

绵阳市中心医院
改扩建非密封放射性物质工作场所
及医用射线装置使用项目
竣工环境保护验收监测报告

报告编号：瑞迪森（验）字（2023）第006号

（公示本）

建设单位： 绵阳市中心医院

编制单位： 四川瑞迪森检测技术有限公司

二〇二三年二月

目 录

表一 建设项目基本情况	1
表二 建设项目工程分析	7
表三 辐射安全与防护设施/措施	23
表四 建设项目环境影响报告表主要结论及审批部门审批决定	33
表五 验收监测质量保证及质量控制	46
表六 验收监测内容	48
表七 验收监测期间生产工况及验收监测结果	50
表八 验收监测结论	64

表一 建设项目基本情况

建设项目名称	绵阳市中心医院 改扩建非密封放射性物质工作场所及医用射线装置使用项目				
建设单位名称	绵阳市中心医院 (统一社会信用代码: 12510600451209209Q)				
建设项目性质	<input type="checkbox"/> 新建 <input checked="" type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 退役				
建设地点	四川省绵阳市涪城区常家巷 12 号绵阳市中心医院				
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类	乙级	II类、III类	/	
建设项目环评批复 时间	2021 年 6 月 22 日	开工建设时间	2021 年 07 月		
取得辐射安全 许可证时间	2022 年 7 月 18 日	项目投入运行 时间	2022 年 09 月		
验收现场监测时间	2022 年 9 月 3 日、2022 年 9 月 29 日及 2023 年 1 月 10 日				
环评报告表 审批部门	四川省生态环境厅	环评报告表 编制单位	南京瑞森辐射技术有限公司		
辐射安全与防护设 施设计单位	*	辐射安全与防护 设施施工单位	*		
投资总概算 (万元)	*	辐射安全与防护 设施投资总概算 (万元)	*	比例	*
实际总概算 (万元)	*	辐射安全与防护 设施实际总概算 (万元)	*	比例	*
验收依据	<p>1、建设项目环境保护相关法律、法规和规章制度:</p> <p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》，1989 年 12 月 26 日实施，2014 年 4 月 24 日修订，2015 年 1 月 1 日起实施；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》(2018 年修正版)，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》，全国人大常委会，2003 年 10 月 1 日起施行；</p> <p>(4) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令 449 号，2005 年 12 月 1 日起施行；2019 年修正，国务院令 709 号，2019 年 3 月 2 日施行；</p>				

(5) 《建设项目环境保护管理条例》，（2017年修订版），国务院令 682号，2017年10月1日发布施行；

(6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，2021年修改，生态环境部令 20号，2021年1月4日起施行；

(7) 《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，2011年5月1日起施行；

(8) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021版）》，生态环境部令 16号，自2021年1月1日起施行；

(9) 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》，国家环境保护总局文件，环发〔2006〕145号，2006年9月26日起施行；

(10) 《关于发布<射线装置分类>办法的公告》，环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告，公告2017年第66号，2017年12月5日起施行；

(11) 《放射源分类办法》，国家环保总局公告2005年第62号，2015年12月23日起施行；

(12) 《四川省辐射污染防治条例》，2016年修改，2016年6月1日起实施；

(13) 《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲(2016)》，川环函〔2016〕400号，2016年9月22日印发；

(14) 《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22日起施行；

(15) 《建设项目竣工环境保护验收技术指南污染影响类》生态环境部公告〔2018〕第9号，2018年5月15日印发；

(16) 《放射工作人员职业健康管理暂行办法》，中华人民共和国卫生部令 55号，2007年11月1日起施行。

2、建设项目竣工环境保护验收技术规范：

(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)；

(2) 《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021)；

(3) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)；

	<p>(4) 《表面污染测定 第一部分 β 发射体 ($E_{\beta\max}>0.15\text{MeV}$) 和 α 发射体》 (GB/T 14056.1-2008) ;</p> <p>(5) 《职业性外照射个人监测规范》 (GBZ 128-2019) ;</p> <p>(6) 《放射工作人员健康要求及监护规范》 (GBZ 98-2020) ;</p> <p>(7) 《核医学放射防护要求》 (GBZ 120-2020) ;</p> <p>(8) 《核医学辐射防护与安全要求》 (HJ 1188-2021) ;</p> <p>(9) 《放射诊断放射防护要求》 (GBZ 130-2020) ;</p> <p>(10) 《工作场所职业病危害警示标识》 (GBZ 158-2003) ;</p> <p>(11) 《职业性内照射个人剂量监测规范》 (GBZ 129-2002) 。</p> <p>3、建设项目环境影响报告书(表)及其审批部门审批文件</p> <p>(1) 《改扩建非密封放射性物质工作场所及医用射线装置使用项目环境影响报告表》，南京瑞森辐射技术有限公司，2021年05月，见附件2；</p> <p>(2) 《四川省生态环境厅关于绵阳市中心医院改扩建非密封放射性物质工作场所及医用射线装置使用项目环境影响报告表的批复》(四川省生态环境厅，2021年6月22日)，见附件3。</p>						
<p>验收监测 执行标准</p>	<p>1、人员年受照剂量限值</p> <p>根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的规定，本项目辐射工作人员及公众的年剂量限值见表 1-1。所列剂量限值适用于实践(如本项目)所引起的照射，而不适用于对病患者的医疗照射和无任何主要责任方负责的天然辐射源的照射。</p> <p style="text-align: center;">表 1-1 工作人员职业照射和公众照射剂量限值</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 20%;">类别</th> <th style="width: 80%;">要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">职业照射 剂量限值</td> <td> 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： ①由审管部门决定的连续5年的年平均有效剂量(但不可作任何追溯性平均)，20mSv； ②任何一年中的有效剂量，50mSv； ③眼晶体的年当量剂量，150mSv； ④四肢(手和足)或皮肤的年当量剂量，500mSv。 </td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">公众照射 剂量限值</td> <td> 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，如果5个连续年的年平均剂量不超过1mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到5mSv； </td> </tr> </tbody> </table>	类别	要求	职业照射 剂量限值	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： ①由审管部门决定的连续5年的年平均有效剂量(但不可作任何追溯性平均)，20mSv； ②任何一年中的有效剂量，50mSv； ③眼晶体的年当量剂量，150mSv； ④四肢(手和足)或皮肤的年当量剂量，500mSv。	公众照射 剂量限值	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，如果5个连续年的年平均剂量不超过1mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到5mSv；
类别	要求						
职业照射 剂量限值	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： ①由审管部门决定的连续5年的年平均有效剂量(但不可作任何追溯性平均)，20mSv； ②任何一年中的有效剂量，50mSv； ③眼晶体的年当量剂量，150mSv； ④四肢(手和足)或皮肤的年当量剂量，500mSv。						
公众照射 剂量限值	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，如果5个连续年的年平均剂量不超过1mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到5mSv；						

③眼晶体的年当量剂量，15mSv；

④皮肤的年当量剂量，50mSv。

2、剂量约束值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）“剂量约束值通常应在公众照射剂量值 10%~30%（即 0.1mSv/a~0.3mSv/a）的范围之内”的规定，遵循辐射防护最优化原则，制定的本项目剂量约束值见表 1-2。

表 1-2 工作人员职业照射和公众照射剂量约束值

项目名称	适用范围	剂量约束值
改扩建非密封放射性物质工作场所及医用射线装置使用项目	职业照射	5mSv/a
	公众照射	0.1mSv/a

3、辐射管理分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）的要求，应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

1) 控制区 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值潜在照射的范围。

2) 监督区 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。

4、场所分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）附录 C 规定的非密封源工作场所的分级，应按表 C1 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。非密封源工作场所的分级判据如表 1-3。

表 1-3 非密封放射性物质工作场所的分级

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

5、工作场所选址及布局要求

引自《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）引自“第5款选址和布局”内容，如下：

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

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

5.1.3 核医学工作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑。

5.2 布局

5.2.1 核医学工作场所应合理布局，住院治疗场所和门诊诊断场所应相对分开布置；同一工作场所内应根据诊疗流程合理设计各功能区域的布局，控制区应相对集中，高活室集中在一端，防止交叉污染。尽量减小放射性药物、放射性废物的存放范围，限制给药后患者的活动空间。

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

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

6、放射性表面污染控制水平

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）表 B11 工作场所的放射性表面污染的控制水平见表 1-4。

表 1-4 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
工作台、设备、墙壁、地面	控制区	4×10
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区、监督区	4
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10 ⁻¹

7、放射性废物的管理要求

引自《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）内容“第7款放射性废物的管理”，如下：

7.2 固体放射性废物的管理

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：

a) 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天；

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；

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。

8、辐射工作场所周围剂量当量率要求

引自《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）“第 6 款 剂量限值与约束剂量限值”内容，如下：

6.1 屏蔽要求

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

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

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

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

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

6.1.8 放射性物质贮存在专门场所内，并应有适当屏蔽。

9、安全管理及环评要求

《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，环评文件及其批复中的相关要求。

表二 建设项目工程分析

项目建设内容

一、建设单位基本情况

绵阳市中心医院（统一社会信用代码：12510600451209209Q，以下简称“医院”）坐落于绵阳市繁华的城市中心，始建于 1939 年，秉承“崇尚生命与科学”的价值观，“仁爱、诚信、敬业、创新”的医院精神，在历代中心医院人的不懈努力下，建成了以临床医疗、健康管理为主，集医疗、教学、科研、急诊急救、灾难医学为一体的三级甲等综合医院，是四川省川西北区域医疗中心，是电子科技大学医学院附属绵阳医院。

绵阳市中心医院现持有四川省生态环境厅颁发的《辐射安全许可证》（证书编号：详见附件 4），许可种类和范围为：使用V类放射源；使用II类、III类射线装置；生产、使用非密封放射性物质，乙级非密封放射性物质工作场所。

二、项目建设规模

医院为进一步提高本院的医学影像诊断技术能力和服务水平，满足患者的诊疗需要，更好的惠及全市人民群众，综合考虑选址第二住院大楼一层东侧健康管理中心等区域，并对该区域进行装修改造，建设 1 处分子影像中心，于中心内建设 1 处乙级非密封放射性物质工作场所，新建 1 座回旋加速器机房，配备 1 台回旋加速器生产正电子药物。同时，新增使用 1 台 PET/CT 用于开展显像诊断项目，PET/CT 校准时将使用 3 枚 ^{68}Ge 放射源。同时，在第一住院大楼负一层新建 2 座 DSA 机房（1#DSA 机房及 2#DSA 机房），并在 1#机房内新增配备 1 台 DSA 设备，2#机房内由原介入科搬迁 1 台 DSA 设备，均用于开展介入诊断。

医院已委托南京瑞森辐射技术有限公司于 2021 年 5 月编制完成了《改扩建非密封放射性物质工作场所及医用射线装置使用项目环境影响报告表》，并于 2021 年 6 月 22 日取得了四川省生态环境厅关于该项目的环评批复文件，详见附件 3。

医院已于 2022 年 3 月对《改扩建非密封放射性物质工作场所及医用射线装置使用项目环境影响报告表》中“DSA 介入治疗工作场所（改扩建 2 台 DSA 项目）”进行竣工环境保护验收（详见附件 5），本次验收仅涉及报告表中“分子影像中心（改扩建非密封放射性物质工作场所及回旋加速器项目）”。

本项目分子影像中心于 2021 年 07 月开工建设，2022 年 08 月工作场所建设完

成，配套的环保设施和主体工程均已同时建成，医院配备的回旋加速器和 PET/CT 设备于 2022 年 9 月完成安装调试，本项目配套的环保设施与主体工程符合“三同时”制度，具备竣工环境保护验收条件。

根据《建设项目环境保护管理条例》及《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》的规定，绵阳市中心医院委托四川瑞迪森检测技术有限公司对本项目开展竣工环境保护验收监测工作（项目委托书见附件 1）。四川瑞迪森检测技术有限公司接受委托后，于 2022 年 09 月编制了《绵阳市中心医院改扩建非密封放射性物质工作场所项目竣工环境保护验收监测方案》，并分别于 2022 年 9 月 3 日、2022 年 9 月 29 日及 2023 年 1 月 10 日开展了现场监测及核查，根据现场监测和核查情况，编制本项目验收监测报告。

三、环评审批及实际建设情况

1、建设地点及外环境关系

（1）绵阳市中心医院外环境关系

绵阳市中心医院位于四川省绵阳市涪城区常家巷 12 号。医院东侧为常家巷 11 号楼、马家巷 11 号院、18 号院及 20 号院，南侧为顺成街及医院职工宿舍，西侧为卫生巷，北侧为警钟街。医院本次改扩建的核医学科位于医院第二住院大楼一层。医院总平面图见图 2-1。

（2）分子影像中心外环境关系

本次改扩建的分子影像中心位于第二住院部一层东部，改扩建后的场所东侧为室外其次为医院围墙及院外马家巷 11 号院、18 号院及 20 号院，南侧为室外其次为医院围墙及顺成街及医院职工宿舍，西侧为医院原有核医学工作场所及候诊区，北侧为院内道路及女单楼及教学楼，放射性药物生产制备场所（回旋加速器）上方无建筑，核素诊断工作场所上方为第二住院大楼的普通病房，下方为水泵房等设备用房。改建后的工作场所平面布局见图 2-2，第二住院大楼二层平面布局见图 2-3，第二住院大楼负一层平面布局见图 2-4。

（3）环境保护目标

本项目周围 50m 范围除东、南侧部分位于医院围墙外，其余方向均位于医院院区内。50m 评价范围内除涉及部分居民区外无学校等其他环境敏感点。本项目辐射环境保护目标为医院辐射工作人员、医院内的其他医护人员、病患、陪同家属及院内外公

众，本次验收环境保护目标与环评一致，详见表 2-1。

综上所述，本项目建设地点与环评一致未发生变动，本项目周围外环境无变化，本次验收环境保护目标与环评一致。

2、设备参数

本次验收项目环评建设规模主要技术参数及实际建设主要技术参数见表 2-2。

本项目环评阶段根据《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）规定，将医疗机构使用 ^{68}Ga 相关活动视为“很简单的操作”，本次验收根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）表 A.2 “发生器淋洗”的“母体（液态）”视为“贮存”，“子体（液态）”视为“简单操作”，将使用 ^{68}Ga 相关活动视为“简单的操作”，故放射性同位素 ^{68}Ga 的日等效最大操作量由原来的“ $3.7\times 10^5\text{Bq}$ ”变更为“ $3.7\times 10^6\text{Bq}$ ”，场所内总日等效最大操作量由“ $1.61\times 10^8\text{Bq}$ ”变更为“ $1.65\times 10^8\text{Bq}$ ”，该场所仍为乙级非密封放射性物质工作场所，故不属于重大变动。

本项目回旋加速器及 PET/CT 设备参数与环评一致。

3、废物

本次验收项目废弃物排放情况见表 2-3。本项目废弃物排放情况与环评一致。

本项目环评阶段时固体放射性废物及液态放射性废物的暂存及排放标准均按照《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ 120-2006）执行，由于标准变更，实际建成后医院固体放射性废物的暂存及排放按照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）执行。

本项目液态放射性废物的暂存及排放均按照原有环评及批复要求执行，本次验收于 2022 年 12 月 8 日对衰变池总排口废水进行取样监测，监测结果显示该水样的总 α 放射性活度浓度为 $(3.41\pm 0.61)\times 10^{-2}\text{Bq/L}$ ，总 β 放射性活度浓度为 $(1.87\pm 0.09)\times 10^{-2}\text{Bq/L}$ ，本项目液态放射性废物的暂存及排放按照原有环评及批复要求执行时，其衰变池总排口废水活度浓度满足《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。

四、辐射安全与防护设施实际总投资落实情况

本项目辐射安全防护与环保设施及其投资落实情况见表 2-4。

本次分子影像中心实际投资*万元，其中环保投资*万元，与实际投资金额相符。

根据医院提供材料，本项目环评中的“DSA 介入治疗工作场所（改扩建 2 台 DSA 项目）”实际投资*万元，其中环保投资*万元，故本项目共计投资*万元，其中环保投资*万元，与实际投资金额相符。

绵阳市中心医院已预留其他环保投资，其中包括辐射工作人员培训、个人剂量监测及职业健康体检费用等，满足相关辐射防护安全要求。由表 2-4 内容可知，本项目辐射安全与防护措施落实情况均符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）及《四川省核技术利用辐射安全与防护监督检查大纲》等相关要求。

源项情况

一、辐射污染源项

本项目放射性污染主要来源于放射性药物生产制备环节及核素诊断环节。

1、放射性药物生产制备环节

(1) 放射性污染源分析

在回旋加速器区主要的环境影响为制备核素、化学分离与合成、质量控制、药物分装过程中对工作人员产生外照射；质量控制、药物分装过程中对工作台面、地面等造成的表面污染；生产过程产生的含放射性的滤膜、靶材料等；操作过程产生的放射性固体废物，如使用可能沾染放射性药物的手套、口罩、污染擦拭或清洗物等放射性固体废物；操作过程产生的放射性废水，如洗涤废水。

回旋加速器营运过程中产生的电离辐射主要为 γ 射线和中子，此外尚有质子、 β^+ 等。在 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{18}F 、 ^{15}O 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 的生产中，除产生电离辐射（ β^+ 、 γ ）之外，还可能产生含 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 和 ^{41}Ar 的废气、废液和固体废物，此外尚有少量的活化气体，下面分别叙述：

① 贯穿辐射

回旋加速器运行时产生的贯穿辐射有中子、 γ 射线，产生的初级伽玛射线大约是中子产生剂量的1%。在进行化学合成时和分装时产生 γ 射线。产生部位见表2-5。

表 2-5 回旋加速器运行贯穿辐射发生位置

序号	发生位置	产生放射的主要原因	粒子类型
1	靶	生产放射性同位素的核反应	中子， γ
2	射束光闸	射束调整过程中粒子束撞击射束光闸产生的核反应	中子， γ
3	挡板缝隙	加速粒子撞击挡板缝隙产生的核反应	中子， γ
4	锡箔剥离器	加速粒子通过锡箔剥离器产生的核反应	中子， γ
5	真空室	加速粒子在真空室内撞击残气	中子， γ
6	化学合成热室	输送管道、药物合成、制取、药量分装和质量检验时	γ

以上中子和 γ 射线具有较强的穿透力，如果对其屏蔽不好则可以穿过屏蔽墙、防护门和屋顶对工作人员和公众会产生一定辐射危害。

一般上午8点钟要对患者用药，所以回旋加速器通常运行（打靶）是在上午6点前完成，打靶后药物合成和分装共需约2小时。

② 活化气体

加速器机房中的空气受中子照射后生成放射性活化气体，主要核素有 ^{11}C ， ^{13}N ，

^{15}O 和 ^{41}Ar ，它们的半衰期在 7.3s~1.83h，只要有相应的通风管道就可以避免机房内活化气体的存在。

③放射性废物

i 含放射性核素的气溶胶：在放射性药物制取、质检、分装时，部分未被高效过滤器净化的含 ^{18}F 等的气溶胶经通风管道排入大气，会对环境产生污染；

ii 放射性液体废物：放射性药物制取工艺流程中加入的反应介质乙腈溶液和乙醚洗涤液，在同位素交换反应和洗涤完成后，每天产生约 120ml 放射性废液，由热室专用瓶自动收集，热室在当天运行结束后只能等到第二天才能打开，废液在热室贮存。

加速器冷却水被活化将产生的感生放射性核素主要是 ^{15}O 、 ^{16}N ，半衰期分别是 2.1min 和 7.3s，一般采取放置一段时间其活度可衰减到可忽略的水平。该项目回旋加速器采用密封循环水冷却方式，在正常运转状况下，不外排。

iii 放射性固体废物：有靶废料，即有靶窗、废弃的离子源灯丝等，一年产生约 400g，为感生放射性废物；放射性药物制取时产生放射性残留物如硅胶、树脂、氧化铝、碳柱、滤膜和废活性炭等；操作药物时主要产生的手套、口罩和清洁时用过的抹布、拖布等，废物中主要核素为 ^{18}F 等短寿命放射性核素。所有以上放射性废物均采用衰变存贮方式。

表 2-6 药品合成过程污染因素和产污环节

序号	产污环节	污染因素						
		贯穿辐射		表面污染	放射性固体废物	放射性液体废物	放射性气体废物	其它有害气体
		n	γ					
正常工况	药品合成		√	√	废手套、口罩、吸水纸以及废包装瓶等。	剩余药液、冲洗及工作人员沐浴废水	^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{18}F 、 ^{15}O 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 气溶胶	
	药品质控检验		√	√	不合格药物			
	药品分装		√	√	废包装材料			
	退役		√	√	含感生放射加速器部件和其它场地清污废物			
事故工况	安全连锁失效	√	√					O_3
	突然断电扩散泵回流		√				^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{18}F 、 ^{15}O 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 气溶胶	
	通风系统故障		√				^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{18}F 、 ^{15}O 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 气溶胶	
	熔靶和靶水吸附事故		√				/	

反应器倾翻或破裂		√	√			¹¹ C、 ¹³ N、 ¹⁸ F、 ¹⁵ O、 ⁶⁴ Cu、 ⁸⁹ Zr 气溶胶
----------	--	---	---	--	--	---

2) 非放射性污染源

i 由空气电离产生的有毒气体臭氧 (O₃)，臭氧是加速器产生的电离与空气中的氧相互作用的结果，它对人的呼吸系统、眼睛和粘膜有伤害。高浓度的臭氧还可以使易燃材料的活性增强，降低臭氧浓度的主要措施是加速器机房要有良好的通风系统。

ii 水冷机、通风系统等产生的噪声，水冷机正常工作噪声水平在 70~75dB (A)，通风机组噪声不大于 70dB (A)，所以对周围环境不会有明显影响。

2、核素诊断环节

(1) 电离辐射

PET/CT 扫描时产生的 X 射线、放射性药物在取药、分装、注射、注射后候诊、扫描等操作过程中产生的 γ 射线。以上射线会造成医务人员和公众的外照射。

⁶⁸Ge 校准源校准过程中释放 γ 射线，γ 射线对医护人员产生的外照射影响。

本项目非密封放射性药物及射线装置技术参数如表 2-7~表 2-8 所示。

表 2-7 本项目放射性核素特性一览表

核素名称	半衰期	衰变模式	α/β 最大能量 (MeV)	光子能量 (MeV)	周围剂量当量率常数 (裸源) ^① (μSv·m ² /MBq·h)
¹⁸ F	109.8min	β ⁺ , EC	0.63 (+)	0.511	0.143
¹¹ C	20.39min	β ⁺ , EC	0.96 (+)	0.511	0.148
¹⁵ O	2.0min	β ⁺ , EC	1.72 (+)	0.511	0.148
¹³ N	10min	β ⁺ , EC	1.19 (+)	0.511	0.148
⁶⁴ Cu	12.71h	β ⁻ , β ⁺ , EC	0.65 (+)	0.511 1.346	0.029
⁸⁹ Zr	78.4h	β ⁺ (100)	0.396	0.511	0.189
⁶⁸ Ge	280d	EC (100)	0.106	-	0.011
⁶⁸ Ga	68min	β ⁺ , EC	1.9 (+)	0.511	0.134

注：①该数据来源于《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)。

表 2-8 绵阳市中心医院改扩建项目情况一览表

放射源							
序号	核素名称	总活度 (Bq) /活度 (Bq) ×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点
1	⁶⁸ Ge	9.25×10 ⁷ ×1 4.62×10 ⁷ ×2	V	使用	校准源	PET/CT	储源室内

表 2-8 绵阳市中心医院改扩建项目情况一览表 (续表)

非密封放射性物质						
序号	工作场所名称	核素	日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	活动种类
1	分子影像中心	¹⁸ F	5.55×10 ⁹	5.55×10 ⁷	1.39×10 ¹²	生产、使用
2		¹¹ C	7.4×10 ⁸	7.4×10 ⁶	1.85×10 ¹¹	生产、使用
3		¹⁵ O	7.4×10 ⁸	7.4×10 ⁶	1.85×10 ¹¹	生产、使用
4		¹³ N	7.4×10 ⁸	7.4×10 ⁶	1.85×10 ¹¹	生产、使用
5		⁶⁴ Cu	7.4×10 ⁸	7.4×10 ⁶	1.85×10 ¹¹	生产、使用
6		⁸⁹ Zr	7.4×10 ⁸	7.4×10 ⁷	1.85×10 ¹¹	生产、使用
7		⁶⁸ Ge	1.85×10 ⁹	1.85×10 ⁶	1.85×10 ⁹	使用
8		⁶⁸ Ga	3.7×10 ⁸	3.7×10 ⁶	9.25×10 ¹⁰	使用
合计			1.65×10 ⁸ Bq (乙级)			

注：本项目所使用的放射性核素¹⁸F由医院本次新增的回旋加速器生产制备所得，故将“生产、使用”视为“简单操作”；根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)表A.2“发生器淋洗”的“母体(液态)”视为“贮存”，“子体(液态)”视为“简单操作”，本项目使用⁶⁸Ga相关活动视为“简单的操作”。

表 2-8 绵阳市中心医院改扩建项目情况一览表 (续表)

射线装置						
序号	射线装置名称	装置型号	最大管电压	最大管电流	射线装置类别	活动种类
1	回旋加速器	玖源-11MTS	11MeV		II	使用
2	PET/CT	Discovery MI	140kV	600mA	III	使用

(2) β 放射性表面污染

医生在对含有放射性同位素¹⁸F等的各种操作中，会引起工作台、工作服和手套等产生放射性沾污，造成小面积的β放射性表面污染。

(3) 废气

本项目使用的放射性同位素¹⁸F等在带有通风装置的通风橱内进行分装，产生少量的放射性气溶胶。

在CT开机并曝光时，X射线电离空气，会产生臭氧和氮氧化物。CT曝光时间很

短，臭氧和氮氧化物的产生量极少。

(4) 废水

体内含有放射性核素的病人排泄物；工作场所清洗废水等。

(5) 固体废物

放射性同位素操作过程中产生的如注射器、一次性手套、棉签、滤纸等带微量放射性同位素的医疗固体废弃物，污染途径为操作过程中及收集固废过程中和贮存衰变时对医务人员产生的外照射。

退役或报废的 ^{68}Ge 校准源及 ^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器由放置于校准源室或注射室的放射性废物暂存间内，退役或报废的密封源交还给生产厂家。

二、非辐射污染源项

本项目废气为电离辐射产生的 O_3 、 NO_x 等废气；本项目废水为工作人员产生少量的生活污水；本项目的固体废物，主要为工作人员产生的生活垃圾以及医疗废物；本项目噪声主要设备运行过程中产生的噪声以及排风系统风机产生的噪声。

工程设备与工艺分析

一、工作原理

1、回旋加速器的工作原理

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联为加速粒子提供交变的电场。在磁场和电场的作用下被加速的粒子在近似于螺旋的轨道中运动飞行。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碳膜。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使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 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。其基本原理如下图 2-5。

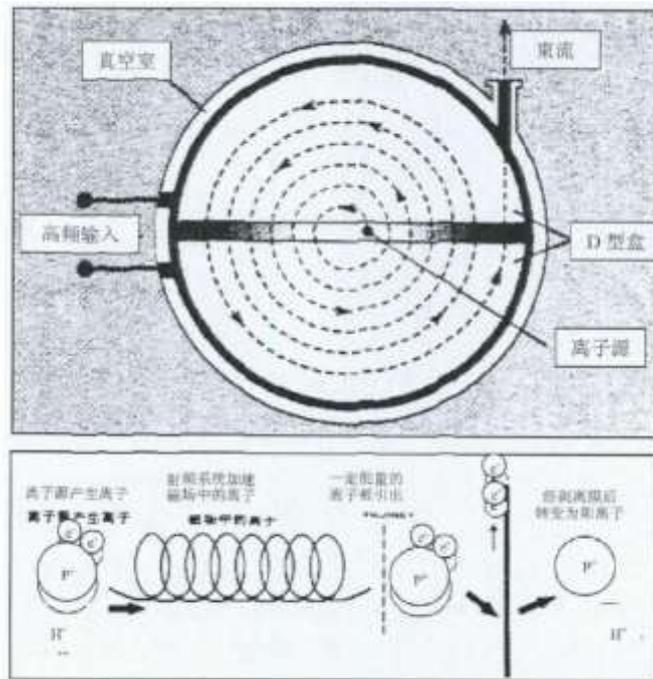


图 2-5 医用回旋加速器工作原理简图

2、PET/CT 工作原理

核医学的体内诊断是将放射性核素及其标记物注射到人体内后，由于机体功能和代谢变化，因而可以通过放射性核素及其标记物在体内分布和代谢来反映人体内的病理或生理变化。放射性核素进入人体后，特定的放射性核素按照自身的规律发生衰变，在此过程中发射一定能量的 γ 射线，采用特殊的探测装置可以在人体外探测到体内放射性核素的分布，就能准确的观察到体内的病理或生理变化过程，为医学研究与临床诊断提供可靠信息。

PET 的成像技术是利用带正电子的放射性核素注入人体内产生的湮没辐射 γ 光子构成影像。正电子只能瞬态存在，很快与组织中的负电子结合湮没辐射产生两个能量相等、方向相反的 γ 光子。正电子放射性核素可构成人体各部位的任何影像，包括平面影像、动态影像、断层影像及全身影像。湮没辐射产生的 γ 光子互成 180° ，提供了很好的空间定位。正电子成像一般不需要机械准直器而采用电子准直，大大提高了探测灵敏度，改善了空间分辨率。正电子断层显像主要用于心血管疾病、脑及神经疾病和肿瘤的诊断，对肿瘤的良好、恶性鉴别诊断、分期、化疗和放疗后疗效观察及判断肿瘤病灶转移与复发均有重要价值。近年来，为获得清晰的成像，又发展了与 X 射线 CT 融合的 PET/CT、PET/MR 等设备。

PET/CT 是将 PET 与 CT 联合在一起，通过 PET 扫描和 CT 扫描重叠联合扫描，

使两者的硬件和软件有机地结合在一起。这样就可以采用 CT 图像对 PET 功能图像进行解剖定位，同时又可以采用人体 X 射线衰变图的衰变系数对 γ 射线在人体内的衰减进行校正，它自身带有 1 部 CT 机，属于 III 类射线装置。本项目 PET/CT 外观图见图 2-6。



图 2-6 本项目 PET/CT 外观图

本项目核医学诊断场所使用放射性同位素 ^{18}F ，配合新增的 PET/CT 进行诊断治疗。当某种放射性核素或其标记物 (^{18}F) 通过注射等方式进入体内后，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。利用 PET 来探测这种放射性核素发射的 γ 射线在体内的分布状态并还原成图像，其影像不仅可以显示脏器和病变的位置、形态、大小等解剖结构，更重要的是可以显示脏器的功能、代谢情况，提供有关脏器的血流、功能、代谢和引流等方面定性的和定量的信息。而血流、功能和代谢的异常，常是疾病的早期变化，出现在形态结构发生改变之前。因此，PET 放射性核素显像有助于疾病的早期诊断。

3、锗镓发生器淋洗原理

本项目显像诊断使用的 ^{68}Ga 由锗镓发生器淋洗而成，该发生器属于裂变色层发生器，基本部件是钼酸锗柱/活化氧化铝柱、淋洗系统和用于保护工作人员的辐射屏蔽套。 ^{68}Ga 由活化氧化铝柱内 ^{68}Ge 不断裂变产生，并被活化氧化铝柱吸附，当加入适当的淋洗剂时， ^{68}Ga 便以 $^{68}\text{GaO}^{4-}$ 的形式被淋洗出来，整个过程称为“挤奶”。为了使

用方便，一套发生器除基本部件外，常附加子体核素溶液接收瓶（即负压瓶）和一定量的淋洗剂（生理盐水）。由于母体核素的不断衰变就不断地产生子体核素，因而核素发生器可以反复淋洗制得子体核素。

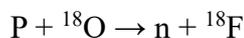
二、工作流程及产污环节

1、放射性药物生产制备环节

回旋加速器可完成临床上所需要的¹⁸F、¹¹C、¹³N、¹⁵O、⁶⁴Cu和⁸⁹Zr等放射性同位素。其中¹⁸F是目前临床使用标记示踪剂最多的正电子放射性核素。以生产¹⁸F-FDG为例进行工作流程介绍。

①药物制备

医院提前一天根据患者预定的药物数量，向回旋加速器室预定安排第二天的放射性药物生产量。回旋加速器运行期间，工作人员不进入加速器室内，仅在加速器控制室内操作。回旋加速器在每次正式制备放射性同位素前均进行预处理。用¹⁶O-H₂O先清洗靶并用纯氦吹干药物传递管道，然后注入靶物质，以一定的束流轰击一定时间（视所需制备量而定）后，将制备的核素通过专用防护管道系统，在氦气推动下输送至合成热室的药物合成器内。其中¹⁸F制备核反应如下，生产采用液体靶。



生产前对回旋加速器进行调试，根据需要生产的放射性核素种类设置相应参数。回旋加速器运行期间，工作人员不进入回旋加速器室内，仅在控制室操作。核素生产时间为平均为2.5h/次。

产污环节：回旋加速器在生产核素的同时伴随产生大量中子，成为瞬时辐射源，由于高能带电粒子直接轰击加速器有关部件导致有关原件被活化从而产生中子活化产物，中子在慢化吸收过程中产生高能射线和放射性废物，另外回旋加速器长期运行会产生废靶。加速器室内的空气受中子照射后生成放射性活化气体，主要有¹¹C、¹³N、¹⁵O和⁴¹Ar等感生放射性物质，以及回旋加速器在开机时会产生少量的非放射性有害气体，主要是臭氧和氮氧化物。

②药物合成、分装

回旋加速器机房的核素离子生产完成后，通过氦气吹扫，通过专门的防护管道系统传输到合成热室内的相应模块箱中。

核素在洁净合成模块中合成过程中，无需人员干预，核素药品在洁净合成模块的

合成均采用计算机程序自动控制。

核素药品在洁净合成模块合成完成后，进入同一模块箱的药物分装模块。药物分装过程也采用计算机全自动控制，无需人工干预，药物在自动分装模块中将根据预先设计的程序，经高效除菌过滤膜过滤被收集在安瓿瓶中。自动掉入专用的铅防护罐中，罐子的盖子为卡扣盖子，不易松动。合成过程均采用计算机程序全自动控制，无需人工干预。

产污环节：药物合成、分装过程中核素衰变发出 β^+ 射线以及因发生正电子湮灭而产生的 γ 射线；合成分装模块内药物的挥发产生含放射性核素的废气。

③ 药物质控

药物生产完成后，工作人员进入合成热室将合成分装模块内装有少量质检用药物的铅罐取出，经传递窗送至外包间，再由外包间工作人员通过传递窗送至质控室进行质量检验，质控室设通风橱，工作人员在通风橱内将待检药物注射器吸取微量抽检样品，检验药物的 pH 值和形状，经检验满足《药品管理法》和《放射性药品管理办法》等相关法律法规要求后，方开展后续工作。

产污环节：药物质控过程中核素衰变发出 β^+ 射线以及因发生正电子湮灭而产生的 γ 射线；操作过程中，可能会引起工作台、设备、墙壁、地面、工作服、手套等产生放射性沾污，造成放射性表面污染；发生药品泄露后医务人员去污、应急洗消、场所清洗时可能产生少量放射性废水；通风橱药物的挥发产生含放射性核素的废气；作业产生废棉签、口罩、手套等放射性固废。

④ 运输

PET 药物制备完成后，工作人员进入合成热室将合成分装模块内装有药物的铅罐取出，诊断药物经传递窗送至核素诊断工作场所的通风橱内暂存。

⑤ 工艺流程汇总

以上整个过程（打靶、合成、分装）为计算机全自动控制，工作人员不参与操作，只是监控整个过程的执行情况；质控环节由工作人员在通风橱内操作。

因此，回旋加速器项目污染因子主要是： γ 射线、中子、活化气体、 β 表面污染、放射性废水、放射性废气以及放射性固废、 O_3 和 NO_x 。

2、核素诊断环节

1) ^{68}Ga 制备工作流程如下：

本项目 ^{68}Ga 放射性药物由医生通过发生器自行进行制备，其制备、注射和显像流程如下：

①将生理盐水瓶插入发生器的双针，一分钟后整体拔下外有防护罐的负压瓶，即制得淋洗液，制得的淋洗液贮存于外有防护罐的负压瓶之中。通常整个淋洗过程约需两分钟。

②测量活度：测量活度在通风橱内进行，由负责注射的工作人员完成，通风橱内配置有用于活度测量的活度计，工作人员用注射器吸取少量淋洗液，测量其放射性活度，得出该瓶淋洗液的比活度，同时可测量淋洗液的纯度。用注射器将已测量好活度的淋洗液迅速转移至冻干药盒，并充分摇匀，稀释到预设体积。

③给药试验、测定：注射护士手持带铅套的注射器，在注射铅玻璃屏的屏蔽下为病人注射，病人注射完药物后进入注射后等候室内观察等待，等待结束后注射病人进入PET/CT扫描间进行显像诊断，诊断结束后病人进入留观室休息一定时间后可直接离开。

2) 显像诊断工作流程、产污环节及污染因子

PET/CT 诊断具体工作流程如下：

①接收患者，开具 PET/CT 诊断单并告知患者诊断过程存在辐射危害；

②医生根据病情确定使用核素的类别和剂量；

③病人通过注射将放射性药物摄入。在药品摄入过程中存在 γ 射线污染，同时会产生放射性废水、固废(注射器、棉球、药品盒)；

④病人注射药品后通过仪器进行器官显像和病情检查。此过程病人带有 γ 射线。

因此，用 ^{18}F 等核素标记 PET 显像主要环境影响为分装、注射对工作人员产生的外照射；分装、注射过程对工作台面、地面等造成的表面污染；操作过程产生的放射性固体废物，如使用放射性药物的注射器、注射针头、可能沾染放射性药物的试管、棉签、手套、口罩、污染擦拭或清洗物等放射性固体废物；操作过程产生的放射性废水，如洗涤废水、注射放射性药物患者的排泄物，PET/CT 扫描时产生的 X 射线。

三、人流及物流路径

医院本次改扩建的分子影像中心位于医院第二住院大楼一层，结合本项目的工艺流程，本次改扩建的分子影像中心人流、物流路径规划具体如下：

(1) 工作人员路径：

①放射性药物生产制备场所的工作人员经北侧的办公室进入回旋加速器的控制室，再往东进入换鞋区进入一更、二更、缓冲进入净化走廊再到达药物合成热室及质控间，返回时通过缓冲间再进入一更到达回旋加速器控制室再达到办公室区域。该路径上配置有表面污染监测设备，设置有感应式洗手池和淋浴设施，质控间内产生的固体废物暂存于废物桶内，随后转移至放射性废物暂存间内。

②核素诊断工作场所的护士由卫生通过间通过防护门注射室，在通风橱内完成分装活度测量等操作，最后在注射窗口给患者施药。该路径上卫生通过间内配置有表面污染监测设备，设置有感应式洗手池和淋浴设施，注射室内产生的固体废物暂存于废物桶内，随后转移至放射性废物暂存间内。

(2) 患者路径：

患者按预约日期首先到第二住院大楼一层护士站登记，登记后的患者通过二次候诊进入处置室安置留置针，再通过带有门禁装置的防护门进入诊断区域，首先到达注射窗口，随后注射相对应的放射性药物后，在注射后等候室休息等待，一般等待大约20~30min，再进入PET/CT机房进行显像检查，检查完毕后在留观室内休息约10min后离开。该路径上，患者入口和患者出口处均设置为单向门禁，仅允许患者单向通行。该诊断区域内设有专用卫生间，患者在专用卫生间内如厕，不随意走动，诊断期间，各自根据叫号系统提示到相应的位置进行诊断检查。

(3) 工作场所拟使用的药物运送路径：

本项目所使用的放射性药物由回旋加速器生产制备所得，放射性药物会在病人就诊前制备好并通过质控间的传递窗将放射性药物送至注射室的通风橱内暂存。

本项目所使用的放射性核素⁶⁸Ga由医院通过购置的锗镓发生器自行淋洗所得，锗镓发生器医院购置后暂存于注射室的通风橱内，辐射工作人员在注射室完成淋洗分装后随后转移至注射窗口给患者施药。

综上所述，本项目分子影像中心人流、物流路径于环评一致。

四、工作负荷及人员配置

根据本项目环评及医院实际工作量，医院已根据实际工作量为本项目分子影像中心配备6名辐射工作人员，其中1名辐射工作人员已参加辐射安全与防护培训学习，并取得辐射安全与防护培训合格证书，合格证在有效期内，剩余5名辐射工作人员均已参加“核技术利用辐射安全与防护培训平台”学习及考核，成绩合格。本项目辐射

工作人员名单详见表 2-9。

表 2-9 本项目分子影像中心辐射工作人员名单

序号	姓名	性别	工种	培训合格证书编号/ 成绩单编号	工作场所
1	*	*	*	*	本项目分子影像中心
2	*	*	*	*	
3	*	*	*	*	
4	*	*	*	*	
5	*	*	*	*	
6	*	*	*	*	

本项目辐射工作人员均配备有个人剂量计，绵阳市中心医院已对辐射工作人员开展个人职业健康体检及个人剂量监测，并建立个人职业健康监护档案和个人剂量档案，详见附件 6 及附件 7。

根据《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）：“自 2020 年 1 月 1 日起，新从事辐射活动的人员，以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过生态环境部‘核技术利用辐射安全与防护培训平台’（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）报名并参加考核。2020 年 1 月 1 日前已取得的原培训合格证书在有效期内继续有效”。

表三 辐射安全与防护设施/措施

辐射安全与防护设施/措施

一、辐射防护分区

(1) 分区原则

为了便于加强管理，切实做好辐射安全防范和管理工作，项目应当按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）要求在辐射工作场所内划出控制区和监督区。

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，要求有专门防护手段和安全措施的限定区域。在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的警告标志并给出相应的辐射水平和污染水平指示。运用行政管理程序如进入控制区的工作许可证和实体屏蔽（包括门锁和连锁装置）限制进出控制区。放射性工作区应与非放射性工作区隔开。

监督区：未被确定为控制区，正常情况下不需要采取专门防护手段或安全措施，但要不断检查其职业照射状况的区域。在监督区入口处的合适位置张贴辐射危险警示标识；并定期检查工作状况，确认是否需要防护措施和安全条件，或是否需要更改监督区的边界。

(2) “两区”划分

医院已将分子影像中心内回旋加速器机房、更衣室、净化走廊、药物合成热室、质控间、注射室、废物间、注射后等候室、PET/CT 机房、留观室和卫生通过间等划分为控制区，该区域涉及放射性同位素操作，是药物生产制备、分装及带药病人的主要活动区域，设置有病人专用通道供带药病人行走，属《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）定义的控制区，进行了专门的屏蔽防护设计；其余房间如：控制室及医生办公室等属《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）定义的监督区。控制区和监督区内病人及医护人员均具有独立的出入口和流动路线，能够有效防止交叉污染，避免公众、工作人员受到不必要的外照射。

本项目分子影像中心辐射防护分区的划分与环评一致，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中关于辐射工作场所的分区规定。本项目分子影像中心辐射防护分区如图 3-1 所示。

二、工作场所屏蔽设施建设情况

本项目分子影像中心屏蔽防护设计及落实情况详见表 3-1。

表 3-1 本项目分子影像中心屏蔽防护设计及落实情况一览表

名称	屏蔽体	环评设计参数	实际落实情况	备注
		主要屏蔽材料及厚度	主要屏蔽材料及厚度	
回旋加速器机房	四面墙体	*	*	与环评一致
	顶部	*	*	与环评一致
	底部	*	*	与环评一致
	防护门	*	*	与环评一致
药物合成热室	四面墙体	*	*	与环评一致
	顶部	*	*	与环评一致
	底部	*	*	与环评一致
	防护门	*	*	与环评一致
	合成热室	*	*	与环评一致
质控间	四面墙体	*	*	与环评一致
	顶部	*	*	与环评一致
	底部	*	*	与环评一致
	防护门	*	*	与环评一致
	通风橱	*	*	与环评一致
	传递窗	*	*	与环评一致
注射室	四面墙体	*	*	与环评一致

	顶棚	*	*	与环评一致
	底部	*	*	与环评一致
	防护门	*	*	与环评一致
	注射窗	*	*	与环评一致
注射后等候诊 1	四面墙体	*	*	与环评一致
	顶棚	*	*	与环评一致
	底部	*	*	与环评一致
	防护门	*	*	与环评一致
注射后等候室 2	四面墙体	*	*	与环评一致
	顶棚	*	*	与环评一致
	底部	*	*	与环评一致
	防护门	*	*	与环评一致
PET/CT 机房	四面墙体	*	*	与环评一致
	顶棚	*	*	与环评一致
	底部	*	*	与环评一致
	防护门	*	*	与环评一致
	观察窗	*	*	与环评一致
	铅屏风	*	*	与环评一致
留观室	四面墙体	*	*	与环评一致
	顶棚	*	*	与环评一致
	底部	*	*	与环评一致
	防护门	*	*	与环评一致

其他	*	*	*
	*	*	*
	*	*	*

由表 3-1 可知，本项目分子影像中心实际建设技术参数与环评及其批复一致，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）中相关要求。

三、辐射安全与防护措施

1、警示标志和工作状态指示灯

本项目分子影像中心内出入口处均粘贴有当心电离辐射警告标志，回旋加速器机房及 PET/CT 机房防护门上方设置有工作状态指示灯，入口地面张贴警戒线，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)规范的电离辐射警告标志的要求。同时，在核医学诊断工作场所防护门上方设置工作状态指示灯警示装置，指示灯与防护门联动。

2、防护门安全联锁设施

加速器室的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出束；当加速器工作过程中误操作打开防护门时，加速器立即停止出束，现场检查门机联锁装置运行正常。

PET/CT 机房防护门设有闭门装置，且工作状态指示灯和与机房相通的门有效联动，避免射线装置开机时防护门未关闭造成门外人员受照。患者出入口防护门设置有门机联锁装置，只有患者出入口防护门关闭到位时才能启动设备工作。现场检查门机联锁装置运行正常。

3、视频监控系统及对讲系统

医院为了防止工作人员和公众误入造成不必要的照射，避免人身受到潜在照射损害，医院在回旋加速器区域、注射室、注射后休息室、留观室、PET/CT 机房、患者通道均设置视频监控系统，便于观察受检者的情况、工作场所进出/口情况，避免受检者注射药物后随意走动或无关人员进入放射工作场所；在 PET/CT 机房和控制室之间安装对讲装置及观察窗，便于工作人员通过对讲装置于机房内受检者联系。

4、急停按钮

本项目回旋加速器机房内及控制台设有急停按钮，当出现紧急情况时，按下急停按钮即可关闭设备，经现场核查有效。

本项目 PET/CT 的操作台及设备机身上均设有急停按钮，当出现紧急情况时，按下急停按钮即可关闭设备，经现场核查有效。急停装置见图 3-7。

5、门禁系统

医院已做好控制区的监督管理工作，防止无关人员入内；加强对控制区内注射了放射性药物病人的监督管理，避免其给药后随意走动；告知检查病人离开路线，防止

其对公众造成不必要照射。

医院将本项目回旋加速器区域、核医学诊断工作场所受检者各出/入口、医护通道等处的防护门设计为带密码电磁锁门禁系统的单向门，能够实现及“无关人员禁止进入回旋加速器区域”及“入口患者只入不出、出口患者只出不入”，保证了控制区内患者的单向流动，避免无关人员进入控制区。

6、监测仪器及个人防护用品

(1) 监测仪器

医院已为本项目配备有个人剂量报警仪、中子个人剂量报警仪、多功能射线检测仪、表面污染测量仪、固定式剂量监测仪及区域环境辐射检测仪等，辐射检测仪和个人剂量报警仪等配置情况见表 3-2。

表 3-2 本项目核医学诊断工作场所配备的监测仪器清单

设备名称	设备型号	数量	设置场所
多功能射线检测仪	*	*	*
表面污染仪	*	*	*
个人剂量报警仪	*	*	*
个人剂量报警仪	*	*	*
中子个人剂量报警仪	*	*	*
固定式剂量监测仪	*	*	*
区域环境辐射检测仪	*	*	*

(2) 个人防护用品

医院已配备有防护铅衣、铅帽、铅围脖、铅眼镜、铅手套等防护用品，辐射工作人员在进行注射和进行摆位时，穿戴铅衣、铅帽和铅眼镜等防护用品；注射时，注射器外套有铅防护套，以减少放射性药物对工作人员的照射；医院已配备有通风橱用于放射性药品的存放；已配备铅废物桶用于放射性废物的存放；已配备注射器防护套、注射器防护提盒、手动分装装置及药物转运防护罐等。

本项目配备的防护用品清单见表 3-3。

表 3-3 本项目配备的个人防护用品清单

防护用品	铅当量 (mmPb)	数量	设置场所
通风橱	*	*	*
通风橱	*	*	*
放射性废物储存桶	*	*	*

通风橱	*	*	*
注射窗	*	*	*
注射器防护套	*	*	*
放射性废物储存桶	*	*	*
放射性废物储存桶	*	*	*
铅屏风	*	*	*
铅衣、铅围脖、铅围裙	*	*	*

7、PET/CT 机房通风装置

本项目 PET/CT 机房内空气在 X 射线作用下分解产生少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，通过通排风装置排入大气，臭氧常温下可自行分解为氧气，对周围环境影响较小。

四、放射性三废治理

1、放射性废水

本项目工作场所产生的含放射性废水包括：工作人员操作过程手部受到微量污染的清洗废水，清扫工作台面、地坪的清洁工具清洗时可能会有带有微量放射性的废水，以及患者冲洗排便用水。

工作场所产生的放射性废水通过预埋好的管道排至第二住院大楼本次新建的衰变池系统内，放射性废水先排至沉淀池再通过污水提升泵排至放射性废水衰变系统（见图 3-14），待放射性废水达到清洁解控水平后通过管道排至医院污水处理站处理达标后排入市政管网。

本项目新设置的放射性废水衰变系统通过专门管路收集放射性废水，采用间歇式衰变的处理方式设计。放射性废水衰变系统利用一台人机界面全面监控放射性废水的水量及阀门状态等信息，可掌控放射性废水的流向，避免出现放射性废水的意外排放以及不可追溯的事故。

本项目液态放射性废物的暂存及排放均按照原有环评及批复要求执行，本次验收于 2022 年 12 月 8 日对衰变池总排口废水进行取样监测（详见附件 9），监测结果显示该水样的总 α 放射性活度浓度为 $(3.41 \pm 0.61) \times 10^{-2} \text{Bq/L}$ ，总 β 放射性活度浓度为 $(1.87 \pm 0.09) \times 10^{-2} \text{Bq/L}$ ，本项目液态放射性废物的暂存及排放按照原有环评及批复要求执行时，其衰变池总排口废水活度浓度满足《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 10 Bq/L”的要求。

2、放射性固体废物

本项目产生的放射性固体废物主要有服药杯子、污染物的注射器、针头、手套、棉签、纱布、滤纸、破碎杯皿、擦拭污染物地面的物品以及其他可能受放射性污染的物品等。

医院在分装室、注射室、给药室、质控室设置有专用脚踏式废物桶（10mmPb 当量），操作过程中产生的放射性固废放置于垃圾袋内并暂存至放射性废物衰变桶内，当天注射产生的放射性固体废物下班后集中送至放射性废物暂存间内暂存，经暂存衰变超过 30 天以上并达到清洁解控水平后，作为医疗废物统一处理。

本项目产生的放射性废物还包括更换下的活性炭，经贮存衰变超过 30 天后达到清洁解控水平后作为一般废物处理，或由厂家进行回收处理。

3、放射性废气处理措施

本项目工作场所排风管道分为 5 支，其中 2 支单独连接热室和注射室通风橱，放射性药物的各项操作均在热室和通风橱内进行；第 3 支单独连接回旋加速器机房，第 4 支单独连接回旋加速器控制室；第 5 支管连接各等候区、注射室、PET/CT 机房、药物合成热室及质控间等。

工作场所产生的废气经由 5 根排风管道排至第二住院大楼楼顶，在排风管道末端均配置活性炭吸附装置，屋顶排风口均朝向天空。

经检测，本项目通风橱操作口的风速为 1.29 m/s 和 1.37m/s，均大于 0.5m/s，满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中“合成和操作放射性药物所用的通风橱，工作中应有足够风速（一般风速不小于 0.5m/s）”要求。

五、非放射性三废治理

1、废水

本项目辐射工作人员产生的生活污水依托医院生活污水处理系统处理。

2、废气

本项目 PET/CT 设备开机运行时，产生的 X 射线与空气相互作用可产生少量的臭氧。

为确保受检者、医护人员的安全，辐射工作场所内已设置有通排风系统，将室内的臭氧排出室外。

3、噪声

本项目噪声源为工作场所内通排风系统机组，均采用低噪设备，经建筑物墙体隔声及医院场址内的距离衰减后，噪声较小。

4、固体废物

本项目运行后产生的非放固体废物主要是生活垃圾和医疗废物。生活垃圾依托院区生活垃圾点集中暂存，由市政环卫部门统一收集、清运至区域生活垃圾处理厂处置；医疗废物统一收集转移至医院废物暂存间，委托有资质单位清运处理。

六、辐射安全管理制度

绵阳市中心医院已根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，针对所开展的核技术利用项目制定了相应的辐射安全与防护管理制度，清单如下：

- (1) 关于调整放射防护与辐射安全管理领导小组的通知
- (2) 核医学科 PET/CT 及回旋加速器放射事件医学应急预案
- (3) 辐射安全管理规定
- (4) 辐射安全和防护设施维修制度
- (5) 辐射工作人员岗位职责
- (6) 放射源与射线装置台账管理制度
- (7) 辐射工作场所辐射环境监测方案
- (8) 监测仪表使用与校验管理制度
- (9) 辐射工作人员辐射安全与防护培训制度
- (10) 辐射工作人员个人剂量管理制度
- (11) PET/CT 工作流程
- (12) 回旋加速器操作规程
- (13) 核医学科安全管理制度
- (14) 放射性药品采购、登记、使用、核对、保管及注销制度
- (15) 核医学科放射卫生防护管理制度
- (16) 核医学科查对制度
- (17) 放射性药品的不良反应、放射性污染的紧急处理及报告制度
- (18) 核医学科体内放射性药品使用、观察制度
- (19) 核医学科辐射安全自主检测计划

以上辐射安全与防护管理制度能够满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的相关要求。辐射安全规章管理机构及制度详见附件 8。

绵阳市中心医院已将《辐射工作场所安全管理要求》《辐射工作人员岗位职责》《辐射工作设备操作规程》和《辐射事故应急响应程序》悬挂于工作场所控制室内。

表四 建设项目环境影响报告表主要结论及审批部门审批决定

建设项目环境影响报告表主要结论及审批部门审批决定

一、环境影响报告书（表）主要结论与建议

“一、项目概况

项目名称：绵阳市中心医院改扩建非密封放射性物质工作场所及医用射线装置使用项目

设计单位：核工业西南勘查设计研究院有限公司

建设单位：绵阳市中心医院

建设地点：四川省绵阳市涪城区常家巷 12 号（第一住院大楼及第二住院大楼）

建设内容与规模：

1、分子影像中心项目

绵阳市中心医院拟在绵阳市涪城区常家巷 12 号医院第二住院大楼（已建、地下 2 层、地上 12 层）一层东侧将健康管理中心等区域改建为分子影像中心，主要包括放射性药物生产制备工作场所和核素诊断工作场所，总占地面积约 450m²。

放射性药物生产制备工作场所内的回旋加速器机房内拟新增使用 1 台 11MeV 回旋加速器生产正电子药物，属于 II 类射线装置；PET/CT 机房内拟新增使用 1 台 PET/CT（最大管电压 140kV、最大管电流 800mA）用于核素诊断，属于 III 类射线装置；PET/CT 拟使用 3 枚 ⁶⁸Ge 放射源（活度为 9.25×10⁷Bq×1 枚、4.62×10⁷Bq×2 枚）用于校准，均属于 V 类放射源。

分子影像中心拟生产使用放射性核素 ¹⁸F（年最大生产使用量 1.39×10¹²Bq、日最大生产使用量 5.55×10⁹Bq、日等效最大操作量 5.55×10⁷Bq）、¹¹C、¹⁵O、¹³N、⁶⁴Cu（年最大生产使用量均为 1.85×10¹¹Bq、日最大生产使用量均为 7.4×10⁸Bq、日等效最大操作量均为 7.4×10⁶Bq）、⁸⁹Zr（年最大生产使用量为 1.85×10¹¹Bq、日最大生产使用量为 7.4×10⁸Bq、日等效最大操作量为 7.4×10⁷Bq）用于显像诊断，使用 ⁶⁸Ge（年最大使用量 1.85×10⁹Bq、日最大使用量 1.85×10⁹Bq、日等效最大操作量 1.85×10⁶Bq）制备 ⁶⁸Ga（年最大使用量 9.25×10¹⁰Bq、日最大使用量 3.70×10⁸Bq、日等效最大操作量 3.70×10⁵Bq）用于显像诊断。分子影像中心非密封放射性物质工作场所总日等效最大操作量为 1.61×10⁸Bq，属于乙级非密封放射性物质工作场所。

本次分子影像中心将配套建设 1 套衰变池系统，不与医院原有衰变池共用，该衰

变池拟建于第二住院大楼负一层，拟设计3个并联小池，每个小池为13m³，总容积为39m³。

2、介入诊断项目

医院拟在第一住院大楼负一层常温库改建2座DSA机房，并在机房内新增使用2台DSA（1#机房内的DSA型号为飞利浦Azurion7 M12，最大管电压为150kV，最大管电流为1250mA，2#机房内的DSA由原介入科搬迁而来，型号为飞利浦Allura Xper FD10，最大管电压为125kV，最大管电流为1250mA，2台DSA均属II类射线装置），年出束时间均约为125h，其常用主射方向向上，用于介入诊断治疗。

本次拟申请新增辐射项目内容见表13-1。

表13-1 绵阳市中心医院改扩建项目情况一览表

放射源							
序号	核素名称	总活度 (Bq) /活度 (Bq) ×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点
1	⁶⁸ Ge	9.25×10 ⁷ ×1 4.62×10 ⁷ ×2	V	使用	校准源	PET/CT	校准源室

表13-1 绵阳市中心医院改扩建项目情况一览表（续表）

非密封放射性物质						
序号	工作场所名称	核素	日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	活动种类
1	分子影像中心	¹⁸ F	5.55×10 ⁹	5.55×10 ⁷	1.39×10 ¹²	生产、使用
2		¹¹ C	7.4×10 ⁸	7.4×10 ⁶	1.85×10 ¹¹	生产、使用
3		¹⁵ O	7.4×10 ⁸	7.4×10 ⁶	1.85×10 ¹¹	生产、使用
4		¹³ N	7.4×10 ⁸	7.4×10 ⁶	1.85×10 ¹¹	生产、使用
5		⁶⁴ Cu	7.4×10 ⁸	7.4×10 ⁶	1.85×10 ¹¹	生产、使用
6		⁸⁹ Zr	7.4×10 ⁸	7.4×10 ⁷	1.85×10 ¹¹	生产、使用
7		⁶⁸ Ge	1.85×10 ⁹	1.85×10 ⁶	1.85×10 ⁹	使用
8		⁶⁸ Ga	3.7×10 ⁸	3.7×10 ⁵	9.25×10 ¹⁰	使用
合计			1.61×10 ⁸ Bq (乙级)			

表13-1 绵阳市中心医院改扩建项目情况一览表（续表）

射线装置							
序号	射线装置名称	装置型号	最大管电压	最大管电流	射线装置类别	活动种类	备注
1	回旋加速器	未定	11MeV		II	使用	拟购
2	PET/CT	未定	≤140kV	≤800mA	III	使用	拟购
3	DSA	飞利浦Azurion7	125	1250	II	使用	拟购

		M12					
4	DSA	飞利浦 Allura Xper FD10	125	1250	II	使用	拟购

二、项目产业政策符合性

本项目系核技术应用项目在医学领域内的运用。根据国家发展和改革委员会 2019 年第 29 号令《产业结构调整指导目录（2019 年本）》，属于鼓励类中第三十七项“卫生健康”的第 5 条“医疗卫生服务设施建设”，是目前国家鼓励发展的新技术应用项目。本项目的运营可为绵阳市及周边病人提供诊疗服务，是提高人民群众生活质量，提高全市医疗卫生水平和建设小康设备的重要内容，本项目具有放射实践的正当性，符合现行的国家产业政策。

三、实践正当性

绵阳市中心医院改扩建非密封放射性物质工作场所及医用射线装置使用项目的目的是为了对病人进行医学诊断。在采取了相应的辐射防护措施后，项目所致的辐射危害可得到有效控制，项目实施的利益大于代价，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的辐射防护“实践的正当性”原则。

四、项目选址及平面布局合理性

本项目选址于绵阳市中心医院第一住院负一层及第二住院大楼一层，绵阳市中心医院位于四川省绵阳市涪城区常家巷 12 号（项目地理位置见附图 1）。

绵阳市中心医院用地属于医疗卫生用地，从周边外环境关系可知，医院周边规划为居民住宅和市政道路，周边无自然保护区等生态环境保护目标，无大的环境制约因素。

绵阳市中心医院于 2007 年完成了改扩建及市急救中心建设项目的环评并取得四川省生态环境厅（原四川省环境保护局）的批复，批复文号为：川环建函（2007）187 号（见附件 2），医院选址合理性已在相关环评报告中进行了论述，本项目仅为医院内部重新装修改建，不新增用地，且拟建的辐射工作场所有良好的实体屏蔽设施和防护措施，产生的辐射通过采取相应的治理措施后对周围环境影响较小，从辐射安全防护的角度分析，本项目选址是合理的。

五、区域环境质量现状

根据监测结果，本项目分子影像中心拟建位置周围环境辐射剂量当量率监测值在（92~108）nSv/h 之间，DSA 拟建址及周围辐射剂量当量率监测值在在（87~109）

nSv/h 之间，周围 γ 辐射剂量当量率与空气吸收剂量率数值基本相当，转换因子取 1，则分子影像中心拟建址现场及周边环境的空气吸收剂量率为 (92~108) nGy/h，DSA 拟建址现场及周边环境的空气吸收剂量率为 (87~109) nGy/h。根据《2019 年四川省生态环境状况公报》中数据显示，全省 γ 辐射空气吸收剂量率（含宇宙射线贡献值）为 (76.8~163) nGy/h，由此可知，本项目拟建址区域周围辐射环境监测值与四川省天然贯穿辐射水平相当，属于正常本底范围。

六、代价利益分析

绵阳市中心医院改扩建非密封放射性物质工作场所及医用射线装置使用项目符合区域医疗服务需要，能有效提高区域医疗服务水平，核技术在医学上的应用有利于提高疾病的诊断正确率和治疗效果，能有效减少患者疼痛和对患者损伤，总体上大大节省了医疗费用，争取了宝贵的治疗时间，该项目在保障病人健康的同时也为医院创造了更大的经济效益。

为保护该项目周边其他科室工作人员和公众，对改扩建非密封放射性物质工作场所及医用射线装置使用项目加强了防护，从剂量预测结果可知，项目致工作人员所受附加剂量小于 5mSv、公众年所受附加剂量小于 0.1mSv，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”及本项目管理约束值的要求。因此，从代价利益分析看，该项目是正当可行的。

七、环境影响分析结论

1、施工期环境影响分析

本项目施工工程量比较小，施工时间较短，故施工期的环境影响是短暂的，施工结束后影响即可消除，对周围环境影响较小。

2、营运期正常工况下辐射环境影响

（1）辐射环境影响分析结论

在严格落实环评提出的要求后，本项目所致职业人员年剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）的辐射剂量限值要求，同时也符合本报告提出的照射剂量约束值要求（职业照射 5mSv/a、公众照射 0.1mSv/a）。评价结果表明本项目辐射工作场所的防护性能符合要求。

（2）水环境影响分析

本项目分子影像中心工作人员操作过程手部受到微量污染或清扫工作台面、地坪

的清洁工具清洗时可能会有带有微量放射性的废水以及患者冲洗排便用水。通过独立的废水管道收集来自分子影像中心（非密封放射性物质工作场所）的放射性废水，进入医院新建的废水衰变池，3个并联衰变池（每个小池为 13m^3 ，总容积为 39m^3 ）进行衰变处理，衰变后的废水经监测合格后排入医院废水处理站进一步处理后纳入市政污水管网。

本项目介入工作人员工作时仅产生少量的生活废水，经医院污水处理站处理后纳入市政污水管网

（3）固体废物影响分析

本项目产生的放射性废物主要为：工作人员操作过程产生的注射器、棉棒、一次性卫生用品、垫料和更换下的废活性炭。医院拟将上述放射性固体废物采用专用塑料包装袋专门分类收集，按序封闭暂存于注射室内的放射性废物暂存间内的放射性衰变桶内（每袋废物表面剂量率不超过 0.1mSv/h ，重量不超过 20kg ），让放射性物质自行衰变，经检测符合排放标准后作为普通医疗废物处理。在整个收集、储存、处理过程中，做好台账记录，台账内容应包括：标明收贮时间、种类及数量、储存时间（不少于1天）、废物最终处置去向等。

（4）噪声

运营期噪声主要来源于通排风系统的风机，工作场所使用的通排风系统为低噪声节能排风机和低噪声节能空气处理机，其噪声值低于 60dB(A) ，通风机组通过橡胶垫进行减震降噪，可降噪约 $10\sim 15\text{dB(A)}$ ，再加上医院场址内的距离衰减，噪声对周围环境影响较小。

（5）大气环境影响分析

开机出束期间产生的X射线与空气中的氧气相互作用产生少量的臭氧(O_3)。臭氧经空调系统抽取后排放，由于治疗过程中每次曝光时间短，产生的臭氧量较少，且臭氧极不稳定，再经大气稀释自然扩散后，对周围大气环境影响轻微。

2、事故工况下环境影响

经分析，本项目可能发生的辐射事故等级为一般辐射事故。环评认为，针对本项目可能发生的辐射事故，绵阳市中心医院按相关规定和本环评要求对已制定的《放射事件应急预案》进行补充完善后，能够有效控制并消除事故影响。

八、非密封放射性物质工作场所及射线装置使用与安全管理的综合能力

绵阳市中心医院拥有专业的放射性医护人员和安全管理机构，有符合国家环境保护标准、职业卫生标准和安全防护要求的场所、设施和设备；建立了较完善的辐射安全管理制度、辐射事故应急措施；在补充《辐射安全管理规定》、《辐射工作设备操作规程》等相关管理制度并及时更新，认真落实并定期对辐射防护设施进行检查维护的前提下，具有对医用辐射设施的使用和安全管理能力。

九、项目环境可行性结论

综上所述，本项目符合国家产业政策，项目选址及平面布局合理。项目拟采取的辐射防护措施技术可行，措施有效；项目制定的管理制度、事故防范措施及应急方法等能够有效的避免或减少工作人员和公众的辐射危害。在认真落实项目工艺设计及本报告表提出的相应防护对策和措施，严格执行“三同时”制度，严格执行辐射防护的有关规定，辐射工作人员和公众所受照射剂量可满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）规定的剂量限值和本环评提出的剂量管理约束值。放射性“三废”及非辐射环境影响均可满足国家标准的要求。评价认为，从辐射安全与防护以及环境影响角度分析，本项目建设是可行的。”

二、审批部门审批决定

“你单位《改扩建非密封放射性物质工作场所及医用射线装置使用项目环境影响报告表》（以下简称报告表）收悉。根据国家相关法律法规和四川省辐射环境管理监测中心站技术评估意见（川辐评〔2021〕45号），经研究，批复如下：

一、项目建设内容和总体要求

项目拟在绵阳市涪城区常家巷12号绵阳市中心医院内实施，主要建设内容为：拟将医院第二住院大楼一层东侧的健康管理中心等区域改建为分子影像中心，将第一住院大楼负一层的常温库改建为2个DSA介入治疗工作场所。

（一）分子影像中心

分子影像中心主要包括放射性药物生产制备工作场所和使用核素诊断工作场所，总占地面积约450m²。放射性药物生产制备工作场所由回旋加速器机房（含控制室）、药物合成热室、质控间等构成，其中拟在回旋加速器机房内安装使用1台11MeV回旋加速器，属于II类射线装置，用于生产（自用）制备核素¹⁸F、¹¹C、¹⁵O、¹³N、⁶⁴Cu、⁸⁹Zr等正电子药物；使用核素诊断工作场所由注射室、注射后候诊室1和2、PET/CT

机房、留观室等构成，其中拟在 PET/CT 机房内安装使用 1 台 PET/CT，属于Ⅲ类射线装置，用于核素诊断；拟使用 3 枚 ^{68}Ge 放射源，1 枚活度为 $9.25\times 10^7\text{Bq}$ 、2 枚活度为 $4.62\times 10^7\text{Bq}$ ，均属于 V 类放射源，均用于 PET/CT 校准。

分子影像中心内拟生产使用放射性核素 ^{18}F （年最大生产使用量 $1.39\times 10^{12}\text{Bq}$ 、日最大生产使用量 $5.55\times 10^9\text{Bq}$ 、日等效最大操作量 $5.55\times 10^7\text{Bq}$ ）、 ^{11}C 、 ^{15}O 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu （年最大生产使用量均为 $1.85\times 10^{11}\text{Bq}$ 、日最大生产使用量均为 $7.4\times 10^8\text{Bq}$ 、日等效最大操作量均为 $7.4\times 10^6\text{Bq}$ ）、 ^{89}Zr （年最大生产使用量为 $1.85\times 10^{11}\text{Bq}$ 、日最大生产使用量为 $7.4\times 10^8\text{Bq}$ 、日等效最大操作量为 $7.4\times 10^7\text{Bq}$ ），均用于显像诊断。同时使用核素 ^{68}Ge （年最大使用量 $1.85\times 10^9\text{Bq}$ 、日最大使用量 $1.85\times 10^9\text{Bq}$ 、日等效最大操作量 $1.85\times 10^6\text{Bq}$ ）制备核素 ^{68}Ga （年最大使用量 $9.25\times 10^{10}\text{Bq}$ 、日最大使用量 $3.70\times 10^8\text{Bq}$ 、日等效最大操作量 $3.70\times 10^5\text{Bq}$ ），用于显像诊断。该分子影像中心总日等效最大操作量为 $1.61\times 10^8\text{Bq}$ ，属于乙级非密封放射性物质工作场所。

（二）DSA 介入治疗工作场所

拟在 1#DSA 机房内新增安装使用 1 台型号为飞利浦 Azurion7 M12 的 DSA，在 2#DSA 机房内安装使用 1 台由原介入科搬迁而来的型号为飞利浦 Allura Xper FD10 的 DSA，该 2 台 DSA 的最大管电压均为 125kV，最大管电流均为 1250mA，均属于 II 类射线装置，均用于开展介入治疗活动。

本项目总投资 3500 万元，其中环保投资 800 万元。

你单位已取得四川省生态环境厅核发的《辐射安全许可证》（川环辐证[00309]），许可种类和范围为使用 V 类放射源，使用 II、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。本次项目环评属于新增使用 V 类放射源，使用 II 类、III 类射线装置，生产（自用）、使用非密封放射性物质，乙级非密封放射性物质工作场所为重新申领辐射安全许可证开展的环境影响评价。该项目系核技术在医疗领域内的具体应用，属《产业结构调整指导目录（2019 年本）》中的鼓励类，符合国家产业政策，建设理由正当。该项目严格按照报告表中所列建设项目的性质、规模、工艺、地点和拟采取的环境保护措施建设和运行，使用放射性同位素和射线装置产生的电离辐射及其他污染物排放可以满足国家相关标准的要求，职业工作人员和公众照射剂量满足报告表提出的管理限值要求。因此，我厅同意报告表结论。你单位应全面落实报告表提出的各项环境保护对策措施和本批复要求。

二、项目建设中应重点做好以下工作

(一) 严格按照报告表中的内容、地点进行建设，未经批准，不得擅自更改项目建设内容及规模。该项目若存在建设内容、地点、产污情况与报告表不符，必须立即向生态环境主管部门报告。

(二) 项目建设过程中，必须认真落实报告表中提出的各项辐射环境安全防护及污染防治措施和要求，落实环保措施及投资，确保环保设施与主体工程同步建设，各辐射工作场所射线屏蔽能力满足防护要求，各项辐射防护与安全措施满足相关规定。

(三) 落实项目施工期各项环境保护措施，做好放射源和射线装置在安装调试阶段的辐射安全与防护。严格按国家关于有效控制城市扬尘污染的要求，控制和减小施工扬尘污染；合理安排施工时间、控制施工噪声，确保噪声不扰民；施工弃渣及时清运到指定场地堆存，严禁随意倾倒。

(四) 应完善单位核与辐射安全管理各项规章制度，制订有针对性和可操作性的辐射事故应急预案，将新增项目内容纳入本单位辐射环境安全管理中，及时更新放射性同位素和射线装置台帐等各项档案资料。

(五) 应配备相应的辐射监测设备和辐射防护用品，并制定辐射工作场所的辐射环境监测计划。

(六) 新增辐射从业人员应当按照有关要求，登录国家核技术利用辐射安全与防护培训平台 (<http://fushe.mee.gov.cn>)，参加并通过辐射安全与防护考核。

三、申请许可证工作

项目辐射工作场所及相应的辐射安全与防护设施(设备)建成且满足辐射安全许可证申报条件后，你单位应在项目正式投入运行前向我厅重新申请领取《辐射安全许可证》。办理前还应登陆全国核技术利用辐射安全申报系统 (<http://rr.mee.gov.cn>) 提交相关资料。

四、项目竣工环境保护验收工作

项目建设必须依法严格执行环境保护“三同时”制度。项目竣工后，应严格按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》开展竣工环境保护验收，并向我厅报送相关信息。

五、项目运行中应重点做好以下工作

(一) 项目运行必须严格按照国家和省有关标准和规定实施。辐射工作人员的个人

剂量约束值应严格控制为 5mSv/年。公众个人剂量约束值为 0.1mSv/年。

(二) 加强各辐射工作场所和有关环保设施的日常管理和维护, 定期检查各项辐射安全和防护以及污染防治措施, 确保实时有效、污染物稳定达标排放, 防止运行故障发生。

(三) 严格按照报告表要求, 对各辐射工作场所实行合理的分区管理, 杜绝射线泄露、公众及操作人员被误照射等事故发生。加强放射源和放射性药品的实体保卫工作, 落实专人负责, 对放射源和放射性药品使用和贮存场所应采取防火、防水、防盗、防丢失、防破坏、防射线泄漏的安全措施, 不得将放射源和放射性药品与易燃、易爆、腐蚀性物品一同存放。

(四) 放射性同位素的购买应严格按照国家相关规定办理审批备案手续。

(五) 严格按照报告表要求, 落实废气治理措施, 加强含放射性废水的收集和管理, 规范放射性固体废物的暂存, 确保各项废物达标排放和安全处置, 并做好相关记录。

(六) 按照制定的辐射环境监测计划, 定期开展自我监测, 并记录备查。每年应委托有资质单位开展辐射环境年度监测, 并将监测结果纳入辐射安全和防护状况年度自查评估报告。

(七) 依法对辐射工作人员进行个人剂量监测, 特别应加强对从事介入治疗的医护人员的辐射防护和剂量管理, 建立辐射工作人员的个人剂量档案。个人剂量监测结果超过 1.25mSv/季的应核实, 必要时采取适当措施, 确保个人剂量安全; 发现个人剂量监测结果异常 (>5mSv/年) 应当立即组织调查并采取措施, 有关情况及时报告我厅。

(八) 应按有关要求编写辐射安全和防护状况年度自查评估报告, 并于次年 1 月 31 日前经由“全国核技术利用辐射安全申报系统”上报我厅。

(九) 做好“全国核技术利用辐射安全申报系统”中本单位相关信息的维护管理工作, 确保信息准确完整。

(十) 你单位不再使用放射源时, 应当依法进行收贮; 不再使用有关非密封放射性物质工作场所时, 应当依法实施退役; 对射线装置实施报废处置时, 应当将其拆解和去功能化。

我厅委托绵阳市生态环境局、绵阳市涪城生态环境局开展该项目的“三同时”监督检查和日常环境保护监督检查工作。你单位应在收到本批复后 7 个工作日内, 将批

准后的报告表送绵阳市生态环境局、绵阳市涪城生态环境局备案，并按规定接受各级生态环境主管部门的监督检查。

另外，你单位必须依法完备项目建设其他行政许可相关手续。”

三、环评及批复落实情况

本项目环评“三同时措施”落实情况见表 4-1。

表 4-1 本项目环评“三同时措施”落实情况一览表

核查项目	“三同时”措施	执行情况	结论
辐射安全管理	建立辐射安全与环境保护管理机构，或配备不少于 1 名大学本科以上学历人员从事辐射防护和环境 保护管理工作。	*	已落实
	制定操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、辐射事故应急措施等制 度	*	已落实
辐射防护措施	工作场所墙体采用实心砖墙、混凝土及铅板等防护材料，各防护门均采用铅防护门进行辐射防护。	*	已落实
安全措施（联 锁装置、警示 标志、工作指 示灯等）	分子影像中心（非密封放射性物质工作场所）控制区出入口处、回旋加速器工作场所出入口处、放 射性废物桶表面设置电离辐射警告标志，PET/CT 机房防护门上方及回旋加速器防护门上方设置工作 状态指示灯；设置并联式放射性废水衰变池。	*	已落实
	配备对讲装置，监控系统，门禁系统等		
废气治理	通排风设施	*	已落实
人员配备	辐射安全管理人员和辐射工作人员参加辐射安全与防护培训，考核合格后上岗。同时本项目新聘工 作人员需参加培训并考试合格后上岗。	*	已落实
	辐射工作人员在上岗前佩戴个人剂量计，并定期送检，加强个人剂量监测，建立个人剂量档案。	*	
	辐射工作人员定期进行职业健康体检，并建立放射工作人员职业健康档案。		

监测仪器和防护用品	拟配备表面沾污仪 1 台，辐射巡检仪 2 台，个人剂量报警仪 6 台。核医学科护士配铅围裙、铅围脖、铅眼镜、铅帽等个人用品；患者配备铅三角巾，至少 1 套。	*	已落实
辐射监测	/	*	已落实

本项目批复落实情况见表 4-2。

表 4-2 本项目批复落实情况一览表

批复要求		落实情况	结论
项目建设中应重点做好以下工作	严格按照报告表中的内容、地点进行建设，未经批准，不得擅自更改项目建设内容及规模。该项目若存在建设内容、地点、产污情况与报告表不符，必须立即向生态环境主管部门报告。	*	已落实
	项目建设过程中，必须认真落实报告表中提出的各项辐射环境安全防护及污染防治措施和要求，落实环保措施及投资，确保环保设施与主体工程同步建设，各辐射工作场所射线屏蔽能力满足防护要求，各项辐射防护与安全措施满足相关规定。	*	已落实
	落实项目施工期各项环境保护措施，做好放射源和射线装置在安装调试阶段的辐射安全与防护。严格按国家关于有效控制城市扬尘污染的要求，控制和减小施工扬尘污染；合理安排施工时间、控制施工噪声，确保噪声不扰民；施工弃渣及时清运到指定场地堆存，严禁随意倾倒。	*	已落实
	应完善单位核与辐射安全管理各项规章制度，制订有针对性和可操作性的辐射事故应急预案，将新增项目内容纳入本单位辐射环境安全管理中，及时更新放射性同位素和射线装置台帐等各项档案资料。	*	已落实
	应配备相应的辐射监测设备和辐射防护用品，并制定辐射工作场所的辐射环境监测计划。	*	已落实
	新增辐射从业人员应当按照有关要求，登录国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（ http://fushe.mec.gov.cn ），参加并通过辐射安全与防护考核。	*	已落实
项目竣工	项目建设必须依法严格执行环境保护“三同时”制度。项目竣工后，应严格按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》开展竣工环境保护验收，并向我厅报送相关信息。	*	已落实

环境保护验收工作			
项目运行中应重点做好以下工作	项目运行必须严格按照国家和省有关标准和规定实施。辐射工作人员的个人剂量约束值应严格控制为 5mSv/年。公众个人剂量约束值为 0.1mSv/年。	*	已落实
	加强各辐射工作场所和有关环保设施的日常管理和维护，定期检查各项辐射安全和防护以及污染防治措施，确保实时有效、污染物稳定达标排放，防止运行故障发生。	*	已落实
	严格按照报告表要求，对各辐射工作场所实行合理的分区管理，杜绝射线泄露、公众及操作人员被误照射等事故发生。加强放射源和放射性药品的实体保卫工作，落实专人负责，对放射源和放射性药品使用和贮存场所应采取防火、防水、防盗、防丢失、防破坏、防射线泄漏的安全措施，不得将放射源和放射性药品与易燃、易爆、腐蚀性物品一同存放。	*	已落实
	放射性同位素的购买应严格按照国家相关规定办理审批备案手续。	*	已落实
	严格按照报告表要求，落实废气治理措施，加强含放射性废水的收集和管理，规范放射性固体废物的暂存，确保各项废物达标排放和安全处置，并做好相关记录。	*	已落实
	按照制定的辐射环境监测计划，定期开展自我监测，并记录备查。每年应委托有资质单位开展辐射环境年度监测，并将监测结果纳入辐射安全和防护状况年度自查评估报告。	*	已落实
	依法对辐射工作人员进行个人剂量监测，特别应加强对从事介入治疗的医护人员的辐射防护和剂量管理，建立辐射工作人员的个人剂量档案。个人剂量监测结果超过 1.25mSv/季的应核实，必要时采取适当措施，确保个人剂量安全；发现个人剂量监测结果异常 (>5mSv/年) 应当立即组织调查并采取措施，有关情况及时报告我厅。	*	已落实
	应按有关要求编写辐射安全和防护状况年度自查评估报告，并于次年 1 月 31 日前经由“全国核技术利用辐射安全申报系统”上报我厅。	*	已落实
	做好“全国核技术利用辐射安全申报系统”中本单位相关信息的维护管理工作，确保信息准确完整。	*	已落实
你单位不再使用放射源时，应当依法进行收贮；不再使用有关非密封放射性物质工作场所时，应当依法实施退役；对射线装置实施报废处置时，应当将其拆解和去功能化。	*	已落实	
综上所述，本项目已按照环评及其批复进行落实。			

表五 验收监测质量保证及质量控制

本次验收监测质量保证和质量控制

一、监测单位资质

验收监测单位四川瑞迪森检测技术有限公司获得 CMA 资质认证（172312050082），见附件 9。

验收监测单位南京瑞森辐射技术有限公司获得 CMA 资质认证（221020340350），见附件 9。

二、检测方法及监测仪器

本次监测使用仪器符合验收监测单位质量管理体系要求，监测所用设备通过检定并在有效期内，满足监测要求。

检测方法及评价依据见表 5-1，监测仪器见表 5-2。

表 5-1 监测项目、分析及来源

监测项目	检测方法	评价依据
X-γ 辐射剂量率	1.《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021） 2.《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021） 3.《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021） 4.《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020） 5.《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020） 6.《表面污染测定（第 1 部分）：β 发射体（ $E_{\beta\max} > 0.15 \text{ MeV}$ ）和 α 发射体》（GB/T 14056.1-2008）	1.《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002） 2.《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021） 3.《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020） 4.《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）

表 5-2 检测使用仪器

仪器名称/型号	仪器编号	技术参数	仪器检定有效期
辐射检测仪 AT1123	*	*	*
中子周围剂量当量仪 FH40G+FHT762	*	*	*
X-γ 剂量率仪 AT1123	*	*	*
α、β 表面污染测量仪 CoMo170	*	*	*
中子周围剂量当量仪 FH40G+FHT762	*	*	*
风速仪 F30J	*	*	*

三、质量保证措施

人员培训：监测人员经考核并持有合格证书上岗。

仪器刻度：监测仪器定期经计量部门检定，监测期间在有效期内。

自检：每次测量前、后均检查仪器的工作状态。

监测记录：现场监测过程，专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录。

表六 验收监测内容

验收监测内容

一、监测分析方法

本次监测按照《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）、《表面污染测定 第1部分 β 发射体（ $E_{\beta\max}>0.15\text{MeV}$ ）和 α 发射体》（GB/T 14056.1-2008）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）及《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的标准要求进行监测、分析。

二、监测因子

根据项目污染源特征，本次工作场所竣工验收监测因子为 X- γ 辐射剂量率、 β 放射性表面污染水及中子周围剂量当量率。

三、监测工况

本项目 PET/CT 核素诊断项目使用的放射性核素中， ^{18}F 核素诊断人数最多，日使用量最大，且各核素诊断流程相同，因此本项目选取 ^{18}F 核素进行验收监测。

2022年9月3日及2022年9月29日，南京瑞森辐射技术有限公司对绵阳市中心医院改扩建非密封放射性物质工作场所项目进行验收监测，验收工况如下：

表 6-1 绵阳市中心医院改扩建非密封放射性物质工作场所项目验收工况

项目名称型号	技术参数	验收监测工况	使用场所
医用回旋加速器 (玫源-11MTS)	11MeV/60 μ A	*	回旋加速器室
PET/CT (Discovery MI)	140kV/600mA	*	PET/CT 机房
核医学诊断工作场所	/	*	核医学诊断工作场所

2023年01月10日，四川瑞迪森检测技术有限公司对绵阳市中心医院改扩建非密封放射性物质工作场所项目进行验收监测，验收工况如下：

表 6-1 绵阳市中心医院改扩建非密封放射性物质工作场所项目验收工况

项目名称型号	技术参数	验收监测工况	使用场所
医用回旋加速器 (玫源-11MTS)	11MeV/60 μ A	*	回旋加速器室
PET/CT (Discovery MI)	140kV/600mA	*	PET/CT 机房
核医学诊断工作场所	/	*	核医学诊断工作场所

四、监测点位及内容

对新增非密封放射性物质工作场所应用项目工作场所周围环境布设监测点，特别关注控制区、监督区边界、防护门及屏蔽体外 30cm 处，监测 X- γ 辐射剂量率、 β 放射性表面污染水及中子周围剂量当量率。

表七 验收监测期间生产工况及验收监测结果

验收监测期间生产工况

被检单位：绵阳市中心医院

监测实施单位：南京瑞森辐射技术有限公司、四川瑞迪森检测技术有限公司

监测因子：X-γ 辐射剂量率、β 表面污染、中子辐射剂量率及通风橱风速

验收监测期间生产工况见表 7-1。

表 7-1 绵阳市中心医院改扩建非密封放射性物质工作场所项目验收工况

项目名称型号	技术参数	验收监测工况	使用场所
医用回旋加速器 (玖源-11MTS)	11MeV/60μA	*	回旋加速器室
PET/CT (Discovery MI)	140kV/600mA	*	PET/CT 室
乙级非密封源工 作场所	总日等效最大操作量为 1.65×10 ⁸ Bq	*	/

验收监测结果

一、工作场所辐射防护监测结果

本项目工作场所辐射防护监测报告详见附件 9。监测结果如下：

1、回旋加速器室周围 X-γ 辐射剂量率及中子辐射剂量率检测结果

回旋加速器室周围 X-γ 辐射剂量率及中子辐射剂量率检测结果见表 7-2~表 7-5，监测点位见图 7-1~图 7-3。

表 7-2 回旋加速器室周围 X-γ 辐射剂量率检测结果

测点编号	检测点位描述	测量结果 (μSv/h)	设备状态
1	操作位	*	关机
2	操作位	*	开机
3	北门外 30cm 处左	*	开机
4	北门外 30cm 处中	*	开机
5	北门外 30cm 处右	*	开机
6	北门外 30cm 处下	*	开机
7	北墙外 30cm 处	*	开机
8	北墙外 30cm 处	*	开机
9	东墙外 30cm 处	*	开机
10	东墙外 30cm 处	*	开机
11	南墙外 30cm 处	*	开机
12	南墙外 30cm 处	*	开机

13	西墙外 30cm 处	*	开机
14	西墙外 30cm 处	*	开机
15	距机房楼下地面 170cm 处	*	开机
16	距机房楼下地面 170cm 处	*	开机

注：1.测量结果未扣除本底值；2.检测点位见图 7-1；3.机房上方为屋顶，人员不可达。

表 7-3 回旋加速器室周围中子辐射剂量率检测结果

测点编号	检测点位描述	测量结果 (μSv/h)	设备状态
1	操作位	*	关机
2	操作位	*	开机
3	北门外 30cm 处左	*	开机
4	北门外 30cm 处中	*	开机
5	北门外 30cm 处右	*	开机
6	北门外 30cm 处下	*	开机
7	北墙外 30cm 处	*	开机
8	北墙外 30cm 处	*	开机
9	东墙外 30cm 处	*	开机
10	东墙外 30cm 处	*	开机
11	南墙外 30cm 处	*	开机
12	南墙外 30cm 处	*	开机
13	西墙外 30cm 处	*	开机
14	西墙外 30cm 处	*	开机
15	距机房楼下地面 170cm 处	*	开机
16	距机房楼下地面 170cm 处	*	开机

注：1.测量结果未扣除本底值；2.仪器探测下限 (LLD) 为 1nSv/h；3.检测点位见图 7-1；4.机房楼上为屋顶，人员不可达。

结论：

本次检测，1 台医用回旋加速器（型号/编号：玫源-11MTS/LB11MY2022-01）（检测工况：11MeV/48μA）时，机房周围的 X-γ 辐射剂量当量率为 (0.12~0.47) μSv/h，机房周围的中子辐射剂量率为 (<0.001~0.078) μSv/h，符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）的标准要求。

2、回旋加速器室周围公众 X-γ 辐射剂量率及中子辐射剂量率检测结果

表 7-4 回旋加速器室周围公众 X-γ 辐射剂量率检测结果

测点编号	检测点位描述	测量结果 (μSv/h)	设备状态
1	南侧职工宿舍	*	开机

2	西侧候诊大厅	*	开机
3	北侧女单楼	*	开机
4	北侧教学楼	*	开机
5	马家巷 11 号院西侧	*	开机
6	马家巷 18 号院西侧	*	开机
7	马家巷 18 号院西侧	*	开机
8	顺成街商住楼东侧	*	开机
9	工作场所 50m 外本底监测值	*	关机

注：1.测量结果未扣除本底值；2.检测点位见图 7-2；3.机房上方为屋顶，人员不可达。

表 7-5 回旋加速器室周围公众中子辐射剂量率检测结果

测点编号	检测点位描述	测量结果 ($\mu\text{Sv/h}$)	设备状态
1	南侧职工宿舍	*	开机
2	西侧候诊大厅	*	开机
3	北侧女单楼	*	开机
4	北侧教学楼	*	开机
5	马家巷 11 号院西侧	*	开机
6	马家巷 18 号院西侧	*	开机
7	马家巷 18 号院西侧	*	开机
8	顺成街商住楼东侧	*	开机
9	工作场所 50m 外本底监测值	*	关机

注：1.测量结果未扣除本底值；2.仪器探测下限 (LLD) 为 1nSv/h ；3.检测点位见图 7-3；4.机房楼上为屋顶，人员不可达。

结论：

本次检测，1 台医用回旋加速器（型号/编号：玫源-11MTS/LB11MY2022-01）（检测工况： $11\text{MeV}/30\mu\text{A}$ ）时，机房周围公众的 X- γ 辐射剂量当量率为 $(0.11\sim 0.22)\mu\text{Sv/h}$ ，机房周围公众的中子辐射剂量率为 $(0.003\sim 0.030)\mu\text{Sv/h}$ ，符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）的标准要求。

3、PET/CT 室周围 X- γ 辐射剂量率检测结果

本项目使用 ^{18}F 药物时，PET/CT 机房周围环境 X- γ 辐射剂量率检测结果见表 7-6，监测点位见图 7-4。

表 7-6 PET/CT 室周围 X- γ 辐射剂量率检测结果

测点编号	检测点位描述	测量结果 ($\mu\text{Sv/h}$)	设备状态
1	操作位	*	关机
2	操作位	*	开机

3	观察窗外 30cm 处	*	开机
4	观察窗外 30cm 处	*	开机
5	西门外 30cm 处左	*	开机
6	西门外 30cm 处中	*	开机
7	西门外 30cm 处右	*	开机
8	西门外 30cm 处下	*	开机
9	南墙外 30cm 处	*	开机
10	南墙外 30cm 处	*	开机
11	南墙外 30cm 处	*	开机
12	东墙外 30cm 处	*	开机
13	东墙外 30cm 处	*	开机
14	东墙外 30cm 处	*	开机
15	北门外 30cm 处左	*	开机
16	北门外 30cm 处中	*	开机
17	北门外 30cm 处右	*	开机
18	北门外 30cm 处下	*	开机
19	北墙外 30cm 处	*	开机
20	北墙外 30cm 处	*	开机
21	西墙外 30cm 处	*	开机
22	西墙外 30cm 处	*	开机
23	管线洞口	*	开机
24	距机房楼上地面 30cm 处	*	开机
25	距机房楼上地面 30cm 处	*	开机
26	距机房楼下地面 170cm 处	*	开机
27	距机房楼下地面 170cm 处	*	开机

注：1.测量结果未扣除本底值；2.检测点位见图 7-4。

结论：

本次检测，1 台正电子发射断层及 X 射线计算机体层摄影成像系统（型号/编号：Discovery MI / CLW152200007PT）进行 CT 扫描（检测工况：120kV/300mA，诊断床上放置 $3.70 \times 10^8 \text{Bq}$ 的 ^{18}F 药物）时，机房周围的 X- γ 辐射剂量当量率为（0.09~1.33） $\mu\text{Sv/h}$ ，符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）和《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的标准要求。

4、核医学科场所周围X-γ辐射剂量率检测结果

本项目使用 ^{18}F 药物时，核医学工作场所周围环境 X-γ 辐射剂量率检测结果见表 7-7，监测点位见图 7-5。

表 7-7 核医学工作场所 X-γ 辐射剂量率检测结果

测点编号	检测点位描述	测量结果 ($\mu\text{Sv/h}$)	备注
1	注射室西墙外 30cm 处	*	*
2	注射室北墙外 30cm 处	*	
3	注射室东墙外 30cm 处	*	
4	注射室南墙外 30cm 处	*	
5	注射室南门外 30cm 处	*	
6	注射室楼上距地面 30cm 处	*	
7	注射室楼下距地面 170cm 处	*	
8	通风橱左操作口（打开）	*	
9	通风橱左操作口（关闭）	*	
10	通风橱右操作口（打开）	*	
11	通风橱右操作口（关闭）	*	
12	注射窗口外 30cm 处	*	*
13	注射后等候室 1 西墙外 30cm 处	*	*
14	注射后等候室 1 北墙外 30cm 处	*	
15	注射后等候室 1 东墙外 30cm 处	*	
16	注射后等候室 1 南墙外 30cm 处	*	
17	注射后等候室 1 东门外 30cm 处	*	
18	注射后等候室 1 楼上距地面 30cm 处	*	
19	注射后等候室 1 楼下距地面 170cm 处	*	
20	注射后等候室 2 西墙外 30cm 处	*	
21	注射后等候室 2 北墙外 30cm 处	*	
22	注射后等候室 2 东墙外 30cm 处	*	
23	注射后等候室 2 南墙外 30cm 处	*	
24	注射后等候室 2 南门外 30cm 处	*	
25	注射后等候室 2 楼上距地面 30cm 处	*	
26	注射后等候室 2 楼下距地面 170cm 处	*	
27	留观室西墙外 30cm 处	*	*
28	留观室北墙外 30cm 处	*	
29	留观室东墙外 30cm 处	0.15	

30	留观室南墙外 30cm 处	*	
31	留观室南门外 30cm 处	*	
32	留观室楼上距地面 30cm 处	*	
33	留观室楼下距地面 170cm 处	*	
34	放射性废物暂存间西墙外 30cm 处	*	*
35	放射性废物暂存间北墙外 30cm 处	*	
36	放射性废物暂存间东墙外 30cm 处	*	
37	放射性废物暂存间南墙外 30cm 处	*	
38	放射性废物暂存间东门外 30cm 处	*	
39	放射性废物暂存间楼上距地面 30cm 处	*	
40	放射性废物暂存间楼下距地面 170cm 处	*	
41	药物合成热室通风橱外 30cm 处	*	*
42	药物合成热室通风橱外 30cm 处	*	
43	药物合成热室通风橱外 30cm 处	*	
44	药物合成热室西墙外 30cm 处	*	
45	药物合成热室北墙外 30cm 处	*	
46	药物合成热室东墙外 30cm 处	*	
47	药物合成热室南墙外 30cm 处	*	
48	药物合成热室北门外 30cm 处	*	
49	药物合成热室楼上距地面 30cm 处	*	
50	药物合成热室楼下距地面 170cm 处	*	
51	质控间北墙外 30cm 处	*	
52	质控间西墙外 30cm 处	*	
53	质控间南墙传递窗外 30cm 处	*	
54	质控间东墙外 30cm 处	*	
55	质控间东门外 30cm 处	*	
56	质控间楼上距地面 30cm 处	*	
57	质控间楼下距地面 170cm 处	*	
58	PET/CT 工作人员摆位处	*	*
59	患者入口处防护门外 30cm 处	*	*
60	患者出口处防护门外 30cm 处	*	

注：1.测量结果未扣除本底值；2.检测点位见图 7-5。

结论:

本次检测, 该院核医学工作场所周围的 X- γ 辐射剂量当量率符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)、《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) 中相关要求。

5、核医学科场所周围 γ 辐射剂量率检测结果

本项目使用 ^{18}F 药物及 PET/CT 设备时, 核医学场所周围公众环境 X- γ 辐射剂量率检测结果见表 7-8, 监测点位见图 7-6。

表 7-8 核医学场所周围公众 X- γ 辐射剂量率检测结果

测点编号	检测点位描述	测量结果 ($\mu\text{Sv/h}$)	备注
1	南侧职工宿舍	*	*
2	西侧候诊大厅	*	
3	北侧女单楼	*	
4	北侧教学楼	*	
5	马家巷 11 号院西侧	*	
6	马家巷 18 号院西侧	*	
7	马家巷 18 号院西侧	*	
8	顺成街商住楼东侧	*	
9	工作场所 50m 外本底监测值	*	

注: 1.测量结果未扣除本底值; 2.检测点位见图 7-6。

结论:

本次检测, 该院核医学工作场所周围公众 X- γ 辐射剂量当量率为 (0.10~0.11) $\mu\text{Sv/h}$, 符合《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021) 和《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020) 的标准要求。

6、核医学工作场所 X- γ 辐射剂量率及放射性 β 表面污染水平检测结果

检测结束后, 药物已回收至铅罐内储存, PET/CT 设备已关机, 本项目核医学场所周围 X- γ 辐射剂量率及检测结果见表 7-9~表 7-10, 监测点位见图 7-7 及图 7-8。

表 7-9 核医学工作场所 X- γ 辐射剂量率检测结果

测点编号	点位描述	测量结果 ($\mu\text{Sv/h}$)	备注
1	PET/CT 控制室桌面	*	/
2	PET/CT 控制室地面	*	/
3	PET/CT 室地面	*	/
4	PET/CT 室床面	*	/
5	PET/CT 控制室外过道地面	*	/
6	卫生通过间地面	*	/

7	注射室地面	*	/
8	放射性废物暂存间地面	*	/
9	患者过道地面	*	/
10	注射后等候室 1 地面	*	/
11	注射后等候室 1 地面	*	/
12	注射后等候室 2 地面	*	/
13	注射后等候室 2 地面	*	/
14	留观室地面	*	/
15	留观室地面	*	/
16	暂存间地面	*	/
17	回旋加速器设备表面 5cm 处	*	/
18	回旋加速器设备表面 5cm 处	*	/
19	回旋加速器设备表面 5cm 处	*	/
20	回旋加速器设备表面 5cm 处	*	/
21	回旋加速器室地面	*	/
22	回旋加速器控制室地面	*	/
23	更衣室地面	*	/
24	药物合成热室地面	*	/
25	质控间地面	*	/
26	传递窗表面	*	/
27	铅废物桶表面	*	/

注：1.测量结果未扣除本底值；2.检测点位附图 7-6。

表 7-10 核医学工作场所放射性 β 表面污染水平检测结果

测点编号	点位描述	表面 β 放射性污染 测量结果 (Bq/cm ²)	备注
1	PET/CT 控制室桌面	*	/
2	PET/CT 控制室地面	*	/
3	PET/CT 室地面	*	/
4	PET/CT 室床面	*	/
5	PET/CT 控制室外过道地面	*	/
6	卫生通过间地面	*	/
7	注射室地面	*	/
8	放射性废物暂存间地面	*	/
9	患者过道地面	*	/
10	注射后等候室 1 地面	*	/
11	注射后等候室 1 地面	*	/

12	注射后等候室 2 地面	*	/
13	注射后等候室 2 地面	*	/
14	留观室地面	*	/
15	留观室地面	*	/
16	暂存间地面	*	/
17	回旋加速器设备表面 5cm 处	*	/
18	回旋加速器设备表面 5cm 处	*	/
19	回旋加速器设备表面 5cm 处	*	/
20	回旋加速器设备表面 5cm 处	*	/
21	回旋加速器室地面	*	/
22	回旋加速器控制室地面	*	/
23	更衣室地面	*	/
24	药物合成热室地面	*	/
25	质控间地面	*	/
26	传递窗表面	*	/
27	铅废物桶表面	*	/

注：1.放射性表面污染水平探测下限（LLD）为 0.02Bq/cm²；2.检测点位见图 7-7。

结论：

本次检测，该核医学工作场所在开展工作结束并清洁后，该核医学工作场所的 X- γ 辐射剂量当量率为（0.10~0.12） μ Sv/h，符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）的标准要求。

本次检测，该核医学工作场所在开展工作结束并清洁后，监督区的 β 放射性表面污染水平为（<0.02~0.06）Bq/cm²，符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）的标准要求。

7、核医学工作场所通风橱风速检测结果

本项目通风橱风速检测结果见表7-11。

表 7-11 工作场所通风橱风速检测结果

点位描述	测量结果（m/s）	
通风橱	左侧操作口	*
	右侧操作口	*

结论：

本次检测，该核医学工作场所通风橱操作口风速分别为 1.29m/s（左）和 1.37m/s（右），符合《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）的标准要求。

二、辐射工作人员和公众年有效剂量分析

1、辐射工作人员

绵阳市中心医院已根据实际工作量为本项目配备 6 名辐射工作人员（名单见表 2-9）。本项目辐射工作人员均已进行个人剂量监测（检测报告见附件 7）。本项目辐射工作人员 2022 年第四季度个人剂量监测结果见表 7-12。

表 7-12 本项目辐射工作人员个人剂量监测结果

序号	姓名	2022 年度第四季度监测结果 (mSv)	备注
1	*	*	/
2	*	*	/
3	*	*	/
4	*	*	/
5	*	*	/
6	*	*	/

本项目辐射工作人员 2022 年第四季度所受最大有效剂量为 0.10mSv/季度，保守估算辐射工作人员所受最大年有效剂量为 0.40mSv/a ($0.10 \times 4 = 0.40$)，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)限值的要求，并低于本项目管理目标值。

2、公众

本项目回旋加速器制药场所已建设，医院已实现 PET 用药自给自足，在制药区完成成分装、质控后，再送至注射室。制药时，工作人员仅在控制室操作，不进入机房。

根据医院提供的计划工作量及环评报告表内容，回旋加速器日生产时间约为 5h，年出束时间约 1250h，公众所受照射时间保守取 1250h，PET 药物制备完成后，工作人员进入药物合成热室将合成热室内装有药物的铅罐取出，质控药物通过药物传递窗送达质控间，质控取 100 μ Ci 药物在通风橱中进行质控，每种核素每次质控时间为 5 分钟；分装操作均在通风橱内进行，每次约 2min，科内有 2 名辐射工作人员轮流负责分装工作，分装过程中，医生需穿戴铅衣、铅帽、铅围裙、铅眼镜、铅手套等个人防护用品，并佩戴个人剂量计。本项目在注射窗口采用静脉注射的方式给药，每天就诊人数最大 27 人，每次注射时间约 1min，科内有 2 人负责注射工作。患者注射药物后进入注射后候诊室内等待约 20min 后进入扫描室内进行扫描，扫描结束后在

留观室内休息 10min 离开。

根据本项目现场监测结果，对本项目运行期间辐射工作人员及公众的年有效剂量进行估算，计算结果见表 7-9。

表 7-9 本项目核医学诊断工作场所关注点位人员年有效剂量估算

点位	关注点位置	关注点辐射水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	关注对象	居留因子	受照时间 (min)	有效剂量 (mSv)	目标管理限值 (mSv)	备注
1	回旋加速器机房操作位	*	*	*	*	0.03	5.0	满足
2	回旋加速器机房控制室 (北门外 30cm 处下缝)	*	*	*	*	0.46	5.0	满足
3	回旋加速器机房南侧二次等候	*	*	*	*	0.01	0.10	满足
4	回旋加速器机房南侧预留设备间	*	*	*	*	0.03	0.10	满足
5	回旋加速器机房西侧等候大厅	*	*	*	*	0.04	0.10	满足
6	药物合成热室通风橱外表面 30cm	*	*	*	*	0.06	5.0	满足
7	药物合成热室楼上距地面 30cm 处	*	*	*	*	0.05	0.10	满足
8	质控间南墙传递窗外 30cm 处	*	*	*	*	0.02	5.0	满足
9	质控间楼上距地面 30cm 处	*	*	*	*	0.01	0.10	满足
10	注射室通风橱外表面	*	*	*	*	0.01	5.0	满足
11	注射室东墙外表面 30cm	*	*	*	*	<0.01	0.10	满足
12	注射室西墙外表面 30cm	*	*	*	*	<0.01	5.0	满足
13	注射位	*	*	*	*	0.04	5.0	满足
14	注射室顶部外表面 30cm	*	*	*	*	<0.01	0.10	满足
15	注射室西侧候诊大厅	*	*	*	*	<0.01	0.10	满足
16	注射后等候室 1 西墙外表面 30cm	*	*	*	*	0.01	0.10	满足
17	注射后等候室 1 顶部外表面 30cm	*	*	*	*	0.02	0.10	满足

18	注射后等候室 2 东墙外表面 30cm	*	*	*	*	0.01	0.10	满足
19	注射后等候室 2 北墙外表面 30cm	*	*	*	*	<0.01	0.10	满足
20	注射后等候室 2 顶部外表面 30cm	*	*	*	*	0.02	0.10	满足
21	PET/CT 机房南墙外表面 30cm	*	*	*	*	0.02	0.10	满足
22	PET/CT 机房操作位	*	*	*	*	<0.01	5.0	满足
23	PET/CT 机房西防护门外表面 30cm	*	*	*	*	0.69	5.0	满足
24	PET/CT 机房顶部表面 30cm	*	*	*	*	0.07	0.10	满足
25	PET/CT 机房摆位	*	*	*	*	2.98	5.0	满足
26	留观室东墙外表面 30cm	*	*	*	*	0.01	0.10	满足
27	留观室顶部外表面 30cm	*	*	*	*	0.03	0.10	满足
28	核医学出口处防护门外表面 30cm	*	*	*	*	<0.01	0.10	满足
29	南侧职工宿舍	*	*	*	*	0.07	0.10	满足
30	北侧女单楼	*	*	*		0.07	0.10	满足
31	北侧教学楼	*	*	*		0.07	0.10	满足
32	马家巷 11 号院西侧	*	*	*		0.07	0.10	满足
33	马家巷 18 号院西侧	*	*	*		0.07	0.10	满足
34	马家巷 18 号院西侧	*	*	*		0.07	0.10	满足
35	顺成街商住楼东侧	*	*	*		0.07	0.10	满足

注：1.计算时已扣除环境本底剂量。

2.工作人员的年有效剂量由公式 $E_{eff} = \dot{D} \cdot t \cdot T \cdot U$ 进行估算。

由表 7-9 可知，本项目核医学诊断工作场所内，制药辐射工作人员年有效剂量最大为 0.06 mSv/a（已扣除环境本底剂量），质控辐射工作人员年有效剂量最大为 0.02 mSv/a（已扣除环境本底剂量），注射辐射工作人员年有效剂量最大为 0.04mSv/a（已扣除环境本底剂量），回旋加速器机房辐射工作人员年有效剂量最大为 0.46mSv/a（已扣除环境本底剂量），PET/CT 扫描间辐射工作人员年有效剂量最大为 2.98mSv/a（已扣除环境本底剂量），周围公众年有效剂量最大为 0.07mSv/a（已扣除环境本底剂量），均满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）剂量限值的要求（职业人员 20mSv/a，公众 1mSv/a），并低于本项目剂量约束值（职业人员 5mSv/a，公众 0.1mSv/a）。

三、保护目标年有效剂量分析

根据本项目的特点，本项目的验收范围及保护目标范围确定为各辐射工作场所实体屏蔽物边界外 50m 区域。本项目周围 50m 范围除东、南侧部分位于医院围墙外，其余方向均位于医院院区内。50m 评价范围内除涉及部分居民区外无学校等其他环境敏感点。本项目辐射环境保护目标为医院辐射工作人员、医院内的其他医护人员、病患、陪同家属及院内外公众，本次验收环境保护目标与环评一致。

本项目保护目标年有效剂量估算结果详见表 7-10。由表 7-10 可知，本项目保护目标范围内辐射工作人员及周围公众所受年有效剂量均满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）剂量限值的要求，并低于本项目剂量约束值（职业人员 5mSv/a，公众 0.1mSv/a）。

表八 验收监测结论

验收监测结论

绵阳市中心医院改扩建非密封放射性物质工作场所项目已按照环评及批复要求落实辐射防护和安全管理措施，经现场监测和核查表明：

1) 本项目建设地点、周围外环境及环境保护目标与环评及其批复一致，本项目设备实际建设技术参数与环评及其批复一致，未发生变动。

2) 本项目工作场所监督区划分明显，能有效避免周围公众误入或非正常受照。

3) 本项目工作场所的屏蔽和防护措施已按照环评及批复要求落实，在正常工作条件下运行时，工作场所周围及辐射敏感点所有监测点位的 X- γ 辐射剂量率、 β 表面污染、中子辐射剂量率及通风橱风速满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）及《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）等相关标准要求；

4) 绵阳市中心医院已在控制区及监督区醒目位置设置了电离辐射警告标志，已设置急停按钮、工作状态指示灯、视频监控及对讲系统等安全设施。

5) 根据环评要求，绵阳市中心医院已为本项目配备个人剂量报警仪、多功能射线检测仪、表面污染测量仪、固定式剂量监测仪、区域环境辐射检测仪及活度计等。

6) 绵阳市中心医院已根据实际工作需求为本项目配备 6 名辐射工作人员，其中 1 名辐射工作人员已参加辐射安全与防护培训学习，并取得辐射安全与防护培训合格证书，合格证在有效期内，剩余 5 名辐射工作人员均已参加“核技术利用辐射安全与防护培训平台”学习及考核，成绩合格。

7) 本项目辐射工作人员已开展个人剂量监测和个人职业健康体检，并建立个人剂量和职业健康档案。

8) 绵阳市中心医院具有辐射安全管理机构，并建立内部辐射安全管理规章制度。

综上所述，绵阳市中心医院改扩建非密封放射性物质工作场所项目满足环评及批复中有关辐射管理的要求，配套的环保设施与主体工程符合“三同时”制度，环境保护设施满足辐射防护与安全的要求，监测结果符合国家标准，满足《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》规定要求，验收合格。

建议

1) 认真学习《中华人民共和国放射性污染防治法》等有关法律法规，不断提高核安全文化素养和安全意识；

2) 每年请有资质单位对项目周围辐射环境水平监测 1~2 次，监测结果上报生态环境主管部门；

3) 积极配合生态环境部门的日常监督检查，按照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，编写放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告，并上传至“全国核技术利用辐射安全申报系统”；

4) 进一步完善辐射事故应急处理预案和辐射防护管理制度。定期检查安全防护设施，保证设备正常运行。