

带压封堵技术在高压天然气管道事故抢修中的应用

时春朋（国家管网集团华南公司（广东省管网公司），广东 广州 510710）

摘要：本文聚焦带压封堵技术在高压天然气管道抢修中的应用问题，先阐述该技术的基本原理与主要分类，再梳理完整实施流程。进而剖析高压与天然气管道场景下的特殊挑战。为带压封堵技术在高压天然气管道抢修中的规范应用提供理论与实践，对保障能源输送安全、降低抢修损失具有重要意义。

关键词：带压封堵；事故抢修；安全保障

中图分类号：TE973 **文献标识码：**A **文章编号：**1674-5167（2026）005-0156-03

Application of Pressure-Resistant Sealing Technology in Emergency Repair of High-Pressure Natural Gas Pipelines

Shi Chunpeng (National Pipeline Group South China Company (Guangdong Pipeline Company), Guangzhou Guangdong 510710, China)

Abstract: This paper focuses on the application of pressure-resistant sealing technology in emergency repairs of high-pressure natural gas pipelines. It first elaborates on the basic principles and main classifications of this technology, then summarizes the complete implementation process. Furthermore, it analyzes the special challenges in the scenarios of high pressure and natural gas pipelines. This provides theoretical and practical guidance for the standardized application of pressure-resistant sealing technology in emergency repairs of high-pressure natural gas pipelines, which is of great significance for ensuring the safety of energy transportation and reducing repair losses.

Keywords: Pressure-resistant Sealing; Emergency Repair; Safety Assurance

高压天然气管道作为能源输送网络的关键动脉，泄漏或者断裂这类故障容易导致爆炸以及环境污染这类重大安全事故，迫切需要高效的不停输抢修手段来保证运行安全。带压封堵手段依靠不用停产就能实施抢修的主要长处，变成高压天然气管道应急处理的重要技术依托，但高压环境的复杂状况与天然气具备的易燃易爆属性，让它的使用遇到不少特殊难题。文章从技术使用实际出发，整理核心的技术框架与操作步骤，解决使用中的关键难点，期望为提高高压天然气管道抢修工作的安全水平和效率给出理论依据和操作参考。

1 带压封堵技术基本原理和主要技术分类

带压封堵这项技术的根本是在不停止输送、也不降低压力的条件下，对管道里某一段进行暂时性的物理隔离，为维修工作营造出安全环境。它的顺利实施依靠三个关键点：隔离、封堵以及旁通。这项技术是确保油、气、水管网能够持续安全运转的重要一环。带压封堵技术依照三种途径来划分。从封堵形式来看：悬挂式、筒式还有折叠式。从工艺路线来看：不停输封堵跟停输封堵。

从压力大小和管径尺寸来看：技术选用严格取决于工作状况的具体参数，高压场合需要高强度和多重密封手段，大口径则要处理设备安装和稳定性的难题，不存在普遍适用的方法。

2 带压封堵技术在高压天然气管道抢修中的实施流程

2.1 抢修前期准备

抢修前期的准备工作是保证作业安全和顺利的基础，其关键在于系统化地消除不确定因素。这阶段围绕三项主要任务进行：①事故评估与方案设计，技术队伍要快速展开现场勘查，准确获取事故位置的地理与环境情况，并从控制中心确认管道当前运行压力、温度、介质成分以及管材规格等重要数据。依据这些资料，开展严格的力学计算与工况模拟，制定出详细抢修技术方案，内容应包括封堵点选取、设备配置、作业流程、应急预案等，并完成规范的内审与监管审批手续。②设备选型与匹配。针对高压天然气易燃易爆的特点，必须选用额定压力高于管道运行压力、具备防爆资质的专用设备，需要根据管径、壁厚精确适配夹板阀、开孔机及封堵器尺寸，密封件材质必须与输送介质相容，所有设备进场前应完成严格测试。③作业许可与风险防控预案。作业前必须执行作业安全分析，全体人员识别并评估机械伤害、气体泄漏、火灾等风险，同时制定控制措施，还要按规定申请并获取动火、高处作业等全部许可证，完成安全技术交底后，才能进入现场实施环节。

2.2 现场作业主要步骤

现场作业是高度程序化、环环相扣的一个过程，

每一步都要求准确完成并加以检验。第一步：在指定地方把试压过关的夹板阀稳妥装到管道上，接着将开孔机与它连上并进行整体密封检查，形成第一层安全防护。第二步：开展带压开孔。通常按次序钻出先导孔、平衡孔和最终封堵孔，整个操作要平稳推进，并稳妥收走切下的管壁鞍形板。第三步：借助开孔通道把封堵器送进管道预定地点，推动其密封元件扩张，紧贴管内壁达到密封阻断。假如需要保持输送，就在这之前做好旁通管线的连接与启动。第四步：慢慢放掉两个封堵头之间的隔离段压力，依靠压力表观察和肥皂水查漏等手段，严格确认封堵的完全严密性，保证作业段处在安全零压情况。第五步：在确定安全隔离以后，对事故管段实施切割、更换或焊接维修等操作。这个环节仍然要不断检查封堵状态及作业环境气体浓度。第六步：维修结束以后，先平衡隔离段压力，然后收缩并取回封堵器。随后，借助夹板阀在开孔处装上永久堵塞，并完成其密封测试。第七步：按顺序移走作业设备，对夹板阀做最终密封处理并拆掉。对管道上全部安装点进行防腐层修复，还原管道原有防护状态。

2.3 作业后恢复与监测

管道作业完成之后的恢复与监测是保障管道长期安全运行所不可缺少的一个环节。第一步要做的是系统恢复与初步验证，慢慢打开下游阀门，往维修段充压，一步一步让管道回到正常运转压力，在这个过程中以及压力稳定下来以后，要用高精度气体检测仪对全部维修位置、焊缝和密封点做一次彻底查漏。与此同时，对施工期间受到损伤的管道外防腐层加以高标准修复，接下来进入运行状态监测与数据记录这个阶段。在恢复运行之后的特定时间段里（比如 24 到 72h），需要增强对该管段的压力、流量等运行参数的监控和分析，对照历史数据，确定其运行状态已经完全回到正常。这次抢修整个过程里的所有关键数据，包括作业压力、时间、设备参数、检漏结果、影像资料等，必须系统地整理归档，形成一份完整的抢修报告，这份记录不光是对这次工作的归纳，更是以后开展管道完整性管理、风险评估和制定维护办法的重要参考。

3 技术应用中的关键问题与对策

3.1 高压与天然气管道的特殊挑战

高压天然气管道的带压封堵操作面对物理和化学特性共同作用的复杂局面。就高压环境来说，它需要全部装置拥有出色的结构牢固度与密闭能力。封堵头、夹板阀这类核心零件一定要使用高强度的合金材质，并且安排多级密封结构，用来应对高压介质的强

烈穿透力与压力变化，避免发生任何形式的渗漏或结构损坏。天然气的易燃易爆性质对安全带来了极高要求，整个操作场地必须被明确列为严格防爆区域，全部电气装置、操作工具、通信设备都要达到最高防爆标准，操作人员必须穿着防静电服装，同时采取稳妥的静电接地手段。

任何微小的火花或者静电释放都有可能造成严重后果，所以防火防爆是贯穿整个操作过程的首要准则，管道内部复杂的运行条件会直接左右封堵效果，长期输送的管道内部容易堆积硫化铁粉末（“黑粉”）等杂物。这些杂质不仅可能磨损失封堵密封件，干扰其密封贴合效果和可靠性，其自燃性也带来了额外的火灾风险。操作之前需要评估杂质状况，并挑选具备抗污染设计的封堵装置。

3.2 安全风险与控制措施

高压带压封堵作业的风险非常集中，务必要借助系统性纵深防御手段来加以管控。核心风险能够总结为：介质泄漏和火灾爆炸隐患、设备机械故障隐患以及人员操作错误与受伤隐患。面对这些隐患，务必实施多层、重复的管控手段。作业整个过程需要借助几台可燃气体检测仪对重点区域和扩散区域做持续监测，设定声光报警数值。强制用到防爆设备和没有火花工具，作业区域准备好足够消防设备和隔离装置，在关键步骤里采用双重复或备用方案，执行细致的作业许可规定和锁闭挂牌流程。全体人员务必要接受专门培训和应急演练，确保清楚应急方案和撤离路线。借助人防技防物防一起配合，建立立体安全防线。

3.3 工艺与质量保证

工艺质量构成了带压封堵工作能否成功的技术核心要素，所有关键步骤都要执行非常严格的标准。

第一，开孔和封堵的精度把握：开孔的中心点定位必须准确，这需要依靠专业的测量和划线手段，开孔过程中要把握进给速度和切削参数，让孔壁保持光滑、尺寸准确，从而给封堵头提供一个理想的密封接触面，封堵器的下放深度得借助精确的计量杆或测距系统来把握，保证其皮碗在预定位置顺利展开。

第二，封堵严密性的检验标准与手段：封堵作业结束之后，必须对隔离段实施压力泄放并开展严格的严密性检验。常规做法是进行保压测试，查看压力表读数在特定时间段内（一般不低于 30MIN）是否保持为零或者规定允许的极小值。同时，要用肥皂水或专用检漏液对所有外部连接部位和封堵器主轴逐一涂抹检漏，确认没有任何气泡出现，这是判断作业段是否实现“绝对零压”安全状态的核心环节。

第三，高压条件下的焊接质量要求：如果需要进

行焊接夹板阀或旁通三通，就必须执行比常规更严格的焊接工艺，要先做焊接工艺评定，焊工要具备相应资质。采用全包围焊接方式，并且实施百分之百的无损检测（比如超声波检测或射线检测），确保焊缝不存在未熔合、气孔、裂纹等缺陷，能够承受管道全压力以及附加载荷。焊接与检测质量是避免焊口失效引发重大事故的根本保证。

4 应用案例分析

4.1 案例一：某高压输气干线因腐蚀泄漏的不停输抢修

事故情况：某 DN800、运行压力为 4.0MPa 的天然气管道，因为局部防腐层出现破损导致地面发生泄漏，泄漏位置处在乡村地区，管线无法停下输送。技术方案确定：为保证下游持续供气，选择采用双封双堵四通不停输封堵方法，在泄漏点上下游各约 50m 位置安排两个封堵位置，装设旁通管线，达成介质分流与作业段彻底隔离。实施流程与成效：首先，在确定的封堵点焊接高压封堵三通，装好夹板阀与开孔设备。依照规程完成带压开孔，依次放入两个高压筒式封堵器，顺利达成泄漏段的两侧隔离，之后连接并启用临时旁通管线，确保供气，隔离段经过泄压、氮气置换以后，对腐蚀管段做安全切割与替换，作业整体持续约 36 个小时，管道输送没有中断，下游用户用气没有受到干扰。经验总结：这一案例证实了成熟的不停输封堵技术在应对非突发泄漏情形下的可靠性。顺利重点在于前期准确的泄漏点定位与应力计算，保证了封堵点选择的合理程度。另外，旁通流量与压力的准确匹配是保障管网运行稳定的关键所在。

4.2 案例二：第三方施工破坏导致管道断裂的带压封堵抢修

事故基本情况：第三方挖掘机作业造成一条 DN300、压力为 2.5MPa 的次高压燃气管道发生完全断裂，引发大量天然气外泄，形势非常紧急。快速反应与技术手段运用：应急小组到达现场以后，马上组织人员疏散、设置警戒范围，同时持续监测气体浓度，由于管道已经断裂并且上游气源无法切断，决定在断裂位置上游大约 15m 的地方采用单点悬挂式（囊式）快速封堵方法。这项技术装备比较轻巧、展开速度快，能够在较短时间内形成初步密封，为之后的永久修复工作打下基础。安全防护与操作执行：在不断喷水雾稀释泄漏气体的防护条件下，抢修人员使用专用夹具迅速在管道上安装封堵囊套。把未充气的封堵囊送进管道内部，精确推送到断裂点后方位置，接着快速充入高压氮气让其膨胀，紧急阻断了主气源泄漏，之后，在更远的上游位置实施正式的筒式封堵作业，为断裂管段的永久焊接更换创造了安全环境。

4.3 案例对比分析与经验总结

成功关键因素提炼：①精准的前期评估工作：案例一依靠细致的腐蚀评估和力学方面的计算；案例二则看重对泄漏态势和风险情况的快速研判。准确的信息是所有决策的根基。②技术的适应性选择过程：案例一采用标准且复杂的“双封双堵”工艺来达到不停输的目标；案例二则先采用快速的“悬挂式封堵”方式控制险情，再转向标准工艺。技术要服务于具体场景，灵活组合显得极为关键。③安全程序的刚性执行要求：两个案例都显示出，无论情况多么紧急，气体监测、防爆措施、作业许可等核心安全程序不能有半点妥协，可优化环节与通用经验：①信息链的完整性方面：需要加强与管道管理中心的实时数据互通，确保压力、流量信息的绝对准确。②应急设备的模块化与快速投用环节：针对第三方破坏类突发事件，应当优化快速封堵设备的储存和运输方案，从而缩短响应时间。③跨案例学习机制建设：应当系统分析不同案例比如腐蚀泄漏与机械破坏在应力状态、杂质影响上的差异，并且把这些差异反馈到前期方案库和风险评估模型里，持续提升预案的针对性和可靠性。

5 结束语

综上，带压封堵技术作为高压天然气管道不停输抢修的核心技术，其安全高效应用对保障能源输送稳定、减少经济损失与环境风险具有关键意义。本文系统梳理了该技术的基本原理、分类及完整实施流程，针对性破解了高压工况下的特殊挑战与安全风险，结合典型案例提炼了实践经验。研究形成的技术应用体系与风险管控策略，为实际抢修作业提供了理论支撑与实践指引。未来需持续推动技术工艺优化与装备升级，强化标准化作业与经验传承，进一步提升带压封堵技术在高压天然气管道抢修中的适配性与可靠性，为筑牢能源输送安全屏障提供更坚实的技术保障。

参考文献：

- [1] 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.
- [2] 高卫星. 天然气管道带压堵漏抢修技术的研究 [J]. 石化技术, 2022, 29(09): 223-225.
- [3] 吴建宏. 天然气管道泄漏分析及动态处理技术探讨 [J]. 石化技术, 2022, 29(05): 42-44.
- [4] 贾文江, 李刚, 芦涛. 长输天然气管道换管抢修关键技术及发展趋势探讨 [J]. 油气田地地面工程, 2022, 41(05): 65-68.
- [5] 何伟宏, 林焕明. 石油天然气管道泄漏抢修技术分析 [J]. 当代化工研究, 2025, (06): 133-135.