

城市地下管线施工安全管理及事故预防策略

赵亚强

中国市政工程西南设计研究总院有限公司，四川成都，610000；

摘要：随着城市化进程加速，地下管线施工作业面临复杂地质条件和周边环境的挑战，施工安全风险显著增加。本文针对城市地下管线施工中的地质风险、顶管施工工艺、风险监测与预警、不良工况应对及综合安全保障技术展开研究。通过分析复杂地层条件和岩溶等地质风险，提出顶管设备选型与参数优化、关键施工流程的安全技术措施，构建风险监测与预警机制，并针对不良地质条件和特殊区域制定应对策略。同时，从设备与材料保障、多环节协同整合等方面提出综合技术方案，有效降低施工风险，保障施工安全，为城市地下管线施工提供技术支撑和安全保障。

关键词：城市地下管线；施工安全；风险防控；顶管施工；技术保障

DOI：10.69979/3029-2727.25.02.055

引言

在城市化进程加速前行、城市地下空间开发利用不断向纵深推进的大背景下，城市地下管线施工作业的数量呈现出与日俱增的态势。鉴于复杂多变的地质状况、错综复杂的周边环境以及施工技术层面存在的诸多难题，导致施工安全事故的隐患如影随形、层出不穷。怎样确保城市地下管线施工过程的安全性以及切实有效地预防事故的发生，已然成为亟待攻克与妥善解决的关键问题。

1 城市地下管线施工地质风险解析

1.1 复杂地层条件的潜在风险

在城市地下管线施工中，复杂地层条件往往潜藏着诸多风险。首先，软弱地基土质是常见问题，其承载能力不足，容易导致施工过程中出现土体坍塌现象，尤其是在深埋管线或大型设备作业时，风险更为突出。此外，地层结构的松散与孔隙较大，使得地下水更容易渗透和积聚，从而引发涌水问题，不仅会淹没施工区域，还可能冲刷地基，进一步削弱土体稳定性^[1]。同时，不同地层物理力学性质的显著差异，如砾石含量高、粒径大小不一的圆砾层，会给施工设备的掘进作业带来巨大挑战，可能导致设备磨损加剧、掘进效率降低，甚至出现卡机等故障，进而增加施工难度和安全风险。这些潜在风险相互交织，对施工安全构成严重威胁，必须通过科学的地质勘察和合理的施工方案加以应对。

1.2 岩溶与特殊岩土的影响分析

在城市地下管线施工中，岩溶与特殊岩土的存在对工程安全和稳定性有着显著影响。岩溶地区常发育大量

溶洞，这些溶洞的存在使得地基土层的稳定性受到严重威胁。由于溶洞的大小和分布位置不规则，施工过程中可能会遇到突发的空洞区域，导致地基不均匀沉降。这种不均匀沉降会使管道承受额外的应力，进而引发管道变形、破裂等问题，严重影响管线的正常使用和长期稳定性。此外，特殊岩土如红粘土等也会给施工带来诸多挑战。红粘土通常具有上硬下软的特性，遇水后容易软化崩解，失水时则会收缩并产生裂缝。这种特性使得在施工过程中，土体的力学性质极不稳定，增加了施工的难度和风险。一旦施工措施不当，可能会导致土体坍塌、管道位移等问题，对施工安全和工程质量构成严重威胁。因此，在面对岩溶与特殊岩土时，必须采取针对性的技术措施，确保地下管线施工的安全与稳定。

2 顶管施工工艺中的安全要点把控

2.1 顶管设备选型与参数确定

在城市地下管线顶管施工中，顶管设备的选型与参数确定是确保施工顺利推进的关键环节。由于施工环境复杂，常常需要穿越多种不同性质的地层，如砂层、粘土、砂岩、白云岩等，因此必须选择适合的顶管设备。通常，岩石破碎泥水气压平衡复合式顶管掘进机是应对复杂地质条件的理想选择。这种设备具备强大的刀盘切削能力，能够有效处理各类地层。同时，设备的总长度较长，能够保障在运行过程中的稳定性，避免因设备晃动导致施工精度下降^[2]。此外，设备的装机容量和刀盘转矩应足够强大，以满足不同地层的掘进需求。刀盘转速范围应灵活可调，以便根据地层硬度和施工要求进行优化。液压动力源的工作压力和纠偏系统的性能也至关重要，它们能够确保设备在复杂地层中始终保持精准的

姿态，避免因偏移导致施工事故或管道铺设偏差。通过科学合理地选型和确定设备参数，可以有效提高施工效率，降低施工风险，确保地下管线工程的顺利实施。

2.2 关键施工流程的安全技术措施

在城市地下管线施工中，关键施工流程的安全技术措施至关重要，能够有效保障施工质量和安全。首先，在反力墙安装环节，必须确保其结构强度和稳定性。为此，应采用高强度钢筋和优质混凝土进行浇筑，并严格控制钢筋间距和混凝土配比，以满足承载顶管作业推力的要求。同时，对反力墙的安装偏差进行严格控制，确保其位置精度，避免因偏差过大影响施工安全和后续作业。在轨道安装过程中，基座的加工精度是关键。必须保证导轨面的直线度、平行度和粗糙度达到标准要求，确保顶管机在运行过程中平稳、顺畅。安装完成后，需通过精确测量，使顶管机的中心轴线与设计轴线完全重合，从而保证施工的准确性。此外，洞门破除环节也需严格遵循相关技术规范进行操作，确保施工安全。通过这些精细的安全技术措施，能够有效降低施工风险，保障地下管线工程的顺利实施和长期稳定运行。

3 施工过程风险监测与预警技术运用

3.1 测量监测技术的具体实施

本文以滇中引水配套工程项目顶管作业作为研究对象，在顶管施工中，测量监测工作是确保施工安全和质量的关键环节。项目部在第三方监测的基础上，自行开展监测工作，特别是在铁路沿线附近及重要建筑物周边等关键地段，如靠近铁路桥墩、市政道路旁等，合理布设了地面沉降观测点。这些观测点的测量精度等级为四等，要求高程中误差控制在 $\pm 2\text{mm}$ 以内，相邻点高程中误差为 $\pm 1\text{mm}$ ，往返较差需满足 $\leq 1.4 \sqrt{n}\text{mm}$ 的标准。在顶管进入竖井地质改良工作开始前，测量频率设定为每天1-2次。当顶管通过前后各3-6m范围内时，测量频率会加密。一旦顶管机头尾部通过20m后，若沉降量无明显变化，测量频率则会随着沉降速率的下降而逐渐减少，直至沉降趋于稳定。

3.2 风险预警机制的构建与运行

在滇中引水配套工程的顶管施工实践里，所构建的风险预警机制依托于全方位的风险识别流程以及精确无误的监测数据体系。针对此工程极有可能面临的一系列风险情形，诸如地面沉降现象、顶管机姿态出现偏差等状况，该机制拟定了明晰确切的预警指标。以地面沉降风险为例，凭借相关规范条例以及丰富的工程实践经验，针对穿越不同性质区域的情形，分别确定与之适配的沉降允许数值。举例来讲，当顶管施工穿越某重要市

政道路路段时，将地面沉降量严格限定在不超过20mm的范围之内。在顶管机姿态管控层面，一旦顶管机轴线偏差数值超过10mm，便即刻触发预警程序，构建起完备健全的数据采集与传输体系^[3]。运用高精度传感器设备，诸如安装于顶管机之上的测斜仪、激光靶等，对顶管机的姿态数据、顶进作业过程中的各项参数以及周边土体的变形数据实施实时采集操作。

4 不良工况下施工安全应对技术手段

4.1 不良地质条件下的应对策略

在城市地下管线施工中，面对不良地质条件，如“下硬上软”地层、空洞以及岩层溶洞等复杂情况，需要采取针对性的应对策略以确保施工安全和顺利进行。在施工前期，应充分利用地质雷达等先进探测设备，对可能存在复杂地质条件的区域进行详细探查，并对相关部位进行清晰标记，以便提前制定施工方案。进入施工阶段后，需对顶进操作手法进行优化调整。例如，在“下硬上软”地层中，应适当伸长上方的纠偏千斤顶，采用较低的推力和适中的转速推进顶管作业。同时，严格控制刀盘的转速和油压，确保掘进速度在合理范围内，避免因地质条件差异导致设备损坏或施工事故。此外，还需强化对掌子面泥浆压力的管控，确保施工始终处于微量欠挖状态。通过采用“刀盘小转速、大推力”的技术手段，可以有效保障设备在顶进过程中的贯入度和压紧力，从而提高施工效率，降低施工风险。这些综合应对措施能够有效应对不良地质条件，确保地下管线施工的顺利进行。

4.2 穿越特殊区域的安全保障技术

在城市地下管线施工中，穿越铁路、市政公路以及河流等特殊区域是极具挑战性的环节，需要采取严格的安全保障技术。首先，针对穿越铁路和公路的情况，通常采用泥水平衡顶管工艺，通过泵送循环泥浆至刀盘开挖面，有效抵消地层侧压力与地下水压力，从而维持掌子面的平衡，减少对周边结构的影响。在施工前，要根据地质条件和周边环境精确计算并设定泥浆压力值，确保其能够有效平衡地层压力，避免因压力失衡导致的地表沉降或隆^[4]。同时，为确保施工精度，测量工作采用仪器全自动测量与人工复测相结合的方式，定期对顶管轴线进行复测，及时调整顶进姿态。根据不同区域的地质条件和施工要求，灵活采用微调、缓纠以及点动等操作方式，确保顶管机的运行轨迹符合设计要求。在穿越河流时，要根据地层条件和地下水位状况，精心制定泥浆压力控制参数，严格把控循环泥浆压力和润滑注浆压力。通过这些措施，可以有效降低地表隆起或沉降的风

险，确保施工安全和周边环境稳定。这些安全保障技术的综合运用，为地下管线穿越特殊区域提供了坚实的保障。

5 施工安全保障的综合技术方案

5.1 设备与材料的技术保障措施

在城市地下管线施工中，设备与材料的选择是确保施工安全和质量的基础。首先，顶管掘进设备应具备适应复杂地层的能力，选择岩石破碎泥水气压平衡复合式顶管掘进机是应对复杂地质条件的有效手段^[5]。这种设备不仅能够处理多种地层，还能通过精准的参数设置（如刀盘转速、液压动力源压力、纠偏角度等）确保施工过程的稳定性和安全性。同时，配备高效的泥水分离设备，能够有效处理施工过程中产生的泥浆，维持施工现场的整洁，保障设备的正常运行。

在材料方面，钢管作为地下管线施工的关键材料，其质量直接影响工程的安全性和耐久性。应选用符合国家标准的优质钢材，如直缝埋弧焊 Q235B，严格控制钢材的非金属夹杂物级别，确保其具备优良的机械性能。焊接材料也应符合国家标准，采用二氧化碳气体保护焊等先进焊接技术，确保焊接质量达到Ⅱ级标准。此外，施工过程中还应加强对材料的检验和验收，杜绝不合格材料进入施工现场，从源头上保障施工质量。

5.2 多环节协同的安全技术整合

施工安全保障不仅依赖于设备和材料的选择，还需要多环节的协同配合。在施工前期，应对施工区域进行全面的风险识别，分析地质条件、周边环境以及施工工艺可能带来的风险。通过方案比选，选择最优的施工方案，确保施工过程的安全性和经济性。同时，建立健全的安全管理制度，明确各环节的责任和操作规范，确保施工过程的有序进行。

在施工过程中，监控量测与顶进操控环节的紧密配合至关重要。应采用高精度的测量设备，如自动安平水准仪，定期对顶管机的姿态和位置进行监测。一旦发现偏差，及时通过调整纠偏千斤顶等措施进行纠正，确保顶管机始终沿着设计轴线推进。此外，针对特殊区域（如松散地层），应采取加固措施，如高压旋喷桩加固，增强土体稳定性，为顶管施工创造良好的作业条件。

在过程安全管理方面，制定详细的应急预案是关键，预案需明确应急处置流程与责任分工，确保在突发情况下能够迅速响应并妥善处理。定期组织应急演练，通过模拟真实场景，让施工人员熟悉应急操作流程，提升其应急处置能力。同时，强化施工现场的安全检查与隐患

排查工作，安排专业人员定期巡查，对发现的安全隐患立即整改，杜绝隐患积累，保障施工过程的安全可控。此外，建立完善的施工安全管理制度，涵盖施工人员的安全培训，确保每位员工都具备必要的安全知识与技能；设备的定期维护保养，保证设备始终处于良好运行状态；施工现场的安全标识设置，提醒施工人员注意潜在危险，通过制度化管理全方位确保施工安全。

在保障措施方面，应设立专门的安全管理小组，负责施工过程中的安全监督和管理。安全管理小组应定期召开安全会议，总结施工过程中的安全问题，提出改进措施。同时，应加强对施工人员的安全教育，提高其安全意识和操作技能。通过设备与材料的技术保障、多环节协同的安全技术整合以及过程安全管理的全面实施，可以有效降低施工风险，保障城市地下管线施工的安全和顺利进行。

6 结语

城市地下管线施工安全管理及事故预防策略的实施，对于保障城市建设的顺利推进具有重要意义。通过深入分析地质风险、优化顶管施工工艺、构建风险监测与预警机制、制定不良工况应对措施以及实施综合安全保障技术方案，能够有效降低施工风险，确保施工安全。未来，随着技术的不断进步和施工管理水平的提升，应进一步加强智能化监测技术的应用，优化施工工艺，完善安全管理体系，以适应城市地下空间开发利用的更高要求，推动城市地下管线施工向更安全、高效、可持续的方向发展。

参考文献

- [1] 王传俊. 城市地下管线测绘测量技术方法研究[J]. 科技资讯, 2025, 23(03): 161-163.
- [2] 胡奕彬. 在城市建成区的市政桥梁施工过程中桩基避让地下管线的处理方案[J]. 城市道桥与防洪, 2023, (08): 232-234.
- [3] 张宁, 徐斌, 王涛, 等. 城市地下管线三维建模及可视化系统实现研究[J]. 科技资讯, 2025, 23(03): 57-59.
- [4] 曹新. 城市道路施工中地下管线保护措施[J]. 建材发展导向, 2022, 20(20): 163-165.
- [5] 陈文, 殷张明. 城市地下管线竣工测量的必要性及管理措施分析[J]. 工程与建设, 2022, 36(04): 946-947.

作者简介：赵亚强（1991—），男，汉族，甘肃白银人。