

# 天然气输配系统中压力调节与流量控制的稳定性分析

韩佳林 (广元市天然气有限责任公司, 四川 广元 628017)

**摘要:** 本文聚焦天然气输配系统中压力调节与流量控制的稳定性问题, 系统阐述二者的核心作用及协同运行机制, 剖析影响系统稳定性的各类因素, 并针对性提出优化改进思路。结果表明, 设备适配性与运行状态、控制参数设定与调控精度、系统协同与管网结构及外界扰动是影响稳定性的主要因素。通过优化设备选型与运维管理、精准优化控制参数与调控模式、完善系统协同与管网优化, 同时强化外界扰动防控与应急处置, 可以显著提升输配系统的稳定性。

**关键词:** 天然气输配系统; 压力调节; 流量控制; 运行稳定性; PLC 控制

**中图分类号:** TE832 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 012-0097-03

## Stability Analysis of Pressure Regulation and Flow Control in Natural Gas Transmission and Distribution System

Han Jialin (Guangyuan Natural Gas Co., Ltd., Guangyuan Sichuan 628017, China)

**Abstract:** This study focuses on the stability of pressure regulation and flow control in natural gas transmission and distribution systems. It systematically elucidates the core functions and collaborative operation mechanisms of these two components, analyzes various factors affecting system stability, and proposes targeted optimization strategies. The results indicate that equipment compatibility and operational status, control parameter settings and regulation accuracy, system coordination and pipeline structure, as well as external disturbances are the primary factors influencing stability. By optimizing equipment selection and maintenance management, precisely adjusting control parameters and regulation modes, enhancing system coordination and pipeline optimization, and strengthening the prevention and control of external disturbances along with emergency response measures, the stability of transmission and distribution systems can be significantly improved.

**Keywords:** natural gas transmission and distribution system; pressure regulation; flow control; operational stability; PLC control

天然气输配系统压力调节与流量控制的核心作用是将天然气的压力、流量精准控制在标准范围内, 以满足不同场景、不同用户的用气需求。本文旨在进行天然气输配系统中压力调节与流量控制的稳定性分析, 为天然气输配系统的安全、平稳运行提供理论与实践参考。

### 1 天然气输配系统压力调节与流量控制的核心机制

#### 1.1 压力调节的核心原理与实现方式

天然气输配系统压力调节核心是靠专用设备把上游气源的高压天然气逐级减压至下游管网和用户需要的压力水平。同时保持压力稳定, 避免出现压力过高或过低的情况。天然气输配系统压力调节的基本逻辑是靠压力反馈和动态平衡——监测部件实时检测管道里的压力变化, 把信号传给控制器, 控制器再驱动执行机构来调整阀门开度, 从而实现精确的压力控制<sup>[1]</sup>。

压力调节的控制方式分为 PID 手动控制和 PID 自动控制。不管哪种模式, 都要在调节阀处于远程控制、没有故障的状态下才能起作用。如果选用 PID 自动控制, 一般可以选择压力调节模式——操作人员只要在

人机界面上输入目标压力值, PLC 控制器就会根据出口的实际压力反馈, 自动调整阀门开度。这个时候, 流量调节会起到限流保护的作用, 防止流量太大损坏设备。

#### 1.2 流量控制的核心逻辑与执行路径

流量控制的关键是实现天然气供需平衡。既要满足下游用户的最高用气需求, 也要考虑到上游的供气能力和调度要求。同时还需避免流量太大损坏计量设备。天然气流量一般以标准条件下的体积流量来计量。管道中天然气的压力降和流量大致成正比——也就是说, 在供气条件相同的情况下, 流量越大, 压力降就越大。所以流量控制需要和压力调节配合进行<sup>[2]</sup>。

流量调节的控制模式与压力调节一致, 可采用 PID 手动或自动控制。在自动控制模式下, 操作人员人机界面输入流量设定值, PLC 控制器根据流量反馈值对阀位开度进行自动调控, 此时高压保护调节、低压保护调节起限压保护作用, 避免压力超出安全范围。当流量反馈值超过流量保护设定值时, 系统会在规定时间内自动从压力调节切换至保护流量调节, 确保系统安全。

### 1.3 压力调节与流量控制的协同关系

压力变化会直接影响流量分配，管道内压力升高时，天然气流速加快，流量随之增加；压力降低时，流速减慢，流量随之减少，反之，流量的变化也会导致管道压力发生波动。由于压力与流量之间没有一一对应的关系，无法同时对两者进行精准控制，因此需根据不同工况设定优先控制参数。正常运行时，可根据下游需求选择压力优先或流量优先模式，通过控制器的联动调控，维持两者的动态平衡。压力调节的核心目标是保障下游管道与设备的安全，流量控制的核心目标是优化气量调度与保护计量设备。

## 2 影响天然气输配系统压力调节与流量控制稳定性的关键因素

### 2.1 设备适配性与运行状态

设备适配性是影响稳定性的基础因素，核心设备的类型选择、规格参数与输配系统的工况需求不匹配，会直接导致调节精度下降、响应滞后等问题。调压器的选型需结合管网压力等级与流量需求，不同类型的调压器适用场景不同，若选型不当，会导致压力波动幅度增大；流量计的精度与响应速度不足，会导致流量数据采集偏差<sup>[3]</sup>。

设备运行状态对稳定性的影响同样显著，随着运行时间的延长，设备部件会出现磨损、老化、结垢等问题，导致调压器阀瓣卡阻、调节阀开度调节不精准、传感器数据漂移等现象。安全附件的运行状态也至关重要，紧急切断阀、放散阀等附件若出现故障，无法在压力或流量异常时及时启动保护功能，会导致异常情况扩大，破坏系统稳定性。同时，设备的维护保养不到位，会加速部件老化，缩短设备使用寿命，降低压力调节与流量控制的稳定性。

### 2.2 控制参数设定与调控精度

控制参数的设定，直接决定了压力调节和流量控制的精准度。系统核心控制参数主要包含压力设定值、流量设定值、PID 调节参数，以及各类保护阈值，一旦这些参数设置不合理，就容易出现调节过度或调节不到位的情况，导致系统运行状态不稳定。压力设定值需要与下游管道、设备的设计压力相匹配；流量设定值则要综合考量上游供气能力和下游实际需求，无论是设定过高还是过低，都可能引发压力偏高、压力不足或是流量失衡的问题。PID 参数的优化是提升控制精度的关键，比例系数、积分时间和微分时间的取值，会直接影响控制器的响应速度与调节效果<sup>[4]</sup>。若参数设置不当，系统极易出现超调、振荡或是响应滞后的问题，比如比例系数过大，就会造成调节过量，让压力、流量出现反复波动。保护阈值的设置同样会

影响系统稳定性，流量保护值、高压保护值、低压保护值，都需要结合系统实际运行情况合理设定。阈值范围设置过宽，无法及时发现系统异常；阈值设置过严苛，则会让系统频繁切换控制模式、反复触发保护机制，进而影响正常供气。

### 2.3 系统协同与管网结构

输配系统的协同效率是影响稳定性的重要因素，压力调节系统、流量控制系统与管网系统、监测系统的协同配合不足，会导致信息传输滞后、调控不同步，引发系统波动。监测系统无法及时采集压力、流量数据，会导致控制器无法做出精准决策；控制器与执行机构的联动不顺畅，会导致调节指令无法及时执行，影响调控效果。管网结构的合理性也会影响压力与流量的稳定调控，管网布局、管径大小、管道长度等参数与压力降、流量分配密切相关。管网布局不合理，如采用枝状管网，会导致单一管线故障时压力损失过大，影响下游供气稳定；管径选择不当，会导致管道内流速过快或过慢，引发压力波动；管道长度过长，会导致压力降过大，增加调节难度。此外，调压系统与过滤系统的协同不足，会导致天然气中的杂质进入调压器、调节阀等设备，造成部件磨损或卡阻，影响调节精度；智慧监测与调压联动不及时，无法实现预测性调节，也会降低系统的抗扰动能力。

### 2.4 外界扰动因素

外界扰动主要包括气源压力波动、下游用气负荷变化、环境因素影响等。气源压力波动会直接传递至输配系统，导致上游压力突变，若调节系统响应不及时，会引发下游压力与流量波动；下游用气负荷的动态变化，会导致流量需求发生波动，若流量控制无法及时适配，会导致压力失衡。环境因素的影响主要体现在温度、湿度、气压等方面，温度变化会导致天然气体积膨胀或收缩，影响管道内压力与流量；低温环境可能导致设备部件冻堵，影响设备正常运行；湿度过高会导致设备腐蚀，缩短设备使用寿命，间接影响调控稳定性。

## 3 提升天然气输配系统压力调节与流量控制稳定性的优化策略

### 3.1 优化设备选型与运维管理

结合天然气输配系统的压力等级、流量需求及实际工况，科学选用核心设备，优先挑选调节精度高、响应速度快、运行稳定性强的产品，比如间接作用式调压器更适配中高压管网，轴流式调压器则适合大流量场景，流量计要选精度高、抗干扰能力强的类型来保障流量数据采集精准，安全附件也优先选用关断速度快、可靠性高的，进一步提升系统安全防护能力；

同时燃气公司还要强化设备运维管理,建立完善的维护保养机制,定期对调压器、调节阀、传感器等设备进行检查、清洁、校准与维修,及时更换磨损、老化的零部件,避免因设备故障影响整个调控系统稳定运行,此外也要定期开展管道巡检,排查泄漏、腐蚀等安全隐患,确保管道连接严密、运行安全可靠,按时完成设备校准工作,保证压力、流量数据采集准确,让调节指令能够有效执行。

### 3.2 精准优化控制参数与调控模式

结合天然气输配系统实际运行工况,燃气公司要精准设置各项控制参数,重点做好PID参数优化,通过多轮试验与现场调试,精细化整定PID比例系数、积分时间和微分时间,避免系统出现超调、振荡或响应滞后等问题,同时根据下游用户用气需求及上游供气能力,实时调整压力、流量设定值,保证参数匹配系统运行要求,提升整体控制精度;与此同时,燃气公司还要优化系统控制模式,采用PID自动控制为主、手动控制为辅的方式来提高系统自动化运行水平,结合系统安全标准与实际工况完善保护阈值设置,合理设定流量保护、高压保护及低压保护阈值,确保异常情况能够及时发现、及时处理,同时建立控制参数动态校准机制,根据季节变化、用气负荷波动及时调整参数,始终保持最优调控效果,此外燃气公司还可引入智能优化算法,借助大数据与机器学习技术深度分析运行数据,预测流量、压力变化趋势,通过提前调整阀门开度实现预测性调节,减少系统波动,进一步提升控制稳定性。

### 3.3 完善系统协同与管网优化

为提升天然气输配系统整体协同效率,燃气公司需确保监测系统、控制器、执行机构与安全附件之间信息传递顺畅、调控步调统一,同时优化管网结构设计,强化各系统间的协同配合。具体而言,燃气公司要优化监测布点方案,适当增加监测点位,让数据采集更全面、响应更及时,同时采用卡尔曼滤波算法对原始数据进行降噪处理,剔除干扰噪声,保障数据真实可靠,在此基础上强化控制器与执行机构的联动效果,缩短指令执行时长,提升系统响应速度;管网结构上则采用“中压成环、低压成网”的布局模式,增强管网抗干扰能力与供气稳定性,即便某条管线出现故障,也可通过其他管线实现气源补充,减少压力损失与流量波动,同时结合实际流量、管道长度合理确定管径,通过优化设计降低压力衰减幅度,对老旧管网做到应改尽改,减少管道腐蚀、结垢对压力和流量调控的影响<sup>[5]</sup>。除此之外,燃气公司还要加强调压系统与过滤系统的协同配合,采用粗过滤与精过滤组

合的方式清除天然气中的杂质,避免设备出现卡顿、磨损等问题,同时推进智慧监测与调压联动,依托SCADA或PLC系统实现压力、流量数据的实时监测与智能调控,全面提升系统协同运行效率。

### 3.4 强化外界扰动防控与应急处置

为有效缓解气源压力波动带来的影响,燃气公司应建立气源压力实时监测机制,动态跟踪上游气源压力变化情况,通过提前调整系统运行参数,缓冲气源波动对输配管网的冲击。同时加强与上游气源单位的沟通协调,及时掌握气源调度信息,提前做好调控部署,降低压力突变带来的运行风险。针对下游用气负荷波动问题,燃气公司需建立完善的用气负荷预测机制,结合用户用气类型、季节变化等关键因素,精准预判用气负荷变化趋势,提前优化流量分配方案,确保天然气输配系统始终保持供需平衡、稳定运行。

强化环境因素防控,针对低温、高温、高湿度这种极端情况,做好设备保温、防腐、防潮工作,避免设备出现冻堵、腐蚀这些问题。还要定期检查环境对设备运行的影响,及时采取措施,保证设备正常运转。另外,建立一套突发情况的应急处置机制。比如管道泄漏、设备故障这些紧急状况,要提前制定好详细的应急预案,明确处理流程和责任分工,把应急设备和物资都备齐,提高应急响应能力。

## 4 结论

天然气输配系统中压力调节与流量控制的稳定运行,是保障管网安全供气、实现供需精准匹配的核心支撑。二者相互耦合、协同调控的特性,决定了系统稳定性需从机制、设备、参数、管网及外部扰动等多维度统筹把控。通过优化设备选型与运维、精准调控参数、完善系统协同、强化扰动防控,可有效提升调节精度与抗干扰能力。未来依托智能调控与数字化技术,持续深化系统优化,必将进一步筑牢天然气输配安全防线,为高效、稳定、可持续的燃气供应提供坚实保障。

### 参考文献:

- [1] 宫敬. 能源互联网中的天然气管网作用及其运行模式探讨[J]. 油气储运, 2022, 41(6): 702-711.
- [2] 常宏岗, 周代兵, 黄敏, 等. 中国天然气管网特征与计量要求[J]. 天然气工业, 2025, 45(03): 36-45.
- [3] 万小芸, 张永锋, 刘亭. 天然气输送过程中的压力调节与流量控制技术[J]. 化学工程与装备, 2025(4): 90-92.
- [4] 高正宪. 天然气计量输差控制及分线计量关键技术与应用[J]. 科技成果管理与研究, 2022(1): 85-87.
- [5] 王佑涛, 王浩. 天然气场站流量调节阀技术改造分析及应用[J]. 阀门, 2023(1): 47-50.