

Study on the design and optimization of the loading box in mining vehicles

Yu Lu

Weichai (Yangzhou) Special Vehicle Co., Ltd., Yangzhou, Jiangsu, 225000, China

Abstract

As the core equipment in mining production, the design optimization of the loading truck is very important. Based on the size design of mixed integer linear programming model, to maximize loading capacity and minimize dead weight. After the finite element analysis, the decision variable optimization of the top wall thickness, bottom plate thickness and side plate thickness of the loading box is realized, which effectively reduces the material consumption and dead weight and improves the cargo capacity. At the same time, the dynamic simulation is conducted, and the new anti-collision structure design is proposed to improve the service life and safety of the loading box. The results of this study provide useful theoretical basis and practical guidance for the design optimization of mining container.

Keywords

mining vehicle loading container; design optimization; dynamic simulation

矿用车上装货箱的设计与优化研究

卢宇

潍柴（扬州）特种车有限公司，中国·江苏 扬州 225000

摘 要

矿用装载卡车作为矿业生产中的核心设备，其装货箱设计优化至关重要。本研究以现有矿用车装货箱为基础，通过混合整数线性规划模型，以最大化装货容量和最小化自重为目标，对其尺寸设计进行优化。进行有限元分析后，实现了装货箱的顶壁厚度、底板厚度和侧板厚度的决策变量优化，有效降低了材料消耗和自重，提高了载货量。同时，进行了动力学仿真，提出了新型防撞结构设计，提高了装货箱的使用寿命和安全性。本研究的成果对矿用车装货箱的设计优化提供了有益的理论依据和实践指导。

关键词

矿用车装货箱；设计优化；动力学仿真

1 引言

装载卡车尤其是它的装货箱的设计，不仅涉及到效率和成本，还直接影响到矿山的生产效率及运营成本。本研究旨在对矿用车装货箱的设计与优化进行深入研究。首先，借助混合整数线性规划模型，以最大化装货容量和最小化自重为目标，对其尺寸设计进行优化。其次，通过有限元分析，实现装货箱的顶、底和侧板厚度的优化，以降低材料消耗和自重。另外，还将进行动力学仿真并针对装货箱进行耐久性分析和优化，以提升其使用寿命和安全性。希望通过这样的系统性优化，能够对矿业生产产生积极的影响，使其更具有经济效益。

2 矿用车装货箱现状与挑战

2.1 矿用车装货箱的现状

矿用装载卡车在矿业生产中扮演着至关重要的角色，其装货箱设计直接影响着矿车的装载效率和运营成本^[1]。当前，矿用车装货箱普遍采用重型钢材制造，结构设计传统且以安全性与坚固性为优先考量。装货箱通常为矩形设计，固定于车体后部，通过液压支架在特定角度倾斜，实现便捷卸货。在面对多变且严苛的矿区作业环境，现有结构设计在耐久性和防撞能力上存在不足。从运输效率的角度来看，许多装货箱在重量分配和容量利用上未达到最优状态，导致运输成本增加。现行的设计在材料使用上普遍存在冗余，降低了资源使用效率，增加了生产和维护成本。

2.2 矿用车装货箱面临的挑战

矿用车装货箱在实际应用中面临多重挑战。因矿山环境复杂多变，装货箱必须具备足够的结构强度和耐久性，以抵御恶劣的工作条件。传统设计往往过于注重安全性，导致

【作者简介】卢宇（1989-），男，中国江苏高邮人，本科，工程师，从事汽车/工程机械研究。

自重过高,进而限制了运输效率和经济性。在矿井运输中,装货箱需要承受来自装卸和运输过程中的动态载荷,容易出现疲劳和损坏。优化装货箱的结构以提高其抗疲劳性和抗冲击性显得尤为重要。随着绿色矿山建设的推进,如何在减轻自重的不牺牲装货容量,降低能耗和排放,是亟待解决的问题。上述挑战为装货箱的设计优化带来了更高要求。

2.3 矿用车装货箱的优化需求

矿用车装货箱是矿业生产中的重要设备之一,其设计优化具有重要意义。提高装货容量和降低自重是关键的优化需求,因为这直接关系到运输效率和能耗成本。现有装货箱设计在尺寸、重量和材料强度方面存在不足,影响了其在复杂矿区作业中的适应性。提升装货箱的耐用性和抗撞性能,对于延长使用寿命和保障安全也至关重要。优化需求不仅限于提高运输效率,还应考虑到生产和运营成本的降低,从而提高整体经济效益。

3 矿用车装货箱优化目标与约束条件

3.1 最大化装货容量的目标

在矿用车装货箱的设计优化中,最大化装货容量是一个首要目标。提升装货容量不仅能够增加矿用车一次运输的矿石量,从而提高运输效率,还能够间接降低运输成本。为实现这一目标,需要对装货箱几何结构进行合理调整,包括优化其长、宽、高等参数,以利用有限的空间实现更大化的容积。装货箱的尺寸增大通常受到车辆外形尺寸、驾驶安全性及法律法规的限制,必须在这些约束条件下进行优化设计。合理分布载荷和降低重心位置对于保证满载状态下的稳定性至关重要,这有助于实现大容量装货箱的实际应用。通过科学的规划和设计,可以在满足各种限制条件的显著提高矿用车的装载能力。

3.2 最小化自重的目标

在矿用车装货箱的设计优化中,最小化自重是重要的目标之一。降低装货箱自重有助于提高车辆的能源效率和运输能力,减少材料消耗与生产成本。实现这一目标需分析装货箱的结构与材料特性,确保在保证强度和耐久性的前提下最大限度地减轻重量^[2]。通过选择高强度轻质材料、优化板材厚度及合理布置支撑结构等方法,装货箱的重量可得到有效控制。在设计过程中应考虑车辆整体重心的调整,以保证其在矿区复杂地形下的稳定性与安全性。优化后的设计既满足负载需求,又有效控制自重,促进矿业生产的经济性和可持续性。

3.3 装货箱的设计约束条件

装货箱的设计约束条件基于多方面的实践需求与技术标准。装货箱的几何尺寸必须符合矿用车的总体载重和空间限制。材料选择需在满足强度与耐久性的前提下尽量降低自重,这要求严格控制不同部位的板材厚度。装货箱的结构设计需考虑抗冲击能力和长期疲劳性能,确保在恶劣工况下的

安全性和稳定性。装货箱必须符合相关矿业安全标准 and 环境规定,确保其在装卸货物过程中不会对周边环境产生不良影响。通过合理约束条件的设定,才能实现装货箱在性能、经济性和安全性上的全面优化。

4 混合整数线性规划模型在装货箱尺寸优化中的应用

4.1 混合整数线性规划模型的构建

混合整数线性规划模型(MILP)的构建在矿用车装货箱的尺寸优化中具有重要作用。为了优化装货箱的设计,需要定义决策变量,这包括顶壁、底板及侧板的厚度等关键几何参数。在目标函数中,装货容量被最大化,自重被最小化,这些目标需要在保障结构完整性和安全性的前提下实现。约束条件设定为满足装货箱的强度及耐久性要求,考虑材料的物理属性和成本限制。在构建该模型时,通过引入离散和连续变量,能够有效地模拟实际设计中的不同选择和复杂性。随后,通过采用先进的求解算法,对构建的MILP模型进行求解,以找到最优的装货箱几何尺寸组合。此模型的实施为优化过程提供了理论支撑,有助于实现装货箱性能和成本效益的提升。

4.2 尺寸设计优化的应用

在矿用车装货箱尺寸设计优化中,混合整数线性规划模型被应用于处理连续和离散变量的优化问题。通过确定装货箱的顶壁厚度、底板厚度与侧板厚度等设计变量,模型在最大化装货容量和最小化自重之间寻找最佳平衡。约束条件包括材料强度、结构稳定性以及安装尺寸等。通过求解该优化模型,获取了装货箱设计的最优参数配置,这不仅提升了装货能力,也显著减少了自重,为后续的动力学仿真和耐久性分析奠定了坚实基础。

4.3 优化结果的验证

在优化结果的验证过程中,主要采用数值仿真与实验测试相结合的方式,对装货箱优化设计进行全面评价。通过有限元分析法验证装货箱的结构强度和稳定性,确保其在不同装载情况下的安全性。利用优化后的尺寸和材料参数,进行动力学仿真,以确认在实际操作条件下,装货箱的性能是否满足矿用车的设计需求^[1]。实验测试则包括装载能力测试和耐久性测试,以实际数据验证优化模型的有效性。通过多次试验验证,调整和优化的设计结果显示出较高的一致性,实现了优化目标的良好匹配,优化后的装货箱能够在保证结构强度与安全性的前提下,显著提升装载效率。

5 装货箱动力学仿真和耐久性分析

5.1 装货箱的动力学仿真

在装货箱的设计优化中,动力学仿真是评估其性能和安全性的重要步骤。通过使用有限元分析软件,对装货箱在矿用车作业过程中可能受到的动态载荷进行模拟,了解其在不同工况下的结构响应行为。仿真过程中,重点分析加速度、

转弯和制动等条件下装货箱的应力分布和形变情况。振动频谱分析用以确定关键点的疲劳寿命,以确保其在长时间工作中不会发生结构性损坏。动态仿真还考虑装货箱材料的非线性特性,以提高模型的精确度,确保优化设计的可靠性。这些仿真结果为装货箱的进一步设计优化提供了坚实的数据支持,并指导后续的耐久性分析和防撞结构设计,为装货箱的安全性和使用寿命提供保障。

5.2 装货箱的耐久性分析

在进行装货箱的耐久性分析中,关键在于评估装货箱在复杂工作环境下的长时间承载能力。耐久性分析采用基于有限元法的疲劳分析技术,模拟装货箱在实际操作条件下所承受的反复载荷。分析通过确定装货箱的应力集中区域和疲劳寿命,检验了结构的脆弱性。为提升耐久性能,实施了结构的材料选择优化,采用高强度钢材以增强抗疲劳性能。针对不同工况进行的负载光谱实验为耐久性提供了更加准确的数据支持。通过结构细节的局部强化和改进设计,装货箱在使用寿命方面得到了显著提高,确保其在生产中的可靠性和安全性。

5.3 针对装货箱的防撞结构设计

在矿用车装货箱的防撞结构设计中,采用了先进的CAE分析工具,对不同防撞材料和结构形式进行深入研究,以增强装货箱在碰撞中的吸能效果和抗冲击能力。重点优化了防撞梁的位置和形状,通过仿真分析确定最佳参数组合,提高装货箱的结构完整性和对冲击力的分散能力。还引入了创新的吸能材料,在关键部位增加吸能垫层,进一步提升其减震效果。新的防撞设计在严苛的工况模拟中表现出优异的性能,显著提升了装货箱的安全性和耐久性。

6 优化后装货箱的经济效益分析

6.1 装货量和成本的比较

优化后的装货箱设计在装货量和成本方面表现出了显著的改进。在装货量方面,优化后的设计通过尺寸调整和材料使用的优化,使装货容量得到了大幅提高,使得每次运输的物资数量增加,提高了运输效率。在成本方面,虽然涉及到新材料的使用和设计工艺的改进,但由于优化减少了材料消耗和自重,生产成本得到了有效控制。运营成本也因减少了车辆的燃料消耗和维护次数而降低。总体而言,装货箱设计的优化不仅提高了装货效率,更在经济上带来了直接的节约,间接推动了矿业生产的经济效益提升。

6.2 优化后装货箱的生产成本和运营成本分析

优化后的装货箱在生产和运营成本上展现出显著的优势。生产成本方面,优化设计通过精细化尺寸调整和材料厚

度优化,显著减少了材料浪费,素材利用率得以提升,制造工序也更加简化,由此带来制造成本的大幅下降。在运营成本方面,装货箱自重的减轻直接降低了卡车的燃料消耗,延长了轮胎和其他关键部件的使用寿命,进一步减少了维护和保养费用。优化设计后的装货箱结构更趋稳定和耐用,减少了因结构故障而导致的停机时间,从而提升了运营的可靠性和经济效益。这种成本效率的提高不仅使矿用企业具备更强的市场竞争力,也对生产的可持续发展提供了强有力的支持。

6.3 优化后装货箱的经济效益评价

经过优化的矿用车装货箱在经济效益方面表现出显著改善。优化后的装货箱不仅在装货容量上实现了大幅提升,而且有效降低了自重,从而减少了燃料消耗,进一步降低了运营成本。材料使用的最小化减少了生产成本,提高了整体经济效率。装货箱耐久性和安全性的增强,也降低了维修和更换频率,节省了长期使用成本。通过新型防撞结构设计带来的安全性提升,间接减少了事故相关的经济损失。这些经济效益在矿业生产中实现了较高的投资回报率,为企业的可持续发展提供了有力支持。

7 结语

本研究的目的是优化矿用装载卡车的装货箱设计,使其尽可能地提高装货容量,同时尽可能地削减自重。借助混合整数线性规划模型进行尺寸设计优化,并利用有限元分析提高顶壁厚度、底板厚度和侧板厚度的决策变量优化,从而显著降低了材料消耗和自重。这个过程还包括对装货箱进行动力学仿真,以及针对装货箱进行耐久性分析和优化,这也导致了新型防撞结构设计的提出,从而提高了装货箱的使用寿命和安全性。验证结果表明,新的装货箱设计不仅显著提高了装货量,其生产成本和运营成本也得到有效降低,为矿业生产带来了极大的经济效益。然而,该研究仍有待深入。例如,被设计的装货箱的可靠性,是将来需要考虑和研究的因素。总的来说,本研究为矿用车装货箱的设计优化提供了有益的理论依据和实践指导。同时,它的结果也指明了未来研究的方向,即在保证安全性的同时,最大限度地增加装货容量。在此基础上,我们期待有更多的研究能够在这方面进行深入的研究和应用。

参考文献

- [1] 毛洪海,李福军,杨延功,张钦超.某矿用车动力总成悬置优化设计分析[J].机械设计,2019,0(A01):216-218.
- [2] 刘鹏,黄云逸,胡健.某型号矿用车电气柜设计[J].矿用汽车,2019,0(02):18-20.
- [3] 田军.矿用车载通信终端设计[J].煤矿机械,2022,43(11):24-27.