

健康地质调查研究进展及其评价方法

高玉潮

河北省煤田地质局新能源地质队 河北 邢台 054000

摘要：健康地质是环境地质的新兴分支，聚焦地质环境与人类健康的相互作用，通过系统调查与科学评价支撑地质风险防控。本文梳理国际国内研究进展，明确当前研究热点与趋势，重点阐述地质环境要素调查、健康风险评价及综合技术体系等核心方法。对比现有评价方法的优劣，提出数据驱动、模型精细化等优化方向。分析数据共享、因果机制等挑战，展望技术融合、全球协作等发展前景。研究可为健康地质调查规范化提供参考，提升地质环境健康保障能力，推动环境地质领域创新发展。

关键词：健康地质；环境地质；地质风险；健康评价

引言：工业化加速与环境问题凸显背景下，地质环境中的有害元素（如重金属、放射性物质）及地质灾害（如地震、滑坡）对人类健康的威胁日益显著，健康地质调查成为环境地质研究的重要方向。该领域以“地质环境-人体健康”系统为研究对象，通过识别地质风险因子、构建科学评价体系，为公共健康防护提供地质层面的解决方案。本文系统梳理健康地质调查进展与核心技术，优化评价方法，分析挑战与展望，旨在完善理论与实践体系，支撑地质环境健康管理与风险防控。

1 健康地质调查的研究进展

1.1 国际研究动态

国际健康地质调查研究起步较早，形成多学科融合的发展格局。20世纪90年代，欧美国家率先开展地质环境与慢性病关联性研究，美国地质调查局（USGS）建立“地质健康监测网络”，系统采集土壤、地下水等样本，分析重金属、放射性元素的空间分布及健康风险。欧盟通过“GEOSAFE”项目，构建跨国界地质健康数据库，实现不同区域风险因子的对比分析。近年来，国际研究更注重微观机制与宏观调查结合，运用分子生物学技术揭示地质元素对人体细胞的作用机理，同时借助遥感与大数据技术扩大调查范围。另外，世界卫生组织（WHO）与各国地质机构合作，推动健康地质评价标准的国际化，如制定土壤重金属健康风险阈值的统一规范，为全球健康地质调查提供参考框架。

1.2 国内研究现状

国内健康地质调查研究虽起步较晚，但发展迅速，聚焦我国地质环境特色开展针对性研究。21世纪初，地质部门联合卫生机构开展区域性调查，如在西南喀斯特地区研究土壤硒含量与克山病的关系，在西北干旱区分析氟超标地下水对骨骼健康的影响^[1]。近年来，随着“健

康中国”战略推进，健康地质被纳入重点研究领域，自然资源部启动“全国地质环境健康调查试点”项目，覆盖华北、华南等典型区域。国内研究形成“区域调查-风险评价-防控建议”的技术路线，在方法上借鉴国际经验并创新，如结合我国复杂地质条件优化评价指标体系，开发适用于农田、城市等不同场景的调查技术，部分成果已应用于地方地质健康管理政策的制定。

1.3 研究热点与趋势

当前健康地质调查的研究热点集中在三个方面：一是新型地质风险因子的识别，如微塑料、抗生素在地质环境中的迁移转化及其健康影响，打破传统以重金属为主的研究范畴；二是“地质-生态-健康”系统耦合机制研究，关注地质环境变化通过生态链间接影响人体健康的过程；三是智能化调查技术的应用，如无人机航测、便携式光谱仪等设备实现风险因子的快速探测。研究趋势呈现三大特征：从单一元素调查转向多介质、多因子综合研究；从定性描述转向定量评价与预测预警；从学术研究逐步转向与公共健康、城市规划等领域的融合应用，形成“调查-评价-应用”的闭环体系。

2 健康地质调查的核心方法与技术

2.1 地质环境要素调查

地质环境要素调查是健康地质研究的基础，涵盖多介质、多维度的系统探测。调查对象包括土壤、地下水、岩石及大气沉降物，重点监测重金属（如铅、镉）、放射性元素（如铀、镭）、有害化学物质（如农药残留）等风险因子。调查方法采用“地面调查+遥感监测+实验室分析”相结合的模式，地面调查通过网格布点采集样本，确保空间代表性；遥感技术利用高光谱影像识别地表地质异常，辅助圈定调查重点区域；实验室分析采用电感耦合等离子体质谱法（ICP-MS）等精准检测

技术,获取风险因子含量数据。同时,调查过程中需同步记录地形地貌、水文地质条件等基础信息,为后续健康风险评估提供完整的地质环境背景数据。

2.2 健康风险评估方法

健康风险评估方法围绕“暴露-效应”关系构建,核心是量化地质风险因子对人体健康的潜在危害。常用方法包括美国EPA推荐的健康风险评估模型,通过计算暴露剂量、危害商(HQ)和致癌风险(CR),判断风险等级。对于非致癌风险,当 $HQ < 1$ 时认为风险可接受;对于致癌风险, $CR < 10^{-6}$ 为低风险。另外,还包括地质累积指数法、潜在生态风险指数法等,用于评价风险因子的富集程度与生态危害。近年来,模糊综合评价法、层次分析法被广泛应用,通过构建评价指标体系,结合专家打分确定权重,实现多因子的综合风险评估,提升评价结果的科学性与全面性^[2]。

2.3 综合评价技术体系

健康地质综合评价技术体系是多方法、多技术的集成应用,实现从数据采集到评价成果输出的全流程管控。该体系以地理信息系统(GIS)为核心平台,整合地质环境调查数据、人口统计数据及健康监测数据,构建空间数据库。评价过程分为三个阶段:一是风险因子筛选,通过相关性分析确定与健康问题关联显著的地质因子;二是分级评价,结合单因子评价与综合评价,划分高、中、低风险区域;三是成果可视化,通过GIS绘制健康地质风险区划图,直观呈现风险空间分布特征。同时,体系融入动态监测技术,实时更新数据,实现评价结果的动态修正,为风险防控决策提供精准、及时的技术支撑。

3 健康地质评价方法的对比与优化

3.1 现有评价方法对比

现有健康地质评价方法各有优势与适用场景,需根据研究目的合理选择。定量模型如EPA健康风险评估模型,计算精准、逻辑清晰,适用于单一风险因子的健康风险量化,但对数据完整性要求高,难以兼顾多因子交互作用。模糊综合评价法能有效处理评价中的不确定性问题,适用于多因子综合评价,但权重确定依赖专家经验,主观性较强。地质累积指数法操作简便,适用于区域地质环境质量的初步筛查,却无法直接关联人体健康效应。层次分析法结构严谨,可实现多目标评价,但在复杂系统中指标体系构建难度大。对比可见,单一方法存在局限性,需通过方法融合实现优势互补。

3.2 方法优化方向

3.2.1 数据驱动

数据驱动是健康地质评价方法优化的核心方向,依托大数据技术提升评价的客观性与准确性。通过构建多源数据融合平台,整合地质调查、环境监测、医疗健康等多领域数据,突破传统数据来源单一的局限。运用机器学习算法如随机森林、神经网络等,挖掘数据中隐藏的关联规律,实现风险因子的自动筛选与权重计算,减少人为干预。同时,引入实时监测数据,建立动态数据库,通过数据更新实现评价模型的实时优化,提升评价结果对地质环境变化的响应能力,为动态风险防控提供数据支撑。

3.2.2 模型精细化

模型精细化旨在提升评价模型的针对性与可靠性,适应复杂的地质环境特征。一方面,细化暴露场景设定,结合不同区域的人口结构、生活习惯及地质环境条件,构建个性化暴露模型,如针对儿童、老年人等敏感人群建立专属评价参数,提高风险评价的精准度。另一方面,完善模型的交互作用模块,考虑多风险因子间的协同或拮抗效应,突破传统模型单一因子评价的局限。此外,融入空间异质性分析,通过地理加权回归等方法,量化不同区域地质因子对健康影响的差异,使评价结果更贴合实际情况^[3]。

3.2.3 标准化与可操作性

标准化与可操作性是推动健康地质评价方法广泛应用的关键。需制定统一的评价技术规范,明确指标选取、数据采集、计算方法等环节的标准流程,确保不同区域、不同机构的评价结果具有可比性。简化评价模型的操作流程,开发可视化操作软件,降低技术门槛,方便基层技术人员应用。同时,建立评价结果的验证体系,通过实地调研、长期监测等方式验证评价结论的可靠性,形成“标准制定-方法应用-结果验证”的闭环管理,提升评价方法的实用性与公信力。

4 健康地质评价的挑战与展望

4.1 当前挑战

4.1.1 数据共享与标准化不足

数据共享与标准化是健康地质评价面临的首要挑战。目前,地质、环保、医疗等部门的数据分散管理,存在数据格式不统一、共享机制不完善等问题,导致多源数据融合难度大。部分数据因涉及隐私或部门利益,开放程度低,无法满足综合评价的需求。同时,数据采集标准不统一,不同机构的监测方法、样本处理流程存在差异,导致数据精度参差不齐,影响评价结果的准确性。此外,缺乏统一的数据质量控制标准,数据筛选与校验缺乏科学依据,进一步制约了健康地质评价工作的

开展。

4.1.2 因果机制不明确

地质环境与人体健康的因果机制复杂,尚未形成清晰的认知体系,成为健康地质评价的核心瓶颈。地质风险因子对人体健康的影响往往是长期、间接的,通过食物链、饮用水等多种途径作用于人体,且受遗传、生活习惯等多种因素干扰,难以精准界定地质因子的独立作用。部分新型风险因子如微塑料的健康效应研究尚处于起步阶段,其迁移转化规律与致病机制尚不明确。因果关系的模糊性导致评价结果难以形成确凿的科学依据,影响风险防控决策的科学性与针对性。

4.1.3 公众认知与政策落地

公众对健康地质的认知不足与政策落地困难,制约了研究成果的转化应用。多数公众对地质环境与健康的关联缺乏了解,对健康地质调查的重要性认识不足,参与度较低。部分地区存在“重经济发展、轻环境保护”的观念,对健康地质风险防控的重视程度不够。在政策层面,健康地质评价成果与环境管理政策的衔接不足,缺乏明确的风险管控标准与配套措施,导致评价结论难以转化为具体的防控行动^[4]。另外,跨部门协作机制不完善,地质、环保、卫生等部门联动不足,影响政策执行效率。

4.2 未来展望

4.2.1 技术融合

技术融合是健康地质评价发展的重要趋势,通过多学科技术的交叉应用提升研究水平。推动遥感技术、物联网与地质调查的深度融合,实现地质环境要素的实时、大范围监测。将人工智能、大数据技术与评价模型结合,构建智能化评价系统,实现风险的自动识别、预测与预警。促进分子生物学、医学与地质学的跨学科合作,深入探究地质因子影响人体健康的微观机制,为评价方法的优化提供科学依据。技术融合将打破学科壁垒,推动健康地质研究向精准化、智能化方向发展。

4.2.2 全球协作

全球协作是应对区域性、全球性健康地质问题的必然选择。建立跨国界的健康地质调查合作网络,共享调查数据、技术方法与研究成果,共同开展全球性地质健

康风险评估。参与国际健康地质标准的制定,推动评价方法的国际化与标准化,提升我国在该领域的国际话语权。针对气候变化、跨国污染等全球性问题,开展联合研究,分析其对地质环境健康的影响,制定协同防控策略。通过全球协作,整合全球资源,形成应对健康地质风险的合力,提升全球地质环境健康保障能力。

4.2.3 社会应用

强化健康地质评价成果的社会应用,实现研究价值的最大化。将评价结果与城市规划、土地利用、环境保护等政策紧密结合,在城市新区建设、工业园区选址等工作中融入健康地质考量,从源头规避地质健康风险。开展健康地质科普宣传,通过媒体、科普活动等多种形式,提升公众对地质环境健康的认知水平与参与意识。建立“科研机构-政府部门-公众”的沟通机制,及时反馈评价成果与防控建议,推动形成全社会共同参与的健康地质管理格局,助力实现“健康中国”战略目标。

结束语

本文系统梳理了健康地质调查的研究进展,阐述了核心方法技术、评价方法的对比优化及面临的挑战与展望。健康地质作为连接地质环境与公共健康的桥梁,其研究与应用对保障人体健康、促进生态环境保护具有重要意义。未来,需通过技术融合提升研究水平,借助全球协作拓展研究视野,强化社会应用实现研究价值。相信随着研究的不断深入与完善,健康地质调查将为地质环境健康管理提供更有力的支撑,为保障公众健康与生态安全作出更大贡献。

参考文献

- [1]居宇龙,胡尚军,陈思,等.健康地质调查研究进展及其评价方法[J].资源环境与工程,2022,36(5):594-603.
- [2]夏雨波,王冰,李海涛,等.雄安新区浅层地下水化学成因及健康地质区划研究[J].中国地质,2025,52(1):331-346.
- [3]金霄,路玉林,罗晓玲,等.地质调查技术标准体系研究与展望[J].地质通报,2023,42(9):1531-1540.
- [4]于扬,王登红,王伟,等.不同地质环境中锂的分布特征及生态、环境与生物健康效应[J].中国地质,2025,52(2):727-744.