核技术利用建设项目

苏州大学
新建 1 台工业辐照用加速器项目
环境影响报告表

苏州大学

2024 年 6 月

目录

表 1 项目基本情况 1

表 2 放射源 15

表 3 非密封放射性物质 15

表 4 射线装置 15

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物） 16

表 6 评价依据 17

表 7 保护目标与评价标准 20

表 8 环境质量和辐射现状 30

表 9 项目工程分析与源项 36

表 10 辐射安全与防护 43

表 11 环境影响分析 55

表 12 辐射安全管理 67

表 13 结论与建议 72

附表 “三同时”措施一栏表

附件一 环评委托书

附件二 射线装置使用承诺书

附件三 环境现状检测报告

附件四 学校现有辐射安全许可证正副本

附件五 辐射工作安全责任书

表 1 项目基本情况

<table>
<tr><td colspan="2">建设项目名称</td><td colspan="7">新建 1 台工业辐照用加速器项目</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="7">苏州大学（社会信用代码 123200004660073435）</td></tr>
<tr><td colspan="2">法人代表</td><td></td><td>联系人</td><td></td><td>联系电话</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">注册地址</td><td colspan="7">苏州市十梓街 1 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目建设地点</td><td colspan="7">苏州市仁爱路 199 号苏州大学独墅湖校区 906 号楼</td></tr>
<tr><td colspan="2">立项审批部门</td><td colspan="2">苏州大学</td><td>批准文号</td><td colspan="3">苏州大学基本建设与维修改造工程委员会[2021]150 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设项目总投资（万元）</td><td>600</td><td>项目环保投资（万元）</td><td>60</td><td>投资比例（环保投资/总投资）</td><td colspan="2">10%</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目性质</td><td colspan="3">■新建 □改建 □扩建 □其他</td><td>占地面积（m^2）</td><td colspan="2">250</td></tr>
<tr><td rowspan="10">应用类型</td><td rowspan="2">放射源</td><td>销售</td><td colspan="6">□Ⅰ类 □Ⅱ类 □Ⅲ类 □Ⅳ类 □Ⅴ类</td></tr>
<tr><td>使用</td><td colspan="6">□Ⅰ类（医疗使用）□Ⅱ类□Ⅲ类□Ⅳ类□Ⅴ类</td></tr>
<tr><td rowspan="3">非密封放射性物质</td><td>生产</td><td colspan="6">□制备 PET 用放射性药物</td></tr>
<tr><td>销售</td><td colspan="6">/</td></tr>
<tr><td>使用</td><td colspan="6">□乙 □丙</td></tr>
<tr><td rowspan="3">射线装置</td><td>生产</td><td colspan="6">□Ⅱ类 □Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>销售</td><td colspan="6">□Ⅱ类 □Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>使用</td><td colspan="6">■Ⅱ类 □Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>其他</td><td colspan="7">/</td></tr>
</table>

1. 项目概述

苏州大学是国家“双一流”建设高校和“211 工程”、“2011 计划”首批入列高校，也是教育部与江苏省、国防科工局与江苏省共建高校、江苏省属重点综合性大学。

根据学校科研发展需要，拟在苏州大学独墅湖校区 906 号楼（辐照实验楼，主要是校内研究生、博士和老师开展辐照加工科研实验），改造地下一层（现空置）和东侧地面一层（现为大厅），新建 1 座加速器机房，外购 1 台工业辐照加速器（额定参数 2.0MeV、30mA）。改造后苏州大学放射与卫生学院使用该台设备用于科研实验，

加速器辐照对象为高分子改性材料等实验样品。

改造工作不涉及同一实验楼（906 号楼）西侧的钴源辐照装置，也不涉及该建筑内的其它楼层。

根据《中华人民共和国环境影响评价法》、《中华人民共和国放射性污染防治法》、《建设项目环境保护管理条例》、《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》、《建设项目环境影响评价分类管理名录》和《射线装置分类公告》等法律法规的规定，本项目新增辐照用加速器属于 II 类射线装置，需开展环境影响评价。建设单位委托苏州热工研究院有限公司编制环境影响报告表，并履行相关环保手续。本项目核技术利用情况详见表 1-1。

表 1-1 本项目核技术利用情况一览表

序号	射线装置名称	数量	能量 MeV	流强 mA	射线装置类别	工作场所名称	使用情况
1	DDLH2.0/30-500 型工业辐照用电子加速器	1	2.0	30	II 类	906 号楼加速器实验室	使用

2. 项目周围环境

苏州大学独墅湖校区位于苏州工业园区独墅湖高校区内，地址为苏州市工业园区仁爱路 199 号，学校地理位置见图 1-1。本项目位于苏州大学独墅湖（北）校区的北部，校区北侧是仁爱路、西侧是星湖街、东侧是松涛路、南侧相隔文景路是苏州大学独墅湖（南）校区。

苏州大学独墅湖校区内新增 1 台加速器，位于 906 号实验楼，该建筑在校园内相对位置见图 1-2。新增的加速器机房周围 50m 范围均位于学校范围内，涉及学校 902 号实验楼、903 号实验楼、904 号实验楼、905 号楼实验楼，均为校内学生和教职工从事科研实验的场所，评价范围内实验楼均为 4 层建筑，高度一致。距离本项目最近的建筑是南侧约 10m 的 903 号实验楼和东侧约 10m 的 905 号楼。本项目周围 50m 范围内没有居民点、医院等环境敏感目标，距离校内的教学楼、生活区距离都在 100m 以外，项目周围环境情况见图 1-3。

906 号楼为地上 4 层建筑，地下一层现空置、一层为钴源辐照中心及大厅，二~四层为实验室。906 号楼改造前后的地下一层和地面一层平面图见图 1-4~图 1-7，不涉及改造的其它楼层平面布置图见图 1-8~图 1-10。906 号改造后楼立面见图 1-11。

3、原有核技术利用情况

苏州大学拥有辐射安全许可证（国环辐证【00286】），许可种类和范围包括：使用 I 类、II 类、III 类、IV 类、Ⅴ类放射源，使用Ⅲ类射线装置；乙级非密封放射性物质工作场所。

本项目所在 906 号楼西侧一层现有 1 座 30 万居里钴源辐照中心，该项目于 2006 年取得环评批复（环审【2006】479 号），2013 年 7 月 25 日通过了生态环境部组织的项目竣工环境保护验收。苏州大学内其他的核技术利用项目距离本项目较远，不在本项目评价范围内，不做详述。

4. 项目正当性分析

（1）产业结构相符性分析

本项目新增工业辐照用加速器主要用于苏州大学教学科研工作，使用加速器开展高分子、化学材料的改性等研究工作，对照《国民经济行业分类》（GB/T4754-2017）中 C4120 核辐射加工。对照《江苏省工业和信息产业结构调整指导目录（2012 年本）》（苏政办发〔2013〕9 号），本项目属于鼓励类“四、核能 6．同位素、加速器及辐照应用技术开发”项目。

查询《产业结构调整指导目录》（2024 年本），本项目属于鼓励类六、“核能”4.“核技术应用”类别中的“加速器及辐照应用技术开发”。

（2）“实践的正当性”分析

经了解设备供货单位（江苏达胜加速器制造有限公司）生产的同类型设备运行稳定，加速器屏蔽体的防护效果良好，其辐照时产生的辐射影响对周围环境产生的影响较小，用于学校核技术科学研究，对照 GB18871-2002 中 4.3.1.1 中的要求，本项目在考虑了社会、经济等因素后，对核技术应用活动给社会带来的利益远大于对职业人员和公众的辐射影响，因此本项目具有良好的实践正当性。



比例尺

图 1-1　苏州大学（独墅湖校区）地理位置示意图



图 1-3　本项目周围环境示意图

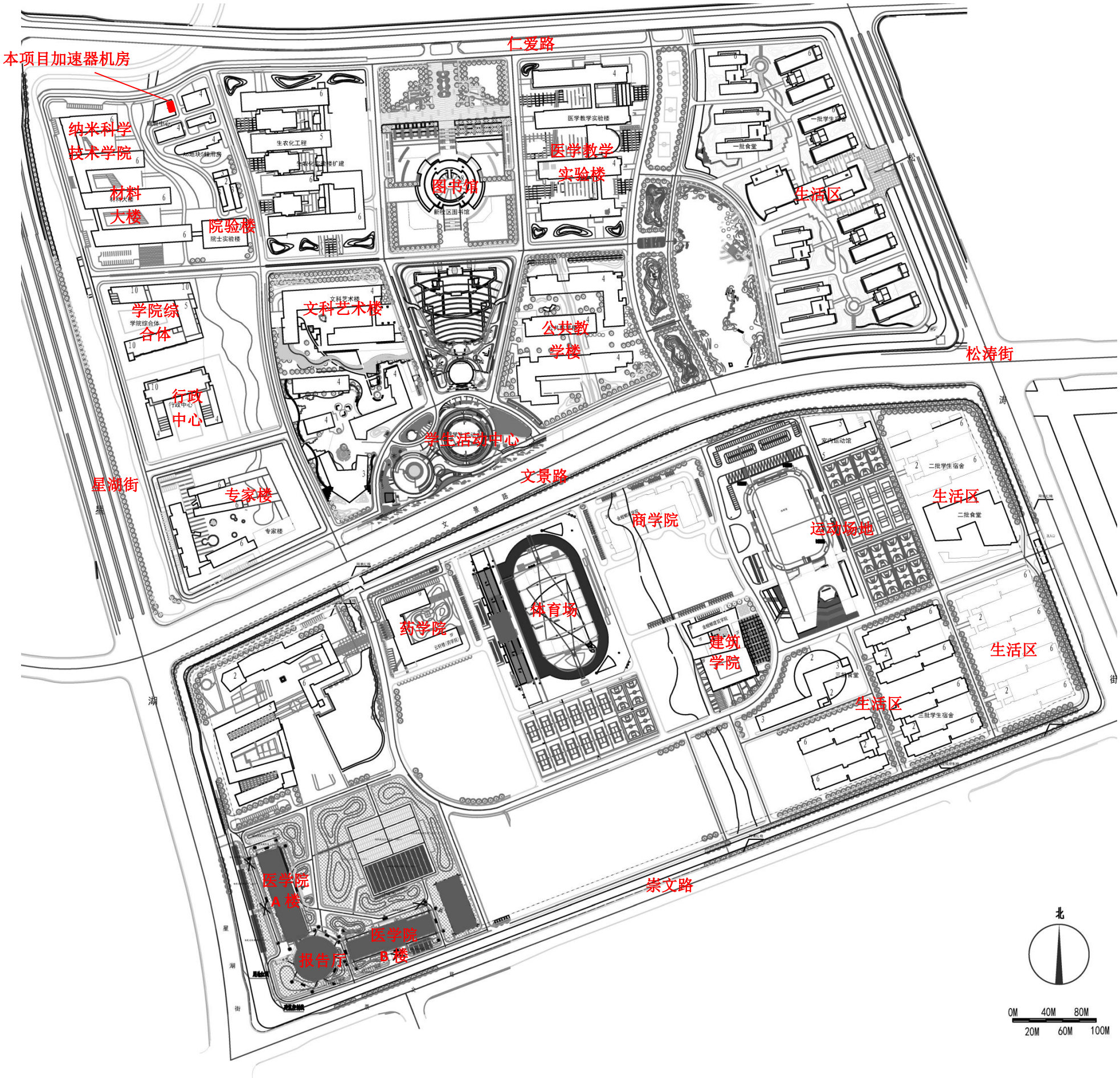


图 1-2　苏州大学独墅湖校区平面布置图

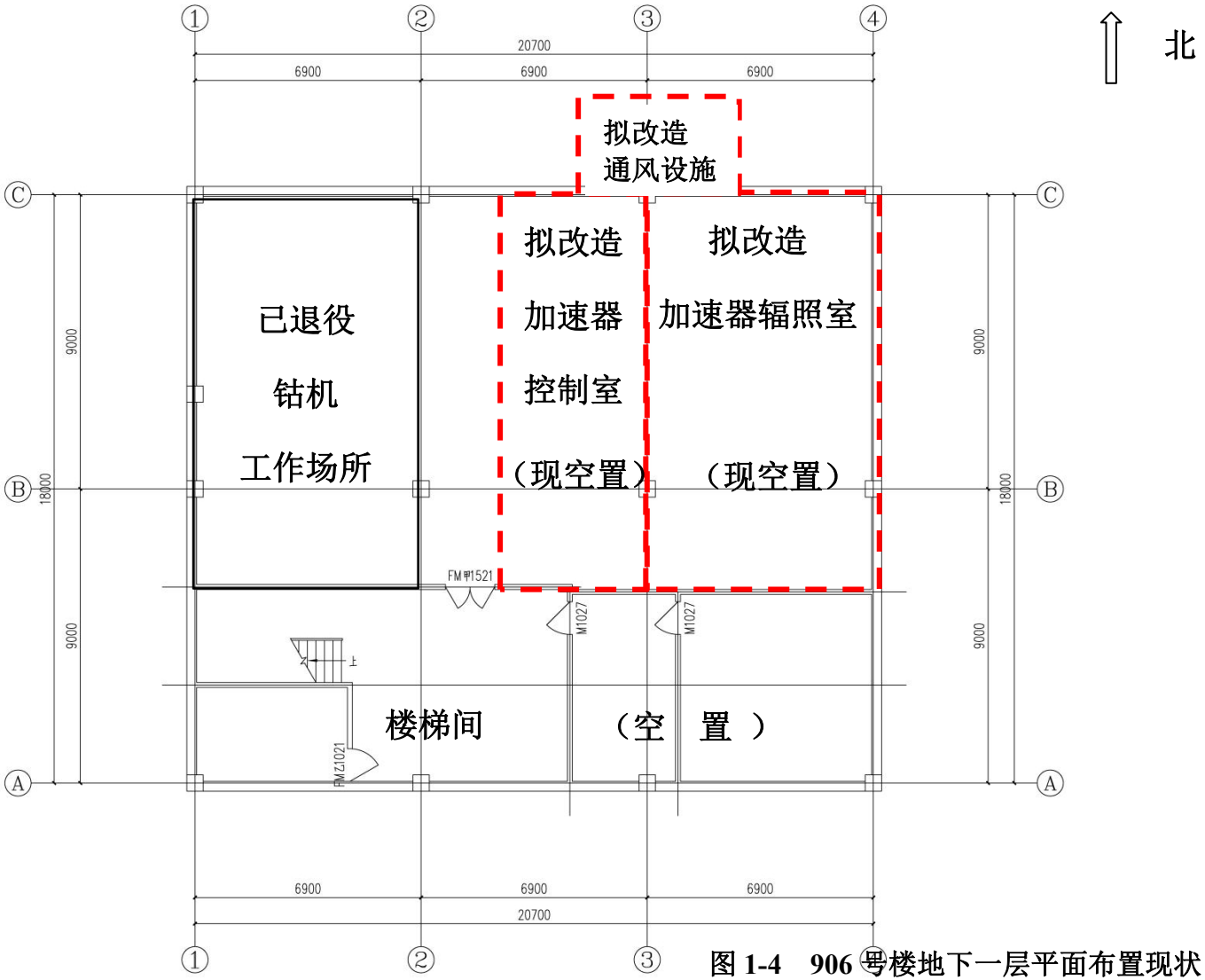


图 1-4　906 号楼地下一层平面布置现状图（改造前）

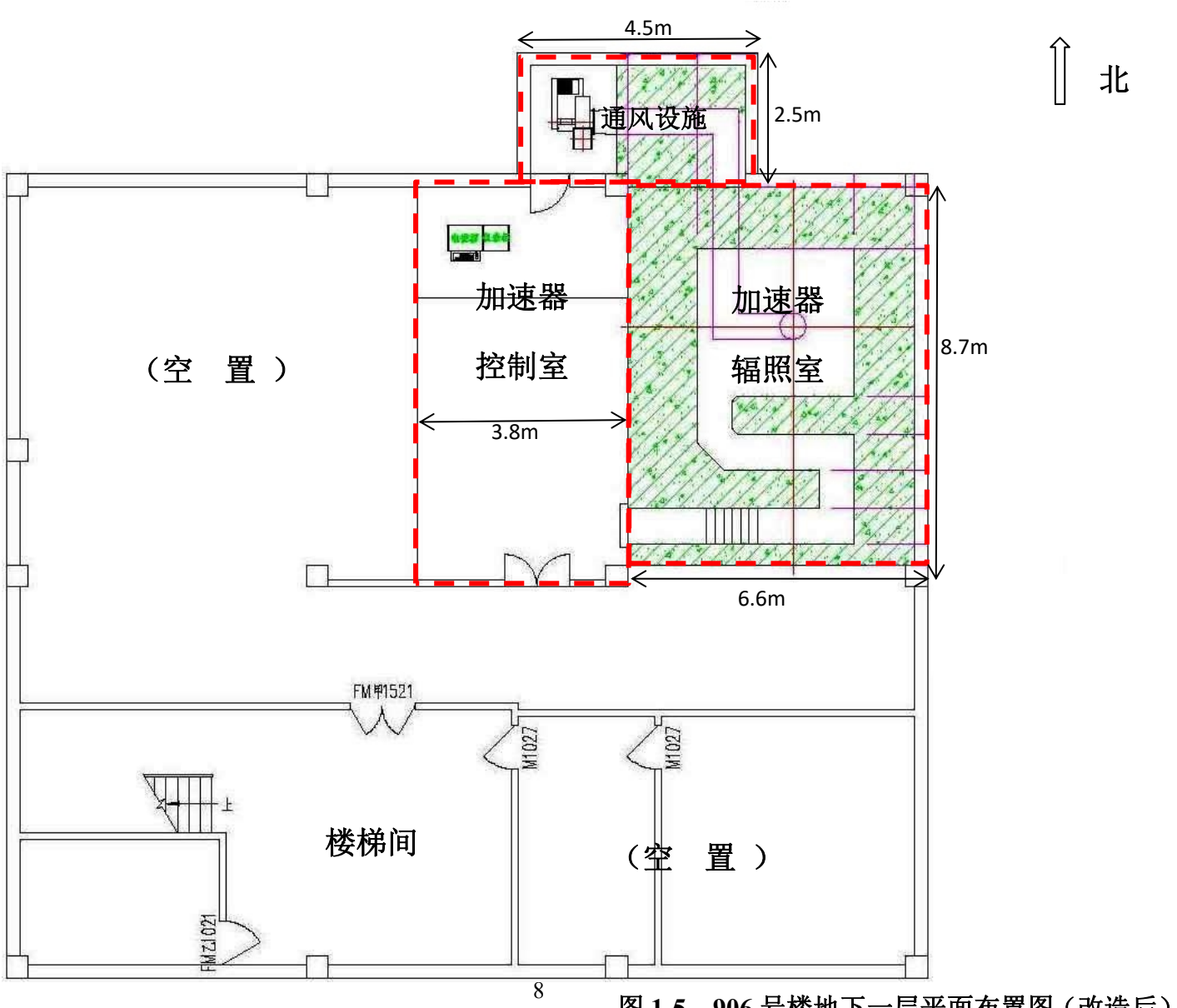


图 1-5　906 号楼地下一层平面布置图（改造后）

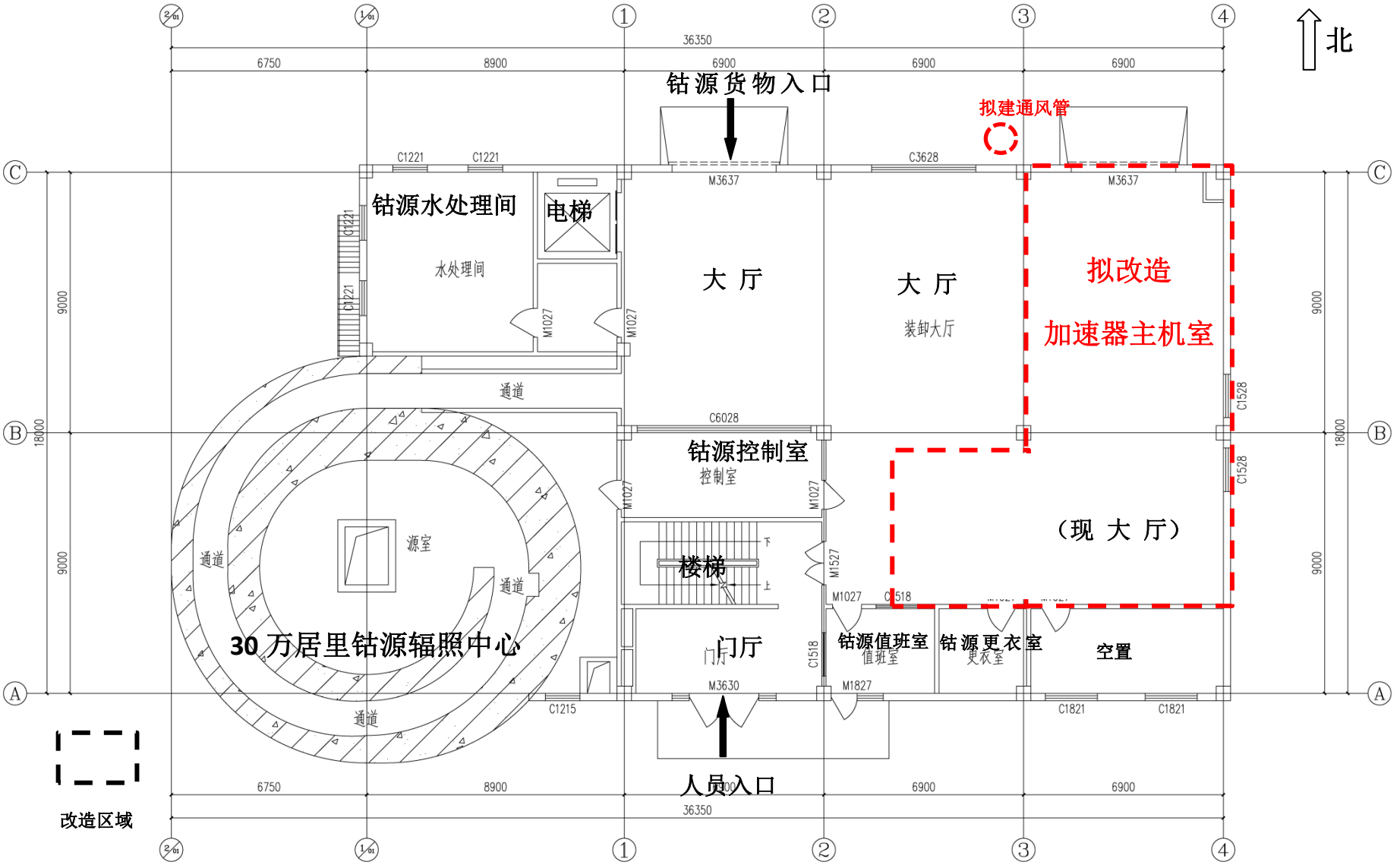


图 1-6　906 号楼一层平面布置现状图（改造前）

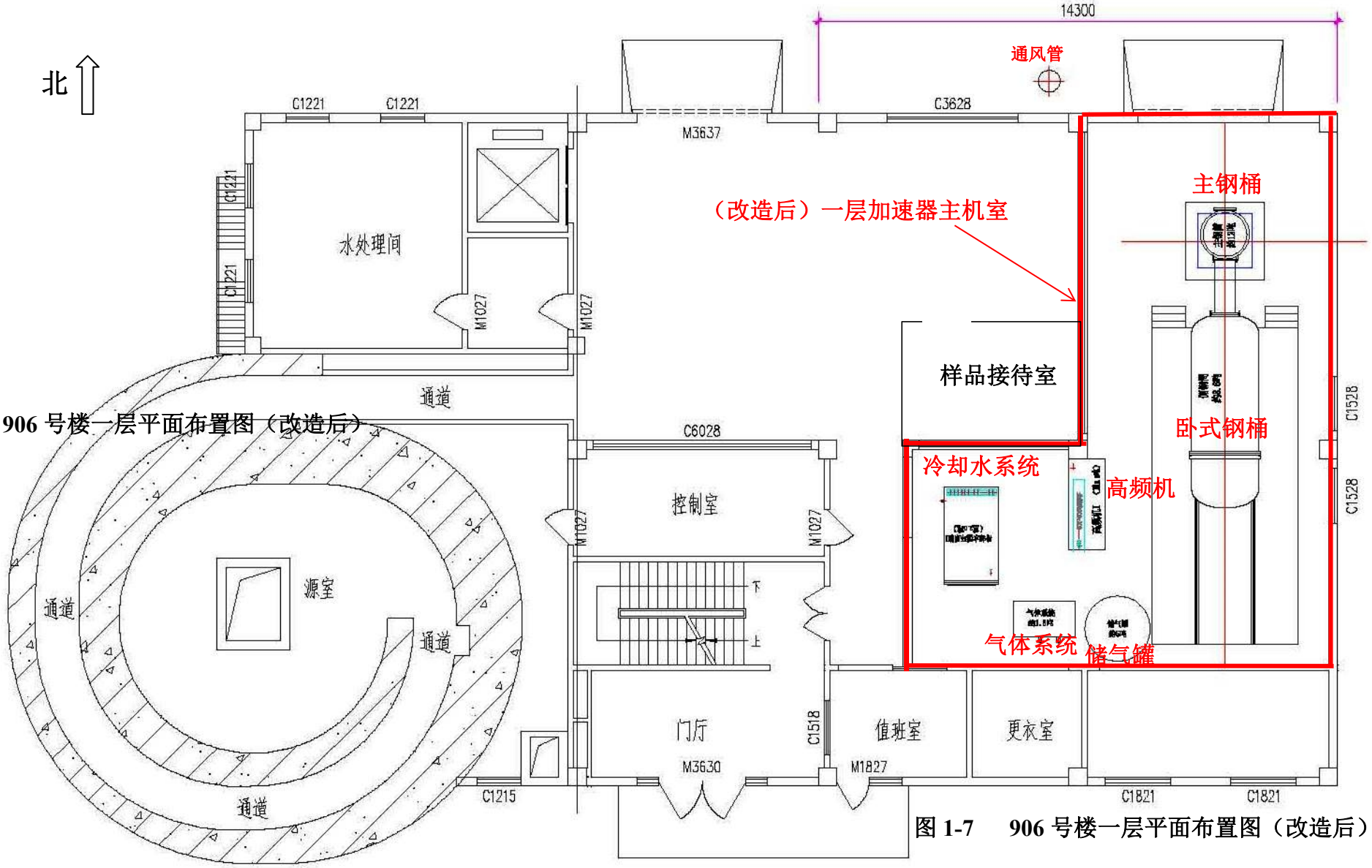


图 1-7　906 号楼一层平面布置图（改造后）

图 1-7　906 号楼一层平面布置图（改造后）

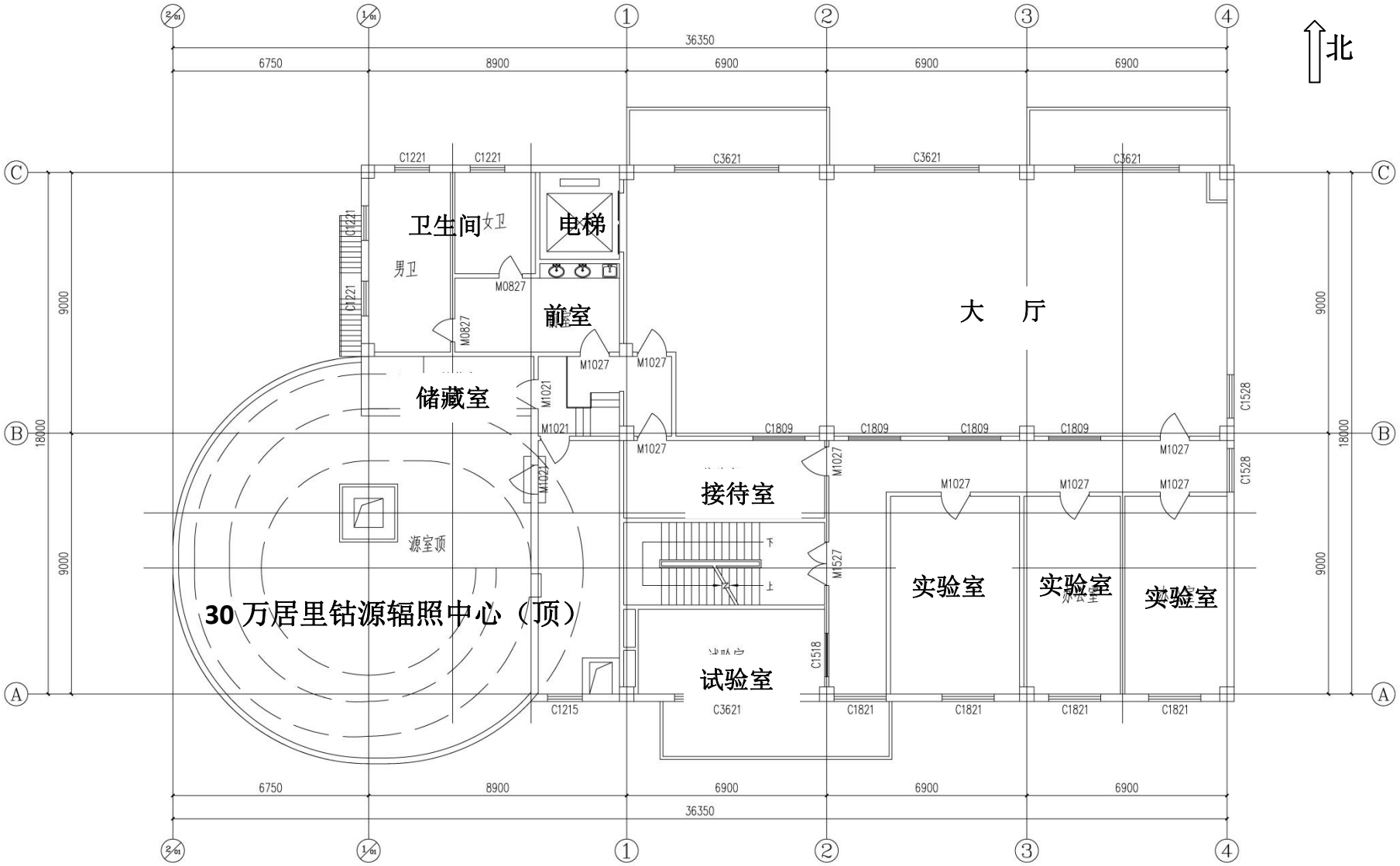


图 1-8　906 号楼二层平面布置现状图

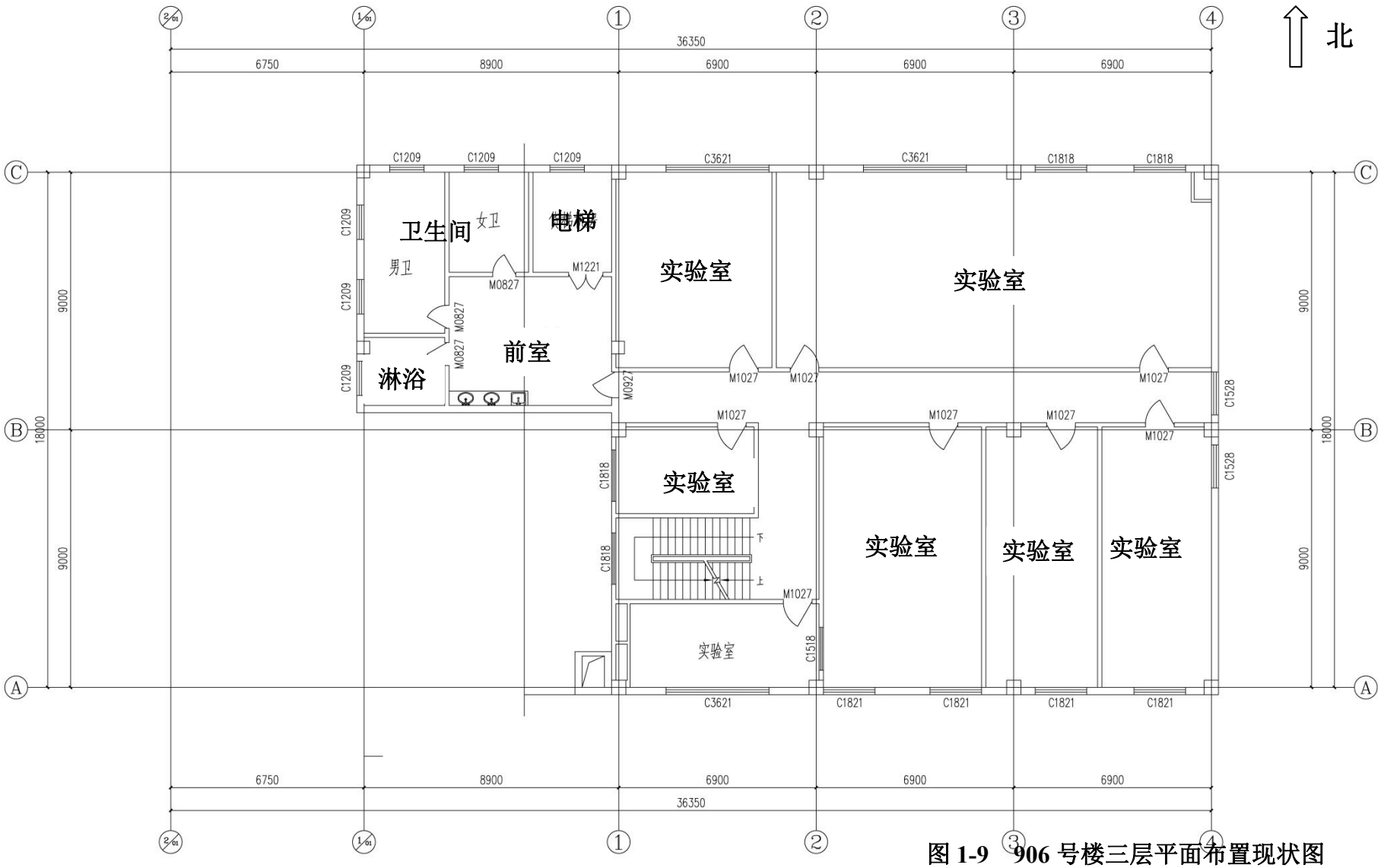


图 1-9　906 号楼三层平面布置现状图

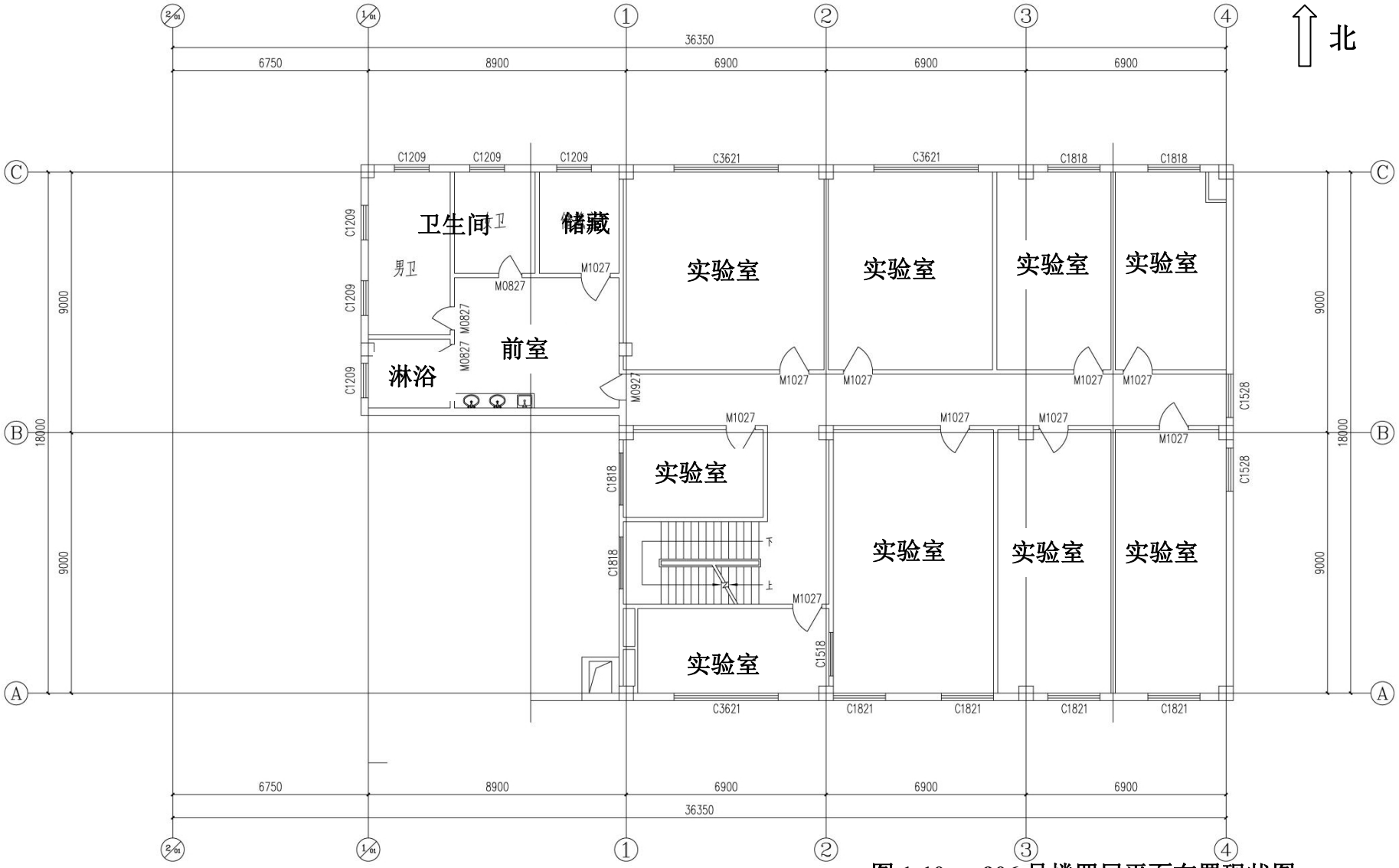


图 1-10　　906 号楼四层平面布置现状图



图 1-11　906 号楼改造后立面示意图

表 2 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	备注
本项目不涉及								

注：放射源包括放射性中子源，对其要说明是何种核素以及产生的中子流强度（n/s）。

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量（Bq）	日等效最大操作量（Bq）	年最大操作量（Bq）	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
本项目不涉及										

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

表 4 射线装置

（一）加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量（MeV）	额定电流（mA）/剂量率（Gy/h）	用途	工作场所	备注
1	工业辐照用电子加速器	II	1	DDLH2.0/30-500	电子	2.0MeV	30mA	辐照加工	906 号楼加速器实验室	最大功率 60kW

（二）X 射线机：包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 （kV）	最大管电流（mA）	用途	工作场所	备注
本项目不涉及									

（三）中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压（kV）	最大靶电流（μA）	中子强度（n/s）	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度（Bq）	贮存方式	数量	
本项目不涉及													

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
臭氧和氮氧化物	气体	/	/	少量	少量	/	机械通风，不暂存	排放大气环境，臭氧约 50 分钟后自动分解

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/kg，气态为 mg/m³，年排放总量用 kg。

2.含有放射性的废物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度（Bq/L 或 Bq/kg 或 Bq/m³）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

法规文件	1）《中华人民共和国环境保护法》（修正本），2014 年 4 月 24 日第十二届全国人民代表大会常务委员会第八次会议修订，2015 年 1 月 1 日起施行； 2）《中华人民共和国环境影响评价法》（2018 年修订本），2018 年 12 月 29 日中华人民共和国主席令第 24 号公布实施； 3）《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日起实施； 4）《建设项目环境保护管理条例》（修订本），国务院令第 682 号，2017 年 10 月 1 日起实施； 5）《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版），生态环境部令第 16 号，自 2021 年 1 月 1 日起施行； 6）《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2019 年修改），国务院令 709 号，2019 年 3 月 2 日起实施； 7）《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》环境保护部令第 18 号，自 2011 年 5 月 1 日起施行； 8）《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021 年修正本），生态环境部令第 20 号修正，2021 年 1 月 4 日起施行； 9）关于发布《射线装置分类》办法的公告，国家环保部、国家卫生和计划生育委员会，2017 年第 66 号，2017 年 12 月 5 日； 10）《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，环发[2006]145 号，2006 年 9 月 26 日； 11）《江苏省辐射污染防治条例》（修正），江苏省第十三届人民代表大会常务委员会第二次会议第 2 号公告修正，2018 年 3 月 28 日通过，自 2018 年 5 月 1 日起施行； 12）《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，生态环境部令第 9 号，2019 年 9 月 20 日公布，自 2019 年 11 月 1 日起施行； 13）《生态环境部关于启用环境影响评价信用平台的公告》（生态环境部公告 2019 年第 39 号，2019 年 11 月 1 日起启用）； 14）《关于发布<建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法>配套文件的公告》（生态环境部公告 2019 年第 38 号）；

15）《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，生态环境部公告 2019 年第 57 号，2019 年 12 月 24 日印发，2020 年 1 月 1 日起施行；

16）《江苏省政府关于印发江苏省国家级生态保护红线规划的通知》，苏政发〔2018〕74 号，2018 年 6 月 9 日；

17）《省政府关于印发江苏省生态空间管控区域规划的通知》，苏政发〔2020〕1 号，2020 年 1 月 8 日；

18）《省政府关于印发江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》，苏政发〔2020〕49 号，2020 年 6 月 21 日；

19）《省生态环境厅关于进一步做好建设项目环境影响报告书（表）编制单位监管工作的通知》（苏环办〔2021〕187 号，2021 年 5 月 28 日发布）；

20）《江苏省工业和信息产业结构调整指导目录（2012 年本）》（苏政办发〔2013〕9 号），江苏省人民政府办公厅 2013 年 1 月 29 日发布；

21）《产业结构调整指导目录》（2024 年本）,2023 年 12 月 27 日国家发展改革委令第 7 号公布，自 2024 年 2 月 1 日起施行；

技术标准	技术导则和规范 （1）《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ2.1-2016）； （2）《辐射环境保护管理导则-核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ/T 10.1-2016）； （3）《辐射环境检测技术规范》（HJ61-2021）； （4）《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）； 评价标准 （5）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； （6）《粒子加速器辐射防护规定》（GB5172-85）； （7）《辐射加工用电子加速器工程通用规范》（GB/T 25306-2010）； （8）《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）； （9）《工作场所有害因素职业接触限值·第 1 部分 化学有害因素》（GBZ 2.1-2019）； （10）《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）； （11）《环境空气质量标准》（GB3095-2012）。
其他	**与本项目有关的文件** 附件一：环评委托书、项目立项文件； 附件二：射线装置使用承诺书； 附件三：新建加速器辐射环境现状检测报告，苏州热工研究院有限公司环境检测中心，2023 年 11 月 21 日； 附件四：学校现有辐射安全许可证正副本； 附件五：辐射工作安全责任书。

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

本项目为使用 II 类射线装置，根据《辐射环境保护管理导则——核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的要求，射线装置项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 范围。

参照该导则，本项目加速器的评价范围，为加速器机房屏蔽体外 50m。

保护目标

新建加速器机房位于苏州大学独墅湖校区 906 号楼内，机房北侧是校园道路（靠近仁爱路），南侧约 10m 是 903 号楼（动物饲养楼），南侧约 33m 是 902 号楼（实验楼），东南侧约 20m 是 904 号楼（实验楼），东侧约 10m 是 905 号楼（实验楼）。906 号楼周围环境见图 7-1~图 7-5。

参照《江苏省国家级生态保护红线规划》（苏政发〔2018〕74 号）、《江苏省生态空间管控区域规划》（苏政发〔2020〕1 号）文件，本项目评价范围不涉及江苏省生态空间管控区域、也不涉及江苏省国家级生态保护红线区域，也不涉及国家公园、世界文化和自然遗产地等环境敏感区。本项目与江苏省生态空间管控区和江苏省国家级生态保护红线区的相对位置见图 7-6。

本项目对环境的影响主要是射线装置运行对周围环境产生的辐射影响，辐射工作人员和周围公众均为需要关注的对象。环境保护目标分布情况见表 7-1。

表 7-1 环境保护目标分布一览表

序号	保护目标	方位	最近距离	规模	人员
1	加速器控制室	辐照室东侧	相邻	2 人	辐射工作人员（老师）
2	加速器样品接收室	一层主机厅西北			
3	902 号实验楼	南侧	33m	约 30 人	公众（学生、老师）
4	903 号动物饲养楼	南侧	10m	约 10 人	公众（动物饲养员）
5	904 号实验楼	东南侧	20m	约 25 人	公众（学生、老师）
6	905 号实验楼	东侧	10m	约 40 人	公众（学生、老师）
7	906 号实验楼	一楼东侧钴源辐照中心	8.4m	4 人	钴源辐照中心辐射工作人员（老师）
8	906 号实验楼	二楼~四楼辐照非放实验室	8.6m	约 20 人	公众（学生、老师）



图 7-1　加速器所在 906 号楼



图 7-2　加速器北侧校园道路



图 7-3　加速器南侧 903 号楼



图 7-4　加速器东侧 905 号楼



图 7-5　加速器东南侧 904 号楼

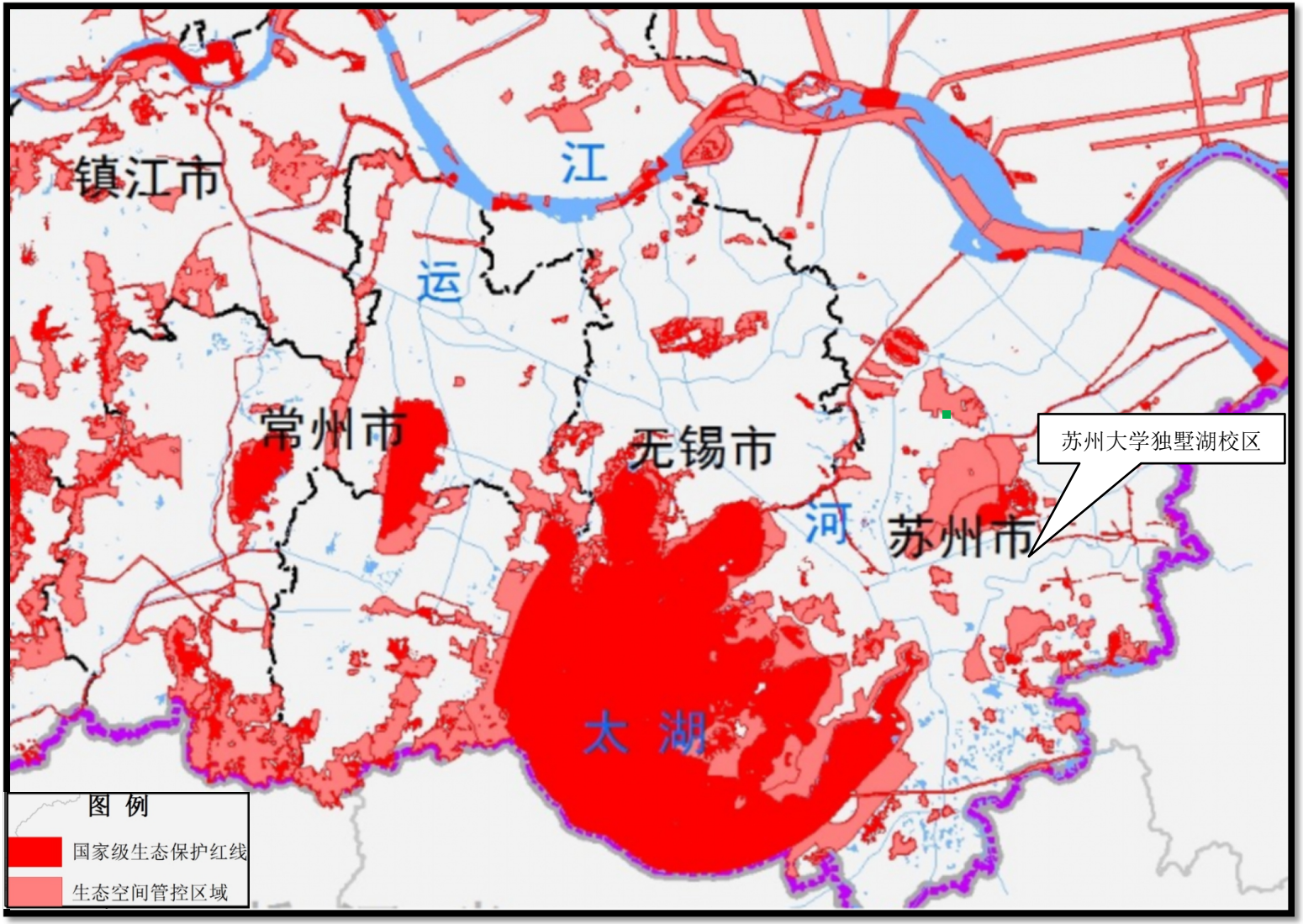


图 7-6 本项目与江苏省生态空间管控区域和江苏省国家级生态保护红线的相对位置图　　比例尺 1：20000

评价标准

（1）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

工作人员职业照射和公众照射剂量限值：

	剂量限值
职业照射	工作人员所接受的职业照射水平不应超过下述限值： ① 由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可做任何追溯平均），20mSv； ② 任何一年中有效剂量，50mSv。
公众照射	实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估算不应超过下述限值： ③ 年有效剂量，1mSv；特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1 mSv，则某个单一年份的有效剂量可提高到 5 mSv。

（2）《粒子加速器辐射防护规定》（GB5172-85）

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

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

3.2 辐射屏蔽

3.2.1 加速器的屏蔽体厚度必须根据加速粒子的种类、能量和束流强度以及靶材料等综合考虑；按其可能的最大辐射输出进行设计。

3.2.2 加速器的屏蔽体厚度还应根据相邻区域的类型及其人口数确定，使其群体的集体剂量当量保持在可以合理做到的尽可能低的水平，并必须保证个人所接受的剂量当量不得超过相应的剂量当量限值。

3.3 辐射安全系统

3.3.1 决定加速器产生辐射的主要控制系统应该用开关钥匙控制。

3.3.2 加速器厅、靶厅的门均需安装联锁装置，只有门关闭后才能产生辐射。

3.3.3 在加速器厅、靶厅内人员容易到达的地点，应安装紧急停机或紧急断束开关，并且这种开关应当有醒目的标志。

3.3.4 在加速器厅、靶厅内人员容易看到的地方须安装闪光式或旋转式红

色警告灯及音响警告装置；在通往辐射区的走廊，出入口和控制台上须安装工作状态指示灯。

3.3.5 在高辐射区和辐射区，应该安装遥控辐射监测系统。该系统的数字显示装置应安装在控制台上或监测位置。当辐射超过预定水平时，该系统的音响和（或）灯光警告装置应当发出警告信号。

3.3.6 每台加速器必须根据其特点配备其他辐射监测装置，如个人剂量计，可携式监测仪、气体监测仪等。

3.3.7 辐射安全系统的部件质量要好，安装必须坚实可靠。系统的组件应耐辐射损伤。

3.4 通风系统

3.4.1 为排放有毒气体（如臭氧）和气载放射性物质，加速器设施内必须设有通风装置。

3.4.2 通风系统的排风速率应根据可能产生的有害气体的数量和工作需要而定。通风系统的进气口应避免受到排出气体的污染。

3.4.3 通风管道通过屏蔽体时，必须采取措施，保证不得明显地减弱屏蔽体的屏蔽效果。

（3）《辐射加工用电子加速器工程通用规范》（GB/T 25306-2010）中辐射防护安全要求如下：

a）辐射屏蔽材料采用混凝土时，其强度等级应高于 C20，密度不应低于 2.35g/cm^3；

b）屏蔽结构及预埋件应满足设备供应商提供的土建工艺指导数据；

c）监督区的辐射剂量水平应符合 GB 18871-2002 和 GB 5172-1985 中的职业照射剂量限值要求；在工程设计时辐射防护设计的剂量规定为：职业照射个人年有效剂量限值为 5 mSv；公众成员个人年有效剂量限值为 0.1mSv；

d）控制区必须设有功能齐全、性能可靠的安全联锁系统和监控、紧急停机开关等设置；

e）控制区和监督区及其入口处应设置显示电子加速器装置运行状态的灯光信号和其他警示标志。

f）剂量监测设备、个人剂量计等应配置齐备；

（4）《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）（参考）

4.2.1 辐射防护原则

（3） 个人剂量约束

辐射工作人员职业照射和公众照射的剂量限值应满足 GB18871 的要求。

在电子加速器辐照装置的工程设计中，辐射防护的剂量约束值规定为：

a) 辐射工作人员个人年有效剂量为 5mSv；

b) 公众成员个人年有效剂量为 0.1mSv。

4.2.2 辐射屏蔽设计依据

电子加速器辐照装置外人员可达区域屏蔽体表面 30cm 处及外区域周围剂量当量率不超过 2.5μGy/h。

6.1 联锁要求

在电子加速器辐照装置的设计中必须设置功能齐全、性能可靠的安全联锁保护装置，对控制区的出入口门、加速器的开停机和束下装置等进行有效联锁和监控。

安全联锁引发加速器停机时必须自动切断高压。

安全联锁装置发生故障时，加速器不能运行。安全联锁装置不得旁路，维护与维修后必须恢复原状。

6.2 安全设施

（1）钥匙控制。加速器的主控钥匙开关必须和主机室门和辐照室门联锁。如从控制台上取出该钥匙，加速器应自动停机。该钥匙必须与一台有效的便携式辐射监测报警仪相连。在运行中该钥匙是唯一的且只能由运行值班长使用；

（2）门机联锁。辐照室和主机室的门必须与束流控制和加速器高压联锁。辐照室门或主机室门打开时，加速器不能开机。加速器运行中门被打开则加速器应自动停机；

（3）束下装置联锁。电子加速器辐照装置的控制与束下装置的控制必须建立可靠的接口和协议文件。束下装置因故障偏离正常运行状态或停止运行时，加速器应自动停机；

（4）信号警示装置。在控制区出入口处及内部应设置灯光和音响警示信号，用于开机前对主机室和辐照室内人员的警示。主机室和辐照室出入口设置工作状

态指示装置，并与电子加速器辐照装置联锁；

（5）巡检按钮。主机室和辐照室内应设置“巡检按钮”，并与控制台联锁。加速器开机前，操作人员进入主机室和辐照室按序按动“巡检按钮”，巡查有无人员误留。

（6）防人误入装置。在主机室和辐照室的人员出入口通道内设置三道防人误入的安全联锁装置（一般可采用光电装置），并与加速器的开、停机联锁；

（7）急停装置。在控制台上和主机室、辐照室内设置紧急停机装置（一般为拉线开关或按钮），使之能在紧急状态下终止加速器的运行。辐照室及其迷道内的急停装置应采用拉线开关并覆盖全部区域。主机室和辐照室内还应设置开门机构，以便人员离开控制区；

（8）剂量联锁。在辐照室和主机室的迷道内设置固定式辐射监测仪，与辐照室和主机室的出入口门等联锁。当主机室和辐照室内的辐射水平高于仪器设定的阈值时，主机室和辐照室门无法打开；

（9）通风联锁。主机室、辐照室通风系统与控制系统联锁，加速器停机后，只有达到预先设定的时间后才能开门，以保证室内臭氧等有害气体浓度低于允许值；

（10）烟雾报警。辐照室应设置烟雾报警装置，遇有火险时，加速器应立即停机并停止通风。

（5）辐射剂量管理限值

综合考虑《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《粒子加速器辐射防护规定》（GB5172-1985）和《辐射加工用电子加速器工程通用规范》中（GB/T 25306-2010），确定本项目的管理目标为：职业人员年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.1mSv。参考《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018），电子加速器辐照装置外人员可达区域屏蔽体表面 30cm 处及外区域周围剂量当量率不超过 2.5 μGy/h。

（6）《工作场所有害因素职业接触限值·第 1 部分　化学有害因素》（GBZ 2.1-2019）

臭氧最高容许浓度为 0.3mg/m^3，即工作地点、在一个工作日内、任何时间有毒化学物质均不应超过的浓度。

（7）《环境空气质量标准》（GB3095-2012）

根据评价范围内的大气功能区划，评价区为二类区，执行《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准。

表 7-2　环境空气质量标准限值表

评价因子	平均时段	标准值
NO_X	年平均	50μg/m^3
	24 小时平均	100μg/m^3
	1 小时平均	250μg/m^3
O_3	日最大 8 小时平均	160μg/m^3
	1 小时平均	200μg/m^3

（8）《江苏省环境天然贯穿辐射水平调查研究》，《辐射防护》1993 年 3 月第 13 卷第 2 期。

江苏省天然贯穿辐射水平调查结果*　　（单位：nGy/h）

	室外剂量率	室内剂量率
范围	62.6~ 101.9	77.2~ 152.4
均值	79.5	115.1
标准差 S	7.0	16.3
均值±3S	79.5±21.0（58.5~100.5）	115.1±48.9（66.2~164）

*：结果含宇宙射线电离成分所致（空气吸收）剂量率。

本报告取江苏省天然贯穿辐射水平调查结果中的“均值±3 倍标准差”为其评价参考范围。

表 8 环境质量和辐射现状

1 项目场所现场环境

本项目位于苏州大学独墅湖校区 906 号楼，在现场踏勘和环境现状检测期间，加速器机房未建设，现场照片情况见图 8-1。



图 8-1 加速器（辐照室）拟建区域

2 辐射环境现状监测

本项目使用工业电子加速器对高分子材料进行辐照，根据项目工作原理及特点，项目运行期间主要的环境影响因子为 X 射线电离辐射。

项目检测因子为环境γ贯穿辐射。2023 年 6 月 1 日苏州大学委托苏州热工研究院有限公司环境检测中心对苏州大学拟新建加速器所在建筑内及周边建筑进行环境辐射现状检测，检测时同建筑内钴源辐照装置正常运行。

2.1 环境监测因子

根据项目污染因子特征，环境监测因子：环境γ辐射空气吸收剂量率。

2.2 监测方案

检测采用 X-γ剂量率仪的主机型号为 6150AD6/H；探头：6150AD-b/H，检测时仪器在有效检定日期内（2022 年 11 月 23 日~2023 年 11 月 22 日）。设备探头的能响范围是 20keV~7MeV，剂量率测量范围是 5nSv/h~99.9μSv/h。检测点位布设见图 8-2 和图 8-3 中所示。

检测方法按照《环境γ 辐射剂量率测定规范》（HJ 1157-2021）、《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）中的要求，监测仪器探头水平距离地面 1m，每组读 10 个数据，读数间隔 10s。在拟改造的加速器机房区域（地下一层、地面一层~三层），以及周围公众长期居留场所附近进行布点，共计布点 30 个。

2.3 质量保证措施

①委托的检测机构已通过计量认证，具备有相应的检测资质和检测能力；

②委托的检测机构制定有质量体系文件，所有活动均按照质量体系文件要求进行，实施全过程质量控制；

③委托的检测机构所采用的监测设备均通过计量部门检定合格，并在检定有效期内；

④所有检测人员均通过专业的技术培训和考核，并取得检测上岗证；

⑤检测报告实行编、审、批等三级审核。

2.4 环境现状监测结果及评价

拟建加速器机房区域及周围环境辐射现状检测结果见表 8-1，监测报告见附件三。监测点位布设见图 8-2~图 8-6。

表 8-1　辐射工作场所境辐射现状检测结果

序号	检测点位置	环境γ辐射空气吸收剂量率(μGy/h)
1	906 号楼一层大厅（北）	0.090
2	906 号楼一层大厅（南）	0.091
3	拟建加速器辐照室顶部北（西）	0.086
4	拟建加速器辐照室顶部北（东）	0.084
5	拟建加速器辐照室顶部中（东）	0.083
6	拟建加速器辐照室顶部中（西）	0.084
7	拟建加速器辐照室顶部南（西）	0.087
8	拟建加速器辐照室顶部南（东）	0.084
9	拟建加速器一层南侧空置房间	0.090
10	拟建加速器一层南侧钴源更衣室	0.092
11	拟建加速器一层南侧钴源值班室	0.091

12	906 号楼北侧道路（室外）	0.086
13	906 号楼南侧 903 号楼门口（室外）	0.080
14	地下一层拟建辐照室北侧（西）	0.092
15	地下一层拟建辐照室北侧（中）	0.090
16	地下一层拟建辐照室北侧（东）	0.089
17	地下一层拟建辐照室中部（东）	0.088
18	地下一层拟建辐照室中部（中）	0.089
19	地下一层拟建辐照室中部（西）	0.088
20	地下一层拟建辐照室南侧（西）	0.086
21	地下一层拟建辐照室南侧（中）	0.084
22	地下一层拟建辐照室南侧（东）	0.081
23	地下一层拟建辐照室南侧（东）	0.089
24	地下一层拟建辐照室南侧（西）	0.083
25	地下一层拟建辐照室南侧楼梯间	0.088
26	906 号楼三层实验室	0.079
27	906 号楼二层实验室（西）	0.072
28	906 号楼二层实验室（东）	0.073
29	906 号楼东侧 905 号楼门口（室外）	0.079
30	906 号楼东南侧 904 号楼门口（室外）	0.075

注：上述检测数据已扣除宇响值。

拟建加速器机房在场址未改造前，扣除设备宇响值，区域环境γ辐射空气吸收剂量率在（72~92）nGy/h 范围，处于江苏省天然贯穿辐射环境本底水平正常涨落范围内。

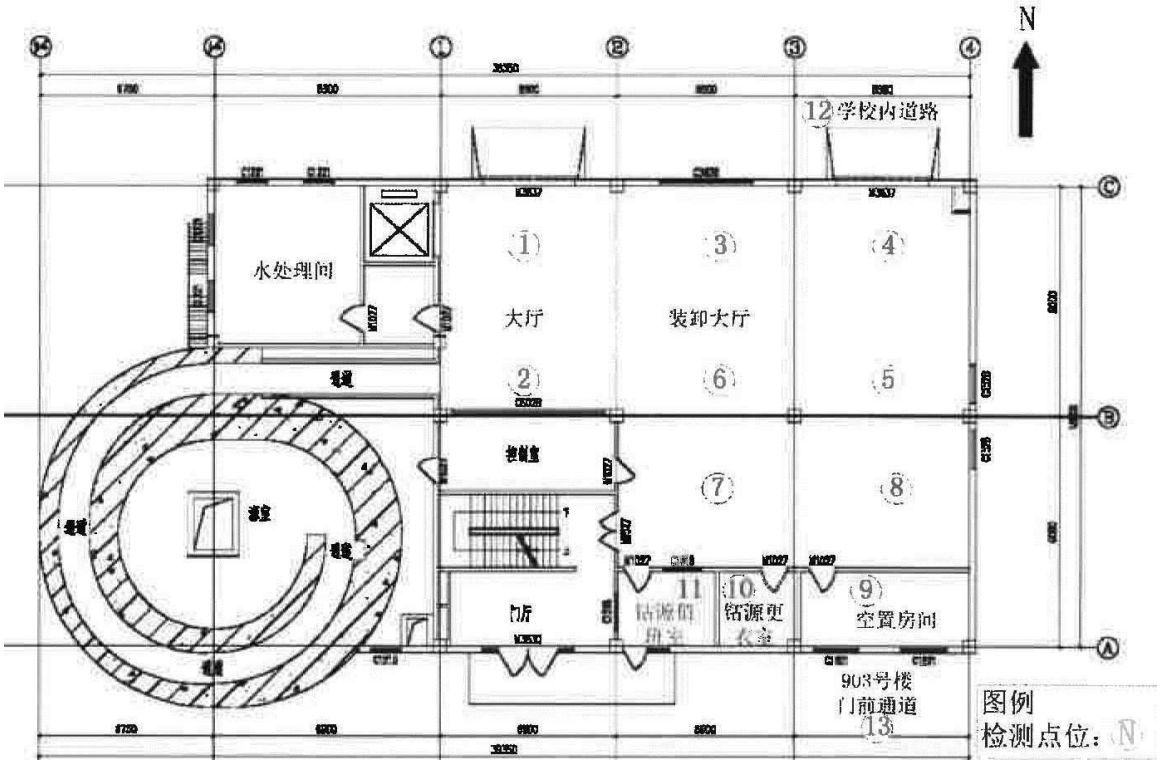


图 8-2 地面一层辐射环境现状检测点位示意图

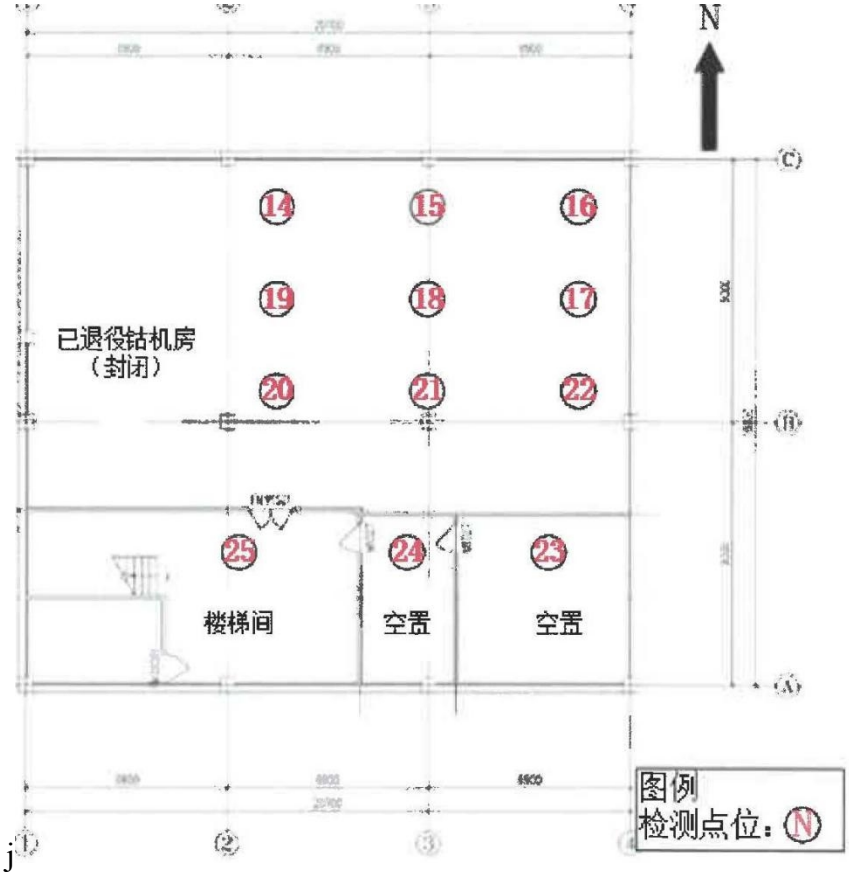


图 8-3 地下一层辐射环境现状检测点位示意图

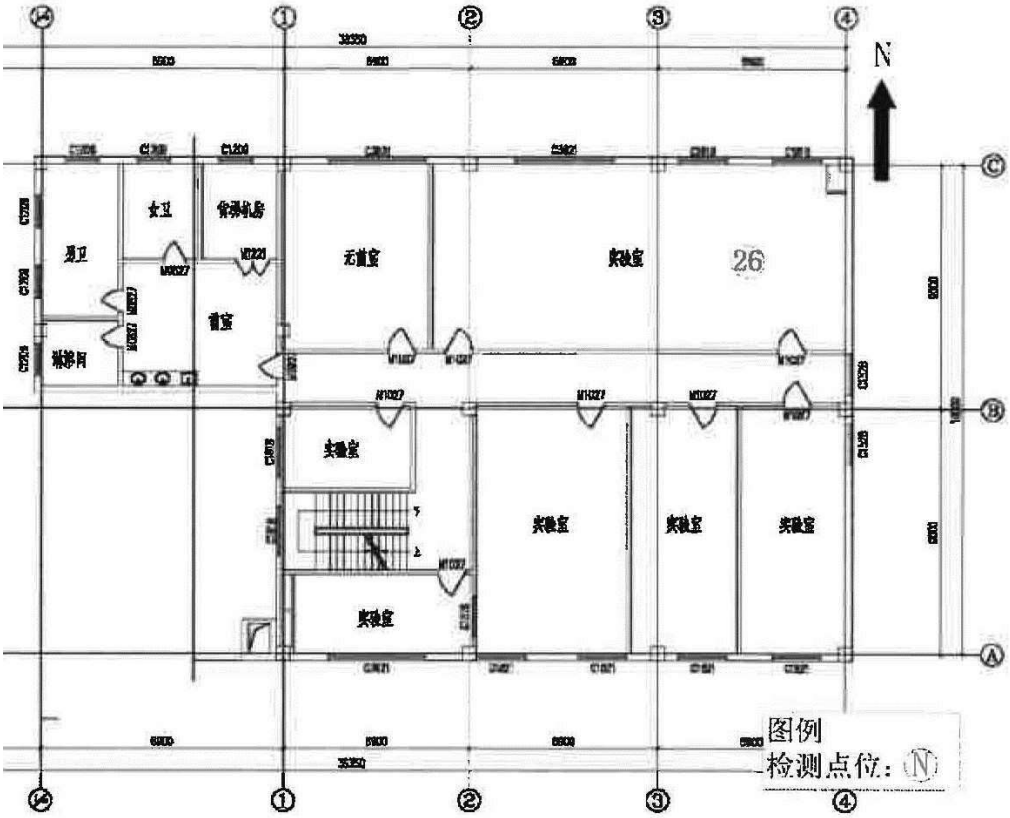


图 8-4　地面三层辐射环境现状检测点位示意图

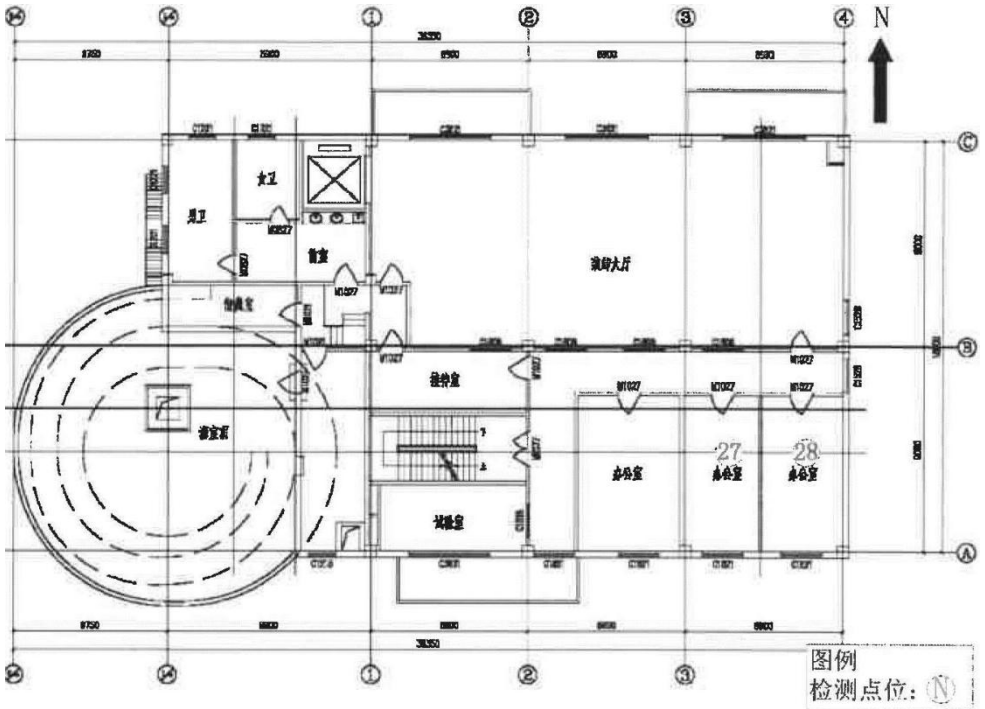


图 8-5　地面二层辐射环境现状检测点位示意图



图 8-6　906 号楼周围辐射环境现状检测点位示意图

表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

1、工程设备介绍

加速器辐照装置主要组成部分包括：电子加速器、辐照室、传输设备、安全设施和控制系统等。主要设施“加速器”；给出主要设备（加速器）外观图。

加速器主要部件包括卧式钢筒、主钢筒、磁扫描体、聚焦线圈、扫描窗等组成。其中卧式钢筒内置初级、次级变压线圈，变压线圈是加速器高压来源，充当升压变压器和感应耦合的级联高压发生器的功能。直立的主钢筒内置电子枪和加速管，用于产生和加速电子束流。

加速器还配套建设辅助设备，如冷却系统、通风系统、辐射防护监测系统。磁扫描体、聚焦线圈、扫描窗、安全联锁系统、通风系统（风机）位于地下一层辐照室内，控制系统位于控制室。辅助设备（冷却系统、高频机、气体罐等）布设于地面一层，钢桶设备周围。加速器主要结构示意图见图 9-1~图 9-3。设备参数见表 9-1。

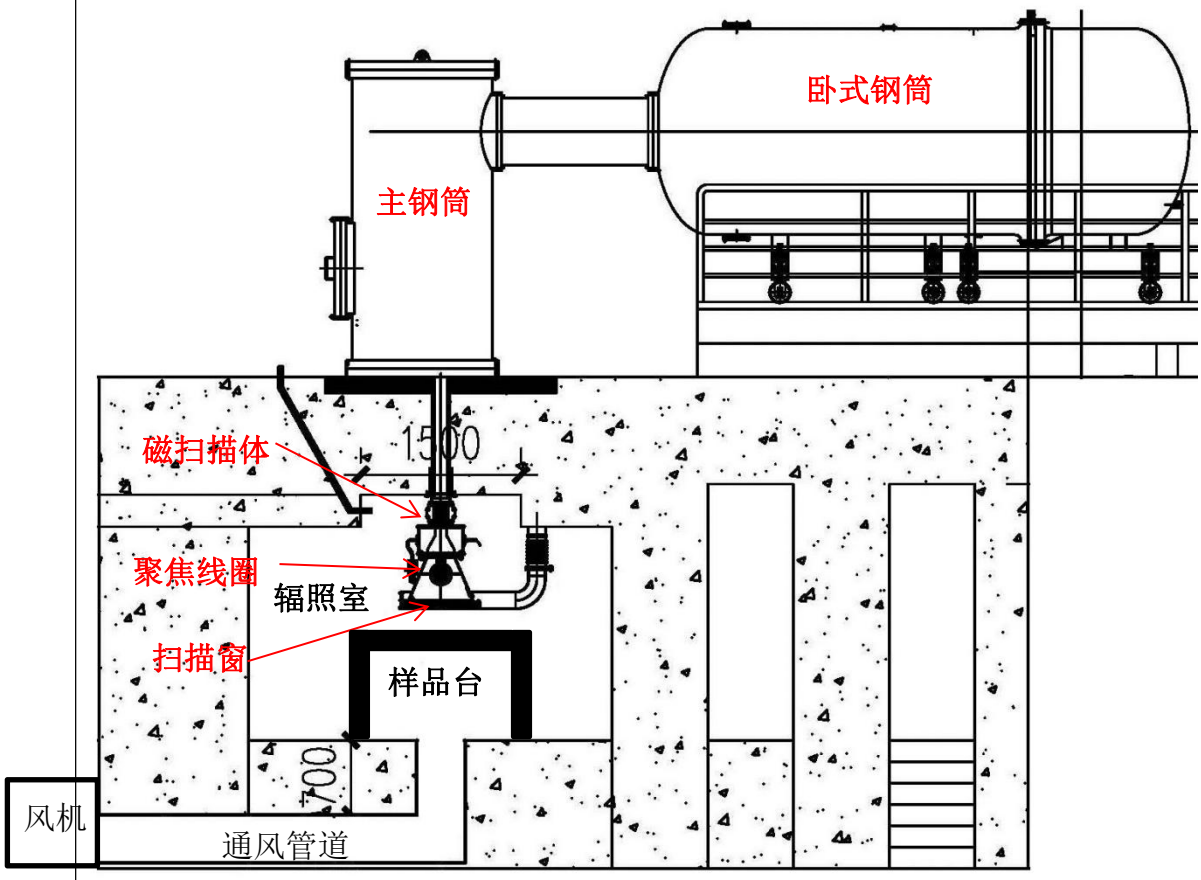


图 9-1 加速器整体结构示意图

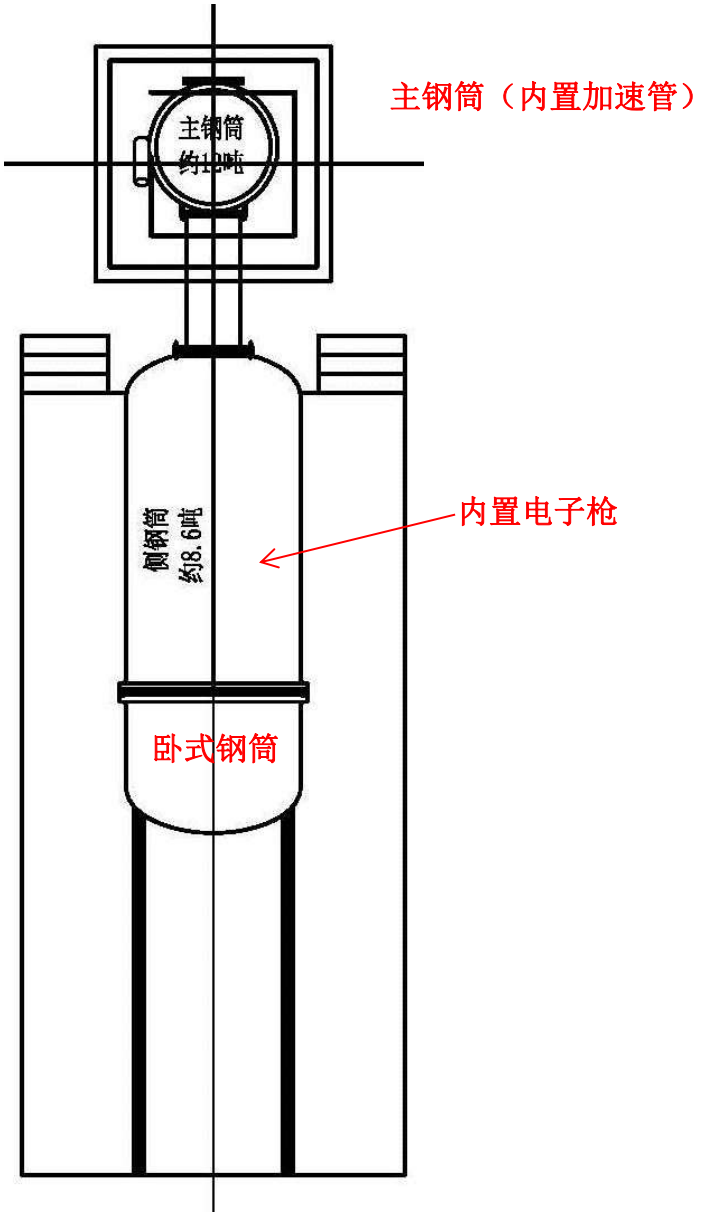


图 9-2　加速器地面一层部分钢桶结构图（俯视）

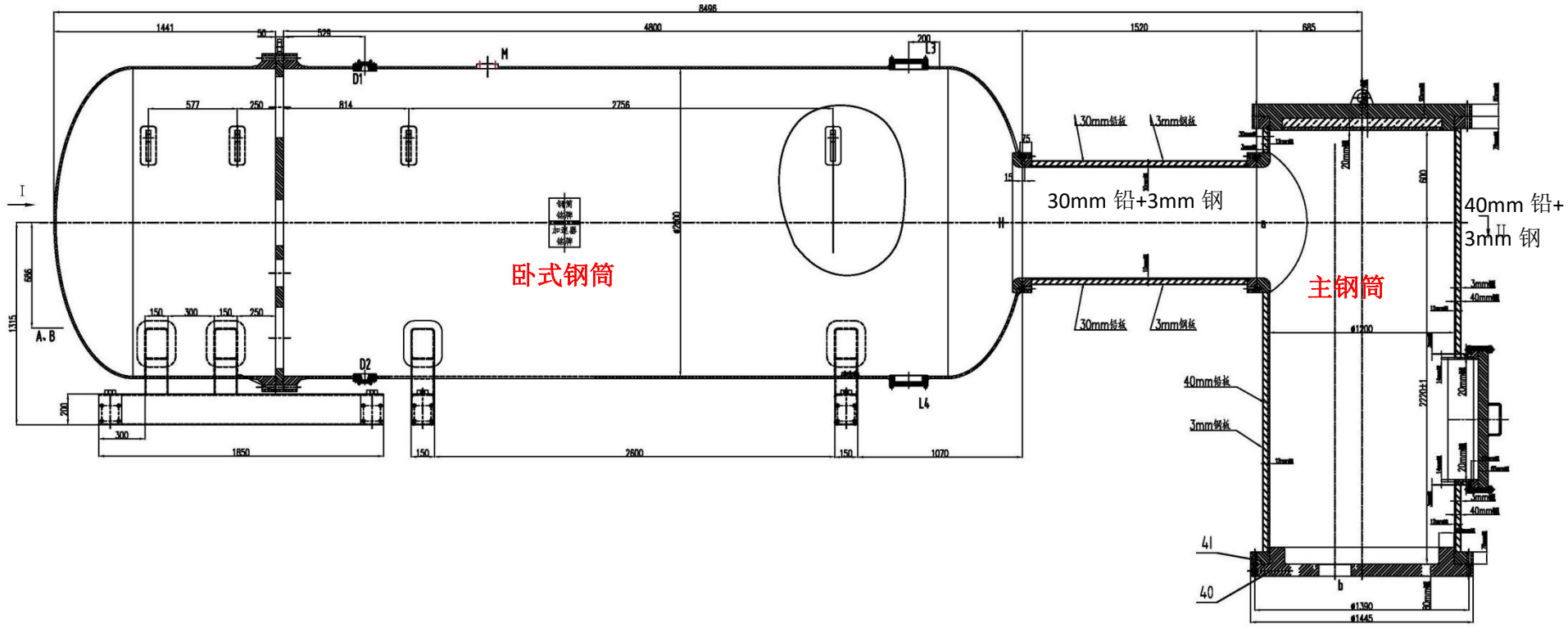


图 9-3　加速器主机（钢桶）结构图（正面）

表 9-1　加速器参数和运行一栏表

指标	参数
型号	DDLH2.0/30-500
电子束最大能量	2.0MeV
电子束最大束流	30mA
最大束流功率	60kW
束流扫描宽度	500mm~600mm
束流损失	主钢桶 0.1%、辐照窗（打靶）99.9% 主钢桶束流损失点能量 0.5MeV

2、运行工况

根据学校科研和教学实验安排，预计本项目加速器的年开机辐照工作时间不超过 500 小时，2 名辐射工作人员单班工作，人员受照时间不超过 500 小时。

3、工作原理

工业电子加速器是使电子在高真空场中受磁场力控制、电场力加速，从而获得高能量的特种电磁、高真空装置，是人工产生各种高能电子束或 X 射线的设备。

工业电子加速器产生的高能电子束、作用于有机高分子聚合物上，可使其大分子之间发生化学键搭建，形成三维网状结构（辐照交联），从而显著改善高分子、化学材料的化学稳定性和热稳定性。

本项目加速器设备由江苏达胜加速器制造有限公司生产，是高频高压半自屏蔽加速器（辐照室采用混凝土屏蔽，加速器主机采用钢桶自屏蔽）。其工作原理：首先它将工频低压电能，用高频振荡器变成 100-250kHz 左右的高频电能，再通过高频耦合方式给由二极管和空间电容组成的倍压整流电路并联供电，串联后得到极高的直流高压，用它加速电子，便可以获得所需要的高能强流电子。电子枪发出的电子流在负直流高压的作用下通过加速管时因被加速，成为高能电子。出加速管后经过聚焦和磁扫描体在水平方向进行扫描，然后穿

出钛窗对产品进行辐照。钢筒内冲以氮气和二氧化碳混合气体以保证加速器的高电位梯度。

3、加速器的工作流程及产污环节

加速器辐照的对象是高分子材料，整个辐照工作流程如下：

（1）学校教研人员将需要辐照的材料送至 906 号楼一楼加速器实验室样品收发室。

（2）辐射工作人员经登记和核实相关信息、接收样品后公众自行离开加速器实验室，若样品不被接收则由送样人当场取回。

（3）辐照前，辐射工作人员确认加速器处于非出束状态，打开辐照室防护门，将样品摆放至样品台（辐照室扫描窗下）。

（4）辐照室清场，辐射工作人员关闭防护门、退至控制室（地下一层，辐照室西侧）。

（5）辐射工作人员按照操作规程确认设备工况良好和各项安全联锁措施有效，启动加速器辐照样品。辐照过程中产生 X 射线和臭氧等废气。

（6）辐照结束后，辐射工作人员确认加速器处于停止出束状态，打开辐照室防护门进入辐照室，取回样品放置于样品收发室，记录相关辐照信息。

（7）通知送样人员取回已辐照样品。

整个辐照工艺流程中，进入辐照室放置和取回辐照材料是由辐射工作人员手动完成的，辐照过程由设备自动完成。公众不允许进入地下一层的辐照室及控制室，样品接收和取回都在一楼大厅的东侧的专用房间内（样品收发室）。

本项目 2 名辐射工作人员的主要工作包括：接收和登记样品，进出辐照室传递样品，在控制室内操作加速器出束、停束。其它工作，包括加速器的安装、调试、维修保养均由设备生产单位派遣有经验的技术人员负责。

本项目的产污环节主要集中在辐照室，电子束打到辐照样品和金属样品台时产生轫致辐射（X 射线），轫致辐射产生的 X 射线及电子电离空气产生臭氧和氮氧化物。此外加速管少量偏转电子束打在主钢桶上，束流损失的同时会产生少量的 X 射线（轫致辐射）。辐照过程中产物环节见图 9-4 所示。

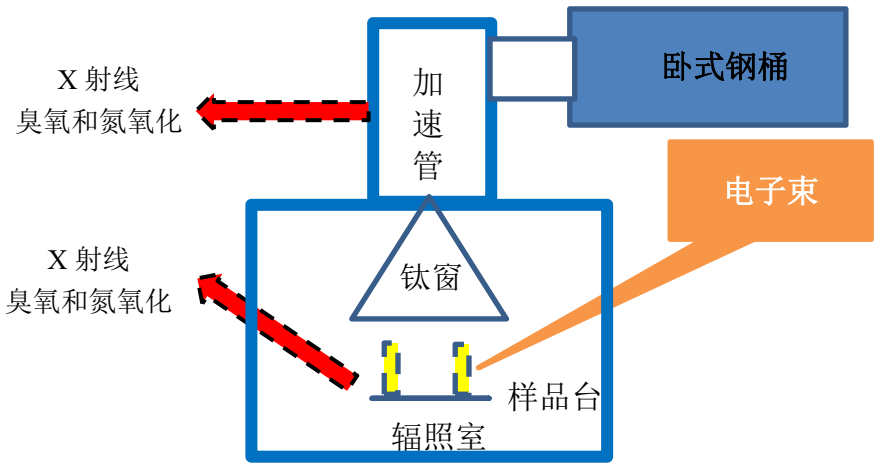


图 9-4 加速器辐照加工工艺流程和产污环节示意图

污染源项描述

1. 辐射污染源分析

加速器在进行辐照时电子枪发射电子，电子经加速管加速并经扫描扩展成为均匀的有一定宽度的电子束。设备正常运行时，电子束打到辐照产品和样品台上时会产生 X 射线，这部分 X 射线是加速器主要辐射污染源项。其次，电子在加速过程中，部分电子会偏转打在加速管壁上产生X射线，对机房周围环境产生一定的辐射影响。加速器偏转束流主方向的电子束在加速管内真空度良好的时候束流非常小，若出现真空度下降导致的束流损失增大，则设备会自动停机。

根据加速器生产单位提供的技术参数，在加速管部分的束流损失大约为主线束的 0.1%，即 30μA，能量不超过 0.5MeV。X 射线具有一定的贯穿能力，对辐照室周围环境造成辐射影响。

加速器在运行时产生的电子束，其贯穿能力远弱于 X 射线，在 X 射线得到充分屏蔽的条件下，电子束亦能得到足够的屏蔽。因此，在加速器开机辐照期间，X 射线辐射为项目主要的污染因子。

表 9-2 加速器放射性源项一览

位置	加速粒子	最大能量（MeV）	额定电流（mA）
加速器辐照厅	电子	2.0MeV	30mA
加速器钢桶	电子	0.5MeV	30μA

2. 非辐射污染源分析

（1）废气

空气在强电离辐射的作用下，会产生一定量的臭氧和氮氧化物。加速器输出的直接致电离粒子束流越强，臭氧和氮氧化物的产额越高。其中臭氧的毒性最大，产额最高，不仅对人体产生一定危害，同时能使设备上部分配件等材料加速老化。加速器辐照室配套良好的机械通风将臭氧和氮氧化物通过排气筒高空排放，臭氧和氮氧化物会很快弥散在大气环境中，臭氧 50 分钟后自动分解为氧气。

地面一层加速器主机（钢桶）周围由于偏转束流的流强较低，电离空气产生臭氧等废气的能力较弱，可以不考虑这部分影响。

辐照室内存在臭氧，加速器停机后对进入辐照室的辐射工作人员有一定的影响，需保证在停机后保持辐照室内通风一定时间，使得室内的有害气体浓度满足 GB/T25306-2010 中的职业接触限值要求。

（2）噪声

本项目在加速器开机时会同时启动排风、新风系统以及循环冷却水泵，这类设备功率均不大，设备 1m 处的噪声一般在 70dB(A)，通过室内建筑隔声，对周围环境影响较小。

（3）废水

本项目配套一套冷却水系统，用于冷却加速器真空系统部件及振荡器电子管，冷却水循环使用，不外排。加速器能量较低，长期运行不会使得冷却水活化。

（3）固体废物

本项目新增 2 名辐射工作人员，工作期间产生少量的生活污水和生活垃圾。

表 10 辐射安全与防护

项目采取的辐射安全措施

1. 辐射工作场所布局及分区管理

本项目加速器为卧式半自屏蔽结构，辐照室和控制室在地下一层（建设单位自建混凝土屏蔽）。辐照室内有扫描窗及束下系统、样品台，电子束流朝向地面。加速器运行时，辐射工作人员位于辐照室西侧相邻的控制室。

加速器主机位于辐照室上方，人员和样品通过906号楼已建的楼梯上下楼。地面一层除了布置有加速器主机（钢桶），周围还安装气体系统、储气罐、高频系统、循环冷却水系统等辅助系统。冷却水管和电缆线均通过地面与地下一层之间的辐照窗和地面缝隙，接入辐照室内。

由于加速器主机采用铅+钢的自屏蔽结构，设备周围辐射水平较低，地面一层采用普通建材（轻钢龙骨）将加速器主机、高频设备、冷却水系统等辅助设备等封闭在独立空间内（加速器主机室），与一楼大厅、钴源辐照中心之间设置物理隔断。加速器主机室在一楼北侧和样品接收室之间设置出入口并采用门禁系统，未经授权人员和公众无法进入该区域。

学校将对加速器工作场所进行分区管理，控制区和监督区的边界设置见图10-1和图10-2所示。控制区包括一层加速器主机室、地下一层辐照室作为控制区。监督区包括北侧排风井、一层样品接收室、地下一层控制室。控制区和监督区入口醒目位置处设置电离辐射警示标志和警示说明。

对控制区的管理：设置门机联锁，在加速器开机情况下禁止人员进入控制区。只有在加速器停机后，人员才能进出辐照室进行样品传递或者进入主机室维修维护。钢桶为密闭结构，人员无法进入，

对于监督区的管理：监督区的实体隔离出入口设置门禁，只有经过授权的工作人员才能进入。开机时，公众在任何情况下都禁止进入监督区。辐照室入口作为控制区边界设计安装门机联锁、光电联锁等装置。

本项目辐射防护分区的划分符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射工作场所的分区规定。

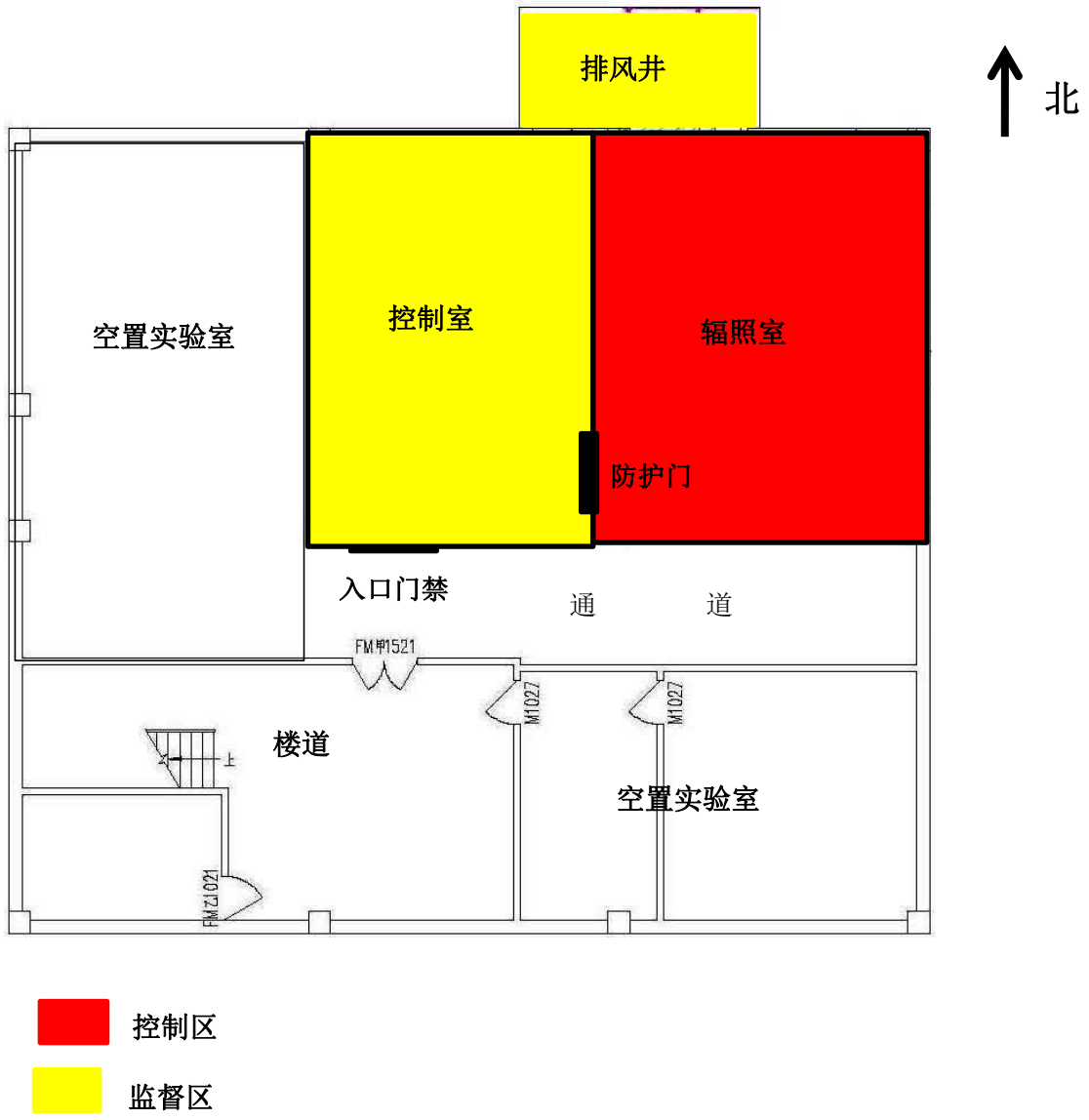


图10-1　地下一层辐射工作场所分区示意图

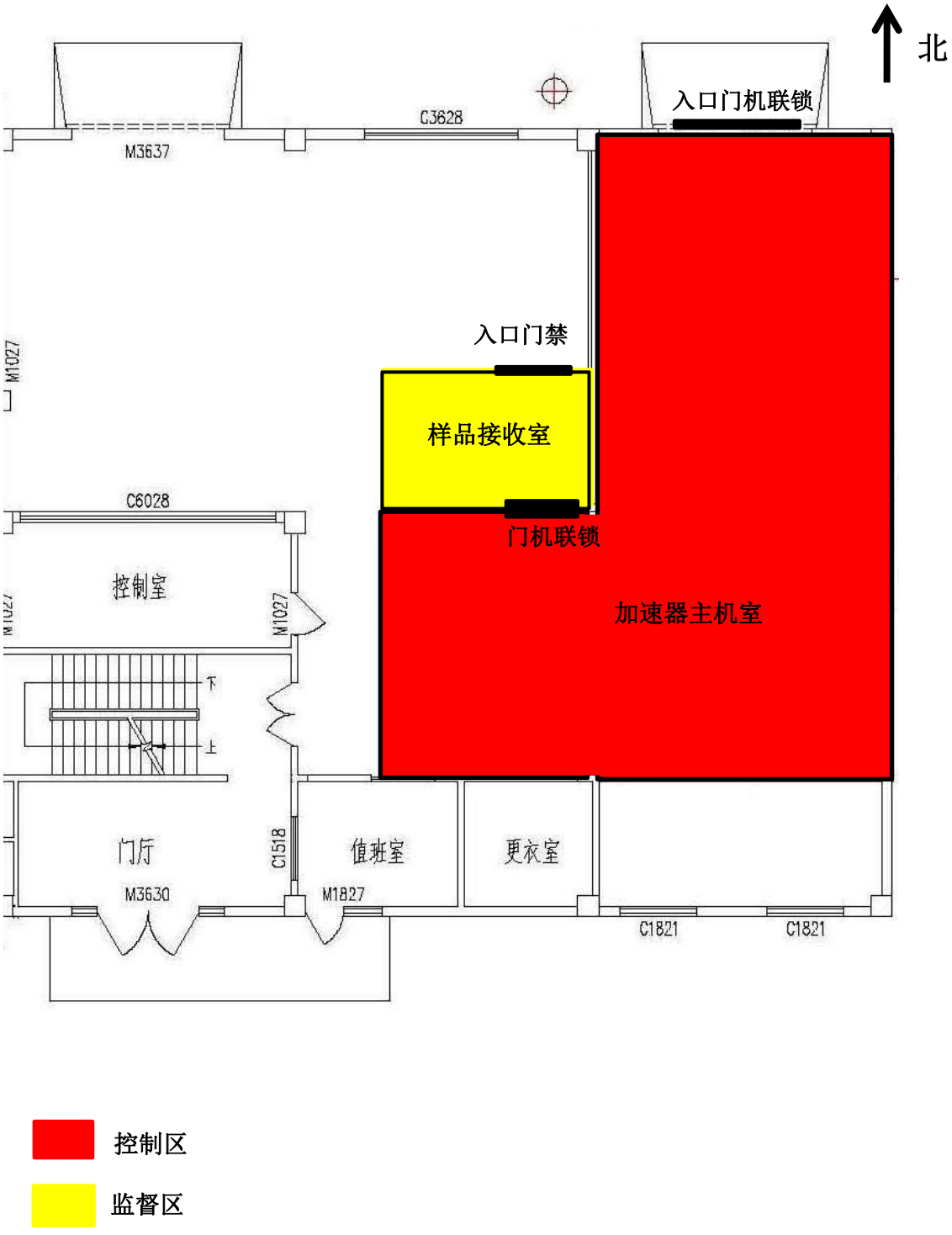


图10-2　地面一层辐射工作场所分区示意图

2. 辐射安全场所屏蔽设计方案

本项目加速器结构为紧凑的半自屏蔽加速器，地下一层辐照室需要建设单位建设混凝土屏蔽结构（包括四周和顶部混凝土屏蔽墙、防护门）；地面一层加速器主机钢桶采用铅+钢材料屏蔽结构（加速器生产厂商提供）。

对于电子束辐照过程中产生的X射线，主要通过位于地下一层的加速器辐照室混凝土墙体、屋顶和铅防护门作为屏蔽设施。辐照室设有1扇钢制防护门，用于人员携带样品进出，为电动开关的移门。

进出辐照室迷道采用S型，X射线经过至少4次以上散射才能达到迷道口。加速器主机、辐照室四周、底部和顶部的屏蔽材料及厚度见表10-1所示，辐照室结构示意图见图10-3和图10-4所示。

表10-1　加速器机房设计防护材料及厚度参数

位置	材料及厚度	相邻建筑
辐照室顶板	140cm混凝土	二层主机室
辐照室地板	120cm混凝土	地下土层
辐照室北墙	140cm混凝土	地下一层土层、通风管道
辐照室南墙	50cm混凝土	地下一层通道
辐照室迷道内墙	90cm混凝土	地下一层迷道
辐照室迷道外墙	90cm混凝土	地下一层迷道
辐照室西墙	140cm混凝土	地下一层控制室
辐照室东墙	140cm混凝土	地下一层土层
辐照室防护门	40mm钢	地下一层控制室
加速器卧式钢桶	14mm钢	地面一层加速器主机室
加速器主钢桶	40mm铅+3mm钢	地面一层加速器主机室
侧卧钢桶与主钢桶连接处	30mm铅+3mm钢	地面一层加速器主机室

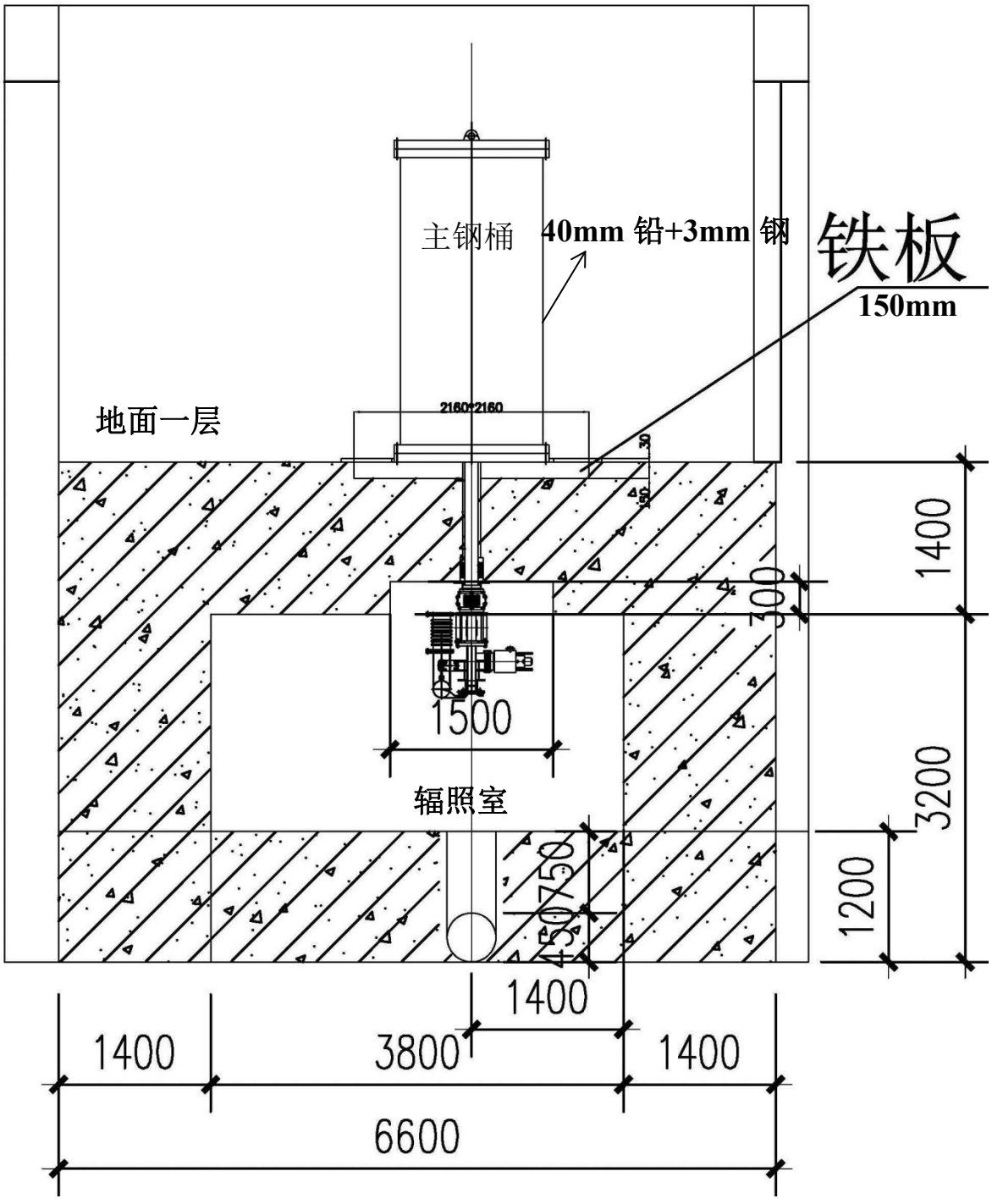


图 10-3　2.0MeV 加速器辐照室屏蔽结构示意图（立面）

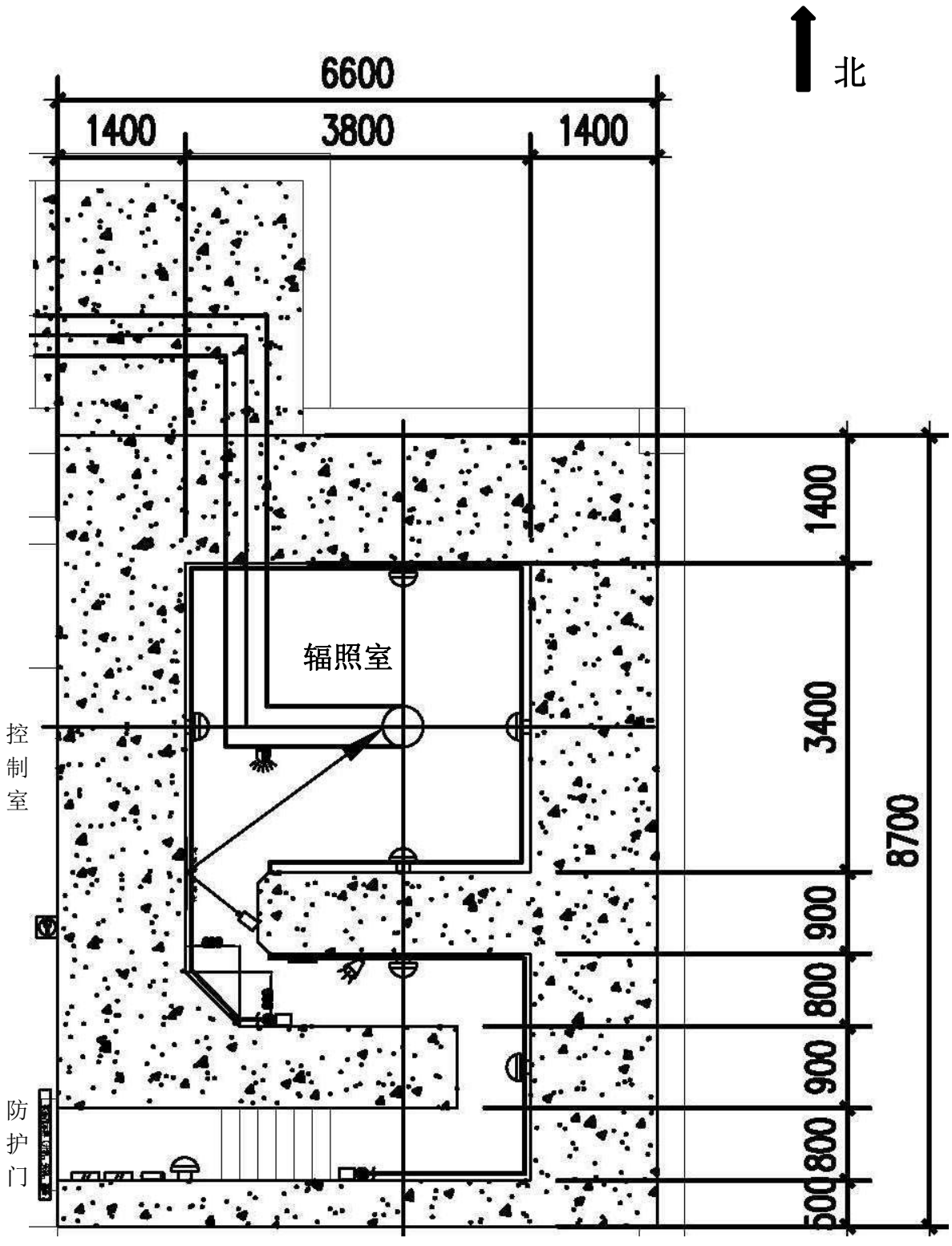


图 10-4　2.0MeV 加速器辐照室屏蔽结构示意图（平面）

3. 辐射安全设施描述及评价

为保障加速器安全运行，避免在加速器辐照期间发生人员误照射事故，本项目加速器参考 HJ979-2018 对安全联锁的要求，设计了相应的辐射安全装置和保护措施，主要包括：

（1）钥匙控制。加速器控制室内操作台上设置钥匙开关，并与辐照室门联锁。必须从控制台上拔出钥匙，插入防护门附近屏蔽墙上的钥匙盒中，方可打开迷道口的防护门。当从操作台上取出该钥匙时，加速器自动停机。该钥匙与一台有效的便携式辐射剂量报警仪相连，在运行中该钥匙是唯一的且只能由运行值班长使用。设备开机前，运行值班长将钥匙插入钥匙开关，才能启动加速器开机。

（2）门机联锁。辐照室入口处防护门、一层主机室入口门同时与加速器出束设置门机联锁。任何一扇门打开的情况下，加速器不能出束。在加速器高压启动后，打开任何一扇门，加速器自动停机停束。辐照室防护门、一层主机室门由同一把钥匙打开，且与一台便携式辐射剂量报警仪串在一起。

（3）束下装置联锁。当加速器出现以下情况，加速器会自动停机，包括：加速器电压及电子流超过正常值、真空度异常、钛窗风压异常、振荡器故障。当出现以下情况，会降束降压情况，包括：排风机故障、钢桶超温、钢桶空调故障、机械泵故障等。

（4）信号警示装置。在加速器辐照室入口处上方设置一个工作状态指示灯，并与加速器工作状态联锁，绿灯表示加速器停止运行，黄灯表示待机准备状态，红灯表示加速器装置正在运行，以提醒周围工作人员勿靠近。

加速器设置两处语音报警装置，一个位于地面一层主机室内，一个位于地下一层辐照室内，在加速器开机预热后准备出束前发出报警声，同时指示灯闪烁，提示加速器准备出束。该设置可以提醒机房内滞留的人员及时撤离。

（5）巡检按钮（即清场开关）。辐照室内从迷道至辐照室内部墙体上安装 6 个清场开关。加速器开机前，辐射工作人员必须进入辐照室内，按顺序依次按下清场开关，巡查有无人员滞留，否则加速器无法启动和出束。

（6）防人误入装置。在辐照厅内安装 3 处光电联锁，其中 2 处位于迷道口，1 处位于迷道内，加速器运行时若有人、动物经过红外线开关，加速器立即停止出束。

（7）急停装置。1）拉线开关：加速器辐照室内设置两段拉线开关覆盖辐照室内墙体，使得辐照室及其迷道内的急停装置（拉线开关）覆盖全部区域，满足 HJ979-2018 的要

求。其中一段从迷道口逆时针布设于迷道内墙，另一段从迷道外墙顺时针布设在辐照厅内。当发生人员滞留时拉下拉线开关，可以终止设备出束。拉线开关的布设可以使得紧急情况下，人员处于不同位置时就近采取束流急停的措施。拉线开关旁设醒目的标识，告知按键功能。操作室内设有急停开关，紧急情况下按下急停按钮可以立即停止出束。

（8）剂量联锁。加速器辐照室内迷道口和加速器主机室(主钢桶外）分别设置 1 个固定式在线辐射剂量率仪探头，在控制室的操作台可以实时读取该处的辐射剂量率数据，并于辐照室入口防护门联锁。当主钢桶附近、辐照室内的辐射水平高于一起设定的阈值时，辐照室门无法打开。

（9）通风联锁：主机室、辐照室通风系统与控制系统联锁，加速器停机后，只有达到预先设定的通风时间后才能开门，以保证室内臭氧等有害气体浓度低于允许值。

（10）烟雾报警。辐照室内天花板安装 1 处烟雾报警装置，警报响起后设备自动停机并停止通风。

（11）开门开关，辐照室内迷道出口处，安装一个开门开关，按下后可以打开防护门，便于滞留在内人员及时撤离。

（12）视频监控：在辐照室内安装视频监系统，迷道口安装 1 个视频探头，通过不锈钢反光镜，观察辐照室内情况，视频传递至控制室操作台上。地面一层主机室内安装 1 个视频探头，信号传输至控制室操作台。

（13）在辐照室和主机室入口处均设置电离辐射警告标志和中文警示说明，并在门开合处粘贴注意防止夹伤的提示语。

从上述安全设施布设和触发停机停束的条件分析，本项目加速器设计的安全联锁、警示及监测装置安装位置和数量可以满足辐照用加速器安全系统的安全性和冗余性要求。上述辐射安全装置和保护设施拟安装位置见图 10-5 和图 10-6 所示。学校根据设备维修维护规章制度的要求，定期对安全联锁等系统和设施进行检查，发现问题及时维修，并做好记录。

综上，本项目设计达到《粒子加速器辐射防护规定》（GB5172-1985）和《辐射加工用电子加速器工程通用规范》（GB/T 25306-2010）、《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》HJ979-2018 中安全设施的要求，项目设计安全可行。

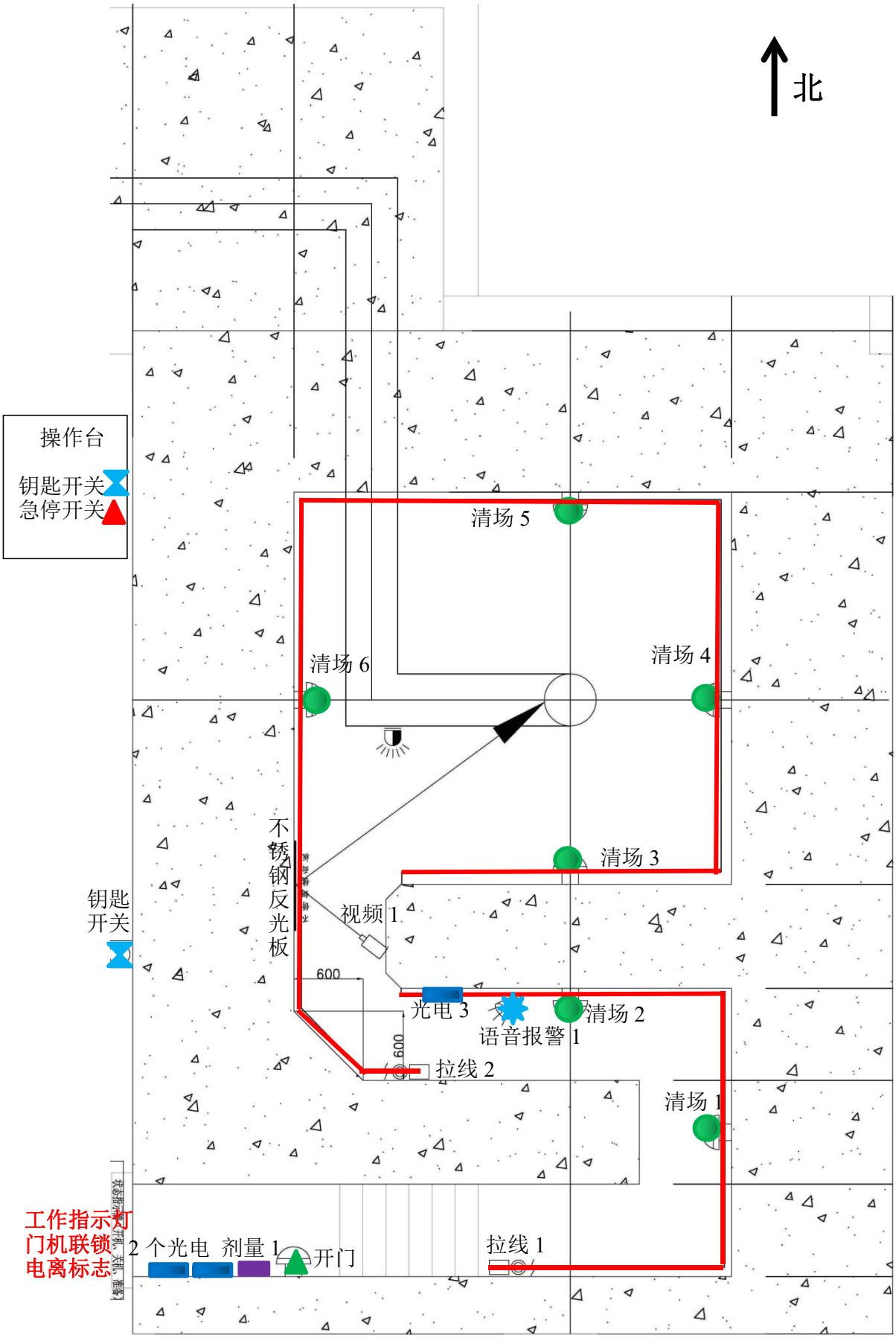


图 10-5 辐照厅安全设施分布示意图

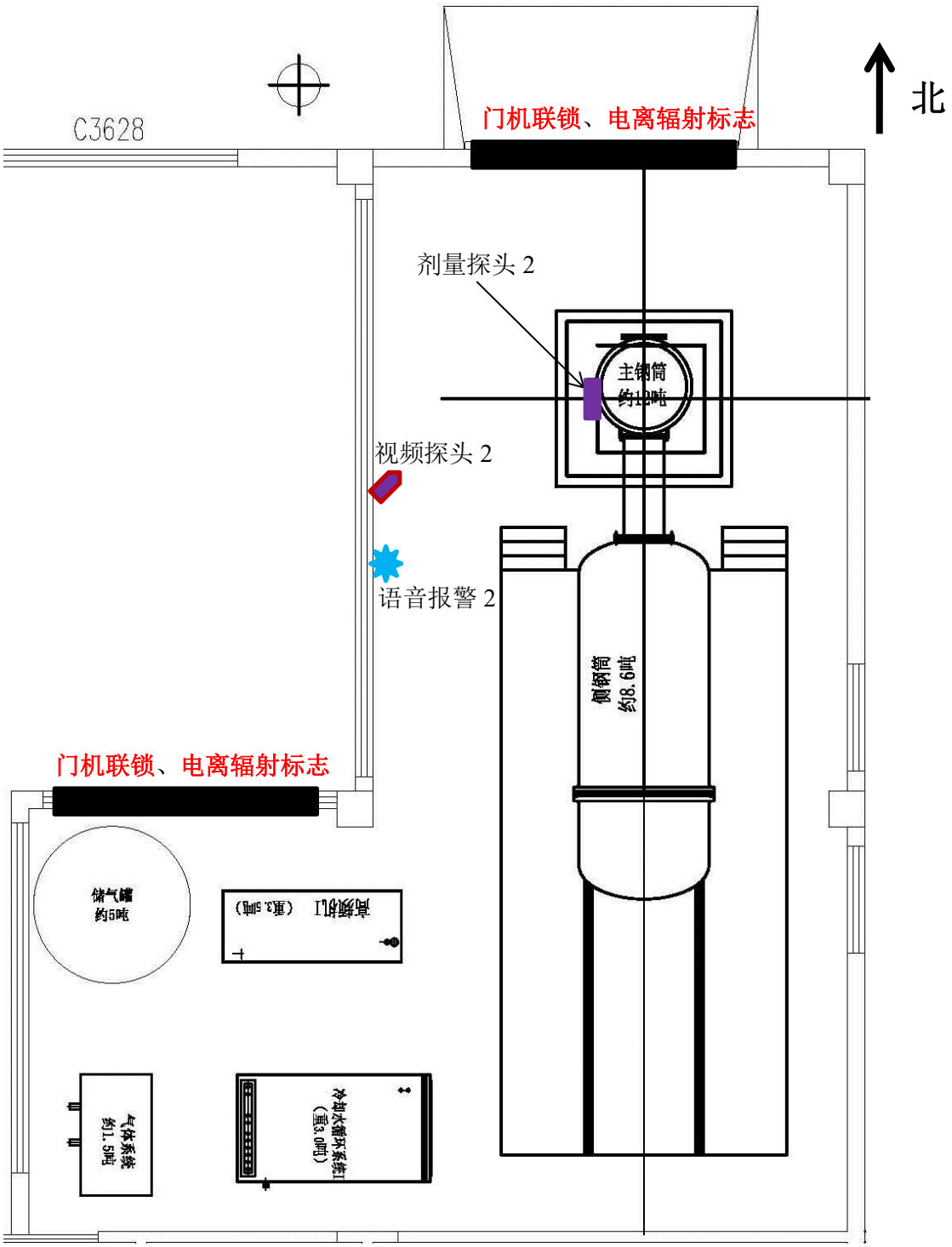


图 10-6 地面一层主机室安全设施分布示意图

三废的治理：本项目运行过程中没有放射性废水、废气及放射性固体废物产生。

工业辐照加速器在工作状态时，产生的电子束使机房内空气电离产生一定量的臭氧和氮氧化物。加速器输出的直接致电离粒子束流越强，臭氧和氮氧化物的产额越高。氮氧化物的产额大约是臭氧的 1/2。

加速器的通风系统见图 10-7，辐照室内设置了 1 个排风口，室内排放口位于辐照室北侧近地面，排风速率约 4500m^3/h，排风管道经地下 U 型管道穿过辐照室屏蔽墙，在一楼室外沿 906 号楼北侧墙体向上延伸，排放口位于本项目建筑楼顶。通风系统在加速器运行期间及停机后一一段时间内直保持连续运行，新风的送风速率约 3500 m^3/h，通过不锈钢管由辐照室顶部送入，辐照室内保持负压状态，臭氧和氮氧化物等废气不会泄漏至实验楼内。

本项目加速器辐照室的体积约为 60 m^3，按照排风速率 4500 m^3/h 估算，加速器辐照室换气达 70 次/小时以上，室内臭氧通过排风系统排入外环境，臭氧在常温下约 50 分钟可自行分解为氧气。

本项目所在建筑 906 号楼共地面 4 层，屋顶高度为 16.2m，排放口高度 16.5m。

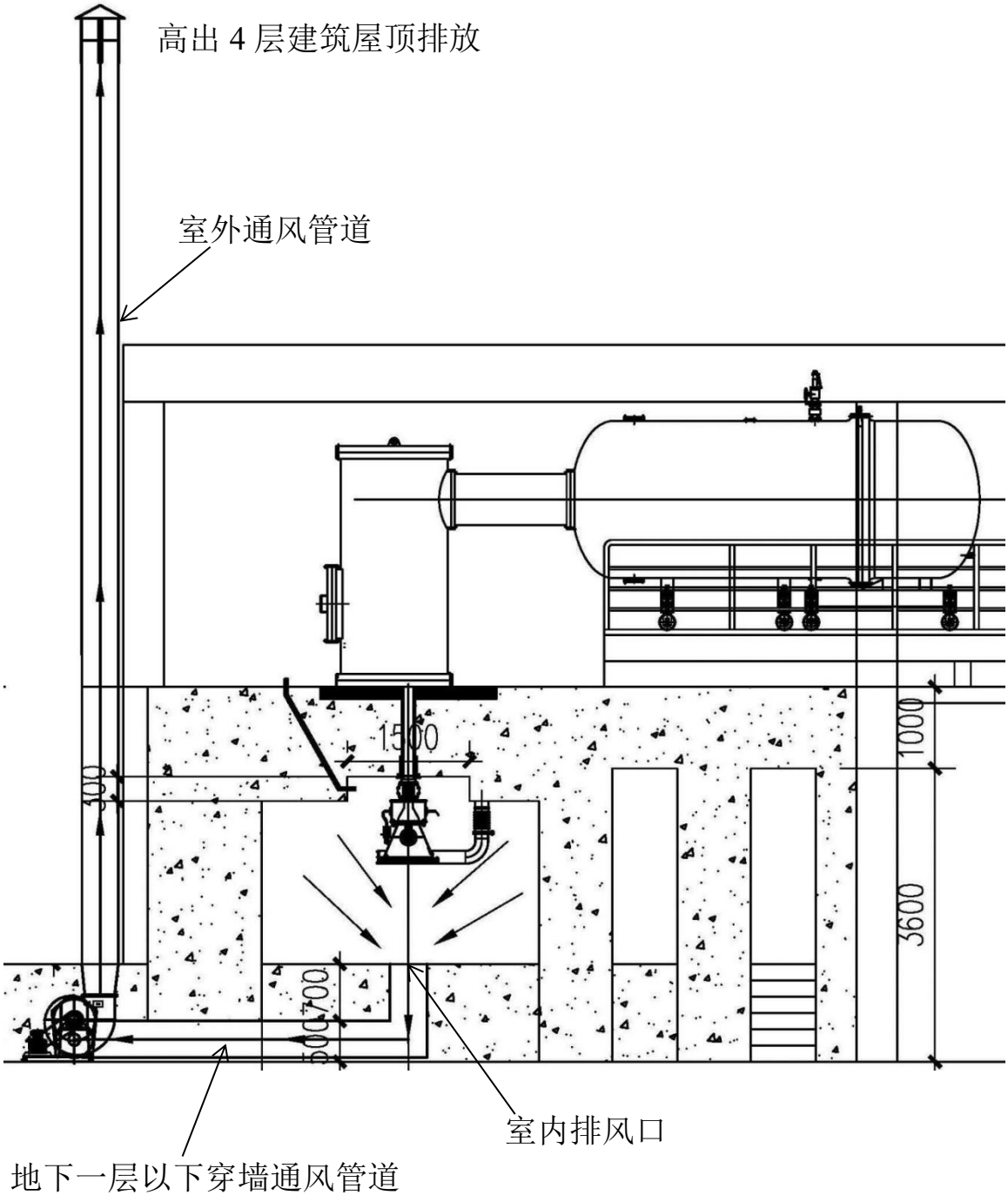


图 10-7 通风系统设计（立面）示意图

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

电子加速器由设备生产单位采用叉车、吊车等工具搬运至906号楼地下一层和一楼指定位置，然后进行安装调试，建设阶段除了辐照室土建施工以外，主要工作是将加速器钢桶、束下装置及其它配套设备和部件架设、组装完成，同时铺设加速器配套的冷却水管、通风管道、线缆管等。

加速器安装完成后，906号楼一层东侧建轻质隔墙，将加速器钢桶以及其它配套设备与一层大厅其他区域隔开，地下一层经装修后作为加速器辐照厅和控制室使用。

施工期间，加速器辐照厅需要采用一定厚度的混凝土浇筑，需要开展土建施工。施工过程中有施工机械噪声、施工扬尘、建筑废渣及施工废水产生。

本项目主要的施工将在室内完成，但施工工程量不大，施工周期短，施工期产生的少量废水和固体废物均可依托建设单位现有的处理措施进行处理。只要建设单位和施工单位在施工过程中严格落实对以下施工期污染防治和控制措施，施工期的环境影响不大。同时由于施工期对环境产生的影响均为暂时的、可逆的，随着施工期的结束，影响即自行消除。

1、大气污染防治措施

①施工场地扬尘可用洒水和清扫措施予以抑止；

②装修工程施工中，施工人员配备必要的防护装备和口罩，避免人体吸入粉尘；

③加强对施工人员的环保教育，提高全体施工人员的环保意识，坚持文明施工、科学施工、减少施工期的大气污染。

2、噪声防治措施

①主要设备加工在工厂完成，减少施工场地内加工机械产生的噪声；

②不随意扔、丢，减少金属件的碰击声。电钻等噪声设备使用时间尽量避开中午12：00～14：00 和晚上 10：00 以后；

③加强现场运输车辆出入的管理，车辆进入校园禁止鸣笛；

④施工单位通过文明施工、加强有效管理，材料堆放必须轻拿轻放。

3、固废防治措施

①装饰工程施工产生的废弃物料和生活垃圾等由市政环卫统一清运；

②在工程竣工以后，施工单位应同时拆除各种临时施工设施，做到“工完、料尽、场地清”。建设单位应负责督促施工单位的固体废物处置清理工作。

4、水环境污染防治措施

施工期水环境影响主要为施工人员的生活污水，其产量较小，可依苏州大学现有生活污水处理设施处理。

运行阶段对环境的影响

1. 运行期环境辐射水平估算

（1）环境影响评价思路

电子束产生韧致辐射有以下 2 种情况：正常生产情况下，电子束轰击产品物料，即辐照材料（低 Z 靶材料)；空载情况下，电子束打在样品台钢制材料上，不同能量电子束轰击不同物料时，其 X 射线发射率不同。对同一种靶材料，不同方向上 X 射线的发射率也不相同。本项目被轰击物质中不锈钢（样品台）Z 值最大，X 射线发射率最高，因此本节选取以不锈钢为轰击靶进行辐射防护评价。

本报告加速器以最大能量出束为计算条件，计算屏蔽体外辐射工作人员、周围公众的年受照剂量是否满足辐射防护的要求。

地下一层加速器辐照室内，加速器电子束朝下，不直接向四周屏蔽墙，因此辐照室辐射影响主要考虑韧致辐射所致，与电子束入射方向呈 90°的初级 X 射线，即朝向辐照室屏蔽体四周。

本项目加速器主机钢筒（外部采用铅屏蔽），且仅占辐照室顶部部分面积，而辐照室顶上其余部分分别设置辅助设备，仅在停机检修时有人员接近。辐照室顶部（一楼）辐射场由三部分来源：一是地下一层辐照室内与入射电子束成 135°~180°方向的韧致辐射初级 X 射线，穿过辐照室顶部的贯穿辐射场；二是地下一层辐照室内 0°方向上产生的韧致辐射初级 X 射线，经辐照室地面散射后次级 X 射线，到达地面一层形成的辐射场；三是加速器主钢桶内偏转电子束流与在钢桶作用产生的束流损失辐射场。

由于与电子束入射方向成 180°方向散射后次级 X 射线能量较低，且辐照室顶部孔洞设计尺寸较小（并覆盖钢板），直接照射到地面一层的射线受到钢板屏蔽，顶部又与加速器主机钢桶相接，受到加速器钢（铅）桶屏蔽，对周围影响较小。

对加速器钢桶（加速管所在位置）束流损失点屏蔽体外的辐射剂量率进行计算，根据建设单位提供的参数（附件 2 承诺书），加速管损失的束流为 30μA，加速管距主钢桶外 5cm 的距离为 0.65m，主钢桶的屏蔽厚度为 40mm 铅+3mm 钢。加速管

的电子束流偏转对钢桶外的辐射影响见表 11-2。

综上，加速器在工作时，加速器机房一楼区域主要考虑加速管电子束偏转撞击钢桶产生的韧致辐射，以及受到来自于辐照室内韧致辐射 X 射线透过辐照室顶板的贯穿辐射，其中来自辐照室的贯穿辐射强度保守按 90°方向的电子束 X 射线发射率来进行理论计算。但由于一楼加速器主机室入口设置安全联锁，人员若进入则会触动开门联锁装置，机器断高压停止出束，故正常运行期间，辐照室顶部的辐射场不对一楼人员造成影响，只有在联锁装置失灵的事故工况下，人员靠近辐照室顶部时加速器仍在出束，则会受到辐射影响。

（2）评价模式

根据加速器屏蔽设计参数来计算人员受照剂量，参考点的剂量当量率计算公式参照《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录 A 公式 A-1 并做如下变形：

$$H_m=1\times10^6\cdot D_{10}\cdot B_x\cdot T/d^2$$

其中：H_m：剂量当量率，μSv/h；

B_x：X 射线在屏蔽层中的透射比；

T：居留因子，计算设备周围辐射剂量率时取 1；

d：射线源到计算点的距离，m；

D_{10}：距离 X 射线辐射源 1m 处的吸收剂量指数率，$Gy\cdot h^{-1}$；

$$D_{10}=60\cdot Q\cdot I\cdot f_e$$

式中：

Q：X 射线发射率，$Gy\cdot m^2\cdot mA^{-1}\cdot min^{-1}$；

I：电子束电流强度，mA；

f_e：X 射线发射率修正系数；被辐照的靶材料考虑为金属制品“铁制”样品台，0°方向的修正系数 f_e 为 0.7，90°方向的修正系数 f_e 为 0.5；

透射系数 B_x 根据 HJ979-2018 附录 A 中的公式 A-3、A-4 变形型得到。

$$B_x=10^{-n}\qquad n=(S-T_1+T_e)/T_e$$

B_x：X 射线在屏蔽层中的透射比；

S：屏蔽体厚度，cm

T_1：在屏蔽厚度中，朝向辐射源的第一个 1/10 值层厚度，cm；

T_e：平衡 1/10 值层，该值近似于常数，cm；

n：十分之一层的个数。

本项目个人年受照附加剂量根据计算点位的剂量当量率预测结果结合工作时间和居留因子计算得到。

$$P= H_m \times t \times T/1000$$

其中：P：年受照附加剂量，mSv/a

H_m：预测点位的剂量当量率，μSv/h；

t：辐射工作人员年受照时间，500h/a；

T：居留因子。

（3）计算条件

加速器在最大电子射线束 2.0MeV 的能量下产生的韧致辐射，查《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录 A 表 A.1 中相应能量下电子束 X 射线发射率，90°方向（朝向四周）约为 1.6(Gy·m^2/min·mA)，X 射线在辐照厅内低耙材料（金属样品台）上 X 射线发射率修正系数为 0.5，辐射工作人员年 2000 小时开机，最大电流按 30mA 计。

辐照室顶部（一楼）的剂量率主要由辐照室 135°~180°初级 X 射线源穿透辐照室屋顶造成的，参考上述 90°方向的源项，取 1.6(Gy·m^2/min·mA)，X 射线发射率修正系数取 0.5。电子束在辐照室地面散射后穿透屋顶到达一层后，造成的剂量率远低于初级 X 射线源穿透后的辐射影响。

根据 HJ979-2018 表 A.4，2.0MeV 电子在 90°方向相当于入射电子的能量为 1.3MeV，根据 HJ979-2018 表 A.2、表 A.3 数据绘制 0.5MeV～1.5MeV 区间的 X 射线在混凝土中 T1（第 1 个什值层厚度）、Te（平衡什值层厚度）～电子能量拟合曲线，可由曲线表达式计算相应的 T1、Te 值（分别为 19.81cm、16.96cm）。

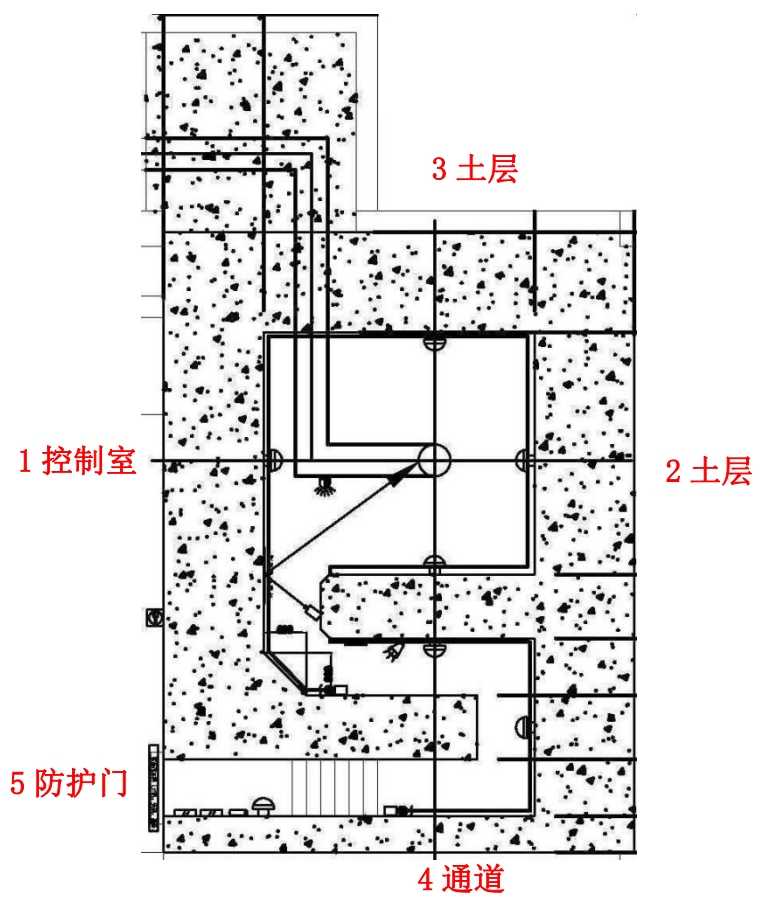
地面一层的另一部分剂量率，来自于束流损失在主钢筒上的最大能量 0.5MeV，其 90º方向等效能量为 0.4MeV，参照 HJ979-2018 表 A.4 中数据绘制 1.0MeV～2.0MeV 区间入射电子能量～90º方向等效入射电子能量的拟合曲线，采用曲线的数学表达式计算 0.5MeV 电子在 90º方向的等效能量（为 0.4MeV）；利用 HJ979-2018 表 A.2、表 A.3 数据绘制 0.5MeV～1.5MeV 区间的 X 射线在铅中的 T1、Te～电子能量拟合曲线，由曲线的数学表达式计算 0.4MeV 电子在铅中的 T1、Te 值（分别为 0.31cm、0.88cm）。同理，计算最大能量 0.5MeV 在 90º方向等效能量 0.4MeV 在铁中 T1、Te 值分别为

3.41cm、2.9cm。计算参数详见表 11-1，点位详见图 11-1。

11-1　加速器辐射影响计算参数

位置	辐射源项	Q Gy·m²/(mA·min)	I (mA)	f_e	混凝土 （cm）	T_l （cm）	T_e (cm)	d （m）	T （h）	居留因子 T
1 西侧屏蔽墙外表面 30cm（控制室）	辐照室韧致辐射	1.6	30	0.5	140	19.81	16.96	4.1	500	1
2 东侧屏蔽墙外表面 30cm（土层）	辐照室韧致辐射	1.6	30	0.5	140	19.81	16.96	3.1	500	/
3 北侧屏蔽墙外表面 30cm（土层）	辐照室韧致辐射	1.6	30	0.5	140	19.81	16.96	3.4	500	/
4 南侧屏蔽墙外表面 30cm（过道）	辐照室韧致辐射	1.6	30	0.5	90+50	19.81	16.96	5.9	500	1/4
5 防护门外 30cm（控制室）	辐照室韧致辐射	1.6	30	0.5	4cm 铁 148 混凝土	6.28 19.81	5.72 16.96	6.1	500	1/4
6 主钢筒外 30cm	辐照室韧致辐射	1.6	30	0.5	140	19.81	16.96	2.6	500	/
	加速管韧致辐射	0.07	0.03	0.5	4cm 铅	0.31	0.88	1.025		
7 样品接收室	辐照室韧致辐射	1.6	30	0.5	140	19.81	16.96	5.6	500	1
	加速管韧致辐射	0.07	0.03	0.5	4cm 铅	0.31	0.88	5.6		
8 钴源辐照装置控制室	辐照室韧致辐射	1.6	30	0.5	140	19.81	16.96	8.4	500	1
	加速管韧致辐射	0.07	0.03	0.5	4cm 铅	0.31	0.88	8.4		
9 一层大厅	辐照室韧致辐射	1.6	30	0.5	140	19.81	16.96	7.0	500	1/16
	加速管韧致辐射	0.07	0.03	0.5	4cm 铅	0.31	0.88	7.0		
10 二楼实验室	辐照室韧致辐射	1.6	30	0.5	140	19.81	16.96	8.6	500	1
	加速管韧致辐射	0.07	0.03	0.5	4cm 铅	0.31	0.88	8.6		
11 南侧 903 号楼	辐照室韧致辐射	1.6	30	0.5	140	19.81	16.96	10	500	1
	加速管韧致辐射	0.07	0.03	0.5	4cm 铅	0.31	0.88	10		
12 南侧 902 号楼	辐照室韧致辐射	1.6	30	0.5	140	19.81	16.96	33	500	1
	加速管韧致辐射	0.07	0.03	0.5	4cm 铅	0.31	0.88	33		
13 东侧 905 号楼	辐照室韧致辐射	1.6	30	0.5	140	19.81	16.96	10	500	1
	加速管韧致辐射	0.07	0.03	0.5	4cm 铅	0.31	0.88	10		
14 东南侧 904 号楼	辐照室韧致辐射	1.6	30	0.5	140	19.81	16.96	20	500	1
	加速管韧致辐射	0.07	0.03	0.5	4cm 铅	0.31	0.88	20		

备注：主机室内只有维修人员在加速器停机后检修时才会到达，此处主要考虑钢桶外辐射剂量率，不考虑人员受照剂量。



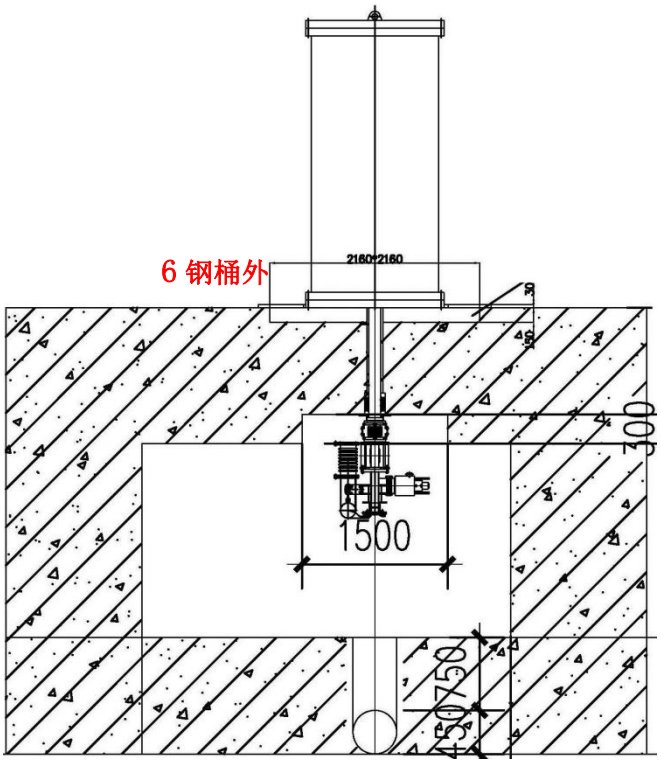


图 11-1　辐射影响计算点位示意图

（4）计算结果

表 11-2　现有设计参数条件下人员辐射影响计算结果

位置	人员	辐射剂量率(μSv/h)	年受照剂量(mSv/a)
1 西侧屏蔽墙外（控制室）	职业人员	0.702	0.351
2 东侧屏蔽墙外（土层）	职业人员	1.227	/
3 北侧屏蔽墙外（土层）	职业人员	1.020	/
4 南侧屏蔽墙外（过道）	职业人员	0.339	0.042
5 防护门外（控制室）	职业人员	0.027	0.003
6 主钢筒外 30cm	职业人员	2.206*	/
7 样品接收室	职业人员	0.392	0.196
8 钴源辐照控制室	职业人员	0.174	0.087
9 一层大厅	公众	0.251	0.008
10 二楼实验室	公众	0.166	0.083
11 南侧 903 号楼	公众	0.123	0.061
12 南侧 902 号楼	公众	0.011	0.006
13 东侧 905 号楼	公众	0.123	0.061
14 东南侧 904 号楼	公众	0.031	0.015

注*：主钢筒外剂量率来自于辐照室 X 射线穿透屋顶造成的剂量率 1.745μSv/h，以及主钢筒内电子束与钢桶作用产生的韧制辐射 X 射线剂量率 0.461μSv/h 的累加值 2.206μSv/h。

（5）辐射环境影响评价

根据表 11-2 计算结果，2.0MeV 加速器运行时，周围空气吸收剂量率最大值为地下一层辐照室周围 30cm 处的辐射剂量率最大值为 1.227μSv/h（东侧屏蔽墙外土层，无人员居留），地下一层有人员居留的辐照控制室、过道等位置剂量率最大值为 0.702μSv/h，低于 2.5μSv/h 的限值要求。

加速器一层主机厅钢桶外 30cm 处剂量率为 2.206μSv/h，加速器开机时无人员在其周围居留，一楼样品接收室在加速器开机时剂量率为 0.392μSv/h，远低于 2.5μSv/h。

一楼大厅、二楼实验室、一楼钴源辐照控制室及周围其它实验楼内公众受到本项目辐射附加剂量率不超过 0.251μSv/h，也处于较低水平。

根据表 11-2 计算结果可知，本项目运行后加速器辐射工作人员的年有效剂量最大值为 0.351mSv/a，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》中个人剂量限值（职业人员 20mSv/a）的要求，并满足本项目剂量约束值：职业照射个人年有效剂量

不超过 5mSv/a。

本项目周围公众（除了钴源辐照中心人员）年有效剂量 0.083mSv/a，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》中个人剂量限值（公众 1mSv/a）的要求，并满足本项目剂量约束值，公众个人年有效剂量不超过 0.1mSv/a。与加速器相邻的钴源辐照控制室内人员受到本项目加速器运行的附加剂量为 0.087mSv/a，处于较低水平，即使叠加钴源辐照运行期间的受照剂量（经了解职业人员年受照剂量低于 2mSv/a），这部分辐射工作人员也能够满足年受照剂量低于 5mSv/a 的要求。

（7）迷道及防护门屏蔽防护分析

本项目的加速器主机室简化为钢罩筒，辐照室内设计迷道，使得在 X 射线进入迷道后至少经过 3 次以上散射才到达防护门口。参考《辐射防护导论》（方杰主编）P189 以及《辐射防护手册（第一分册）》相关内容可知，“如果一个能使辐射至少散射三次以上的迷道，是能保证迷道口工作人员的安全。”本项目加速器迷道口又安装了钢制防护门，在防护门外的辐射剂量率预计能处于相当低的水平，满足辐射防护要求。

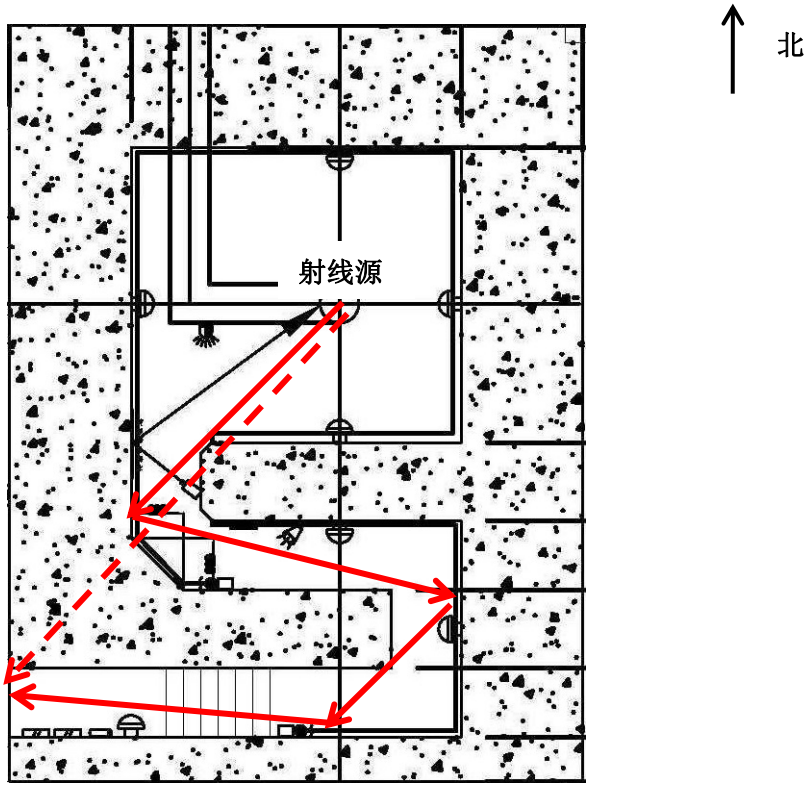


图 11-2　迷道散射路径示意图

防护门外的辐射剂量，需考虑辐照室内 90° 产生的 X 射线斜穿屏蔽墙和迷道散射辐射影响的叠加。X 射线斜穿屏蔽墙的混凝土厚度约 148cm，距离 6.1m，参照表

11-1 中的参数，在防护门外造成的剂量率为 0.107 μSv/h，迷道散射在防护门口造成的剂量率处于相当低的水平，叠加后经 4cm 厚钢制防护门屏蔽（屏蔽因子 0.25）后，预计对防护门外剂量率不大于 0.027 μSv/h。

（8）天空反散射、X 射线侧向散射影响分析

本项目考虑的天空反散射主要关注地下一层辐照室产生的 X 射线穿透辐照室顶部在一层大厅地面造成的辐射影响。为了降低天空反散射影响，设计辐照室顶部与屏蔽体四周厚度一致，都达到了 140cm（混凝土）。根据表 11-1 和表 11-2 计算结果，一层大厅内来自于辐照室 X 射线穿透屋顶造成的辐射剂量率为 1.745 μSv/h，可以预见天空散射造成的剂量率将处于很低的水平，满足 2.5 μSv/h 的限值要求。

X 射线侧向散射分别考虑辐照厅产生的韧制辐射 X 射线，90° 方向穿透屏蔽墙在地下一层周围造成的辐射剂量率，根据表 11-1 和表 11-2 计算结果，在屏蔽墙外造成的剂量率最大值为 1.227 μSv/h。在一层主机厅内，侧向 X 射线主要来自主钢桶内电子束与钢筒作用产生的韧制辐射，辐射剂量率为 1.745 μSv/h，处于可接受水平。

（9）电缆、冷却水管穿过屏蔽层评价

本项目地下辐照室、控制室与地面一层的电缆和冷却水管连接，通过加速器主钢桶底座与辐照室顶部之间的孔隙进行穿线、穿管。孔隙在建设初期进行预留，地下一层的扫描窗等辐照室主要部件安装好之后，再进行电缆、冷却水管的上下连通。钢桶底座与辐照室顶部之间铺设 15cm 钢板，穿线、穿管后周围覆盖 3cm 厚钢板，尽量降低辐照室内散射的 X 射线通过孔隙泄漏至一层主机室内。加速器运行时，钢桶所在的主机室无人员居留，加速器停机后进行设备检修，根据设备生产单位的经验，在一层地面穿线、穿管的孔隙处少量 X 射线泄漏对周围环境影响不大。

2、三废对环境的影响

本项目运行过程中没有放射性废水、废气及放射性固体废物产生。

辐照室是产生臭氧和氮氧化物的主要场所，其中臭氧对人体健康有一定的危害。因此，本项目主要考虑辐照室内臭氧污染影响。本项目排风机风量约 4500m^3/h。新风送风速率约 3500m^3/h，排风机风量大于送风机的风量，辐照室内处于负压状态，废气不会通过防护门或者一层地面与辐照室之间的孔隙泄漏至周围区域。在停机后，排风机将继续运行一段时间后才能打开辐照室防护门（通过程序控制防护门打开时间）。

本项目臭氧的产生量根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录 B 中的公式 B-1 进行估算。

$$P=45dIG$$

式中：

P：单位时间电子束产生臭氧的质量（mg/h）；

I：电子束流强度，30mA；

d：电子在空气中的行程（cm），本项目取 30cm；

G：空气吸收 100eV 辐射能量产生的臭氧分子数，保守取为 10；

通过理论计算可知，本项目加速器单位时间内电子束产生臭氧的质量 4.05×10^5mg/h。

辐照室内臭氧平衡浓度通过以下公式计算。

$$C=\frac{PT_e}{V} \qquad T_e=\frac{T_v\times T_d}{T_v+T_d}$$

C：辐照室臭氧平衡浓度，mg/m^3；

P：单位时间电子束产生臭氧的质量（mg/h）；

V：辐照室体积，本项目加速器辐照室体积，60m^3；

T_e：对臭氧的有效清除时间（h）；

T_V：辐照室换气一次所需时间（h）；

T_d：臭氧的有效化学分解时间（h），约为 50 分钟。

通过理论计算可知，辐照室内臭氧平衡浓度为 88.58mg/m^3。

加速器停止工作后，臭氧不再产生，使辐照厅内臭氧浓度降至国家规定限值时，才能打开辐照室门，所需通风时间为：

$$T=-T_e\ln\frac{C_0}{C}$$

T：关闭加速器后风机运行的持续时间（h）；

T_e：对臭氧的有效清除时间（h）；

C_0：GBZ2.1 规定的臭氧的最高容许浓度，0.3mg/m^3。

C：辐照室臭氧平衡浓度，mg/m^3。

通过理论计算可知，本项目加速器通过 4.5 分钟通风排气，辐照室内的臭氧浓度可满足《辐射加工用电子加速器工程通用规范》中（GB/T25306-2010）“臭氧，最高容许浓度：0.3mg/m^3”的规定。故本项目所有加速器停止运行约 4.5 分钟后，

工作人员才能进入辐射室。加速器在设计时，采用通风延时并与防护门联锁的方式，待停机后连续通风时间超过 4.5 分钟后，才能打开防护门进入辐照厅，尽量降低臭氧对进入辐照室工作人员的影响。

氮氧化物的产额大约是臭氧的 1/2，则氮氧化物的产生速率为 2.03×10^5mg/h，氮氧化物的浓度为 44.29mg/m^3。二氧化氮的排放满足排放浓度限值和 15m 以上高度排气筒的排放速率要求（本项目排气筒高度 16.5m），因此排放的氮氧化物满足《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）的要求。

根据废气排风浓度、排气筒高度和排气速率（5400m^3/h），采用《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ2.2-2018）附录 A 中的 AERSCREEN 模型计算臭氧和氮氧化物排放的最大落地浓度。排气筒内径 50cm，温度为常温，场址周边地形简单，在不利气象条件下（小静风，风速≤0.5m/s），且不考虑臭氧自动分解，经预测臭氧和氮氧化物的最大落地浓度分别为 0.019mg/m^3 和 0.009mg/m^3。

在最大落地浓度处臭氧和氮氧化物浓度对照《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中的二级标准的占标率分别为 9.5%和 3.6%，占标率均较小。排放的臭氧在常温下约 50 分钟可自行分解为氧气，对周围环境影响较小。本项目废气治理措施满足要求。

事故影响分析

本项目可能发生的事故是工作人员误操作或设备安全联锁装置失灵，造成工作人员误入或滞留在高辐射区内，发生人员超剂量照射事故。在加速器检修期间，加速器主机可能会意外接通高压出束，造成人员误照。

本项目使用的工业电子加速器属于Ⅱ类射线装置，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环境保护部令第 18 号）的规定，该类射线装置可能发生的事故是指射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。为杜绝事故隐患，学校应加强管理，严格按操作规程操作，每次辐照前确保辐照室内清场并确保无人员滞留后方可开机，定期检查各项安全联锁装置的有效性，定期监测加速器机房周围的辐射水平，确保工作安全有效运转。在检修期间，在满足检修条件的情况下，值班长应拔出控制柜的开机钥匙或者切断加速器的电源，防止设备意外启动，待检修完成才能接通电源试运行，试运行正常才能正式投用。

当发生或发现辐射事故后，当事人应立即向单位的辐射安全负责人和法定代表人报告，学校应当立即启动本单位的辐射事故应急措施，采取必要防范措施，根据《江苏省辐射污染防治条例》要求“在事故发生后一小时内向所在地环境保护和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生部门报告”；根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》要求“在两小时内填写初始报告，向当地人民政府环境保护主管部门报告”。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

1. 辐射安全管理机构设置情况

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规要求，使用 II 类射线装置的单位应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。

苏州大学在现有核技术利用项目运行时，已建立了辐射安全与环境保护管理机构，配备 1 名专职辐射安全管理人员，负责整个学校的辐射安全管理工作。使用该台加速器实验室将配备 1 名兼职的辐射安全管理员，负责加速器工作场所辐射安全管理工作，并统一纳入整个学校的辐射安全管理。

2. 人员配备与职能

本项目配备 2 名辐射工作人员（专职），辐射工作人员通过生态环境部网站 http://fushe.mee.gov.cn/自主开展辐射安全培训，并通过相关部门组织的上岗考核，具备一定的辐射安全和防护专业知识后持证上岗。同时辐射工作人员上岗前应接受职业人员体检，符合辐射工作人员健康标准后方可从事相关工作。工作期间佩戴个人剂量片进行个人剂量检测。

辐射安全管理规章制度

根据已修订的《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中的有关要求，使用射线装置的单位要健全操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、设备使用登记制度、人员培训计划、检测方案等，并有完善的辐射事故应急措施。

苏州大学根据上述要求制定、完善相关规程，将相应规章制度落实到日常生产工作中。具体包括：

a）岗位职责

学校将针对加速器的使用制定岗位责任制度，配备相关辐射安全管理人员，负责辐射安全和防护工作。岗位职责制度中明确学校法人、辐射防护安全管理部门和加速器实验室、辐射工作人员的职责，并且责任落实到人。

b）操作规程

学校将针对拟建的加速器制定相应的操作规程，规定在辐照工作的操作步骤、相关主意事项等，并使辐射工作人员熟练掌握。

c）辐射防护和安全保卫制度

学校将完善“辐射防护与安全保卫制度”，规定新增加速器的辐射防护与安全保卫工作，定期对辐射防护与安全保卫相关的防护用品、监测仪器等进行检查。

d）设备检修维护制度

学校将修订相关的“设备检修维护制度”，规定加速器机房的安全措施（联锁装置、警示标志、工作指示灯等）、监测仪器等的定期检修维护。

e）设备使用登记制度

学校已制定“设备使用登记制度”，按照相关制度，加速器每次开机前进行登记，做到每次使用均有记录可查。

f）环境监测制度

学校已制定“环境监测制度”，包括辐射工作人员的剂量监测工作制度和工作场所定期环境监测制度。发现个人剂量监测结果异常的，立即核实和调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关，根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《江苏省辐射污染防治条例（2018 年修正本）》，在接到辐射工作人员个人剂量监测报告之日起 5 日内报发证的生态环境、卫生健康部门

调查处理。对于在学校定期自我监测或委托监测时发现异常情况的，应立即采取应急措施，并向县（市、区）或者设置区的市生态环境部门报告。

g）人员培训计划和健康管理制度

学校已制定“人员培训计划和健康管理制度”，对辐射工作人员在上岗前进行健康检查，进行辐射安全知识培训，人员在体检合格、培训并考试合格后方可上岗工作，健康档案长期保存。

h）辐射事故应急措施

学校已制定辐射事故应急预案，本项目加速器投入运行铅，将加速器辐射事故的应急措施一并纳入学校的应急预案中。预案中规定若加速器出现异常，立即切断高压和电源，通知加速器生产单位上门检修。若有被误照射人员，立即送有资质的医疗机构检查和救治。

在应急程序中明确应急组织机构中各成员的姓名和 24 小时联系电话以及上报生态、卫生健康等管理机构的 24 小时联系电话。

对于在学校定期自我监测或委托监测时发现异常情况的，将根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求，在发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要防范措施，并国家有关《放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度》的要求，在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门和公安部门报告。

根据《江苏省辐射污染防治条例》要求“在事故发生后一小时内向所在地生态环境和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康部门报告”。

辐射监测

1. 环境监测方案

（1）个人剂量检测

学校开展辐射工作人员个人剂量监测，每 3 个月将个人剂量计收集后统一送有资质的单位检测。学校辐射安全管理机构对个人剂量监测结果（检测报告）统一管理，建立档案，长期保存。

（2）工作场所辐射环境检测

学校每年委托有监测资质的单位对辐射工作场所进行年度监测；连同年度辐射环境评估报告一并在次年 1 月 30 日前送交环保部门。

加速器实验室每月用巡检仪对工作场所进行环境自检，保存相关记录。设备出现故障维修后，经巡检达到国家标准后再次启用。

2. 环境监测仪器配备

学校已配备 1 台 X-γ 巡检仪，每名辐射工作人员配备个人剂量计，工作期间随身佩戴。加速器拟配备 2 台剂量报警仪，辐射工作人员工作时随身携带。加速器辐射工作场所配套 2 个固定式辐射剂量探头，位于加速器辐照室内、加速器主机室，实时监控设备运行时工作场所环境辐射水平。

加速器实验室拟配备 1 台 X-γ辐射个人剂量率监测仪，并且每月自检，保存检测记录。

辐射事故应急

苏州大学已制定《辐射安全事故应急预案》，并按相关规定要求成立了辐射事故应急指挥小组，小组由学校领导、学院领导、加速器实验室负责人等组成，同时规定应急小组的主要职能，应急处理程序，宣传、培训及演练等内容。

学校制定的应急预案已明确各小组成员的职责与分工，以及应急事故处理相关的联系方式。在学校已开展的核技术利用项目多年，从未发生辐射事故。学校注重日常工作中对教职工进行辐射防护知识的培训和安全意识教育，不断完善辐射安全管理制度。

加速器实验室在开展辐射工作时严格按操作规程操作，每次辐照前确保控制区内无人后方可开机，定期检查各项安全联锁装置的有效性，确保工作安全有效运转。在检修期间，在满足检修条件的情况下，值班长应拔出开机钥匙、切断加速器的电源，防止设备意外启动，待检修完成才能接通电源试运行，试运行正常才能正式投用。

在事故发生后，根据《江苏省辐射污染防治条例》要求“在事故发生后一小时内向所在地生态环境和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康部门报告”；根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》要求“在两小时内填写初始报告，向当地人民政府环境保护主管部门报告”。

落实以上要求后，苏州大学辐射事故应急措施能够满足辐射安全的要求。

表 13 结论与建议

结论

实践正当性评价：苏州大学拟新增 1 台型号为 DDLH2.0/30-500 型 2.0MeV、30mA 工业辐照加速器，用于学校科研工作中的高分子材料辐照。本项目设计采用的屏蔽措施完善，对设备周围的辐射剂量率附加影响很小，理论预测本项目周围职业人员和公众的受照剂量均满足本项目管理目标值，因此该项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）“实践的正当性”的原则。

选址、布局评价：苏州大学新建加速器位于苏州工业园区仁爱路独墅湖校区 906 号楼，拟将原址建筑中的一层东侧大厅改造为加速器主机室，地下一层改造为辐照室和控制室。加速器所在建筑北侧是校园道路，其余侧 50m 范围内都是实验楼，不涉及居民区、学校宿舍等环境敏感目标，远离校园内的教学区和生活区。本项目环境保护目标主要是加速器辐射工作人员和周围公众。本项目加速器各机房布局合理可行。

辐射防护措施评价：本项目加速器为卧式半自屏蔽结构（辐照室采用混凝土屏蔽，主机室钢桶为铅罩+钢板结构）。根据理论预测可知，本项目加速器屏蔽体的厚度能满足防护要求；电缆管道、冷却水管道、通风管道的设置合理可行，未破坏加速器的屏蔽效果，本项目辐射防护措施满足管理要求。

辐射安全措施评价：本项目设置安全联锁装置：①加速器控制室内操作台设置钥匙开关；②控制室内设置急停按钮，辐照室内采用拉线开关；③辐照室及主机室入口设置门机联锁装置；④辐照室入口上方设置工作状态指示灯，并与加速器高压联锁；⑤当加速器出现以下情况，加速器也会切断高压，这包括：加速器电压及电子流超过正常值、真空度异常、钛窗风压异常、振荡器故障。当出现以下情况，会降束降压情况，这包括：排风机故障、钢桶超温、钢桶断水（空调故障）、机械泵故障等。⑥辐照室迷道内设置 3 道光电联锁。⑦辐照室内设置清场开关，开机前人员按程序规定的路线巡视并按下开关后才能开启加速器。⑧辐照室迷道出口处设置开门开关。

安全警示及监测装置：①在辐照室和主机室入口设置电离辐射警示标志，并在防护门开合门缝处粘贴注意防止夹伤的提示语；②辐照室和主机室内设置声光报警装置；③辐照室、主机室内设置剂量监测探头，在操作台上

可以观察工作场所的辐射水平；④加速器辐照室和主机室内设置视频监控；⑤辐照室内设置烟雾报警，警报响起后加速器紧急停机。

本项目设计安装以上安全联锁和警示、监测装置，满足《粒子加速器辐射防护规定》（GB5172-85）中对辐射装置安全系统的安全性和冗余性要求，也满足《辐射加工用电子加速器工程通用规范》（GB/T 25306-2010）、《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》HJ979-2018 中有关安全联锁、警告设施的设置要求。

辐射环境影响评价：经估算，本项目辐照室和主机室外辐射水平均低于 2.5 μGy/h，加速器运行对 906 号楼内其它场所及校园内其它建筑的附加辐射影响处于可忽略水平。本项目辐射工作人员和公众年有效剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和本项目管理目标（职业人员年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.1mSv）的剂量限值要求。

臭氧对环境影响评价：本项目加速器辐照厅内设置有机械通风系统，加速器停止出束后经 4.5min 的连续通风，辐照室内的臭氧浓度可达到《辐射加工用电子加速器工程通用规范》中（GB/T 25306-2010）“臭氧，最高容许浓度：0.3mg/m^3”。此时辐射工作人员打开防护门，进入辐照室是安全的，臭氧对辐射工作人员的影响很小。室内臭氧通过排风系统高出所在建筑屋顶排入环境，臭氧在常温下约 50 分钟可自行分解为氧气，对环境影响较小。

辐射安全管理评价：苏州大学已成立了辐射安全和环境保护管理机构，有专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并明确辐射防护管理小组的主要职责；学校制定相关的辐射管理制度及辐射事故应急预案，组织辐射工作人员自主参加辐射安全和防护专业知识的培训，参加生态环境部门组织的考核，经考核合格后上岗操作。辐射工作人员开展个人剂量监测，定期参加职业健康体检，学校建立辐射工作人员个人剂量档案和职业健康监护档案并长期保存。

辐射防护监测仪器：苏州大学为本项目配备 1 台 X-γ剂量率巡检仪和 2 台便携式剂量报警仪。

综上所述，苏州大学新建 1 台工业辐照用加速器项目在落实本报告提出的各项污染防治措施和管理措施后，将具备其所从事的辐射活动的技术能力和辐射安全管理能力，其运行对周围环境产生的影响较小，故从辐射环境保护角度论证，该项目的建设运行是可行的。

建议

1. 辐射工作人员开展辐照工作时要严格按照操作规程操作，学校应加强辐射安全教育，避免意外照射事故。

2．加速器实验室定期对所有安全设施、辐射监测仪表的有效性和可靠性进行检查。

3．项目建成投运后 3 个月内开展自主验收工作

附表：“三同时”措施一览表

项目	“三同时”措施	预期效果	预计投资（万元）
辐射安全管理机构	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	符合《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》有关要求。	/
辐射安全和防护措施	加速器地下一层辐照室四周屏蔽墙、顶部混凝土厚度为 140cm，迷道墙混凝土厚度为 50cm~90cm，地面一层主机钢桶采用 40mm 铅+3mm 钢，卧式钢桶采用 14mm 钢。	屏蔽体外 5cm 的辐射剂量率小于 2.5μSv/h，符合《γ 射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ141-2002）的要求。	30
	加速器安全设施设计安装钥匙开关、门机联锁、清场开关、开门开关、信号警示装置、拉线开关、剂量监测系统、视频监控系统、停机后连续通风联锁、设置工作状态指示灯、电离辐射警告标志和中文警示说明及防止其他伤害的提示语等安全措施。	符合《粒子加速器辐射防护规定》（GB5172-85））和《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）的有关要求。	10
通风措施	辐照室设置排风装置，排风管道位于辐照室北侧室外，室外排放口位于所在建筑（四层）顶部，高于本建筑楼顶。加速器拟安装的风机排风速率约 5400m^3/h。新风也采用送风装置，使辐照室内保持负压状态，臭氧和氮氧化物等废气不会泄漏至同建筑内其它实验室和钴源辐照中心。	符合《粒子加速器辐射防护规定》（GB5172-85））和《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）（参考）的有关要求。	5
人员配备	辐射工作人员自主参加辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训，并通过生态环境部门组织的考核。	符合《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2019 年修正本）的要求	1.0
	辐射工作人员进行个人剂量监测（每 3 个月/次）和职业健康体检（每 1~2 年/次）。	符合《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2019 年修正本）的要求	2.0

	建立个人剂量档案和职业健康监护档案，长期保存。	符合《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2019年修正本）的要求	/
监测仪器和防护用品	学校已配备1台环境辐射巡测仪。加速器辐照室内和加速器主机室分别安装1个固定式辐射剂量探头，实时监控设备运行时地下一层辐照室内和地面一层主机室工作场所的环境辐射水平。	符合《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2019年修正本）的要求	2.0
	配备2台个人剂量报警仪。	符合《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2019年修正本）的要求	0.5
辐射安全管理制度	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、设备台账和使用登记制度、人员培训计划、监测制度、辐射事故应急措施	符合《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2019年修正本）的要求	/
总计	—	—	50.5

以上措施应在试运行前落实到位。