

# 天然气长输管道安全防范与平稳运行的对策探讨

顾松珊（河南天润管道销售有限公司，河南 郑州 450000）

**摘要：**天然气长输管道是国家能源大动脉，管道的安全防范和正常运行关乎我国的能源战略安全、经济社会稳定及人民群众生命财产安全。为此，深入探究天然气长输管道安全防范的价值，本文通用分析管道本体老化风险、外力破坏风险、复杂工况运行调压风险，提出从技术层面、管理层面和协同机制等角度，针对天然气长输管道安全防范与平稳运行的对策开展研究，以期为实现天然气长输管道安全、高效的运行提供科学、可行的理论及实践指导。

**关键词：**天然气长输管道；安全防范；平稳运行；风险防控；智能化运维

中图分类号：TE88 文献标识码：A 文章编号：1674-5167（2025）024-0148-03

## Discussion on Countermeasures for safety prevention and stable operation of long distance natural gas pipeline

Gu Songshan(Henan Tianrun pipeline Sales Co., Ltd., Zhengzhou Henan 450000, China)

**Abstract:** The long-distance natural gas pipeline is the main artery of national energy, and the safety precautions and normal operation of the pipeline are related to China's energy strategic security, economic and social stability, and the safety of people's lives and property. Therefore, this paper deeply explores the value of safety precautions for long-distance natural gas pipelines, analyzes the risk of aging of the pipeline body, the risk of external damage, and the risk of pressure regulation under complex operating conditions, and proposes to carry out research on the countermeasures for the safety prevention and stable operation of long-distance natural gas pipelines from the perspectives of technology, management and coordination mechanism, in order to provide scientific and feasible theoretical and practical guidance for the safe and efficient operation of long-distance natural gas pipelines.

**Keywords:** long-distance natural gas pipelines; security precautions; Smooth operation; risk prevention and control; Intelligent O&M

在能源结构加快清洁化调整步伐的背景下，天然气以高效、低碳等优点成为我国能源消费的主要部分。目前我国已经打通东煤西油南气北电的能源大动脉，已经形成了横贯东西、纵贯南北、覆盖全国、连通海外的油气管网。但是天然气的易燃易爆性、高压输送性质以及天然气管道沿线穿高跨低遇险难、走谷越沟行进艰难、跨越冰川海域以及经过人口稠密区等地势起伏巨大的不平坦地区等诸多地理因素让天然气长输管道在使用过程中面临腐蚀、第三方损毁及极限气候条件下运行的多重隐患<sup>[1]</sup>。根据不完全统计，近几年来，我国因长输管道各种隐患事故平均每年约20余起，直接经济损失达数亿元。这说明研究长输管道的安全防范和平稳运行是关乎国家能源安全和能源行业发展的重要课题。

### 1 天然气长输管道安全防范作用

#### 1.1 保障人民生命财产安全

天然气具有可燃性，长输管道如果发生泄漏，由于易燃气体和空气混合会在泄漏周围区域形成爆炸性混合气体，一旦遇到明火或静电火花就会引起强烈爆炸及火灾。2020年某省天然气管道第三方施工破坏事故造成周边3公里的人民群众临时紧急疏散，直接经济

损失达8000余万元。采用管道壁厚在线监测预警技术，并安装智能化泄漏检测设备，以便在管道出现故障时能够及时发出早期预警。同时，通过定期组织开展应急救援演练，提升应对事故的能力，确保在事故发生后能够迅速响应，从而最大限度降低人员伤亡和财产损失，切实保障沿途数百万百姓的生命财产安全。

#### 1.2 维护国家能源安全稳定

天然气作为国家能源安全战略的重要组成部分，其供应的稳定性直接关乎我国能源供应体系的韧性。长输管道作为天然气跨区调配的“主动脉”，一旦发生安全事故导致供气中断，将可能引发地区性能源危机。如2022年欧洲爆发能源危机时，部分国家由于维护不到位而停运部分天然气管道，使得欧洲多数国家出现了工业停工停产以及民用户无法供暖的情况。与此同时，我国建立了管道全生命周期安全管理体系，使管道在环境复杂的各种情况下，依然能够保证连续稳定的运行状态，也保证了国内天然气市场的供应，维护了我国能源安全稳定大局的同时增加了国家能源自主可控的能力<sup>[2]</sup>。

#### 1.3 促进企业可持续发展

管道运营企业发生事故会造成管道抢修费、环境

治理费等一系列直接损失，并且可能因为停产整顿和自身声誉受到影响而失去部分市场份额。例如某管道公司曾因为一场泄漏事故，被处以巨额罚款后，企业市值一日缩水超过 15%。通过提升安全水平，减少事故的发生可以减少非计划停机时长，增加管道运输时间；同时良好的安全记录会帮助公司在争取政策资金、申请贷款等方面节省一定成本，使企业在能源市场上具有更强竞争力，实现企业的长足发展。

## 2 天然气长输管道安全防范与平稳运行问题分析

### 2.1 天然气长输管道安全防范问题

#### 2.1.1 管道本体缺陷与老化问题

长期暴露于“三高”环境下的天然气长输管道，其管道本体缺陷与老化现象越来越严重，由于输气介质中含有大量的硫化氢、二氧化碳等腐蚀性物质，与管道内壁产生电化学反应，形成局部腐蚀坑洞；特别是川渝气田役龄 20 年以上管道平均腐蚀速度高达 0.15 mm/ 年，部分区域的壁厚减薄量已经超过设计安全厚度。

另外，前期管道建设的技术要求不高，焊接工艺差，未熔合、气孔等问题，随使用时间延长而不断累积成裂纹；有数据显示，已服役 15 年以上的管道中因焊接缺陷造成漏点占到 42%<sup>[3]</sup>。

#### 2.1.2 第三方破坏风险加剧

随着城镇化的加速和基础设施建设的发展，天然气长输管道面临的第三方破坏的风险呈指数倍增长。在城乡结合地带乱占压天然气管道的现象时有发生，出现了一些建筑物、构筑物盖在天然气管道上的情况，增加了管道的负担，造成管道变形。2023 年某城市道路施工因挖掘机挖断天然气管道造成附近区域大面积无气可用，有的犯罪分子为获得经济利益利用打孔机等专业设备打孔偷气，2024 年全年全国查处打孔盗气案件达 17 起，造成天然气泄露总量高达 300 万 m<sup>3</sup> 以上，同时对管道造成了严重的破坏，极易引发管道爆炸等事故的发生。

#### 2.1.3 自然灾害威胁严峻

天然气长输管道在铺设过程中，容易跨越各种复杂的地层带和灾害频发的地貌带。在西南山区，雨季频繁爆发的山洪和泥石流极易冲毁管道及其附属设施。例如，某管道在 2022 年雨季就出现了四处毁坏的情况，全年毁坏次数更是达到了七处，导致全年合计停气 120 小时，情况十分危险。而在北方冻土带地区，冻融循环作用会使管道拱起变形。沿海地区则容易受到台风引发的风暴潮影响，对海底管道造成拉扯和上浮的破坏。

此外，地震灾害也是管道面临的一大威胁，2017

年九寨沟地震后，周边天然气管道就出现了多处破裂，维修费用高达 2.3 亿元。

### 2.2 天然气长输管道平稳运行问题

#### 2.2.1 运行调控难度大

由于受气源供应不稳定、用户用气量季节性强、气源和气质混杂等多种因素的影响，天然气长输管道系统运行工况变化较大。在冬季供暖期间，有部分管段运行压力超过设计压力的 110%，造成管道超负荷，管内压力经常出现波动，使得管内压力呈现不稳定趋势，易导致管道发生疲劳损坏；其次各气源地的天然气中甲烷含量及热值差别很大，假如对天然气的比例控制不准确，则将会对下游用户的正常使用产生影响；再者管道经过千山万岭，分布于复杂的地貌中，导致其对沿线地形高程变化对应的水力计算难度以及流量分配难度都很大<sup>[4]</sup>。

#### 2.2.2 设备设施维护压力大

长输管道沿线使用的压缩机、阀门、流量计等设备持续在高负荷状态下运转，维护压力大。进口压缩机核心部件使用寿命为 8 ~ 10 年，维修周期为 3 ~ 6 个月，备件价格高昂；在沙漠、高原等复杂恶劣工况条件下运行时，由于设备外表喷涂易老化、内部机械密封件经风沙后发生严重磨损等原因极易造成设备失效。例如某西北管道电动阀工作故障率高达设计值的 60% 以上。随着管道的使用年限增长，设备逐渐出现老化现象，有的甚至与当时的工艺和技术标准存在一定的差距，如：已有部分管道无法实现准确地调控。

#### 2.2.3 信息化与智能化水平不足

绝大多数管道企业的信息化建设存在明显短板，数据采集覆盖率不到 60%，大量的远端监测点还必须人工巡检；数据深层次的分析能力较差，难以从大量的运行数据中精准地找到潜在的风险隐患；智能化调度少有涉及，目前 90% 以上的管道调度仍然依靠人工经验做出决策，不能及时地作出正确的应对方法；由于没有及时地采集到管道应力变化的相关数据，在极端气候下发生了管道冻裂的情况，由此可以判断出信息化和智能化程度不足将会给企业的发展带来严重的影响<sup>[5]</sup>。

## 3 天然气长输管道安全防范与平稳运行对策

### 3.1 天然气长输管道安全防范对策

#### 3.1.1 强化管道本体检测与修复

第一，利用多种技术和方法相结合的方式进行检测。将内检测中的漏磁检测、变形检测技术与外检测的超声导波检测、电磁超声检测等技术相结合，开展三维立体检测模式，并将其应用于陕京管道。检测过程中，采用智能清管器与地面电磁超声检测相配合的

方式，使检测精度提升至 0.1mm 级别。最终，通过该检测方式成功发现 23 处直径大于或等于 2mm 的微小腐蚀坑。

第二，建立缺陷分级修复模式，按照缺陷严重程度分为紧急、重大、一般三级，紧急缺陷采取在线封堵修复，24h 之内完成缺陷处理；重大缺陷采取不停输焊接方式修复；一般缺陷列入年维修计划。

第三，加强管道全生命周期管理，通过数字孪生技术搭建管道虚拟模型，对管道实行动态信息采集，获取管道运营全过程数据，全面掌握缺陷发展情况，做到预防性维护。

### 3.1.2 加强第三方破坏防控

一是，打造政企联合保护体系。与地方政府携手搭建管道保护信息共享平台，将管道位置信息纳入地方规划系统。如此一来，在项目前期阶段就能有效避免违章占压情况的发生。某省公司开展的试点工作显示，通过这一信息共享举措，可使新发违章占压比例大幅降低 85%。

二是，探索公众参与新方法，设立“管道保护有奖举报”，开发微信小程序“管道保护有奖举报”，对于有效举报线索给予奖励，在管道公司开展此项工作后，发现第三方破坏隐患发现率提高 40%。

三，用好智能感知技术，通过管道沿线埋设振动光纤、架设智能摄像头等方式，应用 AI 图像识别技术，对非法施工和打孔盗气等违法情况进行全方位无死角监控。

### 3.1.3 提升自然灾害应对能力

一是，进行精细化风险评估，在沿用以往技术基础上，运用卫星遥感、地质雷达等手段，以沿线高程格网为控制，绘制全线地理信息全要素三维细颗粒度数值网格地图，开展沿管段高精度网格化风险评估，并形成高精度风险地图。比如，在西南山区某个管道项目中，开展风险评估，提前加固了灾害隐患大的 12 个地方，在发生灾害时可以避免大的损失。

二是差异化防护措施：在滑坡易发区布设抗滑桩、挡土墙；在冻土区使用热棒降低土壤温度；在海底管道敷设砾石垫层防止悬空。

三是完善应急响应体系，和气象、地质部门建立实时预警通道，准备充足的应急抢修物资，不定期开展多部门联合演练，确保灾害发生后 2 小时启动应急响应。

## 3.2 天然气长输管道平稳运行对策

### 3.2.1 优化运行调控策略

一是，搭建智能调控平台，将气源、管道路由、用户等信息接入其中。依托大数据分析成果，对需求

侧变化趋势展开预测，再借助 AI 算法自动生成最优运行方案。在西气东输管道实际应用中，该平台可使管道运行能耗减少 12%，管道压力波动幅度降低 30%。

二是建设动态供气调节机制，与气源方、用气方签订弹性供气协议，当需求处于高位时启动储气库调峰；当需求处于低位时，安排管道检修。

三是研发多气源混合输送技术，根据在线气质分析数据和流量调节情况开展多气源配比掺混工作，保证气质稳定。

### 3.2.2 完善设备设施维护管理

第一，实施状态检修，对重点设备安装振动、温度、压力等在线监测传感器，利用机器学习算法分析数据结果判断故障发生位置及时间；以某压缩机状态检修后非计划停机时间较上期减少 70%。构建区域化维修保障网，在管线上游设立区域维修中心，常备常用备品备件，组建专业化抢修队伍，可做到 2h 内到达现场处置问题。推进设备升级换代，及时将老式阀门更换为智能电动阀门，应用新的耐腐防锈涂料提高设备寿命，替换人力巡检易发生危险的地方为智能巡检机器人替代人巡检作业区。

## 4 结语

天然气长输管道的安全防范和稳定运行是一项具有系统性、综合性特点的工作，应从技术创新、管理优化、协同机制建设等不同维度出发，充分发挥整体效能，借助更先进的手段和技术实现对外部环境的全天候、全方位监测，为保证天然气长输管道的平稳运行奠定基础。

### 参考文献：

- [1] 武黎爽. 天然气长输管道施工关键技术探讨 [J]. 化工管理, 2020, (12):182-183.
- [2] 林森. 浅析天然气长输管道安全防范及安全生产运行的对策 [J]. 当代化工研究, 2020, (11):29-30.
- [3] 魏丽波. 天然气长输管道安全管理存在问题 [J]. 化学工程与装备, 2023, (07):247-249.
- [4] 亓文广, 蔡文玉, 黄韶丹, 等. 长输天然气管道压气站消防安全常见问题与对策研究 [J]. 消防界 (电子版), 2023, 9(23):16-18.
- [5] 张明. 天然气长输管道运行安全风险及预防措施 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44(04):87-89+92.

### 作者简介：

顾松珊 (1981-)，男，汉族，湖南常德人，大学本科，中级工程师，研究方向主要从事：长输管道生产运行安全。