

徐州中固新城医院管理有限公司

徐州质子重离子医院新增医用射线装置及核医学应用项目

环境影响报告书

(第二次信息公开文本)

徐州中固新城医院管理有限公司

二零二一年十二月

说明

中国原子能科学研究院受徐州中固新城医院管理有限公司委托开展“徐州质子重离子医院新增医用射线装置及核医学应用项目”的环境影响评价。根据国家及本市法规及规定，并经徐州中固新城医院管理有限公司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.....	3
1.4	产业政策符合性分析.....	4
1.5	编制依据.....	4
1.5.1	法律法规.....	4
1.5.2	技术导则和标准.....	5
1.5.3	其他文件和资料.....	7
1.6	评价标准.....	7
1.6.1	剂量限值和剂量约束值.....	7
1.6.2	辐射工作场所屏蔽体外剂量率控制水平.....	8
1.6.3	工作场所表明污染控制水平.....	9
1.6.4	放射性废物排放限值.....	9
1.6.5	其它标准.....	11
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	建设项目环境影响预测及拟采取的主要措施和效果.....	17
2.1	装置组成与工作原理.....	17

2.1.1	质子重离子治疗系统.....	17
2.1.2	Ⅱ、Ⅲ类射线装置.....	21
2.1.3	核素制备.....	24
2.1.4	核医学.....	26
2.2	辐射污染源.....	29
2.3	主要环境影响及其预测评价结果.....	30
2.4	辐射防护与环境保护措施.....	31
2.4.1	辐射工作场所分区.....	31
2.4.2	辐射屏蔽.....	32
2.4.3	辐射安全连锁系统.....	33
2.4.4	工作场所辐射监测.....	34
2.4.5	放射性三废处理.....	34
2.5	风险防范措施及应急预案.....	37
2.6	建设项目对环境影响的经济损益分析结果.....	37
2.7	建设单位拟采取的辐射监测计划和安全管理的.....	38
2.7.1	辐射监测计划.....	38
2.7.2	辐射安全管理.....	39
3	环境影响评价结论.....	40
4	联系方式.....	41

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，质子重离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，质子重离子治疗显示出较大的优势：精确度高、治愈率高、副作用小。

徐州市是淮海经济区中心城市，现有户籍人口 1026 多万，辐射人口四省接壤地区近 20 个地市、147 个县近 1.2 亿。伴随着人口老龄化的趋势，肿瘤诊疗的需求将持续增长。目前，徐州地区及周边，乃至中国的质子重离子治疗中心非常缺乏，为顺应放疗“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，顺应徐州及周边地区肿瘤患者高端治疗的迫切需求，通过引进世界领先的质子重离子治疗装备，分担公立医院的在解决区域内常见肿瘤、疑难危急疾病的任务，满足徐州及周边地区的恶性肿瘤精准高端治疗的需求。

项目建成后，将大大提高徐州市在医疗临床研究和应用方面的科技实力，带动徐州市整体医疗水平的提升，使徐州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徐州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徐州市云龙区，汉源大道东侧、市奥体中心以南、市中心医院新城区分院西北侧。本项目的地理位置见图 1-1，本项目周边环境见图 1-2，重离子中心位于院区的西南区，东侧为门诊大楼，西侧为院外道路、城市绿化带和汉源大道，南侧为张屯河和峨眉路，北侧为院区内景观用地。



图 1-1 本项目地理位置图



图 1-2 本项目周边关系图

1.3 建设内容

本项目拟在徐州质子重离子医院内建设重离子中心,开展放射治疗相关工作,包括质子重离子治疗区和放疗中心,以及放射性药物制备场所和核医学影像诊断场所。其中,质子重离子治疗区拟使用 1 套质子重离子治疗系统(I 类射线装置)、2 台模拟定位 CT (III类射线装置);放疗中心拟使用 2 台电子直线加速器、1 台螺旋断层治疗装置(以下简称 TOMO)共 3 台 II 类射线装置,1 台模拟定位 CT、1 台 CT 共 2 台 III 类射线装置;放射性药物制备区拟使用 1 台制备 PET 放射性药物的回旋加速器(II 类射线装置),设 1 个乙级非密封源工作场所;核医学区拟使用 1 台 PET/CT 和 1 台 SPECT/CT (III类射线装置),设 1 个乙级非密封源工作场所。

1.4 产业政策符合性分析

本项目属于《产业结构调整指导目录》（2019年本）中“鼓励类”中第六条第6项——同位素、加速器及辐照应用技术开发、第十三条第5项——高端放射治疗设备建设以及第三十七条第5项——医疗卫生服务设施建设的范畴。因此，本项目建设符合国家相关产业政策。

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。2017年国务院印发《“十三五”卫生与健康规划》中确定的工作任务中就包括加强重大疾病防治，建立专业公共卫生机构、综合性医院和专科医院、基层医疗卫生机构“三位一体”的防控机制。2017年国务院办公厅印发的《中国防治慢性病中长期规划(2017—2025年)》中将降低重大慢性病过早死亡率作为核心目标，提出到2020年和2025年，力争30-70岁人群因心脑血管疾病、癌症、慢性呼吸系统疾病和糖尿病导致的过早死亡率分别较2015年降低10%和20%。

本项目为以质子重离子为特色的专科医院，项目的建设有利于提高淮海经济区肿瘤医院的医疗能力和水平，因此，本项目的建设与国家医疗卫生事业相关规划是相符的。

1.5 编制依据

1.5.1 法律法规

(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 22 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 7 号, 2019 年 8 月 22 日第三次修正版);

(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》(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》(2019 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)。

1.5.2 技术导则和标准

(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) 《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021);
- (4) 《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021);
- (5) 《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021);
- (6) 《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》(GB/T 14583-1993);
- (7) 《水中总 α 放射性的测定 厚源法》(HJ898-2017);
- (8) 《水中总 β 放射性的测定 厚源法》(HJ899-2017);
- (9) 《高纯锗 γ 能谱分析通用方法》(GB/T11713-2015);
- (10) 《电离辐射工作场所监测的一般规定》(EJ 381-1989);
- (11) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ 128-2019);
- (12) 《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);
- (13) 《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);
- (14) 《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);
- (15) 《电子加速器放射治疗防护要求》(GBZ126-2011);
- (16) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020);
- (17) 《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020);
- (18) 《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020);
- (19) 《放射性废物管理规定》(GB14500-2002);
- (20) 《医用放射性废物的卫生防护管理》(GBZ133-2009);
- (21) 《工作场所有害因素职业接触限值化学有害因素》(GBZ2.1-2019);

(22)《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005);

(23)《大气污染物综合排放标准》((江苏省地方标准)(DB32/4041-2021)。

1.5.3 其他文件和资料

(1)《徐州医院粒子治疗系统辐射防护设计报告》，2021年10月；

(2)建设单位提供的与本项目相关的管理制度和技术资料；

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

(4) NCRP. Report NO.151. Structural shielding Design and Evaluation for Megavoltage X-and Gamma- Ray Radiotherapy facilities. NCRP,2005;

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

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

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)照射剂量约束和潜在照射危险约束的防护要求, 剂量约束值通常应在公众照射剂量限值的10%-30%范围之内。同时, 参考《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)和《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2020):

本次评价从事放射治疗和核医学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 3 部分: γ 射线源放射治疗机房》(GBZ/T201.3-2014)、《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)、《临床核医学放射卫生标准》(GBZ120-2006)、《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)、《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)、《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)中的相关规定以及《徐州医院粒子治疗系统辐射防护设计报告》中的相关内容, 本项目各辐射工作场所屏蔽体外剂量率控制水平见表 1-1。

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	居留因子 $T \geq 1/2$	≤ 2.5
	防护门外、机房顶	居留因子 $T < 1/2$	≤ 10
	机房底板外	机房底板外表面与土壤交界处*	$\leq 5 \times 10^3$
直线加速器机房、TOMO 机房、射波刀机房和后装治疗机房的四周屏蔽墙、机房顶和防护门外, 以及核素制备区和核医学科工作场所控制区周围墙体、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 工作场所表明污染控制水平

本项目核医学科表面污染控制水平执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的有关规定，见表 1-2。

表 1-2 核医学科工作场所的表面放射性物质污染控制水平（Bq/cm²）

表面类型		β放射性物质
工作台、设备、墙壁、地面	控制区	4×10^1
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	4
	监督区	
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10^{-1}

1.6.4 放射性废物排放限值

1.6.4.1 放射性废水

本项目产生的放射性废水主要来自质子重离子治疗系统、核素制备以及核医学科。

上述放射性废水排放前需进行取样监测，满足《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）“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（列于表 1-3），方可排放。

表 1-3 《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）中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

项目	排放标准, Bq/L
总β	10

此外，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的相关规定，满足下列条件的低放废液方可直接排入流量大于 10 倍排放量的普通下水道：

(1) 每月排放的总活度不超过 $10ALI_{min}$;

(2) 每次排放的活度不超过 $1ALI_{min}$, 并且每次排放后不少于 3 倍排放量的水进行冲洗。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中的方法, 本次评价计算了质子重离子治疗系统、核素制备及核医学科排放的放射性废水中相关核素的单次排放限值 $1ALI_{min}$ 和单月排放限值 $10ALI_{min}$, 列于表 1-4。

表 1-4 质子重离子治疗系统产生的放射性废水中相关核素排放限值

核素	单次排放限值 $1ALI_{min}$, Bq	单月排放限值 $10ALI_{min}$, Bq
3H	1.11×10^9	1.11×10^{10}
7Be	4.65×10^8	4.65×10^9

1.6.4.2 放射性废物

本项目运行期间产生的放射性固体废物主要来自质子重离子治疗系统、核素制备以及核医学科。

质子重离子治疗系统放射性固体废物的清洁解控参照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 附录 A 中 A2.1 的规定“任何时间段内在进行实践的场所存在的给定核素的总活度或在实践中使用的给定核素的活度浓度不超过表 A1 所给出的或审管部门所规定的豁免水平”, 放射性核素的豁免活度浓度和活度列于表 1-5。

表 1-5 质子重离子治疗系统活化靶件中放射性核素的豁免活度浓度与豁免活度

核素	活度浓度, Bq/g	活度, Bq	核素	活度浓度, Bq/g	活度, Bq
3H	$1E+06$	$1E+09$	^{56}Mn	$1E+01$	$1E+05$
7Be	$1E+03$	$1E+07$	^{52}Fe	$1E+01$	$1E+06$
^{35}S	$1E+05$	$1E+08$	^{55}Fe	$1E+04$	$1E+06$
^{37}Ar	$1E+06$	$1E+08$	^{59}Fe	$1E+01$	$1E+06$
^{42}K	$1E+02$	$1E+06$	^{55}Co	$1E+01$	$1E+06$
^{43}K	$1E+01$	$1E+06$	^{56}Co	$1E+01$	$1E+05$
^{45}Ca	$1E+04$	$1E+07$	^{57}Co	$1E+02$	$1E+06$
^{47}Ca	$1E+01$	$1E+06$	^{58}Co	$1E+01$	$1E+06$
^{46}Sc	$1E+01$	$1E+06$	^{60}Co	$1E+01$	$1E+05$

⁴⁷ Sc	1E+02	1E+06	⁶¹ Co	1E+02	1E+06
⁴⁸ Sc	1E+01	1E+05	⁵⁹ Ni	1E+04	1E+08
⁴⁸ V	1E+01	1E+05	⁶³ Ni	1E+05	1E+08
⁵¹ Cr	1E+03	1E+07	⁶⁵ Ni	1E+01	1E+06
⁵² Mn	1E+01	1E+05	⁶⁴ Cu	1E+02	1E+06
⁵⁴ Mn	1E+01	1E+06	⁶⁵ Zn	1E+01	1E+06

核素制备及核医学科固体放射性废物处理依据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）第 7.2.3 要求执行，即：

固体放射性废物暂存时间满足下列要求的，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理：所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天。

不能解控的放射性固体废物送交有资质的单位处理，放射性废物包装体外的表面剂量率应不超过 $0.1\text{mSv}/\text{h}$ ，表面污染水平对 β 和 γ 发射体以及低毒性 α 发射体应小于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。

1.6.4.3 放射性废气

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求，核素制备、核医学科操作放射性药物所用的通风柜，应设计单独的排风系统，并在密闭设备的顶壁安装活性炭或其他过滤装置，其排风速率按不小于 $0.5\text{m}/\text{s}$ 执行。

排气口高度按高于本建筑屋脊、并安装专用过滤，尽可能远离邻近的高层建筑。

1.6.5 其它标准

1.6.5.1 机房面积、单边长度

电子直线加速器机房、TOMO 机房以及 CT 机房的面积、单边长度执行标准列于表 1-6。

表 1-6 机房面积、单边长度执行标准

机房名称	机房面积	单边长度	执行标准
电子直线加速器机房、TOMO 机房	不小于 45m ²	—	《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011)
CT 机房 (包括模拟定位 CT 机、SPECT-CT、PET-CT)	不小于 30m ²	4.5m	《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)

1.6.5.2 CT 机房的辐射屏蔽

根据《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)中的相关要求,本项目 CT 机房的墙体屏蔽按“2.5mm 铅当量”执行。

1.6.5.3 O₃ 和 NO_x 排放标准

本项目 NO_x 排放限值执行江苏省地方标准《大气污染物综合排放标准》(DB32/4041-2021)表 1 中氮氧化物(以 NO₂ 计)“其他”有组织排放限值,室内 O₃ 和 NO_x 浓度限值参照执行《工作场所有害因素职业接触限值化学有害因素》(GBZ2.1-2019)中工作场所空气中化学物质容许浓度限值,具体标准值见表 1-7。

表 1-7 O₃ 和 NO₂ 排放标准

污染物	排放标准	室内浓度限值	
	最高允许排放浓度, mg/m ³	最高容许浓度, mg/m ³	时间加权平均容许浓度, mg/m ³
O ₃	—	0.3	—
NO ₂	100	—	5

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

子重离子治疗系统为 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重离子治疗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，参照（HJ10.1-2016）的要求，并考虑到设备自身特点及其辐射污染源种类和大小，质子重离子治疗系统的电离辐射环境影响评价范围取机房四周实体屏蔽墙向外 100m 的范围，其余 II 类射线装置取机房四周实体屏蔽墙向外 50m 的范围，核素制备区及核医学科依据乙级非密封性放射性物质工作场所的评价范围，取其工作场所四周墙体周围 50m 范围，具体见图 1-3。

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，具体列于表 1-8。

表 1-8 本项目辐射环境影响评价范围内环境保护目标

辐射工作场所	方位	周围环境情况	与项目边界距离, m	照射类型	规模	照射途径	评价标准
质子重离子治疗系统（地下一层）	北侧	核医学、回旋加速器区	0~35	公众照射	20 人	瞬发辐射	0.1 mSv/a
		土壤层	35~100	——	——	——	——
	东侧	治疗控制室、MR 机房及设备间	0~15	职业照射、公众照射	10	瞬发辐射	职业：5 mSv/a； 公众：0.1 mSv/a
		门诊楼地下一层停车库、设备机房	15~100	公众照射	流动人群	瞬发辐射	0.1 mSv/a
	南侧	门诊楼地下一层非机动车停车库、设备机房	0~40	公众照射	流动人群	瞬发辐射	0.1 mSv/a

		土壤层	40~100	——	——	——	——
	西侧	土壤层	紧邻	——	——	——	——
	地板	土壤层	紧邻	——	——	——	——
质子重离子治疗系统 (地上部分)	北侧	院区内道路、景观用地	0~100	公众照射	50人	瞬发辐射、感生放射性气体	0.1 mSv/a
	东侧	院内道路、门诊大楼、院外道路	0~90	公众照射	1000人	瞬发辐射、感生放射性气体	0.1 mSv/a
		院外道路	90~100	公众照射	流动人群	瞬发辐射、感生放射性气体	0.1 mSv/a
	南侧	院内道路	0~50	公众照射	流动人群	瞬发辐射、感生放射性气体	0.1 mSv/a
		张屯河、峨眉路	50~100	公众照射	流动人群	瞬发辐射、感生放射性气体	0.1 mSv/a
	西侧	城市绿化带、汉源大道	0~100	公众照射	流动人群	瞬发辐射、感生放射性气体	0.1 mSv/a
核医学	北侧	控制室、医护走廊、回旋加速器机房及合成热室	0~15	职业照射、公众照射	10人	瞬发辐射	0.1 mSv/a
		土壤层	15~50	——	——	——	——
	东侧	门诊办公室、定位CT、机房、直加、TOMO	0~50	公众照射	20人	瞬发辐射	0.1 mSv/a
	南侧	质子重离子治疗室及控制室、MR、定位CT、机房、车库	0~50	公众照射	20人	瞬发辐射	0.1 mSv/a
	西侧	机房、走廊、污水处理池	0~13	公众照射	5人	瞬发辐射	0.1 mSv/a
		土壤层	13~50	——	——	——	——
	顶板、地板	土壤层	0~50	——	——	——	——
核素制备(回旋加速器)区	北侧	土壤层	0~50	——	——	——	——
	东侧	走廊、TOMO、直加机房、餐厅	0~50	公众照射	5人	瞬发辐射	0.1 mSv/a
	南侧	走廊、核医学、	0~50	公众照射	20人	瞬发辐射	0.1 mSv/a

		质子重离子治疗室及控制室、定位 CT、机房、车库		射			
	西侧	调节池	0~10	公众照射	检修期间 2 人	瞬发辐射	0.1 mSv/a
		土壤层	10~50	——	——	——	——
	顶板、地板	土壤层	0~50	——	——	——	——
TOMO 机房	北侧	土壤层	0~50	——	——	——	——
	东侧	直加机房、办公室、机房、餐厅	0~50	公众照射	20 人	瞬发辐射	0.1 mSv/a
	南侧	控制室、走廊、定位 CT、机房、办公室、车库	0~50	职业照射、公众照射	20 人	瞬发辐射	职业：5 mSv/a； 公众：0.1 mSv/a
	西侧	走廊、核素制备区、质子重离子治疗室及控制室、核医学。	0~50	公众照射	10 人	瞬发辐射	0.1 mSv/a
	顶板、地板	土壤层	0~50	——	——	——	——
直加机房(2 台)	北侧	土壤层	0~50	——	——	——	——
	东侧	机房、走廊、餐厅、办公室	0~50	公众照射	10	瞬发辐射	0.1 mSv/a
	南侧	控制室、走廊、定位 CT、机房、办公室、车库	0~50	职业照射、公众照射	20 人	瞬发辐射	职业：5 mSv/a； 公众：0.1 mSv/a
	西侧	TOMO 机房、走廊、核素制备区、核医学、质子重离子治疗室及控制室。	0~50	公众照射	10	瞬发辐射	0.1 mSv/a

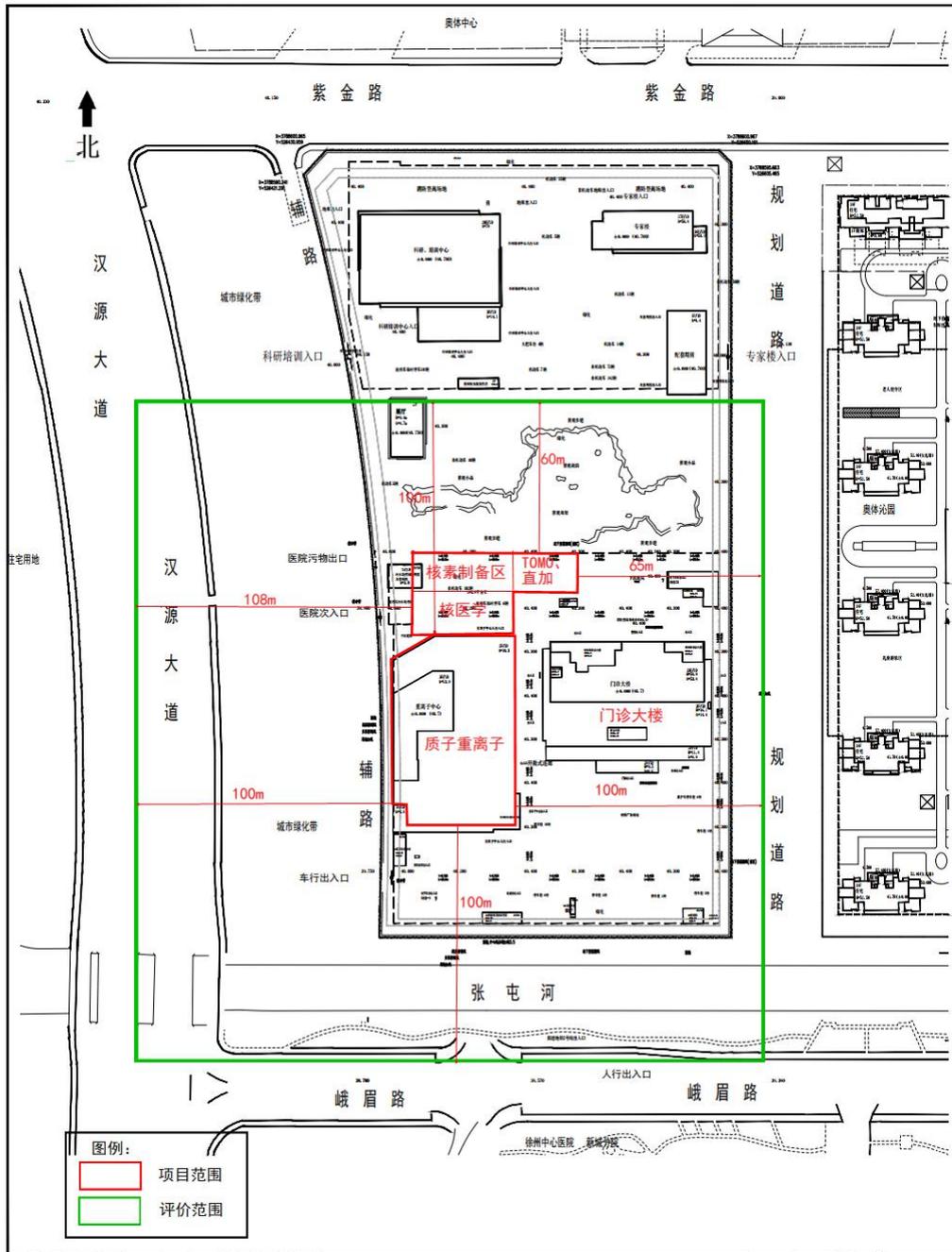


图 1-3 本项目评价电离辐射评价范围及四至关系图

2 建设项目环境影响预测及拟采取的主要措施和效果

2.1 装置组成与工作原理

2.1.1 质子重离子治疗系统

本项目拟配置一套由日立制作所制造的质子碳离子治疗装置。该装置主要由质子入射系统（包括离子源和直线加速器）、碳离子入射系统（包含离子源和直线加速器）、质子碳离子同步加速器、高能束流线、1间质子旋转机架治疗室、2间碳离子固定束治疗室（照射方向：水平+垂直），1间碳离子固定束治疗室（照射方向：水平+45度）构成。本项目质子重离子治疗装置组成见图 2-1。

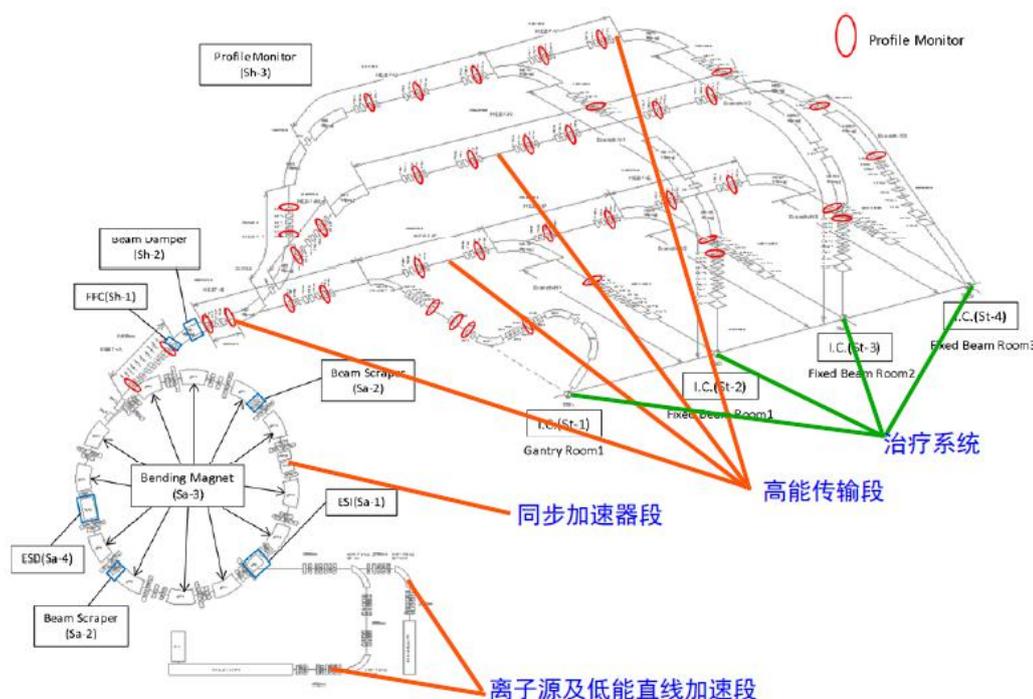


图 2-1 本项目质子重离子治疗装置系统构成

(1) 入射系统

质子重离子治疗装置由独立的质子入射系统和碳离子入射系统两部分组成，其中质子入射系统由离子源、直线加速器以及相应配套系统构成，其主要部件见表 2-1，示意图见图 2-2，碳离子入射系统除离子源不同外其它部件同质子相似，其主要部件见表 2-2，示意图见图 2-3。

表 2-1 质子入射系统

部件类型	功能
离子源	微波 H ⁺ 离子源产生注入 RFQ 的 30 KeV 质子束流。
射频四极加速腔 (RFQ)	采用 425 MHz 的 RFQ 将离子源提供的 30 keV 的质子加速至 3.5 MeV。质子束流根据 RFQ 的运行周期形成组 (脉冲)。
射频电源	电源按照为 RFQ 供电专门设计, 因此采用模块式高频电源。
真空泵	离子源和 RFQ 在运行和待机模式中必须处于真空状态。因此注入器配有真空泵系统。泵系统由涡轮分子泵和旋转泵组成。
冷却系统	冷却系统提供冷水, 以使 RFQ、离子源以及射频电源面板保持恒温。该冷却系统由闭环系统 (由建筑物冷却水源提供的二级系统冷却) 组成。
控制系统	离子源和 RFQ 系统由基于 PC 的 LINAC 控制系统进行监视和控制。

表 2-2 碳离子入射系统

部件类型	功能
离子源	ECR 型 C ⁴⁺ 离子源产生 10keV 碳离子束流(C ⁴⁺)注入 RFQ。
低能束流传输	低能量束流传输系统将低能量碳离子束流从离子源传输至 RFQ, 并调节束流情况以满足 RFQ 的要求。
RFQ 射频四极加速腔	离子源产生的 10 keV 的碳离子束流被一个 200MHz 的 RFQ 加速至 0.6MeV/u。碳离子束流依照 RFQ 的运行周期形成聚束 (脉冲)。
漂移管 (DTL) 直线加速器	DTL 将 0.6MeV/u 的碳离子束加速至 4MeV/u。加速后的束流被注入同步加速器。
射频电源	电源按照为 RFQ 供电专门设计, 因此采用模块式高频电源。
真空泵	离子源和 RFQ 在运行和待机模式时必须处于真空状态。为此, 注入器配有一套真空泵系统。真空泵系统由一个涡轮分子泵和一个旋转泵组成。
冷却系统	冷却系统提供冷水, 以使 RFQ、离子源以及射频电源面板保持恒温。该冷却系统由闭环系统 (由建筑物冷却水源提供的二级系统冷却) 组成。
控制系统	离子源和 RFQ 系统由基于 PC 的 LINAC 控制系统监视和控制。



图 2-2 质子入射系统现场图（名古屋质子中心）

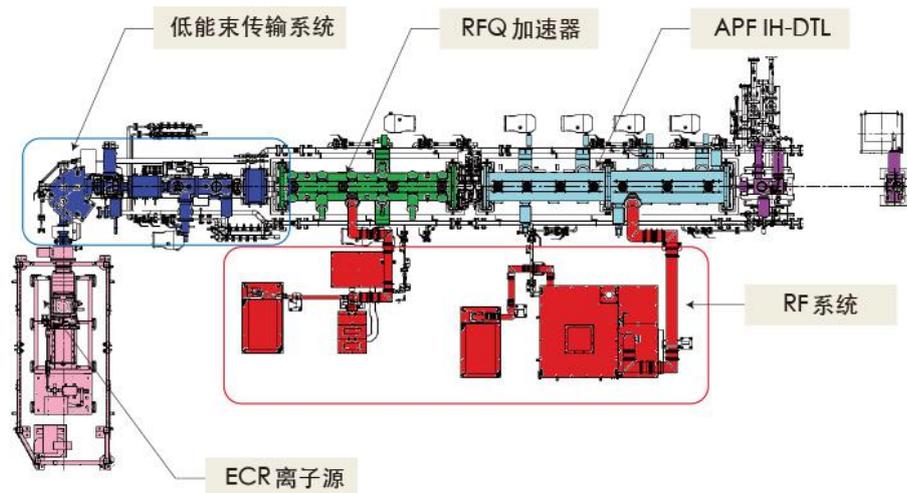


图 2-3 碳离子入射系统示意图

(2) 同步加速器

同步加速器主要功能是将来自注入器的 4.0MeV/u 碳离子或 3.5MeV 质子分别加速至治疗所需的能量，其中碳离子束流可加速至 $140\text{MeV/u}\sim 430\text{MeV/u}$ ，质子束流可加速至 $70\text{MeV}\sim 230\text{MeV}$ ，并采用慢引出方式从同步加速器引出，传输至高能束流输运线。

同步加速器为模块式设计，周长为 56m，主要由静电注入偏转器（ESI）、刮束器（SCRIP）、静电引出偏转器（ESD）和弯转磁铁组成，实物具体见图 2-4。



图 2-4 同步加速器实物图（大阪重离子设施）

（3）束流运输系统

质子重离子治疗装置的束流运输系统由 3 部分组成，即：

1) 低能束流运输系统（LEBT）

低能束流运输系统是指从离子源到直线加速器之间的束流运输段，其主要功能是将 H^+ 和 C^{4+} 从离子源传输至加速腔（RFQ），并调节束流情况以满足 RFQ 的要求。

2) 中能束流运输系统（MEBT）

低能束流运输系统是指从直线加速器到同步加速器之间的束流运输段，其主要功能是将 H^+ 和 C^{6+} 从直线加速器传输至同步加速器，以满足同步加速器的注入要求。

3) 高能束流运输系统 (HEBT)

高能束流运输系统主要功能是把从同步加速器引出的高能粒子束流运输到各治疗室。通常是利用磁极性交替排列的四极磁铁在水平与垂直方向把束流限定在真空管道内,用分布于四极磁铁之间的二极磁铁把束流导向各治疗室的束流配送装置。

(4) 治疗室终端

治疗室终端为治疗病人的场所,本项目配备 3 间固定束治疗室和 1 间旋转束治疗室,其中固定束治疗室分别为:1 间质子旋转束治疗室、3 间碳离子治疗室(2 间水平与垂直治疗室、1 间水平与 45 度治疗室)。每间治疗室在照射时间上相互错开,即同一时刻只能向一间治疗室提供束流。

2.1.2 II、III 类射线装置

2.1.2.1 直线加速器

电子直线加速器是以磁控管为微波功率源的直线加速器,它的结构单元为:加速管、电子枪、微波系统、调制器、束流传输系统及准直系统、真空系统、恒温水冷系统和控制保护系统。电子枪产生的电子由微波加速波导管加速后进入偏转磁场,所形成的电子束由电子窗口射出,通过 2cm 左右的空气射到金属钨靶,产生大量高能 X 射线,经初级准直器和均整器形成剂量均匀的 X 射线束,再通过监测电离室和次级准直器限束,最后到达患者病灶实现治疗目的。医用电子直线加速器内部结构图 2-5 所示。

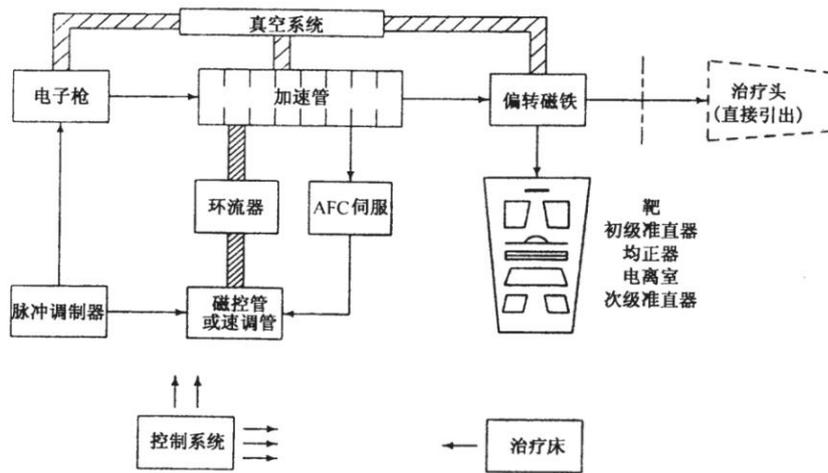


图 2-5 医用电子直线加速器内部结构图

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示意图如图 2-6 所示。

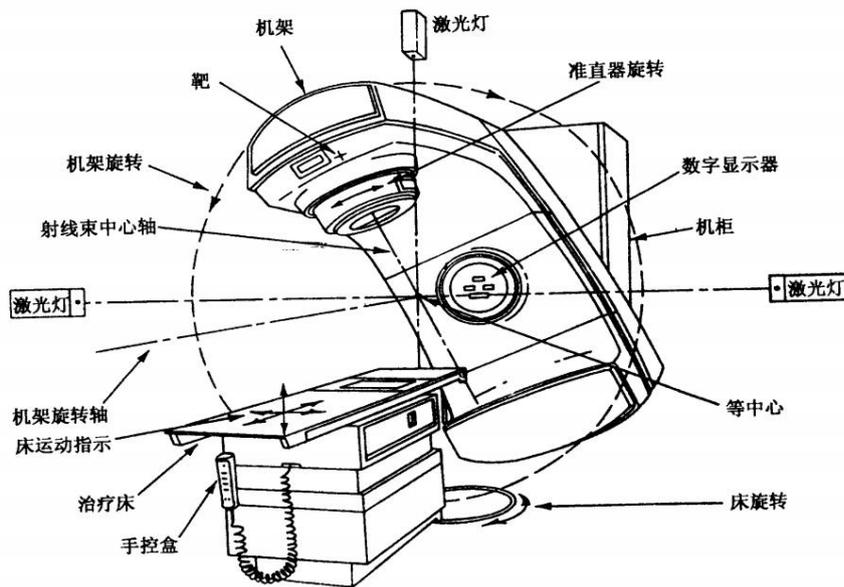


图 2-6 常见医用电子直线加速器示意图

2.1.2.2 TOMO

TOMO 全称为“螺旋断层治疗装置”，集成了计划、剂量计算、X-CT 扫描

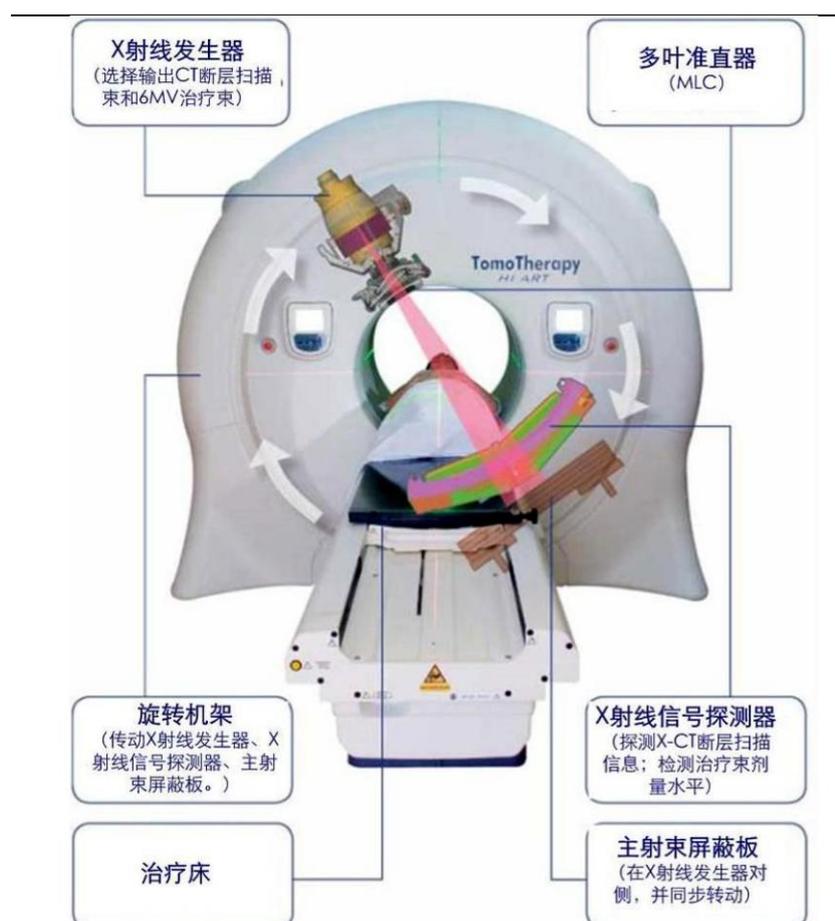
定位和螺旋照射治疗等多种功能的调强放疗系统。主要包括断层定位系统、三维逆算式优化处理治疗计划系统、断层影像导引放射治疗系统和质量确认系统组成。该系统的主要特点在于：

(1) 6MV X 射线束 360° 旋转聚焦照射肿瘤、靶区适形性佳、剂量分布均匀，能使正常组织及器官得到最大限度的保护；

(2) 具有图像引导功能，每次放疗前在治疗机上进行 MVCT 成像，确认治疗体位在三维空间上与治疗计划一致后再行放疗，从而保证了治疗的精确性；

(3) 可在每次治疗后推算出肿瘤接受到的剂量，适时调整后续的治疗剂量，从而确保治疗剂量的准确性。

TOMO 的结构组成如图 2-7 所示。



2.1.2.3 III类射线装置

模拟定位 CT 机主要由 X 射线发生装置、金属影像增强器、数据图像处理器、床体系统等组成。X 射线发生装置由 X 射线球管和高压电源组成。X 射线管由安装在真空玻璃壳中的阴极和阳极组成。阴极是钨制灯丝，装在聚焦杯中。当灯通电加热时，电子即“蒸发”出来，而聚焦杯使这些电子聚焦成束，直接向嵌在金属阳极中的靶体射击。高电压加在 X 射线管的两极之间，使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度。靶体一般采用高原子序数的难熔金属制成，高速电子轰击靶体产生 X 射线。

模拟定位 CT 机是诊断性 CT 机与传统模拟定位机的结合。现代的模拟定位 CT 机常选用大孔径、高速扫描的螺旋 CT 机，由于扫描速度快，扫描层厚薄，重建的 CT 图像质量较高。临床医师在 CT 横断面上逐层勾画出肿瘤和周围重要器官的轮廓，从而确定肿瘤靶体积及其与周围重要器官的关系。并根据肿瘤侵袭的微观特点设计了包含肿瘤细胞可能侵袭的亚临床病灶的临床靶区，进一步考虑到器官运动及摆位误差的影响，设计适当的计划靶区。通过优化照射野对计划靶区的覆盖情况及避开重要器官，保证靶区接受了均与的处方剂量并避免重要器官受到过量的照射。

2.1.3 核素制备

核素制备场所主要包括回旋加速器机房、控制室、核素制备区，使用回旋加速器制备 PET 药物，包括 ^{18}F 、 ^{13}N 、 ^{15}O 和 ^{11}C 。本项目拟使用的回旋加速器加速主要由磁场系统、高频系统、离子源系统、真空系统、束流引出系统、靶系统、控制系统和冷却系统等主系统组成，各系统具体情况见**错误!未找到引用源。**

表 2-3 回旋加速器系统组成及作用

系统名称	组成及作用
离子源系统	产生需要加速的带电粒子，由离子源、离子源电源配给器和气体控制系统组成。
真空系统	建立离子加速所需要的真空压力水平，降低束流的丢失，减少加速器内部的活化，同事为高电压射频场提供绝缘保护，包括真空腔、真空泵、真空计和控制部分。

磁场系统	提供被加速的带电粒子在所控制的轨道中做圆周运动所需要的磁场强度，由磁铁、线圈、磁场电源配给系统等组成。
射频系统	提供加速带电粒子所需的高频振荡加速电压，其频率与粒子多级轨道的旋转频率相等，由射频谐振腔、射频发生器和馈通电缆组成。
束流引出系统	直接将加速的带电负离子从真空箱中引出，该系统的基础是剥离膜。被加速的负离子在通过剥离膜时被脱去 2 个电子而转变为阳离子，并能够调整引出的束流进入所选定的核素生产靶。
靶系统	完成特定核反应而产生正电子核素，各种类型的靶系统主要由自动充靶系统、靶室、真空绝缘箔、冷却系统组成；自动充靶系统采用气动装置将靶物质注入靶室。
冷却系统	包括水冷却系统和氦冷却系统。水冷却系统分为一级水冷却系统和二级水冷却系统。一级水冷却系统为普通冷却机组，常年制冷；二级冷却水系统中的去离子水带走回旋加速器产生的热量，通过热交换传递给一级水冷却系统，达到为机器降温的目的。氦冷却系统主要在轰击期间对靶室和靶窗的箔膜和钛箔膜之间进行冷却，两个箔膜之间的氦气流提供了所必须的冷却。
控制系统	在控制系统计算机的界面上，可以独立地操作和控制每个子系统。而且更重要的运行参数，系统都有反馈值，便于了解系统的工作状态以及进一步的调整。系统能够根据条件和环境的改变，自动优化系统参数，使系统工作在最优的条件下，生产的效率得以提高，并延长了机器和相关部件的使用寿命。

回旋加速器生产放射性同位素是利用加速器将带电粒子加速到一定的能量，轰击特定的靶材料，引起特定的核反应而实现的。生产出来的放射性核素一般为快中子核素，以发射 β^+ 或电子俘获形式进行衰变，能量适度，半衰期短，辐射危害小，适合 PET 显像。

回旋加速器生产 ^{18}F 工作原理见图 2-8，位于在回旋加速器中心部位的离子源，释放电子电离高纯度的 H_2 ，生产 H^- 粒子束流。电离产生的 H^- 在磁场系统的作用下，在回旋加速器的一个 D 型盒做圆周运动，在经过两个 D 型盒之间的间隙被电场(射频系统)加速，加速器后的 H^- 进入另一个 D 型盒做圆周运动，如此往复运动(见图 2-9)。在 H^- 粒子达到最大能量处，通过束流提取系统从真空腔引出。主要是通过剥离膜(很薄的碳膜)剥去 H^- 的两个电子，使其变成为带正电的 H^+ ，此时粒子束运行轨道发生逆向偏转，通过磁场将束流引入靶内。引入靶内的 H^+ 与靶内的物质发生(P,N)反应，生产供标记所需要的核素。回旋加速器靶内产生的核素采用气动方式通过专用的管道输运至 ^{18}F 放射性药物制备区域，

完成后学的药物制备及其他操作。

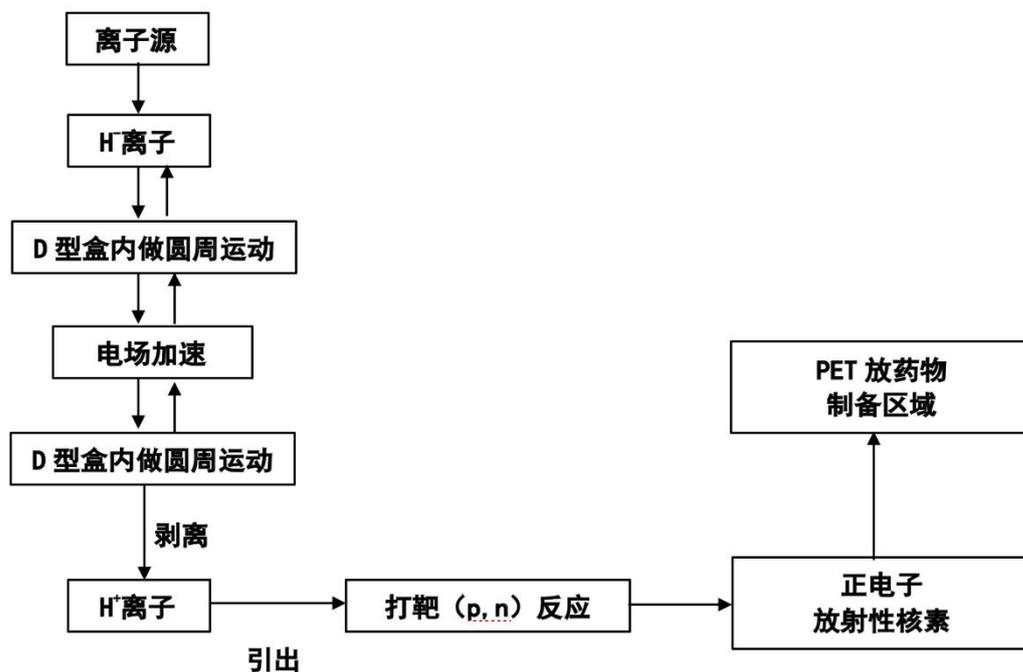


图 2-8 回旋加速器工作原理及产污图

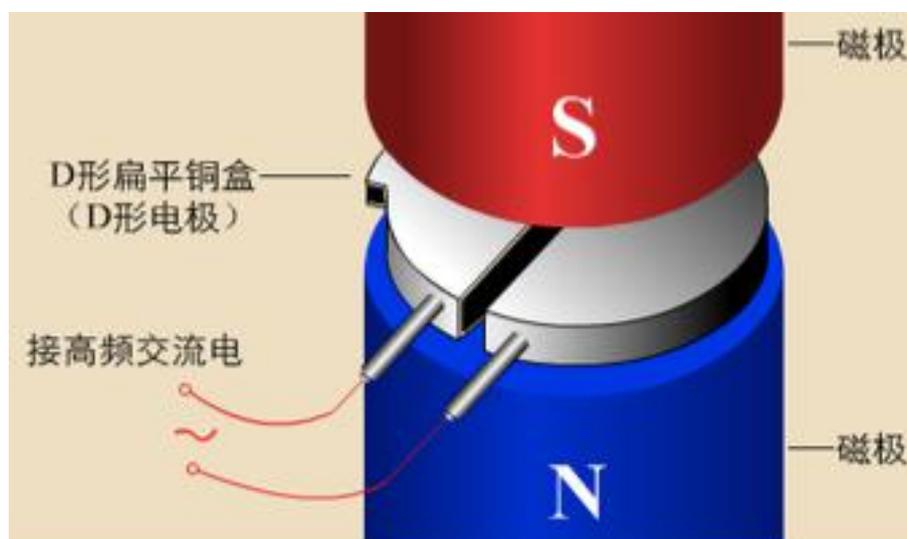


图 2-9 回旋加速器粒子加速示意图

2.1.4 核医学

本项目拟配备 1 台 SPECT-CT 和 1 台 PET-CT，用于核素给药后患者的显像诊断。设置母牛室，放置可能会使用 ⁹⁹Mo-^{99m}Tc 发生器，自行淋洗 Tc-99m，各

设备组成具体如下：

(1) PET-CT

PET 是正电子发射断层扫描（Positron Emission Tomography）的英文缩写，其工作原理为：将发射正电子的核素引入体内，正电子经湮灭辐射转换成的成对光子照射至体外，由 PET 的探测器采集，经过计算机重建而成断层图像，显示正电子核素在体内的分布情况，常用核素为 ^{18}F 。PET 通常由探测器、电子学系统、扫描机架、计算机数据处理系统、显示记录装置和同步检查床等组成。

PET/CT 将 PET 和 CT 两种影像技术相融合，一次成像同时完成 CT 扫描及 PET 扫描，通过识别图像的位置标志进行对位、融合，获得相应部位的融合图像，实现对病灶的准确定位和诊断。PET/CT 也可单独进行 PET 或 CT 显像。PET/CT 示例图见图 2-10。



图 2-10 PET/CT 示例图

(2) SPECT/CT

SPECT 是单光子发射型计算机断层扫描（Single Photon Emission Computed Tomography）的英文缩写，其工作原理为：利用放射性核素从断层处发出的 γ 光子，通过探测装置进行探测和记录，并通过计算机处理系统，获取病灶部位的形态、位置等图像数据，用于病体的显像和诊断，常用核素为 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 。SPECT 通常由探测器、旋转运动机架、计算机及其辅助设备组成。

SPECT/CT 将 SPECT 和 CT 两种影像技术相融合，一次成像同时完成 CT 扫描及 SPECT 扫描，经图像处理系统完成图像融合，实现病灶的病理检查，提高诊断的准确性。SPECT/CT 示例图见错误!未找到引用源。。



图 2-11 SPECT/CT 示例图

本项目核医学科拟开展肺通气显像，其原理为：将含 ^{99m}Tc 的溶液用雾化器雾化为放射性气溶胶或用锝气发生器产生锝气体，经呼吸道充分吸入并沉积在终末细支气管和肺泡内，采用 SPECT/CT 进行扫描和显像。

(3) 发生器

^{99}Mo - ^{99m}Tc 发生器是一种器是一种内含母体核素 Mo-99 ，能产生子体核素 Tc-99m 的装置。其具体工作原理为： Mo-99 以钼酸铵的形式溶解于氨水中，再转化到 0.01mol/L 盐酸体系， $\text{pH}=3-3.5$ 条件下， Mo-99 以 $^{99}\text{MoO}_4^{2-}$ 吸附在 Al_2O_3 色层柱上， $^{99}\text{MoO}_4^{2-}$ 衰变时产生 Tc-99m ， Tc-99m 以 $^{99m}\text{TcO}_4^{2-}$ 的形式存在，由于两者电荷不同，可利用 Al_2O_3 对其吸附能力差异，通过生理盐水将 Tc-99m 淋洗下来，而母体仍留在发生器内。 ^{99}Mo - ^{99m}Tc 发生器的结构示意及外观以及详细的衰变过程见图 2-12。

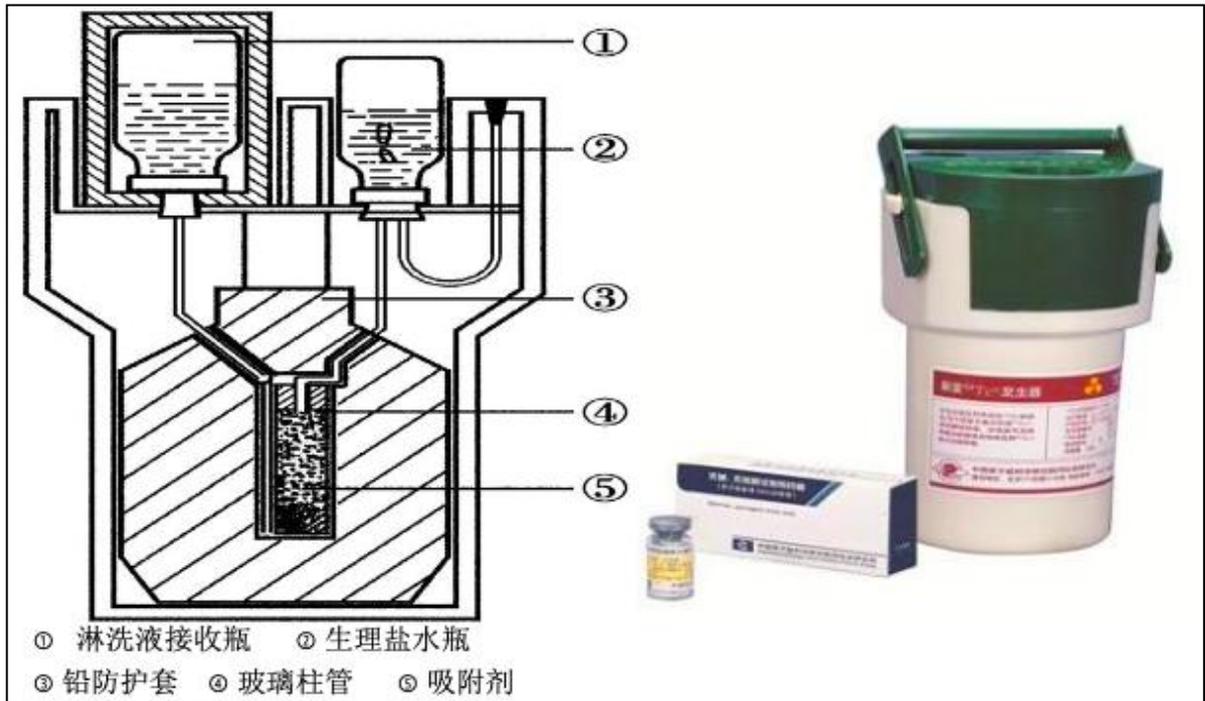


图 2-12 ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器

2.2 辐射污染源

本项目拟配备的射线装置均设置在重离子中心地下一层，并且地下一层与门诊大楼地下一层相连，从北向南分别布置：核素制备区和 TOMO、电子加速器机房，核医学，质子重离子治疗系统；地上建筑布置质子重离子输运线等配套辅助设备。

质子重离子治疗装置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、场所内空气等被质子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是加速器治疗时使用的 X 射线和电子线。本项目使用 X 射线最大能量为 10MV，使用电子线的最高能量为

15MeV。电子线与机头、床、人体组织等作用产生的韧致辐射的能量和强度均低于电子束撞击钨靶时产生的 X 射线的能量和强度，且电子线在混凝土中的最大射程约为 5.1cm。因此，加速器机房及其防护门若能满足 X 射线的屏蔽防护，则也能够满足电子束治疗中产生的韧致辐射的屏蔽防护。

TOMO 配备 6MV 电子直线加速器和 X 射线图像成像系统。其主要的辐射污染源与加速器类似，来自加速器运行时电子轰击靶物质产生的韧致辐射 X 射线、漏射线和照射至墙壁、患者上产生的散射线。此外，X 射线成像系统运行时也将产生 X 射线，但其能量远低于加速器产生的 X 射线。

使用模拟定位 CT 机期间，主要的放射性污染是 X 射线，仅在开机并处于出束状态时才会发出 X 射线。X 射线贯穿机房的屏蔽体进入外环境中，将对工作人员和机房周围人员造成辐射影响。

核素制备区域中回旋加速器使用过程中产生的电离辐射主要有初级辐射（被加速的带电粒子）、被加速后的带电粒子与物质相互作用产生的次级辐射（中子、 γ 射线、 β 等）以及初级、次级辐射与周围物质相互作用产生的缓发辐射（ γ 射线、 β 等，即感生放射性物质）和放射性废物等。PET 药物在合、分装、质检等过程中对局部环境产生 γ 射线、 β 射线， β 表面污染以及放射性废物等。

核医学科在注射、分装、给药过程的辐射源主要来自放射性核素自发衰变发射的 γ 光子或 β 电子对人体所致的直接外照射，使用放射性药物过程中会产生放射性三废。

2.3 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。

2.4 辐射防护与环境保护措施

2.4.1 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。

对于质子重离子治疗装置辐射工作场所，具体分区如下：

- (1) 控制区：同步加速器大厅、束流输运线隧道、4 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，门禁列入安全连锁系统。装置运行期间禁止进入，仅经授权并解除连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，需经授权方可进入，进入监督区的辐射工作人员必须佩戴个人剂量计。

对于直线加速器和 TOMO 辐射工作场所：

- (1) 控制区：2 间直线加速器机房（含迷道）和 TOMO 机房（含迷道）；
- (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，入口门和装置出束状态连锁，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。

对于回旋加速器制备 PET 药物辐射工作场所：

(1) 控制区：回旋加速器机房、核素合成分装热室、质检区、拆包、外包、阳性监测、监测间、消毒间、洗衣整衣间、准备间、缓冲间、洁具间、留样间。控制区边界均设计辐射防护实体屏蔽，入口设置明显的电离辐射警告标志，在控制区出入口提供辐射监测设施和更衣、去污场所，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。

(2) 监督区：更换鞋、一更、二更。监督区只允许经授权的辐射工作人员进入。

对于核医学科辐射工作场所：

(1) 控制区：包括储源间、母牛室、分装标记室、注射室、运动负荷室、PET-CT 机房、SPECT-CT 机房、注射后候诊室、留观室、废物间等。在控制区入口张贴电离辐射警告标志，警示无关人员不要进入控制区或在出入口长期停留。

(2) 监督区，包括控制室、缓冲间、与控制区相邻的走廊等。

2.4.2 辐射屏蔽

2.4.2.1 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 1/4 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。

2.4.2.2 屏蔽体外剂量率计算结果

对于质子重离子治疗系统，采用目前国内外通用的 FLUKA 程序进行辐射屏蔽计算，并利用国标《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/T201.5-2015）中推荐的经验公式法对设计方案进行验证计算。对于直线加速器和 TOMO 机房，根据 NCRP NO.151 号报告、GBZ201 系列卫生标准中推荐的估算模式分别对上述治疗机房屏蔽体外各关注点处的剂量率进行计算。对于本项目中的核素制备区，回旋加速器可制备 ^{18}F 、 ^{13}N 、 ^{15}O 和 ^{11}C ，其中以 ^{18}F -FDG 药物为主，且制备 ^{18}F 时靶体周围剂量率是制备其他核素的 10 倍以上，故以 ^{18}F 为例，分析预测药物制备场所周围的辐射水平。对于核医学科控制区各房间辐射屏蔽效能核算主要考虑储源间、分装标记室、注射室、运动负荷室、注射后候诊室、PET-CT 机房、SPECT-CT 机房、留观室。预测结果显示以上各个辐射工作场所屏蔽体外剂量率均能满足表 1-1 的要求。

2.4.3 辐射安全连锁系统

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连锁系统，严格按“最优切断”、“失效保护”及“冗余设计”等设计原则，通过门-机连锁、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。

人身安全连锁系统采用可编程控制技术、门禁控制技术及自动门技术、集散式控制技术、计算机网络与通讯技术、探测与数据处理技术、设备自诊断与自恢复技术等，对各安全连锁部件进行实时监测，并将信号输入安全连锁系统，只有在连锁条件全部满足的情况下，才允许束流的产生和加速。任一连锁条件被破坏都将导致安全连锁系统被破坏，从而导致束流的切断，确保人员安全。

2.4.4 工作场所辐射监测

本项目射线装置使用场所以及核素制备区内部以及上述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。

2.4.5 放射性三废处理

2.4.5.1 质子重离子治疗系统

(1) 放射性废气

质子重离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。

质子重离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。质子重离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。根据对冷却水感生放射性核素活度浓度的初步计算结果,活化冷却水的活度浓度远低于表 1-4 中所列的单次和单月排放限值。

质子重离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

质子重离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。

中国医院管理(徐州)有限公司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。

2.4.5.2 直线加速器、TOMO

本项目使用电子直线加速器 X 射线的最高能量为 10MV,运行期间不会产生感生放射性,其运行期间也不会产生放射性三废。在开机出束时,可能会产生少量的臭氧和氮氧化物,通风系统正常运行可排出机房内的臭氧和氮氧化物。

2.4.5.3 III类射线装置

模拟定位 CT 机等III类射线装置正常运行期间主要的放射性污染物为开机出束时产生的 X 射线贯穿辐射,不产生放射性废水、废气和固体废物。

2.4.5.4 核素制备

(1) 放射性废气

本项目制备的放射核素主要为液态药物，对于气态药物标记及分装均在热室中进行，逸散的放射性放气体极少，产生的少量放射性气体通过专用的排风系统并经过滤后排放。

(2) 放射性废液

PET 药物制备区域主要为辐射工作人员去污产生的少量放射性废水，废水排入衰变池，另 PET 药物在合成-离子俘获过程中，产生极少量放射性废液。

(3) 放射性固体废物

PET 药物制备过程产生的放射性固体废物包括：

1) 合成过程中产生的极少量的沾污放射性核素硅胶、树脂、氧化铝、滤膜和过滤柱等；

2) 通风系统中置换下的废滤芯；

3) 药物分装、质检过程中产生的废棉签、试管、一次性手套等；

4) 事故情况下发生洒落，首先用吸水纸擦拭，然后用酒精棉球反复擦擦拭后直至检测数据合格，擦拭使用的吸水纸、酒精棉球等作为放射性固废处理。

放射性废物产生后暂存于热室内的废物桶内。

2.4.5.5 核医学

(1) 放射性废气

本项目使用的放射性药物主要为液态，挥发性较低，核医学科设置独立的排风系统，废气经排风管道引至屋顶，经过滤后排放。

(2) 放射性废液

放射性废液主要来自卫生间冲厕废水，辐射工作人员洗手废水等，放射性废水排入衰变池中暂存衰变，满足衰变时长后经有资质单位监测达标后排入医院污水处理系统。

(3) 放射性固体废物

放射性固体废物主要来源于患者使用的注射器、棉棒、一次性防护用品等，放射性固废按核素、收储日期分类暂存在废物间，满足解控水平经解控后按一般医疗废物处理。

2.5 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联锁系统失效、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；加速器类射线装置运行期间工作人员在机房内从事摆位、维护维修等工作期间，或病人家属等进入加速器机房内未撤离，此时加速器开机出束时造成人员误照；核医学科发生放射性药物洒落，辐射工作人员进行处理时受到照射等。

质子重离子系统、直线加速器机房、TOMO 机房、回旋加速器机房都设有安全联锁系统，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。

2.6 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重离子治疗系统，有利于推广和普及质子重离子治疗技术；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，满足徐州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。

2.7 建设单位拟采取的辐射监测计划和安全化管理

2.7.1 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。

2.7.1.1 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。

2.7.1.2 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包括：对于质子重离子治疗机房，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）；对于直线加速器机房、TOMO 机房和回旋加速器机房，采用固定式仪表和便携式仪表监测外照射剂量率；对于核医学科，采用便携式仪表监测外照射剂量率和表面污染水平。

2.7.1.3 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。质子重离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 90 天。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。

2.7.2 辐射安全管理

（1）辐射安全管理机构

医院拟设置专门的辐射安全与环境保护管理小组，组长由分管安全的医院领导担任，全面负责辐射防护和安全管理的工作；小组成员由医务处、质子重

离子治疗科室、核医学科、放疗科等涉及核技术利用工作的科室领导和工作人员组成，具体承担辐射防护和安全管理日常工作。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、技师以及核医学科的药剂师、技师、给药护士等。

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，医院目前正在建立一系列辐射安全管理制度，主要内容涵盖《辐射安全管理组织机构及岗位职责》、《辐射安全保卫制度》、《辐射监测计划》、《个人剂量监测及健康档案管理制度》、《工作人员培训制度》、《放射性废物管理规定》、《操作规程》、《设备检查与维修制度》，建成后可满足辐射安全管理要求。

3 环境影响评价结论

徐州质子重离子医院医用射线装置等应用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。

4 联系方式

(1) 建设单位概要

建设单位名称：徐州中固新城医院管理有限公司

联系地址：徐州市云龙区，奥体中心南侧徐州质子重离子医院项目部

建设单位联系人：张飞

建设单位联系电话：13775885345

E-mail: 809359126@qq.com

原建设单位名称：中固医院管理（徐州）有限公司

原联系地址：江苏省徐州市云龙区太行路 29 号

原建设单位联系人：田茂辉

原建设单位联系电话：18049759994

E-mail: mhtian@himed.com.cn

(2) 环评机构概要

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：刘工

环评机构联系方式：010-69359056

E-mail: 1976810413@qq.com

邮编：102413