

# Application of pressurized sealing technology in pipeline transportation of oil and gas in maintenance and emergency repair

Qiang Liu

Jiuquan Maintenance and Repair Center, Gansu Company National Pipeline Network Group, Jiuquan, Gansu, 735001, China

## Abstract

Oil and gas pipeline operations frequently encounter leakage incidents caused by corrosion, third-party damage, material defects, and other factors, posing serious threats to safety and the environment. Pressure-sealing technology serves as a critical method for conducting pipeline maintenance, emergency repairs, and rerouting without interrupting operations, effectively minimizing downtime losses and enhancing repair efficiency. This paper comprehensively introduces the principles, classifications, and application conditions of pressure-sealing technology. It analyzes key implementation phases and operational priorities in pipeline maintenance and emergency repairs, examines technical effectiveness and existing challenges through case studies from typical engineering projects, and proposes improvement suggestions. Research findings demonstrate that pressure-sealing technology offers significant advantages in ensuring pipeline safety, reducing economic losses, and minimizing environmental damage. As an indispensable component of modern pipeline integrity management systems, this technology plays a vital role in safeguarding operational safety and ecological sustainability.

## Keywords

oil and gas pipeline; pressurized sealing technology; maintenance and repair; application strategy

## 输油气管道带压封堵技术在维修抢修中的应用

刘强

国家管网集团甘肃公司酒泉维抢修中心, 中国·甘肃 酒泉 735001

## 摘 要

油气管道运行时, 由腐蚀、第三方破坏、材料缺陷等缘由引发的泄漏事故屡屡出现, 严重威胁安全与环境。带压封堵技术是在不停输的情况下开展管道维修、抢修和改线工作的关键方法, 可最大程度降低停输损失, 提升抢修效率。本文全面介绍了带压封堵技术的原理、分类以及适用条件, 剖析了该技术在输油气管道维修抢修中的关键应用环节与实施重点, 结合典型工程实例探究了技术实施成效与存在的问题, 同时提出改进建议。研究成果显示, 带压封堵技术在保障管道安全运行、降低经济损耗、减少环境破坏等方面有着突出优势, 是现代管道完整性管理体系不可或缺的组成部分。

## 关键词

输油气管道; 带压封堵技术; 维修抢修; 应用策略

## 1 引言

油气管道作为能源运输领域关键的基础设施, 有着输送效率佳、成本少、安全性优等优势。鉴于管道长时间受高压、腐蚀、复杂地质以及外界环境的作用, 泄漏事故频繁出现, 常规的维修模式常常需实施停输、排空和降压措施, 这既会导致巨额经济损失, 还极有可能引发安全与环境方面的风险。带压封堵技术 (Hot Tapping & Plugging) 借助在运行管道上开孔、装封堵头的方式, 达成对存在缺陷管段的隔离

与修复, 特点是不停输、效率高且安全性好, 成为管道抢修与维护的关键方法。

## 2 带压封堵技术原理与分类

### 2.1 基本原理

带压封堵技术借助专用设备, 可在管道运行时开展开孔、封堵、切割、更换等作业, 核心是借助机械密封或者密封剂密封的方式, 在管道外部构建临时密封腔室, 把需要维修的管段分隔开, 让抢修工作能在管道其余部分正常输送介质的状态下开展, 此技术对密封性能要求极为苛刻, 需保证施工全程介质不发生泄漏, 且保障操作安全。

【作者简介】刘强 (1982-), 男, 中国甘肃酒泉人, 本科, 工程师, 从事油气储运方向研究。

## 2.2 技术分类

从封堵方式的角度划分，主要包含机械封堵、囊式封堵和化学封堵，机械封堵借助闸板、膨胀塞等机械部件达成密封，适用于管径大、压力高的管道；囊式封堵借助高压气囊充气膨胀实现密封，化学封堵借助注入密封剂的方式形成密封层，可用于特殊工况或不规则缺陷的应对。依据开孔的方式进行分类，有钻孔封堵和马鞍式封堵两种类型，直管段作业适合采用钻孔封堵，而马鞍式封堵适用于需设置旁通管道的分支连接或线路改造工程。

## 3 适用条件与技术优势

### 3.1 适用条件

带压封堵技术能用于具备多种介质的油气管道，包含原油、天然气、成品油等介质，压力覆盖范围从中低压管道到高压管道，最大值可超 10MPa。就管道材质而言，此技术对碳钢、不锈钢、球墨铸铁、合金钢等常见管材均展现出良好的适配性，应对管道参数做全面检测，保证符合施工条件<sup>[1]</sup>。

### 3.2 技术优势

与传统的维修方式比较，带压封堵技术展现出明显优势。可在不停输的状况下开展抢修作业，最大程度降低经济损失与能源消耗。施工过程中介质泄漏的风险受控，施工周期较短，可迅速使管道恢复正常运行。可降低抢修期间污染物的排放量，对环境的不利影响微弱，顺应绿色发展理念。

## 4 施工工艺与关键环节

### 4.1 施工前准备

#### 4.1.1 管道参数检测

带压封堵施工前，要对管道运行参数开展全面检测，涵盖介质压力、温度、成分以及管道壁厚等，压力与温度对封堵设备选型和密封材料性能有直接作用，而介质成分与封堵材料的耐腐蚀性和安全性密切相关，通过壁厚检测能够判断管道是否存在大面积腐蚀情况，杜绝施工期间因管壁强度不足而引发安全事故<sup>[2]</sup>。

#### 4.1.2 施工方案制定

按照检测结论，制订细致的施工方案，清晰界定施工步骤、人员分工、设备配置以及安全措施，方案需涵盖封堵位置选定、封堵方式明确、旁通管道设计（若有必要）及应急预案，针对复杂工况，要实施风险评估，拟定有针对性的应对办法。

#### 4.1.3 设备调试与密封测试

施工前应对全部封堵设备开展全面检查与调试，如开孔机、封堵头、密封件、液压系统等，保证设备性能良好，需对封堵装置开展密封性能测试，模拟实际工作状态下的密封成效，若发现问题应立即进行调整，保证施工期间无介质泄漏。

## 4.2 施工流程

### 4.2.1 安装封堵装置与开孔机

首先于管道预设位置安装封堵装置与开孔机，要保证设备跟管道连接紧实、密封严实，安装时需采用专用夹具与密封垫，杜绝安装部位出现泄漏情况，开孔机必须精准定位，保证开孔位置和封堵头位置相符。

### 4.2.2 管道开孔作业

开启开孔机，对管道实施开孔操作，开孔时需把控开孔速率，防止因摩擦生热引发安全事故，当开孔操作结束后，把开孔刀具收回，将开孔机阀门关闭，安装封堵头。

### 4.2.3 安装封堵头并实现密封

把封堵头经开孔置入管道内部，依据封堵方式的差异，运用机械驱动或者高压充气让封堵头膨胀，与管道内壁紧密相接，实现有效密封，安装封堵头时，需实时监控密封压力，保证密封效果达标<sup>[3]</sup>。

### 4.2.4 隔离缺陷管段并进行维修

当封堵工作结束后，将封堵装置两侧的阀门关闭，对缺陷管段进行隔离，对已隔离的管段实施泄压和排空操作，再开展维修或更换工作。进行维修操作时，作业区域保持良好通风，杜绝可燃气体或油品累积，合理布置警戒带，设置逃生通道，保证施工安全。

### 4.2.5 拆除封堵装置并恢复运行

维修结束后，对修复部位实施压力试验，确定无泄漏现象后，拆除封堵装置，让管道恢复正常运行，拆除时应先把封堵头压力释放掉，接着缓缓取出封堵头，最终封闭开孔，终结整个施工流程。

## 4.3 关键技术要点

### 4.3.1 密封面处理

密封面加工的精度与清洁度对封堵效果有直接作用，施工之前需对密封面开展打磨与清洁工作，消除油污、锈蚀以及杂质，让密封面平整顺滑，针对不规则的密封面，需运用特殊处理手段，确保密封材料能完全贴合。

### 4.3.2 封堵头安装同轴度控制

封堵头安装过程中，一定要保证其与管道轴线处于同轴状态，防止因偏心造成密封不均，安装时可借助激光定位或专用量具来校准，确保封堵头位置精准<sup>[4]</sup>。

### 4.3.3 压力监测与应急措施

施工期间需安排专人对管道压力变化进行实时监测，若察觉压力异常或有泄漏征兆，即刻启动应急预案，应急操作包含迅速关闭阀门、增添辅助密封、启用备用旁通管道等，确保能迅速控制风险。

## 5 工程应用案例

### 5.1 工程背景

某原油管道外输主干线，管道直径 813mm，设计压力设定为 8.0MPa，运行压力 6.5MPa，所输送的介质为含硫原

油,每年大约能输送1200万吨,此管道2005年开始投运,至今已不间断运行了15年有余。2023年8月,巡检人员在管道沿线距起点约320km处发现有原油渗漏迹象,现场开挖后证实有一处直径约10mm的腐蚀穿孔,穿孔位置在管道底部最下方,周围管壁存在局部的厚度减薄,穿孔附近管壁局部减薄,最小壁厚仅6.8mm。

鉴于该管道作为油田外输的唯一主干线路,其下游与炼厂、港口以及多个分输站相连,若停输将直接冲击油田生产和原油出口,造成巨大经济损失,业主方迅速开展技术论证工作,抉择采用带压封堵技术进行抢修,从而在不停输时完成缺陷修复。

## 5.2 技术方案选型

在方案论证环节,技术团队对三种潜在的抢修方式开展了对比工作。常规停输状态下更换管段、带压工况中进行机械密封修复及带压焊接补强操作,采用传统停输更换方法,要对全线进行降压和排空操作,预计停输时间在48小时以上,会产生逾2000万元的经济损失,还存在较大的介质排放及环境污染风险。带压焊接补强可用于处理局部腐蚀减薄情况,不过对穿孔类缺陷的处理可靠性欠佳,且焊接时存在火灾爆炸危险,带压封堵机械密封修复可在不停输时隔离有缺陷的管段,开展切除与替换工作,其技术成熟度高,能彻底修复穿孔类缺陷。通过综合考量,最终确定采用“双侧机械封堵+旁通管引流”方案,即对缺陷管段两侧分别安装一套机械封堵装置,借助旁通管道维持原油的输送,随后切除腐蚀管段并换上新管段。

## 5.3 施工准备

施工前借助在线检测确定管道实际运行压力达6.5MPa,温度为45℃,原油的黏度是25mPa·s,含硫比例为0.8%,采用超声波测厚方法对穿孔周围100mm范围开展检测,判定腐蚀范围与剩余壁厚,按照管径与压力挑选813mm专用机械封堵头,采用耐油且耐硫的丁腈橡胶作为密封材料,封堵装置的额定工作压力为10MPa,符合现场工况要求。旁通管道选用DN300无缝钢管,设计压力为10MPa(试压合格),长度约为12m,两端借助马鞍式三通与主管相连接,配置手动阀门以调控流量,配置防爆风机、可燃气体检测仪、灭火器等器材,作业区域布置警戒隔离,设置逃生通道,施工人员需穿着防静电服、佩戴防护眼镜和防割手套。

## 5.4 施工过程

在缺陷管段上下游大约2m的位置分别安装一套机械封堵装置,借助专用夹具与管道实现紧密连接,保证安装面密封良好,采用液压开孔机在封堵装置上开一个直径150mm的孔,开孔时借助循环冷却液调控温度,以防出现火花,经开孔操作把机械封堵头送进管道内部,运用液压系统推动闸板膨胀,与管道内壁紧密贴合以形成有效密封,实现有效密封。打开旁通管道的阀门,确保原油经旁通系统实现正常输送,主管缺陷管段压力慢慢降至0,替换成相同规格且试压

合格新管段,此管段长度约1.5米。采用双道氩弧焊打底加手工电弧焊盖面的焊接方式,完成焊接操作后实施100%射线探伤。结果表明焊缝质量满足GB/T3323-2005中I级规定,针对修复管段实施水压试验,其间压力无降低、无泄漏现象,关闭旁通管阀门,缓慢开启主管阀门,当确认封堵头所在位置没有泄漏现象后,拆除封堵装置,让管道恢复正常工作状态。

## 5.5 质量控制与应急措施

技术人员将把控封堵头安装同轴度误差,使其控制在0.5mm以内,实现密封均匀,开孔处应避开管道的环焊缝,防止出现应力集中情况,焊接期间要严格将层间温度控制在150℃~250℃,杜绝冷裂纹形成,如果封堵头出现泄漏现象,应马上启动备用密封剂注入系统予以补强,若旁通管道出现异常振动或者泄漏情况,应马上关闭相关阀门,转用备用旁通支路,现场安排了应急抢修团队,实时处理突发状况。

## 5.6 实施成效

此次抢修仅用8小时,相较于传统停输维修,节省40小时以上时长,防止了约500万元的直接经济损失,还减少约0.8吨原油泄漏,降低了环境污染风险,管道运行参数稳定下来,经6个月复查,焊缝及周围管壁未出现异常腐蚀或应力集中现象,证明了带压封堵技术在高含硫原油管道抢修中的可靠与安全。

## 6 存在问题与改进建议

### 6.1 存在问题

#### 6.1.1 设备维护成本高

封堵设备构造复杂,诸如封堵头、密封件、液压系统等核心部件要定期进行维护和更换,密封件在高压、高温且有腐蚀介质的环境中运行,一般寿命都不长,频繁更换既提高了运营成本,还可能因维护失误造成安全隐患,高端封堵设备大多依靠进口,购置和维修费用极高,阻碍了技术的普及运用。

#### 6.1.2 老旧管道适应性差

我国部分油气管道运行时间较长,面临管壁变薄、局部腐蚀严重、椭圆度超标的问题,由于存在这些缺陷,封堵头和管道内壁难以实现有效密封,加大了施工难度与风险,如果到了最糟糕的状况,管道强度不够或许会让带压封堵作业无法实施,只能采用传统停输维修方式,进而引发较大经济损失。

### 6.2 改进建议

#### 6.2.1 研发高性能设备与材料

提高科研投入力度,研制可应用于高压、强腐蚀、复杂介质环境的新型封堵设备与密封材料,聚焦突破长寿命密封件、耐腐蚀封堵头、智能化控制等关键技术,减少设备维护费用,增加使用期限,倡导进行国产化替代,减轻对进口设备的依赖,提升技术的经济性与可及性<sup>[1]</sup>。

### 6.2.2 制定统一行业标准与规范

倡导行业主管部门牵头,为带压封堵技术制定施工规范、质量验收标准和安全操作规程,技术要求和操作流程有机统一,构建施工全流程质量监控体系,加大对施工方案、设备选型、操作过程、竣工验收等环节的监管力度,保证技术应用的安全与可靠,大力促进标准国际化,增强我国在该领域的技术话语权。

## 7 结语

带压封堵技术作为高效、安全又环保的管道维修抢修方式,可在不停输时迅速隔离缺陷管段,完成修复工作,最大程度降低经济损失与环境影响。该技术对于油气管道完整性管理意义重大,应用前景极为可观,未来伴随技术持续进步以及标准体系渐趋完善,带压封堵技术会为我国油气管道安全运行筑牢更可靠的防线,推动能源行业实现可持续发展。

## 参考文献

- [1] 孙海峰.新型不停输带压开孔封堵技术在燃气管道改造和抢修工程中的应用[J].石油和化工设备,2025,28(06):193-198.DOI:CNKI:SUN:HSFF.0.2025-06-050.
- [2] 柳彦从.大口径燃气管道中压不停输封堵器的设计研发[J].天津建设科技,2025,35(02):54-58.DOI:CNKI:SUN:TJJ.0.2025-02-011.
- [3] 王立强,李勇,董华进,等.长输管道带压封堵技术现状及改进研究[J].全面腐蚀控制,2024,38(02):26-29.DOI:10.13726/j.cnki.11-2706/tq.2024.02.026.04.
- [4] 张新,俞国平.带压封堵专用管件制造和组装监检浅议[J].中国设备工程,2023,(16):173-175.DOI:CNKI:SUN:SBGL.0.2023-16-076.
- [5] 高杰.天然气管道抢修应用带压开孔封堵技术的研究[J].中国石油和化工标准与质量,2023,43(08):120-122.DOI:CNKI:SUN:HGBJ.0.2023-08-042.