

新型手持电力机车车顶绝缘子清洗设备的应用研究

朱宏亮¹ 宋挺² 张原¹ 史永革² 骆成² 翟旭² 鲍胜华² 王超²

1 新疆中重高科机器人研究院(有限公司)

2 中国铁路乌鲁木齐集团有限公司科学研究所

DOI:10.32629/jsse.v4i3.20991

[摘要] 我国电气化铁路技术发展迅猛,绝缘子污闪防治是现在铁路维护的痛点问题,也是机车维护自动化、智能化上的拦路虎。基于众多研发的机车顶绝缘子清洗设备以及本项目前期产品,研制一款新型手持式、重量轻、操作简便、高效实用的清洗设备,达到了降低劳动强度、提高作业效率目的,同时为未来机车维护自动化、智能化铺路。

[关键词] 手持;重量轻;操作简便;高效实用

中图分类号: TU834.8+34 **文献标识码:** A

Application Research on New Handheld Electric Locomotive Roof Insulator Cleaning Equipment

Hongliang Zhu¹ Ting Song² Yuan Zhang¹ Yongge Shi² Cheng Luo² Xu Zhai² Shenghua Bao² Chao Wang²

1 Xinjiang Zhongzhong Gaoke Robotics Research Institute (Co., Ltd.)

2 Scientific Research Institute of China Railway Urumqi Bureau Group Co., Ltd.

[Abstract] The development of electrified railway technology in China is rapid, and the prevention and control of insulator pollution flashover is currently a pain point in railway maintenance, as well as a bottleneck in the automation and intelligence of locomotive maintenance. Based on numerous research and development of locomotive top insulator cleaning equipment and previous generation research and development products, a handheld, lightweight, easy to operate, efficient and practical cleaning equipment has been developed, achieving the goal of reducing labor intensity and improving work efficiency, while paving the way for future locomotive maintenance automation and intelligence.

[Key words] handheld; lightweight; easy to operate; efficient and practical

引言

众所周知,绝缘子是一种重要的电气元件,它的主要功能是在电力系统中起到绝缘和支持电力导线的作用,以确保电力设备和电力输配系统的安全运行。然而,绝缘子的污闪问题一直伴随其左右,需要定期进行清洗检测。污闪是指由于污秽而引起的电网线路绝缘子闪落事故,即绝缘子表面出现严重放电现象,导致绝缘子被击穿造成短路。不难看出,目前人工用抹布清洁是铁路系统上绝缘子防污闪的重要手段,而这也是机车日常维护的痛点问题,如何降低劳动强度,实现绝缘子清洗的自动化、智能化。因此,国家电网公司研发了一款绝缘子自动擦洗器,市面上也有众多类似的清洗设备,但都距实际应用需求相差甚远。

1 概况

基于上述原因,国家电网公司申请了一款国家实用新型专利-绝缘子自动擦洗器,但该设备只能固定针对个别绝缘子进行清洗作业,使用范围有限;机车顶部绝缘子高度和直径不尽相同,有的甚至差异很大,兼容性无法解决;绝缘子与导线、受电弓、

车顶设备之间存在干涉,随着电力机车车型的不断更新,绝缘子的布局情况很复杂,无法避免各种干涉情况的发生;毛刷作业只有一圈,需要上下移动,作业效率低;绝缘子伞裙底部有凹槽,很难接触到,作业质量不高。

该绝缘子设备虽然增加了伸缩仿形随动、智能控制等功能,可以适用于更多的绝缘子类型。但其存在操作不够简便,重量偏大,无法应对非水平布置的绝缘子类型等不足之处。基于一代产品开发与试验,结合现场实际,针对机车顶部绝缘子我们研发了一款新型的手持式清洗设备。

2 现场调研与问题分析

2.1 绝缘子类型统计

项目组对多种电力机车(如和谐电1C型)车顶绝缘子进行了实地测绘,涵盖支撑绝缘子、避雷器、互感器等类型,其高度范围为150~415 mm,最大直径范围为67.2~290 mm。绝缘子直径、高度、伞裙结构差异显著,传统固定式设备难以兼容。图(1)为机车车顶绝缘子照片。

2. 2现场作业问题反馈



图(1) 机车车顶绝缘子照片

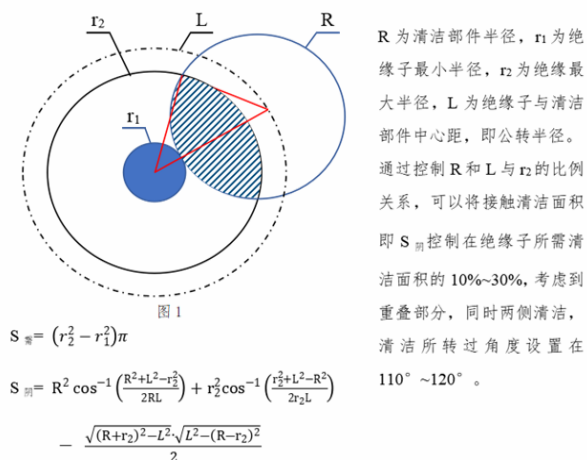
目前绝大部分电力机车绝缘子擦洗是人工用抹布擦洗绝缘子, 存在的问题: 人工擦洗成本高、效率低、易漏擦; 不同车型绝缘子尺寸、位置、数量差异大; 绝缘子与受电弓、导线等干涉严重; 现有电网用清洗设备体积大、兼容性差; 机械手臂投资大、对位慢、机动性不足; 清洗剂消耗大, 易污染车顶其他部件。

因此, 急需一款手持、轻便、兼容性强、可适应倾斜绝缘子的清洗设备。

3 新型绝缘子方案设计

3. 1基本原理

基于齿轮副运动既可以自转, 也可以公转的原理, 我们选择了让清洁部件围绕绝缘子以公转并且自转的运动方式进行清洁, 此运动方式每一瞬时, 清洁部件上毛刷组与绝缘子接触面积不会过大, 阻力就不会过大, 所需的驱动力就不会过大, 变相减轻了整体的重量; 毛刷组在接触绝缘子后沿公转行进方向向外自转, 将表面杂质清除出绝缘子, 而不是堆积在绝缘子的裙边根部, 这比单独靠表面摩擦清洁的效果要好, 同时其在自转并绕着绝缘子外围公转时, 两叠加运动产生了向外的抛物曲线, 这样不仅清洁效果好, 还不留清洁死角。原理图如下图(2)所示:



图(2) 原理图

3. 2基本结构

手持式绝缘子清洗设备由核心驱动部件、清洁毛刷部件、电源供给装置、手持及支撑结构组成。

3. 2. 1结构设计

基于上述原理及理念, 对该装置机械结构各部件进行如下选型及要求:

(1) 清洁毛刷部件。①清洁头采用多刷头排布设计, 刷头材质根据绝缘子的材质和污染物类型选择, 如对于油污可采用亲油疏水的纤维材质, 对于灰尘可采用柔软且有一定吸附性的材质。刷头放射角度及排布形式根据绝缘子的形状进行定制, 确保与绝缘子表面充分接触。②刷头材质具有一定形变恢复能力, 可根据绝缘子的倾斜角度和表面弧度自适应变形, 保证清洁效果的一致性。③清洁头具备可快速更换功能, 以适应不同规格型号的绝缘子。

(2) 核心驱动部件。①采用电动驱动方式, 电机选用具有高扭矩、低转速的外转子电机, 在保证提供足够的动力来驱动清洁头旋转外, 尽量减小重量与体积, 做到产品的小型化、轻量化。传动机构采用齿轮传动, 在满足基本原理阐述的运动方式外, 确保动力传递的稳定性和可靠性。②在驱动及传动系统中设置过载保护装置, 当清洁头遇到过大阻力(如绝缘子表面有异物卡住)时, 能够自动切断动力, 防止电机和传动部件损坏。③在清洁头顺、逆时针旋转运动两极限位置设计机械限位及保护, 并配有相应接近开关来进行转向变换, 以满足清洁头能围绕绝缘子进行顺、逆时针旋转运动。

(3) 电源供给装置。①驱动及传动系统的外转子电机的电力供给采用碳刷电机滑动输送形式, 即采用导电材料制作的碳刷在导电轨上滑动, 将电池的电力输送给外转子电机, 以满足外转子电机在既公转又自转的运动形式下获得来自电池供给电力的需求。②或者采用弹簧伸缩电缆的形式, 由相应的外壳进行空间约束, 将电池的电力输送给外转子电机, 以满足外转子电机在既公转又自转的运动形式下获得来自电池供给电力的需求。

(4) 支撑结构。①清洁设备的支撑结构将采用轻质高强度材料制造, 如铝合金或碳纤维, 以减轻整体重量, 方便操作人员携带和移动。支撑结构设计可设计成伸缩式, 能够适应不同空间位置绝缘子的清洁需求。②由于该清洁机为单侧手持结构, 类似除草机, 为了平衡重量, 防止头重脚轻, 将电池后置在手持部件后端; 同时还可以轻松更换手持长柄部分, 将向下探入式清洁变为向上抬举式清洁, 以满足高空或者高处作业的需求。

3. 2. 2具体结构形式

该绝缘子清洗设备, 包括支撑部件和设置在支撑部件上用于围绕绝缘子对其进行清洁的清洁部件(即核心驱动部件和清洁毛刷部件), 所述清洁部件具有与支撑结构连接的弧形导轨机构以及能够沿弧形导轨机构运动的清扫机构, 所述的清扫机构包括清洁头、驱动电机以及由驱动电机带动的驱动轴, 所述清洁头安装在驱动轴上, 在弧形导轨机构中固定安装有沿其弧长方向延伸的弧形齿条, 所述驱动轴上固定连接有驱动齿轮, 驱动齿

轮与所述弧形齿条啮合,使驱动电机通过驱动轴带动清洁头旋转的同时,能够带动驱动齿轮旋转,并通过弧形齿条的作用,使驱动齿轮带动清扫机构沿弧形导轨机构运动。

4 技术创新点与优势

4.1 单电机实现复合运动

传统清洗设备通常需要两组电机分别驱动自转和公转,导致结构复杂、重量大、能耗高。本设备通过驱动齿轮与弧形齿条的巧妙配合,用一个电机同时完成清洁头的自转和整机绕绝缘子的公转,大幅简化传动系统,减轻重量约40%,同时降低了控制系统的复杂度。

4.2 开合式弧形导轨机构

两个清洁部件通过连杆与滑块机构连接,可手动合拢或打开,适应直径范围67~290 mm的不同绝缘子。同时,由于清洁头采用柔性刷毛并具有一定形变能力,即使绝缘子安装存在 $\pm 15^\circ$ 的倾斜角度,设备仍能良好贴合,完成有效清洁。这一特性显著优于市面大多数固定式或半固定式设备。

4.3 自转+公转复合清洁轨迹

清洁头自转方向与公转行进方向配合,使污染物沿切线方向被抛出绝缘子表面,而不是堆积在裙边根部。实验表明,相比单纯摩擦擦拭,复合运动清洁效率提升约50%,且无清洁死角。

5 预期应用效果与实验验证

5.1 效率对比

在模拟绝缘子污秽条件下(灰密 2.0 mg/cm^2 ,盐密 0.2 mg/cm^2),分别采用人工抹布擦拭与本设备进行清洗对比实验:

人工擦拭:单组绝缘子平均耗时28分钟,清洗后残留污渍面积积约15%。

本设备:单组绝缘子平均耗时9分钟,清洗后残留污渍面积小于3%。效率提升约3倍,清洁效果显著优于人工。

5.2 兼容性验证

选取和谐电1C型电力机车顶部五种不同类型绝缘子(支撑绝缘子、避雷器、互感器、导线绝缘子、主断绝缘子),分别使用本设备进行清洗测试。结果显示,所有绝缘子均能实现有效贴合与清洁,无需更换清洁头或调整结构,兼容性达到100%。

5.3 重量与便携性

第一代设备整机重量为4.2 kg,本设备通过单电机方案、轻

质材料、紧凑结构设计,将重量降低至2.4 kg,降幅约43%。操作者反馈表明,新设备更易携带、操作更灵活、长时间作业手臂疲劳感明显减轻。

6 总结

利用清扫机构的驱动电机一方面驱动清洁头转动,另一方面通过相配合的驱动齿轮和弧形齿条驱动清扫机构沿弧形导轨机构运动,使用一个驱动电机同时实现清洁头的自转以及沿弧形导轨机构的公转,减少了电机的使用,减轻了设备重量。清扫机构在运动过程中始终能够由弧形导轨机构支撑,确保了在绝缘子清洁过程中清扫机构的稳定。该设备克服了占用机车台位、体积庞大、定位困难、造价高、机动性不足,增加了开合机构、智能控制等功能,具有小型便携、可手持操作、高效实用、适用范围广的优点,达到了降低劳动强度、提高作业效率目的。

[基金项目]

中国铁路乌鲁木齐集团有限公司,课题编号:2025-kj-7。

[参考文献]

- [1]孙保强,侯经洲,王黎明,等.防覆冰电力机车车顶绝缘子伞裙的优化设计[J].高电压技术,2011,37(7):7.
- [2]叶映芳,张旋.国家电网公司绝缘子清洗技术分析[J].中国科技信息,2021(17):3.
- [3]李林斌,胡晓平,邵林飞,等.新型电力用绝缘子擦洗装置,CN207238562U[P].2018.
- [4]王力农,胡建勋,叶征,等.绝缘子检测机器人:CN, CN103640020A[P].
- [5]史继,邹志勇,王宗炜,等.一种绝缘子自动擦洗器:CN109647771A[P].2019.
- [6]宋挺,史永革,赵志勇,等.电力机车车顶绝缘子清洗设备的应用研究[J].机械工业标准化与质量,2022(12):17.
- [7]朱宏亮,宋挺,赵志勇,等.一种清洁刷导向装置:CN223862349U[P].2025.
- [8]朱宏亮,宋挺,赵志勇,等.一种绝缘子清洁部件的供电导轨:CN223847582U[P].2025.

作者简介:

朱宏亮(1987--),男,汉族,新疆人,大学本科,工程师,从事的研究方向:机械自动化。