

# Challenges and Innovative Solutions for Hydraulic Engineering Construction under Complex Geological Conditions

Jihong Zhou

Huaian District River Down Water Conservancy Service Station, Huaian, Jiangsu, 223200, China

## Abstract

The purpose of this study is to explore the main difficulties encountered in water conservancy project construction under complex geological conditions and the innovative response strategies. Through the analysis of the impact of geological conditions on the construction progress, quality and safety, and in combination with current technical means, the adoption of digital technology, shield construction and intelligent equipment is proposed for innovation. The results show that the cross-disciplinary cooperation and technical integration during the construction process under complex geological conditions play a crucial role, effectively promoting the improvement of construction accuracy and efficiency, and strengthening project risk control. On this basis, the significance of green construction, intelligent development and sustainable goals is proposed, and the future development trend of optimization of water conservancy project construction technology and management mode is emphasized. The research shows that continuous innovation and technological integration are effective means to solve problems under complex geological conditions, which is conducive to the high-quality and safe construction of water conservancy projects.

## Keywords

Complex geological conditions; Hydraulic engineering; Construction challenges; Innovative technologies

# 复杂地质条件下水利工程施工难题及创新应对策略

周继红

淮安市淮安区河下水利服务站, 中国 · 江苏 淮安 223200

## 摘要

研究目的在于探究水利工程施工在复杂地质条件下所遇到的主要困难与创新应对策略。通过对地质条件对于施工进度、质量和安全影响的分析,并结合目前技术手段提出采用数字化技术,盾构施工和智能化设备进行创新。结果发现:复杂地质条件施工过程中多学科交叉合作和技术整合起着至关重要的作用,有效地促进了施工精度和效率的提高,强化了项目风险控制。在此基础上提出绿色施工,智能化发展以及可持续目标等重要意义,并强调今后水利工程施工技术以及管理模式优化发展趋势。研究表明:持续创新和技术融合是解决复杂地质条件问题的有效手段,有利于水利工程建设优质安全进行。

## 关键词

复杂地质条件; 水利工程; 施工难题; 创新技术

## 1 引言

复杂地质条件水利工程建设中往往会遇到很多挑战,例如地质灾害,地下水问题和地层不均匀性。这些因素在加大施工难度的同时,也会造成工程进度拖延,成本提高和质量安全隐患等问题。所以探讨行之有效的施工应对策略具有十分重要的意义。在科技不断进步的背景下,数字化勘察、盾构施工以及智能化设备等新型施工方法以及技术手段逐渐被运用到水利工程中,大大提高了施工效率以及施工质量。但是单一的技术手段通常很难处理复杂多样的地质环境问题,迫切需要多学科交叉合作及技术整合以达到更加全面准

确的施工管理及风险防控。文章旨在针对复杂地质条件水利工程施工中存在的困境进行探究,提出创新性应对策略,以多学科协同创新促进水利工程施工技术进步及发展,保障项目顺利进行及可持续性发展。

## 2 复杂地质条件对水利工程施工过程的影响

### 2.1 地质条件复杂特点明显

复杂地质条件对水利工程施工具有地层不均匀性,岩土特性多样性,水文气候不可预测性等特点。各地地质结构千差万别,普遍存在软弱岩层、断层带、滑坡区和地下水富集区<sup>[1]</sup>。软土、砂土及其他不稳定地层往往会引起基础沉降和裂缝,同时断层及断裂带会加大施工不确定性并可能诱发工程塌方或者地面沉降及其他严重后果。另外地下水渗流问题往往使施工环境变得复杂,加大防渗防水技术要求。

【作者简介】周继红(1972-),男,中国江苏淮安人,本科,工程师,从事水利工程建设与管理研究。

## 2.2 地质条件给施工进度与施工质量带来了挑战

复杂的地质条件给水利工程的施工进度与施工质量带来了明显的挑战。地质灾害如滑坡、地震等自然现象会造成施工计划严重拖延和现场安全隐患加大。软弱地层或者地下水位的改变还会使基础施工的难度大大增加，甚至会对工程整体结构稳定性造成影响<sup>[2]</sup>。另外地下水渗流、岩土层不均等，都将对施工质量产生直接影响，从而引起结构物沉降或形变。传统的施工方法往往不能有效地处理不稳定地质环境下的上述问题，需要依靠更准确的勘探技术和先进的施工设备来帮助解决。

## 2.3 典型复杂地质条件下的实例研究

在典型的复杂地质环境中进行的水利工程施工实例，展现了各种地质条件对工程执行的多方面影响。以某水库建设项目为例，该项目地质构造比较复杂，软弱岩层和断层带较多，在施工期间多次出现地面沉降、滑坡等问题，极大地影响着工程的施工进度和施工质量<sup>[3]</sup>。另一则是某地下水库施工遇到高水位区段地下水渗流量大导致施工基坑稳定性很难得到保障。这些实例中地质灾害，地下水变化与岩土特性交织在一起，加大了建设的不确定性与危险性。

## 3 普遍存在水利工程建设困难

### 3.1 地质灾害和水文条件不确定

地质灾害和水文条件不确定是水利工程施工所面临的主要难题之一。在复杂的地质环境中，滑坡、崩塌、地震等地质灾害的频繁发生，对施工安全及工程进度产生了直接影响。水文条件不稳定，特别是地下水位的波动和渗流变化往往会引起土体结构和工程基础不确定<sup>[4]</sup>。在这种情况下，常规地质勘察方法很难对复杂环境下可能存在的风险进行综合预测，对工程施工造成了很大的隐患。为解决这一难题，需要使用更加准确的勘察技术例如遥感监测，地质雷达以及钻探深度测试，并与实时水文数据相结合，开展动态监控及评价，实现施工期突发地质灾害预警及应急处置。

### 3.2 岩土工程方面的问题

岩土工程问题是复杂地质条件水利工程建设中常以滑坡、沉降等地质灾害出现。此类问题的出现不仅会对施工安全造成直接的影响，而且会造成项目工期的拖延，工程质量也很难得到保障。滑坡现象一般出现于山地或者坡地等软弱地层区域中，很容易被降水、震动等外界因素所诱发。软土地基区域经常出现沉降问题，当沉降严重时，可能会导致结构物的不均匀沉降，从而影响水利设施的稳定性和使用功能。

### 3.3 地下水渗流及施工环境改变

地下水渗流及施工环境变化，是复杂地质条件水利工程建设面临的主要困难之一。水利工程施工期地下水渗流性对施工区稳定性和安全性有着直接的影响<sup>[5]</sup>。地下水位改变、渗透性土层存在，施工期水源引入都会造成地基沉降，

滑坡或者渗漏。施工环境特别是季节性水位波动或者极端气候条件等因素的改变进一步增加了这种风险。为了解决这一难题，需要利用先进水文地质勘探技术准确把握地下水流动规律的同时，强化施工期水流控制与排水系统设计以保证施工环境稳定。

## 4 创新技术手段运用于建设

### 4.1 数字化技术和地质勘察的准确性得到了提高

数字化技术在地质勘察中的运用，显著提升了地质勘察工作的准确性和效率。利用高精度遥感技术，地质雷达及三维地质建模等技术可以实现复杂地质情况下的准确识别和分析。这些技术手段可有效地获得地下岩土层详细资料，继而准确地预测出施工中可能出现的各种地质问题。相对于传统手段、数字化勘察在降低人为误差的同时，可以实现大范围区域实时监测和数据更新。通过数字化地质数据库的建立，使施工团队在建设之前就能制定出较为科学的设计方案和应急预案，从而减少工程风险和实现施工资源的优化配置。

### 4.2 盾构技术及软弱地层施工技术

盾构技术是地下工程施工的核心技术，特别是在软弱地层情况下显示出了重要的优越性。软弱地层通常由于其承载力低和易变形的特性对施工提出了巨大的挑战。盾构机在该环境下能有效地控制施工时对地层的扰动，降低施工对周边环境的影响，特别适用于复杂地质情况，盾构技术能确保施工安全和提高精度。另外盾构机密闭式施工方式还可以有效地处理地下水渗流及其他问题，避免水土流失和地面沉降的不利后果。伴随着科技的发展，软弱地层盾构技术的运用也在不断地优化，促进水利工程建设高效、安全、环保地落实，大大提高项目的可行性和经济性。

### 4.3 对智能化施工设备进行了应用和优化

在复杂地质条件中，智能化施工设备的使用，已经逐步成为促进水利工程建设高效，优质进行的重要途径。智能设备通过集成传感器，人工智能和大数据技术可以对施工现场地质变化和施工状态进行实时监控，以达到精确控制和动态调整的目的。具体应用主要有智能化钻探设备，自动化盾构机以及无人机巡检，在提升施工过程安全性与精确性的同时，也能够有效降低人为操作失误以及实现资源的优化配置。另外智能设备优化升级也促使设备在建设过程中适应能力与协同作业能力持续增强，促进水利工程朝着更加高效、绿色与智能化方向迈进。

## 5 创新应对的策略和方法

### 5.1 多方案比选和风险评估机制

面对地质环境的不确定性，进行多方案比选可以有效地鉴别不同施工方案优劣，保证选择出最优方案并付诸实践。在这一过程中风险评估机制发挥了关键作用，它能对各种方案可能产生的地质风险，经济风险和社会影响进行系统

评估,有助于决策者在多重约束下进行理性决策。通过对风险进行量化和系统化评价,施工单位可以预见到实际建设中可能出现的难点,提前做好应对预案以减少建设过程突发性风险,从而提高项目安全和建设效率。

### 5.2 综合治理和生态保护协同战略

通过科学地评价工程建设可能对周围生态环境造成的影响,可在设计阶段就对施工方案进行优化,以保证合理地利用资源和最小限度地干扰环境。建设期间要强化土壤保持,水源保护与生态恢复等措施,并采取生物化学加固与植被恢复等绿色施工技术以降低项目对生态系统造成的损害。同时结合地质特征开展风险预测和监测,并实行动态调控以保证生态修复和治理的同步。

### 5.3 增强施工人员专业培训和应急响应能力

当遇到突发地质灾害或者不确定水文条件下,施工人员应急处理能力的高低直接关系到工程的安全和进度。专业培训要注重地质灾害预判和处置,并结合现代技术手段,提高施工人员破解各种施工难题能力。另外,建立应急响应机制还需重视实战演练和改进应急响应方案,以保证灾后能迅速有效采取措施。

## 6 在今后水利工程施工中具有前瞻性

### 6.1 绿色施工可持续发展

水利工程施工在注重工程质量及安全的同时也需要考虑环境保护及资源节约问题。复杂地质环境下,应用高要求,节能环保绿色施工技术能够有效降低生态环境负面影响。例如通过准确的地质勘察以及数字化技术来合理地规划施工方案以避免地质结构以及水文环境受到损害。另外在建设过程中还应采用可回收材料、减少能源消耗、实行水资源再利用,以促进建设过程可持续性。

### 6.2 智能化自动化施工趋势明显

随着人工智能,物联网以及大数据的日趋成熟,建设过程数据采集,分析及决策能力显著增强。引进自动化设备,特别对复杂地质条件进行精准施工及监测,明显提高施工效

率和安全性。无人机,机器人和自动化施工机械这类新型设备可以有效地应对传统人工难以战胜的复杂环境和降低人工操作所造成的危险。同时该智能化系统对施工环境进行实时监控,发现可能存在的问题,对施工方案进行优化调整,确保工程的质量与进展。

### 6.3 多学科交叉合作技术整合等方面展望

通过将地质学、岩土工程、水利工程和信息技术多学科进行深度整合,能够实现更加准确的地质勘察,更加有效的施工方案设计和更加综合的风险评估。这一跨学科合作既可以有效地解决建设中存在的各种复杂难题,又可以提高项目整体效率和安全性。在未来人工智能,物联网和大数据等新技术的发展背景下,水利工程施工会更多依靠各个领域技术之间的相互补充和结合,促进工程质量和管理水平不断提高。

## 7 结论

复杂地质条件的水利工程施工中面临着很多挑战,例如地质灾害、地下水渗流以及岩土问题等等。为了解决这些难题,采用创新技术手段就变得格外关键,特别是数字化勘察,盾构技术以及智能化设备等的使用,极大地提升了施工精准度以及效率。另外通过地质学、岩土工程和信息技术的协同合作,多学科交叉合作和技术整合也为复杂问题的解决提供新途径。在绿色施工理念不断推广以及自动化、智能化技术不断发展的背景下,只有持续推动技术创新和管理模式优化,才能够有效处理复杂地质条件建设困境,从而实现水利工程建设高质量发展。

### 参考文献

- [1] 孟博霞. 复杂地质条件下水利工程深基坑复合支护施工技术[J]. 河南水利与南水北调,2025,54(09):40-41.
- [2] 慕娟. 复杂地质条件下水利工程基础灌浆施工技术要点研究[J]. 水上安全,2025,(17):174-176.
- [3] 周立忠,李绍平,杨永存. 水利工程复杂地质条件下防渗帷幕灌浆施工技术[J]. 云南水力发电,2025,41(03):128-132.