

# PET 中心改扩建项目

## 竣工环境保护验收监测报告

建设单位： 首都医科大学宣武医院

编制单位： 北京科欣科技发展有限公司

编制日期： 2019 年 11 月 2 日

# PET中心改扩建项目 竣工环境保护验收监测报告

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：于水

报告编写人：于水

|                   |                              |
|-------------------|------------------------------|
| 建设单位：首都医科大学宣武医院   | 编制单位：北京科欣科技发展有限公司            |
| 电话：010-83198353   | 电话：010-83818920              |
| 邮编：100053         | 邮编：100039                    |
| 地址：北京市宣武区长椿街 45 号 | 地址：北京市丰台区丰台路 139 号 1 幢 219 室 |

## 前言

首都医科大学宣武医院（以下简称“宣武医院”或“医院”）位于北京市西城区长椿街 45 号，是一所以神经科学和老年医学的临床与研究为特色，承担着医疗、教学、科研、预防、保健和康复任务的大型三级甲等综合医院。

宣武医院于 2017 年 12 月委托北京万澈环境科学与工程技术有限公司对其“PET 中心改扩建”项目进行了环境影响评价。原北京市环保局于 2018 年 1 月 15 日对该项目给予了同意建设的批复（京环审[2018]12 号）。该项目位于北京市宣武区长椿街 45 号的医院院区内，建设内容为：对院内东北侧 PET 中心一层现有辐射工作场所和其东侧的动物实验室普通场所进行整体改造和重新布局，增设 PET/MR 显像室、控制室、给药病人候诊室、患者专用通道、患者专用卫生间和医护人员缓冲间等场所。改扩建后 PET 中心使用的核素种类、使用量均维持不变，仍为乙级非密封放射性工作场所。新增使用 1 台上海联影医疗科技有限公司生产的一体化全身正电子发射/磁共振成像装备（PET/MR）样机，用于开展临床验证工作，配套使用 1 枚活度为  $7.4\text{E}+7\text{Bq}$ （V 类）的 Ge-68 密封校准源。

2018 年 5 月至 2018 年 10 月，宣武医院根据环评报告及环评批复提出的相关要求，完成了 PET 中心一层现有辐射工作场所和东侧的动物实验室的整体改扩建工作。宣武医院于 2018 年 10 月开始进行 PET/MR 设备安装，2019 年 3 月完成了设备调试工作。宣武医院于 2019 年 6 月重新申领了辐射安全许可证。

宣武医院委托浙江建安检测研究院有限公司分别于 2019 年 3 月和 2019 年 7 月对改扩建项目开展了现场监测和补充监测工作。

根据原环境保护部《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评〔2017〕4 号）、《建设项目竣工环境保护验收技术指南 污染影响类》（生态环境部 2018 第 9 号公告）、《北京市环境保护局办公室关于做好辐射类建设项目竣工环境保护验收工作的通知》（京环办〔2018〕24 号）等法规要求，首都医科大学宣武医院委托北京科欣科技发展有限公司编写了验收报告，对 PET 中心改扩建项目自行开展竣工环境保护验收。

## 1 项目概况

### 1.1 建设单位

首都医科大学宣武医院位于北京市西城区长椿街45号，是一所以神经科学和老年医学的临床与研究为特色，承担着医疗、教学、科研、预防、保健和康复任务的大型三级甲等综合医院。

医院占地面积7.5万m<sup>2</sup>，总建筑面积9.9万m<sup>2</sup>，正在扩建面积8万m<sup>2</sup>。目前编制床位数981 张，南扩一期完成后将增加至1461张；2016年门急诊量达到293.3万人次，出院病人达5.0万人次。全院职工2300多人，其中高级专业技术人员420余名，数十名学术上卓有建树的专家成为中国科学院院士、长江学者和享受政府特殊津贴的突出贡献专家。

医院设有32个临床科室、13个医技科室、10个卫生科研部门；目前拥有国家级重点学科2个，国家重点培育学科1个，共有神经内科、神经外科（含功能神经外科）、中西医结合脑科、重症医学科、老年医学科和护理专科6 个专科是国家级临床重点专科，并有北京市临床重点专科3个；医院还拥有教育部重点实验室1个、国家工程实验室1个和北京市重点实验室7个。

医院现已拥有脑磁图、PET/CT、3.0 T 磁共振成像系统、双源 CT、能谱 CT、SPECT/CT、双 C 臂数字减影血管造影机、彩色多普勒超声和全自动生化分析仪等高档精密诊疗、科研设备和仪器，以及设施完善的数字手术室和杂交手术室。

## 1.2 项目相关情况

PET 中心改扩建项目相关情况见表 1 所示。

表 1 项目基本信息

|                   |                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 项目名称              | PET 中心改扩建                                                                                                                                                                                                                                        |
| 建设单位              | 首都医科大学宣武医院                                                                                                                                                                                                                                       |
| 项目建设地点            | 北京市宣武区长椿街 45 号核医学科一层                                                                                                                                                                                                                             |
| 建设内容              | 对院内东北侧 PET 中心一层现有辐射工作场所和东侧的动物实验室进行整体改造和重新布局，增设 PET/MR 显像室、控制室、给药病人候诊室、患者专用通道、患者专用卫生间和医护人员缓冲间等场所。改扩建后 PET 中心使用的核素种类、使用量均维持不变，为乙级非密封放射性工作场所。新增使用 1 台上海联影医疗科技有限公司生产的一体化全身正电子发射/磁共振成像装备（PET/MR）样机，用于开展临床验证工作，配套使用 1 枚活度为 7.4E+7Bq（V 类）的 Ge-68 密封校准源。 |
| 建设项目性质            | 改扩建                                                                                                                                                                                                                                              |
| 环评报告表编制单位与完成时间    | 北京万澈环境科学与工程技术有限公司，2017.12                                                                                                                                                                                                                        |
| 环评报告表审批部门、文号、审批时间 | 原北京市环境保护局，京环审[2018]12 号，2018 年 1 月 15 日                                                                                                                                                                                                          |
| 开工、竣工和调试时间        | 开工时间：2018 年 05 月；竣工时间：2018 年 10 月；调试时间：2018.10-2019.3                                                                                                                                                                                            |
| 重新申领辐射安全许可证时间     | 2019 年 6 月 26 日                                                                                                                                                                                                                                  |
| 验收工作的组织与启动时间      | 验收工作由医院医工处组织，启动时间 2019 年 5 月                                                                                                                                                                                                                     |
| 验收范围与内容           | 1 处乙级非密封放射性工作场所。                                                                                                                                                                                                                                 |
| 环保验收监测单位          | 浙江建安检测研究院有限公司(CMA 161101060970)                                                                                                                                                                                                                  |
| 现场验收监测时间          | 2019 年 3 月 18 日/2019 年 7 月 17 日                                                                                                                                                                                                                  |

## 2 验收依据

### 2.1 建设项目环境保护相关法律、法规和规章制度

- 1) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，中华人民共和国主席令（2003 年第 6 号），2015 年 1 月 1 号实施；
- 2) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院令第 682 号，2017 年 10 月 1 日实施；
- 3) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令第 709 号修改，2019 年 3 月修订；
- 4) 《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》国环规环评〔2017〕4 号；
- 5) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，原环境保护部令（2008 年第 3 号），2019 年 8 月修订；
- 6) 《北京市环境保护局办公室关于做好辐射类建设项目竣工环境保护验收工作的通知》（京环办〔2018〕24 号）；
- 7) 《北京市生态环境局办公室关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》，京环办〔2018〕13 号。

### 2.2 建设项目竣工环保保护验收技术规范

- 1) 《建设项目竣工环境保护验收技术指南》，生态环境部公告，2018 年第 9 号；
- 2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；
- 3) 《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120-2006）；
- 4) 《医用放射性废物的卫生防护管理》（GBZ133-2009）；
- 5) 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）；
- 6) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2016）。

### 2.3 其它相关文件

- 1) 《PET 中心改扩建项目环境影响报告表》；
- 2) 原北京市环保局关于《PET 中心改扩建项目环境影响报告表的批复》（京环审[2018]12 号），2018 年 1 月 15 日；
- 3) 医院提供的相关材料和照片；
- 4) 浙江建安检测研究院有限公司出具的验收检测报告（GABG-KF17220708 和

GABG-KF17220708-1)。

### 3 项目建设情况

#### 3.1 地理位置及平面布局

宣武医院位于北京市宣武区长椿街 45 号，其东侧为长椿街，南侧为广安门内大街，西侧为报国寺社区，北侧为长椿里小区。地理位置见图 1 所示。



图 1 项目地理位置示意图

宣武医院核医学科楼是位于医院北门旁边的一个独立建筑（地上四层，地下二层）。在该建筑的地下二层安装有小型回旋加速器（CTI RDS111）、化学合成热室和自动化放射性药物合成模块等，地下一层是设备层，地上一层是 PET 中心，地上二层和三层分别为 PET/CT 检查区和 SPECT 检查区。为了支持国产创新医疗器械产品尽快上市，完成上海联影医疗科技有限公司产 PET/MR 的临床验证工作，宣武医院决定对一层的 PET 中心进行改扩建，以具备承担上海联影 PET/MR 的临床验证工作的场地条件。PET 中心所处位置见图 2 所示。

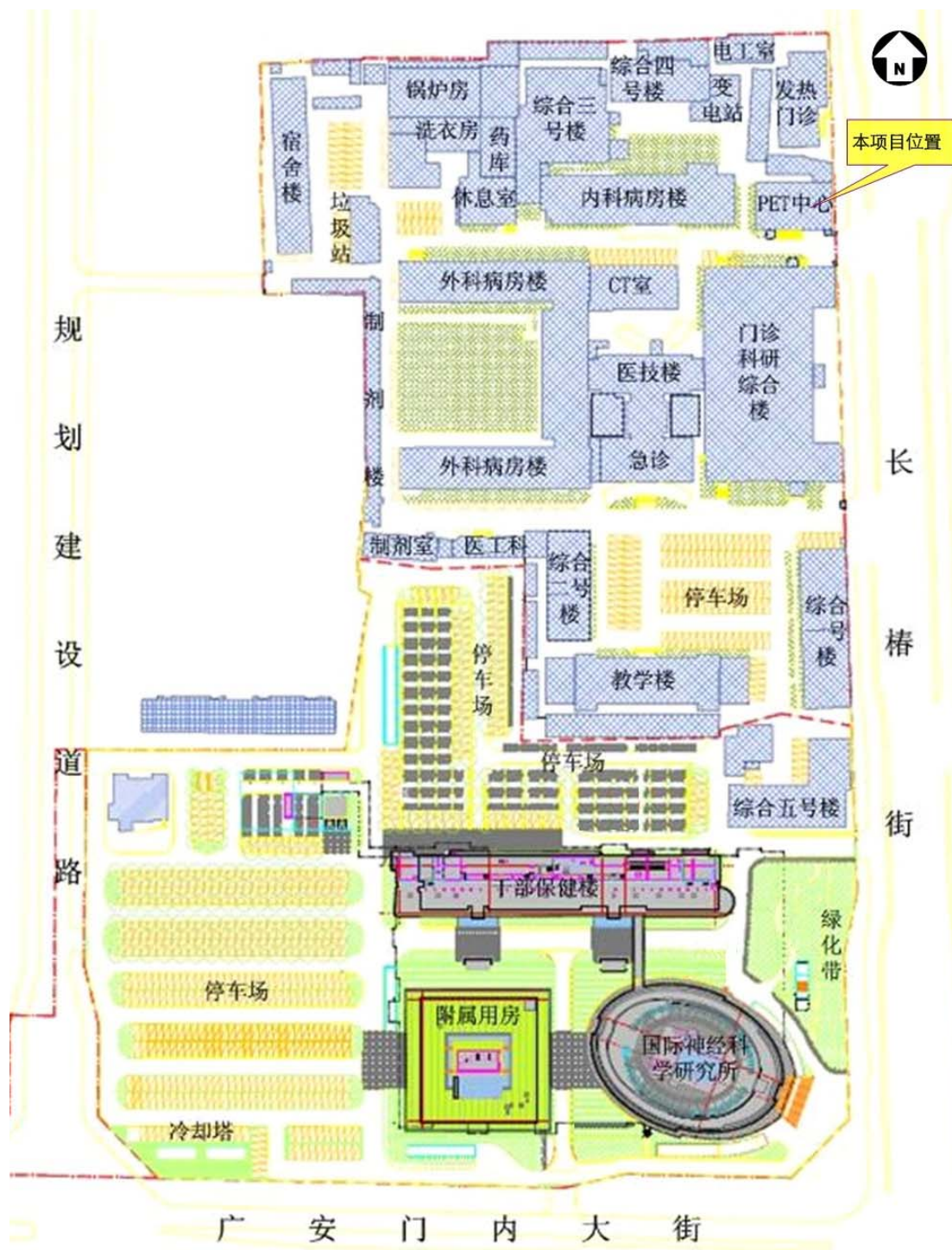


图 2 宣武医院平面布局示意图

PET 中心的改扩建方案是：将 PET 中心一层东侧的动物实验室进行改造，增设 PET/MR 机房、控制室和给药病人候诊室，并增设病人通道和医护人员缓冲间等，对 PET 中心整体布局进行优化，确保工作人员、患者及环境的辐射安全。项目完成改扩建后的平面布局如图 3 所示。PET 中心改扩建后，使用的非密封放射性同位素种类和用量维持不变，见表 2 所示。



表 2 PET 改扩建后使用非密封放射性同位素情况

| 序号 | 核素   | 单例最大<br>使用量<br>(MBq) | 规划检<br>查人数<br>(例/) | 日操作量<br>(Bq) | 毒性<br>因子     | 操作修正<br>因子  | 日等效<br>最大操<br>作量 | 年最大操作量<br>(Bq/a) |
|----|------|----------------------|--------------------|--------------|--------------|-------------|------------------|------------------|
| 1  | F-18 | 370                  | 20                 | 3.7E+10      | 0.01<br>(低毒) | 10<br>(很简单) | 3.7E+07          | 9.25E+12         |
| 2  | C-11 | 370                  | 8                  | 3.0E+09      | 0.01         | 1           | 3.0E+07          | 6.0E+11          |
| 3  | N-13 | 370                  | 8                  | 3.0E+09      | 0.01         | 1           | 3.0E+07          | 6.0E+11          |
| 4  | O-15 | 370                  | 8                  | 3.0E+09      | 0.01         | 1           | 3.0E+07          | 6.0E+11          |

注：同位素的日使用量维持原许可量。F-18 日等效操作量按照《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》进行核算。

改扩建后的 PET 中心工作场所划分控制区和监督区，实行分区管理。控制区包括：两间 PET/MR 机房、注射室、高活室、源库、两间给药后候诊室、受检者专用卫生间、废物间、受检者通道及留观区。监督区包括：附属设备间、两间控制室和缓冲间。

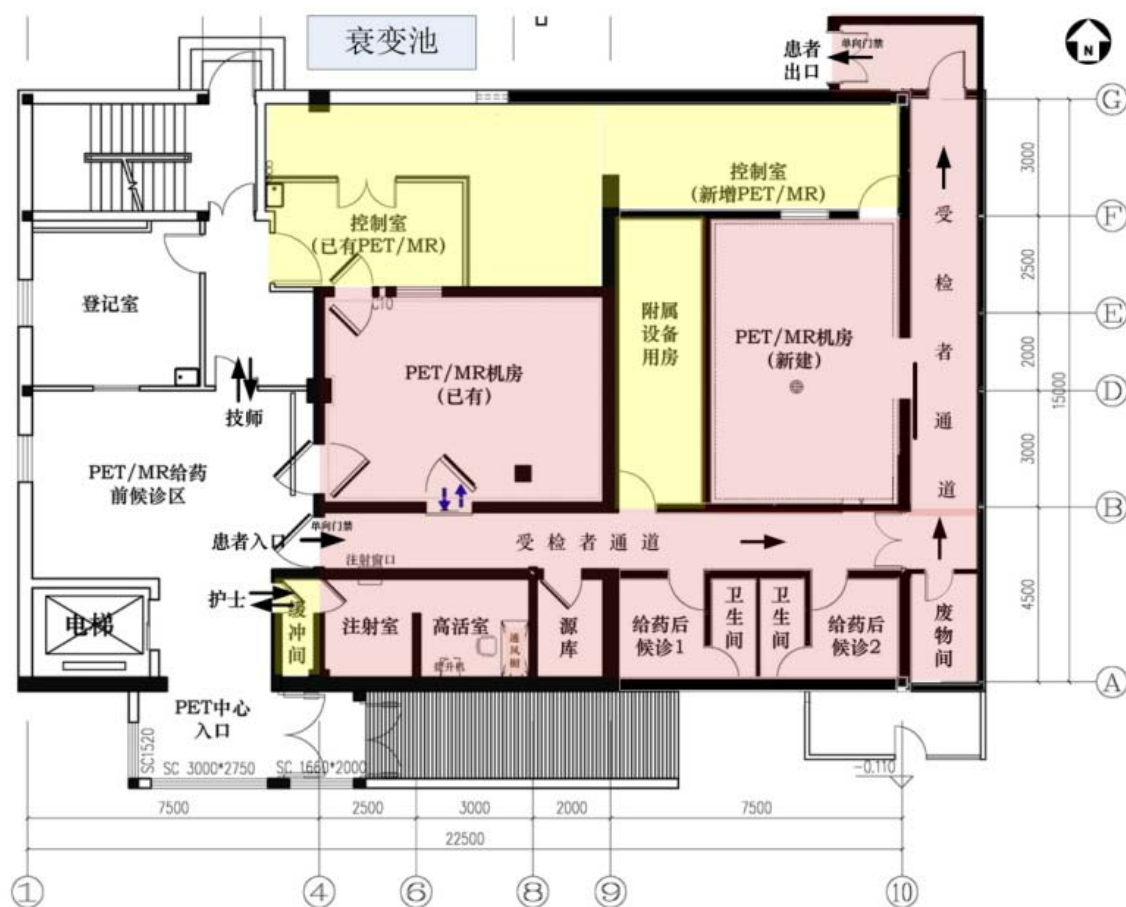


图 3 本项目一层 PET 中心平面布局示意图

图 4、图 5 分别给出了本项目 PET 中心放射性废水管网布置、衰变池平面和剖面结构示意图。

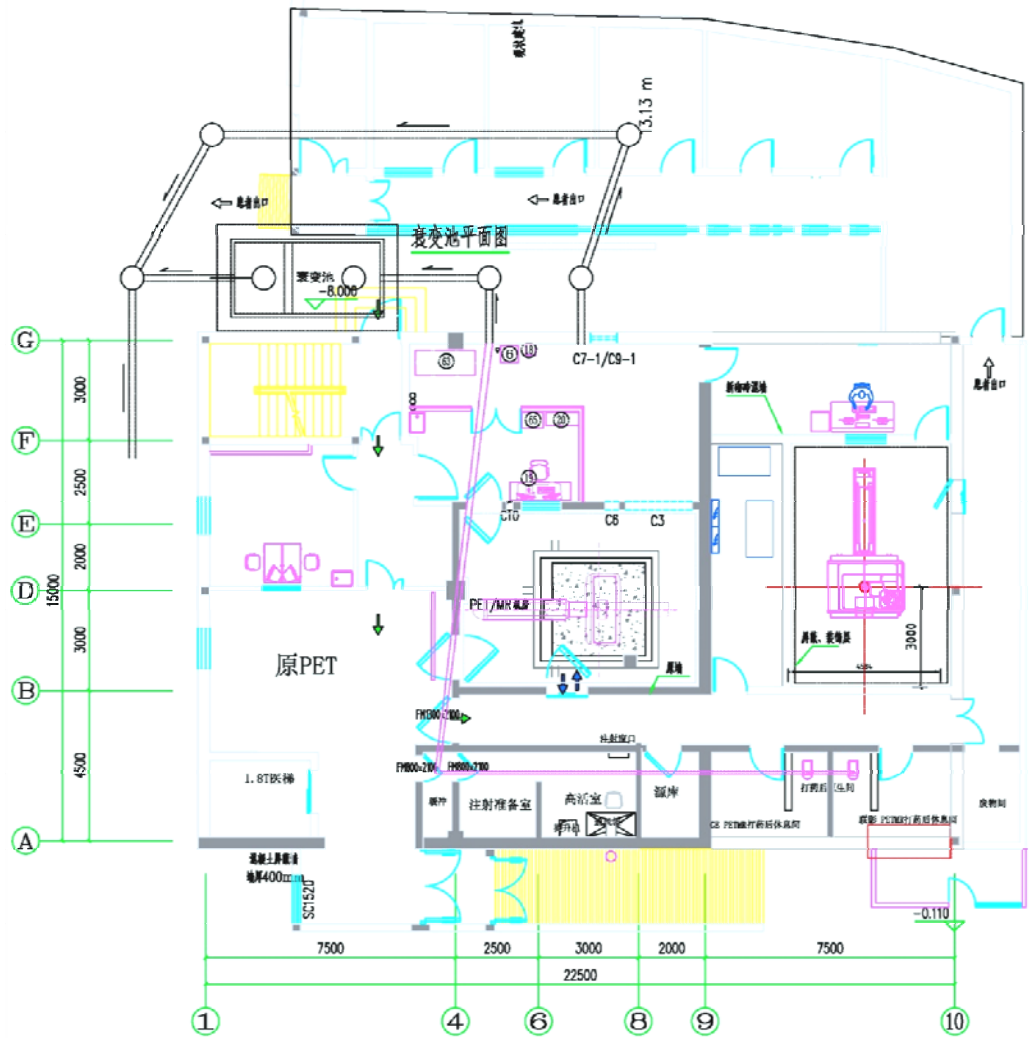


图 4 PET 中心放射性废水管网布置示意图

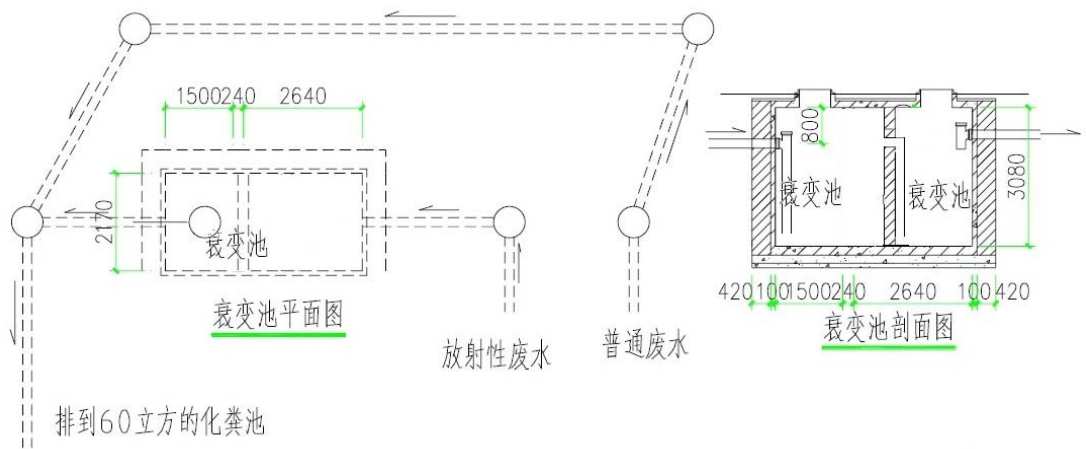


图 5 PET 中心衰变池平面和剖面结构示意图

### 3.2 本次验收的建设内容

原北京市环境保护局批复（京环审[2018]12 号）的建设内容为：对院内东北侧 PET 中心一层现有辐射工作场所和东侧的动物实验室进行整体改造和重新布局，增设 PET/MR 显像室、控制室、给药病人候诊室、患者专用通道、患者专用卫生间和医护人员缓冲间等场所。改扩建后 PET 中心使用的核素种类、使用量均维持不变，为乙级非密封放射性工作场所。新增使用 1 台上海联影医疗科技有限公司生产的一体化全身正电子发射/磁共振成像装备（PET/MR）样机，用于开展临床验证工作，配套使用 1 枚活度为  $7.4\text{E}+7\text{Bq}$ （V 类）的 Ge-68 密封校准源，见表 2。

本次验收内容与环评批复一致。

### 3.3 核医学扫描诊断装置（PET/MR）

核医学是采用核技术来诊断、治疗和研究疾病的一门新兴学科。它是核技术、电子技术、计算机技术、化学、物理和生物学等现代科学技术与医学相结合的产物。

本项目 PET 中心中涉及的内容为临床诊断使用放射性同位素显像检查，项目拟在原有 1 台 GE 产 PET/MR 基础上，新增使用 1 台 uMR790 型 PET/MR 一体机。新增设备外观如下图 6 所示：



图 6 uMR790 PET/MR 装置示意图

### 3.4 核医学工作场所基本情况

#### 3.4.1 核医学工作场所等级

根据本项目使用放射性药物的化学状态和操作方式，以及所含放射性核素生物学毒性和操作量，计算 PET 中心的等级。

本项目正式投入运行后，PET 中心将拥有 2 台 PET/MR 扫描装置。每完成 1 名患者的 PET 和 MR 扫描，需要大约 50min 时间，每台设备每天预计开展  $^{18}\text{F}$  最大检查人数为 10 人，故 PET 中心每天的  $^{18}\text{F}$  最大检查人数可达 20 例。每例注射量约 10mCi (370 MBq)，则日实际使用量不超过 7.4GBq，考虑衰减损失，每日最大使用量不超过 37GBq。F-18 核素属于低毒组，毒性修正因子为 0.01，使用方式为很简单操作（环办辐射函〔2016〕430 号），操作修正因子为 10，则 F-18 核素的日等效最大操作量为 3.7MBq。

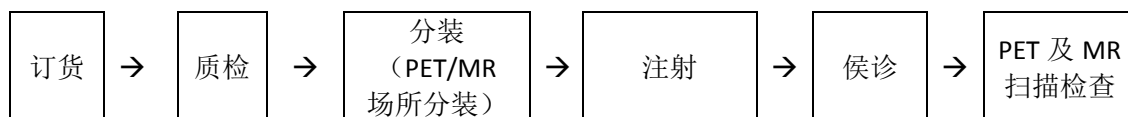
已许可的  $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$  和  $^{15}\text{O}$  日最大使用量为 3GBq，日等效最大操作量为  $3.7\text{E}+07\text{Bq}$ 。使用  $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$  和  $^{15}\text{O}$  时，将会减少  $^{18}\text{F}$  的使用量。综合考虑，PET 中心的放射性核素总的日等效最大操作量为  $3.7\text{E}+07\text{Bq}$ ，属乙级非密封放射性物质操作场所。

#### 3.4.2 药物来源

项目使用的放射性药品由宣武医院核医学科配备的回旋加速器自行制备。科室将根据预约检查人数及检查项目，提前一天向回旋加速器制备人员预定放射性药品使用量。每天早上，放射性药物由回旋加速器室专用电梯送至一层 PET/MR 高活室备用。

#### 3.4.3 患者接受检查流程

放射性同位素显像医学检查的工作流程：含示踪核素的放射性药物经由静脉注射方式进入受检者体内，药物分布到特定器官并释放  $\gamma$  射线，利用 PET 探测成像仪器进行扫描和显像，之后利用 MR 扫描图像进行影像融合。检查工作流程如下：



1、订药：根据预约的检查人数及检查项目，提前告知回旋加速器需要制备的  $^{18}\text{F}$  标记放射性药物用量。

2、质检：回旋加速器场所负责药物的质检。然后由药物电梯从地下一层运至一层的 PET 中心高活室，然后暂存于高活室内。

3、分装： $^{18}\text{F}$  标记的放射性药物在一层的 PET 中心高活室的通风橱内进行分装。

4、注射：在注射窗口防护下，给受检人员注射放射性药物，然后将废注射器装入铅屏蔽盒内暂存。

5、检查：受检人员在“给药后候诊”内等候（15min~60min），待药物在身体内有一定程度的代谢后，进行 PET/MR 扫描检查。受检者在扫描检查后，如无不良反应即刻离开 PET 中心，如有不适则在候诊室留观 15min 后离开 PET 中心。

### 3.4.4 放射性核素辐射特性

$^{18}\text{F}$  等正电子药物的物理半衰期很短，主要发射  $\gamma$  射线、正电子（ $\beta^+$ ）。设备校验用  $^{68}\text{Ge}$  密封放射源发射  $\gamma$  射线和  $\beta$  射线。本项目使用的放射性核素主要物理参数列于表 3。

表 3 项目使用的放射性核素主要参数

| 核素    | 半衰期     | 衰变方式     | 主要射线及平均能量 (MeV)                 |
|-------|---------|----------|---------------------------------|
| F-18  | 110min  | I.T      | $\gamma$ —0.511                 |
| C-11  | 20min   | I.T      | $\gamma$ —0.511                 |
| N-13  | 10min   | I.T      | $\gamma$ —0.511                 |
| O-15  | 2min    | I.T      | $\gamma$ —0.511                 |
| Ge-68 | 270.95d | $\gamma$ | $\beta$ —0.725; $\gamma$ —0.103 |

### 3.4.5 使用放射性核素污染途径分析

#### 1. 正常工况的污染途径

1) 放射性药物经由静脉注射进入患者体内，分布到特定器官并释放  $\gamma$  射线。因此，本项目污染因素主要是  $\gamma$  射线，以及使用放射性物质过程中，产生的放射性废水和放射性固体废物。

放射性废水主要来自于卫生间冲刷废水，高活室洗手废水、冲洗拖布废水。放射性固体废物主要来源于患者使用的注射器、棉棒、一次性个人防护用品和垫布等物品。

本项目使用  $^{68}\text{Ge}$  密封放射源，因半衰期较短(270.95d)，每隔 1-2 年需更新，故会产生废旧放射源。

## **2. 非正常工况的污染途径**

**放射性表面污染：**在使用放射性同位素的过程中，因容器破碎，药物泼洒等，有可能污染工作台、地面、墙壁、设备等，甚至造成手和皮肤的污染。此外，给药患者呕吐或者排泄，也可能导致局部环境的放射性污染。

放射源或放射性药物保管不当，发生遗失或被盗。放射源失控可能造成环境放射性污染。PET 中心设有满足公安部门安保条件的源库，在源库在贮存放射源，采用双人双锁和技防系统进行管理，执行使用登记管理制度，可有效防止放射源和同位素被盗和丢失事件的发生。

放射性废物处置或管理不当，造成环境放射性污染。

## **3.5 项目变动情况**

**建设内容与环评及批复一致，无变动。**

## **3.6. 辐射安全许可证情况**

首都医科大学宣武医院持有北京市生态环境局颁发的《辐射安全许可证》(京环辐证[D0017])。许可的种类和范围是：使用 V 类放射源, 使用 II、III 类射线装置, 乙级非密封放射性物质。有效期至2022年8月21日。辐射安全许可证正副本及台帐复印件见附件2。

## **4. 环境保护设施落实情况**

### **4.1 辐射安全防护设施/措施具体要求（环评文件）**

#### **(1) PET 中心原有的辐射安全及与防护设施**

1. PET 中心工作场所实行分区管理，划为辐射安全管理控制区和监督区。在控制区出入口有安装单向门禁系统，防止无关人员进入控制区。控制区入口上张贴电离辐射警告标识，警示无关人员不要进入或者不要长久停留。

2. 外照射防护：核素操作、受检人员候诊和扫描场所外围墙体采用实体屏蔽措施，顶棚为混凝土浇筑，患者进出通道门安装铅制防护门。扫描机房安装铅制防护门（具有防夹功能），观察窗安装铅玻璃。

3. 内照射的防护：高活室内配备了通风橱，通风量能保证通风橱半开时风速不低于 1m/s，并配套有活性炭过滤器，废气经过滤后由专用排风管道引至内科病房楼顶部排放，高度 35m。

4. 放射性废水收集处置：PET 中心高活室内洗手池（拖布池）废水，以及给药后患者专用卫生间的冲厕废水，通过专用管道一并进入放射性废水衰变池。核医学科楼北侧设有推流式衰变池，其总容积约为  $22.9\text{m}^3$  ( $8.3\text{m}^3+14.6\text{m}^3$ )，能够满足《北京市生态环境局办公室关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》规定的至少暂存 30 天的清洁解控要求。清洁解控排放的废水，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，并详细记录“放射性废水暂存、处置管理台账”。

5. 妥善收集固体放射性废物：注射窗旁设一个含 20mm 铅的废物桶，废弃的放射性药物、注射器、包装物、棉棒、一次性用品等物品放入该铅制废物桶，次日早上转移至核医学科放射性废物间。核医学科废物间设置 2 个 10mm 铅的废物桶（容积 20L），一个废物桶储存满后更换另一个，轮流使用。依照《北京市生态环境局办公室关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》，放射性固废放置至少一个月后，自行对表面污染和辐射水平进行监测，监测结果未见异常且与周围环境本底一致时，将放射性固体废物清洁解控，按照医疗废物进行处置，并详细记录放射性固体废物暂存、处置管理台账。

6. PET 中心设置源库，用来贮存 V 类校验密封源。设置闭路监视和放闯入等技防系统，安装有防盗门，符合公安地标要求。PET 中心建立密封校验源管理台账和使用登记制度，严防放射源和放射性药品丢失。密封源退役时，送交城市放射性废物库。

7. PET 中心配置 1 台表面污染和 1 台剂量率仪，用于表面污染和剂量率水平的检测。辐射工作人员通过辐射安全与防护培训后上岗工作。

8. 放射性药物从地下二层由专用电梯运至一层高活室，防止药物转运过程中造成环境污染。

## **（2）PET 中心拟完善的辐射安全及与防护设施**

1. 完善“人流”通道：受检者从 PET 中心西南侧入口进入控制区，沿着受检者通道由东北侧出口离开，可有效避免人员交叉，受到不必要的辐射照射；工作人员经缓冲间进入/离开高活室，可有效避免放射性污染扩散至普通环境。

2. 完善表面污染控制措施：场所改扩建后，高活室、注射室、扫描室和控制区走廊地面铺装硬质无缝 PVC 地板革，墙面粘贴釉面砖或者装饰板，便于去污。通风橱和操作工作台面选用表面光洁、耐腐蚀、防渗漏、易去污的材料。

3. 完善放射性废物暂存设施：在 PET 中心控制区新增废物间，用来暂存 PET 中心场所产生的放射性废物。

4. 完善病人卫生间设置：在控制区内设置 2 个给药病人卫生间，冲厕废水排入已有的放射性废水衰变池内，解决原来病人卫生间设置不合理的问题。

5. 完善放射性药物注射环节的防护措施：在注射室设置镶嵌在墙体內的注射窗，注射护士隔防护窗注射放射性药物，可有效减少注射环节的受照剂量。

6. 完善控制区出入管理：入口处设置受检者“只进不出”单向门禁系统，出口处设置受检者“只出不进”单向门禁系统。

#### 4.2 辐射安全管理具体要求（环评文件）

（一）辐射安全管理机构：医院已经设置了放射防护与辐射安全管理领导小组作为专门管理机构，并指定了专人负责辐射安全与放射防护管理工作。

（二）辐射安全管理规章制度：医院现已制定了一系列辐射安全管理制度，包括《辐射安全管理体系和岗位职责》《操作规程》《辐射防护和安全保卫制度》《设备检修维护制度》《放射工作人员管理制度》《台帐管理制度》《辐射工作场所及环境监测方案》《放射诊疗设备质量保证与控制制度》《放射性废物管理制度》《辐射事故应急预案》等。结合本项目实施，将对现有规章制度进行梳理和完善。

（三）辐射工作场所监测：根据环保部 18 号令的要求，每年委托有资质单位对射线装置和非密封放射性物质工作场所周围的辐射水平进行 1 次监测。每年委托有资质单位对衰变池出口处放射性废水的活度浓度进行 1 次监测，验证废水达标排放情况。

根据《北京市辐射工作场所辐射环境自行监测办法（试行）》要求，对射线装置和非密封放射性物质工作场所周围的辐射水平，以及非密封场所内的表面污染水平开展自行监测，检测记录归档。

（四）个人剂量监测：本项目拟配备的辐射工作人员均已配备个人剂量计，并建立个人剂量监测档案。

（五）辐射工作人员培训：医院现有的辐射工作人员均已进行了辐射防护培训。本项目拟配备的辐射工作人员均已参加辐射安全与防护培训。

（六）辐射事故应急预案：医院已制定了辐射事故应急预案，该预案能够满足本项目的需求。

（七）年度评估报告：医院每年将继续严格依据相关法律法规对医院辐射



工作的安全和防护状况进行年度评估，编写并及时向环境保护主管提交。

4.3 机房屏蔽落实情况

(1) PET 中心改建方案

将 PET 中心东侧的动物实验室扩建为 PET/MR 工作场所。PET 中心和动物实验室的原来的布局见图 7 所示。PET 中心经改扩建后，目前的布局见图 8 所示。

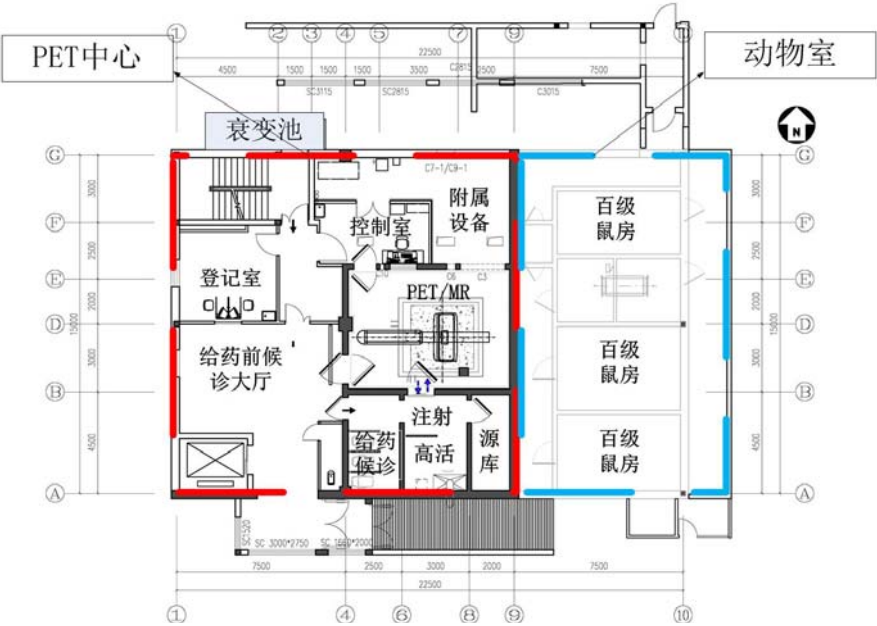


图 7 改建前 PET 中心场所平面布局示意图

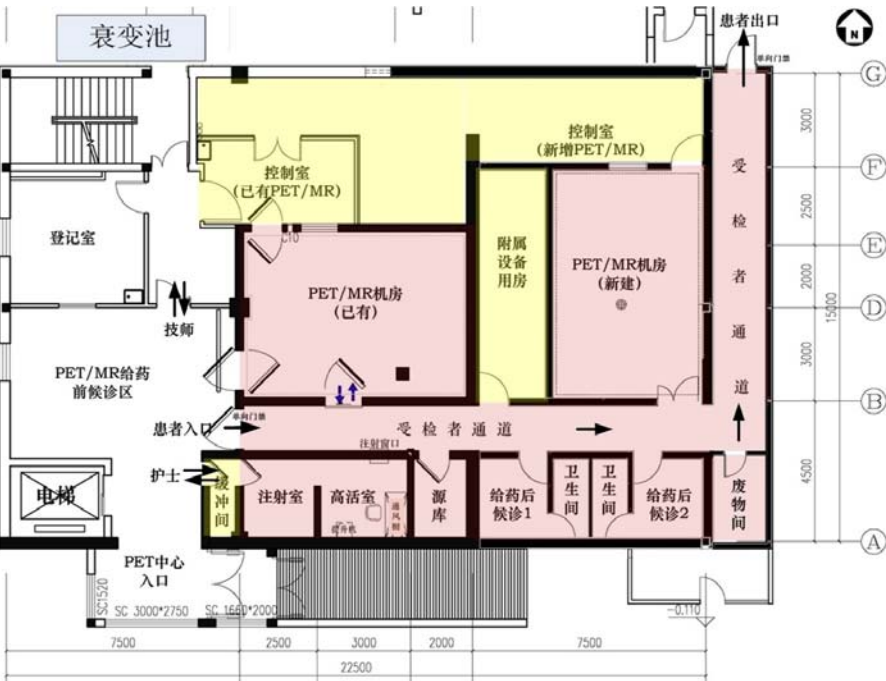


图 8 改建后 PET 中心平面布局示意图

PET 中心所在建筑为四层,地下二层为回旋加速器场所,地下一层为设备间,地上一层为 PET 中心(本项目),地上二层为核医学科 PET/CT 诊断场所,地上三层为 SPECT/CT 诊断场所,局部地上四层为会议室。

本次改扩建只涉及 PET 中心一层区域。改建方案为:将 PET 中心一层东侧原来动物实验室进行改造用做 PET 中心扩建场所,增设 PET/MR 机房、控制室、给药病人候诊室以及病人通道。将原来 PET 中心给药候诊进行改造,增设缓冲间,改建后 PET 中心一层平面布局见图 8 所示。

本次改扩建不涉及地下二层回旋加速器部分,该场所使用的放射性同位素种类和用量维持不变。

## (2) PET 中心屏蔽设计方案

PET 中心改造后实体屏蔽方案见表 4 所示。一层 PET 中心地板和顶板均为 20cm 厚混凝土结构,改建后维持不变。

表 4 PET 中心工作场所改建方案

| 场所名称                    | 使用功能                              | 实体屏蔽改造方案                                                                                              |                                                                                                                                                        |
|-------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                         |                                   | 原来情况                                                                                                  | 改建方案                                                                                                                                                   |
| 缓冲间                     | 进入高活区缓冲间                          | 病人厕所                                                                                                  | 1) 停用该厕所。改建为医护人员进入高活室的缓冲间。                                                                                                                             |
| 注射室                     | 注射显像药物                            | 给药病人候诊室。<br>北墙 250mm 砼,东墙 200mm 砼,西墙 250mm 砼,南墙 350mm 砼;屋顶、地面 200mm 砼;防护门含 6mm 铅。                     | 1) 现为给药后病人候诊室,改建为注射室。<br>2) 北侧增加 250mm 砼墙,与 PET/MR 机房之间留出 1.47m 的病人通道。<br>3) 其它墙体、屋顶和底板不变。<br>4) 地面敷设易去污材料。                                            |
| 高活室                     | 暂存放射性药物;分装显像药物                    | 现为高活室。<br>北墙 250mm 砼,东墙、西墙 200mm 砼;南墙 350mm 砼;屋顶、地面 200mm 砼;防护门含 6mm 铅。                               | 改建后仍做高活室。<br>1) 北侧增加 250mm 砼墙,与 PET/MR 机房之间留出 1.47m 的病人通道。<br>2) 其它墙体、屋顶和底板不变。<br>3) 地面、台面敷设易去污材料。                                                     |
| 源库                      | 贮存校验源                             | 1) 原来源库。已通过公安部门认可。<br>2) 北墙为 250mm 砼,东墙为 400mm 砼,南墙为 350mm 砼,西墙为 200mm 砼。<br>3) 屋顶、底板 200mm 砼。安装有防盗门。 | 改建后,源库维持不变。<br>北侧增加 250mm 砼墙,与 PET/MR 机房之间留出 1.47m 的病人通道。                                                                                              |
| 给药后候诊室 1 (通用 PET/MR 扫描) | 注射 $^{18}\text{F}$ 药物的患者在扫描前等候、休息 | 原来为百级鼠房。                                                                                              | 1) 保留西墙(400mm 砼)和南墙(250mm 砼),重建北墙(250mm 砼)和东墙(200mm 砼);增设 6mm 铅防护门。<br>2) 北侧墙体与新建的 PET/MR 机房之间留出 1.47m 的病人通道。<br>3) 屋顶、底板 200mm 砼保持不变。<br>4) 地面敷设易去污材料 |

|                            |                                   |                                                                                              |                                                                                                                                                                 |
|----------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 给药后候诊室 2<br>(联影 PET/MR 扫描) | 注射 $^{18}\text{F}$ 药物的患者在扫描前等候、休息 | 原来为百级鼠房。                                                                                     | 1) 保留东墙 (350mm 砼) 和南墙 (250mm 砼), 重建北墙 (250mm 砼) 和西墙 (200mm 砼), 增设 6mm 铅防护门。<br>2) 北侧墙体与新建的 PET/MR 机房之间留出 1.47m 的病人通道。<br>3) 室顶、底板 200mm 砼保持不变。<br>4) 地面敷设易去污材料。 |
| 通用 PET/MR 机房<br>(已有)       | PET/MR 扫描                         | 2015 年已改建为通用 PET/MR 机房。<br>西侧、北侧、南侧墙体为 250mm 砼, 东墙为 350mm 砼。室顶、底板 200mm 砼。观察窗和防护门铅当量不低于 6mm。 | 该机房维持不变。                                                                                                                                                        |
| 联影 PET/MR 机房<br>(新建)       | PET/MR 扫描                         | 现为百级鼠房。                                                                                      | 1) 保留东墙 (300mm 砼), 重建北墙、南墙和西墙 (250mm 砼);<br>2) 观察窗和防护门铅当量不低于 6mm 铅当量。<br>3) 室顶、底板 200mm 砼保持不变。<br>2) 南侧墙体与给药后候诊室之间留出 1.47m 的病人通道。                               |
| 受检者通道                      | 给药患者通道                            | 现有通道。<br>墙体 300mm 砼, 东墙 200mm 砼。                                                             | 改建后保持不变                                                                                                                                                         |
| 废物间                        | 暂存放射性废物                           | 通道                                                                                           | 改建为废物暂存库。<br>保持东侧、南侧和西侧墙体不变, 重建北墙 (250mm 砼), 安装防护门。                                                                                                             |

改扩建完成后, PET 中心设置有辐射工作区和普通工作区。辐射工作区有 2 间 PET/MR 机房和 2 个操作间、2 间给药后候诊室、2 个病人专用卫生间、高活室、注射室、源库, 废物间、放射性废水衰变池、缓冲区。普通区域设有登记室, 给药前受检人员候诊室等。

### 1) 功能分区

PET 中心辐射工作场所实行分区管理。其中, PET/MR 机房、高活室、注射室、给药后候诊室、高活室、注射室, 源库及专用卫生间作为控制区进行管理, 严格限制非工作人员和受检者进入。缓冲间作为监督区进行管理, 限制非工作人员进入。具体分区情况如图 8 所示。

### 2) 患者就诊流程

患者按照预约时间, 从核医学楼南侧入口进入 PET 中心, 在登记室登记后—→进入检查前候诊区候诊—→通过门禁从“患者入口”进入控制区, 在注射室窗口接受注射—→给药后候诊室—→PET/MR 扫描检查—→沿东侧病人通道, 从东北侧带有门禁的防护门离开 PET 中心工作场所。可见, 受检人员设有专用通道, 和医

护人员通道不交叉，且受检人员单向流动。

### 3) 工作人员流程

PET/MR 操作人员和摆位人员：从核医学楼南侧入口进入 PET 中心，经大厅在操作室门口更换工作服和拖鞋——→在控制室操作设备、在机房内对受检人员进行摆位——→工作完毕，在操作室门口处更换工作服和拖鞋，离开 PET 中心。

药物分装和注射人员：核医学楼南侧入口进入 PET 中心，经大厅，从进入缓冲间，在此更换工作服和拖鞋——→在高活室分装药物，在注射室内给受检人员注射药物——→离开时，在缓冲间更换工作服和拖鞋，然后离开缓冲间。

可见，工作人员设有专用通道，和给药后受检人员通道不交叉，避免不必要照射。

### 4) 药物流转路线

放射性药物由专用药物电梯，从地下一层回旋加速器分装间，直接送往一层 PET 中心高活室，PET 中心工作人员核对放射性药物规格和数量，办理签收手续，并将放射性药品暂存源库备用。源库设有技防措施，已通过公安部门安保验收。

### 5) 放射性废物转移路线

注射窗旁设置一个含20mm铅的废物桶。废弃的放射性药物、注射器、包装物、棉棒、一次性用品等物品放入铅制废物桶（5L），于次日早晨转移至PET中心废物间。废物间设置2个含10mm铅的废物桶（20L），废物桶交替使用，一个废物桶储存满后更换另一个，待放射性固废放置一段时间符合清洁解控要求后，作为医疗废物处理，并详细记录“放射性固体废物暂存、处置管理台账”，内容包括废物分类、所含核素名称，重量，暂存起止时间，表面污染和辐射剂量自测结果，废物处置日期，处置操作人员，废物去向，部门审核人员等内容。

### 6) 放射性废水暂存和排放

PET 中心产生的放射性废水为给药受检人员专用卫生间产生的冲厕废水、高活室产生的洗涤废水。这些放射性废水经独立的排水管道(水平管道使用 3mm 铅包裹)排入位于核医学楼北侧的放射性废水衰变池(推流式，2 池总容积约为 22.9m<sup>3</sup>，分别为 8.3 m<sup>3</sup> 和 14.6m<sup>3</sup>)，暂存衰变周期不低于 3 个月，废水中 F-18 等核素的总活度将衰变接近于零，能够满足低放废液的排放要求。衰变池排出的废水，将流入院内污水处理站进一步处理后排至市政污水管网。

PET 中心放射性废水排水管网设置以及衰变池平面和剖面布局见图 5 所示。

放射性废水收集暂存，最终达标排放至医院污水处理站，进一步处理后排放进入市政官网。

**7) 放射性废气组织路径**

高活室内配置 1 个有独立排风的通风橱。通风橱排风管道沿墙壁引至核医学楼顶部排放。在通风橱内操作放射性药物时，要求通风橱（半开时）的风速大于 1.0m/s。

**4.4 一层 PET 中心辐射安全与防护设施/措施落实实物照片**

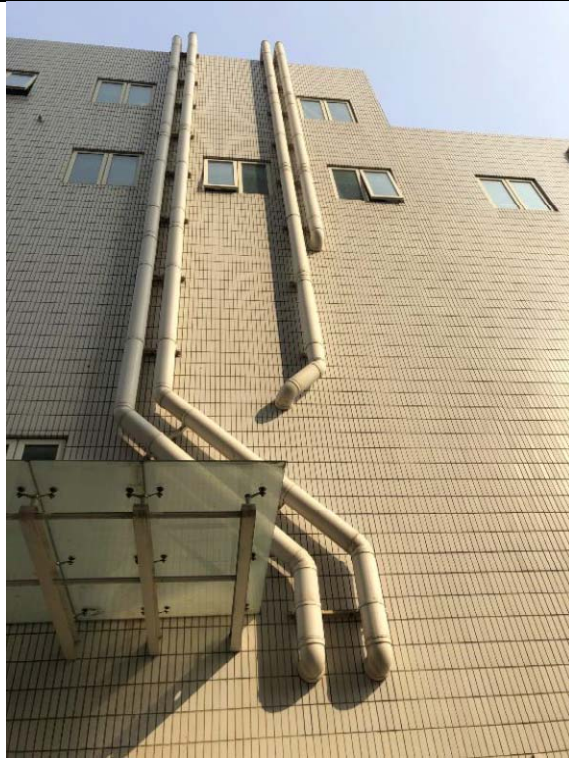
2019年9月2日验收报告编制单位对项目现场进行了验收调查，一层PET中心辐射安全与防护设施/措施落实实物照片见表5。

**表 5 一层 PET 中心辐射安全与防护设施/措施落实实物照片**

| 序号 | 环评报告及其批复要求                                                                                                                                                                         | 落实情况                                                                                                                                              |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | PET 中心辐射工作场所均须采取不低于本报告表中的实体屏蔽防护措施，确保场所控制区边界外的辐射剂量率不大于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 。控制区、监督区（工作台、设备、墙壁和地面）表面污染控制水平（ $\beta$ 放射性物质）分别不大于 40Bq/cm <sup>2</sup> 、4Bq/cm <sup>2</sup> （环评批复要求）。 | 验收检测结果表明，场所控制区边界外的辐射剂量率不大于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 。控制区、监督区（工作台、设备、墙壁和地面）表面污染控制水平（ $\beta$ 放射性物质）分别不大于 40Bq/cm <sup>2</sup> 、4Bq/cm <sup>2</sup> 。   |
| 2  | 放射性废水衰变池总体积不小于 22.9m <sup>3</sup> 。衰变池排水口废水排放前须监测，确保排放口排水总 $\beta$ 排放限值不大于 10Bq/L，每次排放                                                                                             |  <p>地埋推流式放射性废水衰变池（2 格 8.3m<sup>3</sup>+14.6m<sup>3</sup>）</p> |

|   |                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                             |
|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   | <p>的活度不超过1ALImin，每月排放的总活度不超过10ALImin（环评批复要求）。</p>                                                                                                                 | <p>废水检测结果显示，I-131 浓度低于 0.23Bq/L，其它核素未检出，总活度低于 10Bq/L 排放限值。每月排放的总活度不超过 10ALImin。</p>                                                                         |
| 3 | <p>标记、分装和操作放射性药物应在专用通风橱内进行操作，高活室、注射室、PET/MR 显像室、给药患者候诊室、患者专用卫生间、放射性药物和放射源暂存库、废物间、缓冲间均须设置排风口，放射性废气有组织排入独立的排风管道，经过滤装置过滤后高于建筑屋脊排放，排出空气浓度不应超过有关法规标准规定的限值（环评批复要求）。</p> | <div data-bbox="659 454 1270 1261" data-label="Image"> </div> <p>高活室专用通风柜</p> <div data-bbox="571 1308 1339 1814" data-label="Image"> </div> <p>活性炭过滤系统</p> |





排放口及独立排放管道  
室外排风口



排风管的止回阀