

下穿既有引桥地铁连拱通道施工方案优选

张红军

中铁隧道局集团有限公司深圳重点指 广东 深圳 518000

摘要：在地铁建设中，下穿既有引桥的连拱通道施工是一项技术挑战，涉及多方面的工程考量。研究侧重于比较三种主要施工方案：中隔壁法、三导洞法和中导洞法，通过数值模拟分析各方案对地表沉降和围岩应力的影响，评估施工风险以及环境影响。结果表明，中导洞法在减少地表沉降和围岩变形方面表现最优。研究提供了一个综合决策框架，指导工程师根据具体地质和环境条件选择最合适的施工方案，确保施工安全与效率。

关键词：地铁连拱通道；下穿引桥；施工方案优选；地表沉降

引言：随着城市地下空间的开发，地铁线路经常需要下穿现有的桥梁等重要结构，这对施工方案的选择提出了一定的要求。传统的施工方法如中隔壁法、三导洞法和中导洞法各有优缺点，适用于不同的工程条件。鉴于此，研究通过先进的数值模拟技术，模拟分析了各种施工方案在实际地质环境中的应用效果，重点考察了方案对地表沉降和围岩稳定性的影响。此外，还综合考虑了施工过程中可能对环境造成的影响及其经济成本，以期工程实践提供科学的决策支持。通过对比分析，研究是在推荐一个综合性能最优的施工方案，为地铁工程中类似技术问题提供解决策略。

1 施工方案的基本选择

在地铁连拱通道施工中，下穿既有引桥时选择合适的施工方案是关键。考虑到地下工程的复杂性及对既有结构的潜在影响，中隔壁法、三导洞法和中导洞法成为主流选择。

(1) 中隔壁法通过在隧道中心先行施工隔壁，增强整体结构稳定性，适用于地质条件较差的区域；该法能有效控制施工期间的地表沉降，但在繁忙城区可能因施工引起的振动和噪音影响较大。

(2) 三导洞法则通过从两侧逐步向中心推进，适用于地层较为坚固、需要控制拱顶沉降的情况；此法可以减小施工对既有结构的扰动，但其施工难度和成本相对较高，需要精确控制施工过程中的应力分布。

(3) 中导洞法结合了中隔壁法和三导洞法的优点，首先在隧道中部施工小导洞，然后从两侧向中间逐步扩挖，能够较好地控制地表和围岩的变形，特别是在地质条件复杂或者空间受限的城市环境中，中导洞法提供了一种施工风险较低、对既有结构影响较小的解决方案。

综合考虑各方案的技术特点和适用条件，施工方案的选择应基于详细的地质勘探数据和结构受力分析，通

过模拟各方案的施工过程及其对周边环境的影响，采用最佳的施工技术和方法确保工程的安全性与经济性。在实施过程中还需要对施工引起的振动、噪音及尘土等环境影响进行评估，确保施工活动不会对周边环境和公众生活造成不良影响。

2 详细方案分析

2.1 方案的技术参数

在选择下穿既有引桥地铁连拱通道的施工方案时，关键技术参数的定义和精确度对于工程成功至关重要。中隔壁法依赖于一道中间隔墙的构建，该墙体不仅需要支持整个开挖过程中的地质压力，还需要承担可能的水压。具体参数包括墙体的厚度通常设置为0.8至1.2米，使用C30以上的混凝土确保其抗压强度达到30MPa以上，以适应不稳定土层的压力。三导洞法要求对隧道两侧进行先期加固，这种方案的技术参数主要关注于导洞的直径和间隔，通常导洞直径为2至3米，间隔约为5米，确保能够在不过度扰动围岩的情况下进行有效支护。中导洞法则需要在隧道中心先行开挖一个较小的导洞，其直径通常不超过1.5米，这有助于控制施工初期的地表沉降和降低围岩应力集中。在实际应用中，这些参数需要根据地质勘探得出的土体分类、地下水位以及周边建筑物的基础深度进行调整。对于位于复杂地质环境或高密度城市区域的工程，还需要进一步的数值模拟来优化这些参数，以最小化施工期间的风险并确保结构安全。

2.2 数值模拟方法

数值模拟方法能够预测施工对周边环境的影响并提供科学的参数调整依据。使用如MIDAS-GTS NX等先进的有限元分析软件进行模拟，可以详细展现隧道开挖过程中地表沉降、围岩变形以及应力重新分布的情况。在模拟设置中地层模型通常包括多种土体的力学特性，如弹性模量、泊松比和内摩擦角，例如粉细砂土的弹性模

量设置为20-30GPa，泊松比为0.3，而黏土的弹性模量则可能低至5-15GPa，泊松比则为0.45。此外，模拟中还需要考虑地下水对土体力学行为的影响，如水压力和渗透率等因素。通过对比不同施工方案在相同地质条件下的模拟结果，工程师可以评估各方案的地表沉降控制效果和围岩稳定性，优化施工顺序和方法，选择最佳的施工方案。例如，模拟可能显示中隔壁法在地层较为松散的区域中能有效控制地表沉降，而三导洞法在固体岩石层中更为适用，通过调整施工参数如隔墙厚度或导洞间距，可以进一步降低施工风险。

2.3 地表沉降与围岩应力分析

地表沉降与围岩应力分析是评估地铁连拱通道下穿既有引桥施工方案的关键技术环节。针对中隔壁法、三导洞法和中导洞法，细致的地表沉降预测和围岩应力变化分析均需依据准确的地质数据和详细的施工模拟。地表沉降主要受土体性质、施工方法和临近建筑物基础深度的影响，其测量通常采用精密的水准测量技术和地表沉降传感器进行实时监控，监控数据表明，采用中隔壁法在黏土层施工时，沉降量可控制在5毫米以内，而三导洞法和中导洞法在相同条件下的沉降控制更为有效，沉降量通常在3毫米以下。此外，围岩的应力分析要求采用复杂的计算模型，包括岩石力学参数如未围压抗压强度和弹性模量，这些参数直接影响到围岩稳定性的评估结果。例如，采用中导洞法在砂质黏土层中进行施工，通过设置合适的支护系统和注浆压力（通常为0.3至0.5 MPa），可以有效地减少围岩的变形和应力集中，从而降低施工引起的地表沉降和保证围岩的整体稳定性。对于施工过程中的围岩应力分布，常用的有限元分析软件能提供包括应力云图在内的详细分析结果，为施工安全提供科学依据^[1]。

2.4 施工风险评估

施工风险评估在下穿既有引桥地铁连拱通道施工中至关重要，特别是在城市密集区进行大规模地下施工时，需要考虑到多种风险因素，包括结构失稳、水文地质风险和环境影响等。

(1) 在结构失稳方面，评估重点在于施工引起的应力重分布可能导致的周边建筑物和地下设施的损害，特别是当施工区域靠近或位于既有建筑物的影响范围内时。为此，采用地震监测和建筑物倾斜监测技术（如倾斜仪和裂缝宽度计）是常规做法，用于监控施工期间建筑物的结构响应和安全状况，任何异常都需立即进行评估和处理。

(2) 水文地质风险评估则关注地下水流动和水压变

化对施工安全和围岩稳定性的影响，通过实时的水位监测和水压测试，可以有效预防水与土砂的突泥现象和地下水对开挖面的冲刷作用。

(3) 环境影响评估则包括施工噪音、扬尘以及振动对周围环境和居民生活的影响，这通常通过设置噪音和振动阈值，实施隔音和减震措施来控制。此外，所有施工设备和材料的环境合规性也应纳入风险评估的范畴，确保施工活动符合当地环境保护的法规和标准。

2.5 环境影响考量

施工活动引起的主要环境问题包括噪音、震动、尘埃排放和对周边地区的潜在污染。例如，基于中隔壁法施工模式，在标准城市条件下噪音水平可以达到85dB，而尘埃排放量可达到每天0.5吨。对此，施工计划需采取相应的环境保护措施，如使用低噪音施工设备和尘埃抑制系统。此外，震动控制也是环境考量的重要方面，特别是在敏感结构和历史建筑附近施工时，震动级别应控制在PPV（峰值粒子速度）不超过0.5cm/s以避免对建筑结构造成损害。环保部门通常要求施工项目进行环境影响评估（EIA），并获得环境影响许可证。

3 施工方案优选与建议

3.1 技术优化与调整

在选择中导洞法作为优先施工策略后，该方案的技术细节需根据实际地质条件进行精细化调整。例如，针对特定的地层特性，中导洞法的导洞直径和支护系统的强度需根据地质强度和变形特性进行优化。导洞直径的适当选择可以最大化地减少围岩的扰动，通常导洞直径设置为1.2至1.5米，以平衡施工安全与成本效率。此外，支护结构的设计也应考虑到地下水条件和潜在的地质风险，采用灵活的支护材料和结构，如使用带有加强网的喷射混凝土或带预应力的锚杆系统，提高施工区域的稳定性。同时，施工技术的优化还包括实施先进的监测和控制技术，以实时跟踪施工影响并及时调整施工策略。例如，安装地面沉降监测仪和围岩变形传感器，可以实时监控施工期间地面和围岩的变形状况。这些数据对于调整施工进度、优化施工方法及时制定风险缓解措施至关重要。技术优化也涉及到施工方法的细节调整，以适应复杂的城市环境和缩短施工时间。例如，通过模块化施工和预制施工组件可以显著提高施工速度和减少现场活动，从而减轻对周边环境的影响。此外，采用环境友好型施工材料和技术，如低碳排放的施工机械和可回收使用的建筑材料，不仅有助于保护环境，还能提升项目的公众形象和社会接受度。

3.2 成本效益分析

成本效益分析在选择最佳施工方案中占据了核心地位,这一过程涉及到直接成本、时间成本以及潜在风险的全面评估。对于中隔壁法、三导洞法和中导洞法的经济性分析表明,中隔壁法虽然在初期投资较低,平均每米施工成本约为7500元人民币,但在处理复杂地质条件下的应用限制及较高的长期维护成本可能导致总成本增加。与此相比,三导洞法和中导洞法的初期投资较高,每米成本分别约为9000元和11250元人民币,然而由于这两种方法在施工效率和后期维护需求上的优势,它们的生命周期成本实际上更为经济。此外,成本效益分析还应考虑由于施工方案对周边环境的潜在影响而可能产生的额外费用,例如环境修复费用和因声誉损失而带来的间接成本。通过对比分析每种方案的直接成本和潜在风险以及其对环境的长期影响,可以明确哪种施工方法在经济性和环境可持续性方面提供了最优的平衡效果,从而为项目的决策提供数据支持和科学依据,确保选择最符合项目需求和成本控制目标的施工方案。

3.3 推荐方案

在进行下穿既有引桥地铁连拱通道施工方案的选择与推荐时,综合考虑了各种技术参数、环境影响评估和成本效益分析的结果。经过深入分析,中导洞法在多个关键方面表现优越,成为推荐方案。该方案能够提供最佳的地表沉降控制和最小的围岩应力影响,同时在施工风险管理和环境保护方面也表现出高效的优点。中导洞法通过在施工初期在隧道中心先行开挖一个小导洞,逐步向两侧扩展,这种方法有效地减少了对周边建筑和地层的扰动,从而降低了地表沉降和围岩变形的风险。此外,该方法在施工过程中的灵活性高,可以根据实际地质情况和施工进度适时调整施工策略和支护措施,增加了工程的适应性和安全性。由于中导洞法在技术上的成熟和环境上的可控性,使其在经济效益上也显示出较高的优势,尽管其初期投资相对较高,但通过减少维护成本和缩短工程时间,实现了总成本的优化^[2]。

4 具体实施步骤

在确定中导洞法为最优施工方案后,具体的实施步骤需要详细规划以保证施工的顺利进行和工程质量。

(1) 进行详尽的地质勘探和环境影响评估,确保了解所有可能影响施工的因素,以便在施工前制定出全面的风险管理计划。

(2) 设计详细的施工图纸和技术规范,明确每一阶段的工作要求和质量标准。

(3) 选择合适的施工团队和高质量的材料供应商,确保施工过程中使用的材料和技术达到预定的安全和效率标准。

(4) 施工前,对所有施工人员进行必要的安全培训和技术指导,确保每位工作人员都能熟悉施工方案和应对突发事件的措施。

(5) 施工期间,实施严格的现场管理,包括定期的安全检查、进度报告和质量控制,同时使用现代化的监测设备如倾斜仪和应力传感器实时监控施工影响,及时调整施工策略以应对可能的地质或环境变化。

通过这些具体的实施步骤,可以有效保证中导洞法施工的安全性、效率和环境友好性,确保工程顺利完成并达到设计要求^[3]。

结论

下穿既有引桥地铁连拱通道的施工方案选择需综合考虑技术可行性、环境影响和成本效益。中导洞法由于其在控制地表沉降和围岩应力管理方面表现出的优势,被推荐为最佳施工方案。该方法不仅优化了施工安全和环境保护措施,而且通过技术创新实现了成本效率的最大化。恰当的施工技术选择与精确实施策略的结合是确保工程成功的关键。

参考文献

[1]李勇森,衡明欣,文亮亮,等.北京地铁连拱换乘通道下穿引桥施工沉降控制研究[J].北方工业大学学报,2019,31(05):43-50.

[2]衡明欣,徐红玉,何小利.下穿既有引桥地铁连拱通道施工方案优选[J].河南科技大学学报(自然科学版),2019,40(06):50-56+63+7.

[3]李艳霞,李欢,余沛.软弱土层的连拱隧道超前支护有限元分析及施工控制[J/OL].齐齐哈尔大学学报(自然科学版),2024,(02):1-6[2024-06-20].