

水利工程隧洞开挖支护施工方案研究

雷春华

(中国水利水电第十一工程局有限公司, 河南 郑州 450001)

【摘要】本文旨在对水利工程隧洞开挖支护施工方案的优化与实践进行深入探讨, 并对工程隧洞开挖支护施工方案的优化与实践进行深入探讨。通过对隧道开挖过程中地质条件、支护结构选型、施工工艺及安全监控等方面的深入分析, 有针对性地提出了支护施工方案。研究采用数值模拟与现场试验相结合的方法, 验证了支护结构的稳定性和施工方法的可行性。结果发现, 采用合理的支护施工方案, 在保证施工安全、提高工程效率的同时, 隧道变形也能得到有效控制。

【关键词】水利工程; 隧洞开挖; 支护施工方案

引言

水利工程隧洞开挖支护施工是保证工程安全稳定的关键环节。合理的支护结构在隧洞开挖过程中能够有效地防止围岩变形和坍塌, 保障施工人员的安全, 对工程质量和效率也有明显的提高作用。所以深入研究隧洞开挖支护施工方案具有十分重要的理论意义和实践价值, 是当前工程中必不可少的一项工作。

一、隧洞开挖地质条件分析

在水利工程隧洞开挖支护施工方案的制定过程中, 对隧洞开挖区域的地质条件进行深入分析和评估是至关重要的。地质条件不仅直接影响隧洞开挖的难易程度, 还关系到支护结构的选型、设计以及施工方法的确定。因此, 本节将重点探讨工程地质勘察与资料收集、隧洞开挖区域的地质特征分析以及地质条件对隧洞开挖支护的影响评估。

(一) 工程地质勘察与资料收集

工程地质勘察与资料收集是地质条件分析的基础。在隧洞开挖前, 需要对工程区域进行全面的地质勘察, 包括地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质条件等方面的调查。通过钻探、物探、原位测试等手段, 获取工程区域的地质资料, 为后续的隧洞开挖和支护设计提供科学依据。同时, 还需要收集相关的地质报告、历史地震资料、气象数据等, 以便对地质条件进行全面评估。

(二) 隧洞开挖区域的地质特征分析

制定支护施工方案的重要依据是隧洞开挖区域的地质特征分析。地质特征主要包括岩石类型, 岩石强度, 节理裂隙发育程度, 地下水赋存状态等。通过对这些地质特征的分析, 可以了解隧洞开挖过程中可能遇到的地质问题, 如围岩稳定性、涌水突

水等。在此基础上, 为保证隧道开挖安全稳定, 可有针对性地选择支护结构类型, 确定支护参数。在地质特征分析中, 隧道开挖支护的关键因素是岩石的种类和强度。不同类型的岩石所需的支护措施不同, 其力学性质和变形特性也不同。例如, 对于软弱岩层或破碎带, 为了提高围岩的稳定性, 需要采用钢拱架、喷射混凝土等强化支护措施。另外, 围岩的稳定性也会受到节理裂隙发育程度的影响, 裂隙密集处坍塌变形的可能性较大, 需加强支护和监控。隧道开挖支护, 地下水的赋存状态同样有着举足轻重的影响。地下水既可能造成隧道内涌水, 也可能对围岩的稳固性造成影响。因此, 在地质勘测时, 要对地下水的分布、类型、补给排泄条件等进行详细的了解, 才能使地下水的影响在支护设计中得到充分的考虑^[1]。

(三) 地质条件对隧洞开挖支护的影响评估

地质条件对隧洞开挖支护的影响评估是施工方案制定的关键环节。综合分析地质条件能对隧洞开挖过程中可能遇到的风险和难点进行评估, 从而为支护结构的设计和施工方法的选择提供依据。充分考虑地质条件的复杂性和不确定性, 对施工方案及应对措施进行合理设计, 是减少围岩变形和坍塌风险的有效手段。因此, 在地质条件相对较差的地区, 可能需要采用分段开挖及时支护的施工方式, 使施工过程更加安全。

二、支护结构选型与设计

在水利工程隧洞开挖过程中, 保证施工安全和提高工程质量的一个重要环节就是支护结构的选型和设计。选用合适的支护结构, 在帮助提高施工效率、降低工程造价的同时, 还能有效控制围岩变形, 防止坍塌事故的发生。因此, 本部分将

对支护结构类型及其特点分析、支护结构选型的原则和依据、支护结构的设计计算与优化等方面进行深入的探讨。

（一）支护结构类型及其特点分析

支护结构多种多样，各有特色。常见的支护结构有喷射混凝土支护、锚杆支护、钢拱架支护、以及联合支护等支护结构。喷射混凝土支护适用于各种地质条件下的隧洞开挖，其具有施工速度快，早期强度高优点；锚杆支护则特别适用于节理裂隙发育的岩层，通过锚固作用提高围岩稳定性；钢拱架支护对软弱岩层或破碎带的支护承载力和刚度较高；联合支护则是为了更好的支护效果，将多种支护结构结合起来，根据项目的实际情况进行组合^[2]。

（二）支护结构选型的原则与依据

在选择支护结构时，应遵循一定的原则与依据。首先，支护结构应适应地质条件，根据岩石类型、强度、节理裂隙发育程度等因素选择合适的支护类型；其次，支护结构应满足施工要求，考虑施工方便性、施工工期以及成本等因素；此外，还应考虑支护结构的长期稳定性，确保在隧洞使用期间能够保持稳定的支护效果。

（三）支护结构的设计计算与优化

支护结构的设计计算与优化是确保支护效果的关键环节。在设计过程中，支护结构的尺寸、材料、布置方式等参数，都需要根据地质勘测资料、隧道大小、开挖方式等因素来确定。同时，保证支护结构能够承受围岩压力和施工荷载，还需要利用力学原理进行稳定性分析。在优化方面，可以采用数值模拟、现场试验等手段，对支护结构进行优化设计，提高支护效果和施工效率。各方面因素的综合影响要在支护结构设计测算过程中充分考虑。如对软弱岩层或破碎带，采取增加锚杆数量、提高喷射混凝土厚度等强化支护措施，需要特别注意其变形特性和稳定性。同时，还应考虑地下水的影响，采取注浆止水等措施减少其对支护结构的不利影响。另外，新的支护技术和材料也随着科技的不断进步和工程实践经验的积累而不断涌现。在支护结构选型和设计过程中，要注意新技术、新材料的发展动态，积极引进和应用先进的支护技术，提高隧洞开挖支护的水平和效果。值得一提的是，支护结构设计不是一成不变的，而是要动态调整，根据实际建设情况优化设计。对施工中出现的围岩变形、支护结构稳定等情况，要加强监控，发现问题要及时处理。同时，对水利工程隧洞开挖支护施工的质量和水平，也要总结经验教训，不断完善支护设计方案。

三、隧洞开挖支护施工工艺

隧洞开挖支护施工工艺是确保工程安全、高效进行的关键环节。选择合适的开挖方法、配备适当的施工设备、合理安排支护结构的施工顺序，以及严格控制施工过程中的质量与安全，都是实现隧洞开挖支护目标的重要保障。本部分将详细探讨隧洞开挖方法与设备选择、支护结构的施工顺序与要点，以及施工过程中的质量控制与安全保障等。

（一）开挖方法与设备选择

隧道开挖支护施工的前提和基础是开挖方法和设备的选择。应根据地质条件、隧洞大小、施工工期等因素，综合考虑开挖的方式。常见的开挖方式有全断面开挖法、台阶开挖法、分部开挖法等。全断面开挖法以施工速度快、效率高为优点，适用于地质条件较好、断面较大的隧道；台阶开挖法适用于地质条件稍差，需要分段开挖的隧道，能降低围岩变形、垮塌的危险；分部开挖法则适用于地质情况复杂，需要精细控制的隧道，能保证施工安全和施工质量。施工设备的选择也需要在选择开挖方式的同时加以考虑。施工设备应具备充分挖掘能力和施工灵活性，以保证高效施工，符合开挖方法的要求。

（二）支护结构的施工顺序与要点

支护结构的施工顺序和关键作业，都是隧道开挖过程中必不可少的。施工顺序一般按照“先支护后开挖，边开挖边支护”的原则，根据开挖技术和地质环境确定施工顺序。这要求在挖掘过程中及时安装和加固支护结构，以防止围岩变形和坍塌。支护结构的建设重点有：首先需要施工人员对设计意图的准确把握，采用精确的测量定位技术，确保严格符合设计规范要求的支护结构的参数，如尺寸、位置、角度等；其次，要保证支护材料与围岩实现紧密结合，提高支护效果，这通常涉及到支护材料的选用和施工工艺的控制，如采用高强度的锚杆或喷射混凝土等。最后，为了保证整个支护系统的稳定和承重能力，加强支护结构之间的连接和固定工作，包括适当的焊接、锚固或其他连接处理支护结构的各个部分，保证它们能够共同承担地下水压力、土壤压力等外力作用，以保证它们的协同工作^[3]。

（三）施工过程中的质量控制与安全保障

施工过程中的质量控制与安全保障是隧洞开挖支护施工不可忽视的重要环节。在质量控制方面，应建立健全的质量管理体系，制定详细的施工质量控制标准和措施。通过加强材料检验、施工过程监控、质量检测等手段，确保支护结构的施工质量符合设计要求。在安全保障方面，应严格遵守安全操作规程，

加强现场安全管理，落实安全生产责任制。通过加强安全教育培训、设置安全警示标志、配备安全防护设施等措施，提高施工人员的安全意识和防范能力，确保施工过程中的安全稳定。

（四）隧洞开挖支护施工注意事项

一是在隧洞开挖支护施工工艺的实施过程中，加强施工组织管理，对施工进度和人员配置进行合理安排，做到高效有序地进行；二是对设计与监理单位进行有效的沟通协调，对施工中出现的问题及难点进行及时的解决；三是注重施工环境的保护和改善，减少施工对周围环境的影响；四是积极推广和应用新技术、新工艺和新材料，提高隧洞开挖支护施工的技术水平和效率。

四、支护结构稳定性分析与安全监测

在水利工程隧洞开挖支护施工过程中，保证施工安全和质量的一个重要环节就是支护结构的稳定性分析和安全监测。通过数值模拟分析预测支护结构的受力变形情况，同时结合现场安全监测数据的实时反馈，可以对支护结构的稳定性进行综合评价，并据此制定有效的调整措施，从而保障施工顺利进行。

（一）支护结构稳定性的数值模拟分析

预测支护结构受力变形的重要手段是支护结构稳定性的数值模拟分析。支护结构与围岩相互作用的力学模型可以通过有限元分析、离散元分析等数值模拟方法，模拟支护结构在隧洞开挖过程中受力变形的情况。通过模拟分析，对支护结构的应力分布、变形趋势、不同工况下的破坏方式等进行预测，从而为设计、优化支护结构提供科学依据。在数值模拟分析过程中，需要充分考虑地质条件、开挖方法、支护结构类型及参数等因素对支护结构稳定性的影响。同时，还需要对模拟结果进行验证和修正，确保模拟结果的准确性和可靠性。通过数值模拟分析，可以及时发现支护结构设计中可能存在的问题和不足，为后续的施工提供改进方向。

（二）现场安全监测方案与实施

对支护结构进行现场安全监测，是维护稳定的一项重要措施。对支护结构的要害部位实施连续监测是隧道开挖和支护作业期间必不可少的，这样才能采集到受力、形变等实际情况下的数据。这些监测数据通常涵盖应力、位移、形变等支护结构的关键指标，并可利用专业的监测工具进行采集，如应变芯片、位移传感器、收敛测量仪等。实时监控数据直接反馈支护结构的实际工作情况，为施工队及时决策提供了帮助。在制定现场安全监控方案时，监控目标、监控内

容、监控方式、监控设备等方方面面都必须综合考虑。在监控执行过程中，保证监控设备的准确性和可靠性是基础，同时，快速准确地处理和分析收集到的监控数据也是同等重要的，有助于对支撑结构中任何可能出现的问题进行及时识别。此外，还要保证监测数据的实时、准确采集和传输，以便施工队伍在需要的时候能够快速调整。

（三）监测数据分析与支护结构稳定性评价

在隧洞工程施工过程中，对监测数据的深入分析和支护结构稳定性的精准评价是保障施工安全和质量的关键步骤。监测数据的分析能够揭示支护结构在实际工作中的受力状况和变形趋势，这有助于判断其是否符合设计预期。此外，结合数值模拟分析的成果，可以对支护结构的稳定性进行更为全面的评估。在进行稳定性评价时，必须综合考虑多种因素，包括但不限于地质条件的变化、施工方法的调整、材料性能的差异以及环境因素的影响。基于对这些因素的充分分析，评价结果将更加准确和可靠。根据监测数据和稳定性评价的结论，施工团队可以制定相应的调整策略。如果发现支护结构存在稳定性隐患，应立即采取加固措施，如增加锚杆的数量、提升喷射混凝土的厚度等，以增强其承重能力和抗变形能力。同时，施工方案也应根据实际情况进行相应的调整和优化，以确保施工过程能够适应不断变化的工程需求和环境条件。

五、结束语

经过对隧洞开挖支护施工工艺的深入探讨，我们认识到支护结构选型与设计、开挖方法与设备选择以及支护结构稳定性分析与安全监测的重要性。在实际施工中，需结合工程实际条件，科学选择支护结构类型，优化开挖方法，加强稳定性分析与安全监测，确保隧洞开挖支护施工的安全、高效与质量。

参考文献：

- [1] 李小滨. 水利工程隧洞施工坍塌的处理方法[J]. 农业科技与信息, 2018(11): 98 — 99.
- [2] 刘榴. 分析水利工程引水隧洞开挖支护施工技术[J]. 科技创新导报, 2018, 15(10): 31 — 32.
- [3] 郭惠明. 水利工程输水隧洞施工技术分析[J]. 河南水利与南水北调, 2016(12): 57 — 58.

作者简介：

雷春华(1979.2.19--), 男, 民族: 汉, 籍贯: 湖北松滋, 学历: 本科, 现有职称: 高工, 研究方向主要从事: 水利水电项目。