

新能源汽车电池换电装置优化设计研究

符养斌

山西省交通新技术发展有限公司, 山西 太原 030012

[摘要]在全球能源危机以及全民环保意识提升的双重驱动下,具备减少城市空气污染、降低化石能源依赖优势的新能源汽车得到迅速发展,逐渐成为全球汽车工业重点发展方向。业内关于新能源汽车续航补给能力的研究多集中于电池性能、材料优化等领域。文中从汽车底盘换电装置入手,先介绍了其结构组成,探讨了其对新能源汽车可持续发展的重要意义。随后针对车辆进出阻力大、定位过程顿挫感强等问题,从结构优化、功能集成、关键技术等角度展开详细介绍,提出一种优化设计方案,旨在为新能源汽车换电装置的创新发展提供理论参考与实践指导。

[关键词]新能源汽车; 电池换电装置; 活动斜辊角度调节技术; 顶升与调节一体化设计; 平稳驱动技术

DOI: 10.33142/sca.v8i8.17627

中图分类号: TM91

文献标识码: A

Research on Optimization Design of Battery Swapping Device for New Energy Vehicles

FU Yangbin

Shanxi Provincial Transportation New Technology Development Co., Ltd., Taiyuan, Shanxi, 030012, China

Abstract: Driven by the global energy crisis and the increasing awareness of environmental protection among the public, new energy vehicles with the advantages of reducing urban air pollution and reducing dependence on fossil fuels have rapidly developed and gradually become a key development direction of the global automotive industry. Research on the range replenishment capability of new energy vehicles in the industry is mostly focused on battery performance, material optimization, and other fields. Starting from the automotive chassis battery swapping device, the article first introduces its structural composition and explores its important significance for the sustainable development of new energy vehicles. Subsequently, a detailed introduction was given from the perspectives of structural optimization, functional integration, and key technologies to address issues such as high vehicle entry and exit resistance and strong jerkiness during the positioning process. An optimized design scheme was proposed with the aim of providing theoretical reference and practical guidance for the innovative development of new energy vehicle battery swapping devices.

Keywords: new energy vehicles; battery swapping device; technology for adjusting the angle of the activity inclined roller; integrated design of lifting and adjustment; stable driving technology

引言

汽车底盘换电装置是换电站的核心组成部分,其性能直接影响换电效率、运行安全性、用户体验感。现有换电装置在车辆定位、换电稳定性等方面尚存在一些亟待解决的问题。基于此,本文提出了一套创新性的优化设计方案,为提升换电站运营效率、助力新能源汽车推广普及、优化用户体验感提供新的思考方向。

1 新能源汽车行业发展现状及换电装置的重要性

1.1 换电装置结构概述

汽车底盘换电装置是新能源汽车的核心组成部分,主要负责电池包的快速更换,通常由前轮定位装置、后轮定位装置、顶升机构、机械臂等元件组成。前后轮定位装置构成换电仓停车底座,用于车辆停放时的精准定位,确保电池更换的稳定性与安全性;顶升机构、机械臂构成机械台架,用于执行电池更换。其中顶升机构负责将车辆顶起,方便机械臂拆卸与安装电池包。现阶段新能源汽车行业换电装置多采用分层架构设计,并集成自动化设备与安全监控系统,用于控制和管理不同级别设备的应用需求,提高换电效率与安全性^[1]。

1.2 换电装置结构设计问题

现有换电装置技术相对成熟,可在一定程度上满足新能源汽车的换电需求,但仍存在一些亟待解决的问题,典型问题表现如下:其一兼容性不足。不同品牌、车型的新能源汽车电池包尺寸、安装位置、接口规格存在显著差异,限制换电装置的普及范围。第二自动化与智能化水平待提升。当前换电装置虽然已经多集成自动化设备,但在复杂场景表现并不能令人完全满意。如车辆因停放角度稍有偏差或轮胎胎压异常导致定位不准时,机械臂往往无法自主调整作业轨迹,需要人工干预校准,变相延长换电时间,增加人力成本。再比如部分换电装置电池检测智能化程度较低,仅能完成基本电量检测,难以精准判断电池衰减程度、潜在故障等深层信息,影响更换后电池使用安全性与续航稳定性。其三用户体验感较差。部分换电装置前轮定位装置采用 V 字辊轮的布置方式形成凹坑,目的是通过限制前轮移动,从而限制车辆移动。然而车辆换电结束后,在驶出凹坑过程中,不仅需要克服凹坑产生的阻碍,还需经历前轮+后轮两次凹坑颠簸,可能导致行驶不稳,影响用户换电体验感。

1.3 新能源汽车换电装置的重要性

换电装置是换电站核心装备,其性能直接影响换电效率、运营成本、用户体验、行驶安全性。高效的换电装置能大幅缩短新能源汽车的补能时间与用户等待时间,提高换电站运营效率,使得换电站在单位时间内服务更多用户。电池是新能源汽车的核心部件,其更换过程涉及复杂的机械操作,稳定可靠的换电装置是确保电池更换以及车辆行驶过程安全性的前提基础。若换电装置不可靠,轻则出现电池安装不到位、电气连接不良等问题,重则导致安全事故发生。

同时良好的换电装置设计还能提升用户的换电体验,增强用户对新能源汽车的接受度。基于人性化设计理念,充分考虑用户的使用习惯与需求设计换电装置,可间接增加新能源汽车使用者对新能源汽车的好感度。当用户感受到换电的便捷与高效后,会更愿意选择新能源汽车,从而促进新能源汽车普及。

此外高质量的换电装置还能推动换电技术的发展。换电装置研发、制造期间涉及材料科学、电气控制、机械设计等多个领域。其技术水平的提升将带动电池制造、换电站建设、运营服务等多个相关产业链的进步,为新能源汽车行业可持续发展提供有力支撑。

2 新能源汽车电池换电装置优化设计

2.1 总体设计方案

本文对新能源汽车底盘换电装置进行优化设计,对换电平台及充换电站进行优化设计,提升新能源汽车换电便捷性、可靠性,为用户提供更舒适的换电体验。新设计的换电装置整体结构示意图如图1所示,包括底板平台(1)、前轮定位装置(2)、后轮定位装置(3)等装置。

其中第一顶升装置和第二顶升装置设置在前轮定位装置和后轮定位装置沿平台宽度方向的两侧,无需占用前轮定位装置、后轮定位装置的下方空间,可大幅度降低平台本体高度,使车辆更加便利、平稳、丝滑地驶入换电平台。同时前轮定位装置和后轮定位装置均固定在底板平台上并设置有可改变倾斜角度的活动斜辊,在需要限制车辆移动时,可增大与地面之间的倾斜角度,与固定斜辊配合形成足够的“凹坑”。当车辆需要行驶时缩小其与地面之间的倾斜角度,减少“凹坑”深度^[2]。

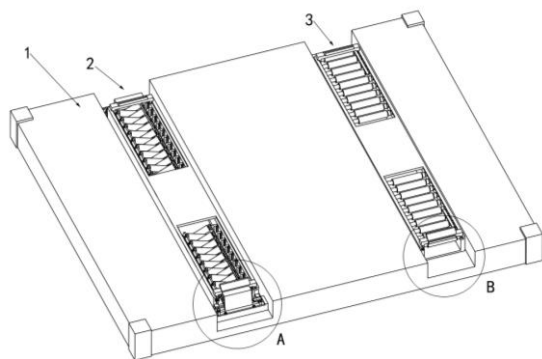


图1 整体结构示意图

2.2 前轮定位装置的优化设计

(1) 斜辊组件

斜辊组件是前轮定位装置的关键组成部分,包括定位推板、斜辊支架、固定斜辊和活动斜辊。固定斜辊与活动斜辊均设有若干个,且固定斜辊与活动斜辊之间呈X状交错布置(如图2)。

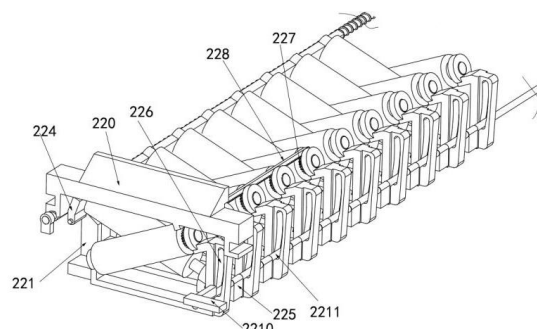


图2 斜辊组件结构示意图

固定斜辊两端均与斜辊支架的两侧转动连接,倾斜角度固定不变,支持自由转动。斜辊支架的一侧铰接有摆架,另一侧设置有弧形槽,弧形槽滑动连接有活动架,活动斜辊的两端分别与摆架与活动架转动连接。通过推动活动架沿弧形槽移动,能够带动活动斜辊和摆架运动,从而改变活动斜辊的倾斜角度。图3是斜辊调节状态示意图。

同时定位推板的内侧创新性集成橡胶缓冲层。该橡胶板采用高弹性耐磨材料制成,通过与轮胎胎面的柔性接触实现三重保护机制,确保推动前轮移动与夹持固定前轮时能更好地保护轮胎,避免轮胎被刮伤或损坏。

第一道保护机制为橡胶材料的弹性模量。其可有效吸收定位过程中的冲击载荷,降低轮胎局部应力集中;第二道保护机制为橡胶表面经模压工艺形成的防滑纹路。其可在保证夹持力的同时将滑动摩擦系数控制在0.3以下。第三道保护机制为橡胶板轮廓依据轮胎曲面进行仿形设计,确保接触面积 $\geq 85\%$,避免点接触造成的压强超标。

图2、3中21为支撑框,200为底座,220为定位推板,221为斜辊支架,222为固定斜辊,223为活动斜辊,224为摆架,225为活动架,226为弧形槽,227为驱动齿轮,228为驱动齿条,2210为第二连接板,2211为连接轴。

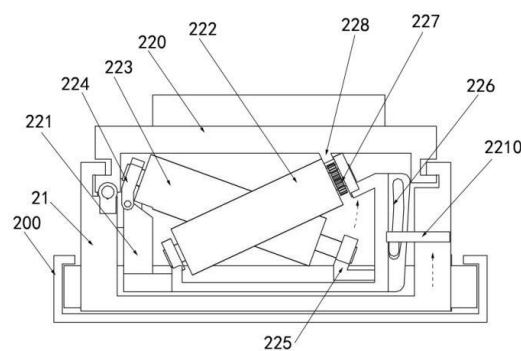


图3 斜辊调节状态示意图

(2) 顶升组件

顶升组件设有两个，包括底座和滑架，分别位于支撑框两侧，如图4所示。滑架上固定连接伸缩缸、滑架与底座滑动连接。支撑框上固定连接第一连接板，活动架固定连接第二连接板，滑架移动带动伸缩缸移动至第一连接板/第二连接板下方。当需要将车辆顶起进行电池更换时，滑架移动使伸缩缸位于第一连接板下方，伸缩缸伸长，将支撑框顶起，进而带动车辆前轮上升，实现车辆顶升。当换电结束，车辆需要驶离时，滑架移动使伸缩缸位于第二连接板下方，伸缩缸伸长，推动活动架沿弧形槽移动，改变活动斜辊的倾斜角度，减小车辆行驶阻力。

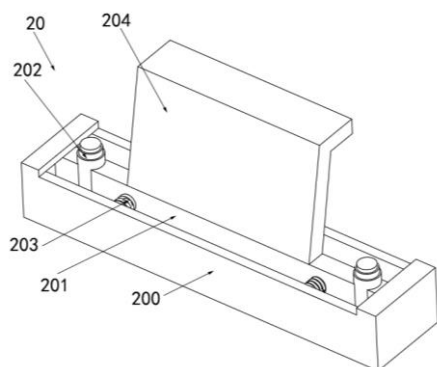


图4 顶升组件结构示意图

此外底座与滑架之间亦设有复位弹簧，滑架上固定连接推杆，定位推板与推杆接触推动滑架移动。在换电过程中，两定位推板向中间移动，不与推杆接触，在复位弹簧的作用下，伸缩缸位于第一连接板下方。换电结束后，定位推板相背运动，与推杆接触并推动滑架移动，使伸缩缸位于第二连接板下方便于复位弹簧积蓄弹性势能，为后续滑架复位提供动能^[3]。

图4中20为顶升组件，201为滑架，202为伸缩缸，203为复位弹簧，204为推杆。

(3) 驱动组件

驱动组件包括驱动电机与正反丝杠。正反丝杠与支撑框转动连接，两斜辊组件中的定位推板与正反丝杠螺纹连接，驱动电机的外壳与支撑框固定连接，通过驱动电机驱动正反丝杠旋转。当驱动电机带动正反丝杠正转或反转时，由于两定位推板分别与正反丝杠的正反螺纹段连接，使得两定位推板能够相对或相背运动。相对运动时推动车辆前轮移动，实现前轮的定位；相背运动时松开前轮，便于车辆驶离。

(4) 驱动齿轮与驱动齿条

斜辊组件中位于外侧的固定斜辊上均固定连接有驱动齿轮，定位推板上固定有与驱动齿轮啮合的驱动齿条。当定位推板移动时，驱动齿条随之移动，与驱动齿轮啮合，带动位于外侧的固定斜辊转动。固定斜辊转动时则带动其上的车辆前轮移动。在车辆定位初始阶段，通过固定斜辊

的转动实现车辆的移动，减少定位推板直接推动轮胎产生的晃动与顿挫感，提高定位过程平稳性与车内人员舒适性。随着定位推板的继续移动，当移动至未设有驱动齿轮的固定斜辊处时，定位推板对车辆前轮进行夹持固定，完成定位操作。

2.3 后轮定位装置的优化设计

后轮定位装置如图5所示，采用与前端一致的驱动原理，主要包括后轮定位框、支撑辊、驱动系统、顶升机构等组件。后轮定位框两侧设有若干个可转动的支撑辊，支撑辊对车辆后轮起支撑作用，便于后轮在定位过程中移动；驱动系统通过第二驱动齿条与齿轮啮合，实现后轮平稳移动；顶升机构配备第二伸缩缸，实现后轮定位框的升降控制。后轮定位装置协同运行逻辑如下：后轮定位框与底板平台之间固定连接第二伸缩缸，当需要对车辆进行顶升换电时，第二伸缩缸伸长，将后轮定位框顶起，与前轮定位装置的顶升动作配合，实现车辆的整体顶升，提升底盘电池更换操作便捷性。

图5中3为后轮定位装置，30为后轮定位框，31为支撑辊，32为后轮推板，33为第二驱动组件，34为第二驱动齿轮，35为第二驱动齿条，36为第二伸缩缸。

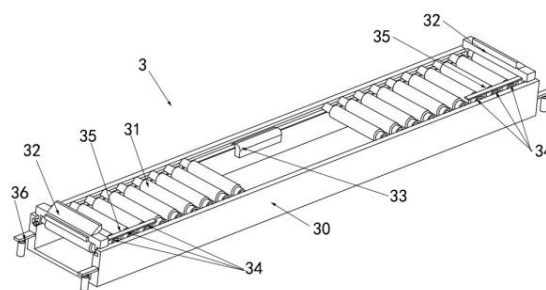


图5 后轮定位装置结构示意图

3 关键技术创新点与性能优势分析

3.1 活动斜辊角度调节技术

该技术通过在斜辊支架上设置弧形槽与活动架，实现活动斜辊倾斜角度的精确调节。新型换电装置斜辊倾斜角度在 $15^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 之间，当需要限制车辆移动时，角度自动扩展，形成足够“凹坑”，确保车辆稳定；在车辆需要行驶时，角度自动收缩，降低“凹坑”深度，减少行驶阻力。经试验测试，该技术可降低车辆驶离阻力60%，缩短通过时间40%，减少机械磨损35%。

3.2 平稳驱动技术

该技术通过引入驱动齿轮与驱动齿条，改变传统直接通过推板推动轮胎移动的模式。核心原理为利用辊轮转动带动车轮移动，减少推板与轮胎直接接触产生的冲击力，降低晃动、顿挫感，实现定位期间的平稳移动，提高车内人员舒适性。经试验测试，该技术可降低初始晃动幅度70%，降低驱动噪声50%，定位精度达 $\pm 2\text{mm}$ 。

3.3 顶升与调节一体化设计

该技术将顶升功能与活动斜辊角度调节功能集成于同一顶升组件中,实现支撑框顶升、电池更换、驱动活动架灵活移动的自动切换。并且该技术通过设备集成,有效简化了换电装置零部件的数量,降低了装置复杂性与制造成本,提高了设备的自动化水平与操作便捷性。经试验测试,该技术降低构件数量 40%,空间占用缩减 25%,维护成本减少 30%^[4]。

4 数据分析与实施效果验证

为验证新的换电装置对换电效率、运行安全性、用户体验感的影响,进行为期 6 个月的实地试验,收集关键性能数据,并与现有换电装置进行对比。传统装置与优化装置关键性能指标对比结果如表 1 所示。

表 1 传统装置与优化装置效果对比

关键指标	传统装置	优化装置	提升幅度
单次换电时间(单位: min)	3.5	2.4	31.4%
定位晃动幅度(单位: mm)	8.2	2.	72.0%
驶离阻力(单位: N)	320	125	60.9%
设备故障率(单位: %)	5.2%	1.8%	65.4%
用户满意度(单位: 分, 百分制)	78 分	93 分	+15 分

5 结论

综上所述,本文提出的新型汽车底盘换电装置在多方

面表现出显著优势。研究表明其能有效降低车辆行驶阻力,减少定位期间的晃动与顿挫感,提升换电效率与用户舒适性,具有较好的应用价值与推广前景。未来可探索传感器技术、自动控制算法与换电装置有机融合,促使换电过程向全自动化、智能化方面发展。或者针对不同类型新能源汽车,对换电装置结构进行适应性调整,扩大其适用范围,促进新能源汽车的全面普及。

[参考文献]

- [1]郭昌桥,代海铭,陈权,等.新能源汽车电池包动态气密性实时监测系统设计与研究[J].时代汽车,2025(15):82-84.
- [2]万方成,黄梓倚,谭靖,等.基于热失控预警的新能源汽车电池包防自燃保护系统研究[J].汽车知识,2025,25(8):16-18.
- [3]李彧文,贾薇.新能源汽车电池测试中温度传感器的精准检测与热管理策略优化[J].汽车维修与保养,2025(7):62-63.
- [4]罗福祯,刘欢.新能源汽车电池管理系统可靠性测试方法及其在实车应用中的性能分析[J].科技与创新,2025(9):226-228.

作者简介:符养斌(1966.9—),毕业院校:北京理工大学,所学专业:汽车,当前就职单位:山西省交通新技术发展有限公司,职称级别:高级工程师。