

燃气管道输送中的压力控制策略

黄 磊（萍乡港华燃气有限公司，江西 萍乡 337244）

摘 要：燃气管道在能源输送中极为关键，其压力控制关乎安全与稳定。本文阐述燃气管道压力控制的必要性，分析压力过高的安全隐患与过低的运行影响，介绍阀门调节、泵站增压、分输压力调节等控制方法，讲解压力控制系统组成与原理、压力设定值确定依据，探讨分输压力控制系统安全性与优化，旨在提升燃气管道压力控制水平。

关键词：燃气管道；压力控制；安全隐患；调节方法；系统优化

0 引言

燃气管道是现代能源输送系统的重要部分，在天然气和液化石油气长距离输送中承担关键功能。管道压力控制极为必要，压力过高会使管道破裂或设备故障，引发泄漏、爆炸等事故，压力过低则影响气体流量与用户需求。其现状包括多种压力控制方法，如阀门调节、泵站增压、分输压力调节等，压力控制系统由压力传感器、控制器等组成并依反馈控制原理工作，压力设定值需综合用户、管道特性与环境因素确定。

1 燃气管道压力控制的必要性与现状分析

1.1 燃气管道压力控制的必要性

燃气管道在现代能源输送系统中承担着至关重要的功能，尤其是在天然气和液化石油气的长距离输送中，管道压力控制直接关系到系统的安全性与稳定性。过高的管道压力可能导致管道破裂或设备故障，产生气体泄漏或爆炸等重大事故，对人员安全和环境造成极大危害。而过低的压力则会导致气体流量不足，影响用户的正常需求，甚至导致管网无法正常运行。为了保证管道输送过程中的安全与稳定，必须通过精确的压力控制系统对管道压力进行实时监控与调节，避免因压力波动引发的事故。因此，压力控制是燃气管道设计和运营中的核心环节，是保障能源安全供应、预防安全隐患、提高输送效率的重要手段。

1.2 燃气管道压力过高的安全隐患

管道内的压力过高是燃气输送过程中的主要安全隐患之一。高压状态下，管道材料及接头的承载能力可能被超过，导致管道破裂或设备损坏。特别是在长输管道系统中，由于管道跨越复杂地形，压力波动较大，容易形成局部超压的情况。当超压现象发生时，如果未能及时采取有效的调节和控制措施，可能引发气体泄漏、爆炸等事故，造成严重的人员伤亡和财产损失。此外，超压还可能导致安全阀的频繁启闭，增

加系统的维护负担，降低管道系统的使用寿命。因此，对于长输管道，必须采取有效的压力控制手段，确保管道压力在安全工作范围内，防止因超压造成的灾难性后果。

1.3 燃气管道压力过低的运行影响

与过高的压力带来安全隐患相对，压力过低同样对燃气管道的正常运行产生不利影响。当管道压力低于设计值时，燃气的流动速度和流量将受到限制，无法满足下游用户的需求，导致燃气供应不稳定，影响正常的生产和生活。此外，低压状态下，管道内的气体可能因流速不足而出现积气现象，导致气体输送效率下降，增加能源浪费。特别是在冬季取暖需求较高的地区，低压状况可能引发大范围的供暖不足问题，影响用户的用气体验，甚至引发设备损坏。因此，保持管道内的压力在设计范围内，不仅对提高输气效率具有重要作用，也能确保用户的正常需求得到满足，防止因低压造成的不稳定运行。

2 燃气输送管道压力控制方法

2.1 阀门调节

阀门调节是最常见的燃气管道压力控制方法之一，主要通过调节阀门开度来控制管道内的压力。根据管道的需求，调节阀可以被设置为自动或手动操作，自动阀门通常结合压力传感器实时监测管道压力，自动调整阀门开度，以保持设定的压力范围。当管道压力超出预定范围时，阀门会自动调整，允许更多或更少的气体通过管道，从而稳定压力水平。对于长输管道和分输管道系统，阀门调节常常配合多种类型的阀门，如调节阀、止回阀和安全切断阀等，用以精确调控压力，并确保系统在正常范围内运行。在调节过程中，阀门的响应速度和调节精度是保证管道稳定性的关键，阀门的设计应具备快速响应和高可靠性，以适应不同流量和压力变化带来的负荷波动。

2.2 泵站增压

泵站增压是另一种常用的燃气管道压力控制方法，特别适用于长距离输送和高压管道系统中。通过泵站对天然气进行加压，可以有效地维持管道的输送压力，克服输送过程中由于摩擦和管道长度造成的压力损失。泵站通常分布在管道的关键节点，通过增压设备调节气体流动的压力，使之保持在适合的工作范围内。增压泵站在需要时会启动，自动检测管道的压力状况并根据设定值调整压力，确保气体流量不受影响。泵站的压力调节功能不仅限于增加压力，还涉及压力波动的调控，防止压力过大或过小造成管道损坏或气体供应中断。与传统的机械增压相比，现代泵站通常采用电动或气动控制系统，通过自动化控制技术提升操作效率，降低人为干预的风险。

2.3 分输压力调节

分输压力调节是针对管道系统中分输环节的压力调控方法，主要通过安装在分输管道上的调压设备来维持稳定的压力。分输管道将燃气从主干管道分配到各个终端用户，压力调节的精确度直接影响到下游用户的用气安全与效率。通常，分输压力控制系统包括安全切断阀、调节阀和监控调节阀等多个组件，配合自动控制系统实现实时调节。安全切断阀用于防止压力过高时造成的系统故障，而调节阀和监控阀则根据实时数据自动调节压力，保证管道内的气体流量稳定。此类系统常配备 PID 控制器，PID 控制器通过精确控制输入信号与实际压力之间的差距，自动调整阀门的开度，从而控制压力波动，确保管道压力始终保持在安全操作范围内。分输压力调节能够有效应对管道不

同区域间的压力差异，保障燃气供应的连续性和可靠性。

3 压力控制系统的组成与工作原理

3.1 压力控制系统的组成

压力控制系统通常由压力传感器、压力控制器、执行机构以及被控对象四个主要部分组成。在燃气管道输送系统中，这些组件共同作用，确保管道内的压力维持在一个安全稳定的范围内。压力传感器是系统的核心部分之一，其作用是实时监测管道内的压力，并将其转换为可供系统处理的电信号或其他形式的信号。通过将传感器测得的压力信号与设定的目标压力值进行比较，系统能够根据误差信号进行调节。压力控制器是整个系统的大脑，负责对传感器输入的压力数据进行分析处理，并根据设定值与实际压力的差异产生控制指令。该指令经过执行机构执行，调节压力调节装置，如阀门或泵的运行状态，改变管道内的气流，从而调整压力。执行机构通常由电动或气动装置组成，它根据控制器的信号进行阀门的开闭、泵速的调节等操作，确保压力变化满足设定要求。在某些复杂系统中，还可能包括增压设备、旁通阀、冷却器等辅助组件，以进一步优化压力控制效果并保证系统的高效运行。

3.2 压力控制系统的工作原理

压力控制系统的工作原理基于反馈控制的基本理论。系统通过压力传感器实时监测被控对象的压力，并将其转换为与设定值比较的信号。当管道内的压力与目标值存在偏差时，控制器会接收到压力传感器反馈的误差信号，并根据设定的调节规则（如 PID 控制）

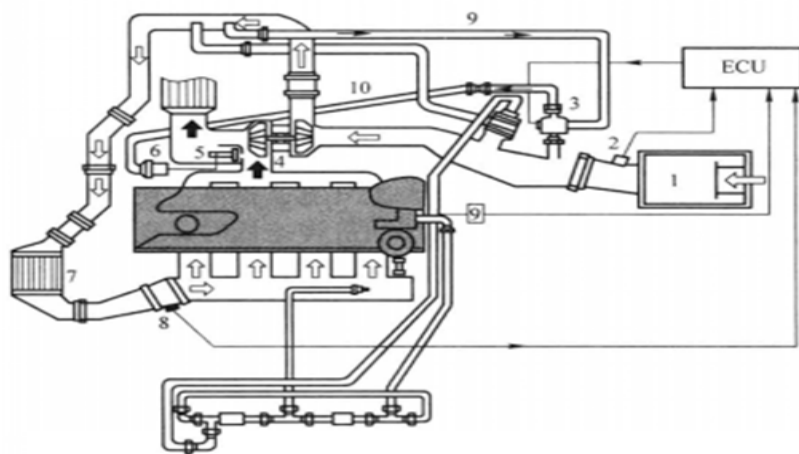


图 1：旁通阀式增压压力控制系统

1- 空气滤清器 2- 空气流量传感器 3- 增压压力控制电磁阀 4- 废气涡轮增压器 5- 旁通阀 6- 驱动气室 7- 中冷器 8- 增压压力传感器 9、10- 高压空气管

产生控制指令。这个指令被送到执行机构,指引调节设备进行相应的动作。在气体输送系统中,调节阀会根据控制器的指令调节开度,增加或减少气流,从而改变管道内的压力。简单的压力控制系统可能通过节流阀来调节气流量,从而实现压力的稳定。较为复杂的系统则可能采用变速泵或调整泵的效率来进行压力调节,特别是在大规模的输送系统中,通过调节泵速来补偿输送过程中因摩擦或管道长度所导致的压力损失。在一些精密的系统中,压力调节不仅限于增减压力,还包括对压力波动的抑制。为了避免系统产生自激振荡,常常对反馈过程中的响应速度进行控制,避免阀门或泵的调节过于急剧,从而防止由于系统过度调节造成的不稳定振荡。此外,在复杂的控制系统中,可能会采用多级压力控制模式,将系统分为多个调节区域,使每个区域的压力均可独立控制,以提高系统的灵活性和精度。

4 压力设定值的确定

4.1 根据用户需求确定压力设定值

压力设定值必须根据用户的实际需求来确定,主要考虑到供气的稳定性与可靠性。用户需求包括气体的流量需求和压力需求,通常情况下,用户对气体供应的压力要求不同。对于工业用户,可能需要较高的供应压力,而对于居民用户,压力要求较低。压力设定值应基于用户需求进行分层设定,确保在最不利情况下,管道内的压力依然能够满足最远端用户的供气需求。根据流量 Q 和管道长度 L ,使用以下公式计算管道内的压力变化:

$$\Delta P = \frac{fLv^2}{2D} \quad (1)$$

其中, ΔP 为压力损失, f 为摩擦因子, L 为管道长度, v 为气体流速, D 为管道直径。通过计算可以确定在最远端用户位置的壓力,并据此设定合理的压力范围,以保证供气的稳定。

4.2 根据管道特性确定压力设定值

管道特性对压力设定值的影响也非常显著。长输管道的压力损失较大,管道内的气流速度、管道直径以及气体的密度等都会对压力波动产生影响。通过管道的计算流体力学模型(CFD),可以分析不同运行条件下的压力分布,帮助优化压力设定值。具体公式为:

$$P = \frac{2fLv^2}{\rho D} \quad (2)$$

其中, P 为管道内的压力, f 为摩擦因子, L 为管

道长度, v 为气流速度, ρ 为气体密度, D 为管道直径。考虑到气体在管道中的流动特性,必须依据这些参数确定适当的压力设定范围。此外,管道内的弯头、阀门等设施也会造成局部压力波动,因此在设计时需要综合考虑这些因素,确保压力设定值能够满足全线管道的稳定性要求。

4.3 考虑环境因素确定压力设定值

环境因素包括气候条件、地理位置以及外部负载等,这些因素对管道压力的稳定性也有重要影响。在寒冷地区,气体的密度会增大,导致管道内压力上升;而在高温地区,气体密度减小,压力可能下降。因此,需要根据不同的环境条件对压力设定值进行调整,确保在极端气候条件下管道系统仍能安全稳定运行。此外,管道跨越不同地理地带时,如山区、城市等,地形变化也会导致压力损失的不同,需要通过精确的压力控制系统对不同区域的压力进行独立调节。通过环境因素的预估和气候数据的分析,可以在设计时预设环境因素对压力的影响系数,从而确保系统的稳定运行。

5 分输压力控制系统的安全性及优化

5.1 系统安全性分析

系统设计需确保在高流量、高负荷情况下,压力不会超过管道的安全承载范围。通过安装压力传感器、调节阀和安全阀等设备,实时监测系统内的压力波动,确保在压力过高时能自动进行调节。针对管道压力超限的情况,可设置阀门自动关闭或减压装置,如低压放散阀。根据标准,天然气输送系统的最大允许工作压力(MAWP)应不超过管道材质的极限承压值,通常不超过管道材料的1.5倍。此外,安全阀的设定值需按照管道系统的设计要求和可能的压力波动进行调整,通常安全阀应设定在管道最大工作压力的1.2倍以内。

5.2 压力调节阀的优化

压力调节阀在分输压力控制系统中发挥着核心作用,其优化直接关系到系统的稳定性与安全性。调节阀的主要功能是根据设定的压力范围自动调节管道中的气体流量,确保压力保持在预定范围内。在设计和选型时,需要根据管道的压力波动特点、流量需求以及气体性质选择合适的调节阀类型与规格。调节阀的压力调节精度应达到 $\pm 5\%$ 以内,以保证高效的压力控制。在优化过程中,可通过调整调节阀的开度响应时间、流量范围以及阀芯结构,减少调节过程中可能出现的滞后现象。压力调节阀的设计还需要考虑环境

温度变化、气体粘度等因素,以确保阀门在不同条件下都能稳定运行。

5.3 系统故障诊断与维护优化

常见的系统故障包括压力传感器失效、阀门堵塞、调节不灵等,这些问题会直接影响系统的压力稳定性。为此,系统中应配备自动故障检测与报警功能,利用智能监控技术对设备运行状态进行实时监测。当压力超标或设备故障发生时,系统能够及时进行报警并自动进行调整。维修与维护过程中,需定期检查压力传感器的精度,清理调节阀内的杂质,确保设备的高效运行。定期对管道进行气体流动性分析,以便调整管道布局,减少管道内的压降,提升系统运行的整体效率。

6 结语

在燃气输送管道的设计和运营过程中,压力控制是保障安全、提高输送效率的核心环节。合理的压力调节不仅能够提高系统的稳定性,还能有效减少事故发生风险。通过不断优化压力控制系统的组成与工作原理,结合先进的自动化技术,燃气管道的安全性和效率得到了显著提升。未来,随着技术的发展和管

道网络的不断完善,燃气输送的压力控制将更加精确、可靠,确保能源安全稳定的供应。

参考文献:

- [1] 刘昊,丁文文.城镇燃气管道泄漏带气抢修与安全防护措施研究[J].石化技术,2024,31(11):378-379.
- [2] 顾亚雄,黄振,曹亚军.基于模糊PID控制的燃气调压系统设计[J].宇航计测技术,2014,34(06):24-28.
- [3] 秦嗣钊,陈敏,卢俊文,等.城镇燃气管道安装巡检常见问题及改进措施[J].焊管,2021,44(12):63-68.
- [4] 王瑞.燃气管道泄漏原因及扩散影响因素分析[J].化工设计通讯,2023(09):164-166.
- [5] 姜文士.城镇燃气管道泄漏事故应急处置失效原因及对策探析[J].现代职业安全,2022(02):24-26.
- [6] 金友平,单克,李云涛,帅健.基于灾害链及复杂网络理论的城镇燃气管道泄漏灾害演化过程分析[J].安全与环境工程,2024(02):34-43.

作者简介:

黄磊(1988—),男,汉,江西萍乡,本科,研究方向:城镇燃气。

