

浅析一种新型接地线在电力生产中的应用

喻志程

(盐城供电公司, 江苏 盐城 224005)

摘 要: 接地线是目前广泛应用于电力生产中保证人身安全的一种重要工具, 是通过接地部位及时的将因各种原因产生的不安全的电荷或者漏电电流导出的线路。目前, 接地线多由用于连接设备的接电夹(导体端)、用于导流的短路线、用于手持操作的绝缘操作杆以及连接接地网的接地桩等组成。接电夹多接于设备外伸的电缆和线排, 不同厂家生产的接地线其接电夹有较大的差别, 倒U型接电夹使用方便, 缺点是一般只能用于直径较小的或母线电缆, 而普通卡夹型的接电夹则电缆、线排皆可, 但在使用上有诸多不便, 比如容易打滑、难以紧固等。本文介绍一种基于齿轮副、螺旋副以及杠杆副的新型卡夹型接电卡夹, 通过重力作用于杠杆以及齿轮差速实现卡夹自紧, 便于接地线安装, 具有良好的应用前景吧。

关键词: 新型; 接地线; 接电夹; 卡夹; 导体端; 齿轮; 杠杆; 自紧

0 引言

接地线已经是电力生产中最为直接和简便的安全设备之一, 挂接地线是电力检修作业中至关重要的一环, 因其工作可靠、接地良好、效果直观, 因而被大量采用。现在变电站内的接地线大多分为两种, 一种是采用倒 U 型的接电夹, 这种接地线操作方便, 使用时将倒 U 卡口直接卡在线缆上下拉即可, 但是只能用于直径较小的电缆或软母线, 另一种是采用类似螺丝扳手原理的卡口, 通过螺杆紧固实现固定接地线卡口, 这种接地线使用范围较为广泛, 无论是线排、电缆或其他设备均可使用, 但是受制于卡口形状, 在挂地线时经常容易出现角度错位、卡口和接地端发生打滑、旋紧时卡口跟转等情况, 安装过程中表现的较为不可靠。近年来, 有不少电力从业者发现问题并加以改进, 解决了地线多角度安装的难题, 但原理依旧是单纯的螺旋紧固, 打滑跟转等操作困难的情况没有得到改善。为解决操作困难的问题, 应从螺旋紧固卡口之前步骤入手, 使接地线在与接地设备接触时就形成较为稳固的连接, 兼顾到接地线不缩小其使用范围, 故本文意在讨论一种在原有基础上进行技术改进创新的产品可行性和推广价值。

1 方案选择

1.1 接电夹要求

考虑到其适用范围应尽可能的适合各种类型

的设备, 以做到同电压等级下不同设备能够“一线多用”、避免重复取线和设备浪费, 新方案的总体要求为:

- 1) 可用于电缆、软母线、导线等各种软质导电材质。
- 2) 可用于母线排, 出现排、口径较小的硬质管母等各种硬质导电材质。
- 3) 卡口在于设备接地端连接时, 应可以自紧固。
- 4) 卡口自紧固咬合力应不低于普通螺旋卡口, 且能抵住跟转。
- 5) 接地线材质、线径应符合国家质量规定的相关要求。

1.2 方案提出

以上几点要求中, 如选择参考螺旋紧固的卡口模式, 则可以直接满足适用于不同导电材质的要求, 那么新型接地线的接电夹类型可在螺旋紧固卡口的基础上进行技术创新。

根据卡口自紧的要求, 接地线的接电夹在卡上设备接地端时, 应先解决如何具备自紧能力的问题。

首先对接电夹卡口进行受力分析: 接电夹由上下两片夹块组成, 当接电夹接触到设备接地端时, 一般先是上夹块碰触到接地端, 而后, 旋紧操作杆, 通过操作杆上的螺杆带动下夹块向上运动进行紧固, 此时, 整个接电夹依靠上夹块与设备接地端的摩擦力抵抗操作螺杆时的扭力, 当下夹块与设

备接地端接合时，下夹块对接地端的压力增大，摩擦力增大，此时扭力远小于摩擦力，则接电夹紧固完成；如果在下夹块与设备接地端接合前，上夹块产生的摩擦力不足以抵抗螺杆的扭力，则接电夹就会打滑、跟转，紧固失败。

综上，需在螺杆扭力产生前加大上下夹块的摩擦力，抵消扭力，即可提高地线安装的成功率。针对于此，提出三个改进方案：

方案一：弹簧自紧夹块

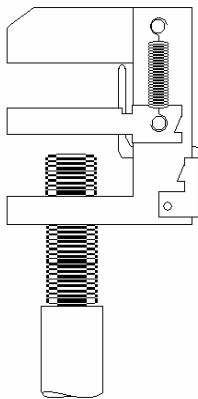


图 1 弹簧自紧式接地线方案示意图

在上夹块和下夹块之间增加弹簧、储能卡扣和释放机构。弹簧两端分别固定在上下夹块上，上下夹块拉开时弹簧储能并锁住加挂地线前将上下夹块拉开距离，安装接地线时，设备接地端碰触到释放机构，弹簧释放储能，将两夹块加紧卡在接地端上，而后旋转螺杆锁死。

方案二：同心差速齿轮夹块

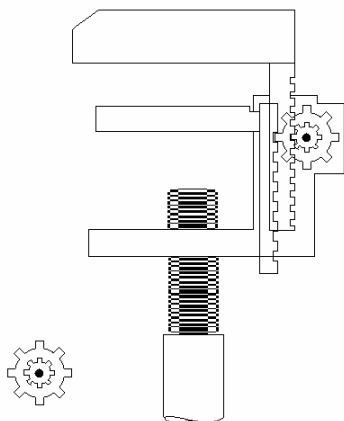


图 2 同心差速齿轮式接地线方案

上夹块和下夹块分别安装在的齿条上成 L 形，通过同心差速齿轮相接形成运动副。上滑块齿

条咬合内径慢速齿轮，下滑快咬合外径快速齿轮，安装时，将上滑块搭在设备接电端，通过接地线本身重力或手持下拉力使得上滑块的 L 形齿条通过同心差速齿带动下滑块快速向上滑动，下滑块上行速度超过上滑块上行速度，故两夹块可以紧卡在接地端上，而后旋转螺杆锁死。

方案三：差速齿轮组杠杆

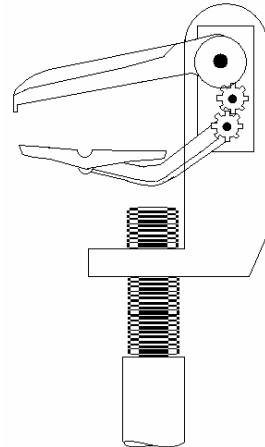


图 3 差速齿轮组式接地线方案

上下夹块分别和差速齿轮组相连，夹臂不用滑动而改为杠杆连接，安装时，上夹臂通过接地线本身重力或手持下拉力上扬，带动大齿轮顺时针转动，通过传动，结合下夹臂的小齿轮也为顺时针转动，且转动角速度大于大齿轮，则上下夹臂咬合卡在接地端上，而后旋转螺杆锁死。

1.3 方案比较

方案一：弹簧自紧夹块

优点：瞬间咬合力大，动作迅速

缺点：咬合后分开夹块较为困难，拆除接地线时不方便，安装角度较为固定。

方案二：同心差速齿轮夹块

优点：咬合力较大，分合都比较方便

缺点：同心差速齿轮机构较为复杂，安装角度较为固定

方案三：差速齿轮组杠杆

优点：咬合力较大，分合方便，安装角度灵活

缺点：咬合力较以上两种方案稍小，但可以通过其他方式弥补

综合以上可以看出，差速齿轮组杠杆方案非常符合新型接地线的要求。

2 具体设计

2.1 受力计算

差速齿轮组杠杆式接地线的上下夹臂与齿轮相连，实际形成一个杠杆机构，杠杆即为夹臂，杠杆的转心即为齿轮的圆心，在理想情况下，安装接地线过程时的分析如下：设备接地端先与杠杆端点接触，设上夹臂受力长度为 L ，大齿轮半径为 R ，小齿轮半径为 r （传动齿轮只起到传动作用，其半径忽略不计）。下夹臂受力长度为 xL （ x 为系数）， F 为大齿轮输入力， f 为小齿轮输出力， F_1 为上夹臂受力， F_2 为下夹臂受力， $R=n \cdot r$ （ n 为系数），则计算如下：

对于齿轮组，为大齿轮带动小齿轮，则 $f=F \cdot (r/R)$

对于上夹臂的杠杆： $F_1 \cdot L = F \cdot R$

对于下夹臂的杠杆： $F_2 \cdot xL = f \cdot r$

则下夹臂与上夹臂受力的对应关系为 $F_2 = (F_1 \cdot r^2) / (x \cdot R^2)$

为确保咬合后上夹臂尽量保持在 0° 水平角度，结合实际的情况，上夹臂的初始旋转角度宜在 -30° 左右，而下夹臂初始角度 a 应在 $-60^\circ > a > -90^\circ$ 的情况，咬合后上下夹臂基本都处于 0° ，则 $r:R$ 应在 $1:2$ 到 $1:3$ 之间。此处我们取极端情况 ($r:R=1:3$)，即咬合力最小情况讨论（极端情况讨论较有代表性）。

那么 $F_2 = F_1 / 9x$ ；

110kV 接地线单相重量约为 10kg，接地线的接电夹一般为铸铝合金，其与铜线排的摩擦系数查表得约为 0.066，一般成人手腕扭矩为 300N/m，接地线的操作棒半径为 25mm，则操作棒的扭力为 $300 \cdot 0.025 = 7.5N$ ，而地线与接地端的摩擦力约为 6.47N，不施加向下拉力的情况下略小于扭力，会发生跟转。

而采用新型接电夹后，增加了一个下夹臂摩擦力，大小为 $6.47/9x$ ，那么总摩擦力为 $6.47 \cdot (1 + 1/9x)$ ，要实现 $6.47 \cdot (1 + 1/9x) > 7.5$ ，只要 $x < 0.69$ 即可。即下夹臂受力长度小于上夹臂受力长度的 69% 即可。

2.2 尺寸及外形设计

根据现场实际，最宽的接地端设备为铜排或铝排，一般规格为 120mm×10mm。

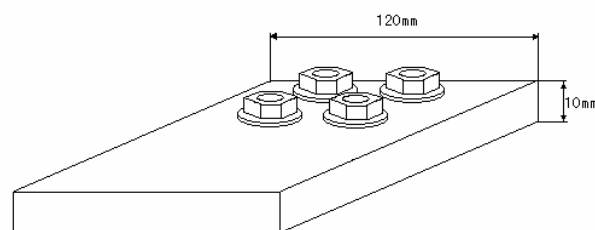


图 4 母线排接线示意

作为母线排使用时为单排，尺寸为 120mm×10mm；

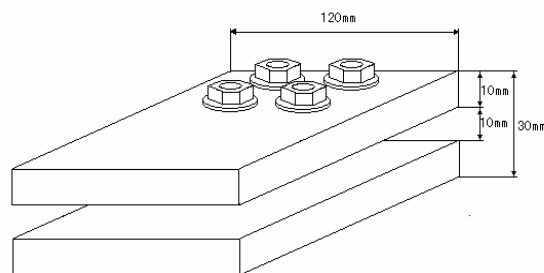


图 5 主变至开关的线排接线示意

作为主变至开关的出线排时叠加使用，两线排之间留有 10mm 的空间，尺寸为 120mm×30mm。

以此为基础，进行接地线的尺寸设定：

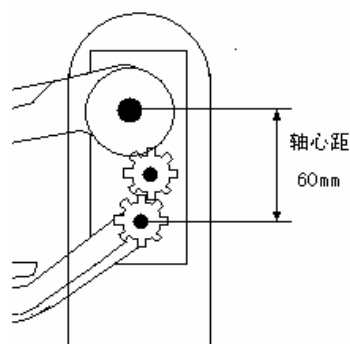


图 6 夹臂轴心距

为留有安装余度，接电夹两夹块旋转的轴心距应设为 6cm，以楔合安装设备的厚度。

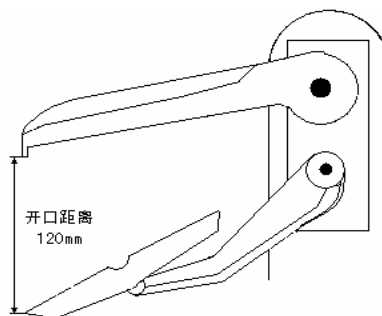


图 7 夹臂开口距离

为方便安装，上下夹臂开口设计达到120mm、即为轴心距的2倍。上夹臂长度为120mm，确保和设备的接触完整、良好；下夹臂分为两块，一块为受力杠杆，设计为48mm即上夹臂的40%，另一块为接触块，长度为100mm，取其中点，用铰链与受力杠杆顶端相连。

锁紧螺杆的活动距离应做到尽量以最少的旋转的圈数使得夹臂上升最大的距离，因此螺杆应尽量靠着下夹臂转动的轴心，螺杆与下夹臂接触点距离轴心约25mm，下夹臂转动角度约为 60° ，计算可得则螺杆上升空间为43mm。那么生产实物时，螺杆长度应略大于43mm即可。

3 实用性论述

考虑以上设计建立在理想计算和理论上，而实物与理论有一定的差距，有必要对实用性进行考虑和论证。

首先是现场使用的问题：

目前同类型的110kV接地线中，单相最重的约为10kg，其主要部件有接地线缆、上夹臂、下夹臂，螺杆，新型接地线对应其要多出差速齿轮组内的差速齿轮三个以及配套的轴承，重量约要多出500g，举升时会较旧式接地线稍微费力，但在紧固过程中所耗时间和气力要远胜后者，鉴于挂接地线的危险性在紧固过程中要大于举升过程，重量稍增这一点是可以接受的。

其次是制造工艺：

新型接地线的制造工艺难点毫无疑问是在差速齿轮组上，当螺杆紧固时，上下夹臂通过齿轮组完成咬合，上下夹臂的轴心间的力量就都加在齿轮齿的啮合处。上夹臂所连的大齿轮齿柱高度约为5mm，那么受力时，相当于齿柱与上夹臂形成以大齿轮轴心为圆心的杠杆，紧固时，上夹臂的受力距离约为其总长的一半，则此时齿柱与上夹臂受力比为24:1，上夹臂受力约为300N，则齿轮受力为7200N，齿柱受力面积为 $0.1 \times 10^{-4} \text{m}^2$ ，则齿柱所受压强为720MPa，而通过查表得，碳素 $>0.32\%$ ，硬度在300的合金铸钢（普通铸钢）其能承受的压强就已经达到800MPa，完全可以胜任齿轮的制造。

再者还有寿命问题：

夹臂和齿轮都是活动件，其使用不可避免的会造成磨损，尤其是齿轮，是其中磨损较为严重的

部件。如采用普通铸钢，查表可知，齿轮应力循环达到 2.5×10^5 次时，其可靠系数才由1.25（高可靠性）降至1.0（一般可靠性）。如此，即便是每天都有检修任务都需要用一次接地线，其使用寿命也已经远远超过绝缘杆等其他部件的寿命。

采取改进后的实用效果也需要进行论证：

此处，下夹臂的受力长度按之前尺寸和外形设计里设定的0.4L进行计算。

$$6.47 \times (1 + 1 / (9 \times 0.4)) = 8.2$$

通过计算，采用新型接地线后，接电夹摩擦力可以达到8.2N，已经超过7.5N的扭力14.5%，完全可以避免操作棒跟转的情况。

4 结论

这种新型接地线基本完成了设计要求，达到了预期效果，为电力工人在其后的电力生产活动中提供了较大的便利，其用途广泛，通过更换不同规格的引流铜线，可适用于从10kV至110kV不同电压等级的各类设备，适当减少了安全工具数量，简化了变电站内的接地线组合配置，在一定程度上具有申请新型实用专利的价值。

参考文献：

- [1] 周磊,王婷婷,严小东.变电站新型接地线改进方案探讨[J].中国科技博览,2011(30).
- [2] 巫水萍,张瑜,臧和平.新型变电站接地线管理系统设计和实现[J].电气技术,2012(08).
- [3] 何明祝.浅析新型接地线挂接装置的研制[J].科技创业家,2012(19).
- [4] 盛连军,张腾飞,韩忠华,等.一种新型长柄多角度短路接地线的研究[J].华东电力,2011年(10).
- [5] 顾艳君,钱志良,杨全超,等.一种新型超高压电动短路接地线夹[J].苏州大学学报(工科版),2012,32(02).

作者简介：

喻志程（1987-），男，南通如东人，助工，从事变电站运行维护工作。