

Research on Axle Load Distribution and Frame Structure Modification Technology for Special Transport Vehicles

Yalei Li Jifa Hong Fuchun Zhong

Jiangling Automobile Co., Ltd., Nanchang, Jiangxi, 330000, China

Abstract

Due to the diversity of load-bearing requirements, the distribution of axle loads and the rationality of the frame structure of special transport vehicles directly affect the safety and service life of the vehicles. The paper aims to explore the theoretical analysis method of axle load distribution on special transport vehicles, and optimize the structural performance of vehicles by combining frame structure design and improvement techniques. Firstly, theoretically analyze the influencing factors and modeling methods of axle load distribution; Secondly, research will be conducted on the design and improvement techniques of special vehicle frame structures, exploring strategies to enhance frame strength and reduce self weight; Then, through simulation analysis and experimental verification, explore the feasibility and effectiveness of the proposed method; Finally, optimization design suggestions are proposed to provide theoretical support and practical guidance for the development of special transportation vehicles. Research has shown that reasonable axle load distribution and frame optimization design can effectively solve the problems of load concentration and structural fatigue, and improve the overall performance and service life of vehicles.

Keywords

special transport vehicles; Axle load distribution; frame structure; simulation analysis; optimization design

特种运输车辆轴荷分配及车架结构改装技术研究

李亚蕾 洪吉发 钟福春

江铃汽车股份有限公司, 中国·江西 南昌 330000

摘要

特殊运输车辆由于承载需求的多样性, 其车桥轴载分布与车架结构的合理性直接影响车辆的安全性与使用寿命。论文旨在探讨特殊运输车辆车桥轴载分布的理论分析方法, 并结合车架结构设计与改进技术, 优化车辆结构性能。首先, 从理论上分析轴载分布的影响因素及建模方法; 其次, 对特殊车辆车架结构设计与改进技术进行研究, 探讨加强车架强度与减轻自重的策略; 然后通过仿真分析与实验验证, 探讨所提方法的可行性与效果; 最后, 提出优化设计建议, 为特殊运输车辆的开发提供理论支持与实践指导。研究表明, 合理的轴载分布与车架优化设计能有效解决载荷集中与结构疲劳问题, 提高车辆整体性能和使用寿命。

关键词

特殊运输车辆; 轴载分布; 车架结构; 仿真分析; 优化设计

1 前沿

随着工业、建筑、国防等行业的快速发展, 特种运输车辆以其强大的载荷能力和适应复杂工况的特点成为现代化建设的重要装备。例如, 在重型工程机械、水泥运输车、军用运输车等领域, 特种车辆通常需要在高负荷、多轴承载、复杂路况的工况下运行, 其稳定性和安全性至关重要。然而, 在极端条件下运行的特种车辆, 也面临着许多结构和性能方面的挑战。

轴荷分配作为车辆设计与改装中的关键因素, 直接影响着车辆的稳定性、操控性能、轮胎磨损和燃油经济性。不合

理的轴荷分配会导致轮胎或轴系过载, 从而缩短使用寿命, 甚至引发安全隐患。此外, 车架作为车辆的骨架结构, 其强度与刚度关系到整车承载能力和抗疲劳性能。由于特种车辆的实际工作环境较为苛刻, 其车架通常需要进行定制化设计或改装, 以便更好地适应不同任务需求。

2 特种运输车辆轴荷分配理论分析

特种运输车辆作为承担大型、超限及特殊物资运输的关键装备, 其设计和运用中轴荷分配的科学性直接影响车辆运行的安全性、经济性以及关键部件的使用寿命。本部分通过对轴荷分配的基本概念、不合理轴荷分配的影响分析以及轴荷分配优化方法的探讨, 为后续车辆结构设计与改进提供理论支持。

【作者简介】李亚蕾 (1990-), 女, 中国江西赣州人, 硕士, 工程师, 从事整车开发及特种车改装研究。

2.1 轴荷分配的基本概念

轴荷分配是指车辆各轴所承担的重量比例，是影响整车稳定性和载荷利用效率的重要参数。合理的轴荷分配能够确保车辆在承载物资时具有最佳的负载平衡能力，可以降低运行过程中各轴的力学负荷，也可以优化轮胎的接地压力分布，从而提升车辆整体的通过性与稳定性。

特种运输车辆由于其运输对象的特殊性（如超长、超重或不规则载荷），在轴荷分配中往往面临比普通车辆更复杂的计算与更高的要求。

2.2 不合理轴荷分配的影响分析

不合理的轴荷分配将会对特种运输车辆的运行表现产生多方面的负面影响，包括但不限于以下几点。

2.2.1 行驶动态性能恶化

在载荷分配不均匀情况下，部分车轴可能因承载过重而产生异常磨损，同时其他车轴存在承载不足或负载偏移现象，导致车辆的行驶稳定性显著下降。如高速行驶时可能出现轮胎打滑、车辆摆动甚至侧翻的风险，同时制动过程中不同轴的受力不均会延长制动距离或引发车辆失控。

2.2.2 结构疲劳与部件损坏

长期的不合理轴荷分配会导致车辆关键结构件的应力集中，如车架出现局部过载问题，造成裂纹、变形甚至断裂。同时，车桥、悬挂系统等部件因受到不均匀的载荷冲击，可能加速疲劳寿命的衰减，增加维修成本和停机损失。

2.3 轴荷分配的优化方法

针对上述问题，合理优化特种运输车辆的轴荷分配具有重要意义。当前，以理论分析、软件仿真及实车实验为核心的综合优化方法已在实际工程中取得良好效果。以下是较为常用的优化策略：

2.3.1 重心位置的优化调整

在车辆设计阶段，通过分析载荷在车架平面内的分布情况，合理调整重心位置，尽量使重心处于车辆轴线的几何中心附近。此外，在实际运输任务中应根据货物形状及重量特性进行装载优化，避免超重集中于某一单轴。

2.3.2 轴距和车轮分布的优化设计

合理的轴距设计能够有效分散载荷，提升车辆的稳定性与负载能力。例如，优化前后轴之间的距离或调整车轮组分布位置，可以显著改善车辆轴荷分布状态。对于多轴车辆，需进一步平衡各车桥间的负载关系。

2.3.3 悬挂系统的改进

通过搭载可调式空气悬挂系统，可以实时调节车辆各轴的承载力分布，适应不同载荷及路况环境。此外，自动化控制系统结合传感器技术能精准监测并调整轴荷分配状态，显著减少因不合理分配引发的风险。

2.3.4 动力与制动系统的协调优化

动力系统的输出方式与制动系统的响应特性直接决定车辆的动态轴荷分布。优化驱动力和制动力在车辆全轴间的

分配过程，尤其是在启动、加速及制动等工况下，能够有效改善轴荷动态偏移问题。

2.3.5 辅以仿真分析和优化工具

利用有限元分析（FEA）、多体动力学仿真（MBS）以及智能优化算法（如遗传算法和粒子群优化算法）进行轴荷分配策略的设计与验证，可以减少物理试验所需的时间和成本，同时保证优化结果的可靠性。

3 特种车辆车架结构与改装技术

3.1 特种车辆车架主要结构形式与受力分析

特种车辆的车架结构是车辆承载整体荷载、保证刚性和稳定性的关键部件，其设计直接关系到车辆的动力性、安全性和适应性。在特种运输中，由于异常载荷的分布特点（如集中载荷、偏载等），车架结构的受力环境明显复杂，对设计提出了更高要求。常见的特种车辆车架主要包括以下两种形式：

①梁式车架：梁式车架具有结构简单、制造便利、易于维护等优点，被广泛应用于普通货运车辆中。然而，其刚度较差，难以满足长距离重载运输或复杂工况下的使用需求，在异常载荷情况下容易出现过大的变形或局部应力集中。

②框架式车架：框架式车架结构通过将纵向梁与横向梁相结合，形成封闭或半封闭框架，其刚度和承载能力相较于梁式车架有所提升，特别适合跨越性运输的复杂工况。该结构相对复杂，重量稍大，但在重载和集中载荷分布中更具优势。

3.2 车架强度与刚度计算

特种车辆车架的设计需要在强度、刚度和重量之间找到平衡，其理论计算和评估是车架优化设计的基础：

①车架极限承载能力的理论推导：基于车架的受力状态和载荷分布，通过静态受力分析，推导车架的极限承载能力公式，重点考虑不同车架结构下的支撑方式、荷载工况组合以及材料屈服强度的限制。

②动态载荷下的车架性能评估：车辆在行驶过程中，车架不仅受到静态载荷，还需承受复杂的动态载荷（如路面不平带来的冲击载荷）。通过建立动力学模型，对动态工况下车架的振动响应和变形行为进行计算。此过程通常结合三维建模与有限元分析工具完成，以识别车架可能出现的应力集中区域和疲劳破坏点。

合理的强度与刚度计算能为车架改装提供设计依据，有助于提升车辆在极端环境中的可靠性和耐久性。

3.3 车架结构改装原则与方法

面向特种运输需求，车架的改装不仅需要适应特殊工况，还要兼顾经济性和材料利用率。因此，车架改装应遵循以下原则和设计方法：

①加固设计的必要性与形式：对易出现应力集中的部

位通过设置加强筋等进行局部加固,以提升车架的抗弯能力和局部刚度。此外,对于超长车辆或重载结构,采用分体式设计可有效减轻车架的整体应力分布,避免疲劳失效。

②材料优化与新型结构方案研究:材料选择在车架改装中至关重要。通过引入高强度钢或轻质合金材料,可以降低车架自重,提高承载性能。同时,新型结构方案(如蜂窝型车架设计或模块化组合车架形式)的研究可进一步提高材料利用率和整体刚度。

③三维有限元分析工具的应用:在实际设计改装中,借助 ANSYS、ABAQUS 等三维有限元分析软件,可以对车架进行受力模拟和结构优化设计。基于优化后的仿真模型,可以验证车架的抗疲劳性能和极限承载能力,并对车架形状、连接部位设计进行调整,降低改装后潜在的结构风险。

4 特种运输车辆优化设计建议

4.1 基于研究结果的设计优化策略

根据前文研究,优化特种运输车辆的设计需综合考虑轴荷分配和车架结构改进两方面的因素,以提高车辆的整体性能与作业可靠性。以下是针对两方面研究结果提出的优化设计策略。

4.1.1 轴荷分配优化设计建议

在特种运输车辆的轴荷分配设计中,应优先确保前后轴荷均衡分布,以减少超载对个别车轴的损害。优化建议包括:

①精准计算车辆载荷中心位置:通过改进货物装载方案以及车辆整体布局,保证载荷更加接近车辆的几何中心,降低不均匀分布风险。

②引入动态负载调整技术:结合空气悬架系统或者液压平衡技术,实现车辆行驶中的轴荷实时动态调节,以适应复杂工况需求。

③优化多轴车辆的轴距设计:针对重型多轴车辆,合理调整车轴数量及间距,有效分散载荷,减少单轴承载强度。

4.1.2 改进车架结构的优化方案

特种运输车辆车架结构的优化设计应以强度与轻量化并重为目标。具体建议如下:

①选用高强度轻质材料:在车架制造中采用铝合金、碳纤维复合材料等高强度且轻量化的材质,减轻车辆自重的同时提升载荷能力。

②结构强化设计:对车架关键受力部位如横梁、纵梁节点处,增加加强筋板或优化焊接方式,提高整体抗疲劳性。

③模块化设计技术:推广车架结构的模块化,可根据载荷需求灵活调整车架长度和部件布局,适应不同运输任务。

④降低应力集中问题:通过结构仿真分析定位应力集中区域,以优化结构弧度、减少尖角等手段减轻应力分布不

均对车架寿命的影响。

4.2 改装技术的推广与应用前景

4.2.1 针对不同工况环境的改装技术适配性分析

特种运输车辆服务于多种复杂环境,对改装技术的适配性提出了更高要求。为提升车辆的实用性,应根据不同工况特点实施有针对性的改装方案:

①矿区运输车辆:在恶劣环境下工作,应重点优化车架的抗冲击性能和防腐蚀能力,同时加强车轴与悬挂系统的耐久性设计。

②高负荷长途运输车辆:针对长距离运行中载荷稳定性问题,可优先采用智能轴荷调节系统,并引入抗疲劳设计材质,以提高设备寿命和运行安全性。

③城市物流特种车:着重提升车辆灵活性,建议采用轻量化车架与紧凑型布局,同时配置可调节轴距设计,以适应多样化城市运输任务。

4.2.2 特种车辆制造行业的参考与实践意义

本研究提出的车架改进与轴荷分配优化技术,能够为特种运输车辆制造行业提供重要参考,并具有广泛推广和应用价值。

①技术成果产业化潜力:本研究所涉及的轻量化材料、模块化设计和动态负载技术,通过批量化生产可有效降低制造成本,为企业提供经济效益。

②推广专项定制服务:基于研究成果,制造企业可为客户提供针对特定运输工况的专项车辆定制服务,从而进一步拓展市场竞争力。

③行业技术升级驱动因素:随着运输任务的复杂化及对环境友好性的需求提升,车辆设计技术的不断优化将成为行业升级发展的关键驱动因素。这种趋势也意味着本研究技术在未来能够广泛服务于新能源特种车及智能化运输装备领域。

5 结语

通过对特殊运输车辆轴载分布与车架结构优化技术的系统性研究,论文取得了以下主要研究成果与创新:深入分析了特殊运输车辆的多轴分布情况下的轴载传递特性,提出了一种基于力学平衡与载荷分配理论的轴载分布分析模型,能够更加准确地预测车辆在不同载荷工况下的力学响应特性。提出了新的车架结构优化设计方法,结合材料学、结构力学,以及有限元分析技术设计出了一种具有更高强度且减重效果显著的优化结构。

参考文献

- [1] 侯保华.基于微信公共平台的物业信息化建设[J].新闻战线,2015(5X):2.
- [2] 朱翊.微信企业号:“连接”的革命[J].销售与市场,2014(31):87-88.
- [3] 陈小芹.微信公众平台在干部移动学习中的应用研究[J].中国管理信息化,2015,18(22):2.