

天然气长输管道运行安全风险及措施分析

陈 幸（国家管网集团西南管道有限责任公司，四川 成都 610213）

摘 要：天然气长输管道是天然气输送的重要基础设施，其安全运行关系到能源安全、经济发展和社会稳定。本文通过对国内外天然气管道事故的统计分析，总结了管道失效的主要原因，包括外部干扰、施工和材料缺陷、地质灾害以及腐蚀等因素。针对这些风险，提出了全生命周期加强管道安全管理的对策建议。在设计阶段，应充分勘察，提高管道本质安全；在施工阶段，要加强过程管控，严格执行规范；在运行阶段，要强化日常巡护、第三方施工监管、管道保护宣传、地质灾害防治、防腐检测以及推行完整性管理等措施。通过在管道全生命周期采取有针对性的安全防范手段，可以有效降低管道运行风险，确保管道长期安全平稳运行。

关键词：天然气管道；安全风险；事故原因；管理对策

0 引言

天然气作为一种清洁高效的优质能源，在我国能源消费结构中占据越来越重要的地位。根据国家能源局数据，2022 年我国天然气表观消费量达到 3726 亿立方米，同比增长约 9.5%。随着天然气需求不断增长，天然气管道建设也在快速推进。截至 2022 年底，我国天然气管道总里程达 11.5 万公里。长输管道建设给天然气产供储销体系建设和天然气行业发展提供了有力保障。然而，天然气管道失效引发的事故时有发生，给社会经济和人民生命财产带来严重损失。2010 年以来，国内发生的几起重大天然气管道事故引起了社会的广泛关注，暴露出天然气管道在设计、施工、运行等环节还存在诸多安全隐患。加强天然气管道的安全管理，提高本质安全水平，已经成为业界的普遍共识。本文结合我国天然气管道运行的实际情况，进一步分析天然气管道面临的主要风险因素，并提出相应的安全管理对策。通过推动管道设计、施工、运行全过程的安全管理，可以有效规避和控制管道风险，为管道安全平稳运行提供可靠保障。

1 天然气长输管道主要失效原因分析

1.1 外部干扰

外部干扰，特别是第三方施工破坏，已成为天然气管道事故的主要诱因。在我国，随着城镇化建设和地下管网日益密集，天然气管道与其他工程施工活动交叉干扰的情况越来越多。一些施工单位在开挖作业前，没有认真核实管道位置信息，盲目施工导致管道破坏事故时有发生。还有一些施工方对管道保护规定认识不足，铤而走险进行违规操作，给管道安全埋下隐患。同时，天然气管道运营商在日常巡查和宣传方面还存在不足，没有及时发现和制止危及管道安全的行为，使得外部干扰风险进一步加剧。针对外部干扰这一突出风险，亟需管道企业与地方政府、社会各界加强协同配合，从制度、技术、宣传等多个维度共同发力，织密管道安全防护网。

1.2 施工和材料缺陷

施工质量控制和材料选用是影响管道健康的关键因素。在管道施工过程中，焊接作为最重要的连接方式，其施工工艺和质量把控至关重要。如果焊接参数不当、焊工技能不足，就可能产生未焊透、夹渣、焊瘤等缺陷，给管道埋下安全隐患。管道组对及附属设施的防腐质量也非常关键。如果防腐层出现破损、脱落等问题，管道暴露在腐蚀环境中，其使用寿命将大幅缩短。在管沟回填阶段，如果土壤质量不达标或者回填不当，也会对管道产生附加应力，诱发管道变形或破坏。导致施工缺陷的原因是多方面的，施工单位责任意识淡薄、技术能力不足、管理不到位是主因。但建设、设计、监理等其他参建方把关不严、监管不力，也是质量问题频发的诱因。因此，提升管道工程质量，需要专业协作，标准先行，从设计到施工、从材料到工艺、从过程控制到竣工检测，将质量意识和行动落实到每个管道建设环节之中。

1.3 地质灾害

我国幅员辽阔，地形地质条件复杂多样。一些天然气长输管道跨越山区、丘陵等复杂地形，不可避免地要穿越滑坡、泥石流、岩溶塌陷等地质灾害易发区。这些区域地质结构不稳定，工程地质条件差，给管道施工和运行维护带来极大挑战。一旦发生强烈地震、暴雨等极端自然事件，管道周边山体滑坡、地面塌陷，极易引发管道的应力集中和变形破坏。以四川为代表的西部山区，地质灾害频发，给当地天然气管道安全

运行带来严峻考验。2014年9月,四川白玉县发生特大山体滑坡,导致输气管道破裂泄漏,形成了一起重大事故,给当地群众生命财产安全和生态环境造成严重损失。这一教训值得管道行业警醒和反思。在新建管道选线时,要提高安全意识,审慎考虑地质灾害风险,尽可能避让高风险区域。在已建管道运行中,要加强地质灾害隐患排查和监测预警,提前采取工程防护,降低灾害风险。在险情发生时,要及时启动应急预案,与相关部门协同应对,把事故危害降到最低。

1.4 腐蚀失效

腐蚀问题一直是困扰管道行业的顽疾。数据显示,全球40%的管道失效事故都与腐蚀有关。腐蚀使管道材料性能持续退化,壁厚不断减薄,最终导致管道破裂泄漏。天然气管道的腐蚀失效,既有管道内腐蚀,也有管道外腐蚀。内腐蚀主要是由于输送天然气中含有水分、二氧化碳、硫化氢等杂质,与管道内壁发生电化学反应引起的。我国一些天然气田硫化氢含量较高,输送此类气体的管道更容易发生内腐蚀。管道外腐蚀则与埋设环境密切相关。土壤的含水量、含盐量、酸碱度、电阻率等指标,都会影响管道的腐蚀速率。如果管道防腐层出现老化破损,土壤腐蚀性介质将直接与管道金属接触,加速腐蚀反应的进行。一些已运行多年的老旧管道,由于防腐层性能下降,腐蚀风险进一步加剧。针对腐蚀风险,业内普遍采取了加强防腐和阴极保护等措施,取得了良好效果。但在实际管道运维中,仍要高度警惕腐蚀这一“无声杀手”,加大检测频次,及时发现和处置腐蚀缺陷,确保管道处于最佳防腐状态。

除上述主要原因外,违规操作、设计缺陷、疲劳失效等因素,也是引发管道事故的诱因。对管道风险因素进行全面分析和评估,有助于因地制宜地制定针对性的安全管理策略。

2 加强天然气长输管道安全管理的对策建议

针对天然气长输管道存在的主要风险,管道运营商应树立全生命周期安全管理理念,从设计源头提高本质安全,强化施工过程管控,在运行阶段加强日常维护和风险防控,从而实现管道安全平稳运行。

2.1 设计阶段提高本质安全

设计单位必须充分认识到设计质量对管道安全运行的决定性影响,切实提高设计的科学性和可靠性。在管道路由选择上,设计人员要深入现场,全面勘察地形地貌、地质构造、人口分布等因素,优选安全系数高的路

由方案。对于确实无法避让的不利地段,要因地制宜采取有针对性的防护设计,如减小管段长度、加大壁厚、升级管材等级、设置截断阀等,从源头上降低风险。

在管道结构设计和材料选型上,设计单位要严格执行国家标准和行业规范,满足管道全生命周期内的强度、稳定性和耐久性要求。除了常规工况,还要重点考虑突发工况下管道的安全裕度,避免超出设计范围而引发事故。对于穿越河流、公路等复杂环境以及站场等管道关键节点,更要进行专项设计,充分论证其安全性和可靠性。

设计方案的优化需要不断吸取国内外同类工程的成功经验和失败教训。设计单位要广泛收集整理国内外重大管道事故案例,深入剖析事故原因,举一反三,在设计中补齐短板,堵塞漏洞。要积极借鉴国际先进管道设计理念和方法,优选成熟可靠的新技术、新材料、新工艺,提升设计方案的科技含量。另外,设计审查是设计质量的重要控制手段。管道建设单位要高度重视设计审查工作,邀请相关专业的资深专家把脉会诊,全面审核设计方案的合规性、合理性、安全性。通过审图会、专家论证会等形式,集思广益,查找方案的薄弱环节,促进设计单位修正和完善。在加强管道主体工程设计的同时,还要充分考虑管道完整性保护等配套工程的需求。根据管道敷设环境和输送介质特点,合理设置管道防腐方案,科学选择阴极保护参数,并预留阴极保护测试桩等必要的检测装置。同时,在站场和管道沿线设置可燃气体检测、火灾报警、紧急切断等安全装置,为管道安全运行保驾护航。

良好的设计是天然气管道安全生产的压舱石。设计单位要立足岗位,强化责任,以对人民生命财产高度负责的态度做好每一份设计,用实际行动为管道安全筑起坚实屏障。

2.2 施工阶段加强过程管控

天然气管道施工是一项复杂的系统工程,涉及土建、焊接、防腐、热煨、清管试压等多个专业工序。每个环节的施工质量都关乎管道的安全可靠运行,容不得半点马虎。施工单位必须严格遵守国家和行业的施工验收规范,健全质量管理体系,加强施工全过程质量管控。施工单位在编制施工组织设计时,要针对工程特点,制定切实有效的质量控制措施。要考虑各种可能出现的工程风险,编制应急预案,确保一旦发生质量事故能够及时响应、有序处置。质量控制措施和应急预案要详细、具体、可操作,不能流于形式。

此外,施工人员是质量的直接创造者。施工单位要建立完善的培训考核机制,定期组织施工人员开展技能培训和安全教育。要重点提高电焊工、防腐工等特殊工种人员的技术能力,确保其持证上岗。在思想上要加强质量意识、安全意识教育,引导广大施工人员从自身做起、从小事做起,培养工匠精神,追求卓越品质。建设单位对施工质量负有监管职责。要选聘资质齐全、责任心强的监理单位驻场监理,及时发现和制止影响质量的行为。监理人员要强化焊接、防腐等关键工序的旁站监督,严把质量检验关。一旦发现问题,要坚决要求整改,对不合格工序必须返工重做。对于隐蔽工程,更要严把验收关,杜绝带病隐瞒、野蛮施工。监理单位要做好施工记录和检验报告等资料的收集和整理,确保质量可追溯。

良好的质量离不开严格的考核奖惩。建设单位要建立健全施工质量评价体系,将质量责任落实到参建各方,特别是承包商和关键岗位人员。要加大质量考核力度,将考核结果与工程款支付、信用评价、续签合同等挂钩。对质量严重不达标、屡教不改的单位和个人,要坚决予以清退,并通报批评,确保质量高压线不可逾越。

2.3 运行阶段强化日常防控

管道运营商必须树立全生命周期管理理念,按照国家法规和行业标准要求,建立覆盖设计、施工、运行、应急等全过程的管道完整性管理体系,切实做好管道的日常防控工作。运营商要根据管道重要程度,科学确定巡线频次,并落实到人,建立责任制。巡线人员要尽职尽责,对沿线环境进行拉网式排查,重点关注施工作业、地质变化等异常情况,做到早发现、早报告、早处置。要充分利用航拍、卫星等技术手段,提高巡线效率和精度。运营商要与政府部门密切配合,通过发放宣传册、张贴标语、举办培训等形式,向沿线企事业单位、村镇社区、农户学校等广泛宣讲管道保护条例。要树立与百姓利益休戚与共的理念,用通俗易懂的语言讲解管道的重要性和保护要求,消除陌生感和畏惧感,提高公众参与管道保护的意识和能力。在管道日常巡护中,一旦发现违法违规行,运营商要及时制止,并向相关职能部门报告,坚决依法打击。对确需在管道附近施工的,运营商要严格审批把关,会同施工方制定安全防护方案,明确作业时间、范围、方式和注意事项。高风险施工还要派专人现场监护,防止意外伤害。在地质灾害高发区,运营商要因地制

宜采取工程防护措施,如修筑挡土墙、固脚桩、锚杆等,提高管道抵御地质灾害的能力。要定期开展隐患排查,重点检查地形变化、山体滑坡、管道本体变形等迹象。利用无人机、震动光纤等技术手段实现灾害监测预警,做到灾害早发现、早处置。

管道腐蚀防控要常抓不懈。运营商要严格执行相关标准,定期对管道进行电位检测,评估阴极保护效果。对防腐层破损、管壁减薄严重的管段,要及时进行修补或更换。积极开展管道清管和智能检测,准确诊断管道健康状态,制定针对性的检维修计划。为有效应对突发事件,运营商要本着“预防为主、平战结合”的原则,科学编制应急预案,明确事故报告、响应流程、处置措施等内容。要强化应急培训演练,提高员工应急处置能力。加强与政府应急管理、公安消防等部门的沟通协作,建立应急联动机制。平时做好物资装备等资源储备,确保一旦发生事故能够快速调集、高效处置。

3 结束语

综上所述,天然气长输管道是关系国计民生的重要基础设施,其安全运行责任重大。通过分析国内外管道事故案例,可以看出,外部干扰、施工材料缺陷、地质灾害和腐蚀是导致管道失效的主要原因。这就要求管道运营商必须从设计、施工、运行全生命周期入手,强化风险管控。在设计阶段,要提高管道的本质安全,最大限度地规避风险因素。在施工阶段,要把好工程质量关,为管道安全运行奠定基础。在运行阶段,要做好日常巡护和维修保养,重视管道风险辨识和隐患治理,提高事故防范和应急处置能力。只有将安全管理贯穿于管道全生命周期,才能从源头和过程控制各类风险,实现管道的长周期、安全、稳定运行。

参考文献:

- [1] 张明. 天然气长输管道运行安全风险及预防措施 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44(04): 87-89+92.
- [2] 魏丽波. 天然气长输管道运行安全风险及措施研究 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2023, 43(10): 10-11+14.
- [3] 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.
- [4] 许晓光, 邓士成. 天然气长输管道运行安全风险及措施分析 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2022, 37(24): 22-24.
- [5] 陈佳. 天然气长输管道运行安全风险及措施分析 [J]. 山东工业技术, 2022(7): 19-22.