

核技术利用建设项目
使用加速器和后装机项目
环境影响报告表

建设单位：中国医学科学院肿瘤医院 (公章)

2019 年 9 月

核技术利用建设项目
使用加速器和后装机项目
环境影响报告表

建设单位名称：中国医学科学院肿瘤医院

建设单位法人代表（签名或签章）：赫捷

通讯地址：北京市朝阳区潘家园南里 17 号

邮政编码：100021

联系人：杨剑

电子邮箱：2061@vip.sina.com

联系电话：010-87787416

目 录

表 1 项目基本情况	1
表 2 放射源	14
表 3 非密封放射性物质	15
表 4 射线装置	16
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	17
表 6 评价依据	18
表 7 保护目标与评价标准	20
表 8 环境质量和辐射现状	22
表 9 项目工程分析与源项	24
表 10 辐射安全与防护	33
表 11 环境影响分析	41
表 12 辐射安全管理	76
表 13 结论与建议	83
表 14 审批	86

附图 1：医科院肿瘤医院东院区地理位置示意图

附图 2：本项目所在位置（放疗楼 C）周围环境示意图

附图 3：放疗楼平面布局和本项目所在具体位置示意图

附图 4：加速器机房 3 平面、剖面布局示意图

附图 5：加速器机房 8 平面、剖面布局示意图

附图 6：核磁加速器机房 10 平面、剖面布局示意图

附图 7：后装机机房平面、剖面布局示意图

附件 1：《辐射安全许可证》正副本及台帐复印件

附件 2：通过环保培训辐射工作人员情况表

附件 3：2018 年度个人剂量监测结果

附件 4：医院房屋所有权证

附件 5：北京市乙类大型医用设备配置许可证

附件 6：国家癌症中心/中国医学科学院肿瘤医院肿瘤医院伦理委员会审批报告

表 1 项目基本情况

建设项目名称		使用加速器和后装机			
建设单位		中国医学科学院肿瘤医院			
法人代表	赫捷	联系人	杨剑	联系电话	010-87787416
注册地址		北京市朝阳区潘家园南里 17 号			
项目建设地点		北京市朝阳区潘家园南里 17 号			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资(万元)	8000	项目环保投资(万元)	800	投资比例(环保投资/总投资)	10%
项目性质		☐ 新建 ☒ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其它		占地面积(m ²)	450
应用类型	放射源	☐ 销售	☐ I 类 ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类		
		☒ 使用	☐ I 类(医疗使用) ☐ II 类 ☒ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类		
	非密封放射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物		
		☐ 销售	/		
		☐ 使用	☐ 乙 ☐ 丙		
	射线装置	☐ 生产	☐ II 类 ☐ III 类		
		☐ 销售	☐ II 类 ☐ III 类		
		☒ 使用	☒ II 类 ☐ III 类		
	其他				
	1. 项目概述 1.1 医院概况 中国医学科学院肿瘤医院（以下简称“医科院肿瘤医院”或“医院”）位于北京市朝阳区潘家园南里 17 号, 始建于 1958 年, 1963 年增设肿瘤研究所。该院是是国家癌症中心依托单位, 是国家肿瘤临床医学研究中心、国家肿瘤规范化诊治质控中心、国家食品药品监督管理局认证的国家药物临床研究中心所在地, 集医教研防于一体, 全方位开展肿瘤相关基础研究和临床诊治的国家标志性肿瘤专科医院。 医院高层次人才荟萃、学科设置齐全、技术力量雄厚、仪器设备先进。拥有包括 3 名中国科学院院士、4 名中国工程院院士在内的国内一流的专家团队, 多名专家在 70				

余个全国性专业学术组织中担任主任委员或副主任委员职务。承担博士生、硕士生、留学生及进修生的教学任务，现有博士后流动站 4 个、博士点 10 个、硕士点 12 个，以及博士生导师 82 人、硕士生导师 117 人。

医院现设肿瘤内科、肿瘤外科、放射治疗科等 20 个临床科室及 11 个医技科室，拥有电子直线加速器、回旋加速器、PET-CT、数字减影血管造影等先进的诊断治疗仪器设备，万元以上设备 2000 余台。具有放射治疗、外科、内科以及介入治疗、生物治疗等多种肿瘤治疗手段，在肺癌、肝癌、胰腺癌、大肠癌、乳腺癌、宫颈癌、食管癌以及头颈部肿瘤、恶性淋巴瘤等方面的诊治水平位于国内前列，在肿瘤基础研究领域已达到国际先进水平。建院以来，共获科研成果 220 余项，其中 60%为省部级以上奖励，包括 1 项国家科技进步一等奖。医院设计床位 1598 张，年门诊量 91 万余人次，年出院量 6.8 万余人次，年手术量 2.6 万余台次。

医院位于北京市朝阳区潘家园南里 17 号，西邻东南二环路，南邻华威南路，东临潘家园南里社区 10、11 号院，北临居民区。其地理位置见附图 1 所示，医院建筑布局情况见附图 2 所示。

1.2 核技术应用情况

医科院肿瘤医院现持有原北京市环境保护局颁发的《辐射安全许可证》（京环辐证[E0168]号），有效期到 2022 年 1 月 21 日。许可的种类和范围是：使用Ⅲ类、V 类放射源，使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置，乙级、丙级非密封放射性物质工作场所。涉源部门：影像诊断科、介入治疗科、放射治疗科、手术室、核医学科、PET-CT 中心等。

医院现有医用直线加速器 7 台，回旋加速器 1 台，PET-CT 2 台，CT2 台，DSA1 台，模拟定位机 2 台，医用诊断 X 线机 12 台，后装治疗机 1 台。

许可使用密封放射源 5 枚，包括Ⅲ类放射源 2 枚、V 类放射源 3 枚。目前在用放射源 4 枚：1 枚后装治疗用铱-192Ⅲ类放射源，3 枚校准用锞-68 V 类放射源。全部密封放射源在使用前均取得生态环境部进口许可，使用完毕后返回原产国。放射源进出口完成后均在生态环境部备案。

医院许可使用钨-99m 等 16 种开放核素，使用场所为核医学科、PET-CT 中心、手术室第 17 手术间，目前使用的有钨-99m、氟-18、锶-89、碘-125。医院自 2016 年起开始自己制备氟-18 核素显像药物，仅供本院 PET-CT 中心使用。医院在放射性同位素转让工作中严格依法履行各项行政审批手续，严格按照许可规定的种类和活度范围购买和使用放射性同位素。各项转让工作完成后均在区生态环境局备案。

表 1-1 已许可使用的放射源

1	Ge-68	V	$5.55\text{E}+7 \times 1$	使用;
2	Ir-192	III	$3.7\text{E}+11 \times 1$	使用;
3	Ge-68	V	$1.85\text{E}+7 \times 1$	使用;
4	Ge-68	V	$3.5\text{E}+7 \times 1$	使用;
5	Ir-192	III	$3.7\text{E}+11 \times 1$	使用;

表 1-2 已许可使用的放射性同位素

1	核医学科	乙	I-131	5.92E+09	1.85E+12	使用;
2	核医学科	乙	In-111	1.85E+07	1.85E+09	使用;
3	核医学科	乙	Sr-89	2.96E+08	1.85E+10	使用;
4	核医学科	乙	Ra-223	7.40E+07	2.25E+08	使用;窗体底端
5	核医学科	乙	Sm-153	1.11E+09	1.11E+11	使用;
6	核医学科	乙	H-3	7.70E+04	3.90E+06	使用;
7	核医学科	乙	P-32	8.82E+05	1.62E+08	使用;
8	核医学科	乙	Ga-67	7.40E+07	5.50E+09	使用;
9	核医学科	乙	I-125	1.85E+04	1.85E+06	使用;
10	核医学科	乙	Re-188	2.96E+08	1.11E+10	使用;
11	核医学科	乙	Tc-99m	4.44E+08	1.11E+13	使用;
12	PET-CT 中心	乙	N-13	3.70E+08	2.00E+13	使用;
13	PET-CT 中心	乙	F-18	3.70E+08	9.25E+13	使用;
14	PET-CT 中心	乙	C-11	3.70E+08	2.00E+13	使用;
15	PET-CT 中心	乙	O-15	3.70E+08	2.00E+13	使用;
16	第 17 手术间	丙	I-125	2.00E+07	2.96E+11	使用;

表 1-3 已许可使用的射线装置

序号	装置名称	类别	装置数量	活动种类
1	医用诊断 X 线机	III	12	使用;
2	回旋加速器	II	1	使用;
3	CT 模拟机	III	1	使用;
4	数字式血管造影机 (DSA)	II	1	使用;
5	计算机断层扫描仪 (CT)	III	2	使用;
6	医用直线加速器	II	9	使用;
7	PET-CT	III	2	使用;
8	模拟定位机	III	1	使用;

1.3 医院近几年履行环保审批手续情况

医院自 2006 年以来,共开展了 6 个核技术利用项目,均履行了环保审批手续,见表 1-4 所示。其中 2 个项目未实施(编号 1 和 5),其余 2 个项目(编号 3 和 4)经原北京市环保局审批通过了竣工环保验收,2 个项目(编号 2 和 6)自行组织竣工环保验收。

表 1-4 近几年履行环保审批手续情况一览表

编号	项目名称	环保审批	竣工环保验收
1	新建回旋加速器装置项目	京环审[2006] 938 号	建设方案发生变更，该项目没有实施。 重新履行了环评手续
2	放射源与射线装置应用项目	京环审[2007]1054 号	自行验收
3	使用回旋加速器装置变更项目	京环审[2008]190 号	京环验[2016]154 号
4	新增 TOMO 放疗系统、搬迁后装治疗机	京环审[2012]212 号	京环验[2016]145 号
5	临床试用 Ra-223 放射性药物	京环审[2014]45 号	因其他医院入组病例总数已够，没有在中国医学科学院肿瘤医院实施。
6	更新加速器及扩建核医学科工作场所	京环审[2014]90 号	自行验收

1.4 辐射安全管理情况

（一）辐射环境安全管理机构

医院按照《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》要求，建立辐射安全保障体系。医院承担辐射安全管理工作的组织分为领导小组和工作小组两级管理。医院质量与安全委员会是辐射安全的领导小组，由法定代表人担任主任委员。辐射安全委员会是工作小组，由院长助理担任主任委员，委员由医务处、保卫处、设备处、基建处、科研处和放疗、影像、核医学、妇科、保健室等科室的防护管理人员组成。

医院以法定代表人为本单位辐射安全工作第一责任人，主管院长为主要监管责任人，其他相关人员为直接责任人，各放射工作科室从主任到各级工作人员均制定了岗位责任制，层层分解辐射安全责任，落实到具体辐射工作岗位。

医院辐射安全与环境保护管理小组成员见表 1-5。

表 1-5 医院辐射安全防护管理委员会

机构名称	放射防护与辐射安全管理委员会						
负责人	戴建荣			电话	87788828		
联系人	杨一博			电话	87788020		
序号	职责	姓名	性别	专业	职务或职称	工作部门	专/兼职
1	负责人	戴建荣	男	放射物理	主任委员、研究员	设备处、放疗科	兼职
2	负责人	郑 容	女	影像医学与核医学	副主任委员、主任医师	核医学科、PET-CT 中心	兼职

3	负责人	杨 剑	男	核医学	副主任委员、 助理研究员	医务处	兼职
4	成员	耿建华	女	核医学物理	研究员	核医学科	兼职
5	成员	刘宗义	男	医学影像技术	主管技师	介入科	兼职
6	成员	孙 源	男	副处长	工程师	基建处	兼职
7	成员	吴 宁	女	医学影像	主任医师	PET-CT 中心	兼职
8	成员	王颖	女	临床医学	副主任医师	保健室	兼职
9	成员	赵燕凤	男	临床医学	副主任医师	影像诊断科	兼职
10	成员	符贵山	男	放疗技术	主管技师	放疗科	兼职
11	成员	田 源	男	放射物理	秘书, 物理师	放疗科	兼职
12	成员	黄曼妮	女	肿瘤妇科	主任医师	妇科	兼职
13	成员	张国庆	男	安全保卫	主任科员	保卫处	兼职
14	成员	宋俊峰	男	医学影像技术	主管技师	影像诊断科	兼职
15	成员	程 勇	男	工程技术	副处长	总务处	兼职
16	成员	杨一博	男	医疗管理	秘书, 助理研究 员	医务处	专职

（二）已建立的辐射防护规章制度及执行情况

医院建立了院科两级的辐射安全防护规章制度体系。现有制度：中国医学科学院肿瘤医院放射性同位素与射线装置辐射安全管理办法，辐射工作人员辐射安全培训制度，辐射工作场所安全防护措施，辐射安全防护措施，射线装置检修维护制度，放射源与射线装置台账管理制度，工作场所和辐射环境监测制度，个人剂量和职业健康管理制度，放射性废物管理制度，辐射事故应急预案等。

放射治疗、影像诊断、核医学、妇科后装等各放射工作科室均建立有设备使用安全操作规程，并在放射诊疗工作中严格遵守各项操作规程。

（三）辐射工作人员培训

医院规定所有辐射工作人员，在上岗前将接受生态环境部门认可培训机构组织的辐射安全与防护培训，并考试合格上岗。每 4 年参加复训，并制定了辐射工作人员培训计划。

2016 年 6 月，医院全部 150 名射线装置和放射性同位素操作人员及辐射安全管理人员均接受了生态环境部门认可培训机构组织的辐射安全初训和复训，全部取得培训合格证书。在接受培训的人员中，共有 8 名辐射安全管理人员接受培训，包括医院辐射安

全管理委员会的主任委员 1 人、副主任委员 2 人，委员 5 人。通过辐射安全培训人员名单见附件 2。

今后如需新增辐射工作人员，将及时安排其参加辐射安全防护培训，持证上岗，已有人员培训证到期的将及时安排辐射安全防护复训。

另外今年医院每年还分别组织放疗、影像、核医学等放射工作科室的专家举办面向本院职工的辐射安全防护知识继续教育培训。

（四）个人剂量监测和场所监测情况

医院严格按照已制定的《工作场所和辐射环境监测制度》及《个人剂量和职业健康管理制

（1）个人剂量监测：所有辐射工作人员均佩戴 TLD 个人剂量计，按每季度 1 次的频度，按照《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2016）、《放射工作人员职业健康管理办法》（卫生部令第 55 号）和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（原环保部 18 号令）的要求，建立个人剂量档案。

医院指定专人负责个人剂量监测管理工作。发现个人剂量监测结果异常的，将及时调查原因，并将有关情况及时报告医院辐射安全与环境保护管理机构。

目前，医院的个人剂量检测委托北京贝特莱博瑞技术检测有限公司按每季度 1 次的频度进行个人剂量监测，个人剂量档案齐全。全部的辐射工作人员均配置了个人剂量计，每季度由医院专人负责收集更换，并将每季度的个人剂量检测结果和每年度的个人剂量检测报告存档备案。

医院辐射工作人员的年度个人剂量约束值为 5mSv，季度为 1.25mSv。在最近 5 年内，医院全体辐射工作人员个人剂量监测结果均在年度约束值 5mSv 和季度约束值 1.25mSv 以下。根据医院提供的 2018 年度的个人剂量监测结果（见附件 3），参与个人剂量检测的所有人员中，多数人员的年受照剂量为 0.144mSv，最大为 0.545mSv，均低于 5mSv 的剂量约束值，说明肿瘤医院的辐射安全防护措施是基本可行的。

医院今后将继续加强个人受照剂量的监管，如果某位职业人员的单季度个人剂量监测结果高于 1.25mSv，将对其受照原因进行调查，结果由本人签字后存档；如果单季度个人剂量监测结果高于 5.0mSv，将追查超标原因，可采取调离工作岗位或控制从事辐射工作时间等措施，保障辐射工作人员的健康。

（2）工作场所和环境辐射水平监测

1）工作场所射水平监测：根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》

（原环保部令第 18 号）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进行 1 次场所辐射水平监测，监测数据记录存档。

2018 年 7 月，2018 年 11 月，2019 年 2 月，医院委托北京贝特莱博瑞技术检测有限公司对医院全部放射工作场所进行了工作场所年度监测。评价期间调阅了加速器机房年度监测报告，机房四周的剂量率水平满足相关标准要求。

2) 环境辐射水平监测：根据放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（原环保部令第 18 号）的要求，每年拟委托有资质单位对辐射工作场所的周围环境，进行 1 次辐射水平监测，监测数据记录存档。

3) 表面污染监测：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，该项工作由核医学科自行完成。每天工作结束后，对操作非密封放射性同位素工作场所的工作台台面、通风橱台面、注射车以及设备等进行表面污染监测，监测数据记录存档。

（五）辐射安全和防护设施的运行与维护情况

医院全部放射诊疗场所均张贴有辐射标识和放射防护宣传栏。放射源库房通过北京市地标验收，可有效防止放射源丢失、被盗。放射治疗机房和固定式 X 线机房均安装有门机连锁装置和工作状态指示灯且运行正常。各科配备有固定式和移动式辐射剂量报警仪、表面污染监测仪、辐射巡测仪、个人剂量牌等辐射检测器材，全部器材均可正常使用。每日对辐射工作场所进行例行监测。

医院现有辐射监测仪、表面污染仪、个人剂量报警仪以及防护用品，如表 1-6 所示。

表1-6 医院现有辐射监测仪器和防护用具

序号	仪器名称	型 号	购置日期	仪器状态	数量	备 注
1	手足污染检测仪	RM-7510	2010 年	在用	1	核医学楼
2	个人剂量报警仪	FJ3500	2014 年	在用	15	放疗科
3	正电子药物防护推车	ZYC-20	2010 年	在用	1	核医学楼
4	防护通风橱通风柜	无	2009 年	在用	3	核医学楼
5	在线监测 γ 辐射剂量当量率仪	SB-IX γ	2011 年	在用	1	核医学楼
6	表面污染检测仪	Inspector	2010 年	在用	1	核医学楼
7	X、 γ 射线报警仪	SB-1Z	2012-2016 年	在用	9	放疗科
8	正电子药物防护铅罐	HYS-40G	2010 年	在用	2	核医学楼
9	多用途钨合金注射器防护	PET dose pig	2006 年	在用	1	核医学楼

	罐					
10	正电子药物使用废物桶	HFW-20T	2010 年	在用	1	核医学楼
11	个人报警剂量仪	RAD-60	2010 年	在用	10	核医学楼
12	多用途表面污染测量仪	14-C	2006 年	在用	1	核医学楼
13	PET 药物分装超净层流通风柜	HGF-10G	2010 年	在用	1	核医学楼
14	环境剂量检测仪	RM2108	2010 年	在用	2	核医学楼
15	放疗用剂量仪	DOSE 1	2010 年	在用	3	放疗大厅
16	表面污染检测仪	Inspector	2006 年	在用	2	核医学楼
17	X、 γ 剂量仪	451p	2009 年	在用	1	放疗科
18	放射性废物防护箱	HFW-20X	2010 年	在用	1	核医学楼
19	活度计	CRC-15R	2010 年	在用	2	核医学楼
20	手工分装装置	Dose Drawing Arm	2006 年	在用	1	核医学楼
21	钨合金注射器防护套	T-Syringe	2006 年	在用	1	核医学楼
22	铅废物防护箱	无	2006 年	在用	2	核医学楼
23	防护铅罐	L-TOP	2006 年	在用	1	核医学楼
24	钨合金注射器防护套	T-Syringe	2010 年	在用	1	核医学楼
25	防护污物桶	5mmPb	2012 年	在用	3	核医学楼
26	移动式 X 摄影射线防护架	2mmPb	2015 年	在用	1	诊断楼
27	表面污染检测仪	Inspector	2016 年	在用	1	核医学楼
28	辐射巡检仪	451P	2016 年	在用	1	放疗科
29	固定式环境剂量监测报警仪	8 探头	2016 年	在用	1	核医学楼

辐射防护用品

名 称	数 量	名 称	数 量
铅衣	30	铅帽	30
铅手套	8	铅眼镜	10
铅围裙	10	铅围脖	30
铅屏风	5	个人剂量计	300
其它			

(六) 辐射应急措施

为及时、有效、安全地处理医院内发生的各种辐射事故（事件），提高应对事故的能力，保障工作人员健康和公众安全，医院结合放射诊疗工作性质，依照国家相关法律

法规，制订了《辐射事故应急预案》，明确了辐射事故应急响应领导机构为医院辐射安全管理委员会，法定代表人为第一负责人，日常事务由医务处管理。在突发辐射环境事件应急期间，医院辐射安全管理委员会履行应急领导小组职能，确定了应急领导小组和各级别工作人员在应急响应中的职责。制定了日常防护、应急处置、信息上报、分级响应、后期处置、应急终止等应急流程各个环节的处置原则和措施。

一旦辐射事故，医院将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，造成或可能造成人员超剂量照射的，还将向当地卫生行政部门报告。

每年均会组织相关科室实施了应急演练，医务处、保卫处等职能部门一同参加演练，演练形式以桌面演练和实地演练相结合，每次演练设定不同主题。

1.6 本项目概况

1.6.1 项目背景

医院放射治疗作为临床诊治的重点学科之一，在肿瘤疾病的治疗中发挥了很大的技术优势。放疗科率先在国内开展立体定向放疗、自适应放疗、调强放疗、旋转容积调强、近距离放疗、全身放疗等。医院现有 9 个放射治疗机房和 2 个模拟机房，医院现有放射治疗设备应用情况见表 1-7 所示。放疗科现状平面布局示意图见图 1-1 所示。

表 1-7 医院现有放射治疗应用情况

序号	场所	设备型号	应用情况	备注
1	加速器 1 室	Elekta Synergy	2015.04 启用	
2	加速器 2 室	Elekta Versa HD	2018.09 启用	
3	加速器 3 室	医研所 BJ-6	已报废, 机房空置	本项目更新设备
4	加速器 4 室	Varian Novalis	2016.02 启用	
5	加速器 5 室	Varian Unique	2016.02 启用	
6	加速器 6 室	Varian Edge	2018.09 启用	
7	加速器 8 室	Varian Clinac 600CD	设备老化, 暂停使用	本项目更新设备
8	TOMO 机房 (加速器 9 室)	HiART H-0000-0003	2015.04 启用	
9	后装治疗 1 室	核通 micro Selectron-HDR	2015.04 启用	

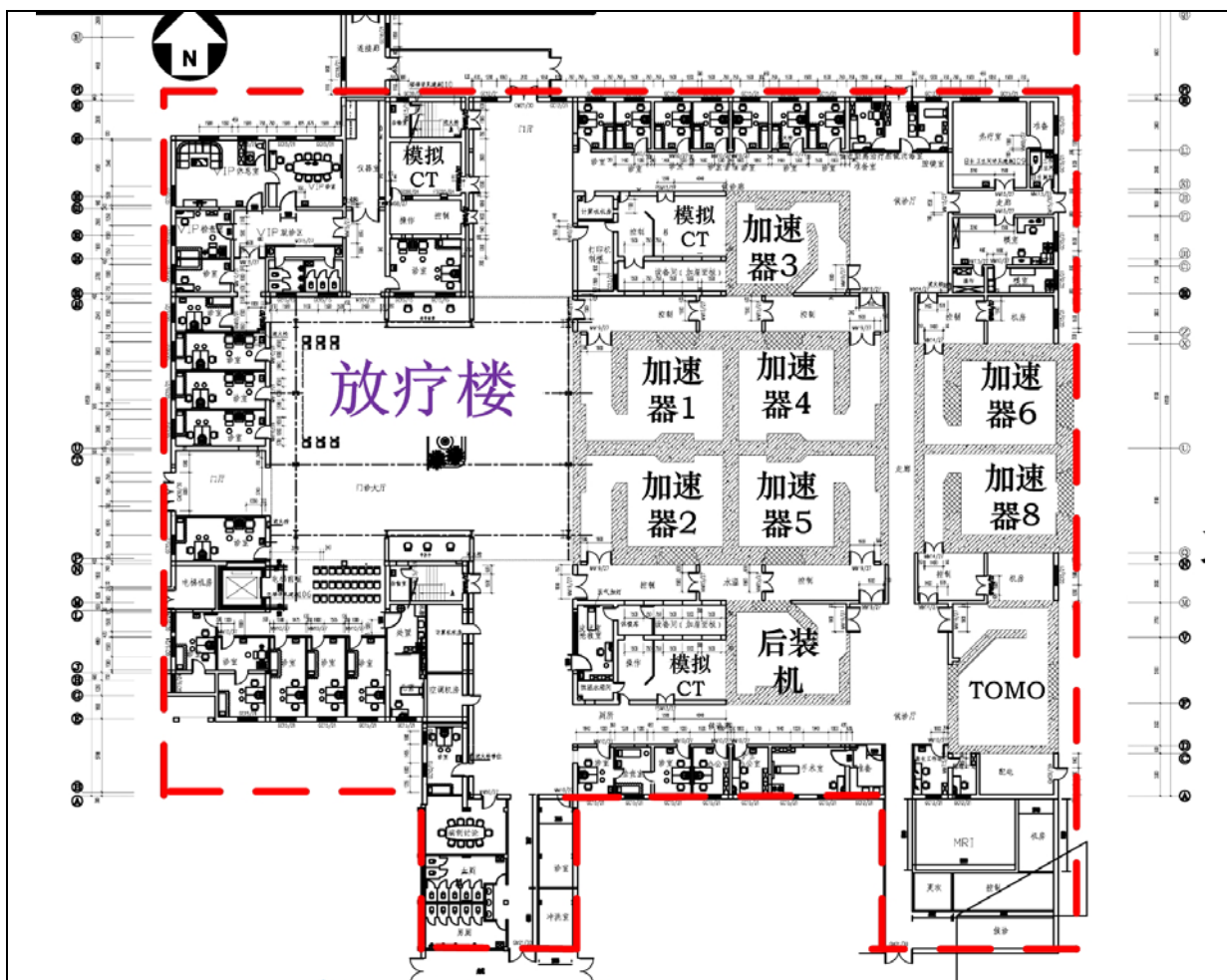


图 1-1 放疗科现状平面布局示意图

放疗楼位于医院院区内的中西部，东侧为院内通道，南侧为实验楼和科研楼；西侧为院内空地（停车场），北侧为门诊楼和诊断楼。放疗楼内场所包括放疗大厅和放疗办公区域，放疗办公区域为 3 层建筑结构，放疗大厅为地面一层建筑，无地下室。

随着放射诊疗技术的发展，医院临床肿瘤放射治疗需求越来越大，医院现有的部分放射治疗设备因运行老化已不能满足临床诊疗要求，故医院拟更新 2 台放射治疗设备，并对早年建设的机房（加速器 3 室和 8 室）依照现行标准进行屏蔽防护改善。医院已取得了拟更新 2 台加速器的北京市乙类大型医用设备配置许可证，审核评审结果见公示（发布日期：2016-11-16，见附件 5）；

目前，国际上已研制出核磁加速器，该设备采用磁共振引导直线加速器，将高场超导核磁共振和先进直线加速器完美融合，治疗效果突出。医院拟将原放疗科西南角的部分办公用房改建为核磁加速器治疗机房，安装 1 台核磁加速器，供临床研究使用。医院取得了国家癌症中心/中国医学科学院肿瘤医院肿瘤医院伦理委员会审批报告，“Elekta Unity 磁共振放射治疗系统安全性和有效性的多中心临床研究”的审批结果为“同意”（审批日期：2018 年 12 月 13 日，见附件 6）。

此外，放疗科目前只有 1 台后装治疗机，在设备出现故障或者倒装放射源时，影响妇科后装治疗。医院拟借放疗科机房改建机会，将原有的 1 台常规模拟定位机房改建为后装机机房，增加使用 1 台后装治疗机。

本项目完成后，放疗科将使用共计 9 台医用直线加速器（含 1 台 TOMO 和 1 台核磁加速器）。本项目涉及的加速器 3 室位于放疗大厅的中部北侧，加速器 8 室位于放疗大厅的东南部，核磁加速器位于放疗大厅的西南角，见图 1-2 所示。

1.6.2 放疗科人员配置情况

医科院肿瘤医院自上世纪 80 年代已正式开展放射治疗工作，目前已形成了成熟的放射工作技术与人员队伍。放疗科现有辐射工作人员 73 人，其中物理师 17 名，技师 54 名和护士 2 名，见表 1-8。

表 1-8 医科院肿瘤医院放射治疗科现有岗位设置

部门	放射工作人员		
	物理师	护师	护士
放射治疗科	17	54	2

本项目完成后，辐射工作人员从现有辐射人员中调配。物理师由科室统一调配使用。设备的技师相对固定。每台设备拟固定配备 4-5 名技师，现有的 54 名技师能够满足 11 台放射治疗设备的配置需要。实际运行时，科室将根据放射治疗的工作负荷情况，对人员配备进行适当调配，保证每台加速器运行所需的技术力量满足运行需要。

1.6.3 本项目环境影响评价内容

本项目性质属于改扩建，具体建设内容包括：

1) 对放疗楼内加速器 3 室进行实体屏蔽防护改造，将原有的 1 台 BJ6B 型加速器（北京医疗器械研究所产，6MV，600cGy/min）报废，更新为 1 台医科达 Synergy 型医用电子直线加速器（6MV，600cGy/min）。

2) 对放疗楼内加速器 8 室进行实体屏蔽防护改造，将原有的 1 台瓦里安产 Clinac 600D 型加速器（6MV，600cGy/min）报废，更新为 1 台医科达 Versa HD 型医用电子直线加速器（6MV，1400cGy/min(FFF)）；

3) 对放疗楼内放疗楼西南侧医疗用房进行改造，新建加速器 10 室，新增使用 1 台医科达 Unity 型核磁加速器（7MV，500cGy/min）；

4) 对放疗楼内现有 1 间常规模拟定位机房改造为后装机机房，将模拟定位机报废处理，新增使用 1 台后装机（III 类 Ir-192，活度 $3.7\text{E}+11\text{Bq}$ ）。

本项目包括的加速器机房和后装机机房均位于放疗楼一层，后装机机房位于放疗楼

西北角，加速器 3 室位于放疗楼东北侧，加速器 8 室位于放疗楼东南侧，加速器 10 室位于放疗楼西南侧。本项目涉及的 4 台放疗设备具体位置见图 1-2 所示。

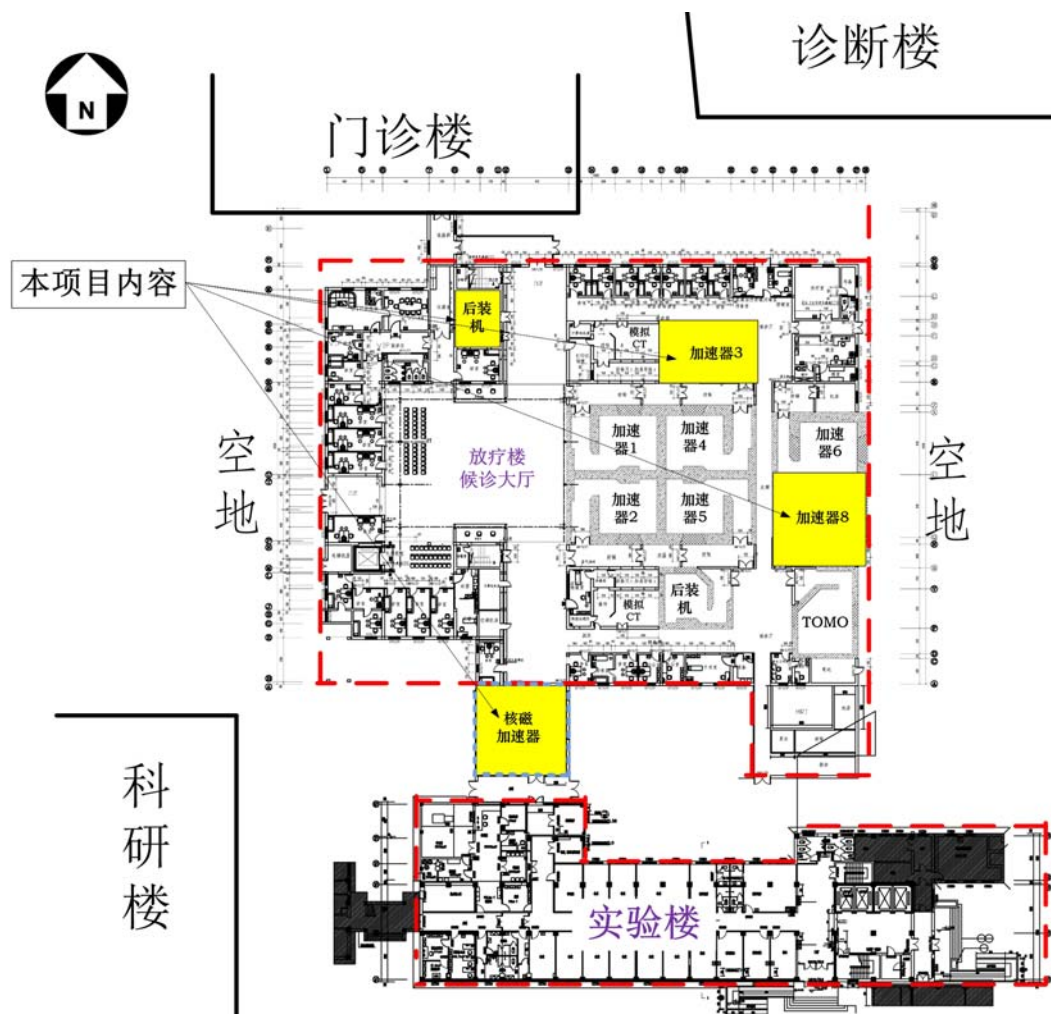


图 1-2 本项目完成后放疗科的平面布局图

根据《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》相关要求，医科院肿瘤医院委托北京万澈环境科学与工程技术有限公司开展“使用加速器和后装机”项目的环境影响评价工作。评价单位在现场查看、调查、收集资料以及现场监测的基础上，编制了该建设项目的辐射环境影响报告表。

1.6.4 本项目放射源倒装、运输和返回

后装机使用 ^{192}Ir 放射源将委托有放射源销售资质的专业公司购买。放射源运输由放射源销售公司直接委托有资质的运输单位承担。放射源运输至医院后，医院开始承担安全责任。

放射源倒装由具有使用相应类别放射源的资质单位（厂家或专业公司）完成，并及时办理各项备案手续，承担辐射安全和防护责任。

退役放射源返回供源单位，同样委托有资质的放射源销售单位代为办理。放射源运输也将委托有放射源运输资质的单位进行。

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
1	Ir-192	3.7E+11Bq×1 枚	III	使用	放射治疗	放疗科一层西 北角后装机机 房 2	后装机设备内贮存	

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)	年最大用量(Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
无										

注：日等效最大操作量和操作方式见国家标准《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）。

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	电子直线 加速器	II	1	医科达 Synergy 型	电子	6MV (X 线) 15MeV (电子束)	600cGy/min	放射治疗	放疗楼一层 加速器 3 室	XVI (CBCT): 40kV-130kV
2	电子直线 加速器	II	1	医科达 Versa HD 型	电子	6MV (X 线) 15MeV (电子束)	1400cGy/min(FFF) 600cGy/min(常规)	放射治疗	放疗楼一层 加速器 8 室	XVI (CBCT): 40kV-130kV
3	核磁加速 器	II	1	医科达 Unity 型	电子	7MV (X 线)	500 cGy/min (X 线)	放射治疗	放疗楼一层 加速器 10 室	

(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
无									

(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	
无													

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

[illegible]

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》，2015 年 1 月 1 日实施； 2. 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日实施； 3. 《中华人民共和国环境影响评价法》，2018 年 12 月 29 日修订； 4. 《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； 5. 《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； 6. 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，生态环境部令第 7 号修改，2019 年 8 月； 7. 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，原环境保护部令第 18 号，2011 年； 8. 《建设项目环境影响评价分类管理名录》，生态环境部令第 1 号，2018.4.28 施行； 9. 《关于发布射线装置分类》的公告，原环境保护部 原国家卫生和计划生育委员会，公告 2017 年第 66 号； 10. 《关于发布放射源分类办法》的公告，国家环境保护总局公告，2005 年第 62 号 11. 《北京市禁止违法建设若干规定》，北京市政府第 228 号令，2011 年； 12. 《北京市辐射工作场所辐射环境自行监测办法（试行）》，北京市环境保护局文件，京环发〔2011〕347 号； 13. 《辐射安全与防护监督检查技术程序》，原环境保护部，2012 年 3 月； 14. 关于发布《建设项目竣工环保验收暂行办法》的公告，国环规环评〔2017〕4 号，2017 年 11 月； 15. 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）。
技术标准	1. 《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)； 2. 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)； 3. 《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》(GB/T14583-93)；

	4. 《辐射环境监测技术规范》(HJ/T61-2001); 5. 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2016); 6. 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分: 一般原则》(GBZ/T201.1-2007); 7. 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分: 电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T201.2-2011); 8. 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分: γ 射线源放射治疗机房》 GBZ/T 201.3-2014; 9. 《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011); 10. 《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分: 化学有害因素》(GBZ2.1-2007); 11. 《环境空气质量标准》(GB 3095-2012); 12. 《后装 γ 源近距离治疗放射防护要求》(GBZ 121-2017); 13. 《密封放射源及密封 γ 放射源容器的卫生防护标准》(GBZ114-2006); 14. 《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013); 15. 《医用常规 X 射线诊断设备影像质量控制检测规范》(WS76-2011); 16. 《剧毒化学品、放射源存放场所治安防范要求》(GA 1002-2012)。
其他	1. 中国医学科学院肿瘤医院环境影响评价咨询协议书; 2. 医院放射诊疗操作规程、辐射安全管理制度、个人剂量检测报告等相关资料; 3. NCRP REPORT NO.151“Structural Shielding Design and Evaluation for Megavoltage X- and Gamma-Ray Radiotherapy Facilities”(2005 年)。

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

根据本项目评价内容，按照《辐射环境保护管理导则 核技术应用项目环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1-2016)要求，并参考《辐射环境监测技术规范》(HJ/T61-2001)对射线装置使用的辐射监测技术要求，确定该项目辐射环境影响评价的范围：以医用电子直线加速器机房、后装机机房实体屏蔽外周界向外围扩展 50m 的区域作为评价范围。

7.2 保护目标

放疗楼周围 50 范围内，均为医院内用地和建筑物。北侧是门诊楼、诊断楼，东侧是院内空地，南侧是核医学楼、实验楼、科研楼和住院楼，西侧为院内停车场。放疗楼为一层建筑，楼上为办公用房

本项目所涉及的加速器装置和放疗设备周围保护目标见表 7-1。评价范围和保护目标分布示意图见图 7-1。



图 7-1 评价范围和保护目标分布示意图

表 7-1 本项目加速器机房周围 50m 范围内的保护目标

放疗楼	保护目标	方位	距离(m)	长居留人数
	门诊楼	北侧	2--50	100
	诊断楼	北侧	25-50	100
	院内停车场	东侧、西侧	0-50	10
	核医学科	西南侧	15-50	120
	实验楼	南侧	20-50	30
	科研楼	西南侧	15-50	50
	住院楼	东南侧	40-50	150

7.3 评价标准

7.3.1 剂量限值和剂量约束值

执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)的规定：

(1) 剂量限值

表 7-2 个人剂量限值

辐射工作人员	公众关键人群组成员
连续 5 年的年平均有效剂量不超出 20mSv，且任何一年中的有效剂量不超出 50mSv。	年有效剂量不超出 1mSv，特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv。
眼晶体的当量剂量 150mSv/a； 四肢或皮肤的当量剂量 500mSv/a。	眼晶体的当量剂量 15mSv/a 皮肤的当量剂量 50mSv/a。

《GB18871-2002》11.4.3.2 还规定了年剂量约束值，按辐射防护最优化原则设计的年剂量控制值应小于或等于该剂量约束值。剂量约束值是剂量限值的一个分数，公众剂量约束值通常应在 0.1~0.3mSv/a 范围内。

(2) 剂量约束值

综合考虑医院放射性同位素和射线装置的使用现状，并为其它辐射设施和实践活动留有余地，本评价将本项目职业照射和公众年受照剂量约束值分别设定为 2mSv 和 0.1mSv。

7.3.2 剂量率控制水平

参照相关标准，本项目的剂量率控制水平设定为：加速器机房、后装机机房四周墙体、屋顶和防护门外 30cm 处辐射剂量率均不大于 2.5μSv/h。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 环境质量和辐射现状

评价期间，评价单位在 2019 年 7 月 22 日对本项目的辐射工作场所周围环境进行了辐射本底监测，监测内容为 γ 剂量率。监测设备为国产 JW3104 型 X- γ 剂量率仪，设备经过了检定，检定证书编号为：DYjl2019-4064，有效期 2019 年 5 月 31 日至 2020 年 5 月 30 日。其性能参数见表 8-1

监测方法：使用便携式在距地面 1m 高度直接进行 γ 辐射剂量率水平测量，监测点位见图 8-1 所示。

表 8-1 检测仪器性能参数一览表

检测设备	性能指标
青岛 JW3104 型微电脑 X- γ 剂量率仪	1. 测量范围：0~10 ⁵ ($\times 10^{-8}$ Gy·h ⁻¹)； 2. 能量响应：25KeV~3.0MeV，指示值变化 $\leq 15\%$ ； 3. 稳定性：正常使用条件下连续工作 8h，指示值变化 $\leq 5\%$ ； 4. 测量误差： $\leq \pm 10\%$ ； 5. 温度特性：-10℃~40℃，指示值变化： $\leq \pm 20\%$ 。

表 8-2 评价区现状环境 γ 辐射剂量率水平监测结果

测点编号	位置	γ 剂量率($\times 10^{-8}$ Gy/h, 含宇宙射线)
①	放疗楼西侧空地	8.82 $\pm$ 0.43
②	放疗楼东北侧空地	9.16 $\pm$ 0.35
③	放疗楼东南侧空地	9.16 $\pm$ 0.38
④	放疗楼南侧空地	9.51 $\pm$ 0.44
⑤	核医学楼北侧空地	9.98 $\pm$ 0.42
⑥	核医学楼西侧空地	9.21 $\pm$ 0.45
⑦	核医学楼南侧空地	9.27 $\pm$ 0.42
⑧	实验楼南侧空地	9.57 $\pm$ 0.46

监测结果表明：各测点 γ 辐射剂量率介于 9.16×10^{-8} - 9.98×10^{-8} Gy/h，与北京市环境 γ 辐射剂量率调查结果比较，属于正常本底水平。



图 8-1 本底监测点位示意图

表 9 项目工程分析与源项

9.1 医用电子直线加速器

9.1.1 工作原理

电子加速器核心部分的结构如图 9-1 所示。高压电源装置通过对三相线电压进行升压和整流滤波，向调制器提供直流电压；调制器的功能是向磁控管和电子枪提供具有特定宽度和幅度的高压脉冲。当加速器工作时，调制器主触发电路触发主闸流管按照所设定的脉冲重复频率(PRF)导通和关断，引起充、放电电路工作，在脉冲变压器次级产生磁控管和电子枪所要求的两路高压脉冲。其中一路高压脉冲加到磁控管阴极，引起磁控管震荡，产生一个 $42\mu\text{s}$ 、频率约为 2998 MHz 的微波脉冲；另一路脉冲高压脉冲加到电子枪的阴极，使电子射入加速管。与此同时，磁控管产生的微波脉冲经四端环流器馈入加速管，由于自动频率控制(AFC)使磁控管的工作频率与加速管的频率色散特性有最好的配合，在加速管内，前向微波和反射波代数相加形成驻波，这种波在空间上是恒定的，但在时间上是震荡的，即加速管的谐振腔内电场强度的大小和方向是变化的，但其位置不变，从而在加速管建立起电场梯度，使射入加速管的电子被逐级加速、聚焦，最后获得很高的能量；高速电子轰击位于加速管末端的钨靶而产生 X 射线。加速后的高速电子直接或经转换为 X 射线后供放射治疗使用。

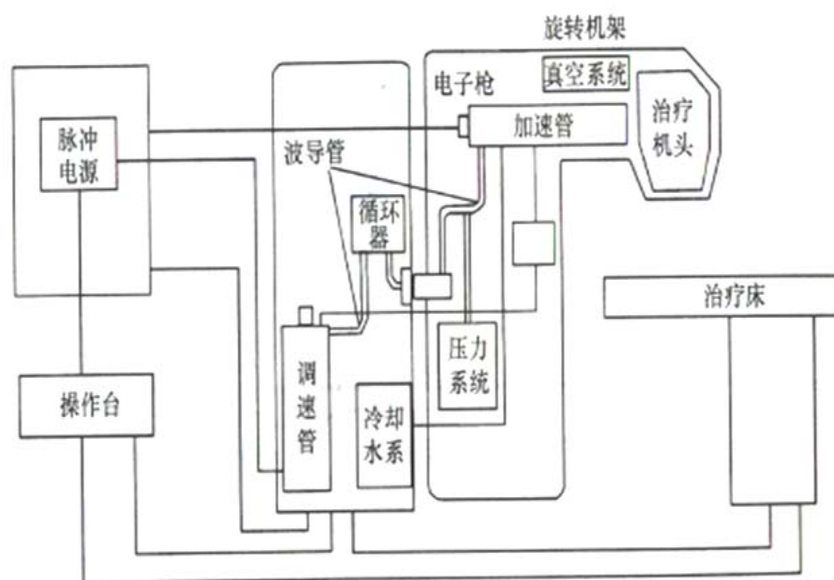
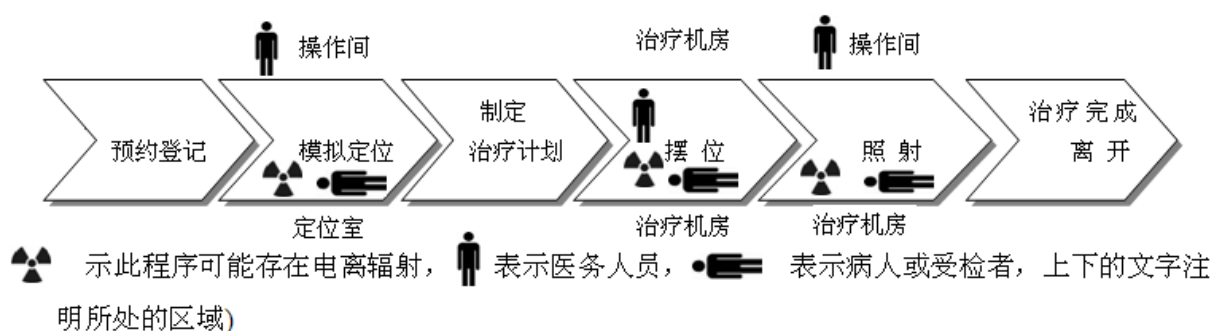


图 9-1 电子直线加速器结构示意图



图 9-2 医用电子直线加速器外观图

9.1.2 治疗流程



1. 工作负荷：根据目前加班治疗的工作实际，按最大工作负荷 100 人次/天进行评价。每人“上床、摆位、照射、下床”平均时间约 6-8 分钟，全天完成 100 人次治疗，所需时间约 10h-13.3h。

2. 出束时间：按照 2Gy/人次，平均 3 野次/人，在常规治疗照射条件下，每野最大出束时间为 40s (2min/人次)，加速器日治疗出束时间 200min，年工作 250d，总出束时间为 833h。

3. 利用因子：常规治疗中，机头 90°、270°和 180°出束时间各占年工作量的 15%；机头向下(0°)出束时间占年工作量的 55%。考虑调强治疗的使用，本项目将机头 90°、270°和 180°出束时间的占比提高至 25%。

9.1.3 设备技术指标

表 9-1 电子直线加速器性能参数

使用场所	加速器 R3 室	加速器 R8 室
设备厂家和型号	医科达 Synergy 型加速器	医科达 VersaHD 型加速器
X 射线	a) 最大 X 线能量 6MV b) 最大剂量率 600 cGy /min c) 最大射野尺寸 40×40cm (SAD=100cm) d) 射野泄露率 X 线: ≤0.1% e) XVI(CBCT): 40kV—130kV	a) 最大 X 线能量 6MV b) 最大剂量率 600 cGy /min (常规); 1400cGy/min(FFF)。 c) 最大射野尺寸 40×40cm (SAD=100cm) d) 射野泄露率 X 线: ≤0.1% e) XVI (CBCT): 40kV-130kV
电子线	1) 电子线能量 4MeV、6MeV、8MeV、10MeV、12MeV、15MeV, 6 档; 2) 最大输出剂量率 600cGy/min。	1) 电子线能量 4MeV、6MeV、8MeV、10MeV、12MeV、15MeV, 6 档; 2) 最大输出剂量率 600cGy/min。

电子直线加速器运行时电子轰击靶物质生产韧致辐射 (X 射线)。本项目加速器最大输出 X 射线辐射剂量率为 600cGy/min。有用线束外泄漏辐射剂量为有用线束的 0.1%，X 射线照射至墙壁和患者身体将产生散射辐射。加速器运行产生的 X 射线贯穿辐射、泄露辐射和散射辐射进入外环境，对环境有一定的影响。

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》(GBZ/T201.1-2007) 和《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011)，本项目 X 射线能量低于 10MV 的加速器，故无需考虑中子辐射及中子俘获 γ 射线。

X 射线辐射只有在加速器运行时产生，停机后就消失。加速器运行产生的 X 射线、贯穿机房的屏蔽设施进入外环境。

9.1.4 正常工况的污染途径

1. 当电子轰击靶时，与靶物质发生作用产生韧致辐射。
2. 可能产生的固废还有更换下来的废靶、退役时拆卸下来的废靶。
3. 治疗室空气在 X 射线的强辐射下，吸收能量并发生电离作用产生 O_3 、NO、 NO_2 、 NO_3 、 N_2O 、 N_2O_2 、 N_2O_4 、 N_2O_5 等有害气体。

9.1.5 非正常情况的污染途径

1. 加速器发生控制系统故障或人员操作失误，使得人员受到误照。
2. 加速器发生控制系统故障或放疗参数设置错误，使得受检者受到大剂量照射。
3. 机房门机联锁装置故障，人员误入机房受到照射。

9.2 核磁加速器

9.2.1 核磁加速器技术

核磁加速器为磁共振引导直线加速器，将高场超导核磁共振和先进直线加速器完美融合。治疗过程中，磁共振将进行实时成像，清晰地显示软组织，实时引导肿瘤治疗。肿瘤及周围正常组织的位置和运动变化都在医生的掌握之中，射线照射更加精准，病人生存率大幅提升。

实施磁共振影像引导下，由于肿瘤目标清晰确定，射线照射范围比传统放疗显著减小，正常组织收到更少的剂量损害，加上磁共振影像引导分辨率高，无辐射，放疗副反应大大降低。生存率提高的同时，病人生活质量也得到有效提升。

9.2.2 核磁加速器组成及主要技术参数

这个系统需要 3 个分离的电力系统：一个供给直线加速器部分，一个供给核磁共振部分，一个给辅助伺服系统。除此之外，这个系统还需要两个分离的冷水供给循环系统：分别给直线加速器和核磁共振部分。

放射治疗加速器、1.5T 高场强诊断级磁共振系统集成在同一平台，并配以在线自适应放疗流程软件系统，实现了在肿瘤放射治疗的同时，高分辨率地清晰显示和追踪肿瘤，并对治疗效果进行及时评价，在线调整治疗计划，相当于在放疗系统中安装了“肿瘤 GPS”，从而为精准放疗建立了最新标准。

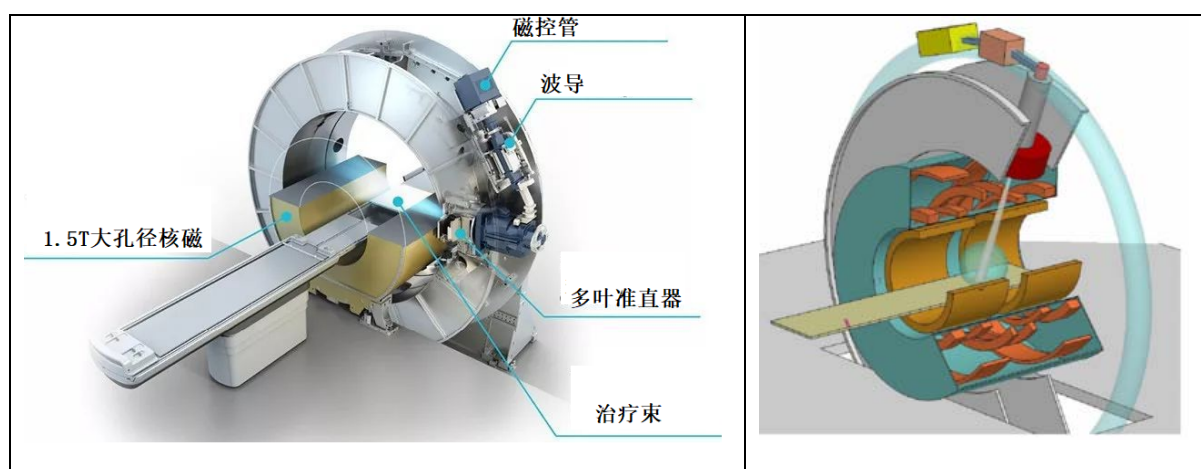


图 9-3 核磁加速器结构示意图

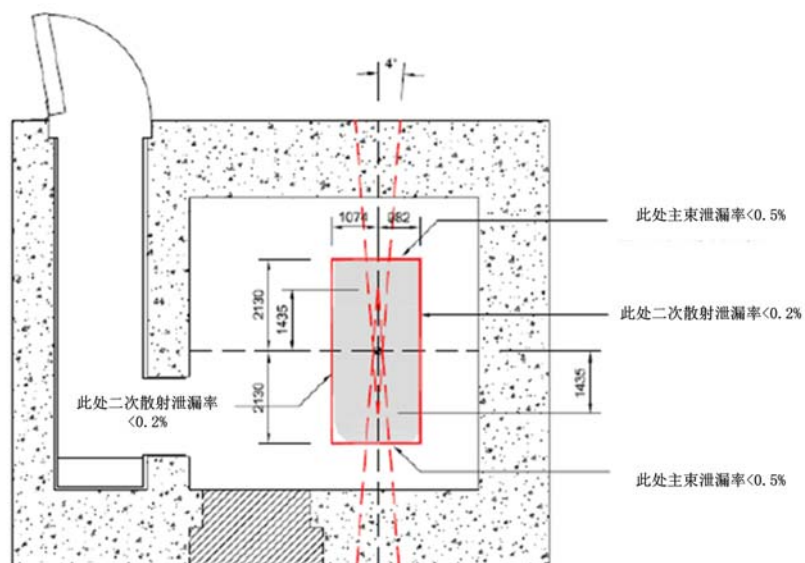


图 9-4 核磁加速器外观图

表 9-2 核磁加速器技术指标

指 标	技术参数
厂家型号	Eletka Unity 型加速器
射线种类、能量	治疗束: X 射线, 7MV;
等中心最大剂量率	500cGy/min
等中心处最大照射野	574mm×220mm
泄漏率	主束 $\leq 0.5\%$ (圆柱形机架表面处, 系统有阻挡器); 二次泄漏辐射 $\leq 0.2\%$ (系统前后表面)。
靶到等中心点距离	1.435m
等中心点位置	治疗室地上 1.05m
自屏蔽措施	系统有阻挡器, 无主束直接照射问题。

注: 以医科达 Unity 型核磁加速器为例



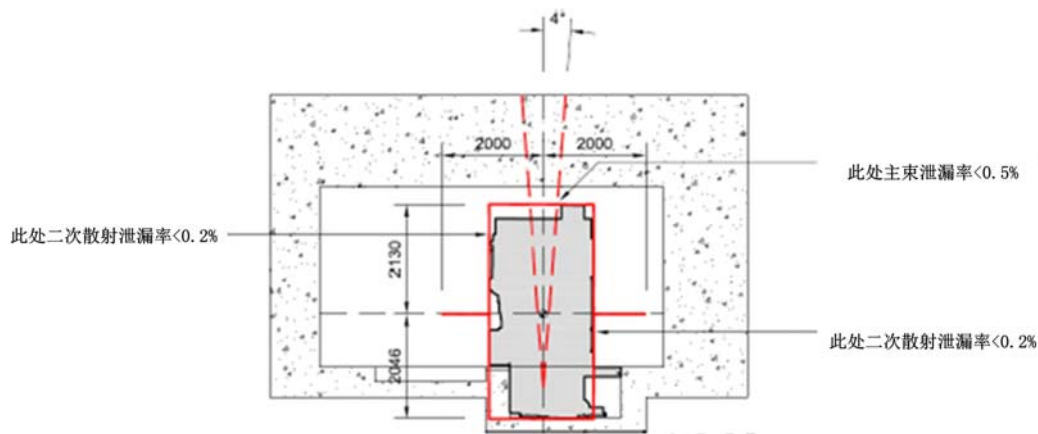


图 9-5 核磁加速器泄漏辐射水平示意图

9.2.3 核磁加速器治疗工作流程

① 根据临床适应症决定行核磁加速器治疗；② 对病人进行体位固定，获取病灶医学影像；③ 制订治疗计划；④ 实施放射治疗。每人单次治疗剂量平均 3Gy，常规照射每人出束时间约 1.5min，调强治疗每人出束时间约 3min，加速器日治疗出束时间约 3.8h，年工作 250d，总出束时间约 950h。

9.2.4 主要的放射性污染和污染途径

该治疗系统配备电子直线加速器和 MR 图像成像系统。电子直线加速器运行时高速电子轰击靶物质产生韧致辐射（X 射线）。设备输出 X 射线能量为 7MV，靶区辐射剂量率为 500cGy/min。射线照至墙壁、设备和患者身体将产生散射辐射。X 射线贯穿机房的屏蔽材料进入外环境。

9.2.5 事故工况下的污染途径

- (1) 加速器发生控制系统故障或辐照参数设置错误，使得患者受到超剂量照射。
- (2) 机房门机联锁装置故障，设备运行出束时人员误入机房受到辐射照射。

9.2.6 其它污染分析

空气在射线的强辐射下，吸收能量并通过电离作用产生 O_3 和 NO_x 等有害气体。

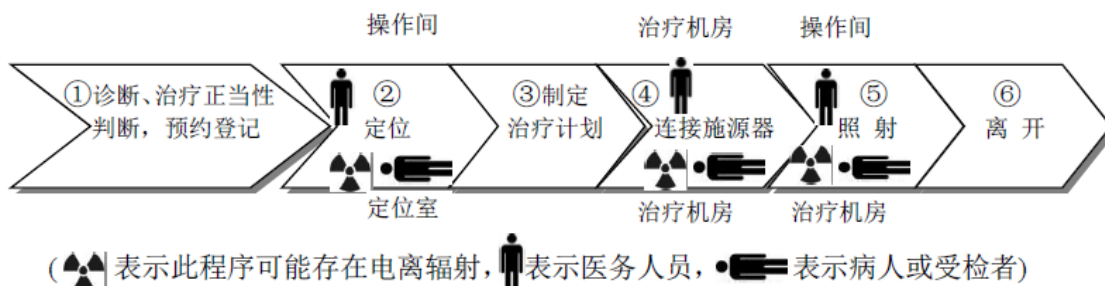
9.3 后装机

9.3.1 工作原理

后装机采用后装技术依照临床要求使 γ 放射源在人体自然腔管道或组织间驻留，从而达到预定的剂量及其分布的一种放射治疗手段。主要由控制系统、后装治疗机主机（包括：源容器、步进机、传输放射源的通道、放射源引导器、连接设备与施源器的传输管道）、施源器、安全保障系统等。施源器是个直径为毫米级的管状物，管内可装球形的

真源和假源，并有气动通道。后装机治疗时则由传输管道连接贮源器，将源输送到预置于病员体内的施源器，按治疗计划由电脑自动控制进行照射治疗，照射完毕即自动将放射源收回到贮源器内。该项目拟配置的放射源是 ^{192}Ir 丝状源，最大装源活度为 $3.7\times 10^{11}\text{Bq}$ (10Ci)。

9.3.2 治疗流程



① 病人经医生诊断、治疗正当性判断后，确定需要治疗的患者与放疗科预约登记，以确定模拟定位和治疗时间。

② 预约病人首先通过CT、超声等设备上进行肿瘤定位，确定肿瘤的具体位置和形状，确定治疗中心。定位操作过程类似于X射线影像诊断，工作人员隔室操作。

③ 确定肿瘤位置和形状后，物理人员根据医生给出的治疗剂量，通过治疗计划系统（TPS）制定治疗计划，该过程通常在电脑上完成。

④ 治疗计划制定后，肿瘤病人在技术人员协助下，依据计划在治疗床上进行连接施源器，该过程在治疗机房内完成。

⑤ 安装施源器后，技术人员进入操作室，确定所有安全措施到位后，启动治疗机进行照射。

⑥ 照射完毕后，技术人员协助病人离开机房，为下次照射做准备。



图 9-6 某款后装机外观图

后装机预计最大工作量情况：治疗人数平均每周 30-50 人，全年为 2500 人次。新装源（活度 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ ）时，每人次照射治疗 5-10min（平均约 6min）。Ir-192 放射源半衰期较短（74.0d），通常半年左右更换一次放射源，换源前经过约 2 个半衰期，剂量率降低 4 倍，故每人次治疗时间相应延长，大概需要 30-40 分钟。

为了便于估算，本评价以新装源活度计算屏蔽体周围的附加剂量率，出束治疗时间折合为新装源的治疗时间，即周治疗照射时间约为 5h，年累积治疗照射时间约 250h。

9.3.3 污染源项描述

1. 主要的放射性污染物

后装治疗是一种近距离治疗方式，该项目拟使用的核素是 ^{192}Ir 。最大装源活度 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ 。 ^{192}Ir 的半衰期为 74.0d， γ 射线能量为 0.317 MeV（83%）、0.468 MeV（48%）和 0.604 MeV（8%），距离源 1m 处 γ 射线辐射剂量率为 $0.111 \mu\text{Sv}/\text{MBq} \cdot \text{h}$ 。

设备辐射剂量输出量：距源 1m 处的最大吸收剂量率 $0.069 \text{cGy}/\text{min}$ ；《后装 γ 源近距离治疗放射防护要求》（GBZ121-2017）要求储源器最大装载活度时，距储源器表面 5cm 吸收剂量率不得大于 $50 \mu\text{Sv}/\text{h}$ ，距离储源器 100cm 处的球面上，任何一点的泄漏辐射不得大于 $5 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

2. 正常工况的污染途径

正常运行时，后装机不产生放射性“三废”，主要环境影响是电离辐射和退役放射源。

在非治疗状态下， ^{192}Ir 源封装在后装机的储源器内，容器周围辐射水平较低，对周围环境影响很小。治疗状态下， ^{192}Ir 离开储源器，按裸源考虑，机房内空气比释动能率较高，漏射 γ 射线对治疗室周围环境将产生辐射影响。密封源退役时会产生的废放射源。

3. 非正常情况的污染途径

1) 后装机操作系统发生故障，到达预置治疗时间，放射源无法自动收回，导致患者受超剂量照射；

2) 运行情况下意外断电，且设备不间断电源系统故障无法启动，致放射源不能复位。该事故工况发生时，依照应急预案，人工摇转应急回源手柄退源。

3) 运行过程中发生卡源或源脱落故障。该事故工况发生时，依照应急预案，立即

停止辐照工作，人工摇转应急回源手柄退源，或进入辐射场排除故障。之后及时通知厂家维修。

4) 因设备检修或更换放射源期间，将密封源贮源器拆卸下来，由于保管不善，可能会发生密封源丢失或被盗事故，可能产生较严重的辐射照射。

5) 在安全联锁系统出现故障时，治疗期间人员意外进入治疗室并停留，将受到过量照射的情况。

6) 放射源意外破损时，导致治疗装置、机房甚至人员受到放射性污染。

9.3.4 倒装放射源污染分析

放射源 Ir-192 的半衰期为 74.5d。通常在使用 3 个月左右应该更换一次放射源。倒装源过程如下：

- 1) 拟更新的放射源被装入配套储源罐，运治疗室；
- 2) 用导管将治疗机 1 通道适配器与储源罐入口外的卡紧装置锁死；
- 3) 在控制室通过系统，遥控传输装置将退役源放入储源罐；
- 4) 用卡进装置把退役源锁死，之后拆掉与治疗机之间的导管；
- 5) 将储源罐中的新放射源传输钢丝，手动从 1 通道穿进治疗机到真源储丝轮后，把钢丝头卡死；
- 6) 检查无误后，回到控制室，按复位按钮将新放射源收入治疗机内。

后装机倒装源工作一般每年进行 2-3 次，每次操作时间很短。工作人员在设备近旁操作，将受到贮源容器（设备）泄漏 γ 射线照射。此外，倒装源时治疗室泄漏的 γ 射线可能对周围停留的人员造成辐射照射。

医院将与放射源供货单位签订退役放射源回收协议。退役放射源由放射源供货厂家回收。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 项目环境保护验收

加速器机房项目竣工后，应对辐射防护设施进行自行验收，其中包括辐射屏蔽、安全联锁和警示系统、通风系统等，这些项目依照设计标准验收合格后，加速器方可正式投入运行。如加速器设备参数、屏蔽状况发生变化，需重新履行环境影响评价手续。

10.1.2 加速器机房拟采取的辐射安全与防护措施

1) 加速器机房(包括防护门)采用实体屏蔽措施，能够保证机房周围墙体、屋顶外和防护门外 30cm 处辐射剂量率不大于本项目建议的剂量率控制水平，辐射工作人员和公众的受照剂量满足环评文件提出的剂量约束要求。

2) 加速器放射工作场所实行分区管理：加速器机房为控制区，控制室和配套设备间为监督区。

3) 在加速器防护门外设立电离辐射警告标志和中文警示说明。安装工作状态指示灯，并和设备出束关联。

4) 安装电视监控、对讲系统，在治疗过程中能够观察病人状况，此外，也可以观察治疗室是否有人员滞留。

5) 辐射工作人员进入加速器机房将佩戴个人剂量计，并携带个人剂量报警仪。

6) 电动防护门具有防夹人功能，停电时能够手动开启，使病人安全转移。

7) 治疗系统采用数字密码或者专用钥匙启动，有专人操作设备。

8) 设置门机安全联锁：只有当防护门关闭，设备才能启动出束；反之，如果照射过程中防护门打开，系统将自动停止出束。

9) 紧急停机按钮：紧急停机按钮安装在控制室的操作台上（1 个）、加速器设备上（2 个）、加速器治疗室的墙壁上（3 个）和迷道内 1 个，并有明显的标志，当遇到意外情况，可随时按动急停开关，切断设备高压，停止出束。紧急停止开关必须采用手动方式才能复位。

10) 门控按钮设置：在防护门外旁侧安装关门按钮（无关门按钮），在防护门内侧迷道墙壁上安装开门按钮（无关门按钮），在控制室内设开、关门按钮。

11) 治疗室内安装通风换气系统。换气次数不低于 4 次/h。送风口设置在机房顶部，排风口设置在机房墙体下侧 30cm 处，呈对角线布置。

12) 机房内安装固定式辐射剂量监测报警仪器，用于监测机房内的辐射水平并帮助辐射工作人员判断设备的工作状态。

13) 其他要求：治疗室安装应急照明装置，设火灾自动报警装置等。

14) 排风管道由迷道并在防护门上方采用“Z”方式穿出机房。线缆采用“U”型方式穿过屏蔽墙。

加速器联锁和警示系统的设计见图 10-1 所示。

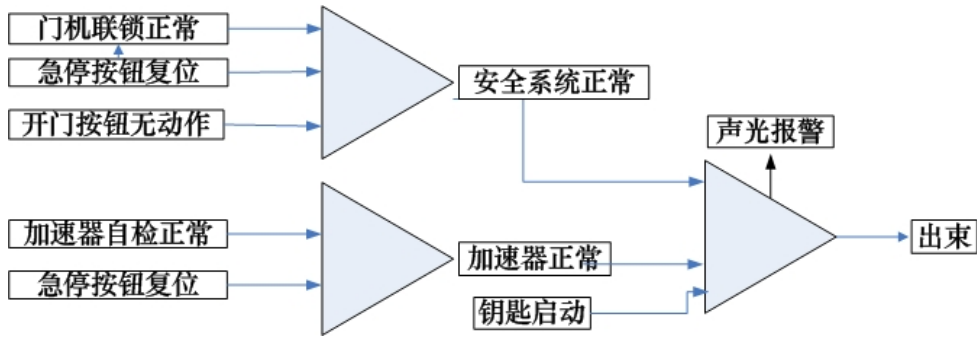


图 10-1 加速器机房联锁系统逻辑图

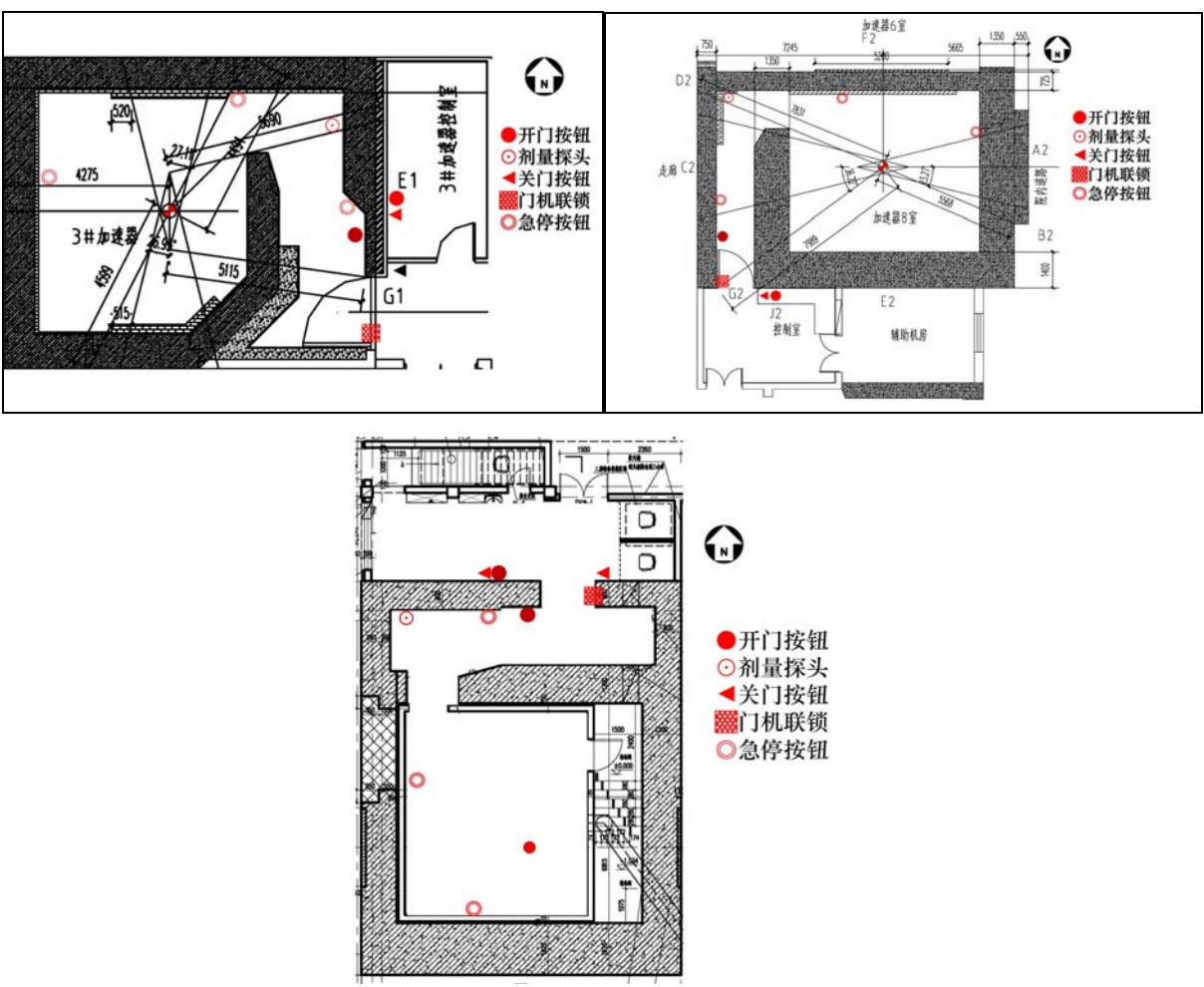


图 10-2 加速器机房联锁和安全措施布置图

根据原环保部辐射安全与防护监督检查技术程序，表 10-1 列出了本项目加速器机房拟采取的安全与防护设施设计方案。

**表 10-1 加速器（6MV 加速器和核磁加速器）机房
安全与防护设施设计要求**

序号	项目	检查内容	本项目	备注
1*	A 控制台及安全联锁	防止非工作人员操作的锁定开关	√	钥匙和密码
2*		控制台有紧急停机按钮	√	1 个
3*		电视监控与对讲系统	√	1 套
4*		治疗室门与束流联锁	√	门机联锁
5		治疗室内准备出束音响提示	√	蜂鸣音
6*	B	入口电离辐射警告标志	√	标准电离辐射警告标志
7*	警示装置	入口有加速器工作状态显示	√	工作状态指示灯
8	C 照射室 紧急设施	紧急开门按钮	√	迷道门内侧
9		紧急照明或独立通道照明系统	√	应急照明
10*		治疗室内有紧急停机按钮	√	墙壁至少设 2 个
11*		治疗床有紧急停机按钮	√	治疗床 2 个，机架上 1 个
12	D 监测设备	治疗室内有固定式剂量率仪	√	1 台，型号待定
13*		便携式辐射监测仪器仪表	√	1 台，型号待定
14*		个人剂量报警仪	√	1 台，型号待定
15*		个人剂量计	√	每人 1 个
16	E 其它	治疗室门防夹人装置	√	具有防夹功能和停电手动开启功能
17		通风系统	√	屋顶设风机 1 台
18		火灾报警仪	√	屋顶火灾报警器
19		灭火器材	√	干粉灭火器

10.1.3 后装机机房拟采取的辐射安全与防护措施

1) 使用专用机房，机房建筑采取可靠的实体屏蔽，安装辐射屏蔽门，采用隔室遥控操作方式。能够保证机房周围墙体外、屋顶和防护门外 30cm 处辐射剂量率不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ，工作人员和公众的受照剂量满足环评文件提出的剂量约束要求。

2) 后装机加速器放射工作场所实行分区管理：将后装机机房划分为控制区，控制室为监督区。

3) 在后装机防护门外粘贴电离辐射标志和中文警示说明。安装工作状态指示灯，并和设备出束关联。

4) 安装电视监控、对讲系统，在治疗过程中能够观察病人状况，此外，也可以观察治疗室是否有人员滞留。

5) 工作人员进入加速器机房将佩戴个人剂量计，并携带个人剂量报警仪。

6) 电动防护门具有防夹人功能，停电时能够手动开启，使病人安全转移。

7) 治疗系统由控制台钥匙或者密码控制。

8) 设置门源安全联锁：只有当防护门关闭，设备才能出源；反之，如果照射过程中防护门打开，系统将自动回源。

9) 紧急停机按钮：紧急停机按钮安装在控制室的操作台上（1 个）、后装机设备上（1 个）、后装机机房的墙壁上（2 个）和迷道内 1 个，并有明显的标志。当按动急停开关，设备自动回源。紧急停止开关必须采用手动方式才能复位。

10) 门控按钮设置：在防护门外旁侧安装关门按钮（只关不开），在防护门内侧迷道墙壁上安装开门按钮（只开不关），在控制室内设开、关门按钮。

11) 治疗室内安装通风换气系统。换气次数不低于 4 次/h。送风口设置在机房顶部，排风口设置在机房墙体下侧，呈对角线布置。

12) 机房内安装固定式辐射剂量监测报警仪器，用于监测机房内的辐射水平并帮助工作人员判断设备的工作状态。

13 设备具有模拟源（假源），采用假源探路、真源治疗的双重驱动系统，假源可自动穿过施源器检查所有联接点并对可能产生打结或过度弯曲的部位报警，防止因输源通路不畅造成卡源事故；

14) 配备 UPS 不间断电源。当在治疗过程中发生停电情况，UPS 自动供电能使放射源退回到安全位置, 并留存病人的治疗记录。

15) 设备安全联锁和自动回源系统等故障检查和保护系统。施源器未插入机头的卡盘内，不能出源；施源器未锁紧，不能出源；

16) 设备机头内有应急回源手柄，当退源用的电机失灵时，可采用应急回源手柄退源；

17) 治疗室内配有合适的贮源容器、长柄镊子等应急设备。

18) 按照《剧毒化学品、放射源存放场所治安防范要求》（GA 1002-2012）要求，在治疗室安装视频监控和入侵报警装置，安装防盗门等安全防范设施。

19) 放射源的更换过程由专门的程序控制，工作人员隔室操作，整个过程放射源对操作人员绝无暴露。

20) 退役的放射源由放射源供方收回。

表 10-2 列出了本项目后装机机房拟采取的安全与防护设施设计方案。

后装机联锁和警示系统的设计见图 10-3 所示。后装机机房安全联锁和安全措施布置图见图 10-4 所示。

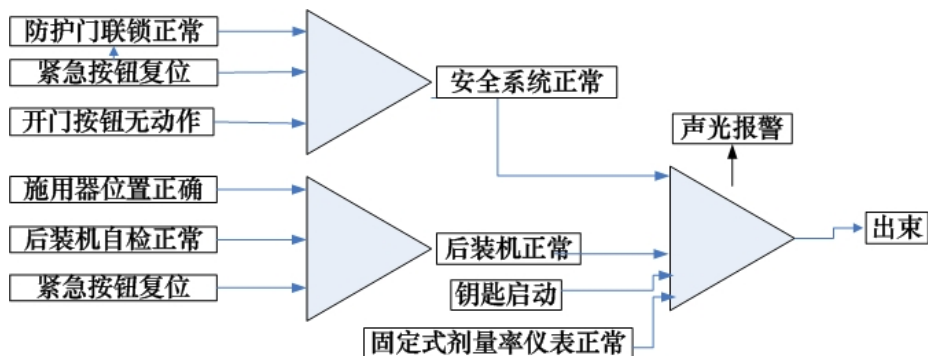


图 10-3 后装机安全联锁和警示系统逻辑图

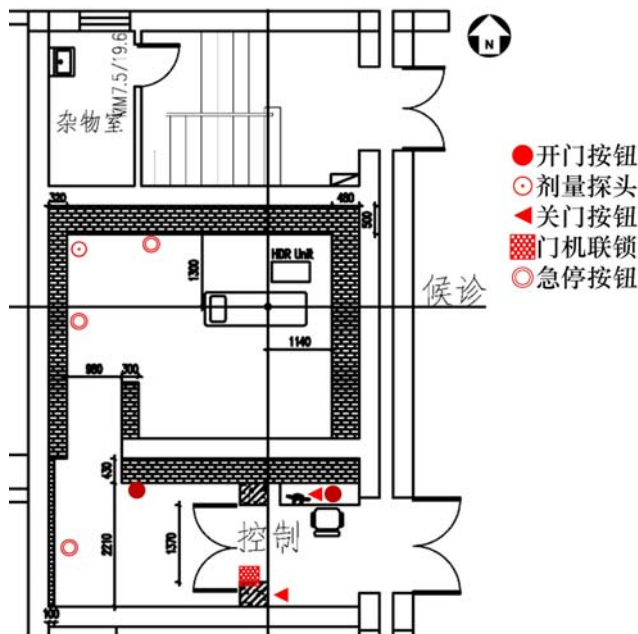


图 10-4 后装机机房安全联锁和安全措施布置图

表 10-2 后装机机房安全与防护设施设计要求

序号	项目	检查内容	设计 建造	备注
1*	A 装置安全 设施	防止非工作人员操作的锁定开关	√	钥匙和密码
2*		施源器与源联锁	√	设备配备
3*		管道遇堵自动回源	√	设备配备
4*		仿真源模拟运行	√	设备配备
5*		主机外表面电离辐射警示标志	√	标准电离辐射警告标志

6*		控制台显示放射源位置	√	指示灯显示
7*		控制台紧急停止照射按钮	√	1 个
8*		停电或意外中断照射时自动回源装置	√	设备配备
9*		手动回源措施	√	设备配备
10*	B 场所安全 设施	治疗室固定辐射水平监测仪	√	标准电离辐射警告标志
11		治疗室有迷道	√	L 型迷道
12*		治疗室门与出源联锁	√	门源联锁
13*		放射源返回储源器的应急开关	√	设备配备
14*		治疗室电视监控对讲装置		1 套
15*		入口处电离辐射警示标志	√	标准电离辐射警告标志
16*		入口处源工作状态显示	√	指示灯
17*		停电或意外中断照射时声光报警	√	
18		通风设施	√	空调系统
19		火灾报警仪	√	屋顶火灾报警器
20*		个人剂量计	√	每名工作人员 1 枚
21*		个人剂量报警仪	√	2 台/每台后装机
22	C 放射源贮 存	后装源专用贮存室/保险柜	√	保险柜
23		双人双锁	√	门禁锁
24		防盗门窗	√	防护门

10.2 三废的治理

《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第1部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）和《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）指出，X射线能量不超过10MV的加速器，无需考虑中子辐射及中子俘获 γ 射线，本项目使用的加速器最大能量为10MV，故本项目可不考虑中子、放射性活化气体以及活化产物的环境影响。

加速器正常运行时，无废靶产生。如果冷却水循环系统出现故障，可能造成靶体散热不畅导致靶被打穿的情况，产生废靶。此外，加速器报废时，会有废靶产生。对于更换下来的废靶和退役时拆卸下来的废靶，将请有资质单位检测，如满足清洁解控要求，按普通物品处理，反之，按放射性废物送往北京市城市放射性废物库暂存。

后装机使用过程中，每年更换2-3次Ir-192放射源，故本项目会产生废旧放射源。废旧放射源在倒装新源时从设备内导出，直接装入放射源容器内，直接返回供源厂家，不在医院暂存。

10.3 对原环境保护部令《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的满足情况

表 10-3 汇总列出了本项目对照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》对生产、销售、使用放射性同位素和射线装置单位要求的对照评估情况。

表 10-3 与《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》符合情况

序号	《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》	项目单位情况	检查结果
1	应当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。	医院成立有辐射安全防护管理委员会,全面负责医院的辐射防护监督和管理工作的,小组下设专职人员具体处理各项事务,各相关部门内部职责明确,具体情况见表 1-5。	符合
2	从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。	医院制定了辐射工作人员培训计划。目前,全部从事放射工作的职业人员和管理人员共计 150 人,均参加了环保部门认可的单位组织的辐射安全与防护培训和复训,并取得合格证书。本项目将来拟新增的 3 名工作人员通过辐射安全与防护培训后上岗。	符合
3	使用放射性同位素的单位应当有满足辐射防护和实体保卫要求的放射源暂存库或设备。	本项目使用放射源场所将落实公安部门安保措施。	符合
4	放射性同位素与射线装置使用场所所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	本项目涉及的加速器机房门口显著位置处张贴有电离辐射警告标识和中文警示说明,并在机房门口设置有工作状态指示灯。设置门机联锁、门源联锁系统,紧急停止按钮,紧急回源系统等,具体见表 10.1.2 和 10.1.3。	符合
5	配备必要的防护用品和监测仪器。	已配备有相应的防护用品和监测仪器,详细见表 11-6。本项目投入运行前,每间机房均新增配置 1 台固定式剂量率仪(共计 4 台),每间机房新增配置 2 台个人剂量报警仪(共计-8 台),放疗科新增配套 1 台便携式剂量率仪。	符合
6	有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护措施、台帐管理制度、培训计划和监测方案。	制定有较为齐全、比较严格的辐射防护规章制度,有人员辐射安全培训制度、各项操作规程、设备检修维护制度、辐射防护和安全保卫制度、台帐管理制度、环境监测及个人剂量监测制度、放射性废物管理制度、放射性事故应急预案。	符合
7	有辐射事故应急措施。	已制定有辐射事故应急处理预案。	符合
8	产生放射性废气、废液、固体废物的,还应具有确保放射性废气、废液、固体废物达标排放的处理能力或者可行的处理方案。	本项目不产生放射性废物。退役放射源将返回生产厂家。	符合

10.4 对比原环境保护部第 18 号令要求的满足情况

2011 年原环境保护部令第 18 号《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》对拟使用射线装置和放射性同位素的单位提出了具体条件,本项目具备的条件与“18 号令”要求的对照评估如表 10-4 所示。

表 10-4 安全和防护能力对照评估情况

安全和防护管理办法要求	单位情况	符合情况
第五条 射线装置的生产调试和使用场所，应当具有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	加速器、后装机机房出入口显著位置处均设置放射性警告标识和中文警示说明，以及在防护门上方设置工作状态指示灯。加速器和后装机设置门机联锁系统、紧急停机按钮、固定式剂量率仪等，防止人员误入和意外受照。	符合
第九条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；不具备自行监测能力的，可以委托经省级人民政府环境保护主管部门认定的环境监测机构进行监测。	医院以前每年委托有资质单位进行 1 次射线装置工作场所和环境辐射水平监测，监测数据记录存档。2017 年委托北京贝特莱博瑞技术检测有限公司完成放射工作场所检测。本项目实施后，仍每年委托有资质单位进行 1 次射线装置工作场所和环境辐射水平监测。	符合
第十二条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。	承诺每年 1 月 31 日前向北京市生态环境局提交年度评估报告。	符合
第十七条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照环境保护部审定的辐射安全培训和考试大纲，对直接从事生产、销售、使用活动的操作人员以及辐射防护负责人进行辐射安全培训，并进行考核；考核不合格的，不得上岗。	医院制定了辐射工作人员培训计划。目前，全部从事放射工作的职业人员和管理人员共计 150 人，均参加了生态环境部门认可的单位组织的辐射安全与防护培训和复训，并取得合格证书。本项目将来拟新增的 1 名工作人员通过辐射安全与防护培训后持证上岗。	符合
第二十三条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照法律、行政法规以及国家环境保护和职业卫生标准，对本单位的辐射工作人员进行个人剂量监测；发现个人剂量监测结果异常的，应当立即核实和调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。	所有辐射工作人员均要求佩戴 TLD 个人剂量计，医院已委托北京贝特莱博瑞技术检测有限公司进行个人剂量检测，频度为每季度一次。	符合

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

对于本项目而言，将会在现有的大楼内进行简单的室内施工活动，对室外环境和周围人群的影响较小，故不再进行详细评价。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 加速器 3 室 6MV 医用电子直线加速器的环境影响

（一）机房所在位置

对加速器 3 室进行实体屏蔽防护改造，将原有的 1 台 BJ6B 型加速器（北京医疗器械研究所产，6MV，600cGy/min）报废，更新为 1 台 Synergy 型医用电子直线加速器（医科达产，6MV，600cGy/min）。

加速器 3 室位于放疗楼东北侧，其东侧为控制室和候诊区，南侧是加速器 4 室及其控制室，西侧是 CT 模拟定位机房，北侧是通道和诊室。机房楼下为土层，楼上是无人值守的平台，无人停留。加速器机房布局见图 11-1、图 11-2 和附图 4 所示。

（二）机房屏蔽设计

加速器机房利用现有的加速室机房 3 进行改造，其屏蔽改造方案见图 11-1 和 11-2，以及表 11-1 所示。

表 11-1 加速器 3 室屏蔽设计方案一览表

屏蔽位置	机房目前的屏蔽厚度	本次改造增加的屏蔽厚度
北侧主束区 E	普砼, 80cm	机房内侧增加27cm铅砖, 宽度300cm
北侧非主束F, N	普砼, 80cm	铅砖, 12cm
南侧主束区J	普砼, 90cm(西侧)	西侧增加铅砖, 25cm
南侧非主束区I	普砼, 90cm(西侧)	铅砖, 5cm(主束区西侧, 宽度0.75m)
南侧非主束区K	普砼, 80cm(东侧)	50cm重砼*(东侧)
东侧迷道外墙 (南段) B	普砼, 24cm	20cm钢板
东侧迷道外墙 (北段) M	普砼, 80cm	20cm钢板
西侧A	砼, 80cm	铅砖, 9.1cm
迷路内墙北段	砼80cm	—
迷路内墙南段	砼, 80cm	50cm重砼
南侧迷道南墙	砖墙24cm	30cm重砼
顶板主束区C	砼, 50cm	砼180cm(宽度4.2m)
顶板非主束区D	砼, 50cm	砼, 89cm
防护门外L	原防护门拆除	复合门设计, 内侧3mm钢板+外侧采用3mm钢板, 内部采用14mm铅。

注：重砼密度 3.5t/m³,混凝土 2.35 t/m³,砖

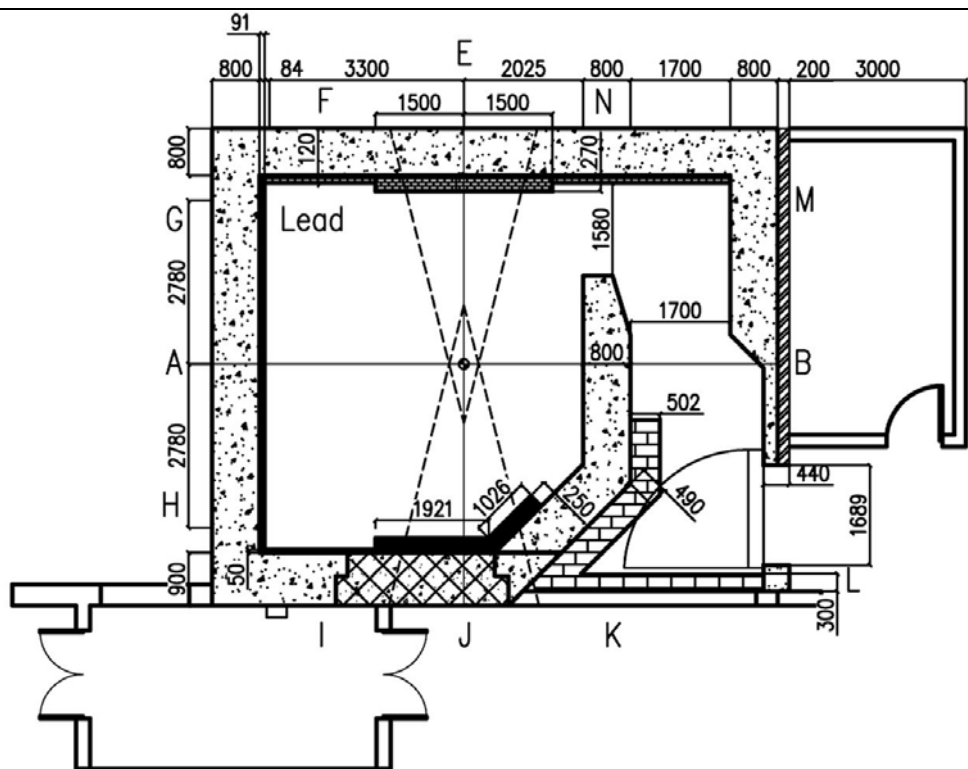


图 11-1 加速器机房平面布局示意图

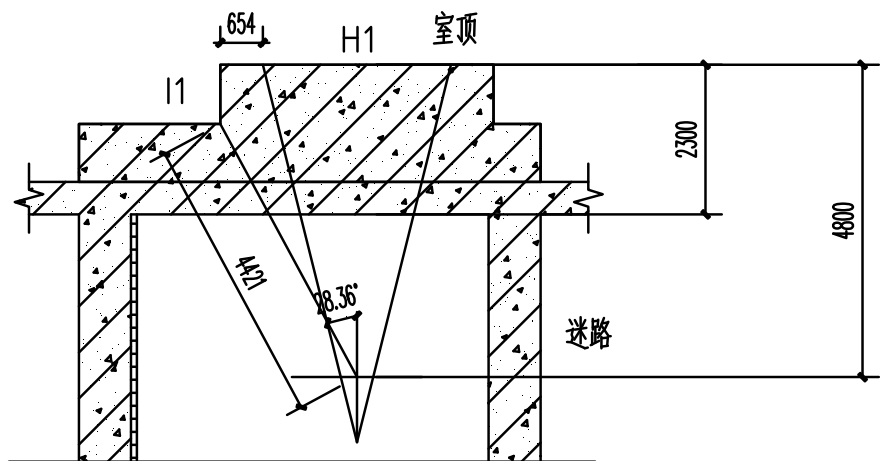


图 11-2 加速器机房剖面尺寸示意图

(三) 设备参数和使用规划

(1) 设备技术参数

机房 3 内拟使用的电子直线加速器技术指标如表 11-2 所示。

表 11-2 加速器 3 室拟使用的直线加速器技术指标一览表

生产厂家 和型号	电子线 能量 (MeV)	X 线能量和 最大输出剂 量率	SAD	照射野	机架旋 转范围	机头漏 射线率
-------------	--------------------	-----------------------	-----	-----	------------	------------

医科达 Synergy 型	6/9/12/ 15/18MeV	6MV: 600 cGy/min	100cm	最大照射野 40cm× 40cm; 等中心点高 度 1.25m	360° , 顺时针 和逆时 针方向	≤0.1%
------------------	---------------------	------------------------	-------	---	-----------------------------	-------

（2）使用规划

1) 出束时间：考虑到医院就医患者较多，故按最大工作负荷 100 人次/天进行评价。2Gy/人次，加速器日治疗出束时间 200min，年工作 250d，总出束时间约 833h。

2) 利用因子：对于常规治疗，机头 90°、270° 和 180°（朝上）出束时间各占年工作量 10%；机头向下(0°)出束时间占年工作量 70%。考虑调强治疗的使用，将机头为 90°、270° 和 180°（朝上）出束时间的占比提高至 25%，机头向下(0°)出束时间占年工作量的 55%。以此保守估算周围公众受照剂量。

（四）辐射环境影响评价

加速器 3 室使用的加速器最大能量为 6MV，故无需考虑中子、放射性活化气体以及活化产物的环境影响。

（1）加速器机房周围辐射水平的估算

加速器周围的辐射水平采用 NCRP 151 号报告“MV 水平 X 射线和 γ 射线治疗设备的屏蔽设计和评价”推荐的估算模式进行计算。具体做法：依据屏蔽参数估算模式，以等中心点的剂量率替代周工作负荷，转化为辐射剂量率水平估算模式，最终导出机房周围附加辐射水平。然后根据加速器出束时间、机头利用因子、人员居留因子，估算出职业人员和公众的受照剂量。

1. X 射线

1) 主束贯穿辐射对机房周围环境的剂量率贡献

主屏蔽墙的透射系数 B_{pri} ，由公式（1）求出：

$$B_{\text{pri}} = (10^{-1})^{10 \left[\frac{(H - TVL_1)}{TVL_e} \right]} = 10^{-\left\{ 1 + \left[\frac{(H - TVL_1)}{TVL_e} \right] \right\}} \quad (1)$$

主束对相应关注点位的剂量率贡献 H_{pri} ，依据公式（2）进行估算：

$$H_{\text{pri}} = B_{\text{pri}} \cdot D_0 \cdot (1 + d)^{-2} \quad (2)$$

式中， H 为主屏蔽墙的厚度，cm； TVL_1 为主束对混凝土的第一个十分之一值层， TVL_e 为主束对混凝土的平均十分之一值层，cm，具体数据见表 11-3； d 为等中心点至

关注点的距离，m。 D_0 为等中心处 X 射线的吸收剂量率。

表 11-3 普通混凝土对 6MVX 射线束的 TVL

TVL 类型	TVL 值 (cm)	
	主束	泄漏辐射
TVL_1	37	34
TVL_e	33	29

2) 泄漏射线对机房周围环境的剂量率贡献

泄漏射线的透射系数 B_L ，由公式 (3) 求出：

$$B_L = 10^{-\{1 + [\frac{(h/\cos\theta - TVL_1^L)}{TVL_e^L}]\}} \quad (3)$$

泄漏射线对相应关注点位的剂量率贡献 H_L ，依据公式 (4) 进行估算：

$$H_L = B_L \cdot L_f \cdot D_0 \cdot (d)^{-2} \quad (4)$$

式中， h 为屏蔽墙的厚度，cm； θ 为射线对屏蔽墙的入射角； TVL_1^L 为泄漏射线对混凝土的第一个十分之一值层， TVL_e^L 为泄漏射线对混凝土的平均十分之一值层，cm，具体数据见表 11-4； L_f 为主束的泄漏率，保守取 0.1%。符号 D_0 和 d 代表的意义同前文。

3) 病人散射线对机房周围环境的剂量率贡献

病人散射线的透射系数 B_{PS} ，由公式 (5) 求出：

$$B_{ps} = 10^{-\left(\frac{h/\cos\theta}{TVL_{sca}}\right)} \quad (5)$$

病人散射线对相应关注点位的剂量率贡献 H_{sca} ，依据公式(6)进行估算：

$$H_{sca} = B_{PS} \cdot \alpha \cdot F \cdot D_0 \cdot (d)^{-2} \cdot (d_{sca})^{-2} \cdot (400)^{-1} \quad (6)$$

式中， TVL_{sca} 为病人散射线对混凝土的十分之一值层，cm，具体数据见表 11-4； α 为以不同角度散射时的散射系数； F 为病人治疗位置的射野面积， cm^2 ，保守取 40×40 ； d_{sca} 为靶点至病人的距离，m，取值为 1；400 是以射野面积 $20cm \times 20cm$ 为标准进行标准化的散射系数。 h 、 θ 、 D_0 和 d 代表的意义同前文。

表 11-4 普通混凝土对病人散射线以不同角度散射所致的 TVLsca

工况	TVLsca (cm)					
	散射角度					
	15°	30°	45°	60°	90°	135°
6 MV	34	26	23	21	17	15

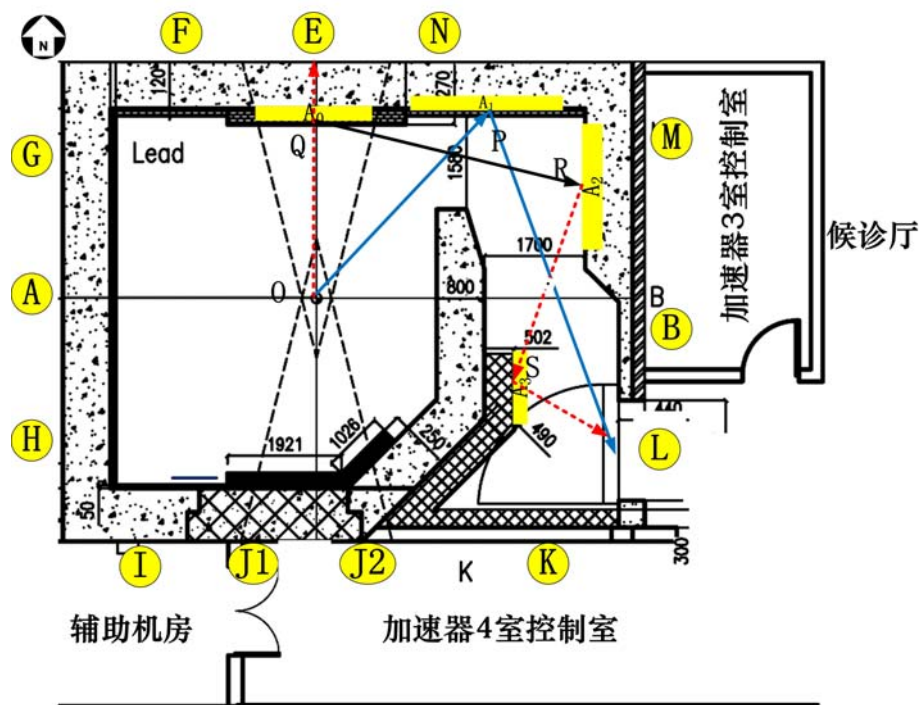


图 11-3 加速器 R3 机房周围 X 射线辐射剂量估算示意图

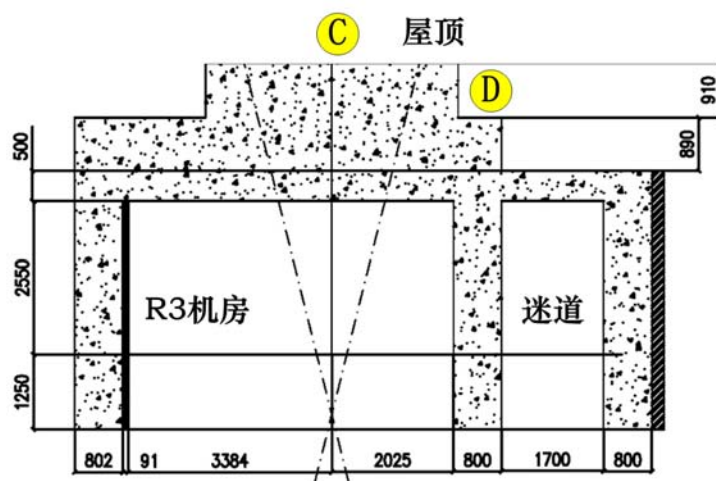


图 11-4 加速器机房顶部 X 射线辐射剂量估算示意图

表 11-5 加速器 R3 所致机房周围环境附加剂量率水平

位置描述 (点位见图 11-3 和 1-4)	与等中 心距离 (m)	屏蔽材料和厚度(cm)	主要 射线束	屏蔽层衰减 系数	附加剂量 率 (μ Sv/h)
北侧主束区 E (通道)	4.3	砼80cm+27cm铅	主束	$4.98\text{E-}03*$ $1.83\text{E-}05$	$1.17\text{E+}00$
北侧非主束 F, N (通道)	4.9	砼80cm+12cm铅	泄漏辐射 (15° 斜射)	$2.07\text{E-}03*$ $6.61\text{E-}03$	$2.05\text{E-}01$
			患者散射 (30° 斜射)	$2.8\text{E-}04*$ $5.18\text{E-}04$	$2.4\text{E-}02$

南侧主束区 西段J1 (R4控制室)	4.3	砼90cm+25cm铅	主束	2.5E-03* 4.1E-05	1.30E+00
南侧主束区 东侧J2 (R4控制室)	4.3	砼80cm+25cm铅 (35° 斜射)	主束	1.46E-03* 4.4E-06	8.2E-02
南侧非主束区 I (设备间)	5.0	砼90cm+5cm铅	泄漏辐射 (15° 斜射)	9.1E-04* 1.2E-01	6.9E-01
			患者散射 (30° 斜射)	3.88E-04 *3.56E-02	5.7E-1
东侧迷道外墙 (南端) B (R3控制室)	5.6	砼80cm+砼24cm + 20cm钢板	泄漏辐射	3.86E-04 *0.01	4.4E-02
	2.9/6.2	砼24cm+20cm钢板 (30° 斜射)	主束一次散 射	4.8E-02 *5.0E-04	1.6E-01 ^①
	1/3.3/5.2, 4.0/5.6	砼24cm+20cm钢板 (30° 斜射)	病人二次散射 泄漏辐射散射	1.7E-03 *1.7E-06	2.9E-06 ^② 1.5E-07 ^③
南侧非主束区 K (控制室)	5.7	砼80cm+50cm重砼+ 砖墙24cm+30cm重砼 (相当于214cm砼)	泄漏辐射	6.2E-08	6.9E-04
	4.1/6.9	砖墙24cm+30cm重砼 (相当于62cm砼)	泄漏辐射一 次散射	6.3E-07	1.3E-05 ^③
	1.0/4.1 /6.9	砖墙24cm+30cm重砼 (相当于62cm砼)	病人散射	6.3E-07	3.4E-04 ^②
东侧迷道外墙 (北段) M (控制室)	5.8	砼80cm+20cm钢板	泄漏辐射 (15° 斜射)	2.1E-03* 8.5E-03	1.91E-01
	2.8/5.5	砼80cm+20cm钢板	主束一次散 射	1.5E-04* 1.4E-03	3.4E-03
西侧A (模拟CT)	4.5	砼80cm+9.1cm铅	泄漏辐射	2.6E-03* 2.5E-02	1.20E+00
顶板主束区C (无人区)	5.0	砼230cm	主束	1.42E-07	1.42E+00
顶板非主束区 D (无人区)	4.5	砼139cm	泄漏辐射 (15° 斜射)	1.62E-05	2.9E-01
			患者散射 (30° 斜射)	6.71E-07	1.32E-01
北侧诊室	7.6	砼80cm+27cm铅+24cm 砖墙	主束	1.4E-3* 1.83E-5	1.3E-01

注：①主束一次散射能量按照 1.25MeV 计，散射系数 4.0E-3，散射面积 1.5m²。TVL(Fe)7cm,TVL(砼)21cm

②病人散射能量按 0.5MeV 计，散射系数 1.4E-3，散射面积 6.75m²,TVL(Fe)4cm,TVL(砼)10cm。

③泄漏辐射一次散射能量约按 0.5MeV 计，散射系数 4.7E-3，散射面积 6.75m²,TVL 同上。

④ 主束一次散射能量按照 1.25MeV 计，散射系数 2.7E-3，散射面积 4m²。

根据估算结果可知，加速器以 6MV 能量和 600cGy/min 剂量率开展放疗工作，其机房墙外 30cm 处最大附加剂量率约为 1.30μSv/h（控制室内），顶部最大附加剂量率为 1.42μSv/h，满足本报告设定的 2.5μSv/h 剂量率控制水平。

4) 迷道口辐射水平的估算

加速器 6MV 运行时，迷道口的辐射水平主要考虑：①主束经屏蔽墙 3 次散射所致的剂量率贡献， H_s ；②机头泄漏射线经屏蔽墙 1 次散射所致的剂量率贡献， H_{LS} ；③主束经病人 1 次和屏蔽墙 1 次散射所致的剂量率贡献， H_{PS} ；④泄漏射线贯穿迷道内墙所致的剂量率贡献， H_{LT} 。

①主束经屏蔽墙 3 次散射所致的剂量率贡献

对迷道口有剂量率贡献的上述四种主要成分的散射路径示意图见图 11-4。

$$H_s = \frac{D_0 \alpha_0 A_0 \alpha_2 A_2 \alpha_3 A_3}{(d_0 d_2 d_3 d_4)^2} \quad (7)$$

式中， D_0 代表的意义同前文； α_0 为屏蔽墙对主束第一次散射系数； α_2 为屏蔽墙对主束第二次散射系数； A_0 为第一次散射区面积， m^2 ； A_2 为第二次散射区面积，其值为从第一散射区域观察“迷道内口”投影到迷道外墙的截面积， m^2 ； A_3 为第三次散射区面积； d_0 为靶点至第一散射面中心点的距离，m； d_2 为第一散射面中心点与经迷道内墙边缘到迷道中心线交点的距离，m； d_3 为第二个散射面到第三个散射面之间距离， d_4 点第三个散射面防护门处的距离，m。

$$H_s(6MV) = \frac{(360 \times 10^6)(5.3 \times 10^{-3})(4)(4.0 \times 10^{-3})(8.2)(7.3 \times 10^{-3})(4.75)}{(2.8)^2(4.3)^2(3.5)^2(1.9)^2} = 1.35 \mu Sv/h$$

② 机头泄漏射线经屏蔽墙 1 次散射对迷道口的剂量率贡献

如图 11-4 所示，泄漏射线经屏蔽墙 1 次散射后可以到达迷道口，其散射路径为机头 $O \rightarrow P \rightarrow Z$ 。泄漏辐射经屏蔽墙 1 次散射对迷道口的剂量率贡献估算模式（8）：

$$H_{LS} = \frac{D_0 L_f \alpha_1 A_1}{(d_{op} d_{pz})^2} \quad (8)$$

式中， α_1 为屏蔽墙对泄漏射线的散射系数； A_1 为泄漏辐射 1 次散射区面积，其值为从迷道口处向机房内可观察到的对面屏蔽墙的截面积， m^2 ； d_{op} 为等中心点经迷道内墙边缘与迷道中心线的交点 P 的距离，m； d_{pz} 为点 P 至迷道口 Z 的距离，m。

$$H_{LS}(6MV) = \frac{(360 \times 10^6)(10^{-3})(9.9)(6.4 \times 10^{-3})}{(4)^2(6)^2} = 39.6 \mu Sv/h$$

③ 主束经病人和屏蔽墙各 1 次散射对迷道口的剂量率贡献

如图 11-4 所示，主束经病人后再经墙壁 1 次散射后可以到达迷道口，其散射路径为 $O_1 \rightarrow O \rightarrow P \rightarrow Z$ 。主束经病人后再经墙壁 1 次散射对迷道口的剂量率估算模式（9）：

$$H_{PS} = \frac{D_0 \alpha(\theta) \left(\frac{F}{400} \right) \alpha_1 A_1}{(d_{sca} d_{op} d_{pz})^2} \quad (9)$$

式中， D_0 、 F 、 d_{sca} 、 A_1 和 d_{op} 、 d_{pz} 代表的意义同前文； $\alpha(\theta)$ 为病人散射线以散射角 θ 进行散射时的散射因子； α_1 为墙壁对病人散射线的散射系数，与 α_0 和 α_2 代表的意义完全相同。

$$H_{ps}(6MV) = \frac{(360 \times 10^6)(1.39 \times 10^{-3}) \left(\frac{40 \times 40}{400} \right) (7.1 \times 10^{-3})(9.9)}{(1)^2 (4)^2 (6)^2} = 244 \mu\text{Sv/h}$$

④ 泄漏射线贯穿迷道内墙对迷道口的剂量率贡献

机头泄漏射线直接贯穿迷道内墙后可以直接到达迷道口，其辐射路径为等中心点 $O \rightarrow Z$ 。机头泄漏射线直接贯穿迷道内墙后对迷道口的剂量率估算模式（10）：

$$H_{LT} = \frac{D_0 L_f B_L}{d_L^2} \quad (10)$$

由公式（3）求出泄漏射线的透射系数 B_L 。式中符号 d_L 为等中心点 O 到迷道口 Z 的距离(d_{OZ})，m； D_0 和 L_f ，代表的意义同前文。

$$B_L(6MV) = 10^{-\left\{1 + \left[\frac{132-34}{29} \right] \right\}} = 4.1 \times 10^{-5}$$

$$H_{LT}(6MV) = \frac{(360 \times 10^6)(10^{-3})(4.1 \times 10^{-5})}{(5.6)^2} = 4.7E-1 \mu\text{Sv/h}$$

⑤ 迷道防护门内 Z 点的剂量率水平

加速器以 6MV 运行时，迷道口的剂量率水平如表 11-6 所示。

表 11-6 迷道口剂量率水平

编号	剂量来源	附加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
1	主束经 3 次散射	1.35
2	泄漏辐射 1 次散射	39.6
3	主束经病人和墙壁散射	244
4	泄漏辐射直接透射	4.7E-1
	总计	285.42

⑥ 迷道防护门外 F 点的剂量率水平

泄漏散射和病人散射后的 X 射线较低，约为 0.5MeV，在 Pb 中的 TVL 为 3-6mm，本项目保守取 6mm。

机房防护门采用复合门设计，复合门设计，内侧 3mm 钢板+外侧采用 3mm 钢板，内部采用 14mm 铅（相当于 17mmPb）。经防护门屏蔽后，X-γ 射线附加剂量率为 0.42μSv/h，满足本项目设定的 2.5μSv/h 剂量率控制水平。

(2) 主束屏蔽墙宽度分析

《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》(GBZ/T201.1-2007)第 4.3.3 条款给出了主束屏蔽层宽度的计算方法，有用束在机房屏蔽墙的投影区宽度的计算见公式（11）。

$$Y_p = 2[(a + SAD) \tan \theta + 0.3] \quad (11)$$

式中：Y_p—机房有用束主屏蔽区的宽度，m；SAD—源轴距，取 1m；θ—治疗束的最大半张角（相对束中的轴线），本项目为 14°；a—等中心点至与主屏蔽墙相连接的次屏蔽墙内表面或到外凸式主屏蔽墙外表面顶部的距离，m。见图 11-5 所示。

以北墙主屏蔽墙为例估算南北侧主束屏蔽层的最小宽度。根据设计资料，R3 机房等中心点到北侧与主屏蔽墙相连接的次屏蔽墙的垂直最大距离为 2.78m，等中心到机房顶部的垂直距离为 2.55 m，即等中心点到最远的主屏蔽墙距离为 3.8m。有用射线束张角为 28°，据此计算主屏蔽墙的半宽度要求不少于 1.49m。本项目加速器机房北侧主屏蔽区附加铅板墙半宽度为 1.5m，正好满足屏蔽主束的要求。

同样方法核算，R3 加速器机房南侧主屏蔽墙宽度也满足主束屏蔽需要。

顶部主束屏蔽层的最小宽度：根据设计资料，等中心点到顶部的垂直距离为 4.85m，等中心到机房北侧墙外的垂直距离为 4m，即等中心点到最远的顶部主屏蔽墙距离为 6.3m。有用射线束张角为 28°，据此计算主屏蔽墙的半宽度要求不少于 2.1m。本项目加速器机房顶部主屏蔽区宽度为 4.2m，满足顶部主束屏蔽的要求。

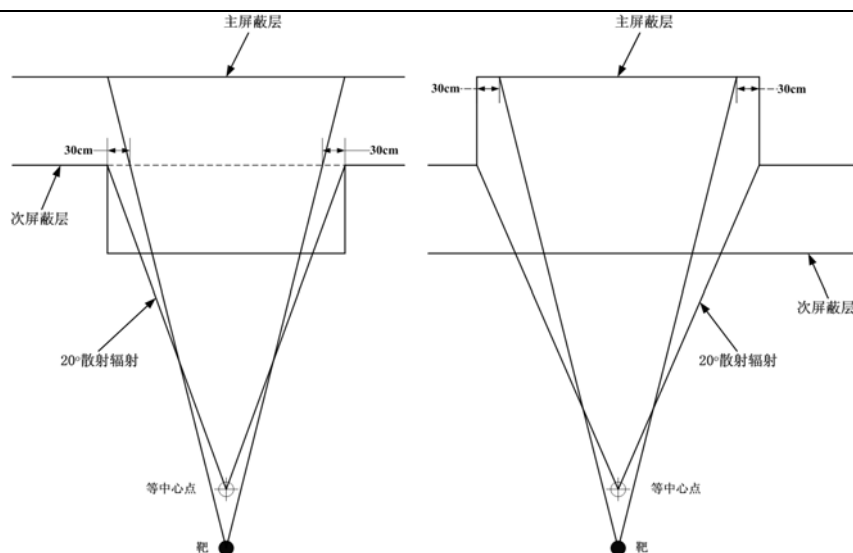


图 11-5 主束屏蔽宽度要求示意图

(3) 工作人员和公众受照剂量估算

① 控制室内受到贯穿屏蔽墙的 X 射线外照射

保守假设加速器控制室内操作由一组工作人员承担。加速器治疗室工作人员受照情况估算结果见表 11-7。可见，职业人员的年受照剂量最大为 $180 \mu\text{Sv}$ ，满足 2mSv/a 的剂量约束值。

表 11-7 加速器运行时机房外围工作人员受照剂量估算

位 置	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	出束时间 (h/a)	利用 因子	居留 因子	年受照剂量 (μSv)
控制室 M	0.19	833.3	1	1	158
控制室 B	0.16	833.3	1	1	133
防护门附近	0.42	833.3	1	1/16	22

2. 周围公众

R3 加速器机房北侧为通道和候诊区，有就诊公众和陪同人员停留。R3 机房西侧为模拟机房，有患者和陪同人员偶尔停留。R3 机房南侧为加速器 4 室控制室和设备机房，属于监督区，偶尔会有维修人员和其它非放射工作人员停留。R3 加速室机房顶部为无人停留区域，偶尔有维修人员和设备安装人员在上面停留。上述公众可能受到来自加速器 R3 运行所致辐射的照射。周围公众受照剂量估算结果见表 11-8。

表 11-8 周围公众外照射受照情况估算结果

位置描述 (点位见图 11-3 和 1-4)	附加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	出束时间 (h/a)	利用因子	居留 因子	年受照剂 量 (μSv)
北侧主束区 E (通道)	$1.17\text{E}+0$	833.3	25%	1/4	$6.09\text{E}+01$

北侧非主束F, N (通道)	2.05E-1	833.3	25%	1/4	1.07E+01
南侧主束区 西侧J1 (R4 控制室)	1.3E+0	833.3	25%	1/16	1.69E+01
南侧主束区 东侧J2 (R4 控制室)	8.2E-2	833.3	25%	1/16	1.07E+00
南侧非主束区I (设备间)	1.26E+0	833.3	1	1/16	6.56E+01
南侧非主束区K (控制室)	1.03E-3	833.3	1	1/16	5.36E-02
西侧A (模拟 CT)	1.20E+0	833.3	1	1/16	6.25E+01
顶板主束区 C	1.42E+0	833.3	25%	1/16	1.85E+01
顶板非主束区 D	4.2E-1	833.3	1	1/16	2.19E+01
北侧诊室	1.3E-1	833.3	25%	1	2.71E+01

由表 11-9 可见, 加速器所致机房周围停留公众的年最大受照剂量 65.6 μ Sv(设备间), 低于设定的 100 μ Sv/a 剂量约束值。北侧诊室内常停留医护人员年受照剂量约 27.1 μ Sv, 也满足剂量约束要求。

(4) 辐射照射所致有害气体的环境影响

加速器运行过程中, 射线与空气发生电离作用, 产生臭氧和氮氧化物等有害气体, 其中臭氧的危害较氮氧化物大, 且产额高。因此主要考虑臭氧的影响。

1. 臭氧

依据王时进等人发表的“辐射所致臭氧的估算与分析”(中华放射医学与防护杂志, 1994 年 4 月第 14 卷第 2 期)给出的公式, 估算加速器 X 射线所致臭氧的产额和浓度。

① 有用线束的 O₃ 产额

采用公式 (12) 计算有用射线束所致 O₃ 产额的公式:

$$P = 2.43 \dot{D}_0 (1 - \cos \theta) R G \quad (12)$$

式中: P 为 O₃ 的产额, mg/h; $\dot{D}_0$ 为有用线束在距 1m 处的输出量, Gy/min; R 为射线束等中心点到屏蔽物(墙)的距离, m; G 为空气吸收 100eV 辐射能量产生的 O₃ 分子数, 文献估算时取值为 10; θ 为有用束的半张角。

② 泄漏辐射的 O₃ 产额

将泄漏辐射看成为 4π 方向均匀分布的点源(包括有用束区限定的空间区), 并考虑治疗室墙壁的散射线使室内的 O₃ 产额增加 10%, O₃ 的产额 P (mg/h)为:

$$P = 3.32 \times 10^{-3} \dot{D}_0 G V^{1/3} \quad (13)$$

本评价选取加速器有关参数如下： $\dot{D}_0 = 24 \text{Gy/min}$ (最大值)； $R = 4 \text{m}$ (最大值)； $\theta = +14^\circ/-14^\circ$ ； $G = 10$ ；治疗室容积(不含迷道) $V \approx 256 \text{m}^3$ 。

根据公式(15)得出有用线束 $P = 69 \text{mg/h}$ 。根据公式(16)得出泄漏辐射的 $P = 5 \text{mg/h}$ 。二项合计， $P_{\text{总}} = 74 \text{mg/h}$ 。保守估计加速器年出束时间 950h，则臭氧的年产量约为 37g。

③ 臭氧浓度

治疗室内的产生臭氧一部分由通风系统排到室外，另一部分自然分解。空气中臭氧的平均浓度可用式(14)计算。

$$Q(t) = \frac{Q_o T}{V} (1 - e^{-t/T}) \quad (14)$$

式中： $Q(t)$ 为治疗室内 t 时刻臭氧的平均浓度， mg/m^3 ； Q_o 为臭氧的辐射化学产额， mg/h ； V 为治疗室的体积， m^3 ； T 为有效清除时间， h 。如果照射时间很长($t \gg T$)，则：

$$Q(t) = \frac{Q_o T}{V} \quad (15)$$

若以 t_v 表示换气一次所需时间 h ； t_d 表示臭氧的有效分解时间(取 0.83h)，则有效清除时间为：

$$T = \frac{t_v \cdot t_d}{t_v + t_d} \quad (16)$$

正常通风时治疗室的换气次数至少 4 次/h，即 $t_v = 0.25 \text{h/次}$ 。由式(19)计算得 T 为 0.19h 。当 $t \gg T$ 时，臭氧达饱和浓度，由式(15)得到在正常排风时治疗室内的臭氧浓度为 0.05mg/m^3 ，低于工作场所中 O_3 浓度限值《工作场所有害因素职业接触限值-化学有害因素》(GBZ2.1-2007)，浓度限值为 0.3mg/m^3 。

治疗室内产生的臭氧通过排风系统高空排放，经过大气的稀释和扩散作用其浓度进一步降低，远低于大气环境质量标准中 O_3 浓度限值【《环境空气质量标准》(GB 3095-2012)，1h 平均浓度为 0.2mg/m^3 】，对周围大气环境的影响十分轻微。

2. 氮氧化物

在多种氮氧化物(NO_x)中，以 NO_2 为主，其产额约为 O_3 的一半。工作场所中 NO_2 的浓度限值(GBZ2.1-2007，浓度限值为 5mg/m^3)超出 O_3 的 10 多倍，环境空气中其浓度限值(《环境空气质量标准》GB 3095-2012)，1h 平均浓度为 0.2mg/m^3 与 O_3 的浓度限值相同。因而， NO_x 的产生和排放对周围大气环境的影响很小。

3. 加速器机房排风系统设置要求

该项目直线加速器机房拟采用“上送下排”方式通风，送风管道与排风管道拟由迷道经防护门上方采用“Z”字形式进出机房。机房内顶部设置 300mm×300mm 的送风口，在加速器机房北侧设置尺寸为 400mm×200mm 的排风口，风管底部(排风口)离地 30cm。送风口和排风口对角设置，机房的排风管道与大楼排风管道相连后在放疗楼的楼顶排放。

11.2.2 加速器 8 室 6MV 医用电子直线加速器的环境影响

(一) 机房所在位置

加速器 8 室拟安装使用 1 台医科达 VersaHD 型医用电子直线加速器，该机房位于放射治疗大厅东南侧，其东侧为室外道路，南侧是本加速器控制室和配套设备间，西侧是大厅通道，北侧是临近加速器治疗室用房。楼下是土层，楼上是无人值守的屋顶。加速器机房周围环境布局见附图 3 和附图 4 所示。

(二) 机房屏蔽设计

加速器机房的主体结构采用密度不低于 2.35t/m^3 混凝土（普砣）和密度不小于 3.5t/m^3 重晶石（以下简称重砣）建造，其屏蔽设计方案见示意图 11-6 和 11-7，以及表 11-9 所示。

表 11-9 加速器 R8 机房屏蔽设计方案一览表

屏蔽位置	机房目前的屏蔽厚度	本次改造增加的屏蔽厚度
北侧中段，E	钢板，10cm+73cm	增加15cm钢板，宽度5.2米
北侧东西段，F, N	普砣，73cm	
南侧，J	普砣，140cm	无
东侧主束区，B	135cm重砣	55cm普砣 (宽度4.4m)
东侧非主束区，L, M	普砣，135cm	
西侧迷道外墙北段(内口处)，G	普砣75cm	铅砖，26cm
西侧迷道外墙北段 H	普砣75cm	无
西侧非主束区（南侧），H	普砣75cm+普砣135cm	无
西侧主束区，A	普砣75cm+135cm	迷道内墙增加5cm钢板 (宽度>250cm)
西侧迷路内墙（非主束区）	普砣135cm	无
顶板主束区，C	普砣，50cm	普砣，200cm (宽度600cm)
顶板非主束区，D	普砣，50cm	普砣，72cm
防护门	原防护门拆除	内侧3mm钢板+外侧采用3mm 钢板，内部采用18mm铅

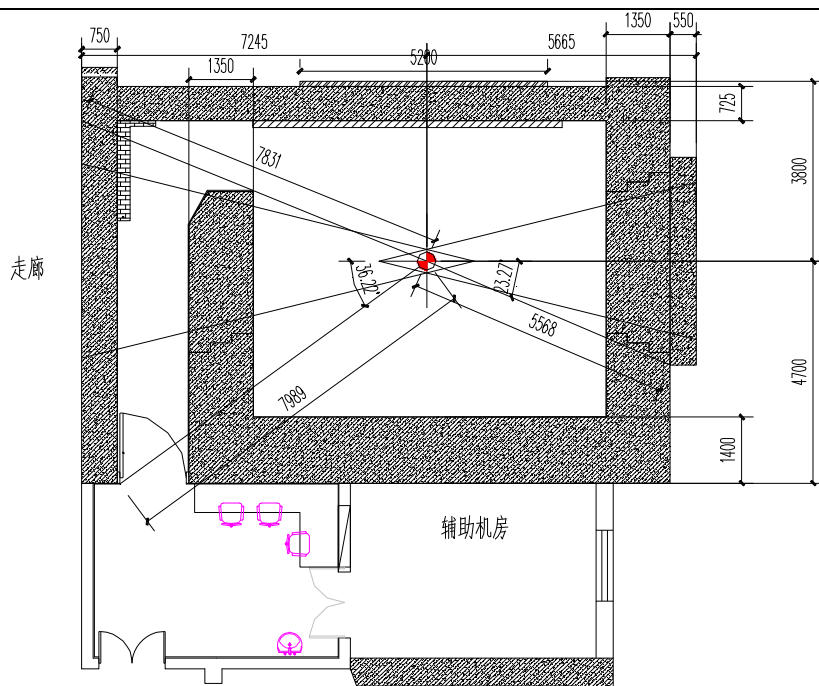


图 11-6 加速器 R8 机房平面布局示意图

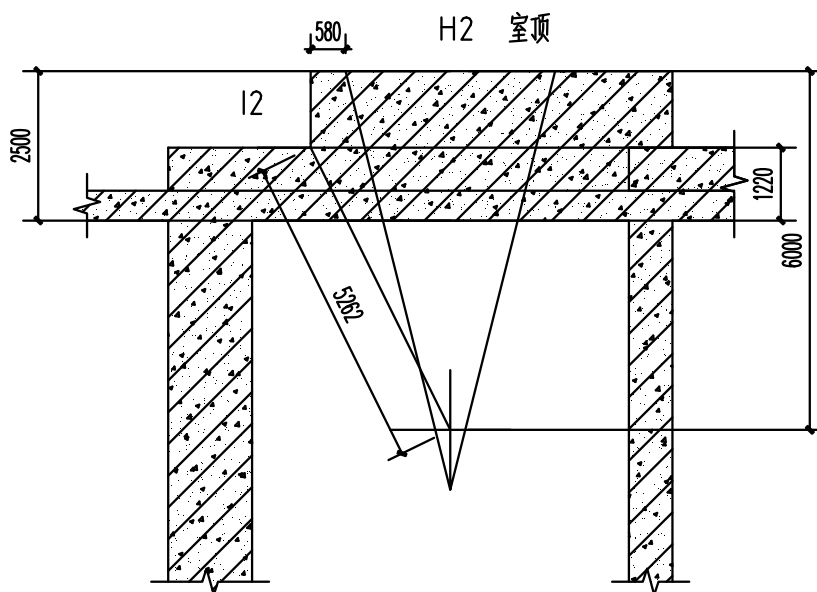


图 11-7 加速器 R8 机房剖面尺寸示意图

(三) 设备参数和使用规划

(1) 设备技术参数

加速器 8 室使用的电子直线加速器最大能量为 6MV 进行设计，拟使用的电子直线加速器技术指标如表 11-10 所示。

表 11-10 加速器 8 室拟使用的直线加速器技术指标一览表

生产厂家和型号	电子线能量 (MeV)	X 线能量和最大输出剂量率	SAD	照射野	机架旋转范围	机头漏射线率
医科达 VersaHD 型	6/9/12/15/18MeV	6MV: 600 cGy/min 1400cGy/min (FFF)	100cm	最大照射野 40cm×40cm; 等中心点高度 1.25m	360° , 顺时针和逆时针方向	≤0.1%

(2) 使用规划

1) 出束时间: 同样, 按照最大工作负荷 100 人次/天进行评价。2Gy/人次, 加速器日治疗出束时间 200min, 年工作 250d, 总出束时间约 833.3h。

2) 利用因子: 考虑调强治疗的使用, 将机头为 90°、270°和 180°(朝上) 出束时间的占比提高至 25%, 机头向下(0°)出束时间占比为 55%。据此保守估算周围公众受照剂量。

(四) 辐射环境影响评价

加速器 8 室使用的加速器最大能量为 6MV, 故无需考虑中子、放射性活化气体以及活化产物的环境影响。

(1) 加速器机房周围辐射水平的估算

加速器周围的辐射水平采用 NCRP 151 号报告“MV 水平 X 射线和 γ 射线治疗设备的屏蔽设计和评价”推荐的估算模式进行计算。具体做法: 依据屏蔽参数估算模式, 以等中心点的剂量率替代周工作负荷, 转化为辐射剂量率水平估算模式, 最终导出机房周围附加辐射水平。然后根据加速器出束时间、机头利用因子、人员居留因子, 估算出职业人员和公众的受照剂量。

1. X 射线

1) 主束贯穿辐射对机房周围环境的剂量率贡献

同前, 依照公式 (1) 求出透射系数, 依照公式 (2) 估算关注点位的剂量率。加速器等中心处 X 射线的治疗剂量率取 $1400\text{cGy}\cdot\text{min}^{-1}$ 。

2) 泄漏射线对机房周围环境的剂量率贡献

同前, 依照公式 (3) 和公示 (4) 计算泄漏射线对周围的附加剂量率。

3) 病人散射线对机房周围环境的剂量率贡献

同前，依照公式（5）和（6）计算病人散射线对周围环境的剂量率贡献。

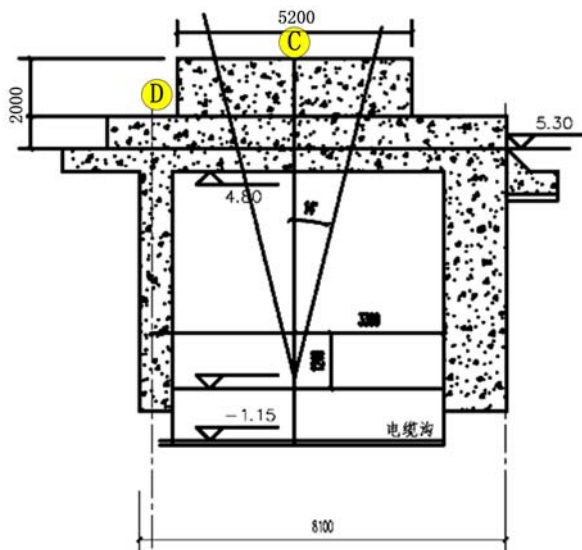


图 11-8 加速器 R8 机房顶部 X 射线辐射剂量估算示意图

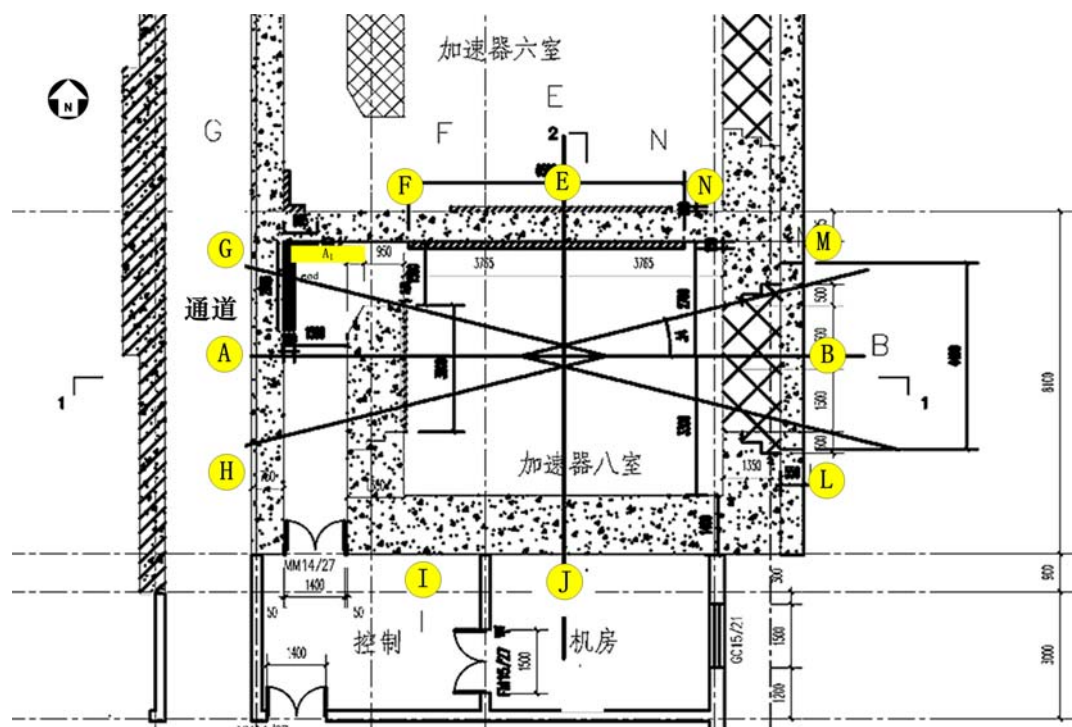


图 11-9 加速器 R8 机房周围 X 射线辐射剂量估算示意图

表 11-11 加速器机房 8 所致机房周围环境附加剂量率水平

位置描述 (点位见图 11-3 和 11-4)	距离 (m)	屏蔽材料和厚度	主要 射线束	衰减系数	附加 剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
北侧中段, E (加速器6室)	3.9	砼73cm+钢板 25cm	泄漏辐射	$4.7\text{E}-3 \times 3.2^{-3}$	$8.21\text{E}-01$
北侧东西段, F,N (加速器6室)	5.3	砼73cm+钢板 15cm	泄漏辐射 (50° 斜射)	$1.9\text{E}-4 \times 4.6^{-3}$	$2.71\text{E}-02$

南侧西段 (加速器控制室)	5.6	砼140cm	泄漏辐射 (30°斜射)	3.96E-06	1.06E-01
南侧, J (设备机房)	5.0	砼140cm	泄漏辐射	2.2E-5	7.47E-01
东侧主束区, B (楼外空地)	5.9	重砼135cm+ 普砼55cm	主束	2.3E-8	4.08E-01
东侧非主束区, L, M (楼外空地)	6.3	砼135cm+ 砼55cm	泄漏辐射 (15°斜射)	2.45E-7	5.13E-03
			患者散射 (30°斜射)	3.65E-09	8.54E-04
西侧迷道外墙北 段, G (人员通道)	8.0	砼75cm+铅 砖26cm	主束	7.05E-3* 2.7E-5	2.00E+00
西侧主束区, A (人员通道)	7.6	砼75cm+ 135cm砼 +5cm钢板	主束	5.7E-7* 3.1E-1	2.07E+00
西侧非主束区 (南侧), H (人员通道)	8.0	砼75cm+砼 135cm	泄漏辐射 (15°斜射)	4.74E-8	6.23E-04
			患者散射 (30°斜射)	4.72E-10	6.86E-05
顶板主束区, C	5.9	砼50cm+砼 200cm	主束	3.51E-08	6.18E-01
顶板非主束区, D	5.6	砼50cm+砼 72cm	泄漏 (15°斜射)	6.56E-05	1.76E+00
			患者散射 (30°斜射)	3.82E-06	1.13E+00
R8加速器控制室	5.4	砼140cm	泄漏 (20°斜射)	1.08E-05	3.13E-02

根据估算结果可知, 加速器以 6MV 能量和 1400cGy/min 剂量率开展放疗工作, 其机房四周墙外 30cm 处最大附加剂量率约为 2.07μSv/h (西侧通道内), 顶部最大附加剂量率为 1.76μSv/h, 满足本报告设定的剂量率控制水平 2.5μSv/h。

4) 迷道口辐射水平的估算

同前, 依照公示 (7) - (10) 估算迷道口的剂量率水平。

①主束经屏蔽墙 1 次散射所致的剂量率贡献

$$H_s(6MV) = \frac{(840 \times 10^6)(2.7 \times 10^{-3})(1.5)}{(7.3)^2(6.5)^2} = 1431.4 \mu\text{Sv/h}$$

② 机头泄漏射线经屏蔽墙 1 次散射对迷道口的剂量率贡献

如图 11-4 所示, 泄漏射线经屏蔽墙 1 次散射后可以到达迷道口。泄漏辐射经屏蔽墙 1 次散射对迷道口的剂量率贡献为:

$$H_{LS}(6MV) = \frac{(840 \times 10^6)(10^{-3})(1.75 \times 4.8)(6.4 \times 10^{-3})}{(6)^2(6.85)^2} = 26.7 \mu\text{Sv/h}$$

③ 主束经病人和屏蔽墙各 1 次散射对迷道口的剂量率贡献

如图 11-4 所示，主束经病人后再经墙壁 1 次散射后可以到达迷道口，其散射路径为 $O_1 \rightarrow O \rightarrow P \rightarrow Z$ 。主束经病人后再经墙壁 1 次散射对迷道口的剂量率为：

$$H_{ps}(6MV) = \frac{(840 \times 10^6)(1.39 \times 10^{-3}) \left(\frac{40 \times 40}{400} \right) (22 \times 10^{-3})(8.4)}{(1)^2 (6)^2 (6.85)^2} = 534 \mu\text{Sv/h}$$

④ 泄漏射线贯穿迷道内墙对迷道口的剂量率贡献

机头泄漏射线直接贯穿迷道内墙后可以直接到达迷道口。机头泄漏射线直接贯穿迷道内墙后对迷道口的剂量率为 $4.9 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ 。

⑤ 迷道防护门内 Z 点的剂量率水平

加速器以 6MV 和 1400cGy/min 运行时，迷道口的剂量率水平如表 11-12 所示。

表 11-12 迷道口剂量率水平 ($\mu\text{Sv/h}$)

编号	剂量来源	防护门内剂量率水平
1	主束经 1 次散射	1431.4
2	泄漏辐射 1 次散射	26.7
3	主束经病人和墙壁散射	534
4	泄漏辐射直接透射	4.9E-2
	合计	1992.1

⑥ 迷道防护门外 F 点的剂量率水平

泄漏散射和病人散射后的 X 射线较低，约为 0.5MeV。主束散射角为 80° - 90° ，一次散射能量保守按照 0.5MeV 计，在 Pb 中的 TVL 取 6mm。

内侧 3mm 钢板+外侧采用 3mm 钢板，内部采用 18mm 铅防护门(相当于 19mmPb)。经防护门屏蔽后，X- γ 射线附加剂量率为： $1992.1 \times 10^{-(19/6)} = 1.35 \mu\text{Sv/h}$

可见，机房防护门外的辐射附加剂量率最大值为 $1.35 \mu\text{Sv/h}$ ，机房防护门外的辐射附加剂量率很小，出于正常本底水平。

(2) 主束屏蔽墙宽度分析

同前，依据公式 (14) 分析主束宽度是否满足屏蔽要求。

以东侧主屏蔽墙为例估算主束屏蔽层的最小宽度。根据设计资料，等中心点到东侧重晶石墙体外侧的垂直最大距离为 5.1m，等中心到机房顶部的垂直距离为 3.5 m。等中心点到东侧重晶石主屏蔽层的最大距离为 6.1m。有用射线束张角为 28° ，据此计算主屏

蔽墙的半宽度要求不少于 2m。本项目东侧重晶石屏蔽墙半宽度为 2m，正好满足主束屏蔽需要。

顶部主束屏蔽层的最小宽度：根据设计资料，等中心点到顶部的垂直距离为 6.1m，等中心到机房北侧墙外的垂直距离为 5.56 m，即等中心点到最远的顶部主屏蔽墙距离为 8.25m。有用射线束张角为 28°，据此计算主屏蔽墙的半宽度要求不少于 2.3m。本项目加速器顶部混凝土主屏蔽层半宽度为 3m，满足顶部主束屏蔽的要求。

本项目加速器机房主屏蔽墙半宽度为 4.4m，正好满足屏蔽主束的要求。

(3) 工作人员和公众受照剂量估算

保守假设加速器控制室内操作由一组工作人员承担。加速器治疗室工作人员受照情况估算结果见表 11-13。可见，加速器操作人员的年受照剂量约为 159 μ Sv，满足 2mSv/a 的剂量约束要求。

表 11-13 加速器运行时机房外围工作人员受照剂量估算

位 置	剂量率 (μ Sv/h)	出束时间 (h/a)	居留 因子	使用因子	年受照剂量 (μ Sv)
控制室	1.06E-01	833.3	1	1	88.3
防护门附近	1.35	833.3	1/16	1	70.3
合计					159

在加速器机房门口处、西侧通道内、东侧墙外地面、以及加速器顶部维修和施工停留的公众可能受到来自加速器的辐射照射。R8 加速器北侧和南侧均为其它加速器机房，无公众停留。R8 机房周围公众外照射受照情况估算结果见表 11-14。

表 11-14 周围公众外照射受照情况估算结果

位置描述 (点位见图 11-3 和 1-4)	附加 剂量率 (μ Sv/h)	居留因 子	利用 因子	出束时间 (h)	年附加受照剂量 (μ Sv)
东侧主束区，B (楼外空地)	4.08E-01	1/16	25%	833.3	5.3E+00
东侧非主束区， L,M (楼外空地)	5.13E-03	1/16	25%	833.3	6.7E-02
西侧迷道外墙北 段(内口处)，G (人员通道)	2.00E+00	1/16	25%	833.3	2.6E+01
西侧主束区，A (人员通道)	2.07E+00	1/16	25%	833.3	2.7E+01
西侧非主束区 (南侧)，H (人员通道)	6.29E-04	1/16	25%	833.3	8.2E-03

顶板主束区, C	6.18E-01	1/16	25%	833.3	8.0E+00
顶板非主束区, D	1.76E+00	1/16	25%	833.3	2.3E+01

由表 11-9 可见, 加速器所致机房周围停留公众的年最大受照剂量 $27\mu\text{Sv}$, 低于设定的 $100\mu\text{Sv/a}$ 剂量约束值。加速器周围 50m 评价范围内其它公众的受照剂量低于 $16\mu\text{Sv}$, 一定满足剂量约束要求。

(4) 辐射照射所致有害气体的环境影响

同前, 计算得出, 正常排风时治疗室内的臭氧浓度为 0.05mg/m^3 , 低于工作场所中 O_3 浓度限值《工作场所有害因素职业接触限值-化学有害因素》(GBZ2.1-2007), 浓度限值为 0.3mg/m^3 。

治疗室内产生的臭氧通过排风系统高空排放, 经过大气的稀释和扩散作用其浓度进一步降低, 远低于大气环境质量标准中 O_3 浓度限值【《环境空气质量标准》(GB 3095-2012), 1h 平均浓度为 0.2mg/m^3 】, 对周围大气环境的影响十分轻微。

NO_x 的产生和排放对周围大气环境的影响很小。

3. 加速器机房排风系统设置要求

该项目直线加速器机房拟采用“上送下排”方式通风, 送风管道与排风管道拟由迷道经防护门上方采用“Z”字形式进出机房。机房内顶部设置 $300\text{mm}\times 300\text{mm}$ 的送风口, 在加速器机房北侧设置尺寸为 $400\text{mm}\times 200\text{mm}$ 的排风口, 风管底部(吸风口)离地 30cm。机房的排风管道与大楼排风管道相连后在放疗楼的楼顶排放。

11.2.3 核磁加速器

(一) 核磁加速器机房位置

核磁加速器计划安置在放射治疗大厅西南侧。东侧为大厅通道、西侧为室外道路、北侧为核磁加速器控制机房和设备间、南侧为大厅通道。核磁加速器机房位置及其周围环境关系情况见附图 5 所示。

(二) 辐射屏蔽设计

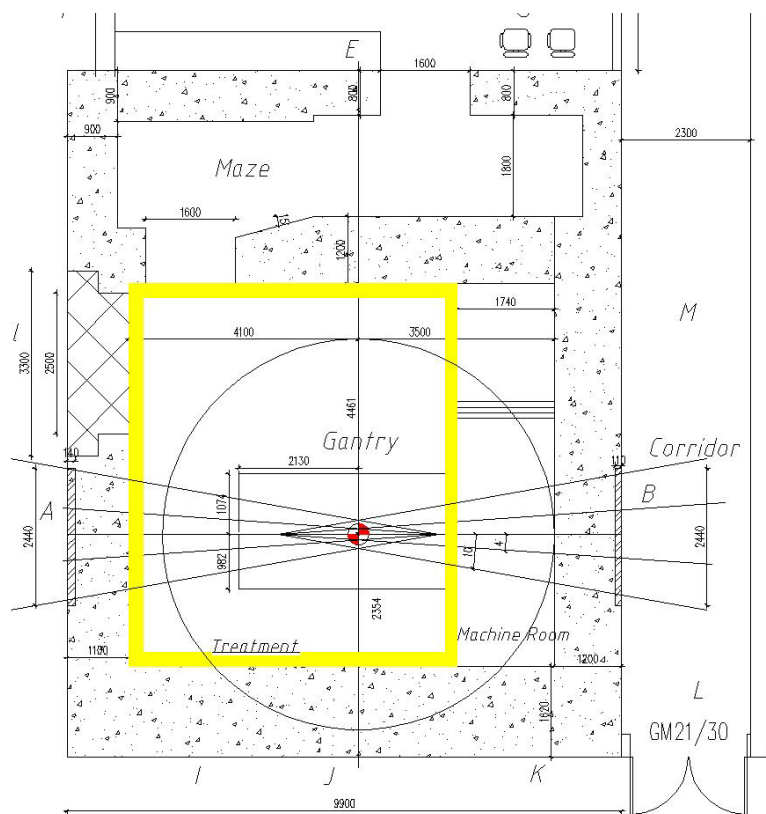
核磁加速器机房墙体、顶板均为密度 3.5t/m^3 的重晶石混凝土(重砼)结构, 地面为普通混凝土, 机房屏蔽设计如表 11-15 所示。室内高度 4.5m, 治疗室长 6.82m, 宽 7.6m, 有效容积约 234m^3 (不含迷道)。机房设计建设方案见图 11-6 和附图 6。

表 11-15 核磁加速器机房辐射屏蔽设计

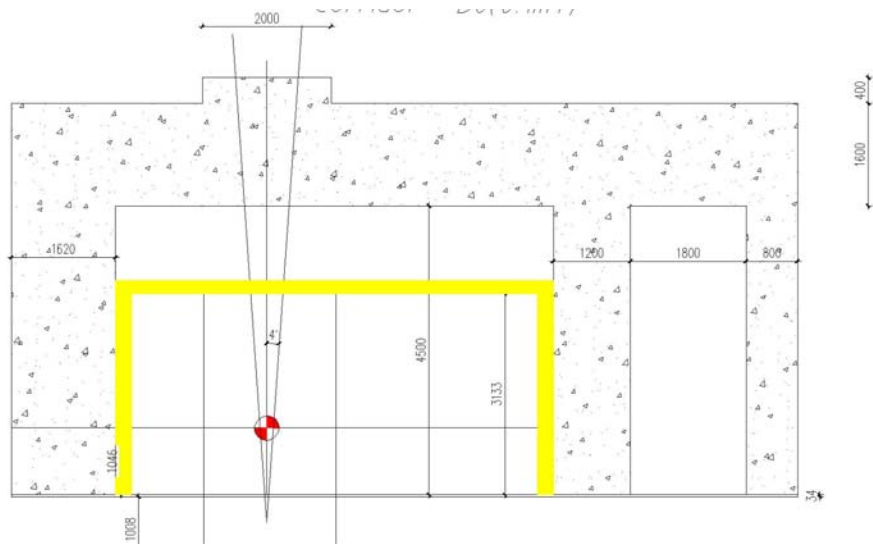
屏蔽位置	本次改造增加的屏蔽厚度
北侧迷道外墙西段, F	重砼, 90cm

北侧迷道外墙东段, E	重砵, 80cm
南侧, I, J, K	重砵162cm重砵
东侧北段非主束区, M	重砵120cm重砵
东侧南端非主束区, L	重砵120cm重砵
东侧主束区, B	重砵109cm重砵+11cm铅
西侧北段-1, G	重砵, 90cm
西侧北段-2	重砵110cm(设备安装后砌筑)
西侧南端, H	重砵, 110cm
西侧南端主束区, A	重砵, 96cm+铅砖14cm
迷路内墙	重砵, 120cm
顶板主束区, C	重砵, 200cm(宽度2m)
顶板非主束区, D	重砵, 160cm
防护门	采用复合门设计, 内侧3mm钢板+外侧采用3mm钢板, 内部采用18mm铅

注: 重晶石 密度 3.5kg/m^3



(平面图)



(剖面图)

图 11-10 核磁加速器平面和剖面布局图

(三) 设备参数和使用规划

(1) 设备技术参数

拟使用的核磁加速器技术指标如表 11-16 所示。

表 11-16 加速器 10 室拟使用的核磁加速器技术指标一览表

生产厂家和型号	X 线能量和最大输出剂量率	SAD	照射野	机架旋转范围	机头漏射线率
医科达 Unity 型	7MV: 500 cGy/min	143.5cm	最大照射野 57.4cm× 22cm 等中心点高度 1.05m	360°， 顺时针 和逆时针方向	原射线 穿射率： 0.5%；机 头漏射 线率： 0.15%

(2) 使用规划

1) 出束时间：预计加速器一天最多治疗约 80 人次，其中 90%患者为 IMRT 治疗，10%患者为常规治疗。平均每位患者剂量 3Gy。常规照射每人出束时间约 1.5min，调强治疗每人出束时间约 3min，加速器日治疗出束时间约 3.8h，年工作 250d，总出束时间约 950h。

2) 利用因子：对于常规治疗，机头 90°、270°和 180°(朝上)出束时间各占年工作量 10%；机头向下(0°)出束时间占年工作量 70%。考虑调强治疗的使用，将机头为 90°、270°和 180°（朝上）出束时间的占比提高至 25%，以此保守估算南侧和顶部公众受照剂量。

（四） 电离辐射环境影响

核磁加速器运行时主束泄漏束、泄漏辐射和散射线对机房周围环境可能产生与影响。

距靶 1.435m 处的辐射输出剂量率为 500cGy/min (即 300Gy/h)，主束能量 7MV，等中心点最大照射野：571.4mm×220mm，主束穿透率：圆柱形机架表面低于 0.5%（系统有阻挡器），二次泄漏辐射：圆柱形机架前后表面低于 0.1%。

厂家给出的主束泄漏辐射和二次泄漏辐射水平分布图，见图 11-11 和图 11-12 所示。可见，1) 主束区域距离靶点 d 米处的剂量率水平为： $0.5\% \cdot 300 \cdot (3.565/d)^2$ 。2) 设备北侧（迷道一侧）距离靶点 d 米处的泄漏辐射水平为： $0.2\% \cdot 300 \cdot (1.074/d)^2$ ；设备南侧距离靶点 d 米处的泄漏辐射水平为： $0.2\% \cdot 300 \cdot (0.982/d)^2$ 。3) 设备顶部主束区域距离靶点 d 米处的泄漏辐射水平为： $0.5\% \cdot 300 \cdot (3.565/d)^2$ 。4) 设备东西侧、顶部非主束区域距离靶点 d 米处的泄漏辐射水平为： $0.2\% \cdot 300 \cdot (3.565/d)^2$ 。

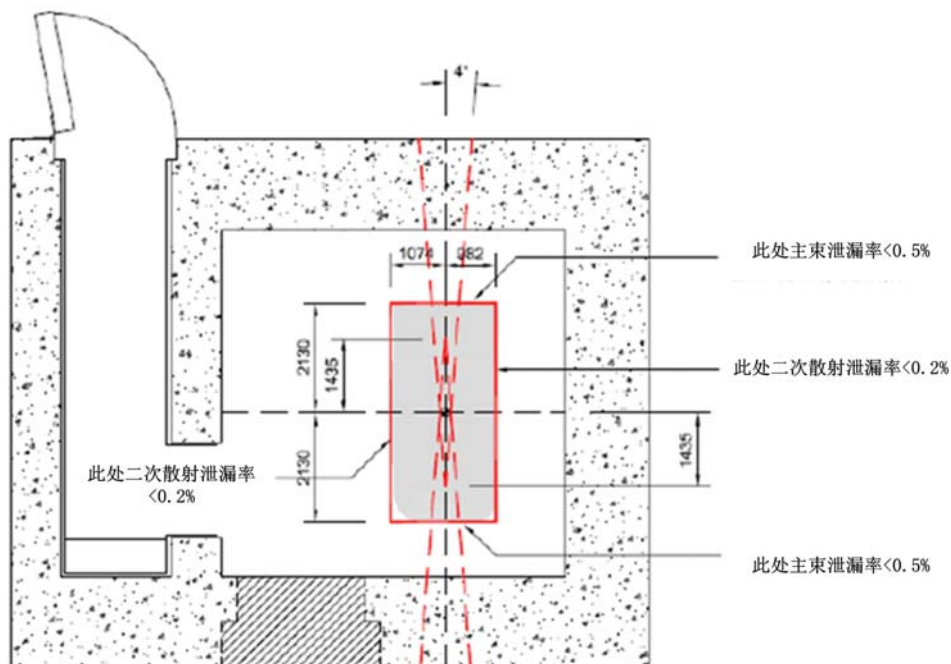


图 11-11 核磁加速器泄漏辐射水平平面分布示意图

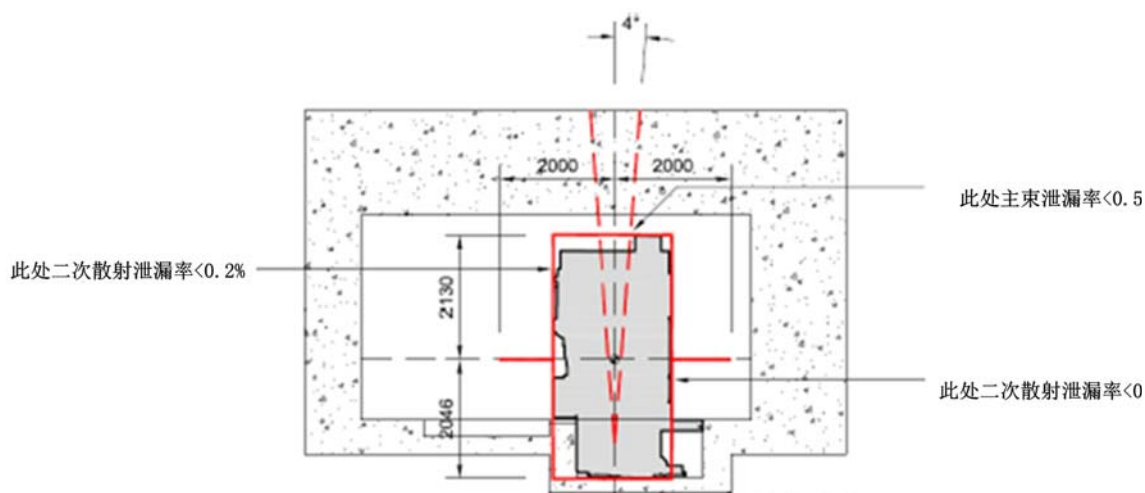


图 11-12 核磁加速器泄漏辐射水平剖面分布示意图

同样按照 NCRP151 报告推荐的估算方法, 估算 7MV 核磁加速器治疗束贯穿机房屏蔽层后, 对机房外环境辐射剂量率的贡献情况。在出入口防护门处剂量率的估算中, 主要考虑泄漏辐射一次散射、泄漏辐射穿过迷道内墙的贡献。

表 11-17 7MV X 射线的什值层数据

机房	有用束		泄漏辐射		患者散射辐射 TVL (cm)
	TVL_1 (cm)	TVL (cm)	TVL_1 (cm)	TVL (cm)	
核磁加速器室 (7MV)	38	35	34	31	31 (20° , FFF)

注: 核磁加速器室最高 X 射线为 7MV FFF, 什值层根据 6MV-25MV 现有数据拟合。

(1) 治疗室入口的辐射水平

a. 泄漏辐射一次散射的贡献

泄漏辐射经过迷道一次散射可以到达外道口, 路径为 $O \rightarrow P \rightarrow N$, 见图 11-9 所示。散射面积约 4.5m^2 , 泄漏辐射率按 0.1% 计, 散射系数 $\alpha = 7.1 \times 10^{-3}$, 求得泄漏辐射一次散射到防护门入口的剂量率为 $104.6 \mu\text{Sv/h}$

NCRP No.151 号报告给出, 散射辐射到达防护门处时能量较低, 在迷道外口处的能量约为 0.25MeV, 在 Pb 中的 TVL 为 5.1mm。防护门含 18mmPb, 故防护门外的辐射剂量率为 $0.031 \mu\text{Sv/h}$ 。

b. 泄漏辐射穿过迷路内墙的辐射剂量贡献

该部分剂量贡献见表 11-12, 为 $0.02 \mu\text{Sv/h}$, 泄漏辐射在铅中 TVL 为 5.1cm, 经 18mm 防护门屏蔽后, 对防护门外的附加剂量贡献为 $5.3\text{E-}6\mu\text{Sv/h}$ 。

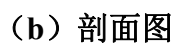
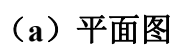


图 11-13 核磁加速器周围估算点位示意图

d. 治疗室防护门外的辐射外照射剂量

核磁加速器治疗室入口防护门外的辐射剂量水平主要来自迷道口散射辐射($0.031\mu\text{Sv/h}$)或泄漏辐射($5.3\text{E-}6\mu\text{Sv/h}$)的剂量, 预计附加剂量率为 $0.03\mu\text{Sv/h}$, 满足放疗机房周围剂量率控制水平 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要求。

(2) 治疗室周围和上部的辐射水平

治疗室东墙、西墙和屋顶均按照治疗束照射进行屏蔽设计。主要计算参数及剂量估算结果见表 11-18。

表 11-18 核磁加速器运行对机房周围辐射剂量贡献估算

点位	位置描述 (见图 11-8)	辐射来源	与等中心距离 (m)	屏蔽材料和厚度(cm)	屏蔽衰减系数	附加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
A	西墙外 30cm (治疗束照射区域)	治疗束	5.5	重砼 96cm+ 铅砖 14cm	$1.7\text{E-}4^*$ $3.2\text{E-}3$	$2.1\text{E-}1$
B	东墙外 30cm (治疗束照射区域)	治疗束	5.0	109cm 重砼 +11cm 铅	$5.3\text{E-}5^*$ $1.1\text{E-}2$	$2.6\text{E-}1$
C	屋顶上方 30cm 处 (治疗束照射区域)	治疗束	5.6	重砼 200cm	$2.4\text{E-}8$	$5.5\text{E-}3$
D	屋顶上方 30cm 处 (非治疗束照射区域)	泄漏辐射	5.4	重砼 160cm	$2.1\text{E-}8$	$5.43\text{E-}03$
E	北墙外中间 30cm 处 (控制室内)	泄漏辐射	8.5	重砼 80cm+ 重砼 120cm	$2.5\text{E-}10$	$2.28\text{E-}06$
F	北墙外西侧 30cm 处 (控制室内)	泄漏辐射	9.5	重砼 90cm (25° 斜射)	$5.5\text{E-}6$	$4.14\text{E-}02$
G	西墙北侧外 30cm 处	泄漏辐射	7.7	重砼 110cm (45° 斜射)	$2.7\text{E-}11$	$3.14\text{E-}07$
H	西墙南侧墙外 30cm 处	泄漏辐射	5.5	重砼 110cm (15° 斜射)	$3.03\text{E-}6$	$7.6\text{E-}01$
		病人散射	5.5	重砼 110cm (20° 斜射)	$1.55\text{E-}06$	$1.1\text{E+}00^*$
I	南墙西侧墙外 30cm 处	泄漏辐射	5.4	重砼 162cm (35° 斜射)	$2.5\text{E-}12$	$5.85\text{E-}08$
J	南墙中间墙外 30cm 处	泄漏辐射	4.3	重砼 162cm	$1.6\text{E-}8$	$5.14\text{E-}04$
K	南墙西侧墙外 30cm 处	泄漏辐射	5.4	重砼 162cm (35° 斜射)	$2.5\text{E-}12$	$5.85\text{E-}08$
L	东墙南侧外 30cm 处	泄漏辐射	5.3	重砼 120cm (15° 斜射)	$6.6\text{E-}7$	$1.71\text{E-}01$
M	东墙北侧外 30cm 处	泄漏辐射	7.8	重砼 120cm (45° 斜射)	$2.9\text{E-}12$	$3.28\text{E-}08$
N	防护门外 30cm	泄漏辐射	8.7	重砼 120cm	$1.7\text{E-}6$	$1.57\text{E-}02$

注: 核磁加速器照射面积较小, 取患者受照面积 400cm^2 计算。

上述估算结果表明, 核磁加速器运行时机房周围的附加剂量率最高为 $1.86\mu\text{Sv/h}$,

满足《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第一部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）推荐的剂量率控制水平 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 要求，机房屏蔽设计满足防护要求。

（3）工作人员受照剂量估计

假设全年总出束时间约 950h，其中 70%的使用时间为治疗束朝向下方；治疗束朝向上方占 10%，朝向南侧和北侧方向各占 10%。核磁加速器运行所致工作人员的最大照射剂量约 $40.2 \mu\text{Sv/a}$ ，低于设定的 2mSv/a 的剂量约束值。详见表 11-19。

表 11-19 核磁加速器运行所致工作人员外照射剂量估算

位 置	附加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	使用因子	居留因子	年有效剂量 (μSv)
迷道出入口处	$1.57\text{E-}02$	1	1/16	0.9
控制室	$4.14\text{E-}02$	1	1	39.3
			合计	40.2

（4）公众受照剂量最大值估计

在核磁加速器机房防护门外、东侧、西侧和南侧墙外可能有公众停留。同样假设年总出束时间为 950h，不同地点公众可能的受照剂量列入表 11-20。

表 11-20 核磁加速器运行所致公众外照射剂量的最大值估计

位置	具体位置	附加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	使用因子	居留因子	年有效剂量 (μSv)
A	西墙外 30cm (治疗束照射区域)	$2.1\text{E-}1$	25%	1/4	$1.25\text{E+}01$
B	东墙外 30cm (治疗束照射区域)	$2.6\text{E-}1$	25%	1/4	$1.54\text{E+}01$
G	西墙北侧外 30cm 处	$3.14\text{E-}07$	25%	1/16	$4.66\text{E-}06$
H	西墙南侧墙外 30cm 处	$1.86\text{E+}00$	25%	1/16	$2.76\text{E+}01$
I	南墙西侧墙外 30cm 处	$5.85\text{E-}08$	1	1/4	$1.39\text{E-}05$
J	南墙中间墙外 30cm 处	$5.14\text{E-}04$	1	1/4	$1.22\text{E-}01$
K	南墙西侧墙外 30cm 处	$5.85\text{E-}08$	1	1/4	$1.39\text{E-}05$
L	东墙南侧外 30cm 处	$1.71\text{E-}01$	25%	1/4	$1.02\text{E+}01$
M	东墙北侧外 30cm 处	$3.28\text{E-}08$	25%	1/4	$1.95\text{E-}06$
N	防护门外 30cm	$1.57\text{E-}02$	1	1/16	$9.32\text{E-}01$

由表 11-14 可以看出：核磁加速器运行所致公众的辐射照射剂量最大值 $27.6\mu\text{Sv/a}$ ，低于设定的 $100\mu\text{Sv/a}$ 剂量约束值。核磁加速器机房周围 50m 范围内其它公众距离较远，年受照剂量一定低于 $15.9\mu\text{Sv/a}$ ，满足剂量约束要求。

（四）辐解有害气体产生及排放情况

（1）臭氧

依照加速器一节所列公式，计算得出臭氧产额为 13mg/h。保守假设年出束时间为 950h，核磁加速器运行时臭氧的年产量约 12.3g。预计核磁加速器运行时治疗室内的臭氧浓度为 0.01mg/m³，远低于工作场所中 O₃ 浓度限值（0.3mg/m³）。治疗室内臭氧通过排风系统引致所在建筑的顶部排放，经过大气的稀释和扩散作用其浓度进一步降低，对周围大气环境的影响十分轻微。

（2）氮氧化物

在多种氮氧化物（NO_x）中，以 NO₂ 为主，其产额约为 O₃ 的一半，工作场所中的限值大于 O₃ 的十倍，大气环境质量标准中的限值与 O₃ 相近。因而 NO_x 产生和排放对周围大气环境的影响很小。

11.2.6 后装治疗机

（一）后装治疗机机房所在位置

后装机房位于西北角，机房东侧为候诊大厅，南侧为控制室和妇科手术室，西侧为仪器室，北侧为楼梯，顶上无人值守平台，地下为土层。后装机房周围环境见图 11-12 或附图 6 所示。

（二）机房屏蔽设计

机房设置了“L”字型迷路，四周墙体为重晶石（密度 3.5g/cm³）和现有砖墙（密度 1.6g/cm³），顶部为重晶石混凝土。防护门采用含铅板铁质防护门。后装治疗机房平面和剖面图如图 11-10 和 11-11 所示。

（1）后装治疗机规格

① 后装治疗机治疗室的尺寸为 4.3m×3.1m（面积 13.3m²），迷道部分 3.3m×2.3m（面积为 7.6m²）。机房室内高度 3.46m。

② 后装治疗机迷道宽度：为了便于手术床转弯，迷道外口宽度 2.34m，迷道内口宽度 800mm。

（2）屏蔽材料和厚度

表 11-21 后装治疗机屏蔽材料和厚度

机房名称	屏蔽	设计厚度（mm）
后装治疗室 (4.3m×3.1m×3.46m)	西侧迷道外墙	320 重晶石+370mm 砖墙
	西侧迷道内墙	300 重晶石
	北侧墙体	500 混凝土+370mm 砖墙
	东侧墙体	480 混凝土+740mm 砖墙
	南侧墙体	430mm 重晶石+370mm 砖墙
	地面	土层

	顶板	600mm 重砵
	防护门	5mmPb

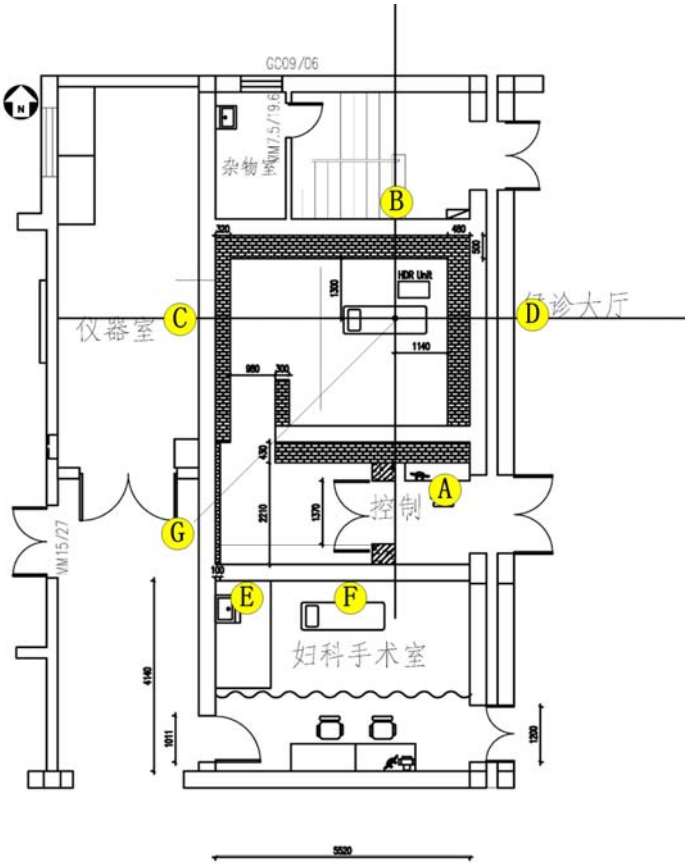


图 11-14 后装机机房平面布局示意图

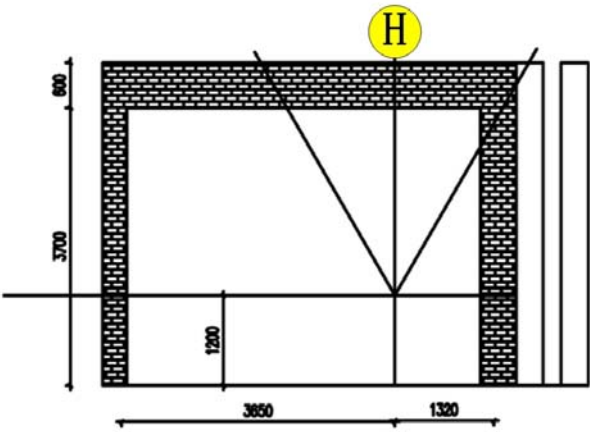


图 11-15 后装机机房剖面布局示意图

（三）设备参数和使用规划

（1）设备技术参数

后装机设备技术参数见表 11-22。

表 11-22 后装机设备的技术参数

生产厂家和型号	放射源种类和活度	半衰期和射线能量	储源器泄漏辐射水平
待定	Ir-192, 3.7E+11Bq (10Ci)	半衰期 74d; γ 射线能量 0.317MeV (83%), 0.468MeV (48%), 0.604MeV (8%), 平均能量 0.35 MeV。 γ 剂量率转化系数: $0.111 \mu\text{Sv/h} \cdot \text{MBq} \cdot \text{m}^{-2}$ 。	储源器最大装载活度时, 距 储源器表面 5cm 吸收剂量率 不得大于 $50 \mu\text{Sv/h}$, 距离储 源器 100cm 处的球面上, 任 何一点的泄漏辐射不得大于 $5 \mu\text{Sv/h}$

(2) 使用规划

治疗人数平均每周 30-50 人, 全年为 2500 人, 装源活度 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ 时每人治疗照射 6min, 随着活度衰减治疗时间延长。本评价设定的总出束治疗时间为折算为新装源的治疗时间, 即周治疗照射时间约为 5h, 年累积治疗照射时间约 250h。

(四) 辐射环境影响评价

(1) 后装机机房周围辐射水平的估算

从偏安全角度出发, 将放射源视为点状裸源进行防护计算。裸源为 4π 方向出束, 根据屏蔽墙的厚度和距离关注点的距离计算机房周围的辐射水平。

后装机房参考估算点位如图 11-12 和图 11-13 所示。图 11-11 中病床区域为辐射源可能的使用区域 (距离墙壁最近 0.92m 远)。

该设备距源 1m 处的最大剂量率约 41mSv/h 。根据公式(20) 计算机房周围的泄漏辐射剂量率水平, 估算结果见表 11-23。

$$H_0 = \frac{A \cdot K_\gamma}{R^2} \cdot 10^{\frac{d}{\text{TVL}}} \quad (20)$$

式中: H_0 为估算点的剂量当量率, $\mu\text{Sv/h}$; K_γ 空气比释动能常数, 对 Ir-192 为 $0.111 \mu\text{Sv/h} \cdot \text{MBq}$; A 为放射源活度, MBq; R 为估算点到放射源的距离, m; d 为混凝土或铅等屏蔽材料的厚度, mm; TVL 为 γ 射线在混凝土或铅中的十分之一值层厚度, Ir-192 治疗束在混凝土中为 152mm, 在铅中 16mm。

表 11-23 后装机机房周围附加剂量率水平

点位编号	位置描述	可能最近距离(m)	屏蔽材料及厚度	衰减系数	剂量率贡献 ($\mu\text{Sv/h}$)
A	后装机南侧控制室操作位	3.0	430mm 重砣+370mm 砖墙	$1.35\text{E}-6$	$6.15\text{E}-03$
B	机房北侧墙外 30cm 处	2.0	500mm 重砣+370mm 砖墙	$1.80\text{E}-7$	$1.85\text{E}-03$

C	机房西侧墙外 30cm 处	3.2	320mm 重砵+370mm 砖墙	1.62E-5	6.49E-02
D	后装机东侧墙外 30cm 处	2.5	480 混凝土+740mm 砖墙	9.55E-9	6.26E-05
E	机房南侧墙外 30cm 处 (妇科手术室内)	5.9	430mm 重砵+370mm 砖墙 +370mm 砖墙	2.98E-8	3.51E-05
		2.5, 7.0	370mm 砖墙	1.1E-2	3.1E-01
F	机房南侧墙机房外 30cm 处 (妇科手术室内)	5.3	430mm 重砵+370mm 砖墙 +370mm 砖墙	2.98E-8	4.35E-05
G	机房西侧墙外	5.7	100mm 重砵+370mm 砖墙 +370mm 砖墙 (450 斜射)	1.53E-6	1.93E-3
H	后装机屋顶上方 30cm	3.4	600mm 重砵	1.32E-6	4.68E-03

注：散射面积为 6.3m²，散射系数，保守取 3.39E-2。

由表 11-17 所示，后装机机房墙外和屋顶 30cm 处的剂量率水平最高为 0.63 μSv/h，低于本评价设定的 2.5 μSv/h 剂量率控制水平。上述评价是依据裸源进行的，未考虑人体组织对射线的吸收，实际运行时，机房周围的剂量率水平可能比估算结果低 1 倍左右。

(2) 防护门外辐射水平估算

防护门外剂量率水平除了泄漏辐射贡献外，还受到治疗束经迷道的散射贡献。治疗束经过迷道散射对防护门所致的附加剂量率依据公式(23)进行估算。

$$H_s = \frac{A \cdot K_\gamma \cdot S_1 \cdot \alpha_1}{R_1^2 \cdot R_2^2} \quad (23)$$

式中：A 为放射源活度，本项目为 3.7E+5MBq；K_r 为 1m 处放射源的空气比释动能常数，对 Ir-192 为 0.111 μSv/h.MBq；S₁ 为 γ 射线在迷道内口墙的散射面积，为辐射源和机房入口共同可视见的墙区面积，m²；α₁ 为治疗束一次散射的散射系数；R₁ 为放射源到散射面中心点的距离；R₂ 为迷道内口散射体中心点到防护门处的距离。

本项目散射面积 A₁ 为 6.3m²，α₁ 为 3.39E-2 (45°入射，0°散射)，A₂ 为 R₁ 为 2.5m，R₂ 为 20.3m，α₂ 为 7.54E-3 (0°入射，75°散射)，散射距离分别为 2.5m，7.0m 和 2.6m，计算得出迷道防护门内的散射剂量率贡献为 0.65 μSv/h。Ir-192 治疗束的散射辐射能量约为 0.2MeV，其在铅中的 TVL 为 5mm，经 5mm 铅门屏蔽后，防护门外辐射剂量率降低至 0.065 μSv/h。可见，防护门外的剂量率也低于 2.5 μSv/h 的剂量率控制水平。

(3) 工作人员和公众受照剂量估算

1. 工作人员

假设工作人员每次治疗前、后在床旁（距离储源罐 100cm）各操作 1min，则全年治疗 2500 人次，在后装机储源罐（>100cm 处）附近的停留时间约 83.3h。

《后装 γ 源近距离治疗放射防护要求》(GBZ121-2017)要求,工作贮源器内装载最大容许活度的放射源时,距离贮源器表面 5cm 处的任何位置,因泄漏辐射所致周围剂量率当量率不大于 50 μ Sv/h,距离贮源器表面 100cm 处的球面上,任何一点因泄漏辐射所致周围剂量率当量率不大于 5 μ Sv/h。本评价保守依照该数值剂量估算,工作人员年最大受照剂量为: 5 μ Sv/h*83.3h + 0.028 μ Sv/h*250h=0.42mSv, 低于本报告提出的剂量约束值 2mSv/a。

2. 周围公众

治疗室周围停留的公众主要西侧仪器室、南侧妇科手术室,以及后装机周围通道停留的公众。

表 11-24 后装机机房周围公众受照剂量估计

点位编号	位置描述	附加剂量率 (μ Sv/h)	后装机出束时间 (h)	居留因子	年受照剂量 (μ Sv)
B	机房北侧墙外 (楼梯处)	1.85E-03	250	1/16	2.89E-02
C	机房西侧墙外 (仪器室)	6.49E-02	250	1	1.62E+01
D	后装机东侧墙外 (通道)	6.26E-05	250	1/4	3.91E-03
E	机房南侧墙外 (妇科手术室内)	3.1E-01	250	1/4	1.94E+01
F	机房南侧墙机房外 (妇科手术室内)	4.35E-05	250	1	1.09E-02
G	机房西侧墙外 (通道)	1.93E-3	250	1/4	1.21E-01
H	后装机屋顶上方 (无人区)	4.68E-03	250	1/16	7.31E-02

可见,公众最大受照剂量为 19.4 μ Sv 低于本报告设定的剂量约束值 0.1mSv/a。后装机机房周围 50m 范围内其它公众的受照剂量也一定低于 19.4 μ Sv/a,满足剂量约束要求。

(4) 倒装源辐射环境影响

倒装放射源工作由设备厂家的维修工程师完成,医院的医护人员仅做一些辅助工作,不直接从事倒装放射源工作,故该环节的环境影响不做具体评价。

11.3 事故影响分析

11.3.1 加速器事故影响分析

(1) 人员误入加速器室并发生误照事故

加速器可能发生的最严重的放射性事故是门机联锁失效，人员误入加速器室而受到意外照射。事故情景假设：加速器在给患者进行放疗中，人员误入机房后到达迷道内口处，发现有病人正在治疗，急速返回。保守假设在迷道内口处停留时间 10s，据此估算误入人员的最大受照剂量。

根据表 11-7 数值，可推算出迷道内口处的剂量率，见表 11-25 所示。

表 11-25 加速器运行时迷道内口处剂量率水平 (mSv/h)

编号	剂量来源	迷道内口处	备注
1	主束经墙壁 1 次散射	6	距离、散射折算
2	泄漏辐射	49.5	距离、散射折算
3	主束经病人 1 次散射	259.8	距离、散射折算
合计		348.1	

保守假设在迷道内口停留 10s，最大受照剂量约为 0.97mSv，对误入人员健康不会造成影响。

该装置设有门机安全联锁系统，以及在治疗室和迷道内设置有闭路监视系统，可有效防止该事故发生。此外，加速器放疗工作人员须佩戴个人剂量报警仪进入治疗室。一旦出现误入情况，报警仪会提醒工作人员，立即撤出。

(2) 其它异常运行事件和防范措施

1) 出束不能停止时：按下专用键盘“停束”键，如果加速器继续出束，则将专用键盘“出束钥匙开关”扳至“禁止”位。如继续出束，则按下控制台“急停”开关。在维修人员确保机器能够正常运行之前，操作人员不得试图再次开机。

2) 停电故障：工作人员采用手动方式打开防护门，迅速将病人从治疗床上移出，UPS系统给电脑自动供电，记录正在治疗病人已经接受的累积治疗剂量。

3) 事故性出束：工作人员在治疗室内为患者摆位或开展其它准备工作，控制台处操作人员误开机出束。医护人员进入加速器室，要保持防护门开启，由于有门机联锁系统，加速器无法启动。为防止陪护人员或其他人员误留在加速器机房内受到误照射，要求加速器在每次出束前，工作人员必须进机房进行检查，确认无误后，方可出束。

4) 维修期间的事故：加速器维修工程师在检修期间误开机出束。在维修加速器时，按下急停开关，或保持防护门开启，这种情况下，加速器无法启动。此外，维修人员携带有个人剂量报警仪，一旦有紧急情况，马上按下墙上的急停按钮，并迅速撤离现场。

5) 工作人员误入：加速器放疗工作人员须佩戴个人剂量报警仪进入治疗室。一旦

出现误入情况，报警仪会提醒工作人员，立即撤出。

11.3.2 后装机事故影响分析

后装治疗机机房和控制室具有良好的屏蔽设计、监控和安全联锁系统，以保证正常的运行安全，但仍不能排除可能发生的紧急情况，制定的《放射性事故应急预案》将包括放射源卡源、停电应急、人员误入应急以及人员受到超剂量照射应急等内容。

（1）卡源事故

后装机最严重的事故是卡源事故。

发生卡源时，首先使用后装机提供的紧急回源程序或按钮进行紧急回源处理。后装治疗机的源开关控制系统均配有手动机械复位应急装置。当控制系统出现故障导致自动关源系统失效时，通过手动机械复位机构将使放射源回到储源状态。

如果源卡的过死，紧急回源装置无法回源时，只能采取人工回源处理。此外，如果后装机放射源脱落掉地上，也需人工处置。处理该类事故，需严格按照事故应急处理措施进行操作，工作人员在进入机房前，应穿上铅衣、铅帽、铅围脖，戴上铅眼镜，并佩带个人剂量计及携带辐射巡测仪，进入机房后，应在尽可能短的时间内，将放射源旋回后装机的贮源系统内或者转移至铅罐内。

人员穿戴防护用品进入机房，在 30cm 距离处理事故，预计外照射剂量率可以降低一个量级，故完成手动复位或者捡拾放射源应急操作的受照剂量约为 $4.1\text{mSv/h} \times (100\text{cm}/30\text{cm})^2 \times 0.5\text{min} \div 60 = 0.38\text{mSv}$ 。可见，当后装治疗机发生卡源或者脱落事故时，人工操作时受照剂量较小，对操作人员健康影响很小，是安全的。

（2）放射源失控

后装治疗机使用 1 枚 ^{192}Ir 源，属于 III 类放射源，源失控对环境安全的潜在危险较大。医院制定有设备安全使用管理制度和操作规程，来全面加强机房安全保卫措施，严防放射源失控。设备定期更换放射源的工作由设备供货商承担，废源由供方在倒装新源时顺便回收。

根据原国家环保总局《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》（环发〔2006〕145 号），发生放射源丢失、被盗时，医院将立即向上级主管部门报告，启动事故应急预案。发生该类事故后，将在 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。

（3）人员误照

发生人员误照后，有关科室应当立即向医院主管部门报告。由医院领导统一指挥，启动应急预案程序，迅速安排受照人员接受医学检查，或者在指定的医疗机构救治，并以书面形式上报环保主管部门。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

为了保证放射性同位素和射线装置的安全使用和有效管理，医院设立了辐射安全防护管理委员会，主任委员由院长助理担任，全面负责医院的放射防护监督和管理工作的，副主任委员由院长助理担任，负责辐射防护领导工作。该机构内部职责明确，且设有专职管理人员，其小组成员情况见表1-5。

12.2 辐射安全管理规章制度

12.2.1 设立辐射安全管理机构

医院将设立辐射安全防护管理委员会，院长助理担任委员会主任，科室主任和医院专职管理人员任副主任，委员会成员包括医务处、器械处、保卫处、科研处等部门领导，还包括放射科、放疗科、核医学科等科室的技术负责人。委员会设专人承担医院辐射安全管理的日常工作。具体名单见表 1-5 所示。

12.2.2 制定辐射环境保护和安全管理规章制度

医科院肿瘤医院依照《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》，结合医院实际情况，已制定一套相对完善的管理制度、操作规程和应急预案。

本项目实施后，肿瘤医院核技术利用的种类和范围不变。结合新项目的开展，医院将在重新申领辐射安全许可证前，组织相关人员完善相关制度，如操作规程、监测方案、辐射突发环境事件应急预案等，确保全部辐射工作有章可循。同时，组织各科室人员进行学习，确保大家依照规定安全使用放射性同位素和射线装置。

12.2.3 人员配置和辐射安全与防护培训

医院制定有周密的辐射工作人员培训计划。目前，全部从事放射工作的职业人员和管理人员共计 150 人，均参加了生态环境部门认可的单位组织的辐射安全与防护培训和复训，并取得合格证书。此外，医院计划利用集会、内网、宣传展板等形式对全员进行辐射安全知识教育，提高人员的辐射安全文化素养，定期组织放射工作人员和辐射安全管理人员参加辐射安全法规知识和防护新知识培训。

放疗科现有医护人员共计 70 人，其中物理师 17 名，技师和护士共计 56 人。目前运行的加速器有 7 台，人员能够满足每台设备 3 名技师和 2 名物理师的需要，本项目完成后，加速器数量将增加为 9 台，拟增加 1 名物理师以满足每台设备 2 名物理师的需要，

技师和护士能够满足每台设备 3 名技师的工作需要。

表 12-1 医科院肿瘤医院放疗科现有辐射工作人员清单

序号	姓 名	性别	工作岗位	学历	辐射安全与 防护培训时 间	培训证号
1	刘志强	男	放射治疗技师	本科	2016/6/30	C1610092
2	张可	男	放疗物理师	博士	2016/6/30	C1610093
3	陈佳贇	女	放疗物理师	博士	2016/6/30	C1610094
4	马攀	女	放疗物理师	博士	2016/6/30	C1610095
5	任雯廷	女	放射治疗技师	本科	2016/6/30	C1610096
6	韩飞	女	放射治疗技师	本科	2016/6/30	C1610097
7	田源	男	放疗物理师	博士	2016/6/30	C1610098
8	李明辉	男	放疗物理师	硕士	2016/6/30	C1610099
9	夏文龙	男	放射治疗技师	本科	2016/6/30	C1610100
10	胡志辉	男	放疗物理师	博士	2016/6/30	C1610101
11	门阔	男	放疗物理师	博士	2016/6/30	C1610102
12	牛传猛	男	放射治疗技师	本科	2016/6/30	C1610103
13	崔伟杰	男	放射治疗技师	本科	2016/6/30	C1610104
14	苗俊杰	男	放疗物理师	博士	2016/6/30	C1610105
15	闫玲玲	女	放疗物理师	博士	2016/6/30	C1610106
16	韩东生	男	放疗物理师	本科	2016/6/30	C1610107
17	王亚非	男	放射治疗技师	大专	2016/6/30	C1610108
18	杨阿立	男	放射治疗技师	大专	2016/6/30	C1610110
19	曹莹	女	放射治疗技师	硕士	2016/6/30	C1610111
20	左丽静	女	放疗物理师	硕士	2016/6/30	C1610112
21	熊京红	女	放射治疗技师	大专	2016/6/30	C1610113

22	刘杨	男	放射治疗技师	大专	2016/6/30	C1610114
23	陈辛元	女	放疗物理师	硕士	2016/6/30	C1610115
24	金大伟	女	放疗物理师	硕士	2016/6/30	C1610116
25	徐英杰	女	放疗物理师	博士	2016/6/30	C1610117
26	黄鹏	男	放疗物理师	硕士	2016/6/30	C1610118
27	符贵山	男	放射治疗技师	本科	2016/6/30	C1610119
28	宋一昕	男	放疗物理师	本科	2016/6/30	C1610120
29	陈冰	男	放射治疗技师	大专	2016/6/30	C1610121
30	陈诚	男	放射治疗技师	本科	2016/6/30	C1610122
31	陈欢	女	放射治疗技师	本科	2016/6/30	C1610123
32	程斌	男	放射治疗技师	本科	2016/6/30	C1610124
33	方浩	男	放射治疗技师	大专	2016/6/30	C1610125
34	耿松松	男	放射治疗技师	本科	2016/6/30	C1610126
35	侯露	男	放射治疗技师	本科	2016/6/30	C1610127
36	兰炜东	男	放射治疗技师	大专	2016/6/30	C1610128
37	李洪菊	女	放射治疗技师	本科	2016/6/30	C1610129
38	李谭谭	男	放射治疗技师	本科	2016/6/30	C1610130
39	李伟	男	放疗技师	本科	2016/6/30	C1610131
40	励宁	男	放射治疗技师	大专	2016/6/30	C1610132
41	刘博飞	男	放疗技师	本科	2016/6/30	C1610133
42	芦一琦	男	放射治疗技师	大专	2016/6/30	C1610134
43	倪建勋	男	放射治疗技师	大专	2016/6/30	C1610135
44	裘洪	男	放射治疗技师	大专	2016/6/30	C1610136
45	覃仕瑞	男	放射治疗技师	本科	2016/6/30	C1610137
46	石默宜	女	放射治疗技师	中专	2016/6/30	C1610138

47	万宝	男	放射治疗技师	本科	2016/6/30	C1610139
48	王敏	女	放射治疗技师	本科	2016/6/30	C1610140
49	王玥	女	放射治疗技师	大专	2016/6/30	C1610141
50	王增洲	男	放射治疗技师	本科	2016/6/30	C1610142
51	魏国友	男	放射治疗技师	本科	2016/6/30	C1610143
52	吴英伟	男	放疗技师	本科	2016/6/30	C1610144
53	徐英	女	放射治疗技师	中专	2016/6/30	C1610145
54	许京京	女	放射治疗技师	大专	2016/6/30	C1610146
55	郇福奎	男	放射治疗技师	大专	2016/6/30	C1610147
56	杨鸿忠	男	放射治疗技师	大专	2016/6/30	C1610148
57	杨京波	男	放射治疗技师	中专	2016/6/30	C1610149
58	翟万聪	男	放射治疗技师	大专	2016/6/30	C1610150
59	张连胜	男	放射治疗技师	大专	2016/6/30	C1610151
60	张伟	男	放射治疗技师	本科	2016/6/30	C1610152
61	张彦新	男	放射治疗技师	本科	2016/6/30	C1610153
62	张寅	男	放射治疗技师	本科	2016/6/30	C1610154
63	张长胜	男	放射治疗技师	大专	2016/6/30	C1610155
64	赵宇	女	放射治疗技师	本科	2016/6/30	C1610156
65	周科	男	放射治疗技师	本科	2016/6/30	C1610157
66	朱耿强	男	放射治疗技师	本科	2016/6/30	C1610158
67	戴建荣	男	放疗物理师	博士	2016/6/30	C1610160
68	黄曼妮	女	妇科后装医师	本科	2016/6/30	C1610161
69	田俐	男	妇科后装技师	大专	2016/6/30	C1610162
70	安菊生	女	妇科后装医师	博士	2016/6/30	C1610163

71	董毅	女	妇科后装护士	大专	2016/6/30	C1610164
72	谢红	女	妇科后装护士	大专	2016/6/30	C1610165
73	熊随阳	男	妇科后装技师	本科	2016/6/30	C1610166
74	王谦	男	放射治疗技师	本科	2016/6/30	C1610189
75	刘守福	男	放射治疗技师	本科	2016/6/30	C1610190

12.2.4 辐射监测

(1) 个人剂量监测

从事放射工作的人员佩戴使用 TLD 个人剂量计。按每个季度一次的频度委托有资质的机构进行个人剂量检测。根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2016）和《放射工作人员职业健康管理辦法》（卫生部令第 55 号）要求建立放射工作人员个人剂量档案。

(2) 工作场所监测

根据原环保部 18 令的要求，医科院肿瘤医院每年委托有资质单位对放射工作场所进行 1 次辐射水平监测。

监测项目：X 射线空气吸收剂量率；

监测频次：1 次/年；

本项目涉及工作场所的监测布点：监测点位如图 11-3、图 11-4、图 11-8、图 11-9、图 11-13、图 11-14 和图 11-15，主要是射线装置机房的周边、楼上、特别是控制室和防护门处。测量结果连同测量条件、测量方法和仪器、测量时间等一同记录并妥善保存，并根据标准要求，每年进行一次设备状态检测。

(3) 环境监测

根据原环保部 18 令的要求，每年委托有资质单位对辐射工作场所的周围环境，进行 1 次辐射水平监测，监测数据记录存档。

12.3 辐射监测设备和防护用品

12.3.1 医院现有的辐射监测仪器和个人防护用品

医院现有的辐射工作场所购置了必要的辐射监测设备，见表 1-6。同时为保障放射工作人员的安全，医院为放射工作人员配备有铅衣、铅围脖、铅眼镜等防护用品。

12.3.2 本项目将配备的辐射监测仪器

本项目投入运行前，每间机房均新增配置 1 台固定式剂量率仪（共计 4 台），每间机房新增配置 2 台个人剂量报警仪（共计 8 台），放疗科新增配套 1 台便携式剂量率仪。

12.4 辐射事故应急

医院针对放射性同位素丢失、被盗、失控事故、可能受到超出剂量限值的照射事故（件）、环境污染事故（件），以及其他原因引发的辐射突发环境事件；针对射线装置丢失、被盗、可能受到超出剂量限值的照射事故（件），已经制定了相应的《辐射事故应急预案》。

同时，医院规定科室每季度组织一次演练，每年至少组织一次全院应急演练。本项目更新使用的医用直线加速器，已在许可使用的射线装置范围内，不涉及增加核技术应用类别，因此，医院现有的《辐射事故应急预案》能够满足要求。

12.5 项目环境保护验收内容建议

本建设项目环境保护验收主要内容列于表 12-5 中。

表 12-5 项目环境保护验收主要内容

验收内容	验收要求
剂量限值和剂量约束值	根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定和环评预测结果，本项目对公众和职业照射的剂量约束值分别执行 0.1mSv/a 和 2mSv/a。
剂量率控制水平	对于加速器机房、后装机机房机房，四周墙体、屋顶和(含防护门)外 30cm 处辐射剂量率不大于 2.5μSv/h。
电离辐射标志和中文警示	加速器机房防护门口设置放射性警告标志和中文警示说明。
场所布局和屏蔽设计	加速器机房、后装机机房墙体、顶棚、地板和防护门屏蔽 γ 射线的能力满足辐射防护的要求。
辐射安全与防护措施	治疗系统采用数字密码或者专用钥匙启动；设置门机安全连锁；配置有 UPS 系统。安装电视监控、对讲系统；紧急停止按钮；门控按钮设置；防护门设置门机、门源安全连锁，并具备防夹人功能；加速器机房设有排风系统；治疗室安装应急照明装置和火灾自动报警装置等，具体参照表 12。
规章制度	针对新增设备新增制定《辐射工作人员岗位职责》、《操作规程》、《台账管理制度》等规章制度。

辐射检测仪器和个人防护用品	放疗科每间机房均新增配置 1 台固定式剂量率仪（共计 4 台），每间机房新增配置 2 台个人剂量报警仪（共计 8 台），放疗科新增配套 1 台便携式剂量率仪。医院为每位辐射工作人员配备个人剂量计 1 套。
人员培训	医科院肿瘤医院现有的 150 名辐射工作人员均经过了生态环境部门认可的培训单位组织的辐射安全与防护培训，并取得合格证书。本项目新增的 1 名工作人员（物理师）通过了辐射安全与防护培训。
应急预案	本项目更新使用的医用直线加速器，新增后装机，均已在许可使用的射线装置范围内，不涉及增加核技术应用类别，因此，医院现有的《辐射事故应急预案》能够满足要求。

表 13 结论与建议

13.1 结论

1. 核技术应用现状：医院持有原北京市环保局颁发的《辐射安全许可证》（京环辐证 E0168），许可使用Ⅲ类、Ⅴ类放射源，使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置，乙级、丙级非密封放射性物质工作场所。

2. 符合实践正当性原则：本项目拟在放疗楼更新/新增使用 3 台医用加速器，1 台后装机，目的是为了满足不同医学诊断和治疗工作需要，提高医疗服务水平，满足患者就医需要，具有良好的社会效益和经济效益，其获得的利益远大于辐射效应可能造成的损害，符合辐射实践正当性原则的要求。同时具备了技术、人员和经费等条件。

3. 辐射屏蔽能力分析：医院在设置辐射工作场所时已充分考虑了设备性能和运行特点、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符合辐射工作场所使用和辐射防护安全的要求。

4. 本项目周围辐射环境现状：评价区环境 γ 辐射剂量水平与北京市的环境 γ 辐射剂量率水平基本一致，属于正常本底水平。

5. 加速器机房和后装机机房辐射安全与防护措施有

① 辐射工作场所均采取防 X- γ 射线的工程屏蔽措施，确保机房周围屏蔽体外 30cm 处的附加剂量率水平不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的剂量率控制水平；

② 在射线装置机房门口设置明显的放射性警告标识和中文警示说明，受检者入口门上设置工作状态指示灯；

③ 将设置紧急停机按钮、紧急开门按钮声音报警、声光警告装置、门机安全联锁系统等等；

④ 每个机房配备 1 台固定式辐射检测仪和 2 台个人剂量报警仪；

⑤ 加速器机房采取机械通风的方法对机房进行通风换气，防止机房空气中有害气体累积；

⑥ 放射工作场所划分为控制区和监督区。加强诊疗秩序管理，严格限制无关人员进入控制区；

⑦ 将制定各项辐射环境管理规章制度和操作规程，并张贴于工作场所处；

⑧ 后装机设备具有安全防护联锁系统和自动回源检测指示等故障检查和保护系统；设备具有模拟源，采用假源探路、真源治疗的双重驱动系统，假源可自动穿过施用器检

查所有联接点并对可能产生打结或过度弯曲的部位报警，防止因输源通路不畅造成卡源事故；

⑨ 配备 UPS 自动供电系统。当在治疗过程中发生停电情况，UPS 自动供电能使放射源退回到安全位置，并留病人的治疗记录。

6. 加速器和核磁加速器、后装机运行所致工作人员的年最大受照剂量均低于 2mSv/a 的剂量约束水平，所致 50m 评价范围内公众的年最大受照剂量均低于 100 μ Sv/s 的剂量约束值。

7. 放射性“三废”排放

① 项目运行中产生的退役废源由放射源生产厂家回收处置。

② 直线加速器在使用过程中被打穿的废靶和报废时产生的废靶，经有资质单位检测，如低于清洁解控水平，按普通物品处理，反之，按放射性废物送往北京市城市放射性废物暂存库，对环境影响十分轻微。

③ 设备使用过程中，将产生少量的 O₃ 和 NO_x 等有害气体，通过排风系统排放大气环境中会进一步稀释，对环境的影响十分轻微。

8. 辐射安全防护管理：医院设有辐射安全防护管理委员会，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、设备检修维护制度和辐射事故应急预案等。本项目运行前，将对新增的设备操作规程、应急处置措施等不断完善。医院所有辐射工作人员通过了辐射安全与防护培训。

9. 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》提出的具体要求进行对照评估，环评报告中描述的辐射安全和防护措施如果得到落实，能够满足运行的要求。

综上所述，医科院肿瘤医院使用加速器和后装机项目开展肿瘤疾病治疗和妇科疾病治疗工作，相应的辐射安全制度和辐射防护措施基本可行，在落实项目实施方案和本报告表提出的污染防治措施及建议前提下，其运行对周围环境产生的辐射影响，符合环境保护的要求。故从辐射环境保护角度考虑，该建设项目是可行的。

13.2 建议和承诺

为了保护环境，保障人员健康，医科院肿瘤医院承诺：

1) 在项目运行过程中，绝不容许弄虚作假、绝不容许违规操作等违反相关环保法律

法规要求的行为。

2) 不断加强全院的辐射安全(包括射线装置和同位素)管理工作,进一步完善辐射安全管理规章制度,落实辐射安全管理责任。

3) 严格按照辐射监测方案定期对辐射工作场所和参与辐射工作的工作人员进行监测,并将监测记录保存留档。

4) 加强辐射工作人员管理,对新增和需再培训的辐射工作人员进行辐射防护培训,培训合格后,持证上岗。

5) 及时办理辐射安全许可证变更手续。项目运行三个月内,自行组织竣工环保验收,并接受生态环境部门的监督检查。

表 14 审批

下一级生态环境部门预审意见：		
公 章		
经办人	年	月 日

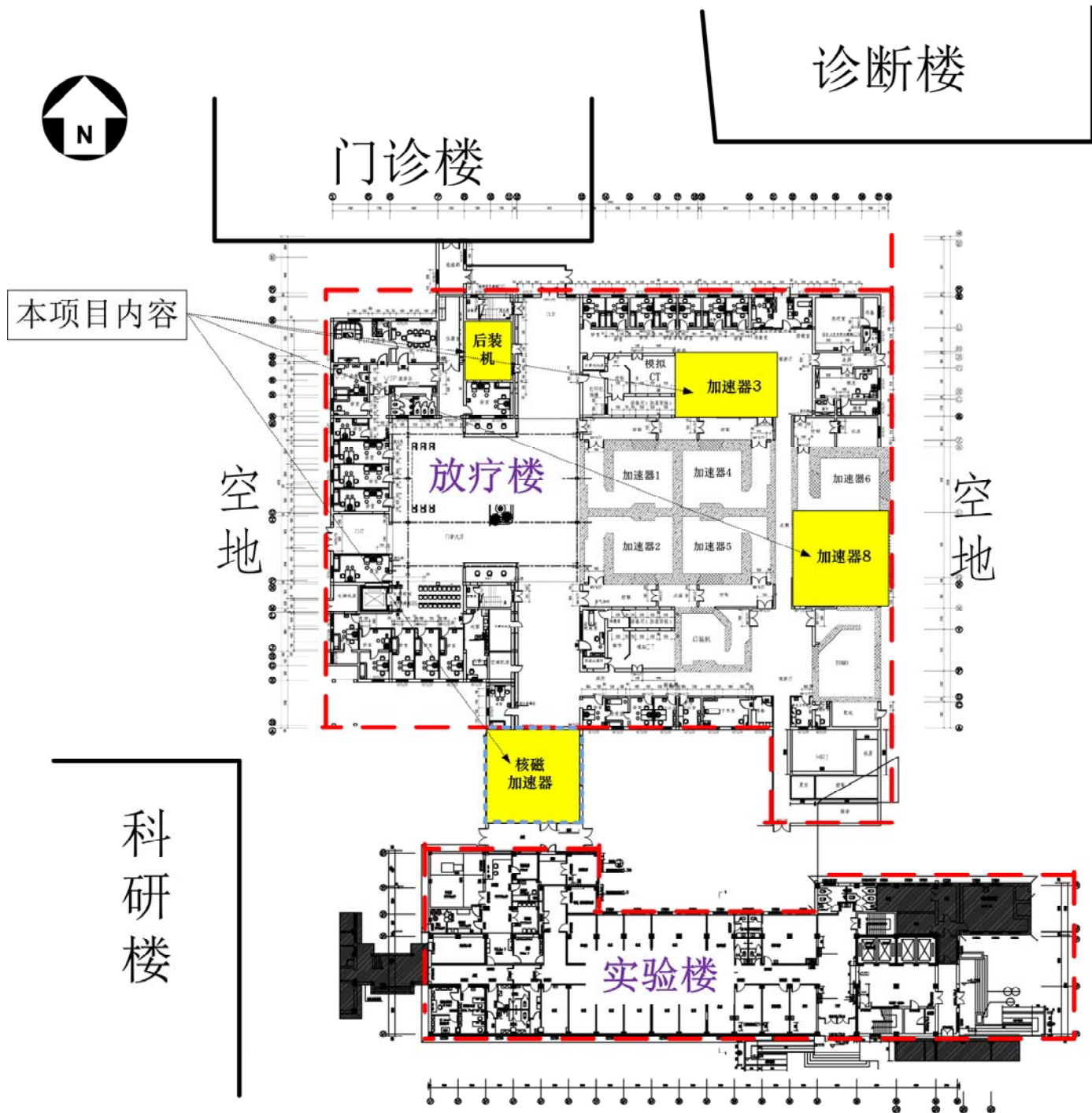
审批意见：		
公 章		
经办人	年	月 日



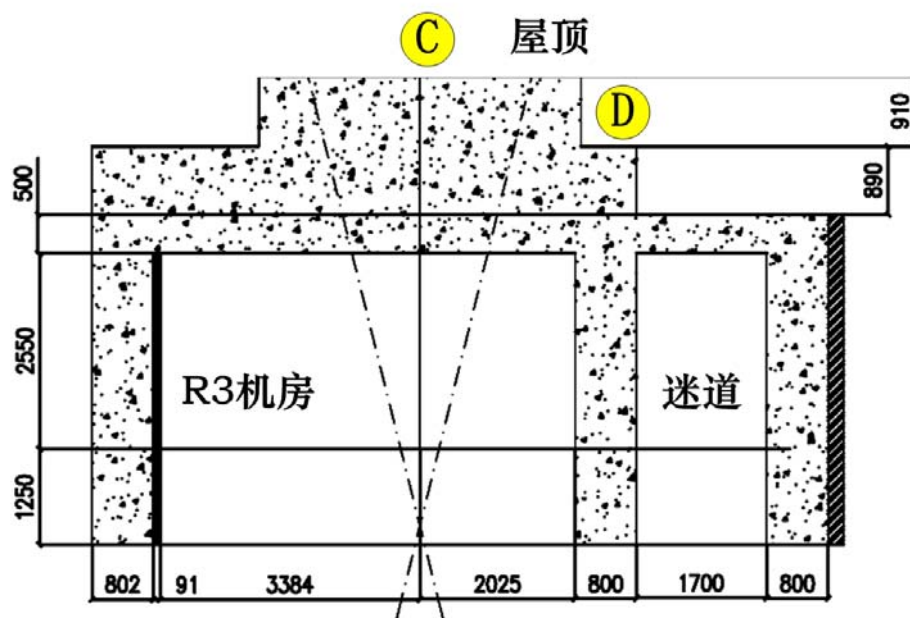
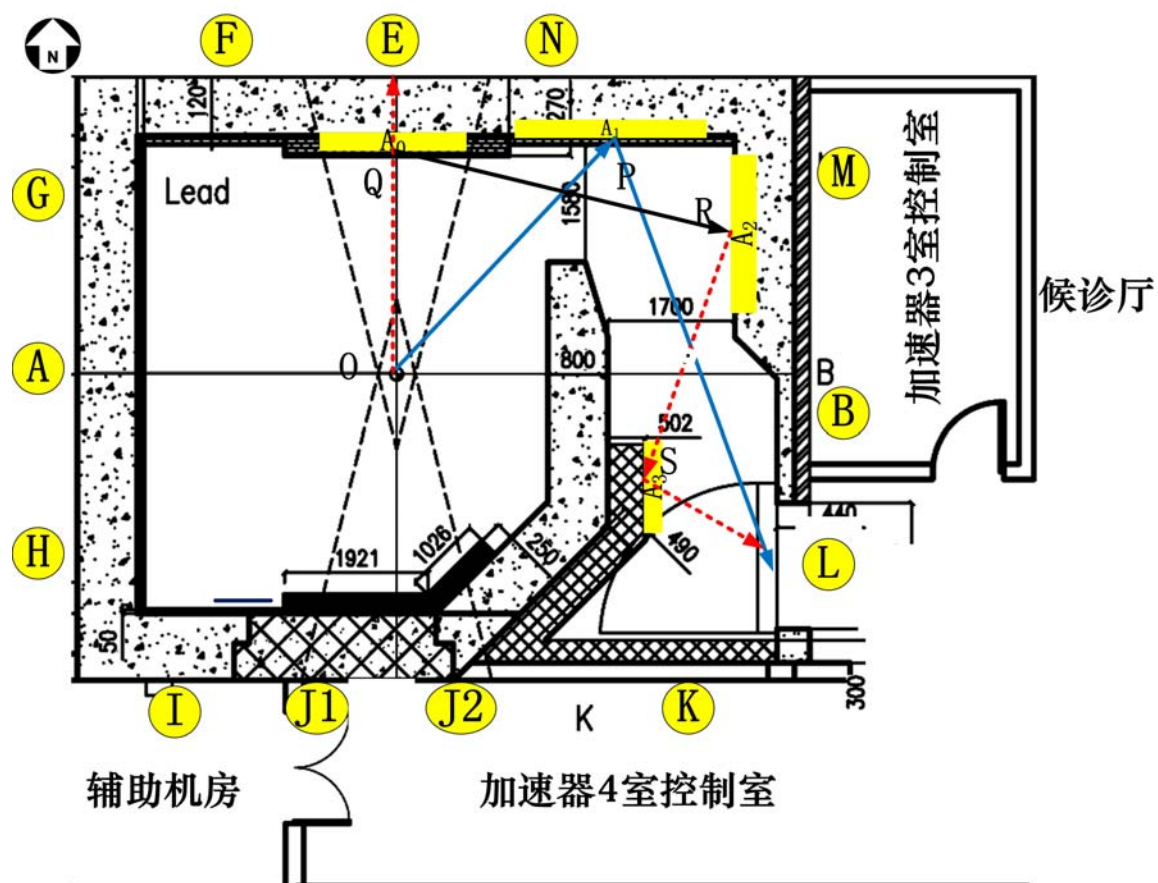
附图1 医科院肿瘤医院东院区地理位置示意图



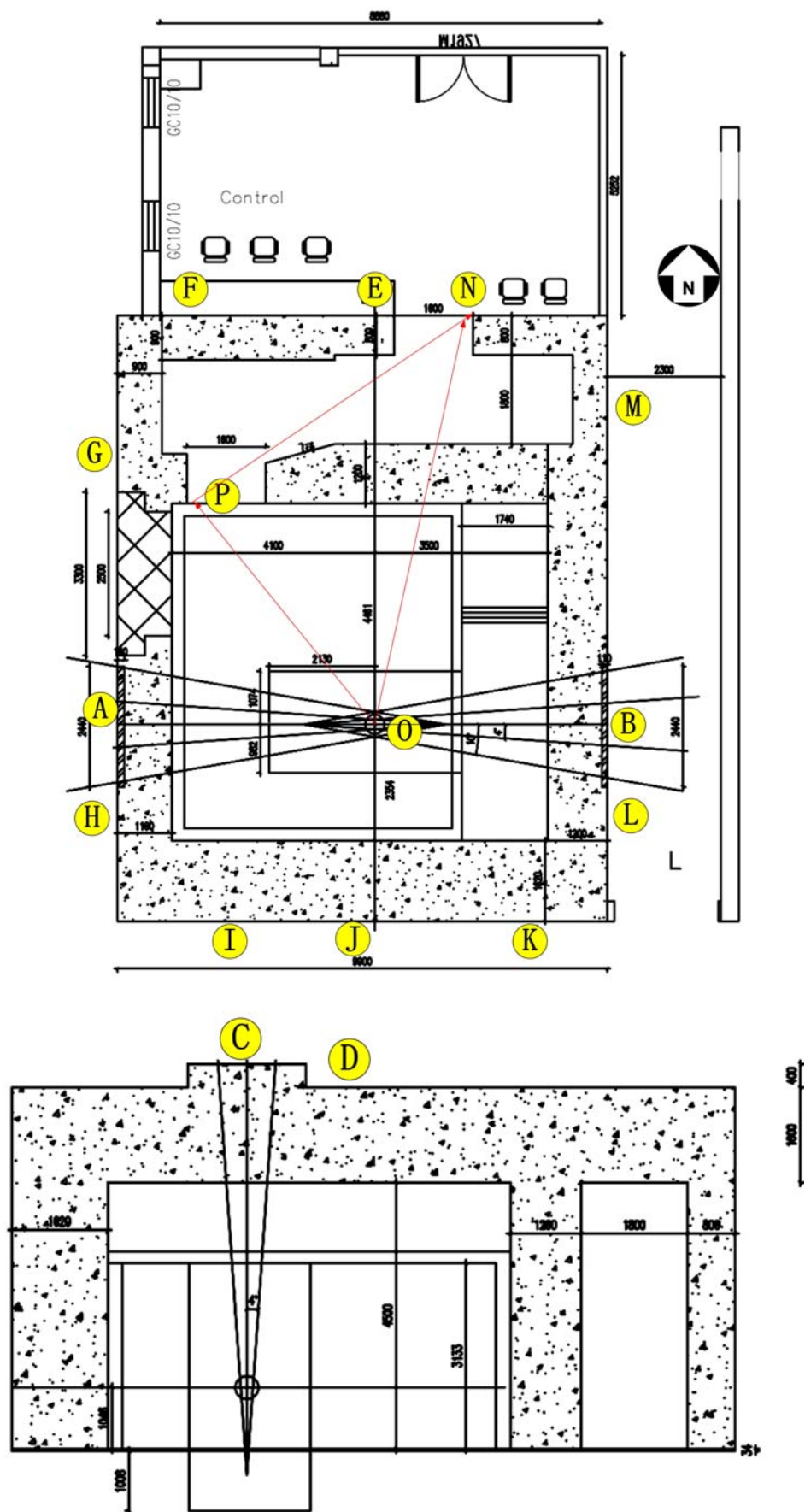
附图 2 本项目所在位置（放疗楼 C）周围环境示意图



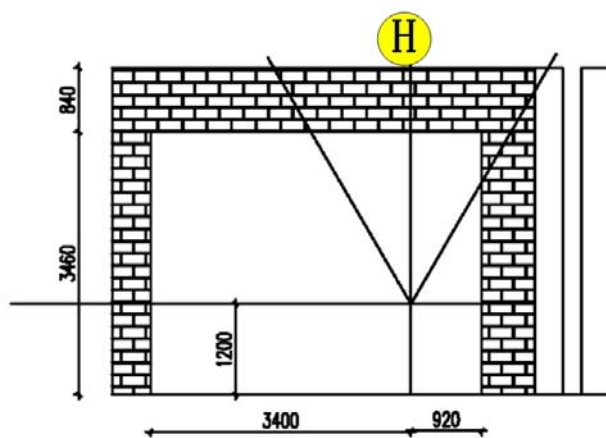
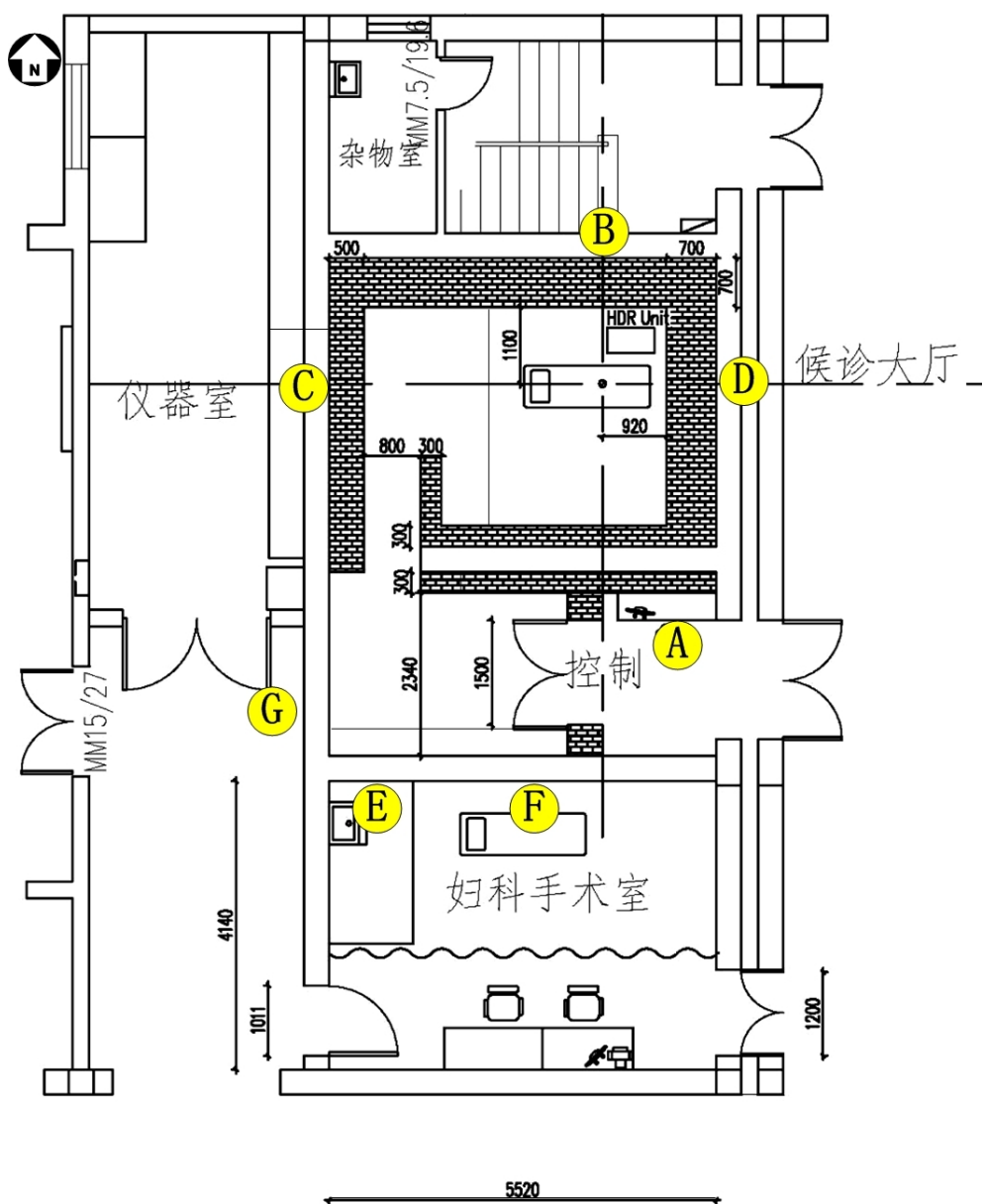
附图3 放疗楼平面布局和本项目所在具体位置示意图



附图 4 加速器机房 3 平面、剖面布局示意图



附图 6 核磁加速器机房 10 平面、剖面布局示意图



附图 7 后装机机房平面、剖面布局示意图