

[输电线路]

带电安装避雷器新方法的应用

文/王树军 王 炜 赵心怡
国网承德供电公司

雷击造成的线路跳闸事件时有发生，难以管控，严重影响电网系统的安全稳定运行。针对传统的带电安装避雷器方法的不足，利用研究的新型装置作为技术支持，实施一套输电线路带电安装避雷器的新型操作方法，并验证了其在实际工作中的效果。

近年来，随着社会经济的高速发展，各行业对电力企业的供电质量提出了更高的要求，但由于电网中输电线路所处外部环境的不确定性，严重威胁电网安全稳定运行，对居民正常用电产生潜在的隐患。

从外部运维环境分析，输电通道运维情况复杂不易掌握，特别是地处山区的输电线路，由于输电线路纵横延伸几十甚至几百千米，由雷击造成的线路跳闸事件时有发生，难以管控，严重影响电网系统的安全稳定运行。以地处燕山腹地的承德为例，110~220 kV输电线路雷击跳闸占比（2019—2021年）见表1。

表1 2019—2021年输电线路雷击跳闸占比

年份	2019年			2020年			2021年		
电压等级/kV	雷击	总数	占比(%)	雷击	总数	占比(%)	雷击	总数	占比(%)
110	19	28	67	6	12	50	28	48	58
220	14	18	77	7	15	46	14	16	87

安装线路避雷器是输电线路降低雷击跳闸率的有效技术手段之一。目前安装线路避雷器主要有两种方式：停电作业安装和带电作业安装。若利用停电作业，需要根据每月停电计划进行安排，未在停电计划中的部分线路，无法及时进行安装。而带电作业不受停电计划影响，随时针对需要安装的杆塔进行带电操作，提高工作效率，降低跳闸风险。目前，本公司在带电安装避雷器作业过程中，使用的

工作方法全部为等电位作业法，如图1所示。

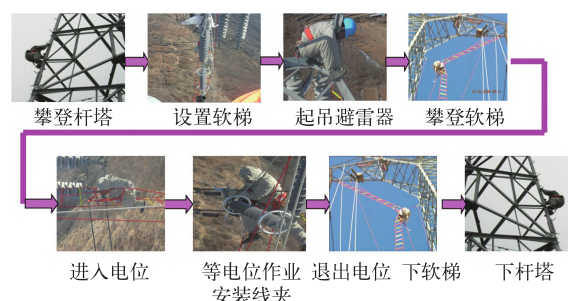


图1 等电位带电作业更换线路避雷器

采用等电位作业方法仍存在两个问题：

1) 工作时间较长。据统计，近几年所做的等电位更换避雷器作业记录，更换一处避雷器的平均用时在28 min左右，再加上路程时间，甚至超过60 min。

2) 等电位带电更换避雷器作业难度大，劳动强度大，部分杆塔因受一些小间距杆空气间隙的限制，甚至不能进行等电位法带电安装避雷器工作。

综上所述，亟需采用新型带电安装避雷器的方法，针对一些位置偏远的杆塔或线路，减少作业人员的劳动强度，有效弥补传统带电安装避雷器作业方式的短板，提升线路检修管理的工作效率。

实施效果

1. 总体效果

承德公司输电运检中心组织相关专业管理人

员，通过对带电作业安全工器具的分析讨论，研制出一款可地电位进行带电安装避雷器的操作工具及相关使用方法，既减少带电操作流程，节省作业时间，又可以避开等电位作业人员进入电位时所需要的组合间隙问题，提高电网的供电可靠性，对电网的安全运行有着非常重要的意义。地电位安装避雷器操作工具各部件如图2所示，将导线与避雷器相连的线夹如图3所示。



图2 地电位安装避雷器操作工具各部件



图3 将导线与避雷器相连的线夹

2. 减少作业流程，提高工作效率

承德地处燕山腹地，80%以上的线路地处山区，传统模式的带电安装避雷器作业采用等电位安装方法，需要作业人员穿戴全套屏蔽服，通过软梯直接接触带电导线进行安装，对作业人员的专业技能水平要求较高，工作强度比较大，无形中增加了作业人员的安全风险。

在采取新型地电位安装避雷器的作业方法后，根据现场作业人员的反馈情况，不仅减少了作业人员的操作步骤，而且避免了作业人员直接接触带电体，同时节省了软梯、屏蔽服等带电安全工器具的使用，有效地提高了工作效率。

新旧带电安装避雷器作业方法数据对比见表1。

表1 新旧带电安装避雷器作业方法数据对比

序号	等电位作业	操作流程及要求	时间/min	地电位作业	操作流程及要求	时间/min
1	辅助电工攀登杆塔	1. 攀登杆塔前要检查脚钉是否牢固可靠 2. 高处作业必须使用合格的安全带和保护绳，并戴好安全帽	2	辅助电工攀登杆塔	1. 攀登杆塔前要检查脚钉是否牢固可靠 2. 高处作业必须使用合格的安全带和保护绳，并戴好安全帽	2
2	安装传递绳，设置软梯	1. 测量绝缘工具的绝缘电阻 2. 检查软梯绳索有无断股 3. 软梯设置悬挂在杆塔牢固构件上，捆绑牢固可靠	3	安装传递绳	测量绝缘工具的绝缘电阻	1
3	起吊避雷器	起吊避雷器时应缓慢提升，防止磕碰损伤	2	起吊避雷器	起吊避雷器时应缓慢提升，防止磕碰损伤	2
4	攀登软梯进入电位，等电位作业安装线夹，退出电位下软梯	1. 等电位电工在攀登软梯时，不得失去安全保护 2. 作业人员攀爬软梯要稳步上行，防止踩空 3. 进入电位前应向工作负责人申请后方可进入 4. 保持人体与带电体的安全距离（根据线路电压等级）	18	地电位作业安装线夹	地电位电工在攀登杆塔时，不得失去安全保护 到达指定位置后向工作负责人申请后方可作业 传递工具和作业时要保持人体、工具与带电体的安全距离（根据线路电压等级）	10
5	拆除软梯及传递绳，辅助电工下杆塔	1. 作业人员必须攀抓牢固构件 2. 作业人员下杆塔时双手不得持带任何工具或器材	3	拆除传递绳、辅助电工下杆塔	1. 作业人员必须攀抓牢固构件 2. 作业人员下杆塔时双手不得持带任何工具或器材	3
6	合计		28			18

3. 解决等电位作业人员进入电位时所需要的组合间隙问题

进行等电位带电作业时，作业人员进入电位时所需要的组合间隙需要根据不同的塔形选择不同进入电场的方式，若组合间隙不符合要求，则无法使

用带电作业法安装避雷器，还须提报停电计划进行作业，势必加大了本条线路在雷雨季节线路跳闸的概率。

在采取新型地电位带电作业方法后，只需要考虑地电位作业人员和带电体的安全距离，便可进行

操作，经过验证，地电位操作可以完全适应输电线路任何塔形的操作。以下是验证结论。

(1) 操作过电压幅值的计算

$$U_N \frac{\sqrt{2}U_H}{\sqrt{3}} K_1 K_2 = \frac{\sqrt{2} \times 110}{\sqrt{3}} \times 3 \times 1.15 = 310 \text{ kV}$$

(2) 大气过电压幅值计算

$$U_s = \frac{U_0}{K X U_0 + 1} = \frac{700}{0.16 \times 10^{-3} \times 5 \times 1579 + 1} = 447 \text{ kV}$$

(3) 运用曲线确定放电危险距离

通过放电曲线查出最大操作过电压放电距离 $S_C=0.7 \text{ m}$ 和大气过电压放电距离 $S_L=0.8 \text{ m}$ ，说明起控制作用的是大气过电压。

(4) 确定带电作业安全距离

最小安全距离 $S_{\min}=S_j \times 120\% = 0.8 \times 1.2 = 0.96 \text{ m}$ ，考虑设备净空条件和人身活动范围，根据《安规》规定：110 kV地电位带电作业安全距离 $S=1.0 \text{ m}$ 。

安全裕度

$$\psi = \frac{S - S_j}{S_j} \times 100\% = \frac{1.0 - 0.8}{0.8} \times 100\% = 25\%$$

由此可见，地电位作业安全距离有足够的安全裕度。

4. 现场实施效果验证

2021年8月，承德公司输电运检中心在某条220 kV线路现场采用地电位带电作业方法进行避雷器安装，使用新线夹和作业工具后，缩短了操作用时。带电安装避雷器时间由之前的平均用时28 min缩短到16 min，使新型带电作业模式下的输电线路处理缺陷的能力得到了极大提升，效果验证见表2。

表2 效果验证表

操作人	线路名称	杆塔号	等电位 作业用时 /min	地电位 作业用时 /min
作业人员1	220 kV线路	005号塔	31	18
作业人员2	220 kV线路	017号塔	27	15
作业人员3	220 kV线路	024号塔	26	15
平均用时			28	16

结束语

采用地电位方式带电安装避雷器，作业人员不直接接触带电体，人员、设备的安全性大大提高。此作业方法适用于所有110~220 kV线路杆塔上带电安装避雷器工作，突破了以往等电位作业方法只能在部分塔型上进行带电作业的局限。工器具轻便，结构合理，操作方便，大大降低了检修人员的劳动强度，同时降低了安全风险。

通过优化工器具的结构和部件，其效用达到最优，可有效提升工作效率，提高供电可靠性，满足电网稳定运行和高效运维的需求。此项成果可以节省原来等电位作业过程中有可能用到的软梯、屏蔽服等工器具作业成本，产生较高的经济效益。

参考文献

[1] 王密，凌志勇，张尧．地电位更换220 kV输电线路单串直线绝缘子新工具研制[J]．广东科技，2013(22)．
[2] 连伟平．220 kV双回线路直线塔带电更换V型绝缘子串工器具研制[J]．中国设备工程，2019(09)．
[3] 陈雪冰．基于有限元分析的252 kV绝缘子结构优化[J]．电气应用，2022，41(1)：80-84．

