

水工环地质技术及运用研究

祖 斌

安徽铜冠（庐江）矿业有限公司 安徽 合肥 231500

摘要：本文聚焦水工环地质技术及其应用，系统梳理其发展现状与突破。通过地质雷达、无人机遥感、三维地质建模等技术的创新应用，探讨了其在地下水探测、地质灾害预警及地下空间开发中的实践路径。研究发现，智能化与集成化技术显著提升了勘查精度与效率，跨学科融合为复杂地质问题提供了新思路。然而技术推广不均、人才短缺等问题仍待解决。建议加大研发投入、完善人才培养、构建技术标准体系，推动技术普惠化与精细化发展。

关键词：水工环；地质技术；运用研究

1 水工环地质技术概述

1.1 水工环地质技术的基本概念

水工环地质技术是水文地质、工程地质和环境地质相关技术的统称，是地质类学科的重要分支。其核心围绕地下水分布、工程地质条件及地质环境演变展开交叉研究，服务于工程建设、资源开发和环境保护等领域。该技术体系通过综合分析地质灾害、岩土稳定性、地下水动态等要素，为人类活动提供科学依据。例如，在矿产勘探中，水文地质技术可评估矿床充水因素并预测矿坑涌水量；在工程建设中，工程地质技术可分析地基岩体稳定性并指导边坡治理；在环境管理中，环境地质技术可监测地面沉降、水质恶化等全球性地质问题。随着可持续发展战略的推进，水工环地质技术已从单一资源开发转向解决人类生存与社会发展的综合性问题，形成了水工环一体化的研究趋势。

1.2 水工环地质技术的主要类别

水工环地质技术涵盖多种现代探测与分析手段，主要分为以下类别：（1）瞬变电磁技术（TEM）通过观测电磁波变化产生的“烟圈效应”，分析地下介质电性差异。该技术可利用垂直偶源方式拓展探测深度，在金属矿勘探和复杂地质环境调查中应用广泛。（2）遥感技术（RS）结合地面调查和物探方法，可实现大范围地质灾害监测与评估；GPS与RTK技术通过高精度定位，为工程地质测绘和变形监测提供基础数据。（3）地质雷达技术（GPR）通过高频电磁波反射成像，可探测地下岩溶、软土等不良地质体，在隧道工程和岩土体稳定性分析中发挥重要作用^[1]。（4）水文地质调查技术；包括区域性水文地质调查、专门性调查及地下水动态监测，重点分析地下水补给、径流、排泄条件及水质水量变化。例如，矿区水文地质工作需查明矿床充水因素并预测矿坑涌水量。（5）工程地质分析技术；综合运用地形地貌、

岩土类型、地应力等要素，评估工程场地稳定性，提出边坡加固、地基处理等工程措施。典型应用包括矿山露天开采岩体质量评价和井巷围岩稳固性分析。（6）环境地质评估技术；针对水资源短缺、地面沉降、岩溶塌陷等环境问题，开展地质环境质量评述与灾害趋势预测。

2 水工环地质技术运用中存在的问题

2.1 技术更新速度较慢

当前水工环地质技术在实践应用中面临的首要问题是技术更新迭代滞后。随着资源勘探深度增加、工程建设规模扩大及环境问题复杂化，传统技术手段已难以满足高精度、高效率的需求。数据处理与解释环节多依赖人工经验，智能化、自动化分析工具的研发滞后，导致成果转化效率低下。技术更新滞后还体现在跨学科融合不足，如水文地质与工程地质数据的协同分析能力较弱，难以支撑复杂地质条件下的综合决策。

2.2 人才队伍缺乏，技术水平参差不齐

水工环地质领域的人才短缺与能力断层问题突出。一方面，高校专业设置与行业需求脱节，毕业生对新兴技术（如地质雷达、三维建模）的掌握不足，导致基层单位技术骨干匮乏^[2]。另一方面，在职人员培训体系不完善，技术更新培训覆盖率低，部分技术人员长期依赖传统方法，难以适应新技术要求。例如，部分地区的水文地质调查仍依赖手工绘制等值线图，而数字化制图技术普及不足，高层次领军人才稀缺，跨学科复合型人才（如兼具地质与计算机背景）的培养机制尚未健全，制约了技术创新与应用能力提升。

2.3 部分地区技术应用推广力度不够

技术推广不平衡现象显著，尤其在经济欠发达或地质条件复杂的地区。一地方政府对水工环地质工作的重视程度不足，资金投入有限，导致先进技术（如无人机遥感、高精度定位）难以落地。技术推广机制不健全，

企业与科研机构合作松散，成果转化渠道不畅。部分地区存在“重治理、轻预防”的观念，对环境地质评估技术的需求未被充分激发，导致技术应用场景受限。技术标准与规范的不统一也加剧了推广难度，例如不同地区对地质雷达数据解释的差异，影响了技术应用的权威性。

3 水工环地质技术的具体运用

3.1 水文地质勘探中的应用

水文地质勘探是水工环地质技术的重要应用领域，其核心目标在于查明地下水的赋存状态、运动规律及与环境的相互作用。在矿产资源开发中，水文地质勘探通过分析矿床充水条件，预测矿坑涌水量，为矿山排水设计提供科学依据。在农业领域，水文地质勘探通过分析土壤含水层结构，指导农田灌溉系统设计，提高水资源利用效率。城市供水系统规划也依赖水文地质勘探，通过长期水位监测与水质分析，确定地下水开采量与保护范围，避免因过量开采导致地面沉降或水质恶化。水文地质勘探技术还广泛应用于地质灾害防治。例如，在岩溶地区，通过高密度电法探测地下溶洞分布，结合数值模拟预测地面塌陷风险，为工程建设提供避让方案。在海岸带地区，水文地质勘探通过分析海水入侵规律，制定咸淡水界面保护措施，保障沿海地区饮用水安全。随着技术的发展，水文地质勘探逐渐向智能化、精细化方向发展，如结合无人机遥感与地面监测设备，构建“天空地”一体化监测网络，实现地下水动态的实时感知与预警^[3]。

3.2 工程地质勘察中的应用

工程地质勘察是保障各类工程建设安全与稳定的基础工作，水工环地质技术在此领域发挥着关键作用。在交通基础设施建设中，工程地质勘察通过分析地形地貌、岩土类型及地质构造，评估边坡稳定性，指导路基设计与灾害防治。在高层建筑选址中，工程地质勘察通过钻探与原位测试，确定地基承载力与变形特性，避免因软土地基或岩溶发育导致建筑物沉降或倾斜。水利工程领域对工程地质勘察的需求尤为突出。在坝址选择中，勘察工作需查明坝基岩体完整性、透水性及地震液化风险，确保大坝安全。例如，三峡工程通过大规模钻探与物探工作，查明坝址区岩体节理裂隙分布，提出混凝土坝与碾压混凝土坝相结合的设计方案。在地下工程（如隧道、地铁）建设中，工程地质勘察通过超前地质预报技术（如TSP超前预报系统），提前识别断层、溶洞等不良地质体，降低施工风险。工程地质勘察还涉及地质灾害评估，如滑坡、泥石流等灾害的易发性评价，为区域规划与防灾减灾提供依据。

3.3 环境地质调查中的应用

环境地质调查聚焦于地质环境演变及其对人类活动的影响，水工环地质技术在此领域的应用日益广泛。在水资源保护中，环境地质调查通过分析地下水补给、径流与排泄条件，制定水资源可持续利用策略。在土壤污染修复中，环境地质调查结合地球化学分析与生物监测，评估重金属、有机物等污染物的迁移规律，指导污染场地修复工程。地质灾害防治是环境地质调查的核心任务之一。例如，在地震活跃区，通过分析历史地震资料与区域构造特征，评估地震烈度与场地效应，为抗震设计提供参数。在地面沉降严重地区，环境地质调查通过InSAR监测与钻孔分层标观测，量化沉降速率与沉降机理，制定地下水回灌与土层固结措施。此外，环境地质调查还涉及生态地质评价，如湿地保护、矿山生态修复等。随着全球气候变化与人类活动加剧，环境地质调查逐渐向综合化、动态化方向发展。例如，结合遥感技术（RS）与地理信息系统（GIS），构建地质环境监测预警平台，实现地质灾害的实时预警与风险评估。同时跨学科融合（如地质学与生态学、社会科学的结合）为环境地质调查提供了新视角，推动地质环境管理从“被动应对”向“主动防控”转变。

4 水工环地质技术运用的改进对策与建议

4.1 加大技术研发投入，提高自主创新能力

当前水工环地质技术领域面临的核心挑战之一是技术迭代速度滞后于实际需求，因此需通过强化研发投入与自主创新突破瓶颈。一方面，应设立专项科研基金，聚焦高精度探测装备、智能化数据处理系统等关键技术攻关。例如，针对复杂地质条件下的地下空间探测，可研发集成多源传感器（如电磁、地震、重力）的联合探测平台，提升地下目标体的识别精度与分辨率^[4]。另一方面，需建立产学研协同创新机制，推动高校、科研院所与企业的深度合作。例如，通过联合实验室建设，加速地质雷达、无人机遥感等技术的成果转化，缩短实验室技术到工程应用的周期。应鼓励跨学科技术融合，如将人工智能算法（如深度学习）引入地质数据分析，实现岩性识别、灾害预警的自动化与智能化。政策层面需完善知识产权保护体系，激励企业加大原创性技术研发，形成“基础研究—应用开发—产业转化”的全链条创新生态。

4.2 加强人才培养和引进，提高技术队伍素质

人才短缺与能力断层是制约水工环地质技术发展的关键因素，需从培养与引进两端发力。在人才培养方面，应优化高校专业设置，增设“水工环地质一体化”

方向,强化跨学科课程(如地质学、计算机科学、环境科学)的融合教学。例如,通过开设“地质大数据分析”“地质灾害数值模拟”等课程,培养兼具地质背景与信息技术能力的复合型人才。需完善在职人员培训体系,建立“理论学习—实践操作—技术认证”的阶梯式培养模式。例如,定期组织物探技术、GIS应用等专项培训,并推行职业资格认证制度,提升技术人员的规范化操作水平。在人才引进方面,应制定差异化政策吸引高层次人才。例如,对掌握核心技术(如三维地质建模、地质雷达信号处理)的领军人才,提供科研启动资金、住房补贴等优惠政策。需建立柔性人才引进机制,通过项目合作、技术咨询等方式,吸引国内外专家参与重大工程地质问题攻关。

4.3 推广先进技术,提高水工环地质技术的应用水平

技术推广不平衡是当前水工环地质技术应用的突出问题,需从政策引导、示范应用与标准建设三方面协同推进。在政策层面,应将先进技术推广纳入地方政府绩效考核,设立专项补贴支持企业采购高精度探测设备(如瞬变电磁仪、无人机倾斜摄影系统)。例如,对采用地质雷达进行隧道超前预报的企业,给予设备购置费用30%的财政补贴。同时需建立技术推广示范区,通过典型案例(如山区地质灾害监测、城市地面沉降防控)展示新技术效益,激发应用需求。例如,在长江经济带沿线城市推广“空地”一体化地质环境监测系统,实现地质灾害的实时预警与动态评估^[5]。在标准建设方面,需加快制定水工环地质技术的操作规范与数据标准。应构建技术评估与认证体系,对推广技术的成熟度、适用性进行分级评价,避免盲目应用导致的资源浪费。例如,建立“新技术推广目录”,定期更新并公示通过验证的先进技术清单。通过政策引导、示范带动与标准规范,逐步缩小地区间技术应用差距,推动水工环地质技术向普惠化、精细化方向发展。

5 水工环地质技术的发展趋势

水工环地质技术正朝着智能化、集成化、绿色化与跨学科深度融合的方向加速演进。随着人工智能、大数据与物联网技术的突破,传统地质勘探正逐步向“智能

感知—数据融合—智能决策”全链条升级,例如基于机器学习的地质灾害预警模型可实时分析多源监测数据,显著提升预测精度;三维地质建模与数字孪生技术的结合,使地下空间开发从经验设计转向虚拟仿真验证,大幅降低工程风险。技术集成化趋势明显,单一探测手段(如物探、钻探)向“空地”一体化协同探测转变,无人机、卫星遥感与地面物探设备的联动,可实现复杂地质环境的高效、立体化勘查。绿色发展理念驱动技术革新,低扰动钻探装备、生态修复材料等创新应用,有效缓解了地质工程对环境的负面影响。未来,水工环地质技术将进一步与材料科学、计算机科学交叉融合,催生如智能传感器网络、自适应地质灾害防护系统等新型技术形态,为资源可持续利用与生态文明建设提供更强支撑。

结束语

水工环地质技术作为资源开发与环境保护的核心支撑,其发展水平直接关系到国家战略安全与可持续发展能力。面对复杂地质条件与多元应用场景的双重挑战,未来技术革新需以智能化为主线,以绿色化为导向,深化产学研协同创新,突破关键技术瓶颈。同时需强化技术推广与标准化建设,构建“研发—应用—反馈”的闭环机制,促进技术成果快速落地。唯有如此,水工环地质技术才能真正成为驱动经济社会高质量发展的“地质引擎”,为人类与自然和谐共生提供坚实保障。

参考文献

- [1]禹超业.环境保护下的矿山水工环地质勘查工作的对策[J].内蒙古煤炭经济,2022(11):172-174.
- [2]王小龙.分析当前水工环地质勘察中的技术及应用[J].中国金属通报,2022(06):150-152.
- [3]高君茹,李绪彬.水工环地质勘察重点及其技术趋势[J].冶金管理,2022(11):49-51.
- [4]高杨.水工环地质环境勘察中的技术应用及实施要点分析[J].冶金与材料,2021,41(03):108-109.
- [5]张天然.水工环地质勘察及遥感技术在地质工作中的应用[J].世界有色金属,2021(02):190-191.