



中华人民共和国国家标准

GB/T 21698—2022

代替 GB/T 21698—2008

复合接地体

Composite grounding conductor

2022-07-11 发布

2023-02-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

目 次

前言 III

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 要求 2

6 试验方法 3

7 检验规则..... 12

8 标志、包装、运输与贮存..... 13

附录 A（规范性） 常见复合接地体的尺寸及允差 14

附录 B（资料性） 接地体最小截面计算 16

附录 C（规范性） 复合接地体试验流程 17

附录 D（规范性） 工频大电流试验电流计算 18

附录 E（规范性） 耐电气腐蚀试验流程 19

参 考 文 献 20

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。

本文件代替 GB/T 21698—2008《复合接地体技术条件》。与 GB/T 21698—2008 相比，除结构调整编辑性改动外，主要技术变化如下：

- 更改了标准的名称，由《复合接地体技术条件》修改为《复合接地体》；
- 更改了标准的适用范围（见第1章，2008年版的第1章）；
- 更改了术语“复合接地体”的定义（见3.1，2008年版的3.1）；
- 删除了术语“电解质材料（化学填充物）”“降阻效果系数”“模型系数”“导电橡胶”（见2008年版的3.2～3.5）；
- 增加了术语“降阻型复合接地体”“防腐型复合接地体”（见3.2、3.3）；
- 更改了产品分类，删除了型号及含义（见第4章，2008年版的第4章）；
- 更改了外观及尺寸的要求（见5.1.1，2008年版的5.1）；
- 更改了产品对环境影响的要求（见5.1.2，2008年版的5.1）；
- 删除了电解质材料、机械强度和导电橡胶性能的要求（见2008年版的5.2、5.4、5.5）；
- 更改了电气特性的要求（见5.2.1、5.3.2，2008年版的5.3）；
- 增加了降阻型复合接地体的要求和对应的试验方法（见5.2、6.4）；
- 增加了防腐型复合接地体的要求和对应的试验方法（见5.3、6.5）；
- 更改了外观及尺寸检测方法（见6.2，2008年版的6.2）；
- 增加了环境影响检测方法（见6.3）；
- 删除了降阻效果系数测量、接地体芯棒与外表层间接接触电阻测量、电解质材料的电阻率测量、电解质材料缓解特性试验、机械强度试验、导电胶性能测量试验的试验方法（见2008年版的6.3、6.4、6.7、6.8、6.10、6.11）；
- 更改了冲击电流耐受试验（见6.4.1.3、6.5.2.1，2008年版的6.5）；
- 更改了工频电流耐受试验（见6.4.1.4、6.5.2.2，2008年版的6.6）；
- 更改了耐腐蚀性能试验（见6.4.2、6.5.4，2008年版的6.9）；
- 更改了检验规则（见第7章，2008年版的第7章）；
- 更改了包装要求（见8.2，2008年版的8.2）；
- 增加了附录A“常见复合接地体的尺寸及允差”；
- 增加了附录B“接地体最小截面计算”；
- 增加了附录C“复合接地体试验流程”；
- 增加了附录D“工频大电流试验电流计算”；
- 增加了附录E“耐电气腐蚀试验流程”。

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。

本文件由全国雷电防护标准化技术委员会(SAC/TC 258)提出并归口。

本文件起草单位：国网电力科学研究院武汉南瑞有限责任公司、中国电力科学研究院有限公司武汉分院、四川中光防雷科技股份有限公司、中国石化工程建设有限公司、国网湖北省电力有限公司电力科学研究院、广东电网有限责任公司电力科学研究院、国网河南省电力公司电力科学研究院、国网山东省电力公司电力科学研究院、武汉爱劳高科技有限责任公司、上海市岩土工程检测中心有限公司、国网福

建省电力有限公司电力科学研究院、武汉大学、重庆市防雷中心、江西省抚州市气象局、杭州天湖智能科技有限公司、中山市新立防雷科技有限公司、泰兴市威特新材料科技有限公司、上海大学、深圳普泰电气有限公司、中国标准化协会、国网重庆市电力公司电力科学研究院。

本文件主要起草人：汤亮亮、李健、杨国华、王湘汉、王树国、李志忠、徐霞、姚喜梅、夏薇佳、冯志强、彭向阳、董曼玲、袁海燕、罗家明、袁灯平、方超颖、黄道春、许伟、余建华、翁建、马永威、周拓、周歧斌、石兵雨、包健康、胡丹晖、范冕。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

- 2008 年首次发布为 GB/T 21698—2008；
- 本次为第一次修订。

复合接地体

1 范围

本文件规定了复合接地体的产品分类、要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输及贮存。

本文件适用于复合接地体的设计、生产和检验。

本文件不适用于由施工现场复合工序形成的接地体。

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 239.1 金属材料 线材 第1部分：单向扭转试验方法

GB/T 2694—2018 输电线路铁塔制造技术条件

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 6462 金属和氧化物覆盖层 厚度测量 显微镜法

GB 6566 建筑材料放射性核素限量

GB/T 10125 人造气氛腐蚀试验 盐雾试验

GB 15618 土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准（试行）

GB/T 16545 金属和合金的腐蚀 腐蚀试样上腐蚀产物的清除

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 33588.2 雷电防护系统部件(LPSC) 第2部分：接闪器、引下线和接地极的要求

GB/T 50065 交流电气装置的接地设计规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

复合接地体 composite grounding conductor

由两种及以上物理或化学性质不同的主要物质组合而成的接地体。

3.2

降阻型复合接地体 resistance reducing type composite grounding conductor

通过改善接地体周围的土壤环境或增加接地体与土壤接触面积以降低接地电阻的复合接地体。

3.3

防腐型复合接地体 anti-corrosive type composite grounding conductor

具有抵抗运行环境中水分、盐、酸、碱等因素侵蚀特征，用于减缓腐蚀的复合接地体。

4 产品分类

4.1 复合接地体根据应用目的可分为两类：降阻型复合接地体和防腐型复合接地体。

4.2 降阻型复合接地体主要有离子接地体和接地模块等。

4.3 防腐型复合接地体主要包括包覆类复合接地体和涂层类复合接地体。

5 要求

5.1 基本要求

5.1.1 外观及尺寸要求

尺寸允差不应超过标称值的 $\pm 5\%$ ，表面应连续完整，无明显凹凸不平及划痕。常见复合接地体的尺寸及允差应符合附录 A 的规定，接地体截面应满足 GB/T 50065 和 GB/T 33588.2 接地设计要求，最小截面的计算见附录 B。

5.1.2 环境影响要求

5.1.2.1 放射性物质应满足 GB 6566 的要求，其内照射指数 I_{Ra} 不大于 1.0，外照射指数 I_r 不大于 1.0。

5.1.2.2 重金属含量应满足 GB 15618 中土壤污染风险筛选值的最低要求。

5.2 降阻型复合接地体

5.2.1 电气性能

5.2.1.1 室温电阻率

应不大于 $5 \Omega \cdot m$ 。

5.2.1.2 稳定性能

经稳定性能试验（失水、冷热循环、水浸泡）后，试品电阻率的增加率应不大于 20%。

5.2.1.3 冲击电流耐受性

经过冲击电流耐受试验后，工频接地电阻变化率绝对值应不大于 20%，试验后接地体表面不应出现鼓泡、熔化、裂纹、碎片、孔洞。

5.2.1.4 工频电流耐受性

经过工频电流耐受试验后，工频接地电阻变化率绝对值应不大于 20%，试验后接地体表面不应出现鼓泡、熔化、裂纹、碎片、孔洞。

5.2.2 耐腐蚀性能

平均腐蚀率应不大于 0.03 mm/a 。

5.3 防腐型复合接地体

5.3.1 覆层厚度

覆层厚度应满足以下要求：

- a) 包覆类复合接地体覆层任意点厚度不小于 0.25 mm。
- b) 热镀锌钢涂层厚度不小于 0.07 mm,其余涂层类复合接地体覆层任意点厚度不小于 0.15 mm。

5.3.2 电气性能

5.3.2.1 冲击电流耐受性

经过冲击电流耐受试验后,直流电阻变化率绝对值应不大于 20%,试验后接地体表面不应出现鼓泡、熔化、裂纹、碎片、孔洞。

5.3.2.2 工频电流耐受性

经过工频大电流耐受试验后,直流电阻变化率绝对值应不大于 20%,试验后接地体表面不应出现鼓泡、熔化、裂纹、碎片、孔洞。

5.3.3 机械性能

5.3.3.1 拉伸性能

抗拉强度应不小于 300 MPa。

5.3.3.2 弯折性能

复合接地体进行 90°弯折试验后覆层不应出现裂纹、碎片、孔洞等缺陷,覆层与金属基不应出现分离现象。

5.3.3.3 结合性能

结合性能应满足以下要求:

- a) 包覆类复合接地体经试验后,覆层与金属基不应出现分离现象。绞线经扭转试验后,覆层表面不应出现裂纹、碎片、孔洞等缺陷。
- b) 涂层类复合接地体经落锤试验后不凸起、不剥离。

5.3.4 耐腐蚀性能

经耐腐蚀性能试验后,平均腐蚀速率不大于 0.065 mm/a。

5.3.5 耐电气腐蚀性能

经电气腐蚀试验后,最终直流电阻增加率应不超过 50%,中间过程每个试验环节直流电阻增加率应不超过 15%。试验过程中及试验结束后试品表面不应有熔化、裂纹等缺陷。

6 试验方法¹⁾

6.1 试验要求

6.1.1 试验环境条件

复合接地体宜在以下条件下进行试验:

- a) 温度:10℃~35℃;

1) 本文中所用到的试品指复合接地体,另做说明的除外。

- b) 相对湿度:50%~80%;
- c) 气压:86 kPa~106 kPa。

6.1.2 试验流程

试验流程按附录 C 的规定进行。

6.2 外观及尺寸检测

6.2.1 外观采用目视进行检测。

6.2.2 直径、宽度和厚度宜采用分度值不大于 0.02 mm 的游标卡尺,在试品上均匀选取三处测量,取平均值。

6.2.3 长度采用分度值不大于 1 mm 的钢卷尺或软尺测量。

6.3 环境影响检测

6.3.1 放射性核素限量检测

按照 GB 6566 执行。

6.3.2 重金属元素限量检测

按照 GB 15618 执行。

6.4 降阻型复合接地体

6.4.1 电气性能试验

6.4.1.1 室温电阻率

本次试验试品为接地体降阻材料,测量仪器由低频交流电源、电流表、四电极箱和高输入阻抗的电压表组成,连接示意图见图 1。四电极箱由绝缘材料制成,尺寸为 200 mm×100 mm×100 mm(长×宽×高)。在 100 mm×100 mm 的两个面内侧分别安装与该面等尺寸的铜板电极,构成一对电流输出端;在中部安装一对铜制针电极(间距应大于 100 mm)构成电压输出端。将试品放在四电极箱内并装满,确保其与电极有良好的电气接触。

在外侧电极施加 100 mA 电流,用电压表测量内侧电极间的电压降,然后计算出电阻值。每个试品的电阻值按式(1)转换为电阻率。每个试品测试 3 次,取平均值。用 3 个试品的电阻率平均值作为室温电阻率。

$$\rho = \frac{RA}{a} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

ρ ——试品电阻率,单位为欧姆米($\Omega \cdot m$);

R ——电阻,单位为欧姆(Ω);

A ——电流垂直通过的导体横截面面积,单位为平方米(m^2);

a ——内侧电极间距,从电极内部边缘开始测量,单位为米(m)。

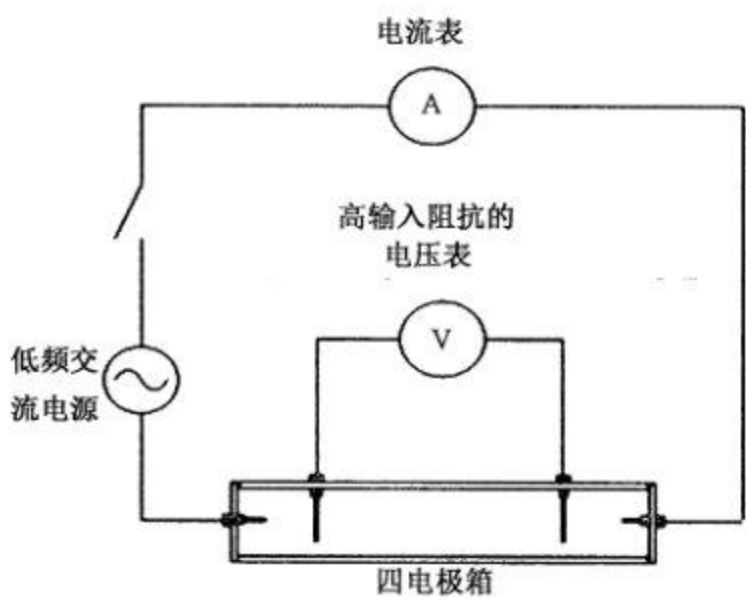


图 1 接地体电阻率测试图

6.4.1.2 稳定性试验

6.4.1.2.1 一般要求

稳定性试验应依次进行失水试验、冷热循环试验、水浸泡试验。本次试验试品为接地体降阻材料。试验开始前及结束后,分别测出各试品在室温下的试验前电阻率和试验后电阻率。

6.4.1.2.2 失水试验

取 3 个试品在室温下测量试验前电阻率后,连同四电极箱放入恒温箱内(60±2)℃ 12 h,然后断开恒温箱电源,开启箱门直至试品冷却至室温。测量试验后电阻率,按式(2)计算得到电阻率变化率 Δρ,并取电阻率变化率的算术平均值。

$$\Delta\rho=\frac{\rho_2-\rho_1}{\rho_1}\times 100\% \dots\dots\dots(2)$$

式中:
Δρ ——电阻率变化率;
ρ₁ ——试验前电阻率,单位为欧姆米(Ω·m);
ρ₂ ——试验后电阻率,单位为欧姆米(Ω·m)。

6.4.1.2.3 冷热循环试验

将完成了失水试验后的 3 个试品连同四电极箱放置在专门的容器内,浸泡 2 h 后取出沥水 1 h,然后按图 2 进行冷热循环试验。试验后将试品在室温下放置 1 h 后进入下一项试验。分别测出各试品在室温下的试验前电阻率和试验后电阻率。按式(2)计算得到电阻率变化率 Δρ,并取电阻率变化率的算术平均值。

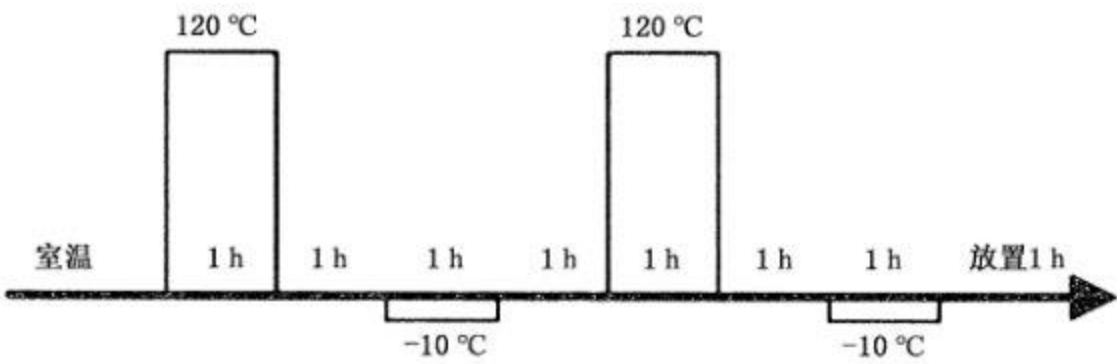


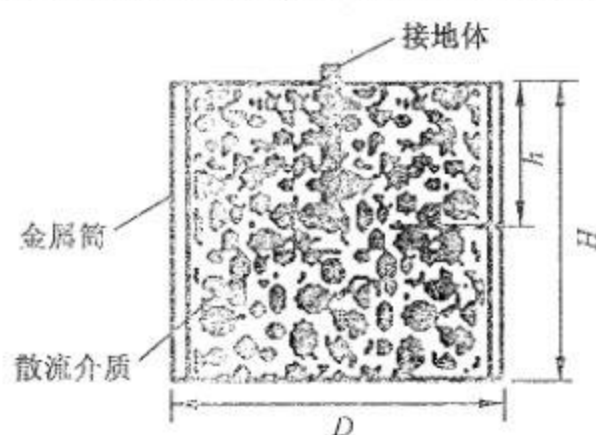
图 2 冷热循环试验程序

6.4.1.2.4 水浸泡试验

将完成了冷热循环试验后的 3 个试品连同四电极箱放入容器中。向容器加水至高度为 140 mm 的水位线(高出四电极箱 40 mm),放置在避光和四周无热源处,浸泡 14 d。每隔 48 h 换水一次,后将试品从水中取出沥水 6 h,分别测出各试品在室温下的试验前电阻率和试验后电阻率。按式(2)计算得到电阻率变化率 $\Delta\rho$,并取电阻率变化率的算术平均值,同时应确认试品有无裂缝发生。

6.4.1.3 冲击电流耐受试验

取 3 个试品,接地体的长度应不小于 500 mm,布置方式如图 3 所示。将接地体埋入直径不小于 500 mm、高度不小于 1 000 mm 的金属筒内的散流介质(宜采用水或降阻剂)中,测量工频电阻接线图如图 4 所示,在室温下测量工频电流 1A 时的电阻值 R_1 ,即为 U/I 。



标引序号说明:

D ——金属桶的直径,单位为毫米(mm);

H ——金属桶的高度,单位为毫米(mm);

h ——接地体的长度,单位为毫米(mm)。

图 3 复合接地体布置示意图

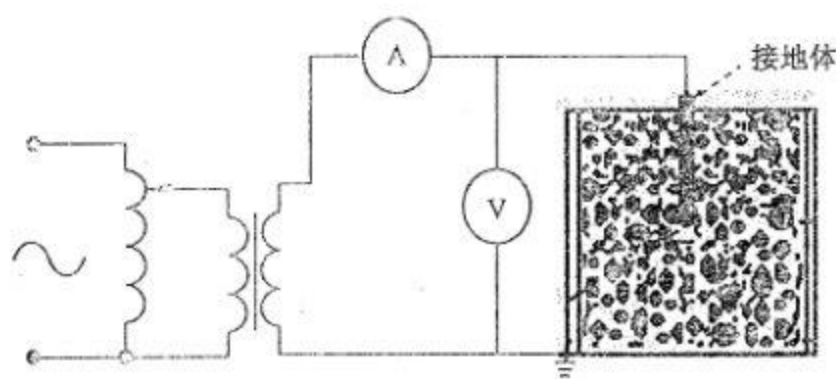


图 4 测量工频电阻接线图

按图 5 所示的接线图进行试验,试验波形应满足 GB/T 16927.1 的要求,测量系统应满足 GB/T 16927.2 的要求。对 3 个试品分别用波形为 8/20 μs 、幅值不小于 6 kA 的冲击电流冲击 10 次,5 次为 1 组,每次间隔不少于 60 s,每组间隔时间不少于 30 min,记录第 3 次和第 10 次放电电流及试品的电压峰值。10 次放电完成且试品冷却至室温后,测量试品的试验后工频电阻 R_2 。按式(3)计算出各试品电阻的变化率 ΔR 。

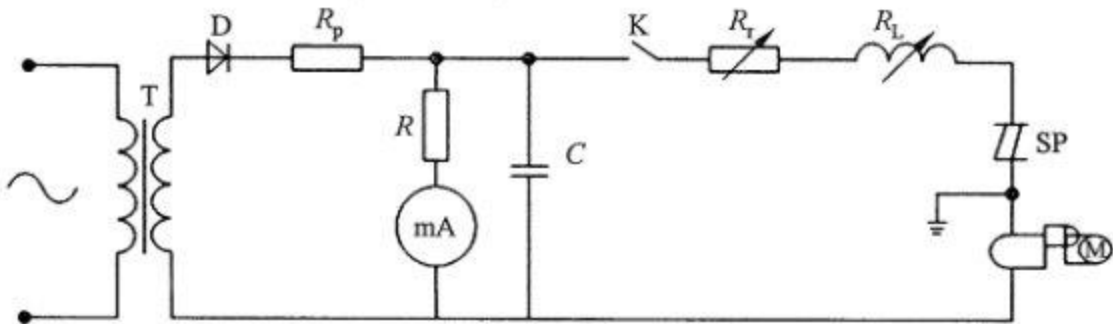
$$\Delta R = \frac{R_2 - R_1}{R_1} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

ΔR ——试验后试品工频电阻变化率;

R_1 ——试验前试品工频电阻,单位为欧姆(Ω);

R_2 ——试验后试品工频电阻,单位为欧姆(Ω)。

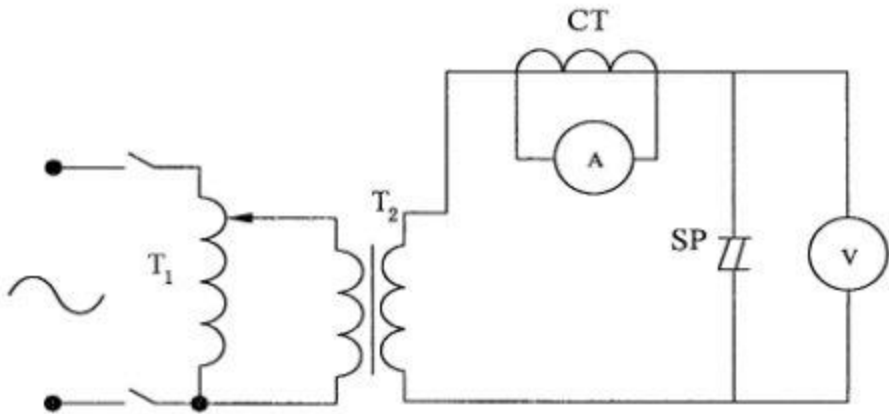


- 标引序号说明:
- SP ——如图 3 所示试品;
 - M ——电流测试系统;
 - T ——变压器;
 - D ——整流元件;
 - K ——放电开关;
 - R_p ——波头电阻;
 - R ——波尾电阻;
 - C ——充放电电容;
 - R_t ——调波可调电阻;
 - R_L ——调波电感。

图 5 冲击电流耐受试验接线图

6.4.1.4 工频电流耐受试验

本试验在完成 6.4.1.3 试验的 3 个试品上进行。按图 6 所示的接线图进行试验,对 3 个试品分别施加不小于 30 A 的工频电流 5 次,每次持续 10 s,每两次间隔不小于 30 min。第 5 次试验后冷却至室温测试其工频电阻 R_2 。试验前和试验后分别测量试品的工频电阻,按式(3)计算出耐受试验后试品工频电阻的变化率。



- 标引序号说明:
- SP ——如图 3 所示试品;
 - CT ——电流互感器;
 - T_1 ——调压器;
 - T_2 ——升压器。

图 6 工频电流耐受试验接线图

6.4.2 耐腐蚀性能试验

6.4.2.1 一般要求

试品包括普通碳素钢扁钢、普通碳素钢圆钢、热镀锌扁钢和热镀锌圆钢四种材料,每种材料试品 10

件,共 40 件。

每种试品的长度应为 50 mm,其中扁钢试品宽应为 25 mm,厚度 ≥ 2.5 mm;圆钢试品直径应为 $\phi 10$ mm;锌层厚度应为 10 μm ~15 μm 。试品表面应平整、无锈蚀、无毛刺和飞边,试验前用酒精擦洗干净,然后在 100 $^{\circ}\text{C}$ 下烘干 1 h,冷却至室温并立即用分析天平(精度为 0.1 mg)称重待用。

6.4.2.2 试验方法

本试验在如图 7 的试验箱中进行,试验箱的高度为 D 。将接地体降阻材料平铺在试验箱底部,厚度为 35 mm~40 mm,然后将 6.4.2.1 中处理后的试品平放在降阻材料的表面,试品间距应大于 600 mm,再覆盖上厚度为 35 mm~40 mm 的接地体降阻材料,最后将表面抹平。1 h 后,向接地体降阻材料的表面喷去离子水,直至表面水深约 5 mm,用双层 PVC 厚膜将试验箱封住,以防止水分蒸发。

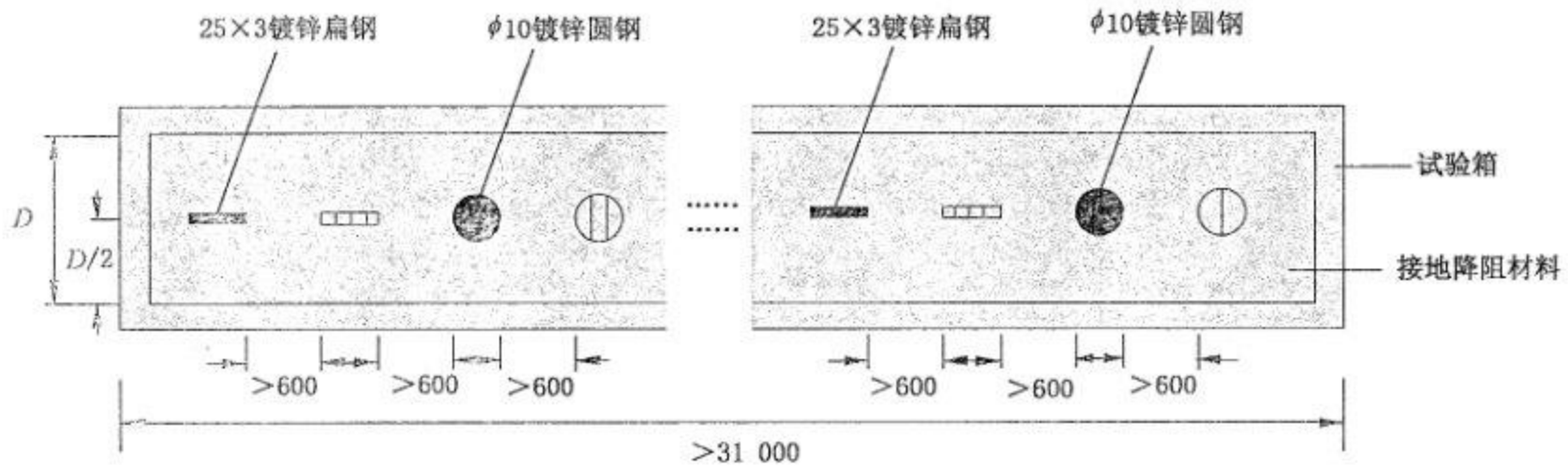
将试验箱置于无阳光直射、四周无热源的室内至少 120 d,然后取出并按照 GB/T 16545 的规定清洗表面附着物,同时进行外观检查,用酒精清洗、烘干后称重,按式(4)计算出腐蚀率。普通碳素钢和热镀锌钢的腐蚀率应分别统计,其值为每种试品的平均值。

$$V = \frac{3\ 650 \Delta W}{S t c} \dots\dots\dots (4)$$

式中:

- V ——试品表面平均腐蚀率,单位为毫米每年(mm/a);
- ΔW ——试品失重,单位为克(g);
- S ——试品表面积,单位为平方厘米(cm^2);
- t ——试品埋入土壤的时间,单位为天(d);
- c ——试品的密度,单位为克每立方厘米(g/cm^3)。

单位为毫米



标引序号说明:

D ——试验箱的高度。

图 7 试验箱中腐蚀试品埋设示意图

6.5 防腐型复合接地体

6.5.1 覆层厚度检测

按 GB/T 6462 中规定的方法测量。首先在试品任意区域初步测量后选取覆层较薄的区域,在较薄的区域选取 5 点进行测试,取最小值。

6.5.2 电气性能试验

6.5.2.1 冲击电流耐受试验

按图 5 所示的接线图进行试验,试验波形应满足 GB/T 16927.1 的要求,测量系统应满足 GB/T 16927.2 的要求。试品无需放入金属筒中,试验前测量试品的直流电阻。对选取的 3 个试品分别进行 3 次冲击电流耐受试验,施加波形为 8/20 μ s,施加电流按照试品截面积不低于 50 A/mm²。每次冲击完成后,间隔不少于 5 min 后进行下一次冲击。试验后待试品冷却至室温,分别测量试品的直流电阻,并计算试验后试品直流电阻变化率的平均值。

接地体的电阻测试按 GB/T 3048.2 规定的要求执行。试品的长度不小于 1 m。电阻测量同时记录环境温度,按式(5)计算出校正到 20 ℃时的电阻值 R_{20} 。

$$R_{20} = \frac{R_m}{1 + \alpha_{20}(T_m - 20)} \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

R_{20} ——校正到 20 ℃时的电阻值,单位为欧姆(Ω);

R_m ——测量电阻值,单位为欧姆(Ω);

α_{20} ——20 ℃电阻温度系数,单位为每摄氏度($^{\circ}\text{C}^{-1}$);

T_m ——环境温度,单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$)。

6.5.2.2 工频电流耐受试验

按图 6 将试品连接组成试验回路,试品无需放入金属筒中,对 3 个试品分别施加试验电流,试验电流按照附录 D 的规定计算,每次持续 4 s 或 10 s,共进行三次试验,每次试验后,试品冷却到 100 ℃以下再重复下一次试验。试验前和试验后分别测量试品的室温直流电阻,按式(3)计算出耐受试验后试品直流电阻变化率。

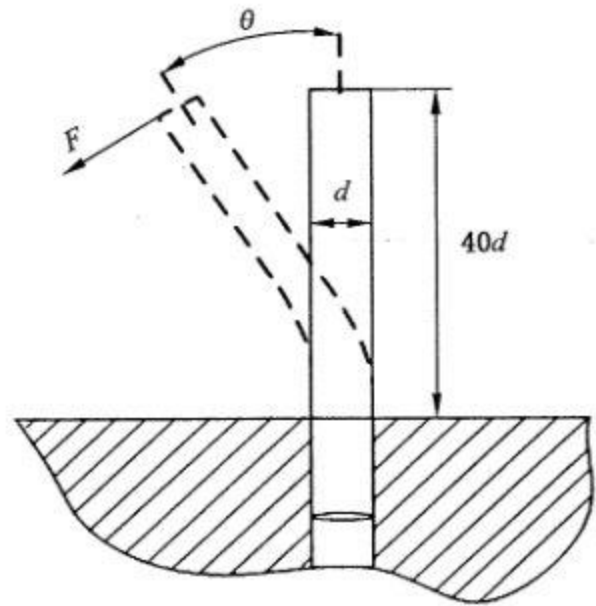
6.5.3 机械性能试验

6.5.3.1 拉伸试验

试品拉伸试验应按 GB/T 228.1 的规定进行,夹具间的试品长度应不小于 500 mm。

6.5.3.2 弯折试验

按照图 8 所示,在室温下分别将选取的 3 个试品的一端夹紧在夹具或虎钳钳口上,在距夹具 40 倍试品直径或等效直径处,施加一个垂直于试品的力弯折 90°,或利用万能试验机采用三点弯折法弯折 90°,弯折 3 次,观察试品弯折处内、外缘变化情况。



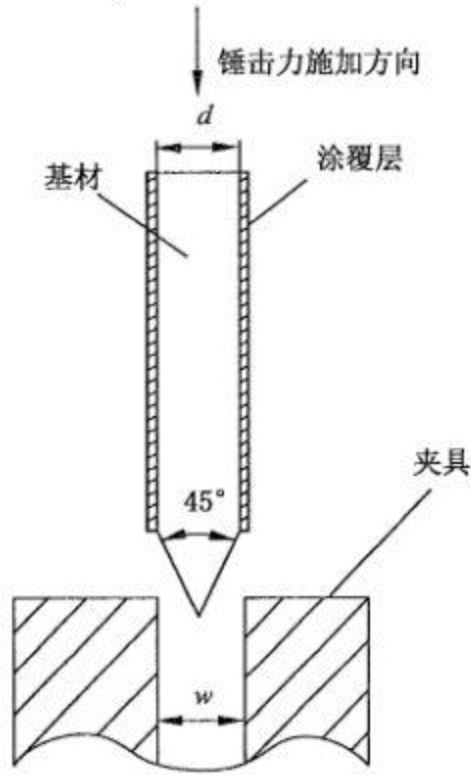
标引序号说明：
 d ——试品的直径，单位为毫米(mm)；
 θ ——试验时弯折的角度，单位为度(°)；
 F ——弯折时施加的外力，单位为牛(N)。

图 8 弯折试验示意图

6.5.3.3 结合性试验

6.5.3.3.1 包覆类复合接地体

按照图 9 所示，将长度不大于 200 mm 的试品的一端切成 45°锥形，置于夹具或虎钳钳口之间，间距应小于试品钢芯直径或厚度，按图示方向锤击试品端部，削去足够的涂覆层，充分露出钢芯，取出观察。
绞线材料取单线按 GB/T 239.1 的规定进行扭转试验，试验至试品断裂。



标引序号说明：
 d ——试品的直径或厚度，单位毫米(mm)；
 w ——夹具或虎钳钳口之间的间距，单位毫米(mm)。

图 9 结合性试验示意图

6.5.3.3.2 涂层类复合接地体

应按照 GB/T 2694—2018 中附录 B 的规定进行试验。

6.5.4 耐腐蚀性能试验

6.5.4.1 一般要求

试品的长度应为 50 mm, 12 个为一组, 共 2 组。试品表面应平整、无锈蚀、无毛刺和飞边, 试验前用酒精擦洗干净, 然后在 100 °C 下烘干 1 h, 冷却至室温并立即用有机密封胶密封两端面, 分析天平(精度为 0.1 mg)称重待用。

6.5.4.2 试验方法

将同一批土壤分成 2 份, 分别调配成酸性土壤(pH 值为 4.0)和碱性土壤(pH 值为 10.0), 铺入耐酸碱腐蚀的 2 个非金属试验槽中, 厚度为 35 mm~40 mm, 然后分别将 6.5.4.1 中处理后的一组试品平放在土壤的表面, 试品直径方向或宽度方向间距为 30 mm, 长度方向间距为 80 mm, 再覆盖上厚度为 35 mm~40 mm 的土壤, 并将表面抹平。1 h 后, 向土壤表面喷去离子水, 直至表面水层深约 5 mm, 然后用双层 PVC 厚膜将试验槽口封住, 以减少水分挥发。试验槽置于室内无阳光照射、四周无热源处。放置期间每隔 15 d 喷水一次, 保持水深约 5 mm。60 d 后取出, 并按照 GB/T 16545 的规定清洗表面附着物, 同时进行外观检查, 用酒精清洗、烘干后称重, 按式(4)计算出酸性和碱性土壤环境下每组试品的平均腐蚀率。

6.5.5 耐电气腐蚀性能试验

6.5.5.1 一般要求

电气腐蚀试验应按 6.5.5.2~6.5.5.5 四个环节依次进行试验。取 3 个试品, 试品长度应不小于 600 mm, 在本试验过程中不应更换试品。试验前后测量试品直流电阻值, 具体流程应符合附录 E 的规定。中性盐雾试验过程中及试验后应进行外观检查, 并记录。全部试验结束后对材料的表面进行外观检查并记录。

6.5.5.2 电流-温度循环试验

按图 5 将试品连接组成试验回路, 试品无需放入金属筒中, 施加工频电流使包覆类试品温度逐渐升至 350 °C±10 °C, 涂层类试品温度逐渐升至 250 °C±10 °C, 保温 1 h 后冷却至室温再进行下一个循环, 至少进行 25 次电流-温度循环。在试验过程中应及时调整电流以确保温度稳定。

试验后, 将试品冷却到室温后测量电阻, 并校正到 20 °C 时的电阻值。

6.5.5.3 冰冻-融化试验

将经过 6.5.5.2 试验的试品放入盛水的容器, 水面应至少高出试品 25 mm。

将试品冷却至 -10 °C 以下保温, 然后升温至 20 °C 以上保温。每次循环时试品在低温和高温下分别保持 2 h, 共进行 10 次冰冻-融化循环。

试验后, 将试品干燥并恢复到室温后测量电阻, 并校正到 20 °C 时的电阻值。

6.5.5.4 中性盐雾腐蚀试验

将经过 6.5.5.3 试验的试品按 GB/T 10125 的规定进行试验。试验介质为去离子水或蒸馏水配置的 5% NaCl 溶液, 试验时间不应低于 500 h。试验后用清水对试品进行冲洗, 然后在 100 °C 下烘干

1 h,冷却至室温后测量电阻值,并校正到 20 ℃时的电阻值。试验过程中及试验后观察试品外观,并记录。

6.5.5.5 工频电流耐受试验

将经过 6.5.5.4 试验的试品按 6.5.2.2 进行工频电流耐受试验。

7 检验规则

7.1 检验分类

复合接地体的检验分为型式检验、出厂检验和验收试验。检验项目见表 1。
从每批次中随机抽取 3 个试品组成一组,按表 1 规定的检验项目进行检验。

表 1 复合接地体检验项目

序号	检验项目	要求						试验方法	
		型式检验		出厂检验		验收试验			
		降阻型	防腐型	降阻型	防腐型	降阻型	防腐型	降阻型	防腐型
1	外观及尺寸检查	5.1.1	5.1.1	5.1.1	5.1.1	5.1.1	5.1.1	6.2	6.2
2	环境影响检测试验	5.1.2	5.1.2	—	—	—	—	6.3	6.3
3	覆层厚度检测	—	5.3.1	—	5.3.1	—	5.3.1	—	6.5.1
4	电阻率试验	5.2.1.1	—	5.2.1.1	—	5.2.1.1	—	6.4.1.1	—
5	稳定性试验	5.2.1.2	—	—	—	—	—	6.4.1.2	—
6	冲击电流耐受试验	5.2.1.3	5.3.2.1	—	—	—	—	6.4.1.3	6.5.2.1
7	工频电流耐受试验	5.2.1.4	5.3.2.2	—	—	—	—	6.4.1.4	6.5.2.2
8	机械性能试验	—	5.3.3	—	5.3.3	—	—	—	6.5.3
9	耐腐蚀性能试验	5.2.2	5.3.4	—	—	—	—	6.4.2	6.5.4
10	耐电气腐蚀性能试验	—	5.3.5	—	—	—	—	—	6.5.5

7.2 型式检验

在出厂检验合格的产品中随机抽取 3 组,按表 1 中的型式检验项目进行检验,如任意一项技术要求不合格,则判定该批产品不合格。型式检验需由具有相关资质的第三方检测机构进行,并出具检测报告。

在下列情况之一时应进行型式检验:

- a) 新产品投产;
- b) 材料或工艺发生重大改变;
- c) 停产半年以上恢复生产;
- d) 每 5 年 1 次;
- e) 用户提出要求时。

7.3 出厂检验

产品应逐套进行出厂检验,经检验合格并附有产品合格证后方可出厂。

出厂检验项目按表 1 要求进行,若有任意一项不合格则判定该产品出厂检验不合格。

7.4 验收试验

验收试验的检验项目根据工程需要由供需双方协商确定。

有一项不合格者,从该批产品中抽取双倍数量的试品进行重复试验;若重复试验结果全部合格,则判定该批次产品合格;若重复试验结果仍有试品不合格,则判定该批次产品不合格。

验收试验需由具有相关资质的第三方检测机构进行,并出具检测报告。

8 标志、包装、运输与贮存

8.1 标志

8.1.1 在包装箱上应注明:

- a) 公司名称;
- b) 商标;
- c) 地址;
- d) 产品名称;
- e) 型号;
- f) 生产日期。

8.1.2 在合格证上应注明:

- a) 产品标准编号;
- b) 产品编号;
- c) 检验号;
- d) 生产日期。

8.2 包装

应保证在运输中包装不被损坏。包装内应附装箱单、产品安装使用说明书等技术文件。

8.3 运输和储存

运输和储存时应轻放、防潮,不应与腐蚀性物质混放。

附录 A

(规范性)

常见复合接地体的尺寸及允差

接地模块的尺寸及允差见表 A.1。

表 A.1 接地模块的尺寸及允差

单位为毫米

接地模块类型	参数	尺寸	允差
圆柱形、三瓣梅花、 多瓣梅花	直径 D	$D \leq 200$	± 2
		$200 < D \leq 300$	± 2.5
		$D > 300$	± 3
方形	宽度 W	$W \leq 100$	± 2
		$100 < W \leq 180$	± 2.5
		$180 < W \leq 300$	± 3
		$W > 300$	± 4
	厚度 H	$30 \leq H \leq 160$	± 2
		$160 < H \leq 600$	$\pm 2\%$

锌包钢的尺寸及允差见表 A.2。

表 A.2 锌包钢的尺寸及允差

单位为毫米

锌包钢类型	参数	尺寸	允差
棒材	标称直径 D	$D \leq 20$	± 0.2
		$20 < D \leq 30$	± 0.3
		$D > 30$	± 0.4
	长度 L	$L \leq 4\,000$	± 30
		$4\,000 < L \leq 6\,000$	± 50
		$L > 6\,000$	± 70
板材	宽度 W	$4 \leq W \leq 10$	± 0.10
		$10 < W \leq 18$	± 0.14
		$18 < W \leq 30$	± 0.21
		$W > 30$	± 0.30
	厚度 H	$3 \leq H \leq 16$	± 0.25
		$16 < H \leq 60$	$\pm 1.5\%$
	长度 L	$L \leq 4\,000$	± 30
		$4\,000 < L \leq 6\,000$	± 50
		$L > 6\,000$	± 70

铜覆钢的尺寸及允差见表 A.3。

表 A.3 铜覆钢的尺寸及允差

单位为毫米

铜覆钢类型	参数	尺寸	允差
棒材及圆线	标称直径 D	$D \leq 20$	± 0.35
		$20 < D \leq 30$	± 0.40
		$30 < D \leq 50$	± 0.50
板材	宽度(或厚度) W	$4 \leq W \leq 10$	± 0.10
		$10 < W \leq 18$	± 0.14
		$18 < W \leq 30$	± 0.21
		$30 < W \leq 50$	± 0.30
		$50 < W \leq 80$	± 0.35
绞线	单股标称直径 d	$1.00 \leq d \leq 1.70$	± 0.05
		$1.70 < d \leq 2.40$	± 0.06
		$2.40 < d \leq 3.20$	± 0.08
		$3.20 < d \leq 4.00$	± 0.10

不锈钢包钢的尺寸及允差见表 A.4。

表 A.4 不锈钢包钢的尺寸及允差

单位为毫米

参数	尺寸	允差
外径 D	8.6	± 0.1
	10.6	
	12.6	
包覆层壁厚 W	$W \geq 0.6$	± 0.1
长度 L	$L \geq 5\,000$	—

附录 B
(资料性)
接地体最小截面计算

接地体的最小截面计算按公式(B.1)计算。

$$S_g \geq \frac{I_g}{C} \sqrt{t_e} \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

- S_g ——接地体的最小截面要求值,单位为平方毫米(mm²)；
- I_g ——流过接地体的最大接地故障不对称电流有效值,单位为安(A),按工程设计水平年系统最大运行方式确定；
- t_e ——短路的等效持续时间,单位为秒(s),一般取一级后备保护(主保护失灵)动作的时限,500 kV部分取 0.35 s,220 kV 和 110 kV 部分取 0.7 s；
- C ——接地体材料的热稳定系数,常见接地体热稳定系数见表 B.1。

表 B.1 常用接地体热稳定系数 C 取值表

最大允许温度 ℃	钢	铝	铜	相对导电率*40% 铜镀钢绞线	相对导电率 30% 铜镀钢绞线	相对导电率 20% 铜镀钢棒
300	—	120	—	—	—	—
400	70	—	—	—	—	—
700	—	—	249	167	144	119
800	—	—	259	173	150	124
900	—	—	268	179	155	128
* 相对导电率指相同单位的试样电阻率与退火铜的体积电阻率(1.724 1×10 ⁻⁸ Ω·m)之比乘以 100%。						

附录 C
(规范性)
复合接地体试验流程

复合接地体试验流程见图 C.1。

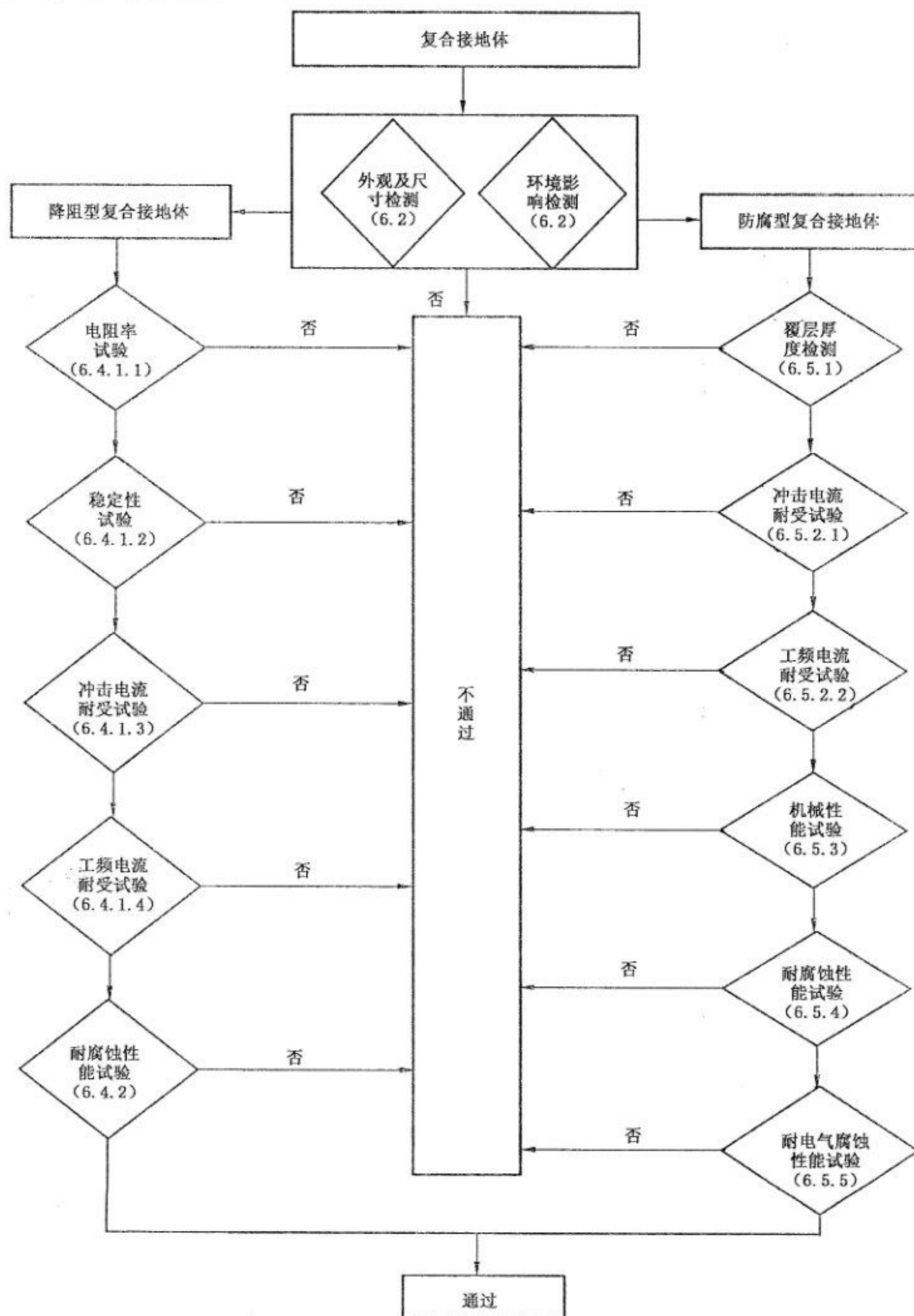


图 C.1 复合接地体试验流程图

附录 D

(规范性)

工频大电流试验电流计算

工频大电流试验中熔化电流按式(D.1)计算。

$$I_{\text{fuse}} = A \sqrt{\left(\frac{\text{TACP} \times 10^{-4}}{t_c \alpha_r \rho_r} \right) \ln \left(\frac{K_0 + T_m}{K_0 + T_a} \right)} \quad \dots\dots\dots (\text{D.1})$$

式中：

 I_{fuse} —— 熔化电流的有效值,单位为千安(kA); A —— 导体横截面面积,单位为平方毫米(mm²);TACP——热容系数,单位为焦耳每立方厘米摄氏度[J/(cm³·℃)]; t_c —— 通电时间,单位为秒(s),可选 4 s、10 s; α_r —— 参考温度 T_r 时电阻温度系数,取 20℃时的温度系数,单位为每摄氏度(℃⁻¹); α_0 —— 温度为 0℃时电阻温度系数,单位为每摄氏度(℃⁻¹); α_{20} —— 温度为 20℃时电阻温度系数,单位为每摄氏度(℃⁻¹); ρ_r —— 参考温度 T_r 时电阻率,取 20℃电阻率,单位为微欧厘米(μΩ·cm); T_m —— 允许的最高温度,单位为摄氏度(℃); T_a —— 环境温度,单位为摄氏度(℃),一般取 40℃; T_r —— 材料物理常数的参考温度,单位为摄氏度(℃); K_0 —— $1/\alpha_0$ 或 $(1/\alpha_{20}) - T_r$,单位为摄氏度(℃)。

试验电流按式(D.2)进行计算:

$$I_{\text{test}} = 90\% I_{\text{fuse}} (t_c = 4 \text{ s 或 } 10 \text{ s}) \quad \dots\dots\dots (\text{D.2})$$

式中：

 I_{test} —— 试验电流,单位为千安培(kA)。

常用接地导体材料的常数见表 D.1。

表 D.1 常用接地导体材料的常数

导体材料 名称	材料相对 导电率 %	α_{20}	$K_0(1/\alpha_0)$ ℃	熔化温度 ℃	$\rho_r(20\text{℃})$ μΩ·cm	TACP 因子 有效值 J/(cm ³ ·℃)
304 不锈钢	2.4	0.001 30	749	1 400	72.00	4.03
20# 钢	10.8	0.001 60	605	1 510	15.90	3.28
不锈钢包钢	9.8	0.001 60	605	1 400	17.50	4.44
软铜	100	0.003 93	234	1 083	1.72	3.42
铜包钢线	40.0	0.003 78	245	1 084	4.40	3.85
铜包钢线	30.0	0.003 78	245	1 084	5.86	3.85
铜覆钢棒 ^a	20.0	0.003 78	245	1 084	8.62	3.85
镀锌钢棒 ^b	8.6	0.003 20	293	419	20.10	3.93
^a 其他工艺铜覆钢也可参考表 D.1,如有需要可进行实测。 ^b 锌覆钢可参考镀锌钢。						

附录 E
(规范性)
耐电气腐蚀试验流程

耐电气腐蚀试验流程见图 E.1。



图 E.1 耐电气腐蚀试验流程图

参 考 文 献

- [1] GB/T 191 包装储运图示标志
 - [2] GB/T 2900.73 电工术语 接地与电击防护
 - [3] 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
 - [4] GB/T 10123 金属和合金的腐蚀 术语
 - [5] GB/T 13912 金属覆盖层 钢铁制件热浸镀锌层 技术要求及试验方法
 - [6] GB/T 33588.7 雷电防护系统部件(LPSC) 第7部分:接地降阻材料的要求
 - [7] DL/T 248 输电线路杆塔不锈钢复合材料耐腐蚀接地装置
 - [8] DL/T 380 接地降阻材料技术条件
 - [9] DL/T 1312 电力工程接地用铜覆钢技术条件
 - [10] DL/T 1314 电力工程用缓释型离子接地装置技术条件
 - [11] DL/T 1342 电气接地工程用材料及连接件
 - [12] DL/T 1457 电力工程接地用锌包钢技术条件
 - [13] DL/T 1677 电力工程用降阻接地模块技术条件
 - [14] IEEE Std-80 IEEE guide for safety in AC substation grounding
-

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
复 合 接 地 体

GB/T 21698—2022

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址 www.spc.net.cn

总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238

读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

*

开本 880×1230 1/16 印张 1.75 字数 48 千字
2022年7月第一版 2022年7月第一次印刷

*

书号: 155066·1-70507 定价 34.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68510107



GB/T 21698—2022



码上扫一扫 正版服务到

