

石油天然气长输管道设计与施工技术研究

侯天哲

河南油田工程科技股份有限公司 河南 郑州 450000

摘要：石油天然气长输管道设计复杂关键，涉及线路规划、管材选择等多方面。应力分析、防腐设计、水力计算是设计关键技术。施工方面，焊接技术、防腐施工、管道铺设与安装技术至关重要。然而，复杂地质条件、施工安全管理、新技术应用与人才培养等问题挑战犹存。需加强地质勘察、完善安全制度、加大人才培养力度，确保管道安全高效运行。

关键词：石油天然气；长输管道；设计；施工；技术研究

引言：石油天然气长输管道作为能源传输的命脉，其设计与施工面临诸多挑战。从复杂地质条件到施工安全管理，再到新技术的应用与人才培养，每一环节都至关重要。本文旨在综述长输管道设计与施工的关键技术，探讨存在的问题，并提出相应的应对策略，以期为行业提供有益参考，推动长输管道工程的安全、高效、可持续发展。

1 石油天然气长输管道设计概述

石油天然气长输管道作为能源传输的重要通道，其设计过程复杂且关键，直接关系到管道的安全稳定运行以及能源的高效利用。长输管道设计不仅是一项技术挑战，更是一项系统工程，需要综合考虑多种因素，确保管道在建设和运行过程中能够满足各项要求。（1）线路规划是长输管道设计的首要任务。这一环节要求设计师具备深厚的专业知识和丰富的实践经验，以全面、准确地评估地形地貌、地质条件、周边环境以及城市规划等多方面因素。地形地貌的复杂性决定了管道走向的选择必须谨慎，既要避免陡峭山地、沼泽湿地等难以施工的地段，又要尽量减少穿越河流、湖泊等水域的次数，以降低工程建设难度和成本。同时，地质条件的稳定性也是线路规划的重要考虑因素。地震断裂带、泥石流易发区等地质灾害频发区域应作为管道走向的禁忌区域，以避免因自然灾害导致的管道损坏和安全事故。（2）在周边环境方面，管道线路应尽量避免人口密集区和重要基础设施，如居民区、学校、医院、交通枢纽等。这是为了减少管道建设对周边居民生活的影响，以及降低管道运行过程中可能带来的安全风险。此外，城市规划也是线路规划不可忽视的因素。随着城市的不断扩张和发展，管道线路应与城市规划相协调，确保管道建设与城市发展的和谐共生。（3）管材选择是长输管道设计中的另一个关键环节。管材的选用直接影响到管道的承压

能力、耐腐蚀性能和使用寿命。因此，在选择管材时，必须根据输送介质的特性（如腐蚀性、压力等）、运行压力与温度条件以及工程投资等多方面因素进行综合考虑。无缝钢管以其高强度、良好的耐腐蚀性和可焊性，在高压、高温或腐蚀性介质的输送中得到了广泛应用。而螺旋缝埋弧焊钢管则因其制造工艺简单、成本较低，在低压、大口径的管道工程中具有优势。（4）除了考虑管材的基本性能外，还需要关注管材的焊接性、可加工性以及与其他部件的连接方式等因素。焊接性是评价管材在焊接过程中是否容易出现裂纹、气孔等缺陷的重要指标。可加工性则决定了管材在加工过程中是否容易变形、开裂或产生其他质量问题。而与其他部件的连接方式则关系到管道系统的整体稳定性和密封性。

2 长输管道设计关键技术

2.1 应力分析技术

长输管道在运行过程中，会承受来自内部介质的压力、管道自身的重量、环境温度变化引起的热应力以及外部荷载（如土壤压力、交通荷载等）等多种应力的作用。这些应力如果得不到合理的控制和释放，将导致管道发生变形、破裂等严重事故。因此，准确的应力分析对于确保管道的强度与稳定性至关重要。（1）随着计算机技术的飞速发展，有限元分析等先进方法被广泛应用于管道应力分析中。有限元分析能够模拟管道在不同工况下的应力分布，包括正常运行状态、极端天气条件、地震等特殊情况下的应力状态。通过有限元分析，设计师可以直观地了解管道各部位的应力水平，及时发现潜在的应力集中区域。（2）基于应力分析的结果，设计师可以对管道壁厚、支吊架设置以及特殊部位（如弯头、三通等）的结构进行优化设计。例如，在应力集中区域增加壁厚或设置加强筋，以提高管道的承载能力；合理设置支吊架，以减少管道因自重和温度变化引起的应力；对特

殊部位进行结构优化,以改善其应力分布状态^[1]。

2.2 防腐设计技术

石油天然气具有一定的腐蚀性,加之长输管道长期处于复杂的土壤、大气等环境中,防腐设计成为保证管道使用寿命的关键。防腐设计主要包括涂层防腐与阴极保护相结合的方式。(1)涂层防腐是在管道表面涂覆一层具有防腐性能的隔离层,以阻止腐蚀介质与管道金属直接接触。涂层材料的选择应根据管道所处的环境条件(如土壤类型、含水量、pH值等)以及管道的运行参数(如温度、压力等)来确定。优质的涂层材料应具有良好的附着性、耐腐蚀性、抗老化性和一定的机械强度。(2)阴极保护则是通过向管道施加阴极电流,使管道金属表面发生极化,从而抑制腐蚀的发生。阴极保护系统包括牺牲阳极法和强制电流法两种。牺牲阳极法是通过将比管道金属更活泼的金属(如镁、铝等)作为阳极,与管道金属连接形成原电池,利用阳极的溶解来保护管道金属。强制电流法则是通过外部电源向管道施加阴极电流,实现阴极保护。(3)在实际工程中,应根据土壤电阻率、含水量等环境因素以及管道的运行参数,合理选择涂层材料与阴极保护方式,并进行科学的系统设计。同时,还应定期对管道进行防腐层检测和阴极保护效果评估,以确保防腐效果的可靠性与持久性。

2.3 水力计算技术

水力计算是确定长输管道输送能力与运行参数的重要手段。通过对管道内流体的流动状态、压力损失、流量分配等进行计算分析,可以合理确定管道的直径、泵站布局以及输送压力等参数。准确的水力计算有助于优化管道系统的运行,提高输送效率,降低运行能耗。例如,在不同地区的用气需求与气源供应情况发生变化时,可以通过水力计算及时调整管道流量分配,确保各用户端能够获得稳定、充足的油气供应。同时,水力计算还可以为管道的日常维护和管理提供科学依据,如预测管道内的压力变化、评估泵站的运行状态等。

3 长输管道施工技术

3.1 管道焊接技术

焊接是长输管道连接的主要方式,其质量直接影响管道的强度与密封性。在长输管道施工中,焊接技术不仅要求高效,更要求高质量。目前,手工电弧焊、CO₂气体保护焊、氩弧焊以及自动化焊接技术等多种焊接方法并存,各自在不同的施工场景中发挥优势。(1)自动化焊接技术因其高效、高质量的特点,在长输管道建设中得到广泛应用。全位置自动焊接设备的出现,极大地提高了管道环焊缝的焊接效率和质量稳定性。这种设备能

够实现管道环焊缝的快速、精准焊接,减少人为因素对焊接质量的影响,如焊工技能水平、焊接环境等不可控因素。同时,自动化焊接技术还能够减少焊接过程中的烟尘和有害气体排放,改善施工环境。(2)无论采用何种焊接方法,严格的焊接工艺控制与质量检测都是确保焊接质量的重要保障。在焊接前,要对焊材、母材进行严格的检验,确保其符合设计要求。焊接过程中,要控制焊接参数,如焊接电流、电压、焊接速度等,以保证焊接质量。焊接完成后,要进行射线探伤、超声波探伤等无损检测,及时发现并修复焊接缺陷,确保管道的强度与密封性。

3.2 防腐施工技术

长输管道长期处于复杂的自然环境中,易受腐蚀介质的侵蚀,因此防腐施工至关重要。在施工阶段,防腐涂层的施工质量是防腐效果的关键。首先,要对管道表面进行严格的预处理,去除铁锈、油污等杂质,以保证涂层与管道表面的附着力。喷砂除锈、化学清洗等是常用的表面预处理方法,它们能够有效地清洁管道表面,为涂层施工创造良好条件。(1)涂层施工时,要严格按照设计要求均匀涂抹防腐涂层,控制涂层厚度与施工工艺参数。涂层厚度过薄,防腐效果不佳;涂层厚度过厚,则易造成涂层开裂、脱落等问题。因此,涂层施工要遵循“薄而均匀”的原则,确保涂层质量。(2)阴极保护系统的安装也是防腐施工的重要环节。阴极保护通过向管道施加阴极电流,使管道金属表面极化,从而抑制腐蚀的发生。在安装阴极保护系统时,要保证阳极材料的正确埋设位置与连接方式,使其能够正常发挥保护作用。同时,还要定期对阴极保护系统进行检查和维护,确保其长期稳定运行^[2]。

3.3 管道铺设与安装技术

长输管道的铺设方式根据地形条件可分为沟埋敷设、架空敷设与水下敷设等。沟埋敷设是最常见的方式,其施工过程中需严格控制管沟的开挖深度、宽度与坡度。管沟开挖过浅或过窄,易造成管道受力不均、变形甚至破裂;管沟开挖过深或过宽,则会增加施工难度和成本。因此,管沟开挖要遵循“适中、平稳”的原则,确保管道能够平稳放置于管沟内。(1)对于穿越河流、公路等特殊地段,要采用合适的穿越技术。定向钻穿越、顶管穿越等技术因其对周边环境与基础设施影响小、施工效率高等优点,被广泛应用于特殊地段的管道穿越施工中。在穿越施工过程中,要严格控制穿越路径、穿越深度等参数,确保管道安全穿越。(2)在管道安装过程中,要保证管道的对口精度与安装位置准确

性。对口精度不够,易造成焊接缺陷;安装位置不准确,则会影响管道的运行效果和安全性。因此,在管道安装过程中,要使用专业的对口工具和测量设备,确保管道的对口精度和安装位置准确性。同时,还要通过合理的支吊架设置来支撑管道重量、减少管道变形,确保管道的长期稳定运行。

4 长输管道设计与施工中的问题及应对策略

4.1 复杂地质条件带来的挑战

在山区、沼泽等复杂地质区域进行管道建设,无疑是一项艰巨的任务。山区地形起伏大,管道需频繁爬坡、转弯,这不仅增加了施工难度,还对管道的应力分布提出了更高要求。沼泽地区土壤承载力低,管道易受外力作用而下沉、变形,对管道的稳定性构成严重威胁。为应对这些挑战,我们在设计阶段就需加强地质勘察,全面了解地质条件,为管道走向与结构设计提供科学依据。在施工阶段,针对山区地形,我们可采用分段施工策略,结合特殊的爬坡与转弯施工工艺,确保管道能够顺利穿越复杂地形。对于沼泽地区,则需进行地基处理,如铺设砂石垫层、设置桩基础等,以提高土壤承载力,保障管道的长期稳定性。

4.2 施工安全管理问题

长输管道施工过程复杂,涉及高空作业、动火作业、机械操作等多种高风险作业环节,因此,施工安全管理显得尤为重要。然而,部分施工单位在安全管理方面存在明显短板,安全管理制度不完善、人员安全意识淡薄、安全防护措施不到位等问题时有发生。为有效解决这些问题,(1)必须建立健全的安全管理制度,明确各级管理人员的安全职责,确保安全管理工作的有序进行。同时,要加强施工人员的安全教育培训,通过定期的安全知识讲座、实操演练等方式,提高员工的安全意识和自我保护能力。(2)施工现场应设置醒目的安全警示标识,提醒施工人员时刻注意安全隐患。同时,必须配备必要的安全防护设备,如安全帽、防护服、救生绳等,确保施工人员在作业过程中得到有效保护。(3)要严格执行安全操作规程,对违规行为进行严肃处理,确保施工安全得到切实保障。只有这样,才能确保长输管

道施工过程的顺利进行,为能源传输事业的安全发展奠定坚实基础^[3]。

4.3 新技术应用与人才培养问题

长输管道技术日新月异,新的设计理念、施工技术与材料如雨后春笋般涌现,为行业带来了前所未有的发展机遇。然而,部分企业在新技术应用方面却显得力不从心,存在明显的滞后性。这不仅制约了企业的技术创新能力,也影响了长输管道工程的建设质量和效率。

(1)究其原因,关键在于企业缺乏掌握新技术的专业人才。新技术的应用需要专业人员来支撑,而人才的培养却非一日之功。因此,企业必须加强与科研机构的合作,通过产学研合作等方式,积极引进和推广先进技术。同时,企业还应加大对人才培养的投入,注重内部培训与外部进修的结合,为员工提供多样化的学习途径。(2)具体来说,企业可以组织定期的技术培训,邀请行业专家进行授课,提升员工的专业技能。同时,鼓励员工参加外部进修课程,拓宽视野,了解行业最新动态。通过这些措施,培养一批既懂设计又懂施工,且掌握新技术的复合型人才,为长输管道工程建设提供坚实的人才支持,推动行业持续健康发展。

结束语

长输管道设计与施工面临复杂地质、安全管理及新技术应用等多重挑战。为确保管道的安全稳定运行,必须加强地质勘察,优化线路规划,同时建立健全的安全管理制度,提升施工人员安全意识。此外,企业还应积极引进新技术,加强与科研机构的合作,注重人才培养,打造一支高素质的复合型人才队伍。未来,行业应持续探索创新,不断提升设计与施工水平,为能源传输事业的长远发展提供坚实的技术与人才支撑。

参考文献

- [1]蒋风松.石油天然气长输管道腐蚀检测修复及防范研究[J].全面腐蚀控制,2021,35(05):80-82.
- [2]吕晓强.石油天然气长输管道路由选择与施工技术[J].化工管理,2021(11):181-182.
- [3]于连波.石油天然气长输管道路由选择及施工技术[J].化学工程与装备,2020(08):58-59.