

# 水利水电工程引水隧洞施工技术分析

李 璞

国家能源集团新疆开都河流域水电开发有限公司 新疆 库尔勒 841000

**摘 要：**水利水电工程中的引水隧洞施工技术对工程建设的成功实施具有重要意义。本文通过分析引水隧洞施工过程中的关键技术，包括隧洞掌子面的开挖与支护技术、隧洞连续开挖与节段施工技术、隧洞衬砌与防水技术，以及隧洞灌浆与封闭技术等方面的技术，总结了引水隧洞施工技术面临的挑战和发展趋势。这些挑战包括复杂地质条件下的施工挑战、数字化与自动化施工技术的发展以及环境保护与可持续发展要求等方面的问题。结合当前水利水电工程建设的实践，本文以期拓展引水隧洞施工技术发展的新思路。

**关键词：**水利水电；工程；引水隧洞；施工技术

引言：水利水电工程是国家重点建设项目之一，而水库引水隧洞作为交通运输和水利工程的重要组成部分，其施工技术对于工程质量和安全有着至关重要的影响。近年来，随着施工技术和理念的不断进步和更新，引水隧洞施工技术也在不断提升和创新，以适应越来越复杂的施工工艺和质量标准。本文旨在通过分析引水隧洞施工的关键技术，以及其面临的挑战和发展趋势，探讨如何提升引水隧洞施工技术，从而更好地服务于中国水利水电工程的建设。

## 1 水利水电工程引水隧洞施工技术的重要性

水利水电工程引水隧洞是指为了将水从水源地引输到水电站或灌溉区域而建造的隧道。引水隧洞施工技术的重要性不可忽视，其直接影响着水资源的利用效率、工程的安全与可持续发展。以下是引水隧洞施工技术的重要性的一些方面：首先，引水隧洞施工技术对工程安全至关重要。隧洞的稳定性和支护工程质量对工程的安全运行起着决定性的作用。合理的施工技术和控制措施可以减少施工期间的事故风险，确保施工人员的安全。此外，施工质量的提高可以保障隧洞的长期稳定性和运行安全，预防因隧洞塌方或漏水而引起的灾害性后果。其次，引水隧洞施工技术对工程进度和成本控制至关重要。水利水电工程往往是具有施工时间要求的大型工程项目，施工期过长或超支会严重影响工程的经济效益和可行性。因此，高效的施工技术和进度管理对确保工程按时完成，控制施工成本起着重要作用。通过应用先进的隧洞施工和掌子面支护技术，可以提高施工效率和质量，进而节约工程成本。此外，引水隧洞施工技术对环境保护和社会责任具有重要意义。隧洞施工过程中会产生大量的施工废料等，如果不加以妥善处理 and 处置，可能会对周围的环境带来负面影响，破坏生态平

衡。因此，施工中需要采取有效的环境保护措施，如合理的废料处理、粉尘和噪音控制等，以最大程度地减少对环境的影响。值得关注的是，随着科技的发展和技术的创新，引水隧洞施工技术也在不断变革和进步。例如，数字化设计和虚拟现实技术的应用可以提前预测和解决难题；机器人和自动化设备的使用可以提高施工效率和安全性；环保型材料和施工工艺的应用可以减少对环境的影响。这些技术创新将进一步推动引水隧洞施工技术的发展，提高施工效率和质量。

## 2 引水隧洞施工关键技术分析

### 2.1 隧洞掌子面的开挖与支护技术

引水隧洞施工中，隧洞掌子面的开挖和支护是关键的一环。隧洞掌子面的开挖与支护技术直接关系到隧洞的稳定性和施工质量。以下是隧洞掌子面的开挖与支护技术的分析：首先，隧洞掌子面的开挖需要选择适当的开挖方法<sup>[1]</sup>。根据不同的地质条件和工程要求，可以采用不同的开挖方法，如爆破、机械掘进、盾构等。对于岩石地层，通常采用钻孔爆破的方法；对于软土或弱岩地层，采用机械掘进或盾构的方法更为常见。开挖方法的选择应综合考虑地质条件、施工进度和成本效益等因素。其次，隧洞掌子面的支护结构设计和施工是确保隧洞稳定的重要措施。根据地质条件和施工深度，选择相应的支护结构，如钢梁、钢拱架、混凝土衬砌等。施工过程中，需要确保支护结构的正确安装和紧密结合地层，以提供足够的支护和稳定性。同时，要注重支护结构与地层的相互作用，如考虑地应力分布和地层变形对支护结构的影响，并采取相应的措施进行调整和优化。此外，针对隧洞掌子面的开挖与支护，需要在施工过程中进行实时监测和控制。通过安装地质仪器、位移传感器和监测设备，对隧洞的变形和应力进行监测

和分析,及时发现和处理潜在的问题。在施工过程中,可以采用先进的遥感技术和无人机监测方式,实现对隧洞掌子面的实时监控和数据分析。

## 2.2 隧洞连续开挖与节段施工技术

隧洞连续开挖与节段施工技术是引水隧洞施工中的重要环节之一。这种施工方式可以显著提高施工效率,减少施工风险,同时确保隧洞的稳定性和施工质量。以下是对隧洞连续开挖与节段施工技术的分析:首先,隧洞连续开挖技术的应用可以大大提高施工效率。相较于传统的逐节施工方式,连续开挖技术可以减少不必要的施工停顿和重复工序。这种连续开挖的方式利用了机械化设备和自动化系统,实现了快速开挖和高效施工,从而节省时间和人力成本。其次,隧洞节段施工技术的应用可以降低施工风险。通过将隧道掌子面分割成多个节段,并针对每个节段进行施工,可以减小每个节段开挖的规模和施工难度,降低了对地质条件的要求和支护结构的压力。同时,施工过程中对周边环境的影响也得到了有效控制,减少了施工过程中可能发生的事故风险。另外,隧洞节段施工技术的应用可以更好地保证施工质量。在节段施工中,可以集中资源和精力进行针对性的施工,加强对每个节段的质量控制和监测。同时,通过逐节开挖和支护,可以及时调整节段施工计划,针对出现的地质问题或施工困难进行调整和优化,确保隧道的稳定和安全。最后,隧洞连续开挖与节段施工技术需要合理的施工规划和协调。施工规划需要考虑工程进度、资源分配、地质勘探和隧道设计等多个因素,并确保与施工环境的协调一致。施工过程中需要加强施工监测和管理,及时发现和解决施工问题,确保施工的顺利进行。此外,需要加强团队协作与沟通,确保施工过程中各方的配合和协调。

## 2.3 隧洞衬砌与防水技术

隧洞衬砌与防水技术是引水隧洞施工中的关键技术之一。隧洞衬砌是为了加固和保护隧道的稳定性和结构完整性,而防水技术则是为了防止隧道中的水渗漏和泄漏。以下是对隧洞衬砌与防水技术的分析:首先,隧洞衬砌技术的应用是确保隧洞结构的稳定和安全的关健措施。隧洞衬砌结构的选择和设计应综合考虑地质条件、工程要求和施工成本等因素。常见的衬砌材料包括混凝土、钢筋混凝土和预制混凝土构件等。施工过程中要注意衬砌的均匀性、密实性和连接性,以确保衬砌结构的完整性和稳定性。其次,防水技术在隧洞施工中起到了关键的作用。防水技术的应用可以防止地下水或表面水渗入到隧道内部,防止水压、水力冲击和水侵蚀对隧道

结构的损害。常见的防水材料包括聚合物涂料、防水膜和胶粘剂等。施工过程中要注意防水材料的选择、施工精度和质量监测,确保隧道的防水性能符合设计要求。另外,隧洞衬砌与防水技术的应用需要与地质条件和施工方法相结合。在地质条件较好的段落,可以采用简单的衬砌和防水材料;而在地质条件较复杂的段落,需要采用更加复杂和综合的衬砌和防水方案,如钢筋混凝土衬砌、预应力锚杆技术和层状防水结构等。通过合理选择灌浆材料、施工方法和封闭材料,可以提高隧洞结构的稳定性和安全性。然而,为了确保灌浆与封闭技术的有效应用,还需要充分考虑地质条件、施工进度,加强各施工环节的协调与管理,并注重施工质量的控制和监测<sup>[2]</sup>。通过合理应用灌浆与封闭技术,可以提高引水隧洞的运行可靠性和持久性,确保水利水电工程的顺利实施。

## 2.4 隧洞灌浆与封闭技术

隧洞灌浆与封闭技术是引水隧洞施工中的重要环节之一。灌浆和封闭是为了加固和保护隧洞结构,防止地下水渗漏和泄漏。以下是对隧洞灌浆与封闭技术的分析:首先,灌浆技术的应用是确保隧洞结构的稳定和完整的关键措施。隧洞施工完成后,通过灌注浆液材料,填充隧洞与围岩之间的缝隙,形成一层坚固的胶结体,提高隧洞结构的整体强度和稳定性。常见的灌浆材料包括水泥浆、砂浆、高性能聚合物等。施工过程中要注意灌浆材料的选择、施工质量和密实性,确保灌浆的均匀性和充实性。其次,封闭技术的应用可以有效防止水渗漏和泄漏。隧洞环境中的水渗漏和泄漏会对隧道结构和工程设备产生不利影响,甚至可能导致灾难性后果。封闭技术使用防水材料和结构,将水源和水体有效地隔离,保持隧道内部的干燥。常见的封闭材料包括防水膜、胶粘剂和注浆材料等。施工过程中要特别注意封闭材料的选择、施工质量和密封性。另外,在隧洞施工中,灌浆和封闭技术的应用需要与地质条件和施工进度相结合。在地质条件较好的段落,灌浆和封闭可以相对简单;而在地质条件复杂的段落,需要采用更复杂的灌浆和封闭方案,如压力灌浆、喷射灌浆和多层封闭结构等。

## 3 引水隧洞施工技术挑战与发展趋势

### 3.1 复杂地质条件下的施工挑战

引水隧洞施工技术在复杂地质条件下面临着一系列的挑战。复杂地质条件包括不均匀的地层结构、岩性变化、断裂带和地下水等,对隧洞的施工稳定性和工程质量提出了更高的要求。以下是对复杂地质条件下引水隧洞施工技术挑战的分析:首先,地质勘探和预测的不确定性增加了施工风险。复杂地质条件下,地层结构和

岩体特性常常变化多样,难以准确地预测和评估地质条件,从而给施工过程带来一定的不确定性。这需要加强地质勘探和预测的工作,采用先进的岩层探测技术和地质勘探手段,提高对地质环境的准确把握,减少地质因素对施工的影响。其次,复杂地质条件下的坚硬岩体或软弱地层都给隧洞的掌子面开挖和支护带来挑战。在坚硬岩体中,需要采用高能耗的爆破技术和高强度的支护结构,以克服其高强度和硬度带来的施工困难。而在软弱地层中,需要采用合适的支护材料和刚性结构,以提供足够的支护和稳定。因此,在复杂地质条件下,应选择适当的施工设备、技术和材料,以确保隧洞施工的稳定性和工程质量。另外,复杂地质条件下的地下水问题也是隧洞施工的挑战之一。地下水的渗流和涌浆可能引起隧道内部的不稳定和破坏,给施工工艺和施工材料选择带来困难。因此,在施工过程中需要采取适当的排水和防水措施,如防水材料的选择与施工、排水系统的设计与安装,以确保隧洞内部的干燥和稳定。面对这些挑战,需要加强地质勘探与预测,加强施工设计和质量控制,选择适当的施工设备和材料,并采取合适的排水和防水措施。随着技术的不断创新和发展,引水隧洞施工技术将进一步提高,以应对复杂地质条件下的挑战,并为水利水电工程提供更可靠的技术支持。

### 3.2 数字化与自动化施工技术的发展

引水隧洞施工技术面临着诸多挑战,数字化与自动化施工技术被广泛看作是应对这些挑战的发展趋势。以下是数字化与自动化施工技术的发展对引水隧洞施工技术的影响和作用。数字化施工技术是指利用数字化技术对施工全过程进行实时数据采集、处理和监控的技术。通过使用传感器、数据采集设备、无人机和激光扫描仪等先进设备,施工过程中的各项关键参数和指标可以被实时获取和监测。这样的数字化施工平台可以提供准确的施工数据和实时信息,帮助施工团队及时发现和解决问题,提高施工效率和质量。自动化施工技术是指利用自动化设备和机器人等自主控制系统进行施工作业的技术<sup>[3]</sup>。例如,自动化导向系统可以使施工设备在规定的路径和轨迹下进行准确操作,如自动处理机械和洞体掘进机械等。自动化施工技术可以提高施工的准确性、一致性和效率,并减少人力资源的需求,降低施工风险和人员伤亡的可能性。数字化和自动化施工技术的发展对引水隧洞施工技术带来了可观的改进机会。首先,数字化技术的应用可以实现对施工过程的精确控制和管理,提高施工质量,减少工时和人力成本。其次,自动化设备的应用可以实现部分施工作业自动完成,减少人员暴露于危险环境下的时间,降低了施工风险和人员伤亡的风险。随着数字化和自动化技术的不断发展,引水隧洞施工技术也逐渐朝着更智能化、高效化的方向发展。例如,在数字化施工平台上应用人工智能和大数据分析技术,可以实现对施工过程的自动化识别和预测,有效地优化施工计划和资源配置。同时,随着机器人技术的进一步发展,自动化设备将扮演更大的角色,提高施工的安全性、准确性和效率。

结语:本文对于水利水电工程引水隧洞施工技术进行了一定的分析和总结,并提出了一些思路和建议。随着中国现代化建设的不断推进,引水隧洞施工技术将面临越来越多的挑战和机遇。因此,在施工过程中需要加强管理,全面提升施工技术,加强创新研发,以适应未来水利水电工程建设需要。同时,应关注环境保护和可持续发展,将隧洞施工与环保有机结合,逐步实现低碳化和智能化建设,更好地服务于人民幸福生活和国家经济社会发展。

### 参考文献

- [1]陈永华,郑大庆,王文瑞.水利水电引水隧洞施工技术研究现状分析[J].工程建设与设计,2021,8(3):42-47.
- [2]杨旭东,王晓明,刘爱厚.水电工程引水隧洞施工技术的研究进展[J].水利水电技术,2023,54(1):1-6.
- [3]陈江华,王宝山,王洪波.水利水电引水隧洞施工中的防水技术研究[J].水利建设与管理,2023,50(3):48-52.