

老旧油气管道维抢修优先级划分与资源优化配置研究

何伟宏

国家石油天然气管网集团有限公司华南分公司

DOI:10.12238/pe.v3i2.12438

[摘要] 随着我国油气管道建设年限的增长,老旧油气管道面临的安全风险日益凸显。科学合理地对老旧油气管道维抢修优先级进行划分,并实现资源的优化配置,对于保障油气输送安全、降低运营成本具有至关重要的意义。本文深入探讨了老旧油气管道维抢修优先级划分的影响因素与方法,详细阐述了资源优化配置的策略与模型,旨在为相关部门和企业提供决策支持与理论依据。

[关键词] 老旧油气管道维抢修; 优先级划分; 资源优化

中图分类号: TU834.4+3 **文献标识码:** A

Research on the Priority Division of Maintenance and Emergency Repair of Old Oil and Gas Pipelines and the Optimal Allocation of Resources

Weihong He

South China Branch of National Petroleum and Natural Gas Pipeline Group Co., Ltd.

[Abstract] With the increase in the construction years of oil and gas pipelines in China, the safety risks faced by old oil and gas pipelines have become increasingly prominent. Scientifically and rationally dividing the priority of maintenance and emergency repair of old oil and gas pipelines and realizing the optimal allocation of resources are of vital significance for ensuring the safety of oil and gas transportation and reducing operation costs. This paper deeply explores the influencing factors and methods for dividing the priority of maintenance and emergency repair of old oil and gas pipelines, and elaborates in detail the strategies and models for the optimal allocation of resources, aiming to provide decision-making support and theoretical basis for relevant departments and enterprises.

[Key words] Maintenance and emergency repair of old oil and gas pipelines; Priority division; Resource optimization

引言

油气资源作为国家经济发展的重要能源支撑,其输送的安全稳定至关重要。我国自上世纪开始大规模建设油气管道,经过多年运行,部分管道已进入老龄化阶段。老旧油气管道由于长期受到腐蚀、地质变化、外力破坏等因素影响,管道完整性受到威胁,泄漏、爆炸等事故风险增加。一旦发生事故,不仅会造成巨大的经济损失,还可能对环境和社会安全产生严重影响。

对老旧油气管道维抢修优先级进行科学划分,能够确保在有限的资源条件下,优先对风险高、影响大的管道段进行维修和抢修,最大程度降低事故发生概率和危害程度。同时,实现资源的优化配置,可以提高资源利用效率,避免资源浪费,降低管道运营和维护成本。因此,开展老旧油气管道维抢修优先级划分与资源优化配置研究具有紧迫的现实需求和重要的理论与实践意义。

1 老旧油气管道维抢修优先级划分

1.1 影响优先级划分的因素

1.1.1 管道本体状况

腐蚀进程致使管道壁厚减薄,依据 LBB(Leak Before Break)理论,壁厚的持续减薄会导致管道承压能力下降,显著提升泄漏风险。运用先进的腐蚀检测技术,诸如超声导波检测技术(Guided Wave Ultrasonic Testing, GWUT)、远场涡流检测技术(Remote Field Eddy Current, RFEC)等,能够精确获取管道腐蚀缺陷的位置、尺寸以及分布态势,进而借助有限元分析(Finite Element Analysis, FEA)手段,对管道的剩余强度进行精准评估。与此同时,管道材质的老化现象、焊缝处存在的缺陷,例如未焊透、夹渣等,均会对管道的结构完整性产生不利影响,这些因素理应被纳入维抢修优先级划分的考量范畴^[1]。

1.1.2 运行参数

运行压力是影响管道风险的关键参量,依据流体力学中的伯努利方程,在高压工况下运行的管道,一旦发生泄漏,其泄

漏速率将显著增大,进而引发更为严重的事故后果。输送介质的物化性质,如介质的爆炸极限、毒性等级等,同样是评估事故严重程度的重要依据。以输送天然气的管道与输送原油的管道为例,天然气属于易燃易爆气体,其爆炸下限较低,一旦泄漏,在适宜的条件下极易引发剧烈爆炸,相比之下,原油的挥发性和易燃易爆性相对较弱。

1.1.3 周边环境

管道周边区域的人口密度是衡量事故潜在后果的关键指标,根据风险扩散模型,在人口密集区域,管道泄漏事故所引发的危害范围将大幅扩展,可能导致大量人员伤亡以及严重的财产损失。此外,管道与周边重要基础设施,如学校、医院、交通枢纽等的相对位置关系,也对维抢修优先级有着重要影响。一旦管道泄漏可能对这些关键基础设施造成威胁,为避免产生连锁反应,应当优先对该管道段进行维抢修作业^[2]。

1.1.4 历史事故数据

对管道的历史事故记录进行深入分析,是评估管道当前风险水平的重要途径,通过数据挖掘技术,剖析事故发生的频率、致因以及后果严重程度等信息,能够为判断管道的薄弱环节提供有力依据。例如,对于频繁发生腐蚀泄漏事故的管道段,可借助故障树分析(Fault Tree Analysis, FTA)方法,深入探究其内在原因,进而确定该管道段应具备较高的维抢修优先级。

1.2 优先级划分方法

1.2.1 基于风险矩阵的方法

构建风险矩阵模型,将管道的失效可能性与失效后果严重程度分别划分为若干等级。失效可能性的评估可基于管道本体的实时监测数据,结合腐蚀速率模型、疲劳寿命模型等进行量化分析;失效后果严重程度则综合考虑周边环境的敏感程度、人口分布密度等因素。通过风险矩阵的构建,将管道段精确划分为不同的风险等级,其中风险等级较高的管道段应优先安排维抢修作业。例如,采用五级失效可能性分级体系(极低、低、中、高、极高)与五级失效后果严重程度分级体系(轻微、较小、中等、严重、极其严重),交叉组合形成二十五种风险等级状态。

1.2.2 层次分析法(AHP)

构建层次结构模型,将维抢修优先级划分设定为目标层,将管道本体状况、运行参数、周边环境等因素设定为准则层,在指标层则详细罗列各准则层下的具体评估指标。运用特征向量法(Eigenvector Method)确定各因素的相对权重,通过专家问卷调查与一致性检验,确保权重分配的合理性。结合各指标的实际监测数据与评估结果,运用加权求和公式计算出管道段的综合优先级得分。例如,邀请行业内资深专家对管道本体状况、运行参数、周边环境等因素进行两两两比较打分,构建判断矩阵,经一致性检验后,确定各因素的权重系数,再根据现场检测数据和评估情况确定各指标值,最终计算出优先级得分^[3]。

1.2.3 模糊综合评价法

鉴于影响维抢修优先级的诸多因素具有模糊性特征,采用模糊综合评价法进行分析。首先明确评价因素集与评价等级集,

通过模糊统计法和隶属函数确定模糊关系矩阵,运用模糊合成算子进行运算,从而得到管道段的综合评价结果。例如,将管道腐蚀程度、运行压力、周边人口密度等作为评价因素集,将维抢修优先级划分为高、较高、中、较低、低五个评价等级集,借助专家经验与历史数据建立模糊关系矩阵,采用 $M(\wedge, \vee)$ 模糊合成算子进行运算,得出综合评价结果。

2 老旧油气管道维抢修资源优化配置

2.1 资源类型与需求分析

2.1.1 人力资源

维抢修工作高度依赖专业技术人员,如管道维修工人、焊接工人、检测人员等。运用工作分解结构(WBS),将维抢修任务层层细化为可管理的子任务。针对不同的子任务,依据其复杂程度与规模,通过参数估算或类比估算等方法,精确确定所需人力资源数量与技能要求。以大型管道泄漏事故抢修为例,可借助历史数据库,深入分析过往类似规模事故数据,利用数据挖掘算法,如关联规则挖掘,精准估算出所需具备丰富经验的维修和焊接人员数量。同时,运用层次分析法(AHP),构建人员技能评估指标体系,从理论知识、实践经验、应急处理能力等多个维度评估人员技能水平,确保人员技能与任务适配^[4]。

2.1.2 物力资源

物力资源涵盖维修设备、检测仪器、应急物资等。借助设备生命周期管理系统,运用物联网技术,实时采集电焊机、切割机、管道抢修封堵器等维修设备的运行参数,如电流、电压、转速等,并通过故障预测模型,如基于深度学习的长短期记忆网络(LSTM)模型,依据设备维护计划与故障概率,提前储备易损零部件,保障设备正常运转。对于检测仪器,如无损检测设备、泄漏检测设备,定期采用标准样块进行校准,运用误差分析方法,确保检测数据精准。应急物资如消防器材、防护用品、抢修材料等,构建库存管理系统,运用经济订货批量(EOQ)模型,结合需求预测模型,如季节性分解的时间序列模型,确定最佳采购量与补货点。针对腐蚀缺陷修复,依据腐蚀类型与程度,利用腐蚀预测模型,如基于电化学原理的腐蚀速率预测模型,选定适配的焊接设备与修复材料^[5]。

2.1.3 财力资源

财力资源用于支付人力资源费用、购置物力资源、开展培训等。采用作业成本法(ABC),将维抢修项目成本细分至具体作业环节,明确直接成本(如设备购置、材料采购、人员工资等)与间接成本(如管理费用、培训费用等)。借助成本效益分析,运用成本效益比率法、净现值(NPV)、内部收益率(IRR)等指标评估,通过蒙特卡罗模拟等方法,考虑成本与效益的不确定性,确保资金足以支撑维抢修工作顺利推进。

2.2 资源优化配置策略

2.2.1 基于优先级的资源分配

根据维抢修优先级划分结果,运用多目标决策分析方法,如TOPSIS法,构建多目标决策矩阵,综合考量管道风险等级、抢修时效性、维修难度等因素,将资源优先分配给高优先级管道段。

构建资源分配矩阵,运用线性分配算法,将最先进检测设备与技术精湛维修人员优先调配至风险等级高的管道段,并借助项目管理软件,如Primavera P6,利用其强大的资源管理模块,实时跟踪资源分配与使用情况,确保资源精准投入。

2.2.2 资源共享与协同

搭建基于区块链技术的区域化维抢修资源共享平台,利用智能合约技术,保障资源共享流程透明、可信,实现不同企业、地区间资源共享。当某地区发生重大维抢修任务,借助地理信息系统(GIS),运用空间分析算法,快速定位周边可调配资源,运用资源调度算法,如匈牙利算法,实现资源高效调配。强化企业内部各部门协同,通过企业资源规划(ERP)系统,运用数据集成技术,整合生产部门、维修部门、安全部门等信息,运用业务流程再造(BPR),通过流程建模与优化工具,优化资源调配流程,提升资源利用效率。

2.2.3 动态调整资源配置

运用实时监测技术,如传感器网络,运用无线通信技术与数据融合算法,实时采集维抢修工作进展数据与管道运行状态信息,借助数据分析模型,如贝叶斯网络,通过概率推理机制,依据抢修过程中出现的新问题或风险,自动触发资源调整机制,及时增加相应人力、物力资源投入。依据管道运行状态变化,运用时间序列分析等方法,如自回归积分滑动平均模型(ARIMA),预测后续维抢修需求,动态调整维抢修资源计划。

2.3 资源优化配置模型

2.3.1 线性规划模型

以资源成本最小化或效益最大化为目标函数,以资源约束、任务需求约束等为约束条件,构建线性规划模型。例如,目标函数设为最小化维抢修总成本,含人力资源成本、物力资源成本等,约束条件涵盖每种资源可用量限制、各管道段维抢修任务对资源的需求等。运用单纯形法或内点法等算法求解线性规划模型,通过灵敏度分析工具箱,评估资源参数变动对分配方案的影响。

2.3.2 整数规划模型

鉴于资源分配常以整数单位呈现,如人员数量、设备台数等,采用整数规划模型。在整数规划模型中,决策变量设为整数,其余与线性规划模型相仿。运用分支定界法或割平面法求解整数规划模型,通过算法性能评估工具,对比分析不同整数规划算法的求解效率与精度,更精确确定资源具体分配数量,增强资源配

置可行性。

2.3.3 基于遗传算法的模型

遗传算法是模拟生物进化过程的优化算法。将资源配置问题转化为遗传算法中的染色体编码问题,采用二进制编码或实数编码等方式对资源配置方案编码,通过选择、交叉、变异等操作,运用轮盘赌选择法、单点交叉法、基本位变异法等具体算子,借助遗传算法框架,不断优化染色体,即资源配置方案,最终获取最优解。借助并行计算技术,如OpenMP并行编程模型,加速遗传算法运算过程,通过实验设计与分析方法,对比不同遗传算法参数设置对求解结果的影响,提升算法在老旧油气管道维抢修资源优化配置这类复杂组合优化问题中的求解效能。

3 结论与展望

本文通过对老旧油气管道维抢修优先级划分与资源优化配置的研究,分析了老旧油气管道维抢修所需的人力资源、物力资源和财力资源类型及需求,提出了基于优先级的资源分配、资源共享与协同、动态调整资源配置等优化策略,并建立了线性规划模型、整数规划模型和基于遗传算法的模型用于资源优化配置。尽管本文在老旧油气管道维抢修优先级划分与资源优化配置方面取得了一定成果,但仍有一些问题需要进一步研究和完善,未来,随着研究的不断深入与技术的持续创新,有望构建更为完善、高效的老旧油气管道维抢修体系,为能源输送的安全稳定提供坚实保障。

【参考文献】

- [1]苑得鑫,荆正军.油气管道抢修标准化建设探索与实践[J].油气田地面工程,2024,43(05):57-62.
- [2]韩猛.油气管道消磁和中频加热一体化技术分析[J].设备管理与维修,2024,(08):45-47.
- [3]周顺荣,王克克,晏和帅,等.油气管道开孔关键要素分析与控制[J].云南化工,2023,50(08):112-114+136.
- [4]李玉坤,周鹏,费凡,等.基于超声检测的变形管道维抢修评价方法[J].无损检测,2023,45(03):84-90.
- [5]王宝德.输油气管道带压封堵技术在维修抢修中的应用[J].化学工程与装备,2023,(02):78-79.

作者简介:

何伟宏(1989--),男,汉族,广东省梅州市人,中级工程师,本科,文章方向:油气管道设备维抢修。