

水文地质工程地质环境地质的科技发展浅析

王鹏飞 桂云飞

河北省地球物理勘查院（河北省浅层地热能研究中心） 河北 廊坊 065000

摘要：文章浅析了水文地质、工程地质与环境地质领域的科技发展。随着大数据、人工智能等技术的融入，三大地质学科在监测手段、数据分析、模型预测等方面取得显著进展。水文地质研究深化地下水循环与环境的关联；工程地质通过智能化设计施工提升了工程安全性；环境地质则注重生态保护与修复技术的创新。多学科交叉融合成为趋势，共同推动地质科学向更加精准、高效、可持续发展的方向发展。

关键词：水文地质；工程地质；环境地质

引言：随着全球气候变化和人类活动的加剧，水文地质、工程地质与环境地质问题日益凸显，对自然生态、工程建设及人类生活产生了深远影响。科技的飞速发展，尤其是大数据、人工智能等新兴技术的应用，为这些地质领域的探索与研究提供了前所未有的机遇。本文旨在浅析水文地质、工程地质与环境地质领域的科技发展现状与趋势，探讨科技进步如何助力解决地质问题，促进人与自然的和谐共生。

1 水文地质领域的科技发展

1.1 水文地质勘察技术的进步

早期，水文地质调查主要以打井取水为目的，侧重于实现较高的单井出水量，随着工业革命的到来，全球对水资源的需求急剧增加，对地下水赋存条件及运动规律的认识需求也变得更加迫切。1856年，法国水利工程师达西（Henry Darcy）通过室内试验建立了达西定律，为水文地质调查从定性分析进入定量研究奠定了基础。进入20世纪中叶，随着地球系统科学的快速发展和地下水流系统理论不断完善，数值解析、同位素分析等技术方法相继引入水文地质调查，极大地促进了水文地质问题的定量求解和地下水定年及来源的确定。近年来，随着对地下水超采、地下水污染、地面沉降、海水入侵、地下水依赖型生态系统退化等问题的高度关注，水文地质勘察技术迎来了新的发展阶段。航空测量、卫星监测、多源地球物理探测、水文地质场地试验、同位素示踪、数值模拟模型等多技术方法的联合应用，成为水文地质调查技术的新方向。其中，地下水分层勘查新技术是中国地质调查局水文地质环境地质调查中心自主研发的一项具有完全自主知识产权的技术。该技术通过一孔同径分层成井、含水层可控性封隔、单孔多层自动化监测等手段，实现了“分层成井—分层洗井—分层抽水—分层采样—分层监测”的地下水分层精细勘查新模

式。该技术不仅提高水文地质勘探工作的效率，还实现对水文地质参数的精细刻画，为科学评价合理开发地下水资源提供重要技术支撑。

1.2 水资源评价与管理的科技支撑

在水资源评价与管理方面，科技的进步同样发挥了至关重要的作用。智慧水利技术的兴起，特别是数字孪生技术的引入，为水资源管理带来了革命性的变革。智慧水库作为智慧水利的重要组成部分，通过运用物联网、大数据、云计算、人工智能等现代信息技术，实现了对水库防洪、兴利、生态、管理等各方面的智能化改造和升级^[1]。数字孪生技术能够基于大量历史数据和实时监测信息，构建水库及其周边环境的精细化数字模型，实现水流、水质、水位、气象等多维度参数的精确模拟与预测。智慧水库建设还实现了全景式监控与管理，管理者能够在统一的平台上直观、全面地掌握水库的运行状况。无论是大坝安全监测、水资源分配，还是水质监测、生态保护，都能实现远程、实时、精准的管理。

1.3 地下水污染防治的科技手段

地下水污染防治是水文地质领域的重要课题之一。随着工业化、城市化的加速推进，地下水污染问题日益严峻。为了有效防治地下水污染，科技手段的应用显得尤为重要。一方面，通过建立各种物理屏障来防止污染物进一步扩散蔓延，常用的方法包括灰浆帷幕法、泥浆阻水墙、振动桩阻水墙、块状置换、膜和合成材料帷幕圈闭法等。这些方法可以在地下水流的下游挖设足够深的沟道，布置收集系统，将水面漂浮的污染物质或受污染的地下水收集起来以便处理。另一方面，采用抽出一处理法、水动力控制法和原位生物修复等技术手段对受污染的地下水进行治理。抽出一处理法根据污染物类型和处理费用分为物理法、化学法和生物法三类，通过井群系统建立关键控制点，对受污染的地下水进行抽取并

处理。水动力控制法则通过抽水或向含水层注水，人为地区别地下水的水力梯度，将受污染水体与清洁水体分隔开来。原位生物修复则是通过添加氧和营养物等刺激原生微生物的生长，强化污染物的自然生物降解过程。

2 工程地质的科技发展

2.1 勘察与测试技术的革新

工程地质的勘察与测试技术是保障工程安全与稳定性的基石，随着科技的进步，这一领域正经历着深刻的变革。传统的工程地质勘察多采用野外调查、地质测绘等手段，虽然能获取基础的地质信息，但在精度和效率上存在不足。近年来，随着遥感技术、地理信息系统（GIS）、全球定位系统（GPS）以及无人机等先进技术的引入，工程地质勘察工作迎来了新的突破。遥感技术利用卫星或无人机拍摄的高分辨率图像，结合地面控制点，能够快速获取大面积区域的地质信息，大大缩短了勘察周期^[2]。GIS则将这些信息进行整合与分析，形成直观的三维地质模型，为工程师提供了全面、准确的地质依据。GPS技术的普及，使得野外定位更加精确，有助于精准布置勘探点和取样点。勘察与测试技术还包括了多种原位测试和取样技术。如静力触探、动力触探、标准贯入试验等，这些技术能够直接测量岩土体的物理力学性质，为工程设计提供可靠参数。随着测试设备的不断升级和测试方法的不断创新，这些原位测试技术的精度和适用性也在不断提高。

2.2 岩土工程设计与施工技术的智能化

岩土工程设计与施工技术是工程地质领域的核心。随着科技的进步，这一领域正逐步向智能化方向发展。有限元分析、数值模拟等现代计算技术为岩土工程设计提供了强大的分析工具。在施工技术方面，机械化、自动化和智能化成为了发展的主流趋势。如隧道工程中使用的盾构机、TBM（全断面岩石隧道掘进机）等先进设备，大大提高了施工效率和质量，远程监控、自动化控制系统等智能化技术的应用，使得施工过程更加安全可控。环保型材料和施工工艺的研发也取得了显著进展，随着社会对环境保护要求的不断提高，绿色、低碳、可持续发展理念日益深入人心。在岩土工程中，采用环保型材料、优化施工工艺、减少废弃物排放等措施，成为了行业发展的新方向。

2.3 地质灾害防治技术的提升

地质灾害防治是工程地质领域的重要任务之一。随着科技的进步，地质灾害防治技术也得到了显著提升。传统的地质灾害防治手段主要包括工程治理和生物治理两大类。工程治理主要通过修建各种治理性和防护性的

工程措施来减轻或消除地质灾害的危害，如抗滑桩、排水沟、挡土墙等。生物治理则利用植被的固土护坡作用来防治水土流失和滑坡等地质灾害。近年来，随着地质雷达、激光扫描、无人机航拍等新技术的应用，地质灾害的监测预警能力得到了显著增强。这些技术能够实时监测地质灾害隐患点的变化情况，提前发出预警信号，为防灾减灾工作提供有力支持。地质灾害防治技术还不断向智能化、综合化方向发展。

3 环境地质的科技发展

3.1 地质环境调查与评价技术的精进

在环境地质领域，地质环境调查与评价是理解自然环境与人类活动相互作用关系、评估地质资源与环境承载能力的基础。随着科技的飞速发展，地质环境调查与评价技术正经历着前所未有的变革。现代遥感技术的广泛应用，使得地质环境调查从传统的地面调查扩展到空中乃至太空。高分辨率卫星影像、无人机航拍等技术手段，能够快速、全面地获取地表及浅部地质环境信息，极大地提高了调查效率和覆盖范围，结合地理信息系统（GIS）的强大空间分析能力，可以实现对地质环境数据的集成、管理与可视化表达，为科学评价地质环境提供了坚实的数据基础。在评价技术方面，数值模拟、大数据分析等先进方法的应用，使得地质环境评价更加精准、深入。通过建立地质环境模型，模拟不同情景下地质环境的变化趋势，可以预测和评估地质灾害、资源开采、环境污染等活动的潜在影响。结合环境经济学、生态学等多学科理论，构建综合评价体系，能够全面评估地质环境的社会、经济、生态价值，为科学决策提供依据^[3]。

3.2 地质环境保护与修复技术的创新

地质环境保护与修复是环境地质领域的重要任务之一。在地质环境保护方面，生态修复技术、地下水污染防治技术等取得了显著进展，生态修复技术通过植被恢复、土壤改良等手段，重建受损生态系统的结构和功能，恢复其自我维持能力。地下水污染防治技术则利用物理、化学、生物等多种方法，有效控制地下水污染源的扩散，修复受污染的地下水体，随着纳米技术、生物技术等新兴技术的引入，地质环境保护手段更加多样化和高效化。在地质环境修复方面，工程修复技术与生物修复技术相结合，形成了多种综合修复模式。工程修复技术如土壤固化稳定化、污染场地填埋场修复等，通过物理或化学手段直接处理污染物质，快速恢复地质环境的功能。生物修复技术则利用微生物、植物等生物体的代谢活动，降解或转化污染物质，实现地质环境的自然恢复。

3.3 地质环境与社会发展的和谐共生

随着人口增长、城市化进程加速和工业化程度提高,人类活动对地质环境的影响日益加剧,实现地质环境与社会发展的和谐共生成为了环境地质领域的重要课题。在这一背景下,地质环境科技发展的方向逐渐转向绿色、低碳、循环等可持续发展理念。通过科技创新推动地质资源的高效利用和循环利用,减少资源开采和环境污染对地质环境的负面影响,加强地质环境监测预警和风险评估体系建设,提高应对地质灾害等突发事件的能力,保障人民生命财产安全和社会稳定。地质环境科技还积极参与城市规划和建设过程。通过地质环境调查与评价结果的科学应用,指导城市地下空间合理开发利用、防灾减灾规划制定等工作,推动地质环境信息公开和公众参与机制建设,增强公众对地质环境保护的意识和责任感,形成全社会共同关心、支持和参与地质环境保护的良好氛围。

4 水文地质、工程地质和环境地质的科技融合发展

4.1 多学科交叉融合的趋势

在地质科学领域,水文地质、工程地质与环境地质作为三大重要分支,正日益展现出多学科交叉融合的发展趋势。这一趋势源于地质问题本身的复杂性和综合性,以及科技进步带来的新方法和新视角。随着研究的深入,人们逐渐认识到,水文地质过程、工程地质稳定性以及环境地质变化之间存在着紧密的联系和相互影响。例如,地下水的流动与分布不仅影响土壤的稳定性,还直接关系到生态环境的健康;而工程活动如地下空间开发、矿产资源开采等,又可能引发或加剧水文地质和环境地质问题。因此将这三个领域的知识和技术进行有机融合,成为解决复杂地质问题、实现可持续发展的重要途径。多学科交叉融合不仅促进了理论研究的深入,也推动技术创新和应用实践的发展。通过整合不同学科的研究方法和手段,可以更加全面、深入地揭示地质现象的本质和规律,为工程实践提供更加科学、合理的指导。

4.2 大数据与人工智能在三个地质领域的应用

大数据与人工智能技术的快速发展,为水文地质、工程地质和环境地质的科技融合发展注入了新的活力。

这些先进技术以其强大的数据处理能力和智能分析能力,正在深刻改变着地质科学的研究范式和应用模式^[4]。在水文地质领域,大数据和人工智能技术被广泛应用于地下水资源的监测与管理。通过收集和分析海量的地下水监测数据,可以实现对地下水位的动态监测、水质变化的实时预警以及地下水资源的优化配置,利用机器学习算法对地下水流动规律进行模拟和预测,可以为地下水资源的可持续利用提供科学依据。在工程地质领域,大数据和人工智能技术则助力于工程地质灾害的预警与防治。通过对历史地质灾害数据的挖掘和分析,可以揭示地质灾害的发生规律和影响因素,为地质灾害的预测预警提供有力支持,结合物联网、遥感等技术手段,可以实现对工程地质环境的实时监测和风险评估,为工程建设提供安全保障。在环境地质领域,大数据和人工智能技术同样发挥着重要作用。通过整合环境地质监测数据、生态调查数据等多源信息,可以构建环境地质综合数据库,为环境地质问题的研究提供数据支撑,利用人工智能技术对数据进行深度挖掘和分析,可以揭示环境地质变化的内在机制和驱动因素,为环境地质保护和修复提供科学指导。

结束语

水文地质、工程地质与环境地质的科技发展正以前所未有的速度推进,不仅提升我们对地球自然系统的认知,也为解决资源短缺、环境保护、灾害防治等全球性挑战提供有力支撑。未来,随着科技的不断进步和创新,三大地质学科将继续深度融合,共同绘制出地质科学发展的新蓝图,为人类社会的可持续发展贡献力量。

参考文献

- [1]张同春.水文地质问题在煤矿地质工程勘察中的重要性思考[J].百科论坛电子杂志,2020(11):404-405.
- [2]吝巍.水文地质问题在煤矿地质工程勘察中的重要性探讨[J].建筑工程技术与设计,2020(17):3732-3735.
- [3]王华.水文地质工程地质和环境地质新技术方法发展战略[J].世界有色金属,2022(09):167-168.
- [4]杨飞,刘喜湘.水文地质工程地质环境地质的科技发展[J].绿色环保建材,2022(10):190+192.