

doi:10.12097/j.issn.1671-2552.2023.09.009

地质调查技术标准体系研究与展望

金霄^{1,2}, 路玉林³, 罗晓玲^{1,2}, 解雅麟², 费振华², 冯艳芳^{1,2*}

JIN Xiao^{1,2}, LU Yulin³, LUO Xiaoling^{1,2}, XIE Yalin², FEI Zhenhua², FENG Yanfang^{1,2*}

1. 中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037;
2. 中国地质调查局自然资源综合调查指挥中心, 北京 100055;
3. 中国地质调查局, 北京 100037

1. *Development and Research Center, China Geological Survey, Beijing 100037, China;*
2. *Command Center of Natural Resource Comprehensive Survey, China Geological Survey, Beijing 100055, China;*
3. *China Geological Survey, Beijing 100037, China*

摘要:为助力新时代地质调查工作高质量发展,充分发挥标准化支撑引领作用,以历版地质调查技术标准体系及其相关体系为参考,总结特点和规律,引入系统思想,依托信息化技术,对现代化地质调查技术标准体系构建提出展望。研究认为,地质调查技术标准体系演绎展现了地质调查业务发展的轨迹和特征;呈现出以 5 年为周期的规律;逐渐呈现复杂系统性。研究提出全领域、多门类、智能化标准体系的构建可以分阶段实现:①以业务领域、技术方法、管理为分类属性,构建三维数字化地质调查标准体系格架;②依托信息化技术呈现标准体系表;③以机器可读标准和地球科学知识图谱为引擎,推动标准体系升级,为地质调查工作科学、健康和高效发展提供更多的标准数据支持和前瞻启示。

关键词:标准体系;地质调查;系统科学;知识图谱

中图分类号:P5 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2023)09-1531-10

Jin X, Lu Y L, Luo X L, Xie Y L, Fei Z H, Feng Y F. Research and prospect of geological survey technical standard system. *Geological Bulletin of China*, 2023, 42(9): 1531-1540

Abstract: In order to play the role of standardization in supporting and leading the high-quality development of geological survey in new era, this paper reviews the history of geological survey technical standard system, and summarizes the characteristics and rules. This study puts forward the prospect of the construction of modern geological survey technical standard system, relying on information technology and system science. The research believes that the technical standard system of geological survey shows the track and characteristics of the development of geological survey business; has a five-year cycle; appears complex and systematic. This study proposes that the construction of all-field, multi-category and intelligent standard system can be realized gradually in stages: ①construct a 3D framework of digital geological survey standard system with work fields, technologies and management as three dimensions. ②develop the table of standards system relying on information technology. ③promote the upgrading of standard system, with Machine Readable Standards and Earth Science Knowledge Graph as engines, to provide more standard data and prospective enlightenment for the scientific, healthy and efficient development of geological survey.

Key words: standard system; geological survey; system science; knowledge graph

进入 21 世纪以来,地质学快速发展,世界地质工作迎来多项重大突破。美国页岩油气革命、中国

天然气水合物突破、美欧推出关键矿产清单、巴黎气候协定实施,影响着全球能源资源结构、地缘政

收稿日期:2023-03-10;修订日期:2023-06-06

资助项目:中国地质调查局项目《地质调查标准化与标准制修订》(编号:DD20230114)和《自然资源综合调查标准化与标准制修订》(编号:DD20230530)

作者简介:金霄(1990-),男,博士,工程师,从事油气地球化学及标准化工作。E-mail:jinx622109@foxmail.com

*通信作者:冯艳芳(1973-),女,博士,研究员,从事地质矿产领域标准化工作。E-mail:fyanfang@mail.cgs.gov.cn

治博弈和人类可持续发展(施俊法,2020;2022)。面对复杂的国际局势,中国国民经济发展对地质调查工作提出更多更高要求。

地质调查标准是指导地质工作的技术支撑,也是服务国家生态文明建设和科学管理的有效手段(倪春晓,2003;杜子图等,2017)。地质调查技术标准体系是现代地质调查技术体系产品的载体。2021年10月,《国家标准化发展纲要》指出“加快构建推动高质量发展的标准体系”。《标准体系构建原则和要求》(GB/T 13016—2018)定义的标准体系是一定范围内的标准按其内在联系形成的科学的有机整体。麦绿波(2019)对标准体系做了补充定义,即根据使用目的,系统性设计所需标准的合理组成方案和建立的标准资源集合,主要包括标准体系框架、标准体系表和标准实体。改革开放以来,地质调查技术标准体系最早可以追溯到1989版《地质矿产行业标准体系》(梁凯,2006)。此后,原地质矿产部、原国土资源部和自然资源部根据不同时期的标准化需求,分别制定了相应的标准体系。1999年,中国地质调查局成立,负责统一部署和组织实施国家基础性、公益性、战略性地质和矿产勘查工作(施俊法,2016)。地质调查技术标准体系作为历版《国土资源标准体系》、《自然资源标准体系》的重要组成部分,长期支撑地质调查业务标准化发展。中国地质调查局成立后,2004年首次制定《地质调查技术标准体系》(倪春晓,2004)。之后的每版标准体系,都是对当时地质调查需求、科技水平、管理范围、经济条件等各方面标准化程度的综合反映。随着地质调查业务不断拓宽,标准化对象越来越多,数字化、网络化、智能化技术日新月异,标准化服务各业务领域的需求迅猛增长。从2004版《地质调查技术标准体系》仅设立7个专业子体系,到2021版子体系的数量增加至12个(杨清华,2013;李典,2016;杜子图等,2017;姚震等,2019),以传统“层次+专业”二维结构的标准体系框架愈发难以满足快速增长的业务发展需求(倪春晓,2003)。另一方面以机器可读标准(Standards Machine Applicable, Readable and Transferable)为首的信息技术日益成为驱动标准范式变革的核心动力。为应对新一轮科技革命浪潮,依托信息化技术,构建现代化、全领域地质调查技术标准体系的需求愈发紧迫。

面对越来越多的标准化对象,为发挥标准体系

对地质调查工作的基础引领功能,追赶信息革命的浪潮,本文收集了历版《地质调查技术标准体系》及其相关的标准体系,研究总结各体系特点和时代背景,引入系统思想,依托信息化技术,对未来现代化、全领域地质调查技术标准体系构建提出展望。

1 历版地质调查技术标准体系构建背景与内容

1.1 《地质调查技术标准体系》前身

1982年,原地质部改组为地质矿产部。标准工作范围涵盖区域地质矿产地质、水文地质工程地质、地球物理勘查地球化学勘查、探矿工程及机械设备、地质仪器仪表、实验室选矿设备、地质矿产代码及信息处理、岩矿分析及标准物质、地质测量绘图标准。为统筹协调标准制修订工作,地质矿产部于1989年发布了第一版《地质矿产行业标准体系》(李祖淦等,1989)。该标准体系的出台对当时基础地质调查标准的制定具有重要的指导作用,为确保地质矿产勘查成果质量,获取可靠地质资料,保障国家紧缺矿产需求提供了技术支撑。

1998年,在社会主义市场经济体制目标确立的背景下,地质矿产标准化工作由部门管理转向行业管理。全国地质矿产标准化技术委员会编制了第二版《地质矿产行业标准体系》。该版体系对地球物理、地球化学等勘查技术标准进行了梳理,并将之与地质矿产勘查标准分开,设为独立的子体系,在结构和技术上,反映了改革开放对地质工作的要求(马梅等,2015;梁凯等,2018)。该版标准体系对构建地质调查技术标准体系提供了思路 and 基础。国土资源部组建后,职能由地质矿产资源规划、管理,扩展为土地资源、矿产资源、海洋资源规划、管理、保护与合理利用。对应出台的2000版《国土资源标准体系》工作范围做了进一步扩展。在地质矿产子体系中增加了地质环境勘查评价、地质环境和矿山环境保护及地质灾害防治等方面的标准,进一步完善了地质调查业务体系。

1.2 2004版《地质调查技术标准体系》

2001年,中国加入世贸组织(陈淑梅,2021),为建立地质工作新体制和新机制,中国地质调查局紧密围绕其职责和专业技术工作主线,以适应市场经济条件和现代地质调查工作新机制要求为目标,在借鉴2000年版国土资源标准体系表(地质矿产部分)和1998年版地质矿产行业标准体系表的基础

上,首次构建了《地质调查技术标准体系》(2004 版)(倪春晓,2004)。该版标准体系的结构见图 1,共收录 663 项标准。作为第一版《地质调查技术标准体系》,该体系充分考虑了当时的地质调查技术标准化工作需要,适当兼顾潜在需求,新增了信息化和资料管理等方面的标准;区域地质调查首次出现《数字填图技术要求》《1:100 万海洋区域地质调查规范》等新标准;矿产资源标准主要聚焦于矿产资源勘查领域;水文地质、工程地质、环境地质和地质灾害门类的标准按专业领域进行了结构调整;地质勘查技术方法中保留了地球物理、地球化学、遥感地质、探矿工程、地质测绘标准;实验测试方法与标准物质独立成实验测试标准子体系。该版标准体系,为 2004 版《国土资源标准体系》构建提供了地质智慧和方案,为深入开展地质调查工作提供了技术支持,为地质调查工作服务区域经济发展提供了标准支撑。

1.3 2010 版《地质调查技术标准体系》

2008 年,为满足国土资源大调查的迫切需要,中国地质调查局按照国务院《关于加强地质工作的决定》(国发[2006]4 号文)和原国土资源部中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020),研制和修订适用当前地质工作的技术标准体系。

该标准体系收录 404 项标准,结构在 2004 版《地质调查技术标准体系》基础上做了修改(图 2)。其中,海洋地质调查标准从原本分散在其他各子体系被独立成单独的子体系,表明海洋地质调查标准的快速发展。该版体系为加快地质工作现代化,支撑地质大调查提供标准服务,同时也为 2010 版《国土资源标准体系》地质矿产子体系提供了构建参考(马梅等,2015)。

1.4 2016 版《地质调查技术标准体系》

党的十八大以来,国家对国土资源调查、勘查、评价、监测等方面提出新要求,指出加强顶层设计、转变政府职能简政放权、改革矿政管理和建设生态文明等新需求,地质调查技术标准体系需要更加科学合理完善。2016 版《地质调查技术标准体系》共收录 961 项标准,见图 3。与前版相比,该版体系丰富了海洋地质调查标准内容,新增了海岸带相关标准,体现了“海洋强国”的战略思想。同时,将地质调查信息化独立成子体系,反映了信息化技术迅猛增长态势。

该版标准体系整合了部分重叠、交叉的标准,使得结构更加合理,提高了体系表的实用性,满足了当时中国地矿领域的标准化事业发展需要。

1.5 2021 版《地质调查技术标准体系》

2018 年,为深入推进中国生态文明建设,统筹山水林田湖草沙系统治理,原国土资源部改组为自

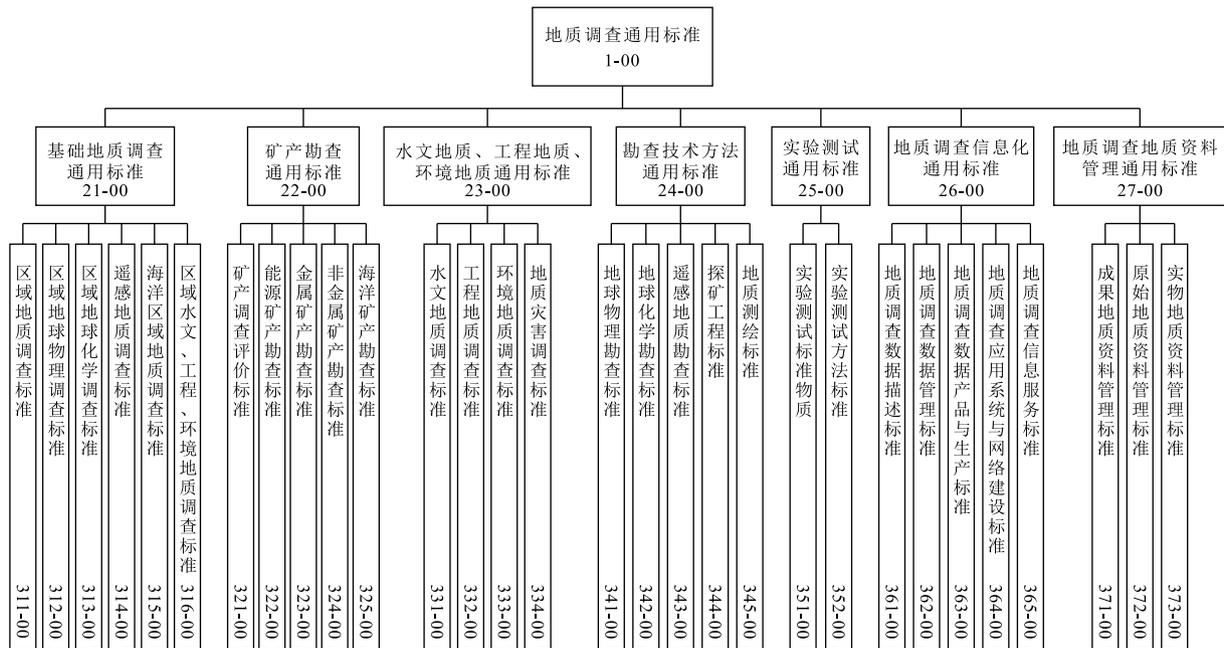


图 1 2004 版《地质调查技术标准体系》结构图(据倪春晓,2004 修改)

Fig. 1 Structure of the 2004 edition of “Technical Standard System of Geological Survey”

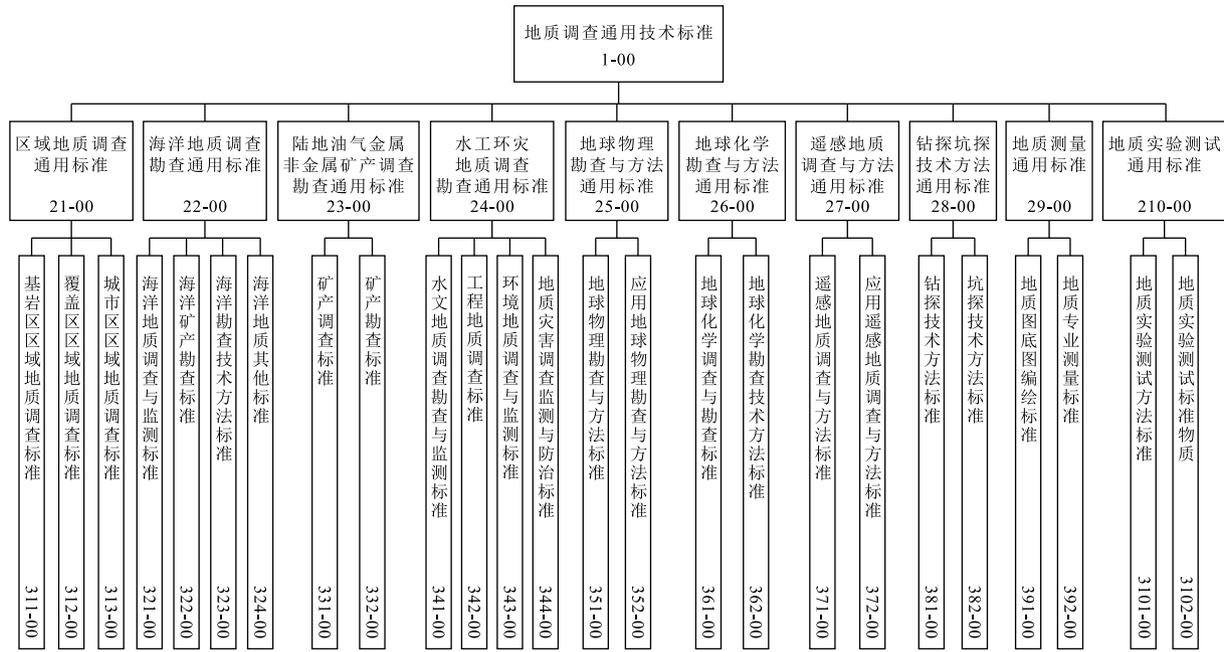


图 2 2010 版《地质调查技术标准体系》结构图(据白冶等,2011)

Fig. 2 Structure of the 2010 edition of "Technical Standard System of Geological Survey"

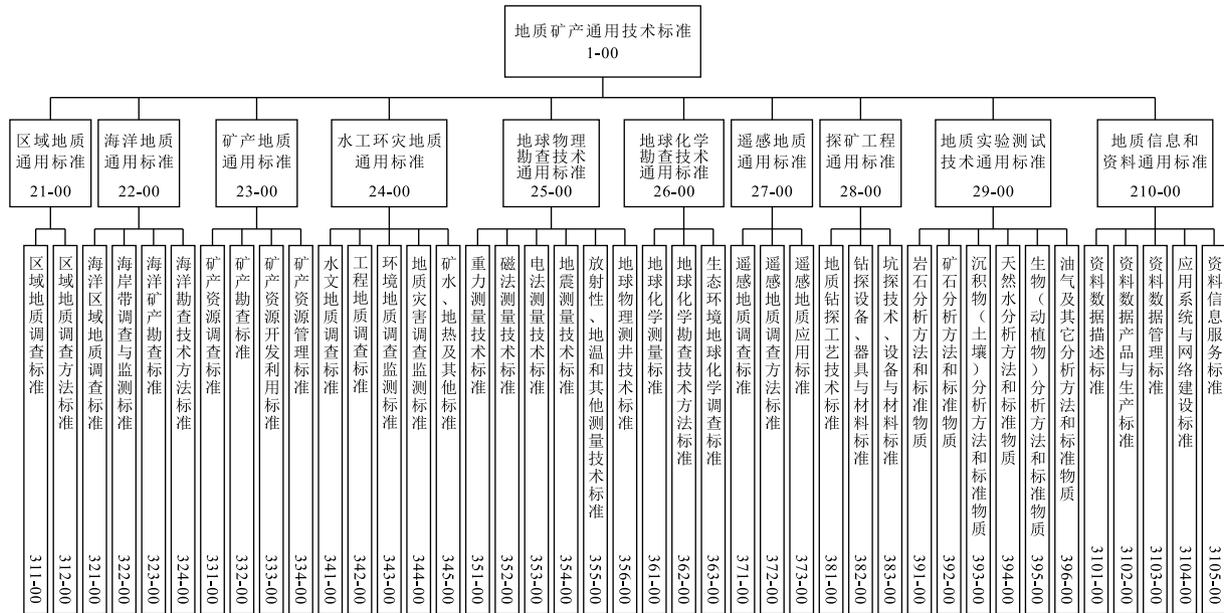


图 3 2016 版《地质调查技术标准体系》结构图(据白冶等,2016)

Fig. 3 Structure of the 2016 edition of "Technical Standard System of Geological Survey"

然资源部。2021年,中共中央、国务院印发《国家标准化发展纲要》,提出“加快构建推动高质量发展的标准体系”。面对新时代地质调查工作的发展需求,以及服务自然资源管理中心工作需要,中国地质调查局印发了《地质调查技术标准体系》(2021版)。

该版标准体系以地质调查发展需求为导向,立足“基础性、公益性、战略性”定位,继承以往地质调查技术标准体系的构建脉络,覆盖了新时代地质调查业务全领域。标准体系共收录1221项标准,横向上分为12个专业领域,结构见图4。该版标准体系

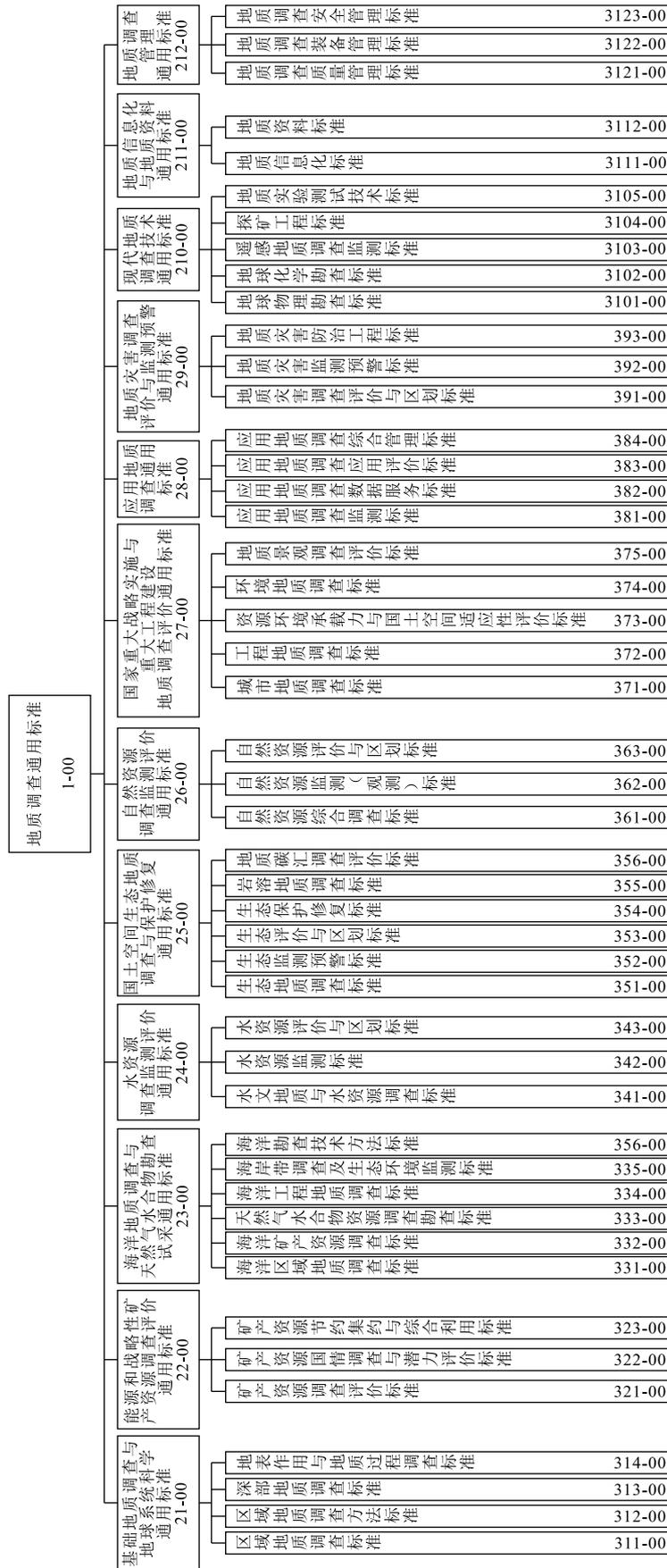


图 4 2021版《地质调查技术标准体系》架构图
Fig. 4 Structure of the 2021 edition of "Technical Standard System of Geological Survey"

为《自然资源标准体系》的构建印发提供了地质智慧和地质方案。

2 地质调查技术标准体系的演化过程和特点

2.1 地质调查技术标准体系演绎展现了地质调查业务发展的轨迹和特征

2004版《地质调查技术标准体系》是中国地质调查局成立以来,该系列的第一版体系。其子体系划分一方面考虑到当时业务需求,另一方面兼顾长远战略发展。其结构奠定了中国地质调查领域技术标准体系的发展格局。区域地质调查、矿产地质勘查、水工环灾地质、勘查技术方法、实验室分析测试、地质信息化等方面的标准,历经20年的发展演变,历久弥新,延续至今。图5展示了基础地质调查、矿产资源勘查、水工环地质、海洋地质调查、地质灾害防治等专业门类的标准在历版地质调查技术标准体系中的标准数量。由图5获悉,基础地质调查、矿产资源勘查和水工环地质一直是地质调查工作的核心和主体。在2004版中,基础地质调查标准数量较多,与矿产资源勘查和水工环地质标准数量相近,契合了当时中国加强地质工作的大环境。

2010版《地质调查技术标准体系》中新增海洋地质调查子体系,且标准数量迅速增长,体现了“海洋强国”的战略地位明显上升。相比于前版,由于信息化与资料管理标准服务于地质调查其他各业务领域,因此相关标准被分散在其他各子体系中。该版体系在结构上删除了“地质调查信息化”和“地质调查地质资料管理”2个子体系。

2016版《地质调查技术标准体系》中矿产资源标准数量迅速增加到158项,反映了中国成为中等收入国家、进入工业化后期阶段对矿产资源的重大需求。此外,地质信息和资料标准再度独立成子体系,反映了当时信息化技术发展迅猛的背景。

随着中国发展进入到“十四五”阶段,人们对于美好生活的向往提出了更迫切的资源、环境、生态安全新需求。2021版《地质调查技术标准体系》围绕自然资源管理中心工作,新增了碳汇碳储、自然资源综合调查监测评价、水资源调查监测评价、海洋天然气水合物勘查、国土空间生态地质调查与保护修复和国家重大战略实施与重大工程建设地质调查等重点业务领域标准。该体系的构建标志着面向能源资源安全保障,生态文明建设,防灾减灾,新型城镇化、工业化、农业现代化和重大工程建设,国家海洋强国建设,国防与军队建设等国家重大需求的标准化顶层设计构建完成。标准化在各专业领域表现出了“百花齐放”的态势。

2.2 地质调查技术标准体系更新规律和周期

地质调查技术标准体系平均约5年修订更新一次,更新驱动力主要来自业务发展调整 and 标准制修订更新。业务发展调整源自中国国民经济和社会发展五年规划及职能调整。以2021版《地质调查技术标准体系》为例,2018年自然资源部组建,中国地质调查局的业务领域不断拓宽,因此,相比于2016版《地质调查技术标准体系》,新版体系增加许多与新业务领域相关的子体系。

以标准制修订更新为驱动的体系更新,往往需要以体系内标准复审结果为依据。《标准化法》指

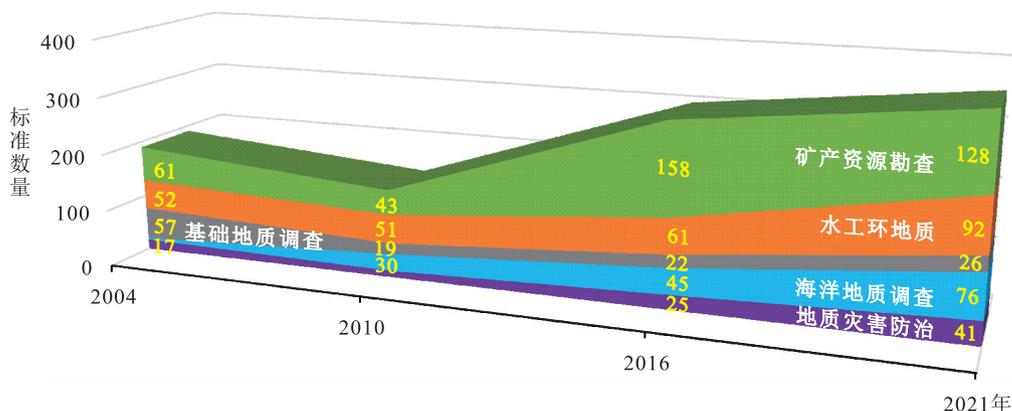


图5 部分专业领域在各版标准体系中收录标准数量的情况

Fig. 5 The number of standards in each edition of the standard system in some fields

出,标准的复审周期一般不超过 5a。经过复审,对不适应经济社会发展需要和技术进步的应当及时修订或废止。因此,以标准制修订为驱动的标准体系更新,往往需要经过较长的标准实施、评估、复审、制修订流程。综合 2 个方面的驱动因素,《地质调查技术标准体系》的更新平均以 5a 为周期。

2.3 地质调查技术标准体系发展呈现复杂系统性

在信息革命的浪潮下,地质调查标准化不断发展,对于同一标准化对象往往需要多个标准共同服务支撑。如“基础地质调查数据库标准”需要“基础地质调查技术标准”+“数据库建设标准”等共同提供服务指导。这便使得这类交叉领域的技术标准在子体系归属问题始终存在争议,进而导致地质信息化和资料标准子体系在 2004 版至 2016 版多个体系中几经增减。

2021 版《地质调查技术标准体系》相比于 2004 版,引入系统思想(于景元,2021a,b),强化了顶层设计,明晰了各子体系边界,使得面对不同标准化需求可以通过不同标准组合的方式提供技术服务,展现出开放性、复杂性、层次性、进化性等特点。

2.4 地质调查技术标准体系具有广阔发展空间

当今,互联网、大数据、人工智能逐渐成为世界各行业领域发展的主潮流,中国经济高质量发展对地质调查标准化提出更高要求(鲍宽乐等,2023)。传统工具书式的标准体系难以满足支撑服务地质调查各业务领域标准化发展的需求。面对信息革命的浪潮,现代化地质调查技术标准体系的构建需要依托信息技术,使结构更合理、服务更广泛、检索更便捷、更新更及时。相比传统的二维“层次+专业”的标准体系结构,依托信息技术构建数字化三维结构标准体系将更具优势。

3 现代化地质调查技术标准体系构建与展望

3.1 以业务、技术和管理为分类属性构建数字化三维标准体系格架

依据《标准体系构建原则和要求》(岳高峰等,2018),标准体系的构建有多种结构,如序列结构、功能归口结构、矩阵结构、三维结构等。2016 版《国土资源标准体系》中矿产资源子体系就是按照矿产资源利用的流程,按照资源调查—评价—规划—利用—管理—保护的序列进行划分(梁凯等,2018)。开放地理空间信息联盟(Open Geospatial

Consortium, OGC) 的标准体系就是按照数据的挖掘、容器、模型与编码、传感器、服务与编程接口、发布订阅等的功能归口为结构建设的。印度标准化学者魏尔曼(1980)曾提出采用三维结构分析构建标准体系。其中,三维分别是层次维、专业维、种类维(图 6)。麦绿波(2019)在三维结构的基础上提出标准体系的 6 个分类属性,分别是层级、专业、用途、标准类别、组分、成长。然而随着交叉领域标准化对象出现,标准子体系的分类不可避免产生争议。钱学森(2009)指出,标准化是一门系统工程,介于自然科学和社会科学之间的范畴。现代化地质调查技术标准体系支撑服务生态文明建设和自然资源管理需要以系统论思想为指导构建。

当前,地球科学已经逐步发展为研究多圈层相互作用、多时空尺度演化的地球系统科学。地质调查的内涵和外延在指导理论和技术方法上发生深远变革。本文建议采用业务领域、技术方法、管理 3 组相互正交的维度来构建现代化地质调查技术标准体系,框架结构示意图见图 7。地质调查业务领域从最早的区域地质、矿产资源、水工环地质调查发展到地质灾害防治、海洋地质、生态地质、自然资源综合调查等相继出现,标准化需求还将不断拓展(Wang et al., 2021a)。图 7 中的业务领域维包含了历版地质调查技术标准体系的标准化业务领域,可以囊括目前地质调查领域发布或正在研制的标准。

地质调查技术方法与业务领域独立成 2 个维度,是参考 1998 版《地质矿产领域标准体系》设计思想,地质调查技术方法与业务领域相互促进。地球物理、地球化学、遥感、信息化和分析测试技术可

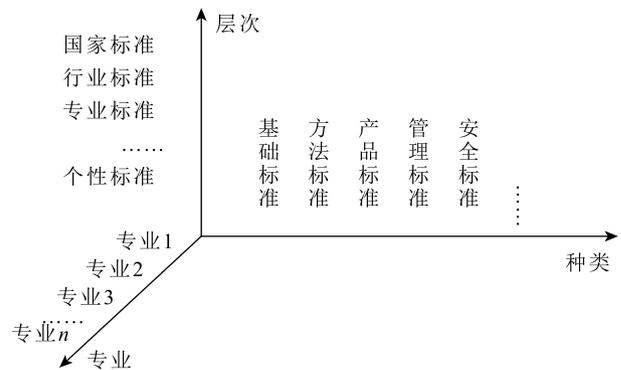


图 6 魏尔曼标准化三维结构示意图(据魏尔曼,1980)

Fig. 6 3D structure diagram of standard system proposed by Varman

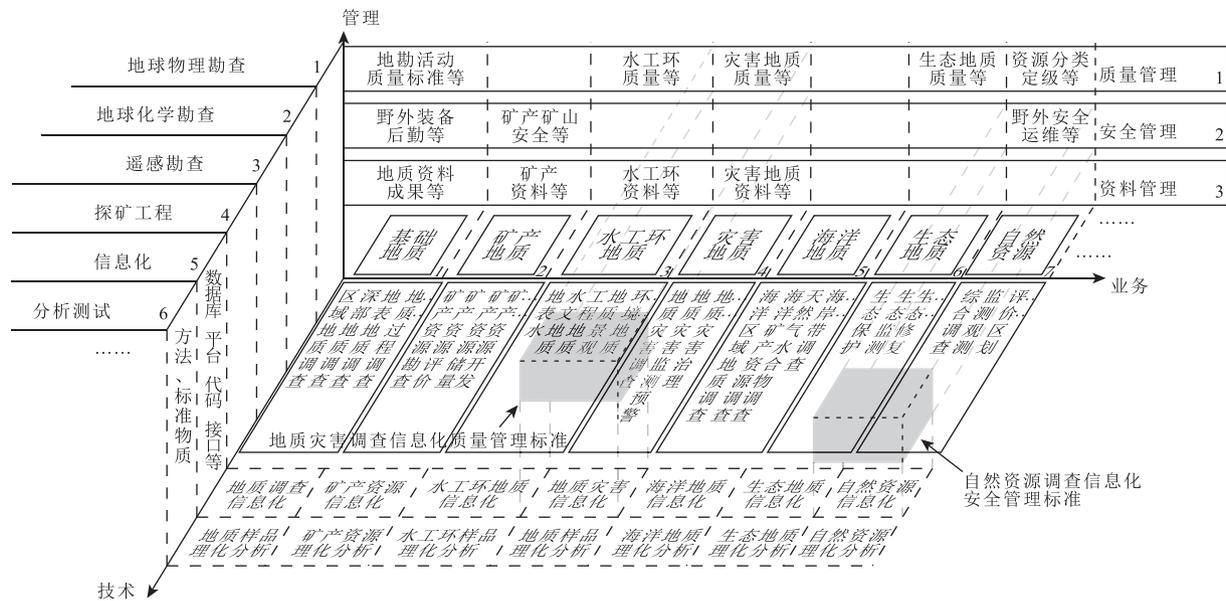


图7 地质调查技术标准体系的三维架构图建议

Fig. 7 Proposal of 3D structure for technical standard system of geological survey

被用于服务不同业务对象。随着勘查技术方法不断精进,地质调查对象和要素也不断增多。在分析测试技术发展过程中,可测试元素种类增加、精度提高,使其服务于矿产资源、水资源和土壤资源调查的信息量和质量不断提升。与历版地质调查技术标准体系相比,通过技术方法维与业务领域维组合应对未来更多元的标准化对象,可以为标准规划与制定提供更广阔的分类空间。

管理标准在地质调查技术标准体系中占有重要地位。与技术方法标准相似,在历版标准体系中,管理标准也被分散在各个专业子体系中,为标准分类带来困难。管理标准主要包括质量管理、安全管理和资料管理。质量管理包含各标准化对象的方方面面。安全管理标准主要面向野外活动、地质装备、地质灾害和信息安全。资料管理则主要对原始、实物、成果地质资料及成果报告编写等进行规范。将管理属性提取成独立的维度既可以发挥标准化在地质调查高质量发展中的引领作用,又可以满足标准化服务政府职能管理的需求。

通过“业务领域+技术方法+管理方法”的三元组模式可以高效应对不同需求的标准化对象,使数字化标准体系结构更科学,功能边界更清晰。

3.2 依托信息化技术呈现标准体系表

由于文档型标准体系的客观限制,三维结构的

标准体系表难以在二维平面展开,因此三维标准体系构建必须应用信息化技术。以数字化、网络化和智能化理念设计构建的数字化标准体系,可以满足标准状态更新的需求。数字化标准体系产品可通过信息化服务平台的方式呈现,维护更新暂以人工为主,辅以信息化技术,还可以添加标准孵化、研制、实施监督、应用反馈、动态检索等更人性化的服务。通过数字化技术,结合前文“三元组模式”可以整合协调交叉领域标准,还可以通过对各标准赋值编码,统计获得各标准的属性及标准体系的宏观属性,如标准发展速率、标准重复比例、标准退化率等,为标准体系演化跟踪和标准化研究提供数据支撑。

3.3 标准体系构建必然走向多维的标准化知识图谱

随着科技工艺加速发展、高质量服务需求迅猛增长,标准适用性状态周期缩短,为了更好地发挥标准体系统筹协调作用,标准体系需要融合人工智能技术,实现自适应、自改进、自演化和自增强。

建立全领域、多门类、立体式、智能化地质调查技术标准体系需要依托机器可读标准和数字地球知识图谱(Digital Earth knowledge graph)两大技术引擎。标准中的结构和技术内容要素需要通过标准标签集、公共数据字典、标准管理壳、语义互操作

等关键技术转化为机器可识别理解和应用的语言(汪烁等,2021)。2019年,国际标准化组织(International Organization for Standardization; ISO)定义了机器可读标准的概念并将其命名为SMART(穆天杨等,2022)。机器可读标准的发展大约分为5个阶段:①纸质文档,②传统数字化格式,③机器可识别,④机器可执行,⑤机器可决策(陈家宾等,2022;张宝林等,2022;张程等,2022)。另一方面,地质调查标准的机器可决策需要借助于地球科学知识图谱(Wang et al.,2021b;郝文建等,2021)。2019年,深时数字地球(DDE)大科学计划启动,数字地球知识图谱的构建如火如荼(齐浩,2020;齐浩等,2020;Wang et al.,2021b)。在矿产资源、地质灾害等专业领域,知识图谱也在紧锣密鼓地研发(邱芹军等,2023;张春菊等,2023)。但由于存在描述规范不统一、共享机制不明、语义异构等问题,现阶段地球科学知识图谱只能通过专家结合自动半自动数据处理技术,以人工的方式构建。

未来,随着地球科学知识图谱不断完善,机器可读标准技术日趋成熟,标准将成为包含知识实体和关系的数据流,标准体系也将走向多维的标准化知识图谱。此时的标准体系涉及到海量的指标和参数(如体系增长、体系完备、体系差异化等),标准间的关系将会更加相关和密切。标准体系内的所有标准共享一套语义、类和关系的定义,除了标准本身的内容,其在应用过程中也会产生诸多参数(如影响范围、更新速率、知识含量等)。运用系统科学方法研究标准体系大数据,将使地质调查工作演化规律更直观,标准的全生命周期研制和推广用更高效,标准化支撑引领地质调查高质量发展和治理效能更凸显。

4 结论

(1)通过收集历版地质调查技术标准体系及其相关标准体系资料,总结了其构建特点:①地质调查技术标准体系演绎展现了地质调查业务发展的轨迹和特征;②地质调查技术标准体系更新周期约5年;③标准体系发展呈现复杂系统性。

(2)面对信息革命浪潮,本文依托信息化技术对现代化地质调查标准体系建设提出展望,分阶段逐步构建:①以业务领域、技术方法和和管理为分类属性构建三维数字化标准体系格架;②依托信息化

技术呈现标准体系表;③标准体系走向多维的标准化知识图谱,支撑引领地质调查高质量发展和治理效能将更加凸显。

致谢:由衷感谢审稿专家对本论文提出的宝贵建议和意见,感谢中国地质调查局油气资源调查中心白冶老师对本文提出的宝贵修改建议。

参考文献

- Wang C S, Hazen R M, Cheng Q M, et al. The Deep-Time Digital Earth program: data-driven discovery in geosciences [J]. National Science Review, 2021a, 8(9): 151-161.
- Wang Y, Guo C H, Zhang S H, et al. Major contribution to carbon neutrality by China's geosciences and geological technologies [J]. China Geology, 2021b, 4: 329-352.
- 白冶, 郝国杰, 徐国志, 等. 地质调查标准体系编制说明及体系表[R]. 中国地质调查局天津地质调查中心, 2011.
- 白冶. 地质调查标准体系表[R]. 中国地质调查局, 2016.
- 鲍宽乐, 许文波, 王庆同, 等. 基于机器学习的 Landsat 数据地层信息提取——以西南天山柯坪地区为例[J]. 地质通报, 2023, 42(4): 637-645.
- 陈家宾, 赵鑫, 王琮, 等. 机器可读标准表达方式探讨[J]. 信息技术与标准化, 2022, 454(10): 43-46.
- 陈淑梅. 标准化与我国经济发展: 中国特色的标准经济学学科从“潜”至“显”[J]. 中国标准化, 2021, 2: 6-10.
- 杜子图, 毛晓长. 区域地质调查标准体系研究[J]. 地质通报, 2017, 36(10): 1823-1829.
- 郝文建, 魏梅, 张浩, 等. 标准知识图谱的构建与应用[J]. 信息技术与标准化, 2021, 440(8): 44-47.
- 李典. 物探化探技术标准体系研究有关问题的探讨[J]. 中小企业管理与科技, 2016, 上旬刊(25): 62-63.
- 李祖淦, 李良淦, 张梁, 等. 地质矿产行业标准体系表[R]. 中华人民共和国地质矿产部, 1989.
- 梁凯. 国土资源标准体系研究[R]. 中国国土资源经济研究院, 2006.
- 梁凯, 申文金. 国土资源标准体系构建研究[M]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- 马梅, 严金明, 夏方舟. 国土资源标准体系: 发展梳理与建设导向[J]. 科学·经济·社会, 2015, 33(4): 87-92.
- 麦绿波. 标准学——标准的科学理论[M]. 北京: 科学出版社, 2019.
- 穆天杨, 陈华达, 杨玉婷, 等. 知识图谱技术在机器可读标准中的应用[J]. 信息技术与标准化, 2022, 454(10): 56-59.
- 倪春晓. 地质调查技术标准体系研究[R]. 中国国土资源经济研究院, 2004.
- 倪春晓. 创建中国地质调查局技术标准体系的几点建议[J]. 中国地质矿产经济, 2003, 16(8): 23-25.
- 齐浩. 基于本体的地球科学知识图谱的构建[D]. 南京大学硕士学位论文, 2020.
- 齐浩, 董少春, 张丽丽, 等. 地球科学知识图谱的构建与展望[J]. 高校地质学报, 2020, 26(1): 2-10.
- 钱学森. 标准化和标准学研究[J]. 标准生活, 2009, 499(10): 7.
- 邱芹军, 吴亮, 马凯, 等. 面向灾害应急响应的地质灾害链知识图谱构

- 建方法[J].地球科学,2023,48(5): 1875-1891.
- 施俊法.中国地质调查百年史纲[M].北京:地质出版社,2016.
- 施俊法.21世纪前20年世界地质工作重大事件、重大成果与未来30年中国地质工作发展的思考[J].地质通报,2020,39(12): 2044-2057.
- 施俊法.新时代地质工作方略[M].北京:地质出版社,2022.
- 汪烁,卢铁林,尚羽佳.机器可读标准——标准数字化转型的核心[J].标准科学,2021,S01: 6-16.
- 魏尔曼.标准化是一门新学科[M].北京:科学技术文献出版社,1980.
- 杨清华.遥感地质调查技术标准体系研究与进展[J].国土资源遥感,2013,25(3): 1-6.
- 姚震,杜子图,温鹏飞.地质调查标准化与标准制修订初步思考与建议[J].中国矿业,2019,28(9): 15-36.
- 于景元.钱学森系统工程思想和系统论[J].网信军民融合,2021a,51(12): 9-10.
- 于景元.钱学森系统科学和系统工程的成就与贡献——从系统思想到系统实践的创新(上)[J].中国航天,2021b,524(12): 15-23.
- 岳高峰,杜俊鹏,朱虹,等.标准体系构建原则和要求[S].北京:中国标准出版社,2018.
- 张宝林,侯常靓,邹雨箴,等.国际标准化组织机器可读标准工作动态[J].信息技术与标准化,2022,454(10): 18-22.
- 张程,龚庆,姚波,等.机器可读标准实现方法研究[J].中国标准化,2022,618(21): 56-61.
- 张春菊,刘文聪,张雪英,等.基于本体的金矿知识图谱构建方法[J].地球信息科学,2023,25(7): 1269-1281.