

沙产业荒漠化生态修复项目施工技术研究

张向会

乌鲁木齐交旅投建设有限公司，新疆乌鲁木齐，830000；

摘要：干旱荒漠地区水资源匮乏、风沙频繁、地质条件松散，给大规模管网施工带来极大挑战。本文在系统分析沙漠环境下施工条件的基础上，提出了“分段推进、随挖随装、随装随填、随段试压”的施工原则，并构建了动态调整与闭环管理的模式。研究表明，合理的施工组织、科学的管材运输与安装工艺以及动态调整机制的建立，有效解决了沟槽塌方、风蚀回填、物资供应不足和接口渗漏等技术难题，实现了施工效率与工程质量的双重提升，为类似环境下的水利与生态工程建设提供了经验借鉴。

关键词：荒漠施工；管道工程；动态调整；生态修复；绿色施工

DOI: 10.69979/3060-8767.26.01.030

1 沙漠环境下的施工条件与准备

本研究项目地址为新疆地区塔克拉玛干沙漠南缘，是典型的干旱荒漠地带。项目建设内容包括生态治沙滴灌系统。施工区地层以松散砂土和砂砾层为主，承载力

偏低，地下水位埋深大，地表水资源极为稀缺。常年大风和沙尘天气频繁，年有效施工期受限，施工条件复杂，准备工作必须细致周密，才能保证后续管道施工顺利开展。

表 1 沙漠环境下施工准备要点与措施

准备环节	存在问题	主要措施与数据要求
测量放线	风沙掩埋标志、线路偏移	双重控制桩+石灰线，放样误差≤±2cm，高程误差≤±1cm
驻地与便道	风沙堆积、道路承载力不足	驻地建在高地，轻钢/砖混结构；便道铺设砂砾石
临时供电	沙尘天气致停电风险	设配电房，布设安全电缆，配备备用发电机组
临时供水	地表水资源稀缺	利用试验井或临时打井，配蓄水池和排水沟
材料堆放	沙尘、暴晒导致损坏	管材堆放高度≤1.5m，垫木防潮，加盖遮阳布
设备进场	故障风险高，沙尘侵蚀	进场检修调试，停工期间加防尘覆盖，专人日查
安全环保	火灾、塌方、扬尘、污水排放	设围挡、灭火器、沉淀池，洒水降尘，弃土集中覆盖

主要材料包括砂砾石、混凝土、钢筋、砖、PVC-M管材、滴灌管件、水泵、过滤器、施肥罐等。所有进场材料必须查验合格证和出厂报告，并按规范进行抽检复试。管材堆放要求底部垫木方，避免直接接触沙土，高度不超过1.5m，并加盖遮阳布或临时棚，防止暴晒和风蚀。滴头、阀门等小型构件集中入库保存，避免遗失。主要设备包括反循环钻机、空压机、混凝土搅拌机、压路机、运输车辆和管道熔接机等，均需进场后进行调试与保养，确保施工期间运转正常。

2 沙漠条件下的管道施工方案

2.1 总体施工原则

在沙漠条件下，管道施工面临的主要挑战包括沟槽开挖后极易塌方或被风沙掩埋，控制点容易丢失；高温和大风会加速管材老化与变形；施工用水和试压水源紧缺，增加了工序衔接的难度；回填土受风蚀影响难以稳定压实。这些难题如果处理不当，极易导致施工返工，甚至引发管网运行隐患。针对上述情况，项目部在总结以往类似工程经验的基础上，确立了“分段推进、随挖随装、随装随填、随段试压”的总体施工原则，采用边安装边验收、边评定，及时进行隐蔽工程验收的程序。通过分解施工单元、优化工艺衔接、加强防风固沙措施，使整个管道施工形成一个紧凑的闭环流程。这一方案不仅提升了效率，也降低了返工率和工程风险。

表 2 沙漠条件下管道施工工序与控制指标

工序环节	技术措施	控制指标
测量放线	钢桩+石灰线双重控制	中心线 $\leq \pm 10\text{mm}$, 高程 $\leq \pm 20\text{mm}$
沟槽开挖	分段开挖、随挖随下, 必要时支护	槽深 $\geq 1.2\text{m}$, 覆土厚度 $\geq 1.5\text{m}$
槽底处理	砂砾换填 30cm+细砂 10cm	平整度 $\leq 10\text{mm}$
下管与接口	履带吊吊装, 承插胶圈+润滑剂安装	插入深度 \geq 承口 2/3, 无错口、渗漏
回填与防护	管侧细砂回填, 分层夯实, 覆盖防风网	压实度 $\geq 90\%$, 无风蚀沉降
系统试压	设计压力 1.5 倍, 稳压 30 分钟	压力降 $\leq 0.05\text{MPa}$, 无渗漏

2.2 测量放线与控制点保护

施工伊始, 测量放线是保证管道线路准确的首要环节。然而在沙漠环境中, 传统的木桩或石灰标志容易被风沙掩埋或吹散, 给后续施工带来误差。为此, 项目测量组采取“双重控制”的方法: 关键转折点和阀门井位置设置钢桩作为永久控制点, 同时辅以石灰线和临时标识, 便于日常复核。实际操作中, 钢桩埋设深度大于 80cm, 以保证稳固性。通过这种措施, 管道中线偏差被控制在 $\pm 10\text{mm}$ 以内, 高程偏差不超过 $\pm 20\text{mm}$, 完全满足设计精度要求。事实证明, 这种方法有效避免了因风沙掩埋标记而产生的重复放线现象, 节省了不少工期。

2.3 沟槽开挖与槽底处理

沟槽开挖是整个管道施工中最容易受到环境影响的环节。由于项目区大部分地段为松散流沙层, 一旦沟槽暴露时间过长, 极易出现塌方, 甚至在半日之内被风沙回填。对此, 项目部制定了“分段开挖、随挖随装”的原则, 将总管线划分为 2~3 公里一个施工单元, 每个单元内部开挖、下管、回填、试压和验收同步推进。在开挖过程中, 机械为主、人工为辅。槽深控制在不小于 1.2m, 以保证管顶覆土厚度达到 1.0m 以上。边坡放坡比一般控制在 1:1.25~1.5, 对于土质松软或流沙严重的地段, 施工队临时铺设土工布或采用砂袋加固, 防止塌方。槽底若遇到承载力不足的软弱层, 立即进行 30cm 厚砂砾石换填, 并在其上铺设 10cm 细砂找平, 既增强了承载力, 又保护了管材不受尖石损伤。

这种分段式、随挖随装的方式显著减少了沟槽暴露时间, 使返工量降低约 12%, 提高了整体作业效率。

2.4 管材运输与下管安装

由于项目管材规格大、数量多, 运输与吊装成为施工中的关键环节。项目部要求所有管材采用平板车运输, 车厢底部铺设橡胶垫, 运输途中覆盖篷布, 既防止日晒,

又避免风沙磨蚀。到场后的管材按规格分区堆放, 底部垫木方, 堆放高度不超过 1.5m, 并搭设遮阳布棚, 以减轻昼夜温差和紫外线对管材的损伤。下管作业由履带吊配合宽幅吊带完成, 采用两点或四点吊装方式, 人工辅助导向, 避免与槽壁摩擦。接口安装采用承插胶圈连接方式, 操作前对承口和插口进行清理, 均匀涂抹润滑剂。插入深度控制在承口有效深度的 2/3 以上, 安装后逐一检查胶圈状态, 确保无扭曲、无脱圈。对于弯头、三通等特殊节点, 采用 C20 混凝土制作镇墩, 以防止运行中因水锤效应或地基沉降导致的位移。通过规范化的运输与下管工艺, 管道安装合格率达到了 98% 以上, 显著降低了接口渗漏风险。

2.5 回填与固沙措施

管道安装完成后, 及时回填是防止塌方和风沙二次侵蚀的关键。项目规定, 管道两侧及管顶 30cm 范围内必须采用细砂回填, 并分层夯实, 使砂土与管壁紧密贴合。其上部分则分层回填原土, 每层厚度不超过 30cm, 压实度要求 $\geq 90\%$ 。

在风口区域和裸露段, 施工队在回填后立即覆盖土工布或秸秆网, 并辅以砂袋压边。这一措施有效减少了风蚀对回填层的破坏。在穿越道路和渠沟的地段, 采用钢筋混凝土套管进行二次保护, 既保证了承载力, 也提高了管网的整体耐久性。

这些防风固沙措施保证了回填层长期稳定, 大大降低了后期沉降和渗漏的隐患。

2.6 系统冲洗与试压

为确保管道安装质量, 项目在每个 2~3 公里单元施工完成后即进行冲洗和试压。冲洗顺序为主管一支管一毛管, 逐级打开末端冲洗阀, 直至出水清澈透明。试压压力取设计值的 1.5 倍, 即 0.95MPa, 稳压 30 分钟, 允许压力降不超过 0.05MPa。在实际操作中, 项目共进行了 50 余次分段试压, 系统一次合格率达到 100%。同

时,滴头出水均匀度检测结果均在85%以上,完全满足设计要求。

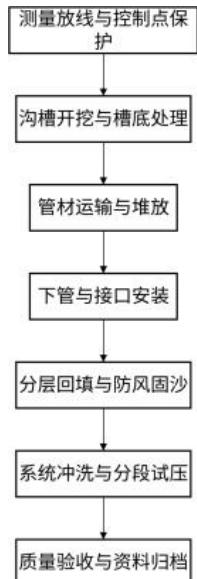


图1 沙漠条件下管道施工工艺流程

3 施工过程中的动态调整与成效

本项目管网施工范围广、线路长,且处于风沙频繁的荒漠边缘区域。施工过程中,不可避免地遇到恶劣气候、材料运输、工序衔接等实际问题。若严格依照最初施工组织设计推进,容易造成工序脱节、设备闲置甚至返工。为确保施工动态调整形成闭环管理,项目部建立了“计划—监测—调整—复核—总结”的流程。该流程不仅明确了各环节的衔接关系,也保证了所有调整措施都有依据、有反馈。其整体运行路径如图2所示。

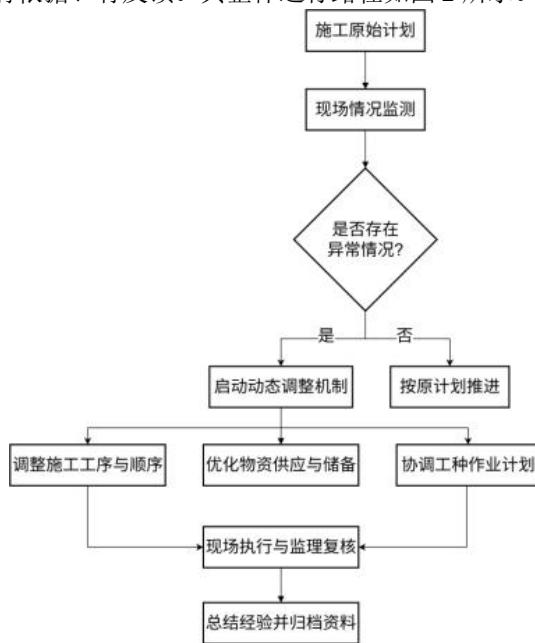


图2 施工动态调整管理流程

当施工现场情况正常时,施工按原计划推进;而当监测发现异常情况时,则立即启动动态调整机制,包括调整工序顺序、优化物资供应和协调工种作业计划。所有措施实施后均需经监理复核,并在总结环节形成资料归档。

3.1 工序安排的调整

在沙漠环境下,工序安排的灵活性直接决定了施工能否顺利推进。该项目的管网施工以沟槽开挖和下管作业为关键环节,但此类作业极易受到风沙天气影响。一旦出现大风或沙尘暴,不仅影响施工人员视线和安全,还可能导致沟槽塌方,造成已安装管道被埋压甚至破坏。针对这一情况,项目部建立了“天气预警+工序切换”机制,当气象监测或现场观察发现不利天气时,立即暂停沟槽作业,并调度施工人员转入泵房砌筑、接口安装、阀门井施工等对气候依赖性较小的工序。这种灵活切换模式有效避免了因天气停工而产生的窝工现象,同时保持了施工整体进度的稳定性。

3.2 人员组织与工种协调的调整

本工程施工内容复杂,涉及管网安装、泵房建设、道路铺设及电气安装等多个专业工种。在高强度施工中,如果人员调配不合理,极易出现工序交叉干扰、作业空间不足以及安全隐患。为此,项目部实行了“日调度+周总结”的动态组织模式。每天由项目经理主持施工调度会,明确各工种的施工区段和时间安排,避免不同工种在同一作业面上交叉作业。对于土方、管道和电气安装等容易发生干扰的工序,项目部推行错峰施工策略,使不同班组在合理时间内交替进场,从而提升了现场作业效率。同时,在人员组织上,项目部注重培养多工种协作意识,建立了临时混合班组以应对紧急情况。

3.3 物资供应与储备的调整

管道工程施工的连续性对物资供应依赖极大。项目管网总长达125公里,管材与配件运输距离远、批量大,如果供应稍有滞后,极易造成工序断点。针对这一问题,项目部建立了双重物资保障机制:一是实行周计划制度,物资负责人每周上报下周需求计划,确保供应商能够提前组织运输和进场;二是在施工现场设置临时储备点,储备量能够满足至少一周的施工需求。这种安排有效防止了因道路封闭、天气恶劣等不可控因素导致的运输中断。

3.4 机械设备与施工方法的调整

在松散砂质土层施工时，机械设备的适配性和机动性至关重要。项目部根据现场情况采取了“大型机械主导+小型机具补充”的施工方法。在大规模沟槽开挖中，主要使用挖掘机快速推进，但在遇到地下水位较高或土质不均的地段，则由人工和小型机械进行精细修整。此外，项目部还提前配备备用发电机组和小型抽水泵，一旦遇到突发断电或局部渗水情况，能够立即投入使用，避免停工等待。

3.5 质量与技术控制的调整

在沙漠环境下，质量控制更需注重细节。风沙易掩埋测量标志点，若不进行动态调整，极易导致施工定位误差。为此，项目部在测量放线阶段增加了临时控制点和复核程序，确保每一段管道的中线与高程均满足设计要求。在管道试压环节，项目部实施“分段试压”策略，即每完成一段管网就进行水压试验，合格后再进入下段施工。这样既缩短了问题暴露周期，也减少了返工范围。为便于总结施工动态调整的技术要点与管理成效，项目部对施工中遇到的典型问题、采取的措施及最终效果进行了系统归纳，如表3所示。

表3 动态调整措施与成效归纳

主要问题	调整措施	管理成效
风沙天气	暂停沟槽作业，转入接口与井室施工	保证安全，避免人员与设备闲置
材料供应偏差	实行“周计划+现场储备”双重保障	材料不断点，连续施工有保障
工种交叉干扰	日调度会议，明确责任区与时间顺序	避免冲突，提高现场协同效率
沟槽塌方风险	缩短开挖长度，随挖随下随回填	减少返工，保证质量与进度

动态调整的核心在于“快速响应与工序互补”。这些调整措施既要提升施工效率，也需要确保项目的质量和安全目标的实现。

4 结束语

本次的特色沙产业荒漠化生态修复项目在严酷的沙漠条件下完成了大规模管道施工实践。项目通过前期细致的测量、物资与设备准备，为施工奠定了基础；施工中坚持“分段推进、随挖随下、随下随填、随段试压”，有效应对了沟槽塌方、风蚀回填和接口渗漏等技术难题；同时建立动态调整机制，灵活切换工序、优化物资保障、加强工种协调与分段试压，确保了施工连续性与质量可靠性。

参考文献

- [1]新疆维吾尔自治区财政厅.新疆:综合开展艾西曼湖区域生态修复及荒漠化治理筑牢绿洲边缘生态屏障[J].中国财政,2025(11):40-42.
- [2]侯萌萌.辽西矿区废弃地水保生态修复措施探究[J].黑龙江水利科技,2024,52(6):40-44.
- [3]赖重阳,窦海鹏.矿山地质环境生态修复现状及治理技术研究[J].中国金属通报,2025(13):92-94.
- [4]李付定.黄河干流段西格拉滩一带废弃矿山生态修复治理研究[J].世界有色金属,2025(6):142-144.
- [5]张静雯,殷金悦,霍佳琪,等.生态修复领域菌藻共生体系研究进展[J].中国沙漠,2025,45(3):93-101.