

江苏沿海化工装置接地材料选型技术性与经济性

赵海涛（江苏省连云港市连云港石化有限公司，江苏 连云港 222000）

摘要：本文通过对比石油化工装置常用接地材料进行技术性能及经济成本比较，并结合实际工程案例接地材料的选取，探讨适合江苏沿海化工装置使用寿命的接地材料。

关键词：化工装置；铜覆钢；接地材料；技术性；经济性

石油化工装置以石油和天然气为主要原料，用于生产石油产品和石油化工产品。由于其生产工艺和原材料的特殊性，石油化工装置具有高温、高压、易燃、易爆等特点，因此确保其长期安全运行是首要目标。石油化工装置内的防雷接地网和静电接地网共用一套接地系统。通过接地装置将静电电荷和雷击电流导入地下，是有效避免静电堆积引发空气放电产生电火花以及雷击引发电火花的可靠措施。因此，石油化工装置对接地装置的可靠性和使用周期提出较高要求。接地装置分为地面部分和地下部分。其中地下部分属于隐蔽工程，一旦施工完成，必须满足化工装置的整体使用周期。化工装置的设计使用周期通常为30年，因此地下接地装置也必须满足这一使用年限。近年来化工装置的规模不断扩大，在沿海地区划分较多的工业园区，但沿海滩涂地属于中高腐蚀性土壤，对接地材料的耐腐蚀性有更高要求。

本文选取的工程案例是江苏省连云港市徐圩化工园区，这是一个典型的盐碱滩涂地。在土壤碱性电阻率高且腐蚀性强的条件下，进行地下隐蔽接地工程的接地材料选型研究。研究将从技术和经济两个方面对接地材料进行比较和选择，以确保接地装置在强腐蚀环境下的长期可靠和施工建设的经济性。

1 接地材料选材

1.1 热镀锌钢

热镀锌钢是我国最常用接地材料，指将碳钢经过热镀锌加工能有效防止钢材腐蚀生锈，延长钢材使用寿命，其加工工艺为电镀锌和热浸镀锌。种类分为热镀锌角钢、圆钢、扁钢等，优点是成本低、机械性能好；缺点是导电性差，防腐性能差。在强腐蚀地区使用周期短，需要频繁挖掘更换以确保接地装置安全运行，通常使用在化工装置地面上的防雷接地装置及弱腐蚀土壤条件下的地面下隐蔽接地装置。

1.2 锌覆钢

锌覆钢又名锌包钢，由于热镀锌钢的锌层薄，耐

腐蚀性能差，因此有厂家研发出锌层更厚的锌覆钢，采用连铸热浸锌的特殊工艺，将锌覆盖在钢材表面，因工艺特殊可以将锌层厚度增加到0.6mm以上，锌层厚度的增加使得锌覆钢既耐腐蚀性能优于热浸锌钢材。锌覆钢的耐腐蚀性能是通过锌层厚度达到的，但是由于锌层较脆，对耐腐蚀性能要求高的工程中，锌覆钢因锌层过厚造成弯折延展性能差，施工难度大。目前锌覆钢仅在国内石化系统得到部分应用。

1.3 纯铜

纯铜拥有极低的电阻率及最高的导电率，并且有良好的抗氧化和耐腐蚀性能，适用在酸性较强的腐蚀性土壤中，缺点是成本高，材质较软钢性不足。

1.4 铜覆钢

铜覆钢是通过电镀工艺将铜覆盖在钢材表面而形成。铜覆钢材料包括棒材、线材。铜覆钢既有铜的优良导电性和耐腐蚀性，又有钢的高强度和良好的可加工性。铜覆钢接地材料因表面有一层铜，铜有优秀的耐腐蚀性能，铜覆钢具有较强的耐腐蚀性能。铜覆钢在疏导高频接地或雷击电流时，由于电流的集肤效应，电流集中于接地材料的表面，使的铜覆钢导电性能接近于纯铜，铜覆钢广泛应用于电力、化工、建筑等多个领域。

1.5 纳米碳涂层钢

纳米碳涂层钢是近年新兴技术，采用碳纳米喷涂工艺，对热镀锌钢材进行防腐加强，目前仅石化系统试点采用，没有太多实用案例，可靠性和实用性没有经过大量工程案例检验。通过性能及应用程度及结合接地设计标准《交流电气装置的接地设计规范》(GB 50065—2018)选取热镀锌钢、锌覆钢及铜覆钢作为接地材料进行选型比较。

2 化工装置接地材料选材案例

2.1 工程条件

某化工装置建设于江苏连云港徐圩化工园，化工装置设计使用30年，其建设土壤条件见表1：

表 1 土壤腐蚀条件表

类型	数值	腐蚀强度
pH 值	7.45-7.5	碱性弱腐蚀
土壤含盐量	3.97~4.30% 氯盐渍土	强腐蚀
土壤电阻率	3-10Ω · m	强等腐蚀

2.2 技术比较

2.2.1 锌铜碳钢三种材料耐腐蚀速度

锌腐蚀速度：规范中没有对锌材料腐蚀的详细研究（与土壤电阻率有关、土壤 pH 值对其影响可忽略），依据《交流电气装置接地设计规范》（GB50065-2018）参考土壤电阻率 50~300Ω · m 时锌的腐蚀速度 0.0658mm/a 用于计算比较。

铜腐蚀速度：依据《电力工程接地用铜覆钢技术条件》（DL/T1312-2013）中各项土壤腐蚀速度，根据连云港石化土壤电阻率及 pH 值对比规范中土壤性质相似的铜覆钢腐蚀速度，选取其中腐蚀最大速度 0.00698mm/a 用于计算比较。

碳钢腐蚀速度：碳钢厚度腐蚀速度 $K_h=8.76$ 重量腐蚀速度 k / 碳钢密度 d ；依据《电力工程地下金属构筑物防腐技术导则》（DLT5394-2007）；当土壤电阻率 $< 20\Omega \cdot m$ 时，碳钢重量腐蚀速度 $K=7g/(dm^2 \times a)$ ，碳钢的腐蚀速度为

$$K_h=8.76 \times [7g/(dm^2 \times a)]/(7800kg/m^3)=0.78mm/a, \text{ 碳钢腐蚀速度按 } 0.78mm/a \text{ 计算比较。}$$

2.2.2 热镀锌钢锌覆钢及铜覆钢耐腐蚀性能

热镀锌钢：依据《金属覆盖层 - 钢铁制件热浸镀锌层技术要求与试验方法》（GB-13912-2002）φ14 的热镀锌圆钢镀锌层平均厚度为 0.045mm，40×4 热镀锌扁钢镀锌层平均厚度为 0.070mm。以锌的腐蚀速度 0.0658mm/a、碳钢腐蚀速度按 0.78mm/a 计算，φ14 的热镀锌圆钢在约 8 个月内镀锌层完全腐蚀，剩余钢芯在 16 年内完全腐蚀，在埋地约 5 年后就钢芯小于 φ10 不满足接地材料使用机械强度；规格 40×4 的热镀锌扁钢在约 13 个月内镀锌层腐蚀

掉，剩余的钢材分 5 年内腐蚀掉，在埋地约 14 个月后就不满足接地材料使用机械强度。热镀锌钢耐腐蚀性能不足，并且碳钢易出现点腐蚀情况，造成地面下接地网断裂，不适用于本工程的地下接地工程接地材料。

锌覆钢：依据《电力工程接地用锌覆钢技术条件》（DL/T1457-2015），根据土壤电阻率锌覆钢锌层厚度为 3mm；依据《交流电气装置接地设计规范》（GB50065-2018）接地材料满足机械强度的最小尺寸钢芯 φ10，锌覆钢选取规格为 φ16 锌层 3mm。以锌的腐蚀速度 0.0658mm/a、碳钢腐蚀速度按 0.78φ16 锌覆钢 3mm 锌层耐腐蚀 46 年，锌覆钢锌层满足接地工程 30 年使用年限。

铜覆钢：依据《电力工程接地用铜覆钢技术条件》（DL/T1312-2013）选取规格 φ14 铜层 0.254mm 电镀铜覆钢。以铜的腐蚀速度 0.00698mm/a、碳钢腐蚀速度按 0.78mm/a 计算规格 φ14 铜覆钢 0.254mm 铜层耐腐蚀 36 年，满足接地工程 30 年使用年限。

通过腐蚀比较在耐腐蚀性上接地材料 φ16 锌覆钢和 φ14 铜覆钢满足使用年限要求，但是锌覆钢通过增加锌层厚度来提升耐腐蚀性能，在土壤强腐蚀环境下在锌层 1mm 厚度及以上时无法弯曲成盘只能是 6 米 1 根，在此种情况下锌覆钢热熔连接点远超铜覆钢。

2.2.3 防雷接地材料熔融电流比较

防雷接地材料性能熔化电流公式，《电力工程接地用锌覆钢技术条件》（DL/T 1457-2015），《电力工程接地用铜覆钢技术条件》（DL/T1312-2013）

$$I_{fuse} = A \sqrt{\frac{\alpha_{TACP} \times 10}{t_c \alpha_r \rho_r} \ln \frac{+\theta_m}{K} \frac{\theta}{\theta}}$$

其中 I_{fuse} 融化电流有效值； A 导体横截面积，选取钢芯横截面积； θ_m 允许最高温度，锌包钢 1510℃，铜覆钢 1054℃； θ_a 环境温度选取 40℃； α_r 温度 θ_r 时

表 2 接地材料耐腐蚀性能比选表

通用接地材料	规格	镀层厚度	土壤电阻率	腐蚀速度 ()	镀层腐蚀年限	钢芯腐蚀年限	30 年使用年限
热镀锌圆钢	φ14	0.045mm 锌	电阻率 3-10Ω · m	0.065 锌 +0.9 钢	0.7	15.6	不满足
热镀锌扁钢	40mm × 4mm	0.070mm 锌	电阻率 3-10Ω · m	0.065 锌 +0.9 钢	1.07	4.45	不满足
锌覆钢	φ16	3mm 锌	电阻率 3-10Ω · m	0.065 锌 +0.9 钢	46.15	11.1	符合
铜覆钢	φ14	0.254mm 铜	电阻率 3-10Ω · m	0.0069 铜 +0.9 钢	36.8	15.6	符合

电阻温度系数，选取 20℃，锌包钢 $0.016\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ ，铜覆钢 $0.00378\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ ； ρ_r 温度材料 θ_a 时电阻率， α_{TACP} 热熔系数， t_c 通电时间，通过公式进行计算比较，接地材料熔融电流与接地材料钢芯截面积 A 成正比，当钢芯腐蚀面积减小时接地材料熔融电流同比例下降，影响防雷接地性能，接地工程使用的接地材料必须保证其钢芯的截面，锌覆钢因镀层厚度原因 3mm 厚度选型满足接地规范最小直径 $\phi 10$ ，其 10S 熔融电流 3.07KA 小于铜覆钢熔融电流 7.05KA，熔融电流性能上铜覆钢优于锌覆钢。

2.2.4 技术性比选结论

通过接地材料耐腐蚀性能及熔融电流比较，铜覆钢优于锌覆钢。

3 经济性比较

以 10 万米接地网为计算比较基准值

3.1 锌覆钢

锌覆钢由于生产工艺原因，在 1mm 厚度及以上时无法弯曲成盘只能是 6 米 1 根，镀锌层厚度越大弯曲角度越小，使施工难度增大及施工成本增加，由于只能 6 米 1 根在敷设时连接焊点增多，10 万米水平接地线锌覆钢比铜覆钢多 14000 个焊点，焊药和焊接工具成本增加。

3.2 铜覆钢

铜覆钢采用电镀工艺，镀层厚度 0.254mm 即可满足多数应用，可以根据要求制成 100m/ 卷或 200m/ 卷，埋地敷设时使用调直机调直但有一定的弯曲度，可以防止因地面沉降造成接地网断裂。

3.3 接地材料成本比选

初步预估水平接地线 10 万米、接地极 1000 根材料及配套模具焊药，锌覆钢因单根长度 6m 的条件下，焊接点远超铜覆钢，造成成本上升。

表 3 接地材料成本比选

土壤电阻率	接地材料镀层厚度	预算元	差值元
$< 20\Omega \cdot \text{m}$	镀层 0.254mm 铜覆钢材料预算	4854800	2632000
$< 20\Omega \cdot \text{m}$	镀层 3mm 锌覆钢材料预算	7486800	

通过成本比较选择电镀铜覆钢作为接地材料要节省投资 260 万元左右，经济性比选接地材料选型为铜覆钢。

3.4 接地材料比选结论

石化系统常用热镀锌钢、锌覆钢、铜覆钢三种接地材料，对材料的耐腐蚀性能、熔融性及经济成本，

在弱碱性及电阻率强腐蚀的江苏沿海滩涂地，地面下接地工程接地材料选用铜覆钢，其在成本和施工难度均比锌覆钢有优势。

4 结论

化工装置地面下接地工程属于防雷和静电共用接地网，有防止静电积聚和雷击等多重功能，因化工装置一般多为连续性生产，接地工程一旦建设施工完成很少有机会进行挖掘改造，所以对工程质量要求很高，在江苏连云港化工园，土壤属于强腐蚀的情况下，引用标准规范数据对接地材料进行性能比较，与供应商进行沟通并进行成本计算，最后选定铜覆钢作为接地材料，在选型期间考察了同园区的使用锌包钢的化工装置，使用 5 年锌覆钢腐蚀情况严重；经过技术经济分析和实际考察，最终选定铜覆钢作为接地材料。

本工程接地工程随装置建设 2019 年末进行施工，2020 年上半年装置地面下隐蔽工程全部施工完成，2021 年 4 月装置进行开车生产，2024 年 6 月装置进行扩建改造，进行土建挖掘，将埋入地面下的接地网部分挖出检查，发现铜覆钢腐蚀轻微，铜层厚度 4 年腐蚀轻微（图 1）。



图 1

参考文献：

- [1] GB50065—2018. 交流电气装置的接地设计规范 [S]. 北京：住房和城乡建设部，2018.
- [2] DL/T1312-2013 电力工程接地用铜覆钢技术条件 [S]. 北京：国家能源局，2013.
- [3] GB13912-2002 金属覆盖层 - 钢铁制件热浸镀锌层技术要求与试验方法 [S]. 北京：国家质量监督检验检疫总局，2002.
- [4] DL/T1457-2015. 电力工程接地用锌覆钢技术条件 [S]. 北京：国家能源局，2015.

作者简介：

赵海涛（1986—），男，汉族，籍贯：黑龙江省哈尔滨市呼兰区康金镇，本科，电气工程师，研究方向：化工装置电气施工建设运维。