

团 体 标 准

T/WSJD 44—2023

非医用中高能加速器放射防护要求

Radiological protection requirements for non medical medium and high
energy accelerator

2023 - 06 - 20 发布

2023 - 07 - 01 实施

中国卫生监督协会 发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用标准	1
3 术语和定义	1
4 基本要求	2
4.1 辐射防护基本原则	2
4.2 辐射防护管理要求	2
5 工作场所放射防护要求	3
5.1 布局和分区要求	3
5.2 放射防护设施设计原则	3
5.3 工作场所辐射水平要求	4
5.4 放射防护设施要求	4
6 辐射监测	5
6.1 个人剂量监测	5
6.2 工作场所监测	5
7 运行和维护中的辐射安全要求	6
8 放射性废物辐射防护要求	7
8.1 固体废物辐射防护要求	7
8.2 液态废物辐射防护要求	7
8.3 气态废物辐射防护要求	8
附录 A (资料性) 不同场所的居留因子	9
附录 B (资料性) 工作场所的放射性表面污染控制水平	10

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本标准的某些内容可能涉及专利。本标准的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国卫生监督协会提出并归口。

本文件起草单位：国家卫生健康委职业安全卫生研究中心、山东蓝孚高能物理技术股份有限公司、中国科学院高能物理研究所、深圳市瑞美德科技有限公司、中国科学院上海应用物理研究所、中国科学院近代物理研究所、中广核技术发展股份有限公司。

本文件主要起草人：张震、彭伟、张伟军、王庆斌、罗海勇、苏有武、夏晓彬、赵锡鹏、吴青彪、马忠剑、陈宇、陈飞、李玉文、梁婧、谭国庆、陈光荣。

非医用中高能加速器放射防护要求

1 范围

本文件规定了加速粒子能量大于等于100MeV的非医用中高能加速器的放射防护要求。

本文件适用于在工业、科研等行业中使用的高能加速器的放射防护。不适用于医用加速器的放射防护。

2 规范性引用标准

下列标准对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用标准，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用标准，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GBZ 98 放射工作人员健康要求及监护规范

GBZ 118 油气田测井放射防护要求

GBZ 128 职业性外照射个人监测规范

GBZ 129 职业性内照射个人监测规范

GB/T 5750 生活饮用水标准检验方法

GB/T 11713 高纯锗 γ 能谱分析通用方法

GB 18871 电离辐射防护与辐射源安全基本标准

WS/T 184 空气中放射性核素的 γ 能谱分析方法

HJ 899 水质 总 β 放射性的测定 厚源法

HJ 1126 水中氚的分析方法

EJ/T 1008 空气中 ^{14}C 的取样与测定方法

EJ/T 900 水中总 β 放射性测定 蒸发法

3 术语和定义

下列术语仅适用于本文件。

3.1

非医用中高能加速器 non-medical medium and high energy accelerator

本文件中所称非医用中高能加速器是指非医疗机构使用的加速粒子能量大于等于100MeV的加速器。

3.2

联锁装置 interlock device

安全控制装置，使有关部件的动作相互关联，每个部件均必须处于规定的状态，否则加速器不能投入运行和使用，或者使已投入运行和使用的源或产生射线的设备立即关停。

3.3

巡检系统 survey system

放射工作人员在加速器运行前，采用复位按钮等方式，根据一定的线路顺序对加速器隧道/厅、靶厅等人员可达的区域进行清场巡查，核实人员滞留或其他异常情况的系统。

3.4

天空反射 skyshine

某些辐射屏蔽设施在设计时顶层无屏蔽或屏蔽薄弱，此种情况下，辐射源射向天空的射线，因受大气的反散射作用而造成辐射源屏蔽墙周围地面附近辐射场增强的现象。

3.5

感生放射性 induced radioactivity

由辐照产生的放射性。通常指由加速器产生的或由放射性物质发射的中子、质子、 γ 射线等电离辐射照射物质时，产生次级辐射或物质被活化发射射线的性质。

3.6

束流损失 beam loss

粒子束流在形成、加速、引出、输运过程中，与加速器系统部件相互作用所导致的束流强度与束流能量的部分损失或者全部损失。

4 基本要求

4.1 辐射防护基本原则

4.1.1 加速器的建设立项，必须进行正当性分析，以确定该项目的正当性。

4.1.2 对于来自加速器的照射，应使防护与安全得到最优化，在考虑了经济和社会因素之后个人受照剂量的大小、受照射的人数以及受照射的可能性均保持在可合理达到的尽量低水平。

4.1.3 剂量限值与管理目标值

a) 应对个人受到的正常照射加以限制，使个人年有效剂量和有关器官或组织的当量剂量不超过 GB 18871 规定的限值。

b) 根据加速器特点，合理设置放射工作人员年有效剂量管理目标值。

4.2 辐射防护管理要求

4.2.1 加速器运营单位应对放射实践的辐射安全与防护全面负责，保护从事放射工作相关人员的职业健康；成立放射卫生管理机构并设置辐射防护人员和专职放射卫生管理人员。

4.2.2 应建立健全放射性职业病防治相关管理制度，包括职业病危害防治责任制度、职业病危害警示与告知制度、职业病危害项目申报制度、职业病防治宣传教育培训制度、职业病防护设施维护检修制度、职业病防护用品管理制度、职业病危害监测及评价管理制度、建设项目职业病防护设施“三同时”

管理制度、劳动者职业健康监护及其档案管理制度、职业病危害事故处置与报告制度、职业病危害应急救援与管理制度、操作规程以及法律、法规、规章规定的其他职业病防治制度。

4.2.3 应开展个人剂量监测管理，对放射工作人员按 GBZ 128 的要求委托有资质的机构进行外照射个人剂量监测；必要时，按 GBZ 129 的要求开展内照射个人剂量监测。当个人剂量监测结果异常时，应进行受照情况复查或调查，将结果附在个人剂量档案中并妥善保存。

4.2.4 应开展职业健康管理，对从事加速器相关工作的放射工作人员，按 GBZ 98 的要求开展职业健康检查等健康监护工作。放射工作人员上岗前，应进行上岗前职业健康检查；在岗期间职业健康检查周期一般为 1 年~2 年，不得超过 2 年，必要时，可适当增加检查次数；放射工作单位应及时安排其进行离岗时的职业健康检查，以评价其离岗时的健康状况。

4.2.5 应制定培训计划，对用人单位主要负责人、职业卫生管理人员进行放射卫生培训，组织工作人员岗前放射防护和有关法律法规知识培训，考核合格后方可参加相应工作，培训时间不少于 4 天；岗中定期开展放射防护知识和有关法律法规知识培训，两次培训间隔不超过 2 年，每次培训时间不少于 2 天。建立并妥善保存培训档案。

4.2.6 应针对可能发生的事件制定相应的辐射事故应急预案并定期进行演练。

4.2.7 根据放射工作活动的潜在照射危害水平，依据纵深防御原则，设置相适应的多层防护与安全措施，确保当某一层次的防御措施失效时，可由下一层次的防御措施予以弥补或纠正，达到：

- a) 防止可能引起误照射的事故；
- b) 减轻事故的放射性后果；
- c) 将加速器恢复到安全状态。

4.2.8 应规范收集、妥善暂存和处理加速器产生的放射性废物。

4.2.9 应对辐射工作场所进行定期的辐射监测和评估，以确保采取的辐射安全与防护措施持续有效。

5 工作场所放射防护要求

5.1 布局 and 分区要求

5.1.1 加速器辐射工作场所应根据工艺流程相对集中布置，尽量远离生活区域，根据项目特点，可设置实体隔离或设一定的卫生防护缓冲带（如绿化带）。

5.1.2 加速器辐射工作场所宜布置在常年主导风向的下风向区域，把生活区布置在常年主导风向的上风向区域。

5.1.3 加速器辐射工作场所应分为控制区和监督区。加速器隧道、输运线和靶厅等区域及其各自出入口以内的区域应设置为控制区；控制室、加速器辅助设施区和未被划入控制区但需经常对其职业照射条件进行监督和评价的区域应设置为监督区。

5.1.4 应在可能存在放射性污染的控制区出口设置表面污染监测区域，必要时设置专门的去污区域并安装冲洗或淋浴等去污设施。

5.1.5 排风口的位置尽可能远离周边高层建筑，排风口位置不得设置在人流较大的道路等位置。

5.2 放射防护设施设计原则

5.2.1 加速器辐射防护设施的设计和布局必须满足国家法规和标准的要求，且必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用。

5.2.2 加速器防护设施设计，应主要考虑瞬发辐射产生的中子、X/γ 射线防护，除此之外还应考虑加速器部件和靶件的感生放射性、空气中的活化产物、循环冷却水中的活化产物的防护。1GeV 以上的电子高能加速器主束屏蔽方向必要时考虑缪子（μ子）防护。

5.2.3 加速器屏蔽厚度必须根据加速粒子种类、能量和束流强度及靶材料等综合考虑，按可能的最大束流损失进行计算和设计，并考虑加速器临近区域的类型、使用因子和居留因子等因素。

5.2.4 穿越防护墙的导线、导管、通风管道等不得影响屏蔽防护效果。

5.2.5 应根据工作场所防护水平要求计算所需屏蔽材料的厚度。屏蔽设计计算应包括加速器隧道/厅或靶厅防护墙外、防护门外、屋顶、管线孔洞、通风管道、放射性废物储存场所等关注区域。

5.3 工作场所辐射水平要求

5.3.1 加速器防护墙和出入口门外 30cm 周围剂量当量率参考控制水平 \dot{H}_c

由于加速器一般为连续运行模式，中子和光子的总周围剂量当量率参考控制水平设置如下：

a) 人员居留因子 $T > 1/8$ 的场所： $\dot{H}_c \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$ ；

b) 人员居留因子 $T \leq 1/8$ 的场所： $\dot{H}_c \leq 10 \mu\text{Sv/h}$ ；

不同场所的居留因子见附录 A。

5.3.2 加速器隧道（厅）顶部 30cm 的周围剂量当量率参考控制水平

在考虑加速器屏蔽体顶部天空反射和侧散射对屏蔽体外的地面附近和楼层中公众照射的年有效剂量小于 0.1mSv 和偶然到达加速器隧道/厅或靶厅顶外的人员的照射剂量小于 100μSv/周的要求后，加速器隧道/厅或靶厅顶外表面 30cm 处的周围剂量当量率参考控制水平可按 100μSv/h 加以控制，并在相应处设置辐射告知牌。

5.3.3 异常束流损失时的限值要求

对设计有储存环的加速器，全环单次束流全部损失所造成屏蔽体外放射工作人员最大有效剂量应小于 1mSv；并控制异常束流损失次数，以满足 4.1 的要求。

5.3.4 加速器工作场所表面污染要求

加速器工作场所表面污染控制水平见附录 B。

5.3.5 空气中放射性核素浓度要求

应识别加速器在空气中可能活化产生的主要放射性核素种类，检测或评估放射性核素活度浓度，并计算：

a) 放射工作人员摄入每种放射性核素的量与该种核素的年摄入量限值比值之和；

b) 同一年外照射所致个人剂量当量与相应的年有效剂量限值之比；

c) 上述 a) 与 b) 项之和应小于 1。

5.4 放射防护设施要求

5.4.1 在加速器隧道/厅内、靶厅内醒目位置安装声光警告装置；在每个通往控制区的出入口应安装工作状态指示灯和电离辐射警告标志，控制台应能显示加速器运行状态。

5.4.2 加速器隧道内应设置广播系统或视频监控系统。

5.4.3 应在辐射工作场所内应该安装在线辐射监测系统，监测 X、 γ 射线和中子辐射水平，该系统的数字显示装置应安装在控制台或监测位置，当辐射超过预定水平时，该系统的音响和灯光警告装置应当发出警告信号；配备便携式辐射检测设备（X、 γ 射线和中子辐射检测设备、表面污染检测设备）和个人剂量报警仪等。

5.4.4 加速器的主控钥匙开关必须和加速器隧道/厅门连锁。如从控制台上取出钥匙，加速器自动停机。

5.4.5 加速器隧道/厅、靶厅和束流输运通道应建立分区清场巡检和束流控制的逻辑关系，清场巡检系统应考虑清场巡检的最长响应时间和分区调试情况的连锁设置。日常清场巡检时，如超出设定的清场巡检时间，需重新进行清场巡检。

5.4.6 加速器隧道/厅、靶厅的防护门需要安装连锁装置，只有清场完毕且出入口所有门关闭后加速器才能出束、在出束状态下如门被打开应能立即停止出束。隧道/厅防护门内外应设加速器紧急开门装置；设置的自动防护门应有防夹伤功能。

5.4.7 在加速器隧道/厅内、靶厅和加速器控制台应设置醒目的紧急停机或紧急断束开关。

5.4.8 为排放空气中活化产生的放射性核素和化学有害因素（臭氧、氮氧化物等），加速器隧道/厅内、靶厅必须设有专门通风设施，使其浓度符合 5.3.5 和 GBZ 2.2 规定的限值要求。

5.4.9 应考虑建立调试、检修、运行维护人员的人身安全连锁系统，将调试、检修、运行维护人员的受照剂量与进入控制区的权限实施连锁管控。加速器系统应能实时统计工作人员进出控制区的情况，并接入人身安全连锁系统。

5.4.10 对活化的辐射热点应进行局部屏蔽或采取其他管控措施。

5.4.11 应设置束流损失测量系统，并进行束流损失和束流的连锁，测量的束流损失超过设定的正常值时，应能自动切断束流，切断束流后，原来正在运行的束流应能按正常轨道运行。

6 辐射监测

6.1 个人剂量监测

6.1.1 对放射工作人员应按 GBZ 128 的要求，委托有资质的机构进行外照射个人剂量监测。

6.1.2 对确认或怀疑人员摄入了放射性核素时，应按 GBZ 129 的要求进行内照射监测。

6.2 工作场所监测

6.2.1 一般要求

6.2.1.1 加速器设施竣工后，应当委托具有资质的机构对 X/γ、中子周围剂量当量率、停机后感生放射性、表面污染等进行全面的检测和职业病危害控制效果评价；投入使用后应当委托具有相应资质的机构，每年至少进行一次职业病危害因素检测，每三年至少进行一次职业病危害现状评价。放射工作单位应定期开展自主监测，监测项目包括周围剂量当量率、表面污染等，周围剂量当量率的监测周期至少为每季度一次。

6.2.1.2 检测仪器

选择正确的辐射检测设备，检测仪器的量程、能量响应范围、时间响应范围、电磁场抗干扰能力等性能应适用于被测辐射场；检测设备应经过计量检定或校准。

6.2.1.3 测量记录与数据处理

建立规范的测量记录表格，并按规范填写和处理测量数据。

6.2.2 周围剂量当量率检测

6.2.2.1 选择辐射工作场所各个区域对应的加速器出束工作模式和最大工况。加速器隧道/厅或靶厅屏蔽效果检测应在巡测的基础上，对关注区域进行重点检测。关注点位应包括：防护墙体外、防护门外、顶棚、管线洞口、工作人员操作位等，点位选取应具有代表性。屏蔽体外测量时剂量仪距检测表面 30 cm、距地面 100cm 处或与束流高度一致。辐射监测对象包括 X、γ 射线和中子。

6.2.2.2 加速器停机后，当人员进入加速器隧道/厅或靶厅时，对于人员工作位、经常停留的位置、辐射热点等区域开展感生放射性的检测。

6.2.2.3 加速器隧道/厅或靶厅周围 50 m 范围内有高于加速器隧道/厅或靶厅顶的建筑时，应检测侧散射。

6.2.2.4 加速器隧道/厅或靶厅顶部人员不能到达开展检测时，应检测天空反射。

6.2.3 表面污染检测

处置和储存废靶区域、循环冷却水区域等可能存在表面污染的区域，必须对设备、墙壁和地面的污染水平进行定期监测；人员操作放射性物质后，应对其体表、衣物和工具等进行表面污染监测。

6.2.4 空气中放射性核素检测

放射工作单位根据加速器的特点，可开展工作场所空气中放射性核素检测，采样时根据采样核素的物理化学性质，采用合适的收集介质，采样流量与收集介质效率相匹配，采样高度位于工作人员呼吸带处。空气中 γ 放射性核素的采样测量方法应符合 GB/T 11713 和 WS/T 184 的规定；空气中 ³H 和 ¹⁴C 的采样测量方法应符合 HJ 1126 和 EJ/T 1008 的规定。

6.2.5 循环冷却水中放射性核素检测

放射工作单位根据加速器的特点，可开展对循环冷却水中总 β、γ 放射性核素、H-3 等检测项目的测量，采样和测量方法应符合 GB/T 5750、EJ/T 900、HJ 899、GB/T 16140 等标准的要求。

7 运行和维护中的辐射安全要求

7.1 加速器应当在至少同时满足下列条件时才能开机：

- 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) 安全联锁和警告装置能正常工作；
- d) 加速器隧道/厅、靶站等控制区内不得有人；
- e) 加速器隧道/厅、靶站的所有防护门都已关闭。

7.2 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；加速器收到安全联锁的允许开机信号后不得自动开机，需进行人工操作才能开机。

7.3 加速器运行应有两名及以上人员协调操作，认真做好当班记录，严格执行交接班制度；加速器试用、调试、检修期间，控制室须有工作人员值守。

7.4 加速器调试、检修期间，应对进入加速器隧道和束流输运通道、靶厅等区域的人员加强管理。在出束的情况下严禁检修人员滞留在控制区；工作人员进入以上区域前必须确认束流已经终止，辐射监测人员进行辐射测量后，工作人员携带个人剂量报警仪方可进入，可根据辐射测量结果采取必要的辐射防护措施。对可能污染的人员和设备，离开时应进行表面污染检测。

7.5 进入加速器控制区的实验、技术等人员须在有相关授权的放射工作人员或者辐射防护管理人员带领下进入；建立隧道/厅、靶站进出人员数量的检录系统，当进出人员数不同时，设施不能运行。

7.6 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，应严格遵守操作程序，并做好相应的辐射监测，必要时采取一定的个人防护措施和通风措施。

8 放射性废物辐射防护要求

8.1 固体废物辐射防护要求

8.1.1 加速器调试及运行过程中，活化部件如准直器、加速器靶等组件，在更换或退役时，应作为放射性固体废物处理，拆卸后先放进屏蔽容器或固体废物暂存间暂存衰变至一定程度，经检测仍超出清洁解控水平的按照生态环境部门的要求进行处置；对于暂存后低于清洁解控水平的组件可重复利用。屏蔽容器或固体废物暂存间的辐射防护要求可参考 GBZ 118 放射性源库相关部分。

8.1.2 建立放射性固体废物台账，存放及处置前进行监测，记录部件名称、质量、辐射类别、监测设备、监测结果（剂量当量率/表面污染）、监测日期、去向等相关信息。

8.1.3 应加强废靶和活化部件处置/处理活动的辐射安全管理，处置工作应由有相应能力且通过辐射安全考核的专业人员进行；应根据废靶或活化部件的放射性水平制定处置/处理活动方案，对辐射监测与报警仪器的有效性、操作场所分区隔离设置、屏蔽体搭建进行确认；废靶或活化部件处置/处理时应对工作场所周围进行辐射监测，关注屏蔽体的辐射防护效果和表面污染情况，做好清点并记录；处置/处理结束后对工作场所进行辐射监测。

8.2 液态废物辐射防护要求

8.2.1 放射性废液（主要是活化的冷却水）收集的管道走向、阀门和管道的连接应有尽可能少的死区。

8.2.2 检修或事故状况下，高于豁免浓度的加速器活化冷却水按照放射性废液管理要求妥善收集贮存，采取放置衰变和净化过滤措施，暂存衰变并经检测低于清洁解控水平后，按照生态环境部门的要求进行处置，并做好存档记录。

8.3 气态废物辐射防护要求

8.3.1 加速器隧道/厅、靶厅内应设置通风设施，通风口为“上进下出、对角设置”。对氡产额高的放射工作场所，还需考虑对氡的排风。正常运行期间可设置较低的通风次数并保持加速器区域负压；

加速器停机一段时间后，工作人员进入加速器区域工作前应对加速器区域进行快速全面通风，换气次数宜不少于 4 次/h。

8.3.2 应定期检查通风系统过滤净化器的有效性，及时更换失效的过滤器，更换周期不能超过厂家推荐的使用时间。更换下来的过滤器经检测后按放射性固体废物进行收集或相应处理。

附 录 A
(资料性)
不同场所的居留因子

表A.1 不同场所的居留因子

场所	居留因子 (T)		示例
	典型值	范围	
全居留	1	1	加速器控制室、实验大厅、实验站区、加速器相邻的办公室、会议室、休息区等。
部分居留	1/4	1/2~1/4	1/2: 加速器相邻的公共走廊等。 1/4: 电源室、高频室、设备室、低温厅等。
偶然居留	1/16	1/8~1/40	1/8: 加速器防护房门外 30 cm 处。 1/16: 草坪、道路、公厕。 1/40: 对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的加速器屏蔽体顶部、仅有来往行人车辆的户外区域、无人看管的停车场。

附录 B

(资料性)

工作场所的放射性表面污染控制水平

表B.1 工作场所的放射性表面污染控制水平

单位: Bq/cm²

表面类型		β 放射性物质
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 ¹⁾	4×10
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	4
	监督区	
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10 ⁻¹
1) 该区内的高污染子区除外。		