

北京大学肿瘤医院内蒙古医院/内蒙古医科大学附属肿瘤医院
北京大学肿瘤医院内蒙古医院质子临床研究中心/内蒙古自
治区质子中心环境影响报告书

(第二次信息公开文本)

北京大学肿瘤医院内蒙古医院/内蒙古医科大学附属肿瘤医院

2024年10月

说明

中国原子能科学研究院受北京大学肿瘤医院内蒙古医院/内蒙古医科大学附属肿瘤医院委托开展“北京大学肿瘤医院内蒙古医院质子临床研究中心/内蒙古自治区质子中心”的环境影响评价。现根据国家及本市法规及规定，并经北京大学肿瘤医院内蒙古医院/内蒙古医科大学附属肿瘤医院同意向公众进行第二次信息发布，公开环评内容。

本文本内容为现阶段环评成果。下一阶段，将在听取公众、专家等各方面意见的基础上，进一步修改完善。

目录

1. 建设项目概况.....	1
1.1. 项目背景.....	1
1.2. 建设地点.....	2
1.3. 建设内容.....	2
1.4. 产业政策和规划符合性分析.....	3
1.4.1. 产业政策符合性.....	3
1.4.2. 规划符合性分析.....	5
1.5. 编制依据.....	5
1.5.1. 法律、法规和规章.....	5
1.5.2. 技术导则和标准.....	7
1.5.3. 其他文件和资料.....	8
1.6. 评价标准.....	8
1.6.1. 剂量限值和剂量约束值.....	8
1.6.2. 辐射工作场所屏蔽体外剂量率控制水平.....	9
1.6.3. 放射性三废控制要求.....	10
1.7. 评价范围和保护目标.....	12
1.7.1. 评价范围.....	12
1.7.2. 保护目标.....	13
2. 自然环境与社会环境状况.....	15
2.1. 地理位置.....	15
2.2. 自然环境状况.....	15
2.2.1. 地形地貌.....	15
2.2.2. 气候气象.....	15
2.2.3. 水文特征.....	16
2.3. 社会经济概况.....	16
2.3.1. 社会发展状况.....	16
2.3.2. 经济发展状况.....	16

2.3.3.	文化教育.....	17
2.3.4.	医疗保健.....	17
3.	建设项目环境影响预测及拟采取的主要措施和效果.....	18
3.1.	质子治疗系统工艺设备及工作原理.....	18
3.1.1.	回旋加速器.....	19
3.1.2.	能量选择系统.....	21
3.1.3.	束流输运系统.....	22
3.1.4.	治疗室终端.....	24
3.2.	直线加速器工艺设备及工作原理.....	27
3.2.1.	装置组成和参数.....	27
3.2.2.	工作原理.....	28
3.3.	辐射污染源项.....	29
3.4.	主要环境影响及其预测评价结果.....	30
3.5.	辐射防护与环境保护措施.....	30
3.5.1.	辐射工作场所分区.....	30
3.5.2.	辐射屏蔽.....	31
3.5.3.	质子治疗系统辐射安全与防护措施.....	35
3.5.4.	医用电子直线加速器辐射安全与防护措施.....	45
3.5.5.	工作场所辐射监测.....	49
3.5.6.	放射性三废处理.....	49
3.6.	风险防范措施及应急预案.....	51
3.7.	建设项目对环境影响的经济损益分析结果.....	51
3.8.	建设单位拟采取的辐射监测计划和安全管理.....	52
3.8.1.	辐射监测计划.....	52
3.8.2.	辐射安全管理.....	53
4.	环境影响评价结论.....	55
5.	联系方式.....	56

1. 建设项目概况

1.1. 项目背景

恶性肿瘤已经成为严重威胁中国人群健康的主要公共卫生问题之一，恶性肿瘤死亡占居民全部死因的 23.91%。据统计，2015 年全国估计新发恶性肿瘤病例约 392.9 万例，死亡约 233.8 万人，且近 10 多年来，恶性肿瘤发病率每年保持约 3.9% 的增幅，死亡率每年保持 2.5% 的增幅。当前我国癌症治疗水平与美国等国家相比还有很大差距。

随着世界各国治癌技术研究和开发的快速发展，质子治疗肿瘤技术由于具有质子布拉格峰效应带来的深度截止效应，以及更加精准的宽度方向控制，已成为新一代更加有效的放疗技术。临床结果显示，相对于其他放射治疗方法，尤其对于有重要组织器官包绕的肿瘤，质子治疗显示出较大的优势：精确度高、治愈率高、副作用小。

质子治疗系统是当前国际上肿瘤放射治疗的主流装备，目前我国多地都在建设/筹建质子治疗中心。为提高内蒙古自治区呼和浩特市医疗服务保障水平，建设单位拟建北京大学肿瘤医院内蒙古医院质子临床研究中心/内蒙古自治区质子中心项目，是为了顺应放疗“精确诊断、精确定位、精确计划、精确治疗”的新时代，顺应政府鼓励社会办医打造多元化医疗服务的政策，顺应内蒙古自治区呼和浩特市及周边地区肿瘤患者高端治疗的迫切需求，通过引进质子治疗系统，满足内蒙古自治区呼和浩特市及周边地区的恶性肿瘤精准高端治疗的需求，提升癌症治疗水平。。

项目建成后，将大大提高呼和浩特市在医疗临床研究和应用方面的科技实力，带动呼和浩特市整体医疗水平的提升，使呼和浩特市在中国高端医学科技领域占领一席之地。同时，本项目的建设将推动呼和浩特市医疗卫生健康事业发展，对提高人民群众的身体健康水平具有重要意义。

1.2. 建设地点

本项目建设地点位于内蒙古自治区呼和浩特市赛罕区昭乌达路 42 号，新建质子中心位于医院东北侧，质子中心东侧为呼和浩特铁路局林场，距离其东侧 177 米处为住宅区，南侧为室外绿化区和消防通道，距离其南侧 133 米处为住宅区，西侧 120 米处为一期建设门诊楼，北侧为国际部，距北侧 152 米处为住宅区。本项目的地理位置见图 1-1。

1.3. 建设内容

本项目位于内蒙古自治区呼和浩特市赛罕区昭乌达路 42 号，建筑总用地面积 48963.42 平方米，总建筑面积 6.25 万平方米。

本项目位于医疗综合楼，为一幢地下 2 层，地上 6 层的建筑，质子中心位于建筑东侧，分布在地下一层至地上二层，主要功能区集中于地上一层。放疗中心位于建筑物地下一层，其中北侧三间由东向西为直线加速器 1~3，靠近质子中心为直线加速器 4。本次主要针对项目中涉及核技术利用活动的建设内容展开评价，具体如下：

(1) 放疗中心

放疗中心位于医疗综合楼地下一层北侧，核医学科南侧，其中北侧三间由东向西为直线加速器 1~3，靠近质子中心为直线加速器 4。其中两台医用电子直线加速器（直线加速器 1 和 2）最大 X 射线能量为 10MeV，等中心最大输出剂量率为 2400Gy/min；直线加速器 3 的医用电子直线加速器最大 X 射线能量为 6MeV，等中心最大输出剂量率为 800 Gy/min；直线加速器 4 的医用电子直线加速器最大 X 射线能量为 10MeV，等中心最大输出剂量率为 600 Gy/min。四台装置均属于 II 类射线装置。

(2) 质子中心

质子中心主要功能区位于医疗综合楼地上一层南侧，拟使用 1 套质子治疗系统（I 类射线装置），厂家为中广核核技术发展股份有限公司（以下简称“中广

核技”)，质子最高能量为 230MeV，建设 2 间机架治疗室。

此外，每间质子治疗室配套使用 2 个定位 X 射线管，2 间治疗室共使用 4 个 X 射线管（III类射线装置）。

1.4. 产业政策和规划符合性分析

1.4.1. 产业政策符合性

本项目属于《产业结构调整指导目录》(2024 年本)，本项目属于其中鼓励类第六项“核能”第 4 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”项目，本项目建设符合国家产业政策。



图 1-1 本项目地理位置图

1.4.2. 规划符合性分析

(1) 与医疗卫生相关规划符合性

《中华人民共和国国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要（2016-2020）》指出：加强重大疾病防治和基本公共卫生服务，完善国家基本公共卫生服务项目和重大公共卫生服务项目，提高服务质量效率和均等化水平。提升集成公共卫生服务能力，加强妇幼健康、公共卫生、肿瘤、精神疾病防控、儿科等薄弱环节能力建设。2016 年中共中央政治局会议上审议通过的《“健康中国 2030”规划纲要》中，也多次提出将重大疾病防治、癌症诊治工作作为重要目标，加强医药技术创新发展以及医药体系的完善。“十三五”时期也是呼和浩特市建立健全覆盖城市居民的基本医疗卫生制度、创建国家医疗卫生服务中心的决胜阶段。因此，本项目的建设与国家、呼和浩特市医疗卫生事业相关规划是相符的。

(2) 与土地利用规划符合性

本项目选址位于内蒙古自治区呼和浩特市塞罕区昭乌达路 42 号。项目用地于 2023 年 6 月 16 日取得呼和浩特市自然资源局颁发的建设用地规划许可证（地字第 150105202300005 号），土地用途为医疗卫生用地。因此，拟建项目符合土地利用规划要求。

综上所述，本项目的建设符合相关政策和规划的要求。

1.5. 编制依据

1.5.1. 法律、法规和规章

(1) 《中华人民共和国环境保护法》（中华人民共和国主席令 第 9 号，2015 年 1 月 1 日施行）；

(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（全国人民代表大会常务委员会，2018 年 12 月 29 日施行）；

(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》（中华人民共和国主席令 第 6

号，2003年10月1日)；

(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，2019年3月2日修正版)；

(5) 《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20号，2021年1月4日修订版)；

(6) 《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，2011年5月1日施行)；

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

(8) 《建设项目环境保护管理条例》(国务院令 第682号，2017年10月1日起施行)；

(9) 《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，2021年1月1日起施行)；

(10) 《产业结构调整指导目录》(2024年本)；；

(11) 《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11月1日)；

(12) 《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23日)；

(13) 《发布<建设项目竣工环境保护验收暂行办法>的公告》(国环规环评[2017]4号，2017年11月22日起施行)；

(14) 《辐射安全与防护监督检查技术程序》(生态环境部，2020年)；

(15) 《关于明确辐射安全监管有关事项的通知》(生态环境部，环办辐射函[2016]430号)；

(16) 《内蒙古自治区环境保护条例》，2018年6月22日施行；

(17) 《内蒙古自治区辐射污染防治条例》，2017 年 9 月 29 日施行。

1.5.2. 技术导则和标准

- (1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002);
- (2) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》(HJ 10.1-2016);
- (3) 《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021);
- (4) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》(GBZ/T 201.1- 2007);
- (5) 《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/T 201.2-2011);
- (6) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 5 部分：质子加速器放射治疗机房》(GBZ/T 201.5-2015);
- (7) 《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020);
- (8) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020);
- (9) 《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021);
- (10) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021);
- (11) 《电离辐射工作场所监测的一般规定》(EJ 381-1989);
- (12) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ 128-2019);
- (13) 《职业性内照射个人监测规范》(GBZ 129-2016);
- (14) 《医疗机构水污染物排放标准》(GB 18466-2005);

(15) 《工作场所有害因素职业接触限值化学有害因素》(GBZ 2.1-2019)。

1.5.3. 其他文件和资料

(1) 《北京大学肿瘤医院内蒙古医院/内蒙古医科大学附属肿瘤医院环境影响评价委托书》(北京大学肿瘤医院内蒙古医院/内蒙古医科大学附属肿瘤医院, 2024 年);

(2) NCRP. Report NO.144. Radiation Protection for Particle Accelerator Facilities. NCRP,2005;

(3) IAEA. Safety Reports Series NO.19. Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment. IAEA,2001;

(4) 北京大学肿瘤医院内蒙古医院/内蒙古医科大学附属肿瘤医院提供的与本项目相关的初步设计资料等其他技术资料。

1.6. 评价标准

1.6.1. 剂量限值和剂量约束值

1.6.1.1. 剂量限值

执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)规定, 工作人员的**职业照射和公众照射的剂量限值如下:

(1) 职业照射

应对任何工作人员职业照射水平进行控制, 使之不超过下述限值:

审管部门决定连续 5 年的年平均有效剂量 (但不可作任何追溯性平均), 20mSv。

(2) 公众照射

实践使公众中关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：

年有效剂量，1mSv。

1.6.1.2. 剂量约束值

执行《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）：

本次评价从事放射治疗工作人员职业照射的剂量约束值为 5mSv/a，公众照射的剂量约束值为 0.1mSv/a。

1.6.2. 辐射工作场所屏蔽体外剂量率控制水平

参照《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）、《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 5 部分：质子加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.5-2015）、《电子加速器放射治疗防护要求》（GBZ126-2011）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中的相关规定，本项目各辐射工作场所屏蔽体外剂量率控制水平见下表。

表 1-1 本项目各辐射工作场所屏蔽体外剂量率控制水平

场所	位置	位置描述（居留因子）	剂量率控制水平， $\mu\text{Sv/h}$
质子治疗机房	机房四周屏蔽墙、入口 防护门外、机房顶	居留因子 $T \geq 1/2$	≤ 2.5
		居留因子 $T < 1/2$	≤ 10
	机房地板外	机房地板外表面与土壤交界处*	$\leq 5 \times 10^3$
直线加速器机房的四周屏蔽墙、机房顶和防护门外			≤ 2.5

注：*根据文献《恒健质子治疗装置的辐射与屏蔽设计》（吴青彪等，南方能源建设，2016 年第 3 卷第 3 期），同时参考日本 J-PARC 以及中国散裂中子源的辐射防护设计，当混凝土与土壤边界处瞬发辐射剂量率低于 5mSv/h 时，可忽略土壤和地下水的感生放射性。因此，本次评价以“5mSv/h”作为各辐射工作场所地板外表面与土壤交界处的剂量率控制水平。

1.6.3.放射性三废控制要求

1.6.3.1.放射性废气控制要求

本项目射线装置放射性废气的管理按照 HJ 1198-2021 执行，具体如下：

“8.4 气态废物管理要求

8.4.1 放射治疗室内应设置强制排风系统，采用全排全送的通风方式，换气次数不少于 4 次/h，排气口位置不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置。

8.4.2 质子/重离子加速器停机后，加速器大厅应加强通风排气，采取措施使人员延时进入，以降低活化空气的感生放射性水平，减少人员受照剂量。”

另外，本项目射线装置放射性废气的管理还按照 GBZ 121-2020 执行，具体如下：

“6.2.2 放射治疗机房应设置强制排风系统，进风口应设在放射治疗机房上部，排风口应设在治疗机房下部，进风口与排风口位置应对角设置，以确保室内空气充分交换；通风换气次数应不小于 4 次/h。

1.6.3.2.放射性废液

本项目的放射性废液主要包括质子治疗系统的活化冷却水。

上述放射性废液排放前需进行取样监测，满足《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466-2005）“表 2 综合医疗机构和其他医疗机构水污染物排放限值（日均值）”中总 β 的排放标准要求（列于下表），方可排放。

表 1-2 综合医疗机构和其他医疗机构水污染物排放限值中总 β 的排放标准

控制项目	排放标准, Bq/L
总 β	10

此外，放射性废液需同时满足 GB 18871-2002 中的豁免水平方可排放。

本项目放射治疗机房放射性废液管理按照 HJ 1198-2021 执行，具体如下：

“8.3 液态废物管理要求

事故或检修状况下质子/重离子加速器的活化冷却水按照放射性废液管理要求妥善收集贮存，暂存衰变至低于豁免水平后可作为普通废液处理，并做好存档记录。”

1.6.3.3.放射性固体废物控制要求

本项目的放射性固体废物主要为质子治疗系统拆卸下来的活化部件、处理活化冷却水的废树脂等。

本项目放射治疗机房放射性固体废物管理按照 HJ 1198-2021 执行，具体如下：

“8.2.2.1 质子/重离子加速器、直线加速器等治疗装置在调试及运行过程中，如活化后的回旋加速器、准直器、束流阻止器及加速器靶等组成部件，在更换或退役时，应作为放射性固体废物处理，拆卸后先放进屏蔽容器或固体废物暂存间衰变暂存，最终送交有资质的单位收贮。

8.2.2.2 低水平的活化部件如质子/重离子加速器治疗头器件、磁铁等，以及处理质子/重离子加速器冷却水的废树脂，集中放置在固体废物暂存间暂存衰变，经衰变后仍超出清洁解控水平的（放射性废物豁免的活度、活度浓度见附录 B）送交有资质的单位收贮。

8.2.2.3 建立放射性固体废物台账，存放及处置前进行监测，记录部件名称、质量、辐射类别、监测设备、监测结果（剂量当量率）、监测日期、去向等相关信息，低于清洁解控水平的可作为一般固体废物处置，并做好存档记录。”

HJ 1198-2021 附录 B 表 B.1 列出了对放射治疗活动中可能产生的含人工放射性核素固体物质的豁免水平和解控水平，具体见下表。

表 1-3 部分含人工放射性核素固体物质的豁免水平和解控水平

核素	活度浓度 ^a (Bq/g)	活度浓度 ^b (Bq/g)	活度 ^b (Bq)
³ H	1E+02	1E+06	1E+09
¹⁴ C	1E+00	1E+04	1E+07
⁵⁴ Mn	1E-01	1E+01	1E+06
⁵⁵ Fe	1E+03	1E+04	1E+06

^{59}Fe	1E+00	1E+01	1E+06
^{58}Co	1E+00	1E+01	1E+06
^{60}Co	1E-01	1E+01	1E+05
^{59}Ni	1E+02	1E+04	1E+08
^{63}Ni	1E+02	1E+05	1E+08
a 固体物质的解控水平以及批量固体物质的解控水平。 b 小批量固体物质的豁免水平（通常适用于小规模使用放射性物质的实践，所涉及的数量最多为吨量级）。			

另外，根据 GB 18871-2002，如果存在一种以上的放射性核素，仅当各种放射性核素的活度或活度浓度与其相应的豁免活度或豁免活度浓度之比之和小于 1 时，才可能考虑给予豁免。

1.7. 评价范围和保护目标

1.7.1. 评价范围

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）“1.5 节评价范围和保护目标”中的相关规定“放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽边界外 50m 的范围（无实体边界项目视具体情况而定，应不低于 100m 的范围），对于 I 类放射源或 I 类射线装置的项目可根据环境影响的范围适当扩大”，本项目使用的质子治疗系统为 I 类射线装置，其主要的辐射环境影响途径为瞬发辐射外照射以及运行期间排入环境感生放射性气体对人员造成的照射。考虑到拟使用的质子治疗系统严格按照我国相关法规标准的要求进行治疗机房的辐射屏蔽设计，采用混凝土作为主屏蔽材料，确保机房屏蔽体外剂量率满足要求。在考虑距离衰减后，机房屏蔽边界外 100m 处的剂量率可降低近 4 个量级。

综上所述，本项目质子治疗系统电离辐射环境影响评价范围取质子治疗系统辐射工作场所四周实体屏蔽体向外 100m 的范围，电子直线加速器的电离辐射影响评价范围取辐射工作场所四周实体屏蔽体向外 50m 的范围，本项目电离辐射环境影响评价范围如表 1-4 和图 1-2 所示。

表 1-4 本项目电离辐射环境影响评价范围

类型	电离辐射环境影响评价范围	依据
质子治疗系统	机房四周实体屏蔽体 向外 100m 的范围	I 类射线装置
直线加速器	机房四周实体屏蔽体 向外 50m 的范围	II 射线装置

1.7.2. 保护目标

本项目评价范围内无自然保护区、风景名胜和文物古迹等需要特殊保护的對象，无居民小区、学校等环境敏感点。评价范围内的环境保护目标以本项目相关工作人员、周边相关场所其他工作人员以及在相关场所活动的公众成员为主。

2. 自然环境与社会环境状况

2.1. 地理位置

呼和浩特市地处内蒙古自治区中部，大青山南侧，地理坐标介于东经 $110^{\circ}46'$ ~ $112^{\circ}10'$ ，北纬 $40^{\circ}51'$ ~ $41^{\circ}8'$ 之间。东与乌兰察布市相邻，东南与山西省交界，南和西南与鄂尔多斯市相连，西和西北与包头市接壤。辖区东西最大距离 110 千米，南北最大距离 215 千米，总面积 1.72 万平方千米。

本项目位于内蒙古自治区呼和浩特市赛罕区昭乌达路 42 号。地理位置见图 1-1。

2.2. 自然环境状况

2.2.1. 地形地貌

呼和浩特市位于内蒙古自治区中部，地势特点是北高南低，东高西低，由东北向西南缓缓倾斜。境内主要发育有山地和平原两大地形，山地以北部大青山为主，平原以南部和西南部的土默川平原为主。海拔最高点在大青山金銮殿顶部，高度为 2280 米；最低点在托克托县中滩乡，高度为 986 米。市区平均海拔为 1050 米。

2.2.2. 气候气象

呼和浩特市属中温带大陆性季风气候，四季气候变化明显，冬季漫长严寒，夏季短暂炎热，春秋两季气候变化剧烈。年平均气温由北向南递增，北部大青山地区年平均气温在 2°C 左右，南部为 6.7°C 。最冷月为 1 月，月平均气温为 $-12.7\sim 16.1^{\circ}\text{C}$ ；最热月为 7 月，月平均气温为 $17\sim 22.9^{\circ}\text{C}$ ，平均年较差为 $34.4\sim 35.7^{\circ}\text{C}$ ，平均日较差为 $13.5\sim 13.7^{\circ}\text{C}$ 。

呼和浩特市年平均降水量为 335.2 至 534.6 毫米，降水分布特点呈北多南少，东多西少，即自东北向西南逐渐减少。西南地区的年平均降雨量为 350 毫米；平原区在 400 毫米左右；大青山区在 430 至 500 毫米；降水量最多的地方是大青山

乡一前响村，年平均降水量为 534.6 毫米。全年 1 月降水量最少，8 月最丰富。

呼和浩特市盛行风向主要为西北风和偏北风，集中在春、秋和冬季，年平均风向频率为 7，大部分地区年平均风速为 2.1 至 2.8 米/秒，沿山地区年平均风速为 1.7 米/秒。

呼和浩特市的无霜期由北向南逐渐增加，其中，北部山区为 75 天，低山丘陵区 110 天，南部平原区为 113~134 天；该地区年平均日照数为 1600 小时。

2.2.3. 水文特征

呼和浩特市的水体结构主要由河流、湖泊及地下水组成。河流主要以黄河、大黑河为主；湖泊主要有哈素海，地下水为第四系松散沉积层中的潜水和承压水。

呼和浩特市共有 38 座水库，其中中型水库 9 座，主要包括哈拉沁水库、哈素海水库、万家沟水库、红领巾水库等；小（1）型水库 19 座，包括五一水库、海流水库等；小（2）型水库 10 座，包括恼木气水库、窰子沟水库等。

呼和浩特市地下水分为浅层水含水层和深层水含水层。浅层水含水层包括浅层潜水及半承压水等。地下水埋藏深度、水质、水量均由北向南呈有规律的变化，全市浅层地下水年补给量为 9.87 亿立方米。

2.3. 社会经济概况

2.3.1. 社会发展状况

截至 2023 年末，呼和浩特市常住人口为 360.41 万人，比 2022 年末增加 5.30 万人，增长 1.49%。其中，城镇常住人口为 290.93 万人，乡村常住人口为 69.48 万人，常住人口城镇化率为 80.72%。男性人口 183.00 万人，女性人口 177.41 万人。全年出生人口 2.00 万人，人口出生率为 5.58‰；死亡人口 2.27 万人，人口死亡率为 6.34‰；人口自然增长率为负 1.06‰。

2.3.2. 经济发展状况

截至 2023 年末，呼和浩特市地区生产总值 3801.55 亿元，在内蒙古自治区

12个盟市中总量排名第3位，增速排名第2位。其中，第一产业以乳产业为主，第二产业以采矿业和制造业为主，第三产业以服务业和金融业为主。三次产业所占比例为4.4:35.2:60.4。第一、二、三产业对生产总值增长的贡献率分别为3.5%、46.7%和49.8%。人均生产总值达到106337元，比上年增长8.4%。

2.3.3. 文化教育

截至2023年末，呼和浩特市共有普通高校24所，招生人数8.35万人，在校生人数27.78万人，增长0.9%，毕业生人数7.81万人，增长5.7%；年末共有普通中学120所，招生人数5.08万人，下降1.0%，在校生人数15.03万人，增长1.1%，毕业生人数4.95万人，增长1.6%；年末共有小学193所，招生人数3.74万人，增长29.0%，在校生人数20.73万人，增长4.2%，毕业生人数2.91万人，下降3.3%；年末共有幼儿园419所，在园幼儿6.99万人，下降6.7%。

2.3.4. 医疗保健

截至2023年末，呼和浩特市共有卫生机构2682个。其中，医院113个，拥有床位数20542张。全市拥有卫生技术人员36324人。其中，执业医师（助理医师）14333人。

3. 建设项目环境影响预测及拟采取的主要措施和效果

3.1. 质子治疗系统工艺设备及工作原理

质子治疗系统主要由回旋加速器、能量选择系统、束流运输系统和治疗系统组成。质子在回旋加速器中加速到 230MeV 后引出,理论最大引出流强为 300nA,引入能量选择系统。通过调节能量选择系统中降能器的厚度,可根据实际治疗肿瘤的深度和厚度,在输出端得到 70~230MeV 连续可调不同能量的质子束流。束流运输系统用于将能量选择器引出的质子输运到各治疗室内。质子治疗系统共配置 2 个机架治疗室,从南到北分别为治疗室 1 和治疗室 2。主要技术参数见表 3-1,装置结构组成示意图见图 3-1,平面布局示意图见图 3-2。

表 3-1 质子治疗系统主要技术参数

指标	数值/方案
加速器主体	质子回旋加速器
加速器最大引出能量	230 MeV
加速器最大引出流强	300 nA
加速器引出电荷量	≤300 nC/s (加速器出口)
治疗能量范围	70~230MeV
治疗流强	0.27 nA @ 70 MeV, 0.47 nA @ 230 MeV
加速器射频频率	106 MHz
照射野	30 cm × 40 cm
源皮距	200 cm
治疗头输出剂量率	2 Gy/min/L
束斑直径	3~6.5mm
束斑定位精度	1mm
治疗模式	笔形束模式 PBS (Pencil Beam Scanning)
治疗终端	2 间旋转机架治疗室 (治疗室 1 和 2)
治疗定位系统	每间治疗室配备 2 个定位 X 射线球管, 2 间治疗室共配备 4 个 X 射线管: 管电压单位 40-150kV, 管电流范围 1-800mA。

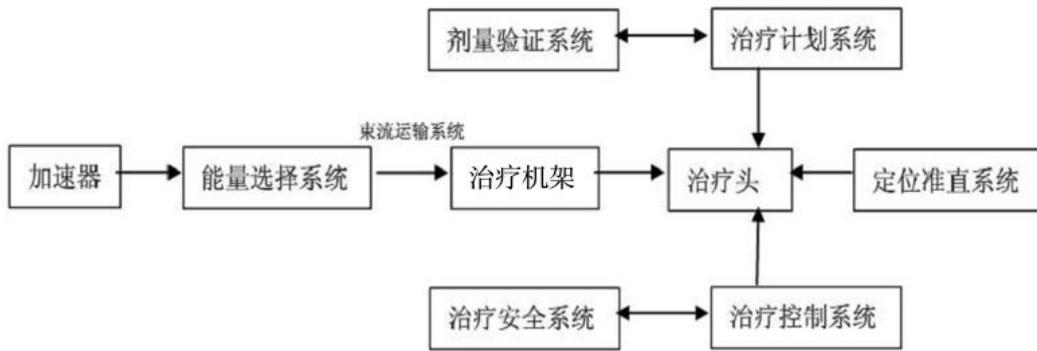


图 3-1 质子治疗系统装置结构组成示意图

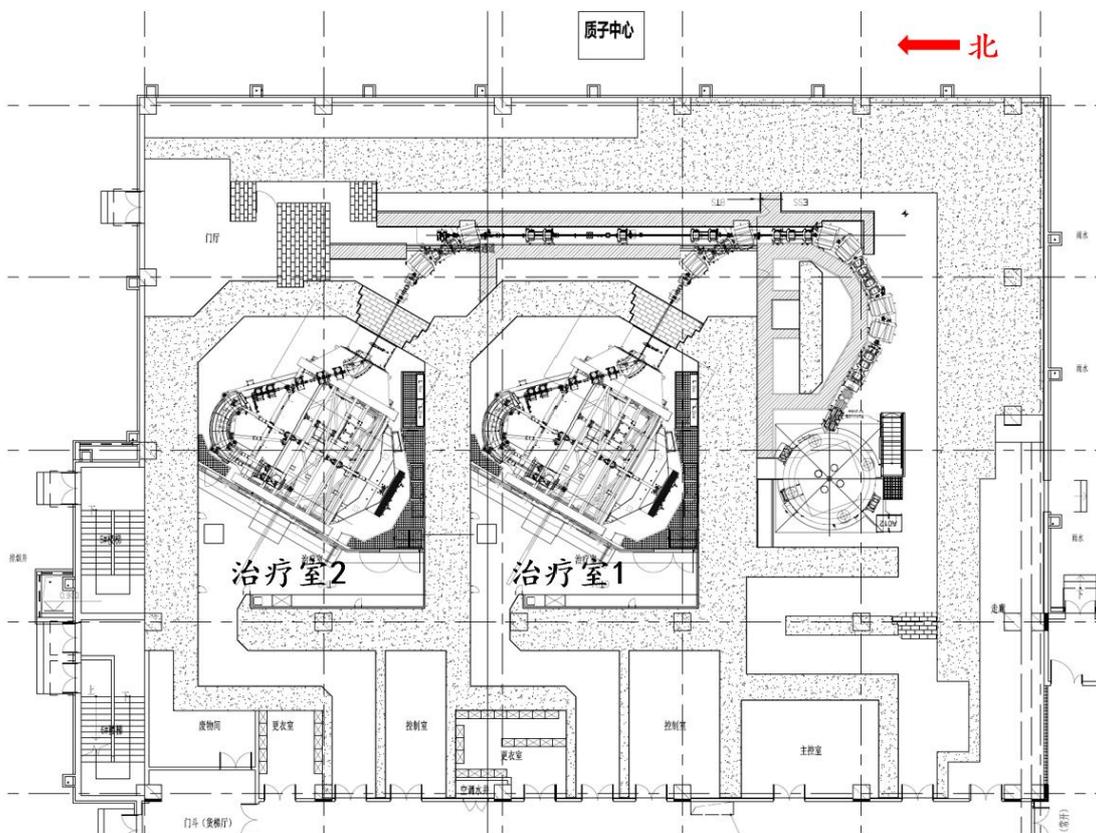


图 3-2 质子治疗系统平面布局示意图

质子治疗系统中质子由回旋加速器→能量选择系统→束流输运线→治疗终端，经历质子加速、注入、能量选择、引出和治疗。各部分详细工作原理如下。

3.1.1. 回旋加速器

回旋加速器是质子治疗系统的核心，其结构示意图见图 3-3，实物参考图见

图 3-4。在回旋加速器内将氢气进行游离，成为氢离子，即一个带正电的质子。氢离子通过一个由高频电场供电的间隙，每次通过间隙得到高频能量进而实现加速。为把质子限制在一个有限的空间进行加速，在质子运动的垂直平面上加一个固定磁场，使质子在该磁场中做螺旋圆周运动。质子初始流强约为 750nA，初始能量约为 50keV。多次通过高频间隙后，能量逐渐变高，直至加速到最高 230MeV 时，再利用磁和电偏转将质子束从加速器引出。质子治疗系统正常运行期间，回旋加速器每天 24 小时始终处于开机运行状态，仅在检修保养期间才会停机，且仅在治疗期间才会产生质子束流。

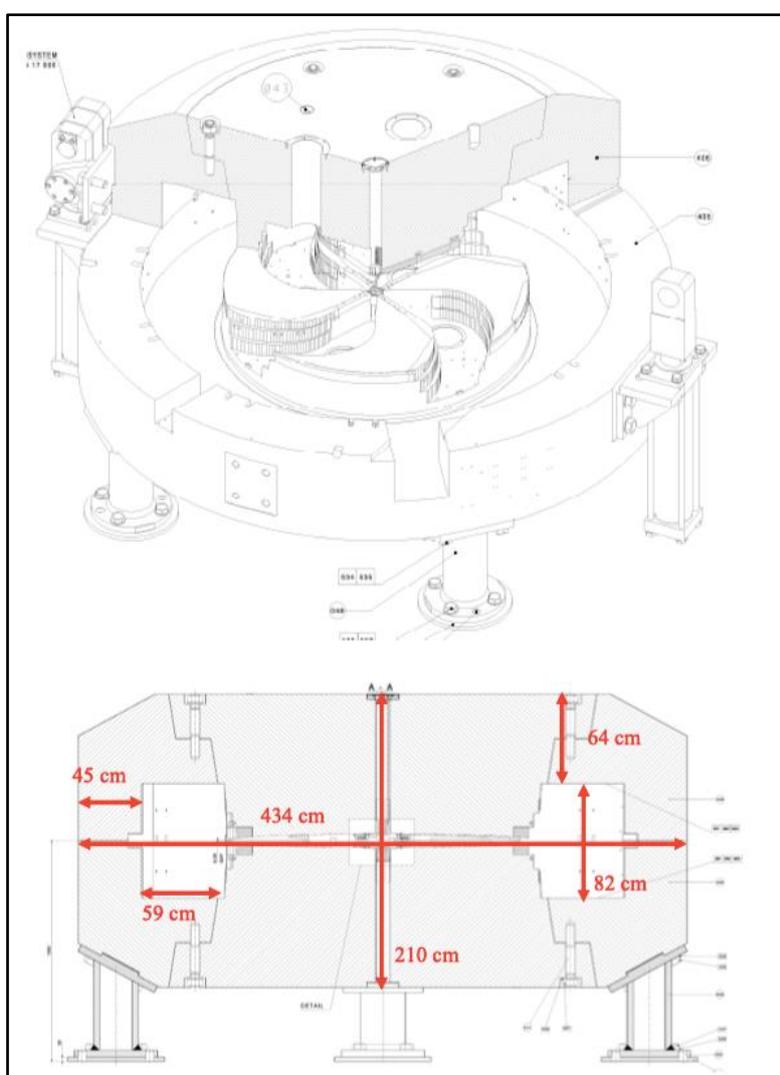


图 3-3 质子治疗系统回旋加速器结构示意图



图 3-4 质子治疗系统回旋加速器实物参考图

3.1.2. 能量选择系统

质子治疗时要根据肿瘤深度和厚度选用不同能量的质子，由于回旋加速器引出的质子能量是固定的，因此需在回旋加速器和治疗室之间设置一个能量选择系统，该系统由降能器、准直器与离子光学用的各种磁铁和测量元件组成，其结构示意图见图 3-5，实物参考图见图 3-6。

(1) 降能器

降能器材质一般为石墨、Be 和 Al，当质子通过降能器时，降能器厚度越大质子能量降低越多，因此使用不同厚度的降能器即可得到不同程度能量的降低。当回旋加速器引出的能量为 230MeV 的质子进入能量选择系统，通过调节降能器的不同厚度，就可以在输出端得到能量为 70~230MeV 之间连续可调的不同能量的质子束流。

降能器是由不同厚度和材质的挡块拼接而成的环状物体，当其在质子束流前旋转时，依据厚度和材质的不同以降低通过的束流的能量大小。挡块从大到小依次排列，挡块 1 和 2 是铍，密度 1.85 g/cm^3 ；挡块 3 到 8 是碳，密度 1.7 g/cm^3 ；挡块 9 是铝，密度 2.7 g/cm^3 。

(2) 准直器

准直器位于降能器后面，目的是阻挡发散的束流。准直器是一个圆柱体，材质是钽，中间有一个 10mm 的圆孔。

(3) 发散狭缝

发散狭缝作用在于进一步阻挡发散的束流，由两组相互垂直的部件组成。发散狭缝包括两组 6cm 厚的镍材质挡块，质子束穿过狭缝时，发散的质子束流将被挡块吸收。

(4) 动量狭缝

动量狭缝仅允许选定能量范围的束流通过，并吸收能量范围外的束流。其形状和材质与发散狭缝接近，但其结构只包含一组狭缝。动量狭缝位于两对偶极子之间，使束流偏向治疗室。

3.1.3. 束流运输系统

束流运输系统用于将加速器产生的质子束流输送到患者治疗部位附近。沿束流运输线管道放置四级磁铁、偏转磁铁、导向磁铁、束流测量设备和真空设备，四级磁铁用于对质子束流进行聚焦，偏转磁铁用于改变束流的方向，导向磁铁用于纠正质子束流在系统安装时产生的偏离。质子治疗系统束流运输系统实物参考图见图 3-7。

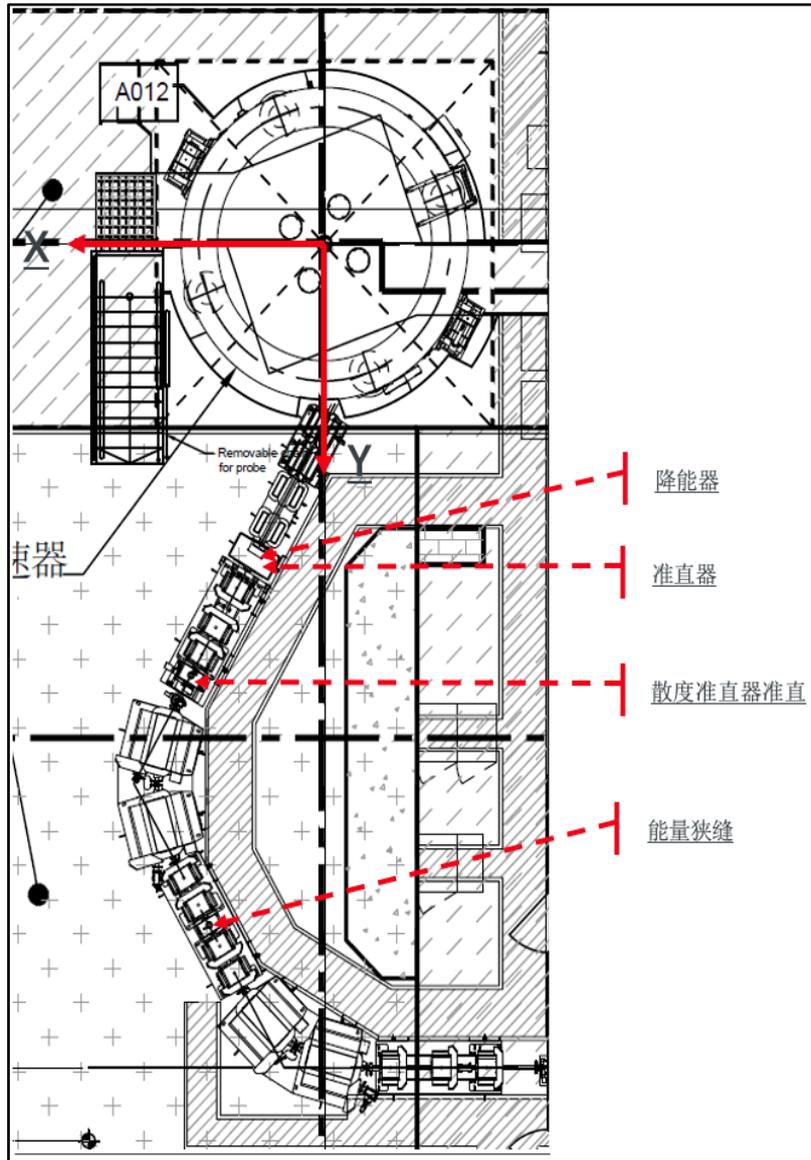


图 3-5 质子治疗系统能量选择系统结构示意图



图 3-6 质子治疗系统能量选择系统实物参考图



图 3-7 质子治疗系统束流运输系统实物参考图

3.1.4. 治疗室终端

质子治疗系统的治疗室终端为 2 间机架治疗室（治疗室 1 和治疗室 2），是治疗患者的场所。旋转机架治疗室内含有旋转机架及旋转治疗头。旋转机架能够环绕卧姿患者进行转动，可实现 360° 旋转。每间治疗室在照射时间上相互错开，即同一时刻只能向一个治疗室提供束流。

（1）机架治疗室

机架治疗室通过机架使质子束流依照同中心旋转，以进行多野不同入射角的照射。在旋转中心的治疗床能进行上下、前后、左右的调节，还能作前后水平和左右水平方向的倾斜，以方便精确地重复患者治疗的体位。旋转机架和机架治疗室实物参考图见图 3-8。

旋转机架是一个巨大的、能够同中心旋转的钢结构，该机架上装有质子束偏转磁铁和聚焦磁铁、真空系统和射线监测器，旋转机架直径约 11 米，重量达 100 吨，可进行 ±185° 旋转，转速可由 0.5 rpm 至 1rpm。机架半径的精度小于 1 毫

米。



图 3-8 质子治疗系统旋转机架和机架治疗室实物参考图

(2) 治疗头

治疗头位于束流运输系统的最末端，根据不同需求和治疗计划，使用不同的治疗模式，准确地将质子束照射到目标肿瘤中。鉴于肿瘤的多样性，需要不同的治疗模式去治疗每个患者，治疗头的设计也会根据不同的治疗模式有所差别。厂家针对散射和扫描治疗模式生产了通用治疗头和专用于笔形束扫描的治疗头，模拟图见图 3-9。本项目质子治疗系统使用的均为笔形束扫描治疗头。

在笔形束模式（PBS）下，质子束可逐层逐点对靶区进行扫描，以精确匹配肿瘤形状。对形状复杂的肿瘤，笔形束扫描也可以精确配置剂量并达到高度适形。相比其他质子治疗方式（双散射与均匀扫描），笔形束扫描减少了治疗过程中患者受到的中子剂量。笔形束扫描模式还可以实现调强质子治疗，即质子束依次扫描肿瘤的一小部分，并调整每一部分质子束的剂量和深度适应肿瘤宽窄不一的轮廓。调强质子治疗与适当的影像设备及治疗方式结合，还可以治疗移动肿瘤。



左图：通用治疗头

右图：笔形束扫描专用治疗头

图 3-9 质子治疗系统治疗头模拟图

(3) 治疗定位系统

每间治疗室内均设有一套治疗定位系统，用于患者治疗前的定位。治疗定位系统由 X 光球管、接收器和高压发生器组成。由高压发生器提供高压电源到球管上，球管发出 X 射线到接收器上形成图像，最后在治疗控制系统内进行图像处理，使其满足放疗中图像使用的要求。

质子治疗系统每间机架治疗室设有 2 个定位 X 射线管，用于从不同角度对患者进行定位。X 射线管在治疗室内的安装位置如图 3-10 所示。医护人员在治疗室外的治疗控制室内操作 X 射线管。

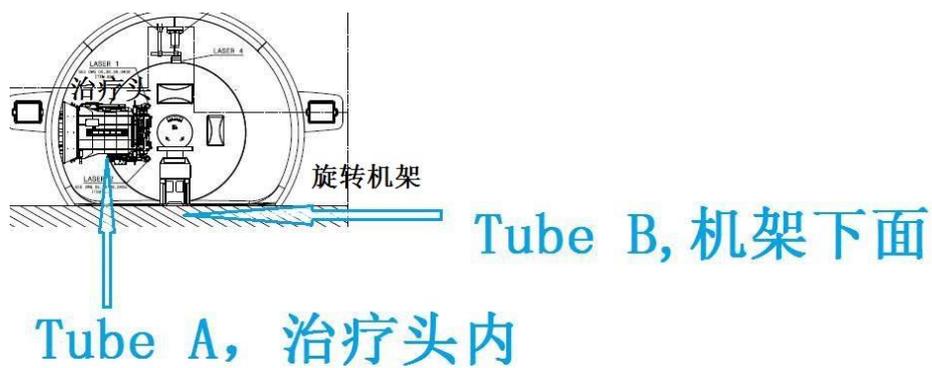


图 3-10 质子治疗系统机架治疗室内 X 射线管安装位置示意图

3.2. 直线加速器工艺设备及工作原理

3.2.1. 装置组成和参数

本项目拟使用的电子直线加速器主要技术参数列于下表，外观示例图见图 3-11。

表 3-2 本项目拟使用电子直线加速器的主要技术参数

射线装置名称	厂家及型号	主要技术参数	数量	工作场所
医用电子直线加速器	待定	X 射线最大能量：10MV， 等中心最大输出剂量率：2400cGy/min； 电子线最大能量：6MeV， 等中心最大输出剂量率：1000MU/m； 最大照射野：25cm×25cm（限光筒）； 有用束最大张角：28°； 源皮距：100cm； 治疗头旋转角度：360°；	2	直线加速器治疗室 1、2
		X 射线最大能量：10MV， 等中心最大输出剂量率：2400cGy/min； 电子线最大能量：9MeV， 等中心最大输出剂量率：1000MU/m； 最大照射野：25cm×25cm（限光筒）； 有用束最大张角：28°； 源皮距：100cm； 治疗头旋转角度：360°；	1	直线加速器治疗室 3
		X 射线最大能量：10MV， 等中心最大输出剂量率：600cGy/min； 电子线最大能量：12MeV， 等中心最大输出剂量率：1000MU/m； 最大照射野：25cm×25cm（限光筒）； 有用束最大张角：28°； 源皮距：100cm； 治疗头旋转角度：360°；	1	直线加速器治疗室 4

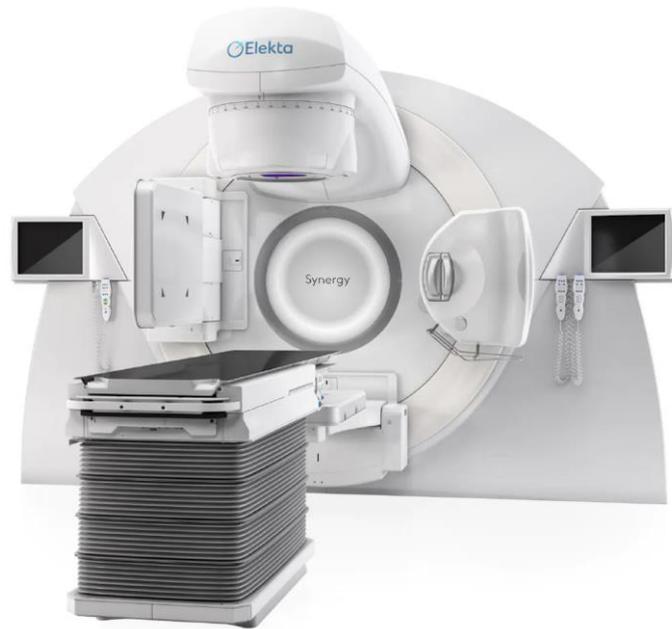


图 3-11 医用电子直线加速器外观示例图

3.2.2. 工作原理

电子直线加速器是产生高能电子束的装置。电子枪发射电子，在由磁控管速调管为功率源的加速管中加速，当达到所需能量时，经散射箔和准直器得治疗电子束。电子束射到金属靶上产生韧致辐射，经准直得到治疗 X 射线。加速器放射治疗的工作方式为：以一个或几个野定向照射，获得计划所需的治疗剂量。常见医用电子直线加速器外观结构示意图如图 3-12 所示。

关于直线加速器的治疗模式分为调强放疗以及普通放疗：

1.调强放疗：调强放疗是一种精确控制放射剂量分布的放疗技术。它利用计算机控制的线性加速器以不同强度的辐射束进行治疗，可以根据肿瘤大小、形状和位置等因素来调整每个治疗区域的辐射剂量。调强放疗可以更精确地照射肿瘤，减少对周围正常组织的损伤并提高治疗效果。

2.普通放疗：普通放疗使用固定强度的辐射束照射肿瘤区域。与调强放疗相比，普通放疗的辐射剂量分布较为均匀，但不能像调强放疗那样精确地控制辐射剂量分布。

因此，调强放疗相对于普通放疗具有以下优势：

（1）更好的剂量分配：调强放疗可以根据肿瘤的形状和位置来调整辐射剂量，使剂量分布更加均匀和精确。

（2）减少对正常组织的损伤：调强放疗可以减少对周围正常组织的辐射损伤，从而降低治疗引起的副作用。

（3）提高治疗效果：由于精确的剂量调整，调强放疗可以更好地控制肿瘤的生长和扩散，并提高治疗效果。

本项目 4 台直线加速器在正常运行过程中均采用调强放疗模式对患者进行治疗。

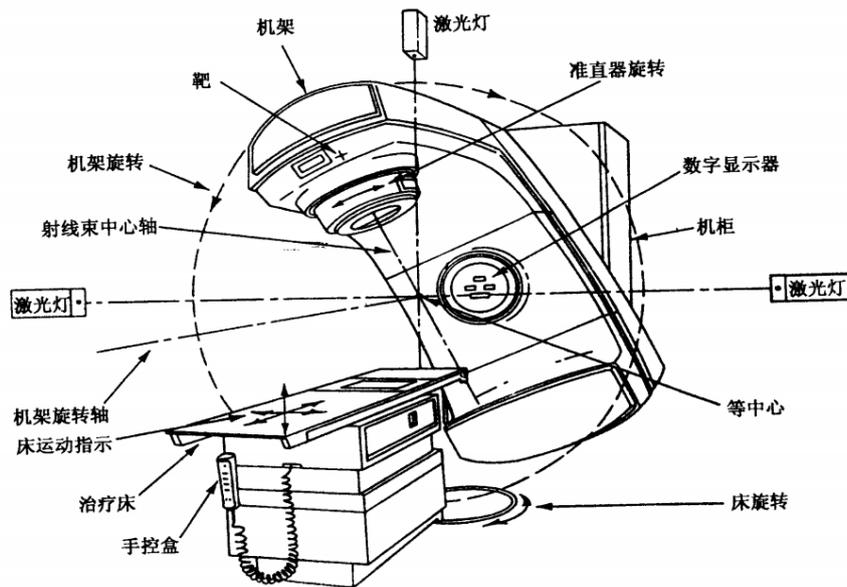


图 3-12 常见医用电子直线加速器外观结构示意图

3.3. 辐射污染源项

质子治疗系统运行过程中产生的辐射场，主要为装置运行时产生的“瞬发辐射场”和装置停机后依然存在的“残余辐射场”。瞬发辐射是装置运行时损失的粒子束流与结构部件和治疗室内患者等发生核反应产生，特点是能量高、辐射强，但会随着装置的停机而完全消失；残余放射性主要来自与装置结构部件、冷却水、

场所内空气等被束流或次级粒子轰击产生的活化产物，在装置停机后依然存在。

电子直线加速器运行期间产生的辐射污染源主要包括初级粒子、次级粒子。

3.4. 主要环境影响及其预测评价结果

(1) 屏蔽体外剂量率控制水平

根据屏蔽计算结果，机房屏蔽墙体外、迷道口的剂量率水平均低于其剂量率控制水平。

(2) 工作人员

经分析计算，本项目各类辐射工作人员的年最大受照剂量均低于其剂量约束值 5mSv/a。

(3) 公众

经分析计算，本项目运行所致周围公众的年最大受照剂量低于其剂量约束值 0.1mSv/a。

3.5. 辐射防护与环境保护措施

3.5.1. 辐射工作场所分区

为便于辐射防护管理和职业照射控制，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的规定，应将辐射工作场所分为控制区和监督区。

(1) 质子治疗装置

对于质子治疗装置辐射工作场所，具体分区如下：

- 1) 控制区：回旋加速器大厅、束流输运线隧道、2 间治疗室；
- 2) 监督区：上述各控制区屏蔽墙体外四周紧邻的场所。

控制区管理要求：控制区入口处明显位置粘贴电离辐射警告标志，门禁列入安全联锁系统。装置运行期间禁止进入，仅经授权并解除联锁后才能进入控制区

内，进入控制区的辐射工作人员必须佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪。

监督区管理要求：监督区入口处设标牌表明监督区，进入监督区的辐射工作人员必须佩戴个人剂量计。

(2) 医用电子直线加速器

本项目 4 间直线加速器辐射工作场所按控制区、监督区进行管理。其中直线加速器治疗室（含迷道）1、2、3、4 为控制区，控制室、水冷机房、门厅及更衣等直线加速器治疗室四周相邻场所为监督区。

控制区管理要求：控制区入口处明显位置粘贴电离辐射警告标志，入口门和装置出束状态联锁，装置运行期间禁止进入。停机后进入控制区的辐射工作人员必须佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪。

监督区管理要求：监督区入口处设标牌表明监督区，边界处设置电离辐射警告标志，防止无关人员进入受到不必要的照射。进入监督区的辐射工作人员必须佩戴个人剂量计。

3.5.2. 辐射屏蔽

3.5.2.1. 设计标准

对于射线装置机房四周墙体、顶板、地板以及防护门，考虑装置运行期间产生的辐射对工作人员和环境的影响，主要依据的设计标准如下：

(1) 年剂量约束值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对照射剂量约束和潜在照射危险约束的防护要求，以职业照射剂量限值的 1/4 即 5mSv/a 作为职业人员的年剂量约束值，以公众照射剂量限值的 1/10 即 0.1mSv/a 作为公众的年剂量约束值。

(2) 屏蔽体外剂量率控制水平

各场所屏蔽体剂量率控制水平按表 1-1 中所列的标准执行。

3.5.2.2. 质子治疗系统屏蔽设计

质子治疗系统的屏蔽设计见下表，辐射屏蔽主材料均为普通混凝土（密度不低于 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ ）。

表 3-3 质子治疗系统屏蔽设计方案

场所名称	位置	墙体屏蔽厚度和材料	周围环境
质子回旋加速器 大厅	东墙	4.5m 厚混凝土	室外
	北墙	2.75m 厚混凝土	治疗室 1
	西墙	迷道从内到外：1.5m+1.0m+1.5m 混凝土	主控室
	南墙	3.0m~4.9m 厚混凝土	走廊、室外绿化
	顶板	3.6m 混凝土	不上人屋面
	底板	1.5m 混凝土	土壤
	门	5cm 聚乙烯	迷道
		普通门	走廊
束流传输隧道	东墙	4.5m~2.6m 厚混凝土	室外
	北墙	迷道从内到外：1.22m+2.44m+1.22m 混 凝土	走廊
	西墙	1.68m 混凝土	治疗室 1、治疗室 2
	南墙	4.9m 混凝土	室外绿化
	顶板	2.05m~3.6m 混凝土	不上人屋面
	底板	1.5m 混凝土	土壤
	门	普通门	走道
治疗室 1	东墙	1.68m 混凝土	束流传输隧道
	北墙	2.15m 混凝土	治疗室 2
	西墙	迷道从内到外：2.0m+1.145m 混凝土	治疗控制室 1、走道
	南墙	2.26m~2.75m 混凝土	回旋加速器大厅
	顶板	3.04m 混凝土	不上人屋面
	底板	1.5m 混凝土	土壤
	门	普通门	走道
治疗室 2	东墙	1.68m 混凝土	束流传输隧道
	北墙	2.8m 混凝土	室外
	西墙	迷道从内到外：2.0m+1.145m 混凝土	治疗控制室 2、走道
	南墙	2.15m 混凝土	治疗室 1
	顶板	3.04m 混凝土	不上人屋面

	底板	1.5m 混凝土	土壤
	门	普通门	走道

3.5.2.3.医用电子直线加速器屏蔽设计

本项目直线加速器治疗室的辐射屏蔽设计方案见表 3-4。辐射屏蔽主材料均为普通混凝土（密度不低于 2.35g/cm³）。

表 3-4 直线加速器治疗室的屏蔽设计及周围环境

机房名称	位置	屏蔽设计	周围环境
直线加速器治疗室 1	南侧	迷道内墙：1.4m 混凝土 迷道外墙：0.8~1.4m 混凝土	控制室、水冷机房
	北侧	侧屏蔽墙：1.4m 混凝土	药物走廊
	西侧	主屏蔽墙：3m 厚、4.6m 宽混凝土 次屏蔽墙：1.5m 混凝土	直线加速器治疗室 2
	东侧	主屏蔽墙：3m 厚、4.6m 宽混凝土 次屏蔽墙：1.5m 混凝土	走道
	顶板	主屏蔽墙：2.8m 厚、4.6m 宽混凝土 次屏蔽墙：1.6m 混凝土	外部空间
	底板	1.7m 混凝土	土层
	防护门	15mm 铅	门厅、更衣、患者走廊
直线加速器治疗室 2	南侧	迷道内墙：1.4m 混凝土 迷道外墙：0.8~1.4m 混凝土	控制室、水冷机房
	北侧	侧屏蔽墙：1.4m 混凝土	药物走廊
	西侧	主屏蔽墙：3m 厚、4.6m 宽混凝土 次屏蔽墙：1.5m 混凝土	直线加速器治疗室 3
	东侧	主屏蔽墙：3m 厚、4.6m 宽混凝土 次屏蔽墙：1.5m 混凝土	直线加速器治疗室 1
	顶板	主屏蔽墙：2.8m 厚、4.6m 宽混凝土 次屏蔽墙：1.6m 混凝土	外部空间
	底板	1.7m 混凝土	土层
	防护门	15mm 铅	门厅、更衣、患者走廊
直线加速器治疗室 3	南侧	迷道内墙：1.4m 混凝土 迷道外墙：0.8~1.4m 混凝土	控制室、水冷机房
	北侧	侧屏蔽墙：1.4m 混凝土	药物走廊
	西侧	主屏蔽墙：3m 厚、4.6m 宽混凝土 次屏蔽墙：1.5m 混凝土	门厅、库房、补风机房

机房名称	位置	屏蔽设计	周围环境
	东侧	主屏蔽墙：3m 厚、4.6m 宽混凝土 次屏蔽墙：1.5m 混凝土	直线加速器治疗室 2
	顶板	主屏蔽墙：2.8m 厚、4.6m 宽混凝土 次屏蔽墙：1.6m 混凝土	外部空间
	底板	1.7m 混凝土	土层
	防护门	15mm 铅	门厅、更衣、患者走廊
直线加速器治疗室 4	南侧	主屏蔽墙：3m 厚、4.6m 宽混凝土 次屏蔽墙：1.5m 混凝土	土层
	北侧	主屏蔽墙：3.89m 厚、4.6m 宽混凝土 次屏蔽墙：1.5m 混凝土	患者走廊
	西侧	迷道内墙：1.3m 混凝土 迷道外墙：0.8~1.4m 混凝土	控制室、水冷机房
	东侧	侧屏蔽墙：1.3m 混凝土	土层
	顶板	主屏蔽墙：2.8m 厚、4.6m 宽混凝土 次屏蔽墙：1.6m 混凝土	外部空间
	底板	1.7m 混凝土	土层
	防护门	15mm 铅	门厅、更衣、医护走廊

3.5.2.4.屏蔽体外剂量率计算结果

对于质子治疗系统,采用目前国内外通用的FLUKA程序进行辐射屏蔽计算,预测结果显示辐射工作场所屏蔽体外剂量率均能满足表 1-1 的要求。

对于医用电子直线加速器,采用《兆伏级 X、 γ 射线放疗设施屏蔽设计和评价》(周启甫,戈立新主编,中国原子能出版社)、NCRP NO.151 号报告及 GBZ 201 系列卫生标准中推荐的计算方法,对直线加速器治疗室辐射屏蔽进行估算,计算结果显示辐射工作场所屏蔽体外剂量率均能满足表 1-1 的要求。

3.5.3. 质子治疗系统辐射安全与防护措施

3.5.3.1. 人身安全联锁系统

3.5.3.1.1. 设计准则

从人员安全和系统安全角度考虑，系统全局的进行人身安全联锁系统设计，选择故障安全型元件设备和控制器，进行冗余和联锁设计，软件上进行系统状态、设备心跳信号实时监测，在保证设备正常工作前提下，系统所有的状态均安全可控，所有状态均反馈给操作人员和最终用户，防止患者、工作人员和公众遭受射线照射、运动部件的碰撞、挤压、电源触电等伤害。具体如下：

(1) 纵深防御：充分考虑并合理设置联锁设施实现对人身辐射安全的多重冗余保护且各重保护措施之间具有相互独立性，不但重要场所进行多重“冗余”设计，整个系统也为“冗余”，一般采用四重冗余安全措施；

(2) 硬件最可靠：重要的位置把最大的信赖寄托在“硬件”上；

(3) 最优切断：联锁系统应尽可能地切断前级控制或是设备最初始的运行功能（如离子源的高压等），更好的保证区域内的辐射安全；

(4) 失效保护设计：关键联锁部件及联锁系统失效时，相应联锁控制区域仍处于安全状态；

(5) 自锁：联锁系统主要环节有自锁功能，即一旦联锁从该处实施切断，现场辐射安全人员必须到现场检查，确保不安全因素已排出后再手动进行“复位”。

为保证控制区内部的人员免受辐射危害，本项目设计了完备的辐射安全联锁系统，严格按“最优切断”、“失效保护”及“冗余设计”等设计原则，通过门-机联锁、紧急停机、声光报警、清场搜索、视频监控等安全设施，确保当某一区域有束流时，该区域的门无法打开，工作人员不能进入该区域；当设备某一区域有人时，束流也不能被传输到该区域。防止人员误操作，保障工作人员和公众的人身安全。

3.5.3.1.2. 系统结构和功能

1) 安装直接控制离子源的“离子源电子单元”，凡是由测量剂量的“游离室电子单元”传来超剂量信号或由量程调制器电子单元传来的错误调制量程信号等都能在几十微秒时间内切断离子源，确保安全；

2) 安全联锁系统是一个专用的全部用硬件连接的系统，将质子治疗建筑、设备和单元部件中一切关键的与辐射安全有关的联锁信号（如离子源供电电源、束流线上的束流闸、旋转机架和患者定位系统的马达、治疗室和加速器大厅门开关等）彼此串联成一个“安全锁链”。当其中任何一个安全联锁条件不成立时，对应联锁接点就会打开，断开此安全链，切断质子束流。安全锁链控制的功能主要如下：

①切断离子源供电电源，阻止在加速器中产生质子；

②切断加速器高频调制器，停止质子加速，这是阻止切断质子产生的冗余措施；

③关闭能量选择系统入口处的束流闸，阻止束流通过；

④关闭能量选择系统出口处的束流闸，阻止束流通过；

⑤关闭治疗室入口处的束流闸，若安全条件不满足，即阻止束流进入治疗室；

⑥关闭治疗室的马达、旋转机架的转动，若安全条件不能满足，即阻止一切机械动作。

3) 质子治疗装置的治疗控制系统中设有由 PLC（可编程逻辑控制器）控制的安全控制单元，其中控制加速器区的安全系统可编程逻辑控制器为 SRCU0，治疗室的安全系统可编程逻辑控制器为 SRCU1~4。各区域的硬安全联锁信号都接入各自 SRCU，形成一个软安全联锁系统。SRCU 既是硬安全联锁系统的一个冗余安全系统，又能对所有硬安全联锁信号状态进行监测和显示；

4) 除硬安全联锁和软 SRCU 安全联锁系统外，系统本身还设有一个安全应用程序，一旦上述多重安全联锁都失效时，该程序能立即切断质子束流。

3.5.3.1.3. 系统组成

质子治疗系统的人身安全联锁系统主要由钥匙控制、门磁系统、清场搜索按钮、急停按钮、声光报警器等组成，安全联锁设施具体点位见图 3-13 和图 3-14。

3.5.3.1.3.1. 钥匙控制

(1) 加速器大厅

回旋加速器主控室设有一个控制面板，控制面板上设有四个按钮，包括一个“beam pause”按钮、一个急停按钮、一个带主控钥匙的转换开关，一个用于切换“ACU service mode”的控制元件（该元件用于将加速器状态切换至维修状态，在该状态下，加速器无法出束）。

主控钥匙转换开关有“ON”和“OFF”两种转换状态，用于控制束流的开启和停止。当因工作需要进入加速器大厅时，通过将该主控钥匙旋转至“OFF”，使得加速器停机，束流切断。在加速器大厅内的工作完成后，加速器主控室的工作人员确认所有安全联锁条件均成立时，通过主控制钥匙旋转到“ON”的状态，使得加速器开机出束。主控制钥匙未归位时，各辐射区均无法出束。

(2) 治疗室

每间治疗室的控制室均设有一个控制面板，控制面板上设有三个按钮，包括一个紧急停止按钮、一个允许出束按钮以及一个用于控制治疗定位系统的按钮。

3.5.3.1.3.2. 门磁系统

门磁系统设置在加速器大厅和各治疗室出入口处，用于控制加速器的束流输出，其中加速器大厅的门磁系统包括：

(1) 门禁卡：人员进入加速器大厅内需刷门禁卡。

(2) 门限位开关：门限位开关的作用是保证防护门一旦离开固有位置则会自动启动联锁系统，切断装置出束。主要是迷宫门与质子加速器离子源高压联锁，保证在门打开的瞬间断开主电源，切断 LLRF 以及灯丝电源，切断束流以保证进入人员的安全。

3.5.3.1.3.3. 清场搜索按钮

清场搜索是在开机前执行一套特定的安全搜索程序完成清场和建立联锁，联锁完成信号作为开机的必要前提条件之一，从而确保在开机前无人员滞留在里面。清场搜索按钮分布于加速器大厅、束流输运隧道和各治疗室内部四周沿途一定距离、一定高度的墙壁上。

每个搜索子区设搜索时间窗限制和搜索顺序，超出搜索时间或违反搜索顺序需重新进行清场。清场搜索共分为加速器大厅区域（含加速器区及束流输运隧道区）以及 2 间治疗室共计 3 个区域，每个区域的清场搜索系统是相互独立的。其中加速器大厅区域又分为束流输运隧道区（子区 1）和加速器区（子区 2）共 2 个子区；每间治疗室分为机架基坑区（子区 1）和治疗区（子区 2）共 2 个子区。每个子区也是相互独立的。

加速器区域和治疗区域的清场搜索逻辑如图 3-15 所示，具体流程如下：

每天首次治疗开始前，由当天现场负责的工作人员在规定的时间内按照规定的路线，对质子治疗区清场搜索。通常的清场搜索顺序为：加速器大厅区域（子区 1→子区 2，即巡检 1→巡检 6），治疗室 1 和治疗室 2（子区 1→子区 2，即巡检 1→巡检 3）。工作人员确定该被搜索区域无除治疗室内患者以外的人员停留后按下“清场搜索按钮”，当清场搜索按钮被按下后时，该区的声光报警装置发出声、光报警信号，提醒人员离开该区域。通常加速器大厅区域在每次开机前进行一次清场搜索；各治疗室治疗区则在每次治疗前进行一次清场搜索。任一子区的清场状态被破坏（如门打开或清场搜索按钮未按下），都需要对该子区重新进行清场。

只有当清场搜索完成、质子治疗系统所有区域的联锁门都已处于关闭状态、医生工作台束流控制设备处于允许状态，质子治疗系统才满足供束条件。

清场人员确认所有清场搜索按钮全部按下后，并将主控钥匙插回主控室的控制台上，此时安全联锁系统会给加速器控制系统发送允许开机的信号。

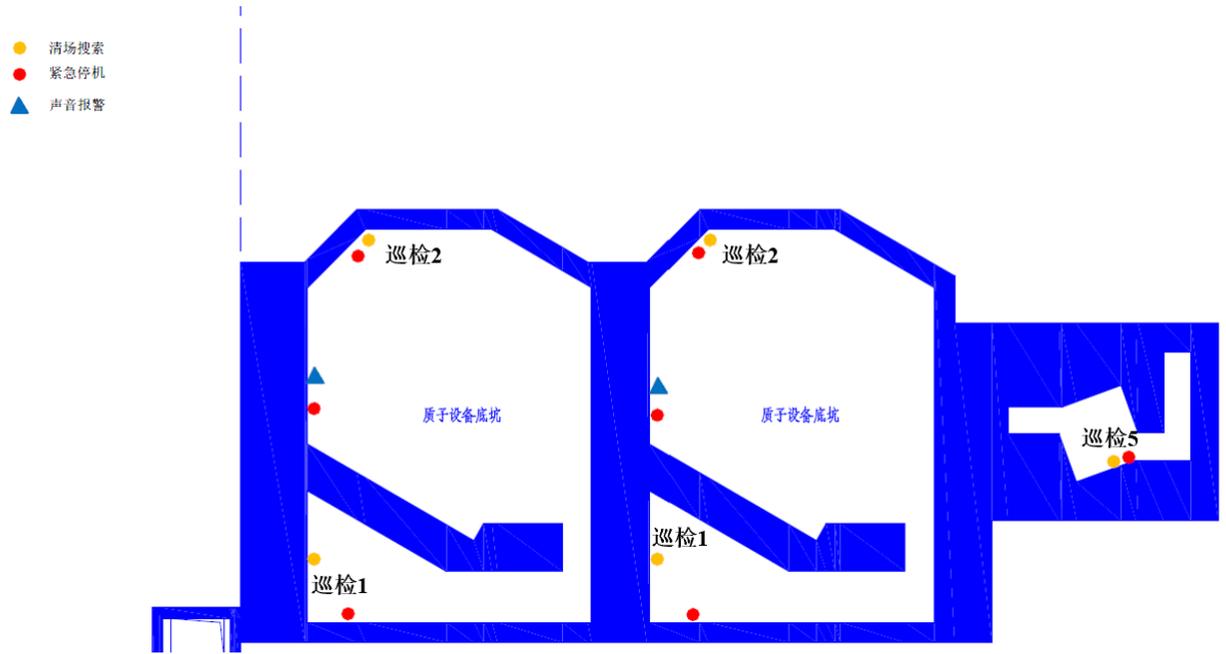


图 3-14 地下一层安全联锁设备分布示意图

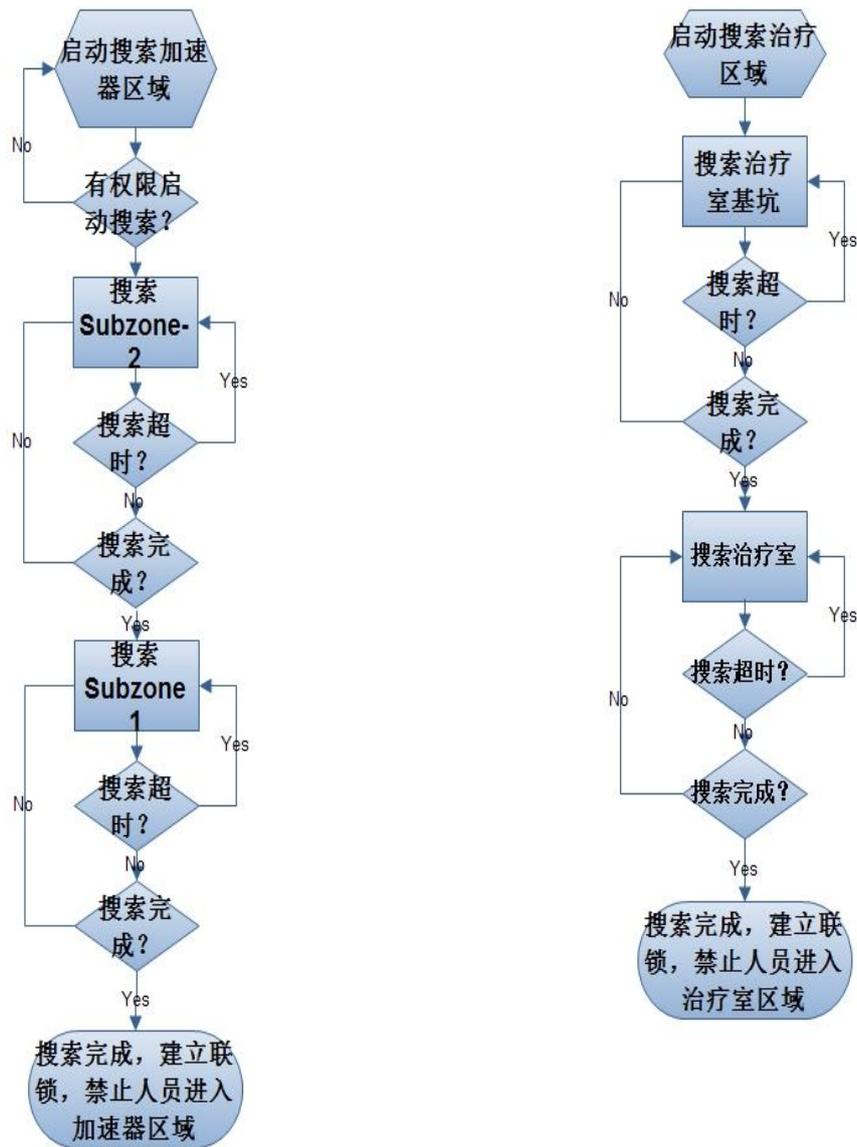


图 3-15 质子治疗系统清场搜索逻辑图

3.5.3.1.3.4. 紧急停机按钮

加速器大厅、各治疗室以及这些区域的控制室内均安装若干各紧急停机按钮，如图 3-13 和图 3-14 所示。若装置开机后仍有人员滞留在这些区域内，可就近按下该区域出口处的紧急停机按钮切断加速器运行。待确认控制区内无工作人员并将急停按钮复位后可重新开机操作。正常的流程是：在手动按下急停按钮后，进行事故确认，待排除事故后，手动拔出上述急停按钮，然后按下相应区域的 TSS 系统 PLC 机柜上的复位确认按钮，重启相应质子设备。

3.5.3.1.3.5. 紧急开门

加速器大厅入口门内、束流输运线末端门内、治疗室入口门内均设置了紧急开门按钮。当遇到意外情况，可随时按动紧急开门按钮，打开防护门，切断束流。

3.5.3.1.3.6. 束流监控装置

(1) 束流闸

质子治疗系统在由能量选择系统引出至各治疗室的分支束线上设有束流闸，束流闸按照“失效保护”的原则设计，其材质为铝或铜。只有当安全联锁逻辑中所有条件都成立时，束流闸方可打开，束流方可进入下游区域。安全联锁逻辑中任意条件被破坏，束流闸均不能打开。束流闸安装点位如图 3-16 所示。

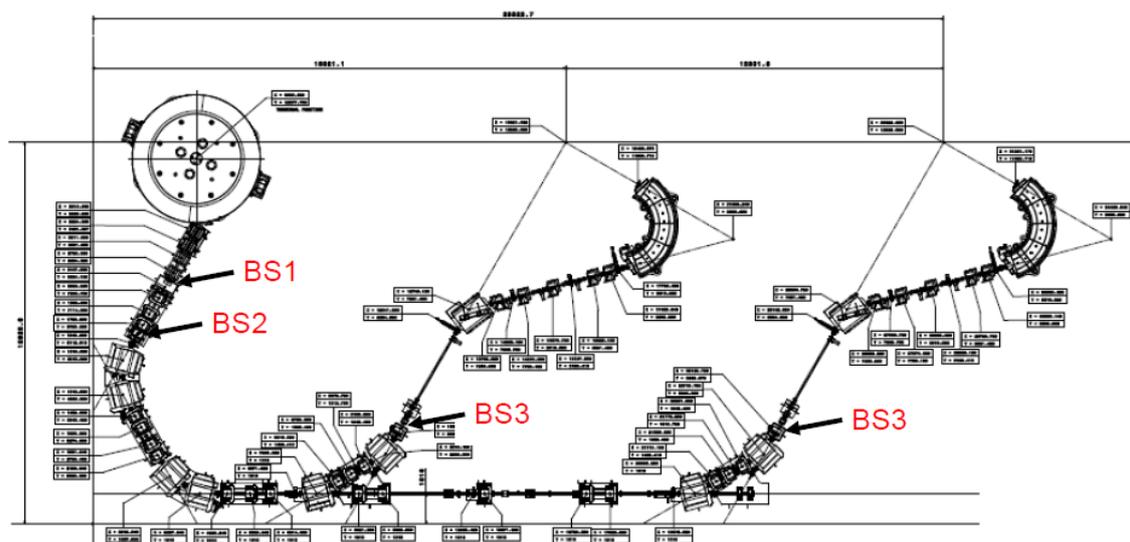


图 3-16 质子治疗系统束流闸安装点位示意图

(2) 束流监测

质子治疗系统在其输运线和治疗室的治疗头内均设置了束流监测系统，监测设备都由人身安全联锁系统监控，一旦监测到不应该出现束流之处有束流，会立刻中断束流。

(3) 束流安全设备

束流安全设备包括离子源、束流注入引出控制磁铁、束流降速降能控制器、主环上的磁铁、高能束流线束流切断系统快二极铁、高能束流线法拉第杯、分支

线弯转磁铁、分支线束流闸，分布于整个装置的束流沿线。定位安全设备包括定位机械转臂、旋转支架、射线终端可移动喷嘴。

束流安全设备处于启动状态时，束流将通过这些安全设备。当束流安全设备处于停止状态时，束流将无法通过该安全设备。定位安全设备处于启动状态时，治疗师通过患者资料，操作定位系统，定位患者肿瘤位置。当定位安全设备处于停止状态时，定位系统处于停止状态，治疗师无法操作。

因此，通过控制这些安全设备的启停状态可以控制束流的分布区域以及定位系统的开关状态。辐射安全连锁系统对是否允许安全设备工作进行控制。如果连锁系统不允许安全设备工作，则安全设备处于停止状态。如果连锁系统允许安全设备工作，则由束流和定位安全控制系统对安全设备的启停进行控制。

3.5.3.1.3.7. 状态指示和声光报警

(1) 状态指示

质子回旋加速器大厅、束流运输隧道入口和内部四周沿途一定距离处以及各治疗室入口处，安装有束流状态指示灯。

(2) 声光报警

质子回旋加速器大厅、束流运输隧道、2 间治疗室均设置了声光报警装置。

3.5.3.1.3.8. 摄像头和对讲装置

在加速器厅和各个治疗室内布置必要的摄像监视装置，根据场地面积和结构要求尽可能覆盖所有区域，尽量无死角。

每间治疗室内设置双向患者监测对讲系统，即在治疗室内设语音激活或连续接通的对讲机，控制室的控制台上设有对讲按钮，确保治疗期间，控制室内的医护人员可通过该对讲按钮与治疗室内的患者进行实时交流。

3.5.3.1.4. 安全连锁逻辑

质子治疗系统安全连锁系统逻辑图见图 3-17，系统允许开机的逻辑图见图 3-18。

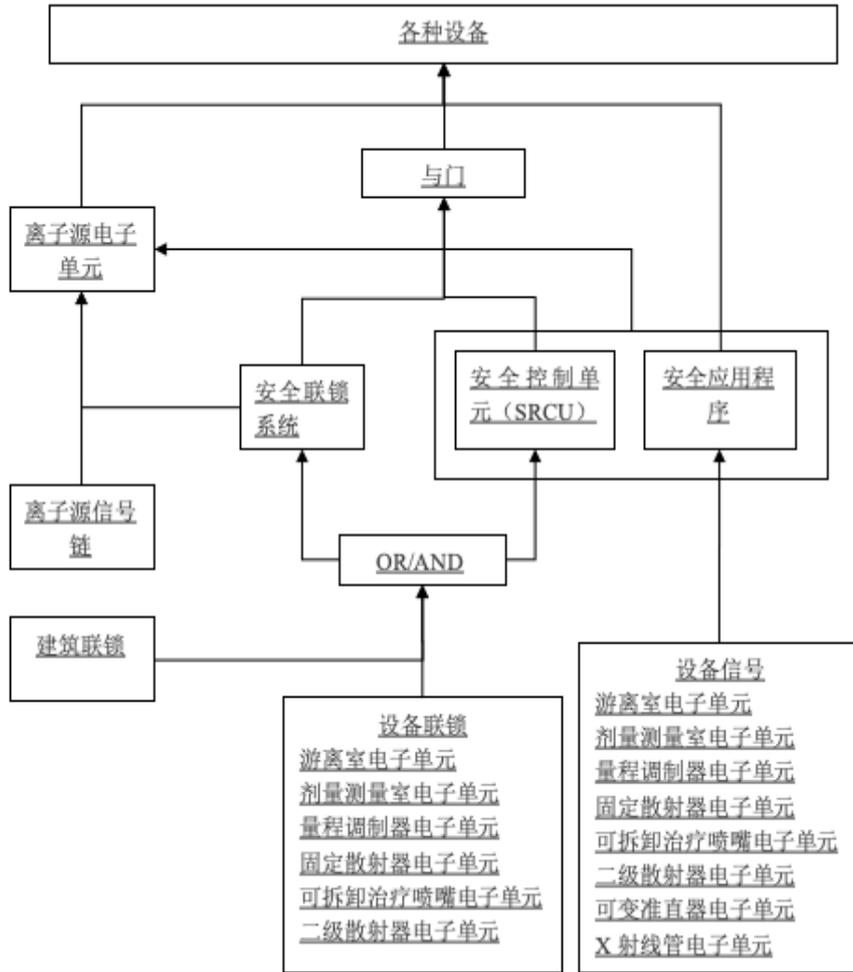


图 3-17 质子治疗系统安全联锁逻辑图

允许开机出束的逻辑如下：

- (1) 加速器大厅和需要使用的治疗室内清场搜索按钮按一定顺序全部按下；
- (2) 加速器大厅和需要使用的治疗室内的急停按钮全部复位；
- (3) 加速器大厅控制室内钥匙面板上的主控钥匙全部归位并旋转至“ON”。
- (4) 控制区出入口的门全部处于关闭状态；
- (5) 获得治疗室内医生发出的允许开机的指令。

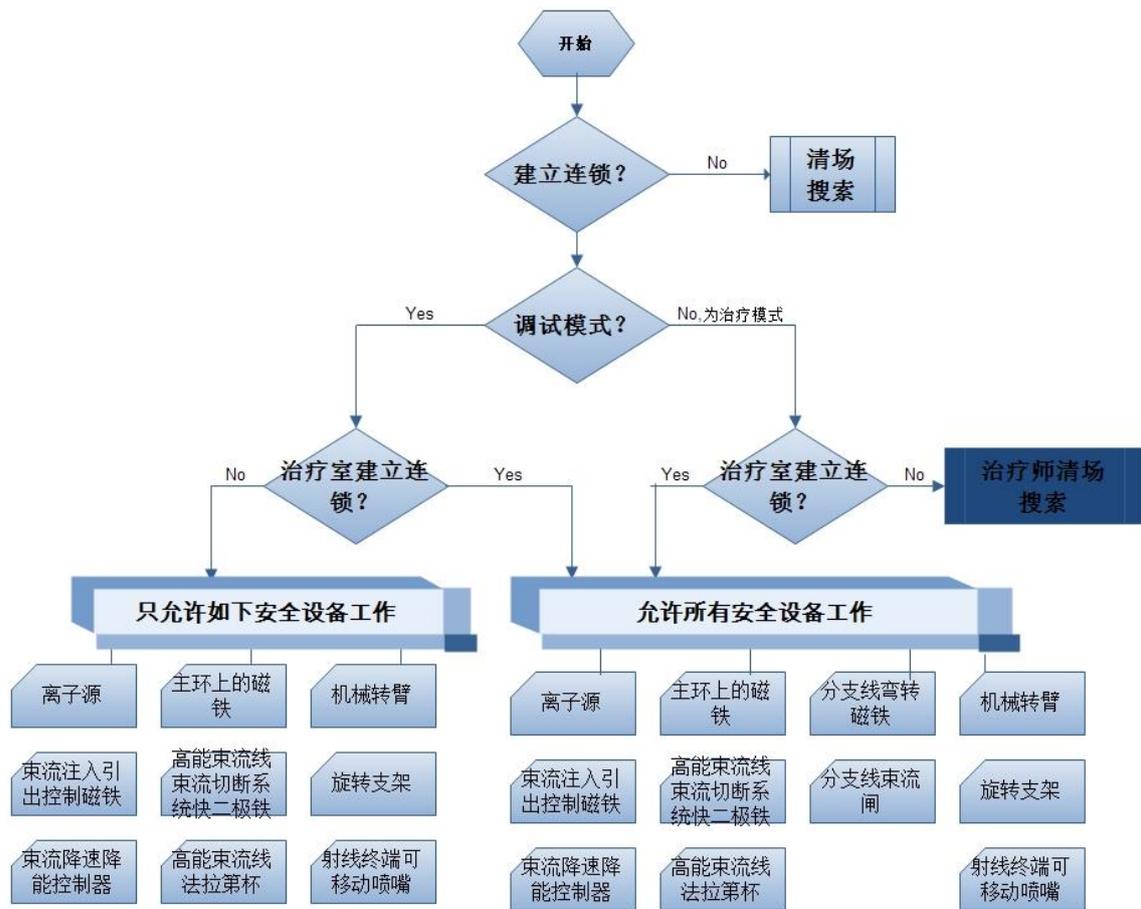


图 3-18 质子治疗系统允许开机的逻辑图

3.5.3.2.通风系统

质子治疗系统的回旋加速器及束流输运区、各治疗室均设计了通风系统。各治疗室换气次数均大于 4 次/h，符合 GBZ 121-2020 的相关要求。质子治疗各区域的感生放射性气体通过排风系统统一通过屋顶总排风口排放到室外，正常运行情况下不会对室内人员造成明显的辐射影响。

3.5.4.医用电子直线加速器辐射安全与防护措施

3.5.4.1.设备安全功能

控制台显示辐射类型、标称能量、照射时间、吸收剂量、吸收剂量率、治疗方式、楔形过滤器类型及规格等照射参数预选值。照射启动与控制台显示的照射参数预选值联锁，控制台选择各类照射参数之前，不得启动照射。控制台配置带

有时间显示的照射控制计时器，并独立于其他任何控制照射终止系统。当照射中断或终止后，应保留计时器计数，应将计时器复零后，才能启动下一次照射。使用计算机控制系统的加速器软件和硬件控制程序应加密，未经允许不得存取或修改；用于监视联锁或作为测量线路、控制线路一部分的计算机一旦发生故障，即停止照射。

3.5.4.2. 钥匙控制

控制台设专用钥匙控制。只有通过专用钥匙才能使加速器出束。钥匙由专人保管，工作人员离开控制室进入机房时，拔下专用钥匙随身携带，以防止他人误操作。

3.5.4.3. 联锁系统

机房设置多重联锁装置，以保证人员和设备安全，防止意外事故。

(1) 门机联锁

采用电动手动一体化防护门，与设备启动电路实行门机联锁方式，即防护门未关闭前，加速器无法启动。

(2) 系统联锁

当出现控制台计算机故障、加速管真空故障等情况时，设备会自动出现系统联锁，无法出束。

3.5.4.4. 紧急开门按钮

在防护门内侧墙上安装 1 个紧急开门按钮，并有明显标志。当遇到意外情况，可随时按动紧急开门按钮，打开防护门，切断设备高压，停止出束。

3.5.4.5. 急停按钮

急停按钮安装在每间加速器机房的控制室内的控制台上（1 个）、治疗床两侧（2 个）、直线加速器机身（1 个）、机房四周墙壁上（4 个）和迷道内（1 个），

并有明显标志。当遇到意外情况，可不必穿越主束随时按动急停开关，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。

3.5.4.6.视频监控对讲系统

机房内和迷道安装视频监控，安装点位确保能看到整个治疗机房（含迷道）的全景，以便在治疗过程中能够随时观察患者状况。此外，也可以观察治疗机房是否有人员滞留。治疗室与控制室之间设对讲设备，便于工作人员与患者之间进行交流。

3.5.4.7.警告标志及工作状态指示

机房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，不同颜色显示和加速器运行状态关联。

3.5.4.8.固定式辐射剂量监测仪

机房迷道内安装带有报警功能的固定式 γ 辐射监测仪，每间机房设1台，用于监测机房内的辐射水平并在控制室内显示，安装点位具体见图3-20。

3.5.4.9.其他

- 1) 每个机房分别配置2台个人剂量报警仪，工作人员进入机房时佩戴个人剂量报警仪，一旦超出设定的剂量率阈值，会发出警告。
- 2) 电动防护门具有防夹人功能，停电时能够手动开启，使患者安全转移。
- 3) 治疗室安装应急照明装置，设火灾自动报警装置等。

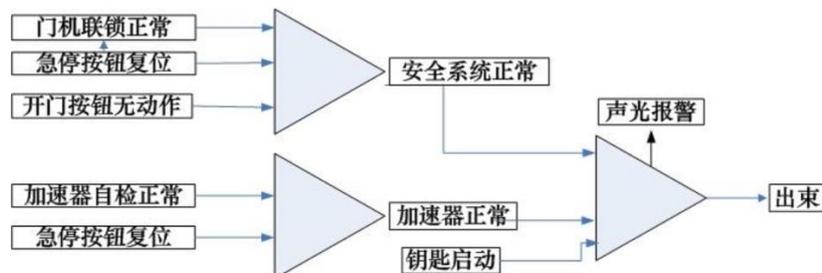


图 3-19 加速器安全联锁逻辑图

加速器机房拟采取的安全与防护设施设计方案见表 3-5，辐射安全与防护设施点位示例图如图 3-20 所示（4 间直线加速器治疗室均按示例图布置）。

表 3-5 每间直线加速器治疗室的安全与防护设施情况表

序号	项目	内容	本项目	备注
1	A 控制台及安全联锁	防止非工作人员误操作的锁定开关	√	控制台钥匙控制
2		控制台有紧急停机按钮	√	控制室控制台上 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		治疗室内准备出束声音提示	√	蜂鸣音
6	B 警告标志	入口电离辐射警告标志	√	设置在防护门外
7		入口有加速器工作状态显示灯	√	设置在防护门外
8	C 照射室紧急设施	紧急开门按钮	√	防护门内侧墙上 1 个
9		紧急照明或独立通道照明系统	√	1 套
10		治疗室内有紧急停机按钮	√	墙壁 4 个，迷道 1 个
11		治疗床有紧急停机按钮	√	两侧各 1 个
12	D 监测设备	治疗室内有固定式剂量率仪	√	1 台固定式 γ 剂量率仪
13		便携式辐射监测仪器仪表	√	1 台便携式 X- γ 剂量率仪
14		个人剂量报警仪	√	2 台个人剂量报警仪（每间治疗室）
15		个人剂量计	√	1 支/人
16	E 其他	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	√	设有通风系统，换气次数 7 次/h（直线加速器治疗室 1、2、3），4 次/h（直线加速器治疗室 4）
18		火灾报警仪	√	治疗室内房顶设火灾报警器
19		灭火器材	√	——

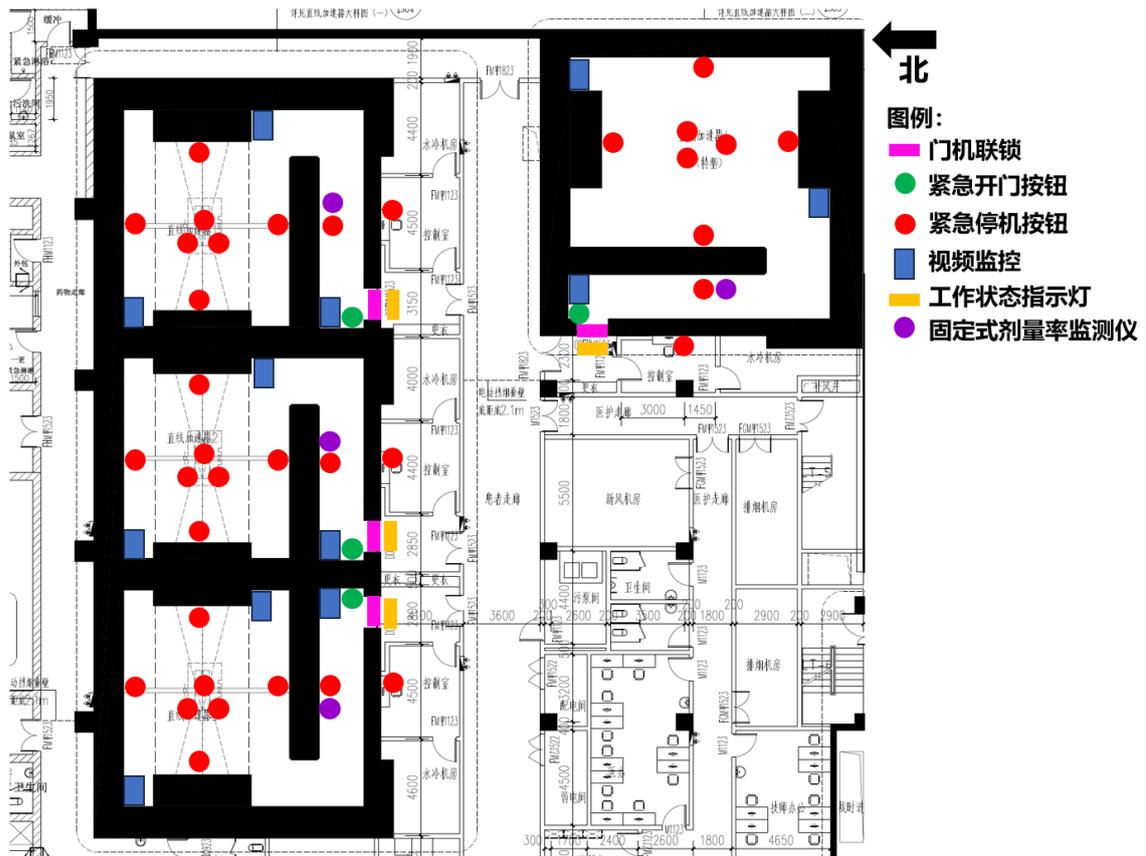


图 3-20 直线加速器辐射安全与防护设施点位示例图

3.5.5. 工作场所辐射监测

本项目射线装置使用场所屏蔽体外人员长居留场所以及周围环境均安装有固定式辐射监测仪表，用于监测上述场所内部和屏蔽体外的辐射水平，监测数据实时显示，以验证屏蔽措施的可靠性，防止辐射泄漏，保证工作人员和公众的安全。

3.5.6. 放射性三废处理

(1) 放射性废气

质子治疗系统运行产生的气态感生放射性核素均为短半衰期核素，经过一段时间后可自行衰变至较低水平。现有的通风系统设计能够治疗机房内的空气感生放射性核素的浓度均低于各自的导出空气浓度。

质子治疗机房的治疗室和设备区均设有排风管道，装置运行过程中产生的感

生放射性气体由各区域屋面排入环境。考虑到其排入大气后的扩散和稀释，其对环境的影响很小。

(2) 放射性废液

本项目产生的放射性废液主要是活化的冷却水。质子治疗系统所用冷却水为去离子水，去离子水在使用过程中，由于 ^{16}O 散裂反应可能形成的放射性核素除 ^7Be 、 ^3H 外，其余核素的半衰期都很短，放置一段时间就基本可以衰变。

质子治疗系统使用场所设有冷却水暂存设施，用于暂存排出的活化冷却水。冷却水排放前需委托有资质的单位对其进行取样分析，满足相关排放标准要求后，方可作为一般废水排放。

(3) 放射性固体废物

质子治疗系统的常规操作期间不会产生放射性固体废物。参照国外同类型质子治疗系统的运行经验，其产生的主要放射性固体废物为维护维修环节更换下来的一些易损易活化的结构部件。这些放射性固体废物的主要材料是钢、碳和镍。停机后对活化结构部件剂量率贡献较大的主要是 ^{54}Mn 、 ^{51}Cr 、 ^{52}Mn 、 ^{57}Co 和 ^{58}Co 等半衰期较长的核素。

医院根据放射性固体废物的贮存情况进行集中处理，处理前需对其活度或活度浓度进行分析：

1) 对于满足豁免标准的：

①可回收利用的部件，回收后复用。

②不能回收利用的部件，经审管部门认可后，豁免后按一般废物处理；

2) 对于不满足豁免标准的，委托有资质单位处理。

医院需对每次放射性固体废物的处理情况进行记录并存档，具体记录内容包括每次处理的固体废物名称种类、废物量、剂量率监测结果以及最终去向等。

3.6. 风险防范措施及应急预案

本项目可能发生的事故包括质子治疗系统运行期间安全连锁系统失效、人员误入治疗机房内部或工作人员在机房内工作期间设备出束造成的误照射事故和冷却水泄漏事故。

质子治疗系统设有安全连锁系统，确保治疗机房内部有束流时，房间门无法打开，人员不能进入房间内部；当上述房间内部有人时，束流也不能被传输到房间内部。能够保证工作人员的安全。

此外，建设单位正在建立一系列辐射安全管理制度，包括《操作规程》、《人员培训计划》、《辐射防护与安全保卫制度》等。放射工作人员需加强专业知识学习，加强辐射安全与防护培训，严格遵守操作规程和规章制度。管理人员应强化管理，落实安全责任制，经常督促检查。建设单位将成立事故应急管理小组并制定了《辐射事故应急预案》，规定了事故上报、应急处理、应急装备保障等方面的内容。确保在发生辐射事故时，能有序、迅速地采取正确的处理措施，缓解事故后果，控制辐射事故的发展，将事故对人员、财产和环境的损失减少到最低限度。

3.7. 建设项目对环境影响的经济损益分析结果

建设单位通过引进世界领先的质子治疗系统，有利于推广和普及质子治疗技术；同时培育造就一支高素质的创新型研究队伍，提升国家整体创新能力和国际竞争力，提高我国高端医疗设备研发以及生产的国际地位，满足呼和浩特市及周边地区的恶性肿瘤精准高端治疗的需求。

本项目在创造很大的经济效益和社会效益的同时，也要付出一定的代价：少量的瞬发辐射穿过屏蔽体进入周围环境，工作人员和周围公众受到少量的辐射照射；少量的放射性气体进入大气环境；每年将有少量的放射性固体废物产生等。根据前面章节的分析，项目运行期间对环境的影响均低于国家标准中规定的限值，其影响都是可以接受的。

因此，本项目的经济效益、社会效益和环境效益能够得到很好的统一。

3.8. 建设单位拟采取的辐射监测计划和安全管理

3.8.1. 辐射监测计划

本项目辐射监测总体包括环境监测、工作场所监测和个人剂量监测。环境监测采用固定式在线区域辐射监测和巡测相结合的方式；工作场所监测采用固定式在线区域辐射监测和巡测相结合的方式；个人剂量监测采取累积式个人剂量监测计监测为主，个人剂量报警仪为辅的方式进行。

3.8.1.1. 环境监测

本项目环境监测包括采用便携辐射监测仪表进行连巡测、固定在线辐射监测和环境介质取样分析三种方式。环境监测每年至少进行一次，监测数据记录存档。

辐射环境监测计划包括在本项目建筑墙体外周围环境采用便携式仪表巡测和固定式仪表监测外照射剂量率，环境介质取样分析委托有资质的单位进行，主要对建筑墙体外周围环境介质样品（主要是土壤）进行取样分析，频次至少为一年一次。

3.8.1.2. 工作场所监测

本项目工作场所监测采用安装固定式监测仪表和便携式监测仪表相结合的方式。每年至少进行一次，监测数据记录存档。

辐射工作场所监测计划采用固定式仪表和便携式仪表监测外照射剂量率（包括 γ 辐射剂量率和中子剂量当量率）。

3.8.1.3. 个人剂量监测

本项目辐射工作人员个人剂量监测采取累积式个人剂量计监测为主，个人剂量报警仪为辅的方式进行。质子治疗机房配备的个人剂量计和个人剂量报警仪均需具有监测 X- γ 和中子的功能。

个人剂量计用于对放射性工作人员和相关医护人员的常规个人剂量监测，医

院为每名放射性工作人员配备了个人剂量计，进入辐射工作场所必须佩戴个人剂量计，委托有资质的单位监测，监测周期不超过三个月。发现个人剂量监测结果异常的，应立即核实和调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。

个人剂量报警仪用于工作人员在治疗机房等控制区内部工作时使用，报警仪能够实时显示工作人员该次工作的受照剂量和场所的剂量率水平，能够进行实施剂量预警。医院安排专人负责个人剂量监测的管理，为进入控制区内工作的人员建立档案，每次在控制区内的工作结束后，由辐射安全专职管理人员负责回收个人剂量报警仪，并记录工作人员的工作时间和该次工作期间的受照剂量，统一汇总在该工作人员个人剂量档案中。

此外，医院对放射工作人员进行健康体检，两次体检的时间间隔不超过 2 年。

3.8.2. 辐射安全管理

(1) 辐射安全管理机构

医院已设置专门的辐射安全管理领导小组，组长由医院党委书记担任，全面负责辐射防护和安全管理的领导工作；小组成员由后勤部、规划建设部、保卫部、放射治疗科、医学工程部、核医学科等部门领导和工作人员组成，具体承担辐射防护和安全管理的日常工作。本项目建成后，由该领导小组负责本项目相关的辐射安全和管理的工作。

(2) 辐射工作人员管理

本项目的辐射工作人员主要为辐射防护负责人、从事放射治疗的医生、物理师、技师等。

建设单位制定了辐射工作人员培训计划，新从事辐射活动人员以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，必须通过生态环境部培训平台报名参加辐射安全与防护考核，考核合格后，方可上岗。

(3) 辐射安全管理制度

为加强辐射安全管理，按照《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》等法规的要求，医院目前已建立一系列辐射安全管理制度，医院计划还将补充、完善质子治疗相关的操作流程、应急预案等制度，使其满足本项目辐射安全管理要求。

4. 环境影响评价结论

北京大学肿瘤医院内蒙古医院质子临床研究中心/内蒙古自治区质子中心项目的建设符合国家相关的法律规定和国家产业政策。建设项目目的明确、理由正当，同时具备了技术、人员和经费等条件。

环境影响预测结果表明，本项目运行时对周围环境的影响满足我国法规标准的要求。本项目在认真落实本报告书中的各项污染防治措施和管理措施后，将具备从事本次申请的核技术利用活动的技术能力和辐射安全防护能力，项目建成投入运行后对环境的影响符合环境保护的要求，故从环境保护角度考虑，本项目的建设是可行的。

5. 联系方式

(1) 建设单位

建设单位名称：北京大学肿瘤医院内蒙古医院/内蒙古医科大学附属肿瘤医院

联系地址：内蒙古自治区呼和浩特市赛罕区昭乌达路 42 号

建设单位联系人：杜工

建设单位联系电话：0471-3381924

E-mail: proton1016@163.com

(2) 环评单位

环评机构名称：中国原子能科学研究院

环评机构地址：北京市房山区新镇北坊

环评机构联系人：杨工

环评机构联系方式：010-69359909

E-mail: 2924999185@qq.com

邮编：102413