

水利发电站隧洞围岩稳定性分析及支护技术研究

张 扬

新疆成业建设集团有限公司 新疆乌鲁木齐 831400

摘 要：水利发电站的建设是全球能源结构优化和可持续发展的重要途径。隧洞作为水力发电站的重要组成部分，其围岩稳定性直接影响到电站的安全运行和经济效益。本文通过对水利发电站隧洞围岩稳定性进行深入研究，旨在提高工程的安全性和耐久性，降低潜在的地质灾害风险，为类似工程的规划设计提供科学依据。

关键词：水利发电站；围岩稳定性；支护技术

1 隧洞围岩稳定性影响因素分析

1.1 地质构造因素

地质构造因素是影响隧洞围岩稳定性的重要因素之一。隧道通常穿越各种地质构造带，如断层、节理、层理等。断层的存在可能导致岩体的破碎和强度降低，增加围岩的渗透性，引发渗水和滑移风险。节理的发育程度和密集度会直接影响岩体的整体性，节理间距小、填充物多的区域更容易发生变形和破坏。地质构造活动的活跃度，如地震活动，会加剧围岩的动态应力，影响稳定性。

1.2 水文地质条件

水文地质条件对隧洞围岩稳定性的影响不可忽视。地下水的存在可能导致岩体软化、膨胀或溶解，降低其力学性能。地下水的流动可能加剧岩体的风化，产生动水压力，引发流砂或突水事故。地下水的酸碱度和离子成分也可能腐蚀岩体，影响其稳定性。因此，对地下水的探测和控制是保证隧洞安全施工的关键环节。

1.3 工程施工方法

施工方法对隧洞围岩的影响主要体现在开挖方式、爆破技术、支护及时性和顺序等方面。例如，钻爆法开挖可能导致岩体的振动和破碎，而掘进机开挖则可能对围岩产生较小的扰动。爆破技术的选择和控制直接影响开挖面的稳定性，过度爆破可能导致岩体松动，而不足的爆破可能导致开挖困难。支护的及时性至关重要，过早或过晚都可能加剧围岩的变形。施工顺序和速度也应与围岩的自稳能力相匹配，以避免因施工过快而引发的稳定性问题。

1.4 岩体应力状态变化

隧洞开挖会导致岩体应力重新分布，产生应力集中

和松弛。原始地应力、施工荷载、地下水压力等共同作用，可能导致岩体产生剪切、拉伸或压缩破坏。特别是在复杂地应力环境中，如高应力区或应力不均匀分布区，围岩的稳定性尤为脆弱。因此，准确的应力测定和分析，以及合理的隧道轴线设计，有助于减轻开挖过程中的应力影响，提高围岩稳定性。

2 隧洞围岩稳定性评估方法

2.1 数值模拟技术

数值模拟技术是评估隧洞围岩稳定性的重要手段，它通过建立地质力学模型，模拟岩体在不同应力状态、地下水条件和施工影响下的响应。常见的数值模拟方法有有限元法、离散元法和边界元法。这些方法可以精确计算围岩的应力分布、位移变形和潜在的破坏模式，为支护设计提供科学依据。例如，使用FLAC或PLAXIS等专业软件进行三维非线性分析，可以预测围岩在开挖过程中的动态变化，帮助工程师提前识别潜在的危险区域。

2.2 现场监测技术

现场监测是直接获取隧洞围岩实际状况的重要途径，包括应变、位移、应力、地下水位、温度等参数的实时监测。常用的监测设备有应变计、位移计、应力传感器和渗压计等。通过对监测数据的分析，可以评估围岩的稳定性，及时发现异常变化，为调整施工方案和支护设计提供实时信息。例如，通过安装在隧洞围岩和支护结构上的传感器，可以监控支护结构的应力状态，及时发现和预防可能出现的变形或破裂。

2.3 综合评估体系构建

围岩稳定性评估不仅依赖于单一的技术手段，而是需要结合数值模拟和现场监测的结果，构建一个全面的综合评估体系。这个体系通常包括定性分析和定量评

估两部分。定性分析涉及地质条件、岩体质量、施工方法等因素的综合考虑，而定量评估则基于力学模型和监测数据，计算稳定性指数或风险等级。例如，可以采用RSK或Q系统等评价方法，结合地质条件、岩体强度、地下水状况等多因素，对隧洞的稳定性进行分级，指导工程实践。基于风险管理理论，建立风险评估模型，对施工过程中可能出现的不稳定事件进行预测和控制，以确保工程安全。

3 典型支护技术应用分析

3.1 锚杆支护技术

锚杆支护技术是一种广泛应用的隧洞施工中的加固手段，其原理是通过在围岩中预埋锚杆，利用锚杆与围岩的摩擦力和粘结力，使围岩与支护结构形成一个整体，从而提高围岩稳定性。锚杆的材质多为高强度钢材，具有较高的抗拉强度。锚杆的类型有中空注浆锚杆、砂浆锚杆等，施工时需考虑锚杆的长度、直径、布置间距以及与围岩的嵌固深度等因素，以确保最佳的支护效果。

3.2 喷射混凝土支护技术

喷射混凝土技术，又称为湿喷混凝土或干喷混凝土，是一种即时硬化、快速形成支护层的方法。喷射混凝土通常由高强度的水泥、骨料、水、添加剂和速凝剂混合而成，能快速在隧洞壁形成坚固的保护层，防止围岩风化和剥蚀。施工时，需精确控制混凝土的配合比、喷射速度和厚度，以保证支护层的均匀性和强度。

3.3 预应力锚索支护技术

预应力锚索支护是一种更为强化的加固方式，特别适用于大跨度、大断面的隧洞。锚索一般由高强度钢材

制成，通过预加载产生拉应力，使围岩在施工过程中保持压应力状态，从而提高稳定性。预应力锚索的长度、数量和张拉力需经过精确计算和设计，以确保对围岩的最优化加固。

3.4 联合支护技术案例分析

在某些复杂地质条件下，单一的支护技术可能不足以保证隧洞的稳定性。在这种情况下，工程师通常会采用联合支护技术，结合锚杆、喷射混凝土和预应力锚索等多种手段，以实现最优的支护效果。例如，在某大型水利发电站隧洞工程中，设计师结合了锚杆的局部加固，喷射混凝土的连续保护层，以及预应力锚索的系统性加固，成功地稳定了复杂地层的隧洞。这种联合支护方式展示了在复杂地质环境中的优异性能，降低了围岩的变形，保障了施工安全和工程的顺利进行。

结束语

水利发电站隧洞工程的建设对于清洁能源的开发和利用具有积极意义，能够有效减少对化石燃料的依赖，助力全球气候保护。然而，工程实施必须兼顾当地生态环境的保护，避免对生物多样性和水土资源的破坏，确保社会效益与环境影响之间的平衡。

参考文献

- [1] 陈特, 邓云端, 谢道强, 等. 隧洞围岩稳定性及支护时机分析[J]. 水力发电, 2022, 48(8): 5.
- [2] 冯志华, 胡刚, 罗仙, 等. 砂岩夹泥岩地层隧道围岩稳定性分析及支护对策研究[J]. 北方交通, 2023(7): 87-90.