

附件 3

《粒子加速器辐射安全与防护规定 (二次征求意见稿)》编制说明

《粒子加速器辐射安全与防护规定》编制组

2024 年 8 月

目 录

1	项目背景	1
1.1	任务来源	1
1.2	工作过程	1
2	标准修订必要性分析	2
2.1	国际辐射防护标准发展演变的必然要求	2
2.2	我国粒子加速器事业发展的迫切需求	4
3	国内外相关标准情况	6
3.1	国外相关标准	6
3.1.1	国际放射防护委员会 ICRP	6
3.1.2	国际原子能机构 IAEA	7
3.1.3	美国辐射防护委员会 NCRP	8
3.1.4	其他机构、组织	10
3.2	国内现行标准规范	11
4	标准修订的基本原则和技术路线	14
4.1	标准修订的基本原则	14
4.1.1	合法合规性	14
4.1.2	体系协调性	14
4.1.3	质量优先	14
4.1.4	分工协作	14
4.2	标准修订的技术路线	15
5	修订后标准主要技术内容和对比分析	15
5.1	标准名称	15
5.2	标准框架	16
5.3	适用范围	16
5.4	规范性引用文件	17
5.5	术语和定义	17

5.6	标准正文部分	19
5.6.1	“4 总体要求”	19
5.6.2	“5 辐射安全与防护设计要求”	21
5.6.3	“6 运行的辐射安全与防护要求”	27
5.6.4	“7 辐射监测”	30
5.6.5	“8 放射性废物管理”	34
5.6.6	“9 退役”	36
5.7	附录	36
6	标准实施建议	37
6.1	管理措施建议	37
6.2	技术措施建议	38

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》（GB5172-85）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，在对国内外粒子加速器应用及辐射安全与防护现状进行调研的基础上，根据现有法律法规中的相关要求并结合我国国情和辐射安全监管现状，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。

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，中国原子能科学研究院开展前期调研，对国内外粒子加速器辐射安全与防护相关标准规范进行研究，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，中国原子能科学研究院成立标准编制组，编制开题论证报告和标准草案。同时邀请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的相关人员作为外部专家，在标准修订期间进行技术指导。

（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

部讨论后，形成《粒子加速器辐射安全与防护规定》（GB5172-XX）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》（GB5172-XX）初稿内部评审会；

（6）2022年4月~6月，根据内审会专家意见，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）》（GB5172-XX），上报生态环境部辐射源安全监管司。

（7）2022年7月1日~7月31日，完成意见征求，共征集到14家单位的184条意见。

（8）2022年8月~2023年2月，根据征集到184条意见，标准编制组进行了多次讨论、修改，其中162条意见被采纳，22条意见未被采纳。

（9）2023年2月，形成《粒子加速器辐射安全与防护规定（一审送审稿）》（GB5172-XX），上报生态环境部辐射源安全监管司。

（10）2023年3月，组织召开国家核安全专家委员会进行第一次审议。

（11）2023年7月，根据核安全专家委员会专家意见修改、完善，形成《粒子加速器辐射安全与防护规定（二审送审稿）》（GB5172-XX）。

（12）2023年9月，组织召开国家核安全专家委员会进行二次审议。

（13）2024年8月，根据核安全专家委员会二次审议专家意见修改、完善，形成《粒子加速器辐射安全与防护规定》（GB5172-XX）。

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》（GB5172-85）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 号基本建议书，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、现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分类的放射防护体系。

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 2007 年第 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的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，无论是其关于基本剂量限值的规定还是采用的防护基本体系，均基于 1977 年发布的 ICRP 26 号出版物中的相关要求，已无法与国际辐射防护体系的新进展相适应。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，尽可能地吸收国际辐

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，粒子加速器在我国的科研、医疗、工业、农业、环保和国家安全等国民经济的各个领域也得到了广泛的应用和发展。

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”的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 等的生产并具备生产 ^{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我国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也成为了粒子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/重离子治疗系统近年来在国内的应用也日益广泛，截至 2022 年 8 月，我国已获得辐射安全许可证的质子重离子治疗单位已有 8 家，除已获许可的质子重离子治疗单位外，我国在建和筹建中的质子重离子治疗中心共 16 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、完善和成本的降低，未来将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 系统研发生产企业。公众安全方面，基于粒子加速器的探测技术广泛应用于高能 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 余个国家。农业应用方面，我国目前在粮食作物辐射诱变方面取得了显著成绩，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，粒子加速器可用于环境污染监测和三废处理，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目前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，都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即将面临退役。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，同时为主管部门更科学、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）主要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的放射防护出版相关标准。其在 2014 年发布的第 127 号出版物《Radiological Protection in Ion Beam Radiotherapy》中对于离子束治疗的放射防护做出了部分说明，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人员的职业照射水平主要取决于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、职业照射和医疗照射的辐射防护。 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 (Ionizing 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

《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生态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，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、人身安全联锁系统、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《国际原子能机构安全术语 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。

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：包括总体要求、辐射安全与防护设计要求、运行的辐射安全与防护要求、辐射监测、放射性废物管理、退役。
- (3) 附录部分：无附录。

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“适用于能量不低于 1MeV 的粒子加速器的辐射安全与防护，不适用像密封型中子管之类的可移动加速器”。

(1) 根据调研情况，目前国内应用的 X 射线机中，大部分医用 X 射线机的能量低于 500kV，X 射线衍射仪、X 射线荧光仪、X 射线检测装置（如料位计、测厚仪、密度仪等）的能量基本低于 300kV，大部分电子束焊机的能量低于 200kV，最高不超过 500kV。能量低于 1MeV 的粒子加速器在我国广泛应用于工业辐照领域，这类粒子加速器多数均设计自屏蔽体且其辐射安全与防护要求较为简单，因此本次修订后标准的适用范围将能量低于 1MeV 的粒子加速器排除。

(2) 中子发生器涉及氚的使用和防护，与普通粒子加速器的辐射安全与防护要求不尽相同，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，本次标准修订时中子发生器排除在外。

5.4 规范性引用文件

本标准共引用了 3 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。
GB14500	放射性废物管理规定	引用该标准中对核技术应用废物管理的规定。
GB8999	电离辐射监测质量保证通用要求	引用该标准中对辐射监测质量保证工作的要求

5.5 术语和定义

原《粒子加速器辐射防护规定》（GB5172-85）中采用的名词主要取自《核科学技术术语》（GB4960-85），该标准已被《核科学技术术语 辐射防护与辐射源安全》（GB/T 4960.5-1996）取代，本次修订后标准中的相关术语和定义主要依据《核科学技术术语 辐射防护与辐射源安全》（GB/T 4960.5-1996）和《国防科技名词大典 核能》给出，新增粒子加速器、粒子加速器设施、加速器室、束流终端室、靶、瞬发辐射、感生放射性、联锁系统和退役等 8 个关键术语和定义，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	particle accelerator	利用电场或电磁场将带电粒子加速至特定能量，且将带电粒子的运行限定在特定空间的装置	基于《国防科技名词大典 核能》P292 中对于粒子加速器的定义，结合 NCRP144 号报告、IAEA、美国能源部、美国环保局以及各类文献中对于粒子加速器的定义综合编写。

粒子加速器设施	particle accelerator facility	用于容纳和操作粒子加速器的设施，包括建筑物、系统和除粒子加速器外的设备。	用于定义粒子加速器所在场所、配套系统和各类辐射安全与防护设施等。
加速器室	Accelerator room	粒子加速器离子源和束流产生、加速和传输设备所在场所。	为便于后续描述，结合粒子加速器的定义，将除束流终端以外的加速器离子源、真空加速系统和束流传输系统等设备所在场所，统称为加速器室。
束流终端室	Beam terminal room	将粒子加速器引出的束流用于开展科研实验、工业应用、医学治疗等用途的场所。如光束线站、辐照室和放射治疗室等。	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。
靶	Target	能与被加速的带电粒子直接作用实现预期用途的物体。	基于原标准中对于靶的定义“被加速的带电粒子与其相互作用产生有用辐射的物质”修改后编写。
瞬发辐射	Prompt radiation	粒子加速器的初级粒子及其与物质相互作用产生 γ 射线和中子等次级粒子统称为瞬发辐射。	参照 NCRP REPORT No.144 《Radiation Protection for Particle Accelerator Facilities》中的相关描述给出。
感生放射性	Induced radioactivity	稳定的原子核因接受粒子加速器产生的质子、中子等的照射，通过核反应生成不稳定的核素而产生的放射性。	参照 CNKI 知网百科中对感生放射性的定义给出。
联锁系统	Interlock system	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

表 5-3 原标准中术语与定义编写依据

术语	英文名称	原定义	现定义
靶	Target	被加速的带电粒子与其相互作用产生有用辐射的物体。	在原定义的基础上修改为“能与被加速的带电粒子直接作用实现预期用途的物质”，表述更为准确，因为有的靶如束流诊断靶以及放射治疗中的患者都是为了实现某种预期用途，并非是产生有用辐射。
高辐射区 辐射区	“高辐射区”和“辐射区”的定义现已被“控制区”和“监督区”取代，因此本标准不再列举。		
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“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 总体要求
2 剂量当量限值	
3 辐射防护设施的设计原则	5 辐射安全与防护设计要求
4 运行中的辐射安全	6 运行的辐射安全与防护
5 辐射监测	7 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，且该部分内容不是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	8 放射性废物管理
——	9 退役

5.6.1 “4 总体要求”

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 GBJ8-74《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”中已作出解释，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（不包括医疗用加速器和象密封型中子管之类的可移动加速器）设施。	

<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“4.6 应建立健全辐射安全与防护管理体系，落实辐射安全管理制度。”</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“4.1 粒子加速器设施设计、运行和退役期间，都应遵循实践的正当性、剂量限制和潜在照射限制、防护与安全的最优化的原则”。</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。这类人员应当受劳动保护部门和其他部门规定的劳保待遇。</p>	<p>原标准的该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准》（GB4792-84）已经被 GB18871-2002 取代</p> <p>因此，本次修订将 2.1~2.7 节的内容，统一修改为“4.2 职业照射和公众照射的年剂量限值应符合 GB18871 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，每年摄入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“4.3 应结合粒子加速器特点合理确定剂量约束值，一般情况下，职业照射约束值不超过 5mSv/a，公众照射约束值不超过 0.1mSv/a”。</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>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。</p>	<p>保留该条规定的原则要求，在 7.2.2 表面污染监测中进行规定“当各类物体的表面污染水平超过 GB18871 中相应的要求时，应及时去污，采取防护措施防止污染扩散。”</p>
<p>本章节在本次修订时新增内容 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监测和放射性废物管理总体要求的说明，具体如下： 4.4 应定期开展粒子加速器辐射工作场所和周围环境辐射水平监测并评估辐射安全与防护措施的有效性。 4.5 应规范收集、妥善贮存和处理粒子加速器运行和退役期间产生的放射性废物，并遵循放射性废物管理原则，实现废物最小化。</p>	

5.6.2 “5 辐射安全与防护设计要求”

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 辐射安全与防护设计要求”，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“辐射安全与防护设计要求”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 通用要求

<p>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>该两条规定基本保留，将辐射防护设施的描述修改为“辐射安全与防护设施”，合并为“5.1.2 粒子加速器设施设计阶段，应适当考虑未来应用扩展等因素，合理规划和设计辐射安全与防护设施并留有适当的余地。”</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“5.1.4 粒子加速器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“5.1.3 粒子加速器设施设计与建造阶段，均应有辐射防护相关专业的人员参加，并具体组织或负责辐射安全与防护设施的设计”。</p>
<p>本部分在本次修订时新增内容： 5.1.1 粒子加速器的辐射安全与防护设计应遵循纵深防御的原则，设置多重安全与防护措施，使得某一层级的防御措施失效时，可由下一层级的防御措施予以弥补或纠正。辐射安全与防护重要系统、部件和设备应具有适当的冗余性、多样性和独立性。 5.1.5 粒子加速器辐射安全连锁系统的设计，应遵循故障安全设计原则。</p>	
<p>3.2 辐射屏蔽</p>	<p>5.3 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“5.3.2 应充分利用周边现有环境条件，综合考虑粒子种类、能量、功率、靶材料、工作负荷和周围环境等因素，按可能最大的辐射源项进行辐射屏蔽设计，同时应充分考虑各种类型的瞬发辐射对周围邻近场所的影响。”</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。修改后为“5.3.1 加速器室、束流终端室应结合剂量约束值、工作负荷和关注点的居留因子，合理确定屏蔽体外30cm处剂量率控制水平并设置足够的屏蔽体。可能存在感生放射性的，还应对感生放射性的影响进行评估，确保人员受照剂量满足4.3节的要求。”</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： 1. 目前计算屏蔽体厚度时，通常采用Monte-Carlo方法，其计算精度相比早期使用经验公式计算已经有很大提高； 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； 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cm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。 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中对屏蔽材料选择的考虑，需要采用蒙特卡罗方法进行屏蔽计算验证的情形以及对于管道穿墙时应考虑的因素，具体如下：</p> <p>5.3.3 确定辐射源项时不仅要考虑正常运行工况，还应考虑异常工况。5.3.4 选择屏蔽材料时，应根据辐射防护最优化原则，综合考虑所选材料的结构性能、防护性能和稳定性等因素，尽可能使用不易产生感生放射性的材料。</p> <p>5.3.5 辐射屏蔽计算可采用经验公式和数值模拟方法，对于特殊屏蔽材料、复杂屏蔽体几何结构等情况，宜采用数值模拟法。</p> <p>5.3.6 风管、电缆和水管等穿墙时，宜避开束流前向、墙外为全居留场所的屏蔽墙，采用 S 型或 U 型等方式穿墙并进行适当屏蔽补偿。应尽可能减小防护门与墙体之间缝隙的泄漏辐射，确保防护门外 30cm 处剂量率满足剂量率控制水平要求。</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“5.4 辐射安全连锁系统”和“5.5 区域辐射监测系统”</p>
<p>5.4 辐射安全连锁系统</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>5.4.2 粒子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。</p>
<p>3.3.2 加速器厅、靶厅的门均需安装连锁装置，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，修改后的内容为：</p> <p>5.4.3 加速器室和束流终端室出入口的门应设置门-机连锁，某区域连锁门未完全关闭时该区域不能供束。正在出束区域的连锁门打开时应立即切断该区域内束流和暗电流产生源。</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，并且这种开关应当有醒目的标志。</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>5.4.4 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设备。急停设备周围应设有醒目标识及文字显示。</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：“5.4.6 粒子加速器工作场所应设置工作状态指示装置。其中，加速器室、束流终端室内部应设有工作状态指示及警示装置，在加速器准备运行前发出声光警示信号。加速器室和束流终端室出入口应设置与区域内束流状态联锁的工作状态指示装置并配有中文说明。”</p>
<p>“辐射安全联锁系统”部分在本次修订时新增的内容：</p> <p>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，结合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：</p> <p>5.4.1 加速器室和束流终端室的出入口应设有门禁系统以防止人员未经授权进入或误入。</p> <p>5.4.5 粒子加速器出束前应对加速器室和束流终端室内人员可达区域进行清场巡检。应设定清场巡检的顺序和响应时间，未按规定顺序或超出响应时间的清场无效。对于设置分区清场的情况，各子区出入口门应纳入联锁，确保清场完成且联锁门关闭后联锁方可生效。</p> <p>5.4.7 加速器室和束流终端室内应设紧急开门装置。</p> <p>5.4.8 辐射安全联锁系统被触发时，应立即切断联锁被触发区域的束流和暗电流产生源，可采取关闭粒子源输出、切断高压高频、禁止粒子进入加速系统或落下束流闸等方式，确保区域安全。</p> <p>5.4.9 辐射安全联锁系统一旦被触发后，必须按照规程查明原因，进行就地复位并通过控制系统才能重新启动束流。</p>	
<p>5.5 区域辐射监测系统</p>	
<p>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。</p>	<p>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：</p> <p>5.5.1 应结合粒子加速器特点和辐射安全与防护需要，设计区域辐射监测系统，遵循的原则如下：</p> <p>a) 粒子加速器屏蔽体外相邻场所内人员全居留场所且剂量率可能超过 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的区域应安装固定式区域辐射监测仪。当监测数据超过设定阈值时，发出报警信号。</p> <p>b) 为了解加速器室和束流终端室内的束流状态和辐射水平，可在这些区域内部（一般在入口处）安装固定式区域辐射监测仪。</p> <p>5.5.2 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（$T \geq$</p>

	1/2) 时, 考虑相邻束流终端室的影响, 可在各束流终端室内设置固定式区域辐射监测仪。
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	5.6 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。	保留该条规定, 根据本标准提出要求对其进行补充完善, 修改后为: 5.6.1 可能产生感生放射性气体或臭氧等有害气体的粒子加速器工作场所应设置通风系统, 通风系统的设计应确保气流方向由低污染区流向高污染区, 并根据放射性气体或臭氧等有害气体的产生量和工作需要确定换气次数。
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。	
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“5.3 辐射屏蔽”章节的“5.3.6”进行描述。
<p>“通风系统”部分在本次修订时新增内容: 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。因此, 本次修订时在原标准基础上补充以下内容: 5.6.2 应合理布置粒子加速器工作场所内进风口和排风口的位置, 实现室内空气充分交换。室外进风口应避免受到排气的污染, 排风口的位置和高度应结合放射性气体或有害气体排放量、周围建筑的高度、当地气象条件等综合考虑后确定, 应避免设置在门、窗和人流较大的过道等位置。</p>	
<p>本章节在本次修订时新增内容 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 辐射工作场所分区”, 具体如下:</p>	
<p>5.2 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: 5.2.1 粒子加速器辐射工作场所应分为控制区和监督区。应把需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区, 主要包括加速器室、束流终端室和放射性废物贮存区域等。与控制区相邻的、不需要采取专门的防护手段和措施, 但需要对职业照射条件进行监督和评价的区域划定为监督区。 5.2.2 控制区、监督区的入口应设置控制区和监督区的标识, 控制区的出入口和其他适当位置还应设置明显的电离辐射警告标志。</p>	

5.6.3 “6 运行的辐射安全与防护要求”

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 运行的辐射安全与防护要求”，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“运行的辐射安全与防护”章节内容的对比

原标准中的内容	本次修订后的内容
4.1 辐射防护设施的验收	本次修订未对该章节再细分小节。
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。	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“7 工作场所监测”的“7.2.1 工作场所辐射水平监测”中描述，具体如下： 7.2.1.1 粒子加速器安装调试阶段和投入运行前，应基于最大运行或稳定运行工况下屏蔽体外辐射水平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。若监测结果超出该区域剂量率控制水平，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辐射水平满足设计要求。
4.2 运行程序	——
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。	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。
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。	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) 粒子加速器控制系统正常工作； b) 辐射安全联锁系统、工作状态指示装置和辐射监测系统正常工作； c) 加速器室和束流终端室内不得有人员滞留，如粒子加速器为医学使用，则治疗束流区域内除接受放射治疗的患者外

	不得有其他人； d)准备出束的控制区所有联锁门都已关闭。
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。	该条在修订后“5.4 辐射安全联锁系统”中“5.4.2 条”对于开关钥匙的规定合并描述，具体见 5.4.2。
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。	保留该规定，具体修改如下： 6.2 粒子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，不得用触发联锁动作的方式切断束流。
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。	该条在修订版“5.4 辐射安全联锁系统”中“5.4.9 条”进行描述，具体如下： 5.4.9 辐射安全联锁系统一旦被触发后，必须按照规程查明原因，进行就地复位并通过控制系统才能重新启动束流。
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。	保留该条规定，具体修改如下： 6.6 无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，应采取其他安全措施并经加速器使用单位辐射安全管理机构的批准，对时间、原因等内容进行记录，并在控制台上给出旁路状态显示，工作完成后应及时进行联锁恢复及功能测试，测试正常后粒子加速器方可继续使用。
4.3 放射性材料的操作和保管	——
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。	保留该条，但根据实际情况进一步修改。考虑到加速器操作的放射性材料主要是活化部件，因此本次修订统称为活化部件。删除了“须在指定的场所进行”的要求。另外，操作活化部件时，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，必要时需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。工作结束后，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。

	6.4 维修期间更换下来需继续使用的活化部件，应根据监测结果分类存放在专门的场所/区域，并确保暂存和操作期间的辐射安全。
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。	本次修订将该小节在修订版“8.1 放射性固体废物管理要求”中进行描述，具体见 8.1.1、8.1.2 和 8.1.3。
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，应作为放射性废物处理。	该条规定主要针对中子发生器而言，本次修订未保留。
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，并结合加速器实际检修流程进行修改，修改后为“6.10 维修人员进入加速器室等辐射水平较高的区域前，应进行工作场所辐射监测，制定工作计划，经批准后方可进入工作。”
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针对中子发生器真空泵，本次修订未保留。
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，并入 6.3 描述“工作结束后，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 50mSv 的年剂量限值推导而得，而职业照射年剂量限值已修改为 20mSv，且在加速器辐射安全与防护设计时，未再利用导出空气浓度 DAC 浓度限值作为通风系统设计标准，而是将满足职业照射和公众照射剂量约束值作为最终设计标准。因此，本次修订不再给出导出空气浓度。
4.6 应急程序	——
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。	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： 6.11 粒子加速器使用单位应根据可能发生的辐射事故风险，编制相应的辐射事故应急预案，配备必要的应急设备，并定期组织进行应急演练。

4.7 可靠性检验	——
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。	保留该条规定，但考虑到不同运行模式的加速器，如周期性运行或连续运行，对安全联锁系统测试的周期要求可能不同，对其进行修改后如下： 6.5 应对辐射安全联锁系统进行定期检查或测试，根据粒子加速器运行模式制定测试方案，时间间隔最长不超过 6 个月。
<p>本章节在本次修订时新增内容：</p> <p>6.7 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，且需佩戴个人剂量计。</p> <p>6.8 应加强粒子加速器辐射工作场所短期或流动工作人员的管理，确保其具备辐射风险认知和辐射安全与防护知识后方可开展工作，采取措施限定其活动范围并进行个人剂量监测。</p> <p>6.9 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：</p> <p>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，应确认待调束区下游区域的束流阻挡设备落下或束流偏转设备正常工作，防止束流意外引出；</p> <p>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点下游屏蔽体外的工作人员采取一定的临时隔离或疏散措施；</p> <p>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；</p> <p>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；</p> <p>e) 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。</p>	

5.6.4 “7 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“7 辐射监测”，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“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	7.4 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规定，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>7.4.1 粒子加速器使用单位的辐射工作人员应根据粒子加速器产生的辐射类型佩戴相应的个人剂量计，定期监测、记录并建立个人剂量档案，因工作需要进入辐射工作场所的短期和流动人员也应开展个人剂量监测。</p> <p>7.4.2 个人剂量监测周期一般不超过3个月，监测结果超过调查水平时，应开展原因调查并采取改进措施。</p>
<p>5.1.2 区域监测</p>	<p>7.2 工作场所监测</p> <p>粒子加速器工作场所监测内容主要包括辐射剂量率监测和表面污染监测，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“7.2 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>7.2.1.1 粒子加速器安装调试阶段和投入运行前，应基于最大运行或稳定运行工况下屏蔽体外辐射水平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。若监测结果超出该区域剂量率控制水平，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辐射水平满足设计要求。</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>7.2.1.2 当粒子加速器运行参数、屏蔽条件或屏蔽体外居留情况发生有可能影响辐射安全的变化时，应进行工作场所监测。必要时应采取的措施，确保在屏蔽体外辐射水平满足设计要求。</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； 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</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。</p>

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，还应在其入口处或边界上设置辐射危险标志。	
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。	保留该条规定，并入“5.5 区域辐射监测系统”中“5.5.1 条”和“5.5.2 条”进行描述。
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。	保留该条规定，并入“6 粒子加速器运行的辐射安全与防护”中“6.7 条”和“6.10 条”进行描述。
5.1.3 表面污染监测	7.2.2 表面污染监测
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。	该条为中子发生器相关规定，未保留。
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。	保留该条规定，具体如下： 7.2.2.1 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、墙壁和地面等处的表面污染水平进行监测。
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。	保留该条规定，并入“6 粒子加速器运行的辐射安全与防护”中“6.3 条”进行描述，具体如下： 6.3 操作活化部件时，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。工作结束后，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。
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。	保留该条规定，具体如下： 7.2.2.2 当各类物体的表面污染水平超过GB18871中相应的要求时，应及时去污，采取防护措施防止污染扩散。
5.1.4 气载放射性监测	7.2.3 气载放射性监测
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。	根据调研结果以及国内已运行的粒子加速器工作场所和环境监测结果，气体感生放射性水平均较低，且目前国内外已运行的粒子加速器，几乎都未开展区域气载放射性物质的连续在线监测或定期取样监测，考虑到目前该项监测工作的开展具有一定的技术难度，因此本次修订未保留该条规定。

5.2 测量装置的选择	7.5 监测设备
<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： 7.5.1 粒子加速器使用单位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： 7.5.2 辐射监测仪器的测量范围、能量响应、能量范围和时间响应，应与粒子加速器的辐射场特性相匹配。</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： 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>	<p>保留该条规定，但对于内容进行了简化，具体如下： 7.1.2 辐射监测应记录并建档保存，记录内容应包括但不限于监测对象、点位、工况、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： 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>	<p>未保留该条规定。 选择监测设备时已考虑了这些性能要求，如修订后的“7.5.2 条”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>删除该条规定，国家相关标准中对辐射监测仪器的刻度检定已有明确规定，不再在本标准中进行说明。</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。</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“7.1 通用要求”, 同时根据相关法规中对辐射监测的要求以及对国内粒子加速器辐射监测现状的调研, 增加“7.3 环境监测”, 具体如下:

7.1 通用要求

7.1.1 粒子加速器使用单位应制定辐射监测计划, 并按照计划开展监测。不具备辐射监测能力的单位, 可以委托有能力的单位进行监测。

7.1.2 辐射监测应记录并建档保存, 记录内容应包括但不限于监测对象、点位、工况、方法、仪器、时间和人员等信息。

7.1.3 应对辐射监测结果进行分析评价, 监测中发现异常情况应及时查找原因并整改, 同时向本单位辐射安全管理机构报告。

7.1.4 辐射监测的质量保证应满足 GB8999 中的相关要求。

7.2 工作场所监测

7.2.1.3 粒子加速器运行期间, 应利用便携式辐射监测仪器对工作场所进行不定期巡测。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、人员易到达的屋顶、迷道口、防护门外、控制室以及其他人员全居留场所。

7.3 环境监测

7.3.1 粒子加速器运行期间, 应对周围环境的辐射水平进行监测, 监测频次应不少于 1 次/年。

7.3.2 应根据粒子加速器产生的辐射场特点、天空反散射特征, 并结合周围环境分布和居留因子等因素, 合理布置需设置固定式环境辐射监测仪的监测点位, 监测数据应进行记录、存档。

5.6.5 “8 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“8 放射性废物管理”, 章节具体内容在修订前后的对比列于表 5-9。

表 5-9 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”“液态流出物管理要求”和“气态流出物管理要求”
7.1 凡有加速器的单位, 应做好环境保护工作, 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。	保留该条规定, 在本次修订版“4 总体要求”的“4.5 节”进行描述, 具体如下: 4.5 应规范收集、妥善贮存和处理粒子加速器运行和退役期间产生的放射性废物, 并遵循放射性废物管理原则, 实现废物最小化。
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。	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:

	<p>8.1.1 粒子加速器运行期间产生的放射性固体废物应暂存在加速器室等控制区内或单独的固体废物暂存间内，对于暂存在加速器室内的放射性固体废物，应在加速器室内划定专门的区域，并采取适当的实体屏障进行物理隔离。</p> <p>8.2.2 循环冷却水系统在事故或检修期间排出的活化冷却水应按照放射性废液管理，并妥善收集贮存，经监测满足GB18871中的排放要求后排入城市污水管网，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“8.2节”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>该条规定主要针对中子发生器，未保留。</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“7辐射监测”章节进行描述，具体如下： 7.3.1 粒子加速器运行期间，应对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>
<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。</p> <p>8.1 放射性固体废物管理要求</p> <p>8.1.1 粒子加速器运行期间产生的放射性固体废物应暂存在加速器室等控制区内或单独的固体废物暂存间内，对于暂存在加速器室内的放射性固体废物，应在加速器室内划定专门的区域，并采取适当的实体屏障进行物理隔离。</p> <p>8.1.2 放射性固体废物的暂存容器、区域和场所应按规定设置放射性标志和中文警示说明，并采取防丢失、防盗措施。</p> <p>8.1.3 应建立放射性固体废物台账，记录废物名称、数量、表面和1m处剂量率、监测日期、去向等相关信息。</p> <p>8.1.4 能够满足解控要求的可回收后重复利用或作为一般工业固体废物处理，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。</p> <p>8.2 液态流出物管理要求</p>	

8.2.1 可能产生活化冷却水的粒子加速器水冷系统设计时，应考虑设计活化冷却水收集、暂存和排放设备或设施。

8.2.2 循环冷却水系统在事故或检修期间排出的活化冷却水应按照放射性废液管理，并妥善收集贮存，经监测满足 GB18871 中的排放要求后排入城市污水管网，并做好存档记录。

8.3 气态流出物管理要求

通过增加排放高度、增加排放口与周围公众的距离、降低放射性气体排放量等措施，确保气态流出物所致公众受照剂量低于公众照射剂量约束值。

5.6.6 “9 退役”

该章节为本次修订新增章节，参考 IAEA Nuclear Energy Series No.NW-T-2.9 《Decommissioning of Particle Accelerator》和《核技术利用设施退役》（HAD401/14-2021）中的相关内容，提出了对于粒子加速器退役的基本要求。

表 5-10 粒子加速器的退役章节主要内容

序号	内容
9.1	产生放射性污染的粒子加速器终止运行后应实施退役。
9.2	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。
9.3	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。
9.4	粒子加速器退役期间，应制定辐射监测计划，对退役人员、放射性废物、工作场所、环境以及可能产生的放射性流出物进行监测，对监测结果进行记录和存档。
9.5	退役活动实施完成后应开展终态监测，编制终态验收监测文件。

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。

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，且在加速器辐射安全与防护设计时，未再利用导出空气浓度 DAC 浓度限值作为通风系统设计标准，而是将满足职业照射和公众照射剂量约束值作为最终设计标准。因此，本次修订不再给出导出空气浓度。
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。

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、专家咨询会或开展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) 在国家相关法律、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。