

# Application and Development of Theoretical System of Hydraulic, Environmental, Geological and Geotechnical Engineering

Anping Dai Jun Wang Chengfeng Wang

The Second Geological Brigade of Hubei Provincial Geological Bureau, Enshi, Hubei, 445000, China

## Abstract

In the face of global development, especially the demand for infrastructure construction and ecological environment protection, the theoretical system of hydrogeological and geotechnical engineering plays an increasingly important role in the development and engineering application of hydrogeological and geotechnical engineering resources. With climate change, frequent extreme disasters, and underground space development, new requirements have been put forward for traditional theoretical systems. Based on the dual perspectives of engineering practice and theoretical innovation, this article systematically summarizes the core content of the theoretical system of hydraulic engineering, environmental geology, and geotechnical engineering, analyzes their application status in water conservancy and hydropower engineering, urban underground space development, geological disaster prevention and control, and explores cutting-edge development directions such as intelligence and interdisciplinary integration. Research has found that building a dynamic, precise, and sustainable theoretical application system is key to addressing the complex demands of future engineering. The coordinated development of theoretical innovation and technological innovation can promote the industry to move towards a higher level.

## Keywords

hydraulic engineering; environmental geology; Geotechnical engineering; Theoretical system; Engineering applications; development trend

## 关于水工环地质及岩土工程理论体系应用与发展

戴安平 王俊 王承锋

湖北省地质局第二地质大队, 中国·湖北 恩施 445000

## 摘要

面对全球发展,特别是基础设施建设与生态环境保护需求,水工环地质与岩土工程理论体系在水工环地质与岩土工程资源开发与工程应用中发挥着日益重要的作用。随着气候变化,极端灾害频发,地下空间开发等对传统理论体系提出了新的要求。本文基于工程实践与理论创新双重视角,系统梳理了水工环地质与岩土工程理论体系的核心内容,分析其在水利水电工程、城市地下空间开发、地质灾害防治等领域的应用现状,并探讨智能化、多学科融合等前沿发展方向。研究发现,构建动态、精准、可持续的理论应用体系,是应对未来工程复杂需求的关键。通过理论创新与技术革新协同发展,可推动行业向更高水平迈进。

## 关键词

水工环地质; 岩土工程; 理论体系; 工程应用; 发展趋势

## 1 引言

水工环地质与岩土工程作为土木工程的重要学科分支,各自分别强调地质环境、水文地质条件和岩土性质对工程建设的影响,共同构成工程建设与环境可持续发展的基础理论。随着近年来我国“新基建”理念的实施、“双碳”目标的提出、“城市更新”行动计划的推进,都对水工环地质与岩土工程理论体系提出了新的挑战与要求。传统的水工环地

质与岩土工程理论体系并不能完美解决当今社会所面临的深部地下空间开发问题、极端自然灾害风险问题以及其他生态敏感区工程建设问题。在西南地区高山大岭地区,由于地质复杂、高地应力的作用,传统的工程勘察与设计方法难以准确预测工程风险;在城市地区的地下空间开发,涉及到地下水与岩土体共同作用,而目前对含水层与松散岩土体两者之间关系缺乏足够的理论研究支持。在此背景下,如何通过理论创新与技术融合,构建更适应新时代需求的理论应用体系,成为行业亟待解决的问题。

【作者简介】戴安平(1977-),男,中国湖北潜江人,本科,工程师,从事地质灾害防治、工程地质、环境地质研究。

## 2 水工环地质及岩土工程理论体系的核心内容

### 2.1 水工环地质理论体系

水工环地质理论研究的是地质环境、水文地质和工程地质之间的相互关系，其内容主要包括地质体结构、地下水、地质灾害等。地质体结构研究的是地质体内部构造和内部组成，其理论包括地层学、构造地质学等。它与工程地质、水文地质等理论密切相关，主要研究岩体的完整程度、土体的层位对于工程的稳定性影响等，如大江大河的枢纽选址，需运用地质体结构理论分析断层、岩层产状对于坝基稳定性的影响等。水文地质研究的是地下水的存在、运动和与工程的相互作用。地下水渗流是其主要内容，通过达西定律等可以预测地下水的渗流状态，进而为基坑降水的防治、水库的渗防等提供理论指导。同时，地下水与岩土体的化学作用（如岩溶发育、土体盐渍化）也是水工环地质研究的重要方向。工程地质理论则强调地质条件对工程建设的适宜性评价。该理论通过工程地质勘察、原位测试等手段，分析地质灾害风险、地基承载力等问题，为工程设计提供基础数据。例如，在山区公路建设中，需运用工程地质理论评估滑坡、泥石流等灾害风险，优化线路方案<sup>[1]</sup>。

### 2.2 岩土工程理论体系

岩土工程理论以岩土体的力学特性为基础，构建了从材料本构关系到工程结构设计的完整理论框架。在岩土力学方面，弹性理论、塑性理论和流变理论是描述岩土体力学行为的重要工具。例如，莫尔-库仑强度理论用于分析土体的抗剪强度，为边坡稳定性计算提供理论支持；流变理论则可解释软土在长期荷载作用下的变形特性。地基处理与基础工程理论是岩土工程的关键应用领域。针对不同地质条件，发展出换填法、强夯法、桩基础等多种处理技术。例如，在软土地基处理中，真空预压法通过降低土体孔隙水压力，加速土体固结，提高地基承载力。地下工程理论涉及隧道、地下洞室等结构的设计与施工。新奥法（NATM）是地下工程的经典理论，强调利用围岩的自承能力，通过喷锚支护等手段维持围岩稳定。随着技术发展，数值模拟方法（如有限元分析）也成为地下工程设计的重要工具，可模拟复杂地质条件下的围岩变形与支护结构受力<sup>[2]</sup>。

## 3 水工环地质及岩土工程理论体系的应用

### 3.1 水利水电工程中的应用

在水利水电工程建设中，水工环地质与岩土工程理论体系贯穿项目全周期。以白鹤滩水电站为例，其坝基建设面临高拱坝设计与复杂地质条件挑战，坝址区的柱状节理玄武岩结构复杂、完整性差，严重威胁坝基稳定性。工程团队综合运用地质体结构分析、渗流场模拟和岩石力学试验等手段。通过详细地质勘察构建地质体结构模型，分析其力学性能；利用渗流场模拟技术预测不同工况下的坝基渗流情况，评估渗漏风险并制定防渗方案。岩土工程理论在大坝基础处

理中发挥关键作用。工程采用混凝土置换技术，将性能差的岩石替换为高强度混凝土，改善坝基力学性能；运用预应力锚固技术对岩体施加预应力，提升岩体整体性与抗剪强度，增强坝基承载能力。在水库诱发地震预测方面，水工环地质理论通过长期监测库区地质构造、地下水动态变化，结合历史地震资料，建立地震风险评估模型。利用先进监测技术实时获取地质结构变形与地下水参数，预测地震可能性与强度，保障工程安全运行。实践表明，理论体系的精准应用是白鹤滩水电站成功建设与安全运行的核心要素。

### 3.2 城市地下空间开发中的应用

随着城市地下空间开发进程的加快，其与水工环地质、岩土工程的理论体系碰撞、交汇，盾构是地铁隧道建设常用的开挖方法，但是由于富水软土地层地下水渗流与土体变形的相互耦合作用，在开挖时往往发生隧道地面沉降。以上海地铁为例，上海地铁工程建设所在的长江三角洲冲积平原地区，主要地层为富水软土，地质条件比较复杂，工程人员建立流固耦合模型，考虑地下水渗流和土体变形的相互作用，通过数值模拟计算盾构施工过程中渗流场和应力应变场的变化，合理地预测地面沉降范围和程度，并结合岩土工程注浆加固，在基坑开挖时对地层注浆，改善土体的力学性能，提高土体的抵抗变形能力，保证地面建筑物和地下管线不受损失<sup>[3]</sup>。岩土工程理论在地下综合管廊建设中的指导作用体现在对岩石地基的处理和结构设计方面。根据地质情况的不同，工程人员选择不同的基础形式：地基基础施工在软土地质中采用桩基础，将管廊荷载传递到地基以下相对坚硬的土层，提高地基基础承载力；地基土层相对较厚，传压均匀的土体中采用筏板基础，扩大基底面积，将荷载传递到各层均质土地中，保证管廊结构稳定。

### 3.3 地质灾害防治中的应用

地质灾害防治是水工环地质与岩土工程的理论与实践相结合的领域，是关系人身生命财产安全和生态稳定的重要工作。在滑坡治理中，确定滑坡体结构和滑动面位置是关键。采用工程地质调查方法，通过地质、钻探、物探等方法确定滑坡体的岩土性质、地质构造、地下水的有关情况，绘制滑坡体地质剖面图，确定滑动面的位置和形态。计算滑坡推力是滑坡治理中的重要环节。采用岩土力学理论，建立滑坡体力学模型，综合考虑滑坡体重量，岩土体抗剪强度，地下水压力等因素，运用极限平衡理论、数值分析方法等方法计算滑坡推力大小和方向，为滑坡治理工程提供设计依据。根据计算结果，设计抗滑桩、预应力锚索等防治工程。

对于泥石流，水工环地质生产通过分析流域的地质情况、降水情况等方面，对泥石流形成、发展以及变化趋势进行预测，通过分析流域内的岩石、地质、地形等相关地质条件，对松散固体物质的来源、储备量等进行确定；结合当地的实际降雨情况，对降水强度、历时等相关因素进行分析，确定当地泥石流形成的趋势，建立泥石流预测模型，对泥石

流灾害的到来进行提前预警。岩土工程设计则是通过拦挡坝、排导槽等工程对泥石流进行拦截、导引等。氏挡坝主要通过泥石流中的固体物质进行拦截，从而降低泥石流的流速、减缓泥石流的规模；排导槽是使泥石流按照预先设计的轨道流动，避免对重要建筑物、居民区等的破坏。通过对拦挡坝、排导槽等工程的设计、施工，对泥石流灾害进行控制，减少泥石流灾害的损失。在实际工程中，水工环地质与岩土工程的科学、实用技术理论得到了较为充分的展现，为地质灾害的防治工作提供了科学依据。

## 4 水工环地质及岩土工程理论体系的发展趋势与创新方向

### 4.1 智能化与数字化技术融合

随着科技快速发展，人工智能技术、大数据、物联网技术应用到了水工环地质及岩土工程领域中，智能化、数字化是未来这些领域理论体系发展的必然趋势。地质勘查方面，无人机航测技术、探地雷达技术对监测数据的精准获取及高效处理能力大幅度提高。无人机航测技术可对指定区域进行大范围的地形地貌监测，利用多光谱影像可对地物进行岩土识别，利用探地雷达可对地下地质结构进行探测，通过二者的智能计算可实现地质体结构的智能重建。工程监测方面，光纤传感技术、无线传感器网络对岩土体形变、地下水流变等监测数据的高精度实时监测及高准确率预测。分布的光纤传感技术可实现沿传感线路对土体应变进行实时监测，精度达到微应变级；无线传感技术可利用各种小型传感器设备对恶劣环境进行监测，同时获取温湿度、形变率等数据信息。通过大数据技术对监测数据进行挖掘分析，可实现工程安全检测预警模型构建<sup>[4]</sup>。

### 4.2 多学科交叉与理论创新

涉及水工环地质与岩土工程理论，必须多学科结合，才能提高地质灾害的预测精度，比如，在预测地质灾害时，应用气象学、水文的知识，提出气候-地质耦合的预警模型，可以提高预测的精度，在暴雨滑坡的预测中，通过降雨的预报，由水文学模型分析地下水位变化，再由岩土力学模型分析土体稳定状态，从而确定滑坡的发生时间和规模，避免灾害发生和减少人员伤亡。材料科学的发展，也为岩土工程提供了新材料，纳米复合材料具有较高的强度和韧性，在提高土体的力学性能方面有着广阔的应用前景，微生物注浆材料，通过微生物的代谢作用，产生碳酸钙沉淀，可以稳定土体，为地基处理提供绿色解决方案。理论创新方面，多场耦

合理论是岩土工程的创新理论，地下岩体受到高温、高压和复杂的渗流的影响，需要考虑热-流-固耦合，通过数值模拟，建立多场耦合模型，模拟温度场变化和流体渗流对岩体力学性能和岩体应力状态的影响，提高资源的开采效率和开采安全性。尤其针对核废料的地质处置、地下储存等新领域，多场耦合理论正稳步推进，不断完善和发展<sup>[5]</sup>。

### 4.3 可持续发展与生态保护导向

“双碳”目标和生态文明建设要求下，理论基础更迭，更强调可持续发展和生态环境的保护。在工程立项阶段，绿色土方工程技术措施应用较广。如将建筑垃圾作为再生骨料，用于地基处理，减少填方量，同时减少天然砂石开采，达到资源循环利用。在水利工程当中，生态护坡技术融合了植物措施和工程结构，在边坡防护的同时，利用生态袋设置，在生态恢复方面提供帮助。环境影响评价与控制体系逐步建立。如通过建立环境承载力评价体系，从地下水、土壤、植被等方面评估工程对生态环境的影响；在矿产业发展当中，采用原位修复技术等处理污染土壤和地下水，利用微生物和植物实现土壤污染修复，减少对地质环境的破坏；工程规划阶段要遵守生态红线，如在风电场选址时，避开鸟类迁徙和栖息地，实现资源利用和生态保护协调发展。

## 5 结语

水工环地质与岩土工程理论作为工程建设的重要支撑，新时期下面临着机遇与挑战，智能化、多学科、可持续发展是理论体系发展的必然趋势，加强技术融合与多学科研究，建立更具有适应、超越和引领性的理论应用体系，是今后的发展方向；针对气候变化、资源约束等全球性问题，加强保障工程安全、促进生态和谐发展的理论体系建设，为人类社会提供强有力的技术支撑和理论支撑。

### 参考文献

- [1] 尹翔龙.当代水工环地质及岩土工程理论体系运用和发展研究[J].世界有色金属,2021,(20):187-188.
- [2] 王守彪.当代水工环地质及岩土工程理论体系应用与发展[J].冶金与材料,2021,41(03):161-162.
- [3] 金海华,陈和聪.当代水工环地质及岩土工程理论体系的应用与发展[J].工程建设与设计,2021,(06):40-41.
- [4] 潘永志.浅议水工环地质及岩土工程理论体系应用与发展[J].中国科技投资,2021,(08):151-152.
- [5] 朱国武.关于水工环地质及岩土工程理论体系应用与发展[J].智能城市,2020,6(17):39-40.