

东北冬季低温环境下天然气调压站设备的运行分析

关盛世（盘锦中石油昆仑祥泰燃气有限公司，辽宁 盘锦 124010）

摘要：东北地区冬季气温极低，给天然气调压站的设备运行带来严峻挑战。低温环境可能导致调压阀冻结、管道结冰、密封材料脆化及润滑油凝固等问题，从而影响调压站的正常运行和供气稳定性。本文分析了低温环境对调压站设备的影响，并提出了相应的优化措施，包括采用伴热系统、选用耐低温密封材料、优化排水设计、加强设备润滑管理以及智能系统等。通过合理的技术手段和科学的运行优化，可以有效减少低温对设备的不利影响，提高调压站的运行可靠性和安全性，对于确保寒冷地区天然气调压站的安全高效运行具有重要的指导意义。

关键词：低温环境；天然气；调压站；设备；运行优化

中图分类号：TE832.3 文献标识码：A 文章编号：1674-5167(2025)017-0123-03

Operation Analysis of Natural Gas Regulating Station Equipment in Low-Temperature Environments During Winter in Northeast China

Guan Shengshi(Panjin CNPC Kunlun Xiangtai Gas Co., Ltd., Panjin Liaoning, 124010, China)

Abstract: The extremely low temperatures in Northeast China during winter pose significant challenges to the operation of natural gas regulating station equipment. Low-temperature environments may lead to issues such as regulator valve freezing, pipeline icing, seal material brittleness, and lubricant solidification, which can affect the normal operation and gas supply stability of regulating stations. This paper analyzes the impact of low temperatures on regulating station equipment and proposes corresponding optimization measures, including the use of heat tracing systems, selection of low-temperature-resistant sealing materials, optimization of drainage design, enhancement of equipment lubrication management, and implementation of intelligent systems. By adopting reasonable technical solutions and scientific operational optimizations, the adverse effects of low temperatures on equipment can be effectively mitigated, thereby improving the operational reliability and safety of regulating stations. This has significant guiding implications for ensuring the safe and efficient operation of natural gas regulating stations in cold regions.

Keywords: low-temperature environment; natural gas; regulating station; equipment; operation optimization

我国东北地区冬季非常寒冷，极端气温甚至可以低于 -30°C 。这种低温环境严重影响了天然气调压站设备的运行。调压站是天然气输配系统的关键部分，其运行状态直接关系到企业和居民的用气安全^[1,2]。低温环境通常会引发各种问题，如管道结冰、调压阀冻结、润滑油凝固以及密封材料老化等，这些问题不但会影响供气效果，还可能带来严重的安全隐患^[3]。随着我国天然气需求量的持续攀升，冬季用气高峰期对天然气调压站设备的稳定性提出了更高的要求。2011年至2020年期间，我国天然气消费量年均增长约10%，2020年消费量达到了 $3240 \times 10^8 \text{m}^3$ （图1）。进入2021年，冬季高峰期天然气需求量显著增加，部分地区出现供应紧张。2022年，受冷冬天气影响，北方地区供暖需求上升，推动天然气消费量进一步增长。2023年，随着“煤改气”项目的持续推进，工业和居民用气需求继续增加。因此，深入研究东北冬季低温环境对天然气调压站设备运行的影响，分析其故障机理，并且提出合理的优化措施，具有十分重要的现实意义。

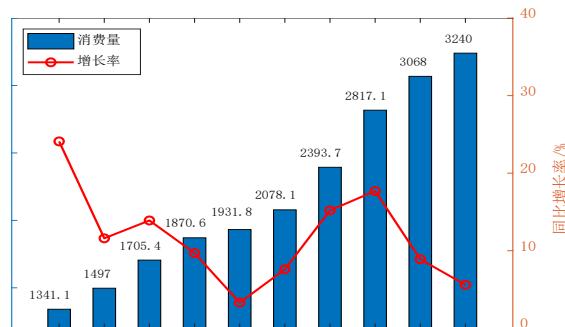


图1 2011-2020年我国天然气消费量及同比增长率

1 低温环境对天然气调压站设备运行的影响

1.1 管道冻结及结露

在东北冬季低温环境下，天然气调压站的管道容易受到冻结和结露的影响，主要表现在以下3点：①天然气中一般会存在一定量的水分，一旦气体温度比较低，水分就会凝结并附着在管道壁上。如果温度持续下降，这些水分就会冻结成冰层，使得管道通径减小，增加了天然气的流动阻力，极易堵塞管道；②调压过程中天然气压力降低，会导致气体的温度持续下

降，使管道的外部出现结霜或者结冰，在一定程度上会影响管道的绝热性能，增加额外的热损失；③低温还可能使管道内部形成一定量的水合物，同样也会降低天然气的输送效率。

1.2 调压阀冻结

调压阀的主要功能是通过节流作用减小天然气的压力，从而达到输配系统和用户端的要求^[4]。但是，在东北冬季低温环境下，天然气温度和压力会大幅降低，如果温度降到0℃以下且天然气中存在水分时，水就会在调压阀的节流部位冻结成冰，严重情况下会引起阀门堵塞或卡滞，使调压阀失效，严重影响了供气的稳定性。其次，一般情况下，调压阀很多部件是使用金属或弹性材料制造而成，如阀座、膜片、弹簧等。在低温情况下，这些部件极易出现收缩、变硬或脆化，从而降低了调压阀门的密封性和调节精度。一旦调压阀出现冻结，轻则造成供气波动，重则会导致调压阀损坏，甚至使输气管网的压力出现异常，从而影响整个供气系统的安全运行。

1.3 润滑油凝固

在东北冬季严寒环境下，低温会影响天然气调压站设备的润滑性能，主要表现在以下3点：①由于温度降低，润滑油的粘度会增大，流动性降低，甚至出现凝固，极大地增加了天然气调压站设备的运转阻力，进而影响了部分设备的正常运行，如调压阀、轴承及其他旋转部件等；②一旦润滑油出现凝固，设备的润滑就会变差，进而使部件的磨损更加严重，可能会造成机械卡滞；③低温会减小润滑油的流动性，导致润滑系统供油不畅，进一步增大了设备的运行阻力，严重影响了设备的运行质量和效率。

1.4 密封材料老化

低温环境对天然气调压站的密封材料影响十分明显，特别是橡胶类的密封件。在东北冬季低温环境下，这些密封件会变硬、脆化，进而失去原有的弹性，严重影响了密封的效果，甚至会失效。在低温条件下，橡胶材料的分子运动会大幅减弱，很难适应设备的动态变化，极易出现开裂或收缩，从而造成天然气泄漏。其次，在低温环境下，金属密封部件脆性会变大，使其更易出现裂纹或断裂，从而影响了密封的整体性。低温会提高密封材料的老化速度，不但缩短了其使用寿命，而且增加了设备运行成本和风险。尤其是在温度周期性变化的情况下，密封材料的劣化速度会因冷热交替而加快，造成密封失效。

2 低温环境下天然气调压站设备的运行优化措施

2.1 管道防冻及保温

①增加外部保温层。在低温环境下，管道外面的

温度比较低会造成气体温度减小，增加了结冰和结霜的风险。因此，可以在管道的外部安装保温层，如聚氨酯泡沫、岩棉等，进而减少热量损失，从而维持管道中气体的温度。其次，外部保温层应该具有一定的性能，如防潮、防腐蚀等，可以延长管道的使用寿命，提高供气系统在冬季低温环境中运行的稳定性。

②安装热循环系统。为了避免管道中的气体温度过低，应该在重要管道部位安装热循环系统，如电加热或热水循环系统。热循环系统能够提高管道的温度，防止天然气因温度剧降而析出水分冻结成冰，从而降低了管道堵塞的风险。同时，对热循环系统的运行功率应该进行合理调控，不但可以节能降耗，还可以提高调压站的供气稳定性。

③完善排水设计。在东北冬季低温环境下，管道内部的残留水分极易冻结，降低了其流通能力甚至堵塞管道。因此，应该对管道的排水设计进行优化和完善，如增设排水点、合理布置排水阀等，并且定期开展排水维护。其次，可以使用自动排水装置，使积水可以及时排除，降低低温条件下结冰堵塞管道的可能性，从而使管道系统能够安全稳定运行。

2.2 调压阀防冻

2.2.1 使用伴热系统

在寒冷环境下，天然气调压阀的内部会因温度骤降而出现冻结，造成阀门堵塞或调压不稳。因此，可以使用伴热系统提高调压阀的温度，如电伴热、蒸汽伴热或热水循环系统。这些伴热系统能够维持阀体和重要部件的温度，有效防止因结冰而影响调压阀的正常功能。其次，合理安装伴热功率与温度控制系统，不但可以节能降耗，而且可以增强防冻效果。

2.2.2 使用低温调压阀

在低温环境下，应该使用专业的低温调压阀，这种阀门材料的耐寒性能较好，并且具有比较特殊的低温润滑系统，可以在极端环境下依旧拥有良好的密封性和调压性能。其次，这种调压阀还会采用抗冻设计，能够大幅减少由于低温而造成若干问题，如弹性体硬化、内部结霜等，从而确保天然气调压站在东北冬季低温环境下的稳定运行。

2.2.3 定期排水除湿

在较低的温度下，天然气中的水分极易冻结成冰，进而使调压阀内部出现冻结，从而造成堵塞。因此，应该定期对调压站进行排水除湿，在一定程度上可以降低天然气中的水分含量，一般有3种方式：①安装气体干燥器；②增加排水装置；③优化和完善调压站排水设计。其次，制定科学合理的排水维护方案，确保冬季排水流畅，同样可以增加天然气调压站的防冻

性能。

2.3 设备润滑管理

2.3.1 使用低温润滑油

低温环境会提高润滑油的粘度甚至使其凝固，影响调压站设备的正常运行。因此，应该选择专用的低温润滑油，如合成润滑油、低温抗冻润滑油，这种润滑油在低温环境中依旧具有良好的流动性，可以大幅减少机械部件的磨损。其次，应该结合调压站设备的运行环境，优选合适的润滑油型号，从而确保设备在冬季低温环境下的稳定运行。

2.3.2 定期更换润滑油

长时间使用之后，由于氧化、污染或吸水，润滑油的性能会降低，尤其是在低温环境下，时常会发生润喉不良的情况。因此，应该制定科学的润滑油更换计划，使设备的润滑系统一直处于良好的工作状态。在冬季来临之前，应该对重要部件的润滑情况进行检测，必要时应该更换专用润滑油，从而减少调压站设备运行故障的风险。

2.3.3 加装加热装置

在低温环境下，为了改善润滑油的效果，应该在润滑系统中安装一些加热装置，主要有3种：①电加热；②热水循环；③热风加热。这些装置可以使润滑油保持在合适的温度之内，有效降低润滑油的粘度，从而提高调压站设备运行的可靠性。其次，还应该在重要润滑点增设保温措施，最大限度地降低低温对润滑系统的影响，从而提高设备的防寒能力。

2.4 密封材料优化

2.4.1 选用耐低温密封件

低温环境会使一般的密封材料变硬、脆化，降低密封质量，情况严重的话会造成天然气泄漏。因此，应该优选专用的耐低温的高分子材料制造密封件，主要有3种：①聚四氟乙烯；②氟橡胶；③硅橡胶。在低温环境下，这些材料仍然具有比较好的柔韧性和密封性能。其次，还可以使用复合密封结构，从而提高密封件的耐寒能力。

2.4.2 定期检查与更换

即便使用了耐低温的密封件，长时间运行之后，这些密封件仍然会出现老化、磨损等现象，同样会降低其密封性能。因此，应该制定定期检查与更换制度，使密封件一直处于良好的工作状态。在冬季来临之前，应该认真检查重要部位的密封情况，如调压阀、连接法兰以及管道接口等，一旦发现老化、变硬或裂纹等情况，应该及时进行更换。

2.5 智能监测与远程控制系统

①实时监测与预警机制。在低温环境中，天然气

调压站设备运行容易出现异常，为了保障系统的安全，应该构建实时监测系统，在重要设备上安装各种传感器，如温度、压力、湿度、流量等。这些传感器可以实时采集设备的运行数据，并且及时上传至监控平台。如果监测数据发生偏离，系统能够自动报警，提醒工作人员快速处置，防止问题扩大。这种机制可以有效提高响应速度，降低人为漏检的风险。

②远程控制与智能调节。对于天然气调压站而言，远程控制系统是其实现智能化管理的关键措施。工作人员能够在平台上对关键设备进行远程操作和参数调整，如调压阀、排水系统、加热装置等，可以有效降低低温天气下的现场作业频率，从而提高作业的安全性与效率。其次，系统可以根据设备的运行和天气情况对各种参数进行自动调整，从而确保调压站稳定运行。

③数据分析与维护优化。智能监测系统不但具有报警和控制功能，还可以利用长时间的数据积累进行趋势预测与分析，预测设备的潜在风险。系统还可以结合运行数据制定合理的维护计划，从而实现从被动维修向预防性维护转变。与此同时，通过大数据分析技术，系统还能够发现低温环境下存在的隐性问题，进而对设备配置和运行策略进行优化和完善，从而为调压站冬季安全运行提供强有力的支持。

3 结语

东北地区冬季气温比较低，天然气调压站的设备运行面临严峻挑战。低温环境会造成设备出现各种问题，如管道结冰及结露、调压阀冻结、润滑油凝固以及密封材料老化等，严重影响了调压站的正常运行。因此，采取有效的优化措施至关重要，如伴热系统、选择耐低温材料、优化排水设计、智能监测系统等，能够有效减少低温天气对设备的不良影响，提高天然气调压站运行的稳定性，从而为冬季供暖及工业生产提供足够的天然气。

参考文献：

- [1] 张泽国,陶加银,张怀韬,等.天然气调压站冷电联供系统性能研究[J].低温与超导,2022,50(12):93-97.
- [2] 张舟.北京地区燃气调压站管道冻胀特性及优化设计研究[D].北京:北京建筑大学,2018.
- [3] 方刚.液化天然气低温储存的安全与经济性研究[D].广州:华南理工大学,2014.
- [4] 王立辉.某燃气系统改造及优化工程可行性研究[D].大庆:东北石油大学,2019.

作者简介：

关盛世(1998-)，男，满族，辽宁凤城人，助理工程师，主要从事天然气调压站管理方面的工作。