

Overall Design of Four-Split Conductor Electric Vehicle for 500 kV Transmission Line

Hui Yu¹, Xuyong Zhang¹, Jianhua Dai¹, Weiyong Yu¹, Jie Fang¹, Ruochen Li²

¹State Grid Huzhou Electric Power Supply Company, Huzhou Jiangsu

²School of Electrical Engineering and Automation, Wuhan University, Wuhan Hubei

Email: 6245353@qq.com, 1535297936@qq.com

Received: Mar. 1st, 2019; accepted: Mar. 20th, 2019; published: Mar. 27th, 2019

Abstract

At present, the steady and rapid social and economic development puts forward higher requirements for the power supply and power conservation capacity of the power grid. In addition to improve the distribution network and its ancillary equipment, the construction and maintenance of the transmission network cannot be allowed to fall. The 500 kV transmission line is used as the backbone power transmission capacity of the power grid. Therefore, the overhaul of the 500 kV transmission line has also received considerable attention. In the current maintenance work of 500 kV transmission lines, manual routing and human-powered pedal-type wire speeding are still mainly used, which has considerable limitations and work efficiency is greatly reduced. Therefore, for the previous maintenance mode, the four-split electric locomotive of 500 kV transmission line was designed from the three aspects of structure, power and electromagnetic compatibility of the locomotive. Under the premise of ensuring safety and working effect, the weight of the locomotive was minimized to ensure the work efficiency. In theory, electric locomotives can greatly improve the maintenance efficiency of a section of the line and improve the stability of the power grid, which has a good promotion effect in the future power grid construction.

Keywords

Transmission Line, Electric Coaster, Brushless DC Motor, Line Maintenance, Lithium Battery

500 kV输电线路四分裂导线电动飞车整体设计

俞 辉¹, 章旭泳¹, 戴建华¹, 俞伟勇¹, 方 杰¹, 李若晨²

¹国网湖州供电公司, 江苏 湖州

²武汉大学电气与自动化学院, 湖北 武汉

Email: 6245353@qq.com, 1535297936@qq.com

收稿日期：2019年3月1日；录用日期：2019年3月20日；发布日期：2019年3月27日

摘要

日趋稳步快速的社会经济发展对电网的供电保电能力提出了更高的要求，在完善配电网及其附属设备之余，输电网的建设与维护也刻不容缓。500 kV输电线路作为电网的中坚力量，做好其检修工作也受到了相当的重视。目前500 kV输电线路的检修工作中仍使用人工走线和人力驱动的脚踏式导线飞车的方式，具有相当的局限性，工作效率也是大打折扣。因此针对传统的检修方式从飞车的结构、动力和电磁兼容三个方面入手，设计了500 kV输电线路四分裂导线电动飞车，并在保障安全和工作效果的前提下，最大程度地减轻了飞车的重量以保证高的工作效率。电动飞车在理论上能够大大提高一段线的检修效率，在以后的电网建设中具有较好的推广作用。

关键词

输电线，电动飞车，无刷直流电机，线路检修，锂电池

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着工业化进程的日益加快以及人民生活水平的逐步提高，我国的电力需求日渐旺盛，电能输送量以及供电质量必须得到保证，因此我国电网的安全稳定运行所面临的挑战也越来越严峻[1] [2]。由于人们对电力的依赖程度也越来越高，一旦发生大面积停电，其带来的损失和对国民生产生活的破坏更加触目惊心。2008年的特大冰雪灾害给国家电网的安全运行和电力供应带来了极大地影响和破坏，造成了巨大的经济损失。严重的冰灾给南方电网带来了巨大的损失，严重地影响了人民的正常生产和生活。由此可见，电网安全稳定运行对于国民生产生活、经济发展的重要性不言而喻。输电线路线上巡检作业是保证电网安全稳定运行、提高电网可靠性的重要方法、手段[3]。

500 kV 输电线路是绝大多数省网的主干网，保障其安全稳定运行具有极其重大的意义。各个电网将维护 500 kV 主网架输电线路安全稳定运行工作放在重中之重的位置，对其进行带电巡检作业已广泛开展。带电更换导线间隔棒、修补导线等是 500 kV 输电线路四分裂导线带电作业的主要项目，可以有效消除导线发生断股和损伤的隐患、减少输电线路停电时间，从而从自身角度出发来稳步提升输电的可靠性和电能质量[4] [5]。但是，迄今为止 500 kV 输电导线上巡检作业仍然是通过人工走线和脚踏式导线飞车这两种主要方式来进行[6] [7]，自然这两种作业方式存在着诸多弊端：

- 1) 目前出于安全考虑，500 kV 输电线路导线悬挂都设计得较高，档距较大，而使用这两种传统的巡线作业方式依靠人体自身的力量已满足不了此类工作，需大量人力配合，过程复杂、危险。此外，由于作业人员体力消耗较大、劳动强度大，作业效率较低；

- 2) 作业人员携带的工具种类和数量有限，只能解决一定范围内的问题，当遇到未预料到的特殊情况时很难及时解决；

- 3) 作业人员在脚踏式飞车上作业时不能站立，存在较大的空间限制；

- 4) 作业平台稳定性不够, 使得作业难度和风险较大;
- 5) 传统导线飞车一般结构简单, 跨越间隔棒、防震锤等障碍物能力较差, 作业过程稳定性较弱、难度大[8] [9] [10]。

因此, 研制一种具有持久续航能力和良好越障能力、稳定性较高的电动飞车十分必要, 在减轻劳动强度的同时可大大提高工作效率。从而保证电网安全稳定、保障输配电线路正常运行、提高电网可靠性。

在本文中, 将根据传统导线作业方式存在的问题, 从飞车的结构、动力、电磁兼容三个角度入手, 解决传统方法中的人力效率低下、越障困难、作业平台不稳定、人机工程差等问题, 设计一款使用高能锂电池为动力源, 采用直流无刷电机的四分裂导线电动飞车[11] [12]。

2. 500 kV 输电线路四分裂导线电动飞车结构设计

2.1. 500 kV 输电线路四分裂导线电动飞车整体结构设计

在查阅相关资料和技术论证的基础上, 对 500 kV 输电线路四分裂导线电动飞车主体进行结构设计, 飞车的主体是由与导线相连接的行走部分和悬挂的人员操作部分构成。两部分以主车架框构成一个整体, 其动力传输是电机带动传动轴, 传动轴通过三个齿轮带动三个动力轮转动。上端每组三轮动力行驶机构始终有两个轮子卡在导线上行驶, 在遇到障碍物时通过旋转翻滚, 即可以保证 500 kV 输电线路四分裂导线电动飞车整体的平衡度也方便行轮越过间隔棒、防震锤等障碍物。在三个动力轮组下 500 kV 输电线路四分裂导线电动飞车左右两侧机架上设有刹车减速机构, 达到精准定点停车, 同时能与上端动力轮组达到夹持导线的作用, 防止 500 kV 输电线路四分裂导线电动飞车脱线。500 kV 输电线路四分裂导线电动飞车左右机架可开一定角度方便挂线和拆卸, 主轮之间设有连接轴, 使 500 kV 输电线路四分裂导线电动飞车形成整体, 以防脱线下坠并保证 500 kV 输电线路四分裂导线电动飞车行驶安全。下端载人机构采用框架设计, 简单方便, 同时底部平坦可载人及搭载施救设备。设计草图如图 1 所示。

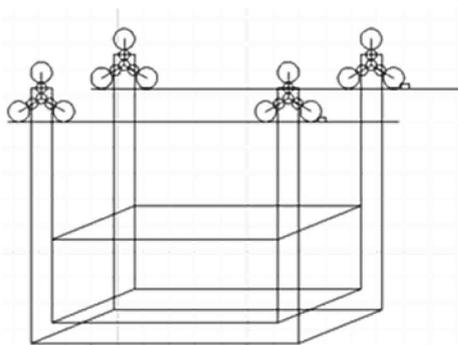


Figure 1. Sketch design of four-split conductor electric locomotive for 500 kV transmission line

图 1. 500 kV 输电线路四分裂导线电动飞车结构设计

为了使得 500 kV 输电线路四分裂导线电动飞车具有足够的结构强度, 500 kV 输电线路四分裂导线电动飞车整体选择由硅、铁、铜、锰等元素合成的 7075 高硬度铝合金。7075 超硬铝合金密度为 $2.78\sim 2.82\text{ g/cm}^3$, 抗拉强度为 572 MPa。弹性模量 73, 屈服强度根据供货状态在 345~503 MPa 之间。根据管材截面积计算, 使用铝合金材料, 其能承受的最大拉力是 456 kN, 最小屈服力为 86 kN, 最大屈服力为 323 kN, 完全达到设计要求, 达到结构强度高、重量轻的设计目的。

2.2. 500kV 输电线路四分裂导线电动飞车行走机构设计

根据机构行走速度的要求, 结合选定的电机调速范围, 设计了一款适合 500 kV 输电线路四分裂导线

电动飞车主驱动轮(轮子内凹着线面),内孔加工键槽以便传递动力。为了防止滚轮在行走越障过程中发生和导线错位的情况,按照所适配的输电导线规格和在不同的导线距上,于不同的运行环境下的行走部分的偏差范围,轮槽设计一定的导向宽度。因为考虑到电动飞车作业时会遇到导线存在仰角的情况,需要防止电动飞车溜车,于是通过在滚轮槽设计内镶嵌导电耐磨橡胶来增大导线飞车与导线之间的摩擦力。主动轮设计如图 2 所示。

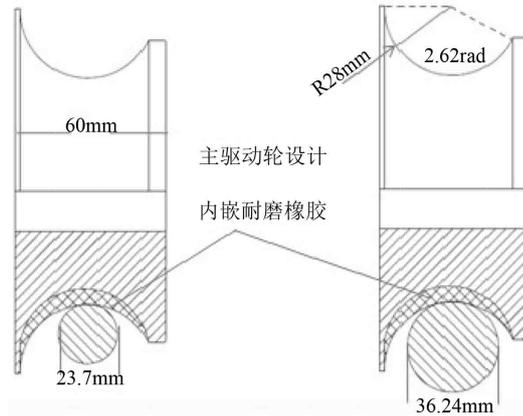


Figure 2. Main drive wheel design
图 2. 主驱动轮设计图

良好的主动轮设计能够基本上保证越障成为可能,在此基础上导线飞车整体越障结构原理采用遇障翻滚结构原理。行驶轮组通过中心传动轴将动力传输到三个齿轮,齿轮再传动到三个呈三角的主传动轮上,通过对防震锤和间隔棒宽度调研,确定相邻两轮之间直线距离,在行驶中遇到防震锤和间隔棒时,通过行驶轮组遇障圆周翻滚让障碍物在主动轮组两动力轮之间,再通过遇障翻滚越过障碍物,同时在越障过程中最少有四个行驶轮压在导线上,不易脱线整体结构重心稳定,使 500kV 输电线路四分裂导线电动飞车越障可靠安全。同时根据遇障翻滚效果,还设计简易辅助翻滚操作结构,使其平稳高效越障。电动飞车越障示意图如图 3 所示。



Figure 3. Electric motorcycle obstacle map
图 3. 电动飞车越障示意图

为了保障电动飞车能够在作业时能够随时准确的停在作业点 500 kV 输电线路四分裂导线电动飞车刹车制动主要采用控制电机转速减速和顶升丝杆停车两种结合。下坡时通过控制伺服电机伺服控制系统,来实现电机转速的变速调速,而电机减速器也能在低速是提供较大扭矩,能保护电机齿轮传动机构,提高电机使用寿命。在线路检测中需要小车停止,并能准确定点停车,以往通过停止主动轮存在滑行,不能达到安全停车的目的。采用减速方杆和顶升丝杆刹车制动,通过减速方杆使小车在下坡时来减速,为防止减速时减速杆转动发生伤手,故采用方杆,方杆顶部固定耐磨橡胶。在不需减速时由于重力作用下垂,橡胶与导线之间间距 150 mm 作用,以保证小车能方便越过防震锤及间隔棒,以及越障。通过此刹车制动装置,可保证小车减速及安全停车,达到检查线路和人员安全的目的。电动飞车刹车如图 4 所示。

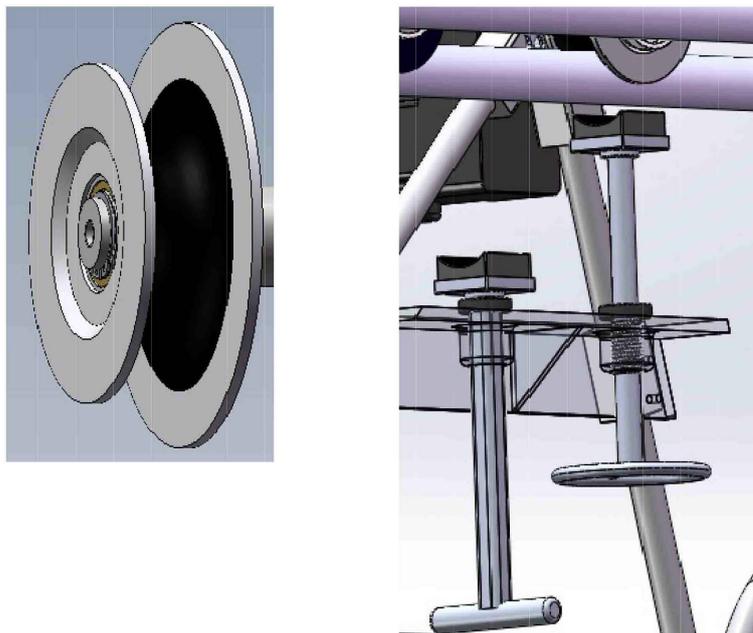


Figure 4. Schematic diagram of brake structure of four-split conductor electric flying car for 500 kV transmission line
图 4. 500 kV 输电线路四分裂导线电动飞车刹车结构示意图

2.3. 500 kV 输电线路四分裂导线电动飞车拆卸设计

500 kV 输电线路四分裂导线电动飞车考虑到使用方便采用了装卸分离装置, 该装置由铰链结构连接 500 kV 输电线路四分裂导线电动飞车架体, 使之能开合一定角度, 再通过连接杆固定, 通过该装置完全能解决 500 kV 输电线路四分裂导线电动飞车的就位及拆卸问题。500 kV 输电线路四分裂导线电动飞车一边采用铰链结构设计, 连接处可开合一定角度, 在需要挂线和拆线时先打开左右滑杆限位, 使 500 kV 输电线路四分裂导线电动飞车左右两边分开, 可开合一边卡挂拆, 另一边挂导线, 保证安全和方便性。拆开后通过滑杆限位杆将 500 kV 输电线路四分裂导线电动飞车左右连接成一体, 保证 500 kV 输电线路四分裂导线电动飞车整体结构安全性。

3. 500 kV 输电线路四分裂导线电动飞车动力部分设计

为了保证 500 kV 输电线路四分裂导线电动飞车载人自动行走、跨越间隔棒、防震锤等越障功能的正常运行, 对主电机转矩、转速、输出功率进行计算, 并且考虑实际行走情况的复杂性, 适当增加直流电机的输出功率与转矩, 确定 500 kV 输电线路四分裂导线电动飞车动力电机。模拟高压电场环境下测试电机运行状况, 保证整个电动 500 kV 输电线路四分裂导线电动飞车动力机构安全、稳定、可靠的运行。选定满足条件的无刷直流电机。500 kV 输电线路四分裂导线电动飞车动力直流无刷电机如图 5 所示。

选择满足电动 500 kV 输电线路四分裂导线电动飞车在电网中工作的高能锂电池组作为电源, 电芯为聚合物动力电池, 具有更高的质量比能量(3 倍于 MH-Ni 电池), 考虑 500 kV 输电线路四分裂导线电动飞车的续航要求与整体重量的平衡, 选取合适容量的电池容量, 导线 500 kV 输电线路四分裂导线电动飞车线路行驶时, 采用限流设计, 电机工作电流小于 10 A, 可连续工作 4 小时以上, 保证 500 kV 输电线路四分裂导线电动飞车持久续航能力。并研究电源模块防过充、过放、过热、短路等电路保护设计, 同时可避免数字信号与模块信号相互干扰, 由此设计出了适配的电源保护电路, 以提高电源的可靠性。

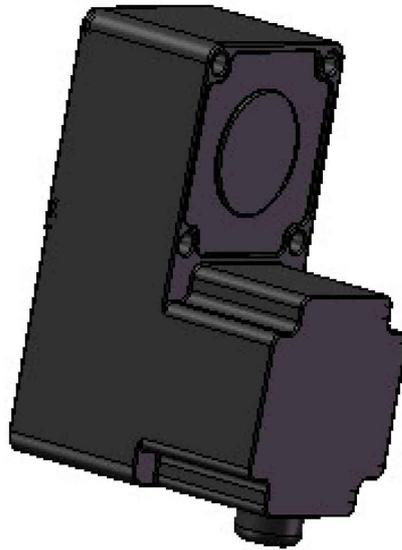


Figure 5. 500 kV transmission line four-split conductor electric flying car power DC brushless motor
图 5. 500 kV 输电线路四分裂导线电动飞车动力直流无刷电机

4. 500 kV 输电线路四分裂导线电动飞车电磁兼容设计

由于高压输电线路存在电磁干扰，电动 500 kV 输电线路四分裂导线电动飞车在高压输电线路行驶时需要考虑电磁兼容的问题。外在源干扰主要有工频电磁场、谐波以及导线、金具产生的电晕干扰。因此，在 500 kV 输电线路四分裂导线电动飞车电磁兼容的设计时也应该考虑自身系统可能造成的干扰，通过设计时在元器件选用、走线设计、零部件位置固定等方面进行了电磁兼容性的优化设计，同时进行高压模拟电场实验测试，确保电动 500 kV 输电线路四分裂导线电动飞车在强电场环境下安全稳定的行驶。电磁干扰模型如图 6 所示。

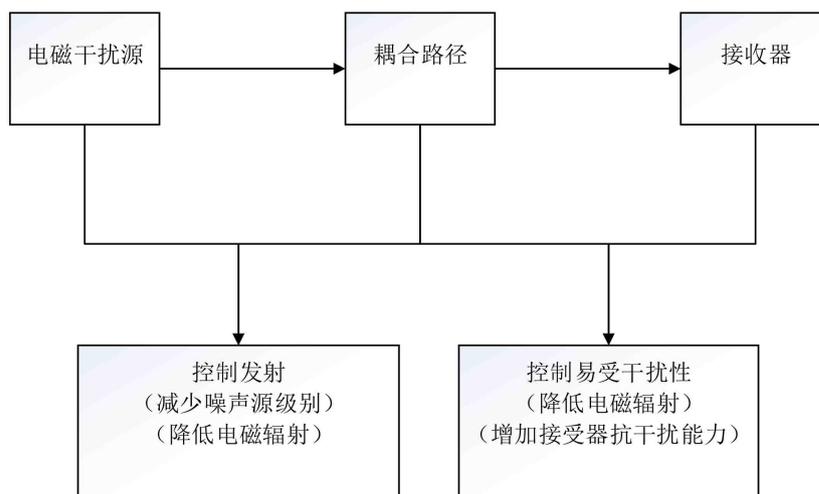


Figure 6. Electromagnetic interference model
图 6. 电磁干扰模型

5. 总结

本方案在付诸实施之后可能具有以下优势：

1) 500 kV 输电线路四分裂导线电动飞车以低速无刷直流电机作为高效驱动动力源来进行动力输出,可载人及空载运行,可减轻作业人员劳动强度,节省作业人员体力。电机动力电源采用高能锂电池,一次充电可运行 3 小时以上,电机采用无极变速,前进后退速度 20 米/分钟,可在 15°仰角内平稳爬坡运行。

2) 基于 500 kV 输电线路四分裂导线电动飞车采用三轮翻滚越障结构设计,具有安全可靠、轻便、高效等特点,电动飞车拥有翻越导线上的间隔棒、防震锤等通常检修飞车会遇到的较难通过的障碍物的能力。

3) 对 500 kV 输电线路四分裂导线电动飞车采用四组挂线整体结构设计,操作人员可在 500 kV 输电线路四分裂导线电动飞车平台站立施工,同时可携带一定数量线路运维设备,能适应特殊情况检修。整体结构材质强度高,重量轻,方便拆装挂线,机动灵活性强。

4) 本方案 500 kV 输电线路四分裂导线电动飞车采用电机控速与顶升丝杆两种组合刹车结构,能控制 500 kV 输电线路四分裂导线电动飞车时速及能精准定点停车作业,有效避免以往 500 kV 输电线路四分裂导线电动飞车滑行及后溜问题,保障 500 kV 输电线路四分裂导线电动飞车运行安全。

考虑到这种导线飞车在导线作业方面相对于传统导线作业方式具有诸多优势,在实际操作中能够极大的提高导线作业效率。所以本设计方案在以后的电网建设和线路维修中值得广泛推广。

参考文献

- [1] 国网陕西省电力公司检修公司输电中心“超越”QC 小组. 330kV 高压输电线路导线作业高效移动飞车的研制[J]. 中国质量, 2016(1): 99-108.
- [2] 席时显. 500kV SBS 型带电过直线绝缘子串飞车[J]. 江苏电机工程, 1993(2): 23-27.
- [3] 杨晓维, 李国良, 皮天满. 500kV 线路并联高抗故障分析及检修策略研究[J]. 中国高新技术企业, 2014(24): 144-145.
- [4] 王震, 凌惠民. 带负荷检修 500kV 线路耐张线夹引流板[J]. 高电压技术, 2005(10): 85-86.
- [5] 伍敬思. 分析 500kV 线路运行及检修关键注意事项[J]. 通讯世界, 2014(24): 117-118.
- [6] 张杨. 架空输电线路状态评估系统研究与实现[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2017.
- [7] 胡浪. 输电线路检修现状及存在问题[J]. 机电信息, 2011(18): 202-203.
- [8] 赵国辉. 输电线路维护与检修技术分析[J]. 科技资讯, 2017, 15(31): 49-50.
- [9] 李伟. 输电线路运行安全影响因素分析及防治措施[J]. 电子世界, 2018(3): 189-190.
- [10] 马海腾. 输电线路运行维护与检修技术分析[J]. 科技与创新, 2017(3): 47.
- [11] 丁旭峰. 输电线路状态检修研究[D]: [硕士学位论文]. 郑州: 郑州大学, 2010.
- [12] 云南省送变电工程公司技术装备处机修 QC 小组. 四、六分裂导线两用飞车的研制[J]. 中国质量, 2010(9): 87.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2325-1565，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：tdet@hanspub.org