

简易机械液压执行机构的设计与实现

周宗杰¹ 骆芳²

1. 大连大远液压成套设备有限公司 辽宁 大连 116039

2. 鞍山拜尔自控有限公司 辽宁 鞍山 114000

摘要: 简易机械液压执行机构的设计与实现是提升工业装备性能的关键环节。本文系统阐述了执行机构的总体设计方案选择、系统组成与工作原理、关键参数确定方法,并介绍了动力源、控制元件、执行元件及辅助元件的设计要点。通过运动性能、力学性能与动态性能分析,验证了执行机构在多种工况下的可靠性与稳定性。最后结合制造工艺规划与装配调试方法,形成完整的设计实现路径,为液压执行机构的优化与应用提供理论依据与实践指导。

关键词: 液压执行机构; 系统设计; 性能分析; 制造工艺; 调试方法

引言: 在工业自动化领域,简易机械液压执行机构凭借结构简单、控制灵活、输出力大等优势,广泛应用于各类机械设备中。其性能直接影响设备的工作效率与质量。然而,不同应用场景对执行机构的功能、性能要求各异。因此,开展简易机械液压执行机构的设计研究,依据具体需求进行针对性设计,对提升设备性能、满足多样化生产需求具有重要意义。

1 简易机械液压执行机构总体设计

1.1 设计方案选择

在简易机械液压执行机构总体设计中,设计方案选择是决定系统性能与可行性的首要步骤。设计人员要依据具体应用场景和功能需求,提出多种初步方案。方案可能涉及不同液压回路形式,如开式或闭式回路;也可能涉及不同执行元件选型,像液压缸或液压马达^[1]。各方案结构复杂度不同,有的结构简单、零部件少,但功能单一;有的结构相对复杂,却能实现更多复合动作。工作可靠性是评估方案的重要指标,在恶劣工况下,某些方案环境适应性强、使用寿命长。成本因素也不容小觑,涵盖初期制造安装成本以及后期维护运营成本。设计团队需综合权衡这些因素,必要时引入量化评分法,为各项指标赋予权重,得出客观评价。

1.2 系统组成与工作原理

简易机械液压执行机构是一个有机整体,各部分协调配合才能正常运转。系统首先需要动力源,通常由电动机驱动液压泵,将机械能转化为液压油的压力能,为整个液压系统提供能量。控制元件在系统中起核心作用。方向控制阀引导液压油流动路径,改变执行元件运动方向;压力控制阀调节系统工作压力,防止过载;流量控制阀精确控制执行元件运动速度。执行元件是系统输出终端,液压缸可将液压能转化为直线往复运动的机械能,液压马

达则转化为旋转运动的机械能。辅助元件虽不直接参与能量转换,但不可或缺。油箱用于储存液压油并散发工作产生的热量;过滤器保持液压油清洁度;管路与接头确保液压油在元件间可靠传输。

1.3 关键参数确定

关键参数的确定是简易机械液压执行机构设计中的核心环节,直接关系到系统能否满足预定的性能指标。设计人员需要根据设计要求与工作原理进行严谨计算与合理选择。对于液压缸而言,缸径的确定主要依据负载大小与系统工作压力,需要通过力学计算确保输出力能够克服外载荷。行程的确定则需满足执行机构实际工作范围的需要,同时考虑安装空间限制与结构稳定性。液压马达的排量选择与驱动扭矩需求直接相关,需要根据最大负载扭矩与系统压力进行匹配计算。转速参数需结合执行机构的工作速度要求与排量综合确定,同时考虑马达本身的最高许用转速。参数确定的方法通常基于经典流体力学公式与工程实践经验,关键参数的确定还需要充分考虑安全系数与裕度,为不可预见的工况变化留出调整空间。

2 简易机械液压执行机构详细设计

2.1 动力源设计

为满足简易机械液压执行机构的动力需求,选用小型液压泵作为动力源。小型液压泵类型多样,综合考虑执行机构的工作场景与负载要求,在某小型机床的液压执行机构设计中,选择齿轮泵。该齿轮泵规格适中,额定压力能稳定维持在8MPa-12MPa范围,流量也能精准匹配执行机构动作速度需求,流量范围在5L/min-10L/min可调。其性能参数方面,额定压力可达10MPa,能保证在多种工况下为系统提供稳定压力;流量在一定范围内可调,可依据执行机构不同动作阶段的需求灵活调整。动力源

与执行机构匹配关系至关重要, 齿轮泵输出的液压能需与执行机构所需动力精准对应。若动力不足, 执行机构无法完成规定动作; 动力过剩则会造成能源浪费与系统不稳定。通过精确计算执行机构所需的最大功率与工作压力, 在上述机床执行机构设计中, 计算得出所需最大功率为2.5kW, 工作压力为9MPa, 确保齿轮泵能在合适工况下运行, 为执行机构提供充足且稳定的动力, 保障整个系统高效运转。

2.2 控制元件设计

控制元件选用方向控制阀、压力控制阀与流量控制阀。方向控制阀工作原理是通过改变阀芯位置来控制液压油流向, 进而决定执行元件的运动方向。其结构特点是有多个油口与阀芯, 阀芯移动可切换不同油口连通状态。在系统中, 方向控制阀是实现执行机构正反转或往复运动的关键。压力控制阀能自动调节系统压力, 当压力超过设定值时, 阀门开启泄压, 保证系统压力稳定在安全范围。流量控制阀通过改变节流口通流面积来调节流量大小, 从而控制执行元件运动速度。这些控制元件相互配合, 通过电气或机械控制方式, 实现对执行机构运动方向、速度与压力的精准控制, 确保执行机构按预定要求完成动作。

2.3 执行元件设计

以液压缸作为执行元件进行详细设计。结构设计上, 采用双作用单活塞杆液压缸, 这种结构能实现双向运动, 满足执行机构多样化动作需求。在某压力机的液压执行机构设计中, 液压缸缸筒内径为100mm, 活塞杆直径为60mm。强度计算方面, 依据执行机构所承受的最大负载, 该压力机最大负载为80000N, 结合材料力学知识, 对液压缸缸筒、活塞杆等关键部件进行应力分析。缸筒材料选用45钢, 其许用应力为235MPa, 经过计算, 缸筒所受最大应力为180MPa, 小于许用应力; 活塞杆材料选用40Cr钢, 许用应力为355MPa, 所受最大应力为280MPa, 小于许用应力, 确保在工作过程中不会发生断裂或过度变形^[2]。密封设计选用合适的密封元件, 如活塞密封采用组合密封圈, 由O形圈与Y形圈组合而成, 能有效防止液压油泄漏, 保证液压缸工作效率与工作可靠性, 使其能可靠完成规定动作并满足承载能力要求。

2.4 辅助元件设计

油箱用于储存液压油, 其容积根据系统所需液压油总量与散热需求计算确定, 确保液压油有足够空间循环与散热。滤油器过滤精度选择依据系统对液压油清洁度要求, 选用能过滤掉微小杂质的高精度滤油器, 防止杂质进入系统损坏元件。管路布局遵循简洁、合理原则,

减少弯头与接头数量, 降低压力损失。连接方式选用可靠连接接头, 保证管路密封良好, 防止液压油泄漏, 保障液压系统正常运行。

3 简易机械液压执行机构性能分析

3.1 运动性能分析

为掌握简易机械液压执行机构的运动特性, 需建立精准的运动学模型。模型基于部件几何尺寸、连接方式及液压系统参数构建。以某液压搬运车为例, 液压缸安装位置距底座中心300mm, 活塞垂直运动行程500mm, 传动比1:1。基于模型分析位移、速度、加速度随时间变化关系。位移方面, 液压缸活塞位移结合传动关系可得货叉位移轨迹, 货叉5s内上升500mm。速度分析结合液压泵流量8L/min、液压缸有效面积0.005m²及传动效率0.85, 计算得货叉上升速度0.1m/s。加速度分析考虑负载1000kg的惯性及系统压力波动, 货叉启动加速度0.02m/s²。将分析结果与设计要求比对。要求货叉5-6s内上升500mm±5mm, 若位移、速度、加速度均符合预期且精度在允差内, 说明机构运动精准; 若存在偏差, 需调整液压缸缸径或泵流量等参数。

3.2 力学性能分析

对执行机构进行力学分析是保障其安全可靠运行的重要环节。在计算液压缸的推力时, 要综合考虑系统的工作压力、液压缸的有效作用面积以及负载的阻力情况。在某液压剪板机的执行机构中, 系统工作压力为15MPa, 液压缸有效作用面积为0.004m², 负载阻力为60000N, 通过计算, 液压缸推力为60000N, 满足剪切要求。液压马达的扭矩计算则需结合其排量、工作压力以及传动效率等因素。在某液压卷扬机的执行机构中, 液压马达排量为20mL/r, 工作压力为12MPa, 传动效率为0.9, 通过计算, 扭矩为22.6N·m。通过对执行机构各部件的受力分析, 全面评估其承载能力与结构强度。对于关键受力部件, 如液压缸缸筒、活塞杆、齿轮传动部件等, 依据力学分析结果进行强度校核。在该卷扬机中, 齿轮传动部件材料选用20CrMnTi钢, 许用应力为450MPa, 经过计算, 所受最大应力为380MPa, 表明该部件强度满足要求。若部件所受应力超过材料的许用应力, 表明该部件强度不足, 需采取增大截面尺寸、更换高强度材料或优化结构设计等措施, 确保执行机构在工作过程中不会因受力过大而发生损坏。

3.3 动态性能分析

鉴于液压系统具有动态特性, 建立执行机构的动态模型十分必要。该模型要充分考虑液压油的压缩性, 一般液压油的压缩率为 $0.5 \times 10^{-4}/\text{MPa}$ — $1 \times 10^{-4}/\text{MPa}$, 管道的

弹性,管道弹性模量为200GPa-210GPa,负载的惯性以及控制元件的动态响应等因素。借助动态模型,深入分析执行机构在启动、制动、换向等过程中的动态响应。在启动过程中,可能会出现压力冲击现象,在某液压冲床的执行机构启动时,系统压力瞬间升高至18MPa,比正常工作压力15MPa高20%,影响元件寿命。制动和换向时也可能产生振动,该冲床在制动时,振动加速度达到 0.5m/s^2 ,降低执行机构的工作精度。针对这些问题,提出改善动态性能的措施,如安装蓄能器吸收压力冲击,在该冲床中安装蓄能器后,启动时压力冲击降低至16MPa;采用合适的缓冲装置减小振动,选用液压缓冲器后,制动时振动加速度降低至 0.2m/s^2 ;优化液压系统的控制策略以提高系统的响应速度和稳定性,采用PID控制策略后,系统响应时间缩短30%,从而提升执行机构的整体动态性能。

4 简易机械液压执行机构制造与调试

4.1 制造工艺规划

在简易机械液压执行机构的制造过程中,工艺规划是确保产品质量与性能的关键环节。据相关制造经验及行业规范,需针对执行机构各零部件的形状、尺寸精度及材料特性,制定详细且精准的制造工艺路线^[3]。对于关键部件如缸体、活塞杆等,其尺寸精度要求极高,公差范围通常需控制在 $\pm 0.01\text{mm}$ 以内。为保障几何尺寸的精确性与表面质量,优先采用高精度机械加工方法,如数控铣削、车削等。以缸体加工为例,数控铣削加工时,刀具转速一般设定在 $800\text{--}1200\text{r/min}$,进给速度为 $100\text{--}200\text{mm/min}$,这样能有效保证加工面的粗糙度达到Ra0.8以下。对于需要提高硬度与耐磨性的部件,则安排热处理工序,如淬火、回火等,以增强其力学性能。在加工设备的选择上,应依据加工精度与生产效率的要求,合理配置数控机床、普通机床及专用工装夹具,确保每一道工序都能达到既定的加工标准。此外,还需注重加工过程中的质量控制,通过定期检测与调整,及时发现并纠正加工偏差,保证零部件的加工质量与制造精度符合设计要求。

4.2 装配与调试方法

执行机构的装配与调试是确保其整体性能与可靠性的重要步骤。装配时,需遵循既定的装配顺序,从基础件开始,逐步安装各功能部件,确保每一部件都正确就位且连接牢固。在装配工艺要求上,特别关注密封件的安装。密封件的质量直接影响液压系统的性能,需确保密封面清洁无损伤,密封件无扭曲变形。以O型密封圈为例,其安装时的压缩率一般控制在15%~30%之间,过小会导致密封不严,过大则会加速密封件的磨损。管路连接时,应采用合适的连接方式与密封材料,例如采用卡套式接头连接钢管,其连接强度高、密封性好,可承受的压力可达35MPa以上,确保管路连接紧密无泄漏。调试阶段,首先进行系统压力调整,通过调节溢流阀等压力控制元件,使系统压力稳定在设定值。接着进行运动速度调节,通过调整流量控制阀,使执行机构运动速度满足设计要求。最后进行动作顺序验证,通过模拟实际工作条件,检查执行机构各动作是否按预定顺序准确执行,确保执行机构能够正常运行,满足使用需求。

结束语

简易机械液压执行机构的设计需在功能实现、结构简化与运行可靠性之间取得平衡。通过合理的系统配置、关键部件的强度校核以及动态性能优化,能够有效提升整体工作稳定性与响应精度。制造过程中对加工精度与装配工艺的严格控制,进一步保障了机构的实际运行效果。随着工业场景对高效、紧凑驱动装置需求的持续增长,此类执行机构在中小型装备中展现出良好的应用潜力。未来结合先进控制策略与新材料工艺,有望在更复杂工况下实现更高性能表现。

参考文献

- [1]倪豪,葛磊,赵斌,等.新型液压马达-机械直线执行器的运行特性[J].机床与液压,2022,50(16):7-12.
- [2]吴新平,赵千里.挖掘机单杆油缸液压执行器控制优化研究[J].中国工程机械学报,2025,23(3):400-404.
- [3]贺伟,国凯,孙杰.膜片式液压微位移执行器设计与特性分析[J].液压与气动,2024,48(9):18-24.