

油品管道快速堵漏技术研究

张廷远

国家管网西北公司山西输油气分公司长治维抢修中心 山西长治

【摘要】这篇文章研究油品管道泄漏的快速堵漏技术。介绍了此技术的种类、原理和效果。研究发现，传统动火堵漏方式风险较大，易造成安全事故。不动火带压堵漏技术相对更好，比如：智能封堵机器人、模块化密封系统，这些技术采用了新技术和新材料，大大提高了管道堵漏的安全性能和效率。长输管道在输送油品时，当管道出现泄漏时，会造成油品损失，进而导致环境污染，甚至有引发火灾爆炸的风险。本文油品抢修流程主要包括监测泄漏、查找漏点、分级堵漏、提供支持和后期检查。研究介绍了木楔临时堵漏、高压卡具封堵、不停输带压封堵旁通和补板修复等技术。对进行管道应急抢修，提高工作效率和安全性，具有参考意义。

【关键词】油品管道；快速堵漏；高压卡具；带压封堵；补板修复；泄漏监测

【收稿日期】2025 年 11 月 6 日

【出刊日期】2025 年 12 月 30 日

【DOI】10.12208/j.jer.20250409

Research on rapid leakage blocking technology for oil pipelines

Tingyuan Zhang

Changzhi Maintenance and Emergency Repair Center, Shanxi Oil & Gas Transmission Branch, Northwest Branch of PipeChina, Changzhi, Shanxi

【Abstract】This paper focuses on the rapid leakage blocking technology for oil pipeline leaks, introducing its types, principles, and effectiveness. The research indicates that traditional hot-work leakage blocking methods carry significant risks and are likely to cause safety accidents. In comparison, non-hot-work pressure leakage blocking technology is more favorable. Examples include intelligent plugging robots and modular sealing systems, which adopt new technologies and materials, greatly enhancing the safety performance and efficiency of pipeline leakage blocking. When long-distance pipelines transport oil products, leaks can result in oil loss, subsequent environmental pollution, and even the risk of fire and explosion. The oil pipeline emergency repair process outlined in this paper mainly includes leak monitoring, leak point location, graded leakage blocking, support provision, and post-repair inspection. The study presents technologies such as temporary wooden wedge plugging, high-pressure clamp plugging, non-stop pressure bypass plugging, and patch repair. It provides reference value for conducting pipeline emergency repairs and improving work efficiency and safety.

【Keywords】Oil pipeline; Rapid leakage blocking; High-pressure clamp; Pressure plugging; Patch repair; Leak monitoring

1 引言

我国成品油管道 2023 年底总长 3.2 万公里。主要管道包括石太线和长三角管网、兰郑长管道、兰成渝管网、湛北管道等等。这些管道负责大部分油品运输，管道经过很多复杂地区和人口密集区域，安全问题日益突出。

2020 年到 2023 年期间，全国平均每年发生 46 起管道泄漏事故。其中施工破坏占 42%，管道腐蚀占 28%，盗油占 15%，这些事故造成了严重的损失。管道抢险面临四个主要问题：寻找漏点速度太慢、易选错堵漏方

法、缺少先进设备、关键技术岗位人员缺少，这些问题影响抢修效率，需要尽快找到更好的堵漏方法。

2 油品管道泄漏的监测与快速定位技术

快速堵漏的前提是“早发现、准定位”，需依托“技术监测+人工巡查”的协同机制，实现泄漏信号捕捉与漏点锁定的无缝衔接，将“报警--定位”全流程时间控制在规定时间之内。

2.1 技术监测：基于压力场异常的早期预警

油品管道泄漏会打破管内压力平衡，因此，压力参数突变是油管泄露的预警信号之一。根据石太线运营

经验，监测技术可分为“专用系统”与“常规仪表替代方案”两类。

2.2 人工定位：基于巡线工与数字化工具的协同

系统进行技术报警后，需通过管道巡线工完成漏点实地确认，目前石太线已形成“三级定位流程”。第一级：区域粗定位，利用管线实时泄漏监控系统，初步锁定 10 公里内范围；第二级：管段精定位，借助声波+负压波联合分析，缩小至 1-2 公里范围；第三级：坐标精准定位，根据智能内检测器（PIG）技术，精确定位至 100 米内。具体如下：

（1）区域缩小：根据“压差异常区段”将排查范围从 50 公里缩小至 10-15 公里，减少无效巡查（如晋中-太原段报警后，直接锁定中间 12 公里区段）；

（2）现场识别：管道巡线工采用“感官+仪器”组合排查——视觉观察地面油迹、植被枯萎（油品毒性导致叶片发黄枯萎，识别准确率 85%），听觉监听

管道“嘶嘶”泄漏声（10 米内可识别），同时用可燃气体检测仪检测（浓度>爆炸下限 10%即为疑似漏点）；

（3）数字化定位：漏点确认后，通过互联网实时共享位置至抢险群，抢修人员依托导航直达现场，避免“盲目寻点”。

3 油品管道核心快速堵漏技术及实践验证

堵漏技术分为四级，分级依据是泄漏大小、管道压力和能否停输。不同技术适用于不同情况，每种技术的使用方法和工作效果都不一样，必须正确选择才能有效堵漏。

3.1 临时控制技术：木楔堵漏的高效应用

木楔堵漏针对“小沙眼泄漏”（直径<5mm，压力≤2MPa），核心优势是成本低、操作快，可为后续封堵争取研判时间，是基层单位的“应急首选用品”。木楔的预制与储备规范具体参数表现如表 1 所示。

表 1 木楔的预制与储备规范具体参数

技术参数	要求标准	石太线储备方案	维护要求
材质	松木/橡木（可塑性强、无油脂）	每个站场/阀室储备 30 个	防潮储存，湿度<60%
形状与规格	圆锥形，直径 10-20mm（分 3 类）、长度 50-100mm	10mm/15mm/20mm 各 10 个/储备点	每季度检查是否霉变
适配管道	Φ323 及以下管径	优先匹配石太线主力管径	与管道接触面打磨光滑

3.1.1 操作流程与实践案例

木楔堵漏需遵循“清理-选楔-砸入-固定”四步，核心是“过盈配合、缓慢加压”：

（1）清理泄漏点周边油污，用 80 目砂纸打磨管道表面，确保木楔与管道贴合无间隙；

（2）根据漏点直径选择适配木楔（直径比漏点大 2-3mm，如 3mm 漏点选 5mm 木楔）；

（3）用橡胶锤缓慢将木楔砸入漏点，直至泄漏量减少 90%以上（允许轻微渗油，后续用卡具强化）。

3.2 中期封堵技术：高压堵漏卡具的精准应用

高压卡具是临时堵漏后的“强化方案”，适用于泄漏点直径 5-30mm、管道压力≤10MPa 的场景，可实现完全无泄漏，且能重复使用（寿命>5 次），是石太线中期堵漏的核心设备。

3.2.1 安装流程与实践验证

高压卡具安装需 2-3 人配合，核心是“对准漏点、均匀加压”，具体步骤如下：

（1）移除临时木楔，用棉布蘸取乙醇清理漏点周边残留油品（避免影响密封效果）；

（2）将对开式卡具扣合在管道上，通过定位销确

保卡具中心与漏点对齐（偏差≤5mm）；

（3）用扭矩扳手按对角线顺序拧紧卡具螺栓，逐步加压至管道运行压力的 1.2 倍（如 5MPa 管道加压至 6MPa，防止泄压后渗漏）；

（4）用便携式可燃气体检测仪检测卡具周边 30cm 范围（浓度<爆炸下限 5%即为合格）。

3.3 不停输处置技术：带压封堵与旁通管道搭建

当下游客户要求“不能停输”（如城市供油、重点工业企业保障）时，需采用“带压封堵+旁通管道”技术，平衡“供应连续性”与“泄漏控制”，适用于泄漏量>1 吨/小时（如第三方施工破损、洪水冲刷）的场景。

3.3.1 设备组成与成本核算

带压封堵系统需“成套配置”，核心设备包括液压开孔机、夹板阀、封堵头及旁通管道，具体成本如下表 2 所示（以Φ323 管道为例）。

旁通管径选择Φ159（小于主管道Φ323），因带压开孔需将管道压力降至 2-3MPa，小口径可降低油气喷射风险；单节旁通长度≤7m，适配长治现有抢险车（后车厢 7.5m），避免额外雇佣板车（成本增加 1.2 万元/次）。

表2 各设备具体成本与功能

设备名称	数量	功能	单价(万元)	小计(万元)	技术要求
液压开孔机	1台	主管道开旁通孔($\Phi 159$)	60	60	开孔精度 $\pm 0.5\text{mm}$, 适应压力 $\leq 10\text{MPa}$
液动夹板阀	2台	控制上下游油品流动	40/台	80	密封等级 API Class VI, 无渗漏
封堵头	2个	阻断主管道泄漏段	40/个	80	采用丁腈橡胶密封, 耐油温度-30°C~120°C
旁通管道($\Phi 159$)	若干	临时输油通道(单节7m)	15-20	20	材质20#钢, 壁厚6mm, 法兰连接
合计	/	/	/	250-260	厂家现场定制, 适配石太线管道参数

3.3.2 操作流程与实践价值

带压封堵需严格遵循“分步实施、风险可控”原则, 具体流程如下:

(1) 预处理: 在泄漏点上下游10-15米处焊接封堵三通与夹板阀, 焊接后用超声波检测焊缝质量(一级片率 $\geq 95\%$);

(2) 开孔: 液压开孔机在主管道上开 $\Phi 159$ 孔, 开孔过程中用2台防爆轴流风机持续吹散油气(浓度控制<爆炸下限10%);

(3) 封堵: 插入封堵头阻断主管道油品, 通过法兰连接多节7m旁通短接, 形成临时输油通道;

(4) 修复: 对泄漏段进行换管或补板修复, 完成后进行压力试验(1.5倍设计压力, 保压30分钟无渗漏), 拆除旁通系统。

3.4 彻底修复技术: 补板修复的精准实施

当具备停输条件(如下游有备用油库、夜间低峰期)后, 补板修复是针对泄漏点直径 $<50\text{mm}$ 的“彻底解决方案”, 尤其适用于 $\Phi 323$ 管道的局部破损(如第三方施工钻洞、小范围腐蚀), 成本仅为换管的40%, 且修复时间短(2-3小时)。

3.4.1 补板制作与焊接要求

补板的质量会直接对修复效果产生决定作用, 需要严格依照“材质匹配、尺寸精准、焊接达标”这三大原则开展工作。要借助与管道同材质(20#钢)的备用管来制作补板, 以此来保证达到100%的匹配度。对于壁厚偏差要严格把控在0.5mm以内, 要使用千分尺来测量从而实现适配。焊接方面采用氩弧焊打底加上手工电弧焊盖面的方式, 一级片率能够达到98%, 在风速高的时候搭建防风棚, 保证不会出现气孔、未焊透等缺陷。

3.4.2 操作风险与人员技能影响

补板修复的核心风险是焊接质量不足, 需重点控制两大因素:

(1) 环境干扰: 现场温度 $<0^\circ\text{C}$ 时需对管道预热至

15-20°C(防止焊缝冷裂), 湿度 $>85\%$ 时采用除湿机降低湿度;

(2) 人员技能要求: 焊工需要通过 $\Phi 323$ 短接焊接考试, 一级片率要达到80%。定期开展员工培训, 提升员工的理论知识和实操技能。

4 特殊场景下的快速堵漏辅助技术

4.1 油田堵漏技术

我国某大型油田分公司多个采油厂, 在2025年地面系统堵漏技术服务中广泛应用了快速堵漏技术。以第五采油厂为例, 2025年计划实施带压堵漏750项, 非金属管线维护140条, 管道焊缝补强修复350条、管体补强修复250m。技术方案包括: 带压堵漏、低压粘补、钢带拉紧等技术, 对管网、设备、仪表、阀门等泄漏部位现场进行紧急抢修治理; 管道补强修复: 损坏严重的埋地管道, 对其焊缝或管体进行补强修复。

4.2 无损开挖技术: 自行式负压开挖装备的应用

当泄漏点周边有伴行光缆(石太线80%管道伴行光缆, 修复成本 >50 万元/次)时, 常规挖机开挖易损坏光缆且产生火花, 需采用自行式负压开挖装备——通过抽吸方式将土壤、沙石吸入侧倾式沉积箱, 实现“无火花、无损伤”开挖, 作业风险降低90%。

4.3 油品回收技术: 分级处置方案

山西某山区管道发生泄漏, 因地形紧邻山区地下多岩石, 挖机无法开展作业。抢修人员借助500m²的吸油毡(耐油型, 吸附量为15倍自重)进行清理油品, 最终油品的回收率达到了82%, 避免了油品渗入土壤从而造成生态环境污染。后续经过环保检测, 结果显示土壤油含量 $<5\text{mg/kg}$, 并未超标, 也没有产生处罚成本, 对于油品回收, 要参考泄漏量和地形去挑选抢修方案, 以此来减少经济损失和环境污染。

5 快速堵漏技术的实施保障体系

为确保技术高效落地, 需从“设备储备、人员技能、制度建设”三方面构建保障体系, 避免“技术脱节、执行不力”。基于“核心优先、辅助补充”原则, 建议基

层单位按以下标准储备设备，确保应急时“拿得出、用得上”。

5.1 人员技能提升方案

(1) 场景化演练：每半年开展1次“全流程实战演练”，模拟“小沙眼泄漏”“山区不停输封堵”“高浓度油气场景”，加入风速、粉尘等干扰因素，提升人员应急处置能力。

(2) 师徒带教：公司根据实际情况，建立起师徒帮带制度，让新员工尽快地熟悉公司制度，提升岗位技能。

(3) 考核激励：将“堵漏效率”“焊接一级片率”纳入绩效考核，达标者奖励2000-5000元/次，未达标者暂停抢险资格，重新培训考核。

5.2 制度建设要点

(1) 技术选型流程：制定《油品管道快速堵漏技术选型指南》，明确“泄漏规模-压力-是否停输”三维选型逻辑，避免盲目选择；

(2) 应急协同机制：与东储（负压开挖装备）、西安封堵队（带压设备）签订《应急合作协议》，根据实际情况，双方约定在1小时内响应，避免设备短缺延误抢险；

(3) 环保应对预案：提前与2-3家具备环评资质的检测单位合作，到达现场后2小时内出具环评检测报告，降低地方环保部门处罚风险。

6 结论与展望

本文针对油品管道堵漏技术研究，建立了四级技术体系和三维保障体系。选择堵漏方法要求符合现场情况：5毫米以下沙眼泄漏用木楔加高压卡具，力争最短时间可控制；管道需要不停输时用不停输带压封堵技术；补板焊接比换管节约大量成本，但要求焊工水平高，一级片率需超99%。

基层缺关键设备，需要配排烟车和负压设备，立足研发小型便宜带压封堵设备，借助检测和堵漏机器人，减少人员进入危险区域，本研究为管道抢修提供技术指导，提升管道安全管理水。

参考文献

- [1] 吕炜.成品油管道泄漏应急处置及油泥处理技术[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2017(1):00330-00330334
- [2] 刘璐,贾晓丽,杨晨,李兴涛,刘海鹏.油气管道不动火带压堵漏装置设计与仿真研究[J].石油矿场机械,2025, 54(1): 30-36
- [3] 张勐,刘凤权,刘金波,孙福增,费雪松,王洪超.输油管道泄漏监测系统[J].石油化工自动化,2009,45(4):62-64
- [4] 陈向新.油品泄漏自动监测与报警系统[J].腐蚀与防护,1993,14(3):161-162
- [5] 张红兵,刘恩斌,李长俊.长输管道阀门位置的优化[J].石油工程建设,2004,30(4):20-23
- [6] 关庆贺,刘晓旭,张光.C_5管道冻裂原因分析与控制措施[J].中国特种设备安全,2017,33(7):79-81
- [7] 刘博勋.航空煤油输油管道腐蚀因素分析及应对措施[J].化工设计通讯,2020,46(1):194-194206
- [8] 杨毅.在役阀门内漏的故障诊断及处理[J].中国科技期刊数据库 工业 C,2018(5):00116-00116

版权声明：©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

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

