

城镇燃气输配系统中的压力调节与流量控制技术

徐 伟 (萍乡港华燃气有限公司, 江西 萍乡 337244)

摘 要: 随着城镇燃气需求的不断增长, 保障燃气输配系统供给的稳定性和安全性成为关键。传统的调压技术存在响应速度慢、精度低等问题, 难以满足现代燃气输配系统对高效、精准调节的需求。本文介绍了一种基于电控与传统皮膜控制集成的智能调压器, 结合 PID 控制算法与应急切换机制, 实现了气体流量和压力的实时调节。通过引入智能化管理功能, 该调压器能够大幅提升燃气输配管网系统的安全性与稳定性, 并优化资源管理, 降低运营成本。该技术具有高度的自适应性, 能够应对复杂环境下的各种压力调节需求, 为城镇燃气输配系统提供了更高效、更安全的解决方案。

关键词: 燃气输配; 智能调压器; 压力调节; 流量控制; PID 算法; 应急响应

0 引言

城镇燃气输配系统在保障居民生活和工业生产中的重要性日益突出。随着城市化进程加速和用气需求的变化, 燃气输配管网系统面临着更加复杂的调压和流量控制要求。传统的机械调压设备因其响应速度慢、调节精度不足以及缺乏智能化管理功能, 已难以满足现代燃气输配系统的高效运营需求。尤其在气量波动较大或系统出现异常时, 传统设备难以保证稳定和安全的供气。智能化调压器的出现为解决这一问题提供了新的技术路径。

通过集成电控和传统皮膜控制方式, 智能调压器能够实时调整气体流量和压力, 确保燃气输配管网系统稳定运行, 并在紧急情况下迅速响应, 避免事故发生。这种新型设备不仅提高了调节精度, 还优化了能源管理, 有效降低了运营风险, 为城镇燃气输配系统的现代化提供了技术支撑。

1 城镇燃气输配系统中的压力调节与流量控制需求分析

1.1 城镇燃气管网的压力分级与调节需求

城镇燃气输配系统的核心任务是保证不同压力级别下的气体流量稳定与安全。燃气管网通常分为高压、次高压、中压和低压四个主要压力级别, 每一压力区间的气体需要通过调压设备进行精准调节。高压输气管道主要用于远距离输送燃气至各区域, 而次高压和中压管网负责将气体配送至住宅、商业和工业用户, 低压管网则直接连接用户设备^[1]。因此, 调压器在每一压力级别中都扮演着至关重要的角色。不同压力区间的调压需求要求设备能够在不同工作压力范围内进行精确的控制, 避免压力波动对燃气设备的影响, 同时保证系统的高效运行。

1.2 传统调压技术的局限性

传统的气体调压技术主要依赖于机械式自力调节装置, 通常包括皮膜、弹簧和指挥器等部件。这些设备通过气流和机械压力的作用自动调节阀门开度, 从而控制气体流量。然而, 这种调压设备存在多个问题, 首先是响应速度慢, 在压力变化剧烈或管网负荷波动较大的情况下, 调节精度不足, 容易造成供气不稳定。其次, 机械调节设备通常缺乏智能化管理功能, 无法实时根据外部需求或压力变化自动调整, 导致运维管理难度较大。此外, 机械控制装置的易损性较高, 长期使用后可能出现磨损或故障, 影响设备的可靠性与稳定性。

1.3 智能化调压需求的提出

随着燃气管管理技术的不断进步, 对智能化调压设备的需求逐渐增大。现代城镇燃气系统要求能够应对多种复杂环境的压力调节设备, 具备高精度、快速响应、远程控制等功能。为了提高系统的稳定性, 智能调压器采用电控和皮膜控制相结合的方式, 通过电子传感器和控制系统实时监测管网压力并进行精准调节。电控执行机构能够在电力供应正常时快速调整阀门开度, 维持稳定压力; 当遇到断电等紧急情况时, 设备能够自动切换至皮膜控制模式, 保证调节的连续性和稳定性。此类智能化调压设备不仅能够提高调节精度, 还能实现远程监控和自动化管理, 进一步优化了能源的利用效率。

2 基于电控与传统皮膜控制集成的调压器原理

2.1 电控执行机构的调节原理

本发明中的电控执行机构负责通过控制上阀头与阀口之间的开度, 实时调节燃气出口的压力。电控执行机构通过接收到来自控制单元的信号, 精确控制阀

杆的运动,进而调整阀门的开度。其工作原理基于PID(比例-积分-微分)算法进行压力调节。当传感器采集到出口压力值后,控制单元将其与设定值进行比较,计算出误差。控制单元基于误差计算出控制指令,通过电控执行机构调节阀开度,使压力恢复至设定值。假设设定压力为 P_{set} ,实际压力为 P_{actual} ,误差为 $\epsilon = P_{set} - P_{actual}$ 。PID控制算法通过以下公式计算控制量 $u(t)$:

$$u(t) = K_p \cdot \epsilon(t) + K_i \cdot \int_0^t \epsilon(\tau) d\tau + K_d \cdot \frac{d\epsilon(t)}{dt}$$

其中, K_p 为比例增益, K_i 为积分增益, K_d 为微分增益。该算法能够根据实时压力波动调整阀门,保证压力稳定性。

2.2 皮膜执行机构的应急控制原理

在电控部分失效或电力中断的情况下,调压器能够自动切换至传统的皮膜控制模式。皮膜执行机构利用气体压力与弹性膜的变形来调节阀开度。气体通过阀体的压力采样管进入皮膜执行机构,压力作用于膜片上,导致膜片变形并推动阀杆,进而调整下阀头的位置,调节气体的流量和压力。当电控部分无法工作时,电磁离合器解除与电控执行机构的联动,使皮膜执行机构接管调压任务。此时,膜片的变形由气体压力直接控制,通过调节阀口的开度来维持系统压力^[2]。在皮膜控制模式下,调节精度虽不如电控模式,但能够在断电等特殊情况下确保系统继续运行,避免供气中断。

2.3 电磁离合器的无缝切换原理

电磁离合器是电控和皮膜控制切换的关键部件,它能够实现两种控制模式之间的平滑过渡。当电控执行机构工作时,电磁离合器连接电控系统与阀体,确保电控信号的传递和执行。若电控系统出现故障或电力断电,电磁离合器会自动释放,切断电控系统与阀门的连接,使皮膜执行机构接管调节任务。该过程不需要人工干预,且能够在毫秒级别内完成切换,保证系统的可靠性。在切换过程中,电磁离合器的设计保证了机械部件的顺畅联动,避免了电控和皮膜系统之间的冲突或不匹配。该设计大大增强了调压器的灵活性和应急响应能力。

3 一体式智能调压器的结构设计

3.1 调压器主要部件构成

一体式智能调压器的核心结构包括阀体、阀口、上阀头、下阀头、第一阀杆、第二阀杆等关键组件^[3]。

阀体作为调压器的外壳,内部设有阀口,其上方和下方分别安装上阀头与下阀头。上阀头与第一阀杆的一端连接,第一阀杆另一端通过电控执行机构控制阀头开度。下阀头与第二阀杆连接,第二阀杆另一端则与皮膜执行机构连接。围绕第二阀杆安装电磁离合器,它负责在电控系统失效时,实现控制模式的自动切换,保障系统的应急调节功能。此外,阀体内设有多个压力采样管。

入口端的第一压力采样管用于测量进口气体压力,出口端的第二压力采样管和第三压力采样管分别与压力传感器连接,用以监测出口压力和皮膜执行机构的压力信号。电控执行机构、压力传感器、电磁离合器与控制单元电连接,确保系统可以实时调整气体流量和压力,维持设定值稳定。

3.2 控制系统及电池供电设计

本调压器的控制单元是核心大脑,负责根据压力传感器反馈,执行PID控制算法,调节阀开度,保持出口压力稳定。常规供电情况下,控制单元与外接电源连接,确保系统正常运行;若外接电源发生故障,电池单元提供备用电源,保证持续运行。为保护电控元件,控制单元、电池单元和电控执行机构被集成在防爆外壳内,外壳通过过渡支架固定于阀体上,确保结构紧凑和安全。过渡支架内部形成密闭腔体,隔离外部环境,避免电控执行机构与阀体直接接触,保证系统稳定性。防爆控制器外壳上设有输入显示单元,显示工作状态并接受操作输入,便于实时调整和监控系统,符合自动化控制需求,提高操作便利性和安全性。

3.3 皮膜执行机构及相关机械部件

皮膜执行机构是本调压器的重要组成部分,主要用于电控系统失效后的应急控制。它由橡胶感应膜片、感应膜片托、感应平衡腔、调节弹簧和压力调节螺钉组成。当电控执行机构发生故障时,电磁离合器释放,第二阀杆转由皮膜执行机构控制。气体通过压力采样管进入感应平衡腔,施加在橡胶感应膜片上,膜片变形推动阀头调节阀开度,进而调节气体流量和压力。皮膜执行机构与安装件固定连接,提供支持和稳定性,并为电磁离合器的安装提供空腔,简化了生产和安装过程。位置计数器集成于电控执行机构中,用于实时监控阀门位置,确保阀头精确调节,保证气体流量和压力的精准控制。智能切断器作为安全保护装置,能够在压力异常升高时自动切断气流,确保在极端情况

下设备和用户的安全。

此外,调压器还设计了吊耳,安装在防爆控制器外壳顶部,便于吊装安装,提高了设备操作的灵活性和安装效率。整体设计确保了调压器在复杂环境中仍能稳定运行,并具有较高的应急响应能力和安全性。

4 智能调压器的控制系统与应急响应机制

4.1 控制系统的核心功能

智能调压器的控制系统主要由压力传感器、控制单元、显示单元和电池单元组成。压力传感器负责实时采集调压器入口和出口的气体压力数据,并将这些数据传输给控制单元。控制单元通过PID控制算法,计算当前气体压力与设定压力值的偏差,并根据偏差自动调整阀口的开度,确保出口气体压力稳定在预定范围内。显示单元则用于实时显示气体流量、压力和设备运行状态,操作人员可以通过该单元进行参数设定、状态监控及故障排查。控制单元会根据外部信号和传感器数据,不断调整阀门的位置,优化气体流量和压力,确保调压器能够在不同负荷条件下平稳运行。

4.2 应急响应机制与备用电源

智能调压器的应急响应机制能在异常情况下及时采取保护措施。当气体压力超出设定范围或发生故障时,控制系统立即启动智能切断器切断气流,防止事故扩大。智能切断器迅速反应,避免燃气泄漏或爆炸等危险。电池单元作为应急电源,在外部电源断电时提供备用电力,确保调压器基本运行不受影响,保持控制单元和传感器正常工作,继续稳定调节气体压力。此外,调压器配备外部通讯接口,支持与远程监控系统的数据交互,用户可实现远程监控、实时数据采集和故障诊断,即使在复杂或远离操作员的环境中也能确保稳定运行。

5 智能调压器在城镇燃气系统中的应用与效益

5.1 提升供气系统的稳定性与安全性

智能调压器在城镇燃气输配系统中的应用能够有效提高气体输送过程中的稳定性和安全性。传统的燃气调压设备通常存在响应速度慢、调节精度低等问题,而智能调压器通过精确的PID控制算法,实时监控并调整气体压力,确保气体流量和压力的平稳输出。在高峰用气和异常波动期间,智能调压器能自动调节阀门开度,避免气压过高或过低,减少对燃气管网的压力冲击,确保用户端的燃气供应始终处于安全可靠状态。

当系统出现异常时,智能切断器能够迅速响应,

自动切断气源,防止事故的发生。这种高效的自动调节和应急响应能力极大提升了城镇燃气系统的整体安全性,降低了人为干预的风险。

5.2 优化资源管理与降低运营成本

智能调压器的引入不仅提升了燃气系统的安全性,还对资源管理和成本控制起到了积极作用。通过实时监测燃气压力和流量,智能调压器可以精确调整气体供应,避免了燃气浪费。系统通过与远程监控平台的数据交换,能够对管网的运行状态进行实时分析,提前发现潜在的压力不稳或设备故障,提前进行预警和维护,避免了因设备故障而造成的生产停滞或管道损坏,从而降低了维修和应急处理的成本。智能调压器的自适应调节能力使得系统能够根据需求变化灵活调节气流,有效避免了过度供气或气源不足的情况,提高了能源利用效率^[4]。

此外,设备的自动化程度较高,减少了人工巡检和手动操作的需求,降低了人工成本,并提高了运营效率。通过与中央控制系统的联动,能够进一步优化燃气输配网络的运行调度,提升整个系统的资源利用效率,最终实现节能减排和成本节约的双重效益。

6 结语

本发明提出的一体式智能调压器,通过电控与传统皮膜控制技术的有效集成,解决了现有调压器在稳定性、精确性和应急响应能力方面的不足。系统的结构设计紧凑合理,便于安装和维护,同时在实现精确调节的同时,具备在断电或其他突发情况发生时的自动切换功能。该技术的应用大大提高了城镇燃气输配系统的安全性与可靠性,适应了现代化智能调控的需求,具有广阔的市场前景和应用价值。

参考文献:

- [1] 高杰,金鑫,武国兵.城镇燃气输配系统[J].化学工程与装备,2023,(09):141-143.
- [2] 王伟.智能燃气调压装置应用及适应性研究[D].北京建筑大学,2018.
- [3] 倪琨,赵玉梅,刘育斌,等.一体式智能调压器[P].河北省:CN201510199470.X,2017-02-08.
- [4] 郭艳云.城镇燃气管网输配系统安全运行管理探讨[J].化工管理,2018,(06):31-32.

作者简介:

徐伟(1971-),男,湖北人,本科,现有职称:副高,研究方向:城镇燃气。