

# 运行超 10 年 500kV 输电线路杆塔接地网锈蚀情况分析

徐可凡 秦鑫波 申 信 李 凯 潘荣国

中国南方电网超高压输电公司广州局海口分局 海南海口 570100

**摘 要:** 输电线路杆塔接地网是保证输电线路安全运行的重要组成部分,是整个输电线路系统的重要基础,其性能的优劣直接影响着输电线路系统的安全运行。随着时间的推移,由于雷电、极端气候、人为破坏等原因,使得接地网出现锈蚀、接触电阻增大、接触电位升高等一系列问题,导致接地保护动作跳闸,给电网带来严重威胁。为确保电网安全可靠运行,必须对运行超 10 年的 500 kV 输电线路杆塔接地网进行检测和维护。本文对某运行超 10 年 500kV 输电线路杆塔接地网锈蚀情况进行分析,结合接地网检测数据和接地装置的使用情况,提出相应的改进措施。

**关键词:** 500KV 输电线路; 杆塔处; 接地网; 锈蚀情况

## 引言

接地装置是指将电能输送到接地体的导体,是输电线路系统中不可或缺的一部分。输电线路杆塔接地装置包括杆塔接地极、跨步电压、接触电压、散流装置等,主要作用是将地电位降导入大地,确保人员和设备的安全。在雷电反击、雷电侵入波及其他危害的作用下,杆塔接地极和跨步电压升高,可能造成人身伤害和设备损坏。随着电力系统的发展,输电线路杆塔接地网运行时间不断延长。目前已运行 10 年以上的 500 kV 输电线路杆塔接地网均采用大型接地网,采用大截面、高导电率材质等材料制作。接地网在长期运行过程中受自然因素影响,容易发生锈蚀现象,从而引起接地电阻升高或接触电位升高,使电网线路绝缘水平降低,导致人身触电事故和设备损坏等事故发生。

## 1. 500KV 输电线路锈蚀特点及原因

### 1.1 输电线路杆塔接地装置的结构与特性

对于 500 kV 输电线路杆塔,其接地装置主要包括基础、杆塔基础接地体、避雷线接地体、电缆沟接地体以及引流线等部分。在这些组成部分中,杆塔基础接地体由基桩和基础钢筋构成;而避雷线接地体则由避雷线和引流线组成。引流线的功能在于将杆塔接地网与杆塔基础钢筋进行连接,从而形成一个闭合的回路,以确保接地装置的稳定连接。

在杆塔基础接地体的构建上,通常采用直径介于 30~50 mm 之间的圆钢或扁钢。若杆塔基础钢筋采用钢管,则需要将钢管内焊接一定数量的焊条。在确保焊条在钢管上牢固焊接后,再将钢管的下端与基础钢筋进行焊接,以确保结构的

稳定性和可靠性。引流线一般选用直径为 4~6 mm 的扁钢制成。这样的材质和规格选择可以确保其在高压环境下仍能保持良好的导电性能和稳定性。

### 1.2 输电线路接地网锈蚀问题分析及其对策

针对某输电线路项目中多处接地网腐蚀问题进行了深入细致地分析。该输电线路已运行超过 10 年,电压等级为 500kV。在检查多处杆塔接地网时,我们注意到由于地理位置复杂及地质条件恶劣,加之施工过程中的不当操作,导致接地网的埋深普遍不足,仅为约 30cm。在这一浅埋深度下,土壤的含氧量较高,引发了氧浓差电池反应,导致接地体的腐蚀速度加快。此外,接地体与周边土壤的接触不良,原因在于采用了开挖后用碎石回填的处理方式,这使得电阻值上升,进一步加剧了接地网的腐蚀问题。通常,输电线路的接地网应埋设在深度为 0.3 至 0.8m 的土壤中。土壤是主要的腐蚀介质,其腐蚀问题主要源于电化学腐蚀。电化学腐蚀的发生是由于金属与介质之间存在电化学不均匀性,从而形成腐蚀原电池。这是导致腐蚀问题的主要成因。

## 2. 理论检测

理论检测对于 500kV 输电杆塔接地网锈蚀原因分析具有极其重要的意义,需要从多个角度进行深入的研究。首先,对杆塔材料的腐蚀性能进行全面的评估是必不可少的。这包括化学成分分析、金相组织观察和力学性能测试等手段,以全面了解材料的抗腐蚀性能。其次,利用各种先进的设备对杆塔表面的锈蚀形貌进行细致的观察,包括锈蚀程度、锈蚀类型等,也是至关重要的。此外,在实验室条件下模拟杆塔

所处的环境,如高温、高湿度等,以测定杆塔材料的锈蚀速率,也是一项重要的工作。常用的方法包括电化学方法、重量损失法等。同时,采用非破坏性检测方法,如超声波、磁粉检测等,对杆塔材料进行全面的检测,以判断是否存在隐蔽的锈蚀缺陷。最后,建立数值模型以模拟杆塔在不同环境条件下的锈蚀行为,预测杆塔的寿命和锈蚀状况,也是非常重要的。综合以上各种严谨的方法,可以对运行超 10 年 500kV 输电杆塔的接地网锈蚀进行深入的理论检测,准确评估其锈蚀状况和安全性能,为维护和管理工作提供科学的依据。

### 3. 接地网锈蚀的影响因素

#### 3.1 外界环境因素

##### 3.1.1 透气性

在透气性良好的石渣土土壤中,接地网的腐蚀程度相对较轻,其直径变化量通常在 1mm 以内,表现出较好的耐腐蚀性。相比之下,在密封不透气的黏土层环境中,接地网的腐蚀问题则较为严重。随着黏土层黏性的增加,腐蚀问题愈发突出。这主要是因为透气性差导致区域内的氧浓差电场效应增强,使得阳极区域形成,从而引发严重的腐蚀现象。

##### 3.1.2 含水量

金属在土壤中的腐蚀速率受土壤含水量影响,这个影响非常复杂。在土壤含水量较高,即饱和度超过 95% 时,由于水分占据了大量空间,氧气的渗透受到限制,这减少了氧的去极化作用,减缓了腐蚀过程。然而,当土壤含水饱和度在 10% 至 90% 之间时,情况发生改变。此时,水分与土壤中的盐分结合形成导电的离子溶液,这种溶液能加速电子传递过程,进而加速腐蚀反应。此外,这个湿度范围也是微生物活跃的区域,微生物的存在进一步促进了腐蚀过程。因此,为了更好地理解和控制金属在土壤中的腐蚀行为,我们需要更深入地研究含水量对金属腐蚀的影响。

#### 3.2 材料质量因素

材料质量是影响 500kV 输电杆塔接地网锈蚀的关键因素之一,主要涉及材料选择和表面处理两个方面。杆塔的主要制造材料是钢材,其质量直接关系到杆塔的抗锈蚀能力。若使用的钢材含有过多的杂质或者存在某些缺陷,将导致杆塔的抗锈蚀性能显著降低,从而加速锈蚀的形成。除此之外,杆塔表面的涂层质量同样对防腐蚀性产生影响。如果涂层质量欠佳或者出现老化、脱落等现象,会使杆塔长时间暴露

于外部环境之中,进一步加剧锈蚀的发生。

#### 3.3 运行负荷因素

运行负荷是影响 500kV 输电杆塔接地网锈蚀的关键因素。在电力系统运行过程中,杆塔承受着电力负荷,其大小与变化会对杆塔的应力状态产生显著影响。当电力负荷过大或频繁变化时,杆塔容易产生应力集中,进一步加速接地网的锈蚀。此外,运行负荷引起的振动会加剧杆塔表面涂层的磨损,进而加速锈蚀。值得注意的是,杆塔在实际应用中还会受到多种机械应力的作用,如风载荷和温度变化等,这些机械应力容易导致涂层破损,从而显著提升杆塔的锈蚀速度。

#### 3.4 其他因素

##### 3.4.1 土壤酸度的影响

为了更精确地评估土壤的腐蚀程度,我们不能仅仅依赖于简单的 pH 试纸测试。因为 pH 试纸只能提供一个大致酸碱度判断,对于土壤中可能存在的各种腐蚀因素无法全面反映。因此,为了更全面地了解土壤的腐蚀情况,建议对腐蚀较为严重的土壤进行酸度测定。

##### 3.4.2 含盐量的影响

土壤的含盐量与电导率的关系是密切的,它们呈正相关。这意味着随着土壤含盐量的增加,其电导率也会相应上升。这一现象与土壤中离子的浓度有关。当土壤中的盐分增加,意味着离子浓度升高,从而提高了电导率。

##### 3.4.3 微生物对地网锈蚀的影响

在特定的土壤环境中,例如缺氧的密实粘土或潮湿粘土,微生物的活动可能会引发强烈的锈蚀效应。这些微生物可能包括细菌、真菌和原生动物等,它们在特定的土壤环境中繁殖并产生各种代谢产物,这些代谢产物可能会对土壤中的物质产生锈蚀作用。

##### 3.4.4 泄漏电流的影响

导线与杆塔间的绝缘组合确实是形成电容效应的关键因素。当地线感应电压高至数万伏时,铁塔也会产生相应的电位。这种电位差不仅会导致接地网不同位置间产生电流,而且会加剧接地网的锈蚀。实地考察发现,接地网的锈蚀程度明显高于拉线拉棒部分,这进一步证实了电容效应对杆塔接地网的影响。

### 4. 接地网严重锈蚀的改造思路

#### 4.1 积极应用复合型材料

复合型材料是指将有色金属涂于碳钢表面,通过特殊

工艺如高温处理,使其形成一层具有抗腐蚀性能的涂层。这种材料的应用相当广泛,尤其在接地网领域,常见的材料包括圆钢、扁钢等碳素钢材。这些材料不仅成本低廉,施工简便,而且刚性较大,因此备受青睐。然而,铁这种材料具有活泼的化学性质,在常温常湿的环境下容易与非金属物质和盐类发生化学反应,导致腐蚀问题。相比之下,有色金属在耐腐蚀方面的能力明显高于碳钢。本文所研究的复合材质就是采用碳钢为基体,通过特殊工艺将一定厚度的有色金属涂层涂敷在表面,从而达到防腐的目的。这种复合型材料不仅继承了碳钢的优良机械性能,还显著提高了抗腐蚀能力,为各类工程提供了更为可靠的材料选择。

#### 4.2 采用新型防腐技术和材料

根据当前对防腐工程技术研究的实践状况分析,已经出现了一些新兴技术,其中最突出的就是高效膨润土减阻防腐剂和导电防腐涂料。这些技术有一些共同的要求:首先,导电性能方面,要求其电阻率必须低于土壤电阻率,并且要接近需要保护的金属的电阻率;其次,防腐性能方面,需要能够承受酸碱盐类化学溶剂的腐蚀;最后,在施工工艺上,应简便易行、机械强度适中且成本低廉。在电力领域的发展中,非金属接地材料作为一种新型产品,逐渐取代了以往的金属接地线。而这种非金属连接材料由于具有耐腐蚀性好、导电性高的特性,因此获得了更广泛的使用。目前,非金属接地材料主要采用石墨作为原材料。从工艺角度来看,非金属接地材料可以分为压制和烧制两种类型。石墨的基本结构是碳,不会对环境造成污染,具有环保的应用优势。

#### 4.3 接地线防腐处理

在执行接地线处理作业时,应特别关注那些容易发生锈蚀的输电线路接地网所在区域,实施全面的管理控制。此外,应深入研究该区域地下状况及水平接地位置,从根本上提升对易锈蚀部位的管理力度,将电化学腐蚀处理融入实际工作中。另外,应更加重视接地线的后期运维管理,以确保输电线路接地网的防腐效果得以发挥,从而最大化地体现电力设施的实际运行价值。

#### 4.4 阴极保护法

阴极保护法是针对输电线路接地网的保护措施,关键在于与金属材质性质的结合。常见的应用方式有牺牲阳极法和外加电流法。牺牲阳极法利用不同金属间电位差异防止腐蚀,通过连接抗腐蚀性较差的金属来保护接地网,例如铝或

锌与钢铁相连,利用阳极腐蚀溶解保护输电线,提高接地网安全性能。外加电流法在接地装置外加直流电源,将输电线路转化为接地装置的一部分,与电源负极连接实现保护,避免金属腐蚀。该方法需要将接地网与负极相连以进一步保护输电装置,特别适用于长距离输电线路保护。使用这两种方法时需考虑土壤特性,如pH值、含水量等,这些因素影响接地网的腐蚀程度。为优化接地线路作业环境,降低腐蚀可能性,应对土壤特性进行测算和改善。例如,如土壤酸性过高,可通过添加碱性物质调整pH值来降低腐蚀速度。

综上所述,500kV输电杆塔接地网的锈蚀问题是一个涉及多方面因素的复杂问题。除了外界环境和材料质量外,运行负荷也是重要因素。为解决这一难题,建议采用高品质的材料,并加强维护管理。此外,合理控制运行负荷也是关键,这样可以提高杆塔的抗锈蚀性能,进一步延长其使用寿命,从而确保电力系统的稳定运行和供电质量。

#### 5. 未来研究方向

在多种因素的共同作用下,当前该领域仍然存在诸多不足。为了进一步提升其质量,未来的研究需要从以下几个方面进行深入开展:首先,在材料研究方面,我们需要重点关注研发更具耐腐蚀性的材料,例如不锈钢和镀锌材料等,这些材料能够增强输电杆塔的抗锈蚀能力。其次,防腐技术的研究与开发也至关重要,这包括涂层技术、防腐剂等的应用,这些技术能够延长输电杆塔的使用寿命。此外,维护保养技术的研发同样关键,例如利用无人机巡检、自动清洗设备等手段,这些技术能够提高输电杆塔的维护效率。同时,环境监测与预警系统的研究同样不容忽视,通过实时监测输电杆塔周围的环境,及时发现潜在的环境因素,这能够防止杆塔锈蚀。最后,经济性研究也相当重要,需要综合考虑杆塔的成本、维护费用等多方面因素,以寻找经济可行的防锈蚀方案。

#### 6. 结束语

总的来说,接地网的锈蚀问题对我国的输电线路安全性和防雷质量构成了直接的影响,同时也对整个电力系统的稳定运行产生了重大作用。为了确保输电线路的安全运行,采取有效的防护措施来应对接地网的锈蚀问题显得至关重要。通过减轻接地网的锈蚀程度和降低接地电阻,可以显著提升输电线路的安全性和稳定性,进而带来显著的经济效益和社会效益。在实际工作中,对于锈蚀严重的接地网,必须采取

具有针对性的防护措施，以确保输电线路的长期稳定运行。

#### 参考文献

[1] 史贤达, 陈浩, 乔欣等. 500kV 输电铁塔塔材锈蚀原因分析 [J]. 内蒙古石油化工, 2021,47(12):38-41.

[2] 葛兆军, 张强, 黄耀, 等. 输电铁塔耐候钢在不同大气环境下的腐蚀行为 [J]. 中国电力, 2016,49(12):8-14.

[3] 曹长胜, 张军. 220kV 线路输电铁塔老化锈蚀处理 [J]. 黑龙江电力, 2020,42(04):346-348.