

# 天然气管道自动分输控制系统研究

郭贤超

四川科宏石油天然气工程有限公司, 四川 成都 610000

**摘要:** 随着天然气需求的增长, 管道自动分输控制系统的研究愈发重要。本文依据燃气消费特征差异, 将终端用户划分为持续供气调峰型、持续供气平稳型、可间断调峰型、可间断平稳型以及小型用户五种类型, 系统集成了负荷波动系数法、恒压调节法、定量截断法以及余量均衡法等多元化智能分输调控策略, 构建了完善的自动分输控制体系。通过不同控制算法的组合应用, 实现了对各类用户用气的精准调控, 提高了天然气输配系统的稳定性与计量精度, 为天然气的高效、安全输配提供了有力保障。

**关键词:** 天然气管道; 自动分输控制系统; 用户分类; 控制算法

## 引言

在天然气产业蓬勃发展的当下, 天然气的输配效率与精准度成为行业关注的焦点。随着天然气用户数量的增多以及用气需求的多样化, 传统的分输控制方式已难以满足实际需求。不同用户因生产工艺、用气习惯等因素, 对天然气的供气连续性、压力稳定性等有着不同要求, 通过构建智能、高效的自动分输控制体系, 能够实现对各类用户用气的精准调控, 提高天然气输配系统的稳定性与可靠性, 保障用户的正常用气需求, 有助于提升天然气企业的运营管理水平, 推动天然气行业的可持续发展。

## 1 分输用户类型及需求

根据燃气消费特征差异, 可将终端用户划分为五种类型: 持续供气调峰型、持续供气平稳型、可间断调峰型、可间断平稳型以及小型用户。其中, 持续供气调峰型用户以居民用户为主, 其用气量呈现昼夜波动特征, 日间用气高峰与夜间低谷差异明显, 且缺乏储气调峰能力; 持续供气平稳型用户主要为连续生产的工业企业, 其生产工艺要求燃气供应保持稳定, 用气量基本维持恒定水平<sup>[1]</sup>; 可间断调峰型用户以 CNG 加气站为代表, 其运行工况变化导致用气量波动明显, 且在非运营时段完全停止

用气; 可间断平稳型用户包括具备调峰能力的燃气电厂及部分日间生产企业, 这类用户虽具有储气调峰能力, 但实际用气量波动幅度较小; 小型用户则界定为日均用气量低于  $2.0 \times 10^4 \text{m}^3$  的用户群体, 其用气持续时间相对较长。

## 2 自动分输控制方法

依据用户分类特征及用气行为分析, 系统集成了多元化的智能分输调控策略, 构建了完善的自动分输控制体系。该体系主要包含四种核心控制算法: 负荷波动系数法、恒压调节法、定量截断法以及余量均衡法, 各类用户适用的控制方案详见表 1 所示。针对不同用气特性的用户群体, 系统采取差异化的控制策略: 民用及加气站用户因具备供气中断特性, 采用定量截断法进行调控; 常规工业用户受压力限制且需持续供气, 则选用负荷波动系数法; 对于连续性要求严格的工业用户, 实施余量均衡法或恒压调节法; 间歇性用户需保障不间断供气时, 优先采用恒压调节法; 综合型用户仅需确保供气连续性而无压力限制要求时, 可选择余量均衡控制法或恒压调节法进行管理<sup>[2]</sup>。

表 1 自动分输控制方法选取依据

自动分输方法	用户特点
--------	------

不均匀系数法	需要连续供气且存在压力限制
恒压控制法	需要连续供气
到量停输法	可中断供气或不存在压力限制
剩余平均法	不存在压力限制或需要连续供气

### 3 自动分输控制逻辑

#### 3.1 不均匀系数法

采用时间分段法对用户用气行为进行分析,基于用户历史一周的用气数据特征,运用逻辑运算模型计算各时段的气量分配比例及用气波动系数。在具体实施过程中,系统于每个时段初始节点,结合当日总供气计划与当前时段的不均匀系数,动态生成该时段的气量分配方案,并通过智能流量调节装置实现精准控制。当日供气任务执行完毕后,系统将根据最新采集的周用气数据特征,重新优化各时段的气量分配参数及波动系数。

#### 3.2 恒压控制法

恒压控制技术特别适用于对供气连续性要求较高且需要维持稳定压力的应用场景,该控制模式下,系统依据终端用户的压力需求进行持续供气,确保压力参数保持恒定<sup>[3]</sup>。在工艺流程中,流量调节阀保持常开状态,仅作为通道使用,而压力调节功能则由专用调压阀完成。当用户实际用气量接近预设分配量的99.8%临界值时,系统仍能维持原有压力水平不间断供气,此时控制权完全交由用户自主调节,自动控制系统进入被动监测状态。

#### 3.3 剩余平均法

在天然气输配系统中应用剩余平均法时,需确保终端用户的用气负荷保持相对平稳,且对管网压力参数无特殊要求,该方法将24小时划分为若干时段,在每时段初始节点,基于当前气源分配总量与实际消耗量的差值计算剩余气量,进而确定该时段的标准供气量,并

通过智能阀门系统实现流量精准调控。当日输配作业结束后,需依据次日计划分配总量重新执行气量均衡计算流程。

#### 3.4 到量停输法

在天然气输配系统中,常规控制策略主要包括不均匀系数法、剩余平均法以及恒压控制法,这三种方法在应用过程中存在相互制约关系,难以实现并行或组合使用。到量停输法则具有更高的灵活性,既可单独实施,也能与其他控制方式配合使用。该方法主要面向可中断供气的用户群体,通过实时监测累计供气量实现控制功能。当监测数据显示累计供气量达到当日分配总量的99.8%时,系统将触发供气量预警机制。若此时到量停输功能处于激活状态,系统将自动切断气源并发出警报;反之,系统将维持原有控制模式运行。

#### 3.5 偏差调校控制逻辑

在天然气实际输送量与用户需求出现偏离时,系统将自动触发误差补偿程序:若供需偏差率低于20%,则维持最低输送压力确保稳定供气;当偏差率突破20%阈值时,系统将自动切换至最大输送压力运行模式。系统在每个计算周期初始时刻进行供需量差值评估,若满足预设条件即终止修正流程,否则将在当前周期内持续执行偏差调整操作。

#### 3.6 低流量保护控制逻辑

该控制算法能够提升天然气输配系统的计量性能,可与不均匀系数法、恒压控制法、剩余平均法及到量停输法等现有技术形成互补。在低流量工况下,流量测量设备的精度会明显下降,此时需要激活流量保护程序。当系统监测到天然气流量连续5分钟低于预设临界值时,将按照既定控制逻辑自动关闭调节阀;待管网压力回落至安全阈值后,调节阀将自动恢复工作状态,保证了供气流量的稳定性,有效提高了计量准确性。

### 3.7 压力超限控制逻辑

该逻辑架构可兼容整合不均匀系数法、恒压控制法、剩余平均法及到量停输法等多种现有控制方法。在系统设计阶段，需要基于用户实际用气特征与需求参数，预先设定系统运行压力的阈值区间。当系统运行压力处于预设的正常工作范围内时，系统将优先采用流量调节机制；而当供气压力超出设定的上限或下限阈值时，控制系统将自动切换为压力调节模式，以此保障供气系统的运行稳定性。

## 4 技术方案

### 4.1 故障保护

在日指定自动分输系统的运行过程中，系统需具备无扰动切换机制和故障安全保护功能。当系统处于自动分输模式时，站控系统将持续监测运行参数、通信链路状态及数据完整性，一旦检测到异常情况或系统故障，将立即终止自动分输操作，并以当前实测参数作为基准值，同时触发相应的告警信号。

### 4.2 自动分输控制方法

在天然气输配系统运行过程中，各分输用户可根据实际调控需求，在调控中心或站控系统界面灵活选择手动或自动控制模式。当启用自动分输控制功能时，系统需针对四种用户类型，分别采用差异化的控制策略：依据用气波动特性的不均匀系数法、达到预设输气量即停止的到量停输法、维持管网压力恒定的恒压控制法以及按剩余气量平均分配的剩余平均法，以实现精准的日指定输气量控制，站场 PLC 控制系统需具备不同自动分输模式的无缝切换功能模块。

#### (1) 不均匀系数法

针对具有连续供气要求且对配气压力有特殊需求的用户群体，系统采用基于综合权重的智能分输调控策略。在流量调控为主、压力调节为辅的不均匀系数控制模式下，系统设置了四种辅助控制机制：压力阈值保护、定量停

输保护、最小流量保障以及需求偏差修正，以应对用户端压力异常、计划输量完成、最低运行流量限制及实际用气量与计划值偏离等工况。

#### ① 不均匀系数及流量计算

采纳时间段分划策略（默认分为 12 个时段，且该数值可调整），依托 M 天内（默认为 7 天，但可根据实际情况调整）的用气历史数据，通过对各时间段输气量占比的波动性指标进行分析，确定该时段的输气量配置值，该值由“日预定量乘以该时段波动性指标”得出。系统在每一时间段开启之前，将日总输气量、已输送的气体量以及波动性指标作为综合考虑因素，进行该时段的输气分配值和瞬时流量设定值的动态计算，进而实施流量调控。调控过程中需维持出口压力在既定范围内，若压力值超出限值，则激活压力限值控制程序。每完成一个时间段的输气作业，系统自动调整剩余供气量（日预定量减去累计输送量），并基于波动性指标重新核算下一个时间段的输气参数，以此循环直至日内的所有时间段输气任务完毕。在日最后时间段结束后，系统保持既有的运行状态，等待接收到新的日预定量信息，随后重新估算偏差率和波动性指标等参数，并启动次日的自动分输作业流程。

#### ② 压力超限控制

在天然气输送过程中，站场采用非均衡系数法进行输气作业时主要运行于流量调节工况。当实际输气量与用户需求量存在差异时，会导致出口压力产生明显波动。为确保输送过程的安全稳定运行，系统增设了压力限值控制机制，该自动分输系统可配置双重压力阈值参数，包括分输压力下限值和上限值。具体控制策略为：在流量调节模式下，依据工程设计规范及商业协议要求设定压力上下限。当系统压力处于设定范围内时维持流量调节模式；若压力触及预设阈值，则自动切换至压力调节模式；待压力恢复至正常区间后，系统将重新启用流

量调节模式<sup>[4]</sup>。

### ③低流量保护

在天然气自动分输系统的运行过程中，若监测到瞬时流量持续低于预设最低流量阈值（默认设置为 300 秒），系统将自动执行关阀程序，按照先调压阀后控制阀的顺序切断供气管路；当系统检测到供气压力低于预设压力下限值（PL）时，则会按照先控制阀后调压阀的顺序重新开启管路阀门，恢复日计划输气作业。上述控制流程的具体逻辑关系详见图 1 所示。

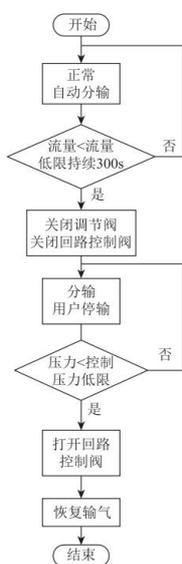


图 1 低流量保护控制逻辑图

### ④其他辅助逻辑

基于时间序列的输气量动态分配方案：采用可配置的时段划分机制，将 24 小时划分为 N 个时间区间（最小时间单位为 1 小时），操作人员可通过人机交互界面灵活设定时段节点。针对输送距离超过 5 公里的用户端，需实施管道容积效应补偿算法，消除管存气量对计量数据的干扰，从而精确获取终端用户的用气特征曲线。在站控系统接收调控中心传输的日输气计划指令后，系统自动执行以下操作流程：生成分输量更新指令；将计划量传输至自动分输模块；将数据暂存至缓冲寄存器；清空指令接收缓存区。当调控中心重新下达输气计划时，

系统将重复执行上述指令更新流程。

### (2) 到量停输法

针对可中断分输用户，建议采用基于累计流量监测的自动停输控制策略。系统运行期间，在维持恒定设定压力供气的同时，需配置流量保护及定量停输功能，其控制流程具体表现为：在供气周期启动阶段，若检测到用户端压力低于预设阈值 PL，则启动供气程序。在未完成当日输气任务时，系统维持恒压供气状态，一旦检测到瞬时流量在 300s 内持续低于设定最低流量阈值，系统将依照预设顺序先关闭调压阀，随后依次关闭控制阀。在累积输气量未达到当日计划量的 99%且供气压力低于预设的 PL 阈值的情况下，系统将反序启动阀门开启操作，优先开启控制阀。当当日输气量达到计划量的 95%时，预警系统将被激活。完成全部 100%的输气量后，系统将触发完成警报，并依据“停输许可”参数的设定执行相应的操作：若许可参数值为真，系统将终止供气并发出停输警报；若许可参数值为假，系统将维持最低供气压力以保持持续供气状态。停输后若用户端压力低于最低要求值，系统将重新启动并保持最低压力供气状态。如图 2 所示。

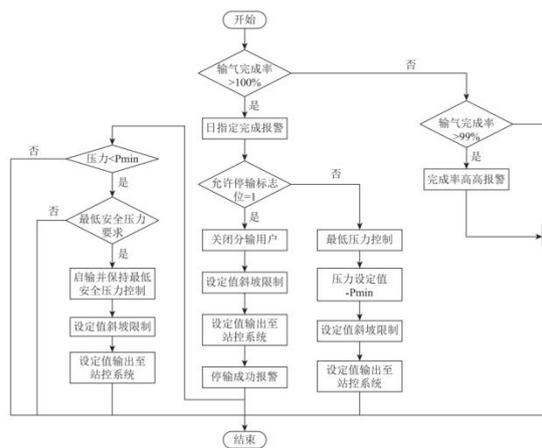


图 2 到量停输控制逻辑图

### (3) 恒压控制法

针对不可中断供气的用户群体，系统采用恒压自动分输控制策略。在常规运行状态下，

各支路管道控制球阀均处于全开状态,主用与备用支路均实施压力调节机制<sup>[5]</sup>,主用支路的工作压力根据实际需求设定,而备用支路则维持最低保障压力。当主用支路发生故障关闭导致出口压力低于预设下限时,备用支路立即启动供气,确保系统维持在最低保障压力水平,从而有效保障用户供气的连续性,避免因支路切换或阀门动作延迟导致的供气中断现象。

#### (4) 剩余平均法

剩余平均分配法主要适用于用气需求相对稳定且不受压力约束的用户群体。该方法的核心在于将未完成供气量(日计划总量减去已输送量)均摊至剩余时段。各时段的流量设定值 $Q$ (小时流量)可通过公式 $Q=(日计划总量-已输送量)/剩余时段数$ 计算得出。从本质上来看,剩余平均分配法属于不均匀系数分配法的一种特殊情形,其特征表现为各时段分配系数保持恒定,该方法仍保留了流量保护、压力阈值管控、定量停输及偏差修正等辅助调控功能,其运行机制与不均匀系数分配法完全一致。

## 结论

综上所述,本文针对天然气管道自动分输控制系统展开深入探讨。依据燃气消费特征差异划分用户类型,并基于此构建了包含负荷波动系数法、恒压调节法、定量截断法以及余量均衡法等核心控制算法的自动分输控制体系。各控制算法针对不同用户群体特点,实现了精准的分输控制,多种控制逻辑如偏差调校、低流量保护、压力超限控制等的协同应用,进一步优化了系统性能,提高了天然气输配系统的计量精度与稳定性,技术方案中故障保护机制与多种自动分输控制方法的结合,保障了系统在不同工况下的可靠运行。通过分析可知,该自动分输控制系统能够有效应对各类用户的用气需求,提高天然气输配效率,降低运营风险,为天然气行业的高效、安全发展提供了坚实的技术支撑,具有广阔的应用前景与推广价值。

## 参考文献

- [1]曹永乐,王浩,王海龙.西气东输天然气用户分输自动控制技术研究与分析[J].化工自动化及仪表,2020,47(03):231-236.
- [2]周湃,姜希彤,陆津津,高杉,李国军.天然气管道分输站场调压系统调节方法的改进[J].油气储运,2018,37(3):356-360.
- [3]翟家方.天然气管道自动分输系统的控制与应用研究[D].沈阳:沈阳化工大学,2021.66-67
- [4]唐文义,屈宝塘,张贤中,等.天然气管道站场自动分输系统改造设计方案[J].油气储运,2024,43(06):675-682.
- [5]葛云鹏,闫楠,寇睫敏,等.天然气长输管道自动分输技术现状及发展方向探讨[J].当代化工研究,2023,(10):6-8.