

复杂地质条件下天然气管道建设的施工技术与风险控制

郭法荣（山东港华燃气集团有限公司，山东 济南 250000）

摘要：复杂地质条件下天然气管道的建设面临诸多技术挑战与风险。本文综述了在复杂地质条件下天然气管道建设的施工技术与风险控制方法。首先，探讨了不同地质条件对管道施工的影响，包括山区、河流穿越、冻土和泥石流等特殊环境。其次，详细介绍了各种施工技术，如定向钻进、盾构法和水平定向钻进等。最后，分析了风险控制的策略，包括地质勘察、监测与预警、施工工艺优化及应急预案制定等。

关键词：复杂地质条件；天然气管道；施工技术；风险控制；地质勘察；定向钻进

随着天然气需求的不断增长，天然气管道的建设成为了保障能源供应的关键环节。然而，在复杂地质条件下进行管道施工，不仅面临诸如地质灾害、高寒、冻土等自然环境带来的挑战，还需考虑施工技术的选择与应用。近年来，随着科技的发展，各种先进的施工技术和风险控制方法被广泛应用于天然气管道建设中。

1 复杂地质条件对管道施工的影响

1.1 不同地质条件的分类

1.1.1 山区地质条件

在我国的山区地带，常常遭受地质条件复杂、多变的困扰，加上地形起伏显著，岩层结构不够稳定，频繁出现滑坡、崩塌等灾害事件，在山区地带，由于地质构造的特殊性，开展管道工程面临显著的高低起伏挑战和复杂的地基状况，这些因素都对施工流程提出了额外的要求，在我国西南山区进行天然气管道的施工过程中，工作人员经常面临高海拔、陡峭地形及不稳定岩层的诸多挑战。

1.1.2 河流穿越地质条件

在天然气管道工程的建设过程中，常常会遇到穿越河流的地质条件，河床区域的地质结构复杂，同时受到流量大且多变的水流影响，导致施工过程中遭遇诸多挑战，为实现河流穿越，应采纳定向钻进、盾构法等工程技术，减少对河流生态系统的影响，在长江穿越工程项目中，参与的建设队伍利用尖端的定向钻进技术，圆满实现了河床下方管道铺设的任务。

1.1.3 泥石流地区

位于泥石流多发区域的地质状况极为复杂，往往与极端气象现象如暴雨、地震等自然灾害相伴生，强猛的泥石流具有巨大的冲击力量，在肆虐过程中极易造成管道设施的损坏或掩埋，在该地区开展管道建设作业时，须对可能发生的地质灾害进行严格监控，并采取相应的预防措施以确保工程安全。

1.2 地质条件对施工的挑战

1.2.1 地质灾害风险

在复杂的地质环境背景下，地质灾害的发生概率大幅度提升，各类地质灾害，如滑坡、崩塌和泥石流，不仅会对建设过程中的安全构成威胁，亦可能对已完成的管道设施引致毁灭性的损害，例如，山区地带进行工程作业时，经常遭遇滑坡与崩塌事件，这些自然现象往往使得施工活动被迫中断，并可能导致机械设备及作业人员的损害。

1.2.2 施工环境复杂度

在地质状况复杂的现场进行建设活动，遭遇的困难程度显著增加，在山区，高程的显著差异、河流中水流速度的波动，以及冻土随季节的周期性变动，这些因素共同作用，显著提升了建设作业的难度，在进行河流穿越的建设活动时，必须对水流的动态进行精确把握，并选取最为适宜的施工时间点，确保工程可以顺畅执行。

1.2.3 生态环境保护要求

在地质状况错综复杂的区域开展建筑作业时，对生态环境实施有效保护显得格外关键，在山区、河流及冻土等特定地域，存有别具一格的生态体系，人类进行建设的行为有可能对那些地区的生物多样性和自然环境带来改变，在进行河流穿越的建设活动时，应严格防止对水生生物体系的损害，并执行必要的环境保护策略。

2 复杂地质条件下的施工技术

2.1 定向钻进技术

2.1.1 定向钻进的原理

地下定向钻进技术，作为一种管道非开挖铺设手段，其过程涉及钻机在地下形成导向孔，随后进行扩孔，并导入管道，该技术以地面导航系统为指挥中枢，指导钻探工具按照既定路径前进，同步利用泥浆循环

系统移除钻挖产生的废料，以此完成管道建设的作业过程，此技术特别适用于那些由于地质条件复杂、环境保护要求高而难以进行地面开挖的区域，如城市中心地带、河流下方以及生态脆弱地带。

2.1.2 定向钻进的应用实例

在某项位于长江流域的天然气管道铺设工程，技术团队运用了定向钻探技术，顺利实现了对长江的穿越作业，在进行该工程项目时，借助于沿长江两岸安置的定向钻机，精准操控钻头运动路径，成功在江底铺设管道，同时保障了河床及邻近生态系统的完整无损，定向钻进技术被广泛应用于铁路、公路以及建筑物的穿越作业中，有效减少了地表设施的损害。

2.2 盾构法

2.2.1 盾构法的原理

盾构法是一种隧道开挖技术，利用盾构机在地下挖掘隧道，并同步进行管道铺设，盾构机前端装备了旋转切割刀盘，用以剥离地质层；而其尾部搭载了支撑构件，用于维系隧道空间的稳定性，在盾构施工的过程中，设备能够实现同时进行开挖与管道布设作业，此举极大增强了工程建设的效率及安全保障。

2.2.2 盾构法在复杂地质条件下的应用

在该城市的地下交通建设中，采用了隧道钻掘技术，以应对地层条件的挑战，在进行该项建设时，遭遇了地下水位较高、地质条件复杂的难题，采用盾构技术，建筑团队成功克服了难题，顺畅地建成了地铁隧道，在天然气的管道铺设施工中，盾构技术被广泛采纳，此技术在穿山越岭以及穿越繁华都市地带时，能显著降低对地表的干扰，同时保障施工过程的安全及提高工作效率。

2.3 水平定向钻进

2.3.1 水平定向钻进的原理

水平定向钻进技术，作为地下管线铺设的一种先进方法，通过水平钻机在地下开辟导向孔，继而利用扩孔器对孔径进行扩大，最终实现管道的铺设，该技术运作机制与定向钻孔技术相似，但具有更广泛的应用场景，特别适用于构建长距离、口径较大的管道网络。

2.3.2 水平定向钻进的优势

采用水平定向钻进技术，借助不开挖的作业方式，有效减少地表及环境破坏，特别适用于河流、湖泊、道路以及建筑物底下的管道敷设作业，此项技术在施工过程中展现出快速高效与高度适应性，能够有效应对包括软土、岩石及冻土层在内的多种复杂地质状况，在一个天然气管道工程实例中，水平定向钻进技术成

功穿越了总长度达数百米的河流，此技术保障了河流两岸生态的完整性，并确保了施工过程的顺畅进行。

2.4 其他施工技术

2.4.1 隧道施工技术

地下隧道之开挖与支护作业，主要依赖隧道施工技术进行，该技术在山体及城市地下工程中广泛应用，利用钻爆法或盾构技术，施工队伍能够在地下构筑隧道，进而实现管道的敷设作业，在某青藏高原的天然气管道建设项目中，利用隧道工程技术成功穿越了山体复杂区域，有效应对了高海拔带来的低温和其它环境挑战。

2.4.2 钻爆法

钻爆法作为一种典型的隧道开挖手段，其工作原理主要通过预钻孔洞并实施爆炸，以此达到岩石破碎的目的，继而移除破碎岩石，并对开挖面进行加固支撑，最终形成所需的隧道空间，在面临坚硬岩石层及地质结构复杂的环境时，该技术创新适用于隧道工程的建设作业，在对某山区进行的天然气管道铺设作业中，一组专业人员运用钻爆技术，成功开凿了花岗岩地质段的隧道，为管道的铺设奠定了基础。

3 风险控制策略

3.1 地质勘察与评估

3.1.1 勘察方法

在天然气管道工程的施工前期，关键的步骤是对地质情况进行详尽的勘查，这样做是为了深入掌握施工区域的地质特征，地质勘察的手段多样，如对地表进行地质调查、利用钻探技术深入地层、通过物探分析地质结构、以及实施试验验证各项数据，针对地球表层开展地质研究，主要是通过实地考察的方式，来收集关于地质结构和地表形态的数据；通过实施钻探作业，我们得以在钻孔中采集样本，借此深入掌握地下岩土层的分布情况及其特性。

3.1.2 勘察数据分析

地质勘察所搜集的数据，经过系统的整理、深入分析及全面的解释工作，最终汇集成一份详尽的地质报告，对地层分布、岩性特征等方面进行分析，同时考虑地下水状况、地质构造以及地质灾害隐患等因素，在某山区实施天然气管道铺设时，施工队伍依据详尽的地质考察及数据分析，发现了若干潜在的地质灾害区域，并据此调整了施工路线，有效避开了这些高风险地段，从而确保了工程的安全性。

3.2 监测与预警

3.2.1 实时监测技术

在面临错综复杂的地质环境时，对于天然气管道

的建设施工，进行精确的实时监控是极其关键的环节，常用的技术手段有全球定位系统追踪、角度偏移测量、地震波动检测以及气候条件观测等，利用特定的技术方法，建筑施工人员能够在第一时间掌握地质变动、地震动向、气候变动等至关重要的信息，在进行河流穿越的建设作业中，利用 GPS 定位监测技术对河床的实时形变数据进行监控，以此及时识别并预防可能的风险，从而保障了施工全程的安全性。

3.2.2 预警系统的建立

构建灾害预警机制的目的是在自然灾害发生前进行有效预报，从而降低灾害造成的影响，预警体系囊括了数据采集、信息传输、加工处理以及警示资讯的宣告等关键环节，通过对地质灾害监测数据进行实时解析，系统可提前发出警示讯号，在某冻土区域进行天然气管道建设过程中，通过构建冻土层监测与预警系统，对冻土层的温度变化和形变进行实时跟踪，以便对潜在的冻胀和融沉风险进行及时警报，从而确保了施工过程的安全性。

3.3 施工工艺优化

3.3.1 施工方案设计

在建筑项目实施过程中，针对地质条件，预先制定详尽的施工方案设计，是有效控制风险的关键步骤，此环节涉及对地质勘察数据的深入分析，并据此选择适宜的施工技术和工艺，以确保施工活动的顺利进行，在开展设计工作期间，必须将地质状况、环境维护、建设安全以及成本收益等多方面因素纳入全面考量范畴，在某山区进行的天然气管道建设项目建设中，为实现管道施工的安全性，施工队伍依据地质调查的数据，采用了隧道工程的方法，有效规避了地表斜坡及坍塌的危险，从而确保了工程流程的无缝和安全。

3.3.2 工艺流程优化

工艺流程优化的目标是提升建筑施工的效率和品质，同时减轻施工过程中的风险负担，在建筑施工过程中，对施工步骤进行有序规划，合理选用施工机械，并优化施工技术，对于提高工程效率至关重要，在泥石流频发的区域，针对天然气管道的建设作业，施工队伍采取流程优化措施，并增设了临时性排水系统，从而显著减轻了泥石流事件对施工地带的冲击，有效减少了建设过程中的潜在风险。

3.4 应急预案制定

3.4.1 风险应对措施

在突发情况出现时，预先规划的应对方案能迅速启动，以最大限度地降低损害，针对突发情况，预先

成立的组织机构需制定应对计划，同时备齐所需物资，确保采取有效措施，在某冻土区域进行的天然气管道建设作业中，参与的建设团队针对冻土环境特制定了全面的应急计划，该计划涵盖了冻土层的实时监控、针对性的加热保温手段以及迅速的紧急修复程序，从而在建设过程中有效地解决了冻土相关挑战。

3.4.2 应急演练与培训

为了保证紧急情况下的应对计划能够有效执行，关键在于进行模拟的紧急情况练习和对于参与人员的相关技能培训，定期实施应急预案的实地演练，旨在评估并优化相关流程，进而增强施工人员面对突发情况时的快速反应及处理能力，在某山区进行的天然气管道建设项目中，施工队伍定期实施滑坡应急演练，通过模拟实际滑坡事件，提升了团队的应急响应能力，保障了在紧急状况下能迅速且有效地应对。在面临地质状况多变且复杂的情况下。

4 结语

在复杂地质条件下进行天然气管道建设是一项充满挑战的任务，需要充分考虑各种地质和环境因素。通过详细的地质勘察与评估，施工团队能够提前识别潜在风险并制定相应的施工方案和应急预案。采用先进的施工技术如定向钻进、盾构法和水平定向钻进，能够有效应对各种复杂地质条件，提高施工效率和安全性。此外，实时监测和预警系统的建立，以及科学的施工工艺优化和应急演练培训，进一步保障了工程的顺利进行和长期稳定运行。

参考文献：

- [1] 杨平. 复杂地质条件下桩基选型分析 [J]. 江西建材, 2023,(04):333-334+337.
- [2] 王胜康. 复杂地质与建筑物下采区布置优化设计 [J]. 能源技术与管理 ,2022,47(05):60-63.
- [3] 梁庞. 复杂地质条件下储煤场 PHC 群桩加固方案研究 [J]. 矿产与地质 ,2021,35(06):1192-1197+1204.
- [4] 蒋宏业, 寇明月, 廖柯熹, 等. 摆氢天然气管道泄漏扩散研究现状及发展趋势 [J/OL]. 油气储运 ,1-14[2024-06-28].
- [5] 王放, 李正峰, 姜波, 等. 天然气管道机械阀门内漏流场声学特性研究 [J]. 化工机械 ,2024,51(03):348-353+469.
- [6] 徐金凤. 浅谈石油天然气管道施工技术及质量控制 [J]. 化工设计通讯 ,2016.
- [7] 梁泉水; 朱贊. 石油天然气管道安全管理存在的问题及对策 [J]. 中小企业管理与科技 (中旬刊),2017.