ICS 87.040
CCS T47

团　体　标　准

T/BYXT 172-2026

稀土核能应急发电站

Rare earth nuclear emergency power station

（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 分类与命名 2
4.1 分类 2
4.2 命名规则 3
5 技术要求 3
5.1 核素与放射防护要求 3
5.2 电性能要求 4
5.3 热性能与废热利用 4
5.4 环境适应性 4
5.5 安全与核安保 5
5.6 控制与监控系统 5
6 试验方法 6
6.1 核素与辐射检验 6
6.2 电性能试验 6
6.3 环境适应性试验 6
6.4 安全与安保试验 6
7 检验规则 7
7.1 检验分类 7
7.2 判定规则 7
8 标志、包装、运输、贮存 7
8.1 标志 7
8.2 包装与运输 7
8.3 退役 7
附录 A（规范性附录） 8
A.1 8
附录 B（资料性） 9
B.1 地震试验 9
B.2 台风/风暴潮试验 9
B.3 EMP 试验 9
附录 C（资料性） 10
C.1 初始投资 10
C.2 运行成本 10
C.3 对比（vs 柴油发电，2kW，20 年） 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。

稀土核能应急发电站

1 范围

本文件规定了稀土核能应急发电站的分类、技术要求、试验方法、检验规则及标志、包装、运输、贮存与退役。

本文件适用于：

a) 极地科考站（-60℃低温，无燃料补给，功率 1-10kW）；

b) 海岛防御工事（高盐雾、17 级台风，功率 5-10kW）；

c) 战略通信枢纽（抗 EMP 打击，孤岛运行，功率 10kW 级）；

d) 灾害应急中心（地震/洪水后电网瘫痪，应急供电，功率 1-5kW）；

e) 偏远边防哨所（无人值守，＞20 年免维护，功率 1-3kW）。

本文件不适用于：

a) 城市人口密集区（公众剂量限制过严，经济性不足）；

b) 移动载具（车载/舰载核电源，见 T/BYXT 170）；

c) 并网主电源（功率＜10kW，仅作为微网/孤岛电源）。

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 18871 电离辐射防护与辐射源安全基本标准

GB 11806 放射性物质安全运输规程

GB/T 13625 核安全级电气设备抗震试验

GB 50260 电力设施抗震设计规范

GB/T 2423.17 电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 Ka：盐雾

GB/T 4208 外壳防护等级（IP 代码）

GJB 150.3A 军用装备实验室环境试验方法 第 3 部分：高温试验

GJB 150.4A 军用装备实验室环境试验方法 第 4 部分：低温试验

GJB 151B 军用设备和分系统电磁发射和敏感度要求与测量

GJB 152A 军用设备和分系统电磁发射和敏感度测量

EJ/T 20159 放射性同位素热源通用规范

HJ 61 辐射环境监测技术规范

T/BYXT 169-2026 稀土核能长航时无人机动力电池

T/BYXT 250.1-2026 稀土核能电池 第 1 部分：术语定义与核素分类

T/BYXT 250.3-2026 稀土核能电池 第 3 部分：θ-TaN 热界面材料技术规范

T/BYXT 250.5-2026 稀土核能电池 第 5 部分：RE-KPF_6级联制冷器性能测试

IEC 61000-4-2 电磁兼容性（EMC） 第 4-2 部分：试验和测量技术 静电放电抗扰度试验

ISO 12944 色漆和清漆 防护涂料体系对钢结构的防腐蚀保护

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

核应急电站 nuclear emergency power station

由核热源（同位素）、能量转换系统（TEG/斯特林/热光伏）、热管理系统、电力输出系统及核安保设施组成的固定式分布式电源，具备长期孤岛运行能力。

3.2

RE-Block rare earth energy block

标准化的核发电基本模块，通常以 1kW 电功率为单元，采用 ^{241}Am 或 ^{238}Pu 为热源，具备独立运行能力，可通过并联扩展功率。

3.3

综合能量效率 combined energy efficiency

电输出功率与废热利用（供暖/制冷）能量之和与核衰变热功率的比值，反映能源梯级利用程度。

3.4

孤岛模式 island mode

核应急电站独立于公共电网运行，为局部负荷供电，具备电压/频率自主调节能力（VF 控制）。

3.5

黑启动能力 black start capability

在完全失去外部电源（包括电网和柴油发电机）的情况下，核应急电站依靠自身核热源自启动，建立电压并带载的能力。

3.6

核安保 nuclear security

防止核材料被盗、破坏、非法转移及应对恶意行为的措施，包括物理保护、技防、人员保卫等。

3.7

RE-KPF_6热泵 RE-KPF_6 heat pump

利用 RE-KPF_6电卡效应，将核废热从低温热源（-60℃环境）泵送至高温热端（供暖系统）的装置，性能系数 COP＞3。

4 分类与命名

4.1 分类

4.1.1 按功率等级分类

RE-Station-S：小型，100W-1kW，单模块，适用于哨所/观测站；
RE-Station-M：中型，1-5kW，2-5 模块并联，适用于科考站/通信站；
RE-Station-L：大型，5-10kW，6-10 模块并联，适用于基地/应急中心。

4.1.2 按应用环境分类

Polar：极地型，-60℃低温启动，抗冰雪；
Island：海岛型，C5-M 级防腐，抗 17 级台风；

Bunker：掩体型，抗 EMP，防爆，地下/半地下安装；
Mobile-Carrier：车载型（固定于特制车辆，非道路行驶），快速部署。

4.1.3 按核素类型分类

Am241：镅-241 型，433 年半衰期，超长寿；
Pu238：钚-238 型，87 年半衰期，高功率密度；
Hybrid：混合核素型，功率可调。

4.2 命名规则

RE-Station-□-□-□-□
第 1 位：功率等级（S/M/L）
第 2 位：环境类型（Polar/Island/Bunker/Mobile）
第 3 位：核素类型（Am241/Pu238/Hybrid）
第 4 位：版本号（V1.4 等）
示例：RE-Station-M-Polar-Am241-V1.4 表示中型、极地应用、^{241}Am 热源、V1.4 版本。

5 技术要求

5.1 核素与放射防护要求

5.1.1 核素活度限值

单 RE-Block 活度：＜3.7×10^{13} Bq（1000Ci，^{241}Am）或＜3.7×10^{12} Bq（100Ci，^{238}Pu）；
总装机容量：单个场址＜3.7×10^{14} Bq（10^{4}Ci），需报国家核安全监管部门审批。

5.1.2 辐射屏蔽

控制区：电站边界外剂量率＜2.5μSv/h；
监督区：边界外 30m 内剂量率＜0.25μSv/h；
公众区：边界外剂量率＜0.1μSv/h，年有效剂量＜0.1mSv；
屏蔽结构：θ-TaN/钨/铅复合屏蔽，模块化可更换。

5.1.3 抗震设计

设计基准地震（DBE）：水平加速度 0.3g，垂直 0.2g，结构弹性；
安全停堆地震（SSE）：水平加速度 0.5g，垂直 0.33g，结构不倒塌，放射性不泄漏（参照 GB 50260 核电厂抗震标准）。

5.1.4 抗风设计（海岛型）

设计风速：60m/s（17 级台风），阵风 70m/s；
基础：抗拔力＞500kN，防风暴潮（水位+5m）。

5.2 电性能要求

5.2.1 输出参数

电压：220V/380V AC，三相四线制，50Hz±0.5%；
电压调整率：＜±5%（0-100%负载）；
频率稳定度：＜±0.5%（孤岛模式）；
功率因数：＞0.95（滞后或超前）；
谐波失真：＜5%（THD），关键负荷＜3%。

5.2.2 模块化与冗余

并联运行：≥10 台 RE-Block 并联，均流不平衡度＜5%；
N+1 冗余：关键负荷（通信/指挥）配置备用模块，在线切换时间＜20ms；
黑启动：无需外部电源，核热源自启动建立电压时间＜30min（从冷态）。

5.2.3 电能质量

瞬态响应：负载阶跃变化 50%，电压恢复时间＜100ms，超调＜10%；
短路保护：短路电流限制在 1.5 倍额定，10ms 内脱扣。

5.3 热性能与废热利用

5.3.1 转换效率

电效率：＞20%（TEG 或斯特林），＞15%（热光伏）；
综合能量效率：＞60%（含废热供暖/制冷利用）。

5.3.2 热管理

θ-TaN 热管：热阻＜0.5K/W，热端温度 300-800℃，冷端＜100℃；
RE-KPF_6热泵：COP＞3.0（-40℃环境），COP＞2.0（-60℃环境）；
废热利用：冬季供暖（热风/热水），夏季吸收式制冷（可选）。

5.3.3 极端温度运行

低温启动：-60℃环境温度下，RE-KPF_6热泵从环境吸热，30min 内建立额定电压；
高温运行：+55℃环境温度下，散热能力不衰减，壳体温度＜80℃。

5.4 环境适应性

5.4.1 盐雾腐蚀（海岛型）

盐雾试验：按 ISO 12944，C5-M 级（海洋高盐度），1000h；
外壳材料：θ-TaN 陶瓷或 316L 不锈钢+稀土涂层（CeO_2 改性），腐蚀速率＜0.01mm/年。

5.4.2 沙尘防护（极地/沙漠）

防护等级：IP6X（完全防尘）；
表面涂层：PTFE/稀土复合涂层，防积雪/积冰（表面能＜20mN/m）。

5.4.3 电磁兼容性

发射：符合 GJB 151B，CE102/RE102，不干扰通信设备；
抗扰：
静电放电：±15kV（IEC 61000-4-2）；
辐射敏感度：RS103，50V/m；
EMP 加固：核电磁脉冲（NEMP）环境下，功能不丧失（GJB 151B CS116）。

5.5 安全与核安保

5.5.1 物理保护（核安保）

三层屏障：
外围：围栏（2.5m 高）+入侵探测（红外/振动）+照明；
中间：监控（24h 视频监控+AI 行为识别）+巡逻；
核心：RE-Block 容器（θ-TaN 陶瓷，防切割/钻孔）+GPS/北斗追踪；
响应：入侵报警后，＜15min 内警卫响应。

5.5.2 防扩散设计

核素固化：CERMET 或玻璃固化，酸溶出率＜10^{-6}g/(cm^2·d)；
自毁：非法移动时，远程激活熔毁装置（电容器放电熔毁电路，非核爆炸）。

5.5.3 事故安全

火灾：800℃油火 1h，放射性释放＜0.1%（包容完整性）；
坠落：从运输车上坠落（1m 高），结构完整；
洪水：淹没于水下 10m，72h 不进水（IPX8）。

5.6 控制与监控系统

5.6.1 AI-BMS 3.0

功能：孤岛/并网自动切换、负荷管理、故障预测（剩余寿命预测）；
通信：卫星通信（铱星/北斗），遥测遥信，远程软件升级。

5.6.2 无人值守

免维护周期：＞10 年（除安保巡检外，无需技术维护）；
自诊断：故障自动隔离（故障模块退出，冗余模块投入）。

6 试验方法

6.1 核素与辐射检验

同 T/BYXT 169-2026 第 6.1 条，增加：
均匀性检验：γ扫描，确认核素分布均匀（变异系数＜5%）。

6.2 电性能试验

6.2.1 并联运行试验

3 台以上 RE-Block 并联，测试均流特性、环流抑制、单模块故障退出。

6.2.2 黑启动试验

完全断电（包括控制电源）48h 后，依靠核热自启动，记录建立电压时间。

6.2.3 负载试验

0-25-50-75-100-110%负载阶梯，记录电压、频率、效率。

6.3 环境适应性试验

6.3.1 地震模拟试验

振动台：三向六自由度，DBE/SSE 加速度时程，检验结构完整性。

6.3.2 台风试验

风洞：60m/s 稳态风+70m/s 阵风，测试结构应力、基础抗拔。

6.3.3 盐雾/沙尘试验

同 T/BYXT 170-2026 第 6.3 条，周期延长至 1000h。

6.4 安全与安保试验

6.4.1 防火试验

油池火：800℃，1h，测量放射性气溶胶释放（滤纸采样+γ谱仪）。

6.4.2 EMP 试验

横电磁波（TEM）小室或混响室，50kV/m 脉冲电场，检验功能保持。

6.4.3 安保系统试验

模拟入侵：测试探测、报警、追踪响应时间。

7 检验规则

7.1 检验分类

型式检验：设计定型、重大设计变更、停产恢复；
出厂检验：逐台 RE-Block：外观、活度、输出电压；抽样：密封性、绝缘；
现场验收：安装后的系统联调、并网/孤岛切换试验。

7.2 判定规则

安全功能（抗震、防火、安保）任一项不合格，不得出厂；
性能指标不合格，允许整改后复检 1 次。

8 标志、包装、运输、贮存

8.1 标志

永久性铭牌：核素、活度、编号、制造商、警示标志；
场址标识：边界警示牌（三叶形），24h 应急电话；
电子标签：RFID+GPS，防盗窃追踪。

8.2 包装与运输

模块包装：B(U)型包装（GB 11806），满足 9m 跌落、800℃火烧、水浸试验；
场址建设：模块化吊装，混凝土基础预埋。

8.3 退役

设计寿期末：功率衰减至 50%以下时，整体拆除；
回收：返回 404 厂或指定后处理设施，核素回收或固化处置；
场址清污：监测无残留放射性，达到无限制开放水平（＜0.25μSv/h）。

附录 A

（规范性附录）

核素选型与功率配置指南

A.1

应用场景	功率需求	推荐核素	RE-Block 数量	设计寿命	特殊配置
极地科考站	5kW	^{241}Am	5×1kW	100 年	RE-KPF_6热泵供暖
海岛通信站	3kW	^{238}Pu	3×1kW	50 年	抗 17 级风，盐雾防护
战略掩体	10kW	^{241}Am+^{238}Pu	10×1kW	80 年	EMP 加固，地下安装
灾害应急	1kW	^{238}Pu	1×1kW	50 年	车载快速部署
边防哨所	2kW	^{241}Am	2×1kW	100 年	无人值守，卫星监控

附录 B

（资料性）

极端环境试验方法

B.1 地震试验

设备：三向六自由度振动台；
输入：人工合成地震波，DBE（0.3g，5Hz-33Hz），持续时间 30s；
监测：加速度、应变、放射性泄漏。

B.2 台风/风暴潮试验

风洞：风速 60m/s，攻角 0-180°；
压力传感器：测量壳体风压；
基础试验：抗拔力静态加载至 500kN。

B.3 EMP 试验

电流注入（CI）：电源线、信号线注入脉冲电流（10kA 峰值）；
辐射场：50kV/m，波形 10/350μs，检验功能保持。

附录 C

（资料性）

全生命周期经济性评价模型

C.1 初始投资

RE-Block 单元：$50k/模块（含屏蔽、安装）；
基础设施：$20k（极地/海岛基础、安保设施）；
总投资：$70k×N 模块。

C.2 运行成本

燃料费：$0（核素一次性投入）；
维护费：$1k/年（安保巡检，非技术维护）；
20 年总成本：$70kN + $20k。

C.3 对比（vs 柴油发电，2kW，20 年）

柴油：初始$5k + 燃料$80k + 维护$20k = $105k；
核能：初始$140k（2 模块）+ $20k = $160k；
50 年周期：柴油$300k（多次更换设备），核能$160k（一次性）。
结论：＞30 年应用场景，核应急电站经济性优于柴油。