

天然气长输管道运行安全风险及措施分析

郭林海（中石化天然气分公司河南天然气销售中心，河南 濮阳 457000）

摘要：天然气长输管道作为能源运输的重要途径，其安全稳定运行至关重要。本文从管道本身、外部环境、人为操作和管理体系四个方面分析了天然气长输管道面临的主要安全风险，包括管道材质缺陷、自然灾害、人员操作失误和制度缺失等。针对这些风险，提出了加强管道防腐、优化设计、加强灾害预警、完善操作规程和应急预案等一系列安全措施。只有全面识别风险，综合施策，才能有效保障天然气长输管道的本质安全。

关键词：天然气长输管道；安全风险；防控措施；应急预案；本质安全

近年来，我国大力发展天然气产业，建设了大量长输管道。国务院办公厅于2023年4月印发的《防范和遏制重特大事故工作方案》，将油气管道等列为重点防范领域。习近平总书记也多次强调，要高度重视并切实加强安全生产工作。天然气管道事关人民生命财产安全和国家能源安全。因此，系统分析天然气长输管道运行安全风险，研究防控对策，对于保障人民生命财产安全，维护能源供应安全，具有重要意义。

1 管道安全风险及措施的必要性

天然气作为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。然而，天然气管道输送距离长、环境复杂、风险因素多，一旦发生事故，极易造成人员伤亡、环境污染和财产损失，后果不堪设想。特别是一些重大事故，还会对区域乃至国家能源安全、社会稳定造成严重冲击。我国已建成投运天然气管道11.4万公里，但因为建设时期、技术标准等差异，不同管道的本质安全状况参差不齐，一些管道设计和建设不达标，存在诸多风险隐患。同时，我国油气管道多穿越不同地理单元、气候带，复杂环境给管道安全防护带来巨大考验。频发的第三方破坏事件，也成为管道安全的“心腹大患”。如果不能有效识别和控制这些风险，必将埋下事故隐患，危及人民生命财产安全。因此，系统分析天然气管道面临的安全风险，采取针对性的防范措施，对于提高管道本质安全、维护国家能源安全，意义重大而深远。

2 天然气长输管道运行安全风险分析

2.1 管道本身因素

天然气长输管道的安全运行首先取决于管道本身的质量和完整性。管道材质选择不当，如管材强度、韧性、抗腐蚀性能不足，在高压、振动等复杂工况下，容易发生管道断裂、泄漏等事故。管道制造质量控制不严，存在焊接缺陷、壁厚不均匀等问题，在长期运

行中会不断恶化，成为事故隐患。同时，管道长期服役不可避免地会发生腐蚀和老化。土壤腐蚀、水中杂质腐蚀、应力腐蚀等外部腐蚀，以及输送介质引起的内部腐蚀，会逐步降低管道强度，增大泄漏风险。一些埋地管道由于防腐层破损，加之电化学保护不当，腐蚀问题尤为突出，最终导致管道破裂泄漏。管道老化还表现为管道金属晶体结构变化导致的脆化、地基变形导致的沉降等，大大降低管道抗冲击、抗震等能力，埋下事故隐患。此外，管道设计缺陷，如管径选择不当导致输送能力不足或超压风险增大，壁厚设计不足导致强度富余量不够，阀门、放空等附属设施设置不合理，都会给管道安全运行带来隐患，引发泄漏、输送中断等事故。

2.2 外部环境因素

天然气长输管道跨越不同地理区域和气候带，面临诸多复杂多变的外部环境风险。地震、滑坡、洪水等自然灾害可能直接破坏管道，造成天然气泄漏。例如，2008年某川特大地震使大量输气管道严重变形，多处断裂。暴雨引发的山体滑坡也会毁坏管道，造成管道失效。土壤液化、斜坡失稳等地质灾害同样危及管道安全，尤其一些管道敷设在河岸、陡坡等不良地质区域，风险更高。暴雨引发的山洪、泥石流会冲毁管道，淹没阀室，造成大面积输气中断。此外，长输管道穿越人口密集区，经常发生违章施工、偷盗等第三方破坏事件。仅2021年，全国就发生多起长输管道人为损坏事件，严重威胁管道完整性和输气安全。一些重大工程施工，如铁路、公路、水利工程等，也可能影响管道安全。还有车辆碾压、化学品泄漏等风险因素。极端气候条件也会加剧管道风险，如冬季低温导致管道收缩变形，高温使管道热胀冷缩幅度加大，加速疲劳破坏。上述因素无一不给天然气管道安全运行带来巨大威胁，极易引发泄漏、火灾、爆炸等特大

事故。

2.3 人为操作因素

天然气长输管道运行涉及开停工、流量调节、设备巡检维护等诸多人工操作环节，操作人员的操作失误行为会带来严重的安全风险。误操作阀门或仪表，如错误开启或关闭阀门，可能导致管道超压或气体倒流，引发事故。未按规定进行调压、放空作业，调压幅度过大过快，可能引起水锤效应，损坏管道和设备。日常巡检不仔细，未能及时发现管道沿线的施工、滑坡等隐患，可能酿成大祸。设备设施检修不到位，私自变更维修方案、缩短维修周期，使用不合格备件，会加剧设备磨损老化。

值班期间疏于值守，脱岗离岗，饮酒睡觉，一旦发生突发情况，可能错过最佳处置时机。遇到泄漏等突发事件，人员应急处置不当，未能快速、正确采取切断、堵漏、疏散等措施，则可能引发次生灾害，造成更大损失。这些人为操作失误看似无心之失，实则反映出人员安全意识淡薄、操作技能欠缺、违章侥幸心理严重，极易导致灾难性后果。诸多管道事故溯其根源，人的不安全行为都是最关键诱因。因此，消除、控制人为操作风险，提高人员素质和技能，是确保长输管道本质安全的关键所在。

2.4 管理体系因素

天然气长输管道作为特殊重大危险源，其安全管理涉及组织机构、制度建设、应急处置、教育培训等诸多方面。管理体系存在缺陷，是引发事故的另一重要原因。一些企业安全管理制度不顺、责任制不落实、规章制度不健全、安全投入不足、隐患排查治理不到位，极易埋下事故隐患。部分企业应急管理流于形式，应急预案针对性不强、可操作性差，重形式轻实效；应急物资装备配备不足；应急训练演习不到位。一旦事故发生，往往手忙脚乱，错失最佳处置时机，使事故损失扩大。企业员工安全意识和技能是否过硬，直接影响其遵章守纪、规范作业的自觉性，而安全培训的缺失恰恰导致诸多员工安全素质不高，违章作业频发。管理人员安全管理能力不足、履职不到位，安全监管流于形式，更使得事故防控失去重要屏障。

一些企业存在用工主体复杂、转包分包频繁等问题，现场管理混乱，责任边界模糊，极易出现管理盲区。这些管理缺陷如果得不到有效改进，必将成为诱发事故的重要因素。唯有从体制机制、责任落实、过程管控、应急处置、教育培训等方面构筑起严密的安全防线，

才能从根本上消除管理风险，为天然气长输管道的本质安全提供坚实保障。

3 天然气长输管道运行安全措施

3.1 加强管道本身安全

天然气长输管道的本质安全，首先取决于管道自身的质量和完整性。为从源头上确保管道安全，必须严格把控管道建设全过程。在管道设计阶段，要科学选择管线路由，优化线路布局，尽量避开地质灾害多发区、人口密集区等高风险区域。管径选择、壁厚设计要留有足够安全裕度，确保管道能够承受内外部荷载。要合理设置截断阀、放空阀、安全泄放装置等附属设施，便于检修和事故处置。在管道材料选择上，要采用高质量钢材，提高管道强度、韧性和抗腐蚀性。超大口径管道可选用 X80、X100 等高钢级钢管，小口径管道宜选用埋弧焊钢管等，确保管道具有优良力学性能。在管道制造和施工阶段，要从原材料进场复验、管道生产制造、防腐保温施工、焊接质量检测等各环节严把质量关。

采用先进的埋弧自动焊等工艺，提高焊接质量。加强施工过程管控，规范施工操作，确保管沟开挖、管道焊接、防腐层施工、管沟回填等关键工序质量受控。同时，要高度重视管道的完整性管理，在运行阶段定期开展管道检测，及时发现腐蚀、裂纹等缺陷隐患，并采取必要的检修、置换等措施，不断优化完善阴极保护系统，最大限度延长管道使用寿命。唯有从设计源头严把质量关，从建设过程严控质量关，从运维阶段严守质量关，才能为管道安全运行提供最坚实的基础保障。

3.2 做好外部环境防护

天然气长输管道运行环境复杂多变，为确保管道免受外部环境威胁，必须采取有针对性的防范措施。针对地震、滑坡、洪水等自然灾害风险，要加强灾害监测预警。在管道设计阶段选择合理路由，避开地质灾害易发区。在地震多发地区，可采用抗震球形储罐代替常规储罐，提高系统抗震能力。要与气象、水文、地质等部门加强联动，及时掌握灾害预警信息。制定防汛抗震等专项预案，配备必要物资，一旦发生险情，立即启动预案，采取封堵、停输、抢险等措施，降低灾害损失。在易发生山体滑坡、泥石流的区域，可修建挡土墙、山洪沟等防护设施。在河流冲刷严重路段，采取管道加深埋设、设置导流堤等措施，防止管道裸露遭受冲刷。

针对第三方破坏风险,要划定管道保护区,设置明显标识,加强日常巡护,及时制止违章施工、打桩取土等危害管道安全的行为。可利用卫星遥感等技术手段,实时监测管道沿线人为活动。建立健全第三方损坏事件调查、索赔机制。针对车辆碾压风险,合理设置限高限宽设施。在管道穿越公路、铁路等路段,采取套管、加厚壁厚等保护措施。针对极端气温、腐蚀性介质等恶劣工况,优化管道敷设方式,科学选用管材,加强防腐保温,提高管道抵御外部环境影响的能力。通过上述举措,为管道筑起坚实可靠的外部防护屏障。

3.3 强化人员操作安全

天然气长输管道运行维护涉及诸多人工操作环节,人员素质和技能直接关系到管道安全。为从根本上消除人为操作风险,必须把“以人为本”理念贯穿到安全管理全过程。

首先,要建立健全操作规程,明确各工序、各岗位的操作标准和要求,使人员有章可循。定期修订完善操作规程,使之与管道实际运行状况相适应。严格操作票证管理,未经审批、未佩戴票证人员严禁进行现场操作。

其次,加强人员培训考核,增强其安全意识和操作技能。定期组织业务培训、案例教育、事故警示教育,使人员牢固树立安全红线意识。开展实操演练,提高人员处置各类异常工况的能力。严格持证上岗,未经培训考核合格人员不得从事相关作业。

再次,要强化现场作业管理。动火、受限空间、吊装、临时用电等作业必须严格审批,确保作业条件、环境、防护措施、应急预案、人员资质等符合要求。作业过程中,要落实监护人、警戒人,及时消除各类不安全因素。

最后,要营造“不伤害自己,不伤害他人,不被他人伤害”的安全文化氛围,激发人员安全自律意识。通过家属座谈、亲情寄语等方式,引导人员遵章守纪,摒弃违章侥幸心理。对于违章作业人员,要严肃追责问责,决不姑息。通过上述系统举措,切实加强人员管理,增强其安全意识和技能,才能构筑起人员操作安全防线,从源头消除事故隐患。

3.4 健全安全管理体系

天然气长输管道作为关乎国计民生的重要能源设施,其安全管理体系必须健全完善,为管道安全运行提供强有力的制度保障。

首先,要健全安全管理组织机构,明确安全管理部门、各业务部门、基层单位的安全管理职责,做到责权利相统一。同时,构建“党政同责、一岗双责、齐抓共管”的安全生产责任体系,将安全责任层层分解落实到每个岗位,签订安全责任状。

其次,要建立完善的的安全管理制度,涵盖安全风险辨识评估、隐患排查治理、安全教育培训、事故管理、应急管理、承包商管理、设备设施管理、作业安全管理等各个方面,形成制度规范的“笼子”,有效规避人的不确定性。

再次,要高度重视应急管理,针对管道泄漏、火灾、爆炸等典型事故情景,编制专项应急预案,明确应急组织体系,细化处置流程和措施。定期开展桌面推演、实战演练,检验预案的可行性和有效性。同时,加强与当地政府、应急救援、公安消防等部门的应急联动,签订应急救援协议,建立信息共享、资源共享机制。

最后,要把员工教育培训作为安全管理的基础性工作来抓。按照管理、技术、操作等不同岗位的实际需求,有针对性地开展分级分类培训,提高人员履职能力。定期组织应知应会考试,未通过考核人员不得上岗。坚持学以致用,培训效果要体现到规范操作、遵章守纪的实际行动中。只有从体制机制、责任落实、过程管控、应急处置、教育培训等方面形成合力,才能为长输管道的本质安全筑牢制度根基,为各项安全措施的有效实施提供有力保障。

4 结束语

保障天然气长输管道安全,需要管道企业、政府监管部门、社会各界共同努力。要加强风险意识,树立红线思维,把管道安全摆在压倒一切的位置。要坚持问题导向,健全机制,强化措施,着力构建全过程、全员、全方位的管道安全防控体系。要以“万无一失”的决心,以“万全之策”的手段,坚决防范遏制重特大事故,为建设人与自然和谐共生的现代化作出应有贡献。

参考文献:

- [1] 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.
- [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] 郭金铭. 天然气长输管道运行中的风险及控制措施分析[J]. 化学工程与装备, 2020, (07): 219+69.