

核技术利用建设项目

中以康联国际医疗科技有限公司
销售（含建造）和使用质子治疗系统项目
环境影响报告书
（报批稿）

中以康联国际医疗科技有限公司

2019年11月

核技术利用建设项目

中以康联国际医疗科技有限公司 销售（含建造）和使用质子治疗系统项目 环境影响报告书

建设单位名称：中以康联国际医疗科技有限公司

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：山东潍坊经济开发区永康街 13088 号

邮政编码：261057

联系人：王阳

联系电话：15169695218

电子邮箱： vincent@siha-med.com

编制单位和编制人员情况表

项目编号	2019-101		
建设项目名称	销售（含建造）和使用质子治疗系统		
建设项目类别	核技术利用		
环境影响评价文件类型	报告书		
一、建设单位情况			
单位名称（盖章）	中以康联国际医疗科技有限公司		
统一社会信用代码	91370700MA3P9J0F9W		
法定代表人（签章）	许嘉		
主要负责人（签字）			
直接负责的主管人员（签字）			
二、编制单位情况			
单位名称（盖章）	苏州热工研究院有限公司		
统一社会信用代码	913205084669547113		
三、编制人员情况			
1. 编制主持人			
姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
王紫	08353243507320181	BH009040	王紫
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
任子理	辐射安全与防护章节	BH008926	任子理
殷煜皓	工程分析、事故应急等章节	BH010111	殷煜皓
杨立涛	源项、环境影响分析等章节	BH010110	杨立涛



姓名: 王宗
 Full Name _____
 性别: 女
 Sex _____
 出生年月: 1972年10月
 Date of Birth _____
 专业类别: _____
 Professional Type _____
 批准日期: 2008年05月
 Approval Date _____

持证人签名:
 Signature of the Bearer

签发单位盖章:
 Issued by _____
 签发日期: 2008年07月29日
 Issued on _____

管理号: 08353243507320181
 File No. : _____



本证书由中华人民共和国人力资源和社会保障部、环境保护部批准颁发。它表明持证人通过国家统一组织的考试,取得环境影响评价工程师的职业资格。

This is to certify that the bearer of the Certificate has passed national examination organized by the Chinese government departments and has obtained qualifications for Environmental Impact Assessment Engineer.



Ministry of Human Resources and Social Security
 The People's Republic of China



Ministry of Environmental Protection
 The People's Republic of China

编号: 0008485
 No. : _____

1 概述

1.1 项目名称、地点

本建设项目名称为中以康联国际医疗科技有限公司销售（含建造）和使用质子治疗系统。行业类别为 C3581 医疗诊断、监护及治疗设备制造。

质子治疗系统用于为医疗机构提供系列放射治疗用质子同步加速器及其配套设施。

项目厂区选址于山东潍坊经济开发区友爱路以东、永康街以南，永康街 13088 号。图 1-1 给出了厂址地理位置示意图。

本项目拟建 5 座质子加速器机房（简称加速器机房），均位于厂区质子治疗系统生产厂房（简称厂房）内。加速器机房位于厂区东南侧，周围 100m 范围内没有居民点、学校、医院等环境敏感目标，评价范围内涉及相邻工业企业的厂房、宿舍等设施和建筑。

1.2 项目概况

1.2.1 项目性质和建设单位

中以康联国际医疗科技有限公司（以下简称“中以康联”）成立于 2019 年 3 月，注册地址位于山东潍坊经济开发区月河路 3177 号孵化器 2 楼 221 房间，注册资本 7.14 亿元，主要经营范围：国际医学技术研究及成果转让；医疗设备及器械、实验分析仪器的研发、生产、销售及售后服务；国家允许的货物及技术进出口。

2019 年 7 月，中以康联与潍坊经济开发区管委会协商，由潍坊经济开发区城市建设投资开发有限公司下属潍坊金辰能源科技有限公司负责建设潍坊经济开发区友爱路以东、永康街以南（永康街 13088 号）工业地块上的厂房和设施；建成后，中以康联租赁该厂房和设施，用于医疗质子治疗系统等相关产品的生产和销售。

中以康联拟引进国际先进质子治疗系统生产技术，打造质子治疗系统生产研发基地，形成以上下游产业链及关联产业为支撑的粒子装备创新研发、设计、制造、展示、培训和技术服务为一体的产业集群。企业开展质子加速器生产、使用和销售，其中的使用过程仅为设备安装后的调试（厂内调试和客户现场安装调试），不涉及放射治疗。

项目总投资约 7 亿元人民币，其中环保投资约 7000 万元，占总投资的 10%。建成后具有年产质子治疗系统 10 台（套）的生产能力。投资经费全部由企业自筹。

建设项目已在山东省投资项目在线监管平台备案（编号 2019-370794-35-03-027806），《中以康联国际医疗科技有限公司潍坊质子医疗研发制造项目》环境影响报告表已于 2019 年 9 月 17 日取得潍坊市生态环境局经济开发区分局的批复（潍经环审表字[2019]65 号），该报告表作为整厂环评对建设单位开展生产建设活动进行了评价，但未涉及核与辐射内容。



比例尺 1: 200000

图 1-1 厂址地理位置示意图

1.2.2 项目背景与意义

(1) 质子治疗的优势和项目意义

质子治疗装置是一种新型的放疗设备，和目前广泛使用的高能光子和电子相比（例如电子直线加速器），质子能使射线的能量更好地集中在所需要治疗的肿瘤靶区，而避开周围的正常器官和组织，因此可使肿瘤得到足够剂量照射，提高肿瘤局部控制率，同时大大降低正常器官和组织放射并发症。目前，质子治疗肿瘤的适应症可包括：脑和脊髓肿瘤、颅底肿瘤和有关疾病、眼部肿瘤、头颈部肿瘤、胸腹部肿瘤、盆腔肿瘤和儿童肿瘤等多种肿瘤。尤其对于早期肿瘤患者，质子治疗的五年生存率可达到 80% 以上。对于有重要器官包绕的肿瘤来说，质子治疗也显示了极大的优越性。质子治疗是目前世界上放射治疗领域最为精确和副作用最小、最先进和成熟的高科技治疗手段之一，预计在我国未来 20-30 年内将会成为肿瘤放射治疗的主流手段。

目前我国国内的医疗质子加速器研发刚刚起步，尚未进行大规模商业推广，在设备造价上也不具备优势，国产设备在技术上与国际一流医疗装备厂家相比也不具备竞争优势，这与我国日益提高的经济发展水平和国际地位不相称。近年来，我国陆续从欧洲和美国引进了国际领先的质子/重离子加速器，如果国内生产厂家不迅速占领市场，会逐步失去国内甚至国际竞争力。本项目建设单位与国外先进的加速器生产单位合作，在国内设计和建造采用“无旋转机架坐立位治疗”的质子治疗设备，提高设备国产化率，降低设备造价，满足人民群众日益增长的对高端精准放疗技术的需求，为我国医疗卫生事业做出贡献。

(2) 市场需求

国际粒子治疗合作组织（PTCOG）的统计数据显示，目前全球正常运营中的质子重离子治疗中心约 70 个，主要分布在美国、欧洲和日本等发达国家和地区。

PTCOG 数据显示目前在建的及拟建的主要放射治疗装置中大部分为质子治疗装置，少量为重离子或重离子与质子兼用的装置。质子治疗是当今国际肿瘤放疗中集先进技术和经济适用为一体的放疗手段。

近年来，随着技术的日趋成熟，质子治疗被越来越多的患者所接受，世界上许多国家和地区正在积极筹建和争取筹建质子治疗中心。从区域上看，质子治疗人群主要集中在欧美日等发达国家和地区。全球治疗人次最多的国家为美国，而增长最快的地

区为日本，部分原因在于日本治疗费用相对较低。可以预计，在治疗价格下降和技术普及的驱动下，接受质子治疗人数将迅速增加。

由于国外技术垄断和质子/重离子治疗系统建设的巨额投资，国内目前建成的质子治疗中心还很少，能接受质子治疗的肿瘤患者更少，在需求和供给之间存在着尖锐的矛盾。

虽然国内各医疗质子治疗中心建设方兴未艾，但项目建设周期长、投资巨大和高昂的医疗费用仍是发展质子治疗系统的瓶颈。国内已建成的或规划的质子/重离子项目总投资至少在 10 亿元以上，单个疗程治疗费用约 30 万元。因此降低建设成本，进而降低医疗费用，普惠广大肿瘤患者，是质子治疗系统未来发展的方向。

（3）本项目的发展和挑战

目前国内已批准的多数质子医疗装置需要较大的土地面积和建筑成本，辐射防护设计难度大，前期资本投入巨大，设备机架体积庞大，安装调试时间长，运行维护昂贵。

本项目建设单位设计并建造紧凑型同步加速器，可根据治疗计划提供最大能量为 250MeV 的可调质子束流，较低的束流损失和较高的束流引出效率可有效降低中子辐射，加速器体积的缩小，使得经过局部改造，设备可以直接放入传统直线加速器单间治疗室，无需额外新增治疗机房，它将为用户节省巨额基建成本和设备购置成本，大幅降低患者费用，项目引进后将为潍坊市的经济注入新动能、新活力。

1.2.3 项目用地

企业厂区总体规划用地面积约 62 亩，总建筑面积约 44360m²，主体工程包括 1 座生产厂房(占地面积 17280 m²)和 1 栋办公楼(地上面积 8300 m²、地下面积 1500 m²)一次建设完成。

本项目 5 座加速器机房均位于生产厂房内。企业已于 2019 年 8 月与潍坊经济开发区城市建设投资开发有限公司下属潍坊金辰能源科技有限公司签订了项目厂房和办公楼租赁协议。由潍坊金辰能源科技有限公司负责厂房（包括加速器机房）和办公楼的土建工作。

1.2.4 项目周边环境条件

项目拟建地点行政隶属于山东省潍坊经济开发区北城街道，项目原址为一家工业

企业，该企业已停产，原厂内设备、主要原材料及废弃物等均已拆除或处置，生产车间、办公楼等建筑物已全部拆除，土地已平整。原址未涉及放射源、射线装置、放射性核素等核技术利用及其他辐射项目。

本项目厂址东、西和南侧周边是已开发的工业用地，北侧规划医疗用地和道路，环境条件相对简单。

厂址现状见图 1-2。



图 1-2 厂址现状图

1.3 编制依据

根据《中华人民共和国放射性污染防治法》、《建设项目环境影响评价分类管理名录》和《射线装置分类公告》等要求，本项目质子治疗装置属于 I 类射线装置，应编制环境影响报告书，在本报告书编制过程中，遵循了以下法律、法规、标准、技术规范 and 部门规章的要求。

1.3.1 法律、法规

- 《中华人民共和国环境保护法》（修订）（自 2015 年 1 月 1 日起施行）；
- 《中华人民共和国环境影响评价法》，根据 2018 年 12 月 29 日第十三届全国人民代表大会常务委员会第七次会议《关于修改〈中华人民共和国劳动法〉等七部法律的决定》修正，决定自公布之日起施行；
- 《中华人民共和国放射性污染防治法》（自 2003 年 10 月 1 日起施行）；
- 《中华人民共和国大气污染防治法》，根据 2018 年 10 月 26 日第十三届全国人民代表大会常务委员会第六次会议《关于修改〈中华人民共和国野生保护法〉等十五部法律的决定》修正，决定自公布之日起施行；
- 《中华人民共和国水污染防治法》，根据 2017 年 6 月 27 日第十二届全国人民代表大会常务委员会第二十八次会议《关于修改〈中华人民共和国水污染防治法〉的决定》第二次修正（自 2018 年 1 月 1 日起施行）；
- 《中华人民共和国环境噪声污染防治法》，根据 2018 年 12 月 29 日第十三届全国人民代表大会常务委员会第七次会议《关于修改〈中华人民共和国劳动法〉等七部法律的决定》修正，决定自公布之日起施行；
- 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》（2016 年 11 月 7 日修订）；
- 《建设项目环境保护管理条例》（国务院令第 682 号，修改决定自 2017 年 10 月 1 日起施行）；
- 《放射性废物安全管理条例》（自 2012 年 3 月 1 日起施行，国务院令第 612 号）；
- 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2005 年 12 月 1 日起施行，国务院令第 449 号，2014 年 7 月 29 日修订），国务院令第 709 号《国务院关于修订部分行政法规的决定》，2019 年 3 月 2 日起施行。

1.3.2 标准、技术规范和部门规章

(1) 部门规章和文件

- 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（环境保护部令第44号公布，自2017年9月1日起施行）；关于修改《建设项目环境影响评价分类管理名录》部分内容的决定，生态环境部令1号，自2018年4月28日起施行，2018年4月28日修正；
- 《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号修订，2019年8月22日起施行；
- 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（2011年4月，环境保护部令第18号）；
- 《关于建立放射性同位素与射线装置事故分级处理报告制度的通知》，环发（2006）145号，2006年9月26日；
- 《国家危险废物名录》，环境保护部令第39号，自2016年8月1日起实施；
- 《关于发布射线装置分类的公告》（环境保护部和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）等；
- 《环境影响评价公众参与办法》（生态环境部令第4号），自2019年1月1日起实行。

(2) 技术标准和技术导则

- 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；
- 《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）；
- 《污水综合排放标准》（GB8978-1996）；
- 《环境空气质量标准》（GB3095-2012）；
- 《声环境质量标准》（GB3096-2008）；
- 《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）；
- 《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）；
- 《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2001）（2013年修订）
- 《医用放射性废物的卫生防护管理》（GBZ133-2009）；
- 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2016）；

- 《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）；
- 《粒子加速器辐射防护规定》GB5172-1985；
- 《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）。

（3） 地方法规

- 《山东省实施<中华人民共和国固体废物污染环境防治法>办法》（2002.9.28）；
- 《山东省环境噪声污染防治条例》（2003.11.28）；
- 《山东省环境保护条例》（2008.11.30 修订）；
- 《山东省扬尘污染防治管理办法》（2011.12.27）；
- 《山东省辐射污染防治条例》，山东省第十二届人民代表大会常务委员会第六次会议通过，2014 年 5 月 1 日实施；
- 《山东省大气污染防治条例》（2016.11.1）；
- 《山东省水污染防治条例》（2018 年 9 月 15 日发布，2018 年 12 月 1 日实施）；
- 山东省地方标准《流域水污染物综合排放标准第 5 部分：半岛流域》（DB37/3416.5-2018），2019 年 3 月 10 日起施行。

（4） 其它参考资料

- NCRP-51 号报告（Radiation Protection Design Guidelines for 0.1-100MeV Particle Accelerator Facilities, NCRP Report No.51），美国国家辐射防护与测量委员会，1977-3-1 发布；
- NCRP-144 号报告（Radiation Protection for Particle Accelerator Facilities, NCRP Report No.144），美国国家辐射防护与测量委员会，2003-12-31 发布；
- IAEA-19 号报告《Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment 》，国际原子能机构第 19 号报告，2001 年；
- 美国环保署文件《External Exposure to Radionuclides in Air, Water, and Soil》，EPA-402-R-93-081，1993.9

- 《中国环境天然放射性水平，山东省环境天然贯穿辐射水平调查研究》（原国家环境保护局出版，李洪昌等，1995年8月）；
- 《2018全国辐射环境质量报告》，生态环境部2018年6月发布。

1.3.3 项目文件

- 中以康联国际医疗科技有限公司质子治疗系统项目工程设计文件；
- 《山东省建设项目备案证明》（项目代码2019-370794-35-03-027806），2019年6月6日；
- 中以康联国际医疗科技有限公司《年使用（仅调试）、销售10台医用CT装置》建设项目环境影响登记表（备案号：20193707000400000163）；
- 《中以康联国际医疗科技有限公司潍坊质子医疗研发制造项目环境影响报告表》批复文件，潍坊市生态环境局经济分局，2019年9月17日，潍经环审表字[2019]65号；
- 项目厂房和办公楼委托建设和租赁合同；
- 本项目环境影响评价技术服务委托书等。

1.4 评价标准

根据本项目建设 and 运行的特点，施工期环境影响评价主要涉及本项目主体工程建造、设施安装等造成的对水、气、声等环境的影响；运行期间对环境的影响主要是对公众和职业人员的辐射影响。

1.4.1 剂量约束值

从辐射防护优化角度出发，本项目职业人员和公众的年剂量约束值取GB18871-2002规定的个人剂量限值（职业人员20 mSv/a、公众1 mSv/a）的1/10，即：职业人员年受照剂量不超过2mSv/a，公众年受照剂量不超过0.1mSv/a。

1.4.2 环境辐射控制水平

（1）剂量率控制限值

参考《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），加速器机房四周屏蔽设施外，人员居留场所辐射剂量率不超

过 2.5 μ Sv/h。

参考 GBZ/T201.5-2015，本项目加速器机房顶部无人员居留并只有借助工具才能到达机房顶部，机房顶部表面 30cm 处的剂量率不超过 100 μ Sv/h。

（2）表面污染水平控制限值

参考 GB18871-2002，本项目产生的活化部件、易耗品等固体废物表面沾污控制水平如表 1-1 所示。

表 1-1 工作场所的放射性表面污染控制水平

表面类型		α 放射性物质	β 放射性物质
工作台、设备、 墙壁、地面	控制区	40	40
	监督区	4	4
工作服、手套、 工作鞋	控制区	0.4	4
	监督区		
手、皮肤、内衣、工作袜		0.04	0.4

1.4.3 放射性废物免于辐射防护监管标准

依据 GB18871-2002，符合以下要求的放射性物质，即任何时间段内在进行实践的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。

GB18871-2002 表 A1 中与本项目相关放射性核素详见表 1-2 所示。

表 1-2 人工放射性核素免管浓度值

核素	活度 Bq	活度浓度 Bq/g	核素	活度 Bq	活度浓度 Bq/g
^3H	1E+09	1E+06	^{54}Mn	1E+06	1E+01
^7Be	1E+07	1E+03	^{51}Cr	1E+07	1E+03
^{15}O	1E+09	1E+02	^{45}Ca	1E+07	1E+04
^{18}F	1E+06	1E+01	^{37}Ar	1E+08	1E+06
^{59}Fe	1E+06	1E+01	^{35}S	1E+08	1E+05
^{56}Co	1E+05	1E+01	^{33}P	1E+08	1E+05
^{55}Fe	1E+06	1E+04	^{22}Na	1E+06	1E+01

放射性固体废物在废物库中存放衰变，处置前对于放射性固体废物的解控，表面

污染水平控制值取表 1-1 中放射性表面污染控制水平限值的 1/50。

1.4.4 空气中放射性核素导出浓度

根据人员年受照剂量约束值，综合考虑吸入内照射和浸没外照射剂量贡献和各活化核素活度浓度比例，得到空气中放射性核素导出活度浓度见表 1-3：

表 1-3 空气中放射性核素导出活度浓度限值

核素	半衰期	导出活度浓度限值 Bq/m ³
H-3	12.33 y	3.46E-02
Be-7	53.29 d	1.41E+02
C-11	20.39 min	8.37E+08
N-13	9.965 min	2.58E+09
O-15	122.2 s	4.81E+08
Cl-39	55.6 min	2.47E+09
Ar-41	109.34 min	5.14E+06

1.4.5 噪声排放标准

施工期施工场地厂界执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011)，见表 1-4。根据潍坊市生态环境局经济分局对质子医疗研发制造项目环境影响报告表的批复文件（潍经环审[2019]65 号文），项目运行后厂界噪声执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008) 中的 2 类功能区标准，见表 1-5。

表 1-4 施工期施工场地厂界噪声排放标准

执行标准	昼间	夜间
建筑施工场界环境噪声排放标准 (GB12523-2011)	70dB	55dB

表 1-5 运行期厂界噪声排放标准

执行标准	昼间	夜间
工业企业厂界环境噪声排放标准 (GB12348-2008) 2 类	60dB	50dB

1.4.6 生产废水排放标准

加速器调试期间产生的生产废水排放执行《污水综合排放标准》（GB8978-1996）和山东省地方标准《流域水污染物综合排放标准第5部分：半岛流域》（DB37/3416.5-2018）。废水中总 α 、总 β 排放限值分别是：1Bq/L、10 Bq/L。

1.5 评价范围和保护目标

1.5.1 评价范围

（1）辐射环境影响评价范围

依据 HJ10.1-2016《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》的要求，射线装置评价范围一般设为实体屏蔽边界外 50m，考虑到本项目为 I 类射线装置，适当扩大评价范围，确定本次环境影响评价范围为加速器机房实体屏蔽墙边界外 100m。

本项目加速器运行过程中机房内空气受照活化，产生放射性气溶胶，随通风系统排放大气环境，也属于辐射环境影响范畴，适用于上述评价范围。

本项目厂区内辐射工作场所还包括 4 座医用 CT 调试机房，企业外购 CT 设备，经调试后作为加速器的定位系统一并销售给医疗单位。CT 设备除了在 CT 机房内开展调试以外，还在加速器机房内调试，但 CT 设备不与加速器同时开机出束。建设单位已根据环保法规另行填报建设项目环境影响登记表并备案，详见附件 4。

（2）非放射性环境影响评价范围

本项目运行时非放射性污染主要是厂区内空压机等辅助设备产生的噪声源，根据《环境影响评价技术导则 声环境》HJ2.4-2009，本项目声环境功能区为 2 类地区，声环境影响按照二级评价，评价范围可取厂界边界外 100m 范围。

1.5.2 环境保护目标

本项目评价范围内主要是工业企业厂房、道路，并包括 1 栋厂区宿舍，评价范围内没有学校、居民点等敏感目标。环境保护目标包括了厂区内工作人员和厂界外公众。建设单位销售的加速器在使用单位（医疗机构）需要进行调试，参与调试的这部分辐射工作人员（属于建设单位派遣员工）也是本项目的保护目标。

本项目评价范围内（厂区外）的环境保护目标主要有 5 处，分别是厂区西侧的潍坊宝威滤清器有限公司和潍坊天辰机械科技有限公司员工；厂区东侧国药健康产业智慧物流园（在建）员工；厂区南侧潍坊欣阳饲料科技有限公司员工；厂区东南侧是山东和顺服饰有限公司员工。评价范围内保护目标见表 1-6，保护目标分布见图 1-3，现场情况见图 1-4~图 1-8。

表 1-6 评价范围及保护目标

保护目标	方位	距离	人口	年剂量约束值
辐射工作人员（职业人员）	厂房南侧	/	约 30 人	2mSv/a
厂房内其他工作人员（公众）	厂房北侧	约 5 m	/	0.1mSv/a
厂区其他工作人员（公众）	北侧办公楼	约 100m	/	0.1mSv/a
潍坊宝威滤清器有限公司厂房内员工（公众）	厂界西侧	约 30 m	/	0.1mSv/a
潍坊天辰机械科技有限公司厂房内员工（公众）	厂界西侧	约 30 m	/	0.1mSv/a
潍坊欣阳饲料科技有限公司厂房内员工（公众）	厂界南侧	约 27m	/	0.1mSv/a
国药健康产业智慧物流园厂房内员工（公众）	厂界东侧	约 30m	/	0.1mSv/a
山东和顺服饰有限公司（宿舍楼内员工）（公众）	厂界东南	约 70m	/	0.1mSv/a

1.6 评价因子

根据质子加速器运行时污染物排放特征，确定本项目放射性和非放射性评价因子。

放射性评价因子：瞬发辐射外照射；缓发辐射外照射；感生放射性；

非放射性污染评价因子：厂界环境噪声。



图 1-3 项目周围环境保护目标分布示意

图例：厂界外环境保护目标 ●

评价范围 100m ○



图 1-4 厂界西侧潍坊天辰机械科技有限公司



图 1-5 厂界西侧潍坊宝威滤清器有限公司



图 1-6 厂界南侧潍坊欣阳饲料科技有限公司



图 1-7 厂界东南侧山东和顺服饰有限公司



图 1-8 厂界东侧国药健康产业智慧物流园

1.7 项目选址适宜性

本项目所在区域地质和地震条件良好，没有影响加速器安全稳定运行的颠覆性因素。

结合本项目特征污染因子和环境影响评价范围，区域周边社会环境相对简单，距离周围居民区、学校等敏感目标较远，条件较好。

环境现状调查结果表明，项目区域的辐射环境质量良好，其中环境电离辐射水平处于天然本底涨落范围内。

厂界东南侧有相邻企业的宿舍，加速器机房排放少量含有活化核素的气溶胶，宿舍区位于区域主导风向的上风向，对宿舍区的影响很小，项目选址可行。

综上，本项目选址适宜开展 I 类射线装置核技术利用项目。

1.8 产业政策相符性

根据《产业结构调整指导目录（2011 年本）（2013 年修正）》，本项目属于第一类“鼓励类”项目第十三款“医药”中第 6 条“新型医用诊断医疗仪器设备、微创外科和介入治疗装备及器械、医疗急救及移动式医疗装备、康复工程技术装置、家用医疗器械、新型计划生育器具（第三代宫内节育器）、新型医用材料、人工器官及关键元器件的开发和生产，数字化医学影像产品及医疗信息技术的开发与应用”，也属于鼓励类中第六款“核能”中第 6 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”项目，因此本项目符合国家产业政策。

1.9 与规划相符性

本项目不属于《限制用地项目目录(2012 年本)》中规定的限制用地项目类别，亦不属于《禁止用地项目目录(2012 年本)》中规定的禁止用地项目类别，项目用地为工业用地，符合山东潍坊经济开发区土地利用总体规划。

综上所述，本项目选址是可行的。

2 自然环境与社会环境状况

2.1 自然环境状况

2.1.1 地理位置

本项目位于山东省潍坊市友爱路以东、永康街以南，永康街 13088 号。

厂区北面为永康街（街北规划为医疗用地），西面为潍坊天辰机械和宝威滤清器公司，东面为在建国药健康产业智慧物流园，南面为潍坊欣阳饲料科技有限公司、山东和顺服饰有限公司，项目周围 100m 范围内没有居民小区。厂址周围最近的居民区位于厂区东方向（距离在 500m 以外），山东和顺服饰有限公司宿舍楼目前距离加速器机房最近距离约 70m，宿舍楼目前无人居住。厂址周围环境参见图 1-3。

2.1.2 地形、地貌、地质和地震

潍坊市地势南高北低，错落有致。大体上可分为山丘、平原、低地三个地貌区 17 个地貌类型。南部为山峦起伏的低山低岭区，中部向北系大片波状平原，缓丘、洼地点缀其间，西部为潍河冲积平原，地势平坦，地势由南向北微倾斜，自然坡度在 0.2% 左右，地面标高在 25.96~26.90m 之间。

潍坊市属鲁西北泛滥平原和鲁中南中低山丘陵洪积扇地貌，地势南高北低。根据成因，可分为低山陵坡、洪积冲积平原和海岸地貌 3 个微地貌类型，16 个微地貌单元。南部为山峦起伏的低山低岭区，中部向北是大片波状平原，缓丘、洼地点缀其间，西部为潍河冲积平原，地势平坦，地势由南向北微倾斜，自然坡度在 0.2% 左右。

潍坊市地质构造位置处于沂沭断裂带的北段，在该断裂带的次级构造单元昌潍凹陷之内。西侧是沂沭断裂带的唐吾—葛沟断裂，东部为昌邑—大店断裂，北部临渤海中部北西向蓬莱—威海断裂，南靠汞丹凸起。境内大部地区被第四系覆盖，南部各时代地层均有发育。境内地质构造特点，受沂沭断裂带及其派生构造控制。岩浆活动与鲁西隆起区类似，比鲁东古隆起区微弱。地震烈度为Ⅶ度。

2.1.3 水文、气象

2.1.3.1 水文

潍坊市河流分潍河、白浪河和虞河三大水系，均依地势自南向北流入渤海莱州湾，多系季节性河流。

潍坊市地下水含水层相互迭置，岩性变化复杂，地下水主要为第四纪松岩层孔隙水，其性质多为潜水和微承压水，透水性强，含水层厚度一般为 6.5~30 米，平均为 13.5 米。近年来，因受天气干旱、降水量少以及工业对地下水的过量开采，地下水位严重下降。

本项目建设场地土层稳定，地质状况良好。项目区浅层地下水属潜水类型，其补给源主要以大气降雨为主，水位随降雨量多少而升降明显，水位埋深一般在 1.5 米左右。

2.1.3.2 气象

潍坊市历年平均气温为 12.4℃。境内温度相差在 0.1~0.3℃之间，月平均气温 7 月最高，为 26.2℃。1 月最低，为-3.4℃。极端最低气温-22.3℃，出现在 1972 年 1 月 27 日，极端最高气温 41℃，出现在 1968 年 6 月 11 日。春季温度回升较快，平均气温升到 6℃以上，0℃以下温度出现较少。夏季天气炎热，平均气温 23℃以上，日最高温度在 30℃以上的时间，平均每年 68 天。秋季气温逐日降低，平均气温 19℃，有寒潮出现。冬季从 12 月开始，平均气温在-1.0℃以下，日气温低于-10℃以下的时间平均每年 22 天。

潍坊市历年平均降水量 591.9 毫米，最大年降水量 1286.7 毫米，最小年降水量 299.5 毫米。境内处平均降水差异不大，为 10-30 毫米，干旱和湿润季节分明。夏季降水量为 387.1 毫米，占年降水量 65.4%。在夏季降水中，7 月下旬至 8 月上旬的降水量为 98.3 毫米，占夏季降水量的 25.4%。冬季降水量最少，只占全年降水量的 4.1%。历年平均降水日数为 78.7 天，最多年 108 天(1964)，最少年 58 天(1965)。降水日数以夏季最多，春秋次之，冬季最少。

潍坊市常年主导风向为东南东风，平均频率 11.2%，南南东风也较多。冬春季盛行西北西风，夏秋季盛行东南风。全年平均风速 3.5m/s，4 月份最大，平均 4.5m/s，最大风速 22.3m/s，8 月份最小，平均风速 2.5m/s。

2.1.3.3 植被、生物多样性

潍坊市植物资源丰富，山地丘陵区以落叶、阔叶林木为主。项目区域为工业集中区，已无天然植被，主要种植乔木、灌木为主。

项目区域附近无自然保护区，无森林，无珍稀濒危物种，仅有鸟类、鼠类、蛇类、蛙类及昆虫等小型动物。

2.2 社会经济状况

潍坊市辖奎文、潍城、寒亭、坊子 4 个区，青州、诸城、寿光、安丘、高密、昌乐 6 个县级市，临朐、昌乐 2 个县，另有高新技术产业开发区、滨海经济技术开发区、峡山生态经济发展区、综合保税区 4 个开发区。全市共辖 62 个镇、56 个街道办事处。

2.3 环境质量和辐射现状

（1）监测因子

为了解本项目所在区域辐射环境、声环境质量现状，为拟建项目环境现状评价提供基础数据，建设单位委托苏州热工研究院有限公司环境检测中心（CMA 证书编号 171012050252）于 2019 年 6 月，对项目区域及周围环境进行了环境质量现状检测，检测期间厂区内尚未开始土建施工。

检测因子包括 γ 辐射剂量率、中子周围剂量当量率、空气中氡、空气中 γ 核素、土壤中 γ 核素、噪声。

本项目不直接向周围环境排放废水，少量去离子水存放一年经检测达标后，接入市政污水管网。现场踏勘评价范围内没有地表水（最近地表水在 2km 以外），附近也没有地下水取水井，开发区范围内没有向环境排放放射性废水的企业。综合以上区域环境现状和本项目污染源特点，本次环境现状监测时未进行地表水和地下水的水质取样。

（2）监测方法

环境检测单位依据以下监测标准规定的监测和分析方法开展监测工作：

- 《辐射环境监测技术规范》HJ/T 61-2001；
- 《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》GB/T 14583-1993；

- 《声环境质量标准》GB 3096-2008;
- 《气载放射性物质取样一般规定》HJ/T22-1998;
- 《土壤中放射性核素的 γ 能谱分析方法》GB/T 11743-2013;
- 《高纯锗 γ 能谱分析通用方法》GB/T 11713-2015;
- 《水中氡的分析方法》GB/T12375-1990。

2.3.1 贯穿辐射环境现状

检测单位在厂区内、厂房拟建区域及厂界周围布设 γ 辐射剂量率检测点位，并重点对加速器机房拟建区域点位布设，单次测量，共设置36个检测点位。检测点位见图2-1，监测结果见表2-1。

检测结果表明，项目区域及周围环境 γ 辐射剂量率范围为0.081~0.129 μ Sv/h，扣除本项目使用设备的宇响值（14.9nGy/h），参考《中国环境天然放射性水平，山东省环境天然贯穿辐射水平调查研究》（原国家环境保护局出版，李洪昌等，1995年8月），本项目及周围环境贯穿辐射水平处于潍坊市室外环境（原野、道路） γ 辐射剂量率的正常涨落范围内（43.0~162.6nGy/h）。

表 2-1 项目区域 γ 辐射剂量率现状监测结果

检测点序号	检测点位置	γ 辐射剂量率(μ Sv/h)
1	加速器机房拟建区域（见检测点位图）	0.125
2	加速器机房拟建区域（见检测点位图）	0.100
3	加速器机房拟建区域（见检测点位图）	0.081
4	加速器机房拟建区域（见检测点位图）	0.091
5	加速器机房拟建区域（见检测点位图）	0.092
6	加速器机房拟建区域（见检测点位图）	0.092
7	加速器机房拟建区域（见检测点位图）	0.090
8	加速器机房拟建区域（见检测点位图）	0.104
9	加速器机房拟建区域（见检测点位图）	0.105
10	加速器机房拟建区域（见检测点位图）	0.097
11	加速器机房拟建区域（见检测点位图）	0.096

12	加速器机房拟建区域（见检测点位图）	0.091
13	厂房中部（东）	0.093
14	厂房中部（西）	0.094
15	厂房北侧（西）	0.091
16	厂房北侧（东）	0.089
17	厂区东侧（北）	0.092
18	厂区东侧（中）	0.094
19	厂区东侧（南）	0.093
20	厂区西侧（南）	0.129
21	厂区西侧（中）	0.124
22	厂区西侧（北）	0.093
23	厂区北侧（西）	0.103
24	厂区北侧（中）	0.097
25	厂区北侧（东）	0.096
26	在建物流园（北）	0.110
27	在建物流园（南）	0.092
28	和顺服饰（北）	0.103
29	欣阳饲料（北）	0.112
30	和顺服饰宿舍楼外	0.115
31	厂界西侧	0.119
32	宝威滤清（东）	0.122
33	天辰机械（东）	0.092
34	北厂界外（西）	0.092
35	北厂界外（东）	0.090
36	永康街北（绿化）	0.094

注：表中数据未扣除背景值。

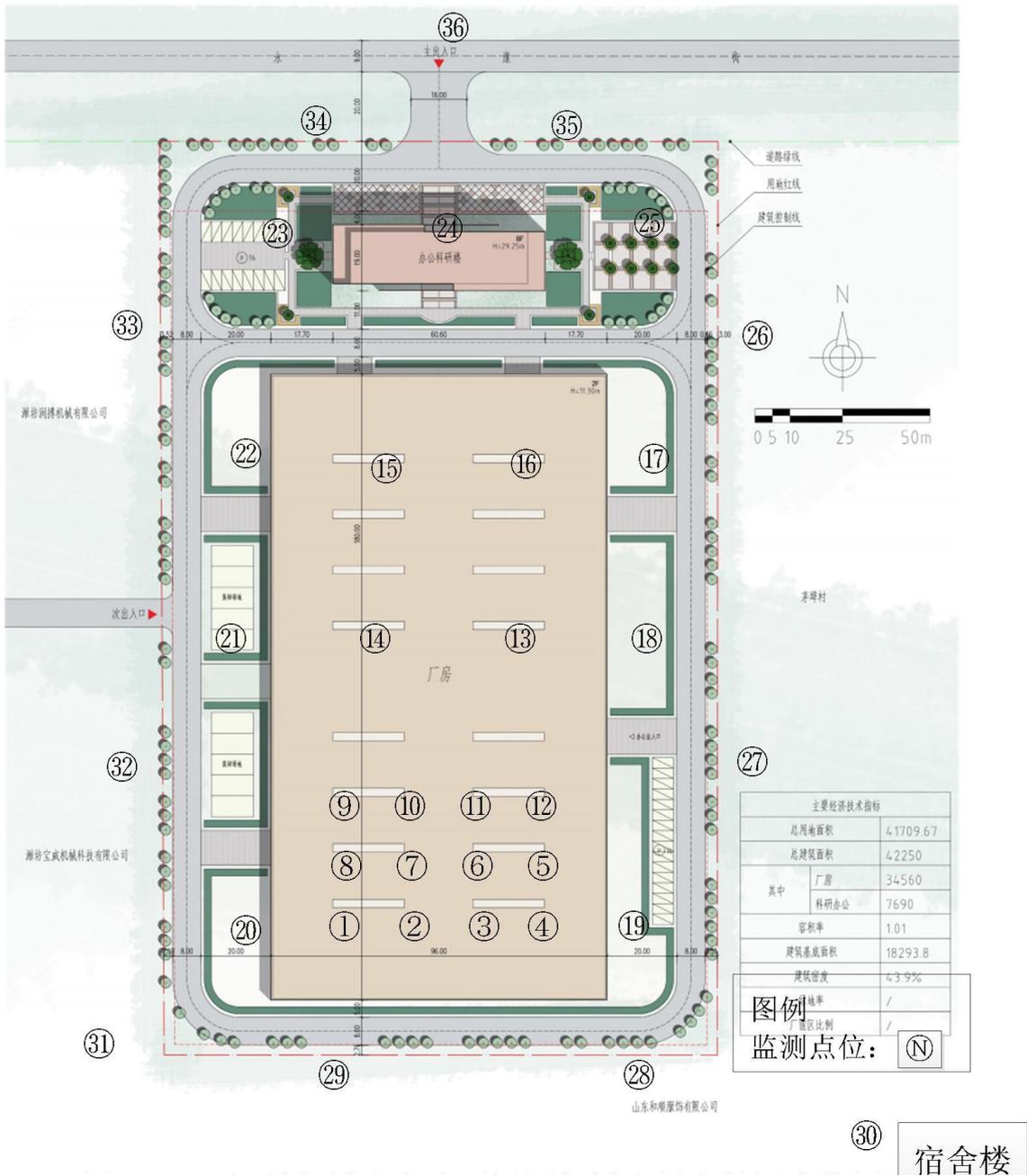


图 2-1 γ 辐射剂量率和中子周围剂量当量率检测点位布设示意图

2.3.2 中子辐射环境现状

检测单位在 γ 辐射剂量率同点位处布设中子检测点位，单次测量。检测点位见图 2-1，监测结果见表 2-2。监测结果表明，项目区域中子周围剂量当量率均小于 $0.01\mu\text{Sv/h}$ （仪器探测下限为 $0.01\mu\text{Sv/h}$ ）。

表 2-2 项目区域中子剂量率现状监测结果

检测点序号	检测点位置	周围剂量当量率($\mu\text{Sv/h}$)
1	加速器机房拟建区域（见检测点位图）	<0.01
2	加速器机房拟建区域（见检测点位图）	<0.01
3	加速器机房拟建区域（见检测点位图）	<0.01
4	加速器机房拟建区域（见检测点位图）	<0.01
5	加速器机房拟建区域（见检测点位图）	<0.01
6	加速器机房拟建区域（见检测点位图）	<0.01
7	加速器机房拟建区域（见检测点位图）	<0.01
8	加速器机房拟建区域（见检测点位图）	<0.01
9	加速器机房拟建区域（见检测点位图）	<0.01
10	加速器机房拟建区域（见检测点位图）	<0.01
11	加速器机房拟建区域（见检测点位图）	<0.01
12	加速器机房拟建区域（见检测点位图）	<0.01
13	厂房中部（东）	<0.01
14	厂房中部（西）	<0.01
15	厂房北侧（西）	<0.01
16	厂房北侧（东）	<0.01
17	厂区东侧（北）	<0.01
18	厂区东侧（中）	<0.01
19	厂区东侧（南）	<0.01
20	厂区西侧（南）	<0.01
21	厂区西侧（中）	<0.01
22	厂区西侧（北）	<0.01
23	厂区北侧（西）	<0.01
24	厂区北侧（中）	<0.01

25	厂区北侧（东）	<0.01
26	在建物流园（北）	<0.01
27	在建物流园（南）	<0.01
28	和顺服饰（北）	<0.01
29	欣阳饲料（北）	<0.01
30	和顺服饰宿舍楼外	<0.01
31	厂界西侧	<0.01
32	宝威滤清（东）	<0.01
33	天辰机械（东）	<0.01
34	北厂界外（西）	<0.01
35	北厂界外（东）	<0.01
36	永康街北（绿化）	<0.01

2.3.3 空气和土壤中放射性核素环境现状

检测单位对项目区域进行空气中氡、空气中 γ 核素和土壤取样，并进行实验室分析测量，测量结果见表 2-3~表 2-5，取样点位布设见图 2-2，其中点位 1 是空气中氡采样点，点位 2 是空气中 γ 核素采样点，点位 3、4 是土壤采样点。

项目区域空气氡的活度浓度低于 25mBq/m^3 。参考生态环保部发布的《2018 全国辐射环境质量报告》，全国空气中氡的活度浓度范围为 $6\text{mBq/m}^3\sim 29\text{mBq/m}^3$ 。项目周围空气中氡的活度浓度处于全国空气氡活度浓度的正常涨落范围内。

项目区域气溶胶中 ^7Be 的活度浓度为 4.911mBq/m^3 ，处于《2018 全国辐射环境质量报告》气溶胶中 ^7Be 活度浓度 $0.02\text{mBq/m}^3\sim 18\text{mBq/m}^3$ 的正常波动范围内。空气中 ^{40}K 的活度浓度为 2.037mBq/m^3 ，高于《2018 全国辐射环境质量报告》气溶胶中 ^{40}K 活度浓度 $0.01\text{mBq/m}^3\sim 0.74\text{mBq/m}^3$ 范围。其余核素活度浓度均低于探测下限或略高于探测限。

实验室测量结果表明，厂址附近土壤样品中核素 ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{226}Ra 的含量分别为 $33\text{Bq/kg}\sim 38\text{Bq/kg}$ 、 $29\text{Bq/kg}\sim 32\text{Bq/kg}$ 、 $17\text{Bq/kg}\sim 22\text{Bq/kg}$ ，对照《2018 全国辐射环境质量报告》和《中国环境天然放射性水平》（潍坊市）， ^{238}U 、 ^{232}Th 、

^{226}Ra 、 ^{40}K 的活度浓度均处于正常范围（ ^{238}U （7 Bq/kg ~302 Bq/kg）、 ^{232}Th （9 Bq/kg ~425 Bq/kg）、 ^{226}Ra （9 Bq/kg ~344 Bq/kg）、 ^{40}K （536.8 Bq/kg ~837.9 Bq/kg）），其余核素活度浓度均低于探测下限。

表 2-3 空气中氡检测结果

序号	样品名称	空气样品冷凝水比活度(Bq/L)	空气样品氡比活度(mBq/m ³)
1	厂区空气氡	<1.3	<25

表 2-4 空气中 γ 核素检测结果

序号	样品名称	核素	活度浓度($\mu\text{Bq}/\text{m}^3$)
2	厂区气溶胶	Be-7	4911
		Ar-41	<7.6
		Ra-226	<27
		Th-232	26
		U-238	<483
		K-40	2037

表 2-5 土壤中天然放射性核素测量结果（Bq/kg.干）

序号	样品名称	核素	活度浓度(Bq/kg干土)
3	厂区西侧土壤	Be-7	<3.1
		Na-22	<0.46
		Si-35	<2.0
		Ar-41	<0.46
		Cr-51	<2.9
		Mn-54	<0.41
		Fe-59	<0.78
		U-238	38
		Th-232	29
		Ra-226	17
		K-40	579
4	加速器拟建区域土壤	Be-7	<3.2
		Na-22	<0.48
		Si-35	<2.1
		Ar-41	<0.47
		Cr-51	<3.0
		Mn-54	<0.42
		Fe-59	<0.81
		U-238	33
		Th-232	32
		Ra-226	22
		K-40	659

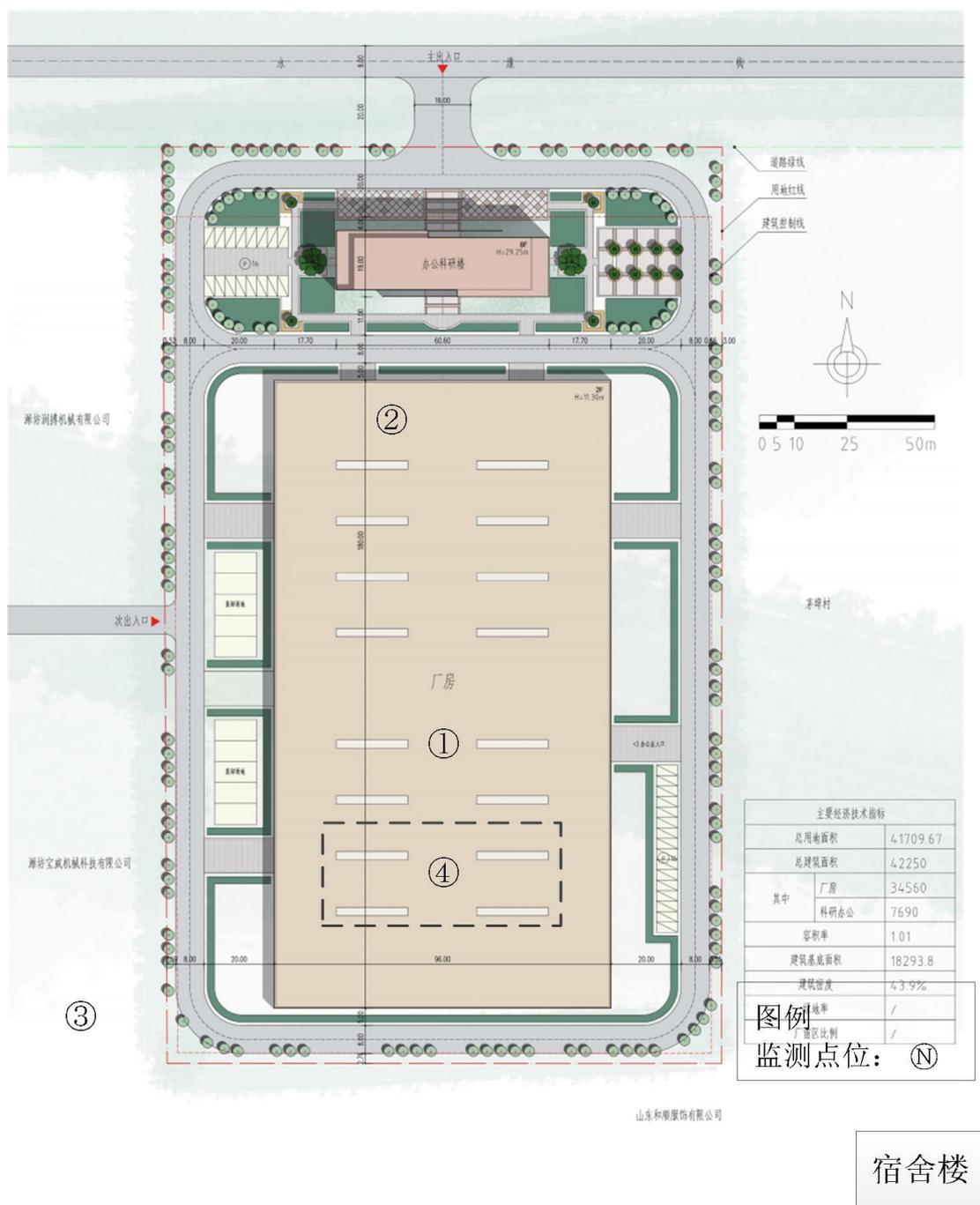


图 2-2 环境空气、土壤现场采样点位布设示意图

2.3.4 声环境质量现状

检测单位对项目区域声环境质量现状进行了检测，检测频次为昼夜各 1 次。检测结果见表 2-6，检测点位布设见图 2-3。

检测结果表明厂界昼间声环境噪声为（50.1~58.3）dB(A)，夜间声环境噪声为（40.4~44.7）dB(A)，项目区域环境声环境质量良好，满足《声环境质量标准》（GB 3096-2008）中 2 类声环境功能区要求。

表 2-6 项目区域声环境现状检测结果

检测点序号	检测点位置	昼间噪声值 (dB(A))	夜间噪声值 (dB(A))
1	西厂界外 1m（北）	58.3	43.7
2	西厂界外 1m（南）	57.9	44.1
3	东厂界外 1m（南）	55.2	43.9
4	东厂界外 1m（北）	57.1	44.1
5	厂区中部	55.5	44.7
6	北厂界外 1m（西）	51.0	43.2
7	北厂界外 1m（东）	51.3	42.1
8	南厂界外 1m（西）	53.8	42.7
9	南厂界外 1m（东）	51.2	40.9

2 类声环境功能区昼间噪声限值 60dB(A)，夜间噪声限值 50dB(A)

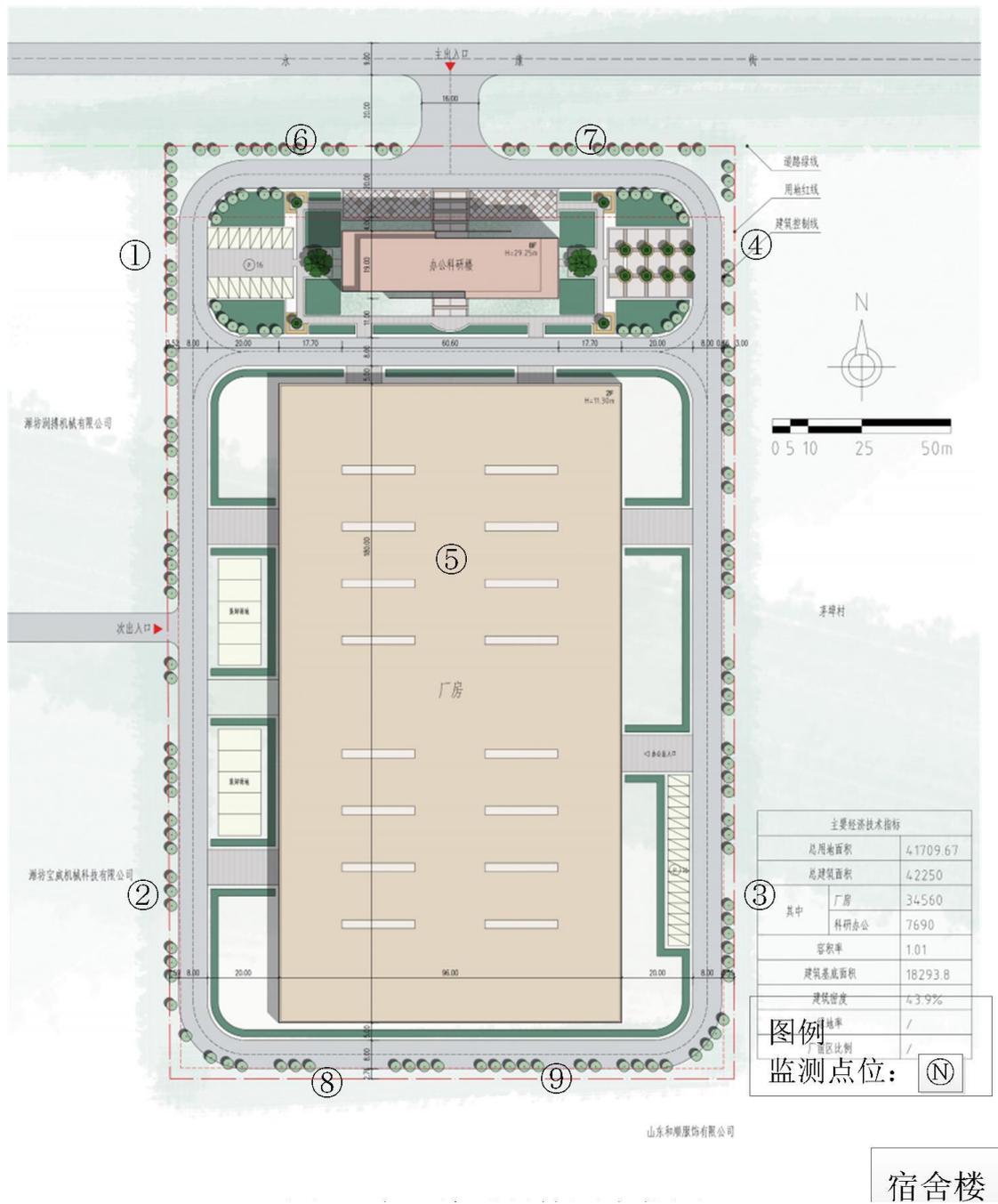


图 2-3 声环境质量点位布设示意图

3 工程分析与源项

3.1 项目规模与基本参数

中以康联国际医疗科技有限公司位于潍坊市经济区友爱路以东、永康街以南，永康街 13088 号。项目建成后，预计年产 10 套 70MeV~250MeV 的质子治疗系统。

从功能角度划分，该质子治疗系统主要由加速器系统 and 治疗室系统组成。

该系统采用先进的同步加速器，提供 70MeV~250MeV 的能量连续可调的质子束。生成的质子治疗束具有束流聚焦好、能量集中稳定的特性。质子的布拉格峰（Bragg 峰）使得精准剂量投射成为可能，避免穿透肿瘤伤害更多健康组织，可以快速地实现不同治疗深度的质子治疗束的叠加，以满足广泛的临床质子治疗的能量需求。

质子治疗系统的基本情况见表 3-1，加速器系统指标见表 3-2。

表 3-1 质子治疗系统设备情况

产品名称	加速器型号	生产厂家	年产量	射线装置类别
医用质子治疗系统	Prometheus	中以康联国际医疗科技有限公司	10套	I

表 3-2 加速器系统主要技术指标

指标	数值
加速器类型	同步加速器
射线种类	质子
引出能量（可调节）	70MeV~250MeV
标准最大引出流强	2.20E+09/s
引出效率	大于85%
最大引出束流发射率(1 σ) (水平)	2.45~7.75mm.mrad

3.2 工程设备

3.2.1 加速器系统

加速器机房内加速器装置由注入器、同步加速器、束流引出系统和扫描头等组成，其总体布局如图 3-1 所示。

一束质子的完整加速过程描述如下：首先，注入器产生质子，并通过串列静

3.2.3 辅助系统

加速器装置辅助系统主要包括冷却水系统和通风空调系统，作为配套设施提供满足加速器装置运行要求的环境条件。

3.2.3.1 冷却水系统

水冷系统包括风冷式制冷机组、分集水器、管路以及控制系统，加速器机房内设循环水箱。冷却水的冷源由制冷机组提供，经板式换热器热交换之后产生低温去离子水作为冷却水为加速器、电源柜、真空系统提供冷却。冷却水使用去离子水，冷却水系统流程见图 3-8。

加速器冷却水流量 $40\text{m}^3/\text{h}$ ，系统内总水量约 1m^3 。正常拆卸设备时，先将水集中到循环水箱中，通过水泵转运至沉降池。每间加速器机房配置 2 个沉降池，单个沉降池可以容纳一台加速器系统内所有冷却水。1~4 号加速器机房的沉降池位于机房外南侧，每个沉降池长宽深尺寸为 $1\text{m}\times 1.5\text{m}\times 1.5\text{m}$ （容积为 2.25m^3 ）；5 号加速器机房的沉降池位于机房外东侧，每个沉降池尺寸为 $1\text{m}\times 1\text{m}\times 1.5\text{m}$ （容积为 1.5m^3 ）。

沉降池用于正常调试工况和检修工况冷却水排放。企业最大年产量 10 台质子治疗系统，每个机房每年最多调试 2 台（每台质子治疗系统组装、调试和拆卸需要半年）。因此厂房内加速器机房满负荷调试运行，冷却水年排放量不超过 10m^3 。每个加速器机房的 2 个沉降池交替使用，确保冷却水存放 1 年后排放。

另设有应急水池，用于事故工况下冷却水回路系统应急排水。每间加速器机房配置 1 个应急水池，单个应急水池可以容纳一台加速器系统内所有冷却水，可承担系统多处漏水情况下的排水。冷却水系统设置水量检测仪器，发生泄漏引起系统水量减少时，系统报警。加速器机房的角落处设置了地漏，机房地面形成一定坡度，在冷却水泄漏时能依靠重力自行流入地漏，自动监测收集系统发现有泄漏后，将收集的冷却水泵入应急水池中。1~4 号加速器机房的应急水池位于机房外南侧，每个应急水池长宽深尺寸为 $1\text{m}\times 1.5\text{m}\times 1.5\text{m}$ （容积为 2.25m^3 ）；5 号加速器机房的应急水池位于机房外东侧，每个应急水池尺寸为 $1\text{m}\times 2.25\text{m}\times 1.5\text{m}$ （容积为 3.375m^3 ）。

沉降池和应急水池均采用混凝土浇筑，池内四壁、底部采用防水涂料覆盖，防止冷却水渗漏。冷却水中主要核素 ^3H 为纯 β 核素， ^7Be 核素发射少量 γ 射线，

但活度浓度较低，水池上部剂量预计低于 $0.1 \mu\text{Sv/h}$ 。沉降池和应急水池上部覆盖钢板，防止人员坠落。

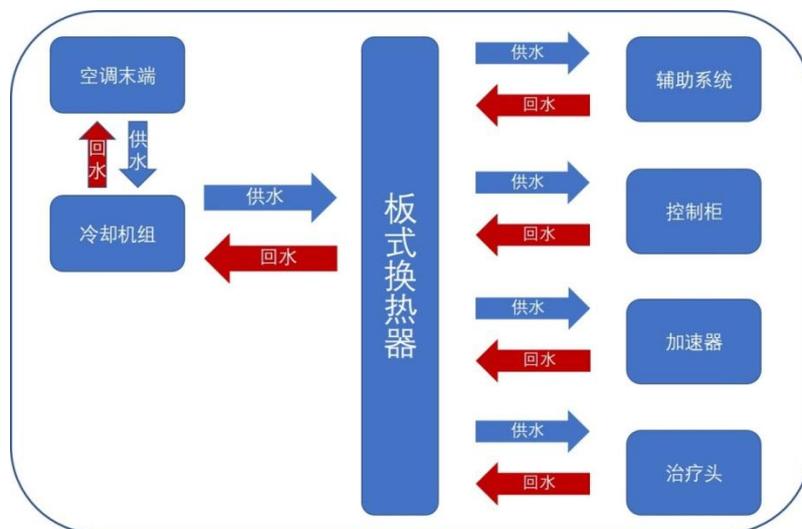


图 3-8 水冷却系统流程

3.2.3.2 通风与空调系统

通风与空调系统为控制区、监督区的工作人员提供新鲜空气并控制空气的温湿度，可实现空气净化、除湿、降温、供暖、新风量调节等多种功能。

通风与空调系统利用新风过滤器对入风进行净化，新风过滤器采用初、中效两级过滤组合，其过滤效率分别为 30% 和 85%。出风经过厂房建筑屋顶排气口排入环境中，1~4 号机房共用一根排气总管，5 号机房单独设置排气口。为满足工作人员的可留性要求，控制区的换气频率为 4 次/小时，并维持控制区压力小于监督区，保证新鲜空气从监督区流向控制区，防止污染。通风与空调系统运行流程见图 3-9。

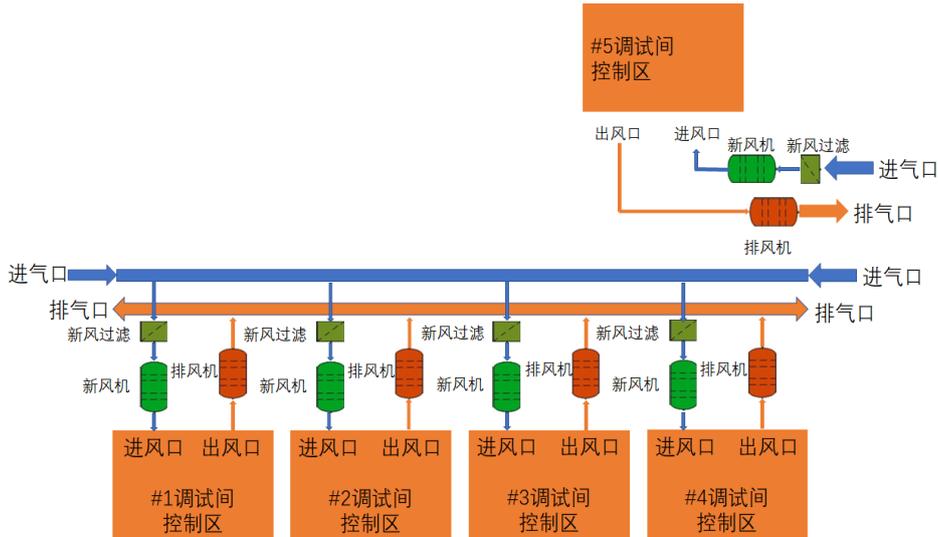


图 3-9 通风与空调系统运行流程

3.3 工艺流程

本项目包含了质子治疗系统生产、使用（含建造）、销售的全过程活动。从活动发生地点来分，生产和使用是项目所在地加速器机房内从事的研发以及相关调试工作；销售是指质子治疗系统销售到医院后的安装调试以及后续维护工作，不包含质子治疗系统的日常治疗运行。

3.3.1 生产使用

本项目质子治疗系统的生产使用主要是指研发调试，生产活动在新建的加速器机房中进行，生产或采购的零部件经验收之后运输进入厂房各个加速器机房进行整机组装，研发人员进行集成调试，达到指标后，便完成生产过程等待销售。待销售合同签订后，将质子治疗系统拆卸运输到医院。

在生产使用过程中，项目现场辐射工作人员主要为研发人员，还包括部分参与辐射工作的工人（如调试后负责拆卸的工作人员）。

3.3.2 销售流程

整套质子治疗系统首先在加速器机房安装调试，系统经调试各项指标参数合格后拆卸运往各医院。

质子治疗系统送达用户使用场所后，由建设单位确认用户单位是否具备安装条件（包括手续文件、场地等），安装条件满足后方可安排相关技术人员进行现场安装。

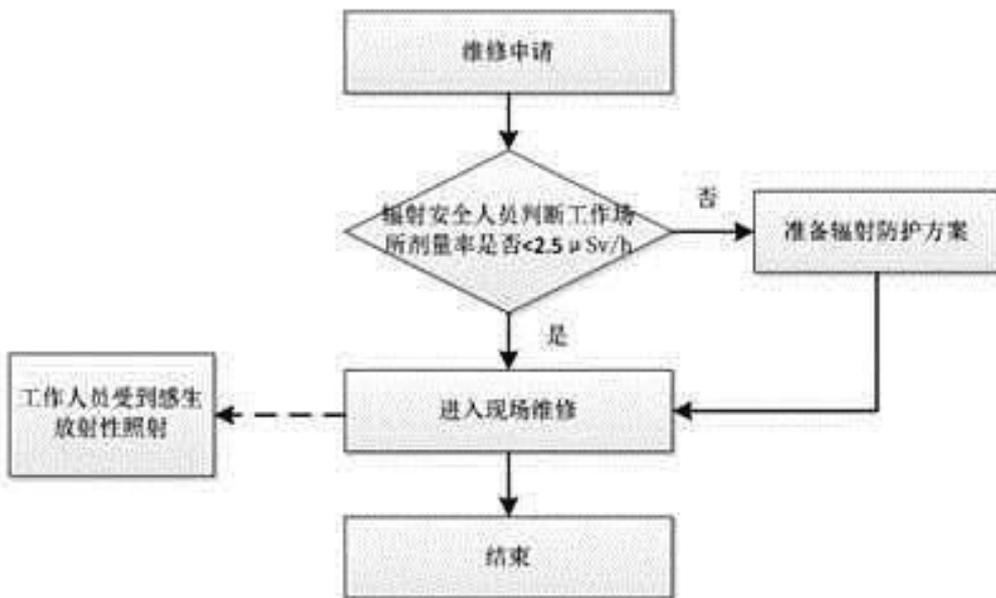
设备安装完成后，由建设单位确认联锁系统、监测系统、通风系统、水冷系统等是否都满足运行前条件，所有安全辅助系统满足条件的情况下进行用户单位现场的系统调试活动，系统调试达标验收后交付医院，标志着销售完成，进入售后阶段。

建设单位负责的安装调试工作包括：1) 机械、电气设备的储运，2) 机械、电气设备的物理安装；3) 独立子系统分阶段调试；4) 全系统集成带束调试；5) 质子治疗系统验收。

售后阶段主要活动为维修维护，包括质子治疗系统发生故障时的维修和定期维护保养。质子治疗系统维修维护的整个过程，由建设单位的工作人员负责，用户单位负责提供工作场所和协调前期相关准备工作，不参与具体维修维护作业。

质子治疗系统定期维护保养属于正常运行工况范畴，辐射工作人员严格遵守加速器开机后冷却 1 小时才能进入机房进行维护操作的时间间隔要求。进入机房后，辐射工作人员因日常维护所受缓发辐射的照射时间计入工作人员总的年受照时间中，根据调试工作负荷，缓发辐射受照时间不得超过 1200h/a。

对于质子治疗系统发生故障需要紧急维修的工况，辐射工作人员往往不能满足停机冷却 1 小时再进入的时间限值要求。此时加速器刚刚停止运行，感生放射性较强，辐射人员进入现场进行维修时会受到元器件、设备部件产生的感生放射性外照射，感生放射性可能会超过工作人员工作场所剂量率控制限值（ $2.5\mu\text{Sv/h}$ ）。参照国内外高能质子/重离子加速器运行经验，辐射工作人员需要制定紧急工况下辐射防护方案后才能进入加速器机房进行维修工作，并且严格控制工作时间，确保工作人员年受照剂量不超过 2mSv/a 。维修期间，辐射工作人员的辐射防护方案主要应包括以下方面：工作人员佩戴剂量率报警仪，报警仪设置瞬时剂量率和累积剂量的报警阈值；限定单次工作人员受照剂量限值；限制工作人员高剂量率工况下参与维修的次数；配置工作所需要的机械手臂、铅衣、口罩等防护物品，以及其他辐射防护方案。辐射工作人员维修的工艺流程图见下图所示。



3.4 污染源项

质子同步加速器运行时产生的辐射场主要包括两个种类，一种为加速器的运行时由初级束和次级束产生的“瞬发辐射”，另一种为加速器停机后活化核素产生的“缓发辐射”。瞬发辐射一般远高于缓发辐射，它决定了对加速器机房屏蔽厚度的设计要求。辐射工作人员在加速器停机后需要进入加速器机房内开展测量、调试工作，因此缓发辐射也是放射性工作人员受照剂量的主要来源之一。

瞬发辐射由加速器运行时损失束流与加速器部件、终端靶和屏蔽墙等发生核反应产生，特点是能量高、辐射强，但随着加速器的停机而完全消失；缓发辐射主要来自于加速器部件、设备冷却水、机房内空气在主束或次级粒子轰击下产生的活化产物，在加速器停机后依然存在。

对于医用质子加速器，质子能量高、射程长、流强大，束流聚焦好，沿途散失小。束流轰击终端靶部件时束流损失大，因此靶件适于采用束流收集器、局部厚屏蔽等措施。加速器运行时产生的辐射主要是高能粒子引起的核反应而发射出的瞬发中子，主要包括由核内级联产生的高能中子及复合核退激出射的蒸发中子（各向同性部分）两部分，其他粒子不论是产生的量还是其穿透能力均远小于中子。

本项目中子产额、屏蔽计算和活化计算采用蒙特卡罗程序进行模拟，所采用的程序由意大利国家核物理研究院和欧洲核子中心联合开发、维护和发布，为

2017年发布的最新版本。该程序用于粒子输运和粒子与物质相互作用的综合蒙特卡罗程序模拟，它的应用领域包括：质子和电子加速器的屏蔽、靶设计、热量标定、物质活化、物质活度、探测器设计、ADS、宇宙射线，中微子物理和放射性治疗方法等，是目前加速器设计和屏蔽计算应用中最为广泛的程序。

模拟计算的物理过程主要包括强子非弹性相互作用、弹性散射、核子-核子相互作用、带电粒子和 μ 介质的输运过程、低能中子输运过程、电子输运过程、光子及可见光运输过程、中微子输运过程等。本项目屏蔽计算和物质活化所采用的屏蔽体几何模型与加速器机房结构设计一致，对加速器注入器、加速器磁铁等复杂结构部件采取了保守的简化处理。

3.4.1 瞬发辐射

3.4.1.1 中子产额

质子与靶发生核反应得到的中子产额、能谱和角分布与入射粒子种类、能量和流强有密切关系，还受靶核性质的影响。中子产额与能量都随粒子单核能量的提高而单调上升。在单核能量相同的情况下，中子产额随入射粒子质量数的增加而上升。中、高能质子核反应瞬发中子有两个突出的特点：从角分布看，正前方有尖锐的峰值；从能谱看，几乎各个方向都有高能中子，这些高能中子是辐射屏蔽的主要对象。

根据本项目医用质子同步加速器的束流能量和主要屏蔽体材料，采用蒙特卡罗程序对能量为250MeV的质子照射体模产生的中子场进行模拟，图3-10给出了质子束轰击体模的中子产额随能量的分布。从图中可见，对于250MeV、70MeV入射质子束，产生的中子最大能量可达入射束的能量，但能量低于20MeV的中子占主要部分；模拟计算结果显示对于10MeV以下的质子束流，在轰击体模的条件下，中子产额极小，即次级束引起的辐射剂量场可以忽略。因此本项目的源项主要考虑入射质子束流能量大于10MeV的工况，场所辐射屏蔽以设计的最大能量进行计算，对于能量小于10MeV的束流均以加速器可达到的最大能量进行保守计算和评价。

为了分析加速器产生的辐射场，图3-11给出了质子轰击体模的总辐射剂量场和中子剂量场。从分析结果可知，质子束轰击靶材料的次级束主要为中子，中子的对辐射剂量场的贡献大于90%，其余贡献主要来自光子。

(5) 扫描机头（图中⑤）

扫描机头安装有相互垂直的偏转磁铁，实现束流线对靶的精确扫描照射，束线在偏转过程中部分束流损失在偏转磁铁上。该处初始束流强度为 $2.1E+9PPS$ ，束流损失率为 5%，束流最大能量为 250MeV。

(6) 辐照终端（图中⑥）

辐照终端为体模，该处束流强度为 $2E+9PPS$ ，束流损失方式为集中损失，损失率 100%，最大能量为 250MeV。

根据上述对医用质子同步加速器中质子束流的运输过程和损失描述，可得到本项目的束流损失表。束流引出能量为 250MeV 或 120MeV 的束流损失见表 3-3，引出能量为 70MeV 的束流损失见表 3-4。

表 3-3 加速器束流损失表（引出能量为 250MeV 或 120MeV）

束流损失区域	束流最大能量 MeV	束流强度 PPS	束流 损失	损失束流强度 PPS	损失类型
加速器环*	250（或 120）	$8.00E+09$	69%	$5.50E+09$	均匀损失
束流引出	250（或 120）	$2.50E+09$	12%	$3.00E+08$	集中损失
束流传输线	250（或 120）	$2.20E+09$	5%	$1.00E+08$	均匀损失
扫描机头	250（或 120）	$2.10E+09$	5%	$1.00E+08$	集中损失
终端	250（或 120）	$2.00E+09$	100%	$2.00E+09$	集中损失

备注：表中单位 PPS 表示每秒传输（损失）的粒子数。

表 3-4 加速器束流损失表（引出能量为 70MeV）

束流损失区域	束流最大能量 MeV	束流强度 PPS	束流 损失	损失束流强度 PPS	损失类型
加速器环*	70	$8.00E+09$	69%	$5.50E+09$	均匀损失
束流引出	70	$2.50E+09$	12%	$3.00E+08$	集中损失
束流传输线	70	$2.20E+09$	5%	$1.00E+08$	均匀损失
扫描机头	70	$2.10E+09$	14%	$3.00E+08$	集中损失
终端	70	$1.80E+09$	100%	$1.80E+09$	集中损失

备注：表中单位 PPS 表示每秒传输（损失）的粒子数。

3.4.1.3 调试负荷

本项目共设计有 5 个加速器机房，各加速器机房调试工况相同。每个加速器机房每年最多调试 2 台加速器。

加速器调试工况按组进行，每组调试开机 5 次，每次连续运行 10min；加速器停止运行 1h 后，工作人员方可进入加速器机房内作业不超过 2h。

加速器调试包括 70MeV、120MeV 和 250MeV 三种束流能量工况，单个机房加速器机房调试年运行负荷表见表 3-5。对于束流能量 70MeV，调试一台加速器年最大运行时间为 65h，即最大进行 78 组调试实验；对于束流能量 120MeV 和 250MeV，年最大运行时间均为 30h，即最大各进行 36 组实验。

表 3-5 单台加速器年调试负荷

束流最大能量, MeV	各工况年调试运行时间	年总运行时间
250	30h	125h
120	30h	
70	65h	

项目初步安排 30 名辐射工作人员，负责质子治疗系统的厂内调试和厂外销售安装调试工作，厂内厂外工作工况相同。每个职业人员每年最大负责 4 台加速器的运行调试(包括厂内调试和厂外销售调试)。后续根据生产销售规模的扩大，适当增加辐射工作人员。

根据表 3-5，每台加速器每年最长调试时间为 125h，工作人员调试 4 台机器年受到瞬发照射时间保守估计为 500h/a。根据实验结束后工作人员进入机房内的作业时间 2h 以及各能量工况下开展的实验组数，职业人员进入机房受到缓发辐射照射的工作时间见表 3-6，保守估计为 1200h/a。

表 3-6 辐射工作人员年工作时间（缓发辐射）

束流最大能量 MeV	开展实验组数	每组实验结束后职业人员进入机房作业时间	机房内年总工作时间
250	36 组×4 台	2h	1200h
120	36 组×4 台	2h	
70	78 组×4 台	2h	

3.4.2 缓发辐射

对于能量较高的质子加速器，感生放射性为辐射工作人员受照剂量的主要来源。感生放射性主要由加速器主束（质子束）、次级中子、 γ 光子与加速器部件、冷却水及机房内空气相互作用引起，其辐射水平取决于加速粒子的能量、种类、

流强、加速器运行时间、冷却时间和被照材料性质等诸多因素。对于单次运行时间较短的医用质子加速器，长半衰期放射性核素产额低，短半衰期放射性核素产额高，由于短半衰期核素衰变快，缓发辐射剂量场可在短时间内衰减到较低的放射性水平。

3.4.2.1 空气活化

加速器运行期间初级粒子或次级粒子与加速器机房中空气分子的直接核反应是空气活化核素的主要来源。空气活化核素一般为短半衰期核素，核素在放射性衰变和空气稀释效应下可快速降低到较低的放射性水平。

本项目设置了二级新风过滤，可忽略机房内气溶胶活化产生的辐射影响。干燥空气密度为 0.00125g/cm^3 ，化学组份见表 3-7，空气中活化的放射性核素主要通过热中子俘获、 $(n, 2n)$ 、 (γ, n) 反应和散裂反应而产生。产生的活化核素主要有 ^3H 、 ^7Be 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 和 ^{41}Ar 等，对人体的危害途径主要为气体浸没外照射和吸入内照射。

表 3-7 空气化学组份表

序号	化学元素	质量分数	序号	化学元素	质量分数
1	C	0.0124 %	3	O	23.1781 %
2	N	75.5268 %	4	Ar	0.4671 %

3.4.2.2 冷却水活化

加速器冷却水为闭循环模式的去离子水。加速器的冷却水受次级粒子（主要是中子）的照射而活化，主要反应为中子引起水中 ^{16}O 散裂，活化的放射性核素以 ^{15}O 、 ^{14}O 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^3H 和 ^7Be 为主。

质子同步加速器冷却水用于冷却加速部件，而束流主要损失在偏转磁体（二极磁体）处，因此位于二极磁体处的冷却水是冷却水环路中活化核素的主要来源。本项目每台加速器冷却水总存水量约为 1m^3 。

3.4.2.3 终端体模

加速器运行时，束流一部分损失在注入点、同步环、引出点、传输线等加速器部件内，剩余的束流完全损失在终端的体模上。体模几何尺寸为 60cm （长） $\times 50\text{cm}$ （宽） $\times 60\text{cm}$ （高），体模外壳为厚 3cm 的聚乙烯、内部为水，外壳密

3.5 废弃物

3.5.1 废气

放射性废气来源于加速器运行期间初级粒子或次级粒子与空气相互作用产生放射性气体。

气体放射性主要通过热中子俘获、 $(n, 2n)$ 、 (γ, n) 反应和散裂反应而产生。产生的核素主要包括 ^3H 、 ^7Be 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 和 ^{41}Ar ，对人体的危害途径主要为气体浸没外照射和吸入内照射。除了 ^3H 和 ^7Be 半衰期较长外，其他核素半衰期都很短，机房内保持通风换气，活化核素不会长期累积；且空气中活化核素的毒性较小，对进入机房工作的人员和周围公众危害不大。

3.5.2 废水

加速器的放射性废液主要是被活化的冷却水。本项目所用冷却水为去离子水（企业外购或采用设备制备），去离子水在运行期间循环使用。正常调试期间，冷却水闭路循环不排放，加速器销售前一次性排入沉降池。冷却水系统运行期间，如系统发生漏水或出现异常运行情况，可将冷却水排至应急水池。

终端体模中的水（蒸馏水）长期使用不排放，若需要更换，也排入沉降池中。冷却水衰变1年后水中活化核素主要是 ^3H 和 ^7Be ，其他核素活度已衰变至可忽略水平。

3.5.3 固体废物

放射性固体废物主要来自加速器调试、运行、维修过程中产生的废活化元器件、废冷却水过滤滤芯及交换树脂、退役终端（体模）等，总产生量不超过100kg/年。统一收集后存放至放射性废物库中。

固体废物中活化核素包括了元器件活化、衰变后产生的短半衰期核素，如Na-22、Fe-55、Mn-54、Co-60等，还有来自滤芯和树脂中吸附的冷却水中活化核素 ^3H 、 ^7Be 等，固体废物在放射性废物库中存放衰变一段时间后，大都数核素活度已衰变至较低的水平。

（1）活化元器件

加速器调试和维修过程中更换的加速器活化元器件很少，每年估计不超过30kg，大部分活化部件具有再利用价值，衰变一段时间后可再利用，不能再利用的少量活化元器件成为低放废物。

（2）冷却水过滤滤芯和过滤树脂

闭式循环水净化系统过滤冷却水运行过程中，会产生含放射性核素的过滤器滤芯和净化树脂等。过滤器滤芯和净化树脂不能重复利用，每年消耗量不超过50kg，因吸收了冷却水中活化的核素作为低放废物。废树脂同时也属于危险废物，危废编号为HW13的有机树脂类废物，编号900-015-13。

（3）易耗品

易耗品主要包括调试和维修所用的口罩、手套、抹布等，该类物品的产生量根据调试维修的工作量而变化，每年产生约8公斤，放射性水平较低。

（3）终端体模

每个调试机房内有1个终端（体模），该设备可以长期使用，不经常更换。若不再继续使用，作为放射性固体废物放入废物库暂存。每年产生的这部分固体废物不超过12kg。

表3-10给出了项目运行过程中各类放射性固体废物的来源、数量、主要核素等情况。

表3-10 放射性固体废物源项一览表

放射性固体废物	来源	数量	主要核素
废活化元器	加速器机房内不再使用的部件	约30kg	^{22}Na 、 ^{55}Fe 、 ^{54}Mn 、 ^{60}Co 等核素
束流终端（体模）	加速器机房内退役终端	约12kg	^3H 、 ^7Be 、 ^{11}C 、 ^{13}N 等核素
口罩、手套、抹布等耗材	厂内、厂外机房内从事调试、维修和维护工序中产生	约8kg	^3H 、 ^7Be 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{14}O 、 ^{15}O 、 ^{22}Na 、 ^{55}Fe 、 ^{54}Mn 、 ^{60}Co 等核素
废滤芯及交换树脂（危险固废）	车间技术室内冷却水循环系统产生	约50kg	^3H 、 ^7Be 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{14}O 、 ^{15}O 等核素

4 辐射安全与防护

4.1 场所布局与屏蔽

4.1.1 场所布局

本项目生产调试的加速器机房均位于厂房内，厂房位于地块的中部偏南，厂房的北侧是办公科研楼，厂房西侧、东侧和南侧均为环厂区的道路，道路外为厂界，厂区内的平面布置情况见图 4-1。

本项目厂房南北长 180m，东西宽 96m，高 14.1m。厂房北侧区域的西部和中部为预留装配间，北侧区域的东部为办公区域，办公区为厂房内的 2 层建筑。北侧区域的东南角隔出 13.5m×16m 的房间作为变配电室。厂房中部区域的西侧隔出 3 个车间，分别为机械加工车间和两间小装配间。厂房中部区域的东侧建设 4 个 CT 机房。本项目设 5 个加速器机房，有 4 个加速器机房布置在生产厂房的南端，自西向东一字排开，编号分别为 1~4 号。5 号加速器机房单独布置在 4 号加速器机房的北侧，两机房相距 15.2m。5 号加速器机房的西侧是装配车间。本项目厂房内的平面布置见图 4-2。沉降池布置在 2 号、3 号加速器机房南侧和 5 号加速器机房东侧，整个厂房的电源均来自于变配电室，各加速器机房通过电缆供电。

建设单位按照辐射工作场所分区管理要求，对厂房内的工作场所进行分区设置和管理，按可能受到辐射影响的范围分为控制区和监督区。本项目 5 个加速器机房防护门以内区域及放射性废物库、沉降池、应急池划分为控制区（详见图 4-3），在加速器机房开机时，禁止任何人员进入。厂房南侧区域（包括加速器机房控制室、技术室、大装配间等）设置为监督区。监督区入口安装门禁，授权人员才能进入，控制室和放射性废物库需要额外授权。

控制区管理要求：经授权的辐射工作人员拥有门禁权限才能进入控制区，各机房外应急池和沉降池周围设置围栏和警示说明。控制区入口处明显位置粘贴电离辐射警告标识。辐射工作场所设有视频监控，所有涉及辐射操作的工作场所均被视频记录。进入控制区和监督区的辐射工作人员必须佩戴个人剂量计和个人报警仪。

监督区管理要求：监督区门禁处明显位置粘贴电离辐射警告标识，在工作时只有辐射工作人员才能进入，进入监督区的人员要佩戴个人剂量计和个人报警仪。

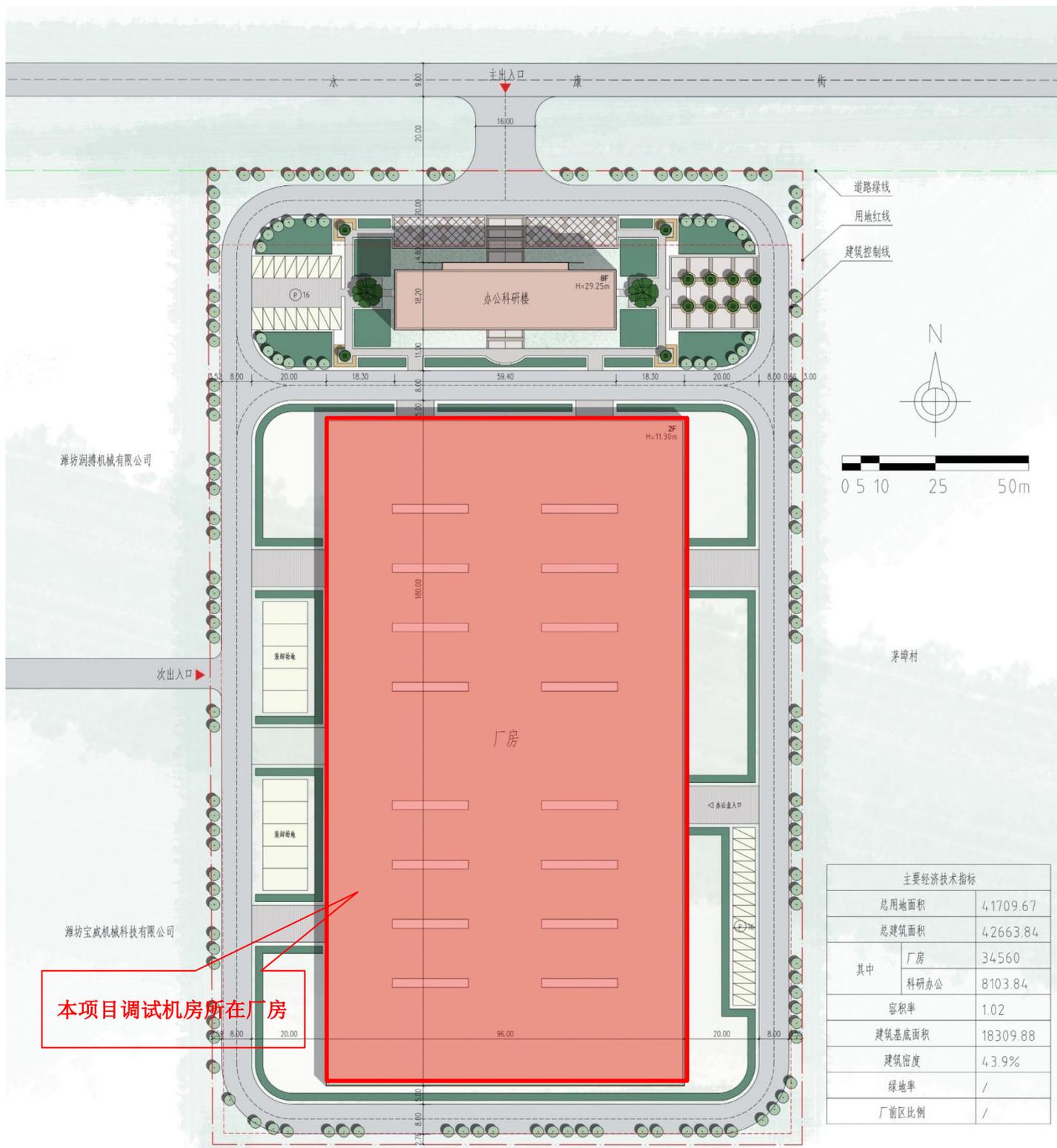


图 4-1 中以康联国际医疗科技有限公司总平面布置图

4.1.2 屏蔽防护

4.1.2.1 屏蔽设计

4.1.2.1.1 设计目标

本项目的屏蔽设计目标如下：职业照射个人年有效剂量不超过 2mSv/a；公众个人年有效剂量不超过 0.1mSv/a；加速器机房屏蔽墙、入口门外剂量率限值 2.5μSv/h，屋顶剂量率限值 100μSv/h。

4.1.2.1.2 屏蔽体设计

1 号~4 号加速器机房位于厂房南端，自西向东布满厂房的东西两端，4 座机房墙体、屋顶和底板的屏蔽厚度一致。5 号机房位于 1~4 号机房北侧，由于空间较为充裕，且考虑到今后设备研发和更新的需求，5 号机房四周屏蔽墙设计比其他机房更为保守，屋顶和底部屏蔽厚度与其他机房一致。

5 座机房均设置了“Z”型迷道，中子和 γ 射线经多次散射，在迷道口已降至较低水平，在出入口设置普通不锈钢材质门。迷道转角为方便设备运输，分别设置 3 个 45° 倒角，尺寸为 0.8m×0.8m。

加速器机房屏蔽体、底部(底板)和屋顶使用普通商品混凝土，密度 2.3g/cm³。1~4 号机房调试时最终引出束流朝西墙，各加速器机房东、西侧的墙体厚 4m，南侧墙 3.5m，北侧迷道内墙 3.5m，迷道外墙 2m，机房顶部为 2m。

5 号加速器机房调试时最终引出束流朝西侧屏蔽墙，西墙厚 5m，北墙、东墙、迷道内墙 4.5m，迷道外墙 2m。机房顶厚为 2m。各调试机房屏蔽尺寸见表 4-1，结构示意图见图 4-4。

表 4-1 各调试机房屏蔽厚度

机房	屏蔽体	材质、厚度	备注
1 号 加 速 器 机 房	西侧外墙	400cm 混凝土	墙外为过道
	南侧外墙	350cm 混凝土	墙外为过道、技术室
	东侧外墙	400cm 混凝土	墙外为 2 号加速器机房
	北侧迷道内墙	350cm 混凝土	迷道
	北侧迷道外墙	200cm 混凝土	墙外为控制室和大装配间
	顶部	200cm 混凝土	/
	迷道外口防护门	普通门，无防护效果	门高 4m

2 号 加 速 器 机 房	西侧外墙	400cm 混凝土	墙外为 1 号加速器机房
	南侧外墙	350cm 混凝土	墙外为过道、技术室
	东侧外墙	400cm 混凝土	墙外为 3 号加速器机房
	北侧迷道内墙	350cm 混凝土	迷道
	北侧迷道外墙	200cm 混凝土	墙外为控制室和大装配间
	顶部	200cm 混凝土	/
	迷道外口防护门	普通门，无防护效果	门高 4m
3 号 加 速 器 机 房	西侧外墙	400cm 混凝土	墙外为 2 号加速器机房
	南侧外墙	350cm 混凝土	墙外为过道、技术室
	东侧外墙	400cm 混凝土	墙外为 4 号加速器机房
	北侧迷道内墙	350cm 混凝土	迷道
	北侧迷道外墙	200cm 混凝土	墙外为控制室和大装配间
	顶部	200cm 混凝土	/
	迷道外口防护门	普通门，无防护效果	门高 4m
4 号 加 速 器 机 房	西侧外墙	400cm 混凝土	墙外为 3 号加速器机房
	南侧外墙	350cm 混凝土	墙外为过道、技术室
	东侧外墙	400cm 混凝土	墙外为过道
	北侧迷道内墙	350cm 混凝土	迷道
	北侧迷道外墙	200cm 混凝土	墙外为控制室和大装配间
	顶部	200cm 混凝土	/
	迷道外口防护门	普通门，无防护效果	门高 4m
5 号 加 速 器 机 房	西侧外墙	500cm 混凝土	墙外为大装配间
	南侧迷道内墙	450cm 混凝土	迷道
	南侧迷道外墙	200cm 混凝土	墙外为控制室和过道
	东侧外墙	450cm 混凝土	墙外为过道
	北侧外墙	450cm 混凝土	墙外为技术室
	顶部	200cm 混凝土	/
	迷道外口防护门	普通门，无防护效果	门高 4m

4.1.2.3 出入口迷道设计

本项目设置迷道，通过多次散射降低出入口处的辐射剂量率。5个调试机房最终的束流引出方向均不朝向迷道内口，可以有效使束流产生的辐射到达防护门口的路径至少多经历一次散射。通过建模计算，5个机房在调试时，迷道出口处的辐射剂量率均能满足 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的控制值。

4.2 辐射安全与防护措施

4.2.1 加速器安全联锁设计

4.2.1.1 安全联锁设计原则

安全联锁系统的设计，用于保护辐射工作人员的人身安全，避免加速器开机出束时人员受到意外照射。安全联锁的设计主要遵循以下原则。

- (1) 简单可靠：系统设计要力求在简洁基础上保证运行可靠性及稳定性。
- (2) 最优切断：当加速器处于“准备”或“运行”状态时，安全联锁系统在加速器中央控制系统联锁逻辑中具有最优先的权力切断加速器束流。
- (3) 失效保护：当安全联锁系统关键设备失效时，系统有相应的应急保护措施来保障工作人员的人身安全。
- (4) 冗余：系统关键设备要采取冗余设计，以保障系统的可靠性、减少系统故障时间并预留有进一步改进的余地。
- (5) 纵深防护：在设计系统时要充分考虑并合理安排辐射安全设施设备的联锁逻辑，实现对工作人员人身安全的交叉纵深防护。
- (6) 自我巡检：系统能对所属联锁设备的工作状态进行巡检，并能将巡检结果实时显示，如在巡检过程中发现设备工作异常则生成报警事件并通知工作人员进行处理；
- (7) 以人为本：安全联锁系统是在保障工作人员人身安全的基础上兼顾加速器的运行安全，此外系统要具备人性化的特点——联锁逻辑简洁合理、操作简单、维护方便、人机交互性好。

4.2.1.2 安全联锁设计

安全联锁系统由逻辑控制系统、联锁钥匙、紧急停机装置、清场开关、光电联锁装置、剂量联锁装置、警示装置（警灯、报警器、状态指示灯）、门机联锁

4.3 三废的治理

4.3.1 放射性废气及处理措施

加速器运行时，室内空气通过热中子俘获、 $(n, 2n)$ 、 (γ, n) 反应和散裂反应而被活化，产生的活化核素主要有 ^3H 、 ^7Be 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 和 ^{41}Ar 等。

根据本项目加速器的运行情况，计算空气活化产生的主要放射性核素结果见表 5-3。由于活化产物的产生量非常低，根据第 5 章的计算结果可知，在加速器最大运行工况条件下，分别以排风口核素活度浓度和距离本项目机房最近的公众居留位置的活化核素活度浓度对工作人员和公众年受照剂量进行保守估算。不考虑核素自身衰变工况，计算结果表明气态途径使得厂房工作人员受到的最大剂量远小于本项目剂量约束值（工作人员 2mSv/a，公众 0.1mSv/a）。

因此本项目含有少量放射性核素的废气经由排放口进入大气环境，对人员和环境的影响很小。1~4 号机房的总排风管沿东西方向铺设在 1~4 号加速器机房屋顶上，排风管道两端各设置一个排风口，高于屋顶 1m，距离地面高度 15m。5 号加速器机房独立设置排风管，在加速器机房屋顶上铺设，穿过厂房东墙设置排风口，距离地面高度 15m。排风口位置见图 4-12。

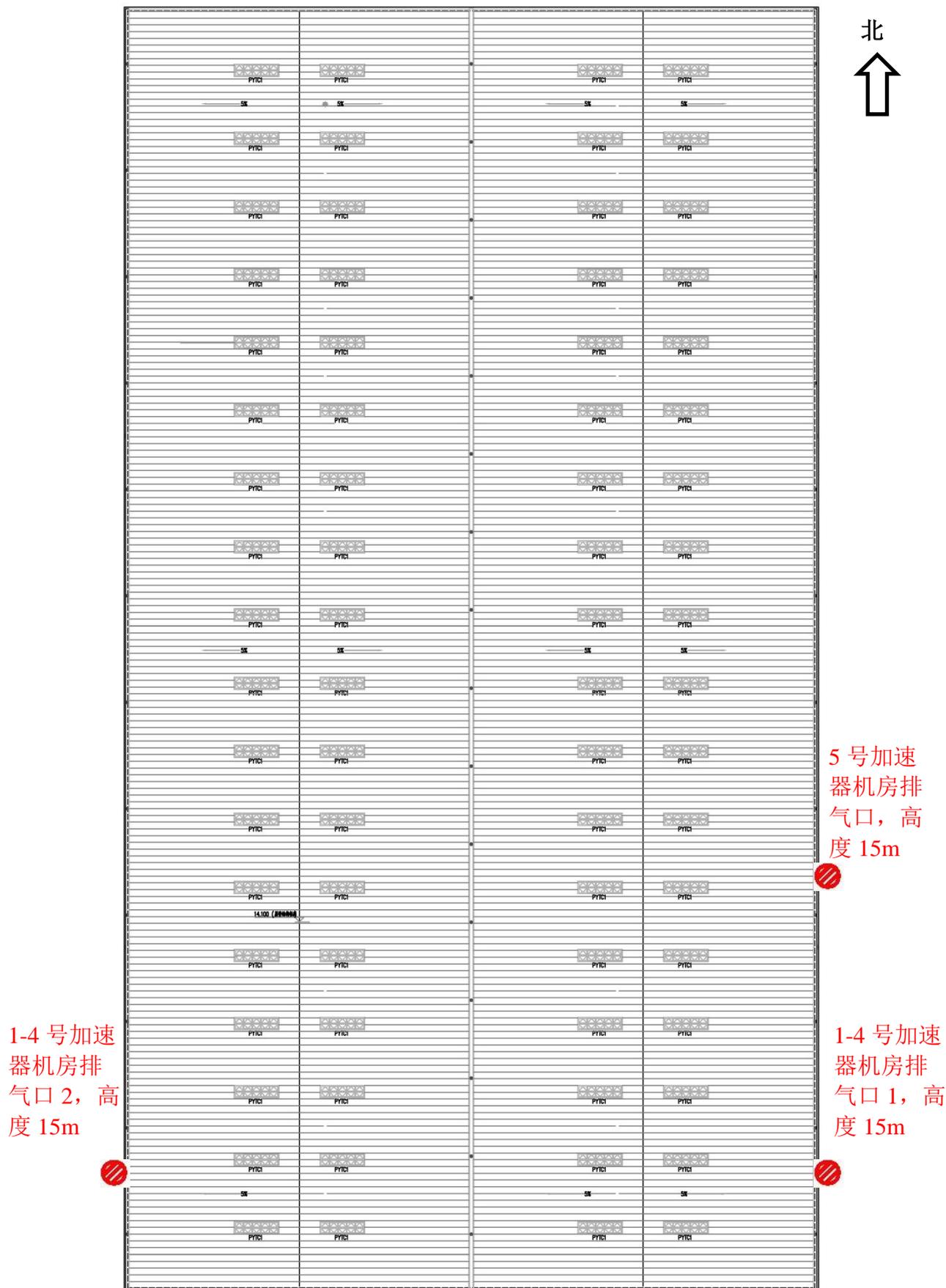


图 4-12 调试机房排风口位置示意图

4.3.2 含放射性核素的废水及处理措施

（1）收集方式

加速器设备调试结束需要拆卸时，与加速器设备配套的水处理系统将冷却水排放至位于加速器机房边的沉降池内，冷却水需要静置 1 年后再排放，设置 2 个沉降池交替使用。

单台加速器内的水量为 1m^3 ，单个机房每年最多调试 2 台，交替排放至 2 个应急池，存放衰变 1 年后排放。1~4 号加速器机房每个沉降池体积为 2.25m^3 ，5 号加速器机房沉降池体积为 1.5m^3 ，沉降池的容积足够加速器废水存放和衰变的需求。

1~4 号加速器机房应急池体积为 2.25m^3 ，5 号加速器机房应急池体积为 3.375m^3 。每个机房配套 1 个应急水池，单台加速器内的冷却水全部泄漏后排放的水量为 1m^3 ，因此各个应急池的容积对于应急情况下的排水是冗余的，满足要求。

加速器机房地面设置自流坡度，如在加速器机房内发生冷却水泄漏，泄漏的冷却水通过自流流入地坑，地坑内安装潜水泵，可将泄漏的冷却水通过预埋管线穿过屏蔽墙泵入应急水池。应急水池容积大于 1m^3 ，可以容纳单台设备应急工况下排水。每个加速器机房设置 1 座应急水池。

（2）排放方式

进入沉降池的废水不进行回用，暂存 1 年，自然衰变后经取样检测满足《污水综合排放标准》GB8978-1996 和山东省地方标准《流域水污染物综合排放标准第 5 部分：半岛流域》(DB37/3416.5-2018)中总 α 和总 β 排放限值(总 α : 1Bq/L 、总 β : 10Bq/L)后方可排放，排放时采用提升泵加压，接入区域污水管网。

4.3.3 放射性固体废物及其处理措施

（1）放射性固体废物来源

放射性固体废物主要来自加速器调试、运行、维修过程中产生的废活化元器件、废冷却水过滤滤芯及交换树脂、口罩、手套、抹布等耗材。

加速器运行过程中难免会有束流偏转损失，高能粒子撞击加速器结构部件造成部件活化。加速器产生的感生放射性的特点是短寿命核素较多，对环境有影响

的长寿命核素有⁶⁰Co（半衰期 5.3 年）、⁵⁵Fe（半衰期 2.94 年）、⁵⁴Mn（半衰期 300 天）等，由于本项目的加速器部件调试完成后作为产品销售，且开机调试时间较短，因此此类放射性固废量很少。

束流终端（体模）及废冷却水过滤滤芯和交换树脂等耗材中的长半衰期感生放射性核素主要是³H 和⁷Be。其中⁷Be 核素经过一段时间存放可以衰变至较低的放射性水平。

拆卸设备时，需要对入库前的零部件表面、拆卸后人员工作服、体表、工具等进行表面沾污检测，若超过国家标准规定的限值，则零部件、工具需要擦拭去污，工作服、手套、抹布等擦拭废物也作为放射性固体废物。

（2）放射性固体废物处置措施

上述固体废物中，活化元器件和调试维修后的口罩、手套、抹布等固体废物产生于各座加速器机房内，滤芯和交换树脂等固废产生于水处理冷却系统，统一收集后存放厂房内放射性废物库中，年产生量不超过 100kg/a。

放射性废物库位于 4#加速器机房的南侧，废物库采用 5mm 铅当量防护，单独设置。库房内设置防护厚度在 5mm~10mm 的铅桶若干，分别放置不同种类和不同时间入库的废物，桶外设置标签，并且备有铅橡皮若干，当检测到铅桶外部辐射水平较高时，增加防护措施。放射性废物库入口处设置双人双锁管理，库外辐射剂量率控制在 2.5μSv/h 水平以下，设置放射性废物进出库的台帐。

建设单位在处置固体废物前，经检测固体废物表面污染水平低于 GB18871-2002 中工作场所污染控制水平限值的 1/50，报审管部门批准可按非放射性固体废物处理，不满足的则按放射性废物委托有相关资质单位处置。

（3）危险废物处置

冷却水系统产生的废树脂属于危险废物，在放射性废物库内暂存，经检测可以作为非放射性废物的情况下，委托有危废处置资质的单位进行处置。

本项目每年产生的危险废物量不大，按照国家法规的要求，危险废物与其它固废分类存放，设置警示标志。危险废物采用专用容器（容器上有相应的标签）并防止泄漏。做好危险废物的相关记录，包括名称、来源、数量、特性和包装容器的类别、入库时间、存放库房、废物出库日期和接收单位。废物库按照危险废物暂存场所的要求配备通讯设施、照明设施、安全防护服装和应急工具。建设单

位对危险废物采取上述存储条件并进行有效的安全管理，满足《危险废物贮存污染控制标准》(GB18597-2001)(2013年修订)对危险废物暂存场所的管理要求。

4.4 服务期满后的环境保护措施

服务期满后，整个厂房按照国家法规要求进行退役，并且另行履行环保手续。厂房中各类设施和设备经检测满足相关标准，经审管部门批准后才可清洁解控。

退役期间，做好安全保卫工作，禁止与退役无关的人员进入退役场所，通过划定区域、安排人员值守、实施放射性物质管理等环境保护措施，确保退役人员和公众的安全。

5 环境影响分析

5.1 建设阶段环境影响分析

本项目厂房占地面积约 17280m²，其中包括了加速器机房及配套设施，厂房及其内部的加速器机房将同时建设，预计 2019 年 11 月开工，2020 年 6 月建成投产，整个施工周期约 8 个月，施工期对周围的大气环境、水环境、声环境等产生一定的影响。

本项目整厂环评报告表已取得潍坊市生态环境局经济开发区分局批复，报告表中对整个厂区建设过程中的施工期环境影响进行了分析，其中也包含了加速器机房土建施工和安装过程中对环境的影响，本报告在此基础上对加速器机房施工期环境影响进行摘录和简要分析。

5.1.1 大气环境影响

施工过程中废气主要为施工现场的扬尘和施工设备尾气。施工期粉尘基本是土及沙土，其粒径较大，扬尘高度不高，以低空无组织排放为一般都掉落在施工现场中。施工期间通过采取相应的洒水抑尘、渣土覆盖、降低施工运输车辆速度等措施，其对施工场地周边环境影响较小。随施工的结束，该部分影响也将随之消失。

5.1.2 水环境影响

施工期废水主要是建筑材料、设备的冲洗废水和施工队伍产生的生活污水，以及施工现场管线埋设地表裸露破坏引起的水土流失等。上述废水排放量均较小，对地表水环境基本无影响；管线埋设、场地平整等过程中会导致地表裸露，遇雨、水冲刷产生水土流失现象，因本工程施工范围有限，不会产生严重的水土流失现象。

5.1.3 声环境影响

各种施工机械，如运输汽车、混凝土搅拌机均可产生较强烈的噪声。虽然这些施工机械噪声属于非连续性间歇排放，但由于噪声源相对集中，且多为裸露声源，故其噪声辐射范围及影响程度都较大。该项目周边有居民区，项目的建设将对周边居民产生一定的影响，建设单位就施工噪声采取合理安排施工时间、选用

低噪声设备、加强设备维护、合理布局噪声设备等措施，可将施工期噪声影响控制在较小范围内。随施工的开始，该部分影响也将随之消失。

5.1.4 固体废物环境影响

项目施工阶段产生的固废主要为地基的平整和建造过程中产生的大量建筑垃圾及少量的施工人员的生活垃圾。如废弃的碎砖、石、混凝土块、沙子及各种包装材料等，均属于一般的固体废弃物。

对于建筑垃圾，分类放置。其中砖砾部分回收用作地基铺设的基础，其他建筑垃圾和施工人员生活垃圾及时收集，定点堆放，及时外运到相关部门指定的定点填埋处倾倒填埋。不会对环境造成二次污染。

5.1.5 生态环境影响

本项目施工在原工业企业厂房设施已全部拆除的基础上，重新平整场地后开始建设。项目建设过程中，将有规划地对整个厂区四周除了办公楼、车间、道路等区域实施绿化。预计工程建设对当地局部生态环境不会产生不良影响。

由于本项目施工期不长，对当地大气环境、水环境、声环境、生态环境等影响时间较短，故不会降低当地环境质量现状。

5.2 运行阶段环境影响分析

根据加速器工作原理，质子同步加速器运行时产生的辐射源项包括瞬发辐射、缓发辐射和感生放射性，辐射源除通过贯穿辐射途径对屏蔽体外环境产生辐射影响外，工作场所空气中的感生放射核素还将以气载流出物的形式进入大气环境，主要通过空气浸没外照射和吸入内照射途径对人体产生辐射影响。

5.2.1 瞬发辐射

5.2.1.1 计算模型

《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）中给出了估算方法，当关注点与束流损失点的距离远大于束流损失点 7 倍的几何尺寸时，可将靶视为点源，并给出了点源的墙外剂量率估算公式；当不满足点源条件时可按照线源的估算公式进行计算。

对于本项目，加速器束流损失点多，损失方式复杂、靶材料结构多样。除了机房屏蔽墙外，加速器部件、偏转磁铁以及束流阻挡器，均对初级束和次级束有

5.2.1.2 单台加速器运行计算结果

加速器运行期间，各加速器机房在不同能量下模拟计算所得的辐射剂量率分布见图 5-3~图 5-16，图中标注了 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 剂量率边界。

其中图 5-3、图 5-4 为 1#加速器机房在最大工况（ $250\text{MeV}/8.0\text{E}+9\text{PPS}$ ）下运行时加速器机房周围辐射剂量率分布（平面和立面）示意图，图 5-5~图 5-8 依次为 1#机房在工况 $120\text{MeV}/8.0\text{E}+9\text{PPS}$ 和 $70\text{MeV}/8.0\text{E}+9\text{PPS}$ 下周围辐射剂量率分布（平面和立面）示意图。从图中可以看出，加速器束流能量由 250MeV 降低至 70MeV 后，机房内辐射场强度也有明显降低。

图 5-9、图 5-10 为 2#加速器机房在最大质子束流能量（ $250\text{MeV}/8.0\text{E}+9\text{PPS}$ ）时运行时加速器机房周围辐射剂量率分布（平面和立面）示意图；图 5-11、图 5-12 为 3#加速器机房在最大质子束流能量（ $250\text{MeV}/8.0\text{E}+9\text{PPS}$ ）时运行时加速器机房周围辐射剂量率分布（平面和立面）示意图；图 5-13、图 5-14 为 4#加速器机房在最大质子束流能量（ $250\text{MeV}/8.0\text{E}+9\text{PPS}$ ）时运行时加速器机房周围辐射剂量率分布（平面和立面）示意图；图 5-15、图 5-16 为 5#加速器机房在最大质子束流能量（ $250\text{MeV}/8.0\text{E}+9\text{PPS}$ ）时运行时加速器机房周围辐射剂量率分布（平面和立面）示意图。

从图中可以看到，除加速器底部外， $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的辐射剂量率标注线均未超出各座加速器机房的屏蔽墙体；加速器机房底部之下是土壤，经底板混凝土（ 1.5m ）屏蔽后的辐射剂量率约为 $4.0\mu\text{Sv/h}$ ，该区域人员不可到达。

图 5-17 给出了各加速器机房迷道出口附近辐射剂量率变化趋势，由该图得到加速器机房入口处人员可达区域辐射剂量率最大值，5 座机房入口处辐射剂量率最大值在 $0.20\mu\text{Sv/h}$ - $0.55\mu\text{Sv/h}$ 范围。

5 座加速器机房中，主射方向（机房西侧）屏蔽墙外最大辐射剂量率范围为 <0.01 - $0.35\mu\text{Sv/h}$ ，东侧屏蔽墙外最大辐射剂量率范围为 <0.10 - $0.10\mu\text{Sv/h}$ 。其余屏蔽墙外最大辐射剂量率范围为 <0.01 - $0.30\mu\text{Sv/h}$ 。

单台加速器运行时对相邻机房造成的附加剂量水平不高，不影响相邻机房内的人员活动。各主要关注点位辐射剂量率统计结果见表 5-2。

点位序号	计算区域	人员类别	最大剂量率 μSv/h	居留因子	年受照剂量 mSv/a
8	3号机房西屏蔽墙外(主束方向)	职业人员	0.15	1/4	1.88E-02
9	4号机房西屏蔽墙外(主束方向)	职业人员	0.15	1/4	1.88E-02
10	5号机房西屏蔽墙外(主束方向)	职业人员	0.01 ⁽¹⁾	1/4	1.25E-03
11	1号机东侧屏蔽墙外	职业人员	0.10	1/4	1.25E-02
12	2号机东侧屏蔽墙外	职业人员	0.10	1/4	1.25E-02
13	3号机东侧屏蔽墙外	职业人员	0.10	1/4	1.25E-02
14	4号机东侧屏蔽墙外	职业人员	0.10	1/4	1.25E-02
15	5号机东侧屏蔽墙外 ⁽¹⁾	职业人员	0.01 ⁽¹⁾	1/4	1.25E-03
16	1号机南侧屏蔽墙外(技术室)	职业人员	0.15	1/4	1.88E-02
17	2号机南侧屏蔽墙外(技术室)	职业人员	0.30	1/4	3.75E-02
18	3号机南侧屏蔽墙外(技术室)	职业人员	0.10	1/4	1.25E-02
19	4号机南侧屏蔽墙外(技术室)	职业人员	0.10	1/4	1.25E-02
20	5号机北侧屏蔽墙外(技术室)	职业人员	0.01 ⁽¹⁾	1/4	1.25E-03
21	1号机北侧屏蔽墙外(控制室)	职业人员	0.01 ⁽¹⁾	1	5.00E-03
22	2号机北侧屏蔽墙外(控制室)	职业人员	0.01 ⁽¹⁾	1	5.00E-03
23	3号机北侧屏蔽墙外(控制室)	职业人员	0.01 ⁽¹⁾	1	5.00E-03
24	4号机北侧屏蔽墙外(控制室)	职业人员	0.01 ⁽¹⁾	1	5.00E-03
25	5号机南侧屏蔽墙外(控制室)	职业人员	0.01 ⁽¹⁾	1	5.00E-03
26	典型穿墙孔洞外口	职业人员	0.09	1/16	2.81E-03
27	2号机房屋顶上部 ⁽²⁾	职业人员	0.20	1/16	6.25E-03
28	5号机房北侧车间	公众	0.01 ⁽¹⁾	1	1.25E-02
29	厂界南侧 潍坊欣阳饲料科技有限公司	公众	0.01 ⁽¹⁾	1	1.25E-02

点位序号	计算区域	人员类别	最大剂量率 μSv/h	居留因子	年受照剂量 mSv/a
30	厂界东南侧 山东和顺服饰有限公司（宿舍）	公众	0.01 ⁽¹⁾	1	1.25E-02
31	厂界西侧 潍坊宝威滤清器有限公司 潍坊天辰机械科技有限公司	公众	0.01 ⁽¹⁾	1	1.25E-02
32	厂界东侧物流园	公众	0.01 ⁽¹⁾	1	1.25E-02

注：（1）该区域计算结果小于 0.01μSv/h，报告中取 0.01μSv/h 计算人员受照剂量；（2）以 2 号加速器机房为例，计算机房顶部最大剂量率，其余 4 座机房顶部厚度一致，计算结果相同。

可通过下式计算天空反散射在加速器机房周围形成的剂量率。

$$H = (2.5 \times 10^{-2} H_0 \cdot \Omega^{1.3}) / r_s^2$$

其中：

H：天空散射在机房外引起的剂量率，μSv/h；

H₀：屋顶上方 2 m 处的当量剂量率，μSv/h；

Ω：射线源与屋顶之间包含的立体角，Sr；

r_s：射线源与计算点之间的距离，m。

射线源与屋顶之间包含的立体角 Ω 可由下式进行计算：

$$\Omega = 4 \arctan (a b / c d)$$

式中

a：机房屋顶长度的一半，m；

b：机房屋顶宽度的一半，m；

c：源到屋顶表面中心的距离，m；

d：源到屋顶边缘的距离，m。

由于机房顶部的辐射剂量率最大值为 0.20μSv/h，经计算天空反散射在地面造成的剂量率低于 0.01μSv/h，因此瞬发辐射穿过机房顶部在地面造成的剂量很小，处于可忽略水平。

2) 吸入内照射剂量计算

— 空气吸入内照射剂量计算公式来自国际原子能机构 IAEA 第 19 号报告：

$$D_{EI} = t \times \left(\sum_i x_i \cdot DF_{Ei} \cdot B_r \right)$$

式中：

D_{EI} —计算点处人员吸入污染空气造成的有效剂量，Sv/a；

x_i —计算点处地面空气中放射性核素 i 的浓度，Bq/m³；

DF_{EAI} —吸入放射性核素 i 对人体的有效剂量转换因子，Sv/Bq；取自 GB18871-2002。

B_r —人的呼吸率 m³/h，；

t—不同能量工况条件下加速器出束时间，h/a。

3) 活化空气所致职业人员年受照剂量

根据 3.4 节，每台加速器每年最长调试时间为 125h，其中 250MeV 工况调试 30h、120MeV 工况调试 30h、70MeV 工况调试 65h。每年调试加速器数量最多 10 台。在此工作负荷情况下，以排风口处核素活度进行保守计算，职业人员因空气活化所致年受照剂量计算结果见表 5-6，其中呼吸率取自标准 GBZ/T200.3-2014 中推荐的成年男性呼吸率 1.5m³/h。辐射工作人员空气吸入内照射年剂量总和不超过 38.7μSv/a，空气浸没外照射年剂量总和不超过 224μSv/a。

4) 活化空气所致公众年受照剂量

活化空气对公众的影响，根据数模计算结果，并采用《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ 2.2-2018）附件 A 推荐模型 Screen3 模式对核素排放后在空气中的弥散和稀释进行保守计算。项目周围最近的公众位于厂界南侧，距离约为 27m。其它参数选取如下：排放高度 15m、排风管道内径 30cm、烟气温度 20℃，计算采用保守工况：单组连续调试 50min，不通风换气，单个机房体积 1250m³，5 个机房同时调试排气量约 6250m³/h，保守所有废气从 1 个排放口中排放大气环境，且不考虑核素衰变。

以上参数和工况输入后的计算结果：距离本项目最近的厂界外公众（27m）居留处的最大污染物活度为排放口处的 0.42%，因此公众受照射剂量也为排放口

处的 0.42%。由此计算公众因空气吸入内照射产生的年剂量为 0.163 μ Sv/a，空气浸没外照射产生的年剂量为 0.941 μ Sv/a。

在实际运行时，机房换气率 4 次/h，3 个排放口工况下，排放源项将低于上述计算输入值，因此实际空气活化导致职业人员和公众受照剂量应低于上述估算值。

表 5-6 职业工作人员空气活化所致年受照剂量

束流能量	核素	活度浓度 Bq/m ³	呼吸率 m ³ /h	吸入转换因子 Sv/Bq	外照射转换因子 Sv/ (s.Bq/m ³)	吸入内照射 μ Sv/a	浸没外照射 μ Sv/a
70 MeV	H-3	1.54E-09	1.5	4.50E-11	3.31E-19	6.76E-11	1.19E-15
	Be-7	1.22E-05	1.5	5.00E-11	2.36E-15	5.96E-07	6.75E-08
	C-11	8.34E+01	1.5	1.80E-11	4.89E-14	1.46E+00	9.54E+00
	N-13	1.64E+02	1.5	4.33E-13	4.90E-14	6.94E-02	1.88E+01
	O-15	5.78E+01	1.5	4.45E-13	4.91E-14	2.51E-02	6.64E+00
	Cl-39	2.17E+02	1.5	4.60E-11	7.29E-14	9.75E+00	3.71E+01
	Ar-41	6.02E-02	1.5	5.30E-09	6.50E-14	3.11E-01	9.15E-03
120 MeV	H-3	3.18E-09	1.5	4.50E-11	3.31E-19	6.43E-11	1.14E-15
	Be-7	1.58E-05	1.5	5.00E-11	2.36E-15	3.55E-07	4.02E-08
	C-11	9.98E+01	1.5	1.80E-11	4.89E-14	8.08E-01	5.27E+00
	N-13	2.84E+02	1.5	4.33E-13	4.90E-14	5.53E-02	1.50E+01
	O-15	7.00E+01	1.5	4.45E-13	4.91E-14	1.40E-02	3.71E+00
	Cl-39	2.85E+02	1.5	4.60E-11	7.29E-14	5.89E+00	2.24E+01
	Ar-41	7.54E-01	1.5	5.30E-09	6.50E-14	1.80E+00	5.29E-02
250 MeV	H-3	9.11E-09	1.5	4.50E-11	3.31E-19	1.84E-10	3.26E-15
	Be-7	3.70E-05	1.5	5.00E-11	2.36E-15	8.32E-07	9.43E-08
	C-11	2.20E+02	1.5	1.80E-11	4.89E-14	1.78E+00	1.16E+01
	N-13	6.78E+02	1.5	4.33E-13	4.90E-14	1.32E-01	3.59E+01
	O-15	1.26E+02	1.5	4.45E-13	4.91E-14	2.53E-02	6.69E+00
	Cl-39	6.45E+02	1.5	4.60E-11	7.29E-14	1.34E+01	5.08E+01
	Ar-41	1.35E+00	1.5	5.30E-09	6.50E-14	3.22E+00	9.47E-02
总和						3.87E+01	2.24E+02

5.2.2.2.2 冷却水活化

加速器冷却水用于冷却加速器磁铁，冷却水管缠绕于磁铁内部。加速器运行期间，在束流经过磁铁时，部分能量（根据表 3-3 为 69%）沿程均匀损失在磁铁内部的真空管道上，产生的次级射线穿过部分磁铁使得冷却水活化。根据加速器磁铁内部设计结构，为简化计算模型并得到保守计算结果建立如图 5-26 的计算

5.2.2.2.3 加速器终端体模活化

加速器运行时，加速后的束流，一部分损失在束流运输线上（注入、同步环、引出、传输线等），剩余的束流完全损失在终端的体模上。对于终端体模的计算，保守采用能量为 250MeV 进行计算，计算结果见表 5-8、表 5-9。活化核素以短半衰期核素为主。

终端体模将长期重复使用，分别考虑体模调试 1 年后的活化核素活度和长时间运行后的饱和活度（活化可达到的最大值）。从表可知，在长时间运行后达到饱和的情况下，体模水体内核素除 Be-7 外，其余核素活度均低于 GB18871 中的豁免水平；体模外壳内所有核素活度均低于 GB18871 中的豁免水平。Be-7 核素半衰期为 53.29 天，体模水体内该核素达到饱和后放置衰变 1 年，活度可以降低至最大值的 0.9%，低于 GB18871 中的豁免水平。

因此，体模可以长期重复使用，若更换水体或体模退役，建议将废水排放至沉降池内至少衰变 1 年，使核素活度衰变到较低的水平。

表 5-8 加速器终端体模内水体活化结果

活化核素	核素半衰期	运行 1 年后活度 Bq	饱和活度 Bq	饱和并衰变 1 年 活度/Bq	GB 18871 豁免值/Bq
H-3	12.33 y	1.75E+03	2.18E+06	2.06E+06	1E+09
Be-7	53.29 d	8.32E+05	1.27E+07	1.10E+05	1E+07
C-11	20.39 min	3.42E+07	3.42E+07	-	-
N-13	9.965 min	7.22E+06	7.22E+06	-	-
O-14	70.6s	4.41E+06	4.41E+06	-	-
O-15	122.2 s	1.27E+08	1.27E+08	-	1E+09
F-18	109.77min	2.40E+04	2.40E+04	-	1E+06

表 5-9 加速器终端体模外壳活化结果

活化核素	核素半衰期	运行 1 年后活度 Bq	饱和活度 Bq	GB 18871 豁免值 Bq
H-3	12.33 y	3.42E+03	4.27E+06	1E+09
Be-7	53.29 d	2.23E+05	3.41E+06	1E+07
C-11	20.39 min	1.05E+07	1.05E+07	-

活化核素	核素半衰期	运行 1 年后活度 Bq	饱和活度 Bq	GB 18871 豁免值 Bq
N-13	9.965 min	7.99E+02	7.99E+02	-

5.2.2.3 加速器机房屏蔽墙

本项目加速器机底部厚度 1.5m、顶部厚度为 2m、侧墙厚 4.0m~4.5m，混凝土材料的密度为 2.30g/cm³。随着加速器机房使用时间增加可能导致活化核素的累积，表 5-10 计算了混凝土屏蔽材料中活化核素的饱和活度。

计算结果表明，屏蔽墙中活化核素种类复杂，但大部分核素均为短半衰期核素，值得关注的是 Na-22、Fe-55、Mn-54 等核素。在核素活度达到饱和后，经过 1 年的衰变，各核素活度水平均可低于 GB18871 的豁免水平。

表 5-10 单个加速器机房冷却一年后的放射性活度

序号	核素名称	半衰期 d	饱和活度 Bq	饱和并衰变 1 年活度/Bq	GB18871 豁免值/Bq
1	Fe-59	4.45E+01	1.84E+05	2.76E+04	1E+06
2	Co-56	7.72E+01	3.20E+04	2.86E+03	1E+05
3	Fe-55	1.00E+03	7.17E+06	5.15E+04	1E+06
4	Mn-54	3.12E+02	6.16E+05	1.41E+04	1E+06
5	Cr-51	2.77E+01	3.20E+05	7.34E+04	1E+07
6	V-49	3.30E+02	9.37E+04	2.03E+03	-
7	Ca-45	1.63E+02	8.44E+06	3.66E+05	1E+07
8	Ar-37	3.50E+01	9.88E+06	1.84E+06	1E+08
9	S-35	8.74E+01	1.92E+05	1.52E+04	1E+08
10	P-33	2.54E+01	1.76E+05	4.36E+04	1E+08
11	Na-22	9.50E+02	7.01E+06	5.31E+04	1E+06
12	Be-7	5.33E+01	6.53E+06	8.27E+05	1E+07
13	H-3	4.50E+03	2.28E+07	3.90E+04	1E+09

5.2.2.2.4 土壤和地下水的活化

由图 5-4 可知，加速器机房地板混凝土之下最大辐射剂量率为 4.0μSv/h。由于该区域辐射剂量率不高且不连续照射，因此加速器长期运行对土壤或地下水造成的活化影响可以忽略。

5.2.2.2.5 加速器部件活化

每台加速器在机房内调试时间不长，加速器调试合格后各部件被拆卸、包装入库，用于后期销售，期间不再使用，因此加速器设备上的绝大部分部件的活化问题可不考虑。

若有些部件确实不再循环使用，作为固体废物处置，处置前经检测表面污染水平满足相关限值后可以按普通废物处理，否则委托有资质的单位按照放射性固体废物处置。

5.2.3 人员受照剂量累加

本项目辐射工作人员受照剂量主要来源于加速器运行时的瞬发辐射、加速器停机后进行机房作业受到的缓发辐射照射以及活化空气造成吸入内照射和浸没外照射等几个部分，人员受照总剂量见表 5-11。由表可知辐射工作人员年受照总和为 0.740mSv/a，低于本项目剂量管理约束值（2mSv/a）。

公众受照剂量主要来源于加速器运行时的瞬发辐射和活化空气造成吸入内照射和浸没外照射等 3 个部分。由表 5-11 可知公众年受照剂量总和为 0.014mSv/a，低于本项目剂量管理约束值（0.1mSv/a）。由此可见，本项目加速器调试对厂内和厂外公众的造成的辐射剂量影响很小，远低于国家标准限值。

另外，加速器机房内还开展医用 CT 设备的调试（已另行备案），但两类设备不同时开机，CT 设备对机房的屏蔽要求远低于本项目质子加速器的防护要求，因此在加速器机房内开展 CT 调试，对机房外人员的辐射影响可以忽略。

表 5-11 人员年受照剂量总和

人员类别	受照剂量来源		年受照剂量	年受照剂量总和
辐射工作人员	加速器机房外 (加速器运行时的瞬发辐射)		0.0688mSv/a	0.740mSv/a
	加速器机房内调试 (缓发辐射)		0.408 mSv/a	
	活化空气	浸没外照射	0.224mSv/a	
		吸入内照射	0.0387mSv/a	
公众	加速器机房外 (加速器运行时瞬发辐射)		0.0125mSv/a	0.014mSv/a
	活化空气	浸没外照射	0.000941mSv/a	
		吸入内照射	0.000163mSv/a	

5.2.4 非放射性污染

本项目的非放射性污染主要来自于运行期间的噪声污染。根据 3.4.4.1 节，噪声源主要是用于加速器冷却水循环的风冷式制冷机组以及用于产生压缩空气的空压机。根据设备资料，风冷式制冷机组运行期间产生的噪声（1m 处）不超过 67dB（A），空压机运行期间产生的噪声（1m 处）不超过 65dB（A）。本项目共配备风冷式制冷机组 5 套、空压机 2 台，分别位于厂房的南侧和东侧。噪声源具体位置分布见图 5-27，其中 1~5 号点分别为 1~5 号机房的风冷式制冷机组，6~7 号点为 2 台空压机。

根据质子治疗系统项目工程总平面布置图和《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ 2.4-2009）中推荐的声源衰减预测模式，考虑距离衰减和建筑物隔声，本项目噪声贡献等值线图详见图 5-27。

根据计算结果可知，风冷式制冷机组和空压机运行期间对南厂界（厂房南侧空压机往南约 16m 处）的贡献最大，贡献值为 35.22dB（A）；东厂界的噪声贡献值小于 30dB（A），其他厂界噪声贡献值可以忽略。综上，本项目运行期间对四周厂界产生的噪声贡献值均能够满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中厂界外声环境功能区类别 2 类区标准：昼间 \leq 60dB（A），夜间 \leq 50dB（A）。

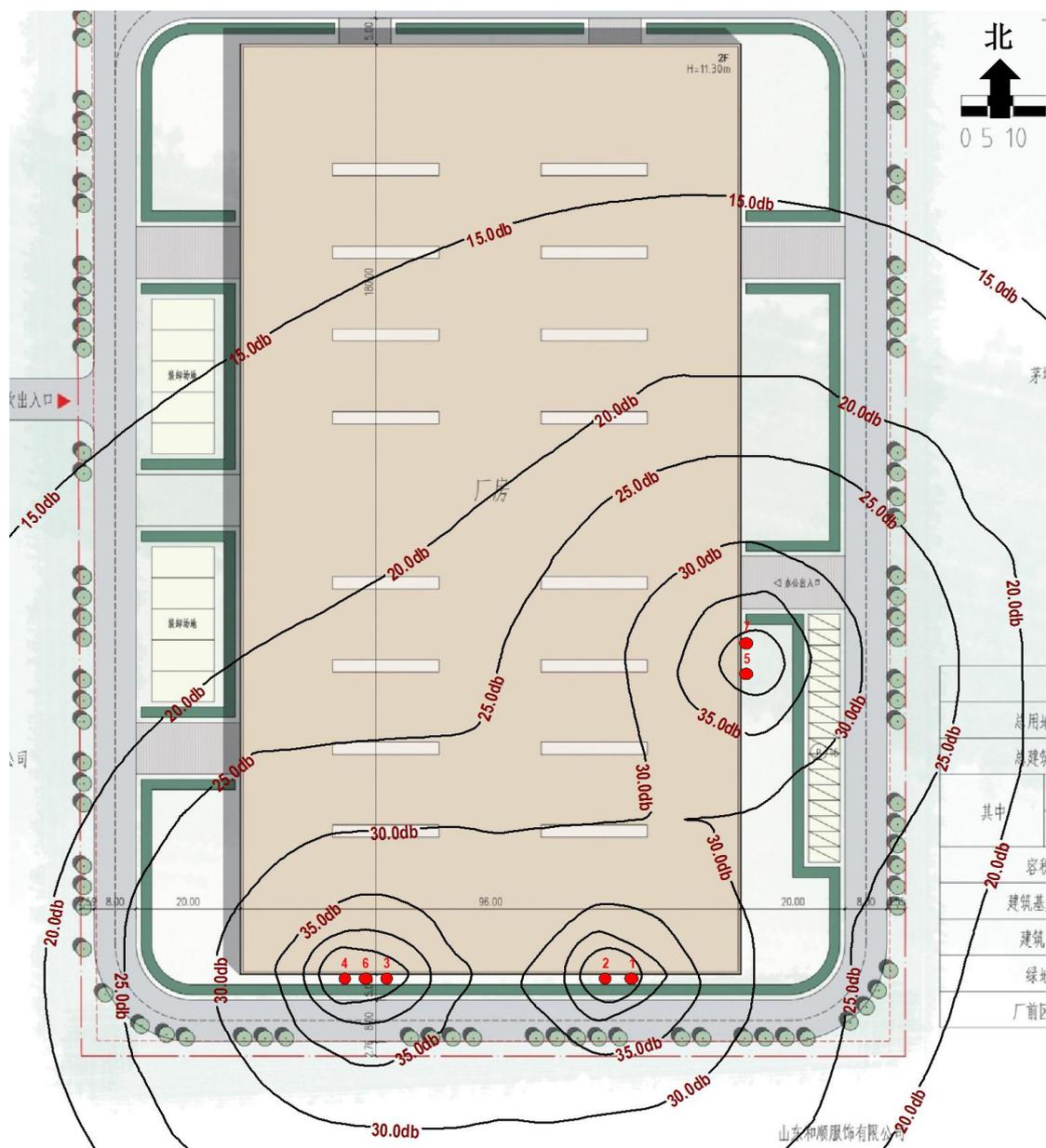


图 5-27 本工程噪声源分布及噪声预测贡献值等值线分布图

5.3 事故影响分析

《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将辐射事故分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级。

- 特别重大辐射事故：指 I 类、II 类放射源丢失、被盗、失控造成大范围严重辐射污染后果，或者放射性同位素和射线装置失控导致 3 人以上(含 3 人)急性死亡。

- 重大辐射事故：指 I 类、II 类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 2 人以下（含 2 人）急性死亡或者 10 人以上（含 10 人）急性重度放射病、局部器官残疾。
- 较大辐射事故：指 III 类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 9 人以下（含 9 人）急性重度放射病、局部器官残疾。
- 一般辐射事故：指 IV 类、V 类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。

本项目属于 I 类射线装置，根据《射线装置分类公告》，I 类射线装置：事故时短时间照射可以使受到照射的人员产生严重放射性损伤，其安全与防护要求高。

根据本项目设计特点以及环境特征，质子治疗系统在生产、销售、使用的过程中可能发生的辐射事故主要有：

- 1) 人员误入事故；
- 2) 工作人员超剂量照射事故；
- 3) 冷却水泄漏事故。

5.3.1 人员误入事故

5.3.1.1 事故描述

质子医疗系统在安装调试以及日常维护的过程中会产生电离辐射，在系统运行出束时，可能发生人员误入控制区内的事故。厂内调试和客户现场调试时都可能有人误入的事故。

5.3.1.2 事故影响

人员在系统运行出束时误入控制区内，短时间的照射可以使受到照射的人员产生严重放射损伤，可能导致人员伤亡。

由于加速器机房屏蔽结构保持完好，事故对周围环境不会造成超过控制水平限值的辐射影响。

5.3.1.3 预防措施

加速器的安全联锁和安全控制系统必须满足独立性、多重性和冗余性的要求，防止该类事故的发生。项目在加速器安全系统设计时，可靠率了多重安全联锁系统，包括各类安全联锁、急停开关、钥匙开关、巡检开关、开门开关等，满足纵

深防御的设计要求，能够有效防止误入事故的发生。

为了防止各项安全联锁失效，建设单位在每次开机调试前，必须确认上述安全联锁设施的有效性、随身佩戴有效的报警仪。

5.3.1.4 应急措施

(1) 一旦发生人员误入事故，就近按下机房内急停拉线开关或操作台上的急停开关，立即停止辐射工作，人员通过开门开关打开机房门实现撤离；

(2) 评估人员是否受到超剂量照射；

(3) 查找事故原因，确认安全联锁等各项安全设施是否发生故障。

5.3.2 工作人员超剂量照射事故

5.3.2.1 事故描述

加速器机房内由于元器件的活化，会产生较高辐射剂量的区域，而工作人员在停机后，必要的情况下需进入这些高剂量辐射区域进行维修、维护活动。建设单位参照国内外经验，通过制定辐射防护方案，管理上述维修、维护活动，如果上述管理过程出现失效，可能会发生工作人员超剂量照射事故。但该类事故不会对加速器机房外的人员和环境造成影响。

辐射工作人员在厂区内加速器机房进行调试和厂外客户现场安装调试、维修工作时，都可能发生人员超剂量照射事故。厂外调试和厂内调试工作的操作程序一致，需要在停机后进入机房的工况类似，要求停机后 1h 进入机房的管理要求是一致的。

维修工况下，紧急情况需要立即进入机房内，此时机房内缓发辐射水平较高，可能超过 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，此类工况在厂内、外调试都可能出现。在高辐射水平下，人员较长时间居留，未严格进行剂量管理，可能造成超剂量照射事故。

5.3.2.2 事故影响

工作人员在高剂量辐射区域进行维修、维护活动，如果不对这些活动进行一定的干预和控制，可能会发生工作人员受到超过剂量约束值的辐射照射事故。

由于加速器机房结构保持完好，事故对环境不会造成机房外环境超过控制水平限值的辐射影响。

5.3.2.3 预防措施

建设单位需严格控制工作人员受照剂量，例如规定调试期间设备停机后，进

入机房的必要等待时间、与易活化部件保持一定的距离、调试和维护工作给予详细的操作规程和现场指导等措施，尽量避免超剂量照射事故的发生。日常工作人员进入机房内必须配备移动式报警仪，关注进入高辐射区内人员的剂量，并进行记录。

维修工况下，紧急需要进入辐射水平较高的机房内，进入前需要根据机房内固定式监测系统的监测数据，初步估算机房内的剂量率水平，制定可行的工作方案，对人员的受照时间进行估算，采取轮流工作，尽量缩短工作时间的的方式，减少受照剂量。在进入机房时，人员佩戴好可以累计受照剂量的报警仪，设置合理的单次活动受照剂量阈值，严格控制人员受照剂量不超过年剂量约束值。

5.3.2.4 应急措施

(1) 一旦发生工作人员超剂量照射事故，立即停止辐射工作，剂量初步估算后视情况对受照人员送有资质的机构进行医学检查和治疗；

(2) 立即停止加速器运行，查找事故原因，制定防止再次发生该类事故的措施；

(3) 加强对相关人员的培训宣贯，包括监管人员和操作人员，杜绝此类事故再次发生。

5.3.3 冷却水泄漏事故

5.3.3.1 事故描述

加速器冷却水系统在运行期间被活化，系统为闭式封闭循环系统。在系统运行或检修拆装过程中由于设备故障或操作失误可能会发生活化冷却水泄漏的事故。

5.3.3.2 事故影响

冷却水系统设置了水量检测仪器，发生泄漏引起系统水量减少时，系统报警。报警监测系统可提醒维护人员及时处理报警点的各种问题，防止由跑冒滴漏形成的大漏水，不会造成人员辐射事故。

质子机房的角落处设置了地漏，机房地面形成一定坡度，在冷却水泄漏时能依靠重力自行流入地漏，并汇入应急水池中。应急水池用于收集这些区域的事故排水和检修排水，冷却水泄漏事故不会对环境造成污染。

5.3.3.3 预防措施

定期检查水冷系统运行情况，确认漏水检测与报警系统的有效性。制定检修操作程序，加强安全文化教育，严格遵守操作程序，防止误操作造成的泄漏事故。

5.3.3.4 应急措施

- (1) 一旦发生漏水报警，立即关闭加速器；
- (2) 查找漏水点，采取补救措施，防止形成大的漏水事故；
- (3) 及时报告环保部门，对沉降池中的冷却水进行监测；
- (4) 经检测满足国家相关标准后进行排放。

6 辐射安全管理

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，生产、使用和销售 I 类射线装置的单位申请辐射安全许可证，应有专门的辐射安全和防护管理机构或者专职/兼职辐射安全管理人员，并配备必要的防护用品和监测仪器。

本项目运行后，为保障项目工作人员与公众的健康和安全，保护项目所在区域周围环境，结合项目辐射安全与防护工作的实际情况，企业拟设置辐射安全与环境保护管理机构，制定并执行相应的辐射安全规章制度。

6.1 机构与人员

企业拟设置辐射安全管理工作小组作为企业辐射安全工作的最高管理机构，主要成员为单位法人代表、生产分管领导、加速器调试部门负责人等。

辐射安全管理工作小组的主要职责是对以下事宜进行调查、协调、审议、建议和决策：

- 辐射安全管理工作基本方针的制定；
- 辐射安全规程的修订；
- 辐射安全相关装置或设施的安全审查；
- 向上级审管部门申请、汇报或提交相关资料；
- 在异常或事故情况下，采取紧急措施和进行事故调查；
- 其它辐射安全相关重大事项。

拟设置专门的部门负责加速器在机房内调试期间、设备在使用单位调试期间的辐射安全管理，其主要职责是：

- 贯彻落实国家有关辐射安全的法律法规及标准，建立辐射安全规章制度；
- 辐射安全系统的运行和维护，辐射安全措施的落实；
- 辐射监测与评价；
- 放射性废物的处置；
- 放射性废物库的辐射安全管理；
- 辐射工作人员的健康管理；
- 辐射安全教育和培训；

— **参与辐射事故应急处置，以及其他与辐射安全相关的工作。**

厂内调试部门、厂外调试部门分别设置 1 名专职辐射安全员，在部门负责人的领导下，根据规定开展相关工作：

- **认真学习辐射安全知识，积极参加主管部门组织的培训；**
- **对本部门工作人员进行辐射防护知识和法规的宣传教育；**
- **协助制订和督促执行本部门的安全操作规程和防护措施；**
- **负责收发本部门人员防护用品和个人剂量计；**
- **企业规定的其他工作。**

加速器调试部门初步定员约 30 名工作人员，均从事与辐射相关的设备调试和维护等工作，与辐射工作不相关的工序或者人员均不在厂房内的辐射工作场所内（包括控制区和监督区）工作。

建设单位拟组织所有辐射工作人员参加环保部门组织的中级辐射安全与防护培训，经考核合格后持证上岗。上岗后每 4 年参加复训，考核不合格的，不得上岗。

为满足辐射安全工作需要，建设单位根据《《注册核安全工程师执业资格关键岗位名录》（第一批）》国核安发[2010]25 号文件的相关要求，将配备必要的核安全工程师 2 名，分别负责核安全综合管理和辐射防护工作。

建设单位承诺在申请辐射安全许可证前建立上述辐射安全管理机构，配备相应的辐射安全员，并承诺项目投入运行三年内在核安全关键岗位配备相应资格的注册核安全工程师。

6.2 辐射安全管理规章制度

为保障项目运行辐射安全，保护工作人员、公众和环境，根据项目特点，建设单位拟建立的辐射安全管理规章制度主要包括：

- 《辐射防护和安全保卫制度》，给出辐射防护原则、辐射安全组织体系及职责、剂量管理体系、环境辐射水平控制原则和措施、辐射监测要求和计划、放射性废物的收集和贮存、放射工作人员健康管理、教育和培训等总体要求。
- 《岗位职责》，给出厂房内各辐射工作岗位、售后使用单位调试岗位的

辐射安全岗位职责，明确企业内辐射安全管理委员会中各管理岗位的职责。

- 《加速器运行辐射安全规定》，规定加速器开机、运行、维修和维护等阶段的辐射安全管理要求和实施措施，包括安全联锁、保卫、事故操作等。
- 《放射性废物暂存安全管理规定》，明确放射性废物暂存及暂存库的安全管理要求，包括收储、暂存、出库等方面。
- 《加速器调试操作规程》，规定加速器和各试验终端的操作规定。
- 《加速器检修维护管理规定及操作规程》，规定加速器检修和维护的流程，包含了检修前准备、检修实施、检修后的工作流程和防护要求。
- 《射线装置及放射性物品台账管理规定》，规定对射线装置和放射性物品建立台账，对放射性废物产生量、处理方法、处置去向进行统计和记录。
- 《辐射工作人员培训和授权管理规定》，规定辐射工作人员的岗位要求、培训要求和授权规定等。
- 《辐射环境监测计划》，明确本项目日常辐射环境监测的目的、布点、频次、监测设备要求、质量保证和结果报送等内容，以及含放射性废水排放和固体废物解控和外运时的监测要求。
- 《个人剂量监测管理规定》，明确工作人员个人剂量监测和管理方面的要求。

总体而言，建设单位拟建立的辐射安全管理制度较全面地覆盖辐射防护制度、操作规程、岗位职责、安全保卫、设备台账、维护和检修、人员培训、三废处理和辐射环境监测等方面，在结合项目特点建立和健全上述辐射安全管理规章制度的基础上，可以满足法律法规的要求。建设单位承诺在申请辐射安全许可证前建立和完善相应的辐射安全管理制度并发布生效。

6.3 辐射监测

高能粒子加速器在运行过程中，束流损失使粒子与物质相互作用，通过低能、中能核反应以及高能核反应产生中子。由于以上反应机制使得加速器周围的次级辐射具有以下特征：

1) 具有高能量的中子和光子，其中中子最高能量可达 250MeV，要求中子探测器的能量响应范围从热中子到 MeV 量级的中子。

2) 环境中的杂散辐射剂量中主要贡献是中子，其次是 γ 射线，中子在辐射场中的贡献比 γ 高一个数量级以上。

3) 加速器机房内是一个瞬发中子、光子以及其他粒子构成的混合辐射场。要求中子、 γ 射线探测器具有很强的中子、 γ 射线分辨能力，即中子监测仪器对 γ 射线不灵敏， γ 射线监测仪器对中子不灵敏。

6.3.1 辐射环境监测

辐射环境监测包括厂房内辐射工作场所和周围环境监测。项目建成后，建设单位根据法规要求自主开展竣工环境保护验收工作。

6.3.1.1 环境监测方案

依据 HJ/T61-2001《辐射环境监测技术规范》和本项目特点，制定本项目环境监测方案，见表 6-1。

表 6-1 中，加速器机房内、外连续的辐射环境监测采用企业自建的固定式辐射监测系统。每 1~2 个月企业开展 1 次环境辐射水平自检。其它项目委托有资质的单位采样监测。企业日常开展环境自检，需配备 X- γ 巡检仪、中子巡检仪和表面污染监测仪各 1 台。

另外，建设单位根据制定的辐射环境监测计划，定期委托有资质的单位对环境贯穿辐射（中子、 γ 辐射剂量率）、活化部件等表面沾污、土壤、排放前的冷却水和放射性固体废物进行监测，并将监测结果连同企业辐射安全评估报告按规定一并上报生态环境部门。上述监测项目符合本项目的源项和放射性废物排放特点，监测频次符合国家法规要求。

表 6-1 本项目环境监测方案

监测对象	监测项目	监测点位	监测频次	监测方式
大气环境贯穿辐射	中子辐射剂量当量率、 γ 辐射剂量率	详见图 6-1	连续	固定式监测系统自动监测
大气环境贯穿辐射	中子辐射剂量当量率、 γ 辐射剂量率	加速器机房周围、厂区环境	1 次/年	委托监测
大气环境贯穿辐射	中子辐射剂量当量率、 γ 辐射剂量率	加速器机房周围、厂区环境	1 次 / 每 1~2 月	企业采用便携式辐射剂量率仪巡检
表面沾污	α 、 β 表面沾污	机房内活化部件、废物库固废表面、辐射工作人员体表等	1 次 / 每 1~2 月, 固废排放前	企业采用表面沾污仪巡检
表面沾污	α 、 β 表面沾污	机房内活化部件、废物库固废表面、辐射工作人员体表等	1 次/年	委托监测
土壤	Be-7	厂区内、厂址周围 1~2 个点	1 次/年	委托取样监测
环境中放射性核素水平	空气中氡、空气中 γ 核素	排放口附近、厂区内和周围公众居留场所	1 次/年	委托取样监测
循环冷却水	总 α 、总 β	沉降池、应急水池	每次排放前, 每年至少 1 次	委托取样监测
固体废物表面	γ 辐射剂量率 α 、 β 表面污染	放射性废物库	每年 1 次	委托监测

6.3.1.2 辐射监测系统建设

1) 辐射监测系统的设计总体原则

工作场所和环境剂量监测系统的主要功能是测定加速器工作场所和周围环境中的辐射水平, 以便控制人员的活动, 使其接受的辐射剂量实现“可合理达到的尽量低 (ALARA)”的原则, 保证工作人员和公众的安全; 验证防护措施的可信性, 防治辐射泄漏造成环境污染。辐射监测系统建议按照以下原则设计:

(1) 可靠性和稳定性: 所有硬件产品的选型要选用成熟稳定的产品, 尽可能在一个系统中选用同一品牌的设备, 在无人值守和远程配置的情况下, 系统要能够长时间稳定可靠工作。所有软件系统均应经过严格的测试和长时间实际运行

考核。图像监控系统的运用不应影响被其监视设备的正常运行，系统局部故障不影响整个监控系统的正常工作。

（2）先进性和实用性：为适应后期医院使用和建设要求，系统设计采用图像监控、网络、计算机等最新发展技术，符合视频监控技术的发展方向，同时要考虑系统的总体成本以及实际的地理条件，保证系统设计尽可能地实用。因此，不仅要求设计严密，布局合理，能与新技术、新产品接轨，而且所选择的设备应在实施若干年后，亦能保持其功能完善、齐全、不至于落后。

（3）易用性：用户监控界面均为图形化界面，可方便进行各种日常维护工作，能够方便地进行软件的重新配置、系统的自检与恢复、软件系统的升级和硬件备品备件更换等工作。

（4）开放性：系统设计充分考虑系统的功能扩充和容量的扩展，可灵活增减或更新各个子系统来满足不同时期的需要。系统用户管理、系统配置和系统管理全部实现数据库配置维护和管理。系统扩充容易，直接扩充前端设备，系统管理员进行系统配置即可。选用的产品和设备须符合工业标准，以便未来系统的扩展和升级。

（5）实时性：监测系统最基本要求的就是要将被监控对象发生的事件在有限的时间内及时、准确地反映出来，因此实时性与准确性的原则必须贯穿于整个系统设计，要求数据稳定和实时传输。

2) 辐射监测系统的构架和描述

辐射监测系统主要负责监测加速器机房内辐射工作场所和厂区内环境辐射水平，系统主要包括三个部分：

- 数据监控中心：数据存储服务器、监控计算机、网络设备等；
- 监测点设备：中子探测器、 γ 探测器、就地采集单元等；
- 局域网：采用工业环网，保证监测点设备与数据监控中心可靠连接。

建成后辐射监测系统能够对辐射工作场所及周边进行实时数据监测，并加以控制。

3) 辐射监测点位布设

加速器工作场所辐射剂量监测中，探测器选择对脉冲辐射场性能良好，能作为实时监测，同时稳定可靠，成本较低的是包有慢化体的 BF_3 正比计数管（ He-3 管）和电离室。

点位布设见图 6-1，在控制区（调试机房内）、监督区（厂房内控制室外）和公众居留区（厂房内其它区域）共布置了 14 个监测点位。其中控制区共 5 个监测点位，监督区共 5 个监测点位，公众区共 4 个监测点位。

控制区和监督区每个监测点由 1 台中子探测器和 1 台 γ 探测器组成。每个加速器机房内布置一个点位，实时监测加速器机房内中子和 γ 射线辐射场，监测结果用于机房剂量联锁，并通过对辐射场的测量，判断停机后辐射工作人员的准入条件。

为了保证工作人员的安全，监控安全联锁的可靠性，监督区的点位布设在人员进出的迷道口附近。

表 6-3 环保竣工验收监测项目及指标

监测项目	监测点位	验收指标
中子、 γ 辐射水平	监督区：加速器机房屏蔽设施外、厂房内	中子周围剂量当量率、 γ 辐射剂量率不超过 $2.5\mu\text{Sv/h}$
中子、 γ 辐射水平	公众活动区域：厂区内其它生产场所、办公楼、厂内道路及厂外环境保护目标	中子周围剂量当量率、 γ 辐射剂量率远低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，与周围环境本底相比处于同一水平
噪声	厂界外 1m 处	厂界噪声排放值满足 2 类标准。

6.4 辐射事故应急

本项目按照国家相关要求，建设单位设置辐射应急响应组织机构，并制定《辐射事故应急预案》，做好相应的应急准备工作。

企业制定了初步的《辐射事故应急预案》，主要包括：

（1）总则

为了加强射线装置的安全防护和监督管理，促进高能加速器的安全应用，有效预防并及时控制和消除潜在的辐射事故，规范突发辐射事故的应急处置工作，提高应对辐射事故的应急能力，保障人员健康，维护环境安全，按照《中华人民共和国放射性污染防治法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等相关法律法规的要求，结合本单位设施的特点，制定本预案。

本预案适用于本单位所辖范围内射线装置运行时发生的辐射事故。

（2）辐射事故分级

根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将辐射事故分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级，结合本单位装置的特点，各个等级分别为：

- 特别重大辐射事故，是指射线装置失控导致 3 人以上（含 3 人）急性死亡。
- 重大辐射事故，是指射线装置失控导致 2 人以下（含 2 人）急性死亡或者 10 人以上（含 10 人）急性重度放射病、局部器官残疾。
- 较大辐射事故，是指射线装置失控导致 9 人以下（含 9 人）急性重度放射病、局部器官残疾。

— 一般辐射事故，是指射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。

(3) 应急组织体系与职责分工

企业成立辐射事故应急响应指挥部，以单位法定代表人为总指挥，分管领导为副总指挥，其他相关部门负责人为指挥部成员，其主要职责为：负责针对辐射事故的危害程度，发布预警等级，组织实施辐射事故应急预案，并将事故情况上报相关部门。

指挥部下设技术处置组、安全保卫组、后勤保障组和医疗救助及善后处置组等四个专业响应组，分别由相应部门人员组成：

- 技术处置组：负责辐射监测、确定污染范围、划定控制区域，装备防止次伤害物资；相应防护装备（服装、器具等）预备。
- 安全保卫组：负责维护现场秩序、人员出入控制等。
- 后勤保障组：负责应急响应物资的准备，应急期间的通讯、交通、水电等的保障。
- 医疗救助与善后处置组：负责事故人员的初步救治、安抚；设施的恢复等善后工作；对事故的基本情况定性定量描述，对整个事故进行评估，进行工作总结。

(4) 辐射事故应急响应措施

辐射事故应急响应流程如图 6-2 所示。

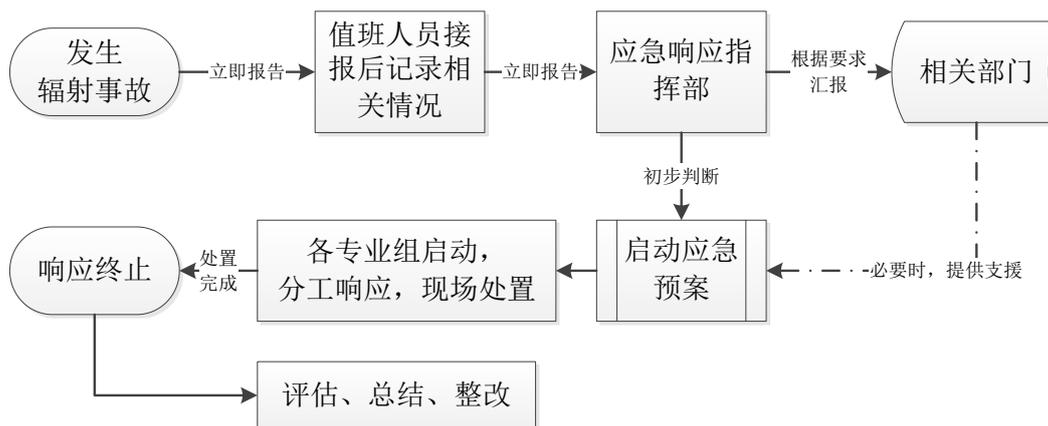


图 6-2 辐射事故应急响应流程图

- 1) 当发生辐射事故时，有关单位和现场人员应立即通过电话等各种方式报告安全与防护值班人员，值班人员记录相关情况（事故发生地点、时间、事故影响等）后，立即报告应急响应指挥部值班领导；

- 2) 应急指挥部值班领导初步判断后立即启动辐射应急预案，通知应急响应指挥部其他成员和专业组启动，并根据要求向地方环保、卫生等部门汇报，同时汇报上级主管部门，必要时请求外部支援；
- 3) 各专业组到现场后根据事故现场实际情况提出事故处置方案，并按照制定的应急响应程序实施现场处置工作，并随时向应急响应指挥部汇报，发生较大及以上辐射事故时，应急响应指挥部相关成员到现场指挥；
- 4) 事故处置期间的事故汇报工作按照地方环境保护部门辐射应急预案的要求严格实施，事故处置完成后响应终止；
- 5) 善后处置组人员负责收集、整理所有应急日志、记录和相关书面信息，在应急响应指挥部的指导下编制应急总结报告，按规定提交相关部门；并提出相应的整改措施，并根据应急响应的实践修定应急预案。

(5) 应急响应能力的维持

1) 培训

本预案中规定的应急响应指挥部和各专业组人员均需要接受全面的初始培训，了解国家和地方对辐射应急准备和响应的要求和相关基本知识、了解各应急岗位的基本职责，掌握本岗位的技能要求，培训方式包括参加国家和地方组织的辐射事故应急培训和本单位组织的相关培训。

2) 演习

辐射事故应急演习一般每年 1 次；演习应有计划、方案和程序以及总结报告。

(6) 附则

应急预案应根据国家和地方法律、法规、标准和规章的要求，以及培训、演习和实际应急响应的实践及时进行修订。

分析建设单位初步编制的上述《辐射应急预案》，预案结合自身特点给出了辐射事故应急响应组织、事故分级和响应措施、培训和演习等内容，总体符合相关法律和法规的要求。考虑到企业没有实际运行经验，该预案在后续工作中应按照国家实施情况进一步完善和优化，明确应急人员的具体安排、细化应急物资的准备、定期开展应急人员的培训和演习，并与省市辐射应急预案做好衔接。企业承诺在申请辐射安全许可证取得前修订完成《辐射应急预案》和相应的应急响应执行程序。

7 利益-代价分析

7.1 利益分析

企业通过引进吸收国外先进技术，研发、生产和销售超小型医疗用质子加速器，拥有自主知识产权，除了满足国内医疗市场需求以外，还可以出口国际市场，为全球癌病患者和医学教学、研究机构提供先进的肿瘤质子放射治疗系统，将带来显著的学术、经济和社会效益。其具体表现在如下几个方面。

7.1.1 经济效益

企业自主研发和建造的质子治疗系统，相比于系统庞大、设备价格高昂、占地巨大、基建成本高、投资动辄数十亿元、运营维护费用高、患者治疗费用昂贵的传统质子治疗系统，该项目的质子治疗系统具有占地小、投资少、设备价格低、患者治疗费用低的显著特点，真正实现放疗设备“买得起、装得下、用的好、费用低”的优势。面对巨大的质子治疗需求，企业生产的质子治疗系统具有可观的市场空间。经测算，按年产 10 台（套）质子治疗系统计算，将为企业和用户均带来良好的经济效益，并可为地方经济和税收带来积极贡献。

7.1.2 社会效益

企业在医疗装备领域引进国际上先进科研成果，经过消化吸收并转化为具有自主知识产权的高端质子放疗设备的生产能力，有利于促进我国肿瘤治疗水平的发展和提高。

企业通过产品不断地研发和更新，培养一批在医用粒子加速器和医学核物理领域的优秀人才，为我国高端放射治疗领域提供理论、技术和人才支撑。

7.1.3 临床医学效益

常规放射治疗中，射线照射治疗肿瘤的同时，也会损伤周围的正常组织，而质子加速器发射的射线将治疗的最大能量释放在肿瘤靶区内，对正常组织的损伤非常小，质子治疗的原理示意图见图 7-1。

7.2.3 资源代价

本项目利用的是已规划的工业用地，不占用厂址以外的道路和土地。厂区内道路、办公楼和厂房（包括加速器机房）均由当地政府出资建设，企业租赁后使用，其中用于加速器生产的厂房用地面积约 17280m²。

7.3 正当性分析

综上所述，企业生产、使用和销售质子治疗系统（主要设备是质子加速器），属于国际和国内技术领先的放射医疗装备。建成后将有助于提高我国在质子治疗装备制造和科研领域的水平，促进地方经济发展，推动质子治疗技术应用领域医疗、教学、科研的发展，加快培养相关专业人员，推广和普及质子治疗技术，惠及广大癌病患者，为提高我国健康医疗水平和人民美好生活水平做贡献。

从正当性角度分析，本项目是必要的、正当的。

8 结论与建议

8.1 项目工程概况

中以康联国际医疗科技有限公司销售（含建造）和使用质子治疗系统，项目投运后年产 10 台（套）最大能量为 250MeV 的质子同步加速器。

企业厂区选址于山东潍坊经济开发区友爱路以东，永康街以南，永康街 13088 号。厂区内主要工业设施是 1 座生产厂房，厂房内设计建造 5 座加速器机房。本项目主要评价新建 5 座加速器（调试）机房运行后对环境和人员的辐射影响。厂区内除了加速器机房及配套设施，其它设施如办公楼、厂房、CT 调试机房等的建设和运行，不在本项目评价范围内。

质子加速器是用人工方法产生高速离子束流的装置，由加速器系统和配套设备构成。厂房内的加速器机房仅用于企业生产的加速器调试，厂区内不设束流治疗终端，不作为放射治疗场所。

8.2 辐射安全与防护

（1）辐射防护

本项目加速器机房采用地面一层混凝土浇注结构，根据辐射场的特点和机房屏蔽设计参数，校核计算结果表明，加速器机房外剂量率不超过 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，满足辐射防护要求。

建设单位将对工作场所进行控制区、监督区划分，对辐射工作场所进行分区管理，本项目的安全联锁系统能够满足“多重性”、“冗余性”和“失效保护”设计要求，可以达到保护辐射工作人员人身安全的目的。

辐射工作还涉及企业内工作人员派遣至设备使用单位（医疗机构）从事加速器运行前的调试工作，这部分人员也作为辐射工作人员纳入企业辐射安全统一管理。

（2）三废的治理

加速器在运行时空气活化产生的放射性核素通过厂房顶部排气口排放大气环境，废气经过一定距离的扩散稀释和物理衰减，对公众的受照剂量贡献值很小。

含放射性核素的废水排放到厂房内沉降池中衰变至少 1 年，经检测满足《污水综合排放标准》GB8978-1996 和山东省地方标准《流域水污染物综合排放标准第 5 部分：半岛流域》（DB37/3416.5-2018）中的排放限值（总 α ：1Bq/L、总 β ：10 Bq/L）后，作为普通废水排放。

加速器调试期间产生的含放射性固体废物如活化物件等，在厂房内放射性废物库暂存衰变，经检测表面污染水平满足相关标准限值后，按普通废物处理，不满足要求的固体废物不外排，送有资质单位处置。产生的废树脂属于危险废物及时由具备危废处置资质的单位处置。

根据分析，项目运行期间现有的三废治理措施可以满足环境保护的要求。

8.3 环境影响分析

（1）辐射环境影响

— 环境辐射水平

加速器开机运行期间，机房外屏蔽墙和屋顶上辐射剂量率低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。加速器停机 1h 后，从事设备维修/维护的人员进入机房，工作场所剂量率低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

— 工作人员受照辐射剂量

本项目辐射工作人员年最大受照剂量为 0.740mSv/a ，小于本项目职业人员剂量约束值 2mSv/a 。

— 公众受照剂量

保守估算公众受照剂量最大值为 0.014mSv/a ，小于公众 0.1mSv/a 的剂量约束值。

项目运行对厂内公众和厂界周围环境保护目标的辐射影响都很小，远低于国家标准限值。

（2）非放射性影响

本项目运行期间厂界 1m 处噪声满足 GB12348-2008 的排放标准要求。

（3）事故条件下对环境的影响

本项目可能发生的事故都不会对环境造成污染。总体而言，本项目的建设对环境的影响是可以接受的。

8.4 辐射安全管理

本项目为新建项目，建设单位将根据本项目的最终设计和运行方案，成立辐射安全与环境保护管理机构、制定辐射安全管理规章制度、开展辐射环境监测和个人剂量监测等工作，并制定辐射事故应急预案。建设单位在项目运行前建立和完善以上管理制度和应急预案，才能具备相应的辐射安全管理能力并满足辐射安全管理要求。

8.5 公众参与

建设单位根据《环境影响评价公众参与办法》的要求开展了公众参与工作，通过公共媒体公示、张贴公告、登报等方式广泛征求了公众意见，满足相关法规要求，没有公众对本项目建设提出反对意见。

8.6 建议和承诺

（1）关于辐射安全管理的建议

加强对厂房监督区入口的管控，不参与辐射工作的人员和非辐射工序不安排在辐射工作场所内。辐射工作人员除了佩戴个人剂量计、报警仪等防护措施以外，定期进行辐射安全培训，参与企业的辐射应急演练。

（2）关于建立和完善辐射安全管理机构和辐射规章制度的承诺

企业承诺在申请辐射安全许可证之前，建立和完善辐射安全管理机构和辐射规章制度，包括操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、设备使用登记制度、人员培训计划、监测方案等和辐射应急预案。

（3）关于核安全关键岗位设置的承诺

企业承诺根据国家核安全管理部门的要求，在三年内使本单位核安全关键岗位的人数达到相关规定要求，配备相应的注册核安全工程师。

（4）关于投产前开展委托监测并取得相应许可的承诺

建设单位承诺将在调试阶段委托有资质的单位对加速器机房周围环境开展辐射环境检测以及设备性能检测，经检测满足相关国家标准、取得辐射安全许可、项目经环保竣工验收合格后正式投入生产。

(5)本项目退役时,建议核查加速器长时间运行后对地下水和土壤的影响,必要时取样监测。

建设项目环评审批基础信息表

建设单位（盖章）：		中以康联国际医疗科技有限公司				填表人（签字）：		建设单位联系人（签字）：					
建设 项目	项目名称	销售（含建造）和使用质子治疗系统项目				建设内容、规模		建设内容：新建5座质子加速器机房，年生产、销售和调试10台质子加速器，属于1类射线装置。					
	项目代码¹	/											
	建设地点	山东潍坊经济开发区永康街13088号											
	项目建设周期（月）	8.0				计划开工时间	2019年11月						
	环境影响评价行业类别	核工业				预计投产时间	2020年6月						
	建设性质	新建（迁建）				国民经济行业类型²	C3581						
	现有工程排污许可证编号（改、扩建项目）	/				项目申请类别	新申项目						
	规划环评开展情况	不需开展				规划环评文件名							
	规划环评审查机关	/				规划环评审查意见文号							
	建设地点中心坐标³（非线性工程）	经度	119.091468	纬度	36.779357	环境影响评价文件类别		环境影响报告书					
	建设地点坐标（线性工程）	起点经度		起点纬度		终点经度		终点纬度		工程长度（千米）			
总投资（万元）	70000.00				环保投资（万元）	7000.00		环保投资比例	10.00%				
建设 单位	单位名称	中以康联国际医疗科技有限公司		法人代表	许嘉		评价 单位	单位名称	苏州热工研究院有限公司		证书编号	/	
	统一社会信用代码（组织机构代码）	91370700MA3P9J0F9W		技术负责人	王阳			环评文件项目负责人	王紫		联系电话	18806218135	
	通讯地址	山东潍坊经济开发区永康街13088号		联系电话	15169695218			通讯地址	江苏省苏州市西环路1788号				
污 染 物 排 放 量	污染物		现有工程（已建+在建）		本工程（拟建或调整变更）		总体工程（已建+在建+拟建或调整变更）					排放方式	
			①实际排放量（吨/年）	②许可排放量（吨/年）	③预测排放量（吨/年）	④“以新带老”削减量（吨/年）	⑤区域平衡替代本工程削减量 ⁴ （吨/年）	⑥预测排放总量（吨/年） ⁵	⑦排放增减量（吨/年） ⁵				
	废 水	废水量(万吨/年)							0.000	0.000	<input type="radio"/> 不排放 <input type="radio"/> 间接排放： <input type="checkbox"/> 市政管网 <input type="checkbox"/> 集中式工业污水处理厂 <input type="radio"/> 直接排放：受纳水体_____		
		COD							0.000	0.000			
		氨氮							0.000	0.000			
		总磷							0.000	0.000			
		总氮							0.000	0.000			
	废 气	废气量（万标立方米/年）							0.000	0.000	/		
		二氧化硫							0.000	0.000	/		
氮氧化物							0.000	0.000	/				
颗粒物							0.000	0.000	/				
挥发性有机物							0.000	0.000	/				
项目涉及保护区与风景名胜区的 情况	影响及主要措施		名称		级别	主要保护对象（目标）	工程影响情况	是否占用	占用面积（公顷）	生态防护措施			
	生态保护目标		自然保护区							<input type="checkbox"/> 避让 <input type="checkbox"/> 减缓 <input type="checkbox"/> 补偿 <input type="checkbox"/> 重建（多选）			
			饮用水水源保护区（地表）			/				<input type="checkbox"/> 避让 <input type="checkbox"/> 减缓 <input type="checkbox"/> 补偿 <input type="checkbox"/> 重建（多选）			
			饮用水水源保护区（地下）			/				<input type="checkbox"/> 避让 <input type="checkbox"/> 减缓 <input type="checkbox"/> 补偿 <input type="checkbox"/> 重建（多选）			
			风景名胜区			/				<input type="checkbox"/> 避让 <input type="checkbox"/> 减缓 <input type="checkbox"/> 补偿 <input type="checkbox"/> 重建（多选）			

注：1、同级经济部门审批核发的唯一项目代码
 2、分类依据：国民经济行业分类(GB/T 4754-2017)
 3、对多项目仅提供主体工程的中心坐标
 4、指该项目所在区域通过“区域平衡”专为本工程替代削减的量
 5、⑦=③-④-⑤；⑥=②-④+③，当②=0时，⑥=①-④+③