

# 天然气长输管道维护管理在企业降本增效中的 实践与探索

耿家晨<sup>1</sup>, 王仁超<sup>2</sup>

<sup>1</sup>国家管网集团广东省管网有限公司, 广东 广州

<sup>2</sup>电子科技大学计算机(网安)学院, 四川 成都

收稿日期: 2024年4月19日; 录用日期: 2024年5月9日; 发布日期: 2024年5月17日

## 摘要

长输管道是天然气等化石能源最主要是输送方式之一。由于管道建设工程周期长, 覆盖面广, 投资金额巨大且收益周期长。在后期管道运营维护管理中, 如何降低成本确保管道安全运行同时提高企业效益, 成为了油气行业中各企业深度关注的重要话题。本文将浅析管道维护的降本增效的有效做法及探索新的方向。新技术的研发和投入应用, 会对管输企业在管道维护降本增效中起到突出的效果。降本增效是企业运营亘古不变的话题, 如何在工程建设、运营维护中实现长输管道维护管理的降本增效, 需要我们从更多的建设和运营管理的细节入手, 确保管道运营安全的前提下, 使得企业效益最大化。

## 关键词

天然气长输管道, 管道维护, 管理, 降本增效

# Natural Gas Pipeline Maintenance Management Practice and Exploration of Cost Reduction and Efficiency Improvement in Enterprises

Jiachen Geng<sup>1</sup>, Renchao Wang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>China National Pipeline Network Group Guangdong Provincial Pipeline Network Co., Ltd., Guangzhou  
Guangdong

<sup>2</sup>School of Computer Science (Network Security), University of Electronic Science and Technology of China,  
Chengdu Sichuan

Received: Apr. 19<sup>th</sup>, 2024; accepted: May. 9<sup>th</sup>, 2024; published: May. 17<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

Long-distance pipeline is one of the most important ways to deliver fossil energy such as natural gas. Due to the long period of pipeline construction project, covering a wide area, the investment amount is huge and the benefit cycle is long. In the later pipeline operation and maintenance management, how to reduce costs to ensure the safe operation of the pipeline while improving corporate efficiency has become an important topic of deep concern for various enterprises in the oil and gas industry. In this paper, we will analyze the effective practices of cost reduction and efficiency of pipeline maintenance and explore new directions. The research and development and application of new technologies will play an outstanding role in reducing costs and increasing efficiency in pipeline maintenance. Cost reduction and efficiency is an unchanging topic of enterprise operation, how to realize cost reduction and efficiency of long-distance pipeline maintenance and management in engineering construction, operation and maintenance, we need to start from more details of construction and operation management, to ensure the safety of pipeline operation under the premise of maximizing the benefits of the enterprise.

## Keywords

Natural Gas Long-Distance Pipeline, Pipeline Maintenance, Management, Cost Reduction and Efficiency Increase

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

随着国际社会对环境保护的重视程度和呼声越来越高。在国家“十四五”规划纲领和 2035 年远景目标中，“碳中和”、“碳达峰”等相关内容多次被提及，从侧面说明其重要性。在做好“碳中和”、“碳达峰”工作方面，中央多次召开会议，从根本和源头上做出部署，明确加快优化产业结构、能源结构，大力发展新能源等[1] [2]。

天然气作为一种清洁高效的化石能源，我国虽储量丰富但分布不均，多数储地都位于川贵地区和西北偏远地区。将大量的天然气运送到东南沿海发达地区，最快捷、运输量最大的方式无疑是长输管道。虽然长输管道能最快，最大体量的运输天然气，但是建设长输管道成本高且后期管道运营维护成本随着管道里程数的增加呈直线式激增[3] [4] [5]。另外，国家和政府对管道输送企业的运输体量和运输费的严格控制，造成各类企业利润空间有限，对管道输送企业也是较大的挑战[6]。由此可见，为确保企业正常运营和更好的企业效益，如何在管道维护管理中做到降本增效是重点关注的问题。

## 2. 国内天然气长输管道的发展现状

截至 2019 年底，我国境内建成油气长输管道总公里数累计达 13.9 万千米，其中天然气管道约 8.1 万千米，原有管道约 2.9 万千米，成品油管道 2.9 万千米。《中长期油气管网规划》指出，2025 年油气管网总长将达 24 万千米，实现“全国 100 万人口以上城市成品油管道基本接入，50 万人口以上城市天然气管道基本接入”。2020 年，我国新建成的油气管道总里程约 5081 千米，油气管道总里程累计达到 14.4 万千米。总体上，我国油气消费增长态势稳中有增，基础设施建设稳步推进。随着西气东输、川气东送、

中缅线、中贵线等天然气主干道的建成, 标志着我国正以快速发展的姿态朝着低碳、清洁、环保的新能源格局迈进。随着天然气管网的建成和基础设施的不断完善, 国内天然气供应呈现出“西气东输、川气东送海气上岸、北气南下、就近外供”的局势, 天然气消费中心已从气源产区周边向东部及东南沿海地区转移[7] [8] [9] [10] [11]。

### 3. 国内天然气长输管道的发展趋势

#### 3.1. 油气管网逐步形成“全国一张网”

国内的天然气气源主要集中在中石油、中石化和中海油等大型央企手中, 这些企业垄断着气源和长输管道。行业内的竞争, 极大可能导致长输管道重复建设。国家石油天然气管网集团有限公司成立后, 统一负责全国油气干线管网的建设和运行调度, 形成“全国一张网”。在应急保供的情况下, 可实现统一调度所有互联互通的油气管网, 提高油气管网运行安全系数和管输保障能力。

#### 3.2. 管径增大, 钢级提高, 设计压力提高

随着天然气的普及使用、新技术的运用以及材料学的不断进步, 在未来的长输管道建设项目中, 相同的管线路由下, 会选择更高的钢级、更大的管径以及更高的设计压力等, 以提高管道输送能力。从陕京一线管径 660 mm、设计压力 6.4 Mpa、X60 钢级, 到西一线管径 1016 mm、设计压力 10 Mpa、X70 钢级, 再到西二线, 西三线管径 1219 mm、设计压力 12 Mpa、X80 钢级。我国长输管道行业已取得较大发展, 在借鉴国外先进技术的经验下, 正在进行超大数量天然气管道关键技术的可行性研究。

#### 3.3. 管道自动化控制技术水平不断提高

SCADA (数据采集与监控)系统和管道自动化控制技术的广泛应用和技术水平的不断提高, 目前基本可实现“有人值守、无人操作、远程监控”的目标。随着各管道企业自主成立调度控制中心, 可实现对长输管道的远程监控、调度管理和维抢修协调。

随着天然气管网不断扩张, “全国一张网”的形成, 以及一些自动化系统的使用普及, 天然气管网运营管理也有相应变化, 需探索更优的维护管理方案从而实现降本增效。

## 4. 天然气长输管道维护管理的主要内容

### 4.1. 应急抢修抢险

管道应急抢险抢修作为油气行业最常见且最必要的维护管理必选项之一。日常工作状态下, 定期组织应急队伍对管道沿线及周边地区的开展踏勘, 对高后果地区进行识别并制定专项应急抢修方案。定期对应急物资进行检查盘点, 对机具设备进行保养。通过应急演练方式拉练抢修队, 确保应急人员、应急设备以及车辆保持在热状态, 一旦发生抢修, 即可投入确保管道运行安全和地区天然气稳定供应。

### 4.2. 管道巡检

由于天然气的易燃易爆性, 一旦由于管道受损导致发生安全生产事故, 造成的损失是不可估量的。保障输气管道安全运行的重要性不言而喻。对管道安全最大的威胁是来自第三方施工和地质灾害, 所以长输管道的日常巡检是降低运行风险的必要环节, 通过加强对管道沿线及周边地区巡检, 尽可能地识别危害管道运行安全的因素, 可极大程度上降低管道安全风险。管道巡检工作从管道运营开始一直持续至管道报废为止, 是一项长期、持续开展的工作。目前对管道主要的巡检方式主要有: 地聘巡线员巡检、无人机巡检、线路管理人员巡检管理。

#### 4.2.1. 地聘巡线员巡检

聘用管道所在地周边的当地村(居)民,通过开展培训考核合格后上岗,开展巡线工作。利用其在当地的信息资源及人脉关系网络,掌握第一手的施工信息,如鱼塘淤积、管道占压等以及其他潜在威胁管道安全的不安全因素。地聘巡线员实行每日不定时徒步巡检机制,一般地区每日巡检一次,高后果区巡检频次为每日两次,主要工作为巡检管道周边的第三方施工情况,走访信息员、农田户主等管道沿线属地业主/租主、参与应急演练及管道保护宣传等。

#### 4.2.2. 无人机巡检

线路管理员定期使用无人机查看管道沿线周边地区以及地貌复杂的山区地段的地貌变化及人员活动情况。将飞检情况定期存档,形成视频影像资料,并对每次的巡检航拍视频和照片进行对比,及时掌握管道周边环境的变化,作出准确的预判及时消除威胁管道的安全因素。

#### 4.2.3. 线路管理员巡检管理

线路管理员主要针对高后果区的再识别、管道保护知识的精准宣传、与当地的业务主管部门、消防部门、公安部门、安监部门等建立应急联络机制,联合开展应急演练等方式确保管道保护的有效性。通过法律手段严厉打击危害管道安全的违法行为。

#### 4.2.4. 管道附属设备设施的日常维护

长输管道附属设施一般包括:① 阴极保护系统:阴极保护基本原理是对被保护的金属表面施加一定的直流电流,使其产生阴极极化,当金属的电位负于某一电位值时,腐蚀的阳极溶解过程就会得到有效抑制,从而较少管道外腐蚀。管道的阴极保护分为牺牲阳极保护和外部电流保护,长输管道阴极保护是管道日常管理的一项重要工作,通常是每月开展一次管道电位测试,同时通过安装智能测试桩对管道实时电位进行监控。② 视频监控系统:为了满足天然气管道在特定区域运行的安全管理要求,在高后果区、地质灾害高风险区和第三方施工区等域安装视频监控,可实现远程实时监控,发现异常及时响应处理,目前视频监控系统一般基于无线数据传输,需定期对无线网卡进行充值及视频监控设备电池及太阳能充电板进行维护。③ 光纤预警系统:是实现管道 24 小时受控的常用技术手段,可对管道沿线施工进行动态监控及地质灾害报警作用,有效第三方造成破坏等危险隐患,每年需要支付系统厂家技术服务费用。④ 管线周边的水工水保维修以及管线沿途埋设的桩牌等,当出现管道沿线水保设施出现损坏或者出现新的水土流失情况时,组织承包商对水工保护设施进行修复,对水土流失情况严重地方进行复绿或新建水工保护设施,防止水土流失造成露管或山体滑坡事件发生。管道沿线桩牌需定期除草,对掉漆桩牌进行重新喷涂表示,出现桩牌损坏时需及时采购桩牌更换。

#### 4.2.5. 管道定期检测和检验

管道定期检测主要包括管道内检测及管道外检测。完整性评价基于管道内外检测的数据,对管道剩余的强度和剩余寿命进行定量评价。评价的结果可为在后期管道的维修和更换以及再检测周期的制定提供数据支撑,避免不必要和无计划的管道维修工作,保障长输管道安全可靠的运行状态。

管道内检测是借助天然气管道内的压力差,配合各种无损检测技术的智能检测器置于管道内运行,从管道内部采集管道基础数据,对管道本体的缺陷的检测。企业可以准确地掌握管道的运行状况,从而为管道维护提供可靠数据支持。从内检测的结果中判断潜在威胁管道安全的因素,可帮助企业减少由于内部缺陷导致的安全事故的概率。

管道外检测是指在非开挖情况下,使用专业的设备在地面非接触式检测管道,确定管道腐蚀缺陷、防腐层破损、阴极保护系统、防干扰系统等的实际状况,对管道开挖验证、修复计划,并指导管道运行

管理、维护工作。

## 5. 在维护管理中降本增效的具体做法

在长输管道日常运营维护管理中许多降低降本增效的方式方法, 将从以下几个方面展开论述。

### 5.1. 应急抢修抢险

自主建设专业应急抢修队伍需要投入巨额的资金和人力。首先, 组建专业的应急抢修队伍需要建设多功能专业的应急抢修基地用于存放各种设备、物资及车辆, 还需购置专用的应急抢修设备, 如开孔机、封堵卡具、隔离设备、断管设备等多种专业设备, 针对不同管径还需配备不同的规格。其次, 企业还需招聘专业的焊工、管工、封堵工等专业技术工种, 并取得相应的资质; 抢修队还需持续开展各种应急演练, 保持热状态以满足应急需要。

相较于自主建设抢修队的巨额投入和长期的低收益回报, 企业可选择市场上成熟的应急抢修队伍, 与其签订保驾协议, 凭借保驾单位成熟的应急体系、较为齐全的应急设备、物资以及熟练的技术工人为企业属辖管道进行应急保驾。保驾协议一般按照保驾基础待命费用加应急抢修出勤台班签订(人员、车辆、设备均按台班计算)。正常情况下, 企业只需支付基础的待命费即可。

此外, 管输企业还可加入“应急抢修俱乐部”。该模式即行业内几家单位由同一家保驾单位进行应急保驾, 保驾费用由俱乐部内的所有单位共同承担。按照各单位所辖管道的管径、长度, 分摊相应的保驾费用。此种模式下, 俱乐部成员之间还可以加强业务上的交流, 应急资源共享。应急情况下, 还可相互取长补短, 借调缺少的设备及备件等。

### 5.2. 技术及设备国产化

由于我国长输管道行业相较国外起步晚, 技术较为落后。前期的长输管道建设中, 往往借助国外的先进技术, 引进进口的设备。大到大功率内燃压缩机、电动压缩组、大口径阀门, 小到阀门密封件, 电(气)动执行机构的主板等, 国外为限制我国能源行业的发展, 在技术、市场上垄断, 形成价格垄断。另外, 进口设备购置价格高、维护成本高、售后服务难, 且备件的价格也远远高于国产设备, 直接给企业效益增加负担。

随着国内设备的不断改良, 技术的不断进步, 目前多数国产设备和技术已完全能够满足国内长输管道建设运营的需求。通过选用全焊接球阀、收发球筒, 过滤分离器及快开盲板、绝缘接头、气液联动执行机构、电(气)动执行机构等国产化设备, 在工程建设期可降低投资成本外, 在运营维护方面, 可节省外国厂家技术维护的高额费用, 且零配件价格相对便宜。国产设备的技术也相对开放, 可实现企业自主维修, 提高问题处理效率同时节约管道运营维护管理成本。

### 5.3. 降低长输管道的直接能源消耗

#### 5.3.1. 对输气管道运行状态及时进行调整优化

不同地区对天然气的需求在时间和空间上存在一定的差异, 因此需要根据实际需求对管输量进行调整, 实现供需之间的动态平衡。如冬季对天然气需求量远高于夏季, 此时需要对管输量进行调整。适当的降低管输量可减少输送过程中的能量损耗。

#### 5.3.2. 降低天然气运输过程中的放空量

在天然气运输过程中, 因管道缺陷或外界因素造成管道安全隐患, 需要对管道进行必要的维抢修, 此时存在于管中的天然气未运输就会被就地放空, 使管内压力下降确保维抢修作业的施工安全。大量的

天然气被放空就会导致运营成本大大增加。为避免大量的天然气放空浪费, 通过合理安排计划集中开展计划性的维检修作业, 与上下游沟通, 提前关闭截断阀再通过管输方式降低管内存气, 避免多次开展维修, 从而减少天然气放空量。

#### 1) 使用无人机代替人工巡检

通过使用 4K 高清的无人机巡检, 可满足“增加巡护频次”的高后果区管控措施要求, 且无人机巡检的范围较人工巡检更广, 巡检效率更高, 不受地形影响, 还可拍摄储存管线沿途的地貌变化, 及时发现异常从而保护管道安全。普及无人机的使用, 可极大程度上减少人工巡检的频次, 从而降低人工成本, 实现降本增效。

#### 2) 优化生产运营物资库存管理

生产运营中通过库存设备的零配件的方式确保设备故障时, 可第一时间进行故障处理, 确保生产运营不受影响。目前, 一线站场实行区域化管理, 可由中心站场统一存放管理、统一调配设备的备品备件, 如调压阀备件包、电动执行机构主板等。以作业区为单位, 梳理区域内的同类型的设备故障情况, 进一步优化备品备件的库存数量, 减少非必须的物资库存。按月对物资库存进行盘点, 通过物资采购的框架协议, 灵活对易损、易耗品进行补给。

## 6. 对天然气长输管道维护管理降本增效的探索

### 6.1. 未来站场无人化、线路巡检智能化

由于人工操作具有不确定性和人工成本的不断提高, 降低管道的运营维护成本, 提高生产效率。无人化站场和智能线路巡检是未来发展的必然趋势。为实现安全生产的目标, 必须加大硬件配置, 引进先进的互联网数据监控、传输设备、以及智能机器人, 实现远程控制。

### 6.2. 工艺的流程优化和可移动式压缩机的使用

随着未来科技的不断发展, 压缩机技术也会有不断的突破。在计划性开展天然管道维修时, 可运用高功率可移动式的天然气压缩机将大量就地放空的天然气进行压缩后, 通过一定的工艺输送至下游, 避免不必要的放空, 从而实现降本增效。

### 6.3. 运营提前介入工程建设, 实行“建管融合”机制

加强管道建设施工质量管理, 通过“建管融合”机制, 在管道建设期介入, 提前按照在役管道的完整性管理对建设期的管道和光缆及附属设施设备进行管理。对施工现场进行日常检查, 确保参建承包商规范按照设计图纸和施工方案施工。在监督过程中, 及时指出工程建设中可能存在的质量、安全隐患, 特别是对于管道和光缆埋深、一次水保和管道焊接质量和焊缝资料等, 督促隐患及时整改。

在工程建设期间加强对焊缝质量的把控, 采用新的焊接工艺提高焊接质量, 同时采用多种无损检测对焊缝进行综合评价, 如 DR、PAUT、TOFT、X 射线等, 并加强对焊缝底片的审查, 严格落实“一评一审”制度以及第三方全面复审, 避免焊缝缺陷的漏评、错评。加强对竣工资料的把控, 避免因竣工资料缺失导致管道投入运营后需投入大量资金和人力开展环焊缝质量排查工作, 以及减少运营期发现管道及光缆隐患整改处理成本。

### 6.4. 新建项目采用内涂层钢管

在不改变气体压缩比的情况下, 减小管道内输送介质与管道内壁阻力, 可有效地减少气体运输能耗, 提高输气管道的输送能力。通过实践验证, 采用内涂层管道输送气体, 可提高 8% 左右的输气量。虽然采

用内涂层钢管会加大建设的投资成本,但提高管输能力,可提高投资设计的经济指标。此外,采用内涂层钢管还可减缓管道内腐蚀的速度,提高管道的服役周期,减少内检测的频率,从而实现降本增效。

## 7. 结束语

我国长输管道行业正蓬勃发展,随着社会经济和科学技术的不断发展,尤其是新技术的研发和投入应用,会对管输企业在管道维护降本增效中起到突出的效果。降本增效是企业运营亘古不变的话题,如何在工程建设、运营维护中实现长输管道维护管理的降本增效,需要我们从更多的建设和运营管理的细节入手,确保管道运营安全的前提下,使得企业效益最大化。

## 参考文献

- [1] 朱宁,李涛,刘红祥,杨映,朱浩.国内外长输管道外检测技术现状综述[J].石油化工自动化,2019,55(5):1-4.
- [2] 刘海峰,胡剑,杨俊.国内油气长输管道检测技术的现状与发展趋势[J].天然气工业,2004(11):147-150+28.
- [3] 王小强,王保群,王博,等.我国长输天然气管道现状及发展趋势[J].石油规划设计,2018,29(5):1-6+48.
- [4] 李柏松,王学力,徐波,孙巍,赵云峰.国内外油气管道运行管理现状与智能化趋势[J].油气储运,2019,38(3):241-250.
- [5] 郭成华,王健.内涂层管子的经济效果[J].天然气与石油,2002(3):6-7+1.
- [6] 张先锋.天然气长输管道生产运营及发展分析[J].石化技术,2020,27(1):173-174.
- [7] 王保群,林燕红,焦中良.我国天然气管道现状与发展方向[J].国际石油经济,2013,21(8):76-79+109-110.
- [8] 邓超.油气储运中管道防腐技术[J].山西化工,2023,43(1):94-96.
- [9] 曾庆林,陈伟,肖开阳.油气储运工程实施中的环保管理分析[J].化工管理,2022(24):30-32.
- [10] 吴秀亮.油气储运中长输管道的安全性提升思考[J].中国石油和化工标准与质量,2023,43(1):84-86.
- [11] 王飞.油气储运管道防腐技术的应用[J].全面腐蚀控制,2022,36(10):121-122.