

# 四川电网输变电设备的腐蚀情况调查及防护措施

王志高<sup>1</sup>, 田倩倩<sup>1</sup>, 耿植<sup>1</sup>, 王方强<sup>1</sup>, 兰新生<sup>1</sup>, 李成鑫<sup>2</sup>, 吕俊杰<sup>3</sup>, 都亮<sup>2</sup>

(1. 国网四川省电力公司电力科学研究院, 成都 610041; 2. 国网四川省电力公司, 成都 610041;  
3. 国网四川省电力公司天府新区供电公司, 成都 610041)

**摘要:** 基于对四川电网 21 个地(市)供电公司所属 105 个变电站、105 条输电线路的输变电设备的现场腐蚀调查, 从前期设计选型、材质、镀锌、防腐蚀涂层质量、后期维护、环境因素等方面分析了设备发生腐蚀的原因。通过近年来四川电网开展的一些腐蚀防护措施, 建议在绘制四川电网大气腐蚀地图的基础上, 针对不同大气腐蚀环境进行差异化的防腐蚀设计和选材, 建立入网设备金属材料质量抽检制度, 并根据腐蚀环境尽快制定差异化的输变电设备腐蚀防护标准与规范。

**关键词:** 四川电网; 输变电设备; 腐蚀; 防护措施

**中图分类号:** TG174      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1005-748X(2021)03-0034-04

## Corrosion Investigation and Protection Measures of Power Transmission and Transformation Equipment in Sichuan Power Grid

WANG Zhigao<sup>1</sup>, TIAN Qianqian<sup>1</sup>, GENG Zhi<sup>1</sup>, WANG Fangqiang<sup>1</sup>, LAN Xinsheng<sup>1</sup>, LI Chengxin<sup>2</sup>,  
LÜ Junjie<sup>3</sup>, DU Liang<sup>2</sup>

(1. State Grid Sichuan Electric Power Research Institute, Chengdu 610041, China;

2. State Grid Sichuan Electric Power Company, Chengdu 610041, China;

3. State Grid Tianfu New Area Electric Power Supply Company, Chengdu 610041, China)

**Abstract:** Based on the on-site corrosion investigation of power transmission and transformation equipment on 105 transformer substations and 105 power transmission lines in 21 districts of Sichuan power grid, the reasons of equipment corrosion were analyzed from several aspects such as design and type-selection, material, zinc coating, anti-corrosion coating quality, post-maintenance and environment. Through some corrosion protection measures performed in Sichuan power grid in recent years, it is suggested that differentiated anti-corrosion design and material selection for different atmospheric corrosion environments were performed on the basis of Sichuan power grid atmospheric corrosion map, a random inspection system for the quality of metal materials of network equipment was established, and differentiated transmission and transformation equipment corrosion protection standards and specifications were formulated as soon as possible according to the corrosive environments.

**Key words:** Sichuan power grid; power transmission and transformation equipment; corrosion; protection measure

四川省位于我国西南地区,是我国重要的清洁能源基地,2017 年水电装机容量稳居全国第一,其电力不仅满足本省需要,还肩负着通过三大特高压直流线路外送华东电网电力的重要任务,输送电力分别占上海、江苏和浙江三省市最高用电负荷的 34%、12% 和 17%。在这种情况下,四川电网安全

稳定的运行,对于保障国家西电东送工程和国家能源安全具有重要意义。然而,四川各地区气候复杂多样,气温和降水量空间分布的差异性极大,而且近年来四川环境污染严重,酸雨、酸雾等情况日益突出<sup>[1-2]</sup>,导致四川电网输变电设备的腐蚀问题日趋严重,已经严重威胁到电网的安全稳定运行。例如变压器散热器因腐蚀穿孔漏油,不得不停电更换;GIS(气体绝缘金属封闭开关设备)波纹管法兰、主母线封盖等处发生锈蚀,存在 SF<sub>6</sub>(六氟化硫)泄漏的安全隐患<sup>[3]</sup>;端子箱因腐蚀变形造成密封不严致使箱内潮湿,易引起设备拒动、误动<sup>[4]</sup>;户外刀闸连杆、操

收稿日期: 2019-02-13

基金项目: 国网四川省电力公司科技项目(521997160013)

通信作者: 王志高(1985—), 博士, 高级工程师, 研究方向为输变电设备腐蚀与防护, 13982040531, wzg33@163.com

作机构等部件的锈蚀造成操作机构卡涩、合闸不到位等后果<sup>[5]</sup>;输电线路金具腐蚀失效导致所连接的线路断开或坠落,引起停电跳闸事故<sup>[6]</sup>。

近年来,国家电网公司高度重视电网金属监督工作,以强化电网设备安全为目标,以实现“新建输变电工程十年不生锈”为主线,保障电网稳定运行再上新台阶。目前,四川电网输变电设备的防腐蚀工作较少考虑环境因素,对于不同的腐蚀环境采用单一的防腐蚀材料或防腐蚀手段,导致在一些区域,尤其是腐蚀环境比较恶劣的区域,防腐蚀效果不理想<sup>[7]</sup>,而在腐蚀较轻的区域,又可能出现防腐蚀过度情况。为了有效减缓四川电网输变电设备的腐蚀速率,提高电网的供电可靠性,本工作主要针对四川多雨、高湿、高酸性污染、高差异性的环境特点,开展了四川电网输变电设备腐蚀情况调查和腐蚀原因分析,并介绍了近年来开展的四川电网腐蚀防护措施,以及大气腐蚀地图建设工作。在此基础上针对不同大气腐蚀环境开展差异化的防腐蚀措施设计和选材,以期有效控制腐蚀速率,保障四川电网安全稳定运行。

## 1 四川电网大气腐蚀环境特点

四川省位于我国大陆地势三大阶梯中的第一级青藏高原和第二级长江中下游平原的过渡地带,高差悬殊,地势西高东低,地形复杂多样,由山地、丘陵、平原盆地和高原构成。在全国气候区划中,四川省被划分为三种气候,分别为四川盆地中亚热带湿润气候、四川西南山地亚热带半湿润气候和四川西北高山高原高寒气候。因此,四川电网各地区气候变化复杂多样,空间分布差异性极大。

四川省气象局数据显示,四川省年降水量受季风环流和地形共同作用,分布趋势为从东南往西北降水量逐渐减少,降雨量最大的地区在四川盆地西北缘,降雨量最小的地区在地形幽深的金沙江河谷。四川各地区年降水量分布极不均匀,四川盆地一般为 900~1 200 mm,四川西南山地为 800~1 200 mm,四川西高山高原多为 600~800 mm。四川盆地年降水量自四周向中部减少,盆中丘陵区最少雨区不足 900 mm,盆东及盆西边缘山地普遍在 1 200 mm 以上,西缘最多雨区超过 1 700 mm。四川西南山地年降水量分布相对均匀,最多约为 1 400 mm,最低的攀枝花市河谷地区只有 700~800 mm。四川西高山高原区受纵向山峦的影响,背

风深谷区特别少雨。

在大气污染方面,近年来四川环境污染严重,酸雨、酸雾等情况日益突出。四川省环境保护厅公布的《2017 年四川省环境状况公报》显示,2017 年,四川 21 个地级市的降水 pH 为 5.2~7.47,全省降水年平均 pH 为 5.8,酸雨 pH 均值为 4.85,酸雨主要集中在四川南经济区的自贡市、泸州市,成都经济区的德阳市以及西经济区的攀枝花市,四川西北区域未受到酸雨的污染。四川电网区域内主要大气腐蚀环境包含乡村大气、工业大气、城市大气等,其中成都、德阳、达州、广元、泸州、眉山、南充、宜宾、攀枝花等主要工业城市处于工业大气环境,大气中化学污染物含量较高,在四川高湿环境中设备表面易形成水膜,SO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>S 等含硫污染物溶于水膜成为强腐蚀介质会加速金属的腐蚀,造成防腐蚀(镀)层的破坏。自贡市是一个特例,工业污染导致该地区酸雨较重,同时由于自贡是我国重要的盐化工基地,大气中氯离子含量较高且空气湿度较高,导致该地区大气腐蚀性较强,属于海洋工业大气环境。省内其他地区大气环境大部分属于乡村大气和城市大气环境,污染物含量相对较低。

综合气象和环境数据,四川具有代表性的多雨、高湿、高酸性污染、高差异性的大气腐蚀环境,兼具北方与南方、东部与西部、平原地区与高海拔地区的典型大气腐蚀环境特点,在这种特殊环境中保证电网设备的安全运行十分重要,四川电网的防腐蚀经验也对全国不同地区电网的大气腐蚀具有重要的借鉴作用。

## 2 四川电网腐蚀情况调查

2017 年 7~8 月,在国家电网公司的统一组织下,为摸清四川电网输变电设备腐蚀防护现状,国网四川省电力公司通过对全省各地(市)(共 21 个)腐蚀最严重的 5 个变电站和 5 条输电线路,共 105 个变电站、105 条输电线路的腐蚀情况进行调查统计,对腐蚀部位进行拍照留底,汇总了《国网四川省电力公司变电站腐蚀防护情况调查表》和《国网四川省电力公司输电线路腐蚀防护情况调查表》。调查结果表明,四川电网输变电设备腐蚀情况较为严重,腐蚀范围几乎涵盖了主变、隔离开关、输变电构支架、CT(电流互感器)、PT(电压互感器)、避雷器、电容器、开关筒体、紧固件、电力金具、输电线路导/地线、户外密封箱体、线路杆塔、接地网等所有设施。

从图 1 和图 2 可以看出,输电方面,杆/塔、电力金具、导/地线腐蚀发生的案例数量居前 3 位,变电方面,金属构架、变压器、箱体腐蚀发生的案例数量居前 3 位。腐蚀类型主要为均匀腐蚀、缝隙腐蚀、电偶腐蚀。设备及部件发生腐蚀的部位以 Q235 钢、镀锌钢为主材料,发生严重腐蚀的设备与装置运行年限以 10 a 及以上为主,少量腐蚀设备运行年限在 10 a 内,主要原因是设备使用不满足要求,或是厂家偷工减料,出厂产品未达到标准要求。综合四川电网设备腐蚀情况,造成设备及部件发生腐蚀的主要影响因素为大气环境和工业污染,以及早期设计规划时未对设备及部件的材质、防腐蚀涂层以及镀锌层质量进行明确规定,导致设备运行数年后在环境因素影响下,发生大面积的均匀腐蚀。

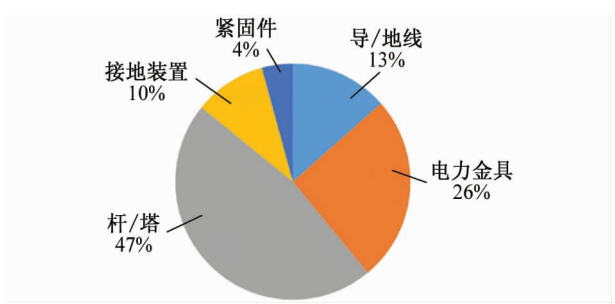


图 1 四川电网输电线路腐蚀情况分析图  
Fig. 1 Corrosion analysis diagram of the transmission lines in Sichuan power grid

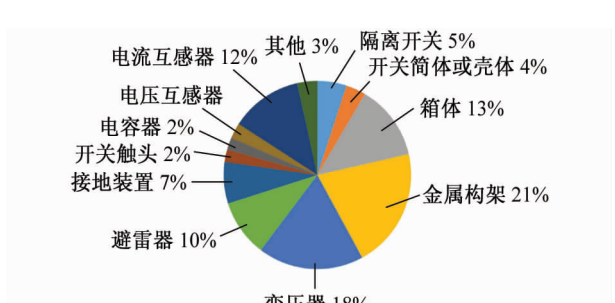


图 2 四川电网变电设备腐蚀情况分析图  
Fig. 2 Corrosion analysis diagram of the transformation equipment in Sichuan power grid

3 四川电网输变电设备的腐蚀原因

对四川电网腐蚀原因进行分析,总结出以下几个方面。

(1) 目前四川电网不同地区的湿润时间、污染物含量、大气腐蚀环境等级等基础数据匮乏,故在前期选型选材时,鲜少针对不同的大气腐蚀环境和腐蚀程度开展差异化防腐蚀设计和设备采购。

(2) 金属材质不合格,供应商以次充好。如输电线路闭口销采用普通不锈钢代替奥氏体不锈钢, GIS 壳体或户外密闭箱体采用碳钢代替铝合金或不锈钢。

(3) 初始产品质量差,镀锌、防腐蚀涂层质量不合格。如防腐蚀工艺不合格导致防腐蚀涂层厚度偏薄、附着力差,造成腐蚀<sup>[8]</sup>;镀锌层厚度、附着力不满足要求造成腐蚀;运输、施工过程防护不足,导致镀锌层、防腐蚀涂层被破坏而造成腐蚀。

(4) 在运维阶段开展防腐蚀工作难度大,缺乏防腐蚀专业人员。腐蚀构件难以彻底除锈,造成后续防腐蚀涂层附着力差;防腐蚀涂料、油漆、油脂等把关不严,底漆、中间漆及面漆搭配选用不当,涂刷工艺错误等原因造成防腐蚀效果不佳。

(5) 环境因素对腐蚀的影响极大,四川 21 个地级市中有 17 个气候潮湿多雨,加上近年来四川环境污染严重,腐蚀环境恶劣,如火电、钢铁、有色冶金、化工、水泥、玻璃、建材等工业排放大量的二氧化硫,酸雨、酸雾等情况日益突出,都会加快金属的腐蚀速率以及防腐蚀涂(镀)层的破坏速率。

4 四川电网开展的腐蚀防护措施

4.1 强化标准执行

根据国网湖南电科院主编的 DL/T 1424—2015《电网金属技术监督规程》、DL/T 1425—2015《变电站金属材料腐蚀防护技术导则》、DL/T 1453—2015《输电线路铁塔防腐蚀保护涂装》等技术标准,将电网防腐蚀监督相关标准的执行贯穿于规划、初始设计、设备采购、设备制造、设备验收、设备安装、竣工验收、运维检修、退役报废的全过程技术监督中。

4.2 把好设备入网关

对新设备质量严格把关,加强对新建输变电工程金属材料的抽检、送检、验收工作。对输变电工程金属部件,特别是镀锌铁部件和变电设备防腐蚀涂层开展质量检测,分析材料、镀锌层、防腐蚀涂层质量是否符合相关技术标准,将不合格产品控制在厂内阶段。输变电设备安装运行后,提高日常检修与运维人员的防腐蚀意识,定期对输变电设备的腐蚀情况进行巡检,避免大面积腐蚀的发生。

4.3 科学运维

各供电公司/省检修公司定期对变电站、输电线路腐蚀情况开展巡视、排查。针对防腐蚀监督发现

的整体腐蚀较为严重的变电站或输电线路,将其纳入防腐蚀大修项目,对全站或整基铁塔进行防腐蚀处理,集中整改;腐蚀造成基体减薄较严重时,对腐蚀部位配件进行更换处理;对于腐蚀情况较轻的设备,及时对局部腐蚀部位的表面进行除锈及涂覆防腐蚀涂层,防止腐蚀进一步蔓延;针对材质等不满足要求的设备,要求厂家进行更换。

#### 4.4 规范防腐施工工艺

根据四川电网的实际情况,国网四川电科院编制了《国网四川省电力公司变电设备防腐工程技术规范》、《国网四川省电力公司变电设备防腐工程资质要求》、《变电站防腐施工标准工艺工序卡》、《输电线路铁塔防腐施工标准工艺工序卡》,对腐蚀程度评估、涂层体系选择、表面处理等级、涂装工艺及要求、质量验收等方面做出了明确要求,完成了 110 kV 大佛寺站国网四川省电力公司防腐蚀示范工程,取得了良好的防腐蚀效果。

#### 4.5 大气腐蚀地图建设

四川电网覆盖区域广阔,所处大气环境复杂多样,不同的大气环境所导致的电网设备材料腐蚀及使用寿命差异明显,急需针对不同大气腐蚀环境开展差异化的防腐蚀设计和选材。国网四川电科院开展了四川电网大气腐蚀地图建设工作,已经在四川全省 21 个地级市典型气候及工业污染条件下建立了四川电网大气腐蚀试验站,通过标准金属现场暴露试验,获得不同地区四川电网大气腐蚀环境等级数据及输变电关键材料的腐蚀速率,绘制四川电网大气腐蚀地图,使不同大气腐蚀环境下的输变电工程防腐蚀设计及选材有据可依,提高电网安全性和设备寿命。

### 5 结束语

由于四川电网所处环境腐蚀性普遍较大,而且不同区域的腐蚀性有较大的差异,因此建议在绘制四川电网大气腐蚀地图的基础上,针对不同大气腐蚀环境进行差异化的防腐蚀设计和选材,建立入网设

备金属材料质量抽检制度,并根据腐蚀环境尽快制定差异化的腐蚀防护标准与规范,才能达到有效控制腐蚀,保障四川电网安全稳定运行的目的。

#### 参考文献:

- [1] 萧以德,王光雍,李晓刚,等. 我国西部地区大气环境腐蚀性及其材料腐蚀特征[J]. 中国腐蚀与防护学报, 2003,23(4):57-64.
- [2] 潘玉霞,王玫,王志高,等. 大气腐蚀环境对四川电网输变电设备腐蚀的影响研究[J]. 材料保护,2018,51(4):110-113,129.
- [3] 朱军,赵兴虹,吴驰,等. 四川地区变电站高压电气设备锈蚀情况及防腐技术研究[J]. 四川电力技术, 2016,39(5):49-53,89.
- [4] 杨大宁,赵书彦,符传福,等. 海南电网变电站金属架构防护涂层的使用情况[J]. 腐蚀与防护,2016,37(3):249-254,267.
- [5] 王平,孙心利,马东伟,等. 输变电设备大气腐蚀情况调查与分析[J]. 腐蚀科学与防护技术,2012,24(6):525-526.
- [6] 陈军君,胡加瑞,谢亿,等. 典型工业区输电线路金具腐蚀失效分析[J]. 腐蚀科学与防护技术,2013,25(6):508-513.
- [7] 陈云,徐利民,药宁娜,等. 输变电钢构件的大气腐蚀与防护[J]. 华北电力技术,2014(12):10-14.
- [8] 朱义东,张春艳,刘松,等. 辽宁省内输变电设备腐蚀情况调研与分析[J]. 腐蚀科学与防护技术,2015,27(6):613-616.

(上接第 7 页)

- [32] 周邦新,李强,姚美意,等. 锆-4 合金在高压釜中腐蚀时氧化膜显微组织的演化[J]. 核动力工程,2005,26(4):364-371.
- [33] 周邦新,李强,刘文庆,等. 水化学及合金成分对锆合金腐蚀时氧化膜显微组织演化的影响[J]. 稀有金属材料与工程,2006,35(7):1009-1016.

欢迎投稿

欢迎订阅

欢迎刊登广告