

500kV 紧凑型输电线路 耐张塔带电作业工具的研制

张海军, 张国亮, 赵雪松, 王 军, 段文运

(北京超高压公司, 北京市 房山区 102401)

摘要: 介绍了 500kV 紧凑型线路的运行现状及带电作业安全距离; 阐述了带电作业工具的设计原则和具体的设计工作, 即在工具组成及材料选择、设计条件、荷载计算值确定后, 根据国家标准 GB/T18037-2000 设计锚固卡、绝缘拉杆、紧线装置、托瓶架、辅助工具等。所设计的紧凑型耐张塔带电作业工具已通过了有关部门组织的机械试验和电气试验。

关键词: 500kV 紧凑型线路; 耐张塔; 带电作业工具; 输配电工程; 电力系统

1 引言

500kV 紧凑型输电线路的自然输送功率目前已达 1320MW, 输电能力较传统输电线路提高了 1/3; 每公里输电走廊也减少占地 18264.8m², 减少了林木砍伐、青苗赔偿及房屋拆迁量, 降低了工程造价; 降低了电磁污染, 导线下地面电场强度超过 4kV/m 的区域宽度仅为 15m。这些优势将使紧凑型线路在电力系统中得到广泛应用^[1-3]。由于紧凑型线路采用六分裂导线, 与普通线路的四分裂导线的结构和金具型式均有很大的差别, 线间距也相对缩小, 这给带电作业带来新的难题^[4-6], 其中最突出的就是耐张绝缘子串和耐张串单片绝缘子的更换。常规的耐张绝缘子更换工具不能在紧凑型耐张塔上使用, 必须研究悬挂结构的变化, 掌握紧凑型耐张塔的塔型和所使用的金具, 研制出更换此类绝缘子的新工具和方法, 以避免绝缘子损坏后停电检修, 确保 500kV 紧凑型线路的安全运行。

2 500kV 紧凑型线路的运行现状

北京超高压公司所辖的目前运行的 500kV 输电线路超过 3000km, 其中源霸 I 线、源霸 II 线和昌房线使用了紧凑型输电线路, 共约 670km, 占全部运行线路的 1/5。由于没有适合带电作业的工器具, 耐张塔绝缘子出现零值或自爆后, 只能停电检修, 既造成了经济损失, 降低了供电可靠性。

目前华北地区正在建设的紧凑型线路有: 上都电厂—承德变电站双回约 500km, 其中耐张塔有

156 基, 预计于 2005 年 11 月投运; 昌平 500kV 变电站—城北 500kV 变电站和顺义 500kV 变电站—城北 500kV 变电站的线路大约 100km。随着这些紧凑型线路的建设, 耐张塔的带电作业工器具也亟待研制开发。

3 500kV 紧凑型线路带电作业的安全距离

根据紧凑型线路的特点和华北电集超[1999]23 号文件《关于发送 500kV 昌房紧凑型线路带电作业安全距离审查意见的通知》, 华北电力科学研究院推荐带电作业的安全距离^[7]如下:

(1) 进行地电位带电作业时人身与带电体之间的安全距离不应小于 2.8m。

(2) 等电位作业人员对地距离不应小于 2.8m, 对邻相导线的距离不应小于 4.0m。

(3) 等电位作业人员在绝缘梯上作业或沿绝缘梯进入强电场时, 其与接地体和带电体两部分间隙组成的组合间隙不得小于 3.0m。

(4) 绝缘绳索的有限长度不得小于 3.0m。

可见, 紧凑型线路上的带电作业比常规线路上的带电作业更困难。

4 紧凑型线路耐张塔带电作业工具设计原则

根据紧凑型线路带电作业的安全距离要求, 本文认为 500kV 紧凑型线路耐张塔带电作业工具的设计应遵循如下原则:

(1) 工具选材优良, 绝缘材料既要有足够高的机械强度, 又要有很高的耐受电压水平和耐潮性能, 还要有抵抗异常气候状态的能力, 延缓事故发生的时间, 以便撤出作业人员和工具。

(2) 通用性好, 一套工具可更换所有串长组合或部分组合, 减少工具配量。

(3) 操作方便、灵活、省力, 过牵引量小, 功能齐全, 塔上人员少带器具。

(4) 运输方便, 绝缘拉杆、托瓶架均须设计成双段组合型。

(5) 托瓶架承受绝缘子串重量后不得下弓。

5 紧凑型线路耐张塔带电作业工具的设计

5.1 带电作业工具组成及材料选择

(1) 组成

该工具应由前卡、后卡、托瓶架、紧线器、绝缘拉杆及辅助工具组成。

(2) 材料的选择

1) 绝缘杆。选用达到国标 GB13398-2003^[8]要求的高强度充填泡沫绝缘管材作为主材进行加工配置。这种材料的抗拉强度大于 $6 \times 10^4 \text{N/cm}^2$, 绝缘水平较高、不受潮、耐淋雨。使用这种材料的工具很轻, 且有一定抵抗淋雨的能力, 在工频状态下只要保证有效绝缘长度, 不会发生闪络事故。

2) 紧线器。选用铬作为主材, 强度高、重量轻、摩擦力小、操作轻便, 便于高空携带。

3) 前卡和后卡。均选用铝合金作为主材, 这种材料强度高, 比重小、重量轻, 便于高空携带。

5.2 设计条件

根据昌房线、源霸 I 线和源霸 II 线的相关耐张绝缘子串组装图和金具图进行筛选, 尽量使所设计的工具能适应不同吨位和不同串长, 从而确定卡具的型式和托瓶架的长度。设计条件^[9-13]: ①导线: LGJ-300×6 型, 截面积 351.3mm^2 ; ②绝缘子串: FC-300/195×26 型; ③风速: 10m/s ; ④覆冰厚度: 0mm ^[11-14]; ⑤气温: -15°C ; ⑥计算档距: 400m 。

5.3 荷载值计算

(1) 导线应力 $d = 71 \text{N/mm}^2$ 。

(2) 导线综合张力 $T_m = dSN = 71 \times 351.3 \times 6 \text{N} = 149654 \text{N}$; 过负荷率为 15% 时 $T_m = 1.15 \times 149654 \text{N} = 172100 \text{N}$ 。其中, S 为导线截面; N 为导线分裂数。

(3) 每串绝缘子张力 $T_1 = T_m / 2 = 86050 \text{N}$ 。

(4) 卡具的工作荷载 $T = T_1 = 86050 \text{N}$ 。

(5) 安全系数 $K = 3.0$ 时破坏荷载 $T_b = 3T = 3 \times 86050 \text{N} = 258150 \text{N}$ 。

(6) 出厂试验荷载应满足 $T_y = 2.5T = 2.5 \times 86050 \text{N} = 215130 \text{N}$ 。

(7) 紧线器及绝缘拉杆破坏荷载为 $T_{LB} = T_b / 2 = 258150 / 2 \text{N} = 129075 \text{N}$ 。

(8) 瓷瓶串重 $G = NG_0 = 26 \times 10.6 \times 10 \text{N} = 2756 \text{N}$, G_0 为单个瓷瓶的质量, 安全系数 $K = 3.0$ 时托瓶架破坏荷载为 $T_{TB} = 2756 \times 3 \text{N} = 8268 \text{N}$ 。

5.4 整体设计

按照国标 GB/T18037-2000^[15]的要求设计工具:

(1) 锚固卡。前、后锚固卡根据金具型式研

制, 要求结构得体合理。破坏力 $T_{KB} = 250 \text{kN}$ 。

(2) 绝缘拉杆。绝缘拉杆是绝缘子串旁系受力绝缘构件, 既要拉力大, 又要绝缘性能好, 为使一杆多用, 要求具有能够调节不同串长的功能, 这样工具配备就会简化。拉杆破坏力 $T_{LB} = 150 \text{kN}$ 。

(3) 紧线装置。要求能够承受较大的机械拉力, 且磨擦力小, 操作省力, 紧线装置的破坏力大于 150kN 。

(4) 托瓶架^[14]。托瓶架是瓷瓶串松弛后的托床, 要求受力后下垂量小, 且能够调整下垂时的变形量。当紧线装置收紧时, 瓷瓶串下垂落到托瓶架上, 托瓶架的破坏荷载 T_{TB} 应大于 8400N 。

(5) 辅助工具。辅助工具也称为起吊支架, 起吊支架是起吊瓷瓶串用的承力支架, 要求能够牢固地稳定在横担上, 吊点越高越合理, 但应操作方便, 安全可靠。支架承载 $T = 130 \text{kN}$ 。

6 出厂试验

(1) 机械试验

制作成型的工具委托“国家绝缘子避雷器质量监督检验中心”进行卡具的拉伸破坏负荷试验, 前卡和后卡在施加 250kN 荷载时未损坏; 支架施加 130kN 荷载时未发生损坏, 完全满足设计要求。

(2) 电气试验

托瓶架和拉棒采用分段型式, 带电作业时可现场组装, 电气试验为整段组装惊醒试验。对托瓶架和拉棒进行了: 操作冲击波耐受试验, 试验采用正极性 $250/2500 \mu\text{s}$ 冲击波, 冲击电压为 1175kV , 冲击次数为 15 次, 未发现闪络或击穿现象; 工频耐受试验, 施加交流电压 640kV , 耐压时间为 5min , 未发现有发热或闪络、击穿现象。

电气和机械试验结果表明, 该工具能够适合于紧凑型线路的带电作业, 该工具已于 2005 年 9 月初在 500kV 源霸 I 回 105 号塔上进行了试用, 使用情况良好。

7 带电作业方案

7.1 塔上分段更换法

所有工具上塔并安装完毕, 首先将受力拉杆收紧以检查各部分连接是否正常。检查各部分受力状况, 如无问题, 即可进行单片更换作业:

(1) 塔上电工和等电位电工就位, 分别将牵引绳绑在瓷瓶串两端第三个瓷瓶间, 并将绳穿入两端滑轮、送至地面, 由地面电工实施受力操作。

(2) 塔上电工收紧紧线器, 使瓷瓶串松弛, 绝缘子串落在托瓶架上。

(3) 塔上电工和等电位电工分别用起销器将绝缘子串两端销子打开。

(4) 在地面电工的拉动下, 瓶串滑向杆塔一侧, 塔上电工每次取出 3~5 个瓷瓶, 并将拉回瓷瓶解脱。

(5) 塔上电工在地面电工的配合下, 将瓷瓶落至地面。

(6) 依次将瓷瓶分段落至地面。

(7) 在等电位电工一侧, 同时上吊相同数量瓷瓶, 连接在绝缘子前端, 并依次送至杆塔一侧, 完成分组更换。

该方法的优点是起吊重量小, 安全可靠, 但工作速度较慢。

7.2 整串更换法

(1) 首先安装地面绞磨。

(2) 塔上电工和等电位电工分别用起销器将绝缘子串两端销子打开, 并绑好起吊绳索。

(3) 等电位电工在地面电工的配合下将瓷瓶串下旋 90°, 垂吊在挂线点上。

(4) 塔上电工在地面电工的配合下, 将瓷瓶串落至地面, 托架悬挂空中。

(5) 新串上塔后, 绑入托瓶架床体内捆成一体, 并经等电位电工在地面人员的抽拉下将瓷瓶串上旋至水平, 装好托架, 并将瓶串安装正常, 完成更换工作。

该方法的优点是工作速度快, 但起吊重量大。

8 结论

500kV 紧凑型线路耐张塔带电作业工器具的研制有很高的经济价值, 按 500kV 紧凑型线路输送能力单回 1000MW 考虑, 每次带电作业 6 小时, 实际停电作业不低于 10 小时, 即每次带电作业多供电量 10GWh, 每度电 0.3 元, 可产生直接经济效益 300 万元。同时可保证持续供电, 提高了供电可靠性。

通过对 500kV 紧凑型线路带电作业工具的研制, 可进一步做好 220kV 紧凑型线路耐张塔和高海拔地区紧凑型线路^[16]带电作业工具的研发工作。

参考文献

- [1] 刘亚芳, 袁亦超, 王惠仁, 等. 500kV 紧凑型输电技术的研究[J]. 电网技术, 1999, 23(2): 55-58.
Liu Yafang, Yuan Yichao, Wang Huiren *et al.* Study of 500kV compact transmission technology[J]. Power System Technology, 1999, 23(2): 55-58.
- [2] 屠强. 提高输电线路输送功率的措施综述[J]. 电网技术, 2005, 29(增刊): 287-291.
Tu Qiang. Summarization of transmission capacity-increasing measures for transmission lines[J]. Power System Technology, 2005, 29(supplement): 287-291.
- [3] 吴敬儒, 徐永禧. 我国特高压交流输电发展前景[J]. 电网技术, 2005, 29(3): 1-4.
Wu Jingru, Xu Yongxi. Development prospect of UHV AC power transmission in China[J]. Power System Technology, 2005, 29(3): 1-4.
- [4] 于幼文, 金永纯. 昌房 500kV 紧凑型输电线路中的关键技术[J]. 电网技术, 2003, 27(7): 75-78.
Yu Youwen, Jin Yongchun. Key technology for 500kV compact transmission line from Changping to Fangshan[J]. Power System Technology, 2003, 27(7): 75-78.
- [5] 周孝信. 我国电网技术的现状和未来[J]. 电网技术, 1995, 19(2): 1-4.
Zhou Xiaoxin. Current status and prospects of power system technology in China[J]. Power System Technology, 1995, 19(2): 1-4.
- [6] 邵方殷. 500kV 紧凑型线路导线结构的选型和有关特性[J]. 中国电力, 1996, 29(2): 3-7.
Shao Fangyin. Conductor configuration and related characteristics of 500kV compact transmission lines[J]. Electric Power, 1996, 29(2): 3-7.
- [7] GB/T19185-2003, 交流线路带电作业安全距离计算方法[S].
- [8] GB/T13398-2003, 带电作业用空心绝缘管、泡沫填充绝缘管和实心绝缘棒[S].
- [9] 蒋兴良, 张丽华. 导线覆冰碰冻率及最大直径分析[J]. 中国电机工程学报, 1999, 19(9): 10-13.
Jiang Xingliang, Zhang Lihua. Collision & freezing efficiency of droplets with conductor and the possible maximum diameter of the iced conductor[J]. Proceedings of the CSEE, 1999, 19(9): 10-13.
- [10] 孙才新, 蒋兴良, 熊启新, 等. 导线覆冰及其干湿增长临界条件分析[J]. 中国电机工程学报, 2003, 30(3): 141-146.
Sun Caixin, Jiang Xingliang, Xiong Qixin *et al.* Analysis of critical icing conditions of conductor and wet-dry growth[J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 30(3): 141-146.
- [11] 粟福衍, 贾逸梅. 500kV 绝缘子串人工雾凇和放电试验[J]. 中国电机工程学报, 1999, 19(2): 75-78.
Su Fuheng, Jia Yimei. Artificial rime covering and discharge tests of 500kV insulator strings[J]. Proceedings of the CSEE, 1999, 19(2): 75-78.
- [12] 贾逸梅, 粟福衍. 高压输电线路绝缘子的覆冰及对电气强度的影响[J]. 中国电力, 1994, 27(3): 9-12.
Jia Yimei, Su Fuheng. Effect of icing of HV transmission line insulator on electrical performance[J]. Electric Power, 1994, 27(3): 9-12.
- [13] 孙才新, 蒋兴良, 舒立春, 等. 高海拔、污秽、覆冰环境下超高压线路绝缘子交直流放电特性及闪络电压校正研究[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(11): 115-120.
Sun Caixin, Jiang Xingliang, Shu Lichun *et al.* AC/DC flashover performance and its voltage correction of UHV insulators in high altitude and icing and pollution environments[J]. Proceedings of the CSEE, 2002, 22(11): 115-120.
- [14] DL/T699-1999, 带电作业用绝缘托瓶架通用技术条件[S].
- [15] GB/T18037-2000, 带电作业工具基本技术要求与设计导则[S].
- [16] 王力农, 胡毅, 刘凯, 等. 500kV 高海拔紧凑型线路带电作业研究[J]. 高电压技术, 2005, 8(8): 12-15.
Wang Linong, Hu Yi, Liu Kai *et al.* Research of live working on 500kV compact transmission lines in high altitude area[J]. High Voltage Engineering, 2005, 8(8): 12-15.

收稿日期: 2005-11-29.

作者简介:

张海军 (1973-), 男, 工程师, 从事输电线路运行管理工作;

张国亮 (1979-), 男, 助理工程师, 从事输电线路带电作业、绝缘监督工作;

赵雪松 (1976-), 男, 助理工程师, 从事输电线路运行管理工作;

王军 (1965-), 男, 高级工程师, 从事输变电设备运行管理工作;

段文运 (1967-), 男, 高级工程师, 从事输电线路运行管理工作。