

美国地质调查局环境地质科学现状、战略及启示

杨建锋, 张翠光

中国地质调查局发展研究中心, 北京, 100037

“十八大”把生态文明放在了新的历史高度, 建设生态文明成为中国特色社会主义建设的重要内容。作为社会经济发展的基础性、先行性工作, 地质调查如何服务生态文明建设, 是当前我国地质工作者需要认真思考的重大课题。美国地质调查局 (USGS) 在环境地质领域科学研究方面做出了卓越贡献, 有很多做法值得我们学习和借鉴。

1 美国地质调查局科学战略方向与内设机构调整

2009 年地球物理学家麦克纳特 (McNutt) 被任命为美国地质调查局局长。McNutt 上任后对 USGS 的科学工作进行了全面评估, 发现其管理结构不利于跨学科的科研工作。McNutt 认为, 美国面临的自然灾害、水安全、能源资源需求、疾病控制、气候变化等重大问题相互关联、相互交错, 需要多学科、跨领域联合攻关; USGS 必须适应这一形势, 打破传统的学科界限, 按照重大战略问题组织开展科学研究工作。基于这一思想, McNutt 对 USGS 内设机构做了如下调整: 撤销按照传统学科设置的业务管理机构, 面向重大战略问题, 按照战略方向设立新的业务管理机构 (图 1)。从 USGS 科学战略和机构调整可以看出, 服务生态系统管理是其环境地质科学研究的基本出发点和落脚点。与工业化时期相比, USGS 极大地拓展了其传统的基础地质、矿产地质和水文地质领域, 形成了包含气候与土地利用变化、自然灾害、环境健康、水资源、生态 (生物) 系统等在内的广义的环境地质领域。这是 USGS 在度过上世纪 90 年代中期危机之后, 根据国家需求变化主动做出的又一次重大调整。

2 环境地质科学研究现状

(1) 地质环境观测。USGS 历来重视地质环境观测设施建设, 观测内容包括水文要素监测、地震监测、地质灾害监测、灾后现场数据采集、Landsat

连续土地卫星遥感观测等。截至 2012 年, USGS 的水文监测网络包括 8000 个河流水文测量站、22180 个地下水观测井、1900 个水质连续监测站、250 个降水监测站。自然灾害监测网络包括 150 个全球地震监测站、90 个国内地震监测站、5 个火山观测台、14 个地磁观测台、15 个滑坡监测站等。USGS 是 Landsat 遥感卫星的管理者, 对地表要素进行连续观测, 积累形成了世界最长时间序列的连续土地遥感影像数据。通过长期的监测和观测, USGS 积累了大量的基础数据。

(2) 机理研究。以水资源可利用性为核心, 地下水科学研究涉及的问题包括: 城市化和市郊化对地下水的影响; 海岸带土地利用和人口增长对地下水的影响; 地下水资源的可利用性和可持续性; 废物隔离和污染地下水系统的恢复机理; 地下水和地表水相互作用等。地质灾害研究主要集中在 3 个方面: 通过野外分析研究泥石流侵蚀流经通道和向下运移过程; 变化的地理、地形、地震和气候条件下滑坡沉积物活动的条件和活动过程; 岩崩对土地的影响过程。根据应对全球变化的需求, 开展了地质环境中的碳循环过程研究。

(3) 评估和预测。基于机理研究成果, USGS 开发了各种数学模型和预测工具, 预测未来在不同情景下水资源、自然灾害、气候要素等变化。MODFLOW 模型用于模拟、预测地下水与地表水-地下水相互作用过程。PHREEQC 模型用于模拟地下水中溶质化学反应和运移过程, 可以评估地下水污染治理效果。VS2DI 模型用于研究包气带水、溶质、热运移过程。GSFLOW 模型, 用于模拟和预测降水和复杂流域过程条件下河流非稳定响应过程。与国家海洋与大气局合作开发了洪水和泥石流早期预警系统。

(4) 信息传播。USGS 在科学研究成果传播方面形成了全面、实时、高效的服务体系。通过“全国水信息系统”为社会提供了获取水资源数据的互

联网入口,包括全国 150 万个地点的河流湖泊流量与水位、地下水位、水质等数据。通过“全国地震系统”,公众可获得各个地震监测站的观测数据。2012 年 11 月 USGS 与谷歌开展合作通过其在线工具在全球范围内发布地震、极端恶劣天气等最新信息。针对不同用户需要,USGS 编制形成了不同类型的产品。90% 以上的研究报告可直接从互联网下载。

3 环境地质科学发展战略

(1) 扩展和强化地质环境监测网络。对于水文要素观测,通过 3 种方式扩展和强化水资源监测网络。建设由联邦政府资助的全国统一的地表水、地下水、水质监测站组成的骨干网络,并与州、县等部门运行的监测站网相互配合和补充。在重点监测站装备更加先进的监测设备,增加监测要素和数据参数种类,实现实时传输。与 NOAA、州县应急管理部门等用户合作,针对其需求扩展监测网络。对于灾害要素观测,通过 5 项措施扩展和强化地质灾害监测网络。强化和升级现有监测网络,保障现有监测站点不间断地产生可靠的监测数据。提高监测信息应用水平,重点监测站点实现实时监测,协调和创新目标灾害体多种传感器监测。利用先进监测技术扩大和提高监测范围与能力,包括扩展使用地球物理调查和遥感数据的途径,开发便携式、智能化、低成本监测仪器,推进仪器研发、数据采集、数据传输、数据管理和处理技术的协同发展等。提高灾中和灾后现场数据采集水平,及时获取灾害现场短时间可收集的数据。编制地质历史和人类历史上的灾害目录。

(2) 建立地球表层三维地质框架模型。对于水资源研究,目标是建立不同尺度的 3D/4D 水文地质框架模型。3D 框架模型在 2D 模型的基础上将体积和深度变量耦合进去。与地质框架相对应的水文地质性质可能会随时间发生变化。对于这种情形,需要建立 4D 水文地质框架模型。对于地质灾害研究,目标是建立地球表层框架。针对海岸侵蚀、地震、火山等灾害,加强基岩地质填图、陆地和洋底形态填图等工作;扩大航空磁力调查和重力调查覆盖范围;加强植被、土壤及地表地质体工程地质性质、土地利用等地表覆盖物的调查。意识到地质框架模型是其核心生命力所在,USGS 提出了宏伟的地球表层框架远景目标:将数据、方法、模型组织到相应的时空框架之中,形成一个模块式整体。

(3) 加强变化环境下水资源研究与预测。定量研究、预测和保障未来美国的淡水资源安全是 USGS 水资源科学战略的目标。围绕这一目标,需要推进决定水资源可利用性的过程机理研究。利用历史数据,开展多时空尺度下气候变化对水资源可获得性的影响研究,查明水资源对长期气候变化的响应。系统研究农业发展、城市化、能源与矿产资源开发、废物处置等人类活动与水资源系统的相互作用过程。考虑经济社会和生态系统对水资源的需求,通过研发定量化模型,研究和预测不同气候、人口、土地利用和管理情景下的水系统变化和水资源数量和质量变化。

(4) 加强自然灾害机理研究。推进自然灾害启动过程的靶向性研究,包括灾害事件的启动、持续时间、类型和规模的控制因素,灾害监测的改进与完善;利用第四纪地质、冰芯分析等手段开展极端灾害事件研究,确定极端灾害发生机制和影响因素,推断发生极端灾害的高风险区域;促进自然灾害脆弱性和风险评估研究;加强灾害过程中的流体研究,包括岩浆系统和火山过程中多相流体的作用,火山、滑坡和地面沉降相关的地下水文过程,风化碎屑流和火山碎屑流的坡面流动过程;开展多种自然灾害链的诱发和作用机制研究。

(5) 加强环境污染物对环境健康影响研究。识别、探测引发环境健康的污染物,对有机污染物、化学合成物等致病污染物进行调查和监测;调查环境污染物的来源、发生、迁移和归宿,评估污染物对环境、生物和人类健康的威胁程度;探明人类暴露于污染物的复杂作用和耦合效应,开展致病污染物的毒理学研究;开展自然灾害可能产生的环境影响与健康威胁研究,建立灾难诱发环境健康风险多学科快速评估机制。

(6) 加强全球变化的地质过程研究。一是开展全球碳循环研究,包括研发地质碳封存潜力评估方法,开展石油、天然气矿床和渗透性地质体注入液体 CO₂ 的地质、水文和地球化学过程研究,定期开展全国碳封存潜力评估,开展碳封存评估与监测方法技术研究,开展土壤、沉积物和农田碳储存过程机理研究等。二是开展海平面上升和气候变化对海岸带的影响研究,包括海平面上升对海岸带影响过程,不同情景下海平面上升引发的海岸带后退、土地流失预测模型,淡水排泄、沉积物和营养物质流入对海岸带的影响等。

(7) 加强能源资源及其开发利用废弃物的环境

效应研究。开展能源、矿产资源开发过程中的碳源与碳汇调查；开展闭坑矿山和正在运营的矿山矿产开发对自然景观的影响过程研究；开展气候变化对矿产资源环境背景和废弃物环境行为的影响研究；对能源与矿产生和加工过程中产生的废弃物特征进行研究；开展废弃物深部地质处置研究；开展页岩气开发水力压裂技术等资源开发新技术的环境地球化学研究；研发与资源相关的地质环境模型。

(8) 建立完善地质环境紧急事件快速响应体系。识别当前和今后社区面临的水相关灾害威胁；开发和部署观测系统以识别和跟踪水文灾害；开展缺水导致冲突的条件研究，提出科学解决冲突预案；针对石油泄漏、有毒物质污染水源等水质退化问题，开发决策支持工具。对于突发性地质灾害，开发下一代灾害探测与响应工具；提高数据采集和传输系统性能，扩充网络提高数据的时空密度等；实施并保障关键监测设施不间断运行；提高灾害事件发生期间科学技能的应用水平；提高国内灾害协作应对水平；对灾害预警和响应产品进行严格评估。

4 对我国的启示

(1) 加强资源勘查和开发过程中环境地质基础研究。资源是环境的重要组成，与周围的环境一起为所在地区提供着长期的生态服务。资源开发是一种短暂的环境利用方式，是否进行资源开发应是资源效益、环境作用、生态功能等多种利益平衡的结果。“十八大”要求我们必须树立生态文明理念，

将其贯穿到“从资源调查评价、合理开发利用到综合整治的完整链条”。因此，环境地质调查应突破传统学科的局限，根据资源保障、国土开发、环境保护等国家重大战略问题解决的需要，加强资源的环境效应和生态功能研究，评估资源开发对地质过程、水文过程、生态过程等的影响。

(2) 加强地质环境监测与数据共享。自然营力和人类活动双重作用下的地质环境变化，是长期的、缓慢的、隐蔽的地质过程与突发的、灾难性的、不可逆转的地质过程共同作用的结果。地质调查既要重视显而易见的地质灾害和地质环境问题，更要重视发生在地质环境中的地质过程、水文过程和生态过程。因此，环境地质调查首先需要加强地质环境监测，扩展和强化地下水、土壤、地质灾害、海岸带、冰川冻土等监测网，形成覆盖范围广、控制程度高、测量精度高的地质环境监测网络，并推进数据共享。

(3) 加强地质环境事件快速响应基础研究。近年来，我国在突发性地质灾害快速响应体系建设方面取得了显著进展，但是在地质环境事件快速响应基础研究方面还很薄弱。开展地质环境事件时空分布规律和发生机制研究，提升地质环境事件识别能力，明确启动快速响应的条件；依托地质环境监测网络，提高突发性地质灾害预警能力；应对石油泄漏、有毒物质污染、自然灾害诱发的水质退化事件，建立完善合作快速响应机制。加强灾中和灾后现场数据采集，为编制灾害治理方案提供科学依据。

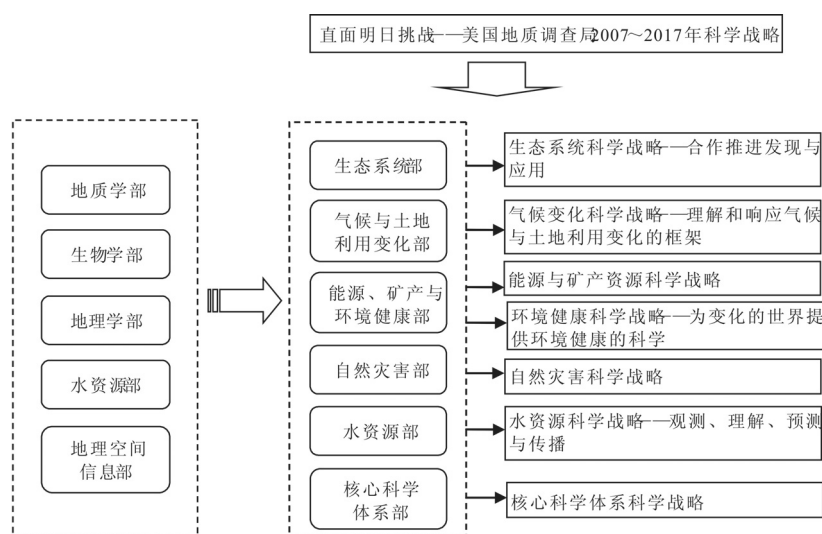


图 1 美国地质调查局内设业务机构调整与战略规划示意图