

区域水工环勘测与生态地质协同

闻 宇

河南省第三地质勘查院有限公司 河南 郑州 450000

摘 要：针对当前区域水工环勘测与生态地质调查工作相互割裂、标准不统一、成果融合度低的行业痛点，本文系统梳理二者协同发展的理论基础与内在作用机理，全面研判现阶段勘测与调查工作现状，总结技术、作业、应用层面的突出问题。通过构建一体化勘测技术体系与耦合评价指标模型，制定分区应用策略与长效保障机制，有效打通地质安全防控与生态保护通道，为区域地质生态协同高质量发展提供坚实支撑。

关键词：区域水工环勘测；生态地质；协同发展

引言：随着生态文明建设与国土空间治理工作持续深化，传统单一的水工环勘测模式已无法兼顾工程建设安全与区域生态保育需求。水工环勘测侧重地质工程参数探查，生态地质聚焦生态系统演化评价，二者工作体系独立、数据衔接不足，严重制约区域综合地质评价成效。基于此，本文探究二者协同发展路径，构建完整协同体系，旨在实现地质资源开发、工程安全与生态保护的协调统一。

1 相关理论基础与协同机理分析

1.1 核心概念界定

(1) 区域水工环勘测：服务于区域规划与工程建设的水文地质、工程地质与环境地质综合性调查。核心内涵为查明地下水赋移规律（水文）、岩土体力学性质（工程）及地质环境质量与灾害风险（环境）；工作涵盖遥感、测绘、钻探、物探、测试等技术；特征为多手段集成、多尺度耦合与定量评价。(2) 生态地质：研究地质环境与生态系统相互作用的交叉学科。要素包括地形、岩性、水土等非生物因子及植被等生物因子；演化规律涉及地质过程对生态格局的塑造及生态反馈；调查目标为识别生态约束因子、评估地质生态功能，工作包括脆弱区调查、碳汇估算及矿山修复地质支撑。(3) 协同发展：水工环勘测与生态地质在目标、过程与成果层面有机整合的模式。融合边界以地质过程为纽带，将工程属性与生态属性统一于区域地质环境系统；工作准则包括信息共享（数据互认与标准衔接）、过程协同（同步调查与联合解译）及目标兼容（工程安全与生态安全并重）。

1.2 相关基础理论

(1) 地质环境系统理论：将区域地质环境视为由岩土体、地下水、地应力及地表过程等子系统构成的开放复杂系统，强调系统的整体性（各子系统不可分割）、关联性（子系统间存在物质能量交换）与动态演化特征（系统在自然与人为扰动下持续调整）。(2) 生态耦合协调理论：阐释地质过程与生态过程之间的互馈机制。一方面地质格局控制着水分运移、养分循环与栖息地分布，另一方面植被生长与微生物活动反作用于岩土风化与水文过程；两者通过长期协同演化形成相对稳定的耦合状态，协调度是判断区域生态地质系统健康与否的关键指标。(3) 可持续发展理论：要求水工环勘测在满足经济社会发展需求的同时，不损害地质环境和生态系统的长期健康。其核心逻辑在于通过精准勘测辨识资源环境承载阈值，将地质资源开发利用约束在生态可恢复范围内，实现地质安全、资源供给与生态保育的代际公平。

1.3 水工环勘测与生态地质协同机理

(1) 要素协同：水文地质要素（地下水水位、水质、含水层结构）与生态水文指标（植被可利用水量、基流稳定性）存在直接对应；工程地质要素（岩土强度、地应力）与生态稳定性要素（边坡植被固土效应、地震诱发地质灾害生态风险）形成互补；环境地质要素（土壤污染、地面沉降）与生态受损因子（生物多样性下降、栖息地退化）相互印证，共同构成区域评价的统一指标体系。(2) 工作协同：在勘测流程上推行“同时规划、同步部署、联合验收”的协同作业模式；在数据资源层面建立统一的空间数据库，实现地质钻孔、物探剖面与生态样方调查成果的互认共享；在评价体系上

构建耦合评价模型,将地质适宜性评价与生态敏感性评价进行加权叠加,形成一体化分区方案^[1]。(3)目标协同:以“地质—生态”联合风险评估为核心抓手,实现三重目标的统一:地质安全防控强调工程选址避让活动断裂与灾害高发区,资源开发利用强调地热、地下水等资源的采补平衡,生态环境保护强调将生态红线和敏感区作为勘测活动的刚性约束边界,最终形成安全、高效、绿色的协同发展格局。

2 区域水工环与生态地质勘测现状及协同问题

2.1 区域水工环勘测工作现状

(1)现有勘测技术体系与工作流程:当前区域水工环勘测已形成遥感解译、地面测绘、钻探物探与室内试验相衔接的梯次技术体系。常规勘测手段涵盖高密度电法、瞬变电磁法等地球物理勘探,抽水试验与示踪试验等水文测试,以及标准贯入、静力触探等工程原位测试。数据采集主要参照《水文地质调查规范》等行业标准执行;成果输出以地质图件、剖面图及勘查报告为主要形式,服务于工程建设与灾害评估。(2)水工环勘测工作应用成效:在地质灾害防治方面,勘测成果有效支撑了滑坡、泥石流、地面塌陷等灾害的易发性区划与监测预警;在水土环境治理方面,为地下水污染场地修复提供了含水层结构等关键参数;在重大工程建设中,枢纽选址、隧道选线与坝基稳定性评价均以水工环勘测结论为设计依据,显著降低了工程地质风险^[2]。(3)单一水工环勘测模式的局限性:传统模式过度聚焦岩土物理力学参数与水文地质指标,普遍缺乏植被类型、土壤生态功能等生态要素的系统记录;成果输出偏重于工程设计场景,与国土空间规划、生态保护红线划定等需求的适配性明显不足;各勘测要素往往分项实施、独立成册,区域全域统筹与综合集成较为薄弱。

2.2 区域生态地质调查工作现状

(1)生态地质调查核心内容:以生态地质单元划分为基础,依据地形地貌、岩性组合、土壤类型与植被覆盖等指标将区域划分为不同生态地质功能区;脆弱性评价重点关注水土流失敏感性、石漠化演化及矿山地质环境恢复力;生态隐患识别针对地质灾害隐患点、生态退化区进行靶向排查,为保护修复提供依据。(2)生态地质调查技术应用现状:高分辨率遥感影像已广泛用于植被覆盖度、土地利用类型等生态参数的时序反演;实地核查依托样方调查与浅层地质剖面测量进行验证;模型评价方面,生态敏感性评价模型已在部分重点区域得到应用,但评价指标选取与权重赋值仍缺乏统一标准,区域可比性不强。(3)生态地质工作存在的短板:生态地

质调查对深层水文地质结构与工程地质参数的数据支撑依赖度高,但现有基础资料在空间覆盖度与时效性上无法完全满足需求;同时,生态地质成果与工程水文地质工作在成果表达、比例尺精度上存在显著差异,二者衔接缺乏标准化接口,难以有效嵌入工程选址与水资源管理决策流程。

2.3 二者协同发展现存核心问题

(1)技术层面:水工环勘测遵循工程地质分类标准,生态地质遵从生态地理学分类体系,两套标准在要素分类、精度要求与评价方法上互不兼容;多源数据融合在坐标统一、尺度匹配与属性对接环节存在较大障碍;能够同时处理岩土参数、水动力参数与生态指标的一体化技术体系尚属空白。(2)工作层面:两项工作分属不同行业主管部门推进,立项周期与验收节点错位严重,呈现碎片化特征;外业作业中水文钻孔与生态样方分开布设,流程衔接缺乏制度约束;覆盖“地质—生态”全要素的统一调查底图和进度协调机制缺失,全域协同调查难以常态化开展。(3)应用层面:综合反映地质安全与生态健康的协同评价指标体系尚未建立,区划图件仍呈“两张皮”式表达;成果在生态修复工程方案设计、国土空间用途管制等场景中利用率偏低;生态治理工程编制方案时往往忽略水工环勘测提供的岩土与水文条件,导致治理措施的长效性与适配性不足。

3 区域水工环勘测与生态地质协同发展体系构建及应用

3.1 协同勘测技术体系优化

(1)一体化勘测流程设计:打破传统水工环与生态地质分时、分段、分区域实施的孤立模式,从项目策划阶段即统筹两项工作的调查时序、工序衔接与工作范围。具体而言,在野外踏勘阶段同步布设水文地质观测点、工程地质勘探线与生态样方调查断面;在详查阶段实现钻探取芯与土壤生态采样同孔作业、物探剖面与植被样带同线布设;在成果整理阶段实施联合解译与交叉验证,形成“一次进场、协同采集、分项输出”的一体化作业流程。(2)多技术融合勘测方案:集成高分辨率遥感解译(用于区域生态格局与线性构造判读)、三维地质建模(用于地下岩土结构与水文地质参数的空间表达)与自动化原位监测网络(用于地下水位、地应力、植被长势等动态指标的实时获取),构建“空—天—地—深”立体化勘测架构。通过多技术互补,实现从宏观生态景观到微观岩土结构的跨尺度融合,全面提升区域勘测的精度与效率^[3]。(3)多源数据融合处理标准:制定涵盖水工环与生态地质全要素的统一数据采集规程,

明确各类数据的坐标基准、精度等级、属性字段与元数据格式；在数据整理环节建立异常值判别与缺失值插补的统一规则；在数据解析层面搭建多源数据映射关系表，实现地质钻孔与生态样方、物探断面与植被指数、水文测试与土壤参数之间的语义对齐；最终构建“采集—处理—管理—服务”一体化的共享数据体系，为后续评价与决策提供规范化的数据底座。

3.2 协同评价指标体系构建

(1) 评价指标选取原则：遵循科学性（指标应客观反映地质与生态的内在关联）、系统性（指标应全面覆盖区域系统的关键维度）、针对性（指标应聚焦协同发展的核心矛盾，避免冗余）、可操作性（指标应可量化、可获取、可更新）四项原则，确保指标体系的合理性与实用价值。(2) 多层级评价指标体系搭建：以“目标层—准则层—指标层”为框架，构建涵盖四大维度的指标体系——地质安全维度（包括断裂活动性、地质灾害易发程度、地基承载力等指标）、水文环境维度（包括地下水位变幅、地下水质量等级、含水层脆弱性等）、工程稳定维度（包括岩土体强度、边坡稳定性系数、不良地质作用强度等）及生态质量维度（包括植被覆盖度、生物多样性指数、土壤侵蚀强度、生态敏感性等级等），各维度下设具体量化指标，形成多层级、全要素的评价框架^[4]。(3) 评价模型与权重确定：采用层次分析法（AHP）构建判断矩阵，邀请水工环、生态学、规划管理等领域专家对指标相对重要性进行两两比较，计算各指标权重并通过一致性检验；在此基础上引入耦合协调度模型，计算水工环与生态地质两系统间的耦合度与协调度，据此判断区域协同发展水平，划分协同等级（严重失调、轻度失调、初级协调、良好协调、优质协调），为差异化策略制定提供定量依据。

3.3 区域协同发展应用路径与保障对策

(1) 分区域协同应用策略：针对生态脆弱区（如干旱半干旱区、石漠化区），以生态约束为前提，勘测工作优先服务于水资源承载力评估与生态修复靶区圈定；针对工程建设区（如城市规划区、重大基础设施走廊），以地质安全为核心，勘测成果侧重地基稳定性评价与工程风险防控；针对水源保护区（如饮用水源地、湿地保护区），以水文环境保护为导向，强化地下水补给区划与污染运移模拟。三类区域分别制定差异化的协

同勘测密度、评价重点与成果表达方式。(2) 机制保障：建立由自然资源、生态环境、水利、住建等部门共同参与的联席会议制度，统筹协调勘测项目立项、预算安排与成果验收；设立协同技术创新专项基金，鼓励基于物联网、大数据与 AI 算法的智能勘测技术研发；搭建成果共享服务平台，将水工环与生态地质协同调查成果统一入库，面向政府决策、工程设计及科研教学提供分层级授权访问，打通“调查—评价—应用”全链条^[5]。(3) 发展保障：加强复合型人才培养，在地质工程与生态学交叉方向设置专项培训与研究生联合培养计划；加大技术研发投入，重点突破多源数据自动融合软件、协同评价模型平台等关键技术装备；加快完善行业规范标准体系，推动制定《水工环与生态地质协同调查技术规程》及《协同评价指南》，为协同工作的规范化、制度化提供制度保障，确保协同发展模式在全国范围内可复制、可推广。

结束语

本文结合地质环境与生态耦合相关理论，完成水工环勘测与生态地质协同机理、现存问题、技术体系与应用路径的系统性研究，建立了适配区域发展的协同评价与应用体系。研究解决了两项工作碎片化、适配性差的核心问题，实现地质工程与生态保护深度融合，未来可依托智能勘测技术迭代与行业规范完善，持续推进地质生态协同治理模式常态化、规范化落地应用。

参考文献

- [1] 张卫民, 李娟, 王瑞. 区域水工环地质调查与生态地质协同发展机制研究 [J]. 水文地质工程地质, 2024, 51(03): 102-109.
- [2] 刘健, 裴向军, 朱文静. 基于生态地质理念的区域水工环综合勘测技术优化 [J]. 地质通报, 2023, 42(08): 1356-1363.
- [3] 王明明, 陈洪年. 山水林田湖综合治理中水工环与生态地质协同应用研究 [J]. 工程地质学报, 2023, 31(04): 1189-1197.
- [4] 杨艳, 周宏. 区域地下水环境勘测与生态地质风险协同评价 [J]. 环境科学与技术, 2022, 45(11): 211-218.
- [5] 何磊, 唐磊. 新时期区域水工环地质勘查与生态地质协同提质路径 [J]. 资源环境与工程, 2025, 39(02): 45-50.