ICS 87.040
CCS T47

团　体　标　准

T/BYXT 173-2026

同位素衰变能源发电装置安全操作指南

Safety operation guidelines for isotope decay energy power generation devices

（征求意见稿）

2026-XX-XX 发布　　2026-XX-XX 实施

包头市白云鄂博矿区市场监督管理局
包头市白云鄂博矿区工信和科技局　发布
包头市白云鄂博矿区稀土产业标准化协会

目 次

前言 I
1 范围 1
2 规范性引用文件 1
3 术语和定义 1
4 总体原则与分级管理 2
4.1 安全原则 2
4.2 分级管理 3
5 组织与人员管理 3
5.1 组织体系 3
5.2 人员资质与培训 3
5.3 健康监测 4
6 全生命周期安全操作程序 4
6.1 运输与接收 4
6.2 贮存与保管 5
6.3 安装与调试 5
6.4 运行与监控 6
6.5 维护与检修 6
6.6 退役与处置 6
7 辐射监测与防护 7
7.1 工作场所监测 7
7.2 个人剂量监测 7
7.3 防护装备与措施 7
8 应急准备与响应 8
8.1 应急预案分类 8
8.2 应急响应设计 8
8.3 事故调查与恢复 9
9 文件与记录管理 9
9.1 必备文件 9
9.2 保存期限 9
附录 A（规范性附录） 10
A.1 无人机用核电池（T/BYXT 169） 10
A.2 机器人用核电池（T/BYXT 170） 10
A.3 医用植入（T/BYXT 171） 10
A.4 应急电站（T/BYXT 172） 10
附录 B（资料性） 11
B.1 密封失效案例 11
B.2 盗窃事件案例 11
B.3 医疗植入错误案例 11

附录 C（资料性）.....12
C.1 运输前检查.....12
C.2 安装前检查.....12
C.3 运行期间检查（每月）.....12
C.4 退役检查.....12

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。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由包头市稀谷科技有限公司提出。

本文件由包头市白云鄂博矿区稀土产业标准化协会归口。

本文件起草单位：包头市检验检测中心、呼和浩特海关技术中心、包头市白云鄂博矿区市场监督管理局、包头市白云鄂博矿区工信和科技局、包头市稀谷科技有限公司、内蒙古圣飞运营科技有限公司、北京飞创世桥文化科技有限公司、北京炎黄医养科技有限公司、北京稀造科技有限公司、北京稀谷科技有限公司、三河悟筛健康科技有限公司、内蒙古稀都酒店管理有限公司、内蒙古沸石山生物科技集团有限责任公司、内蒙古润蒙稀超矿科技有限公司、乌拉特前旗石山矿业有限公司、内蒙古蒙稀超分子材料科技有限公司、内蒙古白庙子鸿雁农牧业生态科技发展有限公司、内蒙古稀都科技发展有限公司、吉安稀谷科技产业有限公司、包头市白云鄂博矿区稀土新材料和产业应用研究院、包头市白云鄂博矿区稀土产业标准化协会。

本文件主要起草人为：侯权恒、李信福、焦智斌、侯照东、陈媛媛、段羚、王霄鹏、吴天相、李波、延涵、张晓毅、李永滔、白夜明、王丽、赵艳霞、侯倩文、郝广诚、李荣腾、周泉书、任渊、尹志军、王振洲、白瑞、王鸿宇、石晓丽、莘俊莲、张沛宇、崔晓宇、刘雨、冶建荣、张丽华、湛军平、王强、那剑、袁玉静、张文权、韩乐、武小丽、敖日格乐、李明、王乐、池慧。

本文件为首次发布。

同位素衰变能源发电装置安全操作指南

1 范围

本文件规定了同位素衰变能源发电装置安全操作的总体原则、组织管理、全生命周期操作程序、辐射监测、应急响应和文件管理。

本文件适用于：

a) 核电池装置的运输、贮存、安装、运行、维护、退役全过程；

b) 操作、管理人员的安全培训与资质管理；

c) 工作场所辐射监测与个人剂量监测；

d) 辐射事故/事件的应急准备与响应。

本文件适用于以下装置类型：

T/BYXT 169：无人机用核动力电池；

T/BYXT 170：机器人用核动力电池；

T/BYXT 171：医用植入式核微电池；

T/BYXT 172：核应急发电站。

本文件不适用于：

a) 核反应堆、临界装置等核设施；

b) 工业辐照装置（γ辐照站、加速器等）；

c) 放射性药物生产与使用。

2 规范性引用文件

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

GB 11806 放射性物质安全运输规程

GB 18871 电离辐射防护与辐射源安全基本标准

GB/T 15849 密封放射源一般规定

GBZ 98 放射工作人员健康要求及监护规范

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

GBZ/T 216 人体体表放射性核素污染处理规范

HJ 61 辐射环境监测技术规范

WS/T 467 核和辐射事故医学响应程序

T/BYXT 169-2026 稀土核能长航时无人机动力电池

T/BYXT 170-2026 稀土核能机器人长寿命自源电池

T/BYXT 171-2026 稀土核能医用植入式长寿命微电池

T/BYXT 172-2026 稀土核能应急发电站

HAF 001 民用核设施安全监督管理条例

HAF 002 核材料管制条例

IAEA SSR-6 Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material

3 术语和定义

下列术语和定义中的内容适用于本文件。

3.1

ALARA 原则 as low as reasonably achievable principle

在考虑了经济和社会因素之后，一切辐射照射都应当保持在合理可行尽量低的水平。

3.2

操作人 operator

直接从事核电池装置运输、安装、维护等操作活动的工作人员。

3.3

辐射工作场所 radiation workplace

因从事辐射工作而使工作人员受照射的工作场所，分为控制区和监督区。

3.4

控制区 controlled area

在其中连续工作的人员一年内受到的照射剂量可能超过年限值十分之三（职业照射 15mSv）的区域。

3.5

监督区 supervised area

在其中连续工作的人员一年内受到的照射剂量一般不超过年限值十分之三，但可能超过公众照射限值（1mSv）的区域。

3.6

事故/事件 accident/incident

导致或可能导致照射、放射性物质释放、核素扩散的非常规情况，分为：

辐射事故：人员受照超剂量限值或环境放射性污染；

核安保事件：盗窃、破坏、非法转移核材料。

4 总体原则与分级管理

4.1 安全原则

4.1.1 ALARA 原则

所有操作应使人员受照剂量、环境释放、放射性废物合理可行尽量低。优先采用屏蔽、距离、时间防护，其次采用个人防护装备。

4.1.2 纵深防御

设置多道屏障（包容、监控、应急），防止放射性物质释放：

第一道：核素固化（CERMET/陶瓷）；

第二道：密封封装（θ-TaN/Ir 合金）；

第三道：设备外壳（防水、防爆、防冲击）；

第四道：场所控制（围栏、监控、门禁）；

第五道：应急预案（响应、救援、恢复）。

4.1.3 全生命周期管理

从核素提取、装置制造、运输、使用到退役，实行全过程安全管理，确保"从摇篮到坟墓"的责任追溯。

4.2 分级管理

应符合表 1 规定。

表 1

级别	活度范围（^{238}Pu）	管理要求	应用场景
A 级（豁免）	＜10^6Bq（0.027mCi）	无需许可，备案管理	教学演示、极低功率传感器
B 级（备案）	10^6-10^9 Bq（0.027-27mCi）	省级生态环境部门备案	医用植入、微型无人机
C 级（许可）	＞10^9 Bq（27mCi）	国务院核安全监管部门许可	机器人、应急电站、航天

注：^{241}Am 按毒性组别调整，活度限值为 ^{238}Pu 的 1/10；^{244}Cm 为 1/2。

5 组织与人员管理

5.1 组织体系

5.1.1 安全责任主体

制造商（如包头市稀谷科技有限公司）：负责设计安全、运输安全、退役回收；
使用单位：负责运行安全、人员培训、应急响应；
运输单位：负责运输过程安全；
监管部门：生态环境部门（辐射安全）、公安部门（核安保）、卫生健康部门（职业健康）。

5.1.2 安全管理体系

建立辐射安全与防护管理机构，配备专职辐射防护人员（RPO），职责包括：
制定安全操作规程；
组织辐射监测；
培训与考核操作人员；
应急预案编制与演练；
事故/事件调查与报告。

5.2 人员资质与培训

5.2.1 人员分类

A 类（操作人）：直接接触装置，需辐射安全培训合格证；
B 类（管理人员）：负责管理但不直接接触，需辐射防护知识培训；

C 类（应急人员）：消防、医疗等支援人员，需辐射应急知识培训。

5.2.2 培训要求

岗前培训：40 学时（A 类），内容：辐射基础、装置特性、操作规程、应急处理；
再培训：每 2 年一次，20 学时，更新法规、案例、技术进展；
考核：理论考试+实操考核，合格后方可上岗。

5.2.3 特殊要求

植入手术医生（T/BYXT 171）：需核医学或放射外科资质，接受核微电池植入专项培训（10 例以上观摩+5 例以上助手）；
核应急电站操作员（T/BYXT 172）：需高压电工证+辐射安全证，每班至少 1 名注册核安全工程师。

5.3 健康监测

5.3.1 职业健康检查

上岗前：排除职业禁忌证（如甲状腺疾病、造血系统疾病）；
在岗期间：每年一次，重点关注外周血淋巴细胞染色体畸变分析；
离岗时：全面检查，建立终身健康档案。

5.3.2 个人剂量监测

外照射：热释光剂量计（TLD）或光致发光剂量计（OSL），佩戴于胸前，每季度送检；
内照射：如怀疑密封破损，进行尿/粪样分析或全身计数（WBC）；
剂量限值：连续 5 年平均有效剂量＜20mSv/a，任何一年＜50mSv。

6 全生命周期安全操作程序

6.1 运输与接收

6.1.1 运输前准备

确认包装类型：A 型或 B(U)型（GB 11806）；
检查运输指数（TI）：货包外表面剂量率（μSv/h）；
办理运输许可证：C 级装置需向国务院核安全监管部门申请；
路线规划：避开人口密集区、水源地，备用路线。

6.1.2 运输过程

专车专运：驾驶员+押运员双岗， armed escort for C 级；
实时监控：GPS 定位+剂量率监测，异常自动报警；
交接验收：接收方检查包装完整性、表面剂量率、铅封完整性，签署交接单。

6.1.3 到货接收

在监督区进行，使用γ剂量率仪测量表面剂量率；
核对活度、核素、编号，与运输文件一致；
登记入库，建立台账（核素、活度、位置、责任人）。

6.2 贮存与保管

6.2.1 贮存场所

A 级（豁免）：普通库房，防盗即可；
B 级（备案）：专用库房，双人双锁，红外监控；
C 级（许可）：核材料实物保护设施，入侵探测+武装守卫+技防系统。

6.2.2 贮存要求

温度：-40℃～+50℃，湿度＜80%RH；
分类存放：^{238}Pu、^{241}Am、^{244}Cm 分区，防止交叉污染；
定期盘存：每月清点，账物相符；
定期监测：表面剂量率、密封性（氦质谱，每年一次）。

6.2.3 领用与归还

审批：使用人申请→部门负责人→辐射防护员→批准；
登记：时间、数量、用途、预计归还时间；
归还：检查完整性、去污（如必要），重新入库。

6.3 安装与调试

6.3.1 安装前准备

现场勘察：确认安装位置符合屏蔽要求（剂量率＜2.5μSv/h@边界）；
工具准备：长柄夹具（保持＞30cm 距离）、屏蔽套、监测仪表；
人员配备：操作人+辐射防护员+记录员，至少 3 人。

6.3.2 安装操作

时间控制：缩短操作时间（ALARA）；
距离控制：使用工具保持最大距离（剂量率与距离平方成反比）；
屏蔽就位：先安装屏蔽，后连接装置；
即时监测：安装过程中实时监测剂量率，超标立即暂停。

6.3.3 调试

功能测试：输出电压、功率、温度；
密封性测试：氦质谱检漏或真空保压；
场址监测：边界剂量率＜0.25μSv/h，公众区＜0.1μSv/h。

6.4 运行与监控

6.4.1 日常巡检

频次：每周一次（核应急电站），每月一次（无人机/机器人备用状态）；
内容：外观检查（腐蚀、损伤）、剂量率测量、运行参数记录；
记录：建立运行日志，保存至退役后 10 年。

6.4.2 远程监控

无人值守设施（海岛、极地）：卫星 telemetry，实时监测剂量率、温度、GPS 位置；
异常报警：剂量率突增（＞20%）、位移（＞10m）、温度异常（＞80℃），自动报警至控制中心。

6.4.3 限制进入

控制区：未经授权不得进入，进入需佩戴个人剂量计；
维修通道：设置迷宫或屏蔽门，减少散射辐射。

6.5 维护与检修

6.5.1 维护策略

免维护设计：核电池装置原则上免维护（设计寿命内不维修）；
预防性检查：外观、连接、屏蔽完整性检查，不拆解密封结构；
禁止行为：严禁拆解核热源封装、严禁钻孔/切割、严禁高温（＞300℃）作业。

6.5.2 故障处理

性能下降：功率降至 70%以下，计划退役；
密封失效：监测到泄漏（γ能谱异常、表面污染），立即启动应急预案，转移至应急容器；
外力损伤：撞击、火灾后，限制接近，专业人员评估后处理。

6.6 退役与处置

6.6.1 退役条件

设计寿命到期（功率不足）；
装置损坏无法修复；
任务变更无需使用。

6.6.2 退役程序

预退役检查：活度测量、表面污染测量、分类（清洁解控或返回后处理）；
拆除：使用长柄工具，快速转移至屏蔽容器；
运输：按 GB 11806 返回制造商或指定后处理设施（404 厂）；
处置：核素回收再利用（优先生）或固化深地质处置。

6.6.3 场址清污

监测：γ扫描+表面污染擦拭，＜0.4Bq/cm²（α）或＜4Bq/cm²（β）；
解控：达到清洁解控水平，经监管部门批准后无限制开放

7 辐射监测与防护

7.1 工作场所监测

7.1.1 监测项目

γ剂量率：控制区、监督区、边界，每月一次；
表面污染：设备表面、地面、工具，每季度一次；
气溶胶：如有密封破损风险，进行空气采样监测。

7.1.2 监测仪器

γ剂量率仪：能量响应 50keV-3MeV，量程 0.1μSv/h-10mSv/h，检定合格；
表面污染仪：α/β区分，探测效率＞30%；
记录：建立监测档案，异常立即调查。

7.2 个人剂量监测

7.2.1 外照射监测

所有 A 类人员必须佩戴个人剂量计，工作期间全程佩戴；
剂量计佩戴于胸前（铅围裙内，如有）；
季度报告，年有效剂量超 15mSv 调查原因，超 20mSv 调整工作岗位。

7.2.2 内照射监测

常规：每年一次尿样分析（^{238}Pu、^{241}Am）；
应急：疑似吸入/摄入时，立即进行全身计数或排泄物分析。

7.3 防护装备与措施

7.3.1 防护装备

基本：铅围裙（0.5mmPb）、铅手套、有机玻璃眼镜（防β）；
高级：铅屏蔽套（针对操作）、机器人远程操作臂（首选）；
医用植入：无菌手术衣、铅围裙（医生防护），患者无需防护（体内源）。

7.3.2 防护措施

屏蔽：利用现有屏蔽（装置外壳）或临时屏蔽（铅砖）；
距离：使用长柄工具（30-50cm），剂量率降低 9-25 倍；

时间：操作时间控制在预定限值内（如＜1h，剂量＜0.1mSv）。

8 应急准备与响应

8.1 应急预案分类

应符合表 2 规定。

表 2

类别	场景	响应级别	启动条件
I 级（一般）	表面污染、包装破损无泄漏	现场	剂量率＜2mSv/h，可控
II 级（较大）	密封失效、局部泄漏	场内	剂量率 2-100mSv/h，需专业处置
III 级（重大）	火灾、爆炸、大面积泄漏	场外	剂量率＞100mSv/h，需疏散
IV 级（特别重大）	核安保事件（盗窃、恐怖袭击）	国家	核材料失控

8.2 应急响应设计

8.2.1 初始响应（0-30min）

报警：发现异常立即报告（电话、警报器）；
撤离：非必要人员撤离至集合点；
隔离：设立警戒线，防止无关人员进入；
监测：使用便携式仪表确认剂量率范围。

8.2.2 应急处置（30min-4h）

I 级：穿戴防护装备，去污（湿纸巾擦拭），重新包装；
II 级：启动通风（如必要），使用机器人或长柄工具将装置转移至应急容器（铅罐或混凝土容器）；
III 级：请求外部支援（消防、医疗、核应急队伍），人员服用稳定碘（如 ^{137}Cs 涉及），启动环境监测；
IV 级：封锁现场，公安部门介入，启动核材料追踪。

8.2.3 医疗救援

外照射：脱离源，监测剂量，症状观察（恶心、呕吐提示急性放射病）；
内污染：脱去污染衣物，清水冲洗，催吐/洗胃（摄入早期），促排治疗（DTPA 螯合 ^{238}Pu/^{241}Am）；
伤口：挤压出血，生理盐水冲洗，外科清创。

8.3 事故调查与恢复

调查：组成调查组，分析原因（设备故障、人为失误、自然灾害）；
报告：24h 内向监管部门初报，7 日内详报；
恢复：去污至本底水平，修复屏蔽，恢复运行或退役；
总结：修订应急预案，再培训。

9 文件与记录管理

9.1 必备文件

辐射安全许可证（C 级）或备案表（B 级）；
安全分析报告（SAR）；
操作规程（SOP）；
应急预案；
人员培训记录；
监测记录（场所、个人）；
运行日志；
退役记录。

9.2 保存期限

设计、制造文件：永久保存；
运行、监测记录：保存至退役后 30 年；
人员剂量档案：终身保存。

附录 A

（规范性附录）

不同应用场景特殊操作要求

A.1 无人机用核电池（T/BYXT 169）

飞行前：检查屏蔽完整性，确认表面剂量率＜2.5μSv/h；
坠毁应急：立即定位（GPS），封锁半径 100m 区域，专业人员着防护服回收；
禁飞区：禁止在城市、机场、核设施上空飞行。

A.2 机器人用核电池（T/BYXT 170）

深海回收：使用 ROV（水下机器人）辅助，避免潜水员直接接触（如剂量率高）；
失压处理：深海装置上浮后，检查密封性，确认无海水渗入方可开启。

A.3 医用植入（T/BYXT 171）

术前：患者知情同意（辐射风险、MRI 限制、终身携带），活度复核；
术中：外科医生佩戴剂量计，使用长柄器械（如可能），快速植入；
术后：患者携带"植入卡"（注明核素、活度、医院、应急电话），避免火葬；
随访：每年检查电池功能，临终/死亡后必须取出（专人负责）。

A.4 应急电站（T/BYXT 172）

地震后：检查结构完整性（裂缝、倾斜），监测剂量率，确认无泄漏后恢复运行；
台风后：检查基础抗拔、屏蔽体位移，清理表面附着物；
安保巡逻：每日巡查，检查入侵报警、视频监控、门禁系统。

附录 B

（资料性）

典型事故案例与教训

B.1 密封失效案例

情景：某深海机器人回收后，发现 θ -TaN 壳体裂纹，海水渗入；
后果：^{238}Pu 微量泄漏，机器人舱室污染；
教训：回收后必须立即检漏，不能等待；深海高压后需缓慢减压，防止壳体疲劳。

B.2 盗窃事件案例

情景：海岛核应急站安保系统故障，RE-Block 被盗；
后果：核材料失控 48h，GPS 追踪后找回；
教训：多重技防+人防，GPS 必须独立供电（防拆除），与当地公安联网。

B.3 医疗植入错误案例

情景：心脏起搏器核电池植入后，患者未被告知 MRI 限制，3T MRI 扫描后装置移位；
后果：局部灼伤，手术调整；
教训：患者教育至关重要，植入卡必须注明"MRI Conditional"及条件。

附录 C

（资料性）

安全操作检查清单

C.1 运输前检查

[ ] 包装类型与活度匹配（A/B(U)型）
[ ] 表面剂量率测量（＜2mSv/h 货包表面）
[ ] 运输许可证/备案表
[ ] 驾驶员/押运员资质
[ ] 应急工具（剂量仪、屏蔽套、通讯设备）
[ ] GPS 定位正常

C.2 安装前检查

[ ] 场址辐射本底测量
[ ] 屏蔽计算复核
[ ] 人员剂量计佩戴
[ ] 工具准备（长柄、屏蔽）
[ ] 应急预案在场

C.3 运行期间检查（每月）

[ ] 外观（腐蚀、损伤、位移）
[ ] 表面剂量率（与基准值比较，＜20%变化）
[ ] GPS 位置（移动式装置）
[ ] 运行参数（电压、温度）
[ ] 监控摄像头（如有）

C.4 退役检查

[ ] 活度测量（与账面值符合）
[ ] 表面污染（α/β）
[ ] 包装完整性
[ ] 运输容器可用
[ ] 接收方确认
[ ] 台账注销。