

T/CWDPA

团 体 标 准

T/CWDPA XXXX—XXXX

核级电缆用高纯无氧铜导体

High-purity oxygen-free copper conductor for nuclear-grade cables

（征求意见稿）

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

中国西部开发促进会 发 布

目 次

前 言 III

1 规范性引用文件 1

2 范围 1

3 术语和定义 1

4 牌号和分类 2

 4.1 牌号 2

 4.2 分类 2

5 技术要求 2

 5.1 化学成分要求 2

 5.2 物理性能 2

 5.3 力学性能 2

 5.4 表面质量 2

 5.5 导体结构与尺寸偏差 2

 5.6 氢脆性能 3

 5.7 抗辐照性能 3

 5.8 晶粒度 3

 5.9 热老化性能 3

6 试验方法 3

 6.1 化学成分测定 3

 6.2 物理性能试验 3

 6.3 力学性能试验 3

 6.4 表面质量检查 4

 6.5 尺寸测量 4

 6.6 氢脆试验 4

 6.7 抗辐照性能试验 4

 6.8 晶粒度检验 4

 6.9 热老化性能试验 4

7 检验规则 4

 7.1 检验分类 4

 7.2 出厂检验 4

 7.3 型式检验 5

 7.4 组批和抽样 5

 7.5 检验项目 5

 7.6 判定规则 5

8 标志、包装、运输和贮存 5

8.1 标志 5

8.2 包装 6

8.3 运输 6

8.4 贮存 6

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 提出。

本文件由中国西部开发促进会归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件首次发布。

核级电缆用高纯无氧铜导体

1 范围

本文件规定了核级电缆用高纯无氧铜导体的牌号和分类、技术要求、试验方法、检验规则、包装、标志、运输和贮存等内容。

本文件适用于核电站、核设施及核能相关工程中1E级安全级电缆所使用的高纯无氧铜导体，包括电力电缆、控制电缆、仪表电缆等。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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/T 228.1 金属材料 拉伸试验 第1部分：室温试验方法
- GB/T 231.1 金属材料 布氏硬度试验 第1部分：试验方法
- GB/T 3048.2 电线电缆电性能试验方法 第2部分：金属材料电阻率试验
- GB/T 3956 电缆的导体
- GB/T 4909.2 裸电线试验方法 第2部分：尺寸测量
- GB/T 4909.5 裸电线试验方法 第5部分：弯曲试验 反复弯曲
- GB/T 5121（所有部分） 铜及铜合金化学分析方法
- GB/T 5231 加工铜及铜合金牌号和化学成分
- GB/T 6394 金属平均晶粒度测定方法
- GB/T 8170 数值修约规则与极限数值的表示和判定
- GB/T 14265 金属材料中氢、氧、氮、碳和硫分析方法通则
- GB/T 22577—2025 核电站用1E级电缆 通用要求
- GB/T 23606 铜氢脆检验方法
- GB/T 26168.2 确定电离辐射的影响 第2部分：辐照和试验程序
- GB/T 32791 铜及铜合金导电率涡流测试方法
- YS/T 335 无氧铜含氧量金相检验方法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

核级电缆 nuclear-grade cable

指用于核电站、核设施及核能相关工程中1E级安全级电缆，能够在设计寿命内承受高温、高湿、辐射、化学腐蚀等严酷环境，确保在正常运行和事故工况下保持功能完整性的电缆。

3.2

高纯无氧铜导体 nuclear-grade high-purity oxygen-free copper conductor

采用真空熔炼-连铸-拉拔工艺制备，氧含量及有害杂质元素远低于普通电工铜，满足核电站辐照、高温、长寿命工况要求，用于核安全等级电缆的铜质导电构件。

3.3

1E 级 class 1E

完成反应堆紧急停堆、安全壳隔离、堆芯冷却以及从安全壳和反应堆排出热量所必需的，或者是防止放射性物质向环境大量排放所必需的系统和设备的安全等级。

3.4

累积辐照剂量 cumulative irradiation dose

在设计寿命周期内，导体所经受的电离辐射总剂量，单位为戈瑞（Gy）。

4 牌号和分类

4.1 牌号

核级电缆用高纯无氧铜导体应采用 GB/T 5231 中规定的 TU00、TU0、TU1 牌号。

4.2 分类

4.2.1 按结构形式分为：实心导体、绞合导体。

4.2.2 绞合导体按紧压状态分为：非紧压型、紧压型。

5 技术要求

5.1 化学成分要求

无氧铜导体的化学成分应符合GB/T 5231的规定。

5.2 物理性能

无氧铜导体的物理性能应符合表1的规定。

表 1 物理性能

项目	牌号		
	TU00	TU0	TU1
导电率（20℃）/（%IACS）	≥101	≥100	≥100
体积电阻率（ ρ_{20} ）/（ $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ）	≤0.01700	≤0.01707	≤0.01715

5.3 力学性能

导体成品应为软态（成品退火状态），其常温力学性能应符合表2的规定。

表 2 力学性能

项目	牌号		
	TU00	TU0	TU1
抗拉强度/MPa	≥190	≥190	≥200
断裂伸长率/%	≥38	≥36	≥35
布氏硬度HBW	40~55	40~55	50~60
反复弯曲次数（ $\phi \leq 1.0\text{mm}$ ）	≥9次	≥8次	≥6次

5.4 表面质量

导体表面应光洁、平整，无裂纹、起皮、毛刺、氧化斑点、油污及其他机械损伤；绞合导体应紧密圆整，无跳线、断股、松股现象。

5.5 导体结构与尺寸偏差

5.5.1 实心导体

实心圆铜线的标称直径应符合GB/T 3956中第1种导体的规定，直径偏差应不超过标称直径的±1%。

5.5.2 绞合导体

绞合导体应采用正规同心绞合结构，单线直径、绞合节径比应符合GB/T 3956中第2种导体的规定；导体外径偏差应不超过标称外径的2%。

5.6 氢脆性能

导体按GB/T 23606规定的闭弯法进行氢脆试验，经氢气气氛850℃±10℃保温20min淬冷处理后，进行180° 闭合弯曲试验（弯曲芯轴直径等于试样直径），试样弯曲外表面不得出现肉眼可见的裂纹或开裂。

5.7 抗辐照性能

导体经⁶⁰Co γ射线室温空气辐照后，性能变化应符合表3的规定。

表 3 辐照后性能变化

项目	牌号		
	TU00（500kGy）	TU0（250kGy）	TU1（100kGy）
电阻率变化率/%	≤1.5	≤2.0	≤3.0
抗拉强度变化率/%	≤±8	≤±10	≤±12
断裂伸长率保留率/%	≥90	≥85	≥80

5.8 晶粒度

导体成品退火后晶粒度应均匀，平均晶粒度应为0.02mm~0.05mm，无粗大晶粒及混晶组织。

5.9 热老化性能

导体经120℃×1000h空气热老化后，电阻率变化率应不大于2%，断裂伸长率保留率应不小于90%。

6 试验方法

6.1 化学成分测定

主成分及金属杂质元素：按GB/T 5121（所有部分）的规定进行测定，痕量杂质采用电感耦合等离子体质谱法（ICP-MS）分析。

氧含量按GB/T 14265的规定，采用惰性气体熔融-红外吸收法测定；或按YS/T 335的规定执行，采用金相检验法。

6.2 物理性能试验

6.2.1 导电率测定

导电率测试按GB/T 32791的规定执行，测试环境温度为20℃±5℃。

6.2.2 体积电阻率测定

按照GB/T 3048.2的规定进行，采用直流低电阻测试仪，试样长度不小于1m，环境温度控制在20℃±0.5℃范围内。

6.3 力学性能试验

6.3.1 抗拉强度和断裂伸长率测定

抗拉强度和断裂伸长率按GB/T 228.1的规定执行。

6.3.2 布氏硬度测定

硬度试验按GB/T 231.1的规定进行。

6.3.3 反复弯曲试验

反复弯曲试验按GB/T 4909.5的规定进行。

6.4 表面质量检查

在正常光照条件下采用目视检查，必要时采用10倍放大镜观察表面缺陷。

6.5 尺寸测量

尺寸测量按GB/T 4909.2的规定进行。实心导体采用千分尺测量同一截面相互垂直的两个直径，取平均值；绞合导体采用游标卡尺测量外径。

6.6 氢脆试验

按GB/T 23606中规定的闭合弯曲法执行。采用纯度 $\geq 99.999\%$ 的氢气，升温至 $850^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ 保温20min后水淬，随后进行 180° 闭合弯曲试验，目视检查表面裂纹。

6.7 抗辐照性能试验

6.7.1 按GB/T 26168.2的规定进行，采用 ^{60}Co γ 辐射源，剂量率为 $0.5\text{ kGy/h} \sim 1.0\text{ kGy/h}$ ，辐照在室温空气环境下进行。辐照结束后48h内完成电阻率及力学性能测试，计算性能变化率。

6.7.2 电阻率变化率按式（1）计算。

$$\Delta\rho = \frac{\rho_1 - \rho_0}{\rho_0} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$\Delta\rho$ ——电阻率变化率，%；

ρ_0 ——辐照前 20°C 电阻率，单位为欧姆平方毫米每米（ $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ）；

ρ_1 ——辐照后 20°C 电阻率，欧姆平方毫米每米（ $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ）。

6.7.3 抗拉强度变化率按式（2）计算。

$$\Delta R_m = \frac{R_{m1} - R_{m0}}{R_{m0}} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

式中：

ΔR_m ——抗拉强度变化率，%；

R_{m0} ——辐照前抗拉强度，单位为兆帕（MPa）；

R_{m1} ——辐照后抗拉强度，单位为兆帕（MPa）。

6.7.4 断裂伸长率保留率按式（3）计算。

$$A_r = \frac{A_1}{A_0} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

式中：

A_r ——断裂伸长率保留率，%；

A_0 ——辐照前断裂伸长率，%；

A_1 ——辐照后断裂伸长率，%。

6.8 晶粒度检验

按GB/T 6394的规定制备金相试样，采用三氯化铁盐酸水溶液腐蚀后，在光学显微镜下采用截线法测定平均晶粒度。

6.9 热老化性能试验

将试样置于电热鼓风干燥箱中，温度设定为 $120^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，老化1000 h后取出冷却至室温，测试电阻率及力学性能，按照式（1）～式（3）并计算变化率。

7 检验规则

7.1 检验分类

产品检验分为出厂检验和型式检验。

7.2 出厂检验

每批产品应进行出厂检验，检验合格并附有产品合格证后方可出厂。

7.3 型式检验

有下列情况之一时，应进行型式检验：

- a) 新产品定型鉴定时；
- b) 产品设计、工艺、材料有重大改变，可能影响产品性能时；
- c) 停产一年以上恢复生产时；
- d) 正常生产每两年进行一次；
- e) 国家质量监督机构提出要求时。

7.4 组批和抽样

同一牌号、同一规格、同一生产工艺、同一退火炉号的产品为一批，每批重量不超过5t。

每批随机抽取3盘（卷）试样进行尺寸、表面及电性能检验；每批取1组试样进行化学成分、力学性能、氢脆及密度试验。

7.5 检验项目

产品出厂检验和型式检验的检验项目见表4。

表 4 检验项目

项目	出厂检验	型式检验
化学成分测定	√	√
导电率测定	—	√
体积电阻率测定	√	√
抗拉强度测定	√	√
断裂伸长率测定	√	√
布氏硬度测定	√	√
反复弯曲测定	—	√
表面质量检查	√	√
尺寸测量	√	√
氢脆试验	√	√
抗辐照性能试验	—	√
晶粒度检验	—	√
热老化性能试验	—	√

7.6 判定规则

7.6.1 检验结果的数值按 GB/T 8170 的规定进行修约，并采用修约值比较法判定。

7.6.2 出厂检验项目全部符合本文件要求时，判定该批产品合格。若有一项不合格，应加倍抽样对不合格项目进行复检；复检仍不合格，则判定该批产品不合格。

7.6.3 型式检验全部项目符合本文件要求时，判定型式检验合格。若辐照稳定性、氢脆性能、密度关键项目不合格，则直接判定不合格；其他项目不合格时，允许加倍抽样复检，复检仍不合格则判定不合格。

8 标志、包装、运输和贮存

8.1 标志

8.1.1 每盘（卷）成品应附有清晰、牢固的标志，内容包括：

- a) 产品名称、牌号、规格、批号；
- b) 生产日期；
- c) 质量合格标识；
- d) 生产厂名称及地址。

8.1.2 每批产品出厂时应附有质量证明书，证明产品符合本文件要求。质量证明书应包括：

- a) 生产厂名称;
- b) 产品名称、牌号、规格、批号;
- c) 批量、重量;
- d) 出厂检验结果及检验结论;
- e) 本文件编号;
- f) 出厂日期、质量检验部门印章。

8.1.3 包装箱外应标明产品名称、牌号、规格、净重、毛重、“防潮”、“轻放”等标识。

8.2 包装

产品应采用木盘或防静电塑料盘缠绕包装，缠绕应整齐紧密，层间衬垫中性绝缘纸。成品应采用防潮铝塑复合膜密封包装，内置干燥剂，外层采用纸箱或木箱加固，确保运输过程中不受机械损伤及潮气侵蚀。

8.3 运输

运输过程中应避免雨淋、受潮、剧烈碰撞及化学腐蚀介质接触；装卸时严禁抛摔，防止盘具变形损伤导体。

8.4 贮存

产品应贮存在干燥、通风、无腐蚀性气体的库房内，远离热源及化学危险品。贮存环境温度为-10℃～40℃，相对湿度不大于70%。在符合本文件贮存条件下，产品保质期为24个月。
