

输配电及用电工程线路安全运行的技术

高浩樑

沸蓝建设咨询有限公司 浙江省杭州市 310005

DOI: 10.12238/ems.v7i2.11600

[摘要] 本文在材料质量方面,指出了原材料质量不达标导致的线路老化、断裂等问题;在养护管理上,分析了养护制度不完善、资源不足等问题。为应对这些问题,本文提出了多项技术运用,包括绝缘技术、防风技术、防雷技术等。这些技术通过提高材料质量、完善养护管理、增强线路对外界环境的适应性等措施,有效提升了输配电及用电工程线路的安全运行水平。

[关键词] 输配电;用电工程;线路;运行

随着电力需求的不断增长,输配电及用电工程线路作为电力系统的重要组成部分,其安全运行直接关系到供电的可靠性、经济性和社会效益。然而,由于输配电线路通常暴露在自然环境中,面临雷击、风灾、覆冰、山火等多种自然灾害的威胁,加之设备老化、维护不当等因素,线路故障频发,严重影响电网的稳定运行。

一、输配电及用电工程线路安全运行的问题

(一) 材料质量问题

在输配电线路的建设过程中,一些企业在原材料采购时为了降低成本,选择了价格低廉但质量不达标的材料,这些材料可能在生产过程中没有经过严格的质量控制,存在杂质过多、强度不足、耐腐蚀性差等问题导致线路在使用过程中容易出现老化、断裂、短路等故障,严重影响线路的安全运行^[1]。输配电线路的材料在生产过程中需要经过熔炼、拉丝、绝缘处理等多道工序,如果生产工艺不规范或者在生产过程中缺乏严格的质量检测和控制,材料的质量就无法得到保证,例如导线的导体截面积不足、绝缘层的厚度不均匀等问题都会导致线路在长期运行中承受不了正常的电流负荷,进而引发过热、短路等安全隐患^[2]。

环境因素和自然灾害也对材料质量提出了更高的要求,输配电线路通常架设在露天环境中,长期暴露在风吹、日晒、雨淋等自然条件下,如果材料本身的耐候性不足很容易出现老化、腐蚀等问题,特别是在一些恶劣的地理环境中,如沿海地区的高盐雾环境、山区的强降雨天气等,材料的耐腐蚀性和抗老化能力不足,会加速线路的老化进程导致线路故障频发。

(二) 线路养护问题

在许多电力企业中养护管理的制度和流程不够完善,缺乏科学的养护计划和规范的操作规程,一些企业没有建立定期巡检和维护的制度导致线路在运行过程中出现的潜在问题不能及时发现和处理,养护人员的专业素养和技能水平参差不齐,缺乏系统的培训和技术指导导致养护工作无法达到预期效果,一些养护人员甚至缺乏基本的电力知识和维护技能,不能有效识别和处理线路中的异常情况,增加了线路故障的风险^[3]。

电力线路的养护是一项复杂而繁琐的工作,需要投入大量的人力、物力和财力,一些电力企业在养护资源的配置上存在严重不足导致养护工作难以全面展开,养护队伍的人手不足使得巡视和维护工作无法覆盖所有的线路区域,部分线路长期处于缺乏维护的状态,养护设备和技术手段的更新换代滞后,很多企业仍然依赖传统的养护工具和方法,效率低下且效果不佳,养护经费的投入也不足以支持必要的养护项目和设备采购,导致养护工作的可持续性受到影响。

二、输配电及用电工程线路安全运行技术的运用

(一) 绝缘技术

1. 空气绝缘

空气绝缘广泛应用于架空输电线路中,通常通过保持足够的安全距离来防止电弧放电,在500千伏的输电线路中导线间距需达到10-15米,确保足够的空气绝缘能力。

2. 油绝缘

油绝缘主要应用于变压器和高压开关设备中利用变压器油的高介电强度和良好的绝缘性能来隔离不同电位的部分,油浸式变压器的故障率因绝缘油的保护而显著低于干式变

器。

2. 气体绝缘

SF₆气体因其优异的绝缘性能和灭弧能力,在GIS(气体绝缘开关设备)中得到广泛应用,SF₆的电气强度约为空气的2.5倍使其成为高压开关设备的理想绝缘介质。

(二) 输配电系统防风技术

1. 机械应力的控制

风力对输电线路的主要影响之一是机械应力。当风速增加时,导线和杆塔受到的风载荷也会相应增加。根据风工程的基本原理,风载荷F可以通过以下公式计算:

$$F = \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot A \cdot \rho \cdot v^2$$

其中,F是风载荷,单位为牛顿(N);

C_d 是风压系数,无量纲;

A是受风面积,单位为平方米(m^2);

ρ 是空气密度,单位为千克每立方米(kg/m^3),标准空气密度约为 $1.225 kg/m^3$;

v 是风速,单位为米每秒(m/s);

以直径为100毫米(0.1米)的导线为例,长度为1000米,则受风面积(A)为:

$$A = 0.1, m \times 1000, m = 100, m^2 \text{ 风压系数 } C_d \text{ 取 } 1.2,$$

风速 $v = 25, m/s$,则风载荷F为:

$$F = \frac{1}{2} \times 1.2 \times 100, m^2 \times 1.225, kg/m^3 \times (25, m/s)^2$$

$$F = 0.5 \times 1.2 \times 100 \times 1.225 \times 625$$

$$F = 45937.5, N$$

$$F \approx 45.9, kN$$

为了减少机械应力,在导线类型的选择上优先使用高强度、高机械强度的材料,如高强度钢芯铝绞线,这些导线能够更好地抵抗外界环境的物理冲击和张力,通过增加杆塔的高度和强化其结构可以显著降低风载荷等自然因素对杆塔的直接影响,进而减少整个输电线路的机械应力。合理设计导线间距,适当的导线间距不仅可以有效减少导线之间的相互干扰和碰撞,还能避免因导线过近而产生的额外张力,进一步提升输电系统的可靠性和耐久性^[4]。

2. 导线舞动的控制

导线舞动是风力引起的一种动态现象,会导致导线之间的碰撞和短路,根据《电力系统导线舞动防治技术导则》,导线舞动的频率(f)可以通过以下公式计算:

$$f = \frac{v}{2L} \cdot \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

其中, f 是舞动频率,单位为赫兹(Hz);

v 是风速,单位为米每秒(m/s);

L是导线的档距,单位为米(m);

E是导线的弹性模量,单位为帕斯卡(Pa);

ρ 是导线的线密度,单位为千克每米(kg/m);

以档距 $L = 300m$,风速 $v = 15m/s$ 的导线为例,则舞动频率 f 为:

$$f = \frac{15m/s}{2 \times 300m} \times \sqrt{\frac{70 \times 10^9 Pa}{0.6kg/m}}$$

$$f = \frac{15}{600} \times \sqrt{\frac{70 \times 10^9}{0.6}}$$

$$f = 0.025 \times \sqrt{116.67 \times 10^9}$$

$$f = 0.025 \times 1.08 \times 10^5$$

$$f \approx 0.05Hz$$

为了控制导线舞动, 可以安装防舞动装置, 这类装置如防舞动阻尼线和线夹阻尼装置, 通过增加导线的阻尼来显著降低舞动的幅度, 当导线受到风力等外部因素作用时这些装置能够吸收和消耗舞动产生的能量, 使导线能够迅速恢复到稳定状态。通过调整导线的张力和档距可以减少导线的柔性, 降低其舞动的可能性, 这种方法的优势在于不需要额外的设备投入, 只需要对现有的导线系统进行微调, 就能够达到显著的效果^[5]。选择使用具有更高阻尼比的导线材料如阻尼铝绞线, 能够从根本上提升导线抵抗舞动的能力, 这类材料通过增加导线内部的阻尼机制使得导线在受到外力作用时能够更有效地吸收和分散能量, 避免舞动现象的发生。

3. 覆冰的防范

风力与低温相结合, 容易导致导线覆冰, 增加导线的荷载, 可能导致导线断裂和杆塔倒塌。根据《电力系统防冰技术导则》, 覆冰厚度 d 可以通过以下公式估算:

$$d = \frac{1}{2} \cdot k \cdot \rho_{ice} \cdot v^2$$

其中, d 为覆冰厚度, 单位为米 (m);

k 为覆冰系数, 无量纲, 通常取 0.001;

ρ_{ice} 为冰的密度, 单位为千克每立方米 (kg/m^3), 冰的密度约为 $917 kg/m^3$;

v 为风速, 单位为米每秒 (m/s);

以风速 $v = 10m/s$ 为例, 则覆冰厚度 d 为:

$$d = \frac{1}{2} \times 0.001 \times 917kg/m^3 \times (10m/s)^2$$

$$d = 0.5 \times 0.001 \times 917 \times 100$$

$$d = 0.5 \times 0.917$$

$$d \approx 0.046m$$

$$d \approx 46mm$$

通过采用具有较好自清洁能力的导线材料, 如光滑表面的复合绝缘子可以显著降低导线表面积聚冰雪的可能性, 这类材料不仅具有优异的电气性能, 还能在自然环境的作用下, 通过风力、雨水等因素的作用将附着在导线表面的冰雪自然带走, 减轻导线覆冰的程度^[6]。机械除冰装置通过物理方式, 如振动、敲击等, 将导线上的覆冰去除, 而融冰电流则是利用电流的热效应使导线发热, 将冰雪融化。

4. 智能化防风技术

通过安装风力监测设备, 可以实时监测风速、风向和温度等参数, 提前预警风力过大可能引起的故障。根据《电力系统在线监测技术导则》, 在高风速区段, 平均每 10 公里安装 1 个风力监测装置, 可以有效降低风力引起的故障率。

(三) 用电工程线路防雷技术

雷电对电力系统的危害主要表现为雷击导致的设备损坏、线路跳闸和供电中断, 严重时甚至可能引发火灾和人员伤亡, 全球范围内因雷击引发的电力事故占总事故的比例高达 25%-30%, 而在我国南方多雷地区这一比例更高, 可达 40%-50%, 因此科学合理的防雷技术在输配电及用电工程中具有重要的现实意义。

1. 雷电的破坏机理与防护需求

雷电对电力系统的破坏主要包括直击雷和感应雷两种形式, 直击雷是指雷电直接击中输电线路或杆塔导致瞬时高电压和强电流的冲击; 感应雷则是由于雷电放电产生的电磁场在输电线路中感应出过电压和过电流。根据《电力系统防雷技术规程》, 雷电流的幅值通常在 10-200 千安之间, 雷电波的陡度可达 10 千安/微秒, 瞬时过电压可达数百千伏, 如此高的能量若未有效防护将直接威胁到电力设备的安全运行。

表 1: 不同电压等级输电线路, 接闪线的设置

序号	电压等级	接闪线	保护角
1)	500kV 及以上	应全线装设双接闪线	有时小于 20°, 在山区高雷区, 甚至可以采用负保护角
2)	220~330kV	全线装设双接闪线	20°~30°
3)	110kV 线路	一般沿全线装设接闪线	
		在雷电特别强烈地区采用双接闪线	
		在少雷区或运行经验证明雷电活动轻微的地区, 可不沿线架设接闪线, 但杆塔仍应随基础接地	

2. 避雷器的安装与优化

目前广泛应用的避雷器包括氧化锌避雷器 (MOA) 和碳化硅避雷器, 氧化锌避雷器因其优异的非线性伏安特性和低残压特性, 已成为高压输电线路和变电站的主流选择, 避雷器的残压应小于被保护设备的绝缘耐受电压, 例如对于 35 千伏输电线路, 避雷器的残压需控制在 100 千伏以下以确保设备的安全^[7]。

3. 架设避雷线

避雷线又称架空地线, 是防止直击雷的主要措施, 避雷线通过将雷电流引入大地保护输电线路和杆塔免受雷击, 对于 110 千伏及以上的输电线路, 通常全线架设避雷线并要求避雷线的保护角不超过 30 度以确保对导线的有效保护。

4. 优化接地系统

雷电流通过杆塔接地装置迅速泄入大地, 若接地电阻过大可能导致接地装置过热甚至损坏, 接地电阻应控制在 10 欧姆以下, 在多雷地区甚至要求降低至 3 欧姆以内。

5. 屏蔽与等电位连接

屏蔽技术通过物理隔离和电磁隔离的方式将雷电感应电压和电流限制在特定的范围内保护内部设备不受影响。常见的屏蔽措施有金属外壳屏蔽, 将设备置于金属外壳内并确保金属外壳与接地系统可靠连接, 金属外壳可以有效阻挡外部电磁场的侵入, 降低雷电感应电压; 电缆屏蔽, 在电缆的外层包裹金属屏蔽层并将屏蔽层接地, 减少雷电感应电流在电缆中的传播保护电缆内部的导线和设备, 电缆屏蔽层应与接地点可靠连接, 接地电阻应控制在 1 欧姆以下^[8]。

等电位连接是指将建筑物内的所有金属部件通过导线连接到同一个接地系统, 使它们在雷击时具有相同的电位, 避免因电位差引起的火花和电弧, 等电位连接的主要措施有: 金属管道和支架接地, 建筑物内的金属管道、支架和导轨应通过接地导线与接地系统连接, 这些金属部件在雷击时会感应出较高的电压, 通过接地可以迅速将这些电压泄放, 保护设备和人员安全; 建筑物接地网, 建筑物的接地网应采用网格状结构, 通过多个接地极和接地导线形成一个完整的接地系统, 接地网的网格尺寸应根据建筑物的规模和雷电活动的频率来确定, 通常建议网格尺寸不超过 10 米 × 10 米。

结论:

随着技术的不断进步和经验的积累, 输配电及用电工程线路的安全运行水平将进一步提升, 为电力系统的稳定供电提供更加坚实的保障。

[参考文献]

[1] 张贺. 输配电及用电工程线路安全运行的问题及其技术探究[J]. 科技资讯, 2024, 22 (20): 88-90.
 [2] 刘岩. 输配电及用电工程线路安全运行的主要问题及其技术关键[J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2024, (27): 1-3.
 [3] 刘晓亮, 杨金. 输配电及用电工程线路安全运行研究[J]. 光源与照明, 2024, (08): 159-161.
 [4] 郑逸飞. 输配电及用电工程线路安全运行的技术探究[J]. 中国设备工程, 2024, (14): 234-236.
 [5] 伍洁茵. 输配电与用电工程线路的安全运行探究[J]. 电工技术, 2024, (S1): 197-199.
 [6] 文全. 新形势下输配电及用电工程线路安全运行探究[J]. 电工技术, 2024, (S1): 203-205.
 [7] 史亮, 何庆莉. 浅谈输配电及用电工程线路安全运行的影响因素及其技术应用[J]. 通讯世界, 2024, 31 (01): 94-96.
 [8] 石洪岩. 输配电及用电工程线路安全运行管控措施研究[J]. 流体测量与控制, 2023, 4 (06): 66-69.