

ICS 29.035.60

CCS 21

DL

中华人民共和国电力行业标准

DL/T 2727—2023

电力工程接地用铜覆钢使用导则

Guide for the use of copper-clad steel in power engineering grounding

2023-12-28 发布

2024-06-28 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 总体要求	2
5 铜覆钢选型及设计	2
6 铜覆钢进场及施工工艺	3
7 铜覆钢接地装置验收	7
8 铜覆钢接地装置运行与维护	8
附录 A（规范性） 铜覆钢的选型及设计流程	9
附录 B（规范性） 铜覆钢热稳定系数的计算	11
附录 C（资料性） 铜覆钢截面尺寸的计算	12
附录 D（资料性） 铜覆钢的规格选型	15
附录 E（资料性） 铜覆钢的规格选型案例	19
附录 F（规范性） 铜覆钢进场及施工流程	21
附录 G（资料性） 铜覆钢接地装置施工记录和中间验收	22
参考文献	25

中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



扫码免费兑换电子书

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。

本文件由中国电力企业联合会提出。

本文件由能源行业电力接地技术标准化技术委员会（NEA/TC 31）归口。

本文件起草单位：国网陕西省电力有限公司电力科学研究院、全球能源互联网研究院有限公司、成都诺嘉伟业科技有限公司、国网江西省电力有限公司电力科学研究院、清华大学、北京市金合益科技发展有限公司、广东电网有限责任公司电力科学研究院、中国电力科学研究院有限公司、陕西中试电力科技有限公司、陕西路峰电力工程有限公司、国网浙江省电力有限公司电力科学研究院、国网天津市电力公司电力科学研究院、国网辽宁省电力有限公司、国网电力科学研究院武汉南瑞有限责任公司、中国电力工程顾问集团西南电力设计院有限公司、成都理工大学。

本文件主要起草人：王森、申巍、马光、何华林、刘欣、张波、王伟、李谦、李志忠、谭波、李伟、朱明曦、杨大渭、裴锋、陈新、韩钰、徐凯、刘熙、胡家元、于金山、雷蕾、胡全、王伟、马学峰、孙永春、代勇、聂京凯、祝志祥、姜杰。

本文件为首次发布。

本文件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）。

电力工程接地用铜覆钢使用导则

1 范围

本文件规定了电力工程接地用铜覆钢使用的总体要求、选型及设计、进场及施工工艺、验收、运行与维护等内容。

本文件适用于发电、输变电、配电等电力接地工程的铜覆钢使用，其他行业接地工程的铜覆钢使用可参照执行。

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 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 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 4956 磁性基体上非磁性覆盖层 覆盖层厚度测量 磁性法

GB/T 50065—2011 交流电气装置的接地设计规范

DL/T 475 接地装置特性参数测量导则

DL/T 1312 电力工程接地用铜覆钢技术条件

DL/T 1315 电力工程接地装置用放热焊剂技术条件

DL/T 1342 电气接地工程用材料及连接件

DL/T 1554—2016 接地网土壤腐蚀性评价导则

DL 5009.1 电力建设安全工作规程 第1部分：火力发电

DL 5009.2 电力建设安全工作规程 第2部分：电力线路

DL 5009.3 电力建设安全工作规程 第3部分：变电站

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

铜覆钢 copper-clad steel

钢芯体的表面被铜均匀包覆的材料，包括铜覆钢棒材、铜覆钢板材以及铜覆钢线材（包括圆线及绞线）。

[来源：DL/T 1312—2023，3.1]

3.2

铜覆钢全寿命周期最小截面 minimum section of copper-clad steel in life cycle

未计及铜覆钢（3.1）接地装置设计使用寿命内的土壤腐蚀时，满足热稳定校验的铜覆钢（3.1）最小横截面，包括铜覆钢（3.1）接地线和接地极全寿命周期最小截面。

3.3

放热铜焊 exothermic copper welding

利用铜氧化物与铝之间的氧化还原反应释放大量热量，从而生成高温熔融金属来进行焊接的一种放

热焊接类型。

[来源：DL/T 2049—2019，3.10]

3.4

相对导电率 relative conductivity

参比于标准退火纯铜的金属或合金导电率，一般定义标准退火纯铜的导电率为 $5.80 \times 10^7 (\Omega \cdot \text{m})^{-1}$ ，即 100%IACS（国际退火铜标准，International Annealed Copper Standard）。

4 总体要求

4.1 铜覆钢应符合 DL/T 1312 的规定。

4.2 铜覆钢适用于所有接地环境。铜和铜覆钢可使用于同一接地区域。

4.3 铜覆钢接地装置设计使用寿命应与地面工程设计使用寿命一致。

4.4 铜覆钢的铜层厚度选取，应计及土壤腐蚀和热稳定要求，并考虑运输、搬运、施工等过程中铜层的损伤。

4.5 铜覆钢接地网的设计宜考虑铜覆钢的趋肤效应对网内电位差和材料利用率的影响。

4.6 铜覆钢水平接地极的供货长度应尽量减少施工现场焊接点，宜选用成卷（盘）铜覆钢。

4.7 铜覆钢接地装置的施工应满足施工安全和环境保护的要求。

5 铜覆钢选型及设计

5.1 基本流程

铜覆钢的选型及设计流程应符合附录 A 的规定。其内容包括：基础资料收集、土壤腐蚀性评价、铜覆钢尺寸计算（全寿命周期最小截面面积计算、计及土壤腐蚀的铜层最小厚度计算）、铜覆钢规格选取、接地网设计等步骤。

5.2 设计前期准备

5.2.1 基础资料如下：

- a) 接地区域地勘资料。
- b) 电力工程设计使用寿命或运行接地装置的剩余寿命。
- c) 系统最大接地故障（短路）电流（考虑远景规划或设计年度运行最大短路电流）。
- d) 土壤腐蚀性指标参数测试方法按 DL/T 1554—2016 的规定执行。

5.2.2 土壤腐蚀性评价分为微、弱、中、强、极强五个等级。腐蚀性评价方法按 DL/T 1554—2016 的规定执行。腐蚀性评价为强等级的土壤，同时满足 $\text{pH} > 8.5$ 或 $\text{pH} < 4.5$ 和含盐量大于 1.5% 的要求，定义为极强等级。

5.3 铜覆钢的规格选取及设计

5.3.1 铜覆钢水平接地极和接地线宜选用圆线和板材，铜覆钢垂直接地极宜选用棒材。

5.3.2 铜覆钢棒材和圆线直径不应小于 10 mm；铜覆钢板材截面面积不应小于 48 mm^2 ，厚度不应小于 4 mm。

5.3.3 铜覆钢接地极截面面积不应小于铜覆钢接地线截面面积的 75%，铜层厚度应保持不变。未计及土壤腐蚀时，最小截面面积应按流经铜覆钢接地线的系统最大接地故障（短路）电流进行热稳定校验，热稳定系数的取值应符合附录 B 的规定。

5.3.4 铜覆钢的截面尺寸应包括铜覆钢全寿命周期最小截面尺寸和计及土壤腐蚀的铜层厚度。铜覆钢截面尺寸的计算见附录 C。

5.3.5 铜覆钢铜层厚度规格分为4档：0.25 mm、0.60 mm、0.80 mm和1.0 mm。铜层厚度计算值处于两规格档之间的选取上限规格档，特殊规格应由供需双方确定后再实施。铜覆钢铜层厚度超过1 mm时，宜与纯铜进行技术经济综合比较后再选取。

5.3.6 铜覆钢的规格选取宜与有色金属常用规格一致，铜覆钢规格尺寸不应小于铜覆钢的尺寸计算值，特殊规格由供需双方确定后再实施。发电厂、变电站、配电站和架空输电线路杆塔接地用铜覆钢的规格选型见附录D，铜覆钢规格选型案例见附录E。

5.3.7 铜覆钢规格确定后，供货时应提供铜覆钢产品相对导电率值，相对导电率要求应符合DL/T 1312的规定。

5.3.8 铜覆钢接地网设计应符合GB/T 50065—2011的规定。

6 铜覆钢进场及施工工艺

6.1 一般要求

6.1.1 用于铜覆钢进场质量验收试验测量的仪器、量具应在检定有效期内。

6.1.2 用于发电厂和变电站的铜覆钢进场质量验收应进行工频大电流试验，其他电力工程用铜覆钢进场质量验收，应通过工况环境判断后再选择是否进行工频大电流试验。

6.1.3 工地贮存和搬运铜覆钢时，应采取防潮、防雨雪、防碰伤和隔离腐蚀性物品等保护措施。

6.1.4 铜覆钢进场施工流程应符合附录F的规定。

6.1.5 铜覆钢接地装置施工安全应遵守DL 5009.1、DL 5009.2和DL 5009.3的相关规定。

6.2 铜覆钢的进场质量检验

6.2.1 铜覆钢进场资料要求

进入施工现场铜覆钢应提供的资料包括：产品出厂检验报告、产品质量合格证书和产品安装使用说明书等。其中产品出厂检验报告应标明产品规格或型号、适用标准、生产批号、生产日期等内容；产品安装使用说明书应包括贮存、运输和安装等内容。

6.2.2 铜覆钢验收试验

6.2.2.1 表面质量

铜覆钢表面质量的现场验收应符合以下要求：

- a) 取样：逐根（卷/盘）。
- b) 检测方法：采用目视进行检测，必要时采用放大镜。
- c) 技术要求：铜层表面应结晶细密、颜色均匀、光滑洁净、无明显的针孔、凹坑、麻点、鼓泡、剥皮、结疤、裂纹、烧灼及共沉积杂质，且不应有漏覆、浮铜和黑斑。

6.2.2.2 尺寸及允差

铜覆钢尺寸的现场验收应符合以下要求：

- a) 取样：按批组取样。每个批组由同一规格型号及热处理态组成，且长度不大于5000m。每组批取3件（或段）作为试样。
- b) 检测方法：直径、宽度及厚度测量应使用分度值不大于0.02 mm的游标卡尺，在3个任意位置测量，取平均值；长度测量应使用分度值不大于1.0 mm的钢卷尺。
- c) 技术要求：测量值应符合表1的规定，供货长度及允差应满足设计要求。

表 1 铜覆钢的尺寸及允差

单位: mm

棒材及圆线		板材	
标称直径 d	允许偏差	宽度 (或厚度)	允许偏差
$8 < d \leq 20$	+0.35	4~10	+0.10
$20 < d \leq 30$	+0.40	>10~18	+0.14
$30 < d \leq 50$	+0.50	>18~30	+0.21
—	—	>30~50	+0.30
—	—	>50~80	+0.35

6.2.2.3 铜层厚度

铜覆钢铜层厚度的现场验收应符合以下要求:

- 取样: 逐根 (卷/盘)。
- 检测方法: 按 GB/T 4956 的方法测量。棒线材铜覆钢铜层厚度测试时, 距端面 50 mm 范围外的区域 (若有螺纹, 则距离螺纹 50 mm 外) 选 3 个位置, 位置间距不小于 500 mm, 每个位置沿圆周间隔约 120° 取 3 点测量, 见图 1; 板材铜覆钢铜层厚度测试时, 距端面 50 mm 范围外的区域任选 3 个位置, 位置间距不小于 500 mm, 每个位置取 4 点, 在宽面和窄面的中间位置进行测量, 见图 2。取最小值为测量值。
- 技术要求: 测量值不应小于标称值或设计值。

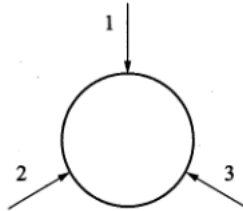


图 1 棒线材铜覆钢测量点位置

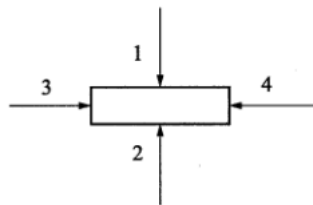


图 2 板材铜覆钢测量点位置

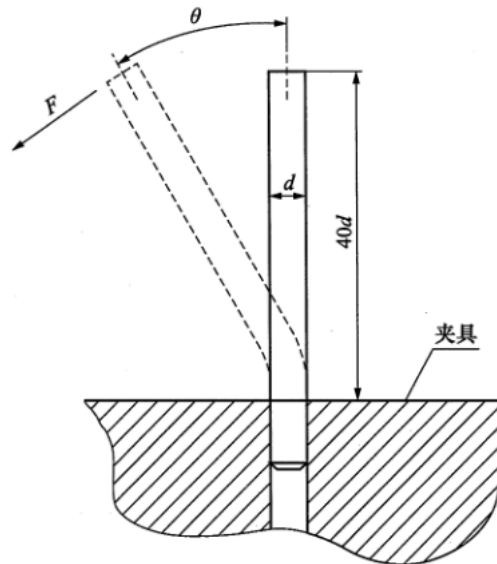
6.2.2.4 弯折试验

铜覆钢弯折性能的现场验收应符合以下要求:

- 取样: 按批组取样。每个批组由同一规格型号及热处理态组成, 且长度不大于 5000m。每组批取 3 件试样, 取样长度不应小于试样直径 d (mm) 或等效直径的 $40d+100$ mm。
- 检测方法: 将试样的一端夹紧在夹具或虎钳钳口上, 板材夹于宽度面, 在距夹具 40 倍试样直径或等效直径处, 施加一个垂直于试样的力, 见图 3。用于垂直接地极的铜覆钢弯折 ($\theta=30^\circ \pm 5^\circ$), 往复弯折 20 次 (注意控制弯折速度和冷却, 弯折处不能过热), 观察试样弯折处内、外缘的铜

层；用于水平接地极和接地线的铜覆钢弯折 ($\theta=90^\circ\pm 5^\circ$)，往复弯折 3 次，观察试样弯折处内、外缘的铜层。

- c) 技术要求：试样经弯折试验后铜层不应出现裂纹、裂缝、凹坑和其他有碍于材料腐蚀性能的缺陷。



说明：

d ——试样直径；

F ——力；

θ ——弯折角度。

图 3 弯折试验示意图

6.2.2.5 电阻率及相对导电率

铜覆钢电阻率和相对导电率的现场验收应符合以下要求：

- 取样：按批组取样。每个批组由同一规格型号及热处理态组成，且长度不大于 5000m。每组批取 3 件（或段）试样。
- 检测方法：电阻及电阻率测试分别按 GB/T 3048.2 和 GB/T 3048.4 规定的要求执行。计算电阻率及相对导电率时电阻测试长度不小于 1m。电阻测量同时记录环境温度，按公式（1）校正到 20℃时的电阻值，并按公式（2）计算相应的电阻值。

$$R_{20} = \frac{R_m}{1 + \alpha_0(A_m - 20)} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

R_m ——测量电阻值， Ω 。

α_0 ——电阻温度系数， $^\circ\text{C}^{-1}$ ，铜覆钢取 $0.00378^\circ\text{C}^{-1}$ 。

A_m ——环境温度， $^\circ\text{C}$ 。

电阻率公式：

$$\rho_{20} = \frac{R_{20} \cdot S}{L} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

R_{20} ——20℃电阻值， Ω 。

S ——截面面积, m^2 。

L ——测试长度, m 。

将公式 (2) 代入公式 (3), 计算相应的相对导电率:

$$N = \frac{1.7241 \times 10^{-8}}{\rho_{20}} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

式中:

N ——相对导电率 (%IACS)。

ρ_{20} ——20 °C 时的电阻率, $\Omega \cdot m$ 。

c) 技术要求: 铜覆钢相对导电率不应低于设计值, 且不应低于 15%IACS。

6.2.2.6 工频大电流试验

铜覆钢工频大电流耐受性能的现场验收应符合以下要求:

- a) 取样: 按批组取样。每个批组由同一规格型号及热处理态组成, 且长度不大于 5000m。每组批取 3 件试样。
- b) 检测方法: 试验电流的计算应符合 DL/T 1312 的规定。每次试验电流持续 4 s 或 10 s (可选), 共进行 3 次试验。每次试验后, 导体冷却到 100 °C 以下后再重复下一次试验。冷却至环境温度后按 6.2.2.5 测量电阻值, 测试长度不低于 200 mm, 并校正到 20 °C 时的电阻值。
- c) 技术要求: 试样经工频大电流试验后, 表面不应有鼓泡、裂纹、熔化等缺陷, 电阻变化不应超过 5%。

6.3 铜覆钢的施工工艺

6.3.1 施工准备

应按以下要求进行施工前的准备:

- a) 施工前应熟悉设计图纸, 勘查现场, 确定施工方案。
- b) 施工前应检查器具和安全防护用品, 状态良好方可投入使用。

6.3.2 接地沟 (孔)

接地沟 (孔) 的施工应符合以下要求:

- a) 水平接地沟宜选择在等高线上开挖, 开挖的长度和深度应符合设计要求。
- b) 在岩石、砾石和砂夹石等有可能损坏铜覆钢垂直接地极安装的区域, 可采用机械钻孔或人工开挖孔的方式, 接地孔的布置位置应符合设计要求。
- c) 接地沟 (孔) 完工经验收合格后, 方可进行下道工序。

6.3.3 铜覆钢的敷设

铜覆钢水平接地极和铜覆钢垂直接地极的敷设应符合以下要求:

- a) 山区石质地段或土壤电阻率较高的砂质地段, 应先在接地沟底部回填不小于 100 mm 厚的素土垫层, 然后再敷设铜覆钢。
- b) 铜覆钢水平接地极应敷设于接地沟底部中间位置, 敷设时应防止接地极连续扭转和被尖锐物划伤。成卷 (盘) 铜覆钢展开时可采用矫直设备。
- c) 铜覆钢垂直接地极宜与水平接地极同沟敷设。采用锤击方式安装时, 应配套驱动头、锤头和连接器, 防止外力破坏铜层。
- d) 铜覆钢垂直接地极用连接器宜采用铜合金材质, 与接地极连接应牢固。

- e) 铜覆钢接地极（线）应采取防止发生机械损伤和化学腐蚀的措施。在与公路、铁路或管道等交叉及其他可能使接地极（线）遭受损伤处，均应用钢管或角钢等加以保护；铜覆钢接地极（线）在穿过已有建（构）筑物处，应加装钢管或其他坚固的保护套；有化学腐蚀的部位还应采取防腐措施；接地极（线）在穿过新建（构）筑物处，可绕过基础或在其下方穿过，不应断开或浇筑在混凝土中。
- f) 铜覆钢接地极（线）敷设完成后应进行外观和敷设质量检查，经验收合格后方可进行下道工序。

6.3.4 铜覆钢的连接

铜覆钢的连接应符合以下要求：

- a) 铜覆钢的连接应采用放热铜焊方式，包括铜覆钢接地极之间的连接，铜覆钢接地极与其他金属接地极之间的连接，铜覆钢接地极与接地线之间的连接。放热焊剂应符合 DL/T 1315 的规定，连接接头应符合 DL/T 1342 的规定。
- b) 铜覆钢接地网中有钢或（热）镀锌钢与之连接时，应在连接处不少于 2 m 范围内的铜覆钢接地网和钢或（热）镀锌钢端进行防腐处理；滨海和盐渍土壤环境，还应在钢或（热）镀锌钢端加强阴极保护措施。
- c) 铜覆钢接地线与设备之间宜采用机械连接，接地线应沿构筑物基础敷设，必要时，可采用固定件将其固定。
- d) 柱上式变压器的铜覆钢接地线应紧贴水泥杆敷设，每间隔 500 mm 进行固定。

6.3.5 接地沟（孔）的回填

接地沟（孔）的回填应符合以下要求：

- a) 经中间验收（见附录 G）合格后方可进行接地沟（孔）的回填。
- b) 回填土内不应夹有石块、塑料和建筑垃圾，回填时应将土壤分层夯实，干燥土壤宜洒水压实。水平接地沟上部应设 100 mm~300 mm 高度的防沉层。
- c) 为防止雨水冲刷造成接地极外露，水土流失严重地区可在回填后对地表进行固化保护。

7 铜覆钢接地装置验收

7.1 验收资料

铜覆钢接地装置验收资料包括但不限于以下项：

- a) 设计资料；
- b) 实际施工图纸、施工材料清单；
- c) 变更设计或施工的证明文件；
- d) 铜覆钢的出厂检验报告；
- e) 专业机构出具的铜覆钢检测报告，并应在有效期内；
- f) 接地装置中间验收记录；
- g) 其他施工类资料。

7.2 中间验收

施工记录和中间验收见附录 G。

7.3 交接试验

发电厂、变电站和配电接地装置交接试验项目包括接地阻抗、电气完整性、跨步电位差、接触电位

差、地表电位梯度分布，输电线路杆塔接地装置交接试验项目包括接地阻抗、电气完整性。试验方法应符合 DL/T 475 的规定。

8 铜覆钢接地装置运行与维护

8.1 运维管理

8.1.1 按本文件选型设计的铜覆钢接地装置可实现免维护管理。有下列情况时应进行检查，必要时进行接地网状态评估。

- a) 接地装置遭到局部破坏；
- b) 接地区域土壤受到腐蚀物质侵入；
- c) 接地区域或周边地质结构发生变化；
- d) 发电厂、变电站扩容或负荷增加导致接地短路电流明显增大。

8.1.2 运维单位应建立并保存接地装置的有关运维资料档案，并保持其完整、准确。

8.1.3 运维单位应根据接地装置状况开展运行维护工作，制定巡视、检测及检修管理制度。

8.2 运行巡视

运行巡视类型包括例行巡视、故障巡视和特殊巡视，应符合以下要求：

- a) 例行巡视：例行巡视周期由运维单位根据本单位实际情况确定，不少于 1 年 1 次。巡视项目包括接地线外观、接地线与设备连接、电气完整性试验等。
- b) 故障巡视：查找故障点，查明故障原因及故障情况。故障巡视宜在故障后立即进行。必要时进行接地网状态评估。
- c) 特殊巡视：在气候条件剧烈变化、自然灾害、外力影响、异常运行和其他特殊情况时及时进行。应进行接地网状态评估。

8.3 异常情况

通过巡视，出现下列异常情况时，应及时进行接地装置整改。

- a) 接地线断开或与接地极连接不良；
- b) 接地网外露或破坏严重；
- c) 接地装置特性参数变化异常或不合格。

附录 A
(规范性)
铜覆钢的选型及设计流程

A.1 发电厂、变电站和配电站铜覆钢选型及设计流程

发电厂、变电站和配电站接地用铜覆钢规格尺寸应满足全寿命周期内热稳定校验和土壤腐蚀裕量要求，其选型及设计流程见图 A.1。

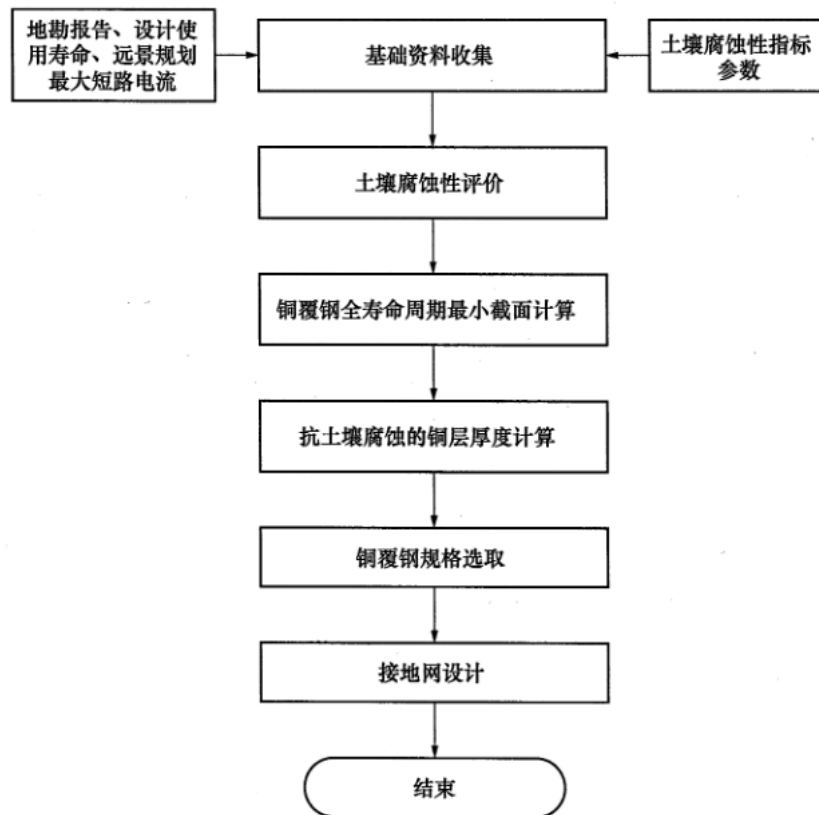


图 A.1 发电厂、变电站和配电站接地用铜覆钢选型及设计流程图

A.2 架空输电线路杆塔铜覆钢选型及设计流程

架空输电线路杆塔接地用铜覆钢规格尺寸应满足本文件的要求，铜层厚度的选取应满足土壤腐蚀性环境下的抗腐蚀能力。架空输电线路杆塔接地用铜覆钢的选型及设计流程见图 A.2。

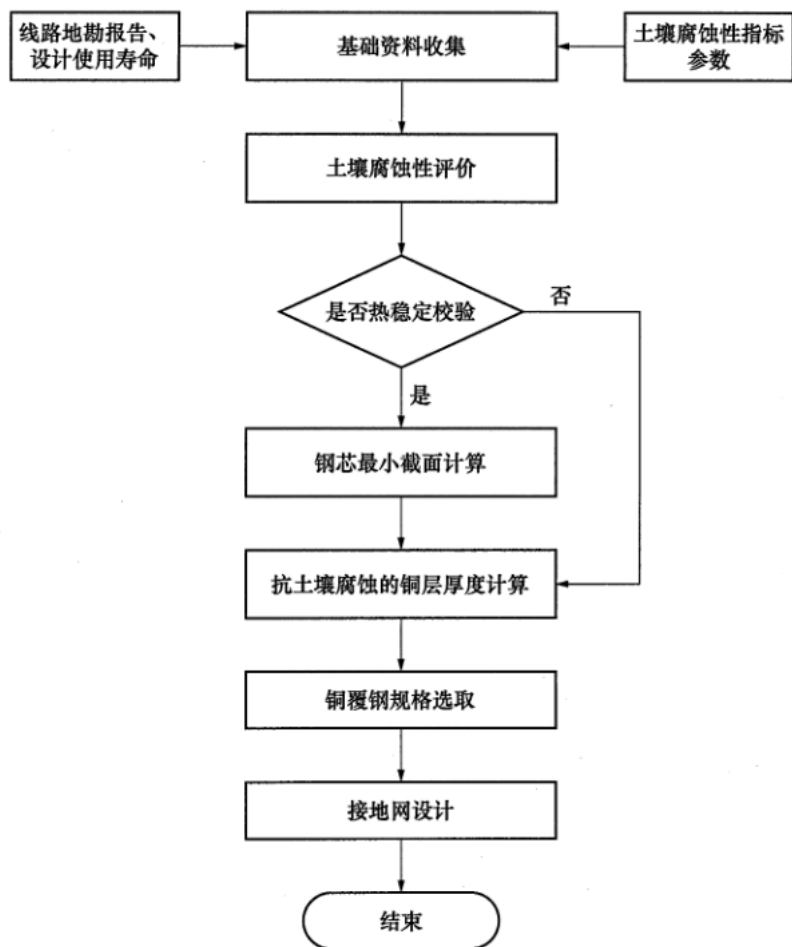


图 A.2 架空输电线路杆塔接地用铜覆钢选型及设计流程图

附录 B
(规范性)
铜覆钢热稳定系数的计算

B.1 热稳定系数的计算

热稳定系数计算公式 (B.1) 中铜覆钢材料的参数取值是按照 IEEE 80—2013 中 “Table 1 Material constant” 的规定执行。计算公式如下：

$$C = 10 \sqrt{\left(\frac{T_{ACP}}{\alpha_r \rho_r} \right) \ln \left(\frac{K_0 + t_m}{K_0 + t_a} \right)} \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

- t_m ——允许的最高温度，本文件是对铜覆钢全寿命周期最小截面进行热稳定校验，故允许的最高温度采用铜的熔点温度，取值 1084 ℃。经论证，若满足设计使用寿命后热稳定校验要求，铜覆钢选型也可采用 GB/T 50065—2011 中的最高允许温度（700 ℃、800 ℃、900 ℃）取值计算。
- t_a ——环境温度，℃，一般取 40 ℃。
- α_r ——参考温度 t_r 时电阻温度系数，取 20 ℃ 的电阻温度系数，铜覆钢取 0.003 78，℃⁻¹。
- ρ_r ——参考温度 t_r 时电阻率，取 20 ℃ 电阻率，μΩ·cm。
- K_0 —— $1/\alpha_{20}$ ，取 245，℃⁻¹。
- T_{CAP} ——容量因子，J/(cm³·℃)，铜覆钢取 3.8 J/(cm³·℃)。

B.2 铜覆钢热稳定系数计算例

通过公式 (B.1) 计算，可得出不同电阻率铜覆钢的热稳定系数值，见表 B.1。

表 B.1 铜覆钢热稳定系数 C

15%相对导电率	20%相对导电率	25%相对导电率	30%相对导电率	40%相对导电率
116	134	150	164	190

附录 C

(资料性)

铜覆钢截面尺寸的计算

C.1 铜覆钢接地线（极）全寿命周期最小截面面积计算

铜覆钢接地极截面积不应小于铜覆钢接地线截面积的 75%。首先计算铜覆钢接地线截面尺寸，然后得出铜覆钢接地极的截面尺寸，铜层厚度保持不变。铜覆钢接地线全寿命周期最小截面面积计算见公式 (C.1)。

$$S_{\min} \geq \frac{I_g}{C} \sqrt{t_e} \dots\dots\dots (C.1)$$

式中：

S_{\min} ——铜覆钢接地线全寿命周期最小截面面积， mm^2 。

I_g ——流经铜覆钢接地线的系统最大接地故障（短路）电流，A。

t_e ——接地故障的等效持续时间，与 t_s 相同，s。500 kV 及以上系统取 0.35 s，330 kV 系统取 0.5 s，220 kV 和 110 kV 系统取 0.7 s。

C ——未计及土壤腐蚀的铜覆钢热稳定系数，见附录 B。

计算得出的铜覆钢全寿命周期最小截面面积 (S_{\min}) 可换算为铜覆钢截面尺寸，包括圆线或棒材的直径 d_g (mm)，或铜覆钢板材的宽度 A_g (mm) 和厚度 B_g (mm)。

C.2 铜覆钢接地线铜层最小厚度计算

C.2.1 计算公式

铜覆钢接地线最小铜层厚度包括 C.1 中热稳定系数对应导电率所要求的铜层厚度 ($H_{\text{Cu-1}}$) 与设计使用寿命内抗土壤腐蚀的铜层厚度 ($H_{\text{Cu-2}}$) 之和，见公式 (C.2)。

$$H_{\text{Cu}} = H_{\text{Cu-1}} + H_{\text{Cu-2}} \dots\dots\dots (C.2)$$

式中：

H_{Cu} ——铜覆钢接地线最小铜层厚度，mm。

$H_{\text{Cu-1}}$ ——导电率要求的铜层厚度，mm。

$H_{\text{Cu-2}}$ ——设计使用寿命内抗土壤腐蚀的铜层厚度，mm。

C.2.2 铜层厚度 ($H_{\text{Cu-1}}$) 计算

C.2.2.1 铜覆钢导电率与铜层截面占比关系的计算

铜覆钢的直流电阻计算可以等效为铜导体和钢导体的并联，见图 C.1。铜层厚度的计算过程如下：

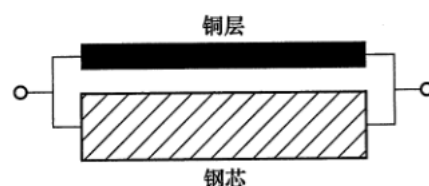


图 C.1 铜覆钢电气示意图

$$R = \frac{L}{\frac{S_{\text{Cu}}}{\rho_{\text{Cu}}} + \frac{S_{\text{Fe}}}{\rho_{\text{Fe}}}} \dots\dots\dots (C.3)$$

$$N = \frac{\rho_{\text{Cu}}}{\frac{S}{L} \times \frac{L}{\frac{S_{\text{Cu}}}{\rho_{\text{Cu}}} + \frac{S_{\text{Fe}}}{\rho_{\text{Fe}}}}} \dots\dots\dots (C.4)$$

$$\theta = \frac{S_{\text{Cu}}}{S} \dots\dots\dots (C.5)$$

式中:

R ——铜覆钢电阻, Ω 。

L ——铜覆钢长度, m。

S_{Cu} ——铜覆钢铜层截面面积, m^2 。

S_{Fe} ——铜覆钢钢芯截面面积, m^2 。

S ——铜覆钢截面面积, m^2 。

ρ_{Cu} ——20 °C铜电阻率 (GB/T 50065—2011 中附录 G), $1.724 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ 。

ρ_{Fe} ——20 °C钢电阻率 (GB/T 50065—2011 中附录 G), $13.8 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ 。

N ——铜覆钢的相对导电率, %。

θ ——铜层截面面积占铜覆钢截面面积的比例。

代入上述数据后可得

$$N = 0.8751\theta + 0.1249 \dots\dots\dots (C.6)$$

C.2.2.2 铜覆钢圆线和棒材铜层厚度 ($H_{\text{Cu-1}}$) 计算

铜覆钢圆线和棒材直径为 d_g , 铜层厚度为 $H_{\text{Cu-1}}$, 由此可以推导出铜层截面面积占铜覆钢截面面积的比例 θ 。具体计算过程见公式 (C.7)

$$\theta = \frac{\pi \times \left(\frac{d_g}{2}\right)^2 - \pi \times \left(\frac{d_g}{2} - H_{\text{Cu-1}}\right)^2}{\pi \times \left(\frac{d_g}{2}\right)^2} \dots\dots\dots (C.7)$$

式中:

$H_{\text{Cu-1}}$ ——全寿命周期导电率要求的铜层厚度, mm。

d_g ——铜覆钢直径, mm。

π ——取 3.14。

将公式 (C.7) 代入公式 (C.6) 可得到铜层厚度的计算公式。具体计算过程见公式 (C.8)。

$$H_{\text{Cu-1}} = \frac{d_g}{2} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{N - 0.1249}{0.8751}}\right) \dots\dots\dots (C.8)$$

C.2.2.3 铜覆钢板材铜层厚度计算

铜覆钢板材宽度为 A_g , 厚度为 B_g , 铜层厚度为 $H_{\text{Cu-1}}$, 由此可以推导出铜层截面面积占铜覆钢截面面积的比例 θ 。具体计算过程见公式 (C.9)。

$$\theta = \frac{A_g \times B_g - (A_g - 2 \times H_{\text{Cu-1}}) \times (B_g - 2 \times H_{\text{Cu-1}})}{A_g \times B_g} \dots\dots\dots (C.9)$$

式中:

$H_{\text{Cu-1}}$ ——全寿命周期导电率要求的铜层厚度, mm。

A_g ——铜覆钢宽度, mm。

B_g ——铜覆钢厚度, mm。

将公式 (C.9) 代入公式 (C.6) 可得到铜层厚度的计算公式。具体计算过程见公式 (C.10)。

$$H_{\text{Cu-1}} = \frac{A_g + B_g - \sqrt{(A_g + B_g)^2 - 4 \times (1.1428N - 0.1428) \times A_g \times B_g}}{4} \dots\dots\dots (C.10)$$

C.2.3 铜层厚度 ($H_{\text{Cu-2}}$) 计算

铜覆钢抗土壤腐蚀的铜层厚度计算见公式 (C.11)。

$$H_{\text{Cu-2}} = n \times \eta \dots\dots\dots (C.11)$$

式中:

$H_{\text{Cu-2}}$ ——计及土壤腐蚀的铜层厚度, mm。

n ——设计寿命, a。

η ——铜的腐蚀速率, mm/a, 见表 C.1。

表 C.1 铜在不同腐蚀等级土壤条件下采用的平均腐蚀速率

土壤腐蚀性	微	弱	中	强	极强
平均腐蚀速率 mm/a	0.001	0.003	0.007	0.012	0.017

C.3 铜覆钢截面规格尺寸的计算

铜覆钢棒材和圆线规格尺寸计算见公式 (C.12)。

$$d_{\text{ccs}} = d_g + 2H_{\text{Cu-2}} \dots\dots\dots (C.12)$$

式中:

d_{ccs} ——铜覆钢棒材或圆线直径, mm。

d_g ——公式 (C.1) 计算的铜覆钢棒材或圆线最小截面转化直径, mm。

$H_{\text{Cu-2}}$ ——计及土壤腐蚀的铜层厚度, mm。

铜覆钢板材尺寸计算见公式 (C.13) 和公式 (C.14):

宽度: $A_{\text{ccs}} = A_g + 2H_{\text{Cu-2}} \dots\dots\dots (C.13)$

厚度: $B_{\text{ccs}} = B_g + 2H_{\text{Cu-2}} \dots\dots\dots (C.14)$

式中:

A_{ccs} ——铜覆钢板材宽度, mm。

B_{ccs} ——铜覆钢板材厚度, mm。

A_g ——公式 (C.1) 计算的铜覆钢板材最小截面转化宽度, mm。

B_g ——公式 (C.1) 计算的铜覆钢板材最小截面转化厚度, mm。

$H_{\text{Cu-2}}$ ——设计使用寿命内抗土壤腐蚀的铜层厚度, mm。

附录 D
(资料性)
铜覆钢的规格选型

D.1 规格选型说明

根据附录 C 的计算公式和本文件铜层厚度规格值的规定,结合土壤腐蚀性等级和设计使用寿命,通过计算,对铜覆钢常用规格进行了选型规定。由表 D.1~表 D.6 可知,当热稳定系数(C 值)取 150 时,设计使用寿命 20 年的铜覆钢铜层厚度出现了大于 1 mm 的情况。因此,基于经济性考虑,铜覆钢全寿命周期最小截面设计计算用热稳定系数(C 值)设计计算取值不宜大于 150。

D.2 发电厂、变电站和配电台站接地用铜覆钢的规格选型**D.2.1 铜覆钢棒、线材的规格选型**

通过计算,并结合本文件的规定,对常用相对导电率规格的铜覆钢棒、线材在不同土壤腐蚀性等级环境中的规格选型有如下要求。

- a) 铜覆钢设计计算用 $C=116$ (相对导电率 15%) 时,不同设计使用寿命和土壤腐蚀性环境中铜覆钢棒、线材规格及铜层厚度规格取值见表 D.1。

表 D.1 铜覆钢棒、线材规格及铜层厚度规格选型 (C=116)

单位: mm

直径	20 年					30 年				
	微	弱	中	强	极强	微	弱	中	强	极强
10	0.25	0.25	0.25	0.60	0.60	0.25	0.25	0.60	0.60	0.60
12	0.25	0.25	0.25	0.60	0.60	0.25	0.25	0.60	0.60	0.80
14	0.25	0.25	0.25	0.60	0.60	0.25	0.25	0.60	0.60	0.80
16	0.25	0.25	0.60	0.60	0.60	0.25	0.25	0.60	0.60	0.80
18	0.25	0.25	0.60	0.60	0.60	0.25	0.25	0.60	0.60	0.80
20	0.25	0.25	0.60	0.60	0.60	0.25	0.25	0.60	0.60	0.80
直径	40 年					50 年				
	微	弱	中	强	极强	微	弱	中	强	极强
10	0.25	0.25	0.60	0.60	0.80	0.25	0.25	0.60	0.80	1.00
12	0.25	0.25	0.60	0.60	0.80	0.25	0.25	0.60	0.80	1.00
14	0.25	0.25	0.60	0.60	0.80	0.25	0.25	0.60	0.80	1.00
16	0.25	0.25	0.60	0.80	0.80	0.25	0.60	0.60	0.80	1.00
18	0.25	0.60	0.60	0.80	1.00	0.25	0.60	0.60	0.80	1.00
20	0.25	0.60	0.60	0.80	1.00	0.25	0.60	0.60	0.80	1.00

- b) 铜覆钢设计计算用 $C=134$ (铜覆钢相对导电率 20%) 时,不同设计使用寿命和土壤腐蚀性环境中铜覆钢棒、线材规格及铜层厚度规格取值见表 D.2。

表 D.2 铜覆钢棒、线材规格及铜层厚度规格选型 (C=134)

单位: mm

直径	20年					30年				
	微	弱	中	强	极强	微	弱	中	强	极强
10	0.25	0.60	0.60	0.60	0.60	0.25	0.60	0.60	0.60	0.80
12	0.60	0.60	0.60	0.60	0.80	0.60	0.60	0.60	0.80	0.80
14	0.60	0.60	0.60	0.60	0.80	0.60	0.60	0.60	0.80	1.00
16	0.60	0.60	0.60	0.60	0.80	0.60	0.60	0.60	0.80	1.00
18	0.60	0.60	0.60	0.80	0.80	0.60	0.60	0.80	0.80	1.00
20	0.60	0.60	0.60	0.80	0.80	0.60	0.60	0.80	1.00	1.00
直径	40年					50年				
	微	弱	中	强	极强	微	弱	中	强	极强
10	0.60	0.60	0.60	0.80	1.00	0.60	0.60	0.60	1.00	>1.00
12	0.60	0.60	0.60	0.80	1.00	0.60	0.60	0.80	1.00	>1.00
14	0.60	0.60	0.60	0.80	1.00	0.60	0.60	0.80	1.00	>1.00
16	0.60	0.60	0.80	1.00	>1.00	0.60	0.60	0.80	1.00	>1.00
18	0.60	0.60	0.80	1.00	>1.00	0.60	0.60	0.80	1.00	>1.00
20	0.60	0.60	0.80	1.00	>1.00	0.60	0.60	0.80	>1.00	>1.00

c) 铜覆钢设计计算用 C=150 (铜覆钢相对导电率 25%) 时, 不同设计使用寿命和土壤腐蚀性环境中铜覆钢棒、线材规格及铜层厚度规格取值见表 D.3。

表 D.3 铜覆钢棒、线材规格及铜层厚度规格选型 (C=150)

单位: mm

直径	20年					30年				
	微	弱	中	强	极强	微	弱	中	强	极强
10	0.60	0.60	0.60	0.80	0.80	0.60	0.60	0.60	0.80	1.00
12	0.60	0.60	0.60	0.80	0.80	0.60	0.60	0.80	1.00	1.00
14	0.60	0.60	0.80	0.80	1.00	0.60	0.80	0.80	1.00	>1.00
16	0.80	0.80	0.80	1.00	1.00	0.80	0.80	1.00	1.00	>1.00
18	0.80	0.80	1.00	1.00	>1.00	0.80	0.80	1.00	>1.00	>1.00
20	0.80	1.00	1.00	1.00	>1.00	0.80	1.00	1.00	>1.00	>1.00
直径	40年					50年				
	微	弱	中	强	极强	微	弱	中	强	极强
10	0.60	0.60	0.80	1.00	>1.00	0.60	0.60	0.80	1.00	>1.00
12	0.60	0.60	0.80	1.00	>1.00	0.60	0.80	1.00	>1.00	>1.00
14	0.60	0.80	1.00	>1.00	>1.00	0.60	0.80	1.00	>1.00	>1.00
16	0.80	0.80	1.00	>1.00	>1.00	0.80	0.80	1.00	>1.00	>1.00
18	0.80	0.80	1.00	>1.00	>1.00	0.80	1.00	>1.00	>1.00	>1.00
20	0.80	1.00	>1.00	>1.00	>1.00	0.80	1.00	>1.00	>1.00	>1.00

D.2.2 铜覆钢板材的规格选型

通过计算，并结合本文件的规定，对常用相对导电率规格的铜覆钢板材在不同土壤腐蚀性等级环境中的规格选型有如下要求。

- a) 铜覆钢设计计算用 $C=116$ （铜覆钢相对导电率 15%）时，不同设计使用寿命和土壤腐蚀性环境中铜覆钢板材规格及铜层厚度规格取值见表 D.4。

表 D.4 铜覆钢板材规格及铜层厚度规格选型（ $C=116$ ）

单位：mm

宽度	厚度	20 年					30 年				
		微	弱	中	强	极强	微	弱	中	强	极强
30	4	0.25	0.25	0.25	0.60	0.60	0.25	0.25	0.60	0.60	0.60
40	4	0.25	0.25	0.25	0.60	0.60	0.25	0.25	0.60	0.60	0.60
40/50	5/4	0.25	0.25	0.25	0.60	0.60	0.25	0.25	0.60	0.60	0.60
50	5	0.25	0.25	0.25	0.60	0.60	0.25	0.25	0.60	0.60	0.60
60	6	0.25	0.25	0.25	0.60	0.60	0.25	0.25	0.60	0.60	0.60
宽度	厚度	40 年					50 年				
		微	弱	中	强	极强	微	弱	中	强	极强
30	4	0.25	0.25	0.60	0.60	0.80	0.25	0.25	0.60	0.80	1.00
40	4	0.25	0.25	0.60	0.60	0.80	0.25	0.25	0.60	0.80	1.00
40/50	5/4	0.25	0.25	0.60	0.60	0.80	0.25	0.25	0.60	0.80	1.00
50	5	0.25	0.25	0.60	0.60	0.80	0.25	0.25	0.60	0.80	1.00
60	6	0.25	0.25	0.60	0.60	0.80	0.25	0.25	0.60	0.80	1.00

- b) 铜覆钢设计计算用 $C=134$ （铜覆钢相对导电率 20%）时，不同设计使用寿命和土壤腐蚀性环境中铜覆钢板材规格及铜层厚度规格取值见表 D.5。

表 D.5 铜覆钢板材规格及铜层厚度规格选型（ $C=134$ ）

单位：mm

宽度	厚度	20 年					30 年				
		微	弱	中	强	极强	微	弱	中	强	极强
30	4	0.25	0.25	0.60	0.60	0.60	0.25	0.25	0.60	0.60	0.80
40	4	0.25	0.25	0.60	0.60	0.60	0.25	0.60	0.60	0.60	0.80
40/50	5/4	0.25	0.60	0.60	0.60	0.60	0.25	0.60	0.60	0.60	0.80
50	5	0.25	0.60	0.60	0.60	0.60	0.25	0.60	0.60	0.60	0.80
60	6	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.80	0.80
宽度	厚度	40 年					50 年				
		微	弱	中	强	极强	微	弱	中	强	极强
30	4	0.25	0.60	0.60	0.80	1.00	0.25	0.60	0.60	0.80	>1.00
40	4	0.25	0.60	0.60	0.80	1.00	0.25	0.60	0.60	0.80	>1.00
40/50	5/4	0.25	0.60	0.60	0.80	1.00	0.25	0.60	0.60	0.80	>1.00
50	5	0.25	0.60	0.60	0.80	1.00	0.60	0.60	0.60	1.00	>1.00
60	6	0.60	0.60	0.60	0.80	1.00	0.60	0.60	0.60	1.00	>1.00

- c) 铜覆钢设计计算用 $C=150$ (铜覆钢相对导电率 25%) 时, 不同设计使用寿命和土壤腐蚀性环境中铜覆钢板材规格及铜层厚度规格取值见表 D.6。

表 D.6 铜覆钢板材规格及铜层厚度规格选型 ($C=150$)

单位: mm

宽度	厚度	20 年					30 年				
		微	弱	中	强	极强	微	弱	中	强	极强
30	4	0.60	0.60	0.60	0.60	0.80	0.60	0.60	0.60	0.80	0.80
40	4	0.60	0.60	0.60	0.60	0.80	0.60	0.60	0.60	0.80	0.80
40/50	5/4	0.60	0.60	0.60	0.60	0.80	0.60	0.60	0.60	0.80	1.00
50	5	0.60	0.60	0.60	0.60	0.80	0.60	0.60	0.60	0.80	1.00
60	6	0.60	0.60	0.60	0.80	0.80	0.60	0.60	0.80	0.80	1.00
宽度	厚度	40 年					50 年				
		微	弱	中	强	极强	微	弱	中	强	极强
30	4	0.60	0.60	0.60	0.80	1.00	0.60	0.60	0.80	1.00	>1.00
40	4	0.60	0.60	0.60	0.80	1.00	0.60	0.60	0.80	1.00	>1.00
40/50	5/4	0.60	0.60	0.80	1.00	1.00	0.60	0.60	0.80	1.00	>1.00
50	5	0.60	0.60	0.80	1.00	>1.00	0.60	0.60	0.80	1.00	>1.00
60	6	0.60	0.60	0.80	1.00	>1.00	0.60	0.60	0.80	1.00	>1.00

D.3 输电线路杆塔接地用铜覆钢的规格选型

架空输电线路杆塔接地用铜覆钢铜层主要作用是提升抗腐蚀能力, 在设计使用寿命内只需考虑土壤腐蚀因素。铜覆钢截面尺寸应符合本文件规定, 不同土壤腐蚀性等级的铜层厚度标称值见表 D.7。若需进行热稳定校核, C 值取 99。 t_m 取铜的熔点温度 1084 °C, 其余参数采用 IEEE 80—2013 中钢的规定。

表 D.7 输电线路杆塔接地用铜覆钢铜层厚度规格选型

单位: mm

设计寿命	微	弱	中	强	极强
20 年	0.25	0.25	0.25	0.25	0.60
30 年	0.25	0.25	0.25	0.60	0.60
40 年	0.25	0.25	0.60	0.60	0.80
50 年	0.25	0.25	0.60	0.60	1.00

附录 E
(资料性)
铜覆钢的规格选型案例

E.1 项目基本情况

某新建 220 kV 变电站，地处西南某平原地区，依据 DL/T 1554—2016 规定的多指标测试分析，土壤腐蚀性评价为“中”等级。该变电站设计寿命为 30 a，系统最大接地短路电流水平为 22.89 kA，系统接地短路电流全部流经接地线。

E.2 规格选型思路

根据项目相关信息，首先计算接地线的全寿命最小截面的规格尺寸，叠加上抗土壤腐蚀的铜层厚度，可以得出铜覆钢接地线规格尺寸计算值；然后对接地极截面面积按不小于接地线截面面积的 75%取值；最后依据附录 D 进行规格选型，并结合土壤腐蚀性和设计使用寿命，可以确定铜覆钢接地线和接地极的型号规格和对应的铜层厚度标称值。

E.3 铜覆钢截面尺寸的计算**E.3.1 铜覆钢接地线截面尺寸计算****E.3.1.1 最小截面面积计算**

铜覆钢接地线全寿命周期最小截面指的是在设计使用寿命内，满足热稳定校验要求的最小截面面积。计算步骤如下：

- a) 热稳定系数（C 值）设计取值。设计经验表明，相同情况下，C 值越大，短路电流水平越大，但铜层厚度也越厚。基于经济性和适用性考虑，不同土壤腐蚀性环境热稳定系数选取见表 E.1。

表 E.1 不同土壤腐蚀性环境热稳定系数 C 选取

电压等级 kV	微、弱、中	强、极强
<500	116	116、134
≥500	134	134、150

- b) 该项目电压等级在 500 kV 以下，土壤腐蚀性等级为“中”，C=116，铜覆钢接地线全寿命周期最小截面面积的计算见公式 (E.1)。

$$S_{\min} \geq \frac{I_g}{C} \sqrt{t_e} \dots\dots\dots (E.1)$$

式中：

- S_{\min} ——铜覆钢接地线全寿命周期最小截面面积，mm²。
 I_g ——流过铜覆钢接地线的最大接地故障电流，22 890 A。
 t_e ——接地故障的等效持续时间，0.7 s。
 C ——铜覆钢接地线的全寿命周期热稳定系数，取 116。

代入公式 (D.1), 可得出接地装置全寿命周期内铜覆钢接地线 (体) 最小截面面积为 165.10 mm^2 。

采用铜覆钢圆线, 则全寿命周期最小直径为 14.50 mm ;

采用铜覆钢扁带, 则全寿命运行周期内最小尺寸 (宽×厚) 可取值为 $41.28 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$ 。

E.3.1.2 抗土壤腐蚀的铜层厚度计算

计及土壤腐蚀要求铜覆钢铜层厚度 $H_{\text{Cu-2}}$ 计算公式见公式 (E.2)。

$$H_{\text{Cu-2}} = n \times \eta \dots\dots\dots (E.2)$$

式中:

$H_{\text{Cu-2}}$ ——计及土壤腐蚀的铜层厚度, mm 。

n ——设计寿命, 30 a 。

η ——土壤腐蚀性“中”等级的腐蚀速率, 0.007 mm/a (见附录 C)。

代入参数, 可以得到抗土壤腐蚀的铜层厚度 $H_{\text{Cu-2}}=0.21 \text{ mm}$ 。

E.3.1.3 铜覆钢接地线最小尺寸的计算

通过以上计算和取值, 可以得到铜覆钢截面规格尺寸:

- a) 采用铜覆钢圆线, 其直径尺寸计算值为 $14.50+2 \times 0.21=14.92 \text{ mm}$, 则截面面积为 174.75 mm^2 。
- b) 采用铜覆钢扁带, 其尺寸 (宽×厚) 计算值为 $(41.28+2 \times 0.21) \times (4+2 \times 0.21)=41.7 \text{ mm} \times 4.42 \text{ mm}$, 则截面面积为 184.31 mm^2 。

E.3.2 铜覆钢接地极最小尺寸计算

按接地极截面面积不小于接地线截面面积的 75%取值规定, 可计算得到铜覆钢接地极的截面规格尺寸:

- a) 采用铜覆钢圆线, 最小截面面积为 $0.75 \times 174.75=131.06 \text{ mm}^2$, 其换算直径尺寸为 12.92 mm 。
- b) 采用铜覆钢扁带, 最小截面面积为 $0.75 \times 184.31=138.23 \text{ mm}^2$, 其换算截面尺寸 (宽×厚) 为 $34.56 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$ 。

E.4 铜覆钢的规格选取

结合设计计算用 C 值、土壤腐蚀性和设计使用寿命, 对照附录 D 进行规格选型, 可以得到:

- a) 铜覆钢接地线规格选型, 铜覆钢圆线: 直径 16 mm , 铜层厚度标称值 0.6 mm ; 铜覆钢板材: $50 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$, 铜层厚度标称值 0.6 mm 。
- b) 铜覆钢接地极规格选型, 铜覆钢圆线: 直径 14 mm , 铜层厚度标称值 0.6 mm ; 铜覆钢板材: $40 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$, 铜层厚度标称值 0.6 mm 。

附录 F
(规范性)
铜覆钢进场及施工流程

铜覆钢进场及施工流程见图 F.1。流程图中的产品质量验收和工程质量检查为中间验收环节。

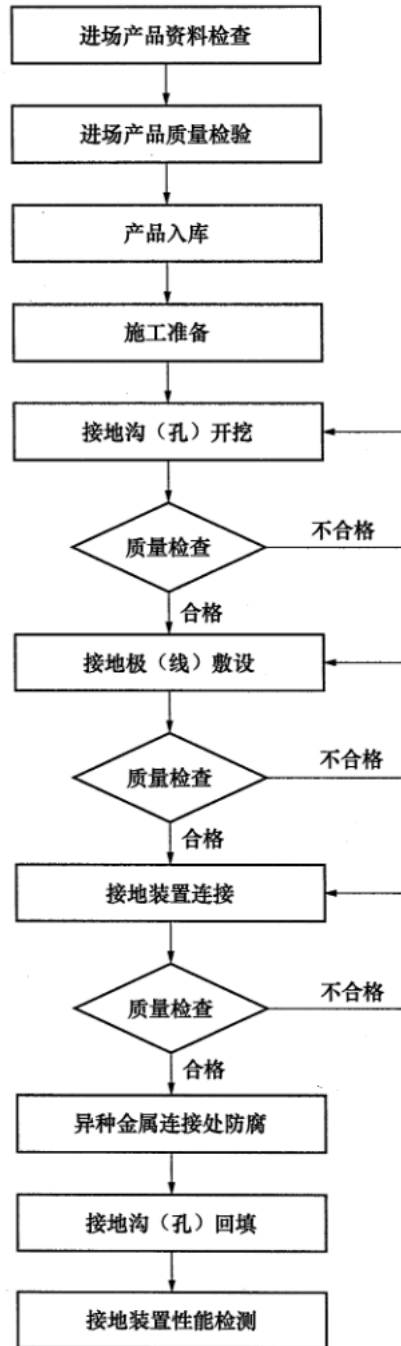


图 F.1 铜覆钢进场及施工流程图

附录 G

(资料性)

铜覆钢接地装置施工记录和中间验收

G.1 输电线路

输电线路杆塔接地用铜覆钢施工记录见表 G.1，表中的水平接地极质量、垂直接地极质量、接地线质量、接地沟（孔）质量、敷设质量、连接质量为中间验收项目。

表 G.1 铜覆钢接地装置施工记录和中间验收记录表（输电线路）

线路名称	杆塔号			
施工日期	天气	温度 ℃		
地质情况	□岩石；□卵石；□沙石；□土壤；□山地；□丘陵；□平地；□耕地；□其他_____			
土壤电阻率 $\Omega \cdot m$	三级法测量土壤电阻率时电极间距			
	1m	2m	3m	
接地材料及工序	检查项目	设计/标准要求	检查记录	整改措施
水平接地极质量	规格尺寸			
	铜层厚度			
	导电率（选做）			
	工频大电流试验（选做）			
垂直接地极质量	规格尺寸			
	铜层厚度			
	导电率（选做）			
	工频大电流试验（选做）			
接地线质量	规格尺寸			
	铜层厚度			
	导电率（选做）			
	工频大电流试验（选做）			
接地沟（孔）质量	深度			
	质量检查			
敷设质量	水平接地极数量、外观及敷设质量			
	垂直接地极数量、外观及敷设质量			
	接地线数量、外观及敷设质量			

表 G.1 (续)

接地材料及工序	检查项目	设计/标准要求	检查记录	整改措施
连接质量	质量检查			
	防腐蚀措施(若要求)			
回填质量	质量检查			
测试	接地阻抗值			
	电气完整性			
施工图片	[接地沟(孔)开挖图]	(接地敷设图)	(连接接头图)	(回填图)
接地装置布置简图				
质检机构	验收意见		签名	
施工方			年 月 日	
监理			年 月 日	
建设单位			年 月 日	

G.2 其他电力工程

其他电力工程接地用铜覆钢施工记录见表 G.2, 表中的水平接地极质量、垂直接地极质量、接地线质量、接地沟(孔)质量、敷设质量、连接质量为中间验收项目。

表 G.2 铜覆钢接地装置施工记录和中间验收记录表(其他电力工程)

项目名称	敷设地点			
施工日期	天气		温度 ℃	
接地材料及工序	检查项目	设计/标准要求	检查记录	整改措施
水平接地极质量	规格尺寸			
	铜层厚度			
	导电率			
	工频大电流试验			
垂直接地极质量	规格尺寸			
	铜层厚度			
	导电率			
	工频大电流试验			
接地线质量	规格尺寸			
	铜层厚度			
	导电率			
	工频大电流试验			
	质量检查			

表 G.2 (续)

接地材料及工序	检查项目	设计/标准要求	检查记录	整改措施
接地沟(孔)质量	深度			
	质量检查			
敷设质量	水平接地极数量、外观及敷设质量			
	垂直接地极数量、外观及敷设质量			
	接地线数量、外观及敷设质量			
连接质量	质量检查			
	防腐蚀措施 (若要求)			
回填	质量检查			
施工图片	[接地沟(孔)开挖图]	(接地敷设图)	(连接接头图)	(回填图)
质检机构	验收意见		签名	
施工方			年 月 日	
监 理			年 月 日	
建设单位			年 月 日	

参 考 文 献

- [1] DL/T 2049—2019 电力工程接地装置选材导则
 - [2] IEEE 80—2013 IEEE guide for safety in AC substation grounding
-