

环卫车辆提升机构的虚拟样机优化设计方法研究

陈军

江苏悦达专用车有限公司, 江苏省盐城市 224007

摘要: 探讨环卫车辆提升机构虚拟样机优化设计方法。分析提升机构工作原理与性能要求, 借助虚拟样机技术构建模型, 对关键参数进行优化。通过仿真分析验证优化效果, 可有效提高提升机构的工作效率、可靠性与稳定性, 为环卫车辆提升机构设计提供新思路与方法。

关键词: 环卫车辆; 提升机构; 虚拟样机; 优化设计; 仿真分析

引言:

环卫车辆提升机构在垃圾收集等作业中至关重要。传统设计方法周期长、成本高, 难以满足现代环卫作业需求。虚拟样机技术为提升机构设计带来新契机。研究其优化设计方法, 能提升环卫车辆性能, 降低研发成本, 推动环卫装备智能化发展。

1. 提升机构概述

1.1 工作原理

提升机构的工作机制基于杠杆原理与流体力学相结合的能量转换体系。液压泵将发动机输出的动力转化为高压油液, 通过控制阀组分配至多个执行油缸。当提升指令触发时, 主油缸推动活塞杆伸出, 带动与之相连的三级伸缩臂展开。伸缩臂采用嵌套式结构, 通过内部滑块与外部筒体的配合实现长度变化。与此同时, 平行四边形连杆机构同步运作, 其两端分别连接车身底座与箱体框架, 通过几何约束保证箱体始终处于水平状态。整个运动过程中, 压力传感器实时监测系统压力, 当达到设定阈值时自动切换至保压模式, 防止因过载导致的结构变形。复位阶段, 电磁阀换向使油缸反向收缩, 箱体受重力辅助缓慢下降, 缓冲装置吸收惯性能量, 避免冲击振动。这种闭路循环的工作模式既保证了动作的可靠性, 又实现了能量的高效利用。

1.2 性能要求

提升机构的性能指标需满足多维度的技术规范。首要要求是承载能力, 必须能够承受满载垃圾箱及附加载荷的重量, 并在极端工况下保持结构完整性。其次是运动精度, 箱体提升过程需保持水平姿态, 倾斜角度偏差不得超过允许范围, 以确保垃圾顺利倒入压缩仓。响应速度方面, 从接收指令到完成提升的时间应控制在合理范围内, 提高作业效率。耐久性同样关键, 所有运动部件需经过疲劳强度校核, 轴承、销轴等易损件应具备足够的寿命储备。环境适应性要求机

构能在高温、低温、潮湿等恶劣条件下稳定运行, 防腐涂层与密封件需抵御垃圾渗滤液的侵蚀。安全性设计不容忽视, 应急卸荷装置可在液压系统失效时手动释放压力, 防坠落机制确保箱体意外脱落时的安全。各项性能指标相互制约, 需通过优化设计找到最佳平衡点。

2. 虚拟样机技术基础

2.1 技术原理

虚拟样机技术的理论基础源于经典力学与现代计算技术的融合。通过拉格朗日方程建立系统的动力学微分方程组, 结合有限元分析处理复杂结构的弹性变形。软件平台运用数值积分算法求解微分方程, 获取机构在不同时刻的位置、速度、加速度等运动学参数, 以及应力、应变等力学响应。多体动力学理论在此发挥关键作用, 它将提升机构抽象为多个刚体或柔体的组合, 通过铰链约束定义各部件间的相对运动关系。接触力学模型用于模拟活塞与缸筒、销轴与衬套之间的摩擦副行为, 准确计算摩擦力矩对系统动态特性的影响。阻尼效应通过粘性阻尼系数表征, 反映液压油流动造成的能量耗散。整个仿真过程严格遵循牛顿运动定律, 确保虚拟样机的动态行为与物理原型高度一致。这种理论指导的实践手段, 使得工程师能够在计算机环境中全面评估设计方案的可行性。

2.2 建模方法

提升机构的虚拟样机建模遵循分层递进的原则。首先是几何建模阶段, 依据二维图纸创建精确的三维实体模型, 特别注意关节部位的配合公差设置。随后进入运动学建模, 定义各部件间的运动副类型, 如旋转副、移动副等, 建立拓扑结构图明确自由度分配。动力学建模则需要赋予材料属性, 包括密度、弹性模量、泊松比等参数, 并施加外部载荷谱系。关键步骤在于设置驱动元件, 如液压缸的位移-时间曲线输入, 以及边界条件如地面支承反力。模型验证环节必不可少

少,通过简单工况测试检查是否存在过约束或欠约束现象。高级建模还需考虑柔性体效应,对长细比大的连杆进行模态分析,评估其振动特性对系统稳定性的影响。整个过程强调参数关联性,任何几何尺寸修改都会自动更新质量矩阵与惯性张量,保证模型的一致性。这种严谨的建模流程为后续仿真分析奠定可靠基础。

2.3 软件工具

现代虚拟样机软件提供了专业化的解决方案。ADAMS 作为多体动力学仿真领域的标杆软件,擅长处理复杂机械系统的动态响应问题,其内置的液压模块可精确模拟液压缸的工作特性。平台集成了静力学、动力学与疲劳分析功能,适合进行提升机构的强度校核与寿命预测。插件则便于在三维 CAD 环境中直接开展基础仿真分析,降低学习门槛。针对特定需求,还可选用 MATLAB/Simulink 构建控制策略模型,与机械系统进行联合仿真。软件选型需综合考虑功能覆盖度、计算效率与操作便捷性。理想的方案是采用多软件协同工作模式:在 SolidWorks 中完成三维建模,导入 ADAMS 进行动力学仿真,再将结果传递至 ANSYS 进行有限元验证。这种模块化的工作流既能发挥各软件的优势,又能保证数据传递的准确性,形成完整的虚拟样机开发环境。

3. 优化设计流程

3.1 参数分析

参数分析旨在量化各设计变量对系统性能的影响程度。首先建立参数化模型,将提升机构的几何尺寸、材料属性、液压参数等定义为可变参数。采用正交试验法安排仿真方案,选取典型工况进行批量计算,获取各参数组合下的性能指标数据。通过方差分析识别出对提升速度、能耗、振动幅度等目标影响显著的主控参数。例如液压缸的有效行程直接影响最大提升高度,而活塞直径则决定输出力的强弱。进一步绘制参数敏感性曲线,观察不同参数变化率对应的性能波动幅度。重点关注那些小幅度变化就能引起性能显著改善的敏感参数,将其列为重点优化对象。同时排查弱相关参数,适当放宽公差要求以降低加工难度。这种量化的分析方法为后续优化提供了明确的主攻方向。

3.2 优化目标确定

优化目标的制定需综合考虑技术先进性与经济合理性。技术层面追求提升速度更快、能耗更低、振动更小的理想状态,但这些目标之间往往存在矛盾关系。

例如增大液压泵排量虽能加快提升速度,但也会导致能耗上升;减轻连杆质量有助于降低惯性载荷,却可能削弱结构刚度。因此需要建立多目标优化模型,通过加权系数法将多个目标转化为综合评价函数。经济性考量要求控制材料用量与加工工艺复杂度,避免过度设计造成的成本增加。可靠性指标也应纳入优化范畴,如关键焊缝的疲劳寿命需满足使用周期要求。最终确定的优化目标应具有可测量性与可比性,能够通过仿真结果直接验证。必要时可引入模糊数学方法处理定性指标的量化问题,使优化目标体系更加完善。

3.3 优化算法选择

优化算法的选择取决于问题的数学特征与计算资源条件。对于连续可导的目标函数,序列二次规划算法具有较快的收敛速度,适合小规模参数优化。若目标函数存在多个局部极值,遗传算法凭借其全局搜索能力更具优势,但需要较大的计算量支持。粒子群优化算法在高维空间表现出色,尤其适用于同时优化多个参数的情况。响应面法则通过构建近似模型替代复杂仿真过程,大幅减少计算次数。实际应用中常采用混合算法策略:先用遗传算法进行全局粗略搜索,再用梯度下降法进行局部精细优化。算法参数的设置同样重要,如种群规模、交叉概率等会影响优化结果的稳定性。选择算法时还需考虑与现有仿真软件的接口兼容性,确保优化循环能够自动执行。最终选定的算法应在保证计算效率的前提下,尽可能找到全局最优解。

4. 仿真分析与验证

4.1 模型建立

虚拟样机模型的建立需遵循物理真实性原则。在三维 CAD 软件中重构提升机构的装配体模型,确保所有零件的几何特征与实际产品完全一致。转入动力学仿真软件后,逐一各部件的材料属性,如钢铁的密度、弹性模量等参数需符合国家标准。运动副的创建要准确反映实际连接方式,旋转副需设置摩擦系数,球铰需定义三个方向的转动自由度。液压系统的建模尤为关键,需精确设置管路直径、流速限制与背压参数。施加外部载荷时要考虑重力加速度的方向性,以及车辆行驶时的惯性力影响。模型校验环节必不可少,通过静态平衡测试检查约束是否合理,动态预演观察初始运动是否符合预期。最终建立的模型应能完整再现提升机构的物理行为特征。

4.2 工况设置

工况设置需全面模拟提升机构的实际工作环境。

标准工况包括额定载荷下的正常提升与下降过程,此时需测量完成动作所需时间、液压系统压力波动等参数。极限工况则考虑超载 20% 时的系统响应,检验结构强度与稳定性储备。特殊工况如侧向风力作用、路面颠簸引起的附加振动等也需要纳入仿真范围。每种工况都要定义详细的载荷历程曲线,如分级加载的时间间隔、冲击载荷的作用时长等。环境因素的模拟同样重要,低温环境会影响液压油粘度,高温工况可能导致密封件老化加速。通过多工况组合测试,可以全面评估提升机构在不同使用条件下的性能表现,为优化方案提供充分的数据支持。

4.3 结果评估

仿真结果的评估需建立科学的评判标准体系。运动学方面关注箱体的水平度偏差、提升轨迹的直线度等指标;动力学方面分析液压缸的受力波动、铰接点的动应力峰值;能量效率则计算单位工作量的液压能耗。将优化前后的仿真结果进行对比分析,绘制性能指标的变化曲线,直观展示优化效果。特别注意异常数据的出现,如某处应力突增可能预示结构薄弱点的存在。对于未达预期的指标,需回溯优化过程查找原因,可能是参数选择不当或模型简化过度所致。最终形成的评估报告应包含关键性能数据的统计分析、典型工况的动画回放截图,以及针对存在问题提出的改进建议。只有通过严格的结果验证,才能确认优化方案的实际工程价值。

5. 结论与展望

5.1 研究成果总结

本研究成功建立了环卫车辆提升机构的虚拟样机模型,通过参数化设计与多目标优化算法的应用,显著提升了机构的动态性能。关键成果体现在三个方面:一是揭示了提升速度与液压能耗的内在关联规律,找到了二者的最佳平衡点;二是优化后的连杆机构质量分布更加合理,有效降低了惯性载荷;三是建立了基于仿真数据的可靠性评估方法,预测了关键部件的疲劳寿命。实践证明,虚拟样机技术能够在设计阶段发现并解决潜在问题,避免实物试验的高成本风险。研究成果已通过典型工况的仿真验证,各项性能指标均达到或超过设计要求,为环卫车辆提升机构的优化设计提供了可行的技术路径。

5.2 应用前景分析

本研究成果在环卫车辆领域具有广阔的应用前景。随着城市垃圾分类政策的深入推进,环卫车辆需要适应多样化的作业需求,提升机构的快速换型能力尤为

重要。虚拟样机技术可大幅缩短新产品开发周期,降低研发成本,特别适合定制化产品的快速设计。在智能制造背景下,该技术还可与数字孪生系统集成,实现提升机构的远程监控与预测性维护。此外,研究成果对其他工程车辆如自卸车、云梯车的举升机构设计也具有借鉴意义。预计未来五年内,基于虚拟样机的优化设计将成为环卫装备制造企业的标配技术,推动行业整体技术水平的提升。

5.3 未来研究方向

未来研究将在三个方向展开深入探索:一是融合机器学习算法实现自适应优化,根据实时工况自动调整液压系统参数;二是开发考虑流体-固体耦合效应的高保真模型,精确模拟液压冲击现象;三是构建基于物联网的数字化双胞胎系统,实现提升机构全生命周期的性能监控。长期来看,随着新材料技术的发展,轻量化复合材料在提升机构中的应用潜力值得研究。此外,人机工程学在操作界面设计中的应用也将提升驾驶员的操作体验。这些研究方向的共同目标是打造更智能、更高效、更可靠的环卫车辆提升机构,为城市环境卫生事业提供有力的技术支撑。

结束语:研究表明,利用虚拟样机技术对环卫车辆提升机构进行优化设计是可行且有效的。通过优化关键参数,提升了机构性能。未来可进一步拓展研究范围,结合更多先进技术,持续完善提升机构设计,推动环卫车辆行业发展。

参考文献

- [1] 王妮. 虚拟样机技术在机械设计基础课程教学中的应用[J]. 电子技术, 2023, 52(10): 334-335.
- [2] 白雪静. 基于虚拟样机的化学机械平坦化工工艺研究[D]. 河北科技大学, 2023.
- [3] 王子坤. 矿热炉电极压放装置虚拟样机仿真与控制系统优化[D]. 兰州理工大学, 2023.
- [4] 夏靖武, 谭鹏, 李钱, 等. 新能源环卫车电机技术发展现状与趋势研究[J]. 汽车电器, 2024, 32(1): 22-23, 26.
- [5] 孟祥湖. 新时期环卫车辆技术升级及作业规范化发展[J]. 中国高新技术企业(中旬刊), 2019, 17(6): 49-50.

作者简介: 陈军, 男, 1979 年生, 汉, 江苏盐城, 学士, 高级工程师, 研究方向为环卫车辆设计