

ICS 29.050

K10

团 体 标 准

T/CMSA 0004—2018

柔性复合接地体

Flexible and composite earth electrode

2018 - 04 - 24 发布

2018 - 04 - 24 实施

中国气象服务协会 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 产品分类	2
5 技术要求	2
6 试验方法	5
7 检验规则	11
8 标识、包装、运输和贮存	12
参考文献	14

前 言

本标准参照 GB/T 1.1-2009 给出的规则起草。

本标准由中国气象服务协会提出并归口。

本标准起草单位：武汉爱劳高科技有限责任公司、武汉市标准化研究院、武汉黄门电工科技有限公司、武汉爱伦菲尼克斯科技有限责任公司、国网上海市电力公司电力科学研究院。

本标准主要起草人：刘旭、黄青、阮江军、刘大为、蔡细楚、曾伟、文武、解子凤、蔡永辉、黄道春、姜克强、罗家明、罗保庆、王姣、郭斌、胡元潮、崔振兴、常立、司文荣。

柔性复合接地体

1 范围

本标准规定了柔性复合接地体的产品分类、技术要求、试验方法、检验规则、标识、包装、运输和贮存。

本标准适用于电力、通信、气象、石化、交通、广电等系统中各种复杂地形和强腐蚀土壤地区用作接地保护的接地体。

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/T 528 硫化橡胶或热塑性橡胶 拉伸应力应变性能的测定

GB/T 531.1 硫化橡胶或热塑性橡胶 压入硬度试验方法 第1部分：邵氏硬度计法（邵尔硬度）

GB/T 1682 硫化橡胶 低温脆性的测定 单试样法

GB/T 2423.1 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验A：低温

GB/T 2423.2 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验B：高温

GB/T 2439 硫化橡胶或热塑性橡胶 导电性能和耗散性能电阻率的测定

GB/T 2900.1 电工术语 基本术语

GB/T 3048.4 电线电缆电性能试验方法 第4部分：导体直流电阻试验

GB/T 4909.2 裸电缆试验方法 第2部分：尺寸测量

GB/T 10707 橡胶燃烧性能的测定

GB/T 16927.1 高电压试验技术 第1部分：一般定义及试验要求

GB/T 16927.2 高电压试验技术 第2部分：测量系统

GB/T 21698 复合接地体技术条件

JB/T 7901 金属材料实验室均匀腐蚀全浸试验方法

3 术语和定义

GB/T 2900.1 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

复合接地体 composite earth electrode

由导电非金属材料、电解质材料、化合填充物组成的，能抵抗土壤中水分、盐、酸、碱等因素侵蚀的接地体。

3.2

柔性复合接地体 flexible and composite earth electrode

可弯曲成一定直径圆弧且不影响性能的复合接地体。

3.3

导电橡胶 **conductive rubber**

具有导电性能、电阻率小于 $0.2 \Omega \cdot m$ 的硫化胶料。

3.4

径向电阻 **radial resistance**

单位长度的导电橡胶型柔性复合接地体包覆层外侧与芯线间电压与径向电流的比值。

3.5

石墨基型柔性复合接地体 **graphite flexible and composite earth electrode**

由石墨、无机非金属或化学纤维、粘接剂等材料经膨化、压制、捻合而成的单股石墨线经不同布线和编制方式制成的绳索型复合接地体。

3.6

接续件 **connection hardware**

用于连接接地引下线和石墨基型柔性复合接地体，或连接多条石墨基型柔性复合接地体的部件。

3.7

接续电阻 **connection resistance**

接续件与石墨基型柔性复合接地体之间的接触电阻。

4 产品分类

柔性复合接地体分为导电橡胶型柔性复合接地体和石墨基型柔性复合接地体两种类型。

5 技术要求

5.1 导电橡胶型柔性复合接地体

5.1.1 外观要求

表面光滑、无破损，无直径大于 2 mm 的瘤状突起，无孔洞和露铜现象。

5.1.2 尺寸要求

尺寸应满足设计图纸的要求，其中外径测量值与标称值的误差不超过 1 mm ，芯线截面测量值与标称值的误差不大于 5% ，长度测量值与标称值的误差不大于 0.5% 。

5.1.3 性能要求

5.1.3.1 电气性能要求

5.1.3.1.1 铜芯直流电阻

导电橡胶型柔性复合接地体铜芯直流电阻要求见表 1。

表1 导电橡胶型柔性复合接地体铜芯直流电阻要求

芯线截面 (mm ²)	20℃ 环境下, 铜芯直流电阻不大于/ (Ω/km)
35	0.53
50	0.39
70	0.27
95	0.20

5.1.3.1.2 径向电阻

导电橡胶型柔性复合接地体径向电阻应不大于 0.5 Ω。

5.1.3.1.3 冲击电流耐受能力

1 m 长度的接地体经过 8/20 μs、10 kA 冲击电流耐受能力试验后, 径向电阻变化率不大于 30%, 外观无明显损伤; 1 m 长度的接地体经过 8/20 μs、100 kA 冲击电流耐受能力试验后, 外观无明显损伤。

5.1.3.1.4 工频电流耐受能力

1 m 长度的接地体经过 100 A 工频电流耐受能力试验后, 径向电阻变化率不大于 30%, 外观无明显损伤; 1 m 长度的接地体经过 200 A 工频电流耐受能力试验后, 外观无明显损伤。

5.1.3.2 物理性能要求

5.1.3.2.1 耐低温性能

在 -50℃ 环境下持续试验 2 h, 试验后满足:

- 外观满足 5.1.1 的要求;
- 径向电阻满足 5.1.3.1.2 的要求;
- 表面不应出现开裂现象。

5.1.3.2.2 耐高温性能

在 150℃ 环境下持续试验 2 h, 试验后满足:

- 外观满足 5.1.1 的要求;
- 径向电阻满足 5.1.3.1.2 的要求;
- 表面不应出现气泡、软化现象。

5.1.3.2.3 耐腐蚀性能

在室温下分别经过 5% 硫酸、5% 氢氧化钠溶液和 5% 氯化钠溶液腐蚀试验后, 腐蚀率不大于 0.01 mm/a, 外观无明显损伤。

5.1.3.3 导电橡胶性能要求

导电橡胶性能要求见表 2。

表2 导电橡胶性能要求

性能指标	性能要求
体积电阻率	$\leq 0.1 \Omega \cdot m$
脆性温度	$\leq -55 \text{ }^\circ\text{C}$
拉伸强度	$\geq 3.5 \text{ MPa}$
扯断伸长率	$\geq 100\%$
邵氏 A 硬度	50 度~80 度

注：性能要求的各项数据是在反复严格试验的基础上确定。

5.2 石墨基型柔性复合接地体

5.2.1 外观要求

外观紧致、粗细均匀，表面平整光滑，无明显断线续接点。

5.2.2 尺寸要求

尺寸应满足设计图纸的要求，其中直径的测量值与标称值的误差不大于5%。

5.2.3 性能要求

5.2.3.1 电气性能要求

石墨基型柔性复合接地体电气性能应满足以下要求：

- 电阻率不大于 $2 \times 10^{-6} \Omega \cdot m$ ；
- 接续电阻不大于 $4 \text{ m}\Omega$ ；
- 经 $8/20 \mu\text{s}$ 、 50 kA 标准雷电流冲击耐受能力试验后电阻率的变化率不大于 10%，接续电阻不大于 $4 \text{ m}\Omega$ ；
- 经 2000 A 、 0.5 s 工频电流耐受能力试验后电阻率的变化率不大于 10%，接续电阻不大于 $4 \text{ m}\Omega$ 。

5.2.3.2 机械性能要求

5.2.3.2.1 抗弯性能

经过曲率半径不小于 0.3 m 的正反方向各 10 次弧度为 90° 的折弯后，电阻率的变化率不大于 10%。

5.2.3.2.2 抗扭性能

经过每米 5 捻的扭转后，电阻率的变化率不大于 10%，接续电阻不大于 $4 \text{ m}\Omega$ 。

5.2.3.2.3 抗拉性能

施加 1 kN 的拉力并保持 10 s 后，电阻率的变化率不大于 10%，接续电阻不大于 $4 \text{ m}\Omega$ 。

5.2.3.3 物理性能要求

5.2.3.3.1 耐低温性能

在-50℃环境下持续试验2h，试验后满足：

- 外观满足5.2.1要求；
- 电阻率的变化率不大于10%；
- 接续电阻不大于4 mΩ。

5.2.3.3.2 耐高温性能

在150℃环境下持续试验2h，试验后满足：

- 外观满足5.2.1要求；
- 电阻率的变化率不大于10%；
- 接续电阻不大于4 mΩ。

5.2.3.3.3 耐腐蚀性能

耐腐蚀性能满足5.1.3.2.3的要求。

5.2.3.4 阻燃性能要求

按照GB/T 10707中的垂直燃烧法进行阻燃性能试验，试验后燃烧性能等级应属于FV-0级。

6 试验方法

6.1 导电橡胶型柔性复合接地体

6.1.1 外观检查

目测检查，结果符合5.1.1的要求。

6.1.2 尺寸测量

按照以下方法测量尺寸：

- 用精度为0.02 mm的游标卡尺测量3次外径，取平均值；
- 芯线截面按GB/T 4909.2的要求测量；
- 长度用计米表或卷尺测量。

6.1.3 性能试验

6.1.3.1 铜芯直流电阻测量

按照GB/T 3048.4规定的方法测量铜导线电阻，计算出20℃环境下的铜芯直流电阻满足5.1.3.1.1的要求。

6.1.3.2 径向电阻测量

6.1.3.2.1 按照图1布置试验样品。选取有效长度不小于0.5 m的试验样品，为避免端部影响，选取试验样品中间部位长度 L_1 为100 mm的部分，用不低于100目的柔性铜网形成测量电极，并用玻纤带、布条等包裹在铜网外，施加 (20 ± 5) kPa压力，保证接触良好。

6.1.3.2.2 测试时采用可调工频电流源，在铜网和内芯间施加有效值 I 为 (100 ± 5) mA 的电流，测量铜网和内芯间的电压有效值 U ，计算电阻 $R = U/I$ 。

6.1.3.2.3 根据式 (1) 计算径向电阻，结果满足 5.1.3.1.2 的要求。

$$R_1 = R \times L_1 / 1000 \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- R_1 —— 径向电阻；
- R —— 试验样品电阻；
- L_1 —— 电极长度。

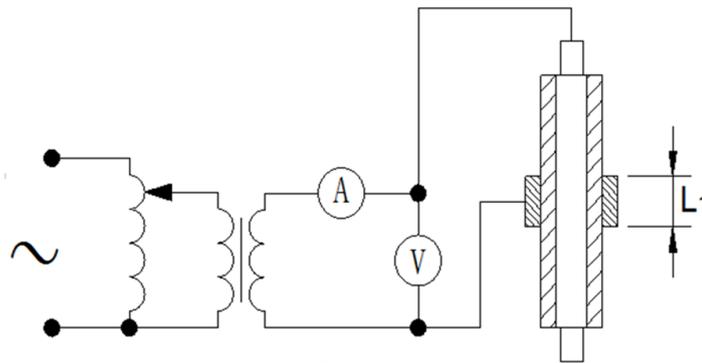


图1 径向电阻测量示意图

6.1.3.3 冲击电流耐受能力试验

6.1.3.3.1 按照图 2 布置试验样品，其中电极长度 L_1 为 100 mm。

6.1.3.3.2 试验前按照 6.1.3.2 测量试验样品在室温下的径向电阻。按照 GB/T 21698 中规定的方法对试验样品施加 $8/20 \mu\text{s}$ 、1 kA 冲击电流 20 次，每次间隔 1 min，每 5 次为 1 组，每两组间隔 30 min。试验后待试验样品冷却至室温再次按照 6.1.3.2 测量径向电阻。根据式 (2) 计算试验后试验样品的径向电阻变化率，结果满足 5.1.3.1.3 的要求。

$$\Delta R = (R_2 - R_1) / R_1 \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- ΔR —— 试验后试品径向电阻变化率；
- R_1 —— 试验前试品径向电阻；
- R_2 —— 试验后试品径向电阻。

6.1.3.3.3 对试验样品施加 $8/20 \mu\text{s}$ 、10 kA 冲击电流 2 次，每次间隔 1 min。试验后目测试验样品外观有无起泡、开裂或烧焦等损伤。

6.1.3.3.4 该试验应在 1 天内完成。

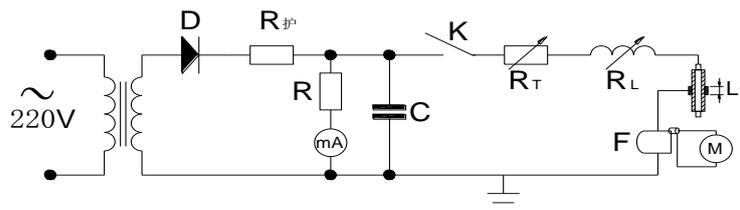


图2 冲击电流耐受能力试验示意图

6.1.3.4 工频电流耐受能力试验

6.1.3.4.1 按照图3布置试验样品，其中电极长度 L_1 为100 mm。

6.1.3.4.2 试验前按照6.1.3.2测量试验样品在室温下的径向电阻。对试验样品施加10 A工频电流5次，每次持续10 s，每次间隔30 min。试验后待试验样品冷却至室温再次按照6.1.3.2测量径向电阻。根据式(2)计算试验后试验样品的径向电阻变化率，结果满足5.1.3.1.4的要求。

6.1.3.4.3 对试验样品施加20 A工频电流2次，每次间隔为30 min。试验后目测试验样品外观有无起泡、开裂或烧焦等损伤。

6.1.3.4.4 该试验应在1天内完成。

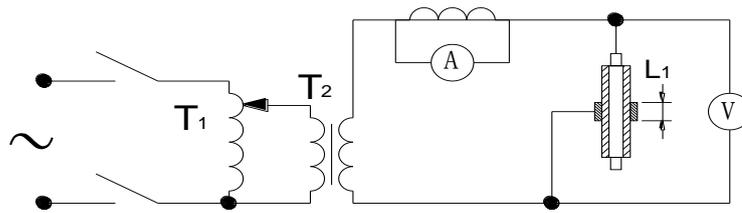


图3 工频电流耐受能力试验示意图

6.1.3.5 耐低温性能试验

按照GB/T 2423.1中的试验Ab进行，试验时间和温度满足5.1.3.2.1的要求，试验完成后按照6.1.3.2测量径向电阻，并检查外观。

6.1.3.6 耐高温性能试验

按照GB/T 2423.2中的试验Bb进行，试验时间和温度满足5.1.3.2.2的要求，试验完成后按照6.1.3.2测量径向电阻，并检查外观。

6.1.3.7 耐腐蚀性能试验

6.1.3.7.1 试验条件

耐腐蚀性能试验的试验条件包括：

- 试验温度：25℃；
- 试验周期：168 h；
- 试验样品：抽取的试验样品尺寸应保持一致，并将两端封闭不使金属外露。

6.1.3.7.2 耐酸腐蚀试验

将试验样品放入5%的 H_2SO_4 溶液中，按照JB/T 7901规定的方法测量腐蚀率，同时目测试验样品外观，结果符合5.1.3.2.3的要求。

6.1.3.7.3 耐碱腐蚀试验

将试验样品放入5%的NaOH溶液中，按照JB/T 7901规定的方法测量腐蚀率，同时目测试验样品外观，结果符合5.1.3.2.3的要求。

6.1.3.7.4 耐盐腐蚀试验

将试验样品放入 5% 的 NaCl 溶液中，按照 JB/T 7901 规定的方法测量腐蚀率，同时目测试验样品外观，结果符合 5.1.3.2.3 的要求。

6.1.3.8 导电橡胶性能试验

- 6.1.3.8.1 按照 GB/T 2439 规定的方法测试导电橡胶的电阻率，结果满足 5.1.3.3 的要求。
- 6.1.3.8.2 按照 GB/T 1682 规定的方法测量导电橡胶脆性温度，结果满足 5.1.3.3 的要求。
- 6.1.3.8.3 按照 GB/T 528 规定的方法测定拉伸强度和扯断伸长率，结果满足 5.1.3.3 的要求。
- 6.1.3.8.4 按照 GB/T 531.1 规定的方法测定邵氏 A 硬度，结果满足 5.1.3.3 的要求。

6.2 石墨基型柔性复合接地体

6.2.1 试验样品

6.2.1.1 外观尺寸、电气性能、机械性能以及耐高、低温性能的试验样品如图 4 所示。

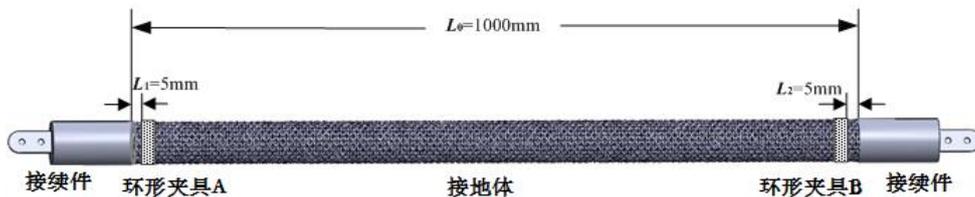


图4 外观尺寸、电气性能、机械性能以及耐高低温性能的试验样品

6.2.1.2 耐腐蚀性能的试验样品如图 5 所示。

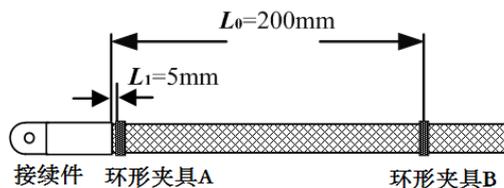


图5 耐腐蚀性能试验样品

6.2.1.3 阻燃性能的试验样品如图 6 所示。

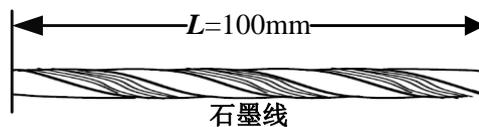


图6 阻燃性能试验样品

6.2.2 外观检查

目测检查，结果应满足 5.2.1 的要求。

6.2.3 尺寸测量

在试验样品上选择 3 个均匀分布的测量点，使用游标卡尺分别测量直径后求取平均值，结果满足 5.2.2 的要求。

6.2.4 性能试验

6.2.4.1 电阻率测量

采用四极法测量试验样品单位长度 ($L_0=1\text{ m}$) 的直流电阻。采用图 7 的接线方式, C_1 、 C_2 为电流端, P_1 、 P_2 为电压端, 用铜丝缠绕或环形夹具实现电流端、电压端良好的电气连接。

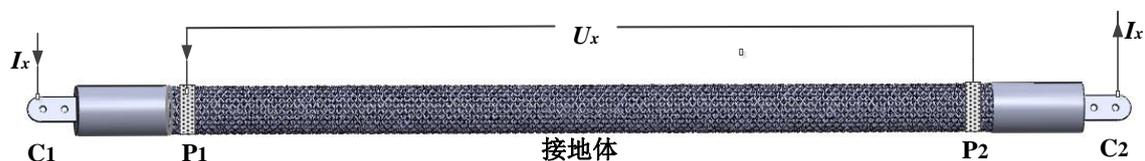


图7 四极法测量接地体单位长度电阻示意图

根据测量值 U_x 和 I_x 的比值计算接地体直流电阻 R_x , 并根据式 (3) 计算接地体电阻率 ρ , 结果满足 5.2.3.1 的要求。

$$\rho = \frac{R_x S}{L_0} = \frac{R_x \pi D^2}{4L_0} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

- ρ ——电阻率;
- R_x ——直流电阻;
- S ——接地体截面积;
- D ——直径;
- L_0 ——单位长度。

6.2.4.2 接续电阻测量

采用小电阻测试仪或四极法测量试验样品的接续电阻, 其中埋地接续件应采用非金属材料。采用图 8 的接线方式, C_1 、 C_2 为电流端, P_1 、 P_2 为电压端, 用铜丝缠绕或环形夹具实现电流端、电压端良好的电气连接。测量结果应满足 5.2.3.1 的要求。

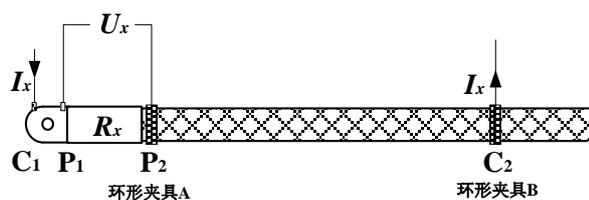


图8 四极法测量接续件接续电阻示意图

6.2.4.3 冲击电流耐受能力试验

采用冲击电流发生器对试验样品施加 $8/20\ \mu\text{s}$ 、 $50\ \text{kA}$ 的标准雷电流 10 次, 每次间隔不小于 $30\ \text{min}$ 。试验波形和测量系统应满足 GB/T 16927.1 和 GB/T 16927.2 的要求。每次试验后按照 6.2.4.1 和 6.2.4.2 测量直流电阻与接续电阻, 并计算电阻率的变化率, 求取平均值, 结果应满足 5.2.3.1 的要求。

6.2.4.4 工频电流耐受能力试验

采用工频电源对试验样品施加2000 A工频电流10次，每次持续0.5 s，每次间隔不小于30 min。每次试验后按照6.2.4.1和6.2.4.2测量直流电阻与接续电阻，并计算电阻率的变化率，求取平均值，结果应满足5.2.3.1的要求。

6.2.4.5 抗弯性能试验

抗弯试验前，按照 6.2.4.1 测量直流电阻。选取试验样品中点为弯曲点，按曲率半径 0.3 m 正反方向各进行 10 次弧度为 90°的折弯。试验结束后，检查接地体外观有无明显损坏，再次测量直流电阻并计算电阻率的变化率，结果应满足 5.2.3.2.1 的要求。

6.2.4.6 抗扭性能试验

抗扭试验前，按照 6.2.4.1 和 6.2.4.2 测量直流电阻和接续电阻。固定两端样品接续金具，使试验样品保持紧绷状态，扭转 1800°后保持 10 s。试验结束后，检查接地体外观有无明显损坏，再次测量直流电阻及接续电阻并计算电阻率的变化率，结果应满足 5.2.3.2.2 的要求。

6.2.4.7 抗拉性能试验

抗拉试验前，按照 6.2.4.1 和 6.2.4.2 测量直流电阻和接续电阻。在万能试验机上夹持试验样品两端接续金具，缓慢加载拉力载荷，拉力载荷为 1 kN 时停止加载并保持 10 s。检查接续金具与接地体连接部位有无明显滑脱现象，再次测量直流电阻和接续电阻并计算电阻率的变化率，结果应满足 5.2.3.2.3 的要求。

6.2.4.8 耐低温性能试验

按照 GB/T 2423.1 中的试验 Ab 进行，试验时间和温度满足 5.2.3.3.1 的要求，试验完成后按照 6.2.4.1 和 6.2.4.2 测量直流电阻与接续电阻，计算电阻率的变化率，并检查外观。

6.2.4.9 耐高温性能试验

按照 GB/T 2423.2 中的试验 Bb 进行，试验时间和温度满足 5.2.3.3.2 的要求，试验完成后按照 6.2.4.1 和 6.2.4.2 测量直流电阻与接续电阻，计算电阻率的变化率，并检查外观。

6.2.4.10 耐腐蚀性能试验

按6.1.3.7的方法进行试验。

6.2.5 阻燃性能试验

按照图9布置试验样品。将试验样品放入垂直燃烧测试仪中，夹持固定后，试验样品一端在本生灯火焰中灼烧并保持10 s。按照GB/T 10707中的垂直燃烧法进行阻燃性能试验，结果应满足5.2.3.4的要求。

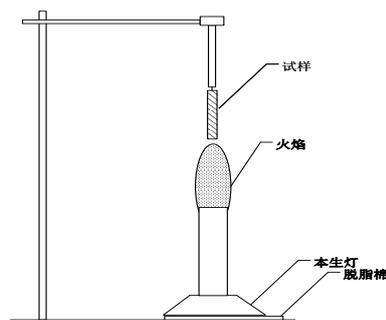


图9 接地体阻燃试验示意图

7 检验规则

7.1 出厂检验

每卷柔性复合接地体出厂前应根据材料分别按表3和表4的规定项目逐项进行检验,全部符合规定的要求,则判定出厂检验合格。

7.2 抽样检验

在出厂检验合格的产品中随机抽取3件,根据材料分别按表3和表4的出厂检验项目进行抽样检验,全部符合规定的要求,则判定抽样检验合格。

表3 导电橡胶型柔性复合接地体检验项目

序号	检验项目	检验类型		类别
		型式检验	出厂检验	
1	外观	●	●	B
2	外径	●	●	B
3	铜导线规格	●		A
4	长度		●	B
5	铜芯直流电阻	●		B
6	径向电阻	●	●	A
7	冲击电流耐受能力	●		A
8	工频电流耐受能力	●		A
9	耐低温性能	●		A
10	耐高温性能	●		A
11	耐腐蚀性能	●		A
12	体积电阻率	●		A
13	拉伸强度和扯断伸长率	●		B
14	邵氏 A 硬度	●		B
15	脆性温度	●		B

注1：“●”表示该检验类型中应按要求进行的检验项目。
注2：类别中A代表关键指标，应全部合格；B代表一般指标，可进行重复试验。

表4 石墨基型柔性复合接地体检验项目

序号	检验项目	检验类型	
		型式检验	出厂检验
1	外观检查	●	●
2	尺寸检查	●	●
3	电阻率	●	●

4	接续电阻	●	●
5	冲击电流耐受能力	●	
6	工频电流耐受能力	●	
7	抗弯性能	●	●
8	抗扭性能	●	●
9	抗拉性能	●	
10	耐低温性能	●	
11	耐高温性能	●	
12	耐腐蚀性能	●	
13	阻燃性能检测	●	
注：“●”表示该检验类型中应按要求进行的检验项目。			

7.3 型式检验

7.3.1 下列任一情况下均应进行型式检验：

- 新产品研制投产前或产品转厂生产前，样品试制完成后；
- 产品停产一年以上；
- 已批量生产，当设计、结构、材料或工艺的变更可能影响产品性能时；
- 每五年至少进行一次型式检验；
- 主管质量机构、或大批量买方提出型式试验要求时。

7.3.2 导电橡胶型柔性复合接地体型式检验的成品样品应从经出厂检验合格的产品中抽出 15 段，每段长度为 (3 ± 0.2) m，分成 3 组按以下方式进行试验：

- 取 3 段按表 3 中 1~3 项、5、10~11 项进行逐项试验；
- 取 3 段按表 3 中 6~9 项进行逐项试验；
- 取 9 段进行表 3 中的第 12 项试验。

7.3.3 导电橡胶型柔性复合接地体型式检验的材料样品由批量生产的产品的材料制备，按表 3 中 12~15 项进行逐项试验。

7.3.4 导电橡胶型柔性复合接地体型式检验的判定按照表 3 中的分类进行，具体判定方案如下：

- A 类试验项目任何一项结果为不合格，则判定型式检验不合格；
- A 类试验项目全部合格，B 类试验中存在不合格项，从该批产品中抽取双倍数量的样品进行对 B 类所有试验项目的重复试验，重复试验全部合格，则判定型式试验合格。

7.3.5 石墨基型柔性复合接地体型式检验项目按表 4 进行，全部符合规定的要求，判定型式检验合格。

7.3.6 用于型式检验的试验样品不应出厂。

8 标识、包装、运输和贮存

8.1 标识

8.1.1 在产品包装上应标明以下内容：

- 公司名称；
- 地址；
- 商标；
- 产品名称、产品型号、规格、生产批号（编号）、盘号、数量及重量等；
- 生产日期；
- 注意事项标识。

8.1.2 在合格证上应注明以下内容：

- 执行标准编号；
- 产品名称；
- 产品型号；
- 生产批号（编号）；
- 检验员号；
- 生产日期。

8.2 包装

柔性复合接地体用电缆交货盘包装或其他方式包装。

8.3 运输和贮存

运输和贮存应注意以下事项：

- 产品采用常规运输方式；
- 应贮存在干燥通风的室内环境；
- 轻放防潮；
- 不与腐蚀性物质接触。

参 考 文 献

- [1] 张仁豫, 陈昌渔, 王昌长.高电压试验技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 2009.
[2] 解广润.电力系统接地技术[M]. 北京: 水利电力出版社, 1985.
-