

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2024.150

引用格式: 杨建锋, 姚晓峰, 余韵, 等. 我国地质调查现代化进程评估与发展路径研究[J]. 中国地质调查, 2024, 11(6): 111 – 120. (Yang J F, Yao X F, Yu Y, et al. Process evaluation and development routes of geological survey modernization in China. Geological Survey of China, 2024, 11(6): 111 – 120.)

我国地质调查现代化进程评估与发展路径

杨建锋, 姚晓峰, 余韵, 张翠光, 陈骥, 马腾, 左力艳

(中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037)

摘要: 地质调查现代化是中国式现代化建设的重要组成部分, 是中国式现代化建设的重要支撑和保障。在回顾梳理发达国家地质调查现代化历程与特征的基础上, 从国土基础地质条件认知程度、资源环境要素观测监测覆盖程度、数据资源开发与共享程度、地质调查科技创新能力和地质调查保障能力 5 个维度, 构建了地质调查现代化评估指标体系, 定量评估了 2000—2022 年我国地质调查现代化实现程度。评估结果显示, 我国地质调查现代化进程呈现 S 曲线变化, 在 2022 年实现程度达到 73.8%。展望 2035 年和 2050 年, 地质调查现代化实现程度预计分别达到 90% 和 100%。基于评估结果提出了中国地质调查局地质调查现代化战略发展目标和发展途径, 应从基础性地质调查、地质资源环境要素观测监测、数据集成开发与地球系统模拟、基础研究和技术研发、人才装备与治理体系建设 5 个方面推进地质调查现代化建设, 实现地质调查高质量发展。研究成果可为推进我国地质调查现代化提供基础依据。

关键词: 地质调查; 现代化; 实现程度; 发展路径

中图分类号: P621

文献标志码: A

文章编号: 2095 – 8706(2024)06 – 0111 – 10

0 引言

中国式现代化开启了人类实现现代化新模式, 将推动政治、经济、生态等各个领域发生深刻变革^[1]。地质调查是经济社会发展的重要先行性基础性工作, 服务于资源开发、环境保护、灾害防治、工程建设等各个方面, 推进中国式现代化建设需要地质调查工作支撑和保障。中国式现代化建设将加快各领域各行业现代化进程, 地质调查现代化是中国式现代化在地质领域的体现和产物, 并将伴随着中国式现代化建设的全过程。因此, 地质调查现代化是中国式现代化建设的重要组成部分, 是中国式现代化建设的重要支撑和保障。

现代化涵盖经济社会各个领域, 不同领域学者对相应领域的现代化进行了探索。水利现代化从最初的概念、技术、管理 3 个方面^[2]拓展到了理论、技术、工程等 8 个方面^[3]。气象现代化从起初的装

备与技术现代化^[4]发展到了防灾减灾、预警预报、装备技术等方面^[5]。中国地震局从风险防治、监测、服务等方面推进防震减灾事业现代化^[6]。生态环境治理体系现代化成为国家生态文明体制改革的重要目标之一^[7]。近年来, 相关部门先后出台了农业、气象、水利、能源、环境治理、防震减灾等领域现代化专项规划, 加快推进现代化建设。这些研究与探索为地质调查现代化研究提供了很好的参考。

目前关于地质调查现代化的研究还较少。寿嘉华^[8]提出依靠科学技术进步实现地质调查现代化, 主要是指大力加强新技术、新方法的研究与应用。赵文津^[9]探讨了区域地质调查现代化, 提出要面向土地、矿产、地质灾害、环境质量等需要, 对地表与深部地质进行多学科综合调查。李超龄等^[10]提出了天地空技术合一的地质工作现代化模式。可以看出, 以往地质调查现代化研究多集中在技术层面, 强调野外调查技术的现代化。

经济社会现代化是地质调查现代化的驱动力。

收稿日期: 2024 – 03 – 01; 修订日期: 2024 – 06 – 20。

基金项目: 中国地质调查局“地质调查规划部署与成果集成(编号: DD20221828)”项目资助。

第一作者简介: 杨建锋(1971—), 男, 研究员, 主要从事地质调查战略与规划方面的研究工作。Email: yjianfeng@mail.cgs.gov.cn。

现代化是 18 世纪工业革命以来人类发展的世界前沿,以及追赶、达到和保持世界前沿水平的行为和过程^[11]。相应地,地质调查现代化可以理解为,由经济社会现代化所驱动的,在地质调查领域追赶、达到和保持世界前沿水平的行为和过程。如何科学评估并推进地质调查现代化,是一个理论问题,更是一个实践问题,需要深入系统研究。本文在回顾发达国家地质调查现代化历程基础上,结合我国实际明确了地质调查现代化的内涵,建立了地质调查现代化评估指标体系并对我国地质调查现代化进行了定量评估,以中国地质调查局为例提出了我国地质调查现代化战略目标和途径,以期为推进我国地质调查现代化提供基础依据。

1 发达国家地质调查现代化历程与特征

从 18 世纪 60 年代第一次工业革命开始,迄今为止全球一共经历了四次大的现代化发展浪潮。伴随着现代化发展浪潮,发达国家地质调查现代化不断推进和发展。

1.1 地质调查现代化历程

随着现代化进程不断推进,现代化过程的资源需求和环境影响在逐步加大^[11]。每一次现代化浪潮的启动与进行,所出现的资源环境问题呈现出不同的特征,地质调查现代化也呈现出不同的特征。

第一次现代化浪潮发生于 18 世纪 60 年代至 19 世纪中叶。蒸汽动力与机械制造技术是驱动本次现代化浪潮发生的关键技术创新。蒸汽机推广应用引发了动力革命,煤炭需求快速增长,推动了煤炭采掘业快速发展。机器工业的发展带动了钢铁需求的增长。这个时期,工业化对生态环境影响较小,仅在局部地段发生了土壤和水污染问题。本次现代化浪潮推动了地质工作由自由科学探索为主向服务于矿产开发、工程建设等工业目的的转变。英国于 1835 年成立了世界首个国家地质调查机构——英国地质调查局(British Geological Survey, BGS),服务采矿、农业、开凿运河等产业发展^[12]。同时期,美国组织开展了地质科学考察、矿产调查等,服务于公有土地分类与拓荒、金矿开发等^[13]。这一时期地质调查主要集中在与煤炭、铁矿开发相关的局部地区地质科学考察。

第二次现代化浪潮发生于 19 世纪 60 年代至

20 世纪 20 年代。电力、内燃机技术是本次现代化浪潮发生的关键技术创新,推动工业重心由轻工业转向重工业。能源方面,煤炭消费继续快速增长,石油、天然气消费兴起。金属矿产方面,随着运输产业发展和机器制造业规模扩大,黑色金属消费增速加快,部分有色金属消费兴起。英国部分矿区发生了地面沉降,因采矿引发的环境问题引起注意。本次现代化浪潮推动了国家有计划、规模化开展区域性地质调查。在美国,联邦政府资助进行地质调查,并于 1879 年成立美国地质调查局(United States Geological Survey, USGS),“对公有土地进行分类,以及对国家疆域内地质结构、矿产资源和产品进行查验”^[13]。这一时期地质调查工作主要围绕金属矿产、油田、钾盐等开展区域地质填图和矿产调查。

第三次现代化浪潮发生于 20 世纪 40 年代至 70 年代,以电子计算机、自动控制、原子能等新技术发明为标志。自然资源消费量快速增加,自然资源开发进入“大加速”时期^[14-15]。能源方面,石油、天然气消费量大幅增加,先后超过煤炭成为能源供给主力,核能进入人类生活。金属矿产方面,绝大多数矿种进入到工业应用,但消费增长趋势出现分化。与此同时,区域性生态问题日益突出,环境污染严重,人类活动诱发的自然灾害发生频率显著增加。本次现代化浪潮导致地质调查由地质矿产为主向环境领域拓展。USGS 推进不同比例尺区域地质调查工作,矿产调查范围逐步由战略金属扩展到基本金属、非金属资源以及稀有金属,以州为单位对地下水资源进行调查^[16]。澳大利亚成立矿产资源、地质与地球物理局,实施了系列地质填图工作^[17]。地质调查方法全面升级,发展应用了航空摄影测量、质谱仪、地球化学、遥感等调查手段。60 年代之后,USGS 日益关注自然环境与保护,发展了环境地质、海洋地质、灾害地质等。1965 年,BGS 划归自然环境研究理事会管辖,环境地质、水文地质和工程地质投入大幅增加^[12]。

第四次现代化浪潮启动于 21 世纪初,关键技术包括信息技术深度与全面应用、新能源技术、新材料技术等。随着新兴产业发展,所需资源随之发生变化;能源方面,清洁、无污染、可再生新能源比例不断增大,化石燃料比例逐渐降低;金属矿产方面,传统大宗金属消费仍在中高位波动,稀有金属需求快速增加。全球化、工业化与城市化一起对全

球资源环境产生了前所未有的影响,气候变暖、生态退化、自然灾害等成为全球性问题。本次现代化浪潮推动了地质调查由资源环境调查为主向资源、环境、生态等综合研究转变。2013 年,USGS 发布气候和土地利用变化、生态系统、能源和矿产等领域 10 年战略规划,以生态系统管理统领地质调查业务布局^[18]; 2021 年,USGS 明确未来 10 a 将大力推进人类与自然地球系统调查、监测、分析与集成,研发下一代地球系统模式^[19]。2009 年,BGS 发布“面向不断变化的应用地学”战略规划,聚焦于地球“人类交互作用带”,推进地质科学与其他学科

交叉融合; 2022 年,BGS 发布 2023—2028 年战略规划,推进二维地质调查向三维/四维地质调查转变^[20]。

1.2 地质调查现代化主要特征

在历次现代化浪潮驱动下,地质调查现代化在主要理论、调查对象、调查技术、调查方法、主要产品、服务对象等方面表现出不同的特征(表 1)。例如,在服务对象方面,地质调查现代化从最初的服务于煤炭、铁矿开发和工程建设发展到目前的服务于生态系统管理、自然资源管理、自然灾害防治、气候变化应对、环境健康管理等。

表 1 世界历次现代化浪潮驱动下发达国家资源环境问题演变与地质调查现代化特征

Tab.1 Evolution of resource and environmental problems and the features of geological survey modernization in developed countries driven by past world modernization processes

现代化进程	第一次现代化浪潮	第二次现代化浪潮	第三次现代化浪潮	第四次现代化浪潮
时间范围	18 世纪 60 年代至 19 世纪 50 年代	19 世纪 60 年代至 20 世纪 20 年代	20 世纪 40 年代至 20 世纪 70 年代	21 世纪初至今
关键资源	煤炭、铁矿	煤炭、石油; 钢铁、锰; 铜、铅、锌、钨、锡、锑; 金、银	石油、天然气、核能; 铁、锰等黑色金属; 铜、铅等有色金属; 金、银等贵金属	可再生能源; 稀有金属等
环境问题	局部污染	区域污染; 矿山环境问题	区域性生态退化; 环境污染; 自然灾害	全球气候变暖、生态退化、自然灾害
主要理论	地槽地台说	大陆漂移说	板块构造学说	地球系统科学
调查对象	基岩出露区地质	重点区区域地质	岩石圈、水圈	地球关键带、地球系统
调查技术	地质锤与勘测技术	钻探与剖面勘测技术	地球物理、地球化学、航空遥感等技术	地理信息、遥感和全球定位技术、数字孪生、数字填图等技术
调查方法	科学考察、侦查或踏勘	区域填图	区域填图、观测监测	区域填图、观测监测、模型模拟
主要产品	小比例尺纸质地质图	中比例尺纸质地质图	不同比例尺数字地质图、地质数据	数字地质图、地质数据、模型工具软件
服务对象	煤炭、铁矿开发; 工程建设; 农业开发	石油与矿产开发; 土地管理; 城市建设	能源与矿产资源开发; 环境污染治理; 自然灾害防治	生态系统管理; 自然资源管理; 自然灾害防治; 气候变化应对; 环境健康管理

(1)基础性地质数据与地质资源环境要素监测数据是地质调查现代化的基础与核心。绝大多数国家实现了小比例尺地质编图全覆盖,大多数发达国家中比例尺填图覆盖程度较高,大比例尺填图稳步推进^[21]。在最新科学战略中,USGS 将地质填图作为其关键任务,目标是在 2030 年前为美国领土绘制一套完整的、三维立体的数字地质图^[22]; BGS 将英国陆域与海域二维、三维地质填图作为首要任务,利用先进的地球物理调查技术提高基础地质数据和框架模型精度^[20]。USGS 拥有完善的观测监测网络,包括水文监测网、全球地震监测站、火山观测台、地磁观测台等。欧盟强化资源环境统一监测,通过实施哥白尼计划提升地球环境遥感监测能力^[23]。

(2)研发和应用先进的调查技术是推进地质调

查现代化的重要动力。每次科技革命产生的革命性、颠覆性新技术为地质调查工作提供了新的技术手段。在第三次现代化浪潮中,USGS 研发出了地球物理勘探、地球化学分析、电子显微镜、航空摄影测量等技术,大大提升了探知地质体的能力。1972 年美国发射首颗地球资源卫星,提供了对整个地球系统行为进行长期、立体监测的能力^[24]。

(3)根据国家现代化需求变化及时调整服务方向和工作重点是地质调查现代化的重要保障。在工业化阶段,能源、矿产、水等资源需求快速增长,资源性地质调查工作需求旺盛。在后工业化阶段,生态环境改善需求急剧增长,资源性地质调查工作重要程度相对下降。部分国家的地调局未能根据国家需求变化及时做出调整,遭遇生存危机或发展

困境^[25]。例如,成立于 1867 年的意大利地质调查局,于 1999 年被并入意大利国家环境保护研究所,失去了作为独立法人单位存续和发展的机会。

2 我国地质调查现代化进程评估

2.1 地质调查现代化的内涵

地质调查现代化是由国家现代化所驱动的,在地质调查领域追赶、达到和保持世界前沿水平的行为和过程。地质调查现代化不仅是经济社会发展的客观要求,也是地质调查自身发展的内在需要。一方面,地质调查现代化是服务国家现代化建设、满足经济社会发展需求的现代化,其基本任务是持续满足经济社会发展所需要的基础性地质数据、地质资源环境国情数据、地质资源环境要素动态变化数据,不断提高经济社会发展对地质调查数据需求

的满足程度,不断提高对经济社会发展的服务能力 and 水平。另一方面,地质调查现代化是服务自身可持续发展、提高地质调查综合能力的现代化,地质调查工作要从传统地质工作体系向现代地质工作体系转变,从传统地质工作范式向现代地质工作范式转变,不断推进地质理论与技术研发,持续推进队伍、装备、管理等能力建设。

基于以上分析,地质调查现代化具体可以分解为 4 个方面:①地质调查基础数据内容的现代化,解决国家现代化新需求地质资料有无的问题;②地质数据管理、表达和成果服务的现代化,解决地质调查服务好用的问题;③地质调查科技的现代化,解决与世界前沿水平的差距问题;④队伍、装备、管理等方面能力的现代化,解决地质调查可持续发展的条件保障(图 1)。内容现代化是基础,服务现代化是目的,科技现代化是核心,能力现代化是保障。

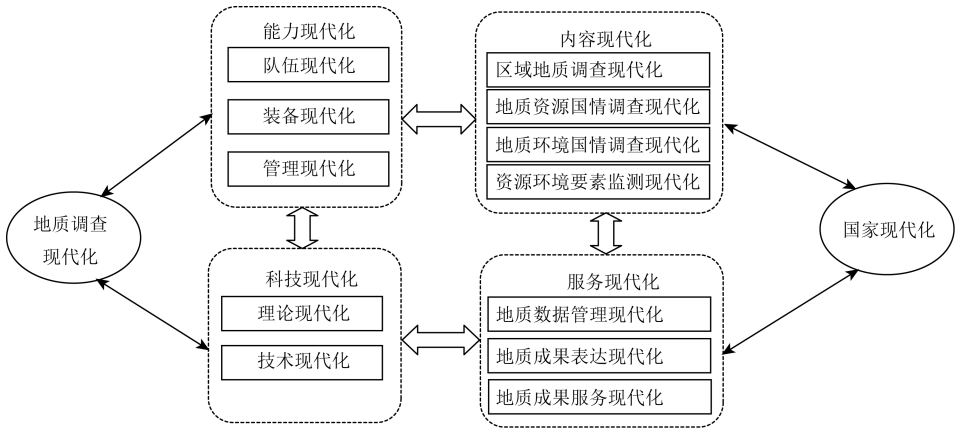


图 1 地质调查现代化内涵

Fig. 1 Concept of geological survey modernization

2.2 地质调查现代化评估指标体系

基于地质调查现代化内涵,遵循客观性、动态性、可操作性、可获得性原则,选取具体指标构建了构建地质调查现代化评估指标体系,共 5 个一级指标,12 个二级指标(表 2)。采用国土基础地质条件认知程度、资源环境要素观测监测覆盖程度 2 个一级指标表征内容现代化程度,衡量地质调查数据对经济社会发展需求的满足程度。采用数据资源开发与共享程度一级指标表征服务现代化程度,衡量地质调查领域数字化、网络化、智能化进程。采用地质调查科技创新能力一级指标表征科技现代化程度,衡量在地学领域的引领力和影响力。采用地质调查保障能力一级指标表征能力现代化程度,衡量地质调查人才队伍、装备、管理等能力建设的

进程。

在二级指标的选择上,国土基础地质条件认知程度包括区域地质条件认知程度、地质资源国情认知程度、地质环境国情认知程度;资源环境要素观测监测覆盖程度包括遥感监测覆盖程度、地面监测网覆盖程度;数据资源开发与共享程度包括地质调查信息化水平、地质数据与资料服务水平;地质调查科技创新能力包括科学研究能力、技术研发能力;地质调查保障能力包括地质调查装备水平、地质调查人才队伍能力、地质调查经费投入强度。

地质调查现代化实现程度按下式计算

$$G = \sum_{i=1}^n W_i \sum_{j=1}^m w_j x_{ij} \quad (1)$$

式中: G 为地质调查现代化实现程度,其数值越大,

表 2 地质调查现代化评估指标体系与指标含义

Tab. 2 Evaluation index system of geological survey modernization and the index meaning

一级指标	二级指标	指标含义
国土基础地质条件认知程度	区域地质条件认知程度	中比例尺(1:20 万、1:25 万)区域地质调查完成程度;大比例尺(1:5 万)区域地质调查完成程度
	地质资源国情认知程度	中比例尺(1:20 万、1:25 万)矿产地质调查完成程度;大比例尺(1:5 万)矿产地质调查完成程度
	地质环境国情认知程度	中比例尺(1:20 万、1:25 万)水文地质调查完成程度;大比例尺(1:5 万)水文地质调查完成程度
资源环境要素观测监测覆盖程度	遥感监测覆盖程度	陆地遥感卫星在轨数量
	地面监测网覆盖程度	地下水监测网覆盖程度(地质灾害、地应力等)
数据资源开发与共享程度	地质调查信息化水平	地质调查数字化、网络化、智能化水平
	地质数据与资料服务水平	地质资料馆藏资料数量与服务量
地质调查科技创新能力	科学研究能力	发表学术论文数量
	技术研发能力	授权专利数量
地质调查保障能力	地质调查装备水平	自主研制航空物探仪器技术指标
	地质调查人才队伍能力	职工总数;高级技术人员比例
	地质调查经费投入强度	人均地质调查经费

实现程度就越高; W_i 为一级指标的权重; w_i 为二级指标的权重; x_{ij} 为二级指标经过规范化处理后的标准值; n 为主体评价指标的个数; m 为群体评价指标的个数,个。

评估所需的基础数据,包括区域地质调查完成面积、地下水监测井数量、全国地质资料馆藏资料数量和服务量、中国地质调查局职工数量、地质调查中央财政投入等,主要来源于历年全国地质勘查行业情况通报、全国地质勘查成果通报、中国自然资源统计年鉴、中国地质调查局年鉴、全国地质资料管理与服务情况通报等;发表学术论文数量来源于 CNKI 数据库,授权专利数量来源于国家知识产权局。

2.3 地质调查现代化评估结果

随着区域地质调查、矿产地质调查、水文地质调查持续进行,我国对包括区域地质、矿产地质、水文地质等在内的基础地质条件认知程度不断提升。以区域地质调查为例,2000—2022 年我国 1:5 万区调覆盖国土面积比例由 24.1% 提高到 45.8%。从时间上来看,区域地质、矿产地质、水文地质等基础性调查完成面积在 2011—2017 年增长最快,近年来完成面积呈减少趋势。

我国地质资源环境观测能力大幅提升。从陆地遥感卫星来看,2010 年之前我国卫星以技术试验性单星为主;2010 年以来,我国陆地遥感卫星数量和质量“双提升”,2022 年我国陆地遥感在轨卫星达到 21 颗^[26]。从地下水监测来看,2000—2022 年地下水监测井从 2000 年的 1.17 万眼增长到 2022

年的 2.66 万眼,增长了 1.3 倍。

地质信息化经历了数字化、网络化和大数据 3 个阶段,我国建成国家地质数据库体系,开发了数字地质调查系统,研发了各种地质数据服务产品,建成了集地质调查、业务管理、数据共享和服务于一体的“地质云”^[27]。全国地质资料馆藏资料数量和服务量持续增长,馆藏资料数量从 2011 年的 11.35 万档增至 2022 年的 52.49 万档。

地质调查科技创新能力得到显著提升。从发表学术论文来看,2000—2015 年发表学术论文数量快速增长,年均增长 13.0%;2016 年以来发表学术论文数量趋稳,每年平均发表学术论文 1 244 篇。从授权专利来看,2000—2008 年年均授权专利 5 件,2009—2019 年年均授权专利数量 101 件,2020—2022 年年均授权专利 472 件。

地质调查装备、人员和经费投入对地质调查工作持续发展具有重要的保障作用。装备方面,以自主研制航空物探技术为例,经历了中低精度、高精度及高分辨测量,各类方法总体达到了国际先进水平,其中航磁矢量测量技术等处于国际领先水平^[28]。从职工数量来看,在 2018 年原武警黄金部队并入后,中国地质调查局在职职工由 8 500 人增长到 13 300 人。2006—2016 年地质调查中央财政投入保持快速增长态势,2016 年以来中央财政投入不断下降,从 2016 年的 88.4 万元/人下降到 2022 年的 20.5 万元/人。

综合国土基础地质条件认知程度、资源环境要素观测监测覆盖程度、数据资源开发与共享程度、

地质调查科技创新能力、地质调查保障能力 5 个指标变化,可以得到 2000—2022 年地质调查现代化实现程度,2022 年达到了 73.8%。2000—2009 年,地质调查现代化实现程度缓慢提升,年均增长 0.8 个百分点;2010—2018 年实现程度快速提升,年均增长 2.7 个百分点;2019—2022 年实现程度增速稍降,年均增长 2.3 个百分点。展望 2035 年和 2050 年,地质调查现代化实现程度预计分别达到 90% 和 100%。

3 中国地质调查局地质调查现代化总体思路与发展路径

面对中国式现代化建设对地质调查工作的新需求,面对新一轮科技革命和全球地学发展对地质调查工作深刻影响,中国地质调查局作为国家公益性地质调查队伍,应科学谋划、持续推进地质调查现代化,引领全国地质调查现代化进程。

3.1 总体思路

以支撑和服务中国式现代化为目标,围绕国家对地质调查工作的要求和社会经济发展、生态文明建设、自然资源管理等对地质调查工作的重大需求,推进国土基础地质条件与地质资源环境国情认知水平持续提升,推进地质资源环境要素观测监测能力持续提升,以数字化、网络化、智能化技术深度应用推进地质调查服务水平持续提升,以科技创新推进在全球地学领域影响力持续提升,实现地质调查工作高质量发展。

以支撑和服务中国式现代化为目标。中国式现代化是协调发展的综合现代化,各个部门高质量发展是实现中国式现代化建设的必然途径^[29]。地质调查现代化要按照中国式现代化目标来布局 and 安排,将地质调查工作融入中国式现代化建设大局,充分发挥其基础与支撑作用。

以国家重大需求为导向。围绕经济高质量发展、生态文明建设、自然资源管理等对地质调查工作的重大需求,瞄准有重要影响的重大资源环境问题和地球系统科学问题,攻坚克难,久久为功。

以区域地质调查和地质资源环境国情调查为基础。区域地质调查通过不同比例尺填图,提高对国土基础地质条件的认知水平。能源、矿产、水、地质灾害等资源环境国情调查,通过数量、质量、生态“三位一体”调查,不断摸清资源家底、开发潜力和

地质环境状况。

以地质资源环境要素观测监测网为重要基础设施。整合遍布天空、海洋、地表及以下的各类探测器,建立统一的对地观测、地面监测与深部探测体系,实时获取资源、环境、生态与灾害相关的要素数据。

以信息化技术深度与全面应用为重要抓手。推进地质调查数字化、网络化和智能化,推动基于大数据的人工智能研究。基于三维地质框架模型,建立不同领域预测评价模型,耦合地质、生态、大气等模型构建地球系统模拟模型,建设数字孪生地球。

以地质调查科技创新为重要驱动力。瞄准世界科技前沿,实现战略科技全球引领。围绕地质调查战略科技问题攻关,加强核心技术与装备研发,不断提高地质调查工作的科研能力与装备水平。

3.2 战略目标

总体目标:到 2035 年基本实现地质调查现代化,建成世界一流新型地质调查局;到 2050 年全面实现地质调查现代化,建成基础雄厚、独具特色、科技领先、蜚声国际的世界一流新型地质调查局。

到 2035 年,主要目标是国土基础地质条件认知程度明显提升,1:5 万区域地质调查陆域国土面积覆盖率达到 53%~55%;建成地质资源环境要素观测监测网,形成地表圈层要素长期获取和实时动态感知能力;地质调查信息化程度明显提升,初步建成地球系统模拟模型和数字孪生地球;地质调查科技创新能力总体达到国际先进水平,部分领域科技创新达到国际领先水平;深地探测、深海探测、空天对地观测、天然气水合物、地热能、战略性矿产等战略科技力量全面形成,建成世界重要地质人才中心和创新高地,实现地质调查治理体系治理能力现代化。

3.3 发展路径

从地球透明化、监测立体化、服务智能化、科技尖端化、机构高端化 5 条路径推动地质调查现代化,促进国土基础地质条件认知程度提升、地表圈层要素实时动态感知能力提升、地球系统模拟预测预警能力提升、全球地学影响力与引领力提升、人才装备与治理能力提升,服务支撑战略性资源安全保障、推进人与自然和谐共生、服务支撑双碳目标实现、促进区域协调发展和乡村振兴、推进自然资源治理能力提升(图 2)。

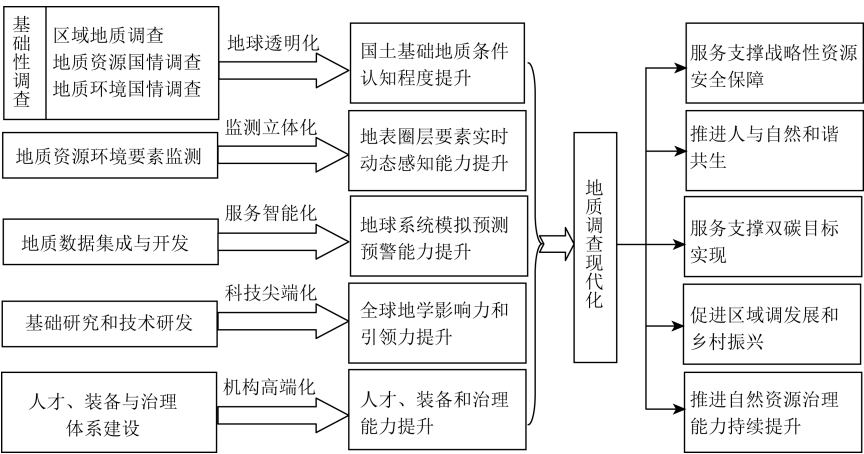


图 2 地质调查现代化发展路径示意图

Fig. 2 Diagram of development routes for geological survey modernization

3.3.1 持续推进基础性地质调查

围绕自然资源勘查开发、生态环境保护、自然灾害防治、工程建设等需要,持续开展区域地质调查和地质资源环境国情调查,建立全国三维地质框架模型,不断提高模型精度。

推进区域地质调查。以陆块聚散及资源环境响应为科学主线,以解决岩石、地层、构造、古生物等基础地球科学问题为切入点,对资源、环境、生态、灾害赋存或发生的地质背景进行调查,重点加强地壳表层物质组成和地物化等基本特征调查和深部地质结构、表生地质过程、多圈层交互作用和资源环境效应研究。

推进地质资源国情调查。服务国家双碳目标和新能源、新材料等战略性新兴产业发展,加强能源矿产、战略性新兴矿产、大宗紧缺矿产调查评价。以清洁低碳能源为核心,推进油气、非常规油气、铀钍、地热等能源调查评价;以重要矿集区、资源集中区和重要找矿远景区为重点,推进战略性新兴产业和大宗紧缺矿产调查评价。

推进地质环境国情调查。坚持生态导向、保护优先、合理开发、永续利用原则,开展水文地质与水资源调查评价;聚焦地质灾害诱发因素、形成机理、发育规律、成灾模式等关键问题,加强崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害调查评价;以环境脆弱区和生态功能区为重点,开展环境地质和生态地质调查。

3.3.2 推进地质资源环境要素观测监测

围绕资源、环境、灾害等管理与研究需要,以卫星、航空、潜水器、井中探测、实时监测点、野外综合

观测站等为手段建立星空地海井一体化动态监测网络体系。

强化与升级对地观测网络。利用国家遥感卫星对地观测体系,推动卫星遥感数据向高空间分辨率、高光谱分辨率、精细化精准化观测发展;研制航空地球物理尖端技术装备和先进的数据处理解释方法与软件,提高对地表圈层资源环境要素的分辨能力和探测深度。

建设和优化完善地面监测网络。推动地下水监测网、地质灾害监测网、地球化学基准网、土壤环境监测网等建设,推进水、土、灾害、地应力等地质资源环境要素动态监测。

建设地质资源环境观测监测大数据平台。集成对地观测网络、地面监测网络所采集的各类观测监测数据,同时链入其他部门开展的各类资源环境监测数据。

3.3.3 基于信息化技术推进数据集成开发

应用数字化、网络化和智能化技术,汇集地质调查、观测监测数据和与人类活动有关的数据,基于三维地质框架模型,针对各种应用建立不同领域预测评价模型;耦合地质、生态、大气等地球系统过程模型构建地球系统模拟模型,建成数字孪生地球。

推进地质大数据体系建设。持续推进基础性地质数据库、观测监测与探测数据库、自然资源数据库、地质灾害数据库、自然资源与生态环境管理数据库、社会经济活动数据库等数据库体系建设,建立统一数据模型的地质大数据资源池。

建立各类地质过程数学模拟模型和应用评价

模型。针对岩石圈物质运移、能量迁移和地壳运动等地质过程,基于三维地质框架模型建立地质过程数学模型;针对矿产资源预测、水资源管理、地质灾害防治等实际应用,建立各专业预测评价模型;搭建以地质大数据平台为“云”、业务应用系统为“端”的“云+端”业务工作模式,支撑业务网络化运行。

建立地球系统模拟模型和数字孪生地球。基于三维地质框架模型,耦合地质、生态、大气等地球系统过程模型构建地球系统模拟模型;建设数字孪生地球,考虑不同社会经济发展情景,对资源、环境、生态、灾害等问题进行模拟预测和综合分析。

3.3.4 推进基础研究和技术研发

瞄准国际地学前沿,开展重大基础科学问题研究和地球系统科学理论研究,加强调查、探测和分析技术研发,不断提升我国地学领域的全球影响力和引领力。加强新理论、新技术和经济社会现代化发展对地质调查影响的前瞻性研究。

开展重大基础科学问题研究与地球系统科学理论研究。加强地球关键带过程、深部动力过程、海洋与地球内部相互作用、全球变化、资源形成、灾害机理、人地耦合、碳循环和碳中和等重大基础科学问题研究,深化对地球宜居性的认识。

加强调查、探测和分析等核心技术研发。围绕深部资源勘查与空间利用,加快城市地下空间、深部油气和矿产、深部地热能等领域探测技术与装备研发;围绕深海探测,开展水面观测、深海钻探、深潜、深海观测网络等技术攻关;围绕观测监测探测体系建设,开展自然资源与环境变化综合监测、重大自然灾害预测预警等技术研发。

3.3.5 推进人才、装备与治理体系建设

以人才队伍、装备建设和治理体系现代化为核心,建设世界重要地质人才中心,推动重大技术装备水平整体提升,建设适应国家发展要求、符合地质调查发展规律的现代治理体系,建成追求卓越、包容兼蓄、风清气正、充满活力的创新生态系统。

建强地质调查人才队伍体系。构建以院士和各级地质人才为引领,培养与引进并举的地质科技创新人才体系;深化人才发展体制机制改革,加快形成有利于人才成长的培养机制、有利于人尽其才的使用机制、有利于潜心研究的评价机制、有利于迸发活力的激励机制。

加强地质调查装备建设。加强重大科技基础设施建设,加强专业设备列装,推进对地观测、地面探测、海洋调查、地质环境监测、现场分析测试等轻便化、智能化装备建设;提升地质工作安全保障、野外营地列装等装备标准;加强野外站网与基地建设。

加强地质调查现代治理体系建设。完善地质调查政策法律体系,提高政策和制度有效性和执行力;健全专业齐全、特色鲜明、优势互补的业务体系,完善地质调查项目管理体系。

4 结论

(1)发达国家地质调查现代化发展历程表明,基础性地质数据与地质资源环境要素监测数据是地质调查现代化的基础与核心,应用和研发先进的调查技术是推进地质调查现代化的重要动力,根据国家现代化需求及时调整工作重点和服务方向是地质调查现代化的重要保障。

(2)基于国土基础地质条件认知程度、资源环境要素观测监测覆盖程度、数据资源开发与共享程度、地质调查科技创新能力、地质调查保障能力等五个维度对我国地质调查现代化进程进行了评估,结果表明我国地质调查现代化进程呈现 S 曲线变化,到 2022 年实现程度达到 73.8%。展望 2035 年和 2050 年,实现程度预计分别达到 90% 和 100%。

(3)中国地质调查局作为国家公益性地质调查队伍,应科学谋划、持续推进地质调查现代化,引领全国地质调查现代化进程。推动中国地质调查局地质调查现代化的发展途径:通过地球透明化,建立全国三维地质框架模型;通过监测立体化,建立全国地表圈层监测体系;通过服务智能化,提升地球系统模拟预测预警能力;通过科技尖端化,提升我国地学领域的全球影响力和引领力;通过机构高端化,打造世界一流地调机构。

参考文献(References):

- [1] 于磊. 中国式现代化道路的发展脉络、科学内涵及世界意义[J]. 学术探索, 2023(2): 31-38.
Yu L. The development context, scientific connotation and world significance of the Chinese - style modernization path[J]. Academic Exploration, 2023(2): 31-38.
- [2] 刘树坤. 中国水利现代化初探[J]. 水利发展研究, 2002, 2(12): 7-11, 14.

- Liu S K. On modernization of water industry in China[J]. Water Resources Development Research, 2002, 2(12): 7–11, 14.
- [3] 左其亨, 纪义虎, 马军霞, 等. 人与自然和谐共生的水利现代化建设体系及实施路线图[J]. 人民黄河, 2021, 43(6): 1–5.
- Zuo Q T, Ji Y H, Ma J X, et al. Water conservancy modernization construction system and implementation roadmap of human – nature harmony theory[J]. Yellow River, 2021, 43(6): 1–5.
- [4] 中国气象局. 中国气象现代化 60 年[M]. 北京: 气象出版社, 2009.
- China Meteorological Administration. 60 Years of Meteorological Modernization in China[M]. Beijing: China Meteorological Press, 2009.
- [5] 唐伟, 朱玉洁, 王喆. 气象现代化区域发展水平评估实证研究[J]. 阅江学刊, 2018, 10(3): 46–54, 145–146.
- Tang W, Zhu Y J, Wang Z. The evaluation of regional development level of meteorological modernization: an empirical study[J]. Yuejiang Academic Journal, 2018, 10(3): 46–54, 145–146.
- [6] 高宇欣, 陈为涛, 赵秋红. 中国防震减灾事业现代化指数构建研究[J]. 自然灾害学报, 2021, 30(4): 35–43.
- Gao Y X, Chen W T, Zhao Q H. Study on the construction of modernization index of earthquake prevention and mitigation in China[J]. Journal of Natural Disasters, 2021, 30(4): 35–43.
- [7] 孔凡斌, 王苓, 徐彩瑶, 等. 中国生态环境治理体系和治理能力现代化: 理论解析、实践评价与研究展望[J]. 管理学报, 2022, 35(5): 50–64.
- Kong F B, Wang L, Xu C Y, et al. Modernization of China's ecological environment governance system and governance capacity: Theoretical analysis, practical evaluation and research prospect[J]. Journal of Management, 2022, 35(5): 50–64.
- [8] 寿嘉华. 依靠科学技术进步实现地质调查现代化——在区调现代化新技术新方法研讨班上的讲话[J]. 国土资源通讯, 2002(8): 23–25.
- Shou J H. Realizing modernization of geological survey with improvement of science and technology[J]. National Land & Resources Information, 2002(8): 23–25.
- [9] 赵文津. 中国区域地质调查现代化与加强深部调查[J]. 中国工程科学, 2003, 5(6): 25–32.
- Zhao W J. On modernization of the regional geological survey and deep exploration techniques in China[J]. Strategic Study of CAE, 2003, 5(6): 25–32.
- [10] 李超岭, 刘畅, 刘圆圆, 等. 天地技术合一的野外地质工作现代化模式[J]. 地理信息世界, 2014, 21(6): 106–113.
- Li C L, Liu C, Liu Y Y, et al. Field geological work modernization mode based on GRID GIS and satellite navigation communication technology[J]. Geomatics World, 2014, 21(6): 106–113.
- [11] 何传启. 中国生态现代化路径图[J]. 中国科学院院刊, 2007, 22(3): 202–208.
- He C Q. The road map of the modernization of ecology in China[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2007, 22(3): 202–208.
- [12] Allen P. A Geological Survey in Transition[R]. British Geological Survey Occasional Publication No. 1, NERC, 2003.
- [13] Rabbitt M C. The United States geological survey: 1879–1989[R]. Denver: U. S. Geological Survey, 1989.
- [14] Steffen W, Crutzen P J, McNeill J R. The anthropocene: Are humans now overwhelming the great forces of nature[J]. AMBIO: A Journal of the Human Environment, 2007, 36(8): 614–621.
- [15] Steffen W, Broadgate W, Deutsch L, et al. The trajectory of the anthropocene: the great acceleration[J]. The Anthropocene Review, 2015, 2(1): 81–98.
- [16] Kropshot S J, Johnson K M. USGS mineral resources program – supporting stewardship of America's natural resources[R]. Reston: U. S. Geological Survey, 2006.
- [17] Commonwealth of Australia, Department of Finance and Deregulation. Strategic review of geoscience Australia[R]. Strategic Review Branch, Department of Finance and Deregulation, 2011.
- [18] Bristol R S, Euliss N H, Booth N L Jr, et al. U. S. Geological Survey core science systems strategy: Characterizing, synthesizing, and understanding the critical zone through a modular science framework[R]. Reston: U. S. Geological Survey, 2013.
- [19] U. S. Geological Survey. U. S. Geological Survey 21st – century Science Strategy 2020–2030[R]. Reston: U. S. Geological Survey, 2021.
- [20] British Geological Survey. Understanding our earth: British Geological Survey strategy 2023–2028[R]. Nottingham: British Geological Survey, 2022.
- [21] 张鑫刚, 李仰春, 孙仁斌. 世界主要国家地质填图现状、特点、趋势及启示[J]. 矿产勘查, 2020, 11(2): 301–310.
- Zhang X G, Li Y C, Sun R B. State, features, trends and enlightenment of geological mapping in major countries of the world[J]. Mineral Exploration, 2020, 11(2): 301–310.
- [22] Brock J, Berry K, Faulds J, et al. Renewing the National Cooperative Geologic Mapping Program As the Nation's Authoritative Source for Modern Geologic Knowledge[R]. Reston: U. S. Geological Survey, 2021.
- [23] Schulte – Braucks R. Observing the land beyond[J]. International Innovation, 2013: 44–47.
- [24] National Research Council. Earth System Science: A Closer View[M]. Washington: The National Academies Press, 1988.
- [25] 崔熙琳, 周平. 美国地质调查局核心理念的演变与启示[J]. 中国矿业, 2015, 24(9): 41–43, 53.
- Cui X L, Zhou P. Evolution of USGS core concept and its implication[J]. China Mining Magazine, 2015, 24(9): 41–43, 53.
- [26] 周晓青, 彭明媛, 胡芬. 我国陆地遥感卫星发展现状与展望[J]. 卫星应用, 2022(9): 14–19.
- Zhou X Q, Peng M Y, Hu F. Status and outlook of land satellites in China[J]. Satellite Application, 2022(9): 14–19.
- [27] 谭永杰, 文敏. 地质信息化建设研究进展与展望[J]. 中国地质调查, 2023, 10(2): 1–9.
- Tan Y J, Wen M. Research progress and prospect of geological informatization construction[J]. Geological Survey of China, 2023, 10(2): 1–9.

[28] 熊盛青. 航空地球物理勘查科技创新与应用[J]. 地质力学学报,2020,26(5):791–818.
Xiong S Q. Innovation and application of airborne geophysical exploration technology[J]. Journal of Geomechanics,2020,26(5):791–818.

[29] 何传启. 中国式现代化的分层结构和三个建议[J]. 中国科学院院刊,2023,38(3):484–491.
He C Q. Hierarchy structure and three recommendations on Chinese approach to modernization[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences,2023,38(3):484–491.

Process evaluation and development routes of geological survey modernization in China

YANG Jianfeng, YAO Xiaofeng, YU Yun, ZHANG Cuiguang, CHEN Ji, MA Teng, ZUO Liyan
(Development Research Center of China Geological Survey, Beijing 100037, China)

Abstract: Geological survey modernization is an important part of Chinese modernization program, and also the important supporting and security for Chinese modernization program. On the basis of the review of processes and characteristics of geological survey modernization in developed countries, the authors established an evaluation index system of geological survey modernization from five dimensions, including degree in understanding land basic geological conditions, coverage degree of monitoring and observing of geological resources and environment, degree of developing and sharing of geological data resources, scientific and technological innovation capability of geological survey, and supporting capability of geological survey. And the realization degree of geological survey modernization from 2000 to 2022 in China was quantitatively evaluated. The results indicated that the process of geological survey modernization in China presented an S curve change, and the realization degree reached 73.8% in 2022. The realization degree of geological survey modernization in China is expected to achieve 90% and 100% respectively in 2035 and in 2050. The strategic objectives and development routes of geological survey modernization of China Geological Survey were proposed based on the evaluation results. The geological survey modernization program should be promoted from five perspectives, including basic geological mapping, monitoring and observing of geological resources and environment, integrating and developing of geological data and simulating of earth system, research and development in geological science and technology, and capability building in human resource, equipment, and governance system, to realize the high – quality development of geological survey. The study results could provide basis for promoting modernization of geological survey in China.

Keywords: geological survey; modernization; realization degree; development routes

(责任编辑: 王晗)