

[带电作业]

带电处理异物新方法研究及工器具研制

文/国网湖南省电力公司带电作业中心 隆晨海 杨 淼 何龙飞 欧乃成 李金亮 李 稳

导线异物是目前造成输电线路跳闸的重要原因之一。为了快速、有效地处理导线异物，研究了一种利用架空地线作为行走轨迹的走线滑车法进行异物处理。并基于地线滑车法的特点，研制了配套工器具，同时针对所研制工器具的结构和材料模拟分析实际作业受力情况，理论分析和现场测试表明：该方法不受地形及异物位置的限制，有较强的实用性；作业人员处于地线横担位置，增大了作业人员与带电体的安全距离，降低带电作业事故风险；操作人员不需要使用操作杆挂取滑车，大大降低了作业人员作业过程中的工作强度，对带电处理输电线路异物工作具有重大的工程应用价值，推动带电作业的发展。

近年来，社会经济高速发展，用电负荷成倍增加，用户对供电可靠性的要求不断提高，对电网运行的安全性、可靠性提出了更高的要求。随着城乡建设速度的加快，架空输电线路所处的地理环境发生了很大的变化，原本偏僻的旷野和农田现在变成了居民区和开发区，人类活动的增多引起了对输电线路构成的隐患增多，直接导致了外力破坏跳闸次数的增加。导线异物是目前造成输电线路跳闸的重要原因之一。

据统计，输电线路上的异物（如图1所示）一般为塑料或化纤材质，如广告条幅、塑料薄膜、风筝和尼龙布等。在大风气候条件下，异物缠绕、悬挂在高压输电线路架空导线上，一旦遇到雨、雪或雾等潮湿天气时，其受潮导致绝缘性能变差，飘流物靠近塔身或地线时会造成导线对地距离减小，靠近下层导线时又会造成相间距离缩短，直接造成高压输电线路单相接地、相间短路等故障，严重时还可能造成电网大面积跳闸停电事故，造成重大的社会经济损失，严重威胁电网

可靠性。另一方面，广告条幅、长布条和风筝线等导线飘流异物往往具有一定的韧性和强度，高压输电线路又通常位于荒郊野外，且架设较高，从而导致处理起来存在较大难度。由于停电作业会影响社会、居民正常用电，造成电量和经济损失，所以如何及时有效地带电处理导线异物就显得尤为重要。



图1 导线悬挂异物

现有处理导线异物方法介绍

目前，处理导线异物方法包括停电处理和带电处理。

1. 停电处理

对于安全距离不够或者已跳闸停电的线路，通常采用停电处理异物法。先向调度部门申请停电许可，再由作业人员出线或利用平梯滑至异物处进行摘取。停电处理线路异物作业图如图2所示。



图2 停电处理线路异物

停电处理法安全简单，然而，主干线路一旦停电，将产生巨大的电量和经济损失，同时由于停电处理异物增加的非计划停运次数将严重影响供电可靠性指标。

2. 带电处理

目前导线异物处理方法一般采用燃烧法、等电位软梯法、操作杆摘取法、绝缘斗臂车和滑车法等方法。采用燃烧法处理导线异物存在一定程度的破坏性，严重时可能引起导线氧化腐蚀或损伤导线，且成本较高。采用等电位软梯法只能在单回路或双回路下层上进行，且所需作业人员多，同时受到地面跨越物和线路排列方式的限制。操作杆摘取法受限于操作杆长度，只能在靠近杆塔附近进行，不适用于处理距离塔身较远处的异物。采用绝缘斗臂车法受地形限制以及绝缘臂高度限制。采用滑车法工器具轻便简单，且不受异物位置限制，可在架空线全线使用。处理异物方法如图3所示。



图3 带电处理异物方法

通过生产实践作业，相较于其余方法，滑车法带电处理导线异物较为方便，此方法主要是依靠刀口滑车（如图4所示）在导线上拉动过程中割除导线异物使其脱落。虽然这种方法不受地形及工作位置限制，有较好的适用性，但此种方法也存在着一定问题。

1) 地电位电工需在导线横担处拉扯导线滑车，安全裕度低，人员活动范围小，存在一定安全隐患。

2) 刀口滑车在导线上来回拉动时，对导线造成一定损伤，且刀口滑车的切割能力有限，很难有效清除各类异物。

3) 作业时需要爬上地电位电工用绝缘操作杆将刀口滑车安装到导线上，劳动强度和操作难度较大。

4) 带电处理导线异物用时较长，不能满足快速处理导线隐患的要求。

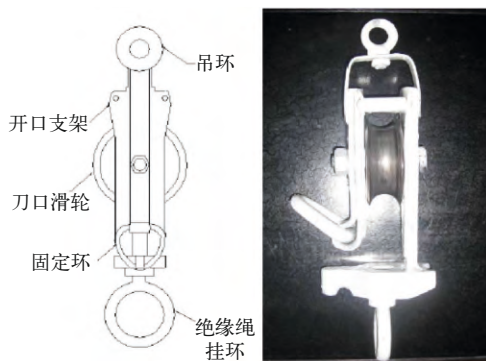


图4 取异物刀口滑车

作业方法介绍

1. 作业原理

所研究地线滑车处理线路异物法其原理（如图5所示）是基于现有滑车法基本原理，将滑车行走轨道由导线改进为上端架空地线，通过地线滑车与装有钩爪的绝缘绳配合将异物钩除。

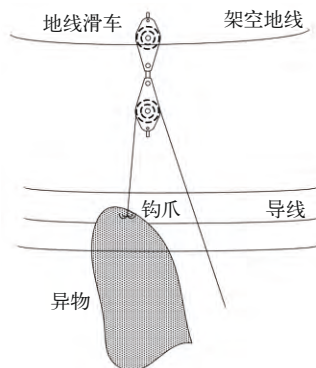


图5 作业原理图

2. 安全距离与组合间隙分析

以常见作业对象220 kV交流输电线路为例,根据安规规定:交流220 kV输电线路进行带电作业时,地电位作业人员距带电体、等电位作业人员距塔身、等电位作业人员距上横担或顶部构架的最小安全距离1.8 m。地线滑车法处理导线异物,地电位人员作业位置如图6所示。

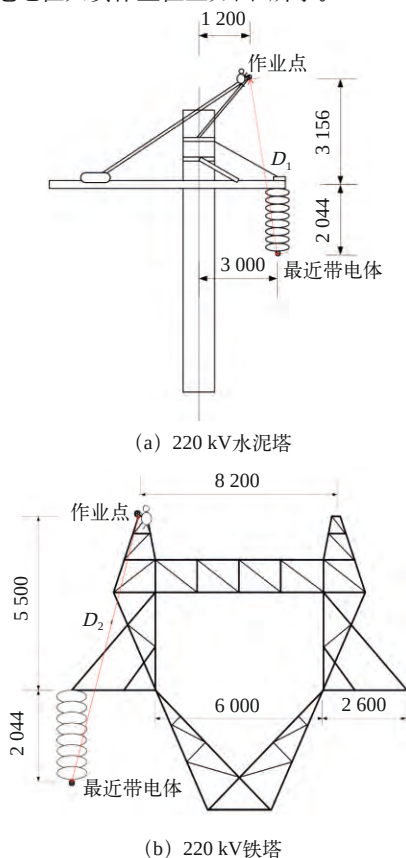


图6 作业位置示意图

由图6可得:针对220 kV水泥塔和220 kV铁塔,主操作位置在地线横担端,地电位人员作业点与带电体的最小距离分别为 D_1 、 D_2 ,通过塔型尺寸计算,可得 D_1 值为5 503 mm, D_2 值为7 692 mm。假设作业人员活动范围为500 mm,此时作业人员与带电体的安全距离如表1所示。

表1 作业时安全距离

杆塔类型	间隙距离/mm	最小安全距离/mm
220 kV水泥塔	5 003	1 800
220 kV铁塔	7 192	

通过以上分析可知,地线滑车处理异物法完全满足安规对作业人员安全距离的要求。

3. 作业技术特点

地线滑车法处理线路异物具备以下优点。

- 1) 不受异物位置限制,可在线路全线使用。
- 2) 作业人员处于地线横担位置,增大了作业人员与带电体的安全距离,增加了作业时的活动范围,降低了带电作业事故风险。
- 3) 操作人员不需要使用操作杆挂取滑车,可直接用手操作,大大降低了作业人员作业过程中的工作强度。
- 4) 配套研制的地线滑车为环氧树脂材质,在地线上行走时对线路无损伤。

地线滑车法与传统滑车法技术特点比较如表2所示。

表2 技术特点对比

传统滑车法	地线滑车法
安全裕度低,人员活动范围小,存在触电风险	不受异物位置限制,可在线路全线使用
安装导线滑车较为困难,劳动强度较大	塔上作业人员与带电体都保持相对较大的安全距离,人员安全得到充分保证
取异物过程中容易损伤导线且处理异物能力有限	可直接用手安装取异物滑车,操作方便、省力
需来回拉扯滑车切割异物,作业时间长	取异物过程中对导线无损伤

配套工器具研制

1. 工具的设计和使用

地线滑车法全套作业工具包括地线滑车(如图7所示)和取异物钩爪(如图8所示)。



(a) 滑轮槽口关闭状态



(b) 滑轮槽口开启状态

图7 地线滑车



图8 取异物钩爪

其中,地线滑车由上、下滑轮,中间吊梁和开合式滑轮槽口组成,采用双滑轮对称设计,滑轮槽口可开闭,用于方便安装于地线同时确保作业时不会脱落。滑轮选用环氧树脂材料,避免其在线路拖行时磨损线路。钩取异物装置采用四钩爪设计,便于作业人员多角度钩取异物,同时各钩爪处设计有倒钩,有效防止异物在钩住后脱落。

2. 工具机械强度校核

(1) 行走受力分析

行走受力图如图9所示。

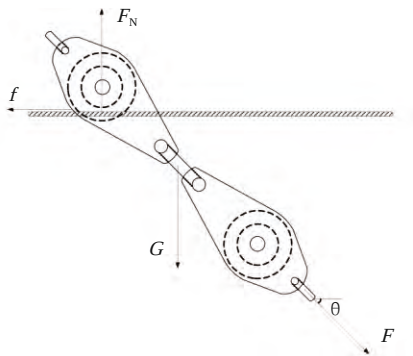


图9 行走受力图

由图9建立装置行走受力方程为

$$\begin{aligned} f &= \mu F_N \\ G + F \sin \theta - F_N &= 0 \\ F \cos \theta - f &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

式(1)中, \$G\$ 为装置自重, 为15 N; \$f\$ 为装置与导线表面摩擦力; \$\mu\$ 为摩擦因数, 取0.4; \$F\$ 为行走过程所需地面拉力; \$\theta\$ 为地面拉力与水平方向夹角。

由式(1)可得

$$F = \frac{\mu G}{\sin \theta - \mu \sin \theta} \quad (2)$$

地线滑车在地线上自由行走过程中所需拉力值随 \$\theta\$ 的改变而变化 (\$0^\circ < \theta < 60^\circ\$) 通过计算可知

$$6 \text{ N} < F < 39 \text{ N}$$

即地面配合人员需提供6N以上的力将滑车拖动。

(2) 机械强度校验

带电取异物作业过程中, 当滑车行走至指定位置时, 地面作业人员通过滑车绝缘绳控制四钩爪钩住导线处异物, 使得异物脱离导线。整个过程中, 拖拽异物时, 地线滑车处于最大受力状态, 因此, 有必要对最大受力状态进行强度校验。

1) 主要技术参数如下。

工作负荷。单滑轮自重: \$G_L = 7.5 \text{ N}\$; 绝缘绳自重: \$G_S = 115 \text{ N}\$; 钩取异物重量: \$G_W\$; 安全系数: \$n = 2.5\$。

材料选择。主体: 四号超硬铝 (7A04, LC4); 屈服应力: \$\sigma_s \geq 410 \text{ N/mm}^2\$; 其许用弯曲应力: \$[\sigma] = 410/2.5 = 164 \text{ N/mm}^2\$。

2) 强度校验如下。钩取异物时滑车受力如图10所示。

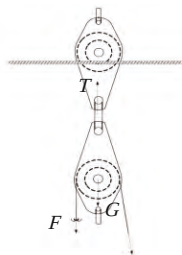


图10 地线滑车取异物正视图

图中, \$T\$ 为中间吊梁处拉力; \$F\$ 为绝缘绳拉力。

$$\begin{aligned} G &= 122.5 \text{ N} \\ F &= G_W \\ T &= 2F + G \end{aligned} \quad (3)$$

由式(3)可得

$$G_W = T - G \quad (4)$$

根据 \$[\sigma] = T_{\max}/S\$ 可得

$$T_{\max} = [\sigma] S \quad (5)$$

式(5)中, \$T_{\max}\$ 为吊梁最大许用拉力; \$[\sigma]\$ 为许用应力; \$S\$ 为上下滑轮连接处截面积。由 \$[\sigma] = 164 \text{ N/mm}^2\$, \$S = 254 \text{ mm}^2\$ 可得

$$T_{\max} = 41\,656 \text{ N}$$

$$G_{W\max} = T_{\max} - G = 41\,656 - 122.5 = 41\,533.5 \text{ N}$$

即该装置强度高达4 153 kg, 远远达到并超出实际工作需求。

现场应用情况

基于研究对象, 在实际线路利用地线滑车法进行异物处理, 操作流程和应用效果如图11及表3所示。

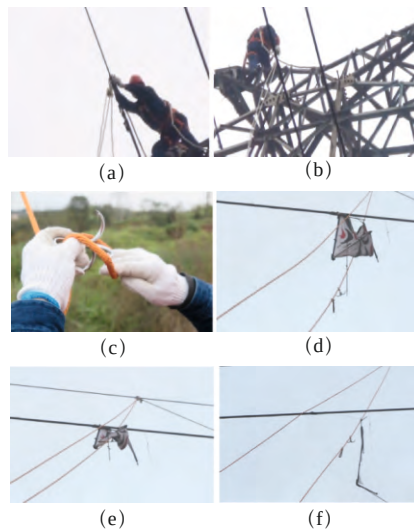


图11 现场应用图

图11中，图11a~图11f依次为：地电位人员爬至地线横担处；地电位人员安装地线滑车；地面人员安装钩爪；滑车拖行至异物处；钩爪顺利钩住异

物；异物有效清除。
现场应用情况表明，地线滑车法可以在短时间内顺利地清除线路异物，同时大大减轻作业人员劳动强度。

表3 作业成本对比

作业方法	人工成本/（元/（天·人））	材料成本/（元/次）	所需人员数量/个	成本合计/（元/次）
燃烧法	600	800	3	2 600
等电位软梯法	400	200	5	2 200
操作杆摘取法	400	200	5	2 200
绝缘斗臂车法	600	400	6	4 000
导线滑车法	400	200	5	2 200
地线滑车法	400	200	3	1 400

效益分析

(1) 经济效益分析

由表3可得，通过与传统带电处理导线异物方法对比，所研制的带电处理异物地线滑车每次作业成本为1 400元，相较于其他作业每次至少可节省800元以上，根据近三年湖南省电力公司处理导线异物作业统计量，可以取平均每年作业150次为标准，则保守估计，每年节省的作业成本为

$$J=MN=800\times 150=12\text{万元}\tag{6}$$

式（6）中， J 为每年节省作业成本总额； M 为每次作业所节省费用； N 为工作量。

(2) 安全效益分析

带电处理异物地线滑车投入使用后，解决了导线异物处理困难、劳动强度大、工作效率低和处理过程中损伤导线等技术难题，为电网安全运行打下了坚实基础同时也提高了作业的安全性。EA

（收稿日期：2016.03.17）

（编辑：刘群点）

（上接第62页）

做好形状的联板上制作出已经设计好的孔位，经过对制作出的通用联板样品的一系列试验（电气试验和机械试验），该联板机械强度等指标符合设计要求。

联板成品图如图2所示。

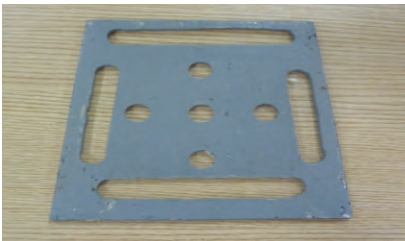


图2 联板成品图

(4) 工作现场模拟测试

用制作好的通用联板在几基铁塔上进行了模拟测试，检查的几基铁塔都可以使用本通用联板。

通用联板的应用

如图3所示，该铁塔联板和一条角铁丢失，且该型号的联板没有相关备品备件，无法按该型号联板进行补装，存在安全隐患。使用研制的通用

联板顺利对其进行了补装，及时消除了线路的安全隐患。



图3 现场安装照片

在另一处丢失联板的线路，同样使用了通用联板进行了及时补装，消除了线路的安全隐患。

结束语

经过模拟测试和现场检查，共现场检查20处，通过图样推算72处，可以使用本联板的塔形为75处，不能使用为17处，得出该联板在承德地区35~220 kV线路上可以使用的比例为81.5%，高于之前设置的75%目标。EA

（收稿日期：2016.08.17）

（编辑：刘群点）