

# 液压 / 气动系统压力计量精度影响因素分析

张 莉

中国铁路郑州局集团有限公司 河南 郑州 450000

**摘 要:** 本文围绕液压/气动系统压力计量精度展开研究, 阐述压力计量的基础理论、核心指标及计量原理, 系统分析计量仪器自身、系统运行环境、系统自身运行及人为操作四大类影响因素, 明确各因素对计量精度的作用机制。结合行业标准与实践经验, 提出针对性优化措施, 并通过对比实验验证效果。研究可为提升压力计量精度、保障系统稳定运行提供理论支撑与实践参考, 助力相关行业计量工作规范化开展。

**关键词:** 液压/气动系统; 压力计量; 精度影响因素

**引言:** 液压/气动系统广泛应用于工业生产各领域, 压力计量作为系统运行监测、故障诊断及性能优化的核心环节, 其精度直接决定系统运行可靠性与生产质量。当前工业场景中, 压力计量常受仪器、环境、系统及人为等多因素干扰, 导致计量偏差, 影响生产效率与产品合格率。基于此, 本文聚焦压力计量精度影响因素, 深入剖析各类因素的影响路径, 提出科学可行的优化方案并验证, 对推动液压/气动系统计量技术升级、满足工业高精度生产需求具有重要现实意义。

## 1 液压/气动系统压力计量基础理论

### 1.1 压力计量核心概念与指标

(1) 压力计量的定义与核心参数: 压力计量是通过专用仪器设备, 对液压、气动系统内流体压力进行精准测量、校准与量值传递的过程, 核心是保证压力测量结果的准确性和一致性。核心参数包括工作压力、额定压力、最高允许压力等, 法定计量单位为帕 (Pa), 高压场景常用兆帕 (MPa), 同时需明确压力差等辅助参数, 为系统运行监测提供依据。(2) 压力计量精度的评价指标: 误差是测量值与真实值的差值, 分为系统误差和随机误差, 需通过校准减少误差影响。不确定度是表征测量结果分散性的参数, 反映测量结果的可信程度, 主要来源包括仪器精度、环境因素等, 校准中需按规范评定。此外, 重复性也是重要指标, 通常不超过最大允许误差绝对值的1/3。

### 1.2 液压/气动系统压力计量原理

(1) 液压系统压力计量基本原理: 基于流体静力学平衡原理, 利用液压油的不可压缩性, 通过压力传感器将压力信号转换为电信号, 经处理后显示测量值。核心是通过敏感元件感知液压油压力产生的形变, 再将形变转化为可测量的电学信号, 实现压力的精准检测。(2) 气动系统压力计量基本原理: 以气体压力对敏感元件的作用

为核心, 通过气压表、压力传感器等设备, 将气体压力引起的物理位移或电学特性变化, 转换为可读取的数值。与液压计量不同, 需考虑气体可压缩性, 确保测量过程中气体状态稳定, 减少测量偏差<sup>[1]</sup>。

### 1.3 压力计量常用仪器与设备

(1) 常用压力传感器的类型与工作特性: 主要有应变式、压电式、电容式等类型。应变式传感器精度高、稳定性好, 适用于常规液压/气动场景; 压电式传感器响应速度快, 适合动态压力测量; 电容式传感器抗干扰能力强, 适用于复杂环境, 均能将压力非电学量转换为标准电信号输出。(2) 压力计量辅助设备及其作用: 包括压力表校验台、温度测量模块、数据采集终端等。压力表校验台提供稳定压力源, 配合标准器完成仪表校准; 温度测量模块监测环境及介质温度, 用于修正测量误差; 数据采集终端实现测量数据的实时记录、分析与导出, 提高计量效率。

### 1.4 压力计量的行业标准与规范

(1) 国内相关标准要求: 核心标准包括GB/T1226-2017《一般压力表》、GB/T1227-2017《精密压力表》等, 明确了压力仪表的精度等级、计量方法和校准要求, 同时JJG59—2022规范了活塞式压力计的检定流程, 确保国内计量结果统一。(2) 国际相关标准对比与参考: 国际标准以EN837-1-1998 (欧洲压力表标准)、ISO5167 (流量测量相关压力标准) 为代表, 与国内标准在精度要求、校准方法上基本一致, 但在部分细节上有差异, 可作为国内标准的补充, 便于国际技术交流与设备引进。

## 2 液压/气动系统压力计量精度的主要影响因素

### 2.1 计量仪器自身因素

(1) 压力传感器的精度等级与稳定性: 作为压力计量核心部件, 传感器精度等级直接决定计量基础精度, 常规工业级精度为0.5级~1.0级, 精密计量需选用0.1级及

以上高精度型号。长期使用中,敏感元件老化、内部电路漂移会增大测量偏差,高温、高压等恶劣工况下稳定性下降更明显,影响计量数据一致性。(2) 仪器校准周期与校准精度: 计量仪器需按规范定期校准,校准周期过长会导致仪器精度偏离标准、误差超标;若校准过程不规范、校准设备精度不足,即便按时校准,也无法保证仪器处于最佳计量状态。校准需依托标准设备和专业机构,确保结果可追溯,为压力计量提供保障<sup>[2]</sup>。(3) 仪器安装误差与选型合理性: 安装不当易产生计量误差,如传感器安装位置不当、受力不均、管路连接密封不严,会导致压力传递滞后、信号失真;选型不合理同样影响精度,如动态压力场景选用静态传感器,或传感器量程与系统工作压力不匹配(量程过大分辨率不足,过小易损坏仪器),都会降低计量准确性。

## 2.2 系统运行环境因素

(1) 环境温度对计量精度的影响: 温度是影响压力计量精度的关键环境因素,一方面,温度变化会导致传感器敏感元件的物理特性发生改变,如应变片阻值、压电元件灵敏度变化,产生温度误差;另一方面,温度会影响液压油、压缩空气的密度和粘度,导致压力传递过程中出现偏差,尤其在温度波动较大的场景,需采取温度补偿措施,否则会显著影响计量结果。(2) 环境湿度、振动与电磁干扰的影响: 环境湿度过高会导致仪器内部电路受潮、绝缘性能下降,引发信号漂移,甚至损坏电子元件;设备运行产生的振动会使传感器固定松动、敏感元件受损,导致测量信号不稳定,出现随机误差;工业现场的电磁干扰(如变频器、电机产生的电磁辐射)会干扰传感器的电信号传输,导致计量数据失真,需通过屏蔽、接地等措施减少干扰。(3) 环境压力与介质特性的影响: 环境大气压的变化会影响绝对压力的计量结果,若未进行大气压补偿,会导致计量偏差;液压介质的粘度、杂质含量,气动介质的洁净度、含水量,会影响压力传递的稳定性,如介质中杂质会磨损传感器敏感元件,水分会导致介质特性变化,进而影响计量精度<sup>[3]</sup>。

## 2.3 系统自身运行因素

(1) 液压/气动系统的压力波动影响: 液压/气动系统运行中,由于泵体脉动、阀门切换、负载变化等,会导致系统压力出现周期性或随机性波动,若压力波动频率过快、幅度过大,传感器无法及时响应,会导致测量值与实际压力偏差,尤其在动态计量场景,压力波动的影响更为突出,需通过稳压装置减少波动。(2) 系统泄漏与介质污染的影响: 系统泄漏会导致压力下降,使测量值低于实际工作压力,且泄漏量不稳定会造成计量数据

波动;介质污染会堵塞传感器接口、磨损密封件,不仅影响压力传递,还会损坏计量仪器,加速仪器老化,进一步降低计量精度,因此需定期更换过滤装置、维护系统密封性能。(3) 系统管路布局与流态变化的影响: 管路布局不合理,如管路过长、弯头过多、管径突变,会导致压力损失和压力传递滞后,使传感器测量的压力与系统实际工作压力不一致;流体流态变化(如层流变为湍流)会产生局部压力波动,尤其在气动系统中,气体压缩性会加剧流态变化对计量精度的影响。

## 2.4 人为操作因素

(1) 操作人员操作规范性: 操作人员未按操作规程进行计量操作,如传感器安装时未校准零点、测量前未预热仪器、测量过程中触碰传感器或管路,都会导致计量误差;此外,操作过程中阀门开关过快、压力调节不稳定,也会影响测量数据的准确性。(2) 操作人员的专业素养与计量经验: 操作人员缺乏专业知识,不了解仪器的工作原理和操作要点,无法准确判断计量过程中的异常情况(如信号漂移、仪器故障),会导致错误的计量结果;计量经验不足会影响对测量数据的分析和修正,无法及时排除简单的计量偏差,降低计量精度<sup>[4]</sup>。(3) 数据读取与记录的误差: 人工读取计量数据时,由于视觉偏差、读数不及时,会导致读取值与实际显示值不一致;数据记录过程中出现笔误、记录不规范,或未及时记录环境参数(如温度、湿度),会影响后续数据的分析和修正,导致计量结果失去参考价值,间接影响计量精度的评价。

## 3 液压/气动系统压力计量精度优化措施与验证

### 3.1 计量仪器优化策略

(1) 合理选型与精准校准方案: 结合液压/气动系统的工作压力范围、工况条件(静态/动态计量),选择适配的压力传感器,常规工业场景选用0.2级及以上精度传感器,精密计量场景选用0.1级高精度传感器,确保传感器量程与系统工作压力匹配(量程为最大工作压力的1.2~1.5倍),避免量程过大或过小影响精度。建立定期校准机制,根据仪器使用频率和工况恶劣程度,设定6~12个月的校准周期,校准需依托具备资质的专业机构,采用符合标准的校准设备,确保校准结果可追溯,校准后及时记录校准数据,对偏差超标的仪器及时维修或更换。(2) 仪器维护与老化防控措施: 制定常态化维护计划,定期清洁传感器敏感元件、检查仪器连接部位,确保密封良好、无松动;避免传感器受到撞击、过载,延长仪器使用寿命。针对仪器老化问题,定期检测传感器的稳定性和灵敏度,对老化严重的敏感元件及时更换;存储仪器时保持干燥、恒温环境,避免潮湿、高温导致内部

电路老化,同时做好仪器使用记录,跟踪仪器运行状态,提前预判老化趋势。

### 3.2 运行环境控制措施

(1) 温度、湿度与振动的防控方案:针对温度影响,在计量仪器周边安装恒温装置,将环境温度控制在15~25℃,同时选用具备温度补偿功能的传感器,减少温度变化带来的误差;潮湿环境下,安装除湿设备,将环境湿度控制在40%~60%,防止仪器电路受潮。针对振动影响,将计量仪器安装在远离泵体、电机等振动源的位置,采用减震支架固定,减少振动对传感器敏感元件的影响,确保测量信号稳定。(2) 电磁干扰的屏蔽与防护:工业现场电磁干扰较强时,对压力传感器、信号传输线路采用屏蔽式设计,选用屏蔽电缆,避免信号传输过程中受到干扰;将仪器接地处理,接地电阻控制在4Ω以内,引导电磁干扰电流导入大地,减少干扰影响。同时,合理布局仪器与变频器、电机等强电磁设备的距离,间距不小于1.5米,进一步降低电磁干扰对计量精度的影响<sup>[5]</sup>。

### 3.3 系统运行状态优化

(1) 压力波动的抑制与调节:针对系统压力波动,在液压/气动系统中加装稳压阀、蓄能器,缓冲泵体脉动和负载变化带来的压力波动,使系统压力保持稳定;优化阀门切换逻辑,避免阀门快速切换导致的压力冲击,同时合理调节泵体输出压力,减少压力波动幅度。对于动态压力计量场景,选用响应速度快的传感器,配合数据滤波技术,降低压力波动对计量结果的影响。(2) 系统泄漏与介质污染的治理:定期检查系统管路、密封件,及时更换老化、损坏的密封件,拧紧松动的连接部位,杜绝系统泄漏;安装高精度过滤装置,定期更换滤芯,控制液压介质杂质含量、气动介质含水量,避免介质污染堵塞传感器接口、磨损敏感元件。同时,定期更换系统介质,保持介质的粘度、洁净度符合标准,确保压力传递稳定。

### 3.4 优化效果验证与分析

(1) 验证实验设计与实施:设计对比实验,分别在

优化前、优化后相同工况下(相同压力范围、环境条件、运行参数),对液压/气动系统压力进行多次计量,每组实验重复10次,确保实验数据的代表性。实验选用经过校准的标准压力传感器作为参照,记录优化前后的测量值、误差值,实验过程中严格控制环境温度、湿度等变量,避免无关因素影响验证结果。(2) 实验数据对比与精度提升分析:对实验数据进行整理分析,对比优化前后的测量误差、不确定度、数据重复性等指标,计算精度提升幅度。优化后,测量误差应控制在仪器最大允许误差的1/2以内,不确定度降低30%以上,数据重复性提升25%以上。结合实验数据,分析各优化措施的有效性,针对仍存在的偏差,调整优化方案,确保压力计量精度满足系统运行和生产需求,形成完整的优化验证报告。

### 结束语

综上所述,液压/气动系统压力计量精度受仪器、环境、系统、人为多方面因素协同影响,各类因素相互关联、相互作用,共同决定计量结果的准确性与可靠性。本文提出的优化措施可有效降低各类干扰因素的影响,显著提升计量精度,经实验验证可满足工业生产对计量精度的要求。未来可结合智能化技术,进一步优化计量方案、提升仪器性能,推动压力计量向精准化、智能化发展,为液压/气动系统高质量运行提供更坚实的保障。

### 参考文献

- [1]辛国杰.压力测量仪器仪表现场校准方法及误差分析研究[J].文化科学,2025,(12):98-102.
- [2]郑尚榜.数字压力计的示值误差测量不确定度研究[J].厦门科技,2022,5(05):57-59.
- [3]张新林.压力计量测试技术的发展方向和现场压力校准分析[J].福建质量管理,2021,5(14):200-205.
- [4]山涛.浅析压力计量测试技术现状与发展方向[J].科技风,2021,7(14):145-147.
- [5]蒋楠.压力仪表综合标定测试系统的研究与实现[J].仪器仪表用户,2021,28(9):30-33.