

ICS 29.050
F 29
备案号: 57219-2017

DL

中华人民共和国电力行业标准

DL/T 1667 — 2016

变电站不锈钢复合材料耐腐蚀接地装置

Anticorrosive grounding device of composite material of stainless
steel for transformer substation

2016-12-05 发布

2017-05-01 实施

国家能源局 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 一般规定 2

5 分类及型号 2

6 要求..... 3

7 试验方法 5

8 检验规则 9

9 标志、包装、运输和贮存..... 10

附录 A（资料性附录） 土壤腐蚀性评价 11

附录 B（规范性附录） 接地体材料热稳定系数..... 12

附录 C（规范性附录） 接地体材料电导率试验方法 13

附录 D（规范性附录） 接地体材料放热焊接连接工艺 15

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

本标准由中国电力企业联合会提出并归口。

本标准负责起草单位：无锡市亚明电力工程科技有限公司、中国电力科学研究院、国网江苏省电力公司经济技术研究院。

本标准参加起草单位：国家电网公司、国网江苏省电力公司、江苏省电力设计院、国网安徽省电力公司检修公司、国网湖北省电力公司、国网黑龙江省电力公司、嘉兴嘉合电力设备有限公司。

本标准主要起草人：易贤杰、周明、王庭华、周洪伟、王球、孙岗、张强、易辉、杨小平、李海烽、张海峰、许尧、马建国、丁扬、王成智、李字明、邵瑰玮、鄂士平、蔡焕青、胡海峰。

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

变电站不锈钢复合材料耐腐蚀接地装置

1 范围

本标准规定了变电站不锈钢复合材料耐腐蚀接地装置的技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输和贮存等。

本标准适用于变电站的接地装置，其他电力工程可参照采用。

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 228.1 金属材料 拉伸试验 第1部分：室温试验方法

GB/T 699 优质碳素结构钢

GB/T 2651 焊接接头拉伸试验方法

GB/T 4226 不锈钢冷加工钢棒

GB/T 12771 流体输送用不锈钢焊接钢管

GB/T 20878 不锈钢和耐热钢 牌号及化学成分

GB/T 50065 交流电气装置的接地设计规范

GB 50169 电气装置安装工程 接地装置施工及验收规范

DL/T 248—2012 输电线路杆塔不锈钢复合材料耐腐蚀接地装置

DL/T 1554 接地网土壤腐蚀性评价导则

DL/T 5285 输变电工程架空导线及地线液压压接工艺规程

3 术语和定义

GB/T 50065 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

耐腐蚀接地装置 anticorrosive grounding device

在强酸性（ $4.0 \leq \text{pH}$ 值 < 5.5 ）土壤、强碱性（ $8.5 < \text{pH}$ 值 ≤ 10.0 ）土壤以及盐渍土壤中具有低腐蚀性，且具有比普通接地体（极）更长使用年限的接地装置。

3.2

平均腐蚀率 average corrosion rate

接地体（极）因腐蚀而导致截面减小，以每年等效直径的损失来表示。

注：单位为 mm/a。

3.3

腐蚀试验 corrosion test

用于测量土壤对接地体（极）腐蚀率的试验。

3.4

点腐蚀 pitting corrosion

在金属表面局部出现向深处发展的穴状腐蚀，而其余表面不出现腐蚀或腐蚀很轻微的现象。点腐

蚀属于电化学腐蚀。

3.5

不锈钢复合材料 **composite material of stainless steel**
采用专用不锈钢包覆优质碳素钢所形成的复合金属材料。

3.6

极尖 **pole tip**
用于密封不锈钢复合接地材料端部的部件。

3.7

热剂焊 **exothermic welding**
放热焊接
也称之为火泥熔接，是利用金属氧化物与铝粉的化学反应热作为热源，通过化学反应还原出来的高温熔融金属，直接或间接加热工件，达到熔接的目的。

3.8

熔敷金属 **deposited metal**
完全由放热焊剂融化后所形成的焊接接头金属。

3.9

放热焊接接头 **exothermic welding joint**
采用放热焊接生成的连接接头。

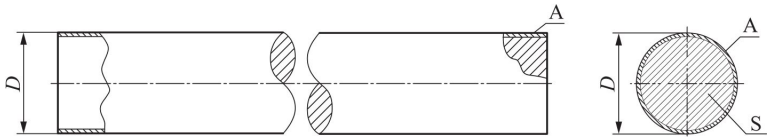
4 一般规定

- 4.1 不锈钢复合材料接地装置应满足接地网设计使用年限的要求。
- 4.2 不锈钢复合材料接地装置应满足现行国家标准、行业标准对环境保护的要求。
- 4.3 土壤腐蚀性评价应视变电站站址土壤情况依据 DL/T 1554 确定，参见附录 A。
- 4.4 不锈钢复合材料接地装置截面 S_g 应根据变电站站址区域电网规定的最大接地短路电流 I_g 、短路电流持续时间 t_c 及接地材料热稳定校验系数 C ，依据 GB/T 50065 的规定计算确定。
- 4.5 不锈钢复合材料接地装置热稳定校验系数见附录 B。

5 分类及型号

5.1 分类

接地装置耐腐蚀性取决于包覆层材料的厚度，按适用范围可分为 I 类和 II 类。接地装置材料结构如图 1 所示，分类见表 1。



说明：
 D ——接地装置的外径；
 S ——碳素钢棒芯；
 A ——不锈钢包覆层。

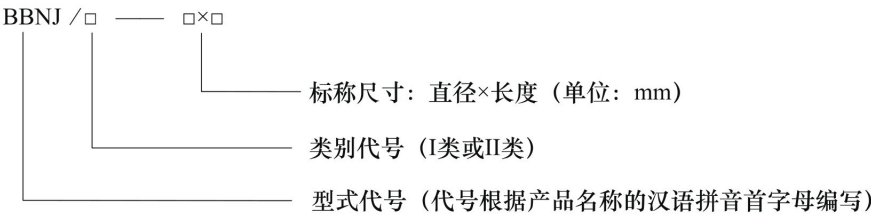
图 1 接地装置材料结构示意图

表1 接地装置材料分类

| 类型 | 包覆层厚度 δ mm | 适 用 范 围 |
|----|----------------------|-------------|
| I | ≥ 0.5 | 中性及中等酸碱性土壤 |
| II | ≥ 0.7 | 强酸、强碱性及盐渍土壤 |

5.2 型号

型号由产品的型式代号、类别及标称尺寸组成。耐腐蚀接地装置材料型式代号用 BBNJ 表示。
表示方法如下：



示例：
接地装置耐腐蚀类别为 I 类；标称尺寸为直径 $D=24.2\text{mm}$ ，长度 $L=7500\text{mm}$ 。
表示为 BBNJ/I-24.2×7500。

6 要求

6.1 材料

- 6.1.1 接地装置基材用钢应符合 GB/T 699 中关于化学成分和物理性能的规定。
- 6.1.2 接地装置材料包覆用钢应符合 GB/T 20878 和 GB/T 12771 中关于化学成分和物理性能的规定。
- 6.1.3 接地装置极尖用钢应符合 GB/T 4226 中化学成分和物理性能。
- 6.1.4 接地装置材料的相对电导率按照附录 C 的试验方法经测试确定。

6.2 外观

6.2.1 接地体（极）、接地线

- 接地体（极）、接地线的外观应符合下列要求：
- a) 外覆的不锈钢层应连续、均匀的包覆在钢芯上，不锈钢层表面应光滑平整，具有均匀的金属光泽，不应有毛刺、气泡、锈蚀、裂皮、漏覆、结疤等明显缺陷。
 - b) 接地装置材料的平直度不大于 2.0mm/m。

6.2.2 极尖

- 极尖外观应符合下列要求：
- a) 表面应光滑、平整无毛刺，不应有凹凸及变形等现象。
 - b) 内壁应清洁、光滑。

6.3 尺寸

6.3.1 接地体（极）、接地线

接地体接地线尺寸如图 1 所示。

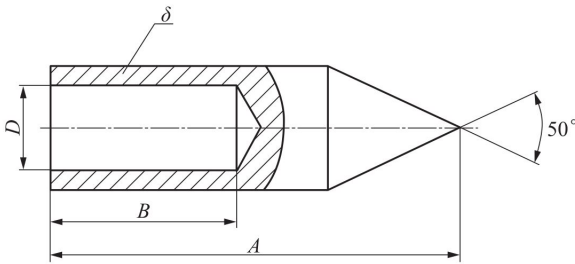
加工后的接地体尺寸及偏差应满足表 2 要求。

表 2 加工后的接地体尺寸及偏差 单位：mm

| 外径 D | 长度 L | 不锈钢包覆层壁厚 δ | |
|------------|-----------|-------------------|---------------|
| | | I 类 | II 类 |
| $D\pm0.10$ | 6000~7500 | 0.55 ± 0.05 | 0.75 ± 0.05 |

6.3.2 极尖

加工后的极尖示意图如图 2 所示，极尖尺寸及偏差应符合表 3 的规定。



说明：
 δ ——壁厚；
 D ——内径；
 A ——长度；
 B ——孔深。

图 2 加工后的极尖示意图

表 3 极尖尺寸及偏差 单位：mm

| 壁厚 δ | 内径 D | 长度 A | 孔深 B |
|--------------|----------|-----------|-----------|
| 1.2 ± 0.10 | $D+0.15$ | ≥ 55 | ≥ 35 |

6.3.3 放热焊接接头

放热焊接接头部位，表面应平整无明显凹坑，其任意方向的外观尺寸均应大于焊接母材的外观尺寸 5mm。放热焊接接头剖面应无贯穿性的气孔，每平方米及以下剖面上不得超过 1 个气孔，单个气孔任意方向的最大尺寸不大于焊接材料 1/4 直径或者 1/3 厚度，但最大单个气孔直径不得超过 2mm。

6.4 物理特性

6.4.1 包覆层可塑性

包覆层经弯曲 90°后（弯曲半径不小于直径的 10 倍），折角内外应无裂纹。

6.4.2 包覆层与芯棒结合力

包覆层与芯棒在结合面长度为 150mm 时，其结合力应不小于 15kN。

6.4.3 接地材料和放热焊接接头的抗拉强度

接地材料和放热焊接接头的抗拉强度不应低于 300MPa。

6.5 电气特性

6.5.1 经工频大电流短路试验后，接地体包括放热焊接接头试样表面不得有开裂、裂纹、凹坑、融化等缺陷。

6.5.2 接地体材料的相对电导率应为标准铜的 9.5%及以上（记为 9.5%IACS，标准铜的导电率为 100%IACS）。

6.6 耐腐蚀特性

6.6.1 接地装置中的 I 类接地体、极尖等部件均应耐受一般中性及中等酸性土壤的腐蚀，其年平均腐蚀率应不大于 0.008mm/a。

6.6.2 接地装置中的 II 类接地体、极尖等部件均应耐受强酸性土壤、强碱性土壤和盐渍土壤的腐蚀，其年平均腐蚀率应不大于 0.01mm/a，且不应出现点腐蚀现象。

6.6.3 接地装置中的 I 类接地体放热焊接接头部分均应耐受一般中性及中等酸性土壤的电偶腐蚀，其年平均腐蚀率应不大于 0.08mm/a。

6.6.4 接地装置中的 II 类接地体放热焊接接头部分均应耐受强酸性土壤、强碱性土壤和盐渍土壤的电偶腐蚀，其年平均腐蚀率应不大于 0.1mm/a，且不应出现点腐蚀现象。

6.7 接地体连接

6.7.1 接地体与极尖的连接方法宜采用液压压接的方法连接，并符合 DL/T 5285 的相关要求，确保压接部位的密封性。

6.7.2 接地体的放热焊接接头连接质量要求应满足 GB 50169 的规定，连接工艺见附录 D。

7 试验方法

7.1 外观检查

接地装置中的接地体、接地线、极尖等部件均应进行外观检查。

在自然光线下目测，外观检查结果应符合 6.2 的规定。

7.2 尺寸测量

7.2.1 直径用分度值不大于 0.02mm 的外径千分尺，在样件上均匀选取 3 处测量，取平均值，测量结果应符合 6.3 的规定。

7.2.2 长度用分度值不大于 1.0mm 的卷尺测量，测量结果应符合 6.3 的规定。

7.2.3 壁厚用分度值不大于 0.02mm 的壁厚千分尺测量，测量结果应符合 6.3 的规定。

7.3 平直度测量

将 1m 长度接地体的被侧面放在基准平板上，用塞尺直接测量被侧面与基准平板面间的最大间隙距离，然后将试品旋转 90°，再测与基准平板面间的最大间隙距离，其平直度的平均值应符合 6.2.1 的规定。

7.4 物理性能试验

7.4.1 包覆层可塑性试验

从生产线中的一个批量产品中随机抽取 3 件长度不小于 2000mm 的试品，从试品一端 500mm 处，

经弯曲 90°后，折角内外应无裂纹（弯曲半径 R 不小于直径 D 的 10 倍），再从试品另一端 500mm 处，经反向弯曲 90°后，折角内外应无裂纹（弯曲半径 R 不小于直径 D 的 10 倍），示意图如图 3 所示。

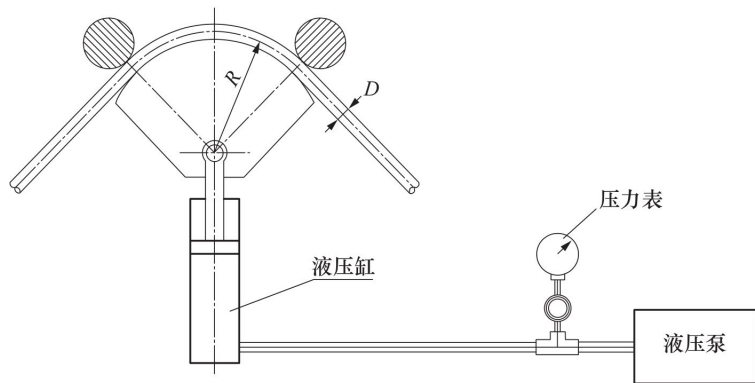


图 3 包覆层可塑性试验示意图

7.4.2 包覆层与芯棒结合力试验

从生产线中的一个批量中随机抽取 3 件接地材料成品作为试品，试品应在离头或尾部 1000mm 处截取，取试品长度为 300mm。从试品一端 75mm 处去除包覆层，试品另一端 75mm 处掏空芯棒（包覆层与芯棒的结合面长度为 $150\text{mm} \pm 1.5\text{mm}$ ），置于拉力试验机上。拉力试验值的平均值应不小于 15kN 为合格。

7.4.3 抗拉强度试验

从生产线中的一个批量中随机抽取 3 件接地材料成品作为试品，接地材料的平均抗拉强度不得低于 300MPa。试验方法应按 GB/T 228.1 的规定进行。夹具之间的材料长度不小于 500mm。

7.5 放热焊接接头试验

7.5.1 放热焊接接头外观检查

放热焊接接头任意方向的外观尺寸应满足 6.3.3 的要求，放热焊接接头外观示意图如图 4 所示。

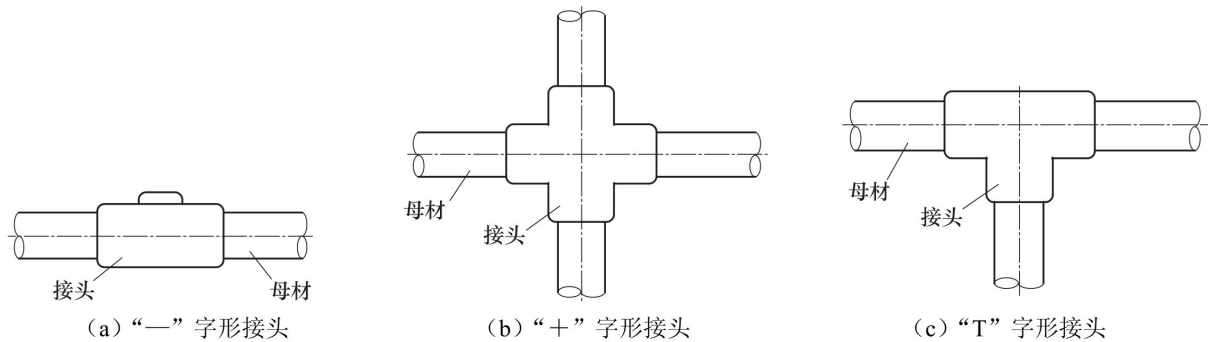


图 4 放热焊接接头外观示意图

7.5.2 放热焊接接头剖面检查

按照下列要求进行放热焊接接头剖面检查：

- a) 放热焊接接头应无贯穿性的气孔，气孔的大小尺寸应满足 6.3.3 的要求。放热焊接接头剖面示意图如图 5 所示。

b) 按图 6 所示的部位截取放热焊接接头的剖面，熔敷金属与被连接的焊接材料表面应完全熔合。

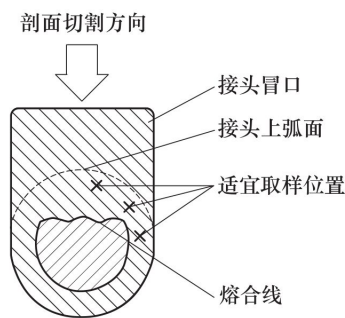


图 5 放热焊接接头剖面示意图

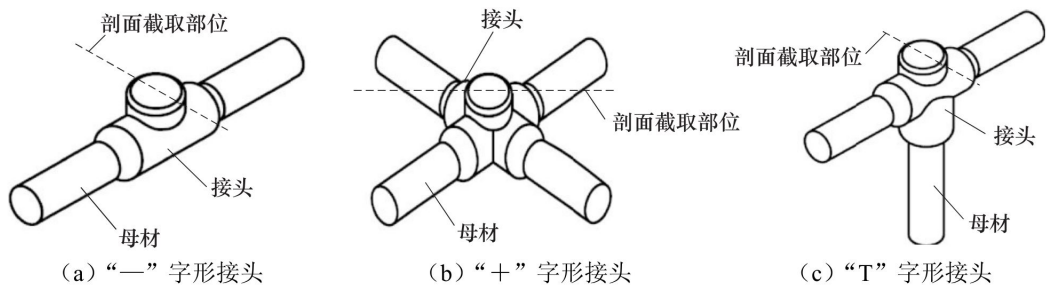


图 6 放热焊接接头剖面截取示意图

7.5.3 放热焊接接头抗拉伸强度试验

放热焊接接头的抗拉强度应不低于接地材料抗拉强度；接地材料为异种材料时，接头抗拉强度不得低于接地材料抗拉强度的较低者。试验方法应按 GB/T 2651 的规定进行，抗拉强度试验试件数量及尺寸见表 4。

表 4 抗拉强度试验试件数量及尺寸

| 试件类型 | 试件数量 | 试件总长度尺寸 |
|------|------|---------|
| 棒或板材 | 3 | ≥600mm |

7.6 短路电流试验

7.6.1 短路电流试验试件类型、数量及尺寸见表 5。

表 5 短路电流试验试件类型、数量及尺寸

| 序号 | 试件类型 | 试件数量 | 试件总长度尺寸 |
|----|------------|------|---------|
| 1 | 棒或板材 | 3 | ≥600mm |
| 2 | 有焊接接头的棒或板材 | 3 | ≥600mm |

7.6.2 将试件连接组成试验回路，试验用工频短路电流有效值 I_g 以及短路电流持续时间 t_c 的选取依据 GB/T 50065 计算确定，满足 6.5.1 的要求为合格。

7.7 接地体材料电导率试验

接地体材料电导率试验方法见附录 C，满足 6.5.2 的要求为合格。

7.8 接地体耐腐蚀性能试验

7.8.1 接地体自然腐蚀试验按照下列要求进行：

- a) 试验场地环境。试验应在室内进行，实验室内温度应为 $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 。
- b) 试品。试品为不锈钢复合材料，需制备 24 件，12 件为一组，共两组。试品直径 19.2mm，长度为 40mm，包覆层厚度为 $0.6\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$ ，试品表面应光滑、平整，无毛刺和飞边，包覆层应无裂纹。试验前应用酒精擦洗干净，并在 100°C 下烘干 1h，冷却至室温并随即用有机密封胶密封两端非工作面，用分析天平（精度为 0.1mg）称重待用。
- c) 耐酸性土壤腐蚀试验。用醋酸（ CH_3COOH ）将 pH 值为 5.5~6.5 的土壤的酸度调配成 pH 值为 4.0，并放入非金属试验槽中，平整地铺放，厚度为 35mm~40mm；将 12 件试品轻轻放入，试品直径方向间距为 30mm，长度方向间距为 80mm；然后再覆盖厚为 35mm~40mm、pH 值为 4.0 的酸性土壤，并将表面抹平。

1h 后，向土壤表面喷去离子水，直至表面水层深约 5mm，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 15d 喷水一次，水层深约 5mm。60d 后取出，清除试品表面附着物，同时进行外观检查，用酒精清洗烘干称重。按式（1）计算出每个试品的平均腐蚀率。

$$V = (\Delta W / S t) \cdot (3650 / d) \quad (1)$$

式中：

V ——试品平均腐蚀率，mm/a；

ΔW ——试品损失质量，g；

S ——试品表面积， cm^2 ；

t ——试品埋入土壤的时间，d；

d ——试品材料密度， g/cm^3 。

按式（1）计算出的平均腐蚀率满足 6.6 的要求为合格。

- d) 耐碱性土壤腐蚀试验。用氢氧化钠（ NaOH ）将 pH 值为 7.5~8.5 的土壤的碱度调配成 pH 值为 10.0，放入非金属试验槽中，平整地铺放，厚度为 35mm~40mm；将 12 件试品轻轻放入，试品直径方向间距 30mm，长度方向间距 80mm；然后再覆盖厚为 35mm~40mm、pH 值为 10.0 的碱性土壤，并将表面抹平。

1h 后，向土壤表面喷去离子水，直至表面水层深约 5mm，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 15d 喷水一次，水层深约 5mm。60d 后取出，清除试品表面附着物，同时进行外观检查，用酒精清洗烘干称重。按式（1）计算出每个试品件的平均腐蚀率，平均腐蚀率分别满足 6.6 的要求为合格。

7.8.2 放热焊接接头电偶腐蚀试验按下列要求进行：

- a) 试验场地环境。试验应在室内进行，实验室内温度应为 $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 。
- b) 试品。选取两种材料进行腐蚀试验，分别是不锈钢复合材料和熔敷铜合金材料。每种材料需制备 15 件，共 5 组，不锈钢复合材料试件直径为 19.2mm，包覆层厚度为 $0.6\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$ ，用蒸馏水冲洗，后用丙酮脱脂，酒精去污，吹干备用。试样的非工作面用有机密封胶密封，不锈钢复合材料和熔敷铜合金材料面积比为 85:1。不同金属间电偶腐蚀试验装置示意图如图 7 所示。

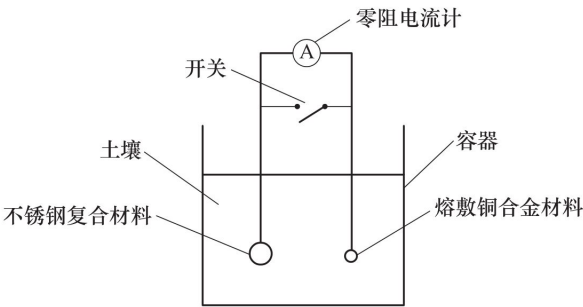


图 7 不同金属间电偶腐蚀试验装置示意图

c) 试验流程。分别选取碱性（pH 值为 10.0）、酸性（pH 值为 4.0）和滨海盐渍/内陆（含盐量 1.66%，pH 值为 8.5）土壤作为试验介质。先将试验土壤介质放入非金属试验槽中，平整地铺放，厚度为 35mm~40mm，将试样轻轻放入，试样直径方向间距为 30mm，长度方向间距为 80mm；然后再覆盖厚度为 35mm~40mm 的相应的土壤介质，并将表面抹平。

1h 后，向土壤表面喷去离子水，直至表面水层深约 5mm，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 15d 喷水一次，水层深约 5mm。90d 后取出，清除试品表面腐蚀产物，同时进行外观检查，用酒精清洗烘干称重。按式（1）计算出每个试品的平均腐蚀率，平均腐蚀率分别满足 6.6 的要求为合格。

7.8.3 试验结果判定

当 7.8.1 和 7.8.2 两项试验均通过时，接地体材料和放热焊接接头耐腐蚀试验合格。

8 检验规则

8.1 检验分类

检验分为型式试验、出厂试验和验收试验。其试验项目见表 6，计数抽样方案采用 DL/T 248—2012 附录 E 的规定。

8.2 型式试验

有下列情况之一应进行型式试验，用于型式试验的试品应从生产线中的一个批量产品中随机抽样，但不得少于 3 件：

- a) 新产品投产或老产品转厂生产的试制定型时。
- b) 正式生产后，产品结构有较大改动时。
- c) 产品停产一年以上恢复生产时。
- d) 国家质量监督检验机构提出型式试验要求时。

型式试验项目见表 6，不满足表 6 中任一项检验项目时，试验为不合格。

8.3 出厂试验

出厂试验应符合下列要求：

- a) 产品以批为单位进行验收。同一牌号原料、同一规格、连续生产的产品，以不大于 6000 支为一批。
- b) 产品出厂应逐个进行产品的外观检查，并进行表 6 所列项目的出厂试验。

表6 型式试验项目

| 序号 | 试验项目 | 标准条文 | 型式试验 | 出厂试验 | 验收试验 |
|---|-----------------|-------------|------|------|------|
| 1 | 外观检查 | 6.2 | √ | √ | √ |
| 2 | 平直度测量 | 6.2.1 | √ | √ | √ |
| 3 | 尺寸测量 | 6.3 | √ | √ | √* |
| 4 | 包覆层可塑性试验 | 6.4.1 | √ | — | √ |
| 5 | 包覆层与芯棒结合力 | 6.4.2 | √ | — | — |
| 6 | 拉伸试验 | 6.4.3 | √ | — | — |
| 7 | 放热焊接接头剖面检查及拉伸试验 | 6.3.3、6.4.3 | √ | — | — |
| 8 | 接地体（熔接头）短路电流试验 | 6.5.1 | √ | — | — |
| 9 | 电导率试验 | 6.5.2 | √ | — | — |
| 10 | 耐腐蚀性能试验 | 6.6 | √ | — | — |
| 注1：“√”表示必须进行的项目，“—”表示不进行项目。 注2：“√*”表示可进行及可不进行的项目 | | | | | |

8.4 验收试验

验收试验为合同性试验，根据用户或购买方的要求可进行产品的验收试验。验收试验项目见表6。也可以由生产厂商与用户协商后，抽样进行部分或全部型式试验项目。验收试验可在双方认定的有试验条件的单位进行。

9 标志、包装、运输和贮存

9.1 标志

产品的包装应附有产品合格证或标签，并标志产品名称、规格、数量、生产日期、生产企业名称、地址、联系方式以及产品执行标准号。

9.2 包装

接地体、极尖一般采用塑料薄膜包裹，采用纸箱或木箱包装，也可由供需双方商定包装方式。

9.3 运输

运输时应采取防止重压、摔碰或接触锐利物件等防护措施，并有可靠绑扎措施，以保持包装完好无损。

9.4 贮存

产品应贮存在通风干燥的库房内，底层应平整并有绑扎措施。短期露天存放，应捆扎牢固，有必要的防范措施。

附 录 A
(资料性附录)
土 壤 腐 蚀 性 评 价

A.1 对于一般地区土壤的腐蚀性应采用 DL/T 1554 规定的方法进行评价，也可简单采用土壤电阻率进行判定，土壤电阻率与土壤腐蚀性的关系见表 A.1。

表 A.1 土壤电阻率与土壤腐蚀性

| 土壤腐蚀性 | 微 | 弱 | 中 | 强 |
|---------------------------|------|--------|-------|-----|
| 土壤电阻率 $\Omega \cdot m$ | >100 | 50~100 | 20~50 | <20 |

A.2 土壤的腐蚀性还可采用土壤 pH 值进行判定，土壤 pH 值与土壤腐蚀性的关系见表 A.2。

表 A.2 土壤 pH 值与土壤腐蚀性

| 土壤腐蚀性分级 | 极强酸性 | 强酸性 | 弱酸性 | 中性 | 弱碱性 | 强碱性 | 极强碱性 |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|
| 土壤 pH 值 | 4.0~5.0 | 5.0~5.5 | 5.5~6.5 | 6.5~7.5 | 7.5~8.5 | 8.5~9.0 | 9.0~10 |

附 录 B
(规范性附录)
接地体材料热稳定系数

B.1 不锈钢复合材料热稳定系数取值应符合表 B.1 的规定。

表 B.1 不锈钢复合材料热稳定系数 C

| 最大允许温度 ℃ | 不锈钢复合材料热稳定系数 C 值 |
|-------------|--------------------|
| 500 | 92 |
| 600 | 99 |
| 700 | 105 |

热稳定系数 C 计算公式如下：

$$C=10\sqrt{\left(\frac{TCAP}{\alpha_r\rho_r}\right)\ln\left(\frac{K_o+t_m}{K_o+t_a}\right)} \quad (\text{B.1})$$

$$K_o=1/\alpha_o \text{ 或 } K_o=(1/\alpha_r)-t_r \quad (\text{B.2})$$

式中：

t_m ——最大允许温度，℃；

t_a ——环境温度（一般取 40℃），℃；

t_r ——材料物理常数的参考温度，℃；

α_r ——温度为参考温度 t_r 时的电阻率温度系数，℃⁻¹；

α_o ——温度为 0℃ 的电阻率温度系数，℃⁻¹；

ρ_r ——温度为参考温度 t_r 时接地导体的电阻率，μΩ·cm；

$TCAP$ ——单位体积热容量，J/（cm³·℃）。

不锈钢复合材料热稳定系数建议按表 B.1 选取，或者按式（B.1）进行计算。 t_m 宜根据当地土壤腐蚀情况综合考虑选取。

附 录 C

(规范性附录)

接地体材料电导率试验方法

C.1 测试原理

电导率测试是根据电磁场理论的电磁感应现象，即利用载有交变电流的检测线圈接近导电试件时，周围空间的交变磁场会使试件中感生出涡旋电流（涡流），涡流的大小、相位及流动形式受试件的性能参数等因素的影响，而涡流产生的磁场又使得检测线圈的阻抗发生变化，因此通过测定检测线圈阻抗的变化就可以得出被检试件的导电性差异。

C.2 单位及换算

接地体材料电导率试验中用到的量、单位以及换算关系如下：

- a) 电阻率：单位横截面积、单位长度金属导体的电阻值称为体积电阻率（简称电阻率），也称电阻系数，用符号 ρ 表示，单位为 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 或 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ 。
- b) 电导率：体积电阻率的倒数称为体积电导率（简称电导率），也称电导系数，用符号 σ 表示，单位为 MS/m 。
- c) 单位换算：试样电导率与某一标准值的比值的百分数称为该试样的导电率。单位换算关系如下：

$$58\text{MS}/\text{m}=100\%\text{IACS} \quad (\text{C.1})$$

$$1\%\text{IACS}=0.58\text{MS}/\text{m} \quad (\text{C.2})$$

$$1\text{MS}/\text{m}=1.7241\%\text{IACS} \quad (\text{C.3})$$

C.3 测试方法及步骤

C.3.1 试品

从生产线中的一个批量中随机抽取接地体材料成品 3 件作为试品（ $\phi 14.3$ ），试品应在离头或尾部 1000mm 处截取，取试品长度为 1000mm，试品一端应打磨平整。

C.3.2 测试仪器

采用量程合适且测量精度不低于 2.0% 的数字金属电导率测量仪、涡流电导率仪等仪器进行测试。

C.3.3 操作步骤

操作步骤如下：

- a) 准备阶段：
 - 1) 连接探头。
 - 2) 开启仪器电源开关，预热 10min。
 - 3) 观察显示屏电池电压指示，若电池电压小于 2 格，应充电或更换电池。
- b) 校准仪器零点：
 - 1) 取出仪器配备的高、低值电导率标准试块，分别对仪器进行校正调零。
 - 2) 首先调节“读数”旋钮，使仪器显示的电导率值与高值试块电导率值相同，接着将探头平稳地置于高值电导率试块中心，调节高值校正旋钮使仪器电平指示为零。

- 3) 再调节低值试块, 步骤同上。
 - 4) 返回校正操作, 若仪器电平指示为零, 即仪器校正完成, 否则重复上述步骤。
 - 5) 校正好的仪器可以进行试件电导率值的测量工作。
- c) 试件电导率值测量: 将探头平稳地置于被测试件的平坦部位, 调节“读数”旋钮, 使仪器电平指示为零。重新平稳置放探头 2 次~3 次, 若电平指示不为零, 应微调“读数”旋钮, 使其为零。

C.4 合格判定

3 件试品的测量值均满足 6.5.2 的要求为合格。

附 录 D
(规范性附录)
接地体材料放热焊接连接工艺

D.1 接地体材料放热焊接施工工艺

D.1.1 焊前准备

D.1.1.1 模具的准备

应按照下列要求进行模具的准备工作：

- a) 模具的清理：焊接前应清除模具内侧所有的污迹、结块、附着物及渣滓。
- b) 模具的干燥：模具应充分干燥，可使用喷灯、热风机等进行烘烤。连续操作的同一模具可借助放热焊接后的残余热量保持其干燥，但应随时进行检查。

D.1.1.2 母材的准备

焊接前应将母材结合部位打磨清理干净，并预热。预热宜使用喷灯，预热时间不宜过长。

D.1.1.3 接头形式

接头形式和尺寸应符合下列要求：

- a) 接地体焊接的接头形式尺寸应按设计图纸规定加工。如无规定时，接头形式和尺寸应按能保证焊接质量、便于操作、减少焊接应力及经济性等原则确定选用。
- b) 常用的焊接接头基本形式参见表 D.1。

表 D.1 常用的焊接接头基本形式

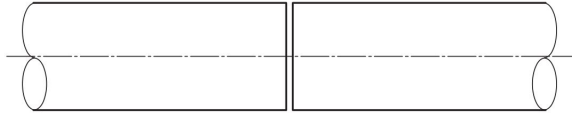
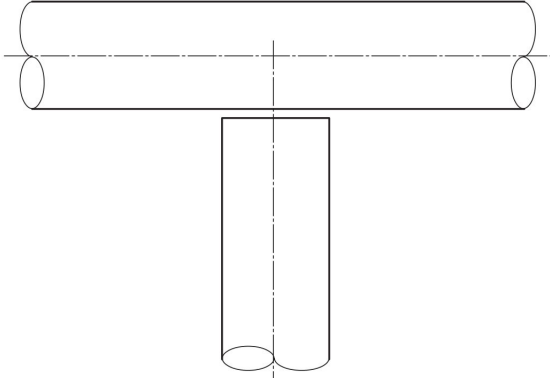
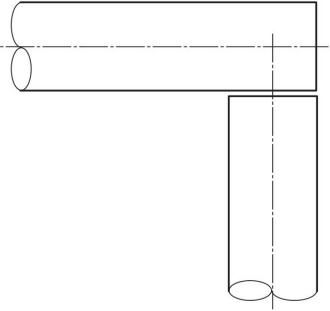
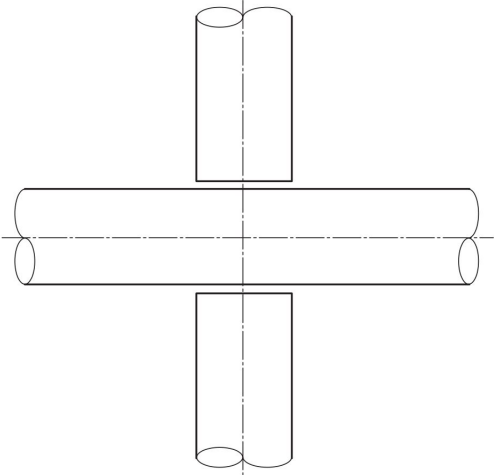
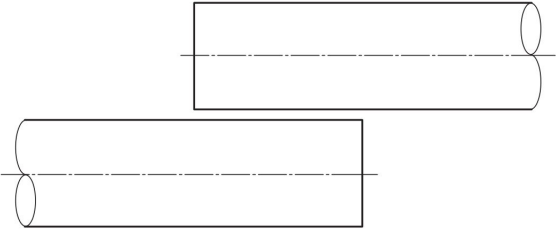
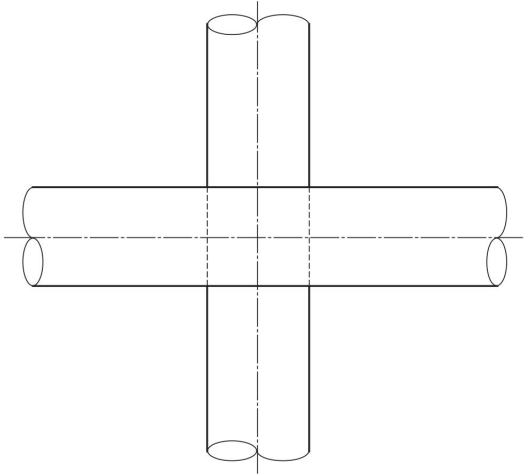
| 序号 | 接头形式 | 代号 | 图 形 | 适用范围 |
|----|------|-----|--|---------|
| 1 | 对接 | I |  | 板、线、棒、管 |
| 2 | T 接 | 单 T |  | 板、线、棒 |

表 D.1 (续)

| 序号 | 接头形式 | 代号 | 图 形 | 适用范围 |
|----|------|-----|--|-------|
| 3 | 角接 | L |  | 板、线、棒 |
| 4 | T 接 | 双 T |  | 板、线、棒 |
| 5 | 搭接 | II |  | 线、棒 |
| 6 | 搭接 | + |  | 板、线、棒 |

D.1.1.4 焊接组对

焊接组对时，模具的孔径要与母材的外径紧密配合，并将模具的两部分对齐、夹紧，不能留有余孔和偏缝，防止高温熔敷金属液漏出模具，必要时可以使用耐高温密封泥进行封堵。

D.1.1.5 施焊人员准备

正式施焊前，操作人员应进行模拟焊接练习，接头符合要求后，方可参与接地体的焊接。

D.1.2 焊接工艺

D.1.2.1 焊接环境温度低于 10℃，母材必须预热，预热温度必须大于 50℃。

D.1.2.2 焊剂装填及母材夹持

应按照下列要求进行焊剂装填及母材夹持：

- a) 模具、母材夹紧后，放置稳妥，将金属隔离片置于模具内。隔离片规格应与模具适配。
- b) 焊剂装填完毕，将引燃剂均匀撒在焊剂表面靠近引模唇内侧及模唇处，尽量保持焊剂表面与模唇处引燃剂的连续，不得将焊剂和引燃剂调和。
- c) 加入焊剂和引燃剂后，模具不得倾斜或振动，防止金属隔离片偏移造成漏粉。

D.1.2.3 点火焊接

按照下列要求进行点火焊接：

- a) 模盖开口处应朝向空旷位置，不得朝向施工人员及其他易燃物品。
- b) 使用点火枪、喷灯等点燃模唇处引燃剂，点燃时施焊人员位置与焊剂喷溅方向保持一定角度和距离，并佩戴焊接用防护手套、口罩和护目镜。
- c) 点火后经 15s~20s 后熔敷金属开始凝固，应在金属凝固后保持 10s 以后方可开模，以避免过早开模造成接头裂纹，如在冬季施工，保持时间应酌情延长。
- d) 连续多次作业，每次焊接后应进行模具清理，模具过热时应及时进行静置冷却。
- e) 焊接过程中如发生熔敷金属外流，如接头缺肉，则接头必须报废。将报废接头切除，重新清理母材后方可焊接，严禁在报废接头上添加焊剂二次焊接。
- f) 每组接头熔接完成待表面温度冷却至常温后，应使用钢丝刷清除接头熔敷金属及母材表面的残留物，并应在熔接接头部位焊痕外侧 100mm 范围内做防腐处理（如冷喷锌等）。

D.2 异种接地体材料连接方式

D.2.1 异种接地体材料间的连接宜采用放热焊接的方法。

D.2.2 与热浸镀锌钢、铜覆钢、铜、不锈钢等接地材料的连接推荐采用放热焊接，焊接要求按 D.1 进行。不锈钢复合材料与热浸镀锌钢、铜覆钢、铜、不锈钢等接地材料的连接接头处必须进行二次防腐处理（如冷喷锌等），并满足 GB 50169 的要求。