

复杂地质区油气长输线路施工技术研究

张亚春

中油（新疆）石油工程有限公司 新疆 克拉玛依 830000

【摘要】：随着我国油气管网逐渐向偏远复杂的地区延伸，在建设过程中遇到了很多技术难题，山区破碎带、软土沉降区、冻土分布区、沙漠戈壁等地质条件又使得工程建设难度增大。极端地貌的形成造成了边坡失稳、地基沉降、管道变形等隐患频频发生，给工程实施的安全性、可靠性造成严重威胁。在此背景下，本文选择新疆为研究对象，从复杂的地质环境条件出发对长距离输油管线的建设施工进行系统的分析，在施工过程中结合传统的施工方法存在的不足，提出了一套以开挖法、非开挖技术协同使用的地基加固技术方案。通过分析各种工艺参数的影响，找到适合各种地质环境的最优途径。主要研究施工过程中关键技术要点及质量控制措施，用案例来证明新方法的实际效果和可行性。既提高了高风险地区油气输送设施的设计精度和建设速度，也给行业的可持续发展赋予了科学支撑和技术支撑。

【关键词】：复杂地质区；油气长输线路；施工技术

DOI:10.12417/3083-5526.25.10.028

引言

作为我国能源战略布局的关键设施，长输油气管道在区域间资源调配、国家能源安全和社会经济发展过程中起着不可替代的作用。在新疆地区有部分长输管道属于关键的能源输送设备，其所在的地区既有丰富的油气资源储存地，又成为全国石油、天然气的主要生产地和供应地。受复杂地质构造特点的影响，上面提到的管道建造存在诸多的技术难题。传统的施工方式不能很好地解决特殊的地质条件造成的施工难题，从而造成工程质量不稳定、工期延误、安全事故多发等一系列问题。针对目前的状况，本文从新疆复杂地质环境下工程实践的角度出发，运用理论分析与实践经验相结合的方式，试图建立一个适应性好、高效能的施工技术体系，从而达到工艺改进和质量控制水平提高的目的，最终提高项目的安全性以及实施速度。

1 复杂地质区油气长输线路施工特点与风险分析

1.1 主要复杂地质类型及施工特点

我国西北油气资源主产区地质构造具有明显的多样性特点，各区域地层属性、稳定性存在着较大的差别，给油气勘探开发工作带来了许多困难。根据地质条件的复杂性，可以将其分为山地破碎带地质环境、黄土地基地质环境、砂砾石堆积体地质环境、岩溶堆积物地质环境这四种典型地貌类型。其中一种是山地破碎带地质环境，岩石风化程度较高、裂隙发育比较密集，岩性变化多端，地层完整性较差，在工程中容易引发边坡塌陷、岩体滑移等地质灾害现象，而且地形崎岖，施工场地狭小，对设备运送十分不便。二是软土沉积型地质区域，此地地下水丰富、孔隙发育、压缩性能强，会使得管道铺设之后出现非均匀沉降，引起管道弯曲、接口失效等状况，给管线运营安全和可靠带来隐患。第三类是季节性冻融区，受温度变化的影响较大，土壤会周期性地发生膨胀收缩的变化，这样就会破坏原来管土耦合的关系，造成管道漂浮、位移或者破裂的情况出现，在低温的情况下还会对焊接质量产生影响。以风蚀为主

的荒漠化地区表层土壤结构疏松、粘结力差，在外力作用下极易被带走，造成初期开挖难、后期维护慢；极端天气状况又会延长工期、加大施工误差率。

1.2 施工核心风险隐患

在复杂的地质环境下进行长距离的油气管线工程时，所遇到的许多风险具有明显的复合性、叠加性和高危特点，在整个项目过程中都存在。从地质灾害的角度看，山地断层带施工会造成滑坡、泥石流、边坡坍塌等地质灾害，冻土区因为冻融作用会出现地基沉降和季节性膨胀的问题，软弱地基也会造成大范围的沉降变形^[1]。不但直接影响现场作业人员和大型设备的安全，而且有可能造成已有的管道系统受到损伤。从施工质量上来说，焊接工艺、沟槽开挖精度、回填压实度等无法达到理想的水准，造成焊缝缺陷、填充不足、坡度偏离等现象频繁出现，给以后的运行埋下隐患。对于项目管理来说，由于复杂的地形影响使得机械设备的效率受到影响，并且出现地质上的突然变化会加大工期延期和费用超标的风险。

2 复杂地质区油气长输线路核心施工技术

2.1 精细化开挖施工技术

山区或者冻土区等特殊的地形地貌下，传统的粗放型管沟开挖方式已经不能满足复杂地质环境的要求了，必须向精细分层施工模式转变。施工前要将地质勘察报告加以整合，细致探究地层分布的模式，并考虑土壤种类，岩石力学状况和冻土深度这些重要指标，进而合理选取开挖参数，即边坡比值，分层厚度及具体的工艺过程等。对山体松散地段要实行分区渐进式开挖作业，采取自上而下阶梯式推进的方式，每次开挖深度控制在1.5米以内，防止因为过度挖掘而造成边坡失稳的风险，施工时及时清除不稳定岩体，消除安全隐患。对软弱地基和季节性冻土区要加大过程控制和动态监测力度，前者应该在短时间内完成开挖、加固和回填工作，防止水渗入造成承载力降低；

后者要避免高温时段施工，合理控制融化范围，保持原有冻土结构的稳定，上述措施可以提高施工效率，保证工程安全达标。

2.2 非开挖定向钻穿越施工技术

河道、山体陡峭、文物保护区内等不能用传统明挖施工的方法进行管线敷设的复杂环境，首先选用非开挖定向钻技术进行管线敷设工程。该方法具有地表扰动小、地质灾害风险低、作业效率高的特点。其关键技术是导向孔钻进、分段扩孔、管道回拖这三个主要过程。施工前要根据准确的测绘数据规划出最佳钻井路线，结合岩溶发育或者软弱层分布等实际情况来避开潜在的风险，在导向孔施工时，要严格把控钻具推进的速度和角度参数，依靠实时监测系统及时校准偏差，保证轨迹精度符合设计标准。根据后续大直径扩孔阶段的分级方案逐步增加孔径尺寸，防止单次扩孔幅度过大造成孔壁坍塌。完成扩孔之后还要把孔内所有的杂物清理掉，保证管道安装基面干净整洁。为了保证产品质量，回拖前应对管材进行全面检测，并采取必要的防护措施；回拖时应匀速推进（约0.3~0.5米/分钟），防止结构损坏^[2]。

2.3 复杂地质地基加固施工技术

对软土、松散砂层和破碎岩体等容易引起地基失稳的地质条件进行针对性加固处理，可提高地基承载力、整体稳定性，防止施工中管道沉降或者变形问题出现。在实际工程中常用到的加固地基的方法主要有三种，分别是换填压实法、注浆增强法和灰土挤密法。换填压实法主要适用于浅层软弱土质或者疏松砂土地段，它的基本原理就是清除原位低强度的土壤，用碎石、卵石或者天然砾石等强度高的材料来填充，分层铺设并逐级压实，逐渐达到设计的目标，一般每层最大摊铺厚度不宜大于20厘米，以保证施工精度和满足设计的承载力要求，注浆加固法则多用于山区复杂的岩溶地形区，采用高压设备将水泥基液注入岩体内裂隙中，经固化过程达到对松散岩石的稳定化处理及裂隙闭合的效果，进而提高地质结构的安全性；灰土挤密法则适用于季节性冻土覆盖区软弱表层的改良，采用机械设备推动混合料向四周均匀扩散并施压，使新旧土体互相融合形成致密坚固的基础体系，有效地抵御由于周期性冻融作用引起的地基膨胀收缩问题^[3]。

2.4 管道防腐与防护施工技术

复杂的地质环境里，水土介质的强腐蚀性和地形改变引发的管道受损情况，已经成为影响到管道全生命周期安全稳定运作的关键要素之一。在这种情况下，创建科学高效的防腐防损体系成了提高管网安全性和可靠性的主要方式。常规施工阶段主体管材一般采用三层聚乙烯（PE）复合涂层作为基本防腐措施，在生产阶段同时完成预处理工序，现场安装时对某些部位或缺陷区域还要做专门的修复工作。为了保证施工质量，必须彻底清除管壁表面的油污、氧化物等附着物，并用机械打磨等

工艺将粗糙度控制在规范范围内。对于特殊地段（冻融土层、湿陷性黄土区等）还需要设置阴极保护装置，并配以牺牲阳极，提高电化学侵蚀防护的能力。还要考虑沿线的地质条件，在需要的时候采取加固措施，在岩溶发育区铺设碎石垫层减缓外部载荷冲击，在软黏土沉积段选择弹性填料降低地基沉降风险，在风沙频发区增加覆土厚度并设置隔离防护设施，规避自然灾害带来的风险隐患。项目竣工验收阶段对防腐涂层完整性、阴极保护系统技术参数进行检测、评价，使防腐涂层技术参数符合设计要求、满足有关规范的要求。

表1 地质类型

地质类型	加固后地基承载力 (kPa)	施工最大沉降量 (mm)	管道焊接合格率 (%)	日均施工进度 (m)
山区破碎带地质	220	8.6	98.2	85
软土沉降地质	190	12.3	99.1	120
季节性冻土地质	205	10.5	98.7	100
风沙松散地质	180	6.2	99.3	150
河道穿越地质	240	4.1	99.5	90

3 复杂地质区施工质量与安全管控措施

3.1 施工前期勘察与方案优化

在复杂的地质条件之下进行工程建设，施工前期的系统性准备工作被看作是规避各种风险、保证工程质量的主要任务。项目开始时要求全部执行高精度地质勘探任务，把钻探技术与地球物理探测手段结合起来，对施工区的地层构造、土壤特性、地下水散布规律及地质灾害危险状况实施详细剖析，产生完备的地质资料。根据勘察数据和设计要求，科学调整施工方案，杜绝通用模板，按照各个子区域具体的地质情况制定不同的施工方案，确定工序的技术参数、操作工艺、应急处置措施等。还要加强设备选型论证、材料质量检测、人员技能培训等工作的开展，根据特殊的地形地貌情况做好机械设备、建筑材料、施工工艺等的检查工作，并提前排除各种隐患，从源头上降低工程质量、安全运行的风险^[4]。

3.2 施工过程动态质量管控

在项目的实施过程中使用动态管理、精细化控制相结合的方式，严格按照工序质量检验标准进行操作。管沟开挖过程中

要对坡度、深度和平整度参数进行全程监测,避免发生超挖或者欠挖,边坡稳定性的边坡处理部分需要通过抽样检测来检验压实密度、注浆均匀性及承载能力,保证地基加固效果满足设计要求。管道焊接时同时考虑到预热温度、焊接速度、外观检查等各方面因素,用无损探伤技术对管道进行全方位的检查。管道安装及回填工序要严格控制标高精度、间距布置和埋设深度,逐层开展回填土密实度检测,防止出现空洞、压实不实现象。建立全生命周期质量管理体系,实行自检、复核、专检三级管理,严禁无前道工序验收就进行下一道工序施工,保证工程质量始终处在受控状态。

3.3 施工现场安全风险防控

地质条件复杂、有多种潜在危险的施工场所中,创建一体化的安全管理体系就显得特别重要。施工现场要整合坡体位移监测、地表沉降跟踪和环境预警系统,达到岩土体变形状态动态实时监控的目的。若察觉到滑坡或者地基失稳等异常情况,就要立刻终止有关工作并执行应急措施来削减危险系数。根据山地施工特点,加强临时支护结构设计以及水系管理措施,雨季应停止易造成泥石流、塌陷的露天作业,在冻土区重点做好机械防冻、人员保暖和焊接工艺保温技术的研究和实践。在风

沙气候条件下还要对设备的抗风性进行评价,并采取相应的扬尘控制措施,保证整个施工的安全性。要进一步完善现场防护资源的配置,细化作业流程的标准,不定期开展安全教育培训和应急预案演练,储备必要的急救药品、专用的抢险救援器材,提高应急处置的能力,最大限度地减少事故发生的可能性以及造成的损失^[5]。

4 结语

综上所述,在地形复杂、地质条件千变万化的地方,修建长距离油气输送管道存在很多的技术难题。此类工程不但施工难度大、安全风险高,对工程质量的控制更加严格,已经成了管道工程领域急需解决的重要问题之一。本文主要对山岭破碎带、软土沉降区、冻土分布区、风沙覆盖区等典型复杂地质环境中相关技术问题进行分析研究,从精细化爆破技术、非开挖定向钻孔工艺、地基加固方案、防腐蚀措施等方面入手,分析各技术在不同应用场合下具体的实施要素和适用性特点。因此,在前期规划设计优化、施工过程动态监测强化、施工现场安全保障提高这三个方面创建起一套完整的复杂地质条件下施工管理综合体系架构。

参考文献:

- [1] 从地文.复杂地质地形条件下长输管道的铺设与维护[J].华北水利水电大学学报(社会科学版),2017,33(1):36-38.
- [2] 张天楼.油气长输管道施工安全管理研究[J].中国石油和化工标准与质量,2023,43(23):60-62.
- [3] 荆晓.油气长输管道全寿命周期完整性管理[J].河南科技,2018,(23):130-132.
- [4] 夏岩.长输油气管道穿越复杂地质条件的技术挑战与解决方案[C]//中国国土经济学会 2024 年学术年会(三).2024:1-3.
- [5] 薛发林.论油气长输管道工程的主要施工风险及管理策略[J].中国化工贸易,2018,10(6):169.