

油气管道第三方破坏泄漏快速封堵工艺研究

邵宝强

中国石油管道局工程有限公司维抢修分公司, 河北 廊坊 065000

[摘要]长输油气管道沿线途经农田、村镇、施工场区, 工程机械挖掘、施工碾压、打孔盗油等第三方破坏是管道泄漏突发事件的首要诱因, 具有突发性强、现场条件复杂、介质易燃易爆、停输损失大等特点。文中结合中国石油管道局工程有限公司维抢修分公司一线抢险工程实操经验, 梳理第三方破坏泄漏现场处置流程, 对比卡具堵漏抢险包、带压开孔不停输封堵、B 型套筒修复三类主流快速封堵工艺适用场景, 优化从现场警戒处置、介质管控、封堵施工到复产投运全流程关键控制要点, 形成了一套标准化快速抢修作业工艺体系。工程实践表明, 优化后的成套工艺可显著缩短抢修工期, 降低安全风险与停输经济损失, 可为同类第三方破坏泄漏应急处置提供实操参考。

[关键词]长输油气管道; 第三方破坏; 带压不停输封堵; 抢险包; 工程实操

DOI: 10.33142/ec.v9i7.20044

中图分类号: TE973.9

文献标识码: A

Research on Rapid Sealing Technology for Third-party Damage and Leakage of Oil and Gas Pipelines

SHAO Baoqiang

Maintenance and Emergency Repair Branch of China Petroleum Pipeline Engineering Co., Ltd., Langfang, Hebei, 065000, China

Abstract: Long distance oil and gas pipelines pass through farmland, villages, and construction sites. Third party damage such as excavation, construction compaction, drilling and oil theft by engineering machinery is the primary cause of pipeline leakage accidents. It has the characteristics of strong suddenness, complex on-site conditions, flammable and explosive media, and large losses due to shutdown. Based on the practical experience of the first line emergency rescue project of the Maintenance and Emergency Repair Branch of China Petroleum Pipeline Engineering Co., Ltd., this article summarizes the on-site disposal process of third-party damage and leakage, compares the application scenarios of three mainstream rapid sealing techniques: card plugging and rescue package, pressurized opening and non-stop sealing, and B-type sleeve repair. It optimizes the key control points of the entire process from on-site alert disposal, medium control, sealing construction to resumption of production and operation, and forms a standardized rapid repair operation process system. Engineering practice has shown that the optimized complete process can significantly shorten the repair period, reduce safety risks and economic losses caused by shutdown, and provide practical reference for emergency response to similar third-party damage and leakage.

Keywords: long distance oil and gas pipelines; third party destruction; continuous transmission and sealing under pressure; emergency kit; engineering practice

引言

国内干线长输油气管道覆盖地域广阔、线路绵长, 不可避免地与道路基础设施建设、城镇土地开发、河道整治等外部工程活动频繁交叉重叠。在此背景下, 第三方机械开挖撞击、违规施工作业碾压等因素所导致的管道变形、穿孔、撕裂等泄漏事故常年居高不下, 成为威胁管道安全运行的主要风险源之一。第三方破坏泄漏事故若未能得到及时有效的处置, 不仅极易引发火灾、爆炸及土壤水体污

染等严重次生灾害, 同时长时间停输还将造成巨大的油气输送效益损失, 直接影响区域能源供应稳定。中国石油管道局工程有限公司维抢修分公司承担着全国多条主干油气管道应急抢险任务, 长期负责各类第三方破坏泄漏现场的抢修施工组织与实施。然而, 以往传统抢修模式在实际操作中普遍存在工序衔接混乱、工艺选型缺乏科学依据、动火作业安全管控不够严密、复产验收流程繁琐耗时等问题, 致使现场抢修整体效率偏低, 难以满足日益严格的安

全生产与保供要求。为此,本文依托近三年本单位参与实施的十余起第三方破坏泄漏抢险实操案例,系统总结不同泄漏损伤形态所适配的封堵工艺,全面完善标准化快速抢修作业流程,深入提炼现场实操中的关键技术管控措施,以期提升管道泄漏抢险施工的安全性与时效性,为行业同类事故处置提供有益借鉴。

1 第三方破坏泄漏损伤特征与抢修难点

1.1 第三方破坏典型损伤形式

从现场抢险案例看,第三方施工造成的管道损伤主要有三种:

(1) 小型点状穿孔。挖掘机齿尖戳刺管壁,形成单个孔洞,泄漏量较小,管壁没有大面积变形。

(2) 条状撕裂损伤。机械刮蹭造成长条形裂纹,油气持续喷射,现场扩散范围较大。

(3) 管道凹陷加开裂的复合型损伤。重型机械碾压或撞击导致管壁大幅凹陷,同时伴有多处裂纹。这类损伤会降低管道的结构承载力,单纯堵漏不能满足长期运行要求。

1.2 现场抢修实操难点

(1) 安全风险高。天然气泄漏会形成爆炸性混合气体,油品泄漏容易造成土壤污染,现场动火作业的管控要求很严。

(2) 现场条件受限。泄漏点常在村镇、农田或公路下方,开挖空间狭小,大型抢修设备进出困难。

(3) 工期约束紧。干线管道停输会直接影响下游供气,业主对快速复产的要求很高。

(4) 损伤形态不规则。第三方破坏没有固定的破损尺寸,需要现场快速判断损伤程度,再匹配相应的修复工艺。

2 第三方破坏泄漏快速封堵主流工艺及适用工况

根据分公司现场施工经验,三类封堵修复工艺适用于不同的泄漏工况,选型标准如下。

2.1 应急卡具(应急抢险包)快速堵漏工艺

该工艺主要用于小型点状穿孔,且管壁没有明显变形的临时控漏作业。常用的工具有引流补板式、封头式、磁泥式、顶针式、绑带式等堵漏卡具。作业时不需停输,也不用动火。抢险人员快速组装弧形堵漏卡具,配合密封橡胶垫,通过螺栓机械压紧,就能实现即时封堵。一般10~60min内可以控制住介质喷射,适合在抢险初期的紧急控险阶段使用。但它只是一种临时处置手段,后期还要进行永久性修复。

该工艺的不足之处在于:承压上限较低,对裂纹扩展或凹陷变形的损伤不能有效修复;密封橡胶垫在高温或强腐蚀介质中耐久性有限,不能作为长期的结构性修复措施。

2.2 不停输带压开孔封堵工艺

该工艺适用于中大型泄漏事故,以及不允许长时间停输的情况。其技术原理是:在泄漏点的上下游管段各安装一个封堵三通,用塞式或液压主动式封堵器将泄漏段内的介质隔离开。同时,在两个封堵器的外侧管道上,分别带压焊接旁通三通,开孔后连接旁通管路,形成临时介质流通通道。这样,泄漏段就可以在无介质条件下进行切割、换管或更换阀门,而其他管段仍然正常输送。

该工艺的优点是能大幅压缩全线停输时间,降低下游保供损失。但缺点也很明显:设备体量大,在狭窄场地吊装、组装工序多,对操作人员的配合熟练度和协同作业能力要求高,施工准备时间也比较长。

2.3 B型套筒永久封堵修复工艺

该工艺采用焊接式补强套筒,适用于复合型凹陷开裂、管壁损伤范围大、需要永久恢复管道结构强度的工况。它主要用于钢质油气管线出现大面积腐蚀或机械损伤,但尚未泄漏的在线修复场景,适用管径从 $\Phi 159\text{mm}$ 到 $\Phi 1219\text{mm}$ 。

具体操作是:管段介质隔离泄压后,把损伤区域的管壁表面清理干净,匹配同材质、同壁厚的B型套筒包裹管体,用手工焊或自动焊完成套筒与母管的焊缝连接,恢复管道整体的承压能力。这是目前第三方严重破坏泄漏事故中最常用的永久修复工艺。

该工艺的关键控制点有:选择合适的焊接工艺参数,焊前对管壁严格除锈和干燥,低温环境下进行有效预热,焊后落实保温缓冷措施,严控焊接冷裂纹风险。这些措施都是为了保障修复后管道长期运行的安全。

3 第三方破坏泄漏标准化快速抢修复产实操工艺流程

根据一线抢险经验,整个处置过程可划分为五个阶段:现场应急处置、工艺方案制定、封堵抢修施工、无损检测与试压验收、安全复产。各阶段具体工序如下。

3.1 前期现场应急处置(抢险黄金初期)

事故初期,快速有序的应急处置是控制事态扩大的关键。具体措施包括:

(1) 警戒隔离。根据泄漏介质和风向,迅速划定危险区域边界,严禁明火和非防爆设备进入,及时把周边群众疏散到安全地带。

(2) 泄漏管控。远程或就地关闭泄漏段上下游阀门,切断介质来源;安排人员持便携式检测仪持续监测可燃气体浓度;遇到原油泄漏,立即搭建围堰、开挖集油坑收集油污,防止水土污染扩散。

(3) 管线探查。用探管仪、探地雷达等设备, 精准定位泄漏点的埋深、管径、运行压力和损伤尺寸, 对泄漏部位拍照、测量, 记录完整的损伤数据, 为后续工艺决策提供依据。

(4) 工艺快速判定。根据穿孔大小、管壁变形程度、周边环境敏感度和抢修物资储备情况, 初步确定是采用临时堵漏还是永久修复方案, 同时调配抢修机具、耗材和封堵焊接作业人员。

3.2 封堵修复核心施工管控要点

(1) 小型点状泄漏。优先用卡具控漏, 同步规划天窗开挖, 择机停输, 用套筒做永久修复。

(2) 长条撕裂、中度泄漏。用带压封堵隔离介质, 在隔离区间里进行焊接修复。

(3) 复合型凹陷开裂损伤。带压停输或不停输封堵隔离后, 切除破损管段, 换上新管段。

(4) 焊接实操管控。野外露天作业要搭设防风防雨棚, 严格执行预热、层间温度、无损检测流程。全部修复焊缝做完 UT/MT 无损检测, 合格后才能进入试压环节。

3.3 试压、置换与复产实操流程

封堵修复施工完成后, 按下面步骤逐步恢复管道运行:

(1) 分段试压。修复管段按设计压力的 1.25 倍做稳压检验, 稳压时间不能低于规定要求, 没有渗漏、压力不降才算合格。可以用水压, 也可以用气压。

(2) 介质置换。天然气管道用氮气置换管内空气, 保证氧含量达标, 避免投运时发生爆炸; 原油管道要排空积水和杂质, 保证介质纯净。

(3) 分步升压复产。用分级升压的方式, 分 3~4 次缓慢升到正常运行压力, 全程安排专人值守, 观察修复管件和焊缝有没有渗漏异常。

(4) 复产现场监护。投运后 24h 内安排巡检人员现场监护, 确认没有二次泄漏以后, 抢险队伍才能有序撤离。

4 工程实操优化措施与应用效果

4.1 现场实操优化改进措施

为了提升抢修效率和施工质量, 在实际作业中推行了下面几项优化措施:

(1) 装备模块化配置。抢险车上成套配备各类堵漏卡具、小型自动焊机、便携式无损检测设备和防爆照明工具, 明显减少了现场临时调配机具的时间。

(2) 人员标准化分工。设立现场总指挥、安全监护、焊接作业、无损检测、应急后勤等固定岗位, 明确各自的职责和衔接流程, 有效避免了工序等待和职责交叉带来的混乱。

(3) 损伤预判前置。结合管道巡护数据和施工密集区段的信息, 提前把抢修物资预置在高风险区域附近的站点, 大幅缩短了应急响应时间。

(4) 特殊工况工艺调整。高寒地区增加焊前预热设备, 延长保温时间; 山区狭窄地段选用轻量化的小型带压封堵机具, 以适应复杂地形。

4.2 典型抢险工程案例(中石油管道局维抢修分公司实操项目)

案例一: 某干线天然气管道, 管径 $\Phi 457\text{mm}$, 设计压力 3.0MPa , 途经城郊乡镇一处正在清理沟渠的工地。2024 年 7 月, 施工单位用挖掘机平整场地, 没有提前探明管线位置, 铲斗齿刺入管道, 造成管壁上一个直径约 40mm 的不规则圆形孔洞, 同时局部管壁凹陷变形。高压天然气持续喷射扩散, 周边 200m 内村庄密集, 安全风险很大。分公司抢险队伍接到指令后 45min 到达现场, 马上划定警戒区, 通知调度中心关闭上下游阀门停输, 用固定式可燃气体检测仪不间断监测燃气浓度, 同时开挖作业坑, 查明管线损伤的全貌。现场勘查确认: 管道撕裂裂纹已经贯穿管壁, 凹陷深度超过壁厚的三分之一, 单纯靠卡具堵漏不能满足长期安全运行要求。指挥部决定, 先用模块化轻量化补板式卡具做临时堵漏。这种补板式抢修卡具适用于穿孔泄漏, 推荐穿孔直径不超过 50mm , 适用管径 159 到 1219mm 。现场还采取了多项优化措施: 用应急抢险车缩小占地, 以适应城镇狭窄的作业坑空间; 夜间施工搭设了防爆照明系统和防风作业棚; 针对夏季高温潮湿环境, 管壁打磨后马上涂刷防潮防锈剂, 焊接前统一预热到 100°C , 并严格控制层间温度。最终顺利完成了封堵修复, 经无损检测和试压合格后恢复供气。

案例二: 2024 年某日晚间, 一条日输量 14 万方、运行压力 3MPa 的长输天然气管道突遭第三方地勘钻机旋转切削破坏, 造成泄漏。分公司应急抢险队伍接警后迅速出动 3 车 8 人, 于次日凌晨 3 时抵达事故现场并立即展开救援。技术人员通过现场踏勘分析, 确定该钻机筒刀在旋转切削过程中对管道造成了 $20\text{mm}\times 5\text{mm}$ 的贯穿性破口, 金属损失破坏范围达到 $90\text{mm}\times 30\text{mm}$ 。泄漏点位于山区, 大型车辆无法到达作业点, 救援队员依靠人力倒运抢险装备至作业面。针对该泄漏点形态, 华中中队采用引流式堵漏卡具进行了快速有效处理。截至当日 20 时, 该管道已成功恢复封闭状态; 在全面完成各项检查工作后, 管道于当日 23 时顺利复产, 处置期间管道下游用户未受到任何供气影响。

总体施工程序包括: 降压(必要时采用放空降压形式

以提高降压速度)→气体持续检测→木楔式堵漏卡具临时堵漏→清淤及作业面平整→剥离管道防腐层→安装补板式抢修卡具并实施泄漏天然气引流→管线打磨→焊接补板式抢修卡具→拆除引流管→开孔机安装塞堵→无损检测→24 小时延迟无损检测→防腐层恢复。

焊缝采用手工焊施工,焊后开展 MT、UT 无损检测,所有焊缝一次检测合格。随后分四级缓慢升压恢复供气,从队伍进场到全线恢复输气总耗时仅 6h,相比传统零散工序施工模式缩短约 8h,全过程未发生燃气泄漏、动火安全等事故,复产 24h 驻场监护无异常后撤离。该案例充分印证,在城镇高敏感区域管道第三方损伤处置中,采用标准化成套抢修工艺、模块化装备配置及流水化分工模式,可大幅压缩抢险周期,兼顾施工安全与下游供气保障,具备极强的现场推广价值。

4.3 工程应用效果

近三年本单位累计实施十余起第三方破坏泄漏抢险任务,采用优化后的标准化快速封堵工艺后,各项关键指标均获得显著提升:小型穿孔泄漏从应急响应到临时控漏的平均时长缩短约 40%;大中型泄漏及复合型损伤整体抢修工期平均缩短约 28%;修复焊缝一次无损检测合格率提升至 98.7%;所有抢险项目均未发生施工安全事故,有效减少了因管道停输造成的油气输送经济损失,切实保障了管道运营方与下游用户的共同利益。

5 结论

(1) 第三方破坏泄漏损伤形态可明确划分为点状穿孔、条状撕裂及凹陷复合型损伤三大类别,实际抢修中需依据管径、运行压力、场地条件等因素差异化选用卡具堵

漏、带压开孔封堵或 B 型套筒修复工艺,做到精准匹配、科学决策。

(2) 本文构建的“应急警戒-损伤判定-封堵修复-试压置换-分级复产”标准化实操流程,经实践验证可显著提升长输管道泄漏抢险作业效率,有效减少工序衔接中的时间损耗与安全盲区。

(3) 模块化抢修抢险装备配置、岗位标准化分工协作以及焊接全过程质量管控,是保障封堵修复施工安全与修复质量的核心实操手段,须在每次抢险中刚性执行。

(4) 依托本单位对抢险实例的验证,本文总结的成套快速封堵复产工艺具有良好的现场落地性与适应性,可作为干线油气管道第三方泄漏应急抢修施工的指导性方案,对管道维抢修现场技术管理及一线施工人员实际操作具有切实的参考价值。

[参考文献]

- [1]油气长输管道应急抢修技术规范(Q/SY1656)[S].北京:石油工业出版社,2014.
- [2]马学锋.长输管道第三方破坏泄漏带压封堵修复技术应用[J].管道技术与设备,2021,10(03):45-48.
- [3]张宝强.B 型套筒修复在役油气管道焊接工艺及质量控制[J].石油工程建设,2022,48(02):56-59.
- [4]国家能源局.SY/T6150 钢质管道封堵作业技术规程[S].2017.

作者简介:邵宝强(1982—),男,河北廊坊人,工程师,辽宁石油化工大学油气储运工程专业毕业,现就职于中国石油管道局工程有限公司公司维抢修分公司,从事油气管道维抢修工作。