天然气管道输送安全关键技术与进展

舒　卿（山东莱克工程设计有限公司，山东　东营　257000）

摘　要：我国社会经济的迅猛进步促使天然气需求量持续攀升，这无疑推动了燃气输送管道的广泛建设和扩展。然而，随之而来的是严峻的管道运营挑战。城市化进程中的土地占用、人为干扰以及环境因素对管道的侵蚀，加之高压燃气的易燃特性、管道长度的冗长、复杂的交叉布局以及广泛的地理分布，共同构成了对天然气输送管道安全的巨大威胁。为了确保管道稳定运行，保障公共安全和国家发展的基石，对燃气管道的管理和维护显得至关重要。管道安全与质量的强化管理，不仅是一种预防事故、确保平稳供气的有效策略，而且是我国燃气管道建设与发展过程中不可或缺的核心环节。通过科学而严谨的管控，我们旨在维护管道系统的稳固，确保能源供应的连续性和人民生活的安宁。

关键词：天然气；管道输送；安全关键技术；措施

1 天然气管道输送安全运行意义

1.1 节约能源与减少污染

在能源管理和环境保护的双重考量中，确保天然气管道的顺利输送显得尤为关键。天然气作为绿色能源的代表，其燃烧过程中产生的温室气体和环境污染远低于化石燃料。通过强化管道安全措施，我们得以推动天然气在能源结构中的广泛应用，以此减少对高污染能源的依赖，从而显著改善空气质量并守护水体资源。此外，稳定的天然气输送体系对于维持社会经济的平稳运行至关重要，它支撑着工业生产、城市生活设施和电力生成等多个领域的运作。任何输送系统的不稳定或故障，如供应中断或泄漏，都可能导致能源危机和环境问题，直接威胁到社会运行的连续性和稳定性。更为重要的是，天然气管道安全关乎民众的生活质量与福祉。任何潜在的管道破裂或事故，一旦波及居民区，将对公共安全和居民健康构成严重威胁。因此，保障管道安全不仅仅是为确保能源供给的可靠，更是为了守护每个人的居住环境和生命安全。

1.2 保障人民的生命财产

确保天然气管道的平稳运作对于维护公共利益和民生福祉起着基石般的作用。其首要影响在于，它紧密关联着城市生活的各个角落，特别是居民区和商业中心的基础设施安全。任何微小的管道问题都可能迅速演变成灾难性的后果，比如天然气泄漏引发的突发火灾或爆炸，这将直接威胁到周边社区的生命安全。通过强化管道安全监管，我们得以预先防范这些潜在的灾难，为人民的生命安全筑起一道坚固防线。其次，管道事故不仅仅关乎生命，还涉及财产层面的重大损失。天然气泄漏不仅可能摧毁家庭住宅，甚至工业设施，造成无法估量的物质财产损害。通过保证管道的稳定性，我们可以有效地减轻这种突发性经济损失的风险，确保公众的财产安全。

1.3 降低管道运输的成本

天然气管道的经济价值核心体现在其高效且节省的输送模式。一个稳定的输送体系不仅确保了能源的连续传输，而且显著减少了运营过程中的资源消耗。通过优化运行策略，可以显著降低因管道问题引发的事故风险，如泄漏或破裂，这样就能有效防止能源的无谓流失，提升整体能源利用率。更重要的是，一个可靠的管道网络意味着较少的突发维护需求，从而减少了生产中断带来的经济损失。因此，通过提升运行效能和降低成本，安全运行的天然气管道不仅提升了输送效率，还间接推动了能源产业的经济效益，并对整个市场环境和经济发展产生了积极的推动作用。

2 天然气管道安全运行影响因素分析

2.1 保护意识不足

管道保护的双重保障主要体现在运营团队和周边民众的认识上。在运营层面，虽然大部分管道配备了专业巡检人员，他们定期的巡逻能有效预警潜在风险，确保管道平稳运行。然而，部分企业的经济考量使巡检人员多为临时工，这导致他们的安全意识和专业知识不足，往往难以识别和应对突发的安全隐患，尤其在处理现场问题时显得力不从心。长距离管道横跨众多区域，其中部分途径人口稠密地带，这使得沿线居民的安全意识成为关键环节。他们对管道安全的忽视可能导致日常活动或耕作无意中对管道构成威胁。此外，管道沿线标识设施如标志桩和警示牌，由于长时间运行而可能受损，无法有效指导第三方施工避开管

道，从而增加了意外发生的可能性，这是不容忽视的隐患来源。

2.2 管道材料问题

管道系统的稳定运营面临着严峻的挑战，其中材料选择起着关键作用，我国普遍采用钢作为主要材质。然而，随着时间推移，钢材料的可靠性会逐渐减弱。管道材料问题可以从三个方面剖析：首先，我国一些管道的历史较长，原始施工过程中受限于技术条件，可能导致材料质量不尽如人意，耐久性受到影响，长期使用下安全隐患凸显；其次，钢材料尤其易受腐蚀影响，虽然部分管道实施了防护措施，但在施工细节和外部干预下，防腐涂层可能受损。此外，阴极保护系统的维护不足，未能及时监测保护电流，可能导致保护失效，加剧管道的腐蚀进程；最后，任何材料都有其寿命期限，到期后需更换。遗憾的是，一些管道管理方出于经济考量，未能适时更换老化管道，这也是引发风险的重要因素之一。

2.3 违章施工与占压

确保管道稳定运营面临双重挑战：违规施工与地面压力。在项目完成后，管道管理方可能仍需在周边执行工程，此时，严谨的预先规划和现场严密监控至关重要，以预防潜在的风险。然而，一些企业可能过于追求效率，忽视了详尽的施工计划和风险评估，即使设有监管岗位，但员工的安全意识薄弱，无法有效识别和处理风险，从而增大了事故发生的可能性。至于占压问题，尤其在人口密集区域，尽管施工期间已尽力排除地面障碍，但公众对管道保护的意识淡薄，往往在管道上方建造结构，这无形中增加了管道承受的负荷，从而加剧了安全风险。而且，众多占压物的存在也给管道维护带来了复杂性。因此，及时清除管道上方的任何潜在压力源，是保障管道安全的首要任务。

2.4 施工质量问题

天然气管道安装工程的复杂性不容忽视，它涉及到多学科的知识，并且易受外部环境影响，施工周期漫长，因此，质量问题频发。质量缺陷的成因可从三个方面解析：首先，施工队伍的安全素养有待提升。尽管我国施工技术进步显著，但大型天然气管道项目需求庞大的劳动力，而许多工人可能缺乏管道安全的专业知识，这增加了出错的可能性；其次，设备管理也是关键。繁多且各异的施工设备如果未能得到妥善维护，持续高负荷运行可能导致设备性能下降和安全隐患，一旦设备故障，无疑会直接影响管道质量；最后，有效的监管至关重要。如果缺乏对每个施工阶段的严格监控，即使微小的问题也可能积累成全局质量的隐患。因此，强化人员培训、设备维护和全程监管是确保工程质量的关键。

3 天然气管道输送安全关键技术及进展

3.1 应用先进材质

确保天然气输送系统的稳固基石在于采纳前沿的材料科技。管道材料的选择不仅关乎系统的稳定性和持久性，更关乎其核心的安全保障。随着科技进步的驱动，管道材料的研发和实践正经历前所未有的革新，为管道安全编织了一张坚实的防护网。在这个领域，高强度合金材料的运用尤为关键，其卓越的抗压和抗拉特性，确保了系统在高压输送任务中表现出色，经受住了严苛考验。耐蚀材料的巧妙应用同样不可或缺，它抵御着环境侵蚀的侵袭，显著延长了管道的服役寿命，避免了潜在的故障隐患。随着纳米科技和复合材料科学的融合，管道材料的性能边界被持续刷新。纳米科技的介入使得材料表面结构更为精细，增强了材料的抗腐蚀能力和力学性能。而复合材料的引入，则为设计者提供了更多的可能，赋予了管道更强的韧性和耐久性，同时通过减轻重量，优化了施工和运输流程的便捷性。当然，除了材料本身的提升，保护层技术也是确保管道安全的重要一环。

3.2 实时监测技术

在确保天然气管道输送安全的过程中，实时监控技术发挥着无可替代的作用。这类技术是一系列能实时监控管道动态，即时识别异常并作出响应的系统和设备，对于管道的平稳运行起着决定性支持作用。首要的，智能传感设备和监测单元是这一过程的核心驱动力。它们被嵌入管道内部，持续监控压力、温度、流量等关键参数，实时收集信息并通过通信网络将数据无缝传输至监控中心，使得操作人员得以即时掌握管道运行状态，迅速捕捉任何异常信号。其次，无损伤检测技术作为实时监控不可或缺的部分，利用先进的超声波检测和磁粉探伤等方法，对管道内外结构进行深度剖析，提前预警如腐蚀、裂缝等潜在风险，有效避免事故的发生。在数据管理层面，监控系统融合了大数据分析、人工智能和机器学习等前沿科技，对海量数据进行深度解析和精准预测，能够洞察潜在问题，预测管道的健康状况，为预防性维护策略提供强大支持。

3.3 管道测试技术

在天然气输送系统的全程保障中，管道测试技术起着决定性的作用，它们构成了一套严密的安全保障体系。

首先，预安装阶段的严格检验不可或缺。在管道安装前，通过执行诸如水力和气压耐压测试，旨在验证其在设计负载下的结构坚固性和稳定性。这些测试旨在预防运行时的潜在泄漏或破裂风险，确保管道在服役期间的完整性。

其次，管道的日常监控犹如心脏的持续跳动，至关重要。定期的性能评估和检查能够揭示任何隐藏的问题，如腐蚀、磨损或微小裂缝。利用先进的无损检测技术，如超声波扫描、磁粉成像和射线透视，我们能深入管道内外，早期发现并修复潜在隐患，确保管道始终处于高效、安全的状态。

最后，泄漏检测技术堪称防线的最后一道壁垒。借助气体泄漏传感器和红外热像仪等尖端设备，我们能迅速定位并制止任何泄漏事件的发生，防止其引发严重的环境影响和安全隐患。总的来说，管道测试技术犹如一套精密的守护系统，确保了天然气输送的全程安全。

3.4 运行仿真技术

在确保天然气输送安全的过程中，运行仿真技术起着不可或缺的作用。它是一种基于计算机的策略，通过精细构建虚拟环境，模拟管道系统的动态行为以及多种潜在情境，以深入剖析其在不同条件下的性能表现和适应性。

首先，这项技术擅长模拟管道在各种工作模式下的运作，通过精密的数学模型，全面考量管道的物理属性、流体动力学、温度和压力等因素，预见在负载变化、压力波动或温度变换时的实际反应。这不仅有助于优化管道的设计过程，也为日常管理和维护提供了决策支持。

其次，仿真技术作为一种强大的优化工具，能够通过模拟实验，精细调节和优化管道操作参数，如流量、压力和温度等，从而提升运行效率和稳定性，降低潜在的故障风险。同时，它还能扮演危机管理的角色。通过模拟并演练如泄漏、破裂等紧急情况，仿真技术能检验应急预案的实战效能，增强对突发状况的响应能力，进而有效减小事故造成的经济损失和负面影响。

3.5 防腐涂层技术

在确保天然气管道输送安全的关键策略中，防腐涂层技术占据核心地位。这项技术通过在管道外表施加独特配方的涂料或保护层，旨在抵御各种环境影响，如腐蚀、氧化，从而显著提升管道的耐用性和安全性，减少潜在事故的发生。

首先，防腐涂层技术如同一道无形的屏障，有效抵御腐蚀的侵袭。管道在自然环境中，容易遭受大气、水、土壤中的化学物质或电化学反应的侵蚀。应用如环氧树脂、聚氨酯、聚醚酮等高性能涂层，能够在管道表面形成一个隔离层，显著降低腐蚀的风险，增强管道的抗腐蚀性能。

其次，涂层技术不仅限于防腐，还能减缓机械磨损。管道在运营过程中，会面临摩擦、振动等物理因素的磨损。选择具有优异耐磨特性的防腐涂层，能有效减轻这些磨损，延长管道的使用寿命。此外，防腐涂层技术还是管道维护管理中的重要工具。定期对涂层的完整性和质量进行评估和维护，是确保管道长期稳定运行的关键步骤。通过持续监控和修复涂层，可以有效防止腐蚀和磨损，降低潜在问题。

4 结论

随着时代的飞跃，天然气管道输送领域的安全保障策略正经历深刻的革新历程，其中包括了多元化的技术革新路径。从基础材料的革命性突破，到前沿实时监控系统的智能化升级，再到精细仿真技术的精进应用，每一个环节都在为管道安全编织了一张更为坚固的防护网。特别是防腐涂层技术的不断优化，智能感应设备的广泛应用，以及运行状况的精准模拟，都在显著提升管道的稳固性和防风险能力。这些技术的进步不仅确保了能源输送的连续性，也为社会的稳定发展和环境保护做出了实质性的贡献。

参考文献：

[1] 谢萍，伍奕，李长俊，等．混氢天然气管道输送技术研究进展 [J]. 油气储运，2021,40(4):10.

[2] 慕强，唐超．天然气管道运输安全运行管理中的隐患及防范措施 [J]. 化工管理，2017(34):106.

[3] 张琦．天然气输送管道安全运行及质量管理 [J]. 石化技术，2018,25(10):191.

[4] 张金鑫．浅谈长输天然气管道安全运行管理 [J]. 中国石油和化工标准与质量，2020,40(03):90-91.

[5] 韩星，王坤．天然气管道优化运行技术研究进展 [J]. 现代化工，2021(1):4-5.

[6] 文其志，包正清，雷楠，等．天然气输送管道安全运行及质量管理 [J]. 价值工程，2017,36(6):3.