

基于剪叉机构的轨道车辆部件装配液压升降平台优化设计

谢志平¹ 刘琛² 段石喜¹ 朱毅¹ 蒋小平¹

1 中车株机电力机车有限公司, 湖南省株洲市, 412001;

2 湖南永兴农村商业银行, 湖南省郴州市, 423300;

摘要: 液压装置是机械自动化领域的核心部件, 性能影响生产系统的效率、精度和灵活性。针对现有装置移动受限、无爬升功能、坡面适应性差等问题, 本文提出一种集成移动、爬升、调平和升降功能的自动化液压装置。通过结构优化设计, 实现了复杂工况下的灵活移动和稳定作业。阐述了结构组成、工作原理及关键设计, 并通过仿真和实验验证了可行性和优越性。结果表明, 爬升高度 200mm, 调平精度 $\pm 0.5^\circ$, 承载能力 5000N, 效率提升 30%以上, 为液压设备升级提供了新解决方案。

关键词: 机械设计制造; 自动化; 液压装置; 台阶爬升; 调平机构; 升降平台

DOI: 10.64216/3080-1508.26.03.042

引言

液压装置在自动化生产中因功率密度大、响应快、控制精度高而广泛应用于物料搬运、装配和举升等工序。液压升降台作为典型应用, 是工厂、仓库和物流中心的重要设备。随着制造业向柔性化、智能化发展, 对液压装置的机动性、适应性和多功能性要求更高。传统液压装置多固定或仅能在平坦地面移动, 无法爬台阶。实际生产中遇台阶障碍时, 需人工或额外设备, 增加劳动强度、降低效率, 影响生产线连续性。在倾斜坡面时, 难以保持水平, 有安全隐患。研制液压装置通过液压缸带动折叠杆升降, 提高了效率但灵活性不足, 无台阶爬升和坡面调平功能。因此, 研发具备灵活移动、台阶爬升、自动调平和稳定升降的一体化液压装置有重要现实意义。

1 液压装置的整体结构设计

1.1 设计指标

根据机械设计制造自动化生产的实际需求, 结合现有技术水平, 确定本液压装置的主要设计指标如下:

移动方式: 轮式移动, 最大行驶速度 $\geq 2\text{km/h}$;

爬升能力: 可爬升台阶高度 $\leq 200\text{mm}$, 台阶坡度 $\leq 30^\circ$;

调平精度: 坡面倾斜角度 $\leq 15^\circ$ 时, 调平后水平精度 $\pm 0.5^\circ$;

升降性能: 升降平台最大承载能力 $\geq 5000\text{N}$, 升降行程 500-2000mm, 升降速度 50-100mm/s;

工作环境: 温度 $-10^\circ\text{C}\sim 50^\circ\text{C}$, 相对湿度 $\leq 85\%$, 适应粉尘、油污等工业环境;

安全性能: 具备过载保护、限位保护、防倾倒保护等功能。

1.2 整体结构组成

本液压装置由装置主体、爬升机构、调平机构、升降平台和控制系统五部分组成。装置主体为框架式结构, 采用 Q235 钢板焊接, 确保强度与刚度; 爬升机构内置, 实现台阶爬升; 调平机构对称安装于两侧, 用于坡面自动调平; 升降平台位于顶部, 承载重物并升降; 控制系统采用 PLC+触摸屏, 实现自动化控制。

1.3 关键部件设计

1.3.1 装置主体

装置主体为矩形框架, 尺寸 $2000\times 1500\times 800\text{mm}$, 采用 10mm 厚 Q235 钢板焊接而成。两侧装聚氨酯驱动轮, 直径 300mm, 宽 80mm, 耐磨缓冲。由 500W 直流减速电机驱动, 减速比 1:30, 确保动力和速度。内壁两侧有 $50\times 50\text{mm}$ 凹槽, 容纳滑板滑轮, 确保平稳滑动。顶部有两个 $800\times 20\text{mm}$ 条形通孔, 安装限位块, 实现限位保护。

1.3.2 爬升机构

爬升机构是台阶爬升功能的核心部件, 主要由滑板、第一液压杆、支撑板、滑轮和驱动电机组成。滑板采用铝合金材质, 重量轻且强度高, 两端对称安装四个第一液压杆, 用于带动支撑板升降。支撑板底部有橡胶垫, 以增加摩擦力和稳定性。滑轮为尼龙材质, 共八个, 直线等距排列, 确保滑板平稳滑动。驱动电机通过联轴器连接滑轮, 提供动力。限位块用于滑动行程的限位保护。

1.3.3 调平机构

调平机构用于坡面作业自动调平,主要由液压缸和支撑块组成。装置两侧对称安装4个液压缸,型号HSG-63/35-800,工作压力16MPa,行程800mm。液压缸与支撑块通过球铰连接,使支撑块自适应坡面角度贴合地面。

支撑块由QT450-10球墨铸铁加工,尺寸200x150x100mm,底部粘接15mm橡胶垫,带防滑纹以增摩擦。初始间隙100mm便于移动,调平时液压缸伸出,支撑块下移接触地面并撑起装置。

1.3.4 升降平台

升降平台采用剪叉式结构,主要由支撑臂、第一支撑轴、第二支撑轴、连接杆及第二液压杆组成。支撑臂有两组,每组由4根高强度铝合金型材交叉设置,中部销轴转动连接。支撑臂两端分别与第一支撑轴和第二支撑轴转动连接:第一支撑轴与装置主体顶部及升降平台底部的滑槽滑动连接,第二支撑轴与支座转动连接。

连接杆为无缝钢管,直径50mm,壁厚5mm,两端通过轴承与支撑臂转动连接。其中部与第二液压杆的伸缩端转动连接,第二液压杆型号HSG-100/55-1500,工作压力16MPa,行程1500mm,底部与第一支撑轴转动连接。液压杆伸缩推动连接杆,带动支撑臂展开或折叠,实现升降。

升降平台由Q235钢板制成,尺寸1800×1400×12mm,表面有防滑花纹。底部装有导向轮,与装置主体顶部的导轨滑动配合,确保升降精度。

2 仿真分析与参数优化

2.1 仿真模型建立

为验证结构设计,使用ADAMS软件建立液压装置的多体动力学模型。先在SolidWorks中创建三维模型,包括主体、驱动轮、滑板、液压杆等部件,然后导入ADAMS添加约束和载荷。

约束包括:驱动轮与主体间旋转副、滑板与主体间移动副、液压杆与相关部件间旋转副、支撑臂与轴间旋转副、支撑块与液压缸间球铰约束。

载荷包括:主体重力9800N(质量1000kg)、升降平台额定载荷5000N、驱动电机力矩50N·m、液压杆推力 $F_1=16\text{MPa}\times\pi\times(0.08\text{m})^2/4$,8042N和 $F_2=16\text{MPa}\times\pi\times(0.1\text{m})^2/4$ 12566N(基于16MPa工作压力)。

2.2 运动学仿真分析

2.2.1 台阶爬升分析

设置台阶高200mm、坡度30°,仿真得位移、速度、加速度曲线。抬升阶段(0-2s)垂直位移增,速度约0.2m/s,加速度小,过程平稳;前移阶段(2-5s)水平位移增,速度约0.1m/s,加速度近零,过程平稳;回落阶段(5-7s)垂直位移减,速度加速度小,无冲击。全程7s,满足要求。

2.2.2 升降分析

设置升降行程1500mm,仿真得位移、速度、加速度曲线。速度稳定约0.08m/s,加速度最大0.05m/s,无冲击振动,过程平稳,满足要求。

2.3 动力学仿真分析

2.3.1 台阶爬升动力学

分析第一液压杆支撑力和驱动电机力矩。抬升阶段支撑力渐增,最大7800N小于额定8042N,液压杆选型合理;前移阶段力矩约45N·m小于额定50N·m,电机选型合理。

2.3.2 坡面调平动力学

设置坡面倾角15°,得液压缸支撑力曲线。调平过程支撑力渐增,最大6500N小于额定7854N,液压缸选型合理。调平时间3s,精度±0.3°优于要求±0.5°。

2.4 参数优化

基于仿真结果,优化关键结构参数如滑板长度、液压杆行程、支撑臂长度等,降低了液压杆输出力和电机力矩,提高了效率与稳定性。

3 实验结果分析

3.1 移动性能测试结果

移动测试结果显示最大速度2.3km/h(>2km/h设计值),制动距离1.2m,性能良好,满足要求。

测试项目	测试结果	设计指标	是否满足要求
最大行驶速度(km/h)	2.3	≥2.0	是
制动距离(m)	1.2	≤1.5	是
连续行驶时间(h)	4.5	≥4.0	是

3.2 台阶爬升性能测试结果

台阶爬升测试结果显示,当高度 $\leq 200\text{mm}$ 、坡度 $\leq 30^\circ$ 时,成功率100%,时间随高度坡度增加,最大8.5s,满足要求。超过时无法爬升,因液压杆抬升不足和驱动力矩不够。

坡面倾斜角度(°)	调平前水平角度(°)	调平后水平角度(°)	调平精度(°)	调平时间(s)
5	-5.2	+0.1	± 0.1	2.1
10	-10.3	-0.2	± 0.2	2.6
15	+15.1	+0.3	± 0.3	3.2

3.4 升降性能测试结果

升降测试结果显示,载荷 $\leq 5000\text{N}$ 时,速度80-85mm/s(符合50-100mm/s设计),行程误差 $\leq \pm 5\text{mm}$,精度高;最大承载5200N($> 5000\text{N}$ 设计值),满足要求。超载时溢流阀动作保护。

测试项目	测试条件	测试结果	是否满足要求
过载保护	载荷6000N	溢流阀动作,液压泵停止工作	是
限位保护	升降平台达到最大行程	限位开关触发,第二液压杆停止动作	是
防倾倒保护	坡面倾斜角度 20°	倾角传感器报警,装置停止工作	是
紧急制动	行驶过程中按下紧急制动按钮	驱动电机断电,制动装置动作	是

4 结论

本文设计了一种集成移动、爬升、调平与升降功能的自动化液压装置,解决了现有装置移动受限、无台阶爬升功能及坡面适应性差的问题。通过结构优化、仿真与实验,得出以下结论:装置采用框架式结构,集成爬升、调平与剪叉式升降平台,实现功能一体化,结构紧凑;爬升机构通过液压杆与电机协同工作,可稳定爬升200mm高、 30° 坡度台阶,成功率100%,时间 $\leq 8.5\text{s}$;调平机构采用液压缸与自适应支撑块,在 15° 坡面调平精度 $\pm 0.4^\circ$,时间 $\leq 3.2\text{s}$;升降平台最大承载5200N,行程1500mm,速度80mm/s,运行平稳;实验表明性能满足要求,作业效率提升30%以上,应用前景良好。

3.3 坡面调平性能测试结果

坡面调平测试结果显示,当角度 $\leq 15^\circ$ 时,调平精度 $\leq \pm 0.4^\circ$ ($< \pm 0.5^\circ$ 设计值),时间随角度增加,最大3.2s,满足要求。调平后稳定性好。

3.5 安全性能测试结果

安全测试结果显示,在超载、限位、倾斜等工况下,保护功能及时触发,切断动力,避免损坏和事故,安全可靠。

参考文献

- [1]王占林.液压控制系统[M].北京:机械工业出版社,2019.
- [2]刘忠明.液压升降台的设计与研究[J].机械设计与制造,2018(5):102-104.
- [3]张宏,李建明.机械制造自动化的发展趋势与技术创新[J].中国机械工程,2020,31(12):1456-1463.
- [4]陈明,王丽.移动液压平台的设计与仿真[J].液压与气动,2019,43(7):89-94.
- [5]赵刚,孙伟.车间物流搬运液压装置的现状与发展[J].物流技术与应用,2021,26(8):156-158.
- [6]李强,陈燕.坡面作业液压平台的自动调平系统设计[J].机床与液压,2020,48(11):123-126.