

自控系统在天然气场站智能化改造中的关键技术与实践

郭 奎（新疆新捷能源有限公司博州城市燃气分公司，新疆 博尔塔拉 833400）

摘要：伴随着天然气行业的不断发展，实现天然气场站的智能化改造有利于提高场站的运营效率及场站的安全。文章以某天然气场站智能化改造项目为案例，解析自控系统在其中的关键技术与实践应用。实际应用效果表明，自控系统的引入显著提升了场站的智能化水平，不仅能降低运营成本，而且还能增强天然气场站安全保障能力，为天然气场站稳定运营奠定了扎实基础。

关键词：天然气场站；智能化改造；自控系统；关键技术

中图分类号：TE974

文献标识码：A

文章编号：1674-5167(2025)029-0100-03

Key technologies and practices of automatic control system in intelligent transformation of natural gas field station

Guo Kui(Xinjiang Xinjie Energy Co., LTD. Bozhou city gas branch Bortala Mongolian Autonomous Prefecture, Xinjiang Uygur Autonomous Region 833400)

Abstract: With the continuous development of the natural gas industry, intelligent transformation of gas field stations significantly enhances operational efficiency and safety. This paper analyzes the key technologies and practical applications of automation systems in a real-world gas field station renovation project. The implementation results demonstrate that the adoption of automated control systems has substantially improved the station's intelligent capabilities, not only reducing operational costs but also strengthening safety assurance measures. These advancements have established a solid foundation for stable gas field station operations.

Key words: natural gas station; intelligent transformation; automatic control system; key technology

天然气作为一种清洁、高效的能源，在能源结构占比非常重要的地位。天然气场站在气体储存、传输和分配属于重要的关键节点，通过将自控系统运用到实践当中能够切实提升系统的自动化，能够确保天然气场站功能实现智能化控制。

1 天然气场站智能化改造项目背景

某天然气场站负责为附近城市输送天然气，但原有系统存在设备老化、自动化水平低等问题，大量依赖人工操作。加之既有的系统数据采集和传输技术落后，无法实时获取场站运行数据，影响调度准确性与及时性。另外，原有系统中缺乏有效安全预警系统，对安全隐患不能及时预警，存在较大安全隐患。为改善这些问题、提升场站智能化程度，该场站启动智能化改造项目，将先进自控系统融入其中，实现场站自动化与智能化运行。

2 自控系统关键技术

2.1 数据采集与传输技术

2.1.1 传感器选型与布置

一般情况下，天然气场站要采集参数多以压力、温度、流量、液位、可燃气体浓度等参数为主。因此，在实践的过程中，需在保证数据准确可靠的前提下，根据不同参数的不同特性及测量要求选取不同的高精度传感器。比如，在选择压力传感器时，本次改造工程选用的是测量精度高的压力传感器，精度达到

± 0.1%FS；而在选择可燃气体浓度检测时，则采用的是催化燃烧式传感器，能够对低于爆炸下限值浓度范围内的可燃气体进行精准测定。传感器布置的过程中，按照全、重点布置的原则，将各种类型的传感器分别布置在压缩机、调压阀、储罐设备的重点位置，实施设备运行状况的实时监测^[1]。

2.1.2 数据传输网络构建

为了实现数据的快、稳传输，建立有线和无线结合的数据传输网络。在站内使用工业以太网进行传输，其优点是传输速度快、稳定、抗干扰性强，可以适应大量的实时数据传输。对于偏远站点或移动设备不便布线的场所，可采用 Wi-Fi、蓝牙、LoRa 等无线传输方式，其中应用最广的是 LoRa 技术。凭借低功耗、长距离的优势，LoRa 技术在本场站的无线数据传输中得到广泛应用，有效实现了偏远地区的数据传输。同时，采用加密传输技术对传输数据进行加解密操作，保证数据安全，防止信息被窃取和篡改，并且运用防火墙、入侵检测系统保护网内数据，及时检测攻击行为与进程，找出潜在漏洞。

2.2 智能控制算法

2.2.1 基于模型预测控制（MPC）的调压控制

调压是天然气场站中重要的工艺过程，其控制精度直接影响到天然气的输供气质量以及使用安全性。传统的调压控制方法大多无法应对较为复杂的工况环

境，控制的效果不佳。采用基于模型预测控制 (MPC) 的方法实现天然气场站的调压控制。

MPC 算法是基于系统的动力学模型来进行预测，得到预测值以后对比目标值，再调节输入值来实现最优的控制输出。在实际生产中运用 MPC 算法对天然气调压过程进行控制时，在满足压力变化特性及上下游流量波动影响的基础上建立如下状态空间模型。

$$\begin{cases} x_{k+1} = Ax_k + Bu_k + w_k \\ y_k = Cx_k + v_k \end{cases}$$

其中， x_k 为系统状态变量，包括压力、流量等； u_k 为控制输入，即调压阀的开度； y_k 为系统的输出，主要为调压后的压力； A 、 B 、 C 为系统矩阵； w_k 和 v_k 分别为过程噪声和测量噪声。

基于该模型，MPC 算法通过滚动优化的方式，在每个采样时刻求解如下的优化问题：

$$\min_{u_k} \sum_{i=1}^{N_p} \|y_{k+i|k} - y_{sp}\|^2 + \sum_{i=0}^{N_c-1} \|u_i\|^2$$

其中， N_p 为预测时域， N_c 为控制时域， y_{sp} 为设定的压力目标值， $\Delta u_{k+i|k}$ 为控制输入的变化量。优化问题是根据线性最优控制原理建立的，由此可得系统当前时刻的最优控制输入 u_k ，最终实现了对调压过程的精确控制。

2.2.2 压缩机的智能启停控制

压缩机是天然气场站主要设备之一，耗能也相对较大。为了既能降低压缩机耗能，又能保障天然气的正常供应，采用智能启停控制策略，综合考虑储气罐液位、管网压力和天然气需求量等各方面因素。

首先，建立储气罐液位和管网压力的动态关系模型。

$$\frac{dL}{dt} = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{\pi r^2}$$

其中， L 为储气罐液位， Q_{in} 为进气流量， Q_{out} 为出气流量， r 为储气罐半径。

根据液位 – 压力关联关系以及对天然气日均用量的预测来设置压缩机的启停规则，即当储气罐液位低于设定下限值、管网压力低于设定值时，启动压缩机；当储气罐液位高于设定上值或者管网压力高于设定值时，停止压缩机，并且基于统计历史数据以及运用机器学习算法等方法来不断的修正压缩机启停规则，优化压缩机启停控制策略，最终达到压缩机启停更准确以及节能。

2.3 设备故障诊断与安全风险预警技术

2.3.1 基于机器学习的故障诊断技术

为了尽快检测到设备故障并保证场站的安全运转，引入了基于机器学习的故障诊断技术。将设备正

常运行时以及故障状态下（比如：振动、温度、压力等）的各类信息进行了大量的收集，将它们作为本次训练样本的数据，并将采集的数据经过各种处理的方式，对其进行清洗和特征提取的操作。

2.3.2 安全风险预警模型

构建安全风险预警模型，对天然气场站的安全风险进行实时评估预警。综合考虑设备故障、可燃气体泄漏、人为误操作等影响因素，采用层次分析法 (AHP) 确定安全风险指标权重，采用模糊综合评价法对安全风险进行量化评价。

首先，建立风险因素集：

$$U=\{u_1, u_2, \dots, u_n\}$$

其中 u_i 表示第 (i) 个风险因素。通过专家打分等方式确定各风险因素的评价等级集 $V=\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ ，以及风险因素与评价等级之间的模糊关系矩阵 (R)。然后，根据 AHP 方法确定各风险因素的权重向量 $w=\{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ ，通过模糊合成运算得到安全风险的综合评价结果 $B=W \cdot R$ 。通过模糊合成运算得到安全风险的综合评价结果，基于此对安全风险进行划分，并设定对应预警阈值，如果安全风险等级超过预警阈值，则系统自动向工作人员发出预警信号。

3 自控系统实践应用

3.1 自控系统架构设计

该天然气场站的自控系统采用的是分层分布式架构，设有现场设备层、控制层和管理层。其中现场设备层包括各种各样的传感器、执行器、智能仪表等设备，其作用就是采集现场的数据，并把控制指令传给现场设备层的执行机构；控制层采用可编程逻辑控制器 (PLC) 与分布式控制系统 (DCS)，把采集到的信息汇总起来进行处理和存储，然后通过数据总线把控制信息下发给现场设备层；管理层则是由监控计算机及上位机软件组成的。为操作员提供人机交互界面，用于场站的实时监测、数据处理分析、调度决策等功能。自控系统每一个部分都由网速飞快的通信网络进行联接，可以让不同的部分来高效地协同工作^[2]。整个系统的设计保证了系统本身的可靠，系统的扩展性以及系统之间的兼容性，应用了冗余技术和模块化的设计方式来保证了系统稳定工作的同时也为日后的升级提供了便利。

3.2 系统功能实现

3.2.1 实时监控功能

借助于上位机软件的操作，可方便地查看每个场站当前的设备启停状态、各个工艺参数的实时值及管道压力、管道流量等。系统用一些形象化的图形和相应的色块来表示上述设备状态或参数值的大小，并将

表 1：实时监控参数示例

参数名称	测量位置	单位	实时值	正常范围
进站压力	进站管道	MPa	2.5	2.0 - 3.0
出站温度	出站管道	℃	30	25 - 35
压缩机流量	压缩机出口	m³/h	5000	4500 - 5500
储罐液位	储气罐	m	8.0	6.0 - 10.0

表 2：部分设备远程控制操作示例

设备名称	控制操作	操作指令	执行结果反馈
调压阀	调整压力	设定目标压力值为 2.8MPa	调压阀开度自动调整，压力逐渐稳定在 2.8MPa
压缩机	启动	点击启动按钮	压缩机启动，运行状态在监控界面显示
电动阀门	关闭	发送关闭指令	阀门关闭，阀位状态在监控界面更新

这些信息直接展现在用户面前，若参数异常系统发出报警信号，并以变色或闪烁方式提示参数超出正常范围。例如，通过监控界面动态流程图展示天然气输送过程，实时展示设备状态；对压力、温度等参数，用数字和柱状图表示数值变化，方便工作人员观察参数变化趋势。表 1 为实时监控参数示例。

3.2.2 远程控制功能

操作人员可通过上位机软件对场站内设备进行远程启动 / 停止和参数设置等操作。在对场站内的设备进行远程控制之前，需经过上位机验证操作人员身份是否具有权限后才能对设备进行远程控制，所有控制记录将被详细记录并可在后期通过上位机或运维大数据平台进行查询^[3]。例如，通过监控界面上的设定目标压力来给控制器下达命令，系统会根据设定值和采集到的实际值来进行计算，调节调压阀开度；通过点击监控界面上启停按钮来达到远程启停压缩机，表 2 是部分设备的远程控制示例。

4 应用效果分析

4.1 提升运营效率

自控系统的运用代替人工操作的人工化控制系统，大大降低了出错率，提高了工作速率及正确率；该系统能够实时采集、传送数据使调度更及时准确，避免了信息不全或者信息滞后的状况下影响正常的生产计划。该天然气智能化工程中采用智能控制算法，能够对设备实施优化控制，可以有效地提高了设备的运行效率和降低。同时，自控系统基于 MPC 调压控制算法使得调压过程更加稳定、压力波动范围大幅下降，提高了输气的质量^[4]。且在压缩机位置，设置了智能启停的控制策略能够节约大量能源，试验统计发现，改造后的压缩机能耗降低了大约 15%。

4.2 增强安全保障能力

自控系统基于机器学习的故障诊断系统，可以有效发现天然气站场潜在的设备故障，并提前做好维修

维护工作，防止因为设备故障带来的各种安全事故。由于自控系统设置了安全风险预警模型，它能对天然气场站安全风险的监测，使工作人员了解其安全风险的变化，并可采取措施预防安全事故发生。例如，故障诊断系统在一次运行中发现某台压缩机存在振动故障，经分析确定由轴承磨损导致。系统预警后，工作人员及时对该故障主机进行维修，更换了轴承，从而避免了恶性故障的发生，保障了场站的安全正常运行^[5]。

5 结语

本文通过对某天然气场站智能化改造项目的研究，详细阐述了自控系统在天然气场站智能化改造中的关键技术与实践应用。实际应用效果表明，自控系统的运用大大提高天然气场站的智能化水平，在运行过程中的运行效率、安全保障、成本费用控制等方面都具有积极作用。伴随着技术的发展进步，今后将会有更多的先进技术被应用到天然气场站智能化改造中，这对推进天然气行业不断朝着智能化方向发展将产生较大的助力作用。

参考文献：

- [1] 李虎. 天然气场站电气自动化设备安全运行对策 [J]. 化工设计通讯, 2020, 46(11):109-110.
- [2] 魏星, 顾俊文, 杨秉奇. 天然气场站调压橇噪声增大原因及降噪方法 [J]. 上海煤气, 2021, (03):16-19.
- [3] 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, (01):47-50.
- [4] 向林, 佟沅洁, 王洪. 在役长输天然气站场无人值守技术改造 [J]. 化学工程与装备, 2023, (04):135-136+160.
- [5] 刘浩, 郭伟, 韩玉龙. 天然气场站自动化与智能化建设研究 [J]. 自动化应用, 2024, 65(11):255-257.

作者简介：

郭奎（1978-），男，汉族，江苏人，本科，初级工程师，研究方向：天然气技术方面。