

气动调节阀常见故障原因分析及对策研究

王青

四川天华化工集团股份有限公司，四川 泸州 646000

[摘要]气动调节阀在工业自动化控制系统里属于极为关键的执行元件，它的运行稳定与否以及可靠程度如何，会直接对整个生产流程的效率以及安全产生影响。文章依照气动调节阀的基本构造以及工作原理，全面且细致地分析了常见的机械类故障还有控制性能类故障，对于阀芯出现卡滞情况、阀门存在泄漏现象、控制信号响应出现滞后状况以及振动噪声呈现异常等典型问题展开了详尽的原因探究，还给出了诸如机械结构方面的优化举措、密封系统的改进办法、控制回路的校准操作以及振动抑制的相关措施等综合性应对策略。凭借定期维护以及预防性策略相结合的方式，气动调节阀的故障应对能力得到了明显提升，这既为工业实践给予了理论层面的依据，也提供了实践方面的指导，进而保证系统能够实现长期稳定的运行状态。

[关键词]气动调节阀；故障分析；控制性能；维护策略

DOI: 10.33142/hst.v8i10.18042

中图分类号: TE687

文献标识码: A

Analysis and Countermeasures of Common Malfunctions in Pneumatic Control Valves

WANG Qing

Sichuan Tianhua Chemical Group Co., Ltd., Luzhou, Sichuan, 646000, China

Abstract: Pneumatic control valves are extremely critical actuating components in industrial automation control systems. The stability and reliability of their operation directly affect the efficiency and safety of the entire production process. The article comprehensively and meticulously analyzes common mechanical and control performance faults based on the basic structure and working principle of pneumatic control valves. It explores in detail the causes of typical problems such as stuck valve cores, valve leakage, delayed control signal response, and abnormal vibration and noise. It also provides comprehensive response strategies such as optimization measures for mechanical structures, improvement methods for sealing systems, calibration operations for control circuits, and relevant measures for vibration suppression. By combining regular maintenance with preventive strategies, the fault response capability of pneumatic control valves has been significantly improved, providing both theoretical basis and practical guidance for industrial practice, thereby ensuring that the system can achieve long-term stable operation.

Keywords: pneumatic control valve; fault analysis; control performance; maintenance strategy

气动调节阀是工业生产中广泛应用的一种工业过程控制设备，它以压缩空气为动力源，以气缸为执行器，借助阀门定位器、转换器、电磁阀、保位阀等附件驱动阀门，实现开关量或比例式调节，接收控制信号来调节管道介质等各种工艺参数。气动调节阀作为工业过程控制的关键设备，其稳定性和可靠性对生产安全至关重要。

1 气动调节阀结构与工作原理

气动调节阀主要由执行机构、阀体以及定位器这三个部分构成。在这其中，执行机构依靠气源所产生的压力来驱动阀杆展开相应的运动操作，而阀体自身包含了像阀芯还有阀座这类极为关键的部件，其主要作用在于对介质的流量加以调节。定位器在系统当中充当着控制核心的角色，它会接收来自于控制器所发出的电信号或者气信号，而后将这些信号转变成为气动执行机构能够做出动作的形式，进而可以精准地对阀门的开度实施控制。在实际的工作进程里，气动调节阀是依靠压缩空气当作动力来源的。当控制信号传入进来的时候，定位器会对设定值和反馈信号加以比较，接着通过对输出气压做出调整的方式来驱动执行

机构运作，使得阀芯能够在阀体内部发生移动，进而改变流道的面积，以此达成对流量的调节目的。这样的一种机制切实保障了阀门即便处于复杂的工况环境之下，也能够实现快速的响应状态以及保持良好的稳定性^[1]。气动调节阀在设计之时，往往已经充分考量到了诸如高温、高压以及存在腐蚀性介质等这般恶劣的环境情况，然而它的性能表现还是会受到机械磨损、密封老化以及控制元件出现偏差等诸多因素的限制影响。

2 气动调节阀的典型故障分类

2.1 机械类故障

机械类故障往往指的是气动调节阀物理部件出现损坏或者磨损的情况，像阀芯、阀杆还有密封元件等等都可能出现故障，这些故障一般会表现为动作卡滞、出现泄漏或者振动异常等情况，会对阀门的机械完整性以及操作流畅性产生直接的影响，在工业应用领域，机械类故障往往是由于长期运行过程中的疲劳负荷、材料老化或者是受到外部冲击等原因引起的，如果不及时去处理，那么就有可能致使阀门彻底失效，从而引发生产中断或者发生安全事

故,这类故障的识别通常得借助视觉检查、振动测试或者泄漏检测等手段,这样才能尽早地发现问题并加以修复,机械类故障比较典型的例子像是阀芯因为杂质积累而卡死、阀杆因为腐蚀而导致动作不顺畅,还有密封圈磨损造成的内外泄漏等问题,这些问题出现的根本原因大多和设计方面存在缺陷、安装操作不恰当或者是维护工作不到位等因素有关。

2.2 控制性能类故障

控制性能类故障,重点在于气动调节阀于动态响应及调节精度上所呈现出来的各类问题,像是控制信号在传输进程里存在着延迟状况,定位器在运用期间出现校准偏差,又或者是执行机构的响应出现滞后等情况。这些故障会让阀门没办法精准地去追踪设定值,进而对整个控制系统的稳定性以及效率产生影响。这类故障往往是因电气元件发生老化、受到信号干扰亦或是气源压力出现波动等原因所引发的,在复杂的控制回路当中表现得更为突出,其具体表现有阀门出现振荡现象、超调情况或者响应时间变长等,要是情况严重的话,还可能会引发系统振荡乃至出现失控的状况;针对控制性能类故障的诊断,需依靠信号分析、回路测试以及仿真工具等手段,以此来定位问题产生的源头并采取相应的校正措施。

3 气动调节阀常见故障原因分析

3.1 阀芯卡滞与动作不畅

阀芯出现卡滞以及动作不够顺畅的情况,在气动调节阀里属于较为常见的机械故障范畴。其产生这一故障的根本原因,大多和介质当中的固体颗粒、腐蚀产物又或者是油污等物质在阀芯与阀座之间不断积累有着密切关联,进而使得摩擦力增大,甚至会出现卡死的状况。除此之外,要是阀杆和填料二者之间的配合间隙设置得不合适,或者润滑程度不够充足,那么同样会致使动作阻力有所增加,从而进一步让阀芯的卡滞现象变得更加严重。在处于高温或者高压这样的工况环境之下,材料极有可能因为热膨胀或者发生变形,如此一来便会把上述所提及的那些问题进一步放大。就好比说阀芯由于温度发生了变化而出现膨胀的情况,最终导致卡死;再比如阀杆因为长时间处于负荷状态而发生弯曲等,这些诸多因素综合起来便造成了阀门的动作变得不再灵敏,进而对调节精度以及响应速度都产生了影响。阀芯出现卡滞这一情况,不但会让阀门的使用寿命被大大缩短,而且还极有可能引发连锁故障,像是执行机构出现过载的现象,或者控制信号发生失真的情况等等。具体故障数据分析如表 1 所示。

表 1 阀芯卡滞故障数据分析

故障现象	主要原因	影响参数	检测数据范围
动作卡滞	杂质积累	摩擦力增大	阻力值>标准值 30%
动作迟缓	润滑不足	阀杆行程时间	响应时间>2s
完全卡死	热膨胀变形	温度变化量	$\Delta T>150^{\circ}\text{C}$

3.2 阀门内漏与外漏

阀门出现内漏以及外漏的情况,往往是由于密封系统发生失效所引发的。其中,内漏具体指的是当阀门处于关闭状态的时候,介质依旧能够通过阀芯与阀座之间的间隙发生泄漏。而外漏则多发生在阀杆填料部位或者是阀体的连接之处,进而使得介质向外泄露出去。内漏产生的原因大多和阀芯出现磨损、阀座遭受腐蚀或者安装存在偏差等因素相关联。就好比阀芯因为长时间受到冲刷的作用,就会形成沟槽,如此一来便使得密封的效果大打折扣,又或者是阀座由于化学腐蚀的影响而发生变形,这样以来就使得泄漏的通道增宽了。外漏常常是由于填料出现老化、紧固件发生松动亦或是受到外部机械损伤等原因所造成的。在振动或者温度循环等作用力的作用之下,填料函的密封性能会慢慢地下降,最终允许介质沿着阀杆渗流出来。如此这般,不但造成了资源的大量浪费,而且还极有可能引发环境污染方面的问题以及带来一定的安全风险。要对泄漏问题展开分析的话,那就需要综合工况参数一起来考量,像是压力、温度还有介质的性质等方面都要考虑进去。比如说在高压的环境之下,密封材料就更容易产生疲劳的情况,而具有腐蚀性的介质则会加快密封元件的降解速度。所以说,要想做好泄漏的防治工作,就必须从设计、选型以及维护等多个不同的角度去着手开展相关事宜。泄漏故障类型及特征数据如表 2 所示。

表 2 泄漏故障类型及特征数据

泄漏类型	发生位置	特征参数	允许标准
内漏	阀芯-阀座间隙	泄漏率	$\leq 0.01\% \text{ KV 值}$
外漏	阀杆填料函	可见泄漏	无可见泄漏
连接处泄漏	法兰/螺纹连接	压力降	$\Delta P < 0.1 \text{ MPa/h}$

3.3 控制信号响应滞后

控制信号响应滞后体现为气动调节阀从接收到信号至实际开始动作期间存在时间延迟,其中的原因或许包含定位器响应迟缓、气路出现阻塞或者执行机构摩擦力过大的情况;举例来讲,定位器内部的电子元件发生老化或者是气动放大器出现堵塞,那么信号转换的速度就会变慢,而气源压力不够或者管路有泄漏,这会导致驱动气压的建立速度变慢,进而使得阀门的响应时间被延长^[2]。在控制回路当中,信号传输延迟还可能是因为电缆存在阻抗、受到电磁干扰或者是控制器设置不妥当等因素所引起的,这些因素会让阀门无法及时地去跟踪设定值的变化,从而引发系统出现超调或者振荡的现象,最终使得控制精度以及稳定性都降低了。对于响应滞后的分析需要综合全面地去考量电气和气动组件的情况,比如可以通过测试信号传输的时间以及气压变化的曲线来确定瓶颈所在之处,不过从逻辑层面来讲,对控制回路进行优化应该是能够消除滞后的,然而在实际操作当中,机械故障同样有可能会对信号产生干扰作用。

3.4 振动与噪声异常

在气动调节阀里,振动以及噪声出现异常的情况往往是由流体动力学方面的因素或者机械共振引发的。就好比说,当介质从阀芯流过的时候,会产生涡流又或者是出现空化现象,如此一来就会致使阀芯还有阀杆产生振动,而这种振动又会进一步把噪声的水平放大。如图1所示,空化现象导致阀杆断裂,这是振动异常的典型后果。从机械的角度来讲,要是执行机构和阀体的连接处出现松动,或者基础的支撑力度不够,那么就有可能会诱发共振情况的发生,进而使得振动的频率刚好与结构本身的固有频率相匹配,最终产生出强烈的噪声,并且还会让部件出现疲劳状况。振动和噪声这两者不单单会对设备的使用寿命造成影响,而且还很有可能会对周围的环境形成干扰。其根本的原因包含有阀门在选型的时候不够恰当、在安装的过程中存在误差亦或是运行参数超出了预先的设计范围等情况。比如说,在高压差这样的环境之下,阀芯所承受的冲击力会变得特别大,如此一来就会加速其磨损的速度以及加剧振动的程度。对于噪声出现异常这一情况的分析,是需要依靠声学测量以及振动频谱来进行的,通过这些手段才能够去识别出其中的主导频率以及源点所在之处。振动异常频谱分析数据如表3所示。



图1 调节阀阀杆断裂点

表3 振动异常频谱分析数据

振动类型	频率特征	振幅范围	危险阈值
机械振动	50~500Hz	0.1~1.0mm	>0.8mm
流体振动	100~1000Hz	0.05~0.5mm	>0.3mm
共振	固有频率±10%	急剧增大	>1.2mm

4 气动调节阀故障对策与维护策略

4.1 机械结构优化与定期维护

机械结构优化涵盖阀芯、阀杆以及执行机构等方面

设计改进工作。比如可选用耐磨材料来制造阀芯,以此来抵抗腐蚀以及磨损情况的发生,又或者对阀杆导向结构加以优化,进而减少摩擦,如此一来便能够预防出现卡滞以及动作不畅等问题。定期维护包含了对阀内部件进行清洗、检查磨损的具体状况以及给移动零件进行润滑等操作。通过制定相应的维护计划,像是每月针对阀芯状态检查一次,每年更换一次填料,以此来保证机械部件能够处于良好的状态。在实际的维护过程中,对故障历史以及运行数据予以记录,这有利于预测潜在的问题,举例来讲,借助振动趋势分析的方式,能够在阀杆松动之前就将其发现出来,从而避免突发故障的发生。机械结构优化和定期维护相结合之后,既能够延长阀门的使用寿命,又能提升系统的可靠性。

4.2 密封系统改进与泄漏防治

密封系统改进涉及多个方面,选用高性能密封材料如聚四氟乙烯或特种橡胶,提升耐温性与抗腐蚀能力,优化填料函设计和阀座结构,减少内漏、外漏风险。定期紧固连接件,及时更换老化密封部件,持续监测泄漏指标,借助超声波检测仪定期扫描阀体,及早发现并修复泄漏点。在高压工况下采用多重密封设计或自紧式填料,培训操作人员正确安装、维护密封元件,降低介质损失和安全风险。

4.3 控制回路校准与响应提升

控制回路校准主要集中在对定位器、传感器和执行机构定期进行校验上。例如,会使用标准信号源测试定位器的响应情况,同时调整PID参数,以此优化控制性能,减少信号滞后和超调现象的发生。响应提升采用的策略包括优化气路设计、尽力减少管路阻力以及提高气源质量等。比如,通过安装过滤器和稳压器使气压保持稳定,或者升级执行机构降低摩擦力。利用仿真手段和现场测试活动,可找出控制回路中的瓶颈并采取相应校正措施^[4]。校准后,阀门的响应时间能从数秒缩短到毫秒级别,使系统动态性能大幅提升。控制回路校准和响应提升一方面提高了调节精度,另一方面也增强了系统的适应性。

4.4 振动抑制与噪声控制措施

振动抑制方面,可采取在阀体安装减振支架或者阻尼器的方式,以此来吸收振动能量,并且要对流道设计予以优化,减少涡流以及空化现象的发生,比如采用多级阀芯结构来降低流体的冲击力。噪声控制涉及使用隔音材料将阀体包裹起来,或者安装消声器,以此来降低噪声的传播,在高压差的应用场景当中,可引入扩散器来减小气流的速度,进而抑制噪声的产生。借助实验分析以及计算机模拟等手段,能够确定振动的来源,并且制定出相应的对策,像是调整阀门的开度,避免出现共振频率的情况,又或者是强化基础的固定,防止出现松动的现象。振动抑制以及噪声控制措施的实施,既能够保护设备的完整性,又能改善工作环境,不过从逻辑层面来讲,结构优化应该是能够永久地解决振动问题的,然而在实际操作当中,由于流量

的变化，可能需要进行动态的调整。

5 结束语

当气动调节阀发生故障之际，针对其故障展开分析以及制定相应的对策，对于工业自动化达成可持续发展的目标来讲，有着不可忽视的重要价值。本文全面且细致地对各类故障予以分类，同时深入剖析其产生根源，从中找出机械故障与控制性能故障之间存在的内在联系。另外还给出了像结构优化、密封改进、校准提升以及振动抑制等一系列较为系统的策略。这些对策可帮着提高阀门自身的可靠性，延长其使用寿命，也能降低维护成本，减少因故障引发的停机风险，给实际工程应用提供实用指导。未来，随着智能监测技术持续进步，气动调节阀在故障预测以及

健康管理方面会更加精准。

〔参考文献〕

- [1]邹春寿.气动调节阀的常见故障及处理对策[J].中国高新科技,2021(21):98-107.
- [2]李传钱.基于数据驱动与本体的气动调节阀故障诊断系统研究[D].四川:西南石油大学,2023.
- [3]牟杨.核电厂气动调节阀动作性能诊断方法和常见故障分析[J].设备管理与维修,2024(21):181-184.
- [4]曹锡超.气动调节阀故障原因分析及常见故障处理对策[J].石油化工技术与经济,2024,40(6):38-42.

作者简介：王青（1993—），毕业于四川化工职业技术学院，生产过程自动化技术专业，仪器仪表研究方向等。