

# Research on key technology of live working on transmission lines under complex meteorological conditions

Wei Ma

State Grid Yinchuan Power Supply Company, Yinchuan, Ningxia, 750011, China

## Abstract

Efficient live-line operations on power transmission lines not only impact the quality of power supply but are also closely tied to social stability. To meet the development needs of our country, a series of large-capacity, long-distance power transmission projects have been constructed and put into operation. To ensure the safety and reliability of these power systems, comprehensive maintenance has been carried out, with live-line operations being the primary method. Conducting fault elimination work without interrupting power can prevent network disconnection, ensure the stable operation of the power grid, and offer significant economic benefits. This study analyzes key technical issues in live-line operations on power transmission lines under complex weather conditions.

## Keywords

complex meteorological conditions; transmission line; live working; key technology

## 复杂气象条件下输电线路带电作业关键技术研究

马威

国网银川供电公司, 中国·宁夏 银川 750011

## 摘要

高效率地实现输电线的带电作业, 不仅影响供电品质, 而且与社会的安定息息相关。为适应我国的发展需要, 一批大容量、长距离的电力输送项目相继兴建并投入运行。为了保障此类电力系统的安全可靠, 对电力系统进行了全面的维修, 而带电操作就是最主要的一种。不停电条件下开展故障排除的作业, 这种工作模式可以防止断网, 确保电网的平稳运转, 并且具有很好的经济效益。通过对这些问题的研究, 针对复杂气象条件下输电线路带电作业的关键技术问题展开分析。

## 关键词

复杂气象条件; 输电线路; 带电作业; 关键技术

## 1 引言

在我国“2030碳达峰, 2060年前碳中和”战略指导下, 我国各地纷纷布局风电、光伏等大型新能源发电项目, 发展特高压传输是实现能源输送的重要途径, 但这也使得输电走廊变得更为拥挤, 并使公共走廊的交直流混联线所引起的电场问题更为突出。对超高压线路进行带电作业, 是保障电网安全稳定供电的有效途径。中国新能源主要分布在西北和东北地区, 而华北和华中中等地区的电力需求较为密集, 保证特高压输电系统的平稳运行, 既可以实现远程洁净能量的远程传输, 又可以实现高功率低损耗的电力传输, 对国家减排具有重要意义。

## 2 复杂气象条件对输电线路的影响

复杂气象条件包含多种类型, 各种天气模式都有其自身的特征, 并且它们的区域分布及季节变化也不尽相同。强风具有风力强劲、影响范围广的特点, 容易导致输电线的力学损伤, 且多发生于春、秋两季, 且多发生于海岸及开阔平原。暴雨和降雨强烈, 容易引起洪水灾害, 尤其是山区和江河流域, 夏天又是暴风雨多发季节, 持续的大雨将对铁塔地基造成严重的破坏, 危及输电线路的安全<sup>[1]</sup>。雷电是一种高压大电流放电现象, 对电力系统的安全及电力设施造成了很大的伤害, 尤其是在我国南部及夏天的下午。在低温环境下, 导线易发生覆冰现象, 加大了导线的负荷, 在冬天容易发生这一现象。在夏季, 由于气温升高, 导线弧垂增加, 设备发热等问题更加严重。沙尘天气易造成绝缘子污闪和金具磨损, 且多集中于西北地区和华北地区。掌握各类复杂气象的种类及特征、区域的分布与时序变化, 是制定有针对性的保护对策, 保证输电线路的安全、平稳运行的关键。

强风是一种普遍存在的不良天气因素, 对输电线路的

【作者简介】马威(1986-), 男, 中国陕西绥德人, 本科, 工程师, 从事输电线路运行及检修, 输电线路带电作业研究。

安全运行构成严重威胁。在强风天气下,其强劲的风能给输电线路带来很大的横向力,造成输电线路的严重破坏。如果铁塔发生故障,将对整条输电系统的安全运行造成极大的危害。此外,强风也会引起金属丝的猛烈摆动,而金属丝的非规则移动极易导致金属丝的疲劳破坏。强降雨天气易引发洪涝灾害,对输电线路造成严重的破坏。长时间的强降雨会对铁塔地基造成长期的冲蚀,从而造成地基沉降。若铁塔地基失稳,将直接关系到整条线路的整体安全。另外,由于有较多的积水,还会引起电网的短路、接地等事故,导致断路器跳闸、供电中断。在大雨天气下,电缆沟渠极易发生积水,长期被水浸湿后,其老化速度将加快,严重时会造成其表面的绝缘,从而导致电缆发生失效,从而导致供电中断,并对周边环境及人身构成潜在的安全风险。雷电由于其高强度、高电压特性,给输电线路的绝缘及电力设施带来了极大的危害。在雷击过程中,导线在雷击时会受到瞬时高压冲击,从而容易产生污闪或破坏。绝缘子发生故障将严重影响线路的绝缘能力,严重时会造成线路断线甚至断电<sup>[1]</sup>。另外,雷电产生的巨大电能也会对变压器、开关等电器装置造成严重的危害。在雨雪冰冻条件下,输电线路极易发生覆冰。由于冰面的厚度越来越厚,导线的自重也越来越大,这就造成了导线的超载。输电线路所要承担的载荷要大于平时所能承担的负荷,一旦超出了所能承受的极限,将导致输电线路的破坏。而在绝缘子上覆冰后,绝缘性能发生变化,易诱发冰闪。冰闪可能造成电网短路,严重威胁电网的安全运行。

### 3 输电线路带电作业技术分析

带电作业人员处在交流和直流复合电场中,如果有工作人员在场,磁场强度可能被放大数十倍,甚至会引起局部放大,甚至会造成坠落,威胁到建筑工人的人身和线路的安全。人体表面电场水平是评价人体健康状况的一个重要依据,对人体表面电磁场进行精确的预报,既能保证人体的人身安全,又能对人体运动路线的选择起到一定的引导作用。在输电线上进行的带电作业有很多种,主要有送电线的导线修补作业,有一块V型绝缘子的更换,有整列绝缘子整列更换的。现将详细阐述输电线路带电作业的实现流程。首先要调查施工场地,全面掌握导线的施工地点,地形,交通情况,导线与地面的标高等情况;核实作业人数;准备工作计划以满足操作需要;按照气候条件决定工作的时间。待施工计划通过后,再继续施工;工人到位后,确定线路名称,铁塔编号,测定作业环境的各项参数,铺好防潮布,把工作中需要的所有工具和设备摆放整齐;具有等电位的电工,接地电位的电工穿戴防护服装;工作负责人、安全监督员再次检查了一遍,确定了工作人员在工作过程中的工作人员的身体和心理状况,熟悉作业方案、危险点及现场防控措施。1名工作负责人,1名安全监护人员,1名等电位电工,2名接地电工,共计5名。对于直塔架,通常采取的是从横向电杆

上悬挂的软梯法,若为抗张塔(玻璃绝缘子),采用“二短三长”法沿绝缘子串进入等电位;进行传输线的维修作业;工作结束后,操作人员应查看电线上是否有残留物质,如果有残留物质,及时清除残留,如果没有残留,等电位操作工退出等电位,下塔,然后两名接地电气师拆卸悬浮的绝缘软梯,与地面电气工程师一起把仪器放下,确定塔内没有残留物体后才下塔;工作完毕后,对输电线进行了带电补接工作。

## 4 复杂气象条件下输电线路带电作业关键技术

### 4.1 绝缘杆作业法

绝缘杆作业法要求员工与工作线的距离适当,通过绝缘介质保持安全距离,且不受外界因素的影响。在实施某些高空作业时,依靠隔离臂小车是不可能实现作业的,因此必须使用隔离棒工作方式来应对线路的事故。这一方法也有其不足之处,那就是在实践中,对工程人员的职业素质要求很高,不仅要掌握这项技术,还要能够对周围的环境作出正确的判断。与此同时,技师在使用过程中也要根据实际条件加以调节。实践证明,这种方法在实际应用中,不仅提高了治理效果,而且耗费了大量的人力和财力,而且难以适应复杂环境下的作业需求。

### 4.2 高压输电带电作业技术

高压输电线能够高效地输送高电压能量,适合于各种不同的环境。因此,在对高压输电线进行带电作业时,应根据现场条件进行详细分析,以确保该方法的开发具有一定的工程应用意义。在实施高电压导线的带电作业时,必须根据具体条件制定针对性措施,而不能把这一工作和常规的电力维修作业等同起来。操作者要对问题的成因进行全方位的把握,综合考虑外在的环境,对有关的电气设备进行分析,确定合理的安全距离,探究引起故障的根源,从而为故障的防治和维修打下坚实的基础。在对高压线路进行带电作业时,操作者一定要严格执行安全管理制度,对绝缘装置有无异常情况进行检查,并且要按照有关的安全规程执行。因为高电压的工作具有很大的危险性,所以需要把工作中的工作人员的生命和财产安全作为第一要务。

### 4.3 带电作业换接引流线技术

目前市售的绝缘导线除了一般的导线之外,也存在着一种绝缘导线。例如美国产“旁路隔离跳线”配备绝缘发射杆,用于导线隔离操作。要指出的是,在选用射枪杆时,要结合其自身的保温长度以及自身的重量,要视工作项目的杆型和线路间距而定,通常情况下,选用2米以上绝缘操作杆可满足多数作业需求,同时还要选用具有高的机械强度、更轻的操作杆;二是在选用隔离导线时应注意负载的大小,通常选用200A的导线,这样不仅可以满足工程的需要,而且可以降低工作场所的工作负荷;三是要正确地确定隔离导线的长度和保护管道,按照要求,导线的直径在3.8米以内就可以达到正常的要求,而且在隔离导线的中部要增加一个

绝缘硬护管,可以使用FRP,这样不仅可以确保绝缘水平,还可以降低自身的重量,同时还可以在绝缘棒上设置绝缘引流线,降低人体对设备的遮挡,确保工作人员的工作距离。若要安装旁通线缆,还可更改端头形状,将线缆室外端子用连接线卡固定,操纵杆采用连杆压接的方式,将线缆端子与电线相连,也能达到绝缘拉线的方法。

#### 4.4 输电线路带电作业安全防护系统技术路线

利用无人机搭载激光雷达(LiDAR)扫描仪对导线进行高密度点云测量,并在此基础上建立高精度点云模型。在带电作业中,利用安装在工作人员防护服上的RTK模块,对带电作业人员身上各个突起的部位进行准确的定位,从而构建起一个带电工人的3D人体模型,实现对带电工人所在的位置进行实时监测和推算,从而实现对带电者的安全间距的实时准确监测和计算,从而保障了带电工人的工作安全性。并在此基础上,建立相应的安全距离确定方法,在工作的各个环节上,对其进行第一个预设安全距离、第二个预设安全距离和第三个预设安全距离,其数值稍高于规范所述的安全距离<sup>[1]</sup>。在作业中,通过对作业人员头部、肘部、四肢等突出部位与周边接地介质和带电体之间的距离进行实时的监测和对比,准确监测带电作业人员与周边带电体及接地极之间的最小安全间距,利用该软件实现对最小安全间距的实时判定,并与预先设定的安全间距比较,若低于或等于预先设定的安全间距,则报警,确保作业人员处于安全警戒区域。

#### 4.5 感应电流安全防护

在进行输电线路带电作业时,除上述的安全保护外,还要对感应电流进行保护,防止由于静电产生的“麻电”,造成二次事故。比如1000 kV高压输电线路的带电作业中,高空工作的工人皮肤表面的电荷将对人体造成特殊的刺激,随着激励强度的不断提高,人体将出现特殊的蠕动和刺痛,极易诱发二次意外。研究表明,在500 kV及以下高压输电线路带电作业时,塔架内工作人员若不穿戴防护衣,其最大感应电压可达数千伏,而操作人员在对其进行了悬浮电势的调控后,接触到金属物体的瞬间就会发生对应的静电放电。当电网电压等级不断升高时,这个问题将更加突出。为此,以1000 kV高压输电线路为基准,采取了以下防范措施:按照规程规定,工人必须穿上全套的屏蔽服装,并且屏蔽衣各

个部位要有很好的连接;在传送绳挂上金属物品之前,等电位工作人员应首先将金属物品进行适当的连接,接地电位工作人员在与地绳接触之前,应采用便携式接地线将地绳与铁塔结构相连接。另外,1000 kV及以下高压输电线在运行过程中,由于电压变换产生的瞬态脉冲电压将增大,因此防护衣对其承载能力及防火性能提出了更高的要求。

#### 4.6 新型带电作业技术

在某些较为复杂带电环境下,可以利用轻型无人机进行辅助工作。比如,在电力紧急情况下,通过对事故发生地点的调查,可以获得事故发生地点的详尽情况,从而为应急救援计划的制订提供参考。无人机还可以对操作人员的人身安全状况进行监测,如果在操作人员与带电装置之间存在一定的安全间隔,并能对其进行预警,从而保护操作人员的人身财产。另外,无人机还可以将较小的机具和物料运输到工作地点,从而增加了操作的方便性和有效性。“小飞人”带电作业是根据高空作业及搜救需求开发的可携带的电动提升设备,利用电机驱动工作人员攀登,在悬吊的绝缘绳上进行下降、上升和悬停。显著降低了安全风险,减轻了劳动强度,大大提高了工作效率和安全性。

### 5 结语

输电线是电网中最重要的一环,安全和稳定与电能的品质息息相关,这就要求维修人员对其进行周期性的检测和维护。随着社会用电需求的持续增长,电网的负载也在不断增加,对供电品质的需求也在不断提高。输电网络关系到人们的日常生活。在输电线路发生事故后,电力部门的工作人员经常采取带电作业的方式,以最快的速度排除事故,保证了用户的供电安全。在作业时,要确保作业者的人身安全,减少线路失效的规模,确保系统的平稳运转,将事故造成的财产损失降到最低。

#### 参考文献

- [1] 康轩源,袁佳俊,刘娟.基于激光雷达与视觉融合的输电线路带电作业机器人障碍物识别定位方法[J].长沙民政职业技术学院学报,2024,31(04):124-128.
- [2] 赵赞.配网架空输电线路带电作业安全评估技术探析[J].电力设备管理,2024,(24):234-236.
- [3] 高康,夏浩爽.±800 kV输电线路带电作业关键技术研究[J].电工技术,2024,(S2):528-529.