

# 大连大学附属中山医院 PET-CT 建设项目

## 竣工环境保护验收监测表

建设单位：大连大学附属中山医院

编制单位：辽宁核源环境技术咨询有限公司

2023 年 1 月

建设单位法人代表：王若雨（签字）



编制单位法人代表：柳明（签字）



项目负责人：柳明

填表人：张恩富

建设单位：大连大学附属中山医院

电话：13889595035

传真：/

邮编：116001

地址：大连市中山区解放街6号

编制单位：辽宁核源环保科技有限公司

电话：13614831188

传真：/

邮编：110000

地址：沈阳市皇姑区黄河南大街96-6号

## 目 录

表一 建设项目概况及验收依据 .....	1
表二 工程建设内容及工程分析 .....	5
表三 辐射安全与防护设施/措施 .....	14
表四 建设项目环境影响报告表主要结论及审批部门决定 .....	26
表五 验收监测质量保证及质量控制 .....	33
表六 验收监测内容 .....	34
表七 验收监测结果 .....	36
表八 验收监测结论 .....	41
建设项目竣工环境保护“三同时”验收登记表 .....	42
附件 .....	43

附图：

- 附图 1 本项目地理位置图；
- 附图 2 本项目现势地形图；
- 附图 3 门诊教学楼地下一层平面图；
- 附图 4 PET-CT 工作场所竣工图；
- 附图 5 PET-CT 工作场所分区图；
- 附图 6 PET-CT 工作场所排风竣工图；
- 附图 7 衰变池竣工图；
- 附图 8 本项目保护目标图；
- 附图 9 PET-CT 周围环境 $\gamma$ 剂量率监测布点图；
- 附图 10 PET-CT 工作场所 $\gamma$ 剂量率监测布点图；
- 附图 11 PET-CT 工作场所 $\beta$ 表面沾污监测布点图；

表一 建设项目概况及验收依据

建设项目名称	大连大学附属中山医院 PET-CT 建设项目				
建设单位名称	大连大学附属中山医院				
建设项目性质	√新建    改建    扩建    退役				
建设地点	大连市中山区解放街 6 号				
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	
	/	<sup>18</sup> F，丙级	III类	/	
建设项目环评批复时间	2021 年 7 月 1 日	开工建设时间（退役开始实施时间）	2021 年 8 月 17 日		
取得辐射安全许可证时间	2022 年 2 月 18 日	项目投入运行时间	2022 年 7 月 6 日		
退役污染治理完成时间（退役项目）	/	验收现场监测时间	2022 年 11 月 16 日		
环评报告表审批部门	辽宁省生态环境厅	环评报告表编制单位	核工业北京化工冶金研究院		
辐射安全与防护设施设计单位	都市发展设计集团有限公司	辐射安全与防护设施施工单位	辽宁润达建设集团有限公司		
投资总概算	2260 万元	辐射安全与防护设施投资总概算	142.4 万元	比例	6.3%
实际总概算	2267 万元	辐射安全与防护设施实际总概算	150 万元	比例	6.6%

验收监测依据	<p>(1)《中华人民共和国环境保护法》(主席令第九号,2015年1月1日起施行,2018年修订);</p> <p>(2)《中华人民共和国环境影响评价法》(主席令第二十四号,2018年12月29日修订);</p> <p>(3)《中华人民共和国放射性污染防治法》(主席令第六号,2003年10月1日起施行);</p> <p>(4)关于修改《建设项目环境保护管理条例》的决定(国务院令第六百八十二号,2017年10月1日起施行);</p> <p>(5)《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(国务院449号令,2014年7月29日《国务院关于修改部分行政法规的决定》第一次修订,2019年3月2日《国务院关于修改部分行政法规的决定》(国务院令第七百零九号)第二次修订);</p> <p>(6)《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(国家环境保护总局令第三十一号,2008年12月6日经环境保护部令第三号修改,2017年12月20日经环境保护部令第四十七号修改,2019年8月22日《生态环境部关于废止、修改部分规章的决定》(生态环境部令第七号)修改,2021年1月4日《关于废止、修改部分生态环境规章和规范性文件的决定》(生态环境部令第二十号)修改);</p> <p>(7)关于发布《射线装置分类》的公告(环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告2017年第66号,2017年12月5日实施);</p> <p>(8)《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》(环境保护部令第十八号,2011年);</p> <p>(9)《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》(生态环保部[2018]9号,2018年);</p> <p>(10)《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日起实施);</p> <p>(11)辽宁省环境保护厅关于加强建设项目竣工环境保护验收工作的通知(辽环发[2018]9号,2018年2月5日);</p> <p>(12)《大连大学附属中山医院 PET-CT 建设项目辐射环境影响报告表》;</p> <p>(13)《大连大学附属中山医院 PET-CT 建设项目辐射环境影响报告表》</p>
--------	---

	<p>审批意见（辽环审表[2021]29 号）；</p> <p>（14）《大连大学附属中山医院 PET-CT 建设项目竣工环境保护验收委托书》。</p>																						
验收监测评价标准、标号、级别、限值	<p>（1）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；</p> <p>本标准适用于实践和干预中人员所受电离辐射照射的防护和实践中源的安全。</p> <p>①剂量限值</p> <p>第 B1.1.1.1 款，应对任何工作人员的照射水平进行控制，使之不超过下述限值：a）由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv；本项目取其四分之一即 5mSv 作为管理限值。</p> <p>第 B1.2 款 公众照射：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；本项目取其十分之一即 0.1mSv 作为管理限值。</p> <p>②非密封源工作场所的分级</p> <p>非密封源工作场所的分级应按附录 C（标准的附录）的规定进行。</p> <p>第 C1 款，应按表 1-1 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。</p> <table><caption>表 1-1 非密封源工作场所的分级</caption><tr><th>级别</th><th>日等效最大操作量，Bq</th></tr><tr><td>甲</td><td>&gt;4×10<sup>9</sup></td></tr><tr><td>乙</td><td>2×10<sup>7</sup>~4×10<sup>9</sup></td></tr><tr><td>丙</td><td>豁免活度值以上~2×10<sup>7</sup></td></tr></table> <p>③工作场所的放射性β表面污染控制水平</p> <table><caption>表 1-2 工作场所的放射性表面污染控制水平</caption><tr><th colspan="2">表面类型</th><th>β放射性物质（Bq/cm<sup>2</sup>）</th></tr><tr><td rowspan="2">工作台 设备、墙壁、地面</td><td>控制区<sup>1)</sup></td><td>4×10</td></tr><tr><td>监督区</td><td>4</td></tr><tr><td>工作服、手套、工作鞋</td><td>控制区 监督区</td><td>4</td></tr><tr><td colspan="2">手、皮肤、内衣、工作袜</td><td>4×10<sup>-1</sup></td></tr></table> <p>1) 该区的高污染子区除外</p>	级别	日等效最大操作量，Bq	甲	>4×10 <sup>9</sup>	乙	2×10 <sup>7</sup> ~4×10 <sup>9</sup>	丙	豁免活度值以上~2×10 <sup>7</sup>	表面类型		β放射性物质（Bq/cm <sup>2</sup> ）	工作台 设备、墙壁、地面	控制区 <sup>1)</sup>	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 <sup>-1</sup>
级别	日等效最大操作量，Bq																						
甲	>4×10 <sup>9</sup>																						
乙	2×10 <sup>7</sup> ~4×10 <sup>9</sup>																						
丙	豁免活度值以上~2×10 <sup>7</sup>																						
表面类型		β放射性物质（Bq/cm <sup>2</sup> ）																					
工作台 设备、墙壁、地面	控制区 <sup>1)</sup>	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 <sup>-1</sup>																					

(2) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020);

①X 射线设备机房使用面积、单边长度

6.1.5 除床旁摄影设备、便携式 X 射线设备和车载式诊断 X 射线设备外, 对新建、改建和改建项目和技术改造、技术引进项目的 X 射线设备机房, 其最小有效使用面积、最小单边长度应符合表 2 (下表 1-3) 的规定。

**表 1-3 X 射线设备机房 (照射室) 使用面积、单边长度的要求**

机房类型	机房内最小有效使用面积, m <sup>2</sup>	机房内最小单边长度, m
CT 机房 (不含头颅移动 CT)	30	4.5

①X 射线设备机房屏蔽

6.2.1 不同类型 X 射线设备 (不含床旁摄影设备和便携式 X 射线设备) 机房的屏蔽防护应不低于表 3 (下表 1-4) 的规定。

**表 1-4 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求**

机房类型	有用线束方向 铅当量 (mmPb)	非有用线束方向 铅当量 (mmPb)
CT 机房 (不含头颅移动 CT) CT 模拟定位机房	2.5	

(3) 《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020), 同时参考《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021);

(4) 《医用放射性废物的卫生防护管理》(GBZ133-2009);

(5) 《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021);

(6) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021);

(7) 《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/T14056.1-2008);

(8) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2016);

(9) 《中国环境天然放射性水平》(国家环保局 1995 年);

大连地区室内、外γ外照射空气吸收剂量率本底水平分别为:  
(48.4~114.3) nGy/h, (17.0~80.7) nGy/h。

辽宁地区土壤总β比活度本底水平: (420~1260) Bq/Kg。

(10) 《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005);

污水处理设施排放口总β排放限值为 10.0Bq/L。

表二 工程建设内容及工程分析

## 2.1 项目建设内容：

### 2.1.1 单位概况

大连大学附属中山医院（原沈阳铁路局大连医院）创建于 1907 年，是一所集医疗、教学、科研为一体的综合性大学附属医院。占地面积 8 万余平方米，建筑面积 16 万余平方米，1992 年在辽宁省首批晋升为国家三级甲等医院。医院承担大连大学、大连医科大学、遵义医学院等院校包括博士、硕士研究生在内的 5 个层次、16 个专业的教学任务。

医院实际开放床位 2000 张，现有职工 2887 人，拥有正、副主任医师 343 人，博士、硕士 342 人。63 个临床及医技科室，38 个临床专科及 31 个专家门诊，20 个特色门诊，21 个教研室，1 个中心实验室，4 个专科实验室和 1 个临床教学实验室。医院装备有国内外先进的医疗设备，如核磁共振、多功能数字 X 射线机（DR）、多功能透视机、全景曲面断层牙片机、16 排 CT、三维彩超、直线加速器、大型数字减影血管造影机、全自动生化分析仪等，充分满足了临床的需要。

### 2.1.2 项目概况及项目由来

2020 年 10 月，大连大学附属中山医院委托核工业北京化工冶金研究院开展大连大学附属中山医院 PET-CT 建设项目的辐射环境影响评价工作。2021 年 7 月 1 日，该项目通过辽宁省生态环境厅环评审批（辽环审表[2021]29 号）。

大连大学附属中山医院 PET-CT 建设项目为新建项目，环评批复内容为：医院在门诊教学楼地下一层拟新上一套 PET-CT 医疗设备（原拟建区域为地下停车场），用于患者放射诊断，拟使用  $^{18}\text{F}$  核素用于 PET-CT 显像，日等效操作量为  $1.04 \times 10^7 \text{Bq}$ ，区域改造后为丙级非密封工作场所。PET-CT 机使用 2 枚活度为  $7.4 \times 10^7 \text{Bq}$  的 V 类  $^{68}\text{Ge}$  校准源。

本项目实际总投资 2267 万元，环保投资 150 万元。使用的  $^{18}\text{F}$  核素从南京江原安迪科正电子研究发展有限公司沈阳分公司外购。

PET-CT 工作场所运行共配备辐射工作人员 9 人，其中医生 2 人、护士 4 人，技师 3 人。辐射工作人员均已通过辐射安全与防护考核并持证上岗。

本项目 2021 年 8 月开工，2021 年 12 月竣工。大连大学附属中山医院于 2022 年 2 月 18 日更新了辐射安全许可证（证书编号：辽环辐证[01650]），使用种类和范围：使用 I 类放射源；使用 II 类、III 类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级、丙级非密封放射性物质工作场所，有效期至 2027 年 2 月 17 日。

依据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4 号），受大连大学附属中山医院委托，辽宁核源环境技术咨询服务承担了大连大学附属中山医院 PET-CT 建设项目竣工环境保护验收监测报告的编制工作。



### 2.1.3 项目位置及周围关系

大连大学附属中山医院位于大连市中山区解放街 6 号，医院用地性质为医疗卫生用地，医院东侧为安阳街，南侧为柳林街，西侧为解放街，北侧为杏林街，医院周边建筑主要包括居民楼、档案馆和门市等。

本项目于门诊教学楼地下一层，门诊教学楼位于医院西南侧，其南侧为柳林街，西侧为解放街，北侧为外科住院部，东侧为食堂和变电所。

PET-CT 工作场所位于门诊教学楼内地下一层，PET-CT 区域东侧为停车场、西侧为医院原有核医学科、北侧为停车场，对应楼上为皮肤科诊室、走廊等，楼下为地下停车场。

本项目实际建设位置及周围关系与环评阶段情况对比情况一览表，见表 2-1。

**表 2-1 本项目实际建设位置及周围关系与环评阶段对比情况一览表**

	实际建设情况	原环评内容	一致性分析
建设位置	门诊教学楼地下一层	门诊教学楼地下一层	一致
项目所在建筑周围环境	项目位于门诊教学楼地下一层，门诊教学楼位于医院西南侧，其南侧为柳林街，西侧为解放街，北侧为外科住院部，东侧为食堂和变电所。	项目位于门诊教学楼地下一层，门诊教学楼位于医院西南侧，其南侧为柳林街，西侧为解放街，北侧为外科住院部，东侧为食堂和变电所。	一致
项目四邻关系	PET-CT 区域东侧为停车场、西侧为医院原有核医学科、北侧为停车场，对应楼上为皮肤科诊室、走廊等，楼下为地下停车场。	PET-CT 区域东侧为停车场、西侧为医院原有核医学科、北侧为停车场，对应楼上为皮肤科诊室、走廊等，楼下为地下停车场。	一致
50m 范围内保护目标	项目 50m 调查范围内居民楼位于 PET-CT 工作场所南侧 32m，无重要文物区、风景名胜区、自然保护区、水源保护区等生态敏感目标。辐射环境保护目标为该医院从事 PET 诊断的辐射工作人员，以及项目工作场所周围其他非辐射工作人员和公众成员。	项目 50m 评价范围内居民楼位于 PET-CT 工作场所南侧 32m，无重要文物区、风景名胜区、自然保护区、水源保护区等生态敏感目标。辐射环境保护目标为该医院从事 PET 诊断的辐射工作人员，以及项目工作场所周围其他非辐射工作人员和公众成员。	一致

通过对竣工验收现场、竣工图、环评文件及批复等资料的核实，本项目实际建设位置、项目所在建筑周围环境、项目四邻关系、周围敏感目标与环评阶段一致。

## 2.2 源项情况:

本项目验收主要内容为一套 PET-CT 医疗设备, 使用  $^{18}\text{F}$  核素用于 PET-CT 显像, 日等效操作量为  $1.04 \times 10^7 \text{Bq}$ , 为丙级非密封工作场所。PET-CT 机使用  $^{18}\text{F}$  试剂盒进行仪器校准。

本次验收与原环评内容的源项情况对比见表 2-2。

表 2-2 本次验收与原环评内容的源项对比表

项目		本次验收实际情况	原环评内容	一致性分析
射线装置	设备名称	PET-CT	PET-CT	一致
	设备型号	uMI Vista	uMI Vista	一致
	设备参数	140kV, 833mA	140kV, 833mA	一致
非密封放射性物质	核素名称	$^{18}\text{F}$	$^{18}\text{F}$	一致
	日等效操作量	$1.04 \times 10^7 \text{Bq}$	$1.04 \times 10^7 \text{Bq}$	一致
放射源	核素名称	/	$^{68}\text{Ge}$	优于环评。实际情况中使用 $^{18}\text{F}$ 试剂盒进行仪器校准, $^{18}\text{F}$ 试剂盒操作便捷性及安全管理优于 $^{68}\text{Ge}$ 校准源。
	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) × 枚数	/	$7.4 \times 10^7 \text{Bq} \times 2$	
	类别	/	V类	
	用途	/	校准源	

## 2.3 项目变动情况及验收内容

本次验收情况与环评内容作比较, 如表 2-3 所列。

表 2-3 本项目验收实际情况与环评阶段对比情况一览表

		验收实际情况	原环评内容	是否属于重大变更
项目性质		新建	新建	/
项目内容及地点		在门诊教学楼地下一层新上一套 PET-CT 医疗设备, 使用 $^{18}\text{F}$ 核素用于 PET-CT 显像, 为丙级非密封工作场所。PET-CT 机使用 $^{18}\text{F}$ 试剂盒进行仪器校准。	在门诊教学楼地下一层新上一套 PET-CT 医疗设备, 使用 $^{18}\text{F}$ 核素用于 PET-CT 显像, 为丙级非密封工作场所。PET-CT 机使用 2 枚 V 类 $^{68}\text{Ge}$ 校准源。	优于环评, 不属于重大变更
环保措施	屏蔽措施	PET 工作场所共采用三种防护设计, 分别为 240mm 混凝土墙+8mm 铅当量防护涂料, 轻体砖墙+18mm 铅当量防护涂料, 120mm 硫酸钡砖墙+13mm 铅当量防护涂料, 最终墙体防护合计均为 18mm 铅当量; 顶棚和地面均为 2 层 130mm 混凝土楼板及 10mm 铅当量硫酸钡, 防护门均采用 18mm 铅板进行防护, 扫描间观察窗采用 18mm 铅当量铅玻	PET 工作场所共采用三种防护设计, 分别为 240mm 混凝土墙+8mm 铅当量防护涂料, 轻体砖墙+18mm 铅当量防护涂料, 120mm 硫酸钡砖墙+13mm 铅当量防护涂料, 最终墙体防护合计均为 18mm 铅当量; 顶棚和地面均为 2 层 130mm 混凝土楼板及 10mm 铅当量硫酸钡, 防护门均采用 18mm 铅板进行防护, 扫描间观察窗采用 18mm 铅当量铅玻	/

		玻璃隐形防护，注射室注射窗口采用50mm 铅当量铅玻璃进行防护（混凝土密度 2.35g/cm <sup>3</sup> ，铅板密度 11.34g/cm <sup>3</sup> ，硫酸钡防护涂料密度 3.5g/cm <sup>3</sup> ，铅玻璃密度 4.0g/cm <sup>3</sup> ）。	玻璃隐形防护，注射室注射窗口采用50mm 铅当量铅玻璃进行防护（混凝土密度 2.35g/cm <sup>3</sup> ，铅板密度 11.34g/cm <sup>3</sup> ，硫酸钡防护涂料密度 3.5g/cm <sup>3</sup> ，铅玻璃密度 4.0g/cm <sup>3</sup> ）。	
	<b>衰变池</b>	设在门诊教学楼内地下一层液体衰变池内，该放射性废液处理为3个不锈钢箱体，由一个缓冲池和二组衰变池组成。缓冲池和两组衰变池的尺寸均为700mm×1500mm×1800mm（高），有效容积 1.5m <sup>3</sup> ；每个池体检查口为 500mm×500mm。	设在门诊教学楼内地下一层液体衰变室，该放射性废液处理为3个不锈钢箱体，由一个缓冲池，二组衰变池组成。其中，缓冲池的尺寸为500mm×1200mm×1500mm（高），有效容积为 0.8m <sup>3</sup> ；两组衰变池尺寸均为 800mm×1200mm×1500mm（高），每组衰变池有效容积为 1.25m <sup>3</sup> ，每个衰减池各设300mm×400mm 检查口一个。	缓冲池和衰变池池体位置不变，有效容积变大。优于环评，不属于重大变更。
	<b>排风系统</b>	控制区排风装置整体保持负压。除通风橱外的两套系统排风管道分别经过活性炭过滤器净化后合并为一根排风管道，通风橱排风管道为单独一根排风管道，一同引至高于场所楼顶 1.5m 处排放。	控制区排风装置整体保持负压。排风装置的两套系统排风管道分别经过活性炭过滤器净化后，与通风橱排风管道一同引至高于场所楼顶 1.5m 处排放。	不属于重大变更。

通过对竣工验收现场、竣工图、环评文件及批复、防护资料等的核实：

（1）项目选址及布局：大连大学附属中山医院PET-CT工作场所的建设位置与环评阶段一致，周围及楼上楼下各房间基本一致。

（2）源项情况：射线装置情况、非密封放射性物质情况与环评阶段相关参数一致。放射源情况，本次验收内容中PET-CT机使用<sup>18</sup>F试剂盒进行仪器校准，与原环评阶段相比，<sup>18</sup>F试剂盒操作便捷性及安全管理优于<sup>68</sup>Ge校准源。不属于重大变更。

（3）屏蔽情况：建设情况与环评文件及批复要求基本一致，可满足辐射防护要求。

（4）衰变池情况：缓冲池和衰变池池体位置不变，有效容积均变大，其储存量能够满足PET-CT使用的核素<sup>18</sup>F存放10个半衰期后排放的要求。实际建设情况优于环评，不属于重大变更。

（5）排风系统：排风系统的独立通风管道净化后分别引至1.5m处，改为排风系统的通风管道净化后合并为一根排风管道，通风橱排风管道为单独一根排风管道，一同引至高于场所楼顶1.5m处排放。未对周围环境造成不利影响，不属于重大变动。

因此，本项目实际建设情况不构成重大变动，满足验收条件。

## 2.4 工程设备与工艺分析：

本项目拟使用的非密封放射性物质为  $^{18}\text{F}$ ，用于 PET-CT 显像（主要用于肿瘤检查）诊断。

### 2.4.1 PET-CT 设备组成及工作原理

PET 是 Positron Emission Computed Tomography（正电子断层扫描）的缩写，是目前先进的放射性核素显像技术。PET 的基本结构由探头（晶体、光电倍增管、高压电源）、电子学线路、数据处理系统、扫描机架及同步检查床组成。

#### （1）PET 显像的基本工作原理

利用  $^{18}\text{F}$  等超短半衰期核素显像剂，引入机体后定位于靶器官，这些核素在衰变过程中发射正电子，发射的正电子在组织中运行很短距离之后，即与周围组织中的负电子相互作用，发生湮灭辐射，发射出两个方向相反、能量相同（511keV）的光子。由于两个光子在体内的路径不同，到达两个探测器的时间也有一定差别，如果在规定的时间内，探头系统探测到两个互成 180 度的光子时，探测器便分别送出一个时间脉冲，脉冲处理器将脉冲变为方波，符合电路对其进行数据分类后，送入工作站进行图像重建，便得到人体各部位横断面、冠状断面和矢状断面的影像。

#### （2）CT 显像的基本工作原理

由 X 射线发生器输出的扇形 X 射线束对人体某断层连续扫描后，通过探测器采集与所扫描断层结构相关的各体积元衰减系数的数据集合，然后按一定数学原理使计算机对这些数据进行逆运算，获得与所扫描断层结构逐一对应的参数值，最后又把所得参数值进行再次转换，重建为可以清晰显示的灰度影像。

#### （3）PET-CT 的基本工作原理

PET-CT 影像系统是 PET 和 CT 的同机融合。CT 显像原理是球管发射的 X 线穿过人体后，根据人体各个器官对射线的吸收与透过率不同，由计算机对透过人体的射线的衰减率进行重建来产生解剖学位置的断层图像，而 PET 系统可以产生代谢功能的临床图像，两种图像通过像融合联合诊断装置进行精确融合，两种技术优势互补，可以得到既能清楚显示器官的解剖结构，又能清楚显示该器官的生理、生化和代谢功能信息的融合图像，具有更高的诊断性能和临床应用价值。



图 2-1 典型 PET-CT 装置示意图

#### 2.4.2 PET-CT 诊断流程

本项目使用的放射性药物 ( $^{18}\text{F}$ ) 均从南京江原安迪科正电子研究发展有限公司沈阳分公司外购。由于放射性药物 ( $^{18}\text{F}$ ) 的半衰期较短, 均是根据临床诊疗所需药物的使用量, 向放射性核素供应商订购, 并在放射性核素送达当天全部使用完, 因此该 PET-CT 诊断过程中不会有放射性核素存放过夜。

PET-CT 检查工作流程按下列流程: 患者预约登记→计划订药→质检→分装→患者注射→用药后候诊区候诊→摆位→图像采集→图像处理→读片、发报告。

订货: 提前一天根据预约的检查人数及诊断项目, 订购标记的放射性药物。

质检: 接收  $^{18}\text{F}$  后立即对核素种类、日期、活度、出厂时间进行登记, 并暂存于分装室通风橱。

分装:  $^{18}\text{F}$  核素半衰期短, 按诊断要求对  $^{18}\text{F}$  测量活度后在分装室通风橱内将  $^{18}\text{F}$  分装至注射器内, 并运送至注射室。

注射: 在注射室内, 医护人员打开铅屏蔽盒, 取出一次性注射器, 给患者注射标记放射性药物, 然后将废注射器装入铅屏蔽盒, 当放射性固体废物处理。

检查: 病人在给药后病人候诊区等候约 45min, 待药物在体内代谢达到相对平衡后, 进行 PET-CT 扫描检查。

受检者在扫描检查后, 在留观室观察等待 15~20min, 听候接诊医生对图像进行初步评估, 医生认为图像符合要求后, 通知患者离开核医学科。



图 2-2 PET-CT 诊断流程及排污节点图

### 2.4.3 辐射工作场所人流物流走向

患者路线：患者经下一层停车场或步行梯进入候诊室进行登记后，由患者入口进入患者区域，通过患者走廊到注射分装室注射窗口处注射放射性药物，注射后在注射后休息室或注射后 VIP 休息室等候，在扫描室检查后通过患者走廊进入留观室，观察后由东侧患者出口离开 PET-CT 工作场所。

工作人员路线：由候诊室南侧医护人员通道门进入，通过医护走廊进入注射分装室、操作间和阅片室，更衣室、休息室、医生办，注射分装室可达到分装室。

药物流向：外购的放射性药物（<sup>18</sup>F）经候诊室通过药物专用通道防护门运送至分装室，在此处办理药物交接手续，核对放射性药物规格和数量，办理签收。药品交接完毕后，辐射工作人员将药物转移至分装室通风橱内保存、备用。

医院拟控制患者就诊、药物运输的时间，避免药物运输时与患者在入口处产生交集而造成患者受到不必要的附加剂量。

辐射工作场所人流物流走向图见图 2-3。



图 2-3 辐射工作场所人流物流走向图

## 2.5 污染源项描述

### 2.5.1 主要放射性污染物

核素  $^{18}\text{F}$  在诊断过程中的放射性污染因素主要是 $\gamma$ 射线、 $\beta$ 表面污染、放射性废水、放射性废气、放射性固体废物。

### 2.5.2 污染途径分析

#### (1) $\gamma$ 射线和 X 射线

$^{18}\text{F}$  在衰变过程中发射正电子，发射的正电子运行很短距离之后，即与周围环境中的负电子相互作用，发生湮灭辐射，发射出两个方向相反、能量相同（511keV）的光子，即 $\gamma$ 射线， $\gamma$ 射线穿透能力较强，会对周围环境造成辐射影响，主要为：

- ①含  $^{18}\text{F}$  的放射性药物在转运、分装、注射过程中释放 $\gamma$ 射线；
- ②注射  $^{18}\text{F}$  后的受检者在 PET-CT 检查整个过程中释放 $\gamma$ 射线；

③注射  $^{18}\text{F}$  的受检者检查完离开医院后释放 $\gamma$ 射线。

本项目 PET-CT 扫描诊断时，PET-CT 会产生 X 射线。

(2)  $\beta$ 表面污染

①工作人员在注射时使用的注射器等仪器对工作台面造成的污染；

②注射  $^{18}\text{F}$  后的受检者的排泄物对注射后休息室、VIP 休息室、留观室卫生间造成的污染。

(3) 放射性废水

受检者注射放射性药物  $^{18}\text{F}$  后，所产生的排泄物含有放射性核素  $^{18}\text{F}$ ，另外冲洗分装容器、杯皿等也可产生放射性废液。医院在注射后休息室、VIP 休息室、留观室设有受检者专用卫生间，产生的放射性废水经专用排水管道通往衰变池。

(4) 放射性废气

本项目使用的  $^{18}\text{F}$  放射性药物全部向专业公司购买。在通风橱内只对  $^{18}\text{F}$  进行分装。 $^{18}\text{F}$  放射性药物为液体溶液，不易挥发，且分装时间较短，故使用过程中产生的放射性气体十分微量。

(5) 放射性固体废物

一般情况下，医院按照诊疗计划使用放射性核素，不存在剩余放射性核素。放射性固体废物主要为：含放射性  $^{18}\text{F}$  药物操作过程中污染的废药瓶、一次性注射器、手套、药棉、纱布、吸水纸、破碎杯皿、废活性炭等。



表三 辐射安全与防护设施/措施

### 3.1 工作场所布局

PET-CT 工作场所主要包括 PET-CT 扫描室、源库、淋浴间、阅片室、操作间、设备间、注射室、分装室、注射后休息室、注射后 VIP 休息室、留观室、衰变室和患者走廊及患者专用卫生间等。PET-CT 工作场所布局紧凑，减少了受检者的行动范围。辐射工作人员和受检者之间不存在交叉污染，PET-CT 工作场所控制区入口和出口设门禁系统（单向通行）。

PET-CT 工作场所布局情况与环评阶段一致。

### 3.2 工作场所分区情况

为了便于加强管理，切实做好辐射安全防护工作，按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的要求应将辐射工作场所划分控制区和监督区。结合本项目核技术利用的特点，医院将本项目 PET-CT 工作场所分区情况见表 3-1。

表 3-1 PET-CT 工作场所分区

分区	控制区	监督区	实际建设情况与环评内容一致性分析
PET-CT 工作场所	PET-CT 扫描室、源库、分装室、注射室、淋浴间、液体衰变室、注射后休息室、注射后 VIP 休息室、留观室、衰变室和患者走廊及患者专用卫生间	与控制区相邻的区域（包括候诊室、资料室、操作间、设备间、医护走廊、候诊室、医生更衣室、休息室、医生办）	一致
管理要求	控制区内禁止外来无关人员进入，职业工作人员在进行日常工作尽量不要在控制区内停留，以减少不必要的照射；控制区的进出口及其他适当位置设置醒目的电离辐射警告标志。	不采取专门的防护手段安全措施，定期检测其辐射剂量。	一致

PET-CT 工作场所控制区、监督区划分与环评阶段一致。

### 3.3 辐射屏蔽设施建设情况

PET-CT 工作场所辐射屏蔽设施建设情况见表 3-2。

表 3-2 PET-CT 工作场所辐射屏蔽设施建设情况汇总表

房间	环评内容		实际建设情况与环评内容一致性分析
	位置	防护材料及厚度	一致
PET-CT 扫描室；	墙体	等效为 18mmPb	一致
	顶棚	130mm 混凝土楼板×2 层+10mmPb 硫酸钡	一致
	地面	130mm 混凝土楼板×2 层+10mmPb 硫酸钡	一致

	患者防护门	18mm 铅板	一致
	医生防护门	18mm 铅板	一致
	源库防护门	18mm 铅板	一致
	铅玻璃观察窗	等效为 18mmPb	一致
分装室； 注射室； 源库； 淋浴间；	墙体	等效为 18mmPb	一致
	顶棚	130mm 混凝土楼板×2 层 +10mmPb 硫酸钡	一致
	地面	130mm 混凝土楼板×2 层 +10mmPb 硫酸钡	一致
	药物专用通道防护门	18mm 铅板	一致
	注射室北侧防护门	18mm 铅板	一致
	注射室西侧防护门	18mm 铅板	一致
	源库防护门	18mm 铅板	一致
	淋浴间防护门	18mm 铅板	一致
	注射窗口	50mmPb	一致
液体衰变室； 设备间；	墙体	等效为 18mmPb	一致
	顶棚	130mm 混凝土楼板×2 层 +10mmPb 硫酸钡	一致
	地面	130mm 混凝土楼板×2 层 +10mmPb 硫酸钡	一致
	液体衰变室防护门	18mm 铅板	一致
	设备间防护门	18mm 铅板	一致
注射后休息室； 注射后 VIP 休息 室； 留观室；	墙体	等效为 18mmPb	一致
	顶棚	130mm 混凝土楼板×2 层 +10mmPb 硫酸钡	一致
	地面	130mm 混凝土楼板×2 层 +10mmPb 硫酸钡	一致
	患者卫生间防护门	18mm 铅板	一致
	注射后休息室防护门	18mm 铅板	一致
	注射后 VIP 休息室防护门	18mm 铅板	一致
	留观室西侧防护门	18mm 铅板	一致
患者走廊	留观室东侧患者出口 防护门	18mm 铅板	一致
	顶棚	130mm 混凝土楼板×2 层 +10mmPb 硫酸钡	一致

	地面	130mm 混凝土楼板×2 层 +10mmPb 硫酸钡	一致
	患者入口防护门	18mm 铅板	一致

注：①混凝土密度  $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ ，铅板密度  $11.34\text{g}/\text{cm}^3$ ，硫酸钡密度  $3.5\text{g}/\text{cm}^3$ ，铅玻璃密度  $4.0\text{g}/\text{cm}^3$ 。②墙体防护情况：240 混凝土墙增加防护当量 8mmpb（防护厚度 80mm）、轻体砖墙增加防护当量 18mmpb（防护厚度 180mm）、120 硫酸钡砖墙增加防护当量 13mmpb（防护厚度 130mm），最终墙体防护合计均为 18mmPb。

PET-CT 工作场所辐射屏蔽设施实际建设情况与环评阶段一致。

### 3.4 “三废”处置情况

#### 3.4.1 放射性废液

PET-CT 工作场所产生的放射性废水，包括高活室内洗手池废水，注射后休息室、注射后 VIP 休息室和留观室内专用卫生间的冲厕废水，通过专用管道一并先汇入液体衰变室内的放射性废水衰变池；放射性废水放置至少 10 个半衰期后，经检测合格满足清洁解控排放的废水，经化粪池排入医院医疗污水站进一步处理后，最终进入市政污水收集管网。

放射性废水衰变池设在门诊教学楼内地下一层液体衰变室内。该放射性废液处理为 3 个不锈钢箱体，由一个缓冲池，二组衰变池组成。缓冲池和两组衰变池的尺寸均为  $700\text{mm}\times 1500\text{mm}\times 1800\text{mm}$ （高），有效容积为  $1.5\text{m}^3$ ；每个池体检查口为  $500\text{mm}\times 500\text{mm}$ 。箱体结构牢固，内部涂覆高强度玻璃钢涂层，以达到设备防渗耐腐蚀的要求。放射性排水管采用 PVC-1.0Mpa 给水管确保无渗漏，表面包裹铅板 3mmPb。

衰变池由一套自动控制系统控制，交替使用。各池均设计有液位传感器，排水口处预留取样口，以便于对衰变后废水进行取样检测。放射性废水经专用管道进入缓冲池进行沉淀，沉淀后首先进入 1#衰变池，当 1#衰变池注满后，系统自动关闭 1#衰变池同时开启 2#衰变池，放射性废液进入 2#衰变池。当 2#衰变池废液注满后，系统自动关闭 2#衰变池同时开启 1#衰变池排水阀排空 1#衰变池，废液重新进入 1#衰变池，两组衰变池循环运作。同时，衰变池安装废水比活度监测装置。

PET-CT 使用的核素  $^{18}\text{F}$  半衰期为 109.8min，其 10 个半衰期为 18.3h。根据医院提供资料可知，PET-CT 诊断每天 20 个患者。PET-CT 工作场所每天产生的放射性废水量为  $0.45\text{m}^3$ ，存满每组衰变池需要 3.33 天。医院 PET-CT 衰变池单个池体满足单独收集 10 个半衰期放射性废液的要求。

本项目衰变池满足环评及批复要求，建议医院今后对 PET-CT 工作场所进行改扩建时，按照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的相关标准对衰变池进行改善。

#### 3.4.2 放射性固体废物

PET-CT 工作场所产生的放射性固体废弃物，包括一次性注射器、吸水纸、纱布、医生操作放射性药品使用过的一次性手套等物品，进行衰变处置。收集放射性固体废物的废物桶均已贴电离辐射警告标志。废物桶内放置专用塑料袋直接收纳废物，装满后的塑料袋密封、不破漏。每次收集时塑料袋表面贴上标签，标明放射性废物的类型、种类和存放日期的说明，并做好记录。对于注射器和破碎器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，先装入硬纸盒或其他包装材料中，然后再装入专用塑料袋。

放射性固废放置至少 10 个半衰期后，由辐射工作人员取出，经检测废物外包装的辐射剂量率和 $\beta$ 表面污染水平合格后，对废物解控作为一般医疗废物处置，交由大连市瀚洋固废处置有限公司处置。

废活性炭更换后存放位于放射性废物桶内衰变 10 个半衰期后，经检测达到清洁解控水平后，作为一般医疗废物处理。做好放射性固体废物暂存、处置管理台账，清晰记录放射性废物的暂存、检测、排放等信息。

本项目放射性固体废物处置满足环评及批复要求，建议医院按照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的相关标准，对含  $^{18}\text{F}$  的放射性固体废物暂存时间超过 30 天后，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， $\beta$ 表面污染小于  $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$  的，对废物清洁解控并作为医疗废物处理。

### 3.4.3 放射性废气

PET-CT 工作场所内整体保持负压，在工作前和工作中进行通风。

PET-CT 工作场所控制区排风装置除通风橱外设置两套系统，第一套排风系统控制区域为分装室、注射室、源库、淋浴间、扫描间、注射后休息室、注射后 VIP 休息室、留观室和衰变室。第二套排风系统控制区域为注射后休息室卫生间、注射后 VIP 休息室卫生间、留观室卫生间。排风系统内均已设置活性炭过滤器及止回装置。 $^{18}\text{F}$  的分装标记在分装通风橱内操作，分装通风橱配有排风装置。排风装置的两套系统排风管道分别经过活性炭过滤器净化后合并为一根排风管道，通风橱排风管道为单独一根排风管道，一同引至高于场所楼顶 1.5m 处排放。

## 3.5 辐射安全与防护措施落实情况

经现场验收调查，本项目 PET-CT 工作场所已落实以下辐射安全与防护措施，且运行情况良好：

（1）PET-CT 工作场所整个建设过程均由有资质的单位承担，建筑的四壁、顶棚和地面的屏蔽厚度均已依照设计厚度完成，无出现气泡和裂隙。所有通过墙体的孔洞、空调管道、线路桥架等均已进行射线防护处理，铅当量与墙体防护铅当量相当。

(2) 控制区的入口处已设置规范的电离警告标志。在控制区患者入口和出口已设置单向门禁，工作人员出入口已安装门禁系统。注射后休息室、注射后 VIP 休息室、留观室和扫描室均已配备监视设施或观察窗和对讲机。扫描间防护门外已安装“射线有害、灯亮勿入”的工作状态指示灯。

(3) 注射窗为具有防护功能的铅玻璃窗，候诊室、显像室均为实体屏蔽。注射分装室已配备通风橱，并带有大活性炭过滤器，设备正面配有铅玻璃、观察窗及操作工作孔，在通风橱内分装放射性药物，通风橱为负压设备。PET-CT 工作场所整体保持负压。除通风橱外两套系统的排风管道分别经过活性炭过滤器净化后合并为一根排风管道，通风橱排风管道为单独一根排风管道，一同引至高于场所楼顶 1.5m 处排放。

(4) 放射性固体废物放置在铅废物桶内储存衰变，放置至少 10 个半衰期后，经检测废物外包装的辐射剂量率和 $\beta$ 表面污染水平合格后，对废物解控作为一般医疗废物处置。

(5) PET-CT 工作场所产生的放射性废水将通过专用管道一并先汇入液体衰变室内的放射性废水衰变池；放射性废水放置至少 10 个半衰期后，经检测合格满足清洁解控排放的废水，经化粪池排入医院医疗污水站进一步处理后，最终进入市政污水收集管网，并详细进行运行管理记录。同时，衰变池已安装废水比活度监测装置。

(6) PET-CT 工作场所已设置源库，并设置闭路监视和防闯入等技防系统，并安装有防盗门，符合公安标准要求。

(7) PET-CT 工作场所已配置 2 台表面污染仪、1 台 X- $\gamma$ 剂量率仪，并在 PET-CT 工作场所内已设置 1 套在线剂量率监测装置。

(8) 医院已为辐射工作人员配备个人剂量计、个人剂量报警仪和防护用品。

综上，本项目 PET-CT 工作场所辐射安全与防护设施齐全且正常运行，具体落实情况见照片 1-21。

照片 1-21 辐射安全与防护措施落实情况



<p>照片 1 PET 就诊等候区</p>	<p>照片 2 患者通道、地标</p>
	
<p>照片 3 患者出口</p>	<p>照片 4 分装室通风橱</p>
	
<p>照片 5 注射操作台</p>	<p>照片 6 注射窗口</p>
	
<p>照片 7 PET 扫描室</p>	<p>照片 8 PET 扫描室防护门及工作状态指示灯</p>

	
<p>照片 9 源库</p>	<p>照片 10 注射后休息室</p>
	
<p>照片 11 患者专用卫生间</p>	<p>照片 12 制度上墙</p>
	
<p>照片 13 操作器械、托盘</p>	<p>照片 14 药品运输铅罐</p>

	
<p>照片 15 固废存放处</p>	<p>照片 16 防护用品</p>
	
<p>照片 17 X-γ剂量率仪</p>	<p>照片 18 表面沾污仪</p>
	
<p>照片 19 在线剂量率监测装置</p>	<p>照片 20 个人剂量报警仪</p>



	
照片 21 衰变池废水比活度监测装置	

### 3.6 规章制度落实情况

大连大学附属中山医院目前已经成立辐射防护领导小组，其中王若雨（法人代表，院长）为组长，副组长高弼虎（副院长）、吴桂刚（副院长）、姜万维（副院长）、刘保一（副院长），成员为各科室负责人。领导小组职责明确，并组织制定相关辐射安全规章制度、应急预案及操作规程。同时，医院指定王若雨（法定代表人）为辐射安全责任人，专职机构辐射安全管理小组和专人负责整个医院的辐射防护与安全工作。

医院制定了一系列的管理规章制度，包括辐射工作安全责任书、辐射事故应急预案、辐射安全防护管理制度、高活室工作制度、设备检修维护制度、人员培训制度、监测方案、放射性废物管理制度等，具有可行性。医院已严格执行以上的规章制度，并将各项规章制度张贴至墙，责任到人。工作人员在平时的工作中严格按各项操作规程进行操作。

### 3.7 辐射工作人员

PET-CT 工作场所共配备 9 名辐射工作人员，均已通过辐射安全与防护考核并持证上岗，定期进行职业健康体检，且已配备个人剂量计，定期送大连科达放射防护技术服务有限公司监测，个人剂量计监测周期最长不超过三个月，已建立个人剂量档案。

**表 3-3 辐射工作人员情况汇总表**

序号	姓名	性别	年龄	岗位	辐射安全与考核时间/ 编号	体检时间及结果
1	韩芳	女	40	医生	2022.3.9/ FS22LN0300001	2021.10.9/可从事放射性 工作（上岗前）
2	谢敏	女	46	医生	2019.11.17/ LFB191174	2021.11.25/可继续从事 放射性工作
3	赵莎	女	40	护士	2019.11.17/ LFB191173	2021.11.25/可继续从事 放射性工作

4	刘春	女	52	护士	2019.11.17/ LFB191170	2020.11.15/可继续从事 放射性工作
5	丁悦	女	32	护士	2022.3.9/ FS22LN0300003	2022.1.15/可从事放射性 工作（上岗前）
6	马冲	女	35	护士	2022.7.28/ FS22LN0300044	2022.7.28/可从事放射性 工作（上岗前）
7	隋孝良	男	30	技师	2019.11.17/ LFB191177	2020.11.15/可继续从事 放射性工作
8	王弘	男	24	技师	2022.7.28/ FS22LN0300050	2022.3.9/可从事放射性 工作（上岗前）
9	曹源	男	37	技师	2020.11.24/ FS20LN0101394	2020.11.15/可继续从事 放射性工作

注：刘春、隋孝良、曹源职业健康体检有效期 2020.11.15 至 2022.11.15，待新冠疫情结束后第一时间进行体检。

照片 22-30

辐射人员考核证书



 <p>成绩报告单</p> <p>姓名：韩芳，1980年11月20日生，身份证号：230423198011200002，于2022年11月参加放射工作人员个人剂量计检测，成绩合格。</p> <p>编号：230423198011200002 检测日期：2022年11月20日 至 2022年11月20日</p> <p>检测单位：Hubei Hongyuan</p>	 <p>成绩报告单</p> <p>姓名：谢敏，1980年11月20日生，身份证号：230423198011200002，于2022年11月参加放射工作人员个人剂量计检测，成绩合格。</p> <p>编号：230423198011200002 检测日期：2022年11月20日 至 2022年11月20日</p> <p>检测单位：Hubei Hongyuan</p>
 <p>成绩报告单</p> <p>姓名：赵莎，1980年11月20日生，身份证号：230423198011200002，于2022年11月参加放射工作人员个人剂量计检测，成绩合格。</p> <p>编号：230423198011200002 检测日期：2022年11月20日 至 2022年11月20日</p> <p>检测单位：Hubei Hongyuan</p>	
 <p>成绩报告单</p> <p>姓名：刘春，1980年11月20日生，身份证号：230423198011200002，于2022年11月参加放射工作人员个人剂量计检测，成绩合格。</p> <p>编号：230423198011200002 检测日期：2022年11月20日 至 2022年11月20日</p> <p>检测单位：Hubei Hongyuan</p>	

表 3-4 辐射工作人员个人剂量计检测情况

姓名	2021 年第四季度 剂量计检测结果 (mSv)	2022 年第一季 度剂量计检测 结果 (mSv)	2022 年第二季 度剂量计检测 结果 (mSv)	2022 年第三季 度剂量计检测 结果 (mSv)	合计 (mSv)
韩芳	/	/	0.36	0.26	0.62
谢敏	0.15	0.16	0.14	0.35	0.80
赵莎	0.18	0.16	0.11	0.28	0.73
刘春	0.14	0.14	0.42	0.24	0.94
丁悦	/	/	/	/	/

马冲	/	/	/	/	/
隋孝良	0.29	0.19	0.43	0.28	1.19
王弘	/	/	/	0.21	0.21
曹源	0.12	0.15	0.46	0.20	0.93

注：韩芳、丁悦、马冲、王弘为新上岗人员。

表 3-4 表明，本项目辐射工作人员 2021 年第四度至 2022 年第三季度的个人剂量检测值最大为 1.19mSv，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的职业照射人员 20mSv/a 的国家标准，亦低于本次验收的剂量约束值 5mSv/a。

### 3.8 监测仪器及防护用品

该项目配有监测仪器，并为辐射工作人员配置了必要的防护用品。监测仪器及防护用品配置清单见表 3-5。

表 3-5 监测仪器及防护用品配置清单

内容	名称	数量
监测仪器	X-γ剂量率监测仪	1 台
	在线剂量率监测装置	1 套
	表面沾污仪	2 台
	个人剂量报警仪	3 台
防护用品	个人剂量计	18 支
	防护服	2 套

### 3.9 辐射安全许可证

医院于 2022 年 2 月 18 日更新了辐射安全许可证（证书编号：辽环辐证[01650]），有效期至 2027 年 2 月 17 日。本此辐射安全许可证活动种类和范围新增了非密封放射性物质  $^{18}\text{F}$ （乙级）和一台 PET-CT 机（Ⅲ类射线装置）。辐射安全许可证更新后的使用种类和范围：使用Ⅰ类放射源；使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级、丙级非密封放射性物质工作场所。

表四 建设项目环境影响报告表主要结论及审批部门决定

#### 4.1 建设项目环境影响报告主要结论

##### 1、可行性分析

##### (1) 正当性分析

大连大学附属中山医院已持有辐射安全许可证（辽环辐证[01650]），配置有 SPECT、加速器、DSA 等装置，近年来随着就诊患者人数持续增加，为满足不断增长的临床诊断需求，根据《产业结构调整指导目录（2019 年本）》，本项目属于“第十三类医药类第 5 条：新型医用诊断设备”，本项目为核医学科诊疗设备的使用，符合国家产业政策。故上述辐射工作场所的使用符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践正当性”原则。

##### (2) 选址和布局合理性分析

大连大学附属中山医院位于大连市中山区解放街 6 号，用地性质为医疗卫生用地，选址可行。PET-CT 工作场所拟建于门诊教学楼内地下一层，设在建筑物相对独立区域内，对其进行内部改造，充分考虑了周围场所的防护与安全，以及患者就诊和临床应用的便利性，为相对独立的区域，对公众影响较小，场所设有 PET 扫描室、操作间和注射室、注射后休息室、留观室等，并设患者走廊和医护走廊，辐射工作人员和受检者之间不存在交叉污染，其选址和布局设计基本合理，控制区和监督区划分明确，满足辐射工作场所安全使用的要求。因而从辐射环境保护方面论证，该项目布局是合理的。

##### 2、辐射安全与防护分析

在设置辐射工作场所时已充分考虑了其性能和特点、周围工作场所的防护与安全，对辐射工作场所选址和布局设计进行了综合考虑，辐射工作场所屏蔽设计原则符合辐射工作场所使用和辐射防护安全的要求。

经理论计算，本项目拟建 PET-CT 工作场所各设备间屏蔽设计能够满足辐射防护要求，正常工况下，不会对周围环境产生影响。

对 PET-CT 辐射工作人员均采取有效的安全与防护措施，能够确保检测系统的运行对周围环境不产生影响，工作人员所受剂量不超过剂量约束值。

##### 3、环境影响分析

(1) 根据场所周围关注点辐射剂量估算结果可知，本项目拟建 PET-CT 工作场所运行后，预计工作人员和公众的年受照剂量均低于相应剂量约束值（5mSv/a、0.1mSv/a），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。对于辐射工作人员年受照剂量异常情况，单位应该进行调查并报生态环境部门备案。

(2) PET 的刻度源属于 V 类放射源,可以预计其运行后对医护人员以及周围公众的影响是十分轻微的。

(3) 放射性“三废”排放。预计拟建 PET-CT 工作场所运行后,放射性废水经暂存衰变后能够符合排放限值要求;工作场所达到最多负荷运行每年产生放射性固体废物约 140kg (包含通风橱过滤器)。放射性沾染物品收集暂存衰变,符合清洁解控水平的废物按照医疗废物处置。将产生极少量的放射性废气从本建筑物楼顶 1.5m 排出,排放大气环境中会进一步稀释,远低于到处空气浓度限值。

(4) 辐射安全防护管理:医院设有辐射安全与环境保护管理机构,负责全院的辐射安全管理和监督工作。有较健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、人员培训计划、健康体检制度、辐射事故应急预案和设备检修维护制度等,日后将不断完善。

(5) 与《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的规定对照检查,满足要求。

综上所述,大连大学附属中山医院 PET-CT 建设项目,符合国家产业政策,项目位于大连市中山区解放街 6 号,项目占地为医疗卫生用地。项目所在地周围环境辐射本底水平正常,经计算,拟建 PET-CT 工作场所各设备间的屏蔽设计能够满足辐射防护要求,辐射工作人员与公众的年有效剂量远低于国家标准要求。大连大学附属中山医院制定了完备的安全措施和完善的管理制度,各项污染防治措施有效、可靠。因此,大连大学附属中山医院 PET-CT 建设项目从环保角度讲是可行的。

## 4.2 审批部门审批决定

### 审批意见

辽环审表[2021]29 号

大连大学附属中山医院：

经我厅建设项目审查委员会 2021 年第 4 次会议审查，现就《对大连大学附属中山医院 PET-CT 建设项目辐射环境影响报告表》（以下简称报告表）批复如下：

一、报告表主要结论意见可信，环保对策措施可行，可以作为本项目建设和环境管理的依据。

二、大连大学附属中山医院位于大连市中山区解放街 6 号。本项目代码 2104-210202-04-01-351065，项目内容包括在门诊教学楼内地下一层拟新上一套 PET-CT 医疗设备（现该区域为地下停车场），用于患者放射诊断，拟使用  $^{18}\text{F}$  核素用于 PET-CT 显像，日等效操作量为  $1.04 \times 10^7 \text{Bq}$ ，区域改造后为丙级非密封源工作场所。PET-CT 机使用 2 枚活度为  $7.4 \times 10^7 \text{Bq}$  的 V 类  $^{68}\text{Ge}$  校准源。

三、本项目建设应重点做好以下工作：

1.健全电离辐射防护制度，加强工作现场管理，建立各相关岗位工作制度及事故应急预案。

2.拟建 PET-CT 诊疗区域墙体共采用三种防护设计，分别为 240 毫米混凝土墙+8 毫米铅当量防护涂料（防护厚度 80 毫米），轻体砖墙+18 毫米铅当量防护涂料（防护厚度 180 毫米），120 毫米硫酸钡砖墙+13 毫米铅当量防护涂料（防护厚度 130 毫米），最终墙体防护合计均为 18 毫米铅当量；顶棚和地面均为 2 层 130 毫米混凝土楼板及 10 毫米铅当量硫酸钡，防护门均采用 18 毫米铅板进行防护，扫描间观察窗采用 18 毫米铅当量铅玻璃隐形防护，注射室注射窗口采用 50 毫米铅当量铅玻璃进行防护（混凝土密度 2.35 克/立方厘米，铅板密度 11.34 克/立方厘米，硫酸钡防护涂料密度 3.5 克/立方厘米，铅玻璃密度 4.0 克/立方厘米）。放射性废水衰变池设在门诊教学楼内地下一层液体衰变池内。该放射性废液处理为 3 个不锈钢箱体，有一个缓冲池，二组衰变池组成。其中，缓冲池的尺寸有效容积为 0.5 立方米；两组衰变池有效容积均为 1.25 立方米，有效总容积合计为 2.5 立方米，PET-CT 使用的核素  $^{18}\text{F}$  其 10 个半衰期为 18.3 小时，其储存量能够满足排放要求。

3.配置辐射剂量检测仪器，对辐射工作场所进行日常监测；配备个人剂量监测仪和防护用品；加强对设备和防护装置的检修、维护，确保工作场所的辐射安全。在辐射工作场所显著位置设立规范的“当心电离辐射”标志牌。

4.PET-CT 诊疗区域应进行明确的区域划分，控制区和监督区不得所以进入，不得进行无关的工作，不得存放无关物品。医生、患者分别设计独立出入通道。

5.放射性药物的分装、取药应在密闭通风柜内操作，并在室内设置负压通风设施。

6.固定废物用铅废物桶内的专用塑料袋进行盛装，装满后密封并标注日期，在铅废物桶内放置十个半衰期，按普通医疗垃圾处置；期间做好放射性固体废物产生量及日期的台账记录。

7.运行 PET-CT 所产生放射性废水应设置有效总容积不小于 2.5 立方米的二级衰变池，做好防酸碱、防渗漏处理。放射性废水排入衰变池，存放 10 个半衰期后排入院区污水处理系统。

8.PET-CT 设备终结运行后必须依法履行退役手续。

四、你单位必须严格执行环境保护“三同时”制度，严格按照报告表及其批复要求进行建设和运营，确保报告表中规定的各项污染防治措施得以实施。项目建成后依法开展竣工验收。

五、本项目必须取得辐射安全许可证并验收合格后方可投入正式使用。

六、请大连市生态环境局负责本项目的日常环境监督管理工作。

辽宁省生态环境厅

2021 年 7 月 1 日



### 4.3 环评及批复落实情况

大连大学附属中山医院 PET-CT 建设项目环评及批复落实情况见表 4-1。

**表 4-1 环评要求落实情况**

序号	环评要求	落实情况
1	建立健全各项辐射管理规章制度，严格执行各项操作规程。	已落实。医院已制定了各项辐射防护制度、岗位工作制度和事故应急救援预案。见附件 8-18。
2	在控制区患者入口和出口设置单向门禁。扫描间防护门外安装“射线有害、灯亮勿入”的工作状态指示灯。	已落实。在控制区患者入口和出口已设置单向门禁。扫描间防护门外已安装“射线有害、灯亮勿入”的工作状态指示灯。见照片 8。
3	注射窗为具有防护功能的铅玻璃窗，候诊室、显像室均为实体屏蔽。注射分装室已配备通风橱，PET-CT 工作场所排风系统整体保持负压。	已落实。注射窗为具有防护功能的铅玻璃窗，候诊室、显像室均为实体屏蔽。注射分装室已配备通风橱，并带有大活性炭过滤器，设备正面配有铅玻璃、观察窗及操作工作孔，在通风橱内分装放射性药物，通风橱为负压设备。PET-CT 工作场所控制区整体保持负压，除通风橱外两套系统的排风管道分别经过活性炭过滤器净化后合并为一根排风管道，通风橱排风管道为单独一根排风管道，一同引至高于场所楼顶 1.5m 处排放。
4	分装室内配置铅废物桶，放射性固体废物放置在铅废物桶内储存衰变。	已落实。分装室内配置铅废物桶，放射性固体废物放置在铅废物桶内储存衰变，放置至少 10 个半衰期后，经检测废物外包装的辐射剂量率和 $\beta$ 表面污染水平合格后，对废物解控作为一般医疗废物处置。见照片 24。
5	PET-CT 工作场所设置放射性废水衰变池，衰变池安装废水比活度监测装置。	已落实。PET-CT 工作场所产生的放射性废水将通过专用管道一并先汇入液体衰变室内的放射性废水衰变池；放射性废水放置至少 10 个半衰期后，经检测合格满足清洁解控排放的废水，经化粪池排入医院医疗污水站进一步处理后，最终进入市政污水收集管网。衰变池已安装废水比活度监测装置。见照片 21。
6	现场操作的工作人员持证上岗，同时应佩带个人剂量计、报警仪、铅防护服、铅围脖、铅手套和护目镜等。对相关管理人员和操作人员定期进行职业健康检查，并建立个人剂量档案。	PET-CT 工作场所拟配置表面污染仪和 X- $\gamma$ 剂量率仪，用于表面污染和剂量率水平的检测。在 PET-CT 工作场所内设置在线剂量率监测装置。辐射工作人员均已通过辐射安全与防护考核并持证上岗，定期进行职业健康体检；并为每名辐射工作人员均配备个人剂量计，个人剂量计监测周期最长不超过三个月，定期送大连科达放射防护技术服务有限公司监测，已建立个人剂量档案。并为辐射工作人员配置了防护铅服。见照片 16-21。

表 4-2 环评批复落实情况

项目	要求	落实情况
《审批意见》 第三条	1.健全电离辐射防护制度，加强工作现场管理，建立各相关岗位工作制度及事故应急预案。	已落实。医院已制定了各项辐射防护制度、岗位工作制度和事故应急救援预案，并制度上墙。见附件 8-16，见照片 12。
	2.拟建 PET-CT 诊疗区域墙体共采用三种防护设计，分别为 240 毫米混凝土墙+8 毫米铅当量防护涂料（防护厚度 80 毫米），轻体砖墙+18 毫米铅当量防护涂料（防护厚度 180 毫米），120 毫米硫酸钡砖墙+13 毫米铅当量防护涂料（防护厚度 130 毫米），最终墙体防护合计均为 18 毫米铅当量；顶棚和地面均为 2 层 130 毫米混凝土楼板及 10 毫米铅当量硫酸钡，防护门均采用 18 毫米铅板进行防护，扫描间观察窗采用 18 毫米铅当量铅玻璃隐形防护，注射室注射窗口采用 50 毫米铅当量铅玻璃进行防护（混凝土密度 2.35 克/立方厘米，铅板密度 11.34 克/立方厘米，硫酸钡防护涂料密度 3.5 克/立方厘米，铅玻璃密度 4.0 克/立方厘米）。放射性废水衰变池设在门诊教学楼内地下一层液体衰变池内。该放射性废液处理为 3 个不锈钢箱体，有一个缓冲池，二组衰变池组成。其中，缓冲池的尺寸有效容积为 0.5 立方米；两组衰变池有效容积均为 1.25 立方米，有效总容积合计为 2.5 立方米，PET-CT 使用的核素 $^{18}\text{F}$ 其 10 个半衰期为 18.3 小时，其储存量能够满足排放要求。	已落实。PET-CT 工作场所已严格按照环评及其批复内容进行建设，防护厚度与环评一致。
	3. 配置辐射剂量检测仪器，对辐射工作场所进行日常监测；配备个人剂量监测仪和防护用品；加强对设备和防护装置的检修、维护，确保工作场所的辐射安全。在辐射工作场所显著位置设立规范的“当心电离辐射”标志牌。	已落实。医院已配置辐射剂量率仪，表面沾污仪，在线剂量率监测装置；配备个人剂量报警仪和防护用品；辐射工作人员均配备个人剂量计。日常加强对设备和防护装置的检修、维护。并已在辐射工作场所显著位置设立规范的“当心电离辐射”标志牌。见照片 8、16-21。

	4.PET-CT 诊疗区域应进行明确的区域划分，控制区和监督区不得所以进入，不得进行无关的工作，不得存放无关物品。医生、患者分别设计独立出入通道。	已落实。医院已对 PET-CT 诊疗区域进行明确的区域划分。PET-CT 工作场所控制区入口和出口设门禁系统（单向通行）。医生、患者为独立出入通道。
	5.放射性药物的分装、取药应在密闭通风柜内操作，并在室内设置负压通风设施。	已落实。医院已在分装室内安装通风橱，放射性药物的分装、取药在密闭通风柜内操作，并在室内设置负压通风设施。见照片 4。
	6.固定废物用铅废物桶内的专用塑料袋进行盛装，装满后密封并标注日期，在铅废物桶内防止十个半衰期，按普通医疗垃圾处置；期间做好放射性固体废物产生量及日期的台账记录。	已落实。PET-CT 工作场所内的固定废物用铅废物桶内均用专用塑料袋进行盛装，装满后密封并标注日期，在铅废物桶内防止十个半衰期，按普通医疗垃圾处置，并做好台账记录。
	7.运行 PET-CT 所产生放射性废水应设置有效总容积不小于 2.5 立方米的二级衰变池，做好防酸碱、防渗漏处理。放射性废水排入衰变池，存放 10 个半衰期后排入院区污水处理系统。	已落实。PET-CT 工作场所的衰变池位于在衰变室，为有效总容积不小于 3 立方米的二级衰变池，并已做防酸碱、防渗漏处理。放射性废水排入衰变池，存放 10 个半衰期后排入院区污水处理系统。
	8.PET-CT 设备终结运行后必须依法履行退役手续。	已落实。医院 PET-CT 设备终结运行后将依法履行退役手续。
《审批意见》 第四条	你单位必须严格执行环境保护“三同时”制度，严格按照报告表及本批复要求进行建设和运营，确保报告表中规定的各项污染防治措施得以实施。项目建成后依法开展竣工验收。	已落实。本项目辐射工作场所环境保护设施已经与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用。项目正在申请环境保护竣工验收。
《审批意见》 第五条	本项目必须取得辐射安全许可证并验收合格后方可投入正式使用。	已落实。本项目现已取得辐射安全许可证，正在进行竣工环境保护验收。

表五 验收监测质量保证及质量控制

### 5.1 质量保证

监测单位辽宁恒大检测技术有限公司、核工业东北分析测试中心均已通过辽宁省质量技术监督局认定，具有在辽宁省内出具法定数据的资质；现场监测仪器经过国家计量检定部门检定，仪器在检定的有效期内使用；参加监测的人员均经生态环境管理部门考核，持证上岗。

监测方法及仪器检定状况，见表 5-1。

表 5-1 监测方法及仪器检定状况

辐射剂量率	仪器型号及编号：BG9531 型辐射巡测仪（HDJC-SB01-109）
	量程：0.01 $\mu$ Sv/h $\sim$ 100mSv/h
	仪器检定证书编号：22051318272 检定单位：辽宁省计量科学研究院 检定有效期：2022 年 9 月 26 日至 2023 年 9 月 25 日
$\beta$ 表面污染	仪器型号及编号：AB3210 型 $\alpha$ 、 $\beta$ 表面污染测量仪（HDJC-SB01-064）
	量程： $\alpha$ ：10 <sup>2</sup> ~10 <sup>5</sup> min <sup>-1</sup> •2 $\pi$ sr； $\beta$ ：10 <sup>3</sup> ~10 <sup>6</sup> min <sup>-1</sup> •2 $\pi$ sr
	仪器检定证书编号：DF22Z-AQ254361 检定单位：北京市计量检测科学研究院 检定有效期：2022 年 2 月 22 日至 2023 年 2 月 21 日
监测方法	《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）； 《环境 $\gamma$ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）； 《表面污染测定 第一部分 $\beta$ 发射体（最大 $\beta$ 能量大于 0.15MeV）和 $\alpha$ 发射体》（GB/T14056.1-2008）；
资质证书编号	证书编号：19061205A030 有效期至：2025 年 11 月 11 日 发证机关：辽宁省质量技术监督局

### 5.2 质量控制

- （1）合理布设监测点位，保证各监测点位布设的科学性和可比性。
- （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）监测报告三级审核。

表六 验收监测内容

### 6.1 验收监测范围

根据《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》（生态环保部{2018}9号），参考本项目的环评报告和《辐射环境保护管理导则核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）要求，校验本项目竣工环境保护验收监测范围，见下表：

表 6-1 验收监测范围

阶段 类别	环评阶段	本次验收监测范围
辐射环境	以拟建 PET-CT 工作场所边界 50m 范围内作为评价范围。	以 PET-CT 工作场所边界 50m 范围内作为验收范围。

本次验收监测范围包含环评阶段范围，并对工作场所加密布点。

### 6.2 环境保护目标

通过实地调查，在项目竣工环境保护验收调查范围内无重要文物区、风景名胜区、自然保护区、水源保护区等生态敏感目标，50m 范围内居民楼位于 PET-CT 工作场所南侧 32m。调查范围内本项目的主要保护目标分为两类，主要为 PET-CT 诊断的辐射工作人员以及公众，公众主要包括医院内的其他工作人员及公众等。

本次验收保护目标与环评阶段一致，具体见表 6-2。

表 6-2 环境保护目标一览表

人群组		相对方位及距	常停留 人数	剂量 限值	剂量 约束值
职业 人员	分装人员	分装室内	1 人	20mSv/a	5.0mSv/a
	注射人员	注射室内	1 人		
	PET-CT 摆位人员	PET-CT 扫描间内	1 人		
	PET-CT 操作人员	操作间内	2 人		
公众	受检患者及家属	候诊室内	约 10 人	1mSv/a	0.1mSv/a
	门诊教学楼地下一层 其他工作人员及公众	PET-CT 工作场所四周	约 30 人		
	门诊教学楼一层皮肤科 工作人员及公众	PET-CT 工作场所楼上	约 30 人		
	门诊教学楼地下二层 停车场内公众	PET-CT 工作场所楼下	流动人员		
	居民楼	PET-CT 工作场所南侧，32m	约 200 人		

### 6.3 监测因子

参照本项目的环境影响报告，并根据《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》（生态环保部[2018]9 号），参考《工业 X 射线探伤放射防护要求》，本项目监测因子见下表：

表 6-3 环境监测因子核准表

阶段 类别	环评阶段	本次验收监测因子
辐射环境	(1) 室内、外环境 $\gamma$ 外照射剂量率； (2) 室内 $\beta$ 表面沾污测量； (3) 土壤和水体中总 $\beta$ 比活度分析。	(1) 室内、外环境 $\gamma$ 外照射剂量率； (2) 室内 $\beta$ 表面沾污测量； (3) 土壤和水体中总 $\beta$ 比活度分析。

本次验收监测因子与环评阶段一致。

### 6.4 监测内容

辽宁核源环境技术咨询服务有限责任公司委托辽宁恒大检测技术有限公司于 2022 年 11 月 16 日对大连大学附属中山医院 PET-CT 工作场所及周围环境进行室内、外环境 $\gamma$ 外照射剂量率监测； $\beta$ 表面沾污测量。

在污水处理系统和医疗垃圾房位置采取水样和土样，委托核工业东北分析测试中心分别进行土壤和水体的总 $\beta$ 比活度分析。

### 6.5 监测时段

监测时天气条件：2022 年 11 月 16 日，晴，西南风 3 级，环境温度 8℃，相对湿度 37%。

### 6.6 监测布点原则

以 PET-CT 工作场所为中心，分别以 25m、50m 为评价半径划 2 个同心圆，再按 45°圆心角分同心圆为 8 等份，截评价区域成 16 个子区，在每一个子区内布置一个 $\gamma$ 辐射剂量率监测点，同时，在 PET-CT 工作场所进行加密布点，进行 $\gamma$ 辐射剂量率的监测和 $\beta$ 表面沾污测量。

表七 验收监测结果

7.1 验收监测期间生产工况记录：

本项目验收监测工况见表 7-1：

表 7-1 核素  $^{18}\text{F}$  验收监测工况

科室	核素名称	设计单次最大用量	实际单次最大用量
核医学科	$^{18}\text{F}$	$3.7 \times 10^8 \text{ Bq}$	$3.7 \times 10^8 \text{ Bq}$

表 7-2 PET-CT 机验收监测工况

科室	设备名称	额定管电压 (kV)	实际操作管电压 (kV)	验收工况
核医学科	PET-CT	140	120	85.7%

7.2 验收监测结果：

7.2.1 验收监测结果

表 7-3 PET-CT 工作场所周围环境辐射剂量率监测结果

序号	监测点位	周围剂量当量率 (nGy/h)		备注
		开机	标准差	
1	PET-CT 工作场所	96	2.6	室内
2	门诊教学楼内地下一层停车场	85	1.6	室内
3	PET-CT 工作场所对应楼上皮肤科走廊	96	2.7	室内
4	门诊教学楼内地下一层停车场	85	1.9	室内
5	PET-CT 工作场所	97	2.5	室内
6	门诊教学楼内地下一层停车场	89	2.3	室内
7	PET-CT 工作场所对应楼上皮肤科走廊	83	2.2	室内
8	空地	88	2.6	室外
9	PET-CT 工作场所	97	2.8	室内
10	居民楼外	96	1.6	室外
11	PET-CT 工作场所对应楼下停车场	91	2.4	室内
12	空地	86	2.4	室外
13	PET-CT 工作场所	98	2.4	室内
14	门诊教学楼内地下一层原有核医学科外	76	1.9	室内
15	PET-CT 工作场所对应楼下停车场	78	2.3	室内
16	门诊教学楼内地下一层停车场	77	2.2	室内

注：监测数据未扣除宇宙射线的贡献值。

表 7-4 PET-CT 工作场所辐射剂量率监测结果

序号	监测点位	周围剂量当量率(nGy/h)		备注
		工作状态		
		室内	标准差	
17	患者走廊入口处	92	2.7	/
18	分装室北侧防护门外 30cm 处	465	5.1	有药物
19	分装室北侧墙体外 30cm 处	175	2.8	
20	分装室西侧墙体外 30cm 处	183	1.5	
21	分装室东侧墙体外 30cm 处	178	3.3	
22	分装室南侧防护门外 30cm 处	678	7.4	
23	分装柜表面 30cm 处	1.19×10 <sup>3</sup>	3.2	
24	注射室西侧防护门外 30cm 处	450	3.1	
25	注射室内源库防护门外 30cm 处	256	2.9	
26	注射室南侧墙体外 30cm 处	196	2.4	
27	注射室东侧墙体外 30cm 处	178	3.3	
28	注射窗（注射室内）	2.46×10 <sup>3</sup>	4.8	
29	注射窗（患者走廊）	420	6.3	
30	PET-CT 扫描室患者防护门外 30cm 处	185	3.7	患者注射药物后在 PET-CT 扫描间接受检查，PET-CT 开机
31	PET-CT 扫描室医生防护门外 30cm 处	168	3.5	
32	PET-CT 扫描间观察窗外 30cm 处	170	2.4	
33	PET-CT 扫描室东侧墙体外 30cm 处	168	2.8	
34	PET-CT 扫描间北侧墙体外 30cm	169	3.1	
35	PET-CT 扫描室内源库北侧墙体外 30cm 处	145	2.7	
36	PET-CT 床头 1m 处	2.34×10 <sup>3</sup>	8.5	
37	PET-CT 扫描间对应楼上	133	3.2	
38	PET-CT 扫描间对应楼下	95	2.5	
39	注射后 VIP 休息室南侧墙体外 30cm 处	96	2.5	有患者
40	注射后 VIP 休息室防护门外 30cm 处	226	4.7	
41	注射后休息室防护门外 30cm 处	240	3.1	
42	注射后休息室北侧墙体外 30cm 处	90	2.7	
43	衰变室南侧墙体外 30cm 处	91	3.2	有药物
44	衰变室防护门外 30cm 处	93	2.5	



45	衰变室北侧墙体外 30cm 处	89	2.5	
46	患者走廊出口处	96	2.9	/

注：监测数据未扣除宇宙射线的贡献值。

由监测结果可知，PET-CT工作场所屏蔽情况在工况下能够满足辐射防护要求。分装柜、注射窗处监测结果偏高，监测结果也小于2.5μSv/h。建议工作人员在分装、注射完成后，对工作台进行及时清洁。

**表 7-5 PET-CT 工作场所β表面污染监测结果**

序号	监测点位	β表面污染 (Bq/cm <sup>2</sup> )
1	分装室	地面
		0.11
		墙面
		0.23
2	分装柜	表面
		0.17
3	注射室	地面
		0.10
		墙面
		0.18
4	注射窗	表面
		0.32
5	注射台面	表面
		0.18
6	操作防护屏	表面
		0.18
7	注射室内源库	地面
		0.07
		墙面
		0.06
8	淋浴间	地面
		0.22
		墙面
		0.18
9	PET-CT 诊断床	表面
		0.06
10	PET-CT 诊断床	表面
		0.10
11	PET 扫描间内源库	地面
		0.03
		墙面
		0.04
12	注射后 VIP 休息室	地面
		0.10
13	注射后 VIP 休息室专用卫生间	地面
		0.22
14	注射后休息室	地面
		0.18
15	注射后休息室专用卫生间	地面
		0.16
16	衰变室	地面
		0.13
17	患者走廊	地面
		0.06
18	患者走廊	地面
		0.08

由表 7-5 监测结果可知，PET-CT 工作场所表面污染监测结果均在国家标准限值内。

**表 7-6 土样、水样总  $\beta$  比活度监测、分析数据表**

序号	取样地点	总 $\beta$ 放射性比活度 Bq/kg (L)
1	污水处理系统排水口水样	1.02
医疗机构水污染物排放标准限制 (Bq/L)		10Bq/L
2	医疗垃圾暂存土样	773
辽宁地区土壤总 $\beta$ 比活度本底水平 (Bq/kg)		( 420~1260) Bq/kg

监测结果表明，水样总 $\beta$ 比活度监测结果为1.02Bq/L，在排入城镇污水处理厂的水污染物排放标准，污水处理设施排放口总 $\beta$ 排放限值为10.0Bq/L内，符合《医疗机构水污染排放标准》（GB 18466-2005）中的限值要求。土样总 $\beta$ 比活度监测结果为773Bq/kg，在辽宁地区土壤总 $\beta$ 比活度本底水平为420~1260Bq/kg的范围内。

### 7.3 剂量估算

根据工作岗位及周围环境中人员的分布情况，评价范围内受照射人群组分为两类：一类是辐射工作人员，即分装、注射人员和 PET-CT 操作人员；第二类为公众，即医院内的其他工作人员及公众等。

#### 7.3.1 人群组划分

职业照射人员：分装、注射、摆位人员和 PET-CT 操作人员；

公众：评价区域内其他工作人员及公众。

#### 7.3.2 剂量估算

辐射环境对人群组产生的有效剂量当量用下式进行估算：

$$H_C = K \cdot D_\gamma \cdot t$$

式中： $H_C$ —有效剂量当量 (Sv)；

$K$ —有效剂量当量率与空气吸收剂量率比值，采用 1Sv/Gy；

$D_\gamma$ —环境地表 $\gamma$ 辐射空气吸收剂量率，Gy/h；

$t$ —环境中停留时间，h。

**表 7-7 辐射工作人员辐射环境所致年有效剂量估算结果**

人群组		时间 (h)	剂量当量率 (nGy/h)	所致剂量 (mSv/a)		剂量约束值 (mSv/a)
职业人员	分装人员	41.7	$1.19 \times 10^3$	0.05	0.15	5
	注射人员	41.7	$2.46 \times 10^3$	0.10		

	PET-CT 摆位人员	20.8	$2.34 \times 10^3$	0.05	0.40	
	PET-CT 操作人员	2083.3	170	0.35		

注：剂量当量率监测结果未扣除宇宙射线本底值。

由上表可知，职业工作人员所受年有效剂量计算结果均低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的职业照射人员 20mSv/a 的国家标准，亦低于本次验收的剂量约束值 5mSv/a。

**表 7-8 公众辐射环境所致年有效剂量估算结果**

人群组		时间 (h)	附加剂量率 (nGy/h)	所致附加剂量 (mSv/a)	剂量约束值 (mSv/a)
公众	受检患者及家属	2	/	/	0.1
	门诊教学楼地下一层其他工作人员及公众	2083.3	/	/	
	门诊教学楼一层皮肤科工作人员及公众	2083.3	/	/	
	门诊教学楼地下二层停车场内公众	2083.3	/	/	
	居民楼	2083.3	/	/	

由剂量估算结果可知，公众受到的剂量当量率接近大连地区本底水平，项目的运行不会对公众人群造成附加剂量影响，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的限值要求，亦低于本次验收的剂量约束值 0.1mSv/a。

表八 验收监测结论

1、大连大学附属中山医院 PET-CT 建设项目为新建项目，位于门诊教学楼地下一层，项目位置与环评一致。工作场所用房布局和“三区”划分与环评阶段一致，布局和“三区”划分合理。

2、医院已成立辐射防护领导小组，签订了辐射工作安全责任书，并制定了放射事故应急救援预案、操作规程、辐射安全管理等各项规章制度。工作人员在平时的工作中严格执行各项规章制度，可避免辐射事故的发生。

3、辐射工作人员均已参加辐射安全和防护考核并持证上岗，医院配备了辐射环境监测仪、报警仪，同时为工作人员配备了个人剂量计，定期送检。医院为每名辐射工作人员建立个人剂量档案，密切关注各工作人员所受剂量，截止目前，未发现辐射工作人员存在个人剂量超标情况。通过对各工作人员进行职业健康体检，各工作人员均可从事接触外照射作业。

4、PET-CT 工作场所控制区的入口处已设置规范的电离警示标志。在控制区患者入口和出口已设置单向门禁。扫描间防护门外已安装“射线有害、灯亮勿入”的工作状态指示灯。放射性废水经暂存衰变后能够符合排放限值要求；工作场所达到最多负荷运行每年产生放射性固体废物收集暂存衰变，符合清洁解控水平的废物按照医疗废物处置。将产生极少量的放射性废气从本建筑物楼顶 1.5m 排出，排放大气环境中会进一步稀释，远低于到处空气浓度限值。

5、现场监测结果表明，该项目在验收工况下，通过对大连大学附属中山医院 PET-CT 工作场所及其周围环境辐射现状进行监测，监测结果表明，PET-CT 工作场所屏蔽情况在工况下能够满足辐射防护要求，PET-CT 工作场所 $\beta$ 表面污染监测数值均在国家标准限值内。

6、剂量估算结果表明，项目运行时所致辐射工作人员及公众的年有效剂量均低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的国家标准限值要求，亦低于本报告的剂量约束值要求。

综上所述，大连大学附属中山院医 PET-CT 建设项目基本落实了环评及环评批复的各项管理要求。现场验收监测表明，PET-CT 工作场所辐射防护效果较好，建议本项目通过环境保护竣工验收。

建设项目竣工环境保护“三同时”验收登记表

填表单位（盖章）：

填表人（签字）：

项目经办人（签字）：

建设项目	项目名称	大连理工大学附属中山医院PET-CT建设项目			项目代码	2104-210202-04-01-331065			建设地点	大连市中山区解放街6号				
	行业类别（分类管理名录）	核与辐射			建设性质	新建 □改扩建 □技术改造			项目厂区中心经度/纬度	121° 38' 50.23" / 38° 54' 57.10"				
	设计生产能力	新建PET-CT工作场所1栋；核素 <sup>18</sup> F显像（内嵌半导体制冷工作场所）1台；PET-CT机（Ⅲ类射线装置）2台； <sup>60</sup> Co校准源（Ⅴ类射线装置）1台			实际生产能力	新建PET-CT工作场所1栋；核素 <sup>18</sup> F显像（内嵌半导体制冷工作场所）1台；PET-CT机（Ⅲ类射线装置）1台			环评单位	核工业北京化工冶金研究院				
	环评文件审批机关	辽宁省生态环境厅			审批文号	辽环审表[2021]29号			环评文件类型	报告表				
	开工日期	2021年8月			竣工日期	2021年12月			辐射安全许可证申领时间	2022年2月18日				
	环保设施设计单位	都市发展设计集团有限公司			环保设施施工单位	辽宁同达建设集团有限公司			辐射安全许可证编号	辽环辐证[01650]				
	验收监测报告编制单位	辽宁核辐射技术有限公司服务有限公司			环保设施监测单位	辽宁恒大检测技术有限公司、核工业北京分析测试中心			验收监测时工况	≥75%				
	投资总概算（万元）	2200			环保投资总概算（万元）	142.4			所占比例（%）	6.5				
	实际总投资	2267			实际环保投资（万元）	150.0			所占比例（%）	6.6				
	废水治理（万元）	0	废气治理（万元）	0	噪声治理（万元）	0	固体废物治理（万元）	0	绿化及生态（万元）	0	其他（万元）	0		
新增废水处理设施能力	0			新增废气处理设施能力	0			年平均工作时	2083.3h					
运营单位	大连理工大学附属中山医院			运营单位社会信用代码（或组织机构代码）	12110200792016982P			验收时间	2022年12月					
污染物达标与排放控制（工废项目填）	污染物	原有排放量(1)	本期工程实际排放量(2)	本期工程允许排放量(3)	本期工程产生量(4)	本期工程自身削减量(5)	本期工程实际排放量(6)	本期工程核定排放量(7)	本期工程“以新带老”削减量(8)	全厂实际排放量(9)	全厂核定排放量(10)	区域平衡替代削减量(11)	排放量(12)	
	废水	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	化学需氧量	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	氨氮	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	石油类	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	废气	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	二氧化硫	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	烟尘	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	工业粉尘	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	氮氧化物	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	工业固体废物	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	与项目有关的其他特征污染物	无	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		无	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
无		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

注：1、排放量增减：（+）表示增加，（-）表示减少。2、(12)=(6)-(5)-(8)-(11)+（1）。3、计量单位：废水排放量——万吨/年；废气排放量——万标立方米/年；工业固体废物排放量——万吨/年；水污染物排放量浓度——毫克/升。

## 附件

- 1、委托书
- 2、环评审批意见
- 3、辐射安全许可证
- 4、监测资质及监测报告
- 5、个人剂量检测报告
- 6、职业健康体检报告
- 7、辐射工作安全责任书
- 8、关于成立辐射防护安全与防护领导小组人员的通知
- 9、辐射事故应急预案
- 10、辐射安全防护管理制度
- 11、辐射工作人员培训制度
- 12、高活室工作制度
- 13、放射性三废处置方案
- 14、设备维护维修制度
- 15、台账管理制度
- 16、辐射工作监测方案
- 17、医疗废物处置合同