北京铸铁成金机电设备有限公司
Beijing Zhutiechengjin Electromechanical Equipment Co., Ltd. · 铜覆钢接地材料 · 2009 年至今

中国铜覆钢接地工程实践报告

从 0.25 mm 电镀到 0.6 / 0.8 mm 连铸退火——近二十年工程实践与五部规范的演进脉络

本报告梳理铜覆钢在中国电力接地工程中的应用历程：它如何以 0.25 mm 电镀产品起步，工程实践发现了什么，产品规范、防腐规范和技术监督导则三个层级如何先后给出一致的答案，以及今天"厚铜层、连铸、退火"成为水平接地体主流的原因。所有规范条款均引自原文并注明出处，供海外设计方、顾问和业主审阅。

技术报告 ZTCJ-TR-01 · 2026 年 10 月 · 第 1 版
编制：北京铸铁成金技术部 · 审核：总工程师 丛远新
依据：DL/T 1312-2023、Q/GDW 10466-2021、DL/T 2094-2020、Q/GDW 12015-2020、DL/T 2650-2023

摘要

结论一句话：中国用了近二十年、数百万公里的工程实践，把铜覆钢水平接地体的铜层从 0.25 mm 推到了 0.6 / 0.8 mm，把工艺从电镀推到了连铸退火；这一结论不是某一家企业的主张，而是由产品规范、防腐规范和技术监督导则三个层级的五部标准交叉写定的。

- **起点（约 2005 年起）：**艾力高（ERICO）把 0.25 mm 电镀铜覆钢带进中国，完成首批示范工程，使设计院第一次接受铜覆钢作为接地材料。我们向这一开创性工作致敬。
- **发现：**0.25 mm 源自垂直接地棒的国际惯例（UL 467 的 0.254 mm），平移到水平接地体后，在中、强腐蚀土壤中无法覆盖 30 年设计寿命的腐蚀损耗；电镀层不可退火，硬态施工困难，划伤后局部失效。
- **规范的回答：**DL/T 1312-2023 与 Q/GDW 10466-2021 规定"水平接地体宜采用退火态"、禁止套管冷拉工艺、增设 0.6 / 0.8 mm 规格；DL/T 2094-2020 与 Q/GDW 12015-2020 规定中腐蚀 ⩾ 0.6 mm、强腐蚀 ⩾ 0.8 mm；DL/T 2650-2023 以表 4 把"微弱 0.25 / 中 0.60 / 强 0.80"定为技术监督的验收线。
- **今天：**厚铜层连铸退火铜覆钢是中国电网、轨道交通、化工项目替代纯铜地网的常规选择；0.25 mm 电镀产品退回它合适的位置——垂直接地棒与弱腐蚀土壤。

1　起点：0.25 mm 电镀铜覆钢的引入

中国电力接地长期以热浸镀锌钢为主。二十一世纪初，艾力高（ERICO）把铜覆钢接地产品和放热焊接工艺系统地引入中国，建成第一批示范工程，并推动设计院接受"钢芯外包铜层也可以做接地体"的理念。当时的产品是 0.25 mm 电镀铜覆钢——这是国际上垂直接地棒的通行规格（UL 467 要求棒材任一点铜层不小于 0.254 mm），随产品一起平移到了水平接地体上。

这一步的历史价值不应低估：没有这批示范工程，就没有后来国内厂家的跟进，也没有标准体系的建立。本公司是在那之后进入行业的，今天的厚铜层连铸产品，走的仍是艾力高当年开出的那条路。

0.25 mm 电镀产品至今仍在中国使用，也随中国工程总包进入了亚洲、非洲的一些国家。本报告要说明的不是它"不能用"，而是二十年实践之后，规范把它放在了什么位置。

2　工程实践发现了什么

2.1　水平接地体与垂直接地棒的任务不同

垂直接地棒的任务是散流：打入深层土壤，靠表面积与土壤接触，流过单根的电流小，深层土壤含氧低、腐蚀通常温和。水平接地体是地网的载流干线：故障电流在注入点附近集中流过，截面要通过热稳定校验；它埋在浅层，浅层土壤含氧高、干湿交替、腐蚀最活跃；回填时还要承受拖拽磨损。把棒材的 0.25 mm 规格用到水平接地体上，是把"散流构件"的铜层用在了"载流构件"上。

2.2 腐蚀裕量算不过来

DL/T 1312-2023 表 1 和 Q/GDW 10466-2021 表 1 给出了铜在不同腐蚀等级土壤中的平均腐蚀速率，这是两部产品规范共同采用的设计依据：

土壤腐蚀性	微	弱	中	强	极强 / 强（特殊地区）
铜平均腐蚀速率 mm/a	0.001	0.003	0.007	0.012	0.017
30 年腐蚀损耗 mm	0.03	0.09	0.21	0.36	0.51
0.25 mm 铜层是否覆盖	是	是	勉强，无剩余	否	否
0.60 mm 铜层	—	—	是，余 0.39	是，余 0.24	勉强
0.80 mm 铜层	—	—	是	是，余 0.44	是，余 0.29

腐蚀速率引自 DL/T 1312-2023 表 1 / Q/GDW 10466-2021 表 1；"30 年损耗"为速率 × 30 的直接计算，未计划伤、缝隙腐蚀和杂散电流等加剧因素。两部规范均注明：当接地环境 pH < 4.5 时宜提高一个腐蚀等级选型，极强土壤采用铜材。

结论很直接：在中腐蚀土壤里，0.25 mm 到第 30 年刚好耗尽，没有任何安全余量；在强腐蚀土壤里不到 30 年。而中国的大型变电站、化工厂区和沿海项目，恰恰大量落在中、强腐蚀土壤上。

2.3 电镀工艺的两个硬伤

- **不可退火。**电镀层经不起退火处理，产品只能硬态供货。硬态线弯曲回弹大，在沟槽里定不住形，放热焊接对位困难。这是施工队最早、最普遍的反馈。
- **太薄，经不起划伤。**0.25 mm 镀层在拖拽、过石子、过钢筋时容易露钢；露钢处与周围铜层形成腐蚀电池，钢芯从破口开始腐蚀。DL/T 2650-2023 第 5.1.6.7 条后来专门写入：因划伤、碰撞、磨损造成铜层破裂、剩余厚度不满足要求时，该段材料不应用于工程。

3 规范的回答：三个层级，五部标准

中国的回答不是一部标准说了算，而是三个层级各自从自己的角度写定，相互印证。

3.1 产品规范：产品该是什么样

DL/T 1312-2023《电力工程接地用铜覆钢技术条件》（国家能源局发布，代替 2013 版）和 Q/GDW 10466-2021《电力工程接地用铜覆钢技术条件》（国家电网有限公司，代替 Q/GDW 1466-2014）是两部铜覆钢产品规范，修订后在关键条款上措辞一致：

> 4.2 铜覆钢生产工艺宜使用连铸工艺、电镀工艺，不应使用套管冷拉工艺。铜覆钢状态分为退火态和非退火态，水平接地体宜采用退火态。
>
> —— DL/T 1312-2023 第 4.2 条；Q/GDW 10466-2021 第 4.2 条措辞相同（"不应使用套管工艺"）

> 4.6 铜覆钢应根据当地土壤环境进行耐腐蚀设计选型，优先根据当地土壤腐蚀数据进行铜层厚度设计，也可按表 1 中铜的土壤腐蚀数据进行设计。当接地环境 pH < 4.5 时，宜高一等级土壤腐蚀性进行设计选型，极强土壤采用铜材。

> —— DL/T 1312-2023 第 4.6 条

DL/T 1312-2023 前言列出的主要技术变化，本身就是一份"实践清单"：修订生产工艺要求、禁止套管类铜覆钢；增加铜层厚度与环境适应性要求；**增加 0.6 mm、0.8 mm 铜层厚度及自定义铜层厚度要求**；修订铜层均匀性要求，规定任意测试点最小值；修订垂直接地极抗拉强度（≥ 550 N/mm²）和水平接地体弯折性能（90° × 3 次）；增加电导率最低值；修订铜层厚度测试方法（棒线材 9 点、板材 12 点）。Q/GDW 10466-2021 前言列出的变化与之对应：增加工艺要求、增加铜厚产品规格、修订铜层均匀性、修订电气与腐蚀试验、修订腐蚀速率并写入正文。

型号标记也把工艺写进了产品身份：CCS EP 为电镀，CCS CC 为连铸，其后依次为相对导电率、铜层最小厚度（常用 0.25 / 0.60 / 0.80 mm）和规格。两部规范的铜层厚度表完全相同：

产品型号	铜层最小厚度 mm（任意测试点）	出处
CCS-XX-XX-0.25-XX	0.25	DL/T 1312-2023 表 3；Q/GDW 10466-2021 表 3
CCS-XX-XX-0.60-XX	0.60	
CCS-XX-XX-0.80-XX	0.80	
其他厚度规格	标称厚度（不低于 0.25）	

3.2 防腐规范：铜层该多厚

DL/T 2094-2020《交流电力工程接地防腐蚀技术规范》和 Q/GDW 12015-2020《电力工程接地材料防腐技术规范》从防腐设计的角度回答同一个问题。两部规范都按土壤腐蚀等级分档：

土壤腐蚀性	DL/T 2094-2020（第 5.2.1 条）	Q/GDW 12015-2020（第 5.2.2 条）
微	普通碳素钢或热浸镀锌钢	宜采用热浸镀锌钢
弱	热浸镀锌钢、锌包钢或铜覆钢；铜覆钢铜层厚度应大于 0.25 mm	热浸镀锌钢或铜覆钢；铜层最小厚度符合 DL/T 1312 并按当地腐蚀数据设计
中	宜采用热浸镀锌钢，可采用热浸镀锌钢联合阴极保护、铜覆钢、锌包钢；**铜覆钢铜层厚度应大于 0.6 mm**	热浸镀锌钢、铜、铜覆钢或锌包钢；**铜覆钢铜层最小厚度应大于等于 0.6 mm**
强	宜采用热浸镀锌钢联合阴极保护，亦可采用高纯铁、锌包钢、铜、铜覆钢、不锈钢或不锈钢复合材料；**铜覆钢铜层厚度应大于 0.8 mm**	热浸镀锌钢、铜、铜覆钢、不锈钢或不锈钢复合材料；**铜覆钢铜层最小厚度应大于等于 0.8 mm**
特殊情形	pH ≤ 4.5 时不宜选用铜、铜覆钢（第 5.2.3 条）	含盐量 ≥ 1.5% 的滨海区、填海区、化工区、盐碱地宜选用铜（第 5.2.2.5 条）；pH ≤ 4.5 时铜覆钢铜层宜 ≥ 1.0 mm（第 5.2.2.6 条）

Q/GDW 12015-2020 第 4.8 条还把重要站点直接点名：中、强腐蚀等级地区的 330 kV 及以上发电厂和变电站、全户内变电站、220 kV 及以上枢纽变电站、66 kV 及以上城市变电站、紧凑型变电站，以及强、强特殊腐蚀等级地区的 110 kV 发电厂和变电站，"通过技术经济比较后，接地装置宜采用铜、铜层厚度大于等于 0.8 mm 铜覆钢或其他等效防腐蚀措施"。

3.3 技术监督导则：工程该选什么

DL/T 2650-2023《电力工程接地金属材料技术监督导则》（国家能源局 2023-10-11 发布，2024-04-11 实施，首次发布）是监督层面的标准，它决定供电企业在设计校核、基建监督和运行监督中按什么验收。它的选材条款把前两层的结论收拢为一句话：

> 5.1.1.5 ……土壤腐蚀性在"微、弱"分级的地区，接地金属材料宜采用热浸镀锌钢；土壤腐蚀性分级为"中"的地区，宜采用热镀锌钢联合阴极保护、铜覆钢；土壤腐蚀性分级为"强"的地区，宜采用铜、铜覆钢或其他等效防腐性能的接地材料。
>
> —— DL/T 2650-2023 第 5.1.1.5 条

土壤腐蚀性分级	最小镀层厚度 mm
微、弱	0.25
中	0.60
强	0.80

DL/T 2650-2023 表 4"铜覆钢接地材料的铜层厚度与土壤腐蚀性分级关系"；第 5.1.6.4 条规定任意测试点最小值应符合表 4。

导则同时规定：铜和铜覆钢可使用于同一接地区域（5.1.1.2）；长期使用的接地材料不应为裸碳钢，不应采用铝导体（5.1.1.4）；室内变电站及地下变电站应采用纯铜（5.1.1.7）；铜覆钢结合性能宜在工程现场取样开展（5.1.6.6，附录 B 现场弯折 / 锤击法）；镀层质量可采用现场大电流测试评估（5.1.6.9，附录 C）。

4 为什么是"连铸 + 退火"

三个层级合起来指向同一种产品：铜层 0.6 / 0.8 mm、任意测点不低于标称值、退火软态、能通过 90° 三次弯折和结合性能试验。这四项要求叠在一起，连铸工艺占了天然的优势：

- **厚铜层的经济性。**电镀沉积 0.6 mm 以上铜层耗时长、成本高；连铸是钢芯穿过熔融铜液、铜在钢芯上结晶，0.6–1.0 mm 一次成形。DL/T 1312-2023 第 3 章把连铸工艺与电镀工艺并列定义，两者都被允许，但在厚铜层段连铸更经济。
- **可退火。**连铸产品是冶金结合，可整盘退火至软态，正是第 4.2 条"水平接地体宜采用退火态"所要求的；电镀层经退火会破坏结合，做不出退火产品。
- **结合力。**冶金结合无界面间隙，能通过绞制（每根单线反复扭转弯曲）、45° 锥面锤击和现场弯折试验；这也是 DL/T 2650 附录 B 把结合性能放到工程现场去测的底气所在。
- **退出的工艺。**套管冷拉工艺（铜管套在钢芯上冷拉）被两部产品规范明令禁止，因为铜管与钢芯之间是机械贴合而非结合，大电流和腐蚀试验中会鼓泡、分离。

需要说明的是，电镀工艺并未被否定。在垂直接地棒上，棒材要打入地下，硬态正是所需；在弱腐蚀土壤和等电位连接上，0.25 mm 电镀产品仍是成熟、经济的选择。两部产品规范都把 EP 作为合法型号保留。规范改变的不是工艺的合法性，而是它在水平接地体上的定位。

5 今天的工程现状

5.1 应用规模与典型工程

按行业实践，厚铜层铜覆钢水平接地体在中国已累计敷设数百万公里，覆盖特高压变电站、高速铁路、城市轨道交通、光伏电站和化工厂区，土壤类型从沿海盐渍土、干旱碱性土到 pH < 4.5 的酸性红壤、冻土和湿热地区。本公司参与的代表性工程包括：天津津滨轻轨 9 号线（中国首条用铜覆钢改造贯通地线的线路）、北京地铁 10 号线（北京首条）、雄安—北京大兴机场快线、北京地铁 22 号线（平谷线）、大唐克旗煤制天然气项目、新疆东方希望煤电一体化项目、宁煤 HDPE 项目等。

5.2 验收实践

随着规范落地，中国项目的到货验收形成了一套可操作的做法，海外项目可以直接借用：

- 铜层厚度：磁性测厚仪（GB/T 4956）或显微镜法（GB/T 6462），棒线材距端部 50 mm 外任选 3 个截面、每截面 120° 取 3 点，共 9 点，取最小值与标称值比较；板材 3 截面 × 4 点共 12 点（DL/T 1312-2023 第 7.3 条）。出厂检验逐根（盘）检查铜层厚度和表面质量（第 8.6.2 条）。
- 结合性能：现场切 45° 锥面锤击剥铜，观察界面有无分离；或现场弯折（DL/T 2650-2023 附录 B）。
- 镀层质量：现场大电流测试（DL/T 2650-2023 附录 C）。
- 运输与施工：防止划伤，折弯半径不小于材料直径的 10 倍（Q/GDW 12015-2020 第 6.1 条）；划伤段不得使用（DL/T 2650-2023 第 5.1.6.7 条）。

6 对海外项目的意义

海外项目通常依据 UL 467、IEC 62561-2 或 IEEE 80。三者与中国体系的关系是互补而非冲突：UL 467 是设备安全认证标准，对象以棒材为主，棒材铜层 ⩾ 0.254 mm，不涉及水平接地体的腐蚀寿命；IEC 62561-2 针对防雷系统部件，关注雷电流冲击，对导体铜层要求 ⩾ 70 μm；IEEE 80 给出了铜覆钢线材（40% / 30% IACS）的热稳定常数，按几何组分计算任意结构，但不规定铜层厚度。中国的五部规范填补的正是"水平接地体在工频故障电流和 30 年土壤腐蚀下该用多厚的铜"这一空白。

我们给海外设计方的建议是：

- 按 IEEE 80 做截面热稳定校验，按当地土壤腐蚀等级和设计寿命决定铜层厚度；没有当地腐蚀数据时，可直接采用 DL/T 1312 表 1 的腐蚀速率和 DL/T 2650 表 4 的分档。
- 规格书写明"任意测试点最小铜层厚度"而不是平均值，并写明退火态和 90° 三次弯折要求。
- 到货时按 9 点法抽测铜层、现场锤击结合性能；这两项不需要实验室，一把测厚仪和一把锤子即可。

7 本公司的立场

本公司自 2009 年起只做铜覆钢接地材料，安徽明光生产基地同时具备连铸和电镀两条工艺线，产品按 DL/T 1312-2023 全套项目做型式试验（CMA / CNAS 双认可实验室）。我们供应 0.25 mm 电镀产品，用于垂直接地棒、弱腐蚀土壤和指定 0.25 mm 的规格书；但对中、强腐蚀土壤中的水平接地体，我们推荐 0.6 / 0.8 mm 连铸退火产品——理由全部写在本报告里，每一条都能在五部规范的原文中找到。对任何具体项

目，我们在 24–48 小时内免费提供两方案并列的选型计算书：按 0.25 mm 做的费用与寿命，按 0.6 / 0.8 mm 做的费用与寿命，由设计方和业主决定。

参考标准

1. DL/T 1312-2023《电力工程接地用铜覆钢技术条件》，国家能源局发布，代替 DL/T 1312-2013。
2. Q/GDW 10466-2021《电力工程接地用铜覆钢技术条件》，国家电网有限公司，2022-01-24 发布实施，代替 Q/GDW 1466-2014。
3. DL/T 2094-2020《交流电力工程接地防腐蚀技术规范》，国家能源局发布。
4. Q/GDW 12015-2020《电力工程接地材料防腐技术规范》，国家电网有限公司，2020-11-27 发布实施。
5. DL/T 2650-2023《电力工程接地金属材料技术监督导则》，国家能源局 2023-10-11 发布，2024-04-11 实施。
6. IEEE Std 80-2013, IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding；UL 467, Grounding and Bonding Equipment；IEC 62561-2, Lightning protection system components – Part 2.

本报告为技术资料，引用的规范条款以各标准正式出版物为准；工程案例为本公司供货业绩，完整清单可索取。北京铸铁成金机电设备有限公司 · www.ztcjbj.com · WhatsApp +86 186 1002 3872