

天然气管道系统连接中断原因分析与预防措施

李世波（贵州鸿巨燃气热力工程有限公司，贵州 贵阳 550081）

摘要：对于长输天然气管道而言，保障系统连接的安全与稳定是输气工程的核心要务。然而，在进行江河穿越及其他复杂地理环境施工时，各种潜在因素皆可能引发管道系统连接的中断或严重故障。本文从江河穿越施工的技术难点入手，对相关因素进行探讨，并结合主要穿越施工技术提出预防措施，以守护天然气管道系统的长期稳定运行。

关键词：天然气管道；江河穿越；定向钻进

中图分类号：TE988.2

文献标识码：A

文章编号：1674-5167（2025）021-0073-03

Analysis and Preventive Measures of Natural Gas Pipeline System Connection Interruption

Li Shibo (Guizhou Hongju gas thermal Engineering Co., LTD, Guiyang Guizhou 550081, China)

Abstract: For long-distance natural gas pipelines, ensuring the safety and stability of system connections is the core task of gas transmission projects. However, in the construction of river crossings and other complex geographical environments, various potential factors may cause the interruption or serious failure of the pipeline system connection. This paper starts with the technical difficulties of river crossing construction, discusses the related factors, and puts forward preventive measures combined with the main crossing construction technology to protect the long-term stable operation of natural gas pipeline system.

Key words: Natural gas pipeline; Rivers cross; Directional drilling

天然气作为洁净、高效的能源形式，在现代社会中扮演着日益重要的角色，其运输保障能力亦成为衡量能源安全的重要指标。为了实现广域输送，长输天然气管道通常需要跨越山川、江河乃至海域，穿越施工难度与风险随之加大。特别是在江河穿越过程中，施工人员常需面对水流冲刷、地质多样性、高水压操作以及生态环境保护等多方面考验，一旦未能妥善处理，极易导致管道系统连接出现松动、破裂或中断等重大隐患。本研究紧扣这一关键课题，首先透过江河穿越的技术难点分析，探究造成管道系统连接中断的多重成因与背后机理；接着，对各类典型的穿越施工方案进行系统阐述，并在此基础上提出针对性的预防与改进措施。

1 江河穿越施工的技术难点

1.1 水流冲刷对管道稳定性的影响

江河穿越中，管道所面临的首要威胁便是水流冲刷。无论是表层水流在雨季涨水时突然增大的流速，还是河床底部潜在的漩涡冲击，都可能对埋设的管道产生不可忽视的冲刷力。尤其在河道狭窄、水量丰沛的区域，水流冲击力相对集中，不仅容易导致土体流失，还可能造成管道悬空、弯曲或局部变形。如果在工程设计阶段没有准确预估河床演变和极端水流量，那么在实际施工后，管道的埋深及防护措施就难以匹配极端冲击强度。

一旦在高水位或洪水期遭遇连续冲刷，河床下的土体或护土结构被大量带走，管道将面临潜在下沉、断裂或连接部位的松动风险。此外，若河床地质比较松散，如砂砾层或粉土层，就更易被快速冲刷，从而令管道得不到足够的支撑和掩护。因此，水流冲刷的影响往往是多重的：既包括直接的物理侵蚀，也囊括了对河床地形演变所带来的二次风险。

1.2 复杂地质条件对施工的挑战

除了水流，江河底部的地质条件也是影响管道施工可行性与安全性的关键因素。某些河段可能存在岩石断层、滑坡体、泥岩夹层甚至溶洞，地层内部的稳定性和均匀性往往难以预测。一旦施工对不稳定层位造成扰动，很可能引发塌陷、基底滑动或额外应力集中，进而威胁管道的安全。

在软弱地基的情境下，管道的承载能力不足，施工过后容易出现不均匀沉降，如果再遭遇重型机械操作或河道水压冲击，则管道局部位置极可能承受过度拉伸或压缩。某些地区还潜藏着断裂带或地震带，一旦地震波传播到施工区，地层振动与位移对管道穿越段会带来更严峻的考验。

1.3 高水压环境下的焊接与密封技术要求

当管道穿越区域水深较大或水流速度偏高时，高水压环境对焊接质量与管道接口的密封性能提出了严苛考验。普通焊接工艺在常压或低水压环境下可顺利

执行,但在高压情境中,一旦焊缝存在细小瑕疵,水流的高压力便会轻易冲击并扩大裂缝,使得管道极有可能发生渗漏或断裂。

与此同时,焊接时的温度控制也变得更加复杂。水环境具有良好的散热效应,可能导致焊缝区温度迅速下降,从而影响金属组织的稳定性与应力分布。如果未能在焊接方案中充分考虑这些散热因素,就很容易导致焊缝未完全融合、夹渣或热裂纹等问题,为未来的运行埋下安全隐患。密封材料与连接方式同样面临挑战。部分密封胶或环氧涂层在高压下的附着力和耐老化性能会被削弱,若工艺把控不严,管道接口可能出现微观通道,日后便极易酝酿出渗漏点。

对于深水施工,更需采用更高等级的防腐和密封设计,必要时还应借助干式隔水作业设施,以确保焊缝与密封处的工艺质量达到设定标准,只有在焊接和密封环节高度精细化,才能保证管道在高压环境下的长久稳固。

1.4 施工期水土保持与生态环境保护

江河穿越施工并非单纯的管道铺设工程,还关乎河流生态与周边自然环境的平衡。如果在施工期缺乏合理的水土保持措施,便可能引发水质浑浊、河床冲刷加剧以及周边植被破坏等一系列生态问题。尤其在大型机械进场过程中,河岸的土体受扰动后更易产生泥沙流失,一旦进入河流,就会影响水生生物的栖息环境,并造成负面生态影响。

有些管道施工可能需要在河道中设置临时围堰或抽排水措施,如果处理不当,便会改变水流走向,甚至引起河岸坍塌或严重水污染。对于鱼类产卵区或珍稀物种分布区,这类扰动的损害后果往往更为显著,也会引起环保监管部门的高度关注。因此,如何在施工期间最大化地减少对河道生态的干扰,已成为江河穿越的关键要务。

1.5 管道沉降与变形控制

管道在江河底部或河岸区域敷设后,由于地质构造、水流压力和运营过程中压力波动等多重因素,出现沉降与形变是一种较为常见的现象。然而,如果沉降或变形幅度超出设计预期,势必会对管道连接的稳定性造成威胁。

尤其在管道与其他配套结构物的交界处,这种沉降差可能导致接头错位或直接拉裂。高压与洪水期的冲击亦可放大这种沉降变形风险。一旦河床土体被进一步冲走或塌陷,管道下方形成空洞,便会导致管道出现悬空或大幅弯曲。

焊缝部位、弯头部位以及与支撑结构连接的节段往往是最脆弱的环节,极易出现应力集中、材料疲劳,

进而导致微裂纹或断裂失效。

因此,为了有效控制沉降与变形,需要在设计之初就充分考虑河床地质特征和运营压力条件,并进行安全系数较高的强度与稳定性校核;施工中,应采取分层回填、增设支护或护坡等措施,对重点区域进行加固与监测;投运后,还需定期开展沉降观测与质量评估,一旦发现异常趋势,需立刻组织检修与加固,以及及时排除安全隐患。

2 长输天然气管道主要穿越施工技术分析

2.1 定向钻进技术应用

定向钻进是近年来应用广泛的一种“非开挖”穿越施工技术,能够在不大面积扰动地表与水体的前提下,实现对江河、道路等障碍的纵向穿越。其核心原理是在地面利用钻机沿设定轨迹钻穿地下或水底,然后反向扩孔并将管道回拖入位,最终形成与地表基本平行、穿越段无开挖的敷设形式。

与传统开挖方法相比,定向钻进对生态和交通的扰动较小,尤其适合在环境敏感区或交通繁忙河段施工作业。由于无需大规模开挖河床与河岸,泥沙流失和水体污染的风险也相对较低,生态保护压力得到显著缓解。

同时,施工周期相对可控,对于急需投入运行的项目而言有一定优势。在定向钻进的实施过程中,勘测与轨迹设计是重中之重。工程人员必须先行进行详细的地质与水文探测,掌握河床底层结构与水文流态,进而依据钻机性能与穿越长度制定科学的钻进轨迹和扩孔方案。过于陡峭或急剧弯折的钻进路径不仅会损害钻头和管道,也易引发机械故障或管体受损。

另外,泥浆工艺在定向钻进中扮演关键角色。钻进过程需要使用泥浆来冷却钻头、稳定孔壁并携带岩屑。如果泥浆选型不当或注入量不足,孔壁可能塌陷,导致整个工程进度受阻乃至失败;相反,若泥浆注入过量或处理不当,则可能对水环境造成污染。

因此,必须严格控制泥浆配方和循环系统,并做好泥浆回收与无害化处理工作。在最终的管道回拖环节,对焊接质量与管道防腐也需进行严格把控。由于管线要经历长距离回拖,任何表面划痕、焊缝缺陷或防腐层破损,都会在回拖过程中被放大,甚至导致管道无法顺利通过孔道。

2.2 顶管与盾构法施工技术

顶管与盾构法同样属于“非开挖”范畴,却各有适用场景与技术特点。顶管施工主要适用于中短距离且土质较稳定的穿越工程,通过在盾构或顶管机的推动下,将预制管节逐段顶进到既定位置;盾构法则常见于长距离、大断面穿越或地质条件更为复杂的场合,

利用盾构机在地下掘进的同时完成管道支护,实现整体化穿越。对于江河穿越来说,顶管通常要求在两岸先建设工作井与接收井,再在工作井内布设顶进设备,将一个个管节顶向河对岸。

由于顶管过程中土层受到挤压,因此对于土质的均匀度、含水量以及抗压性都有较高要求,若遇到巨石或岩层则可能造成卡阻。顶管法的优点在于对地表和水体扰动相对较小,但在长距离或复杂地质下的适用性则受到一定限制。盾构法则更为“全能”,盾构机可以在软土、黏土、砂层乃至部分岩层中进行掘进,通过刀盘切削土体并将其输送至地面。

2.3 明挖回填施工工艺

明挖回填可谓是最传统、最直观的江河穿越施工方法,通常在较浅河段或小型水体中被选用。其作业流程包括先在施工区域修筑围堰或引流设施,抽干或降低水位,然后进行明挖开槽,敷设管道后再回填土方并恢复河道。由于需要对河床进行大面积开挖,这种方法对水流及生态环境的干扰较为明显,但其设备和技术门槛相对较低,施工进度易于控制。在明挖回填的具体操作中,围堰质量关乎施工安全与效果。若围堰设计不当或施工不合格,河水冲击下很可能出现渗漏或溃决,直接导致施工区被淹没并危及人员与设备安全。

另一方面,抽排水时若缺乏合理的疏导措施,也可能造成下游河段水位骤升或污染风险,需要设置相应的排水管线或净化池来处理含泥水体。管道铺设环节中,施工方须确保底层基础的平整与坚实,必要时应进行砂砾垫层或混凝土基础处理,避免日后管道因局部沉陷而发生位移或断裂。

对于弯头或接口区域,更要加强焊接质量把控与防腐保护,以防止长期水流浸泡和冲击导致的疲劳损伤。完成管道安置后,回填和压实同样不能草率,应分层回填并分层夯实,避免形成含水率过高或疏松的土层。回填过程结束后,应对河道水流进行引导与恢复,确保水体能顺畅流经施工段,并适时进行周边生态修复,如植草固堤等。

2.4 沉管法施工关键技术

沉管法通常被用于较宽或水深适中的江河穿越,在海洋输送管道等场景也颇为常见。其核心思路是将预制好的管段放置于水面或岸边,然后借助浮力或吊机运输至指定水域,通过精确的定位与下沉,使管道最终处于预定的水底基槽中。该方法适合一次性铺设较长管段,施工速度较快,但前提是对管段预制精度、浮运过程控制以及下沉定位都有较高要求。

①管段预制应保证接口匹配度高、焊缝严密、防

腐层完整。考虑到管段需要在水中经历浮运与下沉的力学考验,其强度和密封性必须能抗衡外部水压及波浪冲击。预制过程中要考虑到水下拼接时的误差纠正空间,预留足够的连接调节余量。

②在浮运与沉放环节,水文条件是影响施工成功率的关键因素。急流、高风浪或潮汐变化均会干扰管段的姿态与定位,导致定位偏差或意外受损。为减少风险,往往需要选择合适的时机施工,比如在较平稳的水文窗口期进行大段管道的下放;同时配置专门的测绘仪器(如声呐定位、GPS差分等)来实时监控管段的三维位置与倾斜度。

③若基槽挖掘不充分或河床地质松散,管道沉放后容易发生局部下陷或悬空。为防止意外,应事先进行砂石或混凝土铺底,并在管段就位后填充护管材料,确保其在水底具有足够的支撑与稳定性。

④沉管法完成后也需进行水下检验与加固。可借助潜水员作业或水下机器人巡检,核实管段接口有无错位、裂缝或防腐层脱落现象;对存在缺陷的部位要及时修补,避免在运营期间因水压或水流冲击而产生更严重的损坏。

3 结语

在长输天然气管道建设中,江河穿越作为不可或缺的关键环节,蕴含着多重技术挑战与环境风险。无论是水流冲刷、地质复杂、高水压焊接,亦或是生态环境保护与管道沉降控制,这些难点都需要工程人员在规划与施工过程中做出针对性的预判与处理。工程技术不断迭代与环保意识日益提升,更多新型材料、智慧监测手段以及自动化施工装备有望进一步提升江河穿越的安全性及可持续性。

施工方、设计与监管部门若能紧密协作、积极创新,在保护生态的同时完善施工方案与质量管理,那么长输天然气管道定能在各种复杂环境下稳定地发挥其能源输送功能,为社会经济发展提供源源不断的动力支持。

参考文献:

- [1] 郭晓敏.天然气管道冻胀变形原因分析与对策研究[J].上海煤气,2024(3):12-15.
- [2] 何鹏飞.输气管道干线截断阀关断统计分析与预防措施探讨[J].石化技术,2022,29(2):93-94.
- [3] 禹浩.天然气管道风险分析及应急管理[J].化工设计通讯,2020,46(03):235-236.

作者简介:

李世波(1989-),男,汉,贵州遵义人,本科,副高级工程师,研究方向:油气管道工程。