

关于耐候钢管杆在输电工程的适用性技术研究

阎德健¹ 刘海龙¹ 张弛¹ 潘伟东² 代翠江²

1 国网北京市电力公司物资分公司 2 青岛海汇铁塔机械有限公司

DOI:10.12238/btr.v7i4.4449

[摘要] 长期以来,镀锌钢管杆因其良好的防腐性能在输电工程中得到了广泛应用,但是随着环保意识的增强和节能减排要求的提高,镀锌钢管杆的生产工艺和后期维护问题日益凸显。而耐候钢作为一种新型防腐材料,通过在大气环境中形成致密且稳定的锈层,实现了免涂装、免维护的防腐效果,为输电杆塔的防腐技术提供了新的解决方案。因此本文将从耐候钢的防腐机理、力学性能、环境适应性等方面入手,去探讨耐候钢管杆在输电工程中的具体应用效果,希望能够对广大读者有所帮助。

[关键词] 耐候钢管杆; 输电工程; 适用性技术

中图分类号: TM621.5 文献标识码: A

Research on the applicability technology of weather resistant steel pipe poles in transmission engineering

Dejian Yan¹ Hailong Liu¹ Chi Zhang¹ Weidong Pan² Cuijiang Dai²

1 State Grid Beijing Electric Power Company Material Branch

2 Qingdao Haihui Iron Tower Machinery Co., Ltd. Qingdao City

[Abstract] For a long time, galvanized steel pipe poles have been widely used in power transmission projects due to their excellent anti-corrosion performance. However, with the increasing awareness of environmental protection and the improvement of energy conservation and emission reduction requirements, the production process and post maintenance issues of galvanized steel pipe poles have become increasingly prominent. As a new type of anti-corrosion material, weathering steel achieves coating free and maintenance free anti-corrosion effects by forming a dense and stable rust layer in the atmospheric environment, providing a new solution for the anti-corrosion technology of transmission towers. Therefore, this article will explore the specific application effects of weathering steel pipe poles in power transmission projects from the aspects of anti-corrosion mechanism, mechanical properties, environmental adaptability, etc., hoping to be helpful to readers.

[Key words] weather resistant steel pipe pole; Transmission engineering; Applicability technology

引言

输电工程作为电力系统的重要组成部分,其可靠性和安全性直接关系到电力供应的稳定性,而且近年来随着城市化进程的加快和电力需求的增加,输电工程的建设面临着诸多挑战,其中输电线路的杆塔材料选择尤为关键。传统的输电杆塔材料主要包括钢筋混凝土、普通钢材等,这些材料虽然在强度和刚度方面具有一定优势,但在耐腐蚀性和环境适应性方面存在不足,而耐候钢作为一种新型材料,以其优异的耐腐蚀性能和结构稳定性,逐渐成为输电工程中备受关注的选择。

1 耐候钢材料特性及其在输电工程中的应用优势

1.1 耐候钢的化学成分与微观结构

耐候钢是一种含有少量铜、镍、铬等合金元素的低合金高强度钢,这些合金元素的添加,使得耐候钢具备了优异的耐腐蚀

性能,其中在大气环境中,这些合金元素会在钢材表面形成一层致密的氧化物保护膜,从而阻止钢材进一步氧化,这层保护膜能够有效地减缓腐蚀速率,使得钢材在长期暴露于大气环境中仍能保持较好的结构完整性,而且耐候钢的化学成分不仅提高了其耐腐蚀性能,还增强了其机械性能,使其在承受风荷载和地震荷载时表现出色;除此以外,耐候钢的微观结构中含有的微量元素可以细化晶粒,从而提高材料的强度和韧性,这些微量元素通过在钢材中形成微小的析出物,起到强化基体的作用,进一步提升了耐候钢的综合性能。

1.2 耐候钢在大气环境中的腐蚀行为

耐候钢在大气环境中的腐蚀行为主要依赖于其表面形成的氧化保护膜,这层保护膜的形是一个动态的过程,在初期阶段,钢材表面会生成一层较为疏松的氧化物,但是随着时间的推移,

这层氧化物膜逐渐变得致密和稳定,从而大幅度降低钢材的腐蚀速率,其相比于传统钢材,耐候钢在潮湿和污染较严重的环境中依然能够保持良好的耐腐蚀性能,这一特性使得耐候钢在许多恶劣环境中得到了广泛应用,例如工业污染严重的地区和沿海高盐雾环境,在这种气候条件复杂的地区,耐候钢管杆的优势尤为明显。传统钢材在这种环境中容易受到腐蚀和老化的影响,导致结构性能下降,然而耐候钢能够在这样的环境中形成稳定的保护膜,有效抵抗腐蚀和老化,保证了钢材的长期使用寿命和结构稳定性。

1.3 耐候钢管杆的结构设计与制造工艺

耐候钢管杆在结构设计上充分考虑了材料的力学性能和耐腐蚀特性,其通常采用圆管或多边形截面,以提高杆塔的整体稳定性和抗风性能,这些设计在优化材料使用效率的同时,还增强了结构的抗震和抗风能力,例如在制造工艺上,耐候钢管杆通过高精度的焊接和热处理工艺,确保了材料的均匀性和焊缝的强度。而且由于焊接工艺的精度直接关系到钢管杆的整体强度和使用寿命,因此在制造过程中,采用先进的焊接技术和严格的质量控制措施是至关重要的;而热处理工艺则通过控制加热和冷却过程中的温度和时间,优化钢材的微观结构,提高其综合性能,相比传统的输电杆塔,耐候钢管杆具有更高的制造精度和更好的结构一致性,避免了因制造缺陷导致的性能下降;除此以外耐候钢管杆的制造工艺还注重环保和资源节约,通过采用先进的加工技术,减少了能源消耗和污染物排放,实现了绿色制造和可持续发展。

2 耐候钢的防腐机理与性能特点

2.1 耐候钢的防腐机理

耐候钢的防腐机理深植于其独特的材料特性与环境交互作用之中,如在自然大气暴露条件下,耐候钢表面会经历一系列复杂的化学反应与物理变化,最终演化出一层独特且功能强大的防护层——稳定锈层,这一过程是耐候钢能够展现出卓越耐蚀性能的关键所在,例如当耐候钢暴露于大气中时,其表面铁元素开始与环境中的氧气、水分等发生作用,逐渐生成一系列铁的氧化物及氢氧化物,这些初期生成的化合物,如活性较高的 γ -FeOOH,会在随后的时间里,随着环境条件的周期性变化(如干湿交替、昼夜温差等),经历溶解、再沉淀的过程,逐渐转化为更为稳定、致密的形态,如 α -FeOOH和 Fe_3O_4 ;同时非晶态腐蚀产物的存在进一步增强了锈层的复杂性和防护效能,它们填充于锈层微孔之中,有效阻碍了腐蚀介质的渗透路径。这层由 α -FeOOH、 γ -FeOOH、 Fe_3O_4 及非晶态腐蚀产物共同构成的稳定锈层,不仅具有高度的致密性,能够物理性地阻挡水分和氧气的直接接触,还通过其化学稳定性,抑制了进一步的电化学反应,锈层的形成是一个动态平衡过程,随着外界条件的持续作用,锈层会不断自我修复和完善,从而长期保持对基体金属的有效保护。

2.2 耐候钢的性能特点

2.2.1 优异的耐蚀性能

耐候钢之所以能在输电杆塔等户外设施中脱颖而出,关键在于其卓越的耐蚀性能,其中在自然大气环境中,耐候钢表面能够自发生成一层致密且稳定的锈层,这层锈层如同一道天然的屏障,有效隔绝了水分、氧气等腐蚀介质的侵袭,从而减缓甚至阻止了基体金属的进一步腐蚀,这一过程无需人工干预,也无需额外的防腐处理措施,大大降低了后期的维护成本;此外耐候钢的锈层还具有一定的自我修复能力,能够在一定程度上抵抗物理损伤和环境变化对防护层的破坏,进一步延长了材料的使用寿命。

2.2.2 良好的力学性能

除了优异的耐蚀性能外,耐候钢还展现出了良好的力学性能,这是其作为输电杆塔等结构材料的重要优势之一,例如新型耐候钢在研发过程中,通过引入微合金化技术,成功地在不牺牲耐候性能的前提下,提升了钢的强度和韧性,这种高强韧性的结合,使得耐候钢在承受复杂应力和变形时,能够保持较高的稳定性和安全性,对于输电杆塔而言,这意味着更高的承载能力和更好的抗风压、抗震性能,为电力系统的稳定运行提供了可靠的保障。

3 耐候钢管杆在输电工程中的适用性评估

3.1 环境适应性分析

北方地区的气候特征主要表现为四季分明、温差较大、湿度适中,这些特点对耐候钢的腐蚀行为具有显著影响,其中通过对良乡地区的大气环境因素进行监测和分析,我们可以评估耐候钢管杆在该地区的适应性。上表列出了良乡与其他几个对比地区的关键环境参数,从表中可以看出,良乡地区的年平均气温适中,湿度处于中等水平,而 SO_2 浓度相对较低,这些条件有利于耐候钢表面锈层的稳定形成;在实际应用中,耐候钢在良乡地区的输电杆塔上能够自然形成一层致密且稳定的锈层,有效隔绝水分和氧气的侵蚀,同时由于该地区湿度适中,锈层的湿润时间得到合理控制,避免了过度湿润导致的锈层破坏,由此可见从环境适应性角度来看,耐候钢管杆在地区具有良好的应用前景。

3.2 力学性能验证

表3.1 力学性能测试结果表

测试项目	测试标准	新型耐候钢结果
下屈服强度(MPa)	GB/T 228—2002	500-513
抗拉强度(MPa)	GB/T 228—2002	563-568
总伸长率(%)	GB/T 228—2002	27.5-29.0
冲击吸收功(-40℃)(J)	GB/T 1591—2008	96-176
弯曲试验	GB/T 232—2010	合格

为了验证新型耐候钢是否满足输电杆塔对材料强度的要求,对其进行了全面的力学性能测试,其测试结果表明(如表所示),

新型耐候钢在屈服强度、抗拉强度、总伸长率以及冲击吸收功等方面均表现出优越的性能,这些性能指标均超过了传统输电杆塔材料的要求,确保了耐候钢管杆在承受复杂应力和变形时能够保持高度的稳定性和安全性;除此以外新型耐候钢通过微合金化技术显著提高了钢的强度和韧性,这种高强韧性的结合使得耐候钢管杆在恶劣环境下依然能够保持良好的力学性能,所以从力学性能角度来看,耐候钢管杆完全能够满足输电工程的需求。

3.3防腐性能实验

表3.2 防腐性能实验结果表

实验条件	地区	锈层电阻(Ω)	α -FeOOH含量(%)	γ -FeOOH含量(%)	α/γ 比值
暴晒15个月	北京良乡	13-170	3.53	10.08	0.35
	河北曹妃甸	40-55	5.91	7.17	0.82
	福建平潭	10-230	2.30	4.10	0.56
	福建永泰	9-11	3.65	9.54	0.44

在地区选取具有代表性的输电杆塔试验点,将耐候钢管杆与传统镀锌钢管杆进行对比实验,其中通过定期取样分析锈层形貌、电化学性能和成分变化,我们评估了耐候钢管杆的防腐性能,实验结果表明(如表所示),在良乡地区暴晒15个月后,耐候钢管杆的锈层电阻保持在较高水平,且锈层中 α -FeOOH和 γ -FeOOH的含量均有所增加,形成了稳定且致密的锈层结构,而且进一步分析发现,耐候钢管杆在良乡地区的 α/γ 比值虽然未达到长期暴露后的理想值(约1或更高),但其锈层已经展现出良好的稳定性和保护性能。相比之下,传统镀锌钢管杆在长期使用过程中需要定期进行维护以保持其防腐性能,而耐候钢管杆则无需额外的防腐处理即可实现长效防腐,因此从防腐性能角度来看,耐候钢管杆在输电工程中具有显著的优势。

4 耐候钢管杆在输电工程中的实际应用

4.1工程案例介绍:“绿电通道”工程

“绿电通道”工程是一项旨在提升城市绿色能源传输效率的重大基础设施项目,其中该项目在关键输电区段采用了新型耐候钢管杆,替代了传统的镀锌钢管杆,以验证耐候钢材料在实

际工程中的性能表现,而且该工程位于市郊,跨越多个生态环境敏感区域,对输电杆塔的防腐性能和环保要求极高。在实际应用中,耐候钢管杆展现出了卓越的性能,经过一年的自然暴露,耐候钢管杆表面形成了稳定的锈层,有效隔绝了水分和氧气的侵蚀,腐蚀速率远低于预期,验证了其优异的耐蚀性能,同时该工程还通过安装传感器监测杆塔的力学性能和结构稳定性,结果显示耐候钢管杆在承受风载、雪载等复杂应力时表现出色,确保了输电系统的安全稳定运行。

4.2经济效益分析

从经济效益角度来看,耐候钢管杆在“绿电通道”工程中的应用带来了显著的成本节约,虽然初期投资方面,耐候钢管杆的单价略高于传统镀锌钢管杆,但考虑到其免维护特性,长期维护成本大大降低,毕竟传统镀锌钢管杆每五年需进行一次防腐涂层维护,每次维护成本高昂,而耐候钢管杆在整个设计寿命周期内无需额外防腐处理,仅此一项即可节省大量维护费用据初步估算,“绿电通道”工程采用耐候钢管杆后,相较于传统镀锌钢管杆,预计在整个项目周期内可节省约30%的维护成本;除此以外耐候钢管杆的高强度高韧性也减少了因杆塔损坏导致的更换成本,进一步提升了项目的经济效益。

5 结语

总而言之,耐候钢管杆在输电工程中的应用展现了其卓越的耐蚀性能、良好的力学性能和显著的环保节能优势,而且通过“绿电通道”工程的实际案例验证,耐候钢管杆不仅能够有效降低长期维护成本,提升经济效益,还减少了环境污染,增强了社会效益,所以相信随着环保意识的不断提高和节能减排政策的推进,耐候钢管杆在输电工程中的应用前景将更加广阔。

[参考文献]

- [1]何波,俞丹瑶,杨健,等.耐候钢在输电线路工程绿色建造的应用前景研究[J].农村电气化,2024,(06):30-33.
- [2]来庆斌,李亮,陈洪民,等.耐候钢低成本生产工艺研究与实践[J].南方金属,2024,(03):4-7.
- [3]王春生,张静雯,谭晨欣,等.长寿命耐候钢桥全寿命周期经济性评估模型[J].交通运输工程学报,2024,24(03):69-81.
- [4]曾尚武,黄耀,郭晓宏,等.耐候钢在输电线路杆塔中的应用与研究进展[J].中国材料进展,2023,42(06):464-474.

作者简介:

阎德健(1985--),男,汉族,山东省龙口市人,硕士研究生,职称:高级工程师,研究方向:电力系统。