

天然气长输管道线路施工关键技术分析

晋 飞

中石化中原石油工程设计有限公司 河南 濮阳 457001

摘要: 天然气长输管道作为国家能源基础设施的重要组成部分,具有输送距离远、敷设范围广、运行压力高、地形条件复杂、施工技术要求严格等特点。管道施工质量直接关系到管道运行安全、使用寿命及能源供应稳定性。本文以天然气长输管道施工全过程为研究对象,从线路土石方施工、主体安装、特殊地段施工三个方面系统分析关键施工技术、工艺要点及质量控制措施,结合现行规范与工程实践,总结各类施工技术的适用条件与技术优势,为天然气长输管道工程建设提供理论参考与技术支持。

关键词: 天然气长输管道; 施工关键技术; 土石方施工; 管道安装; 特殊地段穿越

引言: 近年来,我国天然气基础设施建设持续增加,长输管道已逐步形成“全国一张网”的总体布局。长输管道工程往往穿越平原、山地、河流、公路、铁路及复杂地质区域,施工环境多变、工序衔接紧密、安全风险点多、管线路由越来越少,加之工程建设对大口径、高压力、高钢级、智能化的核心要求,线路测量、管沟开挖、管道焊接、防腐补口、非开挖穿越等关键技术,是保障管道工程质量的核心环节^[1]。随着全自动焊接、数字化测量、非开挖施工、智能检测等技术不断推广应用,长输管道施工正朝着机械化、自动化、绿色化、智能化方向发展^[2]。本文结合现行施工规范与工程实践,深入天然气长输管道施工关键技术进行系统分析,对天然气长输管道施工关键技术展开系统分析,对提升长输管道施工工艺水平、保障能源安全输送具有重要的现实意义。

1 管道线路土石方施工关键技术

1.1 线路测量与放线技术

线路测量与放线是施工首要工序,测量精度直接影响管道敷设精度与后续施工的合规性和顺畅性。工程中主流采用GNSS RTK动态测量、全站仪、无人机航测相结合的方式,实现复杂地形高精度定位^[3]。测量工作涵盖线路控制桩测设、中线放样、纵断面与横断面测量及施工作业带边界放线,全程高频次复核与动态纠偏,确保管道轴线偏差 $\leq 150\text{mm}$,为后续施工提供精准基准,也为征地工作提供地理数据。

1.2 管沟开挖技术

管沟开挖遵循“机械为主、人工修整为辅”的原则,根据地质、地形及设计参数科学选择开挖方式,管沟边坡坡度需结合土壤类别、力学性能及开挖深度综合确定,最陡边坡坡度需严格满足设计要求及相关国家规范标准。开挖前准确定位地下障碍物,机械配合人工开挖形式探

挖出障碍物后再开展后续施工。管沟开挖深度与沟底宽度需按设计要求把控,其中沟底加宽余量需根据土质情况、沟底积水可能性、焊接作业位置(沟上/沟下)、冷弯及弯头段施工需求、焊接工艺类型等因素,参照规范要求灵活调整。避免扰动沟底原土层,地下水丰富区域采取排水措施,局部超挖按规范回填压实,保证沟底无石块、积水及尖锐杂物,防止管道防腐层受损。

1.3 管沟支护技术

管沟支护核心是防止沟壁坍塌,工艺选择结合管沟深度、土壤稳定性及施工环境确定。深沟、软土、流沙等危险地段,必须采取可靠管沟支护措施,并制定专项方案并做好技术交底工作,采用钢板桩支护、高压旋喷桩帷幕加固等方式增强稳定性。支护施工遵循“分层开挖、随挖随支、先支后挖”原则,支护结构提前完成强度与稳定性验算,施工中需动态监测沟壁位移情况,确保支护结构稳定,保障人员与设备安全。

1.4 管沟回填技术

管沟回填需在管道安装检验合格后及时开展,避免管沟长期暴露引发各类安全隐患。回填前清除槽底杂物,严禁使用冻土、建筑垃圾及软性物质作为回填材料。石方、戈壁及冻土段需采用细土或细沙回填至管顶0.3米,并按设计要求进行分层夯实,分层厚度 $\leq 300\text{mm}$ 。管顶以上0.5M处敷设警示带,最终回填土高于地面0.3米以上,以抵消后期自然沉降,防止地表积水下渗、同时保证管顶覆土厚度始终符合设计要求。回填施工完成后,及时恢复沿线地貌,埋设标识装,防止第三方施工对管道造成破坏。

2 管道主体安装关键技术

2.1 管道布管与组对

布管前全面检查管道外观、防腐层、管口椭圆度,

经检验合格后方可沿管沟有序摆放。布管一般采用吊管机配合柔性吊带进行,严禁使用钢丝绳直接捆绑防腐层,严控布管间距、管墩高度,确保管道稳定。管口组对前做好坡口清理、除锈,严控椭圆度、错边量与组对间隙,采用专用对口器辅助作业,严禁强力组对。陡坡、弯道地段采取临时锚固、限位措施,防止管道滑移,保证组对质量。

2.2 管道焊接技术

焊接是长输管道施工核心工序,直接决定管道密封性能与运行安全^[4]。焊接前彻底清理管口杂质,根据焊评,选用匹配的焊接工艺与焊接材料,目前工程中主流采用全自动焊接技术,其焊接效率高、焊缝质量稳定。在狭小空间、弯头等全自动焊接设备无法作业的区域,可采用半自动焊或手工电弧焊等工艺。在焊接前,需对焊接设备进行全面调试,重点检查焊接电源、送丝机构、行走系统、气路系统及监控装置的运行状态,确保设备运行稳定、参数精准、各部件通讯正常。根据管材钢级、壁厚及环境条件,对焊接电压、电流、行走速度、送丝速度、保护气体流量等关键参数进行预调试,确保焊接过程连续稳定。合理设置焊接时序,避免焊缝缺陷。野外及恶劣环境下采取防风、预热等措施,严控层间温度。保证焊口韧性与力学性能满足设计要求。焊接全过程执行坡口加工-管口清理-组对-预热-焊接-缓冷-无损检测的标准化流程,对于穿越段、连头口及重要区段焊缝需执行100%超声与100%射线双百检测,确保焊口强度、密封性与可靠性满足管道高压运行要求。

2.3 管道防腐补口技术

防腐补口是保障管道整体防腐连续性的关键工序,焊口经外观检查与无损检测合格后开展施工^[5]。补口施工前,需对焊口两侧管体表面进行喷砂除锈至要求等级,尤其做好3PE防腐层接口处底漆处理,以及补口搭接处的拉毛打磨处理,提升粘结力。优先选用与管体防腐层相容匹配的热收缩带/套,施工时严格控制加热温度及搭接宽,采用均匀加热方式确保补口材料与管壁粘结紧密,无气泡、无翘边、无空鼓现象。完成后进行电火花检漏与拉拔实验抽查,不合格部位需立即返工处理,确保防腐补口质量。

2.4 管道清管、试压与干燥技术

管道清管、试压与干燥是天然气长输管道安装完成后、投产前的核心衔接工序,保障管道通径达标、密封性可靠、内部干燥洁净,规避投产运行后发生冰堵、腐蚀泄露等安全隐患,是管道安全平稳投运的关键保障。清管前采用匹配管径的清管器、测径版,通过压缩空气推动

清管器在管道内移动清除管内杂物。清管过程中需严格控制推动介质的压力与流速,确保清管器平稳运行。同时利用测径板检查管道是否存在变形、凹陷、椭圆度超标等缺陷,确保管道内径完全满足设计及规范要求。管道试压以水压试验或气压试验为主要方式,需根据管道设计压力、敷设地段及现行规范要求科学选定试验介质与试验压力,优先采用水压试验,其检测密封性更精准、安全性更高。试压前需对管道进行分段封堵、排气,试验过程中遵循“缓慢升压、分级稳压”原则,逐步升压至试验压力,保压至规范规定时长,同时对管道全线进行检漏,重点排查焊口、补口、阀门、法兰等关键部位,确认无压降、无泄漏、无结构变形后,方可判定试压合格。试压完成后及时将管内试验介质排净,做好管道端头密闭防护,防止杂质、积水再次进入管内,无缝衔接开展干燥施工。干燥工艺通常采用干空气干燥法或真空干燥法,通过持续通入低露点干燥空气,将管内残留水分带出,直至管道出口空气露点达到设计指标。干燥完成后需进行露点检测,确保管道内部达到无水、洁净、干燥状态。清管与干燥合格后方可开展气密性试验与气体置换,为管道安全、平稳投产运行提供可靠保障。

3 特殊地段施工关键技术

3.1 河流穿越施工技术

河流穿越是天然气长输管道建设中的关键控制性工程,同时也是施工重点与难点工程,需根据河道宽度、水深、地质条件、防洪要求、通航标准及相关主管部门规定,科学选择施工方式。目前工程中常用的施工方法主要有水平定向钻、顶管及开挖围堰等。对于大中型河流,优先采用水平定向钻施工工艺,可最大限度减少对河道生态及通航的影响,施工过程重点控制导向孔轨迹精度、扩孔级数、泥浆配比及回拖力,避免出现塌孔、卡钻及管道划伤等问题。对于小型河流及沟渠可采用开挖围堰方式施工,施工前做好导流、排水及边坡防护措施,保证管沟开挖过程中的稳定性与施工安全。河流穿越段管道需采取配重、稳管及加强防腐等措施,提升管道的抗冲刷与抗浮能力,防止管道在水流冲击下发生移位、变形或防腐层损坏。施工完成后,需及时恢复河道原貌,符合防洪与生态保护相关要求。

3.2 山体穿越施工技术

山体及陡坡地段具有地形起伏大、作业空间有限、边坡稳定性差、开挖难度大等特点,是长输管道施工的高难度区域。施工前需开展详细地质勘察工作,明确山体岩层性质、风化程度、地下水分布及不良地质体范围,制定针对性施工方案。根据地形条件选择隧道穿越、定

向钻穿越、陡坡敷设等方式。隧道、定向钻穿越可大幅减少山体扰动,更符合生态保护要求。在隧道穿越施工中需做好洞内通风、照明、排水及临时支护,防止洞内坍塌。陡坡段施工多采用台阶式开挖工艺,配合挡土墙、锚固墩及抗滑桩等措施,防止管道滑移、倾覆及边坡失稳。施工中合理控制管道敷设坡度,加强管口组对与固定措施,做好边坡防护与排水处理,防止雨水冲刷引发边坡失稳。同时,需对山体位移与沉降情况实时动态监测,及时掌握地质变化情况,确保管道在复杂地形条件下受力均匀、运行稳定。

3.3 道路穿越施工技术

公路、铁路穿越施工需在保障交通正常运行的前提下,安全、高效完成管道穿越作业,常用方式包括顶管、顶箱涵、夯管穿越以及一般道路的大开挖+盖板/套管保护形式。施工前需与公路、铁路管理单位及交通主管部门充分沟通,确定施工方案,明确交通疏导、现场安全防护及地表沉降控制指标。穿越段管道外部设置钢套管或钢筋混凝土套管,实现管道与道路结构的有效分离,避免道路荷载直接作用于管道。施工过程严格控制顶进方向、地表沉降及结构变形,将沉降量控制在规范允许范围内,避免对道路路基、铁路轨道造成损坏,确保道路通行安全与管道结构长期稳定。施工完成后,需及时恢复道路原貌,满足交通通行要求。

3.4 特殊地质段施工技术

长输管道常经过淤泥、流沙、断裂带等特殊地质区域,各类特殊地质条件对管道沉降、腐蚀、稳定性存在显著影响,易引发管道结构变形、防腐层破损、管体应力开裂等问题,是管道施工的重点管控环节。施工前需通过精细化地质勘察,精准明确特殊地质的分布范围、发育特征及危害等级,结合管道设计参数制定专项施工方案与应急处置预案,针对性采取地基加固、稳管防护、应力释放等技术措施,同时强化施工全过程动态监测,从源头规避地质风险,保障管道施工质量与长期运行安全。施工前需通过地质勘察明确特殊地质的分布范围、地质特性及发育程度,结合管道设计参数制定专项施工方案,并做好施工预案。对于淤泥软土地段,需采用换填法、夯实法、复合地基加固等措施,提升承载力,避免管道敷设后因

地基沉降引发管道变形;对于流沙地段需采取降水、固壁等措施,控制流沙涌动,防止管沟坍塌。针对地质断裂带,属于地质构造薄弱区域,易发生地层滑移、错动,对管道结构稳定性威胁极大,工程中优先避让主断裂带核心区域;若无法避让,采用柔性敷设、设置补偿弯管的方式释放地层变形产生的应力,同时采用抗滑桩、锚索加固等措施稳定断裂带周边土体,管道敷设完成后设置长期地层位移与管道应力监测装置,实时掌握管道运行状态,及时处置异常情况。

结束语

天然气长输管道施工是一项技术密集、工序复杂、质量要求严格的系统工程。各项施工关键技术的系统应用与规范实施,是保障管道建设质量与运行安全的核心支撑。线路土石方施工的精准定位与稳定控制、主体安装的严密焊接、防腐保护及清管试压干燥的层层把控、特殊地段的针对性施工,直接决定工程建设质量、管道运行安全水平与服役寿命。在工程实践中,需结合地形地质、环境条件与工艺设计要求,科学优选施工方案,强化全过程质量控制,大力推广自动化焊接、非开挖穿越、数字化监测等先进技术,不断提升施工精细化、智能化、绿色化水平。未来,随着新材料、新装备、新工艺持续创新与应用,长输管道建设技术将不断升级,施工效率与工程质量将进一步提升,为天然气能源的稳定、安全输送提供坚实保障,推动我国能源基础设施建设向高质量、可持续方向发展。

参考文献:

- [1]GB50369-2014,油气长输管道工程施工及验收规范[S].北京:中国计划出版社,2014.
- [2]SY/T4109-2019,油气输送管道工程施工技术规范[S].北京:石油工业出版社,2019.
- [3]王登堂.天然气长输管道施工技术与质量控制[M].北京:石油工业出版社,2020.
- [4]李鹤林.我国高钢级长输管道发展与技术进步[J].油气储运,2021,40(2):121-128.
- [5]李秉毅.长输管道河流定向钻穿越施工关键技术研究[J].石油工程建设,2022,48(3):45-49.