

Construction and application of multi-way hydraulic valve performance testing platform

Qiang Ye

Yulin Tiandi Coal Machinery Equipment Co., Ltd., Yulin, Shaanxi, 719000, China

Abstract

To establish a quality control system for multi-channel hydraulic valves, effectively reduce the defect rate, ensure product quality stability, and meet market demands and industry standards, a testing platform for multi-channel hydraulic valves has been designed. This platform includes a hydraulic system, a measurement and control system, and human-machine interaction functions. Practical applications have shown that this testing platform offers high efficiency and strong reliability, providing experimental support for the factory testing of multi-channel hydraulic valves.

Keywords

hydraulic valve; hydraulic system; testing platform; construction

多路液压阀性能检测平台构建与应用

叶强

榆林天地煤机装备有限公司, 中国·陕西 榆林 719000

摘要

液压系统作为现代工业自动化中重要的传动与控制装置, 它的性能会对工业自动化效率、稳定性等构成不小的影响。而在液压系统中多路液压阀是其核心组件, 性能决定了前者控制精度和响应速度如何。同时为构建多路液压阀质量管控体系, 有效降低次品率, 保障产品质量稳定, 满足市场需求和行业标准。现设计一款多路液压阀检测平台, 该检测平台由液压系统、测控系统、人机交互功能等组成。实际应用表明: 该检测平台试验效率高, 可靠性强, 可为多路液压阀的出厂测试提供实验支持。

关键词

液压阀; 液压系统; 检测平台; 构建

1 引言

多路液压阀性能检测平台是液压元件生产和使用过程中不可或缺的质量控制工具, 其核心意义在于通过系统化、标准化的测试手段, 全面验证液压阀组的性能指标。本文根据多路液压阀出厂检测要求, 进行检测平台设计和功能搭建, 从而确保产品质量、提升可靠性并降低应用风险。

2 平台搭建

根据多路液压阀的出厂检测要求, 进行检测平台系统搭建。该检测平台由被测多路阀、液压系统、测控系统、数据采集系统与操作台组成^[1]。被测多路阀用于测试对象, 模拟工况; 液压系统作为检测平台核心, 提供动力与负载模拟; 测控系统进行流程控制, 精准调节; 数据采集系统进行多路阀关键参数的采集生成性能曲线; 操作台提供直观的操作界

面, 集成控制、检查、报警功能。

3 测控系统设计

该多路阀测控系统采用 HMI (TPC1262Hi) 与 PLC (S7-200) 协同控制架构, 通过以太网实现双向数据交互, 如图 1 所示。HMI 作为人机交互终端, 承担系统状态可视化、参数动态设定 (如目标压力、流量值) 及控制指令下达功能; PLC 作为底层控制核心, 通过模拟量输出模块 (AO1 通道) 向比例阀发送 4-20mA 连续信号实现精准调节, 同时驱动数字量输出模块输出 24V DC 电平信号控制换向阀动作, 并通过模拟量输入模块实时采集压力传感器反馈的 4-20mA 信号, 构建闭环控制链路。系统进一步通过 PLC 模拟量输出通道控制变频器, 动态调节液压泵电机转速, 形成“参数配置→逻辑运算→执行响应→数据反馈”的全闭环测试流程, 精准验证多路阀的耐压特性、流量稳定性及换向响应性能。为确保安全, 系统集成多级数字量报警机制 (液位异常、滤器堵塞、压力超限、急停触发、高温预警等), 结合 PLC 的硬件连锁逻辑与 HMI 的实时弹窗提示, 实现测试过程的

【作者简介】叶强 (1993-), 男, 中国陕西榆林人, 本科, 工程师, 从事机械结构设计研究。

全方位防护与故障快速定位，兼顾测试效率与运行可靠性。

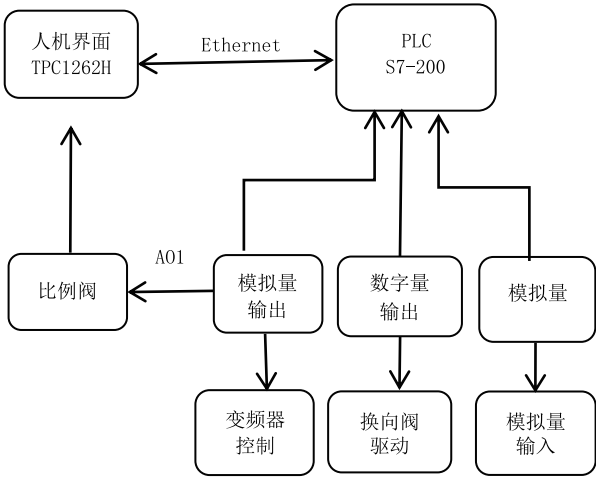


图 1 测控系统原理图

4 液压系统设计

多路阀试验台液压系统设计以模块化、高精度与安全可靠为核心目标，涵盖测试模块、加载模块、先导模块及泄

漏检测四大模块，如图 2 所示。测试模块（001）：以液压泵（9）为动力源，结合压力传感器（14.1-14.6）、压力表（13.1-13.5）实时监测回路压力，配合电磁阀（18、19）切换油路、节流阀（17）调节流量，过滤器（11）保障油液清洁，实现对多路阀压力、流量等核心参数的测试。加载模块（002）：利用单向阀组（20.1-20.4）构建回路，通过溢流阀（21、22）调节系统压力，模拟实际工况下的负载状态，同时流量计（16.2）监测流量，为多路阀负载性能测试提供数据。先导模块（003）：借助减压阀（24、25）精准调节先导控制压力，搭配电磁阀（26）切换先导油路，为多路阀提供稳定的先导控制信号，确保主阀动作的准确性与稳定性。内泄测试模块（004）：图中标明为预留模块，当前未安装实物，未来可扩展用于多路阀内泄漏测试，通过预设的油路接口（如电磁阀 28、29 等），为后续功能升级保留扩展空间。整个系统以液压泵为动力核心，通过各模块元件协同，实现多路阀在不同工况（压力测试、负载模拟、先导控制）下的性能检测，是一套兼顾当前测试需求与未来功能扩展的液压测试方案。

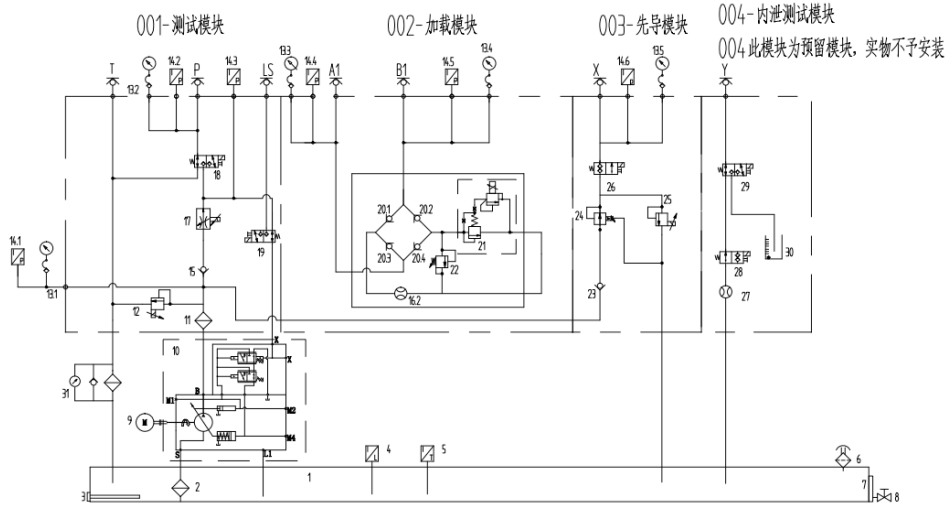


图 2 液压系统原理

5 数据采集系统

数据采集系统作为检测平台的核心感知模块，与液压系统、测控系统形成协同联动，实现对多路阀性能参数的全流程精准监测，通过压力传感器、流量计等高精度元件，对多路阀进出口压力、主油路流量、阀芯位移等关键参数进行多节点分布式采集，经高速采集卡实现快慢信号分路处理，采集数据经分布式 I/O 模块与高速采集卡实现快慢信号分路传输，通过 PLC 算法和 HMI 的数据可视化处理，在操作台生成压力-流量曲线及特征参数，数据采集系统监测到异常数据（如压力超限、油温过高）时，实时传输至 PLC，PLC 触发液压系统（如溢流阀卸压），同时 HMI 弹出报警弹窗并记录故障代码，形成“参数感知—数据处理—反馈验证”

的完整技术链路，为多路阀耐压性能、流量稳定性、换向响应等核心指标的精准检测提供坚实的数据支撑^[2]。

6 多路液压阀密封性能专项检测单元集成设计

要准确测试多路液压阀高压工况下的密封情况，需增加独立的密封性检测单元，并应用结构隔离和功能专用方式实现系统的模块化，具体为：利用高压液压源和稳定的恒压输出回路作为压力加载装置，以高灵敏度差压传感器将传感器置于阀体进出口两侧，在保持一定的静压下测得阀体各个工位处的压力变化量。同时应用冷却器来维持油液温度在 $40 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 范围内。采用单独的专用接头连接装置接入阀体各工位密封腔体，在最快的时间内完成密封回路建立，缩短

测试准备时间, 试验升压至目标压力点后保压 30min, 在试验过程中差压传感器采集频率 1Hz, 试验结束后系统自动记录压力衰减曲线并计算泄漏率, 如试验规定时间内压降大于设定限值, 则判断为泄漏。通过恒压段落最小二乘曲线拟合的方式分析泄漏趋势, 并生成多回路密封测试结果表报。密封检测单元独立于主测试流程之外运行, 在试验完成后自动卸荷回到常规检测通道, 隔离各性能项目的检测流程。

7 换向平稳性动态响应测试模块配置与实施方法

换向平稳性直接关联液压系统响应效率与负载冲击情况, 为此在检测平台中增设换向平稳性测试模块, 结构上通过高频响应电磁阀控制多路阀的主阀芯换向动作, 以模拟高频工况下的操作状态^[3]。该测试模块由换向指令发生装置、缓冲调压回路、快速响应压力传感器与阀芯位移跟踪装置四部分构成。换向指令通过设定 PWM 脉宽信号的占空比与频率控制电磁换向阀动作, 缓冲回路引入调压阀与缓冲蓄能器以吸收换向瞬间流量冲击, 减少管路震荡干扰。压力传感器布置于换向通道两侧, 位移传感器采用非接触式 LVDT 测量换向行程时间, 系统记录两点间换向完成所需时间及换向过程中的压力波动幅度, 判定是否存在卡滞、冲击或换向不完整问题。实验设定连续换向周期测试不少于 500 次, 并在高低压交替条件下进行, 测试数据自动分区存储, 记录换向响应时间分布曲线。平台通过设定平稳性容限区间, 对比各测试周期内压力波形与位移曲线波动幅度, 量化分析换向平稳性并输出多参数评估报告, 构成多路阀动态性能关键指标验证流程。

8 主阀芯滑动阻力与配合间隙检测工艺设计

对多路液压阀的动作灵敏性及内部泄漏水平而言, 主阀芯滑动阻力和间隙二者的参数会带来直接影响, 因而检测平台构建中须针对它们部署相应的物理测试单元。结合实践与研究来看, 物理测试单元包括高精直线性位移加载机构、低摩擦位移传感装置及微力传感器组成, 其中前者利用步进电机驱动精密丝杆系统使其能够在阀芯两端施加恒定推力, 同时加载力范围为 0.5N~5N 可调, 从而对实际液压推力作用予以模拟。测试过程中利用微力传感器实时监测加载过程中反作用力变化趋势, 以确定起始滑移点对应的静摩擦力峰值; 随后持续加载获取稳定滑移阶段的动摩擦力值, 判断滑动均匀性。为排除油液润滑影响, 测试在恒定温度与洁净干态下实施, 通过专业夹具对阀体与阀芯实现刚性固定与同轴约束, 避免侧向干扰。间隙测量采用光栅干涉式间隙测量仪, 分析阀芯径向与轴向浮动区间, 对比技术图纸标称值与测量值, 形成配合精度误差分布数据。以高分辨率 A/D 模块采集全部数据, 并图像化显示于独立操作界面, 实验结束后输出静动摩擦力峰值统计图与径向配合间隙分布图, 从而给检测多路阀装配工艺稳定性与滑移性能一致性检测提供高精

度数据。另外, 为了确保检测平台准确性还须实施严格的校准机制, 即检测前我们要对加载机构、低摩擦位移传感装置及微力传感器进行全面校准。

9 多通道负载干扰工况复合测试流程设计与实施机制

为模拟工作现场多种执行机构并联加载和相互间存在耦合作用的动态工况, 在检测平台上添加多通道负载干扰模拟模块来实现多通路的同步加载及交互干扰工况测试。在该装置的液压系统主回路上新增独立加载支路, 在每一路加载支路上单独配置了电磁比例溢流阀以及节流阀组, 以机械方式模拟不同的执行机构所承受的动态负载。设置主控制通路内采样信号的压力不变为恒定负载信号, 辅通路加入周期性或者随机性的扰动压力信号, 采集主通道内的流量、压力信号, 并判断其变化量的情况, 反映主阀在多载干扰下阀门的工作稳定性^[4]。各通道接入各自独立的压力和流量传感器, 通过 PLC 的实时采集并把采集的数据信号上传到主控屏上。经过扰动周期时长内对主控通道的响应延迟情况、压力波动频次以及阀芯的抖动情况进行采集记录, 以检验系统之间的干扰是否产生导致了控制不稳定或者出现控制参数偏离的现象; 整个测试期间不少于 300s。同时, 扰动设定的幅值与频率根据工程实际使用的典型工况曲线模拟绘制得到, 各个通道的状态参数全部实时动态展示在主控台, 最终导出整条通道的时间序列图, 并形成负载耦合状态下多维性能的评价基准面, 同时为其他多路阀在该复杂系统下的稳定性及适应性提供基础的检测模板。

10 结语

综上所述, 针对于多路液压阀性能检测平台的系统化开发和功能融合, 可实现对液压阀的压力特性、密封性、换向平稳性和多通道干扰响应等多项性能指标进行精准测试和量化评价。在这一检测平台构建上借助液压系统、测控系统以及数据采集和多功能测试模块构成闭环控制和快速响应机制, 使整个检测过程精度高、速度快, 同时模块化可扩展的设计理念, 为后期系统功能的扩展、技术的升级打下坚实的技术基础, 从而满足不同型号与工况下的液压阀检测需求。

参考文献

- [1] 杨林, 李笑, 李传军. 基于 PLC 的液压多路阀试验台设计[J]. 机床与液压, 2014, 42(04): 48-52.
- [2] 崔继强, 刘学强. 液压阀综合加载试验台的设计与研究[J]. 机电工程, 2020, 49(07): 23-24.
- [3] 张致勇. 多路阀试验台系统设计与性能试验研究[D]. 广东: 广东工业大学, 2017.
- [4] 王涛, 彭雄凤. 液压多路阀复合动作瞬态冲击性能仿真与测试研究[J]. 机床与液压, 2020, 48(14): 4. DOI: 10.3969/j.issn. 1001-3881.2020.14.039.