

[输电线路]

特高压输电线路带电作业沿跳线进出电场方法研究及工器具研制

文/陈明捷^{1,2,3} 何龙飞¹ 易子琦^{1,2} 蒋智鹏^{1,2,3} 刘治国¹

1. 国网湖南省电力有限公司超高压输电公司; 2. 智能带电作业技术及装备(机器人)湖南省重点实验室;
3. 带电巡检与智能作业技术国网公司实验室

针对目前 ± 800 kV特高压输电线路耐张塔带电作业存在的技术难点, 归纳出无法带电进出强电场的原因。通过对特高压直流线路塔型的分析和计算, 设计出一种沿特高压跳线攀爬的辅助装置, 创新提出“先进入管母跳线, 在攀登至导线”的进入特高压强电场方法, 解决了作业人员无法进入特高压耐张塔强电场的难题, 极大地降低了作业人员的安全风险, 为特高压带电作业提供了新的条件。

随着国民经济的发展, 我国电力需求日益提高, 电网改造进一步加快, 输电线路走廊日趋紧张。目前在全国范围内, ± 800 kV特高压直流和1 000 kV特高压交流输电线路正陆续建成投运, 特高压输电线路已逐渐成为我国电网的主网架, 它可以在提高单位面积输送容量、满足电力输送需求的同时, 减少综合造价和线路走廊需求, 具有明显的经济效益和社会效益。

相对于常规的输电线路, 特高压输电线路存在杆塔高、杆塔形式多样、横担间距离和相间净空距离大以及电场分布相对复杂等特征。在特高压输电线路的实际带电检修工作中, 会遇到特高压输电线路的跳线处出现缺陷(如跳线松股、跳线引流板发热及管母发热等)的情况, 由于跳线处耐张绝缘子片数多, 跳线悬垂角度大(最大角度可达 65° 以上), 依靠常规作业手段难以完成带电检修任务。因此, 更深入地研究特高压输电线路带电作业技术具有重要意义。

本文在总结我国目前输电线路带电检修方法的基础上, 结合特高压输电线路具体情况, 研究了一种耐张塔带电检修进出强电场的方法, 并研制了配套工器具。研究结果有效地解决了在特高压输电

路耐张塔带电检修面临的作业强度大、安全风险高等难题, 具有工程应用价值。

问题分析

目前, 在输电线路耐张塔带电作业进出强电场通常采用的是“跨二短三”法, 采用此方法前需对瓷质绝缘子进行零值检测(玻璃绝缘子无须检测), 作业人员需要脚踩一串, 手扶一串, 手脚同步交替向导线侧移动, 每次移动的动作幅度不宜过大。该方法在500 kV输电线路广泛采用, 但是, 由于特高压输电线路的结构特点, 该方法未能采用, 具体有以下几点原因:

1) 特高压输电线路大多数都是采用大吨位瓷质绝缘子, 常规耐张塔绝缘子配置见表1。其绝缘子串可达18 m, 检测难以开展。

表1 特高压耐张塔绝缘子串配置

电压等级/kV	± 800	1 000
绝缘子片数	69	40
结构高度/mm	275	240
绝缘子串长/m	18.975	9.6

2) 特高压输电线路为了解决在重冰区绝缘子桥接的问题, 加大了绝缘子串间间隙, 最宽可达1 m

以上,且绝缘子片数多达70片以上,作业人员采用俯卧姿势进入电场难度较大,作业风险较高。

研究内容

针对特高压输电线路耐张塔进出强电场困难的问题,提出以下研究方向:

1) 对特高压输电线路带电作业跳线攀爬方式进行研究。由于特高压耐张塔带电作业无法沿绝缘子进入强电场,提出一种从特高压跳线进入强电场的方法,作业人员通过吊篮法进入特高压耐张塔的跳线管母,再攀爬跳线进入导线侧开展作业。

2) 对特高压跳线攀爬设计辅助装置。特高压跳线的夹角是根据地形和气候等多方面条件设计的,部分跳线夹角达到了 65° 以上,如图1所示,作业人员靠自身臂力攀爬难度大,对体力消耗严重,存在较大的安全风险。

为解决上述提出的研究内容,需要对特高压线路的实际参数和安全距离进行校核分析。



图1 等电位人员攀爬跳线示意图

1. 安全距离与组合间隙分析

根据分析,以 ± 800 kV特高压直流线路耐张塔为例开展安全距离校核分析,如图2所示。



图2 ± 800 kV特高压直流线路耐张塔示意图

杆塔型号为J27151A-39,杆塔具体参数见表2。

表2 安全距离校核参数表

杆塔呼高/m	横担长度/mm	绝缘子串长/mm
39	18 560	18 975
跳线距横担高度/mm	导线及跳线型号	
11 000	$6 \times \text{JL1/G2A-1 250/100}$	

根据国家电网公司《电力安全工作规程》规定, ± 800 kV输电线路带电作业最小安全距离为6.8 m,最小组间间隙距离为6.6 m。等电位作业人员进出强电场示意图如图3所示。

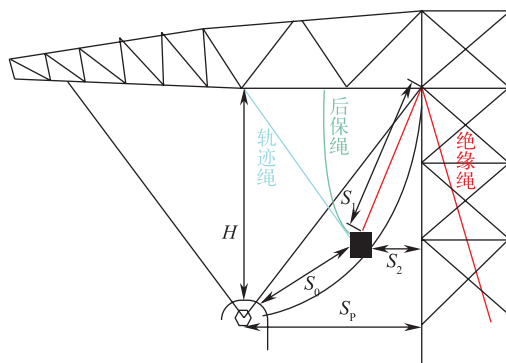


图3 等电位作业人员进出强电场示意图

通过表2和图3可以看出,作业人员采用吊篮法进入特高压跳线管母处,安全距离校核如下。

(1) 水平距离校核

通过查阅相关设计图样资料可知:铁塔中心至横担头距离为19 610 mm,铁塔中心至塔身边缘水平距离为1 050 mm;则分裂导线中心距铁塔塔身边缘水平距离为

$$S_p = (19\ 610 - 1\ 050) / 2 = 9\ 280\ \text{mm} \quad (1)$$

(2) 垂直距离校核

查图样及相关数据得知:导线至跳线管母垂直距离为

$$H = 9\ 600 + 1\ 400 = 11\ 000\ \text{mm} \quad (2)$$

(3) 组合间隙核算

在作业人员进出等电位过程中,组合间隙存在以下几种组合

$$S_{\text{组1}} = S_0 + S_1 \quad (3)$$

$$S_{\text{组2}} = S_0 + S_2 \quad (4)$$

考虑等电位人员采用吊篮进出电场过程中,吊篮按照 $b=600$ mm、 $h=600$ mm计算。

对以上两种组合间隙进行分析, 得到

$$\begin{aligned} S_{\text{组}1} &= S_0 + S_1 > H - h \\ &= 11\,000 - 600 = 10\,400 \text{ mm} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} S_{\text{组}2} &= S_0 + S_2 > S_p - b \\ &= 9\,280 - 600 = 8\,680 \text{ mm} \end{aligned} \quad (6)$$

$S_{\text{组}1}$ 和 $S_{\text{组}2}$ 满足DL/T 1242—2013《±800 kV直流线路带电作业技术规范》中组合间隙不得小于6.6 m的要求。

2. 辅助工具的研制

跳线串与导线连接处距离超过10 m, 中间两间隔棒之间的距离约4 m, 且跳线与水平方向倾斜角度超过65°(最大80°), 需设计辅助攀登工具使作业人员能顺利地攀登跳线进入导线作业点位置。

为此, 设计了跳线攀爬棒。与传统的人工攀爬相比, 具有节省体力、提升作业安全性的优势, 并且其体积小、重量轻, 具有安装方便牢固、防滑性能可靠的特点, 如图4所示。

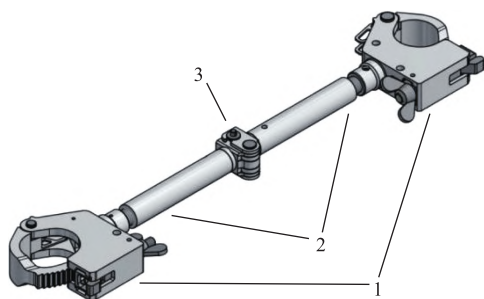


图4 跳线攀爬棒结构图

图4中, 1为跳线攀爬棒的线夹部分, 孔径大小要求与单根跳线直径相匹配, 具备自锁功能且可匹配多种不同线径的跳线, 线夹圆孔内层有防滑胶垫, 固定可靠; 2为跳线攀爬棒的可伸缩横管, 使两端线夹中心点间距离与两单跳线中心点间距相匹配, 并且可以根据不同的跳线间距进行调节; 3为折叠固定机构, 可将攀爬棒在未使用的折叠收纳至工具袋或工具包内, 便于携带。

当作业人员行至跳线夹角较大处时, 安装跳线攀爬棒。作业人员脚踏第一个攀爬棒(手扶上端跳线)后, 再在适当距离安装第二只攀爬棒, 如此交替使用, 直至逐步攀爬到位于高侧的导线。

3. 主要操作步骤

1) 登塔。地电位作业人员携带绝缘传递绳登塔

至横担与塔身连接处, 悬挂好滑车; 随后等电位作业人员登塔至合适位置。

2) 传递、安装吊篮。地面配合人员使用绝缘传递绳将绝缘吊篮、绝缘轨迹绳和组2滑车组装完成后传递至塔上, 地电位电工与等电位电工配合将吊篮安装至横担合适位置。

3) 电位转移。等电位作业人员穿好全套合格屏蔽服, 系好绝缘后备保护绳, 携带跳线攀爬棒, 采用吊篮法进入特高压跳线管母处。

4) 转移作业位置。等电位作业人员沿跳线攀爬, 在行至距导线侧1~2个间隔棒(跳线夹角较大)处时, 将随身携带的攀爬棒安装至跳线上, 通过攀爬棒攀登跳线。

5) 作业消缺。等电位作业人员通过攀爬棒到达导线侧缺陷位置, 按照工序质量要求完成相应的消缺任务。

6) 退出电场。等电位作业人员消缺完成后, 沿之前安装的攀爬棒依次向下转移位置, 同时从上至下依次拆除攀爬棒, 并折叠收回工具包内。返回跳线管母处后, 洗好绝缘后备保护绳, 采用吊篮法退出强电场。

7) 下塔。作业完成后, 等电位作业人员与地电位作业人员配合拆除吊篮, 并在地面人员配合下将吊篮传递至地面, 检查塔上无遗留物后下塔。

结束语

本文所提出的沿跳线进入电场的辅助装置法有效地解决了特高压输电线路检修因其他限制而无法进出电场的难题。

创新性将平时作业使用的绝缘软梯结构应用于辅助装置的研制, 同时解决工器具轻质化与强度的矛盾, 极大地减轻工具重量, 降低作业人员的劳动强度, 有效提高工作效率。

特高压输电线路耐张塔带电作业沿跳线进出电场方法研究成功, 可靠地保证了作业人员的安全, 降低了劳动强度, 提高了工作效率, 拓展了带电作业范围, 保证了供电可靠性和设备的健康水平, 应大力推广和应用。EA

(收稿日期: 2022-04-14)