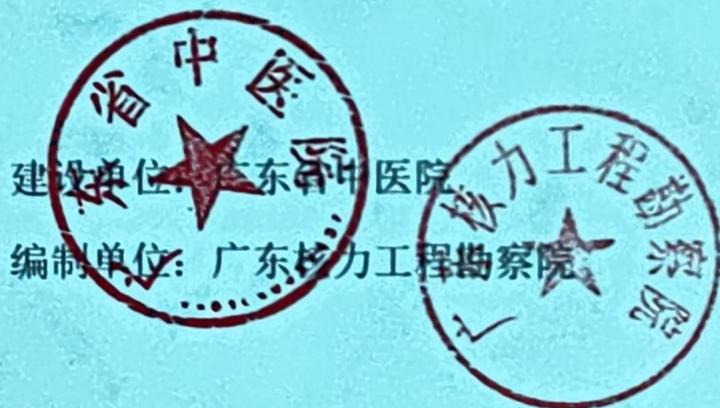
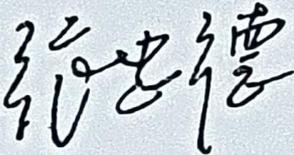


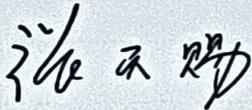
广东省中医院大学城医院核医学科改造项目竣工环境保护

验收监测表

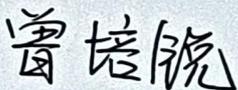


2023年2月

建设单位法人代表:  (签字)

编制单位法人代表:  (签字)

项目负责人: 

填表人:  

建设单位(盖章)  广东省中医院
电 话 : 020-81887233
传 真 : 020-81867705
邮 编 : 510000
地 址 : 广州市越秀区大德路 111 号

编制单位(盖章)  广东核力工程勘察院
电 话 : 020-36917064
传 真 : 020-86828431
邮 编 : 510800
地 址 : 广州市花都区湖畔路 3 号

目 录

表一 项目概况	1
表二 项目建成情况	7
表三 辐射安全与防护设施/措施	26
表四 环境影响报告表主要结论与建议及其审批部门审批决定	52
表五 质量保证和质量控制	59
表六 验收监测内容	61
表七 验收监测结果	62
表八 验收监测结论	75
附图 1 医院总平面布置图	77
附图 2 门诊楼一层总平面布置图	78
附图 3-1 改造前原有平面布置图	79
附图 3-2 改造后平面布置图	80
附图 4 回旋加速器工作场所平面布置图	81
附图 5 扩建后工作场所分区图	82
附图 6 回旋加速器工作场所分区图	83
附图 7-1 PET/MR 工作场所 X- γ 剂量率监测布点图	84
附图 7-2 PET/MR 工作场所 β 表面沾污监测布点图	85
附图 7-3 回旋加速器工作场所 X- γ 剂量率监测布点图	86
附图 7-4 回旋加速器工作场所工作场所 β 表面沾污监测布点图	87
附图 7-5 回旋加速器工作场所工作场所中子剂量率监测布点图	88
附件 1 本项目环评批复	89
附件 2 辐射安全许可证	93
附件 3 辐射事故应急预案	98
附件 4 衰变池废液检测报告	108
附件 5 本项目竣工验收监测报告	113

表一 项目概况

建设项目名称	广东省中医院大学城医院核医学科改造项目					
建设单位名称	广东省中医院					
建设项目性质	新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input checked="" type="checkbox"/> 退役 <input type="checkbox"/>					
建设地点	广州市番禺区大学城内环西路 55 号广东省中医院大学城医院门诊楼					
源项	放射源(类别)	非密封放射性物质(场所等级)	射线装置(类别)	退役项目		
	V	乙级	/	/		
建设项目环评批复时间	2020 年 10 月 23 日	开工建设时间(退役开始实施时间)	2021 年 6 月 1 日			
取得辐射安全许可证时间	2022 年 9 月 26 日	项目投入运行时间	2022 年 11 月			
退役污染治理完成时间(退役项目)	/	验收现场监测时间	2023 年 1 月 10 日			
环评报告表审批部门	广东省生态环境厅	环评报告表编制单位	广东核力工程勘察院			
辐射安全与防护设施设计单位	华克医疗科技(北京)股份公司	辐射安全与防护设施施工单位	华克医疗科技(北京)股份公司			
投资总概算(万元)	4650	辐射安全与防护设施投资总概算(万元)	260	比例	5.6%	
实际总概算(万元)	4500	辐射安全与防护设施实际总概算(万元)	300	比例	6.7%	

<p style="text-align: center;">验收依据</p>	<p>(1) 《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》(国环规环评[2017]4号 2017年11月20日施行)；</p> <p>(2) 《关于发布<建设项目竣工环境保护验收技术指南 污染影响类>的公告》(生态环境部公告 2018年第9号)；</p> <p>(3) 《关于发布关于公开征求国家生态环境标准<核技术利用项目竣工环境保护验收技术规范(征求意见稿)>意见的通知》(环办标征函〔2022〕1号, 2022年1月19日)；</p> <p>(4) 广东核力工程勘察院编制的《广东省中医院大学城医院核医学科改造项目环境影响报告表》(GDHL-HP-2020-H005)；</p> <p>(5) 广东省生态环境厅《关于广东省中医院大学城医院核医学科改扩建项目环境影响报告表的批复》(粤环审[2020]252号, 2020年10月23日)。</p>						
<p style="text-align: center;">验收监测执行标准</p>	<p>1、环评时执行标准：</p> <p>(1) 广东省生态环境厅《关于广东省中医院大学城医院核医学科改扩建项目环境影响报告表的批复》(粤环审[2020]252号, 2020年10月23日)</p> <p>本项目在建设和运行中应严格落实报告表提出的各项辐射安全和防护措施, 确保辐射工作人员有效剂量约束值低于5毫希沃特/年, 公众有效剂量约束值低于0.25毫希沃特/年。</p> <p>(2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)</p> <p style="text-align: center;">表 1-1 剂量限值的相关内容</p> <table border="1" data-bbox="263 1352 1401 1722"> <thead> <tr> <th>相关条款</th> <th>具体内容</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>B1.1 职业照射</td> <td>B1.1.1.1 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(但不可作任何追溯性平均), 20mSv;</td> </tr> <tr> <td>B1.2 公众照射</td> <td>B1.2.1 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: a) 年有效剂量, 1mSv。</td> </tr> </tbody> </table> <p>本项目剂量约束值：按防护与安全的最优化要求, 结合本项目实际情况, 取职业照射年平均有效剂量的四分之一作为职业工作人员的年有效剂量约束值, 即不超过5mSv; 取公众照射年有效剂量的四分之一作为公众成员的年有效剂量约束值, 即不超过0.25 mSv。</p> <p>②非密封源工作场所的分级</p>	相关条款	具体内容	B1.1 职业照射	B1.1.1.1 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(但不可作任何追溯性平均), 20mSv;	B1.2 公众照射	B1.2.1 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: a) 年有效剂量, 1mSv。
相关条款	具体内容						
B1.1 职业照射	B1.1.1.1 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(但不可作任何追溯性平均), 20mSv;						
B1.2 公众照射	B1.2.1 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: a) 年有效剂量, 1mSv。						

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》规定，非密封源工作场所的分级见表 1-2。

表 1-2 非密封源工作场所的分级要求

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

放射性核素的日等效最大操作量的计算：

$$\text{日等效操作量} = \frac{\text{放射性核素的日操作量} \times \text{核素毒性修正因子}}{\text{操作方式修正因子}}$$

③表面放射性污染的控制

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》规定，工作人员体表、内衣、工作服以及工作场所的设备、地面放射性污染控制遵循下表：

表 1-3 工作场所的放射性表面沾污控制水平

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

(3) 《临床核医学放射卫生防护标准》GBZ120-2006

①临床核医学工作场所的放射防护要求

(一)临床核医学的工作场所应按照 GB18871 非密封源工作场所分级规定进行分级，并采取相应的放射防护措施。

(二)为便于操作，针对临床核医学实践的具体情况，可以依据计划操作最大量放射性核素的加权活度，把工作场所分为 I、II、III类。

表 1-4 临床核医学工作场所具体分类

类别	操作最大量放射核素的加权活度 MBq
I	>50000
II	50~50000
III	<50

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

表 1-5 不同类别核医学工作场所的室内表面及装备结构要求

场所分类	地面	表面	通风橱	室内通风	管道	清洗及去污设备
I	地板与墙壁接缝无缝隙	易清洗	需要	应设通风机	特殊要求	需要
II	易清洗且不易渗透	易清洗	需要	有较好通风	一般要求	需要
III	易清洗	易清洗	不必	一般自然通风	一般要求	只需清洗设备

注：1) 依据国际放射防护委员会（ICRP）第 57 号出版物。
2) 仅指实验室。
3) 下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修检测。

(4) 《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）

“总α放射性≤1Bq/L，总β放射性≤10Bq/L”。

2、新实施校核标准：

(1) 《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）（新实施标准要求）

根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）5.2.2 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 1-7，核医学工作场所分类的加权活度计算方法见附录。

表 1-6 核医学科工作场所分类一览表

类别	操作最大量放射核素的加权活度 MBq
I	>50000
II	50~50000
III	<50

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

表 1-7 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。

《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）5.3 核医学工作场所的防护水平要求的相关规定：

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 μ 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 μ Sv/h，宜不大于 2.5 μ 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 μ 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。

(2) 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）（节选）

本项目竣工环境保护验收的执行标准原则上采用环境影响报告表及环评批复确定的环境保护标准，对已修订新颁布的环境保护标准作为校核标准。

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 GB18871 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 0.1mSv/a。

6.工作场所的辐射安全与防护

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 μ 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 μ 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 μ 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 μ Sv/h。

7.2 固体放射性废物的管理

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 0.08Bq/cm²、 β 表面污染小于 0.8Bq/cm²的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。

7.3 液态放射性废物的管理

7.3.3 放射性废液排放

7.3.3.1 对于槽式衰变池贮存方式：

a) 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放；

b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天），监测结果经审管部门认可后，按照 GB18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。放射性废液总排放口总 α 不大于 1Bq/L、总 β 不大于 10Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L。

表二 项目建成情况

项目建设内容

2.1 本项目概况

由于 PET 诊断项目患者数量的不断增加，医院现有 PET/CT 场所已不能满足诊疗需求，因此为了缓解就医需求，医院将门诊楼一层原有未开展工作空置的 SPECT-CT 工作场所进行辐射防护改造。建设 1 间 PET/MR 机房，并安装使用 1 台 PET/MR，使用放射性核素 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{68}Ga 、 ^{89}Zr 、 ^{64}Cu 进行核素显像，扩建后仍属于乙级非密封放射性物质工作场所，该场所不依托原有的环保设施，针对产生的放射性废液、固体废物及废气均重新设置了单独的处理系统。原有 PET/CT 设备新增使用 ^{68}Ga 放射性核素进行显像诊断，其余批准使用的四种放射性核素用量不变。

医院生产的放射性核素包括： ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 和 ^{18}F 四种核素。现对 PET/CT 场所进行扩建，并将原有批准使用的放射性核素 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 的用量增加，经过扩量后原有回旋加速器批准的生产量不能满足实际使用的需求，因此本次将回旋加速器的生产量进行增加，以满足放射性核素使用的需求。其余防护措施均不变只是将生产量进行增加，扩量后场所仍为乙级非密封放射性物质工作场所，等级不变。

2.2 地理位置及平面布置

2.2.1 项目地理位置

广东省中医院大学城院区位于广州市番禺区大学城内环西路 55 号，医院西面为广州大学附属中学，其他三面为大学城绿化地。大学城医院 PET/CT 扩建场所位于门诊楼一层西南侧位置，本次进行扩量的回旋加速器场所位于 PET/CT 场所正下方，即门诊楼负一层，医院地理位置图见图 2-1，医院外环境图见图 2-2。医院总平面布置见附图 1。

2.2.2 本项目工作场所四至关系

PET/CT 改扩建场所位于门诊楼一层，其北侧为走廊、门诊大厅，东侧为电梯厅、走廊、急诊科，南侧为开敞庭院，西侧为医护人员办公室、阅片室、资料室等，楼上为普放 X 射线机房，楼下为回旋加速器工作场所的办公室、更衣室、洗消室等，本场所 50m 范围内均位于医院内部，其场所四周和楼上及楼下均无环境敏感目标。门诊楼一层平面布置图见附图 2。

回旋加速器工作场所位于门诊楼负一层西南侧位置，场所楼上为绿化庭院、PET/CT 工作场所，楼下为土壤层，东侧为放疗中心，西侧为 SPECT-CT 工作场所、车库，南侧

为供应室，北侧为土壤层。本场所 50m 范围内均位于医院内部，回旋加速器场所布置图见附图 4。



图 2-1 项目地理位置

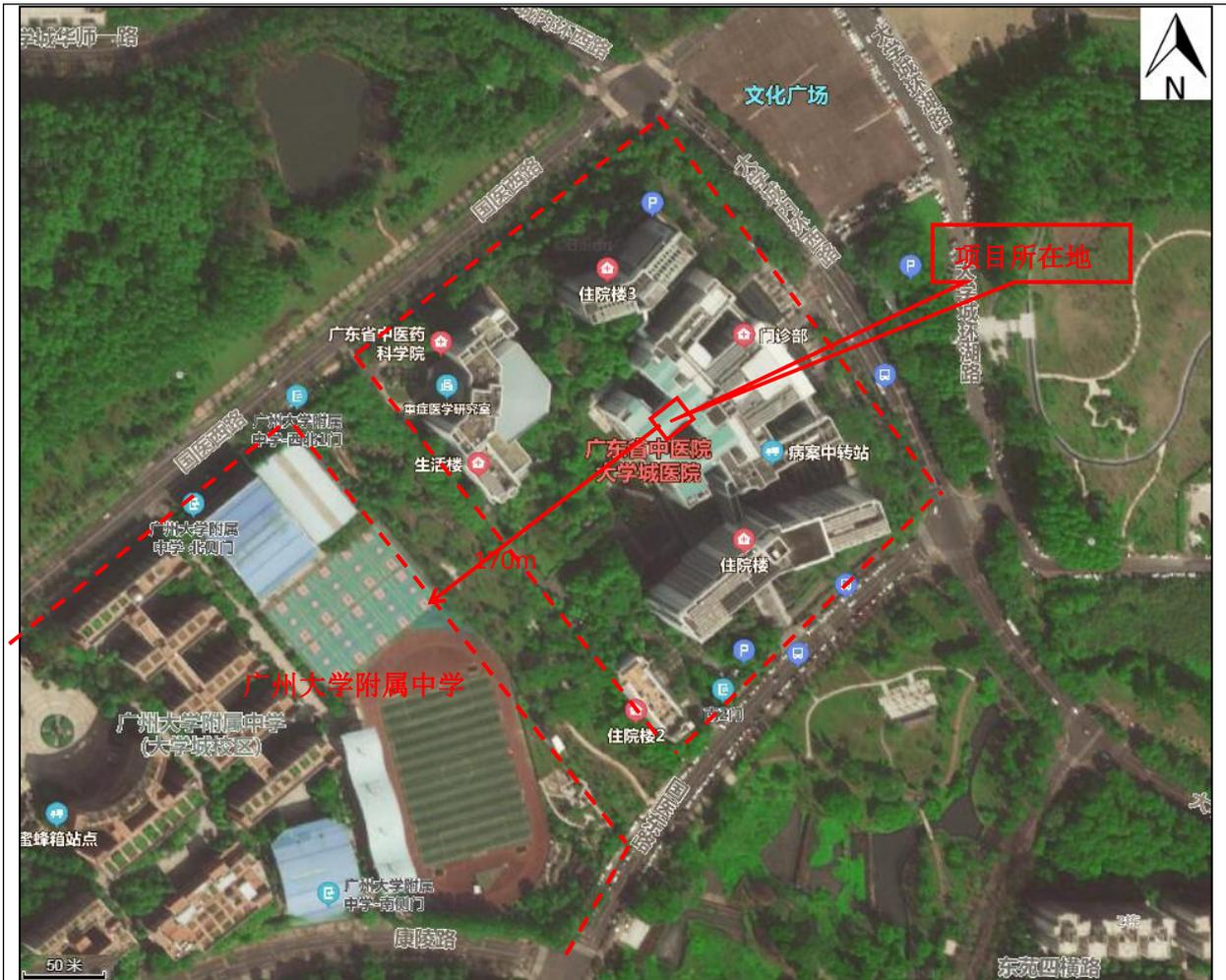


图 2-2 医院外环境图

2.3 项目建设规模

2.3.1 本项目原有环保手续履行情况及评价规模

广东省中医院大学城院区门诊楼一层原有 PET/CT 乙级非密封放射性物质工作场所。医院于 2008 年对 PET/CT 工作场所进行了环境影响评价，并取得了广东省环保局的批复，于 2013 年进行竣工环境保护验收，并取得原广东省环境保护厅的验收批复（粤环审[2014]7 号）。

医院于 2012 年 2 月委托有资质的单位对门诊楼一层 SPECT-CT 乙级非密封放射性物质工作场所进行了环境影响评价，并于 2013 年 9 月 30 日取得了原广东省环保厅的批复（粤环审[2013]329 号）。医院门诊楼一层 SPECT-CT 场所建成后一直未开展相关工作，未使用相关核素。医院于 2015 年重新进行了规划，将 SPECT-CT 乙级非密封放射性物质工作场所由门诊楼一层调整至了门诊楼负一层，原门诊楼一层的 SPECT-CT 场所作为无限制工作场所使用，该场所一直处于空置状态。

为了满足现有诊疗需求，医院将门诊楼一层 PET/CT 场所进行扩建，将相邻的原有的一层空置的 SPECT-CT 工作场所进行辐射防护改造，并重新布局。建设 1 间 PET/MR 机房、注射室、注射后候诊室等。因原有 SPECT-CT 工作场所场地有限，因此本次改造将向东北侧扩延，将现有东北侧门诊收费处进行拆除，原有场所平面布局图见附图 3-1，改造后平面布局图见附图 3-2。

2.3.2 扩建部分与原有已批复 PET/CT 场所的依托性

本项目扩建部分不依托原有的环保设施，针对产生的放射性废液、固体废物及废气均重新设置了单独的处理系统。

放射性固体废物：场所进行扩建后，PET/CT 原有布局部分不改动，对扩建部分重新进行了布局，针对产生的放射性固体废物设置有专门的放射性废物暂存室，每天产生的放射性废物转移至暂存室暂存，待符合清洁解控标准，报审管部门批准后，作为普通医疗垃圾处理。

放射性废液：原有 PET/CT 部分放射性废液处理系统不变动，本次对扩建的 PET/MR 诊断项目产生的放射性废液新建一座三级并联衰变池，位于门诊楼南侧，运行过程中产生的放射性废液均排入衰变池，待贮存衰变并经检测合格后，排入医院污水处理系统。

放射性废气：原有 PET/CT 部分放射性废气处理系统不变动，对扩建部分重新进行了布局，设置了独立的排风系统。排风管道走向由低浓度向高浓度排出，并设置止回阀，

防止气体倒流，全部排风管道立管均沿大楼直达楼顶，气体经过滤系统过滤后排出室外。

2.3.3 PET/CT 场所扩建情况（本项目建设规模）

2.3.3.1 布局扩建情况

- 1) 本次扩建原有批准的 PET/CT 部分布局不进行改动；
- 2) 将相邻的 SPECT-CT 场所进行重新改造，建设 1 间 PET/MR 机房、注射室、注射后候诊室、储源室、留观室等。

2.3.3.2 源项增加情况

- 1) 原有 PET/CT 设备新增使用 ^{68}Ga 放射性核素进行显像诊断，其余批准使用的四种放射性核素用量不变。
- 2) 在 PET/MR 机房新增使用 1 台 PET/MR。
- 3) PET/MR 使用放射性核素 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{68}Ga 、 ^{89}Zr 、 ^{64}Cu 进行核素显像，配备 5 枚 ^{68}Ge 校准源进行设备校准。

2.3.3.3 本次扩建后场所核素使用规模

- 1) 原有 PET/CT 设备新增使用 ^{68}Ga 放射性核素进行显像诊断，其余批准使用的四种放射性核素用量不变。

2) 本次 PET/CT 场所扩建包括建设 1 间 PET/MR 机房，并安装使用 1 台 PET/MR；建设注射室、注射后候诊室、留观室等。该场所原有使用的放射性核素包括 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、和 ^{15}O 四种。本次扩建将原有批准使用的放射性核素 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 的用量增加，并在该场所新增使用放射性核素 ^{68}Ga 、 ^{89}Zr 、 ^{64}Cu 进行核素显像。放射性核素 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 和 ^{15}O 均为医院回旋加速器自制， ^{68}Ga 、 ^{89}Zr 、 ^{64}Cu 核素为外购。新增使用 5 枚 ^{68}Ge 密封源进行 PET/MR 设备校准，属于 V 类放射源。

通过对核素的使用量估算，该场所经过扩量及增加核素后仍属于乙级非密封放射性物质工作场所，因此非密封放射性物质工作场所等级不变。各核素的用量详见表 2-1~表 2-4。

2.3.4 回旋加速器放射性核素制备量增加规模（本项目建设规模）

本项目回旋加速器工作场所位于门诊楼负一层西南侧位置，医院于 2011 年委托有资质的单位对大学城医院使用回旋加速器生产放射性核素项目进行了环境影响评价，并取得了原广东省环境保护厅的批复（粤环审[2011]74 号）及辐射安全许可证。于 2013 年对其进行了竣工环保验收，并取得了原广东省环境保护厅的验收批复（粤环审

[2013]161号)。

医院生产的放射性核素包括： ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 和 ^{18}F 四种核素。现对原有批准生产的放射性核素 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 的制备量增加。关于回旋加速器工作场所机房的辐射屏蔽防护情况，工作流程，辐射安全措施，三废处理措施及辐射工作人员等均无变化。本次扩量的影响主要是工作人员的负荷增加、现有的三废产生量增加及对周围公众的影响增加。生产的放射性核素扩量后场所仍为乙级非密封放射性物质工作场所，等级不变，增加前后的生产量见表 2-5。

表2-1 原有PET/CT场所放射性核素批准量表（原有批准部分）

核素名称	日最大操作量	计划日最大人数	日等效最大操作量 (Bq)	年规划天数	年最大操作量 (Bq)
¹¹ C	1.10E+10	3	1.10E+08	251	2.76E+12
¹³ N	3.70E+09	2	3.70E+07	251	9.29E+11
¹⁵ O	3.70E+09	2	3.70E+07	251	9.29E+11
¹⁸ F	3.70E+10	25	3.70E+08	251	9.29E+12

注：根据医院实际情况，同一天使用的核素种类≤2，PET/CT 诊断项目每天最大工作量 25 人

表 2-2 PET/MR 诊断项目放射性核素使用增量表（扩量部分）

核素名称	每人每次最大操作量 (Bq)	计划日最大人数	日最大操作量 (Bq)	组别修正因子	操作修正因子	日等效最大操作量 (Bq)	年规划天数	年最大操作量 (Bq)	备注	核素来源
¹¹ C	5.55E+08	2	5.55E+09	0.01	1	5.55E+07	251	1.39E+12	仅 PET/MR	自制
¹³ N	5.55E+08	2	3.70E+09	0.01	1	3.70E+07	150	5.55E+11		
¹⁸ F	3.70E+08	15	3.70E+10	0.01	10	3.70E+07	251	9.29E+12		
⁶⁴ Cu	2.90E+08	3	1.30E+09	0.01	1	1.30E+07	100	1.30E+11		外购
⁶⁸ Ga	2.50E+08	6 (PET/CT 和 PET/MR 各 3 人)	3.70E+09	0.01	1	3.70E+07	150	5.55E+11	PET/CT 和 PET/MR	外购
⁸⁹ Zr	1.48E+08	4	7.40E+08	0.1	1	7.40E+07	50	3.70E+10	仅 PET/MR	外购

注：根据医院实际情况，同一天使用的核素种类≤2，PET/MR 诊断项目每天最大工作量 15 人

表 2-3 PET 场所扩建后核素用量调整情况表（扩量后合计）

核素名称	原有批准量		本次增加量		增加后总量		备注
	日等效最大操作量 (Bq)	年最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大操作量 (Bq)	
¹¹ C	1.10E+08	2.76E+12	5.55E+07	1.39E+12	1.66E+08	4.15E+12	用于 PET/CT 和 PET/MR
¹³ N	3.70E+07	9.29E+11	3.70E+07	5.55E+11	7.40E+07	1.48E+12	
¹⁵ O	3.70E+07	9.29E+11	不增加		3.70E+07	9.29E+11	仅用于 PET/CT
¹⁸ F	3.70E+08	9.29E+12	3.70E+07	9.29E+12	4.07E+08	1.86E+13	用于 PET/CT 和 PET/MR
⁶⁴ Cu	/	/	1.30E+07	1.30E+11	1.30E+07	1.30E+11	仅用于 PET/MR
⁶⁸ Ga	/	/	3.70E+07	5.55E+11	3.70E+07	5.55E+11	用于 PET/CT 和 PET/MR
⁸⁹ Zr	/	/	7.40E+07	3.70E+10	7.40E+07	3.70E+10	仅用于 PET/MR
合计	日等效最大操作量：8.08E+08Bq，属于乙级非密封放射性物质工作场所（2.0E+07~4.0E+09Bq）						

注：1、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），医疗机构使用¹⁸F相关活动视为“很简单的操作”。

2、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)附录 D 放射性核素毒性分组中未收录¹³N，由于¹³N的毒性较小，本项目按照低毒组进行相关计算。

3、日等效最大操作量=(日最大操作量×组别修正因子)/操作修正因子。

4、上述放射性核素的日最大操作量考虑了放射性核素随时间的衰变。

表 2-4 本项目 PET/MR 配备校准源（新增）

序号	名称	数量	单枚源活度 (Bq)	类别	用途
1	⁶⁸ Ge	1	5.5E+07	V类	校准
2	⁶⁸ Ge	1	5.5E+06	V类	校准
3	⁶⁸ Ge	3	7.0E+05	V类	校准

表2-5 回旋加速器批准生产及增量后放射性核素规模

核素名称	原有批准量		本次增加量		增加后总量		备注
	日等效最大操作量 (Bq)	年最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大操作量 (Bq)	
¹¹ C	1.1E+08	2.76E+12	2.59E+08	6.50E+12	3.70E+08	9.26E+12	用于 PET/CT 和 PET/MR
¹³ N	3.7E+07	9.29E+11	1.11E+08	2.79E+12	1.48E+08	3.72E+12	用于 PET/CT 和 PET/MR
¹⁵ O	3.7E+07	9.29E+11	不增加		3.70E+07	9.29E+11	仅用于 PET/CT
¹⁸ F	3.7E+08	9.29E+12	7.40E+08	1.86E+13	1.11E+09	2.79E+13	用于 PET/CT 和 PET/MR
合计	日等效最大操作量：1.66E+09Bq，属于乙级非密封放射性物质工作场所（2.0E+07~4.0E+09Bq）						

2.4 验收规模

本次实际验收规模与环评建设内容一致。环境影响报告表及其审批部门批准建设内容与实际建设内容一览表详见表 2-6。因原有 PET/CT 工作场所未进行改动，与本次扩建区域分开设置，三废均有独立的处理措施，且已经验收合格。医院每年对其进行年度检测，检测结果均满足要求，因此本次未对 PET/CT 场所进行验收。

本项目投资总概算 4650 万元，环保投资总概算 260 万元，所占比例为 5.6%；实际总投资 4500 万元，环保投资 300 万元，所占比例为 6.7%。

表2-6 环境影响报告表及其审批部门批准建设内容与实际建设内容一览表

序号	环境影响报告表及其审批部门批准建设内容	实际建设内容
1	(一)改扩建门诊楼一层核医学 PET/CT 工作场所，改扩建区域位于 PET/CT 工作场所东北侧原有 SPECT/CT 工作场所（未投入使用）。在改扩建区域新增 1 间 PET/MR 机房、注射室、注射后候诊室等功能用房，在该 PET/MR 机房内新增安装使用 1 台 PET/MR 用于核素显像诊断，配套新增使用 5 枚锞-68(均属 V 类放射源)。改扩建后新增放射性核素镓-68 进行 PET/CT 核素显像诊断，新增使用氟-18、碳-11、氮-13、镓-68、铜-64、铅-89 进行 PET/MR 核素显像诊断。改扩建后该核医学工作场所仍为乙级非密封放射性物质工作场所。	与环评一致
2	(二)在门诊楼负一层的回旋加速器核素制备场所增加放射性核素氟-18、碳-11、氮-13 制备量，增量后的回旋加速器核素制备场所仍为乙级非密封放射性物质工作场所。	与环评一致

2.5 本项目建设过程概述

2020 年 5 月，广东省中医院委托广东核力工程勘察院编制了《广东省中医院大学城医院核医学科改造项目环境影响报告表》；

2020 年 10 月，取得了《广东省生态环境厅关于广东省中医院大学城医院核医学科改扩建项目环境影响报告表的批复》（粤环审[2020]252 号，详见附件 1）；

2021 年 6 月，改扩建场所开始进场施工；

2022 年 6 月，改扩建场所竣工；

2022 年 9 月，取得了辐射安全许可证；

2022 年 11 月，场所投入试运行。

2.6 验收范围及环境保护目标变更情况

广东省中医院大学城医院扩建工作场所位于门诊楼一层，回旋加速器工作场所位于门诊楼负一层。本项目验收范围与评价范围一致即工作场所半径 50m 的范围，本项目的

保护目标是验收范围内可能受到影响的辐射工作人员和公众。本项目验收范围内的环境保护目标情况详见表 2-7~2-8。

表2-7 扩建工作场所验收范围内（50m）保护目标对照一览表

环境保护目标	区域	方位	距离	影响人员数量	备注	验收阶段是否发生变更
辐射工作人员	工作场所内		/	9 人	全居留	未发生变更
公众成员	电梯厅、走廊、急诊科、楼外道路	东	1~50m	约 50 人	偶然居留	未发生变更
	走廊、药房、门诊大厅、楼外道路	北	1~50m	约 50 人	偶然居留	未发生变更
	开敞庭院、楼外道路	南	3~50m	约 10 人	部分居留	未发生变更
	医护人员办公室、阅片室、资料室、楼外道路	西	6~50m	约 20 人	部分居留	未发生变更
	普放 X 射线机房	楼上	紧邻	约 10 人	部分居留	未发生变更
	回旋加速器工作场所的办公室、更衣室、洗消室等	楼下	紧邻	约 3 人	部分居留	未发生变更

表 2-8 回旋加速器工作场所验收范围内（50m）的环保目标一览表

环境保护目标	区域	方位	距离	影响人员数量	备注	验收阶段是否发生变更
辐射工作人员	工作场所内		/	4 人	全居留	未发生变更
公众成员	放疗中心	东	15~50m	约 30 人	部分居留	未发生变更
	供应室	南	15~50m	约 3 人	偶然居留	未发生变更
	SPECT-CT 工作场所、车库	西	5~50m	约 20 人	部分居留	未发生变更
	PET/CT 工作场所、绿化庭院	楼上	紧邻	约 15 人	部分居留	未发生变更

2.7 项目变动情况

本项目对照环评发生变动的情况为衰变池的位置发生了轻微变更，医院考虑到原有衰变池的位置对景观的影响，因此将衰变池的位置由原来的门诊楼西南侧位置向南移约 40m，衰变池的容积由环评时的 15m³ 增大至 21.6m³、其余池体的结构及运行程序等均未发生变化。

本次验收的扩建场所机房的屏蔽防护材料及厚度、布局等参数均与环境影响报告表及广东省生态环境厅审批要求一致，未发生变更。

2.8 源项情况

2.8.1 扩建场所涉及的放射性核素使用情况

使用放射性核素¹⁸F、¹¹C、¹³N、⁶⁸Ga、⁸⁹Zr、⁶⁴Cu进行核素显像，PET/MR配备5枚⁶⁸Ge校准源进行设备校准。各放射性核素的理化性质详见表2-9~2-10。

表2-9 非密封放射性核素的理化性质

核素名称	状态	半衰期	毒性分组	衰变方式	发射光子能量keV
¹⁸ F	液态	109.8min	低毒组	β ⁺ EC	511
¹¹ C	液态	20.4min	低毒组	β ⁺	511
¹³ N	液态	10min	低毒组	β ⁺	511
¹⁵ O	液态	2min	低毒组	β ⁺	511
⁶⁸ Ga	液态	68.4min	低毒组	β ⁺ EC	511
⁸⁹ Zr	液态	78.4h	中毒组	β ⁺ EC	511, 909
⁶⁴ Cu	液态	12.7h	低毒组	β ⁺ β ⁻ EC	511, 1346

注：衰变方式栏中EC表示轨道电子俘获

表2-10 ⁶⁸Ge密封源性质

核素名称	状态	半衰期	衰变方式
⁶⁸ Ge	固态	288d	轨道电子俘获

2.8.2 回旋加速器工作场所放射性核素扩量情况

医院生产的放射性核素包括：¹¹C、¹³N、¹⁵O 和 ¹⁸F 四种核素。现对放射性核素 ¹⁸F、¹¹C、¹³N 的生产量增加，原有回旋加速器设备参数详见表 2-11。

表 2-11 原有使用的回旋加速器参数

名称型号	生产厂家	加速粒子	X 线能量 (MV)	流量 (μA)	用途	备注
RDS Eclipse ST&RD	西门子	p	11	30~40	生产核素	一台

2.9 工程设备与工艺分析

2.9.1 PET/MR场所扩建

2.9.1.1 工作原理

PET/MR，即正电子发射计算机断层显像仪 PET 和核磁共振成像本 MR 两强结合一

体化组合成的大型功能代谢与分子影像诊断设备,扫描过程中 PET 对进入体内的正电子核素进行扫描和显像可获得代谢显像,而 MR 对 PET 图像做放射性的衰减校正,可以提供解剖学和组织特征,两者结合可以看到组织功能和新陈代谢,可提供比传统成像方式更为优质的影像结果。检查采用放射性核素标记物作为示踪剂,通过注射方式进入体内后,依其化学及生物学特性不同,随血流等进入某些特定的组织器官,参与或模仿某些生命物质在人体内的病理生理、引流代谢的过程。由于正常组织和病变组织在这个过程中的差异,使其聚集这种放射性核素或其标记物的能力发生了变化。因此, PET/MR 是目前最好的高端体检手段。

2.9.1.2 设备组成

PET 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。环形晶体探测器是正电子放射显像系统中的重要部分,它采用块状晶体结构并通过精细切割成更小的晶体探测单元以降低散射、提高计数率。许多块晶体结构组成个环,再由数十个环构成整个探测器。晶体探测器将高能光子转换成荧光,再通过晶体探测器后方的光电倍增管(PMT)将光信号转换成电信号,最终生成的时间脉冲信号经符合线路甄别出耦合的符合性事件后,经滤波反投影或 OSEM 等重建算法,以及衰减校正后生成 PET 图像。

MR 主要组成部分为磁体系统、梯度系统、射频系统、计算机系统和辅助设备系统 5 部分组成。

2.9.1.3 工作流程及产污环节分析

- (1) 由医生确认需进行显像检查后进行预约登记、确定用药量;
- (2) 药物的分装由回旋加速器工作场所及供应商分装;
- (3) 受检者进入注射间,在注射区域接受放射性药物注射;
- (4) 注射后受检者在候诊室进行候诊;
- (5) 注射后的受检者按序进入扫描,在工作人员的帮助下正确摆位后,工作人员在控制室内进行操作,取得检查部位影像;
- (6) 受检者检查完成后视情况留观一段时间或直接经指定路线离开。工作流程及产污环节见图 2-3。

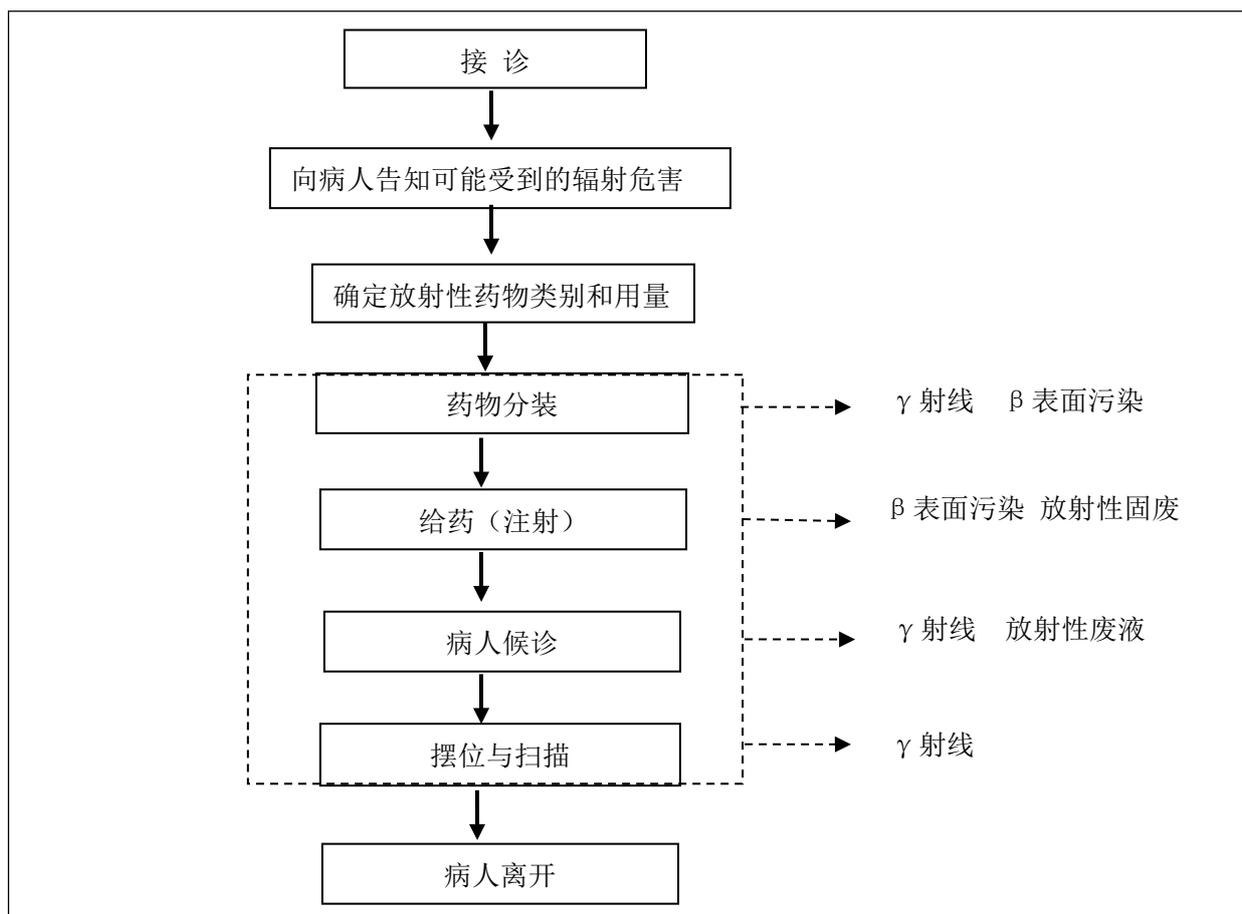


图2-3 工作流程及产污环节

2.9.1.4 非密封放射性核素的来源及分装情况

PET/MR诊断项目使用放射性核素 ^{18}F 、 ^{13}N 、 ^{11}C 、 ^{68}Ga 、 ^{89}Zr 、 ^{64}Cu 进行核素诊断，本次进行扩量的放射性核素 ^{18}F 、 ^{13}N 、 ^{11}C 为大学城院区自有的回旋加速器生产。回旋加速器位于门诊楼负一层，医生根据临床诊疗所需药物的使用量，向放射性药物合成室提前预订放射性药物，放射性药物生产后根据每位患者的需求用量在回旋加速器操作室进行分装，注射前无需再次分装，分装后的药物由专用放射性药物运输电梯运至一层。

本项目PET/MR使用的 ^{68}Ga 、 ^{89}Zr 、 ^{64}Cu 核素均为外购。医院根据临床诊疗所需药物的使用量，向有相关资质的供应商订购放射性药物，供应商在约定的时间内，根据提前预订告知的放射性药品种类、活度、剂量和数量，生产放射性药物。放射性药物生产后根据每位患者的需求用量分装好，注射前无需分装。

2.9.1.5 污染途径

在正常工况下：

- 1) γ 射线贯穿辐射：在进行药物交接、注射等操作时，在注射室周围停留的操作

人员和患者可能受到核素释放出的 γ 射线外照射影响。

2) β 表面污染: 工作人员在放射性核素操作时, 可能使工作台、设备、墙壁、地面、工作服、手套等受到放射性性沾污, 造成 β 放射性表面污染。

3) 进行 PET/MR 扫描时, 将有来自受诊病人身体中的放射性药物的 γ 射线, 经过机房的屏蔽, 射线可能仍有一定的泄漏, 环境影响途径为外照射。

4) 放射性的固体废物。包括剩余的注射器、手套口罩、棉签一次性用品等, 项目产生的含放射性的固体废物进行分类收集暂存, 并在放射性废物室暂存。

5) 放射性废液: 本项目放射性废液主要包括受检者产生的呕吐物、排泄物以及医护人员洗消产生的放射性废液。

在事故工况下:

主要发生放射性污染途径:

1) 由于管理不善, 发生放射性物品失窃, 造成放射性污染事故。

2) 由于操作不慎, 液态放射性药物溅洒。

2.9.1.6 工作负荷和岗位设置

原有 PET/CT 工作场所共配备有 8 名辐射工作人员, 其中有 5 名为 PET/CT 诊断人员, 场所扩建后, 该 5 名诊断人员仍承担 PET/MR 的相关诊断工作。现有注射人员 2 人, 影像采集人员 1 人, 本项目扩建后将其进行分工, PET/CT 和 PET/MR 注射各 1 人, 新增 PET/MR 影像采集人员 1 人, 并根据实际情况配备相应岗位工作人员。工作人员实行轮岗制, 各岗位进行定期轮岗。

表 2-12 PET/CT 工作场所扩建后岗位设置情况

姓名	性别	专业	岗位	技术职称	职责	备注
刘波	男	影像医学与核医学	PET/CT、PET/MR 医生	主任医师	PET/CT、PET/MR 诊断	原有
冉鹏程	男	影像医学与核医学	PET/CT、PET/MR 医生	副主任医师	PET/CT、PET/MR 诊断	原有
杜建强	男	影像医学与核医学	PET/CT、PET/MR 医生	主任医师	PET/CT、PET/MR 诊断	原有
张继武	男	医学影像学	PET/CT、PET/MR 医生	副主任医师	PET/CT、PET/MR 诊断	原有
梁祥	男	临床医学	PET/CT、PET/MR 医生	住院医师	PET/CT、PET/MR 诊断	原有
成宇旺	男	医学影像学	PET/CT 技师	技师	PET/CT 图像采集	原有

田铁桥	男	医学影像学	PET/MR 技师	副主任技师	PET/MR 图像采集	新增
欧阳富	女	护理	PET/CT 护士	护师	PET 显像剂注射与护理	原有
孔娟	女	护理	PET/MR 护士	主管护师	PET 显像剂注射与护理	原有

表 2-13 工作负荷情况

设备	涉源环节及操作方式	配备人员数量	人员分组情况	每年最大患者人数	涉及操作时间
PET/MR	注射人员	1	1	3765 人	每位患者按 0.5min 计，共 31h
	分装人员(自动分装)				每日按 10min 计，共 41.7h
	摆位人员	1	1		本次估算按每年患者 1000 人次保守估算，摆位每次约 0.5min，全年累计约 8.3h
	扫描人员				每位患者扫描平均时间按 50min 计算，一般为注射后 40~60min 开始扫描，每年患者最多 3765 人次， ¹⁸ F 核素显像全年累计 3137h

2.9.2 回旋加速器制备 PET 用放射性药物

2.9.2.1 工作原理

回旋加速器生产放射性同位素是利用加速器将带电粒子加速到一定的能量，轰击特定的靶材料，引起特定的核反应而实现的。生产出来的放射性核素以发射 β^+ 或电子俘获形式进行衰变，能量适度，半衰期短，辐射危害小，适合 PET 显像。回旋加速器工作原理见下图。

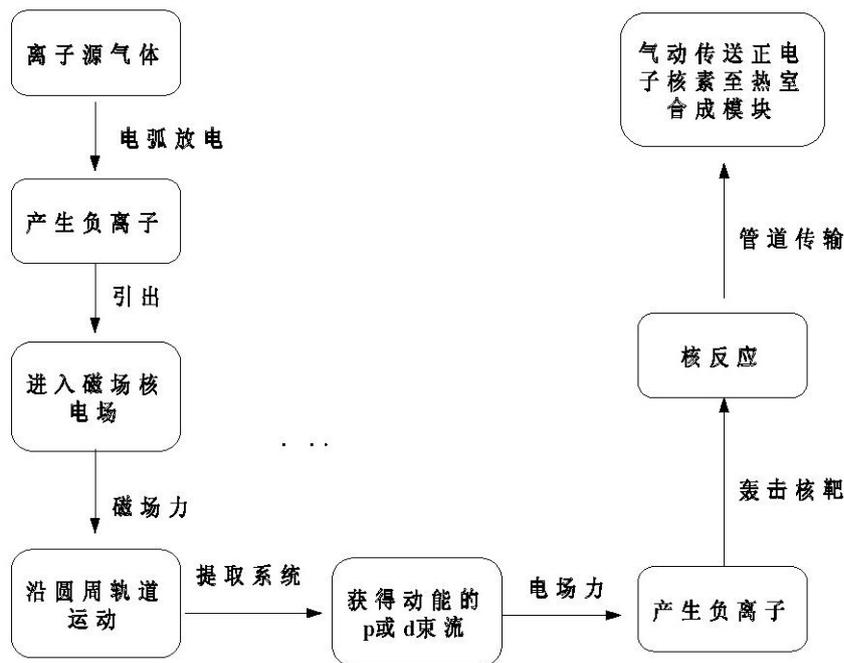


图 2-4 回旋加速器工作原理

2.9.2.2 系统组成

回旋加速器一般由磁场系统、射频系统、真空系统、离子源系统、提取系统、诊断系统、靶系统和冷却系统等主系统组成：

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

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

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

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

靶系统：是完成特定核反应而产生正电子核素的装置，各种类型的靶系统主要由靶室、真空绝缘箔、冷却系统组成。

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

冷却系统：包括水冷却系统和氦冷却系统。水冷却系统主要用于从不同系统中将热

量带出，带出的热量在二级冷却系统中进行热交换，并将热量传送到初级冷却系统。氦冷却系统主要在轰击期间对靶室和靶窗的箔膜和钛箔膜之间进行冷却，两个箔膜之间的氦气流提供了所必需的冷却。

2.9.2.3 工艺流程

1) 装靶、轰击：将 H_2^{18}O 水装到靶腔内，检查加速器真空、磁场，设定轰靶束流和时间开始打靶，带电粒子经回旋加速器加速后轰击 H_2^{18}O 而产生 ^{18}F 离子。

2) 合成：打开合成热室，在自动合成模块上安装反应管、纯化柱、反应试剂等，连接管道。关闭热室，打开热室排风系统，使腔室保持负压；将轰击完成后产生的 ^{18}F 离子通过铺设于地沟及铅屏蔽的管道传输到合成热室中的合成模块中， ^{18}F 离子与合成前体在自动合成仪中进行一系列的化学反应，最终合成得产品 ^{18}F 脱氧葡萄糖注射液。

3) 分装：打开分装热室排风，使腔室保持负压。将产品通过管道传输至分装热室，经除菌过滤后收集于钨合金罐中的产品瓶中，根据患者需求，使用全自动分装仪，将产品瓶中的 ^{18}F 脱氧葡萄糖注射液分装至铅防护罐中的西林瓶中。

4) 包装：将已分装好的铅防护罐移出分装热室，盖上铅防护罐盖，贴产品外标签。

5) 运送：自制药物均为短距离传送，药物分装于注射器，注射器外使先用 12mmPb 铅当量钨合金注射器防护套进行防护，然后再将注射器连同注射器防护套放置在 37mmPb 钨合金注射器防护罐中，使用防护罐专用拉杆箱将防护罐转移至内部专用放射性药物转运电梯，该防护罐经电梯被运送至一楼注射室旁。防护罐到达一楼后经专用防护罐移动推车将其转移至注射室。

2.9.2.4 主要放射性污染物和污染途径

在正常工况下：回旋加速器生产放射性同位素过程中的辐射源主要有：瞬时辐射源（主要指放射性同位素和伴随产生的中子、 α 粒子）、中子活化产物以及中子在慢化吸收过程中产生的高能 γ 射线和放射性废物。放射性同位素产物的收集、分装过程主要的辐射源是 γ 射线和 α 粒子，以及可能残留传输管道、容器中的剩余放射性药物，极少量的放射性固体废物来自加速器的废弃靶膜。

1) 中子是回旋加速器的主要污染因子之一，本项目中只有生产 ^{18}F 时产生中子。质子束轰击靶材料时发生 $^{18}\text{O}(p, n)^{18}\text{F}$ 核反应，核反应发生的位置主要位于靶部位，在生成 ^{18}F 的同时，也产生中子。

2) γ 射线

回旋加速器机房的 γ 射线污染因子主要来源有：a)中子与靶物质等部件作用产生次级 γ 射线；b)加速器部件、靶周围器件、准直器、自屏蔽体等受中子受照而活化，生成以短半衰期为主的感生放射性；c)在加速器打靶时，由 $^{18}\text{O}(\text{p}, \text{n})^{18}\text{F}$ 反应产生发生正电子的核素F-18，其 β^+ 衰变经湮没后发射出能量为0.511MeV的 γ 射线。

3) 放射性废气

能量大于 10MeV 的加速器运行时由于次级辐射与空气的相互作用，在室内会产生气载放射性，有少量的放射性气体和臭氧、氮氧化物产生。

在事故工况下：回旋加速器发生的辐射事故主要是加速器装置使用发生故障导致工作人员超剂量辐射，或工作人员误入机房引起误照射，污染途径为外照射。

放射性同位素的收集、分装过程主要发生的放射性事故污染有：

1) 由于放射性药物传输管道脱落或破裂、或FDG合成过程中意外打开合成热室，或分装过程中不慎将放射性药物液体试剂洒落，导致F-18 (C-11 O-15或N-13)气体外泄，并对局部工作区域造成辐射污染。

2) 操作人员身体受放射性物质表面沾污，可能发生的内照射；

3) 保管不善，放射性物品被盗，流失到社会，对局部环境产生污染，并可能使部分公众受到照射。

2.9.2.5 工作人员配备情况

回旋加速器工作场所共配备 4 人，1 人为 PET 显像剂制备，1 人为 PET 显像剂质控，1 人为回旋加速器维护，1 人为新药研发。原有工作负荷：生产时间每天低于 1h，扩量后工作负荷：生产时间每天最多 2h。本次扩量后不增加工作人员。

表 2-14 回旋加速器工作场所岗位配置情况

姓名	性别	专业	岗位	技术职称	职责	备注
李葆元	男	应用化学	技师	主管技师	PET 显像剂制备	原有
高 路	男	应用化学	技师	技师	PET 显像剂质控	原有
王学涛	男	粒子物理与原子核物理	技师	主任技师	回旋加速器维护	原有
刘 博	男	药物化学	科研	研究员	新药研发	原有

表三 辐射安全与防护设施/措施

辐射安全与防护设施/措施

3.1 工作场所布局

- 1) 本次扩建原有批准的 PET/CT 部分布局不进行改动;
- 2) 将相邻的 SPECT-CT 场所进行重新改造, 建设 1 间 PET/MR 机房、注射室、注射后候诊室、储源室、留观室等。

3.1.1 扩建部分布局情况

本项目进行改造的场所位于门诊楼一层西南侧, 该场所原为 SPECT-CT 场所, 为了满足诊疗需求, 医院将门诊楼一层原有未开展工作空置的 SPECT-CT 工作场所进行辐射防护改造, 并重新布局, 用作 PET/MR 核素诊断使用。重新布局后, 设有候诊室、注射室、分装室、卫生通过间(缓冲室、淋浴间)、注射后候诊室、PET/MR 机房、留观室等, 改造后的平面布局图见附图 3-2。

工作人员路线: PET/MR 设备操作人员由西侧医护人员走廊直接进入操作室进行设备操作, 并对患者进行指导摆位, 图像采集, 工作结束后原路返回。药物操作人员由西侧医护人员走廊经淋浴及缓冲室进入分装室, 注射人员在分装室进行注射药物准备, 在注射窗口进行放射性药物的注射操作。

卫生通过间的设置: 工作场所设置有卫生通过区, 设有冲洗、淋浴设施以及被污染防护衣具的贮存柜。卫生通过间提供防护衣具、 β 表面污染沾污仪和个人衣物贮存柜, 供工作人员结束后对皮肤和工作服的监测。药物操作人员工作结束后, 经表面污染检测合格后, 原路返回。如发生沾污, 工作人员可使用淋浴间内的淋浴设施进行清洗。

患者路线:

患者首先在候诊区候诊, 然后通过患者通道入口进入控制区, 在注射室进行药物注射, 注射完药物后进入注射后候诊室等候, 不同核素分时间段分开注射。

接到检查通知, 通过患者走廊进入检查室进行显像检查。检查完成后, 在留观室进行留观, 接到可自行离开的通知后, 直接由东侧患者专用出口离开。受检者行进路线满足单向, 不交叉。

药物运送路线: 医生按照处方剂量向回旋加速器科室及供货公司提前订购。药物通道分为两条, 医院回旋加速器室位于门诊楼负一层, 自制的放射性药物包括 ^{18}F 、 ^{13}N 和 ^{11}C , 药物生产完成在回旋加速器分装室进行分装后, 由专用运输电梯运送至注射室, 然

后原路返回。

本场所布局分区较明确，医护人员与患者路线分开设置，药物行进路线较清晰。因此，该项目平面布局基本合理。

本工作场所实际建设布局与环评阶段一致。

3.2 PET/MR 场所扩建部分实际建设情况

3.2.1 扩建部分屏蔽防护建设情况

1、屏蔽材料

(1) 墙体防护：四周墙体采用实心灰砖加铅板的屏蔽方案，实心砖的密度为 $\geq 1.65\text{g/cm}^3$ 。

(2) 天花防护：层高为 4.6 米，顶棚采用混凝土加铅板的方式进行防护。

(3) 地面：地面采用 200mm 混凝土的方式进行防护。

(4) 防护门采用铅钢防护门的结构，中间夹铅板外用钢包面。

2、机房规格及屏蔽防护建设

各机房的实际建设屏蔽防护情况与环评一致。扩建部分主要功能用房规格参数见表 3-1。

表 3-1 PET/MR 诊断项目主要功能用房规格表

机房名称	尺寸	墙体	屏蔽建设情况
PET/MR 机房	8.0m×5.11m×4.6m	四周墙体	24cm 实心砖+6mmPb 铅板
		防护门	8mmPb 铅钢复合门
		观察窗	8mmPb 铅玻璃
		顶棚	12cm 混凝土+6mmPb 铅板
		地板	20cm 混凝土
留观室	3.15m×2.7m×4.6m	四周墙体	24cm 实心砖+6mmPb 铅板
		防护门	8mmPb 铅钢复合门
		顶棚	12cm 混凝土+6mmPb 铅板
		地板	20cm 混凝土
抢救室	3.84m×2.59m×4.6m	四周墙体	24cm 实心砖+6mmPb 铅板
		防护门	8mmPb 铅钢复合门

		顶棚	12cm 混凝土+6mmPb 铅板
		地板	20cm 混凝土
注射后候诊室	3.63m×3.15m×4.6m	四周墙体	24cm 实心砖+6mmPb 铅板
		防护门	8mmPb 铅钢复合门
		顶棚	12cm 混凝土+6mmPb 铅板
		地板	20cm 混凝土
高活/注射室	4.08m×2.46m×4.6m	四周墙体	24cm 实心砖+6mmPb 铅板
		防护门	8mmPb 铅钢复合门
		顶棚	12cm 混凝土+6mmPb 铅板
		地板	20cm 混凝土
	2.46m×1.5m×4.6m	通风橱	50mmPb 铅皮
		注射窗	50mmPb 铅玻璃
VIP 候诊室	3.15m×2.8m×4.6m	患者入口处墙体	24cm 实心砖+8mmPb 铅板
		其余三侧	24cm 实心砖+6mmPb 铅板
		防护门	8mmPb 铅钢复合门
		顶棚	12cm 混凝土+6mmPb 铅板
		地板	20cm 混凝土
废物间	1.77m×1.4m×4.6m	靠近电梯侧墙体	24cm 实心砖+8mmPb 铅板
		其余三侧	24cm 实心砖+6mmPb 铅板
		防护门	8mmPb 铅钢复合门
		顶棚	12cm 混凝土+6mmPb 铅板
		地板	20cm 混凝土
缓冲室	1.77m×1.60m×4.6m	靠近废物间墙体	24cm 实心砖+6mmPb 铅板
		其余三侧	24cm 实心砖
		与注射室相连防护门	8mmPb 铅钢复合门
		顶棚	12cm 混凝土

		地板	20cm 混凝土
淋浴间	1.60m×1.51m×4.6m	四周墙体	24cm 实心砖
		顶棚	12cm 混凝土
		地板	20cm 混凝土

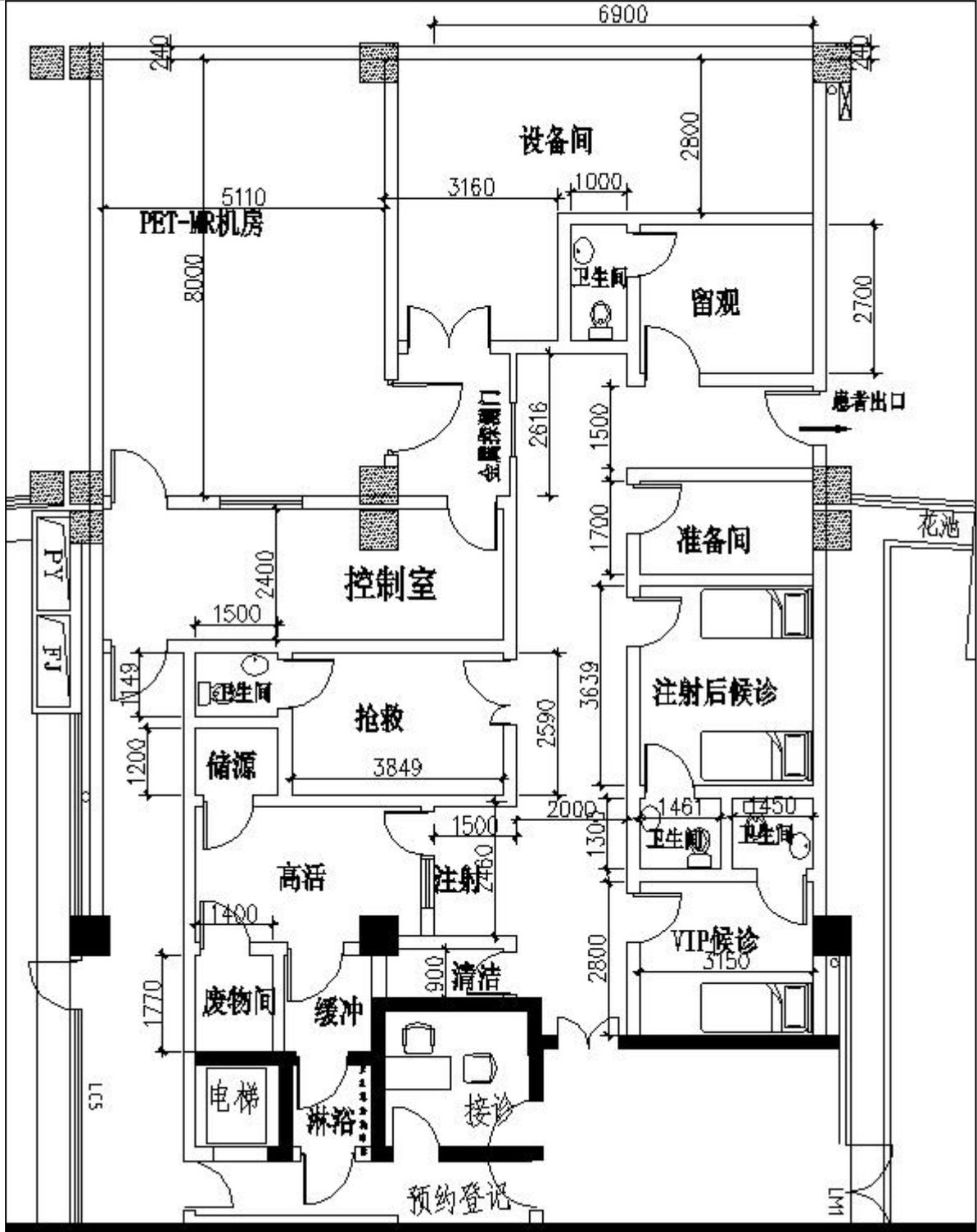


图 3-1 扩建部分平面布置及尺寸图

3、场所分区

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

控制区：PET/CT 场所扩建后的控制区包括 PET/CT 和 PET/MR 机房、留观室、分装室、注射室、注射后候诊室、废物间、缓冲室、淋浴间、储源室及它们之间的通道等，在正常诊疗的工作过程中，区内不得有无关人员滞留，在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的电离辐射警告标志。

监督区：普通候诊区、医护人员通道、控制室、清洁间，及控制区边界工作场所屏蔽墙体外 30cm 区域、顶棚上方及地坪下方等区域。对该区不采取专门的防护安全措施，但要每年定期每年检查其环境辐射剂量率。

3.3 辐射防护措施

3.3.1 本次PET场所扩建新增的辐射防护措施

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020），对非密封放射性物质工作场所进行分类。具体分类计算如表 3-2。

表 3-2 PET 场所扩建后放射核素的加权活度计算

核素名称	日操作最大活度 (Bq)	毒性分组	权重因子	操作性质修正因子	放射核素的加权活度 (Bq)
¹¹ C	1.66E+10	低毒组	1	1	1.66E+10
¹³ N	7.40E+09	低毒组	1	1	7.40E+09
¹⁵ O	3.70E+09	低毒组	1	1	3.70E+09
¹⁸ F	7.40E+10	低毒组	1	1	7.40E+10
⁶⁴ Cu	1.30E+09	低毒组	1	1	1.30E+09
⁶⁸ Ga	3.70E+09	低毒组	1	1	3.70E+09
⁸⁹ Zr	7.40E+08	中毒组	100	1	7.40E+10
合计					1.81E+11

注：1、加权活度=（日操作最大活度×核素的毒性权重因子）/操作性质修正因子

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020） C1 提供的操作最大量放射核素的加权活度计算方法和场所扩建后使用的放射性核素用量，计算出操作最大量放射核素的加权活度为 $1.81 \times 10^5 \text{MBq}$ ，根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）可知，该场所加权活度大于 50000MBq ，因此属于 I 类工作场所。

表3-3 改造场所对照GBZ120-2020标准采取的防护措施满足情况表

标准要求	采取的措施	是否满足要求	
结构屏蔽：需要	辐射防护建设情况满足屏蔽需求	满足	
地面：与墙壁接缝无缝隙	地面与墙壁的连接处采用圆弧设计，保证连接处无缝隙	满足	
表面：易清洗	地面采用塑胶地板，工作台面和注射台表面采用不锈钢材料	满足	
对 I 类工作场所室内表面及装备结构要求	分装柜：需要	医院设有回旋加速器自制正电子放射性核素，设有专门的分装柜，由分装柜分装完成后运至一层注射室，在注射室无需分装。	满足
通风：特殊的强制通风	设置了独立的通风系统，放射性废气经活性炭过滤后排至楼顶	满足	
管道：下水道宜短，大水流管道宜有标记，以便维修检测	衰变池位于门诊楼南侧的位置，设置了采样及检修口	满足	
盥洗与去污：洗手盆和去污设备（洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制）	配备一套去污工具，洗手池水龙头为无接触感应式	满足	

3.3.2 新增辐射安全防护措施

1、医院在 PET/MR 检查区域控制区房间防护门外设置明显的电离辐射警告标志，警示人员注意安全。在 PET/MR 机房受检者防护门上方设置工作状态指示灯，并与防护门联动。

2、在工作场所范围内设置监控系统，便于观察受检者的情况、PET 检查区域进、出口情况，PET/MR 机房和控制室之间安装对讲装置，便于工作人员通过对讲装置于机房内受检者联系。

3、PET 检查区域入口处和通道设置专用门禁系统，对患者的出入进行控制。

4、工作人员工作结束离开工作场所前必须脱下防护衣物，仔细洗手，离开工作场所前进行表面污染检测，如有污染需进行洗涤，必要时进行淋浴，不得穿工作服离开工作区域到非放射性工作场所活动，严禁将污染的设备和个人防护用品带出非放射性工作场所。

5、操作过程的防护措施

医生在分装药物时首先做好个人防护，包括穿铅衣，戴铅眼镜、铅手套、口罩、工作帽等，佩戴好个人剂量计，在通风橱内操作，分药操作台表面均为瓷砖贴面，药物的分装均在垫有滤纸的瓷盘内进行，以防止放射性药液洒漏造成操作台污染。注射及分装

室设置有放射性废物回收桶，当天收集的放射性固废及时转移至放射废物间。

6、操作放射性药物时，须在有负压的通风橱内进行，防止放射性物质飞散。

7、辐射安全管理

医院已制定《广东省中医院辐射安全领导小组及其职责》《辐射安全培训制度》《建设项目“三同时”管理制度》《监测方案》《操作规程》《辐射事故应急处理预案》

《放射防护用品使用登记管理制度》《职业健康监护及其档案管理制度》《放射性同位素管理制度》《放射性药品卫生防护和废物处理制度》《放射性药品采购、登记、使用、核对、保管及注销登记制度》《注射室（活性室）护理制度》《放射危害警示与告知制度》等。工作人员均参加辐射防护培训并持证上岗。

表3-4 辐射工作人员培训情况

姓名	性别	专业	上岗证书编号
刘波	男	影像医学与核医学	A182424
冉鹏程	男	影像医学与核医学	FS22GD0300197
杜建强	男	影像医学与核医学	FS22GD0300155
张继武	男	医学影像学	FS22GD0300121
梁祥	男	临床医学	FS22GD0300117
成宇旺	男	医学影像学	A182410
田铁桥	男	医学影像学	FS21GD0300059
欧阳富	女	护理	FS22GD0300151
孔娟	女	护理	FS22GD0300018

3.3.3 新增防护用品的配置情况

为 PET/MR 诊断项目的工作人员配备了表面污染仪，工作人员离开工作场所前进行检测，避免将污染带到工作场所以外；配备了辐射检测仪对工作场所每日进行自主监测；配备了个人剂量报警仪，佩戴个人剂量报警仪可使工作人员及时了解所在位置的辐射剂量，防止在不知情的情况下受到过大剂量的外照射。此外，为工作人员及受检者配备相应的辐射防护用品，包括铅衣铅帽铅围脖等，能够满足日常使用需求，辐射防护用品配备情况详见下表。

表 3-5 新增配备的防护设备

设备名称	防护用品名称	数量	铅当量 (mmPb)	备注
PET/MR	放射性废物桶	5	19	新增
	注射台	1	50	新增
	铅屏风	1	10	新增

表 3-6 新增配备的个人防护用品

设备名称	防护用品名称	数量	铅当量 (mmPb)	备注
PET/MR	铅手套	1	0.5	新增
	铅防护衣	4	0.5	新增
	铅围脖	4	0.5	新增
	铅帽子	4	0.5	新增
	铅眼镜	3	0.5	新增

表 3-7 新增配备的检测设备

设备名称	检测设备名称	数量	备注
PET/MR	在线多通道环境辐射监测仪	1 (3 个探头)	新增
	个人剂量报警仪	3	新增
	表面沾污仪	2	新增

3.4 本项目与《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021) 工作场所安全措施要求相符合性分析

本项目竣工环境保护验收的执行标准原则上采用环境影响报告表及环评批复确定的环境保护标准，对已修订新颁布的环境保护标准作为校核标准。

表 3-8 本项目与《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021) 符合性分析

HJ1188-2021 要求	本项目建设情况	符合性分析
6.2.1 核医学工作场所的放射性核素操作设备的表面、工作台台面等平整光滑，室内地面与墙壁衔接处应无缝隙，易于清洗、去污。	PET/MR 扩建场所四周墙体刷防水乳胶，地面均铺设 PVC 地板，踢脚线处 PVC 上卷使地板与墙壁接缝无缝隙，工作台表面采用易清洗材料。	满足要求
6.2.2 操作放射性药物场所级别达到乙级应在手套箱中进行，丙级可在通风橱内进行。应为从事放射性药物操作的工作人员配备必要的防护用品。放射性药物给药器应有适当的屏蔽，	本项目使用的自制放射性核素均由自动分装仪分装后，使用专用防护铅罐将药物运送至药物准备室。采用隔室操作的方式，通过注射台对患者实施放射性核素静脉注射。对于含放射性	满足要求

<p>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。</p>	<p>核素铜-64、镓-68 和锆-89 的放射性药物，医院订购分装好的放射性药物，辐射工作人员在规定的时间内，对患者进行注射操作即可。 给药后患者休息室及留观室均设有铅屏风，以减少对其他患者和医护人员的照射。</p>	
<p>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。</p>	<p>缓冲区内配有表面污染监测仪器，每日工作结束后辐射工作人员均进行表面污染监测。</p>	<p>满足要求</p>
<p>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。</p>	<p>供药单位在约定的时间将含放射性核素的药物运送至注射室，当天注射完毕，不贮存放射性药物。辐射工作人员每日对工作场所进行辐射水平监测，医院每年委托有资质的第三方检测机构开展辐射环境检测。 医院已建立含放射性核素的药物使用登记台账，确保账物相符。</p>	<p>满足要求</p>
<p>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。</p>	<p>对于放射性药物的转运，医院配有专门的防护铅罐，容器表面张贴电离辐射警告标志，由工作人员乘坐电梯运至注射室。</p>	<p>满足要求</p>
<p>6.2.9 扫描机房外门框上方应设置工作状态指示灯。</p>	<p>PET/MR 检查室机房外设置工作状态指示灯。</p>	<p>满足要求</p>
<p>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。</p>	<p>本项目仅对回旋加速器自制药物进行自动分装，含放射性核素铜-64、镓-68 和锆-89 的放射性药物，医院选购分装好的放射性药物。 回旋加速器自制的药物仅在分装柜内进行分装操作，分装柜设置独立的排风管道，确保分装柜的风速不小于 0.5m/s，排风口设置在本栋楼的楼顶并经活性炭过滤后排放。</p>	<p>满足要求</p>
<p>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。 7.2.3.1 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 0.08Bq/cm²、β表面污染小于 0.8Bq/cm²的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。</p>	<p>产生的放射性固体废物均暂存于铅废物桶内，统一收集后放置在暂存室内，暂存一定时间后经检测合格后作普通医疗废物处理。</p>	<p>满足要求</p>
<p>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。</p>	<p>PET/MR 场所设置了三级并联衰变池，并设有患者专用厕所，对患者的排泄物进行统一收集和管理。产生的放射性废液（包括患者候诊产生的放射性废液、应急、洗消用水）将经专用管道收集排入衰变池。</p>	<p>满足要求</p>
<p>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</p>	<p>PET/MR 场所内洗手盆为自动感应式开关，各洗手台上均配有洗消液，洗消室及淋浴间内配</p>	<p>满足要求</p>

<p>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。</p>	<p>备淋浴设施。</p>	
<p>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。</p>	<p>本次新增建设一个衰变池，仅供 PET/MR 诊断项目使用。在门诊楼南侧设置地下间歇式三级并联衰变池。总容积为 21.6m³，共建设 3 个池子，各池子的规格为 2×2×1.8（有效高度）=7.2m³。衰变池池体内部抹 30mm 厚聚合物水泥防水砂浆来进行防腐、防水渗透处理。</p>	<p>满足要求</p>
<p>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。</p>	<p>PET/MR 采用独立通风系统，排风口设置在本栋楼的楼顶并经活性炭过滤后排放。 医院委托专业厂家定期对排风系统进行检查，及时更换失效的活性炭过滤器，更换下来的活性炭作为放射性固体废物进行处理。</p>	<p>满足要求</p>

3.5 放射性三废治理

3.5.1 固体废物

在放射性药物操作过程会产生使用的注射器、棉棒、纱布、一次性卫生用品和垫料等放射性废弃物。在注射操作间设置有放射性废物专用废物桶，并每天将产生的放射性废物转移至废物暂存室。产生的放射性固体废弃物将其按类别、长短半衰期和日期分别暂存于废物室的专用放射性废物桶中，待放射性废物满足清洁解控要求后，向主管部门申请，批准后按一般医疗垃圾处理。PET/MR的校准源⁶⁸Ge密封源使用一段时间后，由于活度降低无法继续使用时，废旧的密封源最终将由厂家回收。



图3-2 废物暂存室位置图

3.5.2 扩建部分放射性废气处理情况

扩建部分实际建设的排风布局情况与环评一致。

气态放射性废物主要来源于放射性药物产生的少量放射性废气。或某些放射性药物本身虽不挥发扩散，但在注射过程中会随其它化合物扩散到空气中，造成人员吸入形成内照射。本项目扩建部分共设置了3条独立的排风管道，排风管道布局见下图。

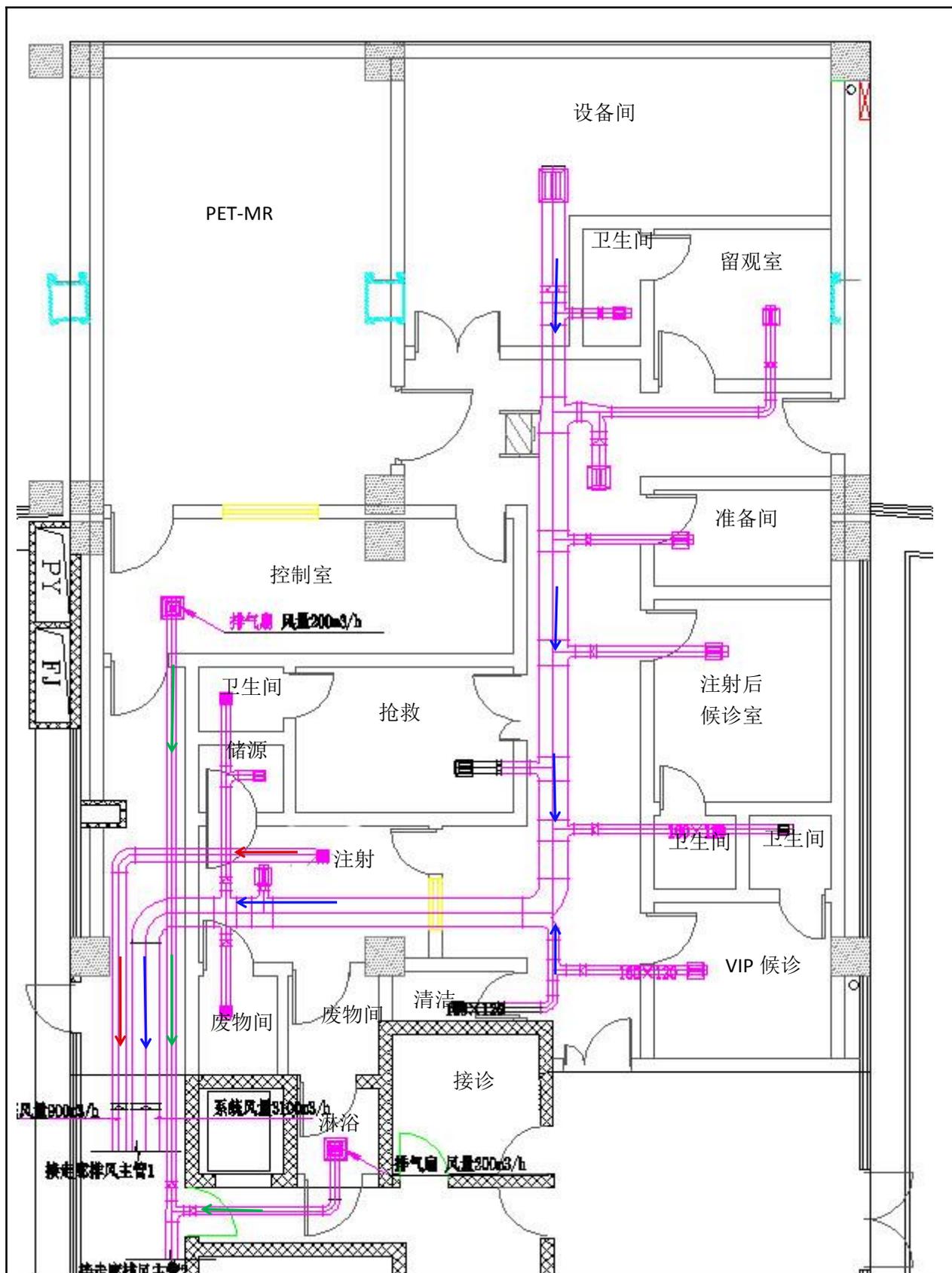
其中包括：

- (1) 对注射室设置了单独排风管道；
- (2) 对控制室、接诊室设置了独立的排风管道；
- (3) 对设备间、留观室、注射后候诊室、准备间、抢救间、储源室、分装室、废物暂存间设置了独立的排风管道。

医院为实场所有良好的通风环境，对辐射工作场所建设了良好的给排风系统，各房

间均设置有通风口，放射性核素的分装操作均在负一层通风柜中完成，通风柜设有抽风系统，风速不小于 0.5m/s。

排风管道走向由低浓度向高浓度排出，并设置止回阀，防止气体倒流，全部排风管道立管均沿大楼直达楼顶，气体经过滤系统过滤后排出室外。排气口高于本建筑物屋脊 3m。且设活性炭过滤装置，活性炭每季度至少更换一次，并根据使用情况酌情增加更换次数，楼顶加引风机，确保高活区场所负压通风，避免放射性废气对周围非放射性区域造成辐射影响。更换后的活性炭经贮存衰变并符合清洁解控条件后作为一般医疗废物处置。



注：箭头表示气体的流动方向

图3-3 扩建部分场所通风布置图

3.5.3 放射性废液

本项目对照环评发生变动的情况为衰变池的位置发生了轻微变更，医院考虑到原有衰变池的位置对景观的影响，因此将衰变池的位置由原来的门诊楼西南侧位置向南移约40m，衰变池的容积由环评时的15m³增大至21.6m³、其余池体的结构及运行程序等均未发生变化。

场所扩建后，共设置两个放射性废液衰变池，现有的一个衰变池仅供PET/CT诊断项目使用，PET/CT诊断项目衰变池的容积实际按每日最大25人规划，实际每天接诊人数为平均每天8人，PET/CT诊断新增使用⁶⁸Ga核素，每日最大人数为3人，且⁶⁸Ga半衰期短于现有使用半衰期最长的核素，因此不会增加废液的贮存时间，原有衰变池容积能够满足要求。

本次新增建设一个衰变池，仅供PET/MR诊断项目使用，两个分开独立。因此本次只对扩建部分产生的放射性废液量进行分析。

(1) 扩建部分放射性废液的来源

本项目PET/MR诊断项目衰变池存放的放射性废液包括：

- ①注射后病人专用卫生间产生的放射性废液；
- ②医生洗手及淋浴产生的放射性废液；
- ③应急情况下产生的放射性废液。

医院在门诊楼西南侧设置地下间歇式三级并联衰变池。总容积为21.6m³，共建设3个池子，各池子的规格为2×2×1.8（有效高度）=7.2m³，衰变池尺寸图见下图。

(2) 新增衰变池的材料组成情况

衰变池六面采用30mm厚的混凝土，衰变池池体内部抹30mm厚聚合物水泥防水砂浆来进行防腐、防水渗透处理，衰变池的顶面为300mm混凝土钢筋和1500mm覆土，衰变池整体结构位于地下。衰变池设置了检修井用于日常的检修及取样，检修井的井盖为5mm铅当量的防护，废液管道采用6mmPb的铅皮包裹。

(3) 废液处理的流程

放射性废液由工作场所排出后，先经过过滤池进行过滤，以防万一情况下产生毛巾、矿泉水瓶等堵塞通道。一般无矿泉水瓶等异物的话，过滤池是没有沉渣的。一旦有异物被过滤出，将安排人员用放射性废物桶转存，转移到该场所的废物间进行暂存，待满足清洁解控水平后按一般固体废物处理。

废液经过过滤后进入 1#衰变池，每个池均设置液位传感器、电动阀、压力传感器等，当放射性污水进入 1#衰变池，通过电动阀控制，当液面到达设定高度，自动关闭 1#池体电动阀（自动计算设定好的衰变池时间），打开 2#衰变池的电动阀，当液面到达设定高度，自动关闭 2#电动阀，打开 3#衰变池的电动阀，当液面到达设定高度，自动关闭 3#电动阀，在此过程中，1#衰变池的衰变周期到了，取样检查合格后开启电动阀，排至院内污水处理系统，当液面到达设定高度，自动关闭 3#电动阀，打开 1#衰变池电动阀进入到 1#衰变池，依次循环使用。

（4）放射性废液产生量估算

门诊产生废液：根据院方提供的每种核素日最大人数可知，日常门诊最大病人数为 15人/天，根据试运行期间废水产生量估算，按每人每天每位患者产生废液量 6L，则门诊产生废液量为： $15\text{人/天} \times 6\text{L/人} = 90\text{L/天}$ 。

医生洗手及淋浴产生的放射性废液：工作人员工作过程中受到污染的情况下洗手及淋浴按每天 100L 计算。

应急情况下产生废液：应急状况下产生废液按 100L/次，每季一次偏保守估算。

综上，场所扩建部分每天产生废液总量为 190L/天，加上应急情况下的废液量 100L/季。

扩建场所共建设 3 个并联衰变池，每个池子容积为 7.2m^3 ，共计容积为 21.6m^3 。排放废液中含 ^{89}Zr 的放射废液半衰期最长。 ^{89}Zr 的半衰期为 3.26 天（10 个半衰期约为 32.6 天）。

每天产生废液总量为 190L，则每个池子可存放 37 天的放射性废液，待 3 个池子存放满后，第一个池子放射性废液存放最短时间为 $37 \times 2 = 74$ 天，能满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“所含核素半衰期大于 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。

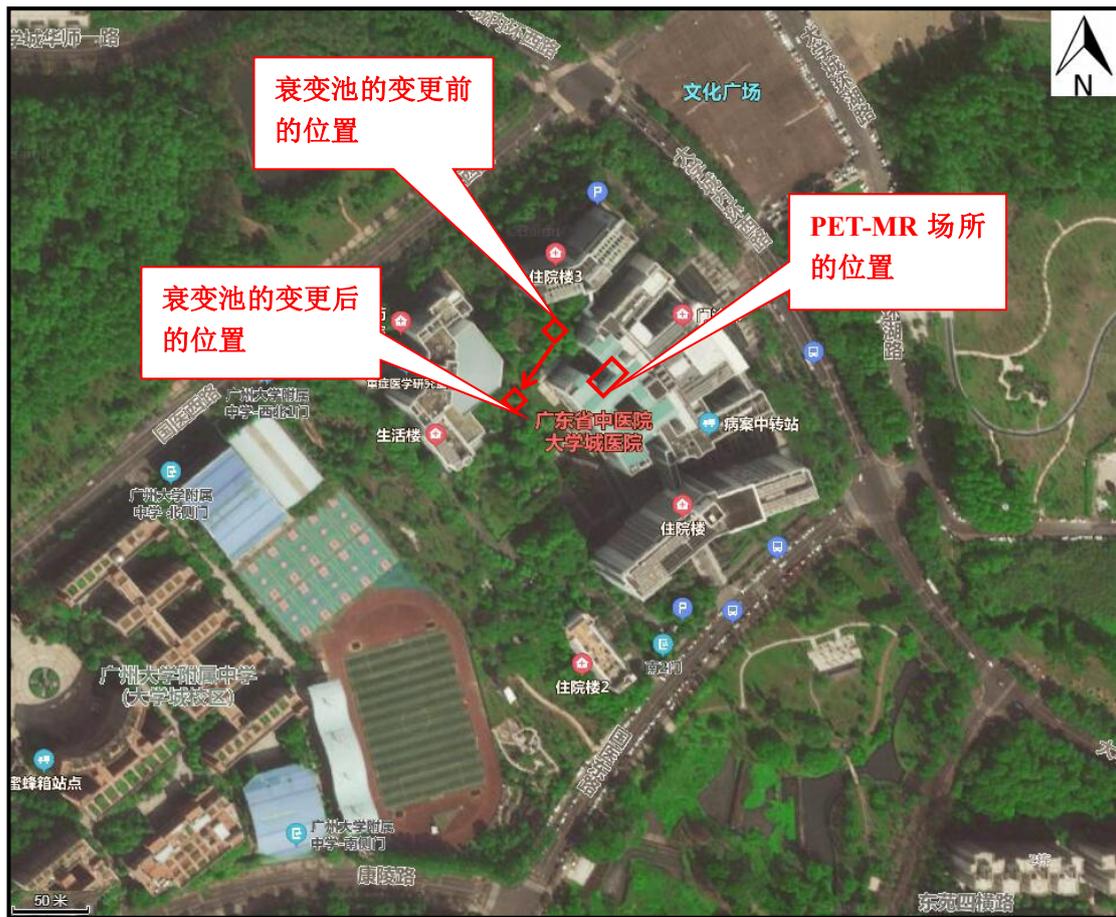


图 3-4 衰变池位置示意图

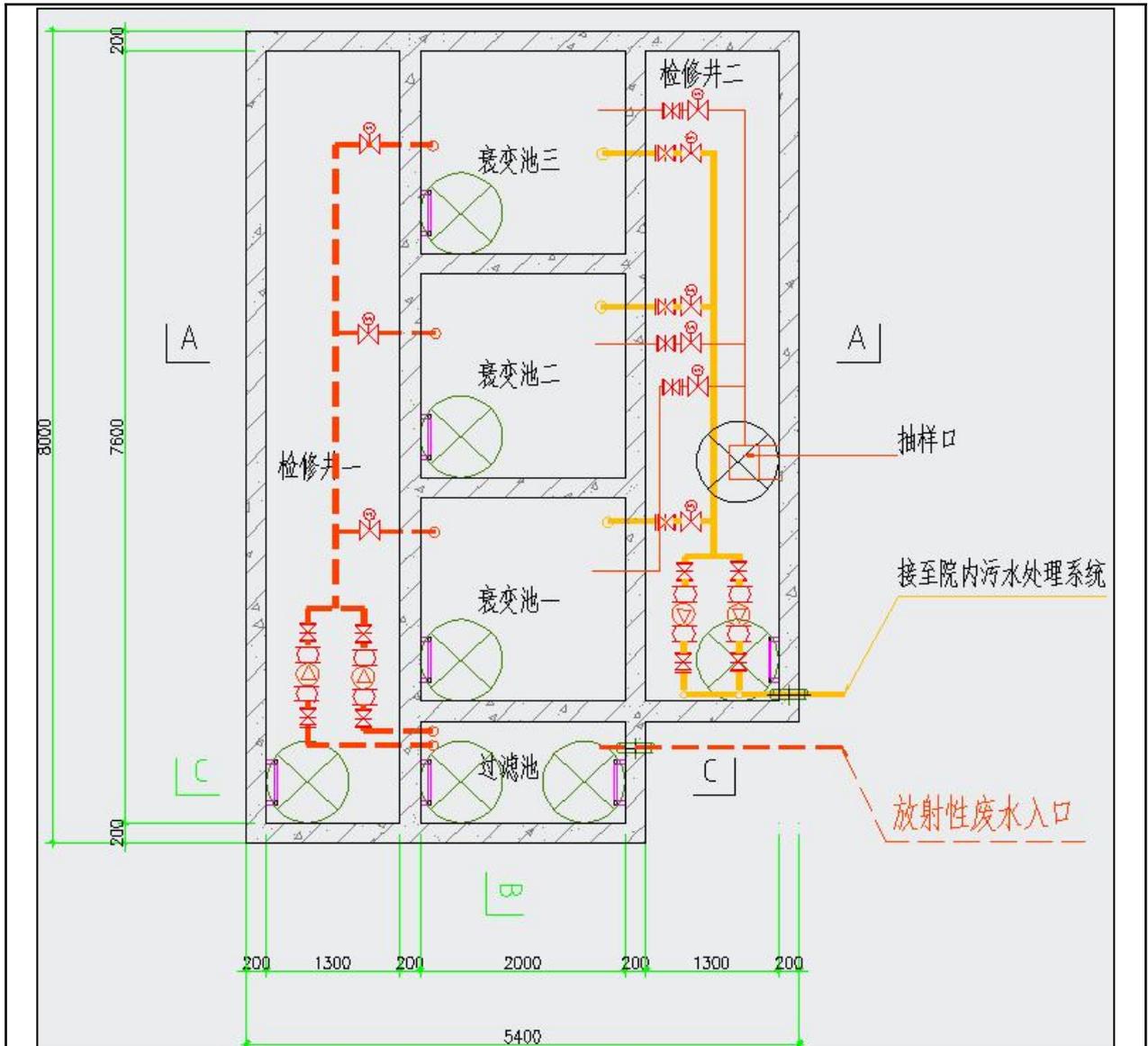


图 3-5 三级并联衰变池平面布置图

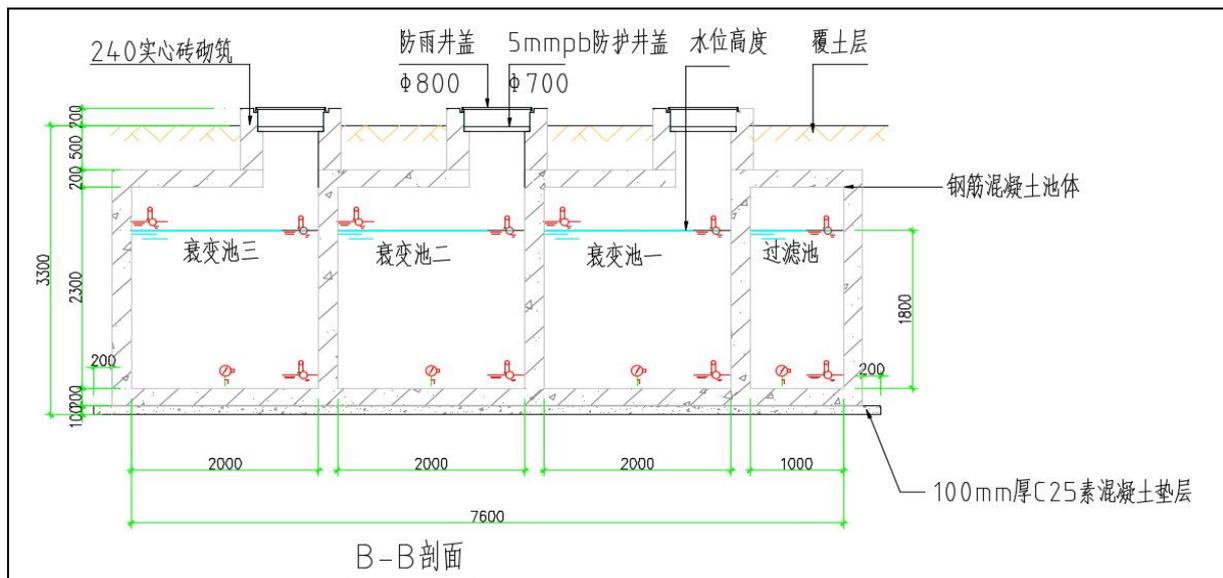


图 3-6 衰变池剖面图

3.6 回旋加速器场所原有辐射安全与防护

3.6.1 工作场所布局情况

本次只是将生产量进行增加，工艺流程不变且不改变场所原有布局，现有工作场所已经过环境影响评价，并经验收合格。

回旋加速器工作场所设置有热室、回旋加速器机房、控制室、空调机房、设备房、仪器室、消毒室、更衣室、理化实验室、质控室等。放射性同位素从回旋加速器中生产结束后，将在热室、放射化学实验室进行一系列的操作，包括收集、分装、制剂等。首先同位素产物经过专用的防护管道系统运输到热室的药物合成器内，然后进行分装和配置药液。

(1) 实验室设施和布局

本项目的实验室为PVC无缝地面，除机房、设备间刷刮腻子乳胶漆两遍外，其他房间均采用钢板，不锈钢或彩钢板铺设，防护墙面钢龙骨做防锈处理。此外根据每个房间的面积配套安装换气扇及安装防护罩。

(2) 人员流动及物流情况

制定了工作人员进入放射工作场所路线、放射性药品进出路线。

工作人员路线：工作人员进入热室进行放射性同位素操作前需要通过三道更衣室，在更衣室进行换鞋，更换工作服，消毒等程序，工作完毕后退出现室同样需要逆方向通过以上各道空间进行消毒、去污。有效的防止外环境中的污染物进入热室，造成工作场所和药品的污染，同时也防止由于表面沾污致使放射性物质污染非限制区环境。

放射性药品的进出路线：生产线原料由物流门进入，经外清间外清消毒后送入生产线，放射性药物在合成热室合成后打开分装热室排风，使腔室保持负压。将产品通过管道传输至分装热室，经除菌过滤后收集于钨合金罐中的产品瓶中。根据患者实际需求，使用全自动分装仪，将产品瓶中的注射液分装至铅防护罐中的西林瓶中。将已分装好的铅防护罐移出分装热室，盖上铅防护罐盖，贴产品外标签。自制药物均为短距离传送，药物分装于注射器，注射器外使先用12mmPb铅当量钨合金注射器防护套进行防护，然后再将注射器连同注射器防护套放置在37mmPb钨合金注射器防护罐中，使用防护罐专用拉杆箱将防护罐转移至内部专用放射性药物转运电梯，该防护罐经电梯被运送至一楼注射室旁。防护罐到达一楼后经专用防护罐移动推车将其转移至注射室。

工作人员进出与物料通道和药品通道路线分开设置，避免了药品输送过程中工作人

员和药品的交叉污染。本次不改变场所的布局，现有场所布局设置合理，场所平面布局图见附图 4。

3.6.2 原有机房屏蔽情况

本项目回旋加速器机房位于医技楼负一层，东北面为加速器操作间和设备房，东南面为热室及相关实验室，西南面为放疗中心，机房上层为绿化庭院。

回旋加速器机房主体内径为 7.7m×10.0m×4.8m，面积为 77m²；迷道宽为 1.5m，墙体和天棚均为 50cm 混凝土结构，密度为 2.35g/cm³。回旋加速器室的防护门具有 8mmpb 的防护厚度。

热室内径 8.0m×4.2m×4.8m，墙体为 24cm 实心砖补充 3mmpb 防护涂料，天棚为厚度 18cm 钢筋混凝土，上面是 0.5 米厚回填土，6mmpb 厚度的铅钢防护门。

表 3-9 机房屏蔽防护建设情况

回旋加速器机房	面积	7700mm ×10000mm (77m ²)
	高	4800mm
	房顶厚	500mm 混凝土
	墙厚	500mm 混凝土
	墙体、屋顶材料	钢筋混凝土 (密度 2.35t/m ³)
	防护门材料	8mmPb 铅钢防护门
热室	面积	8000mm ×4200mm (33.6m ²)
	高	4800mm
	房顶厚	18cm 钢筋混凝土+0.5m 厚的回填土
	墙厚	24cm 实心砖+3mmpb 防护涂料
	墙体、屋顶材料	钢筋混凝土 (密度 2.35t/m ³)
	防护门材料	6mmPb 铅钢防护门

本次不改变机房原有的屏蔽防护，只是增加生产量，未增加源项，因此生产过程中机房外的辐射防护剂量不变。该场所已进行环境影响评价，并于 2013 年对其进行了竣工环保验收，验收合格，医院每年均委托有资质的单位进行年度监测，监测结果亦满足标准要求。

3、放射工作场所分区

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），把放射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

控制区：以防护门为界的回旋加速器室和热室、实验室、质控室等放射性同位素操作场所，以辐射安全联锁和警示装置控制及管理制度保障此区的辐射安全。

监督区：防护门外部分缓冲区、控制室，设备间和更衣间等。监督区只允许工作人员进入，其他无关人员无法进入。场所的分区图见附图 6。

3.6.3 回旋加速器系统辐射防护设施

（1）系统操作安全

本项目所使用的回旋加速器全自动启动生产系统，可以自动启动、监控优化参数，从回旋加速器启动、到靶设定以及到化学过程（包括射束优化）在内的所有回旋加速器常规操作均为完全自动化；靶操作为全自动，并由回旋加速器的程控系统实施监测。每个靶均配有图形显示以表示靶的状态。当选定一个预设射束时，相应的靶操作（如填充、转移、冷却等）将自动启动。在射束辐照结束后，放射性同位素将自动转移到化学反应模组，然后将开始合成同位素。用户只需按下相应的功能键便可使用手动操作模式。

（2）安全联锁、报警装置

回旋加速器机房配备了安全联锁系统，该系统包括门机联锁、紧急停止开关、安全开关。通过这些安全措施，可以降低潜在照射的风险，从而保护相关工作人员的健康。

1) 门机联锁

回旋加速器防护门与加速器的高压设置联锁，当防护门未关闭到位时，加速器无法开启高压进行出束；当加速器工作时误操作打开防护门时，加速器立即停止出束；控制台和大厅门钥匙控制；辐射报警灯和声音报警与加速器准备出束状态联锁，准备出束时发出警示；辐射剂量监测与门联锁。

2) 紧急停止开关

回旋加速器机房内设置1个紧急停机开关，当人员被关在机房内紧急情况下按下开关，可实现防护门从内部打开，同时加速器停止出束。控制台操作台上设置1个急停开关，人员滞留在机房内时就可以按下开关，实现加速器停止出束。

3) 剂量监测系统

该场所设置有中子剂量率检测仪及在线多通道环境辐射伽马射线监测仪，中子探头设置在回旋加速器机房内；在线多通道环境辐射伽马射线监测仪配备有5个探头，分别位于合成室、质控室、理化实验室、加速器机房和废气处理室，当探测到机房内剂量率超过设置阈值时，回旋加速器防护门外有声光报警，同时控制室内操作台上和加速器机房防护门口有剂量率实时显示。

4) 警示、提示装置

回旋加速器工作场所入口醒目位置设置电离辐射警告标志，工作过程中指示灯亮，指示灯亮时不允许进入机房内部。

2、放射性药物操作辐射防护措施

(1) 对于放射性同位素操作区，每次完成放射性药物操作后，对工作场所及操作人员的防护用具进行放射性表面沾污和周围剂量当量率监测。

(2) 建立同位素物品流通台帐，对每次放射性同位素的种类、产量、去向进行详细登记，并作为档案长期保存。

(3) 热室内的放射性同位素操作台安装通风橱，要求风速不小于 0.5m/s。

(4) 进入回旋加速器室内工作的人员，必须携带可读 RAD-60 放射性剂量仪。

(5) 辐射工作人员上岗前需认真接受防护培训，考试合格持证上岗。

表3-10 回旋加速器工作人员培训情况

姓名	性别	专业	上岗证书编号
李葆元	男	应用化学	FS22GD0300154
高路	男	应用化学	FS22GD0300152
王学涛	男	粒子物理与原子核物理	FS22GD0200263
刘博	男	药物化学	FS21GD2300390

(6) 辐射工作人员按规定佩戴个人剂量计上岗，并建立健全各级辐射工作人员个人剂量监测档案，并由专人负责，统一管理。

(7) 定期对各类射线监测仪器及其防护装置进行安全检测，并认真记录，发现问题及时整改。

(8) 工作人员工作过程中必须使用放射性个人防护用品。操作结束离开非密封放射性物质工作场所时，按要求进行个人体表、衣物及防护用品的放射性表面污染监测，发

现污染要及时处理，做好记录并存档；

(9) 进入强辐射工作场所时，除佩戴常规个人剂量计外，还应当携带报警式剂量计。

(10) 在进入高活性场所进行放射性操作前，事先应作好周密的计划和充分准备，预先熟悉所要进行的工作，能充分了解所要操作设备的功能和原理。事先准备好操作所需的非放射性物品，如制备 PET 药物所需的化学试剂、无菌真空瓶、纯化柱和反应管等；根据需要应穿戴工作服、帽子、手套、铅围裙、防护眼镜等个人防护用品，并按要求佩戴个人剂量仪，在高活性场所，根据需要佩戴报警式个人剂量仪。进行放射性药物分装时，应采取外照射防护措施，工作结束后应合理处置放射性废物，并保持高活性室清洁卫生。

综上，本次回旋加速器工作场所只是增大核素生产量，未增加其他源项，工作人员亦没有增加，实际的工作流程仍与之前相同，现有场所制定的辐射防护措施能满足扩量后的需求。

3.6.4 原有辐射防护用品配备情况

回旋加速器工作场所配有相应的防护设备、个人防护用品和检测设备，其中防护设备有放射性废物桶、移动防护车、防护罐等；个人防护用品有铅衣、铅围脖、铅帽子等；检测设备有在线多通道环境辐射伽马射线监测仪、在线多通道环境辐射中子射线监测仪、个人剂量报警仪和表面沾污仪，本次扩大生产量不新增工作人员，现有的辐射防护设备能够满足要求。

表3-11 原有辐射防护用品配备清单

场所名称	防护用品名称	数量	铅当量(mmPb)
防护设备			
回旋加速器工作场所	放射性废物桶	5	19
	移动防护车	1	30
	移动防护车	1	65
	钨合金注射器防护罐	5	37
	钨合金注射器防护套	6	13
	注射器运输铅防护盒	2	12
	西林瓶钨合金防护罐	4	60

	西林瓶铅防护罐	2	40
	热室	4	80
	热室	1	60
个人防护用品			
回旋加速器工作场所	铅防护衣	4	0.5
	铅围脖	4	0.5
	铅帽子	4	0.5
	铅眼镜	2	0.5
检测设备			
回旋加速器工作场所	在线多通道环境辐射伽马射线监测仪	1 (5 个探头)	/
	在线多通道环境辐射中子射线监测仪	1	/
	个人剂量报警仪	2	/
	表面沾污仪	1	/

3.6.5 辐射防护管理情况

医院对回旋加速器工作场所制定了相应的辐射安全管理制度，辐射工作人员工作过程中均佩戴个人剂量计，并做到持证上岗。工作场所每年委托有资质的单位进行年度监测，并报主管部门备案，回旋加速器自运行以来辐射安全管理良好。

回旋加速器工作场所制定的辐射防护制度：

《辐射防护安全操作规程》《ACS 放射性废气压缩处理操作规程》《放射性废气、废液、固体废物处置操作规程》《人员体表放射性污染操作规程》《场所和辐射工作人员剂量监测制度》《辐射防护和安全保卫制度》《意外和事故下应急处理规范》等辐射防护管理制度。原有的辐射安全管理制度能够满足扩量后的要求。

3.6.6 原有放射性三废处理措施

放射性废气处置：在回旋加速器生产核素以及放射性药物合成时，有少量放射性废气产生。将放射性废气通过专用排风机抽送至负一楼放射性废气室中的放射性气体活性炭吸附塔或放射性气体储存罐（放射性较高时），将其吸附或储存衰变后再通过楼顶排风机高空排放。

一般在生产 ^{11}C 放射性药物时会产生少量的放射性废气，此时会排入放射性气体储存

罐进行储存，根据药物制备人员的实际工作经验，在扩量后最大生产量的情况下废气的产生量约为 40L，其余放射性核素的挥发性均很小经活性炭吸附塔吸附后排放。现该场所配备 2 个放射性废气储存罐，每个的容积为 200L，两个轮流使用。

放射性废液处置：放射性药物的生产过程产生放射性废液的渠道主要有四种：

(1) 正常情况下，回旋加速器生产正电子核素时不会产生放射性废液，只有回旋加速器正在生产放射性核素且靶膜和二级水冷管道同时破裂的极端情况下才会产生少许 (<10L) 低剂量放射性废液，该废液流至衰变池储存衰变，自 2011 年启用以来未发生过该极端情况。

(2) 正电子药物合成系统为全密闭系统，药物合成过程产生的放射性废液 (<10ml) 均在密闭系统中回收至收集瓶，待其衰减满足清洁解控要求后按普通废物处理。

(3) 病人使用后剩余的放射性药物，每天根据前一天预约的病人量进行药物的生产，正常情况下很少剩余 (<10ml) 或无剩余药量，剩余部分药物密封于产品瓶中，在防护罐中衰减至满足清洁解控要求后作为普通垃圾处理。

(4) 意外情况下，放射性药物污染皮肤时清洗产生的废液 (<10L)，这部分废液通过排水管道排往放射性废液衰变池，在衰变池中经储存衰减后，待其放射性浓度低于国家排放标准后再排放到市政管网。

回旋加速器场所现有一个二级衰变池，衰变池的容量为 2.85m³，假设扩大生产量后产生的废液在原来基础上增大 2 倍，即为放射性药物污染皮肤时产生的废液 30L。该场所生产的放射性核素包括 ¹¹C、¹³N、¹⁵O 和 ¹⁸F 四种核素，其中半衰期最长为 109.8min (¹⁸F)，10 个半衰期为 18.3h，因此现有扩量生产后原有的衰变池容积亦能够满足要求。

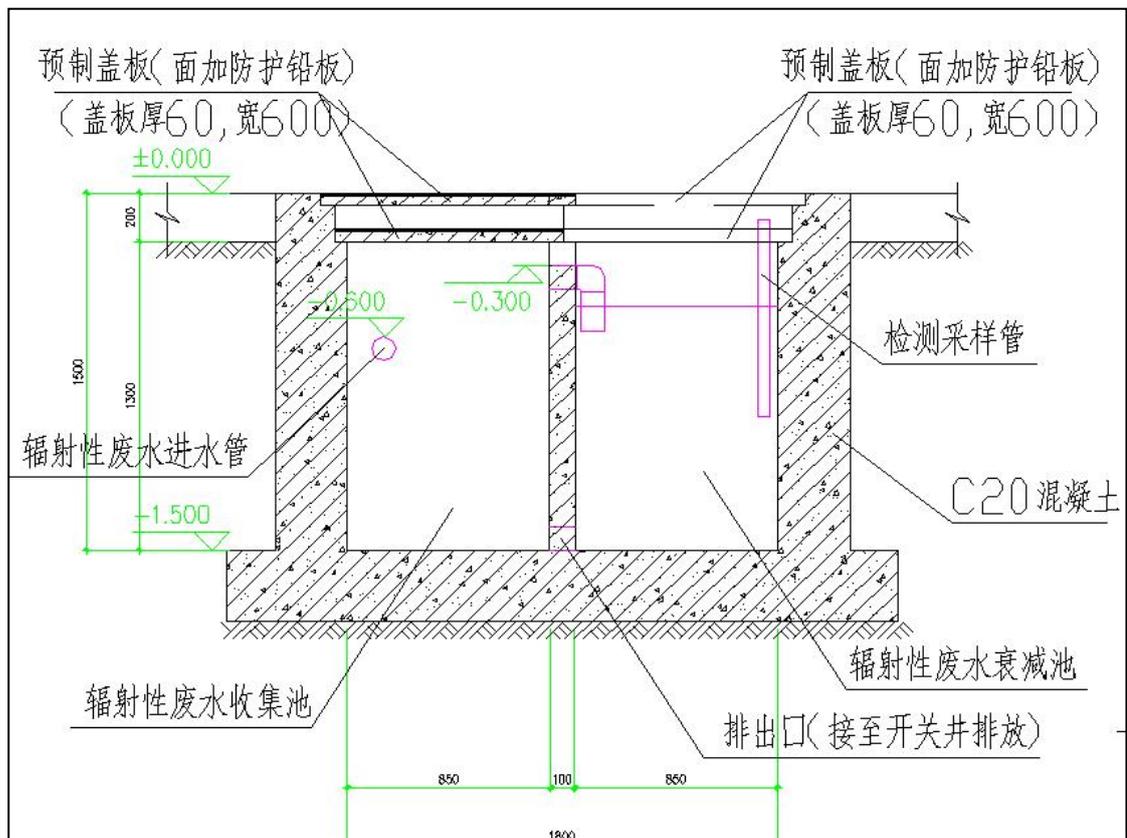
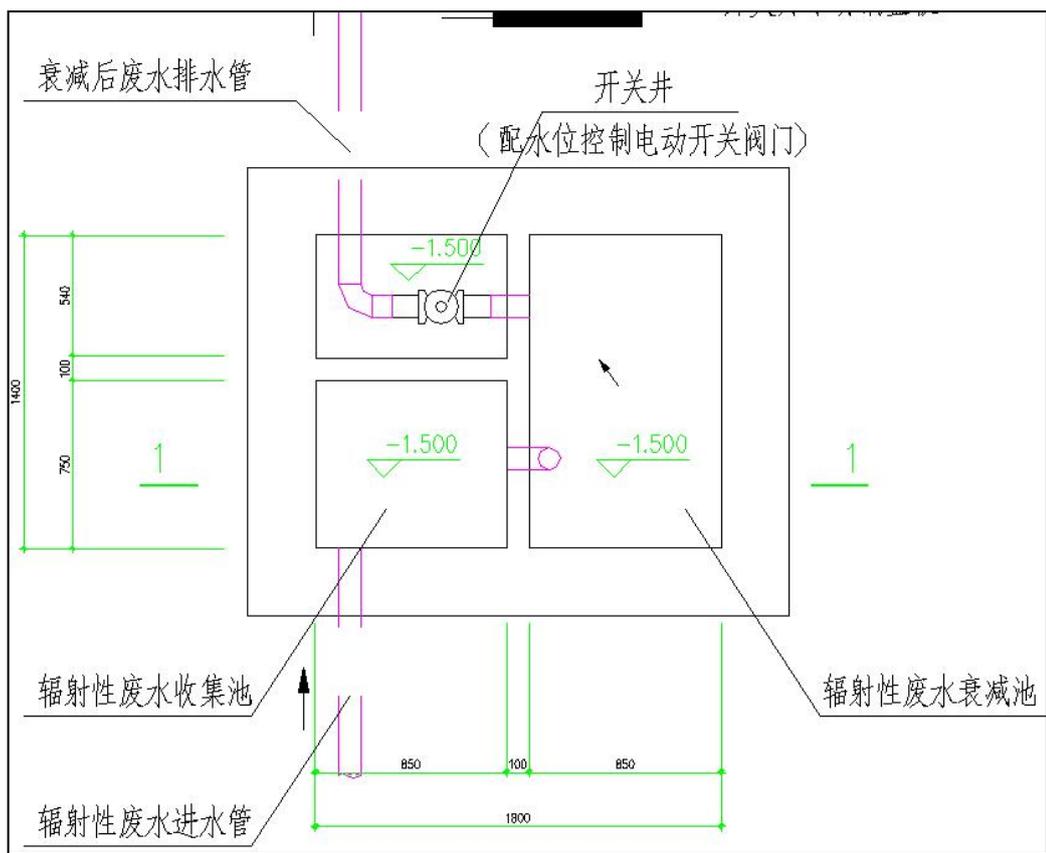


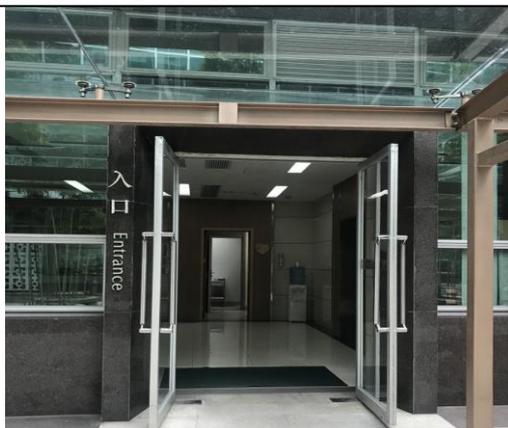
图 3-7 回旋加速器场所衰变池平面图及剖面图

放射性固体废物处置：回旋加速器生产核素和正电子药物合成模块制备 PET 显像药物产生的固体废物主要是靶膜、分离纯化柱、无菌微孔滤膜、产品收集瓶、部分传输管、棉签、手套等。靶膜大约一年更换一次，其放射性持续时间较长，将其长期储存在专用辐射防护废物桶中（废物桶放在回旋加速器机房内）进行放射性衰减，待放射性活度低于豁免水平后，按一般固体医疗废物处理。废物包装体外表面的污染控制水平： $\alpha < 0.04\text{Bq/cm}^2$ ， $\beta < 0.4\text{Bq/cm}^2$ 并满足清洁解控要求后按普通医疗废物处理。

PET/MR 工作场所辐射防护措施相关照片



医院现状



PET 场所患者入口



改造场所预约接诊大厅



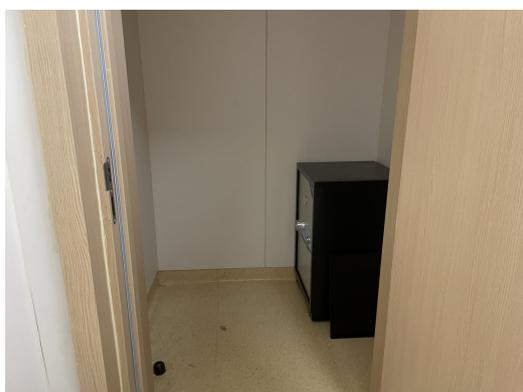
注射窗口



废物储存间



淋浴设施



储源柜



注射后候诊室



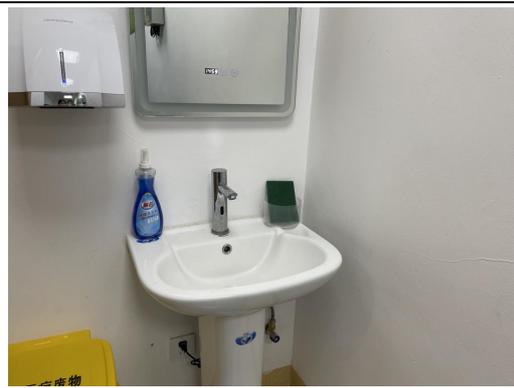
PET/MR机房



PET/MR机房



制度上墙情况



感应式水龙头



剂量率仪探头



固定式剂量率仪

回旋加速器工作场所辐射防护措施相关照片



回旋加速器工作场所入口



热室



回旋加速器机房



分装热室、合成热室



放射性药物运输罐



放射性废气吸附塔

表四 环境影响报告表主要结论与建议及其审批部门审批决定

建设项目环境影响报告表主要结论及审批部门审批决定

4.1 环境影响报告表中辐射安全与防护结论

(1) 项目概况

由于 PET 诊断项目患者数量的不断增加,医院现有 PET/CT 场所已不能满足诊疗需求,因此为了缓解就医需求,医院拟将门诊楼一层原有未开展工作空置的 SPECT-CT 工作场所进行辐射防护改造。建设 1 间 PET/MR 机房,并安装使用 1 台 PET/MR,使用放射性核素 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{68}Ga 、 ^{89}Zr 、 ^{64}Cu 进行核素显像,扩建后仍属于乙级非密封放射性物质工作场所,该场所不依托原有的环保设施,针对产生的放射性废液、固体废物及废气均重新设置了单独的处理系统。原有 PET/CT 设备新增使用 ^{68}Ga 放射性核素进行显像诊断,其余批准使用的四种放射性核素用量不变。

医院生产的放射性核素包括: ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 和 ^{18}F 四种核素。现拟对 PET/CT 场所进行扩建,并将原有批准使用的放射性核素 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 的用量增加,经过扩量后原有回旋加速器批准的生产量不能满足实际使用的需求,因此本次将回旋加速器的生产量进行增加,以满足放射性核素使用的需求。其余防护措施均不变只是将生产量进行增加,扩量后场所仍为乙级非密封放射性物质工作场所,等级不变。

(2) 项目选址合理性

本项目 PET/CT 拟改造场所位于门诊楼,回旋加速器工作场所位于门诊楼负一层,门诊楼共 7 层,地上 6 层,地下一层。拟改造场所位于门诊楼一层,西侧为科研生活楼(距离本项目 PET/CT 场所 60m,距离本项目回旋加速器场所 55m),北侧为特需楼(距离本项目 PET/CT 场所 69m,距离本项目回旋加速器场所 62m),南侧为住院楼(距离本项目 PET/CT 及回旋加速器场所 76m),东侧为门诊楼内部。四周评价范围内均无环境敏感目标。

(3) 辐射防护设计

本项目 PET/CT 场所扩建部分各屏蔽防护墙及防护门的屏蔽防护设计、拟采取的各项辐射防护及污染防治措施均满足《核医学放射防护要求》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等法律法规和技术标准对辐射防护、安全操作以及防护监测的要求。

回旋加速器工作场所增加产量不改变机房原有的屏蔽防护，未增加源项，因此生产过程中机房外的辐射防护剂量不变。该场所于 2013 年对其进行了竣工环保验收，验收合格，医院每年均委托有资质的单位进行年度监测，监测结果亦满足标准要求。

4.2 环境影响分析结论

根据预测分析，本项目辐射工作人员和公众所受的年有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中关于“剂量限值”的要求；亦不超过本项目剂量约束限值（工作人员和公众的剂量约束值不超过 5mSv 和 0.25mSv）。

综上所述，本评价认为广东省中医院大学城医院核医学科改造项目辐射防护符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）等相关标准的要求，在落实本报告所提出的各项污染防治措施和辐射环境管理要求后，其运行对周围环境产生的影响能符合辐射环境保护的要求。因此，本项目的建设和运行从环境保护角度分析是可行的。

4.3 审批部门的审批决定

广东省生态环境厅关于广东省中医院大学城医院核医学科改扩建项目环境影响报告表的批复（粤环审[2020]252 号）：

“广东省中医院：

你单位报批的《核技术利用建设项目环境影响报告表》(以下简称报告表，编号为 GDHL-HP-2020-H005)等材料收悉。经研究，批复如下：

一、你单位大学城医院核医学改扩建项目位于广州市番禺区大学城内环西路 55 号广东省中医院大学城医院内。项目内容包括：

(一)改扩建门诊楼一层核医学 PET/CT 工作场所，改扩建区域位于 PET/CT 工作场所东北侧原有 SPECT/CT 工作场所（未投入使用）。在改扩建区域新增 1 间 PET/MR 机房、注射室、注射后候诊室等功能用房，在该 PET/MR 机房内新增安装使用 1 台 PET/MR 用于核素显像诊断，配套新增使用 5 枚锞-68(均属 V 类放射源)。改扩建后新增放射性核素镓-68 进行 PET/CT 核素显像诊断，新增使用氟-18、碳-11、氮-13、镓-68、铜-64、锆-89 进行 PET/MR 核素显像诊断。改扩建后该核医学工作场所仍为乙级非密封放射性物质工作场所。

(二)在门诊楼负一层的回旋加速器核素制备场所增加放射性核素氟-18、碳-11、氮-13 制备量，增量后的回旋加速器核素制备场所仍为乙级非密封放射性物质工作场所。

二、广东省环境辐射监测中心组织专家对报告表进行了技术评审，出具的评估意见认为，报告表有关该项目建设可能造成的环境影响分析、预测和评价内容，以及提出的辐射安全防护措施合理可行，环境影响评价结论总体可信。你单位应按照报告表内容组织实施。

三、本项目在建设和运行中应严格落实报告表提出的各项辐射安全和防护措施，确保辐射工作人员有效剂量约束值低于 5 毫希沃特/年，公众有效剂量约束值低于 0.25 毫希沃特/年。

四、本项目建设应严格执行配套建设的环境保护设施与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用的环境保护“三同时”制度。项目建成后，你单位应按规定程序重新申请辐射安全许可证。

五、项目的环境保护日常监督管理工作由广州市生态环境局负责。

4.4 环保要求落实情况

本项目环境影响报告表及批复的落实情况详见下表。

表 4-1 环评报告表污染防治措施要求的执行情况

环评污染防治措施要求	执行情况
按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。	已落实。辐射工作场所已划分为控制区和监督区，控制区包括 PET/MR 机房、留观室、分装室、注射室、注射后候诊室、废物间、储源室及它们之间的通道等。监督区包括普通候诊区、医护人员通道、控制室、清洁间，及控制区边界工作场所屏蔽墙体外 30cm 区域、顶棚上方及地坪下方等区域。
放射性药物应当有良好的外包装，送入后要妥善储存及转移，防止意外撒漏；	已落实。放射性核素均使用专用防护铅罐将药物运送至注射室。
放射性药物操作人员应当定期参加相关专业培训，具备相应的技能与防护知识，并配备有适当的防护用品。	已落实。辐射工作人员上岗前接受防护培训，考试合格持证上岗，并定期参加复训。
医务人员在不同的活度区域应做好基本防护（比如穿着工作服、帽子、手套、佩戴个人剂量计）并穿着防护衣（铅衣、铅帽、铅眼镜等）；	已落实，已为工作人员及受检者配备了相应的辐射防护用品，包括铅衣铅帽铅围脖等，能够满足日常使用需求。
加强辐射安全管理，制定岗位职责、操作规程等辐射安全管理制度及事故应急预案。	已落实。该院成立辐射安全防护管理委员会和辐射事故应急领导小组，制定了一系列规章制度和应急制度。
对本单位的射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。	已落实。该院按时向广东省生态环境厅提交上一年度的辐射年度评估报告。

表 4-2 广东省生态环境厅批复要求的执行情况（粤环审[2020]252 号）

广东省生态环境厅批复要求	执行情况
<p>本项目在建设和运行中应严格落实报告表提出的各项辐射安全和防护措施，确保辐射工作人员年有效剂量约束值低于 5 毫希沃特/年，公众年有效剂量约束值低于 0.25 毫希沃特/年。</p>	<p>已落实。该项目工作人员及公众受照剂量满足剂量约束值：工作人员年受照剂量不超过 5mSv，对于公众年受照剂量不超过 0.25mSv。</p>
<p>本项目建设应严格执行配套建设的环境保护设施与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用的环境保护“三同时”制度。项目建成后，你单位应按规定程序重新申请辐射安全许可证。</p>	<p>已落实，项目已落实“三同时”制度。并已按规定程序申领辐射安全许可证。</p>

表五 质量保证和质量控制

验收监测质量保证及质量控制

5.1 监测人员监测能力保证

承担该项目竣工环保验收的监测人员具备从事环境辐射监测的工作经历，充分了解核技术利用项目和环境保护领域的相关专业技术知识，掌握辐射监测技术和相应技术标准方法，具备对检测结果做出相应评价的判断能力。熟悉本单位检验检测体系管理程序，监测人员持证上岗。

5.2 监测方法及仪器的保证

监测仪器及监测方法等信息见表 5-1。

表 5-1 监测项目分析方法与使用仪器

仪器型号名称	AT1123 X-γ 射线监测仪
生产厂家	ATOMTEX
能量响应	15KeV~10MeV
量程范围	50nSv/h~10Sv/h
检定单位及有效日期	中国计量科学研究院 有效期：2022年07月25日-2023年07月24日
检测方法	《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）
仪器型号名称	FJ170P 型α、β表面污染仪
生产厂家	山西中辐科技有限公司
量程范围	0.01cps ~ 10 ⁵ cps 0.01Bq/cm ² ~ 10 ⁵ Bq/cm ²
检定单位及有效日期	华南国家计量测试中心广东省计量科学研究院 有效期：2022年07月19日-2023年07月18日
检测方法	《表面污染测定 第1部分：β发射体(E β max>0.15MeV)和α发射体》 (GB/T 14056.1-2008)
仪器型号名称	RG-25N 中子周围剂量当量仪
生产厂家	卡迪诺科技（北京）有限公司
能量响应	0.025eV~20MeV
量程范围	30nSv/h~100mSv/h
检定单位及有效日期	中国计量科学研究院 有效期：2022年08月16日-2023年08月15日
检测方法	《辐射防护仪器 中子周围剂量当量（率）仪》（GB/T14318-2019）

5.3 质量保证措施

- (1) 合理布设监测点位，保证各监测点位布设的科学性；
- (2) 监测方法采用国家有关部门颁布的标准，监测人员经考核并持有合格证书上岗；
- (3) 监测仪器每年定期经计量部门检定，检定合格后方可使用；
- (4) 每次测量前后均检查仪器的工作状态是否良好；
- (5) 由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录；
- (6) 监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审定。

表六 验收监测内容

验收监测内容

6.1 现场监测期间项目工况

现场检测当天，正在使用放射性核素 F-18 开展 PET/MR 诊断项目，放射性核素 F-18 已在负一层回旋加速器分装场所分装好，每位患者的最大操作量为 10mCi，现场辐射防护设施已建成并正常运行。

6.2 监测因子

周围剂量当量率、中子剂量率、 β 表面污染、放射性废液的总 α 、 β 放射性。

6.3 监测点位

参照《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）、《辐射防护仪器 中子周围剂量当量（率）仪》（GB/T14318-2019）及《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/T14056.1-2008）中的要求布设监测点，结合本项目的验收范围，确定本次竣工环境保护验收监测布点。

（1）周围剂量当量率

周围剂量当量率选取的监测点位于 PET/MR 工作场所及回旋加速器工作场所的墙体外、地板、顶棚、机房门、操作室门、观察窗、管线洞口、工作人员操作位等。墙体、门、窗外表面 30cm，顶棚上方离地 100cm，顶棚下方离地 170cm。

（2）中子剂量率

对回旋加速器机房墙体及防护门外30cm处进行监测。

（3） β 表面污染

PET/MR场所控制区及监督区、注射室、休息室、留观室等区域地面、墙面及注射台放射性废物桶表面等。

回旋加速器工作场所控制区及监督区、热室、回旋加速器机房、控制室、更衣间、手消室等区域的地面、墙面、台面。

6.4 监测分析方法

依据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）、《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《水质 总 α 放射性的测定 厚源法》（HJ 898-2017）、《水质 总 β 放射性的测定 厚源法》（HJ 899-2017）等进行达标判定。

表七 验收监测结果

7.1 验收监测期间生产工况记录

现场检测当天，正在使用放射性核素 ^{18}F 开展 PET/MR 诊断项目，试运行期间每天平均接诊 2 名 ^{18}F 注射患者。放射性核素 ^{18}F 已在负一层回旋加速器分装场所分装好，每位患者的最大操作量为 10mCi，现场辐射防护设施已建成并正常运行。

7.2 验收监测结果

7.2.1 监测数据处理

根据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）、《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）的要求对周围剂量当量率测量结果按照下式计算：

$$D_{\gamma} = k_1 \times k_2 \times R_{\gamma} - k_3 \times D_c \dots\dots\dots \text{(式 7-1)}$$

式中：

D_{γ} ——测点处周围剂量当量率，nSv/h。

k_1 ——仪器检定/校准因子；本次监测时所用仪器的校准因子为 1.02。

k_2 ——仪器检验源效率因子[$k_2 = A_0/A$ （当 $0.9 \leq k_2 \leq 1.1$ 时，对结果进行修正；当 $k_2 < 0.9$ 或 $k_2 > 1.1$ 时，应对仪器进行检修，并重新检定/校准），其中 A_0 、 A 分别是检定/校准时和测量当天仪器对同一检验源的净响应值（需考虑检验源衰变校正）；如仪器无检验源，该值取 1]；仪器无检验源因此该值取 1。

R_{γ} ——仪器测量读数值均值。

k_3 ——建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子，楼房取 0.8，平房取 0.9，原野、道路取 1。

D_c ——测点处宇宙射线响应值。

根据 HJ61-2021 中 8.6 宇宙射线响应值的扣除“在实际环境监测中，测点的海拔高度、经纬度与湖（库）水面一般不同，应对湖（库）水面测得的进行修正，得到测点处仪器对宇宙射线的响应值 X_c 。修正方法见附录 D。如果测点的海拔高度、经纬度与湖（库）水面相差不大：海拔高度差别 ≤ 200 m，经度差别 $\leq 5^\circ$ ，纬度差别 $\leq 2^\circ$ ，可以不进行 X_c 的修正，即 $X_c' = X_c$ 。”

本次监测时所用仪器宇宙射线的响应值是在河源市万绿湖测得，与本次监测点位的海拔高度和经纬度，相差不大，即海拔高度差别 ≤ 200 m，经度差别 $\leq 5^\circ$ ，纬度差别 $\leq 2^\circ$ 。

因此可以不进行 X_c 的修正，即 $X_c' = X_c$ 。本次监测时仪器在湖（库）水面上对宇宙射线的响应值为 45.55nSv/h（已经过校准因子的修正）。

7.2.2 监测结果

验收监测结果详见下表，监测布点图详见附图7。

表7-1 PET/MR工作场所周围剂量当量率监测结果

序号	场所名称	监测点位置	监测结果 (nSv/h)	备注
1	注射室	防护门外30cm（上）	315	370MBq的 ¹⁸ F药物置于注射台上
2		防护门外30cm（下）	286	
3		防护门外30cm（左）	426	
4		防护门外30cm（右）	265	
5		北侧墙外30cm	140	
6		西侧墙外30cm	152	
7		注射台铅窗外表面30cm	622	
8		楼上（距地面100cm）	132	
9		楼下（距地面170cm）	140	
10	废物间	防护门外30cm（上）	131	放射性固体废物若干
11		防护门外30cm（下）	132	
12		防护门外30cm（左）	133	
13		防护门外30cm（右）	139	
14		西侧墙外30cm	142	
15		东侧墙外30cm	144	
16		楼上（距地面100cm）	133	
17		楼下（距地面170cm）	142	
18	储源室	防护门外30cm（上）	212	含有 ⁶⁸ Ge校准源5枚
19		防护门外30cm（下）	213	
20		防护门外30cm（左）	218	

21		防护门外30cm（右）	216	
22		西侧墙外30cm	143	
23		东侧墙外30cm	141	
24		北侧墙外30cm	151	
25		楼上（距地面100cm）	134	
26		楼下（距地面170cm）	142	
27	VIP候诊室	防护门外30cm（上）	427	370MBq的 ¹⁸ F药物置于患者床上
28		防护门外30cm（下）	412	
29		防护门外30cm（左）	423	
30		防护门外30cm（右）	425	
31		西侧墙外30cm	144	
32		南侧墙外30cm	150	
33		东侧墙外30cm	138	
34		楼上（距地面100cm）	134	
35		楼下（距地面170cm）	143	
36	注射后候诊室	防护门外30cm（上）	517	370MBq的 ¹⁸ F药物置于患者床上
37		防护门外30cm（下）	459	
38		防护门外30cm（左）	467	
39		防护门外30cm（右）	527	
40		北侧墙外30cm	161	
41		西侧墙外30cm	161	
42		南侧墙外30cm	173	
43		东侧墙外30cm	152	
44		楼上（距地面100cm）	152	
45	楼下（距地面170cm）	143		
46	PET/MR机房	外防护门外30cm（上）	222	

47		外防护门外30cm（下）	232	单相电流18A）		
48		外防护门外30cm（左）	213			
49		外防护门外30cm（右）	232			
50		内防护门外30cm（上）	233			
51		内防护门外30cm（下）	224			
52		内防护门外30cm（左）	233			
53		内防护门外30cm（右）	212			
54		观察窗外30cm	183			
55		工作人员操作位处	152			
56		北侧墙外30cm	152			
57		西侧墙外30cm	151			
58		东侧墙外30cm	143			
59		楼上（距地面100cm）	142			
60		楼下（距地面170cm）	148			
61		留观室	防护门外30cm（上）		428	370MBq的 ¹⁸ F药物置于患者房间内
62			防护门外30cm（下）		459	
63			防护门外30cm（左）		447	
64			防护门外30cm（右）		457	
65			北侧墙外30cm		152	
66			东侧墙外30cm		139	
67	楼上（距地面100cm）		141			
68	楼下（距地面170cm）		141			
69	排风口	废气排放口下方1m	152	/		
本底			134	/		
注：						
1、以上数据均已扣除仪器对宇宙射线的响应值。						
2、表中数据每个测量点测量10个读数，取均值，所有测量值经刻度及校正系数修正。						

3、数据处理公式： $D\gamma = k_1 \times k_2 \times R_\gamma - k_3 \times D_c$ ；k1 值为 1.02；k2 值为 1；k3：楼房取 0.8，平房取 0.9，原野、道路取 1；Dc 为 45.55nSv/h。

表7-2 PET/MR工作场所β表面污染监测结果

序号	场所名称	监测点位置	场所测量平均值 (Bq/cm ²)	备注
1	注射室	地面	0.73	控制区
2		墙面	0.36	
3		注射台表面	0.60	
4		注射台铅窗表面	0.90	
5		门表面	<检出限	
6		废物桶表面	<检出限	
7	废物间	地面	<检出限	控制区
8		墙面	<检出限	
9		废物桶表面	<检出限	
10		门表面	<检出限	
11	VIP候诊室	地面	<检出限	控制区
12		墙面	<检出限	
13		床面	<检出限	
14		桌面	<检出限	
15		卫生间地面	<检出限	
16		卫生间墙面	<检出限	
17		洗手池表面	<检出限	
18	注射后候诊室	地面	<检出限	控制区
19		墙面	<检出限	
20		床面	<检出限	
21		桌面	<检出限	
22		卫生间地面	<检出限	

23		卫生间墙面	<检出限		
24		洗手池表面	<检出限		
25	PET/MR机房	机房地面	<检出限	控制区	
26		机房墙面	<检出限		
27		机房柜面	<检出限		
28		诊断床表面	<检出限		
29		外防护门表面	<检出限		
30		控制室台面	<检出限		监督区
31		控制室地面	<检出限		
32	控制室墙面	<检出限			
33	留观室	地面	<检出限	控制区	
34		墙面	<检出限		
35		椅面	<检出限		
36		门表面	<检出限		
37	患者出口外地面		<检出限	监督区	
38	患者入口地面		<检出限		
注： β 表面污染测量时长10s、每个测点测量10次，以上测点探测器的灵敏面距检测表面的距离小于10mm。有效探测面积170cm ² ，表面发射率响应0.224，平面源效率0.62（s ⁻¹ ×Bq ⁻¹ ），仪器探测下限0.01Bq/cm ² ，核素模式采用混合。					

表7-3 回旋加速器工作场所周围剂量当量率监测结果

序号	场所名称	监测点位置	监测结果 (nSv/h)	备注
1	热室	通风柜铅窗外表面30cm	191	370MBq的 ¹⁸ F药物置于通风柜内
2		工作人员操作位	177	
3		左手洞（开）	456	
4		左手洞（关）	182	
5		右手洞（开）	458	
6		右手洞（关）	182	

7		通风柜外表面30cm	193	370MBq的 ¹⁸ F药物置于合成柜内
8		防护门外表面30cm	192	
9		防护墙体外表面30cm	186	
10		合成柜铅窗外表面30cm	183	
11		合成柜外表面30cm	191	
12		楼上（距地面100cm）	151	
13	回旋加速器机房	防护门外30cm（上）	160	开机工况：加速器能量11MeV。
14		防护门外30cm（下）	162	
15		防护门外30cm（左）	170	
16		防护门外30cm（右）	171	
17		北侧墙外30cm	158	
18		南侧墙外30cm	152	
19		排风口外30cm	157	
20		楼上（距地面100cm）	132	
本底			136	
注：				
1、以上数据均已扣除仪器对宇宙射线的响应值。				
2、表中数据每个测量点测量10个读数，取均值，所有测量值经刻度及校正系数修正。				
3、数据处理公式： $D\gamma = k_1 \times k_2 \times R_\gamma - k_3 \times D_c$ ；k1值为1.02；k2值为1；k3：楼房取0.8，平房取0.9，原野、道路取1；Dc为45.55nSv/h。				

表7-4 回旋加速器工作场所β表面污染监测结果

序号	场所名称	监测点位置	场所测量平均值（Bq/cm ² ）	备注
1	热室	地面	0.41	控制区
2		墙面	0.21	
3		合成柜表面	1.30	
4		桌面	0.71	
5		通风柜表面	1.68	

6		工作台表面	0.56	
7		门表面	0.09	
8		铅罐表面	<检出限	
9	控制室	地面	<检出限	监督区
10		墙面	<检出限	
11		桌面	<检出限	
12		门表面	<检出限	
13	工作人员通道	地面	<检出限	监督区
14		墙面	<检出限	
15		门表面	<检出限	
16	换鞋室	地面	<检出限	控制区
17		墙面	<检出限	
18		椅面	<检出限	
19		门表面	<检出限	
20	第一更衣间	地面	<检出限	控制区
21		墙面	<检出限	
22		洗手台表面	<检出限	
23		柜面	<检出限	
24		门表面	<检出限	
25	第二更衣间	地面	<检出限	控制区
26		墙面	<检出限	
27		淋浴表面	<检出限	
28		柜面	<检出限	
29		门表面	<检出限	
30	第三更衣间	地面	<检出限	控制区
31		墙面	<检出限	

32		柜面	<检出限	
33		门表面	<检出限	
34	手消室	地面	<检出限	控制区
35		墙面	<检出限	
36		手消器表面	<检出限	
37		门表面	<检出限	

注：β表面污染测量时长10s、每个测点测量10次，以上测点探测器的灵敏面距检测表面的距离小于10mm。有效探测面积170cm²，表面发射率响应0.224，平面源效率0.62（s⁻¹×Bq⁻¹），仪器探测下限0.01Bq/cm²，核素模式采用混合。

表7-5 回旋加速器工作场所中子剂量率监测结果

序号	场所名称	监测点位置	监测结果 (nSv/h)	备注
1	回旋加速器机房	防护门外30cm（上）	263	开机工况：加速器能量11MeV
2		防护门外30cm（下）	355	
3		防护门外30cm（左）	326	
4		防护门外30cm（右）	289	
5		北侧墙外30cm	85	
6		南侧墙外30cm	80	
7		排风口外30cm	79	
8		楼上（距地面100cm）	<MDL	

注：表中数据每个测量点测量 10 个读数，取均值，所有测量值经刻度及校正系数修正。MDL 为仪器的探测下限 30nSv/h。

7.2.3 监测结果评价

(1) PET/MR 工作场所

根据上述监测结果可知，PET/MR 辐射工作场所各监测点位处的周围剂量当量率检测值在（131~622）nSv/h 之间，均满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中“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”。

监督区内检测点处的β表面污染水平均低于监测仪器检出限，控制区内检测点处的β

表面污染水平为 ($<0.36\sim 0.90$) Bq/cm^2 ，均满足《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(控制区 $<40\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，监督区 $<4\text{Bq}/\text{cm}^2$)的要求。

(2) 回旋加速器工作场所

根据上述监测结果可知，回旋加速器工作场所各监测点位处的周围剂量当量率检测值在($132\sim 458$) nSv/h 之间，其中分装柜外5cm处的周围剂量当量率检测值在($182\sim 458$) nSv/h ；中子周围剂量当量率最大为 $355\text{nSv}/\text{h}$ ，均满足《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)中“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 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，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 $25\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，宜不大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ”的要求。

监督区内检测点处的 β 表面污染水平均低于监测仪器检出限，控制区内检测点处的 β 表面污染水平为 ($<0.09\sim 1.68$) Bq/cm^2 ，均满足《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(控制区 $<40\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，监督区 $<4\text{Bq}/\text{cm}^2$)的要求。

7.3 职业人员与公众人员年有效剂量估算

受照剂量采用《辐射防护手册》（第一分册）中计算公式：

$$D_r = D_l \times U \times T \times t \times 10^{-3} \dots\dots\dots (式 7-2)$$

式中：Dr—关注点受照剂量，mSv/a；

Dl—关注点处的辐射剂量率，μSv/h；

t—年工作时间，h；

U—使用因子，取 1；

T—居留因子。

7.3.1 PET/MR 辐射工作场所年有效受照剂量

(1) 工作人员

医院提供了最近四个季度的个人剂量报告，本项目与 PET/CT 工作人员的工作岗位有交叉，且部分工作人员为原有 PET/CT 工作人员，PET/MR 工作量少于原有的工作量，本次对原有 PET/CT 工作人员受照剂量进行统计分析，详见下表：

表 7-6 本项目原有 PET/CT 工作人员个人剂量统计分析

单位：mSv

姓名	2021 第四季度	2022 第一季度	2022 第二季度	2022 第三季度	合计
张继武	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	0.12
冉鹏程	0.23	<MDL	0.06	<MDL	0.35
梁祥	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	0.12
成宇旺	0.21	0.10	0.11	<MDL	0.45
孔娟	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	0.12
欧阳富	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	0.12
刘波	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	0.12
杜建强	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	0.12
田铁桥	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	0.12

注：注：MDL 为 0.06mSv，低于 MDL 的以 1/2MDL 计。

由上述统计可知原有 PET/CT 工作人员年有效受照剂量最大为 0.45mSv，本项目 PET/MR 工作量少于原有的工作量，根据现有 PET/CT 工作人员受照剂量分析，扩建后

工作人员的受照剂量低于本项目环评及其批复确定的工作人员的有效剂量约束值（不超过 5mSv/a）。

(2) 公众成员

本项目对辐射工作场所进行分区管理，公众只能在监督区以外的区域活动。根据辐射工作场所外周围场所的辐射剂量率的实测值，最大为 152nSv/h，本底水平值为 134nSv/h。以相邻场所工作人员每天工作约 8 小时，年工作天数按最多的 251 天计算，居留因子取 1/16，因此公众年有效剂量= (152-134) × 8 × 251 × 1/16 × 10⁻⁶ = 2.3 × 10⁻³ mSv，低于本项目环评及其批复确定的公众的有效剂量约束值（不超过 0.25mSv/a），亦满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a 的要求。

7.3.2 回旋加速器工作场所剂量估算

(1) 工作人员

本次仅对现有使用的回旋加速器的生产量进行增加，增加生产量后场所的等级不变，仍为乙级非密封放射性物质工作场所。因此生产量的增加主要是对工作人员及周围公众的受照剂量的影响，本次对回旋加速器工作人员最近一年的受照剂量进行了统计分析，详见下表：

表 7-7 回旋加速器工作人员个人剂量统计分析

单位：mSv

姓名	2021 第三季度	2022 第一季度	2022 第二季度	2022 第三季度	合计
李葆元	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	0.12
高路	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL	0.12
王学涛	0.13	<MDL	<MDL	<MDL	0.22
刘博	<MDL	<MDL	<MDL	0.2	0.29

注：MDL 为 0.06mSv，低于 MDL 的以 1/2MDL 计。

由上述统计可知回旋加速器工作人员年有效受照剂量最大为 0.29mSv，原有工作负荷生产时间每天低于 1h。扩大生产量后在日最大操作量的情况下，需要的生产时间最长为 2h。因此扩大生产量后工作人员年有效剂量低于本项目环评及其批复确定的工作人员的有效剂量约束值（不超过 5mSv/a）。

(2) 公众人员年有效剂量

本项目对辐射工作场所进行分区管理，公众只能在监督区以外的区域活动。根据辐射工作场所外周围场所的辐射剂量率的实测值，考虑相应的居留因子估算工作场所外公众因该项目所致的个人年有效剂量，取居留因子为 1/16，回旋加速器生产制药每天工作约 2 小时，年工作天数按 251 天计算。热室楼上（距地面 100cm）辐射剂量率水平为 151nSv/h，本底水平值为 136nSv/h。则公众年有效剂量= $(151-136) \times 2 \times 251 \times 1/16 \times 10^{-6}=4.7 \times 10^{-4}$ mSv。低于本项目环评及其批复确定的公众的有效剂量约束值（不超过 0.25mSv/a）。亦满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

综上，本项目辐射工作人员和公众年有效受照剂量均满足本项目环评批复要求的剂量约束值（工作人员年受照剂量不超 5mSv，公众年受照剂量不超过 0.25mSv）的要求。亦满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a 的要求。

7.4 衰变池废液监测结果

对 PET/MR 衰变池排放口取样，检测废液总 α 和总 β 放射性水平，检测结果总 α 放射性为 0.073，总 β 放射性为 2.22Bq/L；对回旋加速器衰变池排放口取样，检测废液总 α 和总 β 放射性水平，检测结果总 α 放射性为 0.020，总 β 放射性为 0.118Bq/L；均满足《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466-2005）中“综合医疗机构水污染物预处理标准：总 α 不大于 1Bq/L，总 β 不大于 10Bq/L”和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“放射性废液总排放口总 α 不大于 1Bq/L、总 β 不大于 10Bq/L”的要求，衰变池废液分析检测报告详见附件 4。

表八 验收监测结论

验收监测结论

8.1 验收规模

(一) 改扩建门诊楼一层核医学 PET/CT 工作场所, 改扩建区域位于 PET/CT 工作场所东北侧原有 SPECT/CT 工作场所 (未投入使用)。在改扩建区域新增 1 间 PET/MR 机房、注射室、注射后候诊室等功能用房, 在该 PET/MR 机房内新增安装使用 1 台 PET/MR 用于核素显像诊断, 配套新增使用 5 枚锞-68(均属 V 类放射源)。改扩建后新增放射性核素镓-68 进行 PET/CT 核素显像诊断, 新增使用氟-18、碳-11、氮-13、镓-68、铜-64、锞-89 进行 PET/MR 核素显像诊断。改扩建后该核医学工作场所仍为乙级非密封放射性物质工作场所。

(二) 在门诊楼负一层的回旋加速器核素制备场所增加放射性核素氟-18、碳-11、氮-13 制备量, 增量后的回旋加速器核素制备场所仍为乙级非密封放射性物质工作场所。

8.2 本项目污染防治措施执行情况

2023 年 1 月 10 日, 广东核力工程勘察院技术人员对该场所进行了验收监测, 现场监测时辐射防护设施正常运行。

本项目建设性质、规模、地点、采用的生产工艺、环境保护措施等均严格按照环境影响评价报告表及环评批复所要求进行建设。

8.3 辐射环境监测结果

PET/MR 及回旋加速器辐射工作场所各监测点位处的辐射剂量率均满足《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020) 中“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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”。

β 表面污染水平均满足《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 (控制区 $<40\text{Bq/cm}^2$, 监督区 $<4\text{Bq/cm}^2$) 的要求。

本项目辐射工作人员和公众年有效受照剂量均满足本项目环评批复要求的剂量约束值 (工作人员年受照剂量不超 5mSv , 公众年受照剂量不超过 0.25mSv) 的要求。

8.4 环境管理检查

广东省中医院大学城医院核医学科改造项目落实了环境影响报告表及广东省生态环境厅审批意见的要求。医院已成立辐射事故应急领导小组, 制定了一系列辐射防护制

度、操作规程、岗位职责、监测计划和应急制度等；辐射管理人员、操作人员均已参加辐射安全培训，考试合格后持证上岗。

8.5 结论

项目已落实“三同时”管理制度，环保设施与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用；本项目的辐射工作场所采取了相应辐射屏蔽措施，充分考虑周围场所的人员防护与安全，本项目实际建成的辐射防护设施满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）及《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）的相关防护设施的技术要求。

工作人员和公众年受照剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，也满足年剂量约束值的要求；落实了工程设计、环境影响评价及批复文件和其它对项目的环境保护要求；建议通过竣工环保验收。