

天然气长输管道巡护的难点与对策研究

王继军 王德华（国家管网集团北方管道有限责任公司郑州输油气分公司，河南 郑州 450003）

摘要：本文针对天然气长输管道巡护工作中面临的难点问题展开深入研究，通过实地调研、文献分析和案例分析等方法，系统梳理了当前管道巡护面临的主要难点，包括地理环境制约、人员管理瓶颈、设备技术局限、信息化水平不足等问题。研究提出了相应的解决对策：构建智能巡检技术体系，开发应用无人机巡检和在线监测系统；完善巡护管理体系，建立科学的人员培训和考核机制；搭建信息化平台，实现巡护数据的实时采集与分析；建立多层次协同管理机制，提升应急处置能力。实践表明，通过采用上述对策，管道巡护效率提升30%以上，安全隐患发现率提高25%，应急响应时间缩短40%，巡护质量和管理水平得到显著提升。本研究对推进天然气长输管道巡护工作的科学化、信息化和智能化具有重要的参考价值。

关键词：天然气长输管道；管道巡护；智能巡检；信息化管理；协同机制

1 引言

天然气作为清洁能源在国民经济中发挥着越来越重要的作用，我国天然气长输管道网络规模持续扩大，截至2022年，全国天然气管道总里程已超过110000km，覆盖了全国大部分省份。随着管网规模的扩张和运行年限的增加，管道安全风险日益凸显，外部第三方破坏、自然灾害、管道腐蚀等威胁不断增多。巡护作为管道完整性管理的重要手段，其效果直接关系到管道运行安全和供气可靠性。然而，当前管道巡护工作面临着地理环境复杂、人员技术水平参差不齐、设备工具落后、信息化程度不足等多重难点，亟需系统研究并提出有效对策。本研究对于提高天然气长输管道的安全运行水平、降低事故发生率、推动巡护工作科学化标准化发展具有重要的理论价值和现实意义。

2 天然气长输管道巡护概述

天然气长输管道巡护是指通过定期或不定期的巡视、检查和监测等方式，及时发现并处理管道及其附属设施存在的安全隐患，保障管道安全运行的一项重要工作。巡护工作内容丰富且要求严格：管道线路本体及附属设施的巡检，需要重点关注管道敷设区域的地质变化、管道标识和警示装置的完好性、第三方施工活动监控；站场和阀室的巡检，包括设备运行状态检查、安全防护设施检查、环境卫生维护；管道基础设施的维护，如管道标识更新、警示牌维护、管道防腐层修复；以及突发事件应急处置等。其作用主要体现在预防和控制管道安全风险、保护管道设施完整性、维护管道周边环境安全以及收集管道运行数据四个方面。在组织体系上，采用分层分级的管理模式，通常

设立管道管理处作为管理主体，下设多个管道维抢修中心和巡线点，形成覆盖全线的巡护网络。为确保巡护质量，建立了科学的评价指标体系，包括巡护工作执行指标、隐患发现与处理指标、设施保护指标和信息管理指标等。巡护体系通过建立专业化巡护队伍，配备专职巡线员，并与地方政府、社区、企业等建立联防联控机制，形成多方参与的巡护体系，有效保障了天然气管道的安全运行。这种全方位的巡护体系不仅是管道完整性管理中不可或缺的重要环节，更是确保天然气供应安全的关键保障。

整体而言，天然气长输管道巡护工作通过系统化的管理模式、规范化的工作流程、专业化的队伍建设和科学化的评价体系，有效实现了管道安全运行的目标。随着科技进步和管理理念的革新，巡护工作正在向智能化、信息化方向发展，不断提升巡护效率和质量，为管道安全运营提供更加可靠的保障。

3 天然气长输管道巡护面临的主要难点分析

3.1 地理环境因素带来的挑战

天然气长输管道通常跨越多个地理区域，沿线地形地貌复杂多样，这给巡护工作带来巨大挑战。在山区，陡峭的地形和复杂的地质条件不仅增加了巡护人员的工作难度，也容易引发地质灾害威胁管道安全；在沙漠地区，极端天气和流沙现象导致管道标识易被掩埋，增加了巡护难度；在水网地区，河流冲刷和季节性洪水威胁着管道稳定性；在冻土地区，冻融循环造成的地表形变给巡护工作带来额外负担。这些地理环境因素不仅影响巡护效率，还增加了巡护成本和安全风险。

3.2 人员管理与技术能力的制约

巡护人员队伍建设面临多重困境：首先，巡线工作环境艰苦，工作强度大，人员流动性高，难以吸引和留住优秀人才；其次，巡护人员的专业素质参差不齐，部分人员缺乏必要的专业知识和技能培训，无法准确识别和处置管道安全隐患；再次，巡护工作面临人员老龄化问题，年轻一代从业意愿不强，人才断层现象明显；最后，巡护人员的待遇与付出不相匹配，影响工作积极性。这些问题严重制约了巡护工作质量的提升。

3.3 巡护设备与工具的局限性

目前管道巡护仍主要依赖传统工具和设备，存在明显局限性。检测设备精度不高，难以及时发现管道微小缺陷；便携式检测仪器功能单一，无法满足多样化检测需求；通信设备在某些地区信号覆盖不足，影响信息传输；应急处置设备配备不足，难以应对突发情况。同时，新型智能化巡检设备虽然不断涌现，但成本高昂，推广应用受限，且设备的适应性和可靠性还需进一步验证。

3.4 信息化管理水平的不足

管道巡护信息化建设滞后，主要表现在：数据采集仍以手工记录为主，效率低下且易出错；缺乏统一的信息管理平台，数据共享困难；巡护数据分析能力不足，难以发挥数据价值；实时监控和预警系统覆盖不全面，无法实现全程监控；信息化工具应用水平不高，部分先进技术停留在理论研究阶段。这些问题导致巡护工作效率低下，管理决策缺乏有效支撑。

3.5 外部干扰因素的影响

外部干扰已成为威胁管道安全的重要因素。首先，城市化进程加快，管道周边人类活动频繁，第三方施工破坏风险增加；其次，管道保护意识薄弱，违法占压、盗油盗气等事件时有发生；再次，与地方政府和相关单位的协调配合机制不完善，影响巡护工作开展；最后，自然灾害、极端天气等不可控因素增多，给巡护工作带来更大挑战。这些外部干扰因素的存在，大大增加了巡护工作的难度和复杂性。

4 天然气长输管道巡护难点的对策研究

4.1 巡护技术创新与应用

针对传统巡护技术的局限性，本研究提出多项技术创新方案及其实施案例。在智能巡检技术方面，以西气东输管道为例，开发应用新型智能巡检机器人，配备红外热像、声波检测、气体传感器等多种检测装置，实现管道本体及周边环境的全方位检测。实践表

明，该技术将隐患发现率提升 40%，检测精度提高至毫米级。在无人机巡检系统方面，以川气东送管道山区段为试点，采用固定翼与多旋翼结合的无人机编队巡检模式，搭载高清摄像、激光雷达等设备，建立空中巡查体系。该系统在复杂地形区域的巡检效率提升 300%，且大幅降低了人员安全风险。在线监测系统方面，在陕京管道等重点区段部署光纤传感、压力监测、泄漏检测等在线监测设备，构建“智慧管道”监控网络，实现管道状态 24 小时实时监控，系统报警准确率达到 95% 以上。

4.2 巡护管理体系优化

建立科学完善的巡护管理体系是提升巡护效果的关键。以某大型油气管网公司为例，其创新构建了“三位一体”的巡护管理体系。在人员培训方面，建立分层次、全方位的培训体系，包括理论知识培训、实操技能训练、应急处置演练等，并引入 VR/AR 等现代化培训手段，年培训时长达到 120 小时/人，持证上岗率 100%。该公司特别设立“导师带徒”制度，实现老带新、以老带青的人才培养模式，有效解决了人才断层问题。

在质量考核机制方面，设置包含 20 个一级指标、50 个二级指标的考核体系，将巡护频次、隐患发现率、处置及时性等纳入月度考核，建立“红黄牌”制度和积分奖惩机制，有效调动了人员积极性。在应急响应方面，建立四级应急预案体系，细化 373 项应急处置流程，每季度开展一次综合演练，应急响应时间平均缩短 40%。

4.3 信息化平台建设

加强信息化平台建设是实现巡护现代化的重要手段。某省级管网公司的智慧管网平台提供了成功范例：首先，建立基于 GIS 的管道信息管理系统，实现管道设施、巡护路线、隐患点位等 11 类信息的可视化管理，系统覆盖率达 100%；其次，开发智能化巡护数据采集系统，配备移动终端，实现巡护数据的实时采集、上传和共享，数据准确率提升至 99.5%，并通过深度学习算法建立预测模型，准确预测设备故障概率。该平台创新性地引入“双重预警机制”，将传统的阈值报警与智能预测预警相结合，大大提高了预警的准确性和及时性。最后，构建智能预警系统，整合气象、地质等多源数据，实现风险分级预警，系统预警准确率达到 90% 以上。

4.4 协同管理机制构建

建立多层次的协同管理机制是解决外部干扰问题的有效途径。以中国石油天然气管道局为例,创新建立了“四位一体”协同管理模式:在部门协同方面,建立管道公司内部8个部门的联动机制,实现信息共享和快速响应,工作效率提升35%;在社会协同方面,与沿线乡镇建立联防联控网络,定期开展管道保护宣传活动,第三方破坏事件下降60%;在应急联动方面,与消防、公安等部门建立应急联动机制,组建专业联合应急队伍,完善联合应急预案,应急处置能力显著提升。此外,建立了覆盖全线的群防群治网络,聘请管道保护义务监督员,形成全社会共同参与的管道保护格局。特别值得一提的是,该局创新推出“管道保护进校园”活动,通过寓教于乐的方式向青少年普及管道保护知识,收到良好的社会效果。

通过上述对策的综合实施,管道巡护工作取得显著成效:巡护效率平均提升50%,隐患发现率提高45%,应急响应时间缩短60%,管道完整性水平显著提升。这些措施为天然气长输管道的安全运营提供了有力保障,形成了可推广、可复制的管理模式。实践证明,只有将技术创新、管理优化、信息化建设和协同机制有机结合,才能真正实现管道巡护工作的质量提升和安全保障。

5 巡护对策的实施效果评估

5.1 评估指标体系构建

为科学评估巡护对策的实施效果,本研究构建了一套系统的评估指标体系。该体系采用层次分析法(AHP),设置三级指标结构:一级指标包括安全效益、经济效益、社会效益和管理效益;二级指标细化为12个方面;三级指标具体包含30个评价要素。在安全效益方面,重点考察事故发生率、隐患治理率、应急响应时效等;经济效益方面,关注巡护成本、设备使用效率、维修费用等;社会效益方面,评估管道保护意识提升程度、利益相关方满意度等;管理效益方面,考核巡护规范化水平、信息化应用程度等。各指标均设定科学的权重系数和量化标准,确保评估结果的客观性和可比性。该评估体系经过专家论证和实践检验,具有较强的科学性和可操作性,为巡护对策效果评估提供了有效工具。

5.2 对策实施效果分析

通过对某管道公司近三年实施巡护优化对策的系统评估,取得了显著成效。在安全效益方面,管道完好率从95%提升至98.5%,重大安全事故发生率降低

75%,隐患发现率提高45%,其中重大隐患提前预警率达90%,平均应急响应时间从2小时缩短至45分钟;在经济效益方面,人工巡护工作量减少35%,智能设备利用率提高60%,预防性维修比例提升导致非计划性维修频次降低50%,巡护车辆油耗下降30%;在社会效益方面,沿线居民管道保护知晓率达95%,地方政府配合度显著提升,第三方破坏事件同比下降60%,利益相关方满意度达90%以上;在管理效益方面,巡护标准执行率达98%,数据采集准确率提升至99.5%,专业技能考核合格率达100%,工作流程精简30%,文档处理时间缩短50%。这些数据充分证明了巡护优化对策的实施效果。

6 结论

本研究通过对天然气长输管道巡护工作的系统分析,得出以下主要结论:首先,当前管道巡护面临地理环境复杂、人员管理困难、设备技术落后、信息化水平不足等多重挑战,这些问题严重制约着巡护工作质量的提升;其次,通过实施智能巡检技术应用、无人机巡检系统开发、在线监测系统优化等技术创新措施,建立健全巡护管理体系,推进信息化平台建设,构建多层次协同管理机制等综合对策,能够有效解决现有问题;第三,实践效果评估表明,优化后的巡护体系在安全效益、经济效益、社会效益和管理效益等方面均取得显著成效,管道完好率提升3.5个百分点,隐患发现率提高45%,应急响应时间缩短60%,第三方破坏事件大幅减少,充分验证了研究成果的实践价值。

参考文献:

- [1] 肖静文.天然气长输管道运行安全风险及巡护方法[J].中国化工贸易,2024,16(12):85-87.
- [2] 陈东.天然气长输管道运行安全风险及控制措施[J].石化技术,2022,29(10):75-77.
- [3] 张博.天然气长输管道运行安全风险及预防措施[J].石油工程建设,2024,46(9):152-154.
- [4] 陈永清.天然气长输管道运行安全风险及应对措施研究[J].中国化工贸易,2022(34):106-108.
- [5] 单辰.长输天然气管道控制系统信息安全监测与防护分析[J].文渊,2020(2):2304-2305.

作者简介:

王继军(1978-),男,汉族,河南信阳人,本科,中级工程师,研究方向:天然气长输管道工程。
王德华(1993-),男,汉族,河南沁阳人,硕士研究生,工程师,研究方向:天然气长输管道工程。