

石油天然气管道工程设计与施工关键技术研究

罗名泉（中石化南京工程有限公司，江苏 南京 210049）

摘要：作为现代社会发展过程中不可或缺的重要能源，石油天然气在全球能源结构中占据着举足轻重的核心地位，广泛应用于生产生活的各个领域。随着全球经济水平的快速发展，能源需求持续增长，石油天然气输送任务难度愈发提升，管道工程是石油天然气运输的首选方式。基于此，本文聚焦于石油天然气管道工程设计与施工关键技术展开研究，并思考管道工程设计与施工技术的发展趋势，旨在提高石油天然气能源的输送效率，保障能源的持续与稳定供应，从而为我国能源事业的发展提供强有力的技术支撑。

关键词：石油天然气；管道工程；工程设计；施工技术

0 引言

石油天然气管道工程设计与施工是一项系统化工作，本身具有较高的复杂性与挑战性，涉及多个学科领域的专业知识技术。在工程建设的全生命周期内，任何一个环节或工序出现问题都可能增加管道工程的安全风险隐患，不仅会导致建设成本上升，还会延误工程工期，甚至会引发后果严重的安全事故。因此，深入研究石油天然气管道工程设计与施工关键技术具有重要的实践价值与现实意义。

1 石油天然气管道工程设计关键技术

1.1 管道线路勘测与测绘技术

在整个石油天然气管道工程设计的进程中，线路设计是至关重要的环节之一，选线的合理性直接关系到管道工程施工的安全性与经济性。为了给石油天然气管道设计提供准确、详尽的数据资料支持，线路勘测与测绘技术有着重要价值，主要涉及地质勘察与地形测量两方面工作。地质勘察有利于设计人员充分了解石油天然气管道沿线的地质条件，借助已有的地质资料与物探等基础探测方法，实现对管道线路的初步勘察，旨在了解管道沿线的地质构造、地层岩性等信息。在详细勘察阶段，需要进行钻探、原位测试等更高精度的勘测工作，以此获取更为准确的地质参数信息。地形测量的目的是获取石油天然气管道沿线的地形地貌信息，并以此为基础绘制出准确的管道工程地形图，为后续的管道线路优化设计提供关键性依据。在石油天然气管道工程设计中，测绘技术的应用愈发广泛，数字化测绘技术的发展，显著提高了测绘数据采集、处理与存储的工作效率，同时通过专业的测绘软件对测绘数据进行处理，自动化生成高精度的电子地图与三维模型，为管道工程线路的设计提供科学依据^[1]。

1.2 管道输送工艺与热力计算

石油天然气管道工程工艺设计的核心环节就是输送工艺计算与热力计算，输送工艺计算的目的是确定管道的输送能力、压力分布的关键参数信息，以此为管道的管径选择以及泵站的合理设计提供依据。管道输送工艺计算的基础是流量计算，大多根据油田的产量以及管道的输送能力规划确定流量，主要分为质量流量与体积流量两种，其中，质量流量 = 石油密度 * 体积流量；体积流量 = 管道横截面积 * 石油在管道中的流速。为确保石油天然气管道的安全运行，同时充分满足管道输送要求，必须在管道工程设计时完成准确的压力计算，石油天然气管道的压力分布会受到多种因素的影响，包括但不限于石油的黏性、管道的平整度、地形的起伏变化以及输送泵站的加压情况等等。管道热力计算主要研究的是管道内流体与周围环境之间存在的热量传递过程，并判断因此引起的温度变化趋势，有利于保证石油天然气管道的安全运行，同时提高石油天然气的管道输送效率。

1.3 管道材料选择与强度设计

在石油天然气管道工程设计的进程中，管材的选择极为关键，直接决定着管道工程的安全性与使用寿命，还影响着管道工程建设的综合成本^[2]。金属管材是最为常用的管道材料种类，包括碳钢、合金钢、不锈钢等，其中，碳钢具有较高的强度和良好的韧性，能够承受更大的内外压力，且碳钢价格低廉，经济效益理想，在大规模石油天然气管道工程建设中彰显出显著的成本优势，但是碳钢的耐腐蚀性能较差，不适用于腐蚀性较强的工程环境中，在使用碳钢材质的管道时，需要对其进行具有针对性的防腐处理，有助于延长管道的使用寿命。合金钢是在碳钢的基础上加入了适量的合金元素，能够显著提高管材的性能，具有

更高的硬度与强度,且显著提升管材的耐腐蚀性,从而确保管道长时间处于安全运行的工作状态。合金钢的成本相对较高,在一定程度上限制了合金钢管材的普及应用,需要综合考虑管道工程的实际需求。不锈钢是所有管道材质中耐腐蚀性最佳的类型,在各种恶劣的环境条件下都能保持稳定的强度与结构,同样不锈钢管材的成本较高,加工难度更大,在追捧经济性的石油天然气管道工程设计中往往不会被作为首选。管道强度计算旨在计算管道的应力水平,以此确定管道壁厚与管径参数的合理设置范围,确保管道全生命周期内均具有充足的强度与性能稳定性。

2 石油天然气管道工程施工关键技术

2.1 管道敷设技术

传统的管道敷设方法就是开挖敷设,具体的施工工序主要包括沟槽开挖、管道铺设、沟槽回填等。在进行沟槽开挖时,应当根据石油天然气管道工程设计要求,结合施工现场的地质条件,合理确定开挖深度、宽度与坡度,在开挖完成后,还需要对沟槽底部位置进行夯实与平整处理,以此确保管道铺设的稳定性。管道铺设过程中,要根据管道的材质及设计要求,选择合适的连接方式,并在完成管道铺设后及时进行沟槽回填,应遵循分层回填的原则进行,逐层回填、夯实,有助于保证回填土质的密实度,从而防止后续在管道周围出现塌陷问题。开挖敷设技术相对成熟,为管道敷设施工质量管控提供了便利条件,且在地形平坦、地势简单的地区进行开挖施工,不仅能够提高管道敷设施工效率,还具有较高的经济性优势^[3]。但是,开挖敷设技术对周边环境的破坏性较大,可能会带来较为严重的生态影响。

基于此,近些年逐渐兴起了非开挖敷设技术,例如水平定向钻技术、顶管技术以及盾构技术等,非开挖敷设技术能够大幅度减少管道敷设施工对周边环境的影响,同时能够有效缩短管道工程施工周期,控制施工成本,全方位保证施工安全。除此之外,石油天然气管道工程施工中,管道敷设难度最高的施工方式之一就是水下敷设与穿越施工,需要在敷设前对相关区域的水文、地质条件进行详细勘察,以此为基础制定施工方案,不同的施工方法有着不同的适应场景。

2.2 管道焊接技术

管道焊接技术施工质量直接决定着石油天然气管道工程系统整体的安全性与可靠性,可见管道焊接技术的关键性。常见的管道焊接技术包括手工电弧焊、

半自动焊以及自动焊等,其中,手工电弧焊技术的应用最为广泛,主要依靠焊工手工操作焊条完成焊接,焊接设备简单,操作灵活,因此能够在各种复杂的管道焊接施工环境中进行施工作业。但是,手工电弧焊技术的焊接施工效率较低,焊接质量与焊工的专业水平呈正比例相关关系,焊接质量稳定性较差。

半自动焊技术节省了手工电弧焊技术的焊条输送环节,焊工只需要对焊枪的移动方向以及焊接的速度进行有效控制即可,能够显著提高焊接效率,减轻焊工劳动强度,同时有助于保证焊接施工质量,常用于石油天然气管道工程施工中的管道填充层与盖面层焊接工序。半自动焊技术对施工环境与操作条件有一定要求,并不适用于所有石油天然气管道工程施工。自动焊技术是利用自动化设备实现对焊接施工过程的机械化与自动化管理,焊接速度快且焊接质量更高,广泛应用于大口径、长距离的石油天然气管道工程施工过程中。

自动焊技术需要采购相关的专业设备,前期资金投入较大,对操作人员的技术要求呈几何式增长,还需要相关的技术人员对自动化焊接设备进行运维管理。想要全方位确保石油天然气管道工程焊接施工质量,就必须在焊接施工全过程中充分关注焊接质量。在焊接前,严格检查焊接材料,包括焊条的化学成分以及焊丝的直径偏差度等等,以此确保焊接材料质量符合设计要求,并对焊接设备进行调试,保证设备正常运行,同时实现对焊接参数的精准控制。

2.3 管道防腐技术

石油天然气管道工程施工过程中,防腐材料的选择至关重要,直接决定着管道的防腐性能与管道工程的综合使用寿命。常见的防腐材料包括有机涂层、无机涂层以及金属涂层三大类^[4]。有机涂层具有良好的化学稳定性与耐水性,能够有效抵御土壤中各种腐蚀性介质的侵蚀,从而为管道提供长期且可靠的防腐保护功能。无机涂层材料具有高硬度、耐腐蚀、耐高温等诸多优点,适用于一些特殊工况条件下的管道防腐施工,但相对而言,无机涂层材料的施工成本较高、工艺相对复杂,限制了无机涂层防腐施工技术应用范围。管道的防腐层施工是确保石油天然气管道工程防腐效果的关键环节,在防腐层施工前,应当认真清除管道表面的杂质,提高其粗糙度,以此增强防腐涂层材料的附着力。

同时,要根据防腐材料的类型与实际的施工工艺

要求,严格控制防腐涂层涂装施工参数,确保施工后涂层能够达到预期的防腐性能。在防腐施工完成后,应对其展开全方位的质量检验,涉及外观检查、防腐层厚度检测以及防腐层粘结力检测等,确保防腐层不会发生脱落现象,保证其防腐效果。

3 石油天然气管道工程设计与施工技术的发展趋势

3.1 智能化技术的创新应用

随着信息化、数字化时代的到来,智能化技术的创新应用成为了石油天然气管道工程设计与施工技术必然的发展趋势。借助先进的计算机辅助设计软件与三维建模技术,能够帮助设计人员构建出具有更高精度的管道工程三维模型,以便设计人员可以在虚拟的环境下完成管道工程设计规划,从而帮助设计人员作出更为科学且合理的工程设计决策。同时,应用智能化创新技术,有助于设计人员准确了解管道工程建设需求,结合工程实际情况及时调整设计方案,优化管道设计工艺参数。

此外,智能化技术的创新应用还体现在工程施工的实时监测方面,随着智能化技术的深入发展,石油天然气管道工程有着更加灵敏的管道泄漏监测系统,确保相关的运营管理企业能够在泄漏事故发生前采取有效的处理措施,将泄漏事故造成的人员与环境危害降到最低。

3.2 新材料工艺的大力研发

在石油天然气管道工程设计与施工过程中,新材料与工艺的大力研发是促进整个行业发展的关键趋势。随着石油天然气资源开发向着极端环境的深入拓展,对管材性能提出了更高要求,包括高强度管材与耐腐蚀管材的研发,有助于确保石油天然气管道结构的完整性,使其能够满足诸多恶劣环境下的使用要求,同时避免石油天然气输送介质以及周围环境对管道产生严峻的腐蚀威胁。

此外,随着社会大众环保意识的不断增强,绿色环保施工工艺的研发也受到了石油天然气管道工程行业领域的重视,不仅能够提高工程施工资源的利用率,还能助力管道工程施工建设与生态环境保护的协同发展^[5]。同时,要关注管道工程施工废弃物的有效处理,通过分类回收再利用的方式,给工程施工企业带来更为理想的经济效益、社会效益与生态效益。

3.3 技术安全与可靠性的提升

未来,石油天然气管道工程设计与施工技术发展,

应围绕提升技术安全与可靠性方向开展,研发管道完整性管理技术,确保石油天然气管道工程在整个生命周期内的安全运行,将管道运行风险降到可控状态。同时,要结合定性与定量方法,对管道完整性进行风险评价,确定风险等级,预估可能造成的严重后果,并以此为基础制定具有针对性的风险防控措施,确保管道保持长时间的安全运行功能。

此外,风险评估技术与应急处理技术在石油天然气管道工程中的应用愈发成熟,通过对管道工程系统的风险识别,有助于制定更为科学且有效的风险防控方案,综合考虑管道材质、石油天然气输送介质、运行压力以及周边环境因素的影响,识别管道质量安全事故风险点,确定管道工程系统运行的薄弱环节,并通过应急方案的制定,为安全事故的应急处理提供有力保障^[6]。

4 结语

综上所述,本文对石油天然气管道工程设计与施工的关键技术进行了全面且深入的探讨,通过应用管道线路勘测与测绘技术、管道输送工艺与热力计算、管道材料选择与强度设计等技术,为管道工程设计提供了准确的数据支持,确保了管道设计的强度与稳定性。同时,为提高石油天然气管道工程施工质量水平,从管道敷设技术、连接技术、防腐技术三个维度展开详细研究,并展望石油天然气管道工程设计与施工技术的发展趋势,全方位保障管道工程的经济性与安全性。

参考文献:

- [1] 刘阔.石油天然气管道工程敷设关键技术研究[J].中国化工贸易,2023,15(15):142-144.
- [2] 黄楚雄.石油天然气工艺管道安装工程施工管理存在的问题及处理策略[J].中国石油和化工标准与质量,2024,44(3):51-53.
- [3] 杨健,陈娇,赵绪高.石油天然气管道地下工程施工工艺探究[J].中国化工贸易,2024,16(14):133-135.
- [4] 李健,程琪,吴建宁.石油天然气管道安装工程施工管理及质量评价分析[J].石油石化物资采购,2023(11):211-213.
- [5] 汪璐.天然气长输管道工程设计策略[J].中国石油和化工标准与质量,2023,43(1):115-117.
- [6] 赵子涵.油气输送管道线路设计与施工技术研究[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2022.