并给患者注射前，取药液0.3mL(6mCi)，由工作人员对药物进行外观、pH、放化纯度、化学纯度、热源检查或细菌内毒素实验等项目的质控检测。由式11-4、式11-5，可估算得到质控区外30cm处 γ 空气吸收剂量率，结果见表11-6。

表 11-6 质控区处30cm处 γ 空气吸收剂量率

位置	r (m)	屏蔽层厚度	k	D ($\mu\text{Gy/h}$)
四周墙外30cm处	1.2	240mm砖墙+30mm防护涂层	0.095	2.01
室顶上方30cm处	3.5	160mm混凝土+30mm防护涂层	0.105	0.261
防护门外30cm处	3.4	5mmPb	0.539	1.38
传递窗外30cm处	3.3	5mmPb	0.539	1.53

由上表的估算结果可知，质控区外30cm处 γ 空气吸收剂量率最大值为2.01 $\mu\text{Gy/h}$ ，低于2.5 $\mu\text{Gy/h}$ 剂量率控制目标，质控区运行过程中对周围环境影响较小。

11.2.2核医学科-1F年有效剂量估算

(1) 年有效量估算公式

$$H = 0.7 \times D_r \times T \quad (\text{式11-6})$$

式中:

H—年有效剂量当量, Sv/a;

0.7—吸收剂量对有效剂量当量的换算系数, Sv/Gy;

D_r —空气吸收剂量率, Gy/h;

T—年工作时间, h/a。

(2) 停留因子

停留因子参照《超导回旋质子加速器辐射屏蔽规范》(GB/T39325-2020)选取, 见下表。

表 11-7 停留因子选取

场所	居留因子 (T)		停留位置
	典型值	范围	
全停留	1	1	管理人员或职员办公室、护士站、咨询台、有人护理的候诊室及周边建筑物中的驻留区
部分停留	1/4	1/2~1/5	1/2: 相邻的治疗室、与屏蔽室相邻的病人检查室 1/5: 走廊、雇员休息室、职员休息室
偶然停留	1/16	1/8~1/40	1/8: 各治疗室房门 1/20: 公厕、自动售货区、储藏室、设有座椅的户外区域, 无人护理的候诊室、病人滞留区域、屋顶、门岗室 1/40: 仅有来往行人车辆的户外区域、无人看管的停车场, 车辆自动卸货/卸客区域、楼梯、无人看管的停车场

(3) 工作量及工作人员

本项目预计启动回旋加速器生产核素 ^8F 、 ^{11}C 、 ^{13}N , 全年工作250d计, 最多开机约450次, 每次最多2h; 外购锗镓发生器自行淋洗 ^{68}Ga 药物, 年计划购买1个, 单柱发生器的规格不超过500mCi, 每次淋洗量为400mCi (淋洗效率按80%计算)。

(4) 回旋加速器中心放射工作人员年有效剂量

从事回旋加速器制药 (淋洗) 工作的辐射工作人员受照射环节主要为: 制药 (标记、淋洗)、质控、分装、维护、药物运输等。

①回旋加速器转运制、药物淋洗

生产放射性同位素及药物合成为自动化工艺, 工作人员基本不接受附加剂量。即制药过程所受剂量为0mSv/a。生产过程中, 工作人员位于回旋加速器操作间内, 回旋加速器操作间与机房之间有库房和办公室相隔, 控制室内辐射剂量率较小, 本次评价不再计算加速器对控制室内工作人员的影响。

外购锗镓发生器自行淋洗⁶⁸Ga药物，每周淋洗约1次，每次10分钟，即年工作时间为5.83h/a，药物淋洗后需要对⁶⁸Ga淋洗液进行标记和分装操作，每日最多进行10次（10名患者），每次标记分装的操作时间不超过2min，时间较短；⁸F、¹¹C、¹³N药物合成过程，工作人员位于合成操作间内，根据理论估算结果，热室工作人员活动区域γ空气吸收剂量率数值0.65μGy/h，全年最多合成药物450次，每次时间最长2h，药物合成过程工作人员不长时间在合成操作间内停留，停留因子取1/2，则药物合成过程工作人员身体的年剂量为0.113mSv/a。

②质控

质控时，取药液0.3mL（6mCi），由工作人员对药物进行外观、pH、放化纯度、化学纯度、热源检查或细菌内毒素实验等项目的质控检测。单项检测操作量最多约 2.22×10^7 Bq（0.5mCi），质控过程工作人员穿0.5mmPb当量防护衣，药物距离手部约5cm，距离身体约为50cm。根据式11-4估算，6mCi药物5cm处剂量率应为12152.16μGy/h，0.5m处剂量率为114.23μGy/h。每次质控接触药物时间最多为2min，全年质控最多450次，则手部的年剂量为127.6mSv（ $0.7 \times 12152.16 \times 450 \times 2 / 60 / 1000$ ），身体的年有效剂量为1.20mSv（ $0.7 \times 114.23 \times 450 \times 2 / 60 / 1000$ ）。

③分装

本项目采用自动分装仪对放射性药物进行分装，工作人员将无菌瓶放入分装柜内，单次操作时间为5s，全年分装3300次，共用时间4.58h。按每次分装最大量 3.7×10^8 （10mCi）考虑，药物距离手部约5cm，根据式11-4和式11-5估算，工作人员手部（0.5mmPb当量的防护手套）剂量率约为19.04mGy/h；又依据设备厂商提供的资料，高铅玻璃视窗表面处辐射剂量率<5pSv/h。则分装过程工作人员手部的年剂量为61.04mSv/a，身体的年剂量为0.02mSv/a。

④从回旋加速器内卸下靶盒和过滤膜

每次用时5min，全年最多卸8次，共用40min。在停机2~3天后卸靶，根据类比同类型设备资料，靶前（即卸靶人手部）剂量率约为400uSv/h，距靶50cm（即卸靶人身体）剂量率约为30uSv/h。则卸下靶盒和过滤膜过程工作人员手部的年剂量为0.187mSv（ $0.7 \times 400 \times 40 / 60 / 1000$ ），身体的年剂量为0.014mSv（ $0.7 \times 30 \times 40 / 60 / 1000$ ）。

⑤洗靶

洗靶频率一般每年2次，每次洗靶工作所需时间实际操作约30min。靶维护工作中的放射源是残留的¹⁸F、¹¹C、¹³N，在停机23天后（按¹⁸F，达20个半衰期以上）进行维护洗

靶，感生放射性水平非常低，并且洗靶过程在洗靶防护工作台（50mmPb当量）后操作，因此该过程工作人员受照剂量可以忽略。

⑥药物转运

根据建设单位提供的资料，整个药物转运过程用时约2min，全年最多转运1200次（¹⁸F最多1000次/年），则转运过程工作人员全年受照时间最长为40h。该过程工作人员距防护罐表面距离按30cm考虑，由表11-5的估算数据距防护罐表面距离30cm空气吸收剂量率为2.32uGv/h，则转运过程工作人员所受年剂量为0.065mSv（ $0.7 \times 2.32 \times 40 / 1000$ ）。

⑦年有效剂量合计

综合估算职业人员年有效剂量，详见下表。

表 11-8 职业人员剂量估算详情

过程	制药	质控	分装	维护	转运	总和
手部 (mSv/a)	0	127.6	61.04	0.187	0.065	188.892
身体 (mSv/a)	0.113	1.20	0.02	0.014	0.065	1.412

由上表可知，手部总受照剂量为188.892mSv/a，身体总受照剂量为1.412mSv/a。本项目回旋加速器药品制备、转移工作共有护师4人，因人员无明确分工，轮流工作，应按1/4名工作人员均衡考虑，本次考虑最不利因素影响，按1/2考虑，则回旋加速器工作人员身体年有效剂量最大为 $1.412/2=0.706\text{mSv}$ ；根据《宁夏回族自治区疾病预防控制中心检测报告》（2023年度），工作人员个人剂量监测结果最大值为0.10mSv，叠加后工作人员身体年有效剂量最大为0.806mSv，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》中规定的工作人员20mSv的年有效剂量限值，同时低于本评价提出的5.0mSv的年管理剂量约束值；手部所受剂量为 $188.892/2=94.446\text{mSv}$ ，叠加后工作人员身体年有效剂量最大为94.546mSv，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》中规定的工作人员手部500mSv/a限值，也低于本评价提出的125mSv的年管理剂量约束限值。

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

(4)公众成员年有效剂量

由上述估算结果可知，本项目回旋加速器工作场所周围公众可到达区域剂量率最大为0.589uGy/h（表11-3，加速器机房室顶），回旋加速器工作场所全年工作时间最长

450h，居留因子取1/2（相邻治疗室），则公众成员所受年有效剂量最大为0.093mSv(0.7×0.589×450/2/1000)，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》中规定的公众1mSv的年有效剂量限值，同时低于本评价提出的公众剂量约束值0.1mSv/a。

11.2.3 PET/CT辐射环境影响分析

(1) ¹⁸F诊断项目的γ辐射影响分析

在进行辐射环境影响预测时，将药物及已注射药物的病人简化成点源，采用下列空气比释动能率估算公式进行预测：

$$\dot{K}_0 = \Gamma A \eta / r^2 \quad (\text{式11-7})$$

式中： K_0 —空气比释动能率，Gy/h；

Γ —比释动能率常数，Gy·m²·Bq⁻¹·h⁻¹，（本项目¹⁸F的比释动能率常数为1.4×10⁻¹³）；

A—核素（点源）活度，Bq；

r—参考点距点源的距离，m；

n—透射比。无屏蔽情况下取1，有屏蔽情况下，根据各核素对相应的屏蔽材质的什值层厚度进行计算，根据各核素对相应屏蔽材质的什值层厚度进行计算，参考中华人民共和国国家卫生健康委员会发布的《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020），本项目¹⁸F对铅、混凝土的什值层分别为16.6mm、176mm。

根据工程分析可知，PET/CT放射诊断项目辐射影响主要包括药物分装、药物注射病人检前候诊、病人扫描和病人检后留观5个过程，主要对核医学工作场所工作人员及室外公众产生外照射辐射影响，根据公式（11-5）可估算出项目周围各参考点处的辐射水平预测结果见表11-9、11-10。

表 11-9 PET/CT项目工作场所人员辐射水平估算结果

工作岗位	参考点位置	源强 (Bq)	与源的距离 (m)	屏蔽材料及厚度	透射比	参考点辐射水平 (μGy/h)	备注
药物接收	药物铅罐外30m	1.11×10 ¹⁰	0.3	40mmPb	1.6×10 ⁻⁴	2.76	药物外铅罐为40mmPb
药物分装	分装、淋洗、标记人员工作位	7.40×10 ⁹	0.3	0.5mmPb+45mmPb+40mmPb	3.6×10 ⁻⁷	0.004	铅服为0.5mmPb，通风橱为45mmPb，药物外铅罐为40mmPb
	检前等候室北墙外	单人1.11×10 ⁹	约4m	300mm混凝土	0.0015	0.015	/

	30cm						
药物注射	注射人员 工作位	1.11×10 ⁹	0.3	0.5mmPb+ 40mmPb	3.6×10 ⁻³	6.21	铅服为 0.5mmPb, 注射窗为 40mmPb
PET/CT操 作	操作人员 工作位	1.85×10 ⁸	3.3	10mmPb	0.25	0.60	1、病人一 般候诊时间 约50min, ¹⁸ F半衰期 109.77min , 病人平均 候诊时间相 对较长, 故 考虑 ¹⁸ F的衰 减; 2、摆 位人员穿戴 0.5mmPbq 铅服
	PET/CT机 房北门外 30cm		3.7	8mmPb	0.23	0.44	
	PET/CT机 房北墙外 30cm		2.8	300mm混 凝土	0.0015	0.005	
摆位	机房内工 作人员知 道摆位处		1	0.5mmPb	0.47	12.0	

注：¹⁸F批次分装最大量约为7.4×10⁹Bq（30人量），¹⁸F病人一般用药活度为1.11×10⁹Bq。

表 11-10 PET/CT项目工作场所周围公众辐射水平估算结果

参考点位置	源强 (Bq)	与源的 距离 (m)	屏蔽材料 及厚度	透射比	参考点辐射 水平 (μGy/h)	备注
药物铅罐外 50m	1.11×10 ¹⁰	0.5	40mmPb	1.6×10 ⁻⁴	0.335	药物外铅罐为 40mmPb
分装室顶 30cm		3.0	45mmPb+1 20cm混凝土	2.8×10 ⁻⁵	0.005	通风橱为 45mmPb, 药 物外铅罐为 40mmPb, 药 物离地约1m
分装室下方		2.9	45mmPb+3 0cm混凝土	9.3×10 ⁻⁸	0.002	
病人过廊北 墙外30cm	1.11×10 ⁹	2.0	30cm混凝 土	0.017	0.630	/
病人过廊南 墙外30cm		2.0	30cm混凝 土	0.017	0.630	
病人过廊东 墙外30cm		2.5	30cm混凝 土	0.017	0.420	
病人过廊南 门外30cm		2.8	8mmPb	0.22	1.643	
病人过廊顶 棚外30cm		2.8	30cm砷	0.02	0.870	
PET/CT机 房西墙外 30cm	1.85×10 ⁸	2.5	30cm混凝 土	0.028	0.12	1、考虑 ¹⁸ F的 衰减; 2、扫描床离 地约1m
PET/CT机 房顶棚外 30cm		2.8	12cm砷 +18cm混凝 土	0.02	0.07	
PET/CT机 房下方		2.9	30cm砷	0.02	0.06	
检后留观室 北墙外	单人约 2.22×10 ⁸	2.2	30cm混凝 土	3.4×10 ⁻³	0.015	/

30cm					
检后留观室 顶棚外 30cm（此 处楼上为病 房）		3.1	12cm砷 +16cm混凝 土	0.012	0.036

根据上表可知，¹⁸F药物在操作过程中、病人在注射、候诊、现象及留观等过程中对控制区外关注点的辐射剂量率为0.002~1.643μSv/h，满足本项目核医学工作场所控制区外关注点处的周围剂量当量率控制目标值不大于2.5μSv/h的要求，控制区的防护设计均能满足¹⁸F核素的辐射防护要求。

(2) CT运行产生的X射线影像分析

本项目PET/CT在诊断过程中CT运行将产生X射线，项目CT装置的X射线球管的管电压最大为140kV，根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录C的表C.4-C.6可知，本项目PET/CT机房的屏蔽材料可折算成等效屏蔽铅当量，见表11-11。

表 11-11 PET/CT机房屏蔽防护及等效屏蔽一览表

装置名称	屏蔽体	屏蔽参数	等效屏蔽效果
PET/CT (最大管电压140kv)	墙体	240mm实心砖+双面各 20mm硫酸钡	约3.4mm铅当量
	顶棚	120mm砷+60mm硫酸钡	约3.7mm铅当量
	观察窗	8mmPb	8mm铅当量
	机房大门	8mmPb	8mm铅当量
	机房小门	8mmPb	8mm铅当量

根据表11-11可知，本项目PET/CT机房各侧墙体、顶棚、底板、防护门及观察窗的铅当量均不小于3.4mm，能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“CT机房有用线束及非有用线束方向铅当量不小于2.5mm”的要求。

11.2.4 辐射工作人员和公众剂量估算及评价

工作人员和公众的年有效剂量由下列公式计算：

$$E_{eff} = D \cdot t \cdot T \cdot U \quad (\text{式11-8})$$

式中：E_{eff}—人员有效剂量；

t—年工作时间，h；

T—居留因子；

U—使用因子，放射性核素以点源考虑，U取1。

(1)辐射工作人员剂量估算及评价

本项目工作人员主要受照射环节为¹⁸F分装、注射及病人扫描诊断过程，同时受到相邻辐射工作场所的照射影响。根据表11-9估算结果，同时根据公式11-8可计算得出本项目辐射工作人员的年有效剂量，计算结果见表11-12。

表 11-12 核医学科¹⁸F工作场所辐射工作人员年有效剂量估算表

参考点位置	工作岗位及居留因子	年工作时间h	参考点辐射剂量率μSv/h	人员年有效剂量mSv
药物铅罐外30cm	药物接收, 1	25h (¹⁸ F药物单次接收过程约2min, 按每天接收3次, 年250d)	2.76	0.08
淋洗、标记、分装人员工作位	药物分装, 1	505.83 (¹⁸ F药物单次接收过程约2min, 每年共约15000名病人; 外购锗镓发生器自行淋洗 ⁶⁸ Ga药物, 每周淋洗约1次, 每次10分钟, 即年工作时间为5.83h/a, 其余时间分装室无人居留)	0.004	0.003
注射人员工作位	药物注射, 1	125 (¹⁸ F药物单次注射约30s, 按15000名病人计)	6.21	0.93
操作人员工作位	操作, 1	2500 (¹⁸ F病人单次扫描过程约10min, 按15000名病人计)	0.60	1.80
摆位人员	摆位, 1	208 (单次摆位过程约50s, 按15000名病人计)	12.0	3.05

根据上表可知，本项目药物接收、淋洗、标记、分装及注射过程的总年有效剂量为约1.013mSv，PET/CT操作过程的总年有效剂量为约1.80mSv，病人摆位过程的总年有效剂量为约6.01mSv。本项目拟配备3名工作人员，平均分担药物接收、分装及注射工作，拟配备3名分担PET/CT操作和摆位工作，本次按最不利因素考虑，按2/3取值，则本项目单名工作人员年有效剂量分别为0.675mSv(1.013/3*2)、3.23mSv（操作1.80/3*2+摆位3.05/3*2）；根据《宁夏回族自治区疾病预防控制中心检测报告》（2023年度），工作人员个人剂量监测结果最大值为0.10mSv，叠加后单名工作人员年有效剂量分别为0.775mSv/a、3.33mSv/a，能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB1871-2002）中对职业人员受照剂量限值要求以及本项目目标管理值要求：职业人员年有效剂量不超过5mSv。

（3）公众剂量估算及评价

根据表11-10估算结果，同时根据公式11-8可得出PET/CT项目对周围公众造成的年有效剂量，见表11-13。

表 11-13 PET/CT项目工作场所周围公众年有效剂量估算表

参考点位置	居留场所及居留因子	年工作时间h	参考点辐射剂量率 $\mu\text{Sv/h}$	人员年有效剂量mSv
药物铅罐外50m	药物运送途中周围公众1/16	25h (^{18}F 药物单次接收过程约2min, 按每天接收3次, 年250d)	0.335	< 0.01
分装室顶30cm	洗手间1/20	505.83 (^{18}F 药物单次接收过程约2min, 每年共约15000名病人; 外购锗镓发生器自行淋洗 ^{68}Ga 药物, 每周淋洗约1次, 每次10分钟, 即年工作时间为5.83h/a, 其余时间分装室无人居留)	0.005	< 0.01
病人过廊北墙外30cm	一般无公众居留	/	0.630	/
病人过廊南墙外30cm	患者家属停留, 1	取值约10min	0.630	< 0.01
病人过廊东墙外30cm	注射候诊区, 1	125 (^{18}F 药物单次注射约30s, 按15000名病人计)	0.420	0.05
病人过廊南门外30cm	一般无公众居留	/	1.643	/
病人过廊顶棚外30cm	2楼办公室, 1	一般无公众居留	0.870	/
PET/CT机房西墙外30cm	操作走廊, 无公众居留	/	0.12	< 0.01
PET/CT机房顶棚外30cm	2楼病房、洗手间, 1	500 (^{18}F 药物单次接收过程约2min, 每年约15000名病人)	0.07	< 0.01
PET/CT机房下方	-1F放射科办公室, 1		0.06	0.03
检后留观室北墙外30cm	一般无公众居留	/	0.015	< 0.01
检后留观室顶棚外30cm	2楼洗手间1/20	1500 (同时5名留观, 每人约30min, 每年约15000名病人)	0.036	< 0.01

由上表可知, 一楼核医学工作场所周围公众的年有效剂量最大为0.08mSv/a, 能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)对公众受照剂量限值要求(0.1mSv/a)以及本项目的目标管理值要求: 公众年有效剂量不超过0.1mSv。

11.2.5放射性固体废物环境影响分析

根据前文“表9项目工程分析与源项”可知, 项目每年预计产生上述含放射性固体废物共计46kg, 本次新增3个放射性固体废物收集铅桶(单个容积约为30L), 单个废物桶容积可满足超过30天暂存要求, 收集时要求每袋固废的重量不能超过20kg。

固废解控: 根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)的要求, 本项目放射性废物按 ^{18}F 核素计, 其放射性固废暂存时间超过30天后, 使用经检定或校准合格

的检测仪器对废物表面污染和辐射剂量率水平进行检测，辐射剂量率为所处环境本底水平且 β 表面污染水平小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 时，对废物进行清洁解控并作为医疗废物处理，并在放射性固废暂存和解控管理台账上详细记录解控废物所含的核素名称、重量、废物产生起始日期、废物处置人员、处置日期和监测结果等信息。

11.2.6放射性废水对环境的影响分析

本项目放射性废水主要来自靶体清洗废水、就诊病人排泄废水、药物质控废水及医护人员完成放射性药物操作后清洗去污的废水。根据前文工程分析，本项目放射性废水产生量约 $92.052\text{m}^3/\text{a}$ （ $0.37\text{m}^3/\text{d}$ ），核医学科现有放射性废水衰变系统总容积为 166.25m^3 ，根据医院核医学科提供的资料，工作场所目前废水排放量约 $0.5\text{m}^3/\text{d}$ ，现有衰变池容积可满足本项目放射性废水贮存10个半衰期的容积要求。

上述废水全部进入医院核医学科现有衰变池，衰变达到排放标准后排入医院污水处理总站做进一步处理，对周边环境影响较小。

11.2.7放射性废气影响分析

本项目分装室内拟配置1个通风橱， ^{18}F 药物的分装均在通风橱内操作，通风橱内拟设专用通风管道，工作中设计风速不小于 $1\text{m}/\text{s}$ ，并拟设置活性炭过滤器，定期更换。放射性废气经专用排风管道排出，排气口高于本项目所在核医学科，符合《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中相关要求。

11.2.8一般废水、固废处理措施

本项目一般废水主要是工作人员产生的生活污水，将排入医院中心一体化污水处理池，经处理满足接管要求后排至市政污水管网，对周围环境影响较小；固废主要是工作人员产生的一般生活垃圾，收集后，将交由城市环卫部门处理，对周围环境影响较小。

11.2.9表面污染分析

本项目工作人员在对带有核素药物的各种操作中，可能会引起工作台、设备、墙壁、地面、工作服、手套等发生放射性沾污，造成放射性表面污染。为控制表面污染需采取的措施如下：

- （1）对操作人员进行岗前培训，使其具备熟练的操作技能及丰富的防护知识；
- （2）操作放射性物质在易去污的工作台面上进行，取药、分装等在通风橱内进行；
- （3）如有洒落等操作，人员用棉签将其擦拭处理，擦拭后产生的废棉签、手套按放射性固体废物收集至放射性废物桶内处理，放置10个半衰期后按一般废物处理；

(4) 工作人员进出工作场所需更衣，操作时穿防护服，戴防护手套；本项目高活室、注射室等控制区室内地板和墙壁之间的接缝无缝隙设计施工；设置易清洗、防污性能好的墙面、地面等；室内设置通风系统；配置清洗及去污设备。放射性操作之后对工作台面、设备、地面及个人防护用品等进行表面污染检查、清洗、去污。

在严格落实以上措施的情况下可有效避免表面污染带来的辐射影响。场所内表面污染水平能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中表面污染控制水平要求。

11.3 事故影响分析

11.3.1 可能发生的辐射事故

(1) 回旋加速器、PET/CT机房门-机联锁失效或操作人员失误，人员误入机房，造成误照射；

(2) 回旋加速器生产过程中，由于设备故障导致放射性气体可能会发生泄漏；

(3) 由于管理不善，导致放射性药物或放射源被盗、丢失、失控，可能引发环境放射性污染，导致较严重的辐射照射事故；

(4) 药品在转移过程中由于操作人员违反操作规程或误操作引起的意外泄漏，造成台面、地面辐射污染；

(5) 工作人员未按要求穿戴个人防护用品等，造成额外附加照射剂量；

(6) 放射性废水或放射性固废衰变时间不够，未达到解控水平或排放标准即进行处理。

11.3.2 风险事故防范措施

(1) 定期开展安全装置与设施检查，保证门机联锁装置有效。制定并落实操作规范工作人员定期培训；

(2) 做好设备保养维护工作，定期对设备开展维护维修；

(3) 制定并落实放射性核素安全管理制度，设专人负责，做好核素的领取、使用登记工作，确保放射性药物的安全。设置防盗门、防盗窗及报警装置等设施，做好防盗工作；

(4) 制定完善的操作规范，对操作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，配备必要的防护用品，减少药物操作和运输过程中洒漏事故发生；

(5) 加强工作人员自身防护安全意识，定期组织培训，使工作人员明确配备的防护用品（铅衣、铅手套、铅围裙、铅围脖、铅眼镜等）及存放位置；

(6) 放射性固体废物衰变箱外须标注内含核素种类、封存时间。医院须加强放射性废水和固废排放处理管理，按照本环评要求的衰变时间停留衰变，处理前进行监测，达到解控水平后方可进行进一步处理；

(7) 发生放射源丢失、被盗、失控事故后，对环境和人员造成的事故后果将较为严重。根据原国家环保总局《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环发[2006]145号）和《关于印发〈宁夏回族自治区生态环境厅辐射事故应急预案〉的通知》（宁环办发[2021]69号），发生Ⅲ类放射源丢失、被盗、失控事故时，现场人员应保护现场并立即向医院辐射防护负责人报告，医院应立即启动《辐射事故应急预案》，由医院辐射事故应急领导小组组长统一指挥，并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，上报当地生态环境主管部门、公安部门和卫生行政部门。

11.3.3 风险应急措施

(1) 控制台上安装紧急停机按钮，及时按下停止开关，停止照射。人员受到不必要的照射或超计划外照射时，应评估其受照剂量，并进行必要的医学处理。

(2) 发生此类事件，现场工作人员应关闭回旋加速器机房和热室合成室，置身于放化实验室外，直至气体被通风系统排净。

(3) 一旦发生核素药物丢失或被盗，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令449号）、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环保部令18号）、《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（国家环保总局，环发[2006]145号）以及《突发环境事件信息报告办法》（环保部令17号）中的有关要求，企业应按规定启动本单位辐射事故应急方案，并及时报告当地环保部门、公安部门以及卫生部门。

(4) 配备去污清洁用品，发生核素泄漏应控制人员进入。选择合理的去污方法，防止交叉污染。去污时佩戴有效的个人防护用品。一般核素药物为液态，若发生撒漏，可用抹布擦拭清除，抹布作为放射性固体废物。然后用温水仔细清洗。为防止污染的扩散，去污程序应先从污染轻的周围渐向污染重的部位。如经反复清洗效果不明显时，可根据放射性核素的化学性质和污染表面的性质，选用有效的去污剂进一步去污。

(5) 严重污染事故时，应立即通知在场的其他人员，同时迅速标出污染范围，防止其他人员进入污染区。污染区的人员经采取减少危害和防止污染扩散的必要措施后，要脱去污染的衣服并将其留在污染区，立即离开此区。事故发生后，应尽快通知防护负责人和主管人员，并立即向有关监督管理部门报告。防护人员应迅速提出全面处理事故

的方案，并协助主管人员组织实施。污染区经去污、监测后，经防护人员批准方可重新工作。

(6) 人员受到不必要的照射或超计划外照射时，应评估其受照剂量，并进行必要的医学处理。

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

按照《电离辐射防护与辐射安全基本标准》关于“营运管理”的要求，为确保辐射防护可靠性，维护辐射工作人员和周围公众的权益，履行放射防护职责，尽可能地避免事故的发生，医院应培植和保持良好的安全文化素养，减少因人为因素导致人员意外照射事故的发生。

按照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条要求：使用I类、II类、III类放射源，使用I类、II类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有1名具有本科学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作；

其他辐射工作单位应当有1名具有大专以上学历的技术人员专职或者兼职负责辐射安全与环境保护管理工作。

12.1.1 辐射安全管理领导小组成员及职责

建设单位根据《中华人民共和国放射性污染防治法》《放射性同位素和射线装置安全和防护条例》《放射诊疗管理规定》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等规定，成立了辐射安全与环境保护管理委员会，小组成员如下：

主任：魏述军（副院长）

副主任委员：马军

委员：马军、姚宗碧、尹新华、卢林、杨勇、杜勇、张宇卉、陈大治、徐强、赵涛、赵旺兄、席少静、高永斌、潘东峰

职责：

（1）主任委员是放射防护与辐射安全管理的第一责任人，负责医院放射防护与辐射安全工作的领导、监督、协调。

（2）贯彻落实国家和地方政府有关辐射安全与环境保护工作的方针、政策。

（3）制定并落实放射诊疗、放射防护管理制度和辐射安全与环境保护管理工作；

（4）定期召开会议，听取放射防护与安全工作情况汇报，讨论决定放射防护与安全工作中的重大问题和采取的措施。

（5）制定和完善射线医疗设备管理制度和操作规程，监督检查各项规章制度的执行情况，督促整改辐射事故隐患。

（6）组织医院内部辐射事故的调查、向辐射安全与环境保护管理领导小组提交对

责任者的处理意见。

12.1.2 辐射工作人员安全与防护培训

根据《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》的要求，医院已制定辐射安全培训制度，所有辐射工作人员严格持证上岗制度。目前，医院从事辐射工作的职业人员和管理人员均通过了辐射安全与防护考核。此外，医院计划利用内网、宣传展板等形式对全员进行辐射安全知识教育，提高人员的辐射安全文化素养，定期组织辐射工作人员和辐射安全管理人员参加辐射安全管理法规和防护知识培训。

本项目沿用原核医学科工作人员（共计12名），目前已有12名辐射工作人员通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台进行辐射安全与防护培训，考核类别为“核医学”。加强辐射工作人员管理，辐射安全与防护考核通过后，方可上岗从事辐射工作。

12.2 辐射安全管理规章制度

建立、健全和严格执行辐射安全管理的规章制度是防止潜在照射发生的重要措施，目前由医院医务处负责医院的放射防护管理工作。

目前医院已制定了核医学科安全管理制度、放射性源（药品）安全管理制度、放射源贮存制度、放射性药品操作质控及有效期监控制度、放射性同位素订购、领取、保管、使用制度、高活性室工作条例、放射性药品查对制度、核医学科放射性药品污染的紧急处理及报告制度等。

医院现有辐射安全和防护制度的建立落实、档案管理等运行正常，本项目建成后根据本项目医院开展的其他放射诊疗进一步完善安全操作规程、明确岗位职责、人员培训计划、监测计划等相关制度。

针对本项目，医院拟制定针对本项目的《回旋加速器操作规程》、《回旋加速器机房工作人员岗位职责》、《回旋加速器机房防辐射环境管理制度》、《PET/CT操作规程》、《PET/CT机房工作人员岗位职责》、《PET/CT机房防辐射环境管理制度》、《核医学科物理师岗位职责》、《核医学科化学师岗位职责》等与本项目相关的辐射防护制度，并将本项目可能发生的辐射事故纳入应急预案、针对本项目制定切实可行的应急处置流程、工作场所定期监测制度、放射性工作场所管理制度、放射性“三废”及废旧放射源处理等相关管理制度等。

本报告对各项制度的要点提出以下建议：

（1）操作规程：医院应根据本项目特点制定《回旋加速器机房操作规程》、

《PET/CT机房操作规程》，明确操作人员的权限以及操作时必须采取的防护措施，明确工作中的控制措施以及操作程序等。

(2) 回旋加速器、PET/CT机房岗位职责：明确辐射工作人员及辐射安全管理人员的岗位责任，并落实到个人。

(3) 辐射事故应急预案：完善事故应急预案，将本项目回旋加速器机房、PET/CT机房可能发生的辐射事故纳入应急预案，应急预案有明确的责任分工和切实可行的应急措施，当发生辐射事故时，医院立即启动辐射事故应急方案，采取有效的事故处理措施，防止事故恶化，并在规定时间内向当地生态环境部门和公安部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射时，并同时报告当地卫生主管部门。

12.3 辐射监测

12.3.1 个人剂量监测

建设单位已制定《辐射监测方案》，其中规定了医院辐射安全专职管理员负责联系有剂量监测资质的机构对医院辐射工作人员进行个人剂量监测。根据医院提供资料显示，医院目前已委托宁夏回族自治区疾病预防控制中心为所有在岗放射工作人员进行放射工作人员个人剂量监测，根据监测报告及监测结果可知，建设单位的个人剂量监测工作较为良好，建议医院继续按照《辐射监测方案》执行个人剂量监测计划，如有新人入职，及时为新人进行个人剂量监测并建立个人剂量监测档案。

12.3.2 工作场所辐射环境监测

建设单位已在核医学科室配置了1台X- γ 辐射剂量率监测仪，并对现有的《辐射监测方案》进行修订，并按照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）规定其放射治疗工作场所进行的辐射环境X、 γ 周围剂量当量率、中子辐射周围剂量当量率等进行自主监测。

(1) 委托监测

联系有资质的检测单位，对医院辐射工作场所及周围环境X- γ 辐射剂量率水平每年进行1次监测；年度检测报告作为《安全和防护状况年度评估报告》的重要组成部分一并提交给发证机关。

(2) 自主监测：

医院指定专人对回旋加速器机房、PET/CT机房及周围环境X- γ 辐射剂量率进行监测，具体监测方案如下：

监测位置：工作场所机房四周屏蔽墙外30cm处、顶棚、操作位、观察窗、防护

门，以及其他关注点开展X- γ 辐射周围剂量当量率监测；治疗机房屏蔽效果检测须在巡测的基础上，对关注点的局部屏蔽和缝隙进行重点检测。关注点包括：四面墙体、顶棚、机房门、管线洞口、工作人员操作位等，点位选取应具有代表性。如果超过控制水平，采取相应措施进一步核实，对于确定超过控制水平的点位须进行屏蔽补偿或增加防护。

监测项目：X- γ 辐射剂量率

监测频次：1次/月

医院制定了监测计划并设计制作了《辐射工作场所x、 γ 辐射剂量率自行检测记录表》，此外，医院需定期和不定期对辐射工作场所进行监测，随时掌握辐射工作场所剂量变化情况，发现问题及时维护、整改。医院须做好监测数据的审核，并制定相应的报送程序，监测数据及报送情况存档备查。

12.4 辐射事故应急

医院已根据《中华人民共和国放射性污染防治法》《放射性同位素与射线装置安全与防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等相关法律法规规定，制定了《宁夏回族自治区人民医院辐射事故应急预案》。在应急预案文件中，医院已明确了应急机构组成及职责，成立了辐射事故应急指挥中心，以主管领导为组长，医务科、护理部、设备科及各临床医技科室主任为组员。针对现有核技术利用项目可能发生的辐射事故类型，明确了报告和处理程序、采取的应急处置措施、信息报告与联系方式。此外，为应急部门配备了固定电话、电离辐射警示标志、巡测仪、铅衣等应急物资。日常工作中，医院安排每年组织一次院内辐射事故应急演练。医院制定的辐射事故应急预案已经具备了一定的辐射事故应急处置能力，能够基本满足现有辐射安全管理要求。

针对本项目新增的回旋加速器机房、PET/CT机房等，建设单位应进一步修订、完善辐射事故应急预案，对回旋加速器机房、PET/CT机辐射事故等提出针对性的应急措施。依据国家相关法律法规、标准，不断进行补充修改、完善，使应急预案更具有操作性、可行性。同时加强应急预案演练，提高事故应急处置能力。

12.5 项目竣工环境保护验收管理

根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4号），建设单位是建设项目环境保护验收的责任主体，本项目竣工后，建设单位应按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》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；同时，本项目获批后需第一时间重新申领辐射安全许可证，全部验收合格后，方可投入生产或使用。本工程竣工环境保护验收的内容见表12-1。

验收报告分为验收监测（调查）报告、验收意见和其他需要说明的事项等三项内容。建设单位应如实查验、监测、记载建设项目环境保护设施的建设和调试情况，编制验收监测（调查）报告。建设单位不具备编制验收监测（调查）报告能力的，可以委托有能力的技术机构编制。验收监测（调查）报告编制完成后，建设单位应当根据验收监测（调查）报告结论，逐一检查是否存在验收不合格的情形，提出验收意见。存在问题的，建设单位应当进行整改，整改完成后方可提出验收意见。为提高验收的有效性，在提出验收意见的过程中，建设单位可以组织成立验收工作组，采取现场检查、资料查阅、召开验收会议等方式，协助开展验收工作。验收工作组可以由设计单位、施工单位、环境影响报告书（表）编制机构、验收监测（调查）报告编制机构等单位代表以及专业技术专家等组成，代表范围和人数自定。环保设施的验收期限一般不超过3个月；需要对环境保护设施进行调试或者整改的，验收期限最长不超过12个月。

表 12-1 本项目竣工环境保护验收一览表

序号	项目	设施（措施）	验收要求
1	环保资料	项目建设的环评文件、环评批复、有资质单位出具的验收监测报告等	验收资料齐全，手续合法合规
2	设备数量及机房	1间PET/CT机房、控制室、1间回旋加速器机房、控制室及合成热室，1台PET/CT（最大管电压140kV、最大管电流666mA）、1台回旋加速器（最大束流（ μ A）：100）	设备安装位置、型号及相关参数不发生重大变动。
3	辐射屏蔽措施	机房屏蔽墙体、防护门等	防护措施按照设计要求实施，辐射防护屏蔽能力满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）规定
4	人员管理	辐射安全与防护培训考核	操作人员接受安全防护教育和培训。定期参加相关辐射防护知识培训学习，取得合格后方可上岗
		个人剂量监测	应按要求进行个人剂量监测并建立档案
		职业健康检查	辐射工作人员按要求进行职业健康体检并建立档案
5	管理制度	辐射防护管理制度	根据报告表应该完善的污染防治措施要求，

			修改完善医院相关规章制度，满足《中华人民共和国放射性污染防治法》《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》以及《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等中的相应防护标准的要求
6	辐射安全防护措施	辐射安全措施	回旋加速器机房及PET/CT机房防护门设置门机联锁装置、光幕式红外防夹装置，防护门上方设置工作状态指示灯，防护门表面张贴电离辐射警告标识；机房内以及控制台设置急停开关；机房内设置视频监控和对讲设施、在线监控系统、固定式剂量警报装置等安装到位，符合要求。
7	防护用品、监测仪器	个人剂量计	配备与工作人员数量匹配的个人剂量计
		辐射环境监测仪	配备符合要求的辐射环境监测仪
8	分区管理	工作场所划分为监督区和控制区	严格按照控制区和监督区相关要求进行管理，严格医生和病人的分流
9	监测实施	个人剂量监测	工作人员受到的年附加有效受照剂量应低于管理限值5mSv的要求；公众人员受到的附加年有效剂量应低于管理限值0.1mSv的要求
		工作场所监测	机房外周围剂量当量率应不大于《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）。
10	废气治理设施	各机房设置独立进风系统，经各通风橱引至活性炭过滤后，由排风管道排至室外。	/
11	辐射安全许可证申领		项目获批后需第一时间重新申领辐射安全许可证

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 实践的正当性分析

宁夏回族自治区人民医院拟增加的放射性医疗设备、设施主要用于肿瘤患者的治疗，其目的在于提升医院的医疗水平，更好地开展救治病人的工作，对保障人民群众身体健康、拯救生命起着十分重要的作用；其产生的社会利益远大于辐射所造成的损害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践正当性”的要求。

13.1.2 产业政策的符合性

根据《产业结构调整指导目录（2024年本）》：本项目属于“鼓励类第十三项、医药类第4条，高端医疗器械创新发展：新型基因、蛋白和细胞诊断设备，新型医用诊断设备和试剂，高性能医学影像设备，高端放射治疗设备，急危重症生命支持设备，人工智能辅助医疗设备，移动与远程诊疗设备，高端康复辅助器具，高端植入介入产品，手术机器人等高端外科设备及耗材，生物医用材料、增材制造技术开发与应用”的类别，符合国家产业政策和发展规划。

13.1.3 选址的合理性

宁夏回族自治区人民医院核医学设备建设项目位于医院内部，不新增土地。项目50m评价范围内无居民区、学校、具有代表性的各种类型的自然生态系统区域，珍稀、濒危的野生动植物自然分布区域，重要的水源涵养区域以及人文遗迹、古树名木等环境敏感目标，无环境制约因素，选址合理可行。

13.1.4 辐射环境影响评价

（1）辐射环境影响现状评价

本项目厂址所在地的环境 γ 辐射剂量率在当地环境本底水平范围内，未见异常。

（2）辐射环境影响分析与预测

项目建设后，辐射工作人员因项目运行而受到年有效剂量低于职业人员年剂量管理约束值（5mSv），符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于剂量限制的要求；预计公众成员因本项目运行而受到年有效剂量最大值0.08mSv/a，低于公众成员年剂量管理约束值0.1mSv/a，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）关于剂量限制的要求。

13.1.5辐射防护管理情况

(1) 医院为了加强医院环境保护工作领导，规范医院放射性同位素及射线装置辐射安全及管理，成立了辐射安全与环境保护管理委员会，并制定了各成员职责。

(2) 医院为了加强对放射性同位素、射线装置安全和防护的管理，促进放射性同位素、射线装置的安全应用，保证医疗质量和医疗安全，保障放射诊疗工作人员、患者和公众的人体健康，医院建立了相应的管理制度（包括操作规程、岗位职责、人员培训、监测方案等）和辐射事故应急预案。

(3) 为应对医院可能出现的辐射事故，医院成立了放射事件应急处理领导小组。

(4) 医院现有辐射安全和防护制度的建立落实、档案管理等方面运行正常，本项目建成后根据本项目医院开展的其他放射诊疗进一步完善安全操作规程、明确岗位职责、人员培训计划、监测计划等相关制度。

(5) 针对本项目，医院拟制定针对本项目的《回旋加速器操作规程》、《回旋加速器机房工作人员岗位职责》、《回旋加速器机房防辐射环境管理制度》、《PET/CT操作规程》、《PET/CT机房工作人员岗位职责》、《PET/CT机房防辐射环境管理制度》、《核医学科物理师岗位职责》、《核医学科化学师岗位职责》等与本项目相关的辐射防护制度，并将本项目可能发生的辐射事故纳入应急预案、针对本项目制定切实可行的应急处置流程、工作场所定期监测制度、放射性工作场所管理制度、放射性“三废”及废旧放射源处理等相关管理制度等。

13.1.6安全培训及健康管理

(1) 对所有从事辐射工作的人员进行辐射安全与防护知识教育培训，使工作人员熟练掌握操作技能，减少操作时间，从而达到减少受照剂量；同时，接受《核技术利用辐射安全与防护》考核合格后方能上岗，考核类别为“核医学”，考核证书有效期为5年，到期前需重新进行考核。

(2) 所有辐射工作人员均应进行个人累积剂量的监测并建立个人档案，每两年进行一次健康体检。

13.1.7可行性结论

综上所述，宁夏回族自治区人民医院核医学设备建设项目在落实本报告提出的各项污染防治措施和辐射环境管理制度后，具备从事相应的辐射工作技术能力，对工作人员、公众人员和周围环境的辐射影响就可以控制在国家允许的标准范围之内。

因此，从辐射安全和环境保护的角度论证，本项目建设是可行的。

13.2 承诺与建议

13.2.1 建议

根据项目情况本评价提出以下建议：

(1) 根据工作实际，不断完善辐射安全管理体系，加强辐射安全教育培训，提高辐射工作人员对辐射防护的理解和执行辐射防护措施的自觉性，杜绝辐射事故的发生。

(2) 继续做好对放射工作人员的辐射防护培训、个人剂量监测、健康体检和辐射环境监测等工作，发现问题及时整改，并分类保管保存相关资料。

(3) 按照辐射事故应急预案和报告制度的要求，定期进行应急演练。

(4) 落实辐射防护设施定期检查制度，如工作警示灯、辐射警示标志等。

13.2.2 承诺

为保护环境，保障人员健康，医院承诺：

(1) 按《放射性同位素与射线装置安全与防护管理办法》要求开展个人剂量监测、工作场所监测、放射性废水水质监测以及对本单位射线装置的安全和防护状态进行年度评估，并于每年1月31日前向发证机关及当地生态环境部门提交上一年度的评估报告。

(2) 接受生态环境部门的监督检查并及时整改检查中发现的问题。

(3) 完善规章制度并保证各种规章制度和操作规程的有效执行。

(4) 按要求开展竣工环保验收。