

燃气管道工程设计与施工中的安全风险控制研究

乔在朋 张 坤(山东港华燃气集团有限公司, 山东 济南 250014)

摘要:本文聚焦燃气管道工程设计与施工中的安全风险控制。剖析了设计环节的标准执行偏差、地质勘察不精准、安全间距不当等风险,以及施工环节的材料设备隐患、人员操作不当、环境复杂多变等因素。通过典型事故案例追溯原因、总结教训,提出强化设计阶段风险控制、加强施工阶段管控和完善监管机制等策略,对提高燃气管道工程安全性具有重要意义,同时对未来新兴技术应用、智能化管理和法规标准完善等方向进行了展望。

关键词:燃气管道工程;设计与施工;安全风险控制;监管机制

1 研究背景与意义

在当今社会,燃气作为一种清洁、高效的能源,在城市居民的日常生活以及工业生产等诸多领域中得到了广泛应用,已然成为推动社会发展不可或缺的关键力量。燃气管道工程作为燃气输送的核心基础设施,犹如城市的“生命线”,其安全稳定运行直接关系到千家万户的切身利益,对于保障社会的正常运转、推动经济的持续增长具有举足轻重的意义。

近年来,随着城市化进程的迅猛加速,燃气管道工程的建设规模与覆盖范围不断拓展。然而,与之相伴而来的是一系列令人忧心的安全事故频发,给人民群众的生命财产安全带来了巨大威胁,也给社会的和谐稳定造成了严重冲击。

2 燃气管道工程设计与施工中的安全风险因素剖析

2.1 设计环节风险因素

2.1.1 设计标准执行偏差

在燃气管道工程设计领域,严格遵循相关设计标准是确保工程质量与安全的基石。然而,在实际操作过程中,部分设计单位由于对标准规范理解不够深入、专业素养参差不齐,抑或是受到成本控制、工期紧迫等外部因素干扰,未能精准落实设计标准,致使管道布局呈现出不合理状态。

随着城市的快速发展,几年后该区域进行道路拓宽改造,施工过程中,由于燃气管道与电力电缆间距不符合标准要求,给施工带来极大不便,稍有不慎就可能引发燃气管道与电力电缆相互干扰,甚至碰撞损坏,进而造成燃气泄漏、电力中断等严重事故,给周边居民生活以及商业运营带来巨大负面影响,同时也为后续的管道维护与管理埋下重重隐患。

2.1.2 地质勘察不精准

地质勘察作为燃气管道设计的前期关键环节,其

勘察数据的准确性直接关乎管道基础设计的科学性与合理性。倘若地质勘察工作存在疏漏,所获取的数据信息与实际地质状况偏差较大,那么以此为依据设计的管道基础将难以承受管道运行过程中的各种荷载,极易引发管道变形、断裂等安全问题。

基于不准确的勘察数据设计的管道基础,在施工完成后不久,便因断层带的活动以及地下水的冲刷侵蚀,出现了不均匀沉降现象。管道随之发生弯曲变形,焊缝部位承受巨大应力,部分焊缝甚至出现开裂迹象,严重威胁到燃气的安全输送。若未能及时察觉并采取有效补救措施,一旦遭遇外力冲击或管道内压波动,极有可能引发燃气大规模泄漏,在山区复杂地形条件下,救援与抢险难度将大幅增加,后果不堪设想。

2.2 施工环节风险因素

2.2.1 施工材料与设备隐患

施工材料与设备作为燃气管道工程建设的物质基石,其质量优劣与运行状态直接关乎工程的成败。一旦管材质量不达标、管件存在缺陷,或者施工设备突发故障,都极有可能为工程埋下严重的安全隐患,甚至引发灾难性事故。

类似地,施工设备故障也可能引发严重后果。在另一个大型燃气管道工程施工现场,一台用于管道焊接的自动焊机在作业过程中突然出现电气故障,焊接电流瞬间失控,致使焊接部位出现大面积未熔合、夹渣等缺陷。由于施工人员未能及时察觉这一问题,后续该段管道在进行压力测试时,焊缝处承受不住压力,发生爆裂,高压燃气喷涌而出,现场顿时陷入一片混乱。若不是抢险救援人员及时赶到,采取紧急关阀、疏散人群等措施,后果将不堪设想。这些惨痛的案例无不警示着我们,必须强化对施工材料与设备的全流程管控,从采购源头严格把关质量,在使用过程中定

期维护保养，确保其始终处于良好运行状态。

2.2.2 施工人员操作不当

施工人员作为燃气管道工程建设的直接参与者，他们的专业素养、操作技能以及安全意识，对工程质量与安全起着决定性作用。倘若施工人员违规操作、技术不熟练，极易在施工过程中对管道造成损伤，为后续的安全运行埋下巨大隐患。

在燃气管道焊接环节，部分焊工未严格按照焊接工艺规程进行操作，焊接电流、电压参数设置不当，焊接速度过快或过慢，导致焊缝成型差、内部存在气孔、裂纹等缺陷。例如，在某燃气管道改造工程中，焊工为赶工期，擅自提高焊接电流，减少焊接层数，使得焊缝外观呈现出鱼鳞纹不均匀、咬边严重的现象。在后续的无损检测中，发现该焊缝内部存在大量未熔合区域，这些缺陷极大地削弱了焊缝的强度与密封性。当管道投入运行后，随着内部压力的升高以及外部环境因素的影响，焊缝缺陷处逐渐成为应力集中点，最终引发焊缝开裂，造成燃气泄漏事故。

2.2.3 施工环境复杂多变

燃气管道工程的施工环境常常极为复杂，山地、河流穿越工程屡见不鲜，恶劣天气以及复杂地质条件更是给施工增添了重重困难与风险。

在山地燃气管道工程中，地势起伏大、坡度陡峭，给管道的敷设与运输带来极大挑战。而且，山地地质条件复杂，岩石破碎、土层松散，在进行管沟开挖时，极易引发山体滑坡、塌方等地质灾害。一旦发生此类情况，不仅会掩埋已铺设的管道，还可能威胁到施工人员的生命安全。

河流穿越工程同样风险重重。当燃气管道穿越河流时，需面对水流冲刷、河床变迁等诸多问题。若施工过程中未能合理选择穿越方式、设置有效的防护措施，管道很容易受到损坏。在某河流穿越燃气管道工程中，施工单位采用定向钻穿越技术，但在施工前对河床地质勘察不够精准，未充分考虑到河床下存在的砂层流动性。定向钻施工过程中，钻孔周围的砂层在水流作用下不断涌人孔内，导致钻孔坍塌，已铺设的管道被流沙掩埋，不得不重新进行施工，耗费了大量的人力、物力与时间成本。

3 安全风险控制的有效策略探讨

3.1 强化设计阶段风险控制

3.1.1 严格遵循设计规范

设计单位作为燃气管道工程的蓝图绘制者，肩负

着确保工程安全的首要责任，必须将严格遵循设计规范作为铁律贯穿于整个设计流程之中。在设计伊始，设计人员应全面、深入地收集与研读最新的国家标准、行业规范以及地方相关规定，精准把握燃气管道在不同场景下的设计要求，从管道的材质选型、管径确定、壁厚设计，到压力等级划分、路由布局规划等各个环节，均要做到有据可依、科学合理。

3.1.2 精准开展地质勘察

地质勘察是燃气管道设计的根基，精准、详实的地质勘察数据能够为设计提供可靠依据，有效降低因地质条件不明而引发的安全风险。在地质勘察过程中，应摒弃传统的粗放式勘察模式，积极引入先进的技术手段，全方位、多角度地获取地质信息。

综合运用多种地球物理勘探方法，如地震勘探、电法勘探、重力勘探等，对勘察区域的地质构造、地层分布、岩石特性等进行全面探测。地震勘探能够通过人工激发地震波，依据地震波在不同地层介质中的传播速度与反射特征，精准绘制出地下地质结构剖面图，清晰揭示断层、褶皱等地质构造的分布情况；电法勘探则利用不同岩石、土壤的导电性差异，探测地下水位、含水层分布以及地层的电性分层结构，为判断地下水对管道的侵蚀风险提供依据；重力勘探通过测量地面重力异常变化，推断地下地质体的密度分布，辅助识别地下空洞、溶洞等不良地质体。

3.1.3 优化安全间距设计

燃气管道与周边建（构）筑物、其他市政管线之间保持合理的安全间距，是防止相互干扰、避免事故发生的关键保障。在设计过程中，设计人员需充分考量管道运行的安全性以及周边环境的复杂性，运用科学的方法合理规划安全间距。

首先，结合城市总体规划与详细规划，精准掌握管道沿线周边的土地利用现状及未来发展趋势。对于已建成区域，实地调研周边居民住宅、商业建筑、工业厂房等建（构）筑物的分布、结构类型、基础形式，以及给排水管道、电力电缆、通信光缆等市政管线的走向、埋深、管径等信息；对于规划待建区域，依据城市规划部门提供的规划蓝图，提前预判可能出现的建（构）筑物与管线布局，为安全间距设计预留充足空间。

其次，借助专业的模拟分析软件，如基于有限元分析的力学仿真软件、流体动力学模拟软件等，对燃气管道与周边设施在不同工况下的相互影响进行量化分析。通过模拟燃气管道泄漏时燃气的扩散路径、浓

度分布，以及在地震、洪水等自然灾害作用下管道与周边建（构）筑物的位移、变形响应，评估潜在的安全风险，据此动态调整安全间距。例如，在某城市新区的燃气管道设计项目中，设计人员利用流体仿真软件模拟发现，当燃气管道与一条规划中的污水管道并行敷设且间距过小时，一旦燃气管道发生泄漏，泄漏的燃气可能在污水管道内积聚，遇明火极易引发爆炸。基于模拟结果，设计团队将两者的水平安全间距由原设计的2 m增大至5 m，并增设了隔离防护措施，有效降低了安全风险。

3.2 加强施工阶段风险管控

3.2.1 严控施工材料与设备质量

施工材料与设备作为燃气管道工程建设的物质基础，其质量优劣直接关乎工程的质量与安全。为从源头上把控风险，必须建立严格的材料设备准入制度，对供应商的资质进行细致审查，优先选择具有良好信誉、雄厚技术实力以及完善质量保证体系的供应商，确保所供应的材料与设备符合国家标准及工程设计要求。

对于管件、阀门等配套部件，同样要严格把关，确保其与管材的适配性以及自身的密封性、耐腐蚀性。施工设备的管理也不容忽视，建立设备台账，详细记录设备的型号、购置时间、维修保养记录等信息。在设备进场前，组织专业技术人员对其进行全面检查，确保设备性能良好，运行稳定。在施工过程中，制定科学合理的设备维护保养计划，定期对设备进行清洁、润滑、调试、检修，及时更换磨损严重的零部件，确保设备始终处于最佳运行状态。例如，对于焊接设备，每日施工前检查焊接电流、电压的稳定性，定期校准焊接参数，确保焊接质量不受设备因素影响；对于起重设备，每次作业前检查钢丝绳的磨损情况、吊钩的安全性以及制动装置的可靠性，杜绝因设备故障引发的安全事故，为燃气管道工程的顺利施工提供坚实保障。

3.2.2 提升施工人员专业素养

施工人员作为燃气管道工程建设的一线执行者，他们的专业素养、操作技能以及安全意识直接决定了工程的质量与安全水平。为打造一支高素质的施工队伍，必须高度重视施工人员的培训与管理工作。

施工单位应定期组织施工人员参加专业技能培训，培训内容涵盖燃气管道施工的各个环节，包括管道焊接、沟槽开挖、管道敷设、试压吹扫等关键工序。邀请行业内资深专家、技术骨干进行授课，通过理论讲解、案例分析、现场实操演示等多种形式，深入浅

出地传授先进的施工技术与工艺，确保施工人员熟练掌握施工流程与操作要点。例如，在管道焊接培训中，详细讲解不同管材、不同工况下的焊接工艺参数选择，如焊接电流、电压、焊接速度、层间温度控制等，现场演示手工电弧焊、氩弧焊、二氧化碳气体保护焊等常用焊接方法的操作技巧，让施工人员亲身体验规范焊接操作对保证焊缝质量的重要性。

3.2.3 应对复杂施工环境的措施

燃气管道工程施工常常面临复杂多变的自然环境与地质条件，如山地、河流穿越工程，以及暴雨、大风、暴雪等恶劣天气的考验，这些因素给施工带来了极大的困难与风险。为确保施工安全与质量，必须因地制宜，制定针对性强的专项施工方案。

在山地燃气管道施工中，针对地势起伏大、坡度陡峭的地形特点，合理选择管道敷设路径，尽量避开地质灾害易发地段，如滑坡、泥石流、崩塌等区域。若无法避开，应提前采取有效的边坡防护措施，如修筑挡土墙、锚杆支护、喷锚护坡等，增强山体稳定性。对于管道运输与吊运难题，采用专门的山地运输设备，如履带式起重机、索道运输系统等，确保管道能够安全、高效地运抵施工现场。同时，优化管道焊接工艺，考虑到山地风力较大可能影响焊接质量，搭建防风棚，为焊接作业创造稳定的环境，保证焊缝质量符合要求。

4 结论

本研究对燃气管道工程设计与施工中的安全风险因素进行了全面剖析，明确了设计环节与施工环节中诸多的风险点。设计环节存在设计标准执行偏差以及地质勘察不精准等问题；施工环节则面临施工材料与设备隐患、施工人员操作不当以及施工环境复杂多变等风险。

燃气管道工程的安全风险控制是一项复杂的系统工程，需要政府、企业、社会组织以及广大民众协同发力，形成合力，共同守护燃气管道这一城市“生命线”的安全。只有如此，才能切实保障人民群众的生命财产安全，推动燃气行业乃至整个社会的可持续发展。

参考文献：

- [1] 王凯 . 燃气管道工程设计与施工安全管理研究 [J]. 城市建设理论研究 (电子版),2017,(22):102-103.
- [2] 李华 . 燃气管道工程施工中的安全管理措施分析 [J]. 科技创新与应用 , 2018,(10):193-194.
- [3] 张辉 . 燃气管道工程设计中的安全问题及对策 [J]. 化工管理 ,2019,(18):142-143.