

附件3

《粒子加速器辐射安全与防护规定 (征求意见稿)》编制说明

《粒子加速器辐射安全与防护规定》编制组

2022年6月

目 录

1	项目背景.....	3
1.1	任务来源.....	3
1.2	工作过程.....	3
2	标准修订必要性分析.....	4
2.1	国际辐射防护标准发展演变的必然要求.....	4
2.2	我国粒子加速器事业发展的迫切需求.....	5
3	国内外相关标准情况.....	8
3.1	国外相关标准.....	8
3.1.1	国际放射防护委员会 ICRP.....	8
3.1.2	国际原子能机构 IAEA.....	9
3.1.3	美国辐射防护委员会 NCRP.....	10
3.1.4	其他机构、组织.....	12
3.2	国内现行标准规范.....	13
4	标准修订的基本原则和技术路线.....	15
4.1	标准修订的基本原则.....	15
4.1.1	合法合规性.....	15
4.1.2	体系协调性.....	16
4.1.3	质量优先.....	16
4.1.4	分工协作.....	16
4.2	标准修订的技术路线.....	16
5	修订后标准主要技术内容和对比分析.....	17
5.1	标准名称.....	17
5.2	标准框架.....	18
5.3	适用范围.....	18
5.4	规范性引用文件.....	19
5.5	术语和定义.....	19
5.6	标准正文部分.....	21

5.6.1	“4 一般要求”	21
5.6.2	“5 粒子加速器设计中的辐射安全与防护”	24
5.6.3	“6 粒子加速器运行中的辐射安全与防护”	32
5.6.4	“7 放射性废物管理”	38
5.6.5	“8 辐射监测”	40
5.6.6	“9 粒子加速器的退役”	45
5.7	附录	46
6	标准实施建议	47
6.1	管理措施建议	47
6.2	技术措施建议	48

1 项目背景

1.1 任务来源

近年来，粒子加速器在我国科研、工业、医疗等领域发展日益迅速、应用愈加广泛，在给各行各业带来利益的同时，粒子加速器在应用中的辐射安全与防护等问题也越来越被重视和关注。我国现行的《粒子加速器辐射防护规定》（GB5172-1985）为上世纪 80 年代期间制定，其中的相关规定较为笼统和陈旧，已无法满足现有粒子加速器尤其是高能粒子加速器的辐射安全与防护的要求。且随着辐射防护研究的发展，国际辐射防护标准已多次修订。

根据生态环境部核与辐射安全监管项目 2021 年项目计划，在对国内外加速器应用及辐射安全与防护现状进行调研的基础上，按照现有法律法规并结合我国国情及辐射安全监管现状，对《粒子加速器辐射防护规定》（GB5172-85）进行修订。任务由中国原子能科学研究院承担，协作单位为中国科学院高能物理研究所、中国科学院上海高等研究院、中国科学院近代物理研究所、清华大学、中国科学技术大学和中国辐射防护学会粒子加速器辐射防护分会。

1.2 工作过程

（1）2021 年 5 月，中国原子能科学研究院接受任务后，确定了标准编制组基本成员、工作计划和时间安排。

（2）2021 年 6 月~10 月，开展前期调研，对国内外粒子加速器辐射防护防护相关的标准规范进行研究，制定《粒子加速器辐射防护规定》标准修订方案和编制大纲；

（3）2021 年 11 月~12 月，召集中国科学院高能物理研究所、中国科学院近代物理研究所、中国科学院应用物理研究所、中国辐射防护学会粒子加速器辐射防护分会、清华大学和中国科学技术大学共 6 家协作单位，正式成立标准编制组，编制开题论证报告和标准草案；

(4) 2022年1月~3月,标准编制组成员完成各自的编写任务,经多次内部讨论会后,形成《粒子加速器辐射安全与防护规定》初稿;

(5) 2022年3月底,标准编制组组织专家召开了《粒子加速器辐射安全与防护规定》初稿内部评审会;

(6) 2022年4~6月,根据内审会的专家意见,标准编制组进行了多次讨论、修改和完善,形成了《粒子加速器辐射安全与防护规定(征求意见稿)》,上报辐射源安全监管司。

2 标准修订必要性分析

2.1 国际辐射防护标准发展演变的必然要求

我国的《粒子加速器辐射防护规定》(GB5172-1985)制定于1985年,此后的三十年间,国际辐射防护标准已进行多次更新和修订。就在辐射防护基本标准方面具有重要国际影响的国际放射防护委员会(ICRP)系列报告的基本建议和国际原子能机构(IAEA)安全丛书国际基本安全标准而言,自1977年被誉为里程碑的ICRP第26号基本建议书发布以来,1990年ICRP第60号基本建议书又对其进行了更新,对基本体系作了扩展,从剂量限值体系扩展到了辐射防护体系,保留了正当性、最优化和个人剂量限值,推荐以当量剂量和有效剂量取代剂量当量和有效剂量当量。同时对年剂量限值作出了降低校正,将职业人员年剂量限值50mSv降低为平均每年20mSv,公众人员的年剂量限值由5mSv减小到每年1mSv,特殊情况下可以在5年内平均。以ICRP 60号基本建议书为代表,形成了辐射防护体系。该辐射防护体系获得了国际上的高度认同,构成了联合国和国际原子能机构以及成员国制定辐射防护与安全标准的共同基础,很多国家都基于ICRP 60号基本建议书提出的原则修改了自己的辐射防护标准。随后,ICRP在2007年发表了103号基本建议,取代了沿用16年的第60号基本建议书,但该次取代是“连续性多于变化”,保留了60号基本建议书中有效和清楚部分,采用区分计划照射情况、应急照射情况、既存照射情况等三类涵盖全部范畴的照射,取代原来基于实践和干预的类别的放射防护体

系。

此后，随着 ICRP 放射防护体系的不断演进，国际原子能机构（IAEA）广泛联合 8 个国际组织，主要依据 ICRP 的 2007 年 103 号出版物，修订出版了新的 IAEA GSR Part 3 《国际电离辐射防护与辐射源安全基本标准》，并于 2014 年正式发布。欧盟的欧洲原子能共同体已发布新指令将其采纳为“防护电离辐射照射危险的基本安全标准”。IAEA GSR Part 3 采纳并汲取了 ICRP 第 103 号出版物的核心内容，细化了对于“实践”的潜在照射控制内涵，采用了职业工作人员和公众（代表性个人）剂量限值和危险度限制的概念，提高眼晶体剂量限值的严格程度，工作人员职业照射水平的眼晶体年当量剂量由 150mSv 下调为 20mSv，16~18 岁实习生和学生的职业照射水平眼晶体年当量剂量由 50mSv 下调为 20mSv。

GB5172-85 的制定以我国在 1974 年发布的《放射防护规定》（GBJ 8-74）和同时期国际放射防护标准为主要依据，无论是就其关于基本剂量限值的规定还是就其采用的防护基本体系来说，还是基于 ICRP 26 号出版物中的相关要求，与国际辐射防护体系的新进展不相适应。因此，基于国际放射防护体系的新演进和核心理念发展，我国有必要结合实际情况，尽可能的吸收国际的世界各国的辐射防护的新成果，尽快对现行的粒子加速器辐射防护规定进行修订，为粒子加速器的辐射防护和环境保护工作提供技术支撑和标准规范，从而积极促进我国粒子加速器事业的发展。

2.2 我国粒子加速器事业发展的迫切需求

自 20 世纪 30 年代以来，全世界运行中的粒子加速器已超过 3 万台，其中有 200 台左右为科研用大型粒子加速器，其余均为广泛应用于工业、医疗、科研等领域的中小型粒子加速器。近年来，粒子加速器在我国已广泛应用于科研、医疗、工业、农业、环保和国家安全等国民经济的各个领域。

在科研领域，自 20 世纪 80 年代末的北京正负电子对撞机开始，我国在上海、合肥、兰州等城市陆续建成了上海光源、合肥光源以及兰州重离子加速器等以大型高能粒子加速器为代表的大科学装置。2010 年以来，随着国家对大科

学装置的投资力度不断增大，以中国科学院及多所地方高校为依托单位，开始大规模布局建设大科学装置，如“中国散裂中子源（CSNS）”、“软 X 射线自由电子激光装置”、“加速器驱动嬗变研究装置（CiADS）”和“强流重离子加速器装置（HIAF）”等，都是以高能粒子加速器为主体的大科学装置。“十三五”期间，以上海张江、北京怀柔、安徽合肥和深圳等 4 个综合性国家科学中心为主开展建设的大科学装置中，超过半数为以粒子加速器为主体的装置。被称为“国家重大科技基础设施”这些大科学装置已成为国家科技发展战略的核心支撑力量。除上述大科学装置应用外，随着放射性同位素在工业、农业、医学和科研等诸多领域发挥越来越重要的作用，作为制备放射性同位素尤其是医用同位素的重要方式之一，加速器生产放射性同位素的作用与地位也日益突出。目前，国内有中国原子能科学研究院和中国工程物理研究院两家单位成功已成功研制出用于生产放射性同位素的加速器，可支持 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{18}F 等的生产以及具备生产 ^{64}Cu 、 ^{68}Ga 、 ^{89}Zr 、 ^{123}I 等同位素的技术能力。随着医用同位素用量迅速增长以及国家对放射性同位素药物国产化的逐渐重视，医用同位素的研制和生产已成为加速器应用领域的热点之一。国内各大科研院所、高校以及药物研发、生产企业都在积极开展加速器生产放射性同位素相关领域技术的研发，有望将来解决我国医用同位素卡脖子的关键技术瓶颈问题。

在医疗领域，随着 20 世纪核技术的飞速发展，放射治疗目前已成为治疗癌症的重要手段，电子直线加速器（主要为 10MV 电子直线加速器）作为常规放疗手段目前已广泛应用于肿瘤的放射治疗。除此之外，基于高能质子/重离子加速器发展起来的质子/重离子系统近年来在国内的应用也日益广泛，截至 2020 年 12 月，国内已建成运行的质子治疗中心共 3 家，在建质子治疗中心 9 家，筹建质子治疗中心 8 家，且仍呈逐年增长的趋势。随着我国国民经济的发展、居民收入水平和医疗水平的提高，以及放疗技术的不断进步、完善和成本降低，未来会有更多的粒子加速器投入医疗应用。

在工业、农业、环保等其他领域，粒子加速器已成为推进新材料、新技术、新工艺、新设备研发和应用的重要工具和手段，并已在辐照材料改性、辐照加工、辐射技术装备、公共安全和环境保护等领域形成一定的产业规模。辐

照加工方面，国内电子辐照加速器的数量从 2008 年底的 140 台/套发展到 2016 年的 500 余台/套，占全球电子辐照加速器总量 2000 台的近 1/4，年增长率在 20%以上。国产电子辐照加速器在国内市场占有率达到 80%以上。工业检测方面，目前我国已完全自主开发和生产 2~15MeV 的工业 CT 系统，形成了以同方威视、重庆大学等多家单位为技术核心的工业 CT 系统开发的制造企业。公众安全方面，基于粒子加速器的探测技术已广泛应用于高能 X 射线集装箱检查装置，并已广泛应用于海运、铁路、公路等边境口岸的客运和货运安全检查中，由我国生产的大型集装箱检测设备已成为世界集装箱检测系统行业三个最强供货商之一，仅“同方威视”的相关产品已出口到世界 150 多个国家。农业应用方面，我国目前在粮食作物辐射诱变方面已经取得了显著成绩，农产品、食品辐照的基础研究、辐照品种、辐照数量和产业化应用等方面也取得了多项进展。环保方面，粒子加速器已经应用到环境污染监测和三废处理中，我国第一个电子束辐照处理烟气废气示范工程已在成都建设完成。利用电子加速器处理工业废水也已经步入产业化的初级阶段，2020 年 6 月，全球最大的电子束处理工业废水项目在江门投入运行。同年 11 月，我国首个电子束辐照处理医疗污水示范项目在湖北省十堰市投入运行。

近三十年来，随着粒子加速器在科研、医疗和工业等各个领域应用的快速发展，其辐射防护工作也有了不小进展，积累了一些新的经验，提出了一些有待解决的问题。辐射安全与防护问题也越来越受到社会关注。辐射防护已经不仅是对从事放射性工作的职业照射防护问题，而且是对生态环境以及所有公众成员的公众照射防护。现行《粒子加速器辐射防护规定》（GB5172-85）中的相关规定较为笼统和陈旧，对现有粒子加速器尤其是高能粒子加速器的辐射防护不够适用。而且随着粒子加速器科学的快速发展，呈现粒子能量和机器功率不断提高的趋势，粒子加速器设施本身也呈现大型化和复杂化趋势，如我国建设的散裂中子源、高能同步辐射光源以及近年来出现的脉冲宽度极短（fs 量级）、频率极低的超强激光产生的高能粒子模式和医疗应用中的短脉冲、超高剂量率放射治疗模式（FLASH）等先进技术，这也使得其辐射安全与防护工作面临新挑战，需要健全的辐射防护标准予以支持。此外，国内一批早期建设的加速器也将面临退役。因此，如何从我国实际情况出发，制定好既与国际接轨又符合

我国国情，既科学合理又易于实施的标准，反映和总结近年来我国粒子加速器辐射防护工作的新经验和新成果，从而切实提高我国粒子加速器的辐射安全与防护水平，保障加速器运行期间和退役后的辐射安全，是当下需要解决的问题。因此，需要尽快修订《粒子加速器辐射防护规定》，以指导和规范粒子加速器的辐射防护和环境保护工作，并为主管部门更科学、合理的开展粒子加速器的监管工作提供技术支撑。

3 国内外相关标准情况

3.1 国外相关标准

3.1.1 国际放射防护委员会 ICRP

国际放射防护委员会（ICRP）致力于研究并推荐放射防护的指导方针、基本原则和实施指南，未专门针对粒子加速器出版相关放射防护方面的标准，其在 2014 年发布了第 127 号出版物《Radiological Protection in Ion Beam Radiotherapy》对于离子束治疗的放射防护做出部分说明，对目前放疗领域使用的质子/重离子治疗系统的辐射防护具有一定的适用性，包括：

（1）医务人员进行照射前准备、将患者带入治疗室、摆位、照射结束后将患者带离治疗室以及在转移患者使用的补偿器和准直器期间，以及设备供应商的工作人员在维修维护设备期间，都会接触到由于离子束治疗产生的感生放射性，这些医务人员和维修的职业照射水平主要取决于与设备和束流传输系统的感生放射性水平，以及他们接触感生放射性的距离和时间。其中技师所受职业照射水平最高。

（2）与职业照射不同，公众照射的主要来源不是设备的感生放射性，而是患者体内的感生放射性。公众在接触接受放射治疗的病人时，可能会受到辐射。除此之外还包括治疗期间排放到环境的空气和废水中的放射性。根据 Tsujii 等人的计算结果，这些感生放射性水平低于基于 ICRP 建议的日本监管水平。

（3）对于感生放射性，需要关注直接暴露在治疗束流下的设备的感生放射

性，尤其是放置在患者附近或由放射工作人员手动处理的设备，如患者固定装置、准直器、患者补偿器、距离移位器和剂量测量仪器等；需要对治疗设备和治疗室内可能被离子束及其次级粒子活化的空气进行管控，评估设施内活化空气的浓度和设施排放到环境中放射性废气的浓度，以确认是否符合监管部门制定的排放限值，并评估周围公众所受的剂量。当空气中的放射性浓度预测值超过排放限值时，应设置适当的测量系统进行监测；对于更换下来的设备结构部件，需要根据其放射性水平决定处置方式，放射性水平较高的需要将其暂存在控制区内或控制区外，满足监管部门规定的豁免水平后方可回收或重复使用。

(4) 应建立监测系统，提供外照射和内照射的监测设备，以确保公众照射、职业照射和病人照射的辐射防护。 γ 射线和中子的外照射应利用区域监测仪或巡测仪监测。核素的活度浓度可以用适当的气体监测仪和粉尘监测设备进行监测。如未监测浓度，应通过计算确定浓度。

3.1.2 国际原子能机构 IAEA

(1) IAEA Technical Reports Series No.188 《Radiological Safety Aspects of the Operation of Electron Linear Accelerators》

IAEA 于 1979 年发布了 188 号技术报告《操作电子直线加速器的辐射安全》，旨在为电子直线加速器的辐射防护设计提供权威的指导。该报告对电子加速器特有的辐射防护问题进行了专题讨论，包括厚靶韧致辐射、电磁级联、厚靶二次辐射的估算、操作问题、加速器占空比的仪器修正。此外，还对中子的产生进行了广泛的讨论，包括各种材料中子产额的计算。对各种材料的活化进行了重新计算，并考虑了 K-系特征 X 射线后重新计算了很多核素的伽马射线常数。讨论了加速器部件、空气、水的活化、微波辐射和有毒气体的产生。在辐射屏蔽章节，讨论了辐射屏蔽材料、屏蔽的物理因素、光子和中子的屏蔽，并利用已发布的韧致辐射衰减数据估算了较宽范围初始能量的粒子的衰减常数。中子屏蔽中，利用橡树岭中子输运计算结果讨论了中子的屏蔽，解释了中子俘获 γ 射线对剂量当量的贡献。列举了医疗、工业和科研用的粒子加速器的示例并描述了新建加速器设施时的基本要求和要点。辐射监测章节，讨论了个人剂

量计、电离室测量仪、区域监测仪、GM 计数器等辐射监测设备的特点和选择，占空因子对辐射监测影响，中子监测技术和监测仪器的校准和维护等内容。安全大纲章节，讨论了安全组织、安全方案、辐射安全方案、加速器安全大纲、放射治疗用的直线加速器、工业和科研用加速器的安全。

(2) IAEA Technical Reports Series No.283 《Radiological Safety Aspects of the Operation of Proton Accelerators》

IAEA 于 1986 年发布了第 283 号技术报告《操作质子加速器的辐射安全》，旨在为所有类型正离子加速器辐射防护的设计和 implementation 提供指导。该报告简要介绍了正离子加速器的基本类型，详细介绍了几种能量范围从 10MeV 到 500MeV 的装置。论述了正离子加速器的辐射场特性，包括瞬发辐射场和感生放射性。详细讨论了加速器装置周围辐射场的测量，以及由于束流的脉冲特性对辐射测量的影响。介绍了辐射屏蔽的标准、屏蔽材料和迷宫、管道等的屏蔽考虑，特别讨论了电离辐射通过屏蔽的传输以了解屏蔽的基本原理。详细描述了加速器的辐射环境影响，包括天空反散射、加速器结构的活化、冷却水的活化、空气的活化土壤和地下水活化及其对环境的影响。

3.1.3 美国辐射防护委员会 NCRP

(1) NCRP REPORT No.88 《Radiation Alarms and Access Control System》

NCRP 于 1986 年发布的第 88 号报告《辐射报警和门禁控制系统》，详细讨论了操作放射性物质或使用辐射装置的设施内辐射报警系统和进入控制系统的选择、设计和操作需要考虑的因素，可为粒子加速器人身安全联锁系统的设计提供指导。报告主要包括以下内容：

1) 辐射报警系统：包括区域辐射监测仪、非辐射传感器、声光信号装置等；

2) 进入控制系统：包括危害类型说明、标准辐射警告标志、对辐射标志的说明等指示标志；警告灯；声音信号；物理屏障；联锁装置；紧急停机开关；清场搜索；个人剂量与门禁联锁等；

- 3) 联锁逻辑系统;
- 4) 可靠性要求, 包括失效安全、冗余性、维护、抗干扰等;
- 5) 辐射报警和进入控制系统的选择标准。

(2) NCRP REPORT No.144 《Radiation Protection for Particle Accelerator Facilities》

NCPR 于 2003 年发布的第 144 号报告《粒子加速器设施的辐射防护》是对 1977 年出版的 NCRP 第 51 号报告《0.1~100 MeV 粒子加速器设施的辐射防护设计指南》的实质性修订和扩充, 适用于能量高于 5MeV 的所有类型的粒子加速器, 包括中子发生器。该报告旨在为粒子加速器辐射防护提供设计指南, 描述粒子加速器运行中特别重要的辐射安全因素, 并提出了实现安全操作的建议。报告的主要内容包括:

- 1) 粒子加速器和加速器设施: 包括粒子加速器的定义、分类、结构组成、加速器应用、加速器的选址和布局;
- 2) 不同类型加速器的电离辐射源和感生放射性分析, 包括电子加速器、质子加速器和离子加速器;
- 3) 加速器的辐射屏蔽: 包括用于辐射屏蔽计算的程序、屏蔽设计、束流损失源项的确定、1~100MeV 电子加速器的屏蔽、能量高于 100MeV 的大型电子加速器设施的屏蔽、质子加速器的屏蔽、屏蔽材料、隧道、迷宫和管道的设计。
- 4) 光子和中子的天空反散射、空气活化、土壤和地下水活化、加速器放射性的转移、水和空气的辐射分解, 臭氧和氮氧化物的产生;
- 5) 加速器运行的辐射安全程序: 组织机构、设施设计(进出控制、活化、通风等)、警告和人员安全、监控措施。

(3) NCRP REPORT No.151 《Structural shielding design and evaluation for megavoltage X- and gamma-ray radiotherapy facilities》

NCRP 于 2005 年发布了第 151 号报告，取代了其在 2001 年发布的第 49 号报告，全面介绍了医用高能加速器屏蔽设计的基础知识、屏蔽材料的选择、屏蔽厚度的计算和评价、影响因素和注意事项等，并举例说明了常规放射治疗室的屏蔽计算方法，提供了详细的数据支撑。

3.1.4 其他机构、组织

3.1.4.1 国际粒子治疗协作委员会 PTCOG

国际粒子治疗协作委员会成立于 1985 年，是一个由对质子、轻离子和重带电粒子放射治疗感兴趣的科学家和专业人士组成的非营利性国际组织。其在 2010 年发布了《Shielding Design and Radiation Safety of Charged Particle Therapy Facilities》（《粒子治疗设施的屏蔽设计和辐射安全》），该报告详细介绍了粒子治疗设施，尤其是质子和重离子治疗设施的辐射屏蔽设计、辐射监测、感生放射性、蒙特卡罗程序、次级辐射所致的患者剂量、辐射安全联锁系统等内容，对于质子/重离子治疗系统的辐射防护设计具有一定的指导作用。

3.1.4.2 其他国家相关标准

新加坡《Radiation Protection (Ionising Radiation) Regulations》在第十四部分对带电粒子加速器的辐射防护作了规定，具体为：

- (1) 明确了规定的适用范围为带电粒子加速器，包括中子发生器。
- (2) 加速器需要有足够的屏蔽以确保辐射工作人员可达区域的剂量水平在任何 1 小时内不超过 $10\mu\text{Sv}$ ，其他人员接受的来自加速器的剂量在任何 1 小时内不超过 $1.5\mu\text{Sv}$ 或者在任何连续 7 天的时间段内不超过 $20\mu\text{Sv}$ 。
- (3) 必须提供有效的门机联锁措施。
- (4) 当加速器工作时必须提供足够的警告信号，警告信号可以是光信号或者声信号或者两者皆有。
- (5) 警告信号必须自动运行。

日本《Regulation on Prevention of Ionizing Radiation Hazards》规定外照射和空气中放射性物质造成的有效剂量在任何三个月可能超过 1.3mSv 的区域应设为控制区。男性辐射工作人员任何 5 年的受照剂量不超过 100mSv，任何 1 年的受照剂量不超过 50mSv。女性辐射工作人员任何 3 个月的受照剂量不超过 5mSv。女性怀孕期间内照射剂量不超过 1mSv，腹部当量剂量不超过 2mSv。发生事故时，应急工作人员在紧急作业时所受有效剂量不得超过 100mSv，特殊情况下可提高到 250mSv。

3.2 国内现行标准规范

目前，我国现行的粒子加速器辐射防护相关的标准规范可分为国家标准（GB）、国家职业卫生标准（GBZ）、环境保护行业标准（HJ）和核工业标准（EJ），按性质分为强制性标准和推荐性标准（按发布的时间顺序）主要包括：

（1）国家标准

1) 《粒子加速器辐射防护规定》（GB5172-1985），适用对象为能量低于 100MeV 的粒子加速器，对剂量当量限值、加速器辐射防护设施的设计原则、运行中的辐射安全、辐射监测、辐射安全管理、环境保护和三废治理等内容做出了相关规定。

2) 《无损检测用电子直线加速器工程通用规范》（GB/T 303710-2013），适用于 15MeV 以下的无损检测用电子直线加速器工程，规定了其在工程建设中加速器装置的技术要求、运动机械及工装装置的技术要求、射线无损检测建筑物工程设计要求、施工及质量监督以及工程安装、检验和验收等内容。

3) 《无损检测用电子直线加速器》（GB/T 20129-2015），适用于能量 1MeV~15MeV 无损检测用电子直线加速器，规定了其型号命名、技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输、贮存和随行文件。

4) 《10MeV~20MeV 范围内固定能量强流质子回旋加速器》（GB/T 34127-2017），适用于能量为 10MeV~20MeV 范围内固定能量，束流强度大于或等于 100 μ A 的强流质子回旋加速器，规定了其组成、技术要求、试验方法、检验规

则以及标志、包装、运输、贮存和随行文件。

5) 《超导回旋质子加速器辐射屏蔽规范》(GB/T39325-2020), 适用于质子能量在 70MeV~1000MeV 范围内的质子加速器, 规定了超导回旋质子加速器机房屏蔽的一般要求、剂量率参考控制水平、屏蔽计算和辐射监测等要求。

(2) 国家职业卫生标准

1) 《货物/车辆辐射检查系统的放射防护要求》(GBZ143-2015), 适用于电子能量小于 10MeV 的加速器检查系统, 规定了其辐射水平控制、安全设施、操作、监测与检查等的放射防护要求。

2) 《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020), 适用于放射治疗用粒子加速器, 规定了其开展放射治疗的防护要求。

3) 《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), 适用于放射治疗用粒子加速器, 规定了放射治疗机房辐射屏蔽的剂量参考控制水平、一般屏蔽要求和辐射屏蔽评价要求。

4) 《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), 适用于放射治疗用的 30MeV 以下的电子直线加速器, 规定了治疗机房的剂量控制要求、辐射屏蔽的剂量估算与检测评价方法。

5) 《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), 适用于 70MeV~250MeV 放射治疗用的质子加速器, 规定了其机房的辐射屏蔽要求。

(3) 环境保护行业标准

1) 《电子直线加速器工业 CT 辐射安全技术规范》(HJ785-2016), 适用于能量不高于 15MeV 电子直线加速器工业 CT 装置, 规定了其销售(含建造)和使用中的辐射安全技术和管理要求。

2) 《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018), 适用于能量不高于 10MeV 的电子束辐照装置, 规定了其辐射安全与防护原则, 包括剂量控制、辐射工作场所划分、辐射屏蔽、安全设计、日常检修(管理)及记录等要

求。

3)《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021),适用于放射治疗用粒子加速器,规定了放射治疗场所的选址、布局与分区、放射治疗工作场所的辐射安全与防护、安全操作、放射性废物管理、辐射监测等要求。

(4) 核工业标准

1)《粒子加速器工程设施辐射防护设计规范》(EJ 346-88),适用于能量低于 100MeV 的粒子加速器(不包括医疗用粒子加速器和密封型中子管之类的可移动加速器),规定了其工程设施辐射防护设计的基本原则和应采取的措施。

综上所述,国内现行的相关标准规范中,对医疗、工业辐照、安检、无损检测等领域的粒子加速器的辐射安全与防护的针对性和适用性较强。除《超导回旋质子加速器辐射屏蔽规范》(GB/T39325-2020)适用于 1000MeV 以下的质子加速器外,针对能量高于 100MeV 粒子加速器的辐射防护,尚无可遵循的标准或技术规范。且《超导回旋质子加速器辐射屏蔽规范》仅针对质子加速器的辐射屏蔽做出了相关规定,适用性有限。

因此,为了保障人员安全,保护生态环境,在充分参考国内现行标准规范要求的基础上,结合国内外粒子加速器辐射防护现状,对《粒子加速器辐射防护规定》(GB5172-85)进行修订,使其更适应辐射防护体系和国内外粒子加速器的发展趋势。

4 标准修订的基本原则和技术路线

4.1 标准修订的基本原则

4.1.1 合法合规性

本标准的修订严格遵守我国相关法律法规和标准规范的相关要求,按照《国家生态环境标准制修订工作规则》(2020年)中的对于标准修订的工作程序、内容、时限和其他要求进行。

4.1.2 体系协调性

本标准的修订以我国环境保护和辐射防护标准体系为基础，充分借鉴国际辐射防护体系标准和其他国家关于粒子加速器辐射防护的有关要求，确保制定出既与国际接轨又符合我国国情和辐射安全监管现状，既科学合理又易于实施的标准，切实提高我国粒子加速器的辐射安全与防护水平，保障加速器运行期间的辐射安全。

4.1.3 质量优先

本标准的修订将严格执行项目承担单位质量保证体系的要求，制定具体的项目实施方案，明确各阶段的工作任务、时间节点和成果形式，统筹协调各协作单位的工作，确保按计划顺利实施。同时，标准中各项定义和对于加速器辐射防护的相关规定和要求在调研的基础上，参考了国际组织如 ICRP、IAEA 的正式出版物和国内现行标准规范中的表述，确保其准确性和科学性。

4.1.4 分工协作

本标准修订期间，组织了主要国内医疗、科研和工业领域主要的粒子加速器运营单位共同协作开展工作，并针对其专业领域进行分工。此外，将广泛征求国家有关部门、地方政府及相关部门、行业协会、企业事业单位和公众等方面的意见，并组织专家进行审查和论证。

4.2 标准修订的技术路线

(1) 开展粒子加速器辐射防护相关法律法规和标准规范、文献、相关机构出版物的收集与整理；

(2) 在对法规标准等研究分析的基础上，通过实地调研、专家咨询等方式，围绕我国现有粒子加速器的辐射工作场所分区、辐射屏蔽、人身安全连锁系统、辐射监测、放射性三废处理、环境影响和监管现状进行调研分析；

(3) 确定标准编制大纲和主要内容，围绕适用范围、剂量限值、一般要求、运行的辐射安全与防护要求、辐射监测、辐射安全管理、放射性废物管理等方面进行标准修订；

(4) 针对标准修订期间的需要讨论的重大问题，通过专家咨询、论证进行充分讨论，确定解决方案；

(5) 标准修订及其修订说明的编制工作。

5 修订后标准主要技术内容和对比分析

5.1 标准名称

标准名称由原来的“粒子加速器辐射防护规定”改为“粒子加速器辐射安全与防护规定”。

解释说明：参照《国际辐射防护和辐射源安全基本安全标准》（IAEA，2014）以及《国际原子能结构安全术语 核安全和辐射防护系列》（2007年版，IAEA）中的相关定义，“防护与安全”为保护人免受电离辐射照射或由于放射性物质所致照射和源的安全，包括实现这种防护和安全的方法以及防止事故和万一发生事故时缓解事故后果的方法。安全主要涉及保持对源的控制，而（辐射）防护则主要与控制辐射照射及其效应有关。很明显，两者是密切相连的：如果所述的源置于控制之下，则辐射防护（或放射防护）就简单的多，因此安全必定促进保护。源有很多不同类型，因此安全可称为核安全、辐射安全、放射性废物安全或运输安全，但防护在这个意义上主要与保护人类免受照射有关，而不论是什么源，因此总是称为辐射防护。

据此，将本标准题目修改为“粒子加速器辐射安全与防护规定”，意在强调不仅要关注加速器的辐射防护还应重视安全，即对源的控制。如本次修订时指出在辐射屏蔽设计时对于辐射源项的确定要同时考虑正常和异常工况，可提醒相关加速器工作人员采取措施控制或减少一些异常工况如调束时束流随机丢失的发生。以及提出了对于冷却水系统产生 H₂ 的关注这些原本不完全属于辐射防护范围的内容。

5.2 标准框架

根据《国家生态环境标准前言和内容参考格式》，本标准结构框架包括：

(1) 适用范围、规范性引用文件、术语和定义。

(2) 正文部分：包括一般要求、粒子加速器设施设计中的辐射安全与防护、粒子加速器运行的辐射安全与防护、放射性废物管理、辐射监测和粒子加速器的退役。

(3) 附录部分：包括附录 A 屏蔽体外剂量率控制水平、附录 B 冷却水系统产生 H₂ 浓度的估算方法、附录 C 粒子加速器维修工作条件、附录 D 放射性废液解控要求和附录 E 一些放射性核素的导出空气浓度。

5.3 适用范围

本次修订将适用范围由以前的“单核能量低于 100MeV 的粒子加速器（不包括医疗用加速器和象密封型中子管之类的可移动加速器）设施”修改为“除货物/车辆辐射检查系统和在室外使用的中子发生器外的粒子加速器”：

(1) 货物/车辆辐射检查系统种类繁多，涉及固定式、移动式等多种形式，且大多数货物/车辆辐射检查系统在室外使用，粒子加速器辐射安全与防护中的很多要求如清场、通风等对其不适用。且已经针对该类加速器已经制定了《货物/车辆辐射检查系统的放射防护要求》（GBZ143-2015），因此本次标准修订时将其排除在外。

(2) 中子发生器一般包括密封型中子发生器和普通中子发生器，除在室外使用（如测井、野外使用）期间，在室内固定场所使用的中子发生器的辐射防护要求与粒子加速器基本一致。在室外移动使用的中子发生器，其辐射工作场所分区、操作安全以及废物处理等方面的要求与室内固定使用的中子发生器均有所不同，针对其辐射安全与防护的规定需进一步研究并制定相应的标准。因此，本次标准修订时将在室外使用的中子发生器也排除在外。

5.4 规范性引用文件

本标准共引用了 2 个规范性文件，具体引用内容见表 5-1。

表 5-1 规范性文件及具体引用内容

标准编号	标准名称	引用内容
GB18871	电离辐射防护与辐射源安全基本标准	1. 引用该标准中对剂量限值的规定； 2. 引用该标准中对辐射工作场所分区的规定； 3. 引用该标准中对放射性核素的豁免浓度与豁免活度的规定
HJ61-2021	辐射环境监测技术规范	引用该标准中对粒子加速器辐射环境监测的规定。

5.5 术语和定义

原标准中采用的名词主要取自《核科学技术术语》(GB4960-85)，本标准根据《核科学技术术语 辐射防护与辐射源安全》(GB/T 4960.5-1996) 列举了辐射防护最优化、纵深防御、冗余性、多样性、联锁装置、辐射警告标志等 6 个关键术语；根据《国防科技名词大典 核能》列于了粒子加速器、独立性、天空反射和辐射屏蔽等 4 个关键术语。同时为了便于后续的描述，给出了“束流终端室”的定义，用于对科研、工业和医疗领域的粒子加速器束流引出后去往的不同终端进行统称。

本次修订新增术语与定义编写依据见表 5-2。

此外，原标准中给出了靶、高辐射区、辐射区和关键居民组的名词解释。本次修订仅保留“靶”的定义，具体见表 5-3。

表 5-2 本次修订时使用的术语与定义编写依据

术语	英文名称	定义	编写依据
粒子加速器	Accelerator	一种用人工方法产生快速带电粒子束的装置，由粒子源、真空加速系统和导引、聚焦系统三个基本部分组成	定义来自《国防科技名词大典 核能》P292

束流终端室	Beam terminal region	将粒子加速器引出的束流用于开展科学研究、工业应用（辐照实验）、医疗诊断治疗等用途的场所。该场所一般情况下通过实体屏蔽与加速器束流产生、传输等区域隔离，并配置相应的辐射安全与防护措施。	粒子加速器引出束流终端主要包括线站、谱仪（科研领域）；放射治疗室（医疗领域）；辐照室（工业领域）等，为便于描述，将这些终端统称为束流终端室。
辐射防护最优化	Optimization of radiation protection	在考虑了经济和社会的因素之后，源的设计与利用及与此有关的实践，应保证将辐射照射保持在可合理达到的尽量低水平。	定义来自《核科学技术术语 辐射防护与辐射源安全》（GB/T 4960.5-1996）5.3
纵深防御	Defence in depth	针对给定的安全目标运用多种防护措施，使得即使其中一种防护措施失效，仍能达到该安全目标。	定义来自《核科学技术术语 辐射防护与辐射源安全》（GB/T 4960.5-1996）6.2
冗余性	Redundancy	设置数量多于最低需要的单元或系统（相同的或不同的），以达到任一单元或系统的失效不致于引起所需总体安全功能丧失的措施。	定义来自《核科学技术术语 辐射防护与辐射源安全》（GB/T 4960.5-1996）6.4
多样性	Diversity	为执行某一确定安全功能设置多重部件或系统，这些部件或系统总体上具有一个或几个不同属性。	定义来自《核科学技术术语 辐射防护与辐射源安全》（GB/T 4960.5-1996）6.3
独立性	independence	某一安全部件发生故障时，不会造成其他安全部件的功能出现故障或失去作用。	定义来自《国防科技名词大典 核能》P83
辐射屏蔽	Radiation shielding	指在电离辐射源和受其照射的某一区域之间，采用能减弱辐射的材料来降低此区域内的辐射水平。	定义来自《国防科技名词大典 核能》P135
天空反射	Sky shine	又称天空散射，在辐射源设有足够厚的屏蔽墙而无顶部屏蔽，或屋顶较薄的情况下，射向天空的辐射受大气的反散射作用，造成屏蔽墙周围地面附近辐射场增强的现象。	定义来自《国防科技名词大典 核能》P400
联锁装置	Interlock	一种安全控制方法（装置），使有关部件的动作相互关联，每个部件均必须处于规定状态或工况，否则辐射源不能投入运行或使用，或者使已投入运行或使用的辐射源立即关停。	定义来自《核科学技术术语 辐射防护与辐射源安全》（GB/T 4960.5-1996）6.10
辐射警告标志	Radiation precaution sign	在实际或可能发射电离辐射的物质、材料（及其容器）和设备（及其所在区域）上附加的有一定规格和颜色的标志。	定义来自《核科学技术术语 辐射防护与辐射源安全》（GB/T 4960.5-1996）8.32

表 5-3 原标准中术语与定义编写依据

术语	英文名称	定义	依据
靶	Target	被加速器的带电粒子与其相互作用产生有用辐射的物质。	

高辐射区	“高辐射区”“辐射区”和的定义现已被“控制区”和“监督区”取代，因此本标准不再列举。
辐射区	
关键居民组	根据 ICRP 103 号出版物，关键居民组的概念已被“代表人”替代，本标准不再列举。

5.6 标准正文部分

本次修订主要基于原标准正文的结构框架进行，原标准中除“6 辐射安全管理”章节未保留外，其余章节均保留，并新增“粒子加速器的退役”章节，修订前后对标准正文部分结构框架的对比如表 5-4 所示。

表 5-4 修订前后对标准正文部分结构框架的对比

原标准正文部分	本次修订版正文部分
1 总则	4 一般要求
2 剂量当量限值	
3 辐射防护设施的设计原则	5 粒子加速器设施设计中的辐射安全与防护
4 运行中的辐射安全	6 粒子加速器运行的辐射安全与防护
5 辐射监测	8 辐射监测
6 辐射安全管理	考虑到我国现行的法规条令中对于辐射安全管理部分已有明确规定，且该部分内容非粒子加速器特有的内容，因此本次修订时未保留该章节的内容。
7 环境保护和三废治理	7 放射性废物管理
——	9 粒子加速器的退役

5.6.1 “4 一般要求”

本章节主要将原标准中“1 总则”和“2 剂量当量限值”合并并对其进行修改，章节具体内容在修订前后的对比如表 5-5 所示。

表 5-5 修订前后标准中关于“一般要求”章节内容的对比

原标准中的内容	本次修订后的内容
1.1 为加强对粒子加速器辐射防护工作的管理，保护环境，保障工作人员和邻近居民的健康与安全，根据 GB J 8-74，《放射防护规定》，参照国际辐射防护有关标准，并结合国内加速器的辐射防护状况，特制定本规定。	已在本次修订标准的“前言”和“1 适用范围”中进行重新描述。并修改了标准的适用范围，具体在本编制说明“3 适用范围”中已做出解释，本节不再重复说明。
1.2 本规定适用于加速粒子的单核能量低于 100MeV 的粒子加速器（不包括医疗用	

<p>加速器和象密封型中子管之类的可移动加速器) 设施。</p>	
<p>1.3 凡有粒子加速器的单位，必须根据本规定的要求，结合本单位加速器的特点，制定出实施细则。</p>	<p>保留该条规定，根据现行的法律、法规以及规章制度的规定，将原标准中要求的“制定实施细则”，修改为“4.1 应当根据国家有关法律、法规的规定建立健全辐射安全与防护管理体系，制定辐射安全与防护大纲，落实岗位职责和操作规程等管理制度。”</p>
<p>1.4 在加速器辐射防护工作中，应当在降低剂量所获得的效益和为此而付出的代价之间进行权衡，使该设施运行中产生的集体剂量当量保持在可以合理做到的尽可能低的水平，并保证个人所接受的剂量当量不得超过剂量当量限值。</p>	<p>保留该条规定，同时根据辐射防护三原则的要求，将该条修改为“4.2 粒子加速器使用单位在规划、设计、建设粒子加速器设施和使用粒子加速器的过程中，应遵循实践的正当性、防护最优化和剂量限值的原则，确保辐射工作人员和公众受照剂量处于安全合理的水平”。</p>
<p>1.5 新建、扩建和改建加速器设施的单位，必须编写该设施对环境质量影响的评价报告，报请当地环境保护部门批准，否则不得设计和（或）施工。与此同时，还必须向当地公安部门登记。</p>	<p>未保留该条规定。对于粒子加速器环境影响评价的要求，在我国现行的《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2020年）、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021年）等法规条令中已有明确规定，本次修订不再对其进行说明。</p>
<p>1.6 要关心在加速器上工作的人员的身体健康，加强健康管理。这类人员应当享受劳动保护部门和其他部门规定的劳保待遇。</p>	<p>原标准这条规定属于职业健康的范畴，本次修订未保留该条规定。</p>
<p>1.7 本规定由当地辐射防护主管部门监督执行。</p>	<p>本次修订未保留该条规定。</p>
<p>2.1 职业放射性工作人员全身受到均匀照射的剂量当量或全身受到不均匀照射的有效剂量当量，均不得超过每年 50mSv（5rem）；公众中的个人，均不得超过每年 5mSv（0.5rem）。</p>	<p>原标准中 2.1~2.6 条的规定基本来自 ICRP 26 号出版物（1977 年）和《放射卫生防护基本标准》（GB4792-84）。最新的 ICRP 103 号出版物（2007 年），已经删除了这些内容。且《放射卫生防护基本标注》（GB4792-84）已经被 GB18871-2002 取代 因此，本次修订将 2.1~2.7 节的内容，统一修改为“4.6 职业照射和公众照射的年剂量限值应符合 GB18871-2002 中剂量限值的相关规定”。</p>
<p>2.2 职业放射性工作人员眼晶体的剂量当量不得超过每年 50mSv（5rem），其他组织或器官的剂量当量均不得超过每年 500mSv（50rem）；公众中的个人，任何器官或组织的剂量当量均不得超过每年 50mSv（5rem）。</p>	
<p>2.3 在只受到外照射的情况下，深部剂量当量指数应低于每年 50mSv 5rem）。</p>	

<p>2.4 在只受到内照射的情况下，每年摄人的放射性物质数量应低于附录 C（补充件）所列 ALI。</p>	
<p>2.5 在受到内外合并照射的情况，为保证不超过年剂量当量限值，必须同时满足下列两个公式：</p>	
<p>2.6 必要时经辐射安全机构批准，可允许职业放射性工作人员接受超过年剂量当量限值的照射。但 1 次事件接受的剂量当量或剂量负担，不得超过年限值 2 倍；一生中这种照射总共接受的剂量当量或剂量当量负担，不得大于年限值的 5 倍。 具有生育能力的妇女和未满 18 周岁者，不得接受这种照射。</p>	
<p>2.7 从事放射性工作的孕妇、授乳妇以及年龄在 16-18 周岁的实习人员。应在 1 年的照射不超过年剂量当量限值 3/10 的条件工作，并要求剂量当量率比较均匀。未满 16 周岁者，禁止从事放射性工作。</p>	
<p>2.8 从事加速器工作的全体放射性工作人员，年人均剂量当量应低于 5mSv（0.5rem）。</p>	<p>将原标准中 2.8 和 2.10 节内容合并并且修改为本标准“4.7 职业照射和公众照射剂量约束值应符合以下要求：</p>
<p>2.10 加速器产生的杂散辐射、放射性气体和放射性废水等，对关键居民组中的个人造成的有效剂量应低于每年 0.1 mSv（10mrem）。</p>	<p>1) 一般情况下，职业照射约束值不超过 5mSv/a；对于高能、强流（一般指束流功率大于等于 100kW 且能量高于 100MeV）质子重离子加速器，检修维护人员的剂量约束值可适当放宽，一般不超过 10mSv/a。 2) 一般情况下，公众照射约束值不超过 0.1mSv/a；对于高能、强流（一般指束流功率大于等于 100kW 且能量高于 100MeV）粒子加速器，公众照射剂量约束值可适当放宽，一般不超过 0.25mSv/a。 相对原标准对剂量约束值的规定，主要有以下变化： 1. 考虑到高能强流质子重离子加速器的感生放射性较为严重，其结构部件感生放射性可能导致其检修维护人员在工作期间受照剂量较高，而运行期间排放的感生放射性气体量也相对较高，因此针对这类加速器，将职业照射和公众照射剂量约束值分别放宽至 10mSv/a 和</p>

	<p>0.25mSv/a。</p> <p>2. 同时通过对现有高能质子重离子加速器（如中国散裂中子源、质子重离子治疗系统）空气活化的评估发现，其空气活化较为严重，在距离排风口较近、楼层较高处的居民点处由于空气活化所致受照剂量在扩散的高斯分布中心线处已经接近 0.1mSv。而且对于建在医院内的质子重离子治疗系统，其周围建筑较为密集，且距离周围居民区也较近。适当放宽公众剂量约束值，有利于在可接受范围内，促进未来质子重离子加速器等先进加速器的建设和新技术的应用。</p>
2.9 放射性物质污染表面的水平应低于附录 D（补充件）所列数值。	保留该条规定，但将其修改为修订后“4.8 粒子加速器辐射工作场所的放射性表面污染控制水平按 GB18871-2002 中的要求执行。”
<p>本章节在本次修订时新增内容</p> <p>除在原标准该章节内容上进行补充修改外，本章节新增了对辐射安全系统设计原则、放射性废物管理以及辐射监测的总体要求的说明，具体如下：</p> <p>4.3 应根据纵深防御的原则，设置重叠的多层次的保护，使得即使有一种保护措施失效时，其安全功能也能得到补偿。同时确保辐射安全重要系统的物项具有适当的冗余性、多样性和独立性。</p> <p>4.4 粒子加速器使用单位应规范收集、妥善暂存和处理其活动期间产生的放射性废物，并遵循“放射性废物最小化”原则。</p> <p>4.5 应对粒子加速器辐射工作场所和周围环境进行定期的辐射监测和评估，证明采取的辐射安全与防护措施的有效性。</p>	

5.6.2 “5 粒子加速器设计中的辐射安全与防护”

本章节主要将原标准“3 辐射防护设施的设计原则”修改为本次修订后的“5 粒子加速器设计中的辐射安全与防护”，具体内容在修订前后的对比列于表 5-6。

表 5-6 修订前后标准中关于“设计中辐射安全与防护”章节内容的对比

原标准中的内容	本次修订后的内容
3.1 总的要求	5.1 总的要求
3.1.1 加速器设施的规划与设计阶段，必须对辐射防护设施的内容给予充分考虑，其	该两条规定基本保留，将辐射防护设施的描述修改为“辐射安全与防护设

<p>中包括屏蔽体、所需设备、实验室和人员编制等。</p>	
<p>3.1.3 加速器设施的设计阶段，应充分考虑到该加速器今后可能会加大束流，提高能量和扩大应用等，所以辐射防护设施应留有适当的余地。</p>	<p>施”，合并为“5.1.1 粒子加速器设施的规划与设计阶段，必须对辐射安全与防护设施给予充分考虑，并考虑未来规划中可能使用的新设备、更高能量、更高流强和更大的工作负荷，对其辐射安全与防护设施留有适当的余地。”</p>
<p>3.1.2 加速器的辐射防护设施，必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投产。</p>	<p>该条规定保留，将辐射防护设施的描述修改为“辐射安全与防护设施”。同时考虑到对于辐射安全与防护设施应将“投产”修改为“投入使用”较为合适。总体修改后为“5.1.2 粒子加速器的辐射安全与防护设施，必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用。”</p>
<p>3.1.4 加速器设施的设计，应有辐射防护工程师参加；施工阶段，辐射防护人员应对辐射防护设施的工程质量进行检查，以保证设计要求。</p>	<p>该条规定保留，在原来内容的基础上进行补充修改，修改后“5.1.2 粒子加速器设施的设计阶段，应有辐射防护相关专业的人员参加。施工阶段，应对辐射安全与防护设施的工程质量进行检查，确保其满足设计要求。”</p>
<p>本部分在本次修订时新增内容：</p> <p>5.1.4 粒子加速器辐射安全与防护设施的设计，应采用故障安全设计原则，安全设备或设备电源的任何故障能在无需任何触发动作的条件下自动切断加速器束流和其他产生辐射的设备。</p> <p>5.1.5 粒子加速器 辐射安全与防护设施设计，应充分考虑辐射事故应急的要求（如应急撤离通道、救援通道），任何利于辐射安全与防护的设计不得以牺牲应急需求为代价。</p>	
<p>3.2 辐射屏蔽</p>	<p>5.4 辐射屏蔽</p>
<p>3.2.1 加速器的屏蔽体厚度必须根据加速器粒子的种类、能量和束流强度以及靶材料等综合考虑；按其可能的最大辐射输出进行设计。</p>	<p>保留该条规定，在原来内容的基础上进行补充修改，修改后为“5.4.1 粒子加速器设施的辐射屏蔽设计应充分考虑粒子种类、能量、功率、靶材料、工作负荷、周围环境等因素，按可能最大的辐射源项进行设计。”</p>
<p>3.2.2 加速器的屏蔽体厚度必须根据相邻区域的类型及其人口数确定，使其群体的集体剂量当量保持在可以合理做到的尽可能低的水平。并须保证个人所接受的剂量当量不得超过相应的剂量当量限值。</p>	<p>部分保留该条规定，并在原有基础上进行补充。目前进行加速器屏蔽设计的主要标准为根据年剂量约束值、工作负荷等得出的屏蔽体外剂量率控制水平，未再考虑人口因素和集体剂量当量的控制。除此之外，对于设有储存环的粒子加速器，其在屏蔽设计时还需针对该类加速器的特，考虑“发生储存环全环束流集中丢束”异常工况下的防护。修改</p>

	<p>后为“5.4.4 屏蔽体外剂量控制应符合以下要求：</p> <p>a)粒子加速器设施屏蔽体外剂量率水平应确保各类人员的受照剂量满足 4.7 节的要求，可参照附录 A 中的方法确定。</p> <p>b)设有储存环的粒子加速器，储存环全环束流集中丢失在同一点的单次异常工况所致屏蔽体外累积剂量不超过 1mSv，全年发生该异常工况所致屏蔽体外累积剂量不超过 10mSv。”</p>
<p>3.2.3 在计算屏蔽度时，需给予 2 倍安全系数</p>	<p>删除该条规定，主要考虑以下原因：</p> <p>1. 目前计算辐射屏蔽厚度时，通常采用 Monte-Carlo 方法进行计算，其计算精度相比早期使用经验公示计算已经有很大提高；</p> <p>2. 在确定辐射源项时通常已经足够保守，束流损失值往往比实际束流损失大。且在设计建模计算阶段，出于保守考虑和简化建模等原因，通常认为束流直接打在束流管壁上，不考虑束流管周围的磁铁。而实际上束流通常是损失在磁铁等部件内部，磁铁本身也具有一定的自屏蔽效果。因此计算结果偏大（通常 10cm 厚的铁能够使高能中子衰减 1/2，可视为相当于 2 倍安全系数，通常加速器磁铁都能达到 10cm 的厚度）；</p> <p>3. 如在设计阶段考虑 2 倍安全系数，对于高能大型加速器来说，通常意味着要增加十几到几十厘米不等的混凝土屏蔽墙厚度。这将会增加建筑成本，造成可使用面积的缩减。而且通常情况下设计阶段计算所得的剂量率为距离屏蔽墙 30cm 处，除紧邻屏蔽墙体的控制室外，人员不会长时间居住在距离加速器屏蔽墙 30cm 处的区域。且距离屏蔽墙越远，剂量率越低。因此，对于粒子加速器工作人员而言，瞬发辐射不是导致其受照的主要来源，主要来源是检修期间的感生放射性。</p> <p>综合以上原因，在加速器辐射屏蔽设计时，可不再强调考虑 2 倍安全系数。</p>

<p>“辐射屏蔽”部分在本次修订时新增内容：</p> <p>除对原标准中辐射屏蔽部分内容进行修改补充外，基于国内外粒子加速器辐射安全与防护相关技术报告、法规标准中的规定，结合目前国内粒子加速器辐射屏蔽设计实际工作情况，本部分在修订时新增了对于在辐射屏蔽设计时应考虑的各种类型的瞬时辐射、感生放射性、束流损失源项以及对于管道穿墙时应考虑的因素，具体如下：</p> <p>5.4.2 辐射主体屏蔽设计时应充分考虑各种类型的瞬发辐射（直接贯穿辐射、天空反射、地面反射、侧向散射等）对周围邻近场所的影响。局部屏蔽设计时，还应考虑感生放射性的影响，对剂量约束值进行合理分配。</p> <p>5.4.3 束流源项的确定不仅要考虑正常运行工况，还要适当考虑异常工况（如调束和正常运行时全束团突然丢失、储存环全环束流突然丢失）。</p> <p>5.4.5 管道穿墙时（风管、电缆和水管）宜避开束流直接照射、墙外为全居留场所的屏蔽墙，不宜从人员可达区域穿墙。同时应采取不影响其屏蔽效果的方式，并根据计算结果进行屏蔽补偿。</p>	
<p>3.3 辐射安全系统</p>	<p>本次修订将“辐射安全系统”拆分为“5.5 辐射安全联锁系统”和“5.6 区域辐射监测系统”</p>
<p>3.3.1 决定加速器产生辐射的主要控制系统应该用开关钥匙控制。</p>	<p>保留该条规定，但考虑到随着技术发展，控制系统形式的多样性，修改为“钥匙或具有类似功能的装置”。同时出于操作的安全考虑，增加了对设施操作人员权限的规定以及对于其与加速器室门禁系统互锁的规定，修改后的具体内容如下：</p> <p>5.5.1 加速器主要控制系统应利用开关钥匙或具有类似功能的装置控制，并设置操作控制系统人员的权限，确保在非运行期间开关钥匙或装置处于受控状态。对于控制区范围较大、布局较复杂的粒子加速器，该开关钥匙或具有类似功能的装置同时与加速器室的门禁系统互锁。</p>
<p>3.3.2 加速器厅、靶厅的门均需安装联锁装置，只有门关闭后才能产生辐射。</p>	<p>保留该条规定，基于原内容进行了补充修改，考虑到可能存在有的小型自屏蔽加速器实际上未设实体屏蔽墙和门，其没有实际的控制区，自身设备外的场所（也可以理解为加速器室）基本为监督区，该区域也没有必要设置门机联锁，因此将门机联锁的安全位置规定修改为“粒子加速器控制区”，意在强调对于有实际控制区的粒子加速器，且必须是粒子加速器所在的控制区，非放射性废物暂存场所这些控制区。修改后的内容</p>

	<p>为：</p> <p>5.5.3 粒子加速器控制区出入口的门应设置门-机联锁，门未完全关闭时不能出束，出束状态下开门停止出束。</p>
<p>3.3.3 在加速器厅、靶厅内人员容易到达的地点，应安装紧急停机或紧急断束开关，并且这种开关应当醒目的标志。</p>	<p>保留该条规定，基于原内容进行补充修改，修改后为：</p> <p>5.5.5 加速器室、束流终端室内部墙壁及其各个出入口、控制室/台的显著位置，应设有足够数量的急停按钮。急停按钮周围应设有醒目标识及文字显示能确保上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。</p>
<p>3.3.4 在加速器厅、靶厅内人员容易看到的地方须安装闪光式或旋转式红色警告灯及音响警告装置；在通往辐射区的走廊，出入口和控制台上须安装工作状态指示灯。</p>	<p>保留该条规定，但考虑到目前声光警示实现形式的多样化，对其进行了修改，具体如下：</p> <p>5.5.7 加速器室、束流终端室内部和出入口应设有声光警示装置，宜采用不用颜色的光信号进行警示。加速器清场巡查期间，应同时发出声、光信号，提示人员离开。放射治疗室可只设置灯光警示装置。</p>

“辐射安全联锁系统”部分在本次修订时新增的内容：

除保留原标准中 3.3.1~3.3.4 关于安全联锁系统的规定外，根据国内外粒子加速器辐射安全与防护相关技术报告、法规标准中的规定，结果目前国内加速器辐射安全联锁系统的实际情况，本次修订新增了辐射安全联锁系统中涉及的门禁系统、紧急开门装置、清场巡检、视频监控以及联锁系统的旁路等内容：

5.5.2 加速器室、束流终端室的出入口应设有门禁系统（身份识别系统）以防止人员未经授权进入或误入。

5.5.4 加速器室、束流终端室内设紧急开门装置，可从区域内部无条件开门。

5.5.6 对于无法通过视频监控系统进行清场巡检的粒子加速器，应设置必须手动操作的清场巡检装置，设定清场巡检的响应时间和顺序，超出规定时间或顺序，需重新进行清场。对于设置分区清场的情况，各子区出入口应设联锁门，确保清场完成且联锁门关闭后清场方可生效。

5.5.7 加速器室、束流终端室内部和出入口应设有声光警示装置，宜采用不同颜色的光信号进行警示。加速器清场巡查期间，应同时发出声、光信号，提示人员离开。放射治疗室可只设置灯光警示装置。

5.5.8 加速器室、束流终端室内部应设有视频监控系统并在控制室内显示。

5.5.9 安全联锁系统一旦触发后，须人工就地复位触发联锁的位置并且通过控制台才能重新启动束流。

5.5.10 触发辐射安全联锁系统引起加速器停机时，必须自动切断束流和暗电流等辐射源。

5.5.11 没有特殊理由，不得旁路安全联锁系统。因工作需要旁路安全联锁系统时，应通过单位辐射安全管理机构的批准与见证，对时间、原因等内容进行记录，并在控制台上给出显示，工作完成后应及时进行联锁恢复及功能测试，测试正常后方可继续使用。

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

高辐射区和辐射区的说法已被控制区和监督区代替，将其内容修改为：

5.6.1 应在加速器室、束流终端室的合适位置设置固定式区域辐射监测仪，监测仪器显示单元可设置在控制室内或机房附近。

a) 设在加速器室和束流终端室内部的固定式区域辐射监测仪，应能真实反映上述区域内部辐射水平随加速器运行工况的变化；

b) 对于设置多束流终端室的情况，当束流终端室内居留因子较大时，应考虑相邻束流终端室的影响，在各束流终端室内设置固定式区域辐射监测仪，综合考虑辐射场分布和人员居留区域后确定监测仪器的位置；

c) 经前期评估或运行后监测确定感生放射性较严重的粒子加速器，应在加速器室设置固定式区域辐射监测仪，以便充分了解停机后加速器室内的辐射水

	<p>平。必要时可设置剂量联锁以实现人员延迟进入。</p> <p>5.6.2 应在高能粒子加速器（一般指能量高于 100MeV）屏蔽体外相邻场所内人员全居留区域、经评估或实际监测确定辐射水平接近由附录 A 确定的剂量率控制水平的场所安装区域辐射监测系统。当监测数据超过设定阈值时，发出报警信号。</p> <p>5.6.3 应对屏蔽体内、外的辐射场组成和分布进行评估，区域辐射监测仪器的能量响应、测量范围、响应时间等指标应与辐射场的特点相匹配。</p>
3.3.6 每台加速器必须根据其特点配备其他辐射监测装置，如个人剂量计，可携式监测仪。气体监测仪等。	对于其他监测装置的描述统一在本次修订后“8 辐射监测”章节进行描述。
3.3.7 辐射安全系统的部件质量要好，安装必须坚实可靠。系统的组件应耐辐射损伤。	本次修订删除该条规定。
3.4 通风系统	5.7 通风系统
3.4.1 为排放有毒气体（如臭氧）和气载放射性物质，加速器设施内必须设有通风装置。	<p>保留该条规定，但考虑到通常情况下由于建筑设计的需要，粒子加速器使用场所都设有通风系统，为了突出加速器使用场所通风系统对排放感生放射性气体或臭氧等有害气体的需求，将其修改为：</p> <p>5.7.1 粒子加速器使用场所内应设有满足辐射防护要求和臭氧、氮氧化物等有害气体排放的通风系统。</p>
3.4.2 通风系统的排风速率应根据可能产生的有害气体的数量和工作需要而定。通风系统的进气口应避免受到排出气体的污染。	<p>保留该条规定，根据本标准提出的导出空气浓度对其进行补充完善，修改后为：</p> <p>5.7.2 对于可能产生放射性气体的粒子加速器，应采取可信的方法对放射性气体浓度进行预测。对于预测结果超出附录 E 中的公众成员导出空气浓度限值 DACp 的情况，应在满足加速器运行和保持区域负压的前提下，尽可能通过增加排风口高度及其与周围公众的距离、降低放射性气体排放量（如降低运行期间的换气次数、延长排放前自行衰变时间）等措施，确保排出的放射性气体所致公众受照剂量低于其剂量约束值。</p>

	5.7.3 应合理布置粒子加速器使用场所进风口和排风口的位置，确保室内空气充分交换，室外进风口应避免受到排气的污染。
3.4.3 通风管道通过屏蔽体时，必须采取措施，保证不得明显地减弱屏蔽体的屏蔽效果。	该条并入修订后的“5.4 辐射屏蔽”章节的“5.4.5”进行描述。
<p>“通风系统”部分在本次修订时新增内容：</p> <p>根据对国内不同领域粒子加速器应用现状的调研，很多粒子加速器设施周围建筑的高度都高于其排风口的高度，且与排风口的距离较近（如院区内部建筑较密集的医院），因此排风口的位置需要考虑各种因素的影响，且需要关注与排风口等高处的人员的剂量。</p> <p>另外，对于科研领域使用的高能高功率的大型粒子加速器，一些束流损失较大的区域，如准直器或废束桶区，其空气活化较为严重。为降低运行期间放射性气体的排放量，应考虑将这些区域进行物理隔离和气密隔离，尽量使得放射性气体在隔离区域内自行衰变，降低加速器场所内放射性气体的浓度和排入环境的放射性气体的量。因此，本次修订时在原标准基础上补充以下内容：</p> <p>5.7.4 排风口的位置和高度应结合放射性气体排放量、周围建筑的高度、当地气象条件以及环境影响评价结论等综合考虑后确定。避免设置在门、窗和人流较大的过道等位置，且需要重点关注与排风口等高处的人员受照剂量。</p> <p>5.7.5 束流损失较大且可能引起空气活化程度较高的区域（如准直器、废束桶区），应考虑采用物理隔离密闭方式对设备进行局部包裹隔离，阻止隔离空间内的空气与外界自由对流。</p>	
<p>本章节在本次修订时新增内容</p> <p>本次修订除对原标准第3部分“3 辐射防护设施的设计原则”中“3.1 总的要求”、“3.2 辐射屏蔽”、“3.3 辐射安全系统”和“3.4 通风系统”进行补充修改外，还新增了“5.2 选址和布局”、“5.3 辐射工作场所分区”和“5.8 水冷系统”的内容，具体如下：</p>	
<p>5.2 选址和布局</p> <p>根据国内外粒子加速器辐射安全与防护相关技术报告、法规标准中的要求，结合国内应用现状，对粒子加速器设施的选址和布局提出如下规定：</p> <p>5.2.1 粒子加速器设施宜单独选址、集中建设，或建设在多层建筑物底层的一端。并考虑辐射防护的成本/代价及其对周围环境的影响，充分利用场址周边现有环境条件和设施，不得设在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。</p> <p>5.2.2 粒子加速器设施受束流直接照射的屏蔽体外相邻场所，不宜布置人员办公室、实验室和其他居留因子较高的功能用房。</p>	

5.3 辐射工作场所分区

主要根据 GB18871-2002 中对辐射工作场所的相关规定，提出了粒子加速器设施辐射工作场所分区的要求：

5.3.1 粒子加速器辐射工作场所按控制区和监督区划分。一般情况下，控制区主要包括加速器室、束流终端室和放射性废物暂存区域等。

5.3.2 与控制区相邻的、不需要采取专门的防护手段和安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域划定为监督区，通常指与加速器操作有关的、辐射工作人员经常活动的工作区域（公众成员只偶尔出入该区域，且需在辐射工作人员的监督下）。

5.3.3 在控制区的进出口和其他适当位置设立符合 GB18871 中规定的电离辐射警告标志和工作状态指示装置。

5.3.4 在监督区的入口处设置表明监督区的标识。

5.8 水冷系统

粒子加速器冷却水受到束流的照射会被活化，主要以短寿命核素 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 和长寿命核素 ^3H 和 ^7Be 为主。正常运行时冷却水封闭循环不排放，主要的环境影响途径是放射性核素随冷却水输运至屏蔽墙体外的其他区域时，对相关人员造成的外照射。根据前期对国内粒子加速器应用的调研，高能高功率加速器运行期间，其冷却水管外剂量率水平可达 $100\mu\text{Sv/h}$ 以上。因此，在水冷系统设计阶段应将这些因素考虑在内。

此外，粒子加速器循环冷却水系统中的冷却水受到辐照而分解，会产生 H_2 、 O_2 、 H_2O_2 和 H 、 OH 等各种自由基，其产生量与束流在水中的能量沉积成正比，并随冷却水循环和这些产物的扩散而分布到整循环冷却水系统。当密闭的冷却水中积累的 H_2 量达到其爆炸下限时，存在爆炸风险。

综合考虑上述原因，参照 IAEA 188 号技术报中对于粒子加速器水冷系统设计中辐射防护的要求和建议，本次修订时对加速器水冷系统提出以下规定和建议：

5.8.1 应考虑可能会产生冷却水感生放射性的粒子加速器循环冷却水系统中位于屏蔽体外的水管、热交换器等对人员的外照射，对冷却水管和其他部件进行合理布局或附加屏蔽体，必要时应将其所在区域作为控制区管理。

5.8.2 封闭的水环境受到加速器较强的辐射场照射时，存在辐射分解产生氢气累积并爆炸的可能性。应按照附录 B 中的方法对其束流损失较大区域（如高功率靶、废束桶）水环境中氢气的产生量进行评估。经评估后若存在爆炸风险，需考虑采用储存、吹扫稀释或催化稀释的方式，定期排放析出的氢气。

5.8.3 应对氢气排放过程中，冷却水中随通风系统排入环境的气态放射性核素进行分析（如冷却水中主要的感生放射性核素和可能由于重靶活化后溶解到冷却水中的感生放射性核素），并对其活度浓度、排放量及其所致公众剂量进行评估。

5.6.3 “6 粒子加速器运行中的辐射安全与防护”

本章节将原标准“4 运行中的辐射安全”修改为本次修订后的“6 粒子加速器操作中的辐射安全与防护”，章节具体内容在修订前后的对比列于表 5-7。

表 5-7 修订前后标准中关于“运行中的辐射安全预防防护”章节内容的对比

原标准中的内容	本次修订后的内容
<p>4.1 辐射防护设施的验收</p>	<p>本次修订未对该章节再细分小节。</p>
<p>4.1.1 加速器设施竣工后，应对辐射防护设施进行验收，其中包括：辐射屏蔽；联锁和警告系统；辐射监测系统；通风系统；供辐射防护用的实验室或设施。这些项目符合设计要求并经当地辐射防护主管部门发给许可证后，加速器方可正式投入运行。</p>	<p>保留该条内容的前半部分。关于辐射安全许可证的要求，生态环境部的现行的法规条令里都有明确要求，且这些要求并非粒子加速器应用活动所特有的。因此本次标准修订不再对这部分内容做出明确规定。修改在本标准“8 辐射监测”的“8.2.1 工作场所辐射剂量率监测”中描述，具体如下： 8.2.1.1 粒子加速器设施安装调试阶段和竣工后，都应基于最大运行工况下屏蔽体外辐射剂量率水平的监测数据对辐射屏蔽设计和施工效果进行评价，确定符合设计要求后方可投入运行。若监测结果超出由附录 A 确定的剂量率控制水平，应查明原因并及时采取增加局部屏蔽、限制束流参数等措施以确保屏蔽体外剂量率满足设计要求。</p>
<p>4.2 运行程序</p>	<p>——</p>
<p>4.2.1 凡加速器的运行人员，工作前必须接受辐射防护基本知识的训练，掌握本机器辐射安全系统（包括辐射测量仪表）的使用方法，并经考核合格后才能转为正式运行人员。</p>	<p>现行的法规条令里对于工作人员的辐射安全与防护培训和考核都有明确规定，本次修订未保留该条内容。</p>
<p>4.2.2 应当在下列条件同时满足时才能开机： a. 加速粒子的种类、加速电压与预定值一致； b. 控制台上的数字显示装置能正常工作； c. 联锁和警告系统能正常工作； d. 加速器厅、靶厅不得有人； e. 加速器厅、靶厅的所有防护门都已关闭。</p>	<p>保留该条内容并进行修改，修改后如下： 6.1 应当在下列条件同时满足时才能开机出束： a) 加速粒子的种类、能量、流强与许可范围一致； b) 控制台上的数字显示装置能正常工作； c) 联锁和警告系统能正常工作； d) 加速器室、束流终端室内除接受放射治疗的患者外不得有人； e) 加速器室、束流终端室所有出入口的门都已关闭； f) 辐射安全联锁系统和剂量监测系统均处于正常工作状态。</p>

<p>4.2.3 加速器运行期间，值班运行员必须保管好开关钥匙；加速器非运行期间必须锁好。</p>	<p>该条在修订版“5.5 人身安全联锁系统”中“5.5.1 条”对于开关钥匙的规定合并描述，具体见 5.5.1。</p>
<p>4.2.4 加速器的开机和停机必须用控制台上的控制开关操作，除紧急情况外，不得用切断联锁的办法停机。</p>	<p>保留该规定，具体如下： 6.2 加速器的开机和停机必须在控制室/台上利用控制开关操作，除紧急情况外，不得用切断联锁的方式切断束流。</p>
<p>4.2.5 用切断联锁或紧急开关的办法停机时，切断部位必须经人上复位后，方能在控制台上用主控开关重新启动加速器。</p>	<p>该条在修订版“5.5 人身安全联锁系统”中“5.5.9 条”进行描述，具体如下： 5.5.9 安全联锁系统一旦触发后，须人工就地复位触发联锁的位置并且通过控制台才能重新启动束流。</p>
<p>4.2.6 没有特殊理由，不得旁路联锁系统。因工作需要旁路联锁系统时，必须做到： a. 经值班人员和辐射安全员的批准； b. 在控制台上给出显示、并在运行日志中登记； c. 尽快复位； d. 采取其他安全措施。</p>	<p>该条规定在修订版“5.5 人身安全联锁系统”中“5.5.11”进行描述，具体如下： 5.5.11 没有特殊理由，不得旁路安全联锁系统。因工作需要旁路安全联锁系统时，应通过单位辐射安全管理机构的批准与见证，对时间、原因等内容进行记录，并在控制台上给出显示，工作完成后应及时进行联锁恢复及功能测试，测试正常后方可继续使用。</p>
<p>4.3 放射性材料的操作和保管</p>	<p>——</p>
<p>4.3.1 操作放射性材料（如换靶、处理活化部件以及加工和焊接放射性材料等）时，须在指定的场所进行，应严格遵守操作程序，并做好相应的辐射监测，必要时须采取一定的个人防护措施和通风措施。</p>	<p>保留该条，但根据实际情况进一步修改。考虑到除中子发生器操作时涉及的氚外（在 6.6 节单独列出），加速器操作的放射性材料主要是活化结构部件，因此本次修订统称为活化结构部件。删除了“须在指定的场所进行”的要求。另外，操作活化结构部件时，如剥离膜这类的较薄的部件易碎，容易造成人员沾污，因此针对这类操作补充提出了防护规定，具体如下： 6.3 操作活化结构部件时，应严格遵守操作程序，并做好相应的辐射监测，必要时须采取一定的个人防护措施和通风措施。对操作过程中可能产生的碎屑等，应及时收集并对工作区域进行去污。 6.4 操作活化结构部件结束后，应对工作人员的体表和衣服、工具以及工作地面等进行表面污染监测。</p>

	<p>6.65 处理薄靶、剥离膜等活化材料的薄样品时应采用一定的防护措施（如佩戴手套、口罩或在通风柜内操作），必要时，需对操作人员可能接触污染部位的皮肤剂量进行评估。</p>
<p>4.3.2 放射性材料必须存放在指定的场所或专用容器内，并需有适当的屏蔽和辐射危险标志。放射性材料必须由专人负责登记和保管。</p>	<p>本次修订将该小节在修订版“7 放射性固体废物管理要求”中进行描述，具体如下：</p> <p>7.2.3 放射性固体废物的暂存容器、区域和场所应按规定设置电离辐射警告标志，并采取视频监控等防丢失、防盗措施。冷却水系统产生的废离子树脂的暂存，还应满足《危险废物贮存污染控制标准》中的相关要求。</p> <p>7.2.4 建立放射性固体废物台账，存放和处置前进行监测，记录废物名称、质量、辐射类别、监测设备、监测结果（表面剂量当量率）、监测日期、去向等相关信息。</p>
<p>4.3.3 氚靶须存入专用容器内，该容器应放在具有良好通风的通风柜中，废真空泵油须存入专门容器内，并严防泄漏，贮存处应有良好通风。这些物质如若废弃不用，应做为放射性废物处理。</p>	<p>保留该条规定，同时在本次修订版中，根据《辐射防护手册 第三分册》中的相关内容，对于中子发生器操作氚期间的辐射防护进行了补充，具体如下：</p> <p>6.76 中子发生器使用期间，应重点关注氚的防护：</p> <p>a) 应使用工具操作氚靶，活度较高的氚靶应在通风柜或者手套箱内操作；</p> <p>b) 氚靶必须存入专用干燥器，并放在具有良好通风的通风柜中。避免将多块未使用的新靶存放在同一容器内；</p> <p>c) 废真空泵油须存入专门容器内，并防止泄漏，贮存处应有良好的通风。废弃后应作为放射性废物处理；</p> <p>d) 检修真空泵时，应有合适的工具和工作地面，采取相应的个人防护措施和通风措施，避免真空泵油的泄漏；</p> <p>e) 换靶或检修期间打开真空系统时应注意避免氚进入空气；</p> <p>f) 真空系统构件检修期间，应有良好的通风，拆除的部件应存放在塑料袋中，检修人员应使用工具操作并穿戴防氚渗透的手套。</p> <p>g) 使用含氚量较高的氚靶时，前级泵的排风口应安装氚处理净化系统，且应设</p>

	计在建筑物外。
4.4 检修	——
4.4.1 加速器检修前、须由辐射安全员进行辐射测量，并根据具体情况提出检修中应采取的辐射防护措施，按安全规定进行检修。	保留该条规定，但结合实际情况进一步分析，参照美国 LANL 对于 800MeV 直线加速器 LANSCE 提出的维修管理限值：剩余剂量率小于 100 $\mu\text{Sv/h}$ 时，手动维修不受限制，总剂量限值 <20 mSv/a ；100 $\mu\text{Sv/h}$ ~1 mSv/h 时，手动维修需控制时间；1~100 mSv/h 时，严格控制手动维修的时间，并且是非常有限的维修时间；大于 100 mSv/h 时，必须进行远程维修。结合国内主要几家粒子加速器使用单位（高能所、近物所、高研院）自己制定的维修工作管理限值，在本次修订时提出了检修工作条件和具体工作类别，并作为附录给出（附录 C），具体规定如下： 6.11 维修人员进入加速器室等辐射水平较高的区域前，应先进行工作场所辐射监测，并根据监测结果结合工作人员个人剂量测量值制定工作计划、提出辐射防护措施，由单位辐射安全管理机构批准后方可进入工作。工作人员单次维修期间受照剂量不超过 1 mSv ，每季度受照剂量不超过年剂量约束值的 1/4。维修工作条件和具体类别见附录 C。
4.4.2 检修加速器的真空泵时，必须有合适的工作地面，采取相应的个人防护措施和通风措施，严格控制污染及其蔓延。	原标准中该条规定主要是这对中子发生器真空泵，因此将该条统一并入修订后“6.6 节”进行描述。
4.4.3 检修后，应对参加检修的人员的体表和衣服，检修工具以及地面等进行表面污染监测。	保留该条规定，本次修订版修改为“6.4 操作活化结构部件结束后，应对工作人员的体表和衣服、工具以及工作地面等进行表面污染监测。”
4.5 通风	——
4.5.1 加速器停机后，在人员进入有气载放射性的区域前，应先对该区域进行适当通风，使其浓度低于附录 C 所列导出空气浓度。但在符合内外照射低于年有效剂量当量限值的原则下，可容许 1 次或多次吸入空气中的放射性物质的浓度超过附录 C 所列的导出空气浓度。	标准中给出的导出空气浓度是基于职业照射 50 mSv 的年剂量限值推导而得，考虑到职业照射年剂量限值已修改为 20 mSv ，本次修订对导出空气浓度进行了重新计算，主要参照美国国家能源局标准《Derived concentration technical standard》（DOE-STD-1196-2011）中的方法，基于职业照射和公众照射限值，考虑空气吸入和空气浸没两种途径，分

	<p>别计算了工作人员导出空气浓度 DAC_w 和公众导出空气浓度限值 DAC_p，具体计算方法和计算结果列于附录 E。</p> <p>将该条规定在修订后标准“7.4 气态废物管理要求”中进行描述，删除后半部分内容“但在符合内外照射低于年有效剂量当量限值的原則下，可容许 1 次或多次吸入空气中的放射性物质的浓度超过附录 C 所列的导出空气浓度。”具体如下：</p> <p>7.4 气态废物管理要求 加速器停机后，应加强通风换气，采取一定措施使人员延时进入加速器控制区，降低感生放射性气体、臭氧和氮氧化物等有害气体的浓度。并确保人员进入前，区域内放射性气体浓度低于附录 E 工作人员导出空气浓度 DAC_w。</p>
<p>4.6 应急程序</p>	<p>——</p>
<p>4.6.1 根据加速器的实际情况，应制定出处理可能发生的重大事故（或失误）时所需的应急程序，包括人员的撤离，个人剂量的确定，医学追踪，环境评价等。</p>	<p>保留该条规定，并根据我国现行的法规条令里对于辐射事故应急的要求进行修改：</p> <p>6.12 粒子加速器使用单位应根据可能发生的辐射事故的风险，编制相应的辐射事故应急预案，配备必要的应急设备（如辐射监测仪器、人员防护用品、应急照明和电源等），并定期组织进行应急演练。</p>
<p>4.7 可靠性检验</p>	<p>——</p>
<p>4.7.1 必须对辐射安全系统进行定期检查或维修，时间间隔不得超过 6 个月，并应做好检查记录。</p>	<p>保留该条规定，并根据国外相关技术报告中的要求，结合国内实际工作情况，对其进行补充修改，具体如下：</p> <p>6.7 应对安全联锁系统进行定期检查或测试。对于周期性运行的粒子加速器设施，在每个运行周期的开始，都应对整个系统进行全面测试；对于连续运行的粒子加速器设施，时间间隔不得超过 6 个月。此外，对于安全联锁系统整体运行的测试至少每月进行一次。对急停按钮、断束装置、关键设备联锁信号等进行全检，双人检查，做好并保存检查记录。</p>

本章节在本次修订时新增内容：

6.8 任何人员未经授权或允许不得进入控制区。工作人员需在确认加速器室、束流终端室的束流已经终止的情况下方可进入其内部，且需携带个人剂量报警仪。

6.9 应加强对在粒子加速器辐射工作场所工作的短期或流动工作人员的管理，确保其通过辐射安全与防护相关培训并考核合格后方可开展工作。采取一定措施限定其活动范围并按规定为其配备个人剂量计，由专人或专门的机构进行发放、回收和记录。

6.10 控制区范围较大、布局较复杂的大型粒子加速器在调试期间：

a) 调束开始前应确认辐射安全与防护设施功能正常。对于分区调试的情况，还应确认待调束区下游区域的束流阻挡设备（如束流闸）落下或二级磁铁未通电，防止束流意外引出；

b) 调试前期尽量使用单束团、小流强，待束流物理参数达到预期后再逐步增大流强直至达到预定值。应根据辐射水平监测结果对束流丢失的下游屏蔽体外工作场所的人员采取一定的临时隔离或疏散措施；

c) 应采取相关技术手段对加速器能量由低到高、功率由小到大过程中的束流损失特征和辐射水平进行跟踪监测，为后续优化辐射防护措施和辐射安全管理提供参考和依据；

d) 若发生全束团丢失的情况，应立即切断束流。经束流诊断排查故障后再重新调束。应确保单次全束团随机丢失工况所致屏蔽体外累积剂量不超过 1mSv，全年调束该工况所致屏蔽体外累积剂量不超过 10mSv；

e) 应设置束流损失监测系统，确保在设计束流损失参数范围内调束，并在束流参数超出设计范围时，能快速响应自动切断束流；若因工作需要，使用的束流参数超出设计范围，需制定详细的辐射防护方案，报生态环境监管部门批准后方可进行，并做好记录；

f) 若需要进入控制区内部工作，应由辐射防护人员对区域辐射水平进行监测，重点关注束流损失较大位置处的辐射水平，必要时应采取一定的局部屏蔽措施降低人员受照剂量；

g) 对于分段建设分段调试的粒子加速器，每阶段调试前都应取得生态环境监管部门的辐射安全许可，同时确保辐射安全与防护设施验收合格后方可开展调试工作。

5.6.4 “7 放射性废物管理”

本章节主要将原标准“7 环境保护和三废治理”修改为本次修订后的“7 放射性废物管理”，章节具体内容在修订前后的对比列于表 5-8。

表 5-8 修订前后标准中关于“放射性废物管理”章节内容的对比

原标准中的内容	本次修订后的内容
原标准未再细分小节	本次修订后分为“放射性固体废物管理要求”、“放射性废液管理要求”和“气态废物管理要求”
7.1 凡有加速器的单位，应做好环境保护	保留该条规定，在本次修订版“4 一般要

<p>工作，力求减少放射性“三废”的产生量，并尽可能少地向环境排放放射性物质。</p>	<p>求”的“4.4节”进行描述，具体如下： 4.4 粒子加速器使用单位应规范收集、妥善暂存和处理其活动期间产生的放射性废物，并遵循“放射性废物最小化”原则。</p>
<p>7.2 有加速器的单位，要根据放射性“三废”产生的情况，建立相应的放射性废水，废物的储存场所或处理设施。</p>	<p>保留该规定，但基于原有内容进行修改，按照放射性固体废物和放射性废液分别进行描述。具体如下： 7.2.1 不再利用的加速器束流损失区域及其周围的结构部件，应作为放射性固体废物处理。拆除后暂存在加速器控制区或单独的固体废物暂存间内，并根据其表面剂量率水平设置适当的屏蔽容器。 7.3.1 循环冷却水系统在事故或检修期间排出的冷却水应按照放射性废液管理要求妥善收集贮存，暂存衰变至满足附录 E 中的解控要求后作为普通废液处理，并做好存档记录。</p>
<p>7.3 放射性废物要按其半衰期长短及可否焚烧进行分类处理。焚烧放射性废物（如废真空泵油）时应有专门的焚烧炉。</p>	<p>根据前期调研，目前未采用焚烧的方法处理放射性废物，本次修订未保留该条规定。</p>
<p>7.4 必须严格控制加速器设施内放射性废水（主要指活化的冷却水）的排放。排放前，必须采取放置衰变措施和净化过滤措施，并须进行辐射监测。</p>	<p>保留该条规定，并基于原有内容进行修改，具体见修订后标准“7.3.1”的描述。</p>
<p>7.5 使用含氚量较高的氚靶或产生气载放射性水平较高的加速器，前级泵的排出口或通风系统应采取净化过滤措施。</p>	<p>保留该条规定，该条规定主要针对中子发生器，因此并入 6.6 节描述。</p>
<p>7.6 加速器设施对环境的危害情况，每年应做 1 次调查或评价，特殊情况下应及时进行环境监测和评价。</p>	<p>保留该条规定，并基于原有内容进行修改，在修订版“8 辐射监测”章节进行描述，具体如下： 8.3.1 应由有资质的监测机构对粒子加速器设施周围环境的辐射水平进行监测，监测频次应不少于 1 次/年。</p>

本章节本次修订时新增内容：

本次修订除在本章节原有内容基础上进行补充修改外，还基于国外相关技术报告和国内现行的规范标准中对于放射性固体废物管理的要求，以及前期对国内粒子加速器使用单位对放射性固体废物的管理现状的调研，补充了对于粒子加速器放射性废物的管理要求。

7.1 放射性废物管理的规定主要针对能够产生感生放射性的粒子加速器。

7.2 放射性固体废物管理要求

7.2.2 对于暂存在加速器控制区内的放射性固体废物，应在控制区内划定专门的区域，并采取适当的实体屏障进行物理隔离。

7.2.3 放射性固体废物的暂存容器、区域和场所应按规定设置电离辐射警告标志，并采取视频监控等防丢失、防盗措施。冷却水系统产生的废离子树脂的暂存，还应满足《危险废物贮存污染控制标准》中的相关要求。

7.2.4 建立放射性固体废物台账，存放和处置前进行监测，记录废物名称、质量、辐射类别、监测设备、监测结果（表面剂量当量率）、监测日期、去向等相关信息。

7.2.5 放射性固体废物的转运，应执行严格的审批制度，并根据其辐射水平采取适当的屏蔽措施，以降低人员受照剂量。对于高辐射水平的放射性固体废物，尽量采用远程操作系统操作。

7.2.6 不能满足解控要求的放射性固体废物最终送交有资质单位收贮，能够满足解控要求的可作为一般固体废物处理。

7.3 放射性废液管理要求

7.3.1 循环冷却水系统在事故或检修期间排出的冷却水应按照放射性废液管理要求妥善收集贮存，暂存衰变至满足附录 E 中的解控要求后作为普通废液处理，并做好存档记录。

7.3.2 应在投入运行后三年内对粒子加速器控制区空调系统的冷凝水进行监测，并根据监测结果确定其类别和处理方式。若前期监测结果满足解控要求，在确保加速器运行参数不提升的前提下，可将其作为普通废液处理。

7.4 放射性气态废物管理要求

加速器停机后，应加强通风换气，降低加速器控制区内放射性气体的浓度。采取一定措施使人员延时进入加速器控制区，并确保人员进入前，区域内放射性气体浓度低于附录 E 工作人员的导出空气浓度 DAC_w 。

5.6.5 “8 辐射监测”

本章节将原标准“5 辐射监测”修改为本次修订后的“8 辐射监测”，章节具体内容在修订前后的对比列于表 5-9。

表 5-9 修订前后标准中关于“辐射监测”章节内容的对比

原标准中的内容	本次修订后的内容
5.1 辐射监测的内容和要求	——
5.1.1 个人剂量监测	8.4 个人剂量监测

<p>5.1.1.1 对加速器的运行人员、检修人员及实验人员须进行外照射个人剂量监测。</p>	<p>保留该两条规定，但基于原有内容进一步补充修改，并补充了对个人剂量档案保存的相关固定，具体如下：</p>
<p>5.1.1.2 如确知或者怀疑人员吸入或摄入了放射性核素时，应进行内照射监测，如取尿样分析或用全身计数器进行测量等。</p>	<p>8.4.1 粒子加速器使用单位的辐射工作人员应佩戴个人剂量计，对个人外照射剂量进行监测。同时应根据射线类型选择合适的个人剂量计。因工作需要进入辐射工作场所的临时人员应纳入个人剂量监测范围。</p> <p>8.4.2 如确知或者怀疑人员吸入或摄入了放射性核素时，应进行内照射监测，如取尿样分析或用全身计数器进行测量等。</p> <p>8.4.3 个人剂量档案应妥善保存，监测数据异常时，应及时查明原因并报告生态环境主管部门。</p>
<p>5.1.2 区域监测</p>	<p>8.2 工作场所监测</p> <p>工作场所监测内容包括辐射剂量率监测、表面污染监测和气载放射性监测，因此，本次修订将原标准“5.1.2 区域监测”、“5.1.3 表面污染监测”和“5.1.4 气载放射性监测”合并为“8.2 工作场所监测”共同描述。</p>
<p>5.1.2.1 加速器设施竣工后的调试阶段和运行至最大的辐射发射率状态，必须在辐射防护人员的参加下，对有关区域进行全面的辐射水平测量，做出辐射安全状况的评价。</p>	<p>保留该条规定，并进一步补充完善，具体如下：</p> <p>8.2.1.1 粒子加速器设施安装调试阶段和竣工后，都应基于最大运行工况下屏蔽体外辐射剂量率水平的监测数据对辐射屏蔽设计和施工效果进行评价，确定符合设计要求后方可投入运行。若监测结果超出由附录 A 确定的剂量率控制水平，应查明原因并及时采取增加局部屏蔽、限制束流参数等措施以确保屏蔽体外剂量率满足设计要求。</p>
<p>5.1.2.2 如加速器运行参数、屏蔽状况或区域的居留情况发生了变化，有可能影响到辐射安全时，必须复测辐射场。必要时应采取的措施，保证在新条件下仍能满足辐射防护的要求。</p>	<p>保留该条规定，具体如下：</p> <p>8.2.1.2 如加速器运行参数、屏蔽条件或区域的居留情况发生变化，有可能影响辐射安全时，应重新进行工作场所监测。必要时应采取的措施，确保在新条件下辐射水平达标。</p>
<p>5.1.2.3 对工作场所经辐射测量后，应按辐射水平对其进行分类，特别对下列区域应采取相应的措施：a. 监督区：在这些区域内连续工作时，人员 1 年接受的</p>	<p>考虑到目前对于工作场所监督区和控制区的划分，主要依据 GB18871-2002 中的相关规定。因此，未保留该条规定。但参照该条内容对控制区的定义：人员 1 年接受</p>

<p>剂量当量有可能超过职业放射性工作人员年剂量当量限值的 1/10。对这样的区域应加强辐射监测；</p> <p>b. 控制区：在这些区域内连续工作时，人员 1 年接受的剂量当量有可能超过职业放射性工作人员年剂量当量限值的 3/10。对这些区域除应加强辐射监测外，还应在其人口处或边界上设置辐射危险标志。</p>	<p>的剂量当量有可能超过职业放射性工作人员年剂量当量限值的 3/10，对巡测过程中发现的辐射水平较高的区域进行了解释说明：常规巡测的 γ 辐射剂量率达到其剂量率控制水平的 3/10。并补充了对工作场所巡测的要求，具体如下：</p> <p>8.2.1.3 利用便携式辐射监测仪器进行工作场所巡测时，监测点位应涵盖加速器室、束流终端室等控制区四周屏蔽墙体外 30cm 处、屋顶、迷道口、防护门外、控制室以及其他人员常居留场所。对于辐射水平较高的区域（该区域常规巡测的 γ 辐射剂量率达到其剂量率控制水平的 3/10，中子剂量当量率高于本底），应适当增加巡测频次。</p>
<p>5.1.2.4 加速器运行期间，凡安装有遥控监测系统的区域应连续记录其辐射水平，当超过预定的阈值时，该系统应发出音响和（或）灯光警告信号。对其他区域应进行必要的辐射巡测。</p>	<p>保留该条规定，并入修订版“5.6 区域监测”中“5.6.2 节”进行描述。</p>
<p>5.1.2.5 加速器停机后，当人员进入加速器厅或靶厅时，应配合作好辐射监测。</p>	<p>保留该条规定，并入修订版“6 粒子加速器运行的辐射安全与防护”中“6.8”和“6.11”进行描述。</p>
<p>5.1.3 表面污染监测</p>	<p>8.2.2 表面污染监测</p>
<p>5.1.3.1 储存和使用氚靶（或含氚物质）的地方，以及可能存在氚表面污染的区域，必须定期进行表面污染的监测。</p>	<p>保留该条规定，具体如下：</p> <p>8.2.2.2 储存和使用氚靶（或含氚物质）的地方，以及可能存在氚表面污染的区域，必须定期进行表面污染的监测。</p>
<p>5.1.3.2 由于活化材料的剥落等原因可能引起表面污染的区域，应对其设备、墙壁和地面等的污染水平进行定期监测。</p>	<p>保留该条规定，具体如下：</p> <p>8.2.2.1 由于活化材料剥落、空气活化等原因可能引起表面污染的区域，应对其设备、墙壁和地面等的表面污染水平进行监测。</p>
<p>5.1.3.3 人员操作了放射性物质后，应对其体表、衣物进行表面污染监测。</p>	<p>保留该条规定，并入修订版“6 粒子加速器运行的辐射安全与防护”中“6.4 节”进行描述，具体如下：</p> <p>6.4 操作活化结构部件结束后，应对工作人员的体表和衣服、工具以及工作地面等进行表面污染监测。</p>
<p>5.1.3.4 当各类物体的表面污染水平超过了相应的限值时，应采取保护措施或及时去污，以防污染的蔓延。</p>	<p>保留该条规定，具体如下：</p> <p>8.2.2.3 当各类物体的表面污染水平超过了相应的限值时，应采取保护措施或及时去污，防止污染扩散。</p>

<p>5.1.4 气载放射性监测</p>	<p>8.2.3 气载放射性监测</p>
<p>5.1.4.1 应该连续监测或定期监测存在气载放射性物质的区域的气载放射性浓度。</p>	<p>为进一步对工作场所和排入环境的放射性气体的量进行约束和评估，本次标准修订时参照美国国家能源局标准《Derived concentration technical standard》（DOE-STD-1196-2011）中的方法，基于职业照射和公众照射限值，考虑空气吸入和空气浸没两种途径，分别计算了工作人员导出空气浓度 DAC_w 和公众导出空气浓度限值 DAC_p，具体计算方法和计算结果列于附录 E。</p> <p>保留该条规定，但提出了需要设置气载放射性监测的情景和工况，具体如下：</p> <p>8.2.3.1 对于气载放射性预测结果超出附录 E 中的公众成员导出空气浓度限值 DAC_p 的情况，应考虑设置空气实时监测系统对存在气载放射性区域的浓度和排风口的浓度进行监测，并根据预测结果或监测结果评估气载放射性对公众所致的受照剂量。</p>
<p>5.2 测量装置的选择</p>	<p>8.5 监测设备</p>
<p>5.2.1 加速器设施内应配备的辐射监测仪器或装置的种类和数量，主要取决于加速器的大小、复杂程度和用途等，但是对任何一台加速器必须给它产生的每种射线至少配备两台（类）测量仪器。</p>	<p>保留该条规定，但删除后半部分“对任何一台加速器必须给它产生的每种射线至少配备两台（类）测量仪器”的要求，具体如下：</p> <p>8.5.1 应根据粒子加速器类型、能量和使用方式等配备相应的辐射监测设备。</p>
<p>5.2.2 配备的辐射测量仪器必须具有下列功能： 对待测辐射有正确的响应； a. 对待测辐射有正确的响应； b. 仪器的测量下限低于 $2.5 \times 10^{-3} \text{ mSv} \cdot \text{h}^{-1}$ ($0.25 \text{ mrem} \cdot \text{h}^{-1}$)； c. 仪器有足够的测量上限，以便能指示出被监测区域的辐射水平。</p>	<p>保留该条规定，但基于原有内容进行了修改补充，具体如下：</p> <p>8.5.2 辐射监测仪器的选择，应基于辐射场组成、次级粒子的能谱分布等因素综合考虑，配备的辐射监测仪器必须具有以下功能： a. 对待测辐射有正确的响应； b. 仪器的测量下限不低于设定的控制水平的 1/2； c. 仪器有足够的测量上限，应不低于报警阈值的 10 倍； d. 脉冲辐射场剂量监测需要选择合适的测量仪器，充分考虑脉冲宽度和仪器死时间的关系。对于主动式测量仪器无法适用（可能导致测量结果严重偏低）的情况，应采用剂量片等被动式剂量测量方法。</p>
<p>5.3 辐射测量的记录</p>	<p>——</p>

<p>5.3.1 辐射测量应有记录，内容包括：</p> <ul style="list-style-type: none"> a. 测量的时间、地点和目的； b. 被加速粒子的种类、能量及束流强度； c. 靶的类型； d. 准直器和磁铁的位置； e. 使用的辐射探测仪； f. 结果和建议； g. 参加测量的人员。 	<p>保留该条规定，但对于内容进行了简化，具体如下：</p> <p>8.1.2 所有辐射监测记录应建档保存，测量记录应包括但不限于测量对象、条件、方法、仪器、时间和人员等信息。</p>
<p>5.4 仪器的刻度和检修</p>	<p>——</p>
<p>5.4.1 为合理使用仪器，必须熟知其性能和局限性，因此，对每台仪器，必须给出下列性能资料：</p> <ul style="list-style-type: none"> a. 仪器对待测辐射量的响应； b. 能量响应； c. 对其他类型辐射的甄别能力； d. 对湿度、温度和压力的响应； e. 方向响应。 	<p>未保留该条规定。</p> <p>选择监测设备时已考虑了这些性能要求，如修订后的“8.5.2 节”的描述，因此不再对其做出要求。</p>
<p>5.4.2 必须对辐射测量仪器进行定期刻度，时间间隔不得超过 1 年。每次检修后亦须进行刻度。</p>	<p>保留该条规定，并在原有内容的基础上进行补充修改，具体如下：</p> <p>8.5.3 所有的辐射监测仪器应在国家计量部门或其授权的校准机构检定/校准或自行检定/校准，时间间隔不得超过 1 年。维修后（主要指影响探测器响应类型的维修）后需重新检定/校准。</p>
<p>5.4.3 对于经常使用或连续使用的仪器，必须每天或每周对工作性能做 1 次检验。</p>	<p>删除该规定。原标准中规定“必须”每天或每周对工作性能做 1 次检验过于严格，且可执行性不强，且修订后“8.5.3”已对仪器的检定做出规定。</p>

本章节本次修订新增内容:

本次修订除在本章节原有内容基础上进行补充修改外, 还根据国内现行法规条令中对辐射监测的要求, 增加“8.1 监测管理”小节, 同时根据《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021) 对于辐射环境监测的要求以及对国内粒子加速器辐射环境监测现状的调研, 增加“8.3 环境监测”小节, 具体如下:

8.1 监测管理

8.1.1 粒子加速器使用单位应制定辐射监测计划, 并按照计划落实监测工作。不具备辐射监测能力的单位, 可以委托有资质的单位进行监测。

8.1.2 所有辐射监测记录应建档保存, 测量记录应包括但不限于测量对象、条件、方法、仪器、时间和人员等信息。

8.1.3 应定期对辐射监测结果进行评价, 监测中发现异常情况应及时查找原因并报告, 同时进行整改。

8.3 环境监测

8.3.1 应由有资质的监测机构对粒子加速器设施周围环境的辐射水平进行监测, 监测频次应不少于 1 次/年。

8.3.2 环境监测方案可随加速器运行的不同阶段而改变。投入运行后三年内应根据《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021) 中的相关要求开展监测, 若前期监测结果无异常, 在加速器运行参数不提升的前提下, 后期运行时可适当简化监测内容或降低监测频次。

8.3.3 固定式环境辐射监测仪的安装点位应根据粒子加速器产生的辐射场、天空反射特征, 并结合周围环境分布和居留因子等因素合理布置, 并将监测数据接入计算机管理系统。

5.6.6 “9 粒子加速器的退役”

该章节为本次修订新增章节, 基于对国内外加速器关于“便于退役的考虑”等设计情况的调研, 以及 IAEA Nuclear Energy Series No.NW-T-2.9 《Decommissioning of Particle Accelerator》的调研, 提出了对于粒子加速器退役的基本要求。

表 5-10

序号	内容
9.1	在粒子加速器设施设计、建造和运行阶段, 应考虑未来便于实施退役的要求, 优化粒子加速器的设计和运行: a) 应选择合适的材料, 尽可能降低其在粒子加速器运行期间的活化程度。材料同时应具备抗化学腐蚀性和耐磨性, 便于去污; b) 应考虑运维、去污、拆卸以及退役期间各类设备操作的空间需求, 设计易于进出粒子加速器区域的通道; c) 应提高束流传输效率, 减少不必要的束流损失。通过优化布局,

	<p>尽可能避免在束流损失较大的区域周围布置加速器结构部件和设备，以延长电子学设备的使用寿命，减少放射性废物的产生量；</p> <p>d)应充分考虑运行期间放射性废物的放射性水平和产生量，按照放射性水平、组成进行分类储存、严格管理。并设置合理、充足的废物储存场所和容器，为能够通过自行衰变达到解控水平的放射性废物预留足够的空间和时间。同时，放射性废物储存场所的设计还应能确保退役期间产生的可重复利用的放射性废物（如混凝土墙、建筑支撑结构等大型物料）在解控前能够长期、安全储存，实现废物最小化；</p> <p>e)加速器运行阶段，应认真做好工作场所和环境监测数据记录、保存，作为将来制定退役计划的依据；</p> <p>f)满足解控要求的放射性废物应及时实施解控，避免其与新产生的放射性水平较高的放射性废物混合存放，实现放射性废物最小化。</p>
9.2	粒子加速器退役前，应制定详细的退役方案和放射性废物处理方案，尽可能在确保所有放射性废物处理措施能够有效落实后，按照退役方案实施安全退役。
9.3	粒子加速器退役期间，应加强辐射防护和环境保护。整个退役过程中，都应进行环境监测，必要时可进行场外环境监测，以确保环境安全。

5.7 附录

本次修订对于原标准中附录的保留情况如表 5-11 所示，本次修订新增附录情况列于表 5-12，对于各个附录的解释详见第 6 章的描述，本章不再重复描述。

表 5-11 本次修订对于原标准中附录的保留情况

原标准附录部分	保留情况
附录 A 名词解释	名词解释中保留“靶”的定义并入修订版的“3 术语和定义”中进行描述，不再单独作为附录给出。
附录 B 剂量估算	剂量估算中的主要概念较为陈旧，新的辐射防护标准已进行更新。实际进行剂量估算时，未涉及和使用其所给出的方法和相关参数。本次修订时未保留该附录。
附录 C 一些放射性核素的年摄入量限值和导出空气浓度	新的 ICRP 建议书中指出“由于验证是否满足剂量限值，需要考虑的是外照射和摄入放射性核素所产生的总剂量，因此不再给出 ALI”。因此，本次修订也不再列出 ALI _{min} 。

	原标准中给出的导出空气浓度是基于职业照射 50mSv 的年剂量限值推导而得，考虑到职业照射年剂量限值已修改为 20mSv，本次修订参照美国国家能源局标准《Derived concentration technical standard》(DOE-STD-1196-2011) 中的方法，基于职业照射和公众照射限值，考虑空气吸入和空气浸没两种途径，分别计算了工作人员导出空气浓度 DAC _w 和公众导出空气浓度限值 DAC _p ，具体计算方法和计算结果列于本次修订版的附录 E。
附录 D 放射性污物表面污染的控制水平	GB18871-2002 中附录 B 表 B11 对于工作场所的放射性表面污染控制水平已有明确规定，本次修订也不再将其作为附录单独给出。
附录 E 有关非放射性危害的几个问题	附录 E 中给出的臭氧计算方法仅适用于电子加速器，且存在参数不明确，可用性不强。本次修订也不再保留该附录。
附录 F 加速器工作人员的健康标准	该部分为职业健康的要求，本次修订也不再保留该附录。

表 5-12 本次修订新增附录

序号	名称
1	附录 A 屏蔽体外剂量率控制水平
2	附录 B 冷却水系统产生 H ₂ 浓度的估算方法
3	附录 C 粒子加速器维修工作条件和工作类别
4	附录 D 放射性废液解控要求
5	附录 E 一些放射性核素的导出空气浓度

6 标准实施建议

6.1 管理措施建议

(1) 标准编制阶段，编制单位对征求意见阶段的各类意见和建议进行总结、研究和分析，在此基础上对标准征求意见稿进行补充、修改和完善。

(2) 标准正式颁布实施后，可在与粒子加速器生产、销售、使用等活动相关的单位中开展宣贯、培训和问卷调查，便于其准确掌握并应用本标准解决工

作中的实际问题，并及时反馈其在使用标准的过程中发现的问题、意见和建议，以便更好的对本标准进行补充完善。

(3) 标准正式颁布后，生态环境主管部门及相关技术支撑单位应严格按照本标准中的相关要求对粒子加速器的辐射安全与防护工作进行审批和监管。

6.2 技术措施建议

(1) 对于各类单位在使用本标准中提出的问题、意见和建议予以充分重视，可通过召开研讨会、专家咨询会或展开专题研究等多种方式进行研究、讨论，使本标准对指导相关单位工作、规范粒子加速器的辐射安全与防护具有实际意义。

(2) 在国家相关法规、法规及技术标准调整、修订以及粒子加速器的辐射安全与防护取得新的进展或研究成果时，应及时组织更新修订本标准。