

孙 跃, 杨少平, 袁桂琴, 等. 中国地球化学勘查技术标准制定和修订工作现状与前景展望[J]. 地球科学与环境学报, 2022, 44(2): 275-286.

SUN Yue, YANG Shao-ping, YUAN Gui-qin, et al. Current Situation and Prospect of Formulation and Revision of Geochemical Exploration Technical Standards in China[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2022, 44(2): 275-286.

DOI: 10.19814/j.jese.2021.10040

• 庆祝西安地质调查中心组建六十周年专辑 •

中国地球化学勘查技术标准制定和修订 工作现状与前景展望

孙 跃^{1,2,3}, 杨少平^{1,3*}, 袁桂琴^{1,2,3}, 张振宇^{1,2,3}, 王之峰^{1,2,3}

(1. 国家现代地质勘查工程技术研究中心, 河北 廊坊 065000;

2. 自然资源部地球物理电磁法探测技术重点实验室, 河北 廊坊 065000;

3. 中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所, 河北 廊坊 065000)

摘 要: 经过 60 多年几代勘查地球化学工作者的潜心研究, 中国已经建立起不同层次、不同方法基本配套齐全, 矿产勘查与生态调查并重的勘查地球化学方法技术体系, 共形成了 23 项地球化学勘查方法技术标准。10 多年来, 完成了 17 项标准的制定和修订, 3 项标准正在制定中, 近期将进行 4 项标准的制定和修订。随着新时期地质调查转型发展对地球化学勘查技术标准需求的变化, 地球化学勘查技术标准制定和修订工作将以国家能源资源安全保障和生态文明建设为导向, 围绕 3 个方面展开: ①紧缺矿产勘查将聚焦国外资源勘查、国内隐伏矿勘查、可再生能源勘查和样品分析质量要求, 进行已有标准适应性修订和新方法新技术标准制定; ②生态地球化学调查将聚焦土地质量、生态环境地球化学监测和预警系列技术标准的修订升级和新标准制定; ③地球化学信息化建设将聚焦以地球化学大数据为基础的成矿地球化学信息筛选、异常判别及资源潜力预测评价, 区域到全国尺度生态环境风险的科学判断和定量预测系列技术标准的制定。

关键词: 地质调查; 地球化学勘查; 技术标准; 制定; 修订; 现状; 展望

中图分类号: P622

文献标志码: A

文章编号: 1672-6561(2022)02-0275-12

Current Situation and Prospect of Formulation and Revision of Geochemical Exploration Technical Standards in China

SUN Yue^{1,2,3}, YANG Shao-ping^{1,3*}, YUAN Gui-qin^{1,2,3}, ZHANG Zhen-yu^{1,2,3},
WANG Zhi-feng^{1,2,3}

(1. State Research Center of Modern Geological Exploration Engineering Technology, Langfang 065000, Hebei, China; 2. Key Laboratory of Geophysical Electromagnetic Detection Technology of Ministry of Natural Resources, Langfang 065000, Hebei, China; 3. Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, Chinese Academy of Geological Sciences, Langfang 065000, Hebei, China)

Abstract: China has established a complete system of geochemical exploration methods and techniques with various levels and ideas basically matched, and with equal emphasis on mineral exploration and ecological survey. The system takes over 60 years of research by several

收稿日期: 2021-10-25; 修回日期: 2021-12-05 投稿网址: <http://jese.chd.edu.cn/>

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目 (DD20190471)

作者简介: 孙 跃 (1984-), 女, 河北霸州人, 中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所工程师, E-mail: sunyue@mail.cgs.gov.cn.

* 通讯作者: 杨少平 (1953-), 男, 陕西华阴人, 中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所研究员, E-mail: yshp1953@163.com.

generations of geochemical exploration workers. Consequently, 23 technical standards of geochemical exploration methods have been set up as well. Over the past decade, 17 standards have been formulated and revised, 3 standards are being formulated, and 4 standards will be formulated and revised soon. With the transformation and development of geological survey work in the new era, the demand for geochemical exploration technology standards changes. Accordingly, the formulation and revision of geochemical exploration technical standards, which are guided by the major needs of national energy resources security and ecological civilization construction, focus on the following 3 aspects. ① The exploration of scarce minerals will focus on foreign resource exploration, domestic concealed mineral exploration, renewable energy exploration and the quality requirements of sample analysis. In these areas, existing standards should be revised adaptively, and new methods and technical standards should be formulated. ② Ecological geochemical survey will focus on the revising and upgrading of a series of technical standards and the formulation of new standards for land quality, ecological environmental geochemical monitoring and early warning. ③ The construction of geochemical informatization will focus on the formulation of a series of technical standards, such as screening of metallogenic geochemical information based on geochemical big data, anomaly discrimination and resource potential prediction and evaluation, as well as scientific judgment and quantitative prediction of ecological environment risk from regional scale to national scale.

Key words: geological survey; geochemical exploration; technical standard; formulation; revision; current situation; prospect

0 引言

标准是经济活动和社会发展的技术支持,是国家治理体系和治理能力现代化的基础性制度。它是按照规定的程序,经协商一致制定,并由公认机构批准,为各种活动或其结果提供规则、指南或特性,供共同使用和重复使用的规范性文件^[1-3]。标准化是为了在一定范围内获得最佳秩序,对潜在问题或现实问题制定重复使用和共同使用条款的活动。标准化活动主要包括制定、发布及实施标准的过程。标准化的目的是为了建立有利于人类社会、有利于社会经济发展的最佳秩序,从而取得经济效益和社会效益^[4]。

地球化学勘查是当代矿产勘查和生态环境调查工作中不可或缺的支柱性方法技术之一。经过 60 多年,几代勘查地球化学工作者的潜心研究,中国已经建立起不同层次、不同方法、基本配套齐全的勘查地球化学方法技术体系,形成了一批成熟的地球化学勘查方法技术,研发出许多可供示范的地球化学勘查方法技术,使中国勘查地球化学方法技术总体上达到了世界先进水平,全面推动了中国地质找矿和生态环境调查工作,支撑了资源与环境并重的化探发展战略^[5]。

目前,已有的地球化学标准涵盖了岩石、土壤、水系沉积物、气体、水化学等 5 类常用的矿产地球化学勘查方法技术和生态环境(包括土地质量评估)地球化学调查方法技术,基本形成了较为全面、系统的地球化学勘查技术标准体系。随着新的地球化学勘查方法技术研究成果的应用,大部分原有标准在近 10 年内进行了修订,吸收了新的方法技术研究成果,制定了一批与生态环境地球化学调查有关的技术标准,基本满足了当前资源能源勘查和生态环境地球化学调查工作的需要。

本文拟从现行地球化学勘查技术标准现状、近期标准制定和修订计划两个方面总结标准制定和修订工作现状,结合当前地球化学勘查工作转型需求以及标准制定和修订工作的要求,对地球化学勘查技术标准制定和修订工作的前景进行展望。

1 标准现状

地球化学勘查根据采样介质的不同,衍生出多种地球化学勘查方法技术种类。已形成的主要方法技术有岩石测量、土壤测量、水系沉积物测量、气体测量、生物测量、水化学测量等,许多新的方法技术仍在持续研究之中。

地球化学勘查技术标准伴随着地球化学技术方

法的发展与应用而产生,按照勘查对象的不同,分为地球化学勘查通用标准、地球化学方法技术标准、矿产地球化学勘查技术标准和生态地球化学调查技术标准。地球化学勘查通用标准包括术语、技术符号和有关地球化学勘查图件编制要求的标准;地球化学方法技术标准主要是规范不同采样介质的地球化学勘查方法;矿产地球化学勘查技术标准主要是规范各类矿产资源地球化学勘查工作;生态地球化学调查技术标准主要是规范有关生态环境地球化学调查工作。

现行地球化学勘查技术标准体系见表 1,共有 23 项标准,包含国家标准(简称“国标”,代号 GB)6 项、地质矿产行业标准(简称“行标”,代号 DZ)14 项、中国地质调查局标准(简称“局标”,代号 DD)3 项。

地球化学现行技术标准按照类别可分为:①通

用标准 4 项(GB/T 9649.29—2009、GB/T 14496—93、GB/T 14839—93、DZ/T 0075—93),涵盖分类代码、术语、技术符号和图式图例及用色标准;②方法技术标准 4 项(DZ 0003—91、DZ/T 0145—2017、DZ/T 0248—2014、DZ/T 0370—2021),涵盖气体测量、土壤测量、岩石测量和现场分析;③资源地球化学勘查技术标准 5 项(GB/T 31456—2015、DZ/T 0011—2015、DZ/T 0167—95、DZ/T 0185—1997、DZ/T 0353—2020),涵盖从区域勘查到详查评价的各个工作阶段;④生态环境地球化学调查评价标准 10 项(GB 3838—2002、GB 15618—2018、DZ/T 0258—2014、DZ/T 0289—2015、DZ/T 0295—2016、DZ/T 0354—2020、DZ/T 0380—2021、DD 2010—04、DD 2014—09、DD 2014—10),涵盖从区域调查到详查评价的各个工作阶段(表 1)。

表 1 现行地球化学勘查技术标准

Table 1 Current Geochemical Exploration Technical Standards

标准类别	标准名称	标准代号	标准状态	文献来源
通用	地质矿产术语分类代码第 29 部分:地球化学勘查	GB/T 9649.29—2009		[6]
	地球化学勘查术语	GB/T 14496—93	已修订,报批中	[7]
	地球化学勘查技术符号	GB/T 14839—93	修订中	[8]
	地球化学勘查图图式、图例及用色标准	DZ/T 0075—93	通过行标审查,正在形成报批稿	[9]
方法技术	汞蒸气测量规范	DZ 0003—91	已修订,报批中	[10]
	土壤地球化学测量规程	DZ/T 0145—2017		[11]
	岩石地球化学测量技术规程	DZ/T 0248—2014		[12]
	便携式 X 射线荧光现场分析技术规程	DZ/T 0370—2021	首次制定	[13]
资源地球化学勘查技术	石油与天然气地表地球化学勘探技术规范	GB/T 31456—2015	首次制定	[14]
	地球化学普查规范(1:50 000)	DZ/T 0011—2015		[15]
	区域地球化学勘查规范(1:200 000)	DZ/T 0167—95	待修订	[16]
	石油天然气地球化学勘查技术规范	DZ/T 0185—1997	修订中	[17]
	地球化学详查规范(1:10 000)	DZ/T 0353—2020	首次制定	[18]
生态环境地球化学调查评价	地表水环境质量标准	GB 3838—2002		[19]
	土壤环境质量:农用地土壤污染风险管控标准(试行)	GB 15618—2018		[20]
	多目标区域地球化学调查规范(1:250 000)	DZ/T 0258—2014	首次制定	[21]
	区域生态地球化学评价规范(1:50 000)	DZ/T 0289—2015	首次制定	[22]
	土地质量地球化学评价规范	DZ/T 0295—2016	首次制定	[23]
	局部生态地球化学评价规范	DZ/T 0354—2020	首次制定	[24]
	天然富硒土地划定与标识	DZ/T 0380—2021	首次制定	[25]
	多目标区域地球化学调查数据库标准	DD 2010—04	首次制定	[26]
	生态地球化学预警技术要求	DD 2014—09	首次制定	[27]
	土地质量地球化学监测技术要求	DD 2014—10	首次制定	[28]

这些标准涵盖了岩石、土壤、水系沉积物、气体等常规的地球化学勘查方法技术和生态环境(包括土地质量评估)地球化学调查方法技术,形成了矿产资源地球化学勘查、多目标地球化学调查与评价、土地质量生态环境地球化学调查评价技术方法和相应

的技术标准体系,支撑着地球化学方法技术在地质勘查中更好地发挥作用^[29]。

在现行的地球化学勘查技术标准中,1990 年代首次发布后没有完成修订的标准还有 6 项,占现行地球化学勘查技术标准总量的 26.1%。2000~

2009 年,标准制定和修订工作活跃度不高,首次发布的标准仅为 2 项,占比 8.7%(表 1)。2010 年以后,伴随着国家经济高速发展和对能源资源需求的激增,地质行业迎来春天,地球化学勘查技术在资源、能源、环境、工程等多个方面得到广泛应用。这一时期,对不能满足工作要求的、已有矿产勘查类标准进行了更新换代;同时,新制定了一批对勘查工作迫切需要、无标准可循的方法技术标准,实现了为新方法推广的保驾护航。其中,首次制定出新标准 11 项,占标准总量的 47.8%;对 1990 年代发布的 7 项老标准进行了修订或正在修订,占老标准总量的 87.5%(表 1)。

地球化学勘查技术标准制定和修订工作的持续开展,使地球化学勘查技术标准体系得到极大更新和完善,提升了地球化学勘查技术在地质工作中的支撑服务能力。

在现行地球化学勘查技术标准体系中的 6 项国标内,由自然资源部主导制定和修订的有 3 项(表 1),包括《地质矿产术语分类代码第 29 部分:地球化学勘查》(GB/T 9649.29—2009)^[6]、《地球化学勘查

术语》(GB/T 14496—93)^[7]和《地球化学勘查技术符号》(GB/T 14839—93)^[8]。这些标准标龄都在 10 年以上,其中《地球化学勘查术语》(GB/T 14496—93)已修订且正在报批,《地球化学勘查技术符号》(GB/T 14839—93)正在修订中。

在现行地球化学勘查技术标准体系中,14 项地质矿产行业标准(表 1)占主导地位。其中,标龄超过 20 年的有 4 项,6~20 年的有 4 项,5 年以内的有 6 项(表 2)。按照标准修订工作要求,大于 5 年标龄的标准都可以进行修订,因此,今后地球化学勘查技术标准的修订工作任重道远。

2 正在制定及近期将要制定和修订的标准

2.1 正在制定的标准

针对浅覆盖区地球化学勘查、“化学地球”一张图和国际地球化学填图、土地质量地球化学监测等工作需求,正在制定地球化学浅钻测量技术规程、国家尺度地球化学填图技术要求和耕地质量地球化学监测技术规范(表 3)。

表 2 现行地质矿产行业地球化学勘查技术标准状态

Table 2 Status of Current Geochemical Exploration Technical Standards in Geological and Mineral Industry				
标龄/年	发布时间	标准数/项	标准状态	标准名称
>20	2000 年 以前发布	4	1 项首次制定	区域地球化学勘查规范(1:200 000)
			1 项已修订待发布	汞蒸气测量规范
			2 项正在修订中	地球化学勘查图图式、图例及用色标准;石油天然气地球化学勘查技术规范
6~20	2000~2015 年 发布	4	2 项首次制定	多目标区域地球化学调查规范(1:250 000); 区域生态地球化学评价规范(1:50 000)
			2 项修订	地球化学普查规范(1:50 000);岩石地球化学测量技术规程
≤5	2016 年及 以后发布	6	5 项首次制定	地球化学详查规范(1:10 000);天然富硒土地划定与标识; 便携式 X 射线荧光现场分析技术规程;土地质量地球化学评价规范; 局部生态地球化学评价规范
			1 项修订	土壤地球化学测量规程

表 3 正在制定的地球化学勘查技术标准

Table 3 Geochemical Exploration Technical Standards Being Formulated			
序号	标准名称	拟定标准级别	状态
1	地球化学浅钻测量技术规程	地质矿产行业标准	已制定,报批中
2	国家尺度地球化学填图技术要求	中国地质调查局标准	已制定,报批中
3	耕地质量地球化学监测技术规范	地质矿产行业标准	制定中(2021 年计划)

2.2 近期将要制定和修订的标准

目前,中国地质调查工作处在重要历史时期,正在进行战略转型^[30],已经形成了资源和环境并重的地球化学勘查新格局^[31]。国内以生态地球化学调查为主,资源勘查则实行“以走出去为主”的战略。

为了支撑国家“一带一路”倡议、“中沙”合作等国家重点项目,需要尽快制定和修订相关标准来支撑^[32]。例如,近期中国地质调查局将在处于干旱荒漠区与干旱中低山丘陵区沙特阿拉伯开展 1:250 000 区域地球化学调查,同时开展重砂测量,并

完成 76 种化学元素高质量分析。另外,国内区域地球化学勘查的空白区都集中在高寒湖沼丘陵区;随着土地质量地球化学评价工作的深入,持续保证农产品质量安全,需要对土地地球化学质量不断进行跟踪调查。上述这些地球化学勘查工作都需要相应的标准支持。近期需要制定和修订的地球化学勘查技术标准列于表 4 中。

2.2.1 《区域地球化学勘查规范(1:200 000)》修订
目前仍在有效期的区域地球化学勘查标准是 1995 年颁行的《区域地球化学勘查规范(1:

200 000)》(DZ/T 0167—95)^[16],标龄已经超过了 20 年。20 多年来,区域地球化学勘查方法技术研究取得了很多成果,都需要纳入标准中。实际上,自 2006 年以来,全国 1:250 000 区域地球化学勘查执行的是中国地质调查局认可、但主管部门(当时的国土资源部和现在的自然资源部)没有正式批准的《区域地球化学勘查规范》(DZ/T 0167—2006)^[33]。因此,尽快修订此标准,对适应中国矿产地球化学勘查填补区域化探空白区和走出国门的新形势十分必要。

表 4 需要制定和修订的地球化学勘查技术标准

Table 4 Geochemical Exploration Technical Standards to Be Formulated and Revised

序号	标准名称	现行状态	预定标准级别	备注
1	区域地球化学勘查规范(1:200 000)	DZ/T 0167—95	地质矿产行业标准	待修订
2	土地质量地球化学监测技术要求	DD 2014—10		待修订升级
3	自然重砂测量规范	无		待制定
4	地球化学样品分析质量要求	无		待制定

本规范修订的重点是:①2006 版规范中的修订内容目前仍然适用的部分需要主管部门认可;②针对高寒湖沼丘陵区、干旱荒漠区与干旱中低山丘陵区的野外工作方法,需要吸收 10 多年来新的方法技术研究成果,以适应国内新的区域地球化学勘查需求;③需要按照“一带一路”倡议沿线景观特点,对规范相应部分的方法技术要求进行补充;④按照现行计算机制图技术水平,制定地球化学图件编制的新要求;⑤按照《标准化工作导则第 1 部分:标准化文件的结构和起草规则》(GB/T 1.1—2020)^[34]的要求重新起草。

2.2.2 《自然重砂测量规范》制定

自然重砂找矿法是历史悠久、国内外广泛应用且有效的找矿方法^[35]。在 1990 年以前,由于现代测试技术检出能力的限制,自然重砂找矿法曾经是很重要的区域找矿方法。在此基础上,也曾经派生出“灰砂化探”方法,以解决贵金属、稀有金属矿产的区域勘查难题,目前也仍是寻找金刚石、宝玉石等的重要方法;同时,在国外寻找贵金属、稀有金属矿床中也有比较广泛的应用。

中国一直没有专门的自然重砂测量技术规范。有关的技术要求散落在区域地质测量规范之中,对规范重砂测量工作存在很大的局限性。随着中国矿产勘查工作走出国门,适应国外找矿市场,规范重砂测量工作就提上了议事日程。

本规范制定的重点是:①建立适应不同野外景观条件的系统技术框架;②筛选出针对不同野外工

作条件且行之有效的野外方法技术;③提出基于现行技术的重砂分析鉴定方法;④按照现行计算机制图技术水平,制定重砂图件编制要求。

2.2.3 《土地质量地球化学监测技术要求》修订升级
《土地质量地球化学监测技术要求》(DD 2014—10)^[28]是 2014 年颁行的中国地质调查局标准。随着土地质量地球化学监测技术的进步和监测工作在全国范围内的深入开展^[36-39],需要将此标准修订升级为地质矿产行业标准。

本规范修订的重点是:①细化完善不同级次监测网建设的技术要求;②根据监测工作的要求和分析技术的进步,提出更高的不同样品测试质量要求,以准确评估人类活动对土壤环境的影响;③按照农牧产品安全性要求,确定新的土壤环境监测指标,制定出详细的数据处理和综合研究方法。

2.2.4 《地球化学样品分析质量要求》制定

中国一直没有地球化学样品 76 个元素分析质量技术规范。不同数量元素测试的技术要求散落在不同的地球化学测量规范之中,对统一规范地球化学分析质量存在很大的局限性。随着大规模地球化学样品 76 个元素分析测试工作的开展,制定涵盖 76 个元素的地球化学样品分析质量要求就提上了议事日程。

本规范制定的重点是:①确定新的主量元素组分测试方法技术,使全部元素含量加和达到 100% 的要求;②通过对环境影响重大的重金属重复分析误差确定新的更高要求,以达到灵敏反映环境质量

变化的目的;③确定更高要求的元素分析检出限(所有元素都必须低于地壳克拉克值)和报出率(不低于90%),以增加分析结果的可靠性^[40]。

3 前景展望

3.1 资源勘查地球化学技术标准需适应地质调查工作的战略转型

在中国大部分地区寻找露头矿的时代已经结束,在覆盖区寻找隐伏矿、在矿山深部与旁侧寻找盲矿已经提上了议事日程,覆盖区地球化学调查评价、隐伏矿地球化学预测将在其中扮演重要角色^[41],但目前尚无相应的地球化学勘查方法技术标准。今后一个时期内,需要针对不同埋藏条件、不同成矿类型的隐伏矿,整合多种有效的隐伏矿地球化学勘查方法技术,制定出相应的寻找隐伏矿的专门地球化学勘查技术标准。

随着国家能源战略转型,除支撑传统油气勘查的地球化学方法技术标准需要不断更新修订外,对新型能源(如地热、干热岩等)勘查的地球化学方法技术研究和标准制定工作将提上议事日程。在地热田地球化学勘查方面,已经积累了一定的地球化学勘查方法技术研究成果,有了一定的标准制定技术基础^[42],是今后可再生能源地球化学勘查技术标准制定值得关注的重点。

随着成矿理论以及分析技术的发展,逐渐形成了一系列新的地球化学勘查方法。其中,地气法^[43-47]、金属活动态法^[48-49]、电地球化学法^[50-51]、活动金属离子法^[52]等偏提取技术是地球化学具有代表性的、持续研究中的新方法和新技术,都是针对隐伏矿勘查这一世界性勘查难题的。上述这些地球化学勘查新方法、新技术中,电地球化学法相对成熟度高一点,随着方法技术研究的进步和资源勘查生产实践需求的增加,电地球化学勘查技术标准有望进入标准制定的行列之中。

随着中国改革开放的深化,境外关键资源地球化学调查已经陆续开展,多样化的境外地球化学景观环境,也对相应的地球化学技术标准提出新的需求。满足这些需求是地球化学勘查标准制定和修订工作的重要方面。

3.2 生态地球化学相关标准制定和修订工作将持续开展

保护生态环境,实施可持续发展战略,已经成为基本国策。生态环境地球化学调查评价已经成为中国地球化学勘查新的重要领域。在全国重要经济

区、重要农业产区、特色林果产区、重要生态保护区,生态环境地球化学调查评价已经广泛开展,从而催生了中国生态地球化学学科。

在中国,生态地球化学是一门年轻的交叉学科。目前的发展趋势是:在生态地球化学调查的基础上,以元素在生态系统中的循环为主线进行生态地球化学评价;通过输入输出通量调查和监测掌握元素循环的发展规律,对元素、化合物和其他地球化学参数的发展趋势进行预测预警,并提出开发或修复建议。另外,还在污染控制、土地资源合理利用、特色农产品开发、土壤碳汇和全球气候变化控制等方面进行积极的技术探索,产生了良好的社会和经济效益^[53-56]。

随着在实践应用的基础上,生态地球化学学科理论框架和技术方法不断完善,大量论文和专著等书面成果成功出版,在土壤碳库与全球变化、土壤重金属高背景产生机制和应对、土地质量地球化学评价、土壤有益元素开发和土壤污染修复等方面不断产生分支研究方向^[31,57]。

生态环境地球化学调查评价工作未来将聚焦在有机化合物与重点元素多圈层循环地球化学基础调查、全国土地质量地球化学监测预警、典型土地地球化学异常区健康地质调查、典型耕地重金属污染风险识别、富硒土地高效利用等方面^[58-61]。

上述研究成果将催生相应的地球化学勘查技术标准。因此,持续开展生态地球化学相关标准制定、修订和升级将成为地球化学勘查技术标准化工作的重要发展方向。例如,随着国家对社会经济可持续发展和保障人类生存环境的高度重视,全国各地都不同程度开展了生态环境安全评估工作,生态地球化学预警就成为国家的紧迫需求。因此,对运行了10多年的中国地质调查局标准《生态地球化学预警技术要求》(DD 2014—09)^[27]的修订升级将成为必要;随着人民对食品安全和身体健康的重视,土地重金属污染风险识别、富有益元素土地高效利用等技术标准的制定也将成为关注的焦点;随着应对气候变化的碳达峰、碳中和工作的推进,土壤碳库地球化学评估标准制定也将成为又一个被关注的焦点。

3.3 勘查地球化学技术大数据开发利用标准将逐渐提上制定日程

勘查地球化学的显著特点之一就是已经产生、而且还在不断产生海量的地球化学数据,这提供了建立大数据科学的条件。进入国家大数据科学体系,面向高端应用前景与发展空间,提供地球化学大

数据信息和研究成果,地球化学调查信息化已是大势所趋。

在矿产资源勘查领域,地球化学勘查数据正在服务于深部资源探测及基础理论研究等大科学计划,对全球、区域、局部等各级次成矿与找矿地质地球化学特征进行参数化、信息化模拟;基于大数据科学的理念,按照智能化思维方式与运算法则对数据库信息系统进行重新架构和设计,实现大数据资料综合分析 with 智能化开发,对全国和区域矿产资源潜力进行科学判断和定量预测,高精度数据与高准确度模式构成了现代勘查地球化学发展的基础^[31,62-70]。通过地球化学大数据与GIS技术的融合和深入研究,建立从矿田到区域再到全球不同规模成矿系列成矿地球化学分带模式,从更宏观角度研究评价成矿地球化学分布特征与成因规律,以智能化技术实现各成矿级次的成矿地球化学信息筛选、异常判别及资源潜力预测评价,将成为今后矿产资源地球化学勘查大数据研究与开发标准制定的重要方向。例如,在资源潜力地球化学评价方面,已经利用全国区域化探扫面大数据对全国Cu、Pb、Zn、Ni、W、Sn、Au、Cr、Mo、Sb、U、Ag、B等13种矿产资源潜力进行了一轮评价,积累了一定的经验,相应标准制定有望进入规划。

在生态环境领域,地球化学勘查数据正在广泛地服务于国家全球变化研究等大科学计划,参与国家生态环保、土地利用、扶贫开发、现代农业及城市管理^[62-64,71-74]一系列事关国计民生的重大工程。对地球系统及各类生态系统地球化学特征进行参数化、信息化模拟,以大数据科学的理念和智能化思维方式与运算法则,实现大数据资料综合分析 with 智能化开发,对全国和区域生态环境风险进行科学判断和定量预测,是今后生态地球化学勘查大数据研究与开发标准制定的重要关注点。

随着勘查地球化学大数据与GIS技术应用的广泛开展,资源勘查和生态调查领域的勘查地球化学大数据开发利用方法技术标准的制定将提上议事日程,以适应新的发展态势,与大数据技术应用状态保持协调一致,为地球化学勘查技术在更高的科技水平上服务于经济社会发展提供标准保障。

4 结 语

通过多年持续开展地球化学技术标准制定和修订工作,目前中国已经制定出23项地球化学勘查方法技术标准,形成了较为完善的、资源能源与生态环

境并重的地球化学勘查技术标准体系,有效提升了地球化学勘查技术标准的先进性、有效性和适宜性,发挥了标准的引领作用。

现有的国家标准、地质矿产行业标准多为20世纪90年代制定并颁行实施,以矿产资源勘查为主。随着地球化学勘查方法技术的不断进步和地质勘查转向资源(以紧缺金属矿产为主)能源(包括油气、铀矿、地热、干热岩)和生态环境(包括农业、牧业、水产养殖、人居环境、地方病等)并重的新局面,地球化学勘查工作也扩展到生态环境领域。因此,地球化学勘查标准在2000年以后进行了大规模的制定和修订,除修订了大部分矿产地球化学勘查标准以外,陆续制定了8个有关生态地球化学调查的地质矿产行业标准。绝大多数标准彼此间统一性和协调性较好,基本满足了地质勘查工作对地球化学勘查技术标准的需求。

今后一段时期内,随着中国地球化学勘查方法技术研究不断深入,中国勘查地球化学方法技术总体上将继续保持国际先进水平,保持具有中国特色的资源能源和生态环境并重的地球化学勘查方法技术研究生产新格局。国内将深入开展生态地球化学调查和研究,为保障国家生态文明建设持续提供基础地球化学资料。随着国家“一带一路”倡议的实施,矿产地球化学勘查逐步走出国门、走向世界,从全球供应链角度配置中国的资源能源需求。为适应新的发展形势,地球化学勘查领域的标准化工作将围绕紧缺资源勘查、生态地球化学调查、地球化学大数据开发利用等方面持续进行相应方法技术标准的制定和修订工作,并逐步与国际接轨,不断提高中国地球化学勘查标准化工作水平。

杨少平:值此西安地质调查中心组建六十周年之际,首先表示热烈的祝贺!长期以来,西安地质调查中心与中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所有着良好的合作历史。在我们开展西北地区区域化探方法技术研究中,曾经得到原西安地质调查中心李文渊研究员和杜玉良教授级高工的大力支持和帮助,对黄土覆盖区区域化探方法研究和全国物化探工作规划部署研究工作提供了大量帮助;我们也在西安地质调查中心李志忠研究员组织下开展中国地质调查局系统勘查技术研究成果梳理总结工作;西安地质调查中心物化探专家李宝强、刘拓、冯治汉、刘宽厚等都是我们的长期合作伙伴,对我们牵头的全国物化探工作规划部署研究和地球化学地球物理系列技术标准制修订工作都给予过大量帮助,

特别是刘拓也曾和我们合作完成了新疆东天山地区化探扫面方法研究和后期推广工作。在合作中,西安地质调查中心各位领导和专家表现出的坦诚协作精神、精益求精和谦虚谨慎的工作态度、广博的专业知识都给我们留下了深刻的印象,使我们每一次合作都成为愉快的记忆。愿今后我们能够继续合作、共同进步,取得更大的成绩! 60 年来,西安地质调查中心在推动西北地区地球化学勘查技术进步和找矿突破中发挥了重要作用,取得了优异的成绩,圈定出一大批具有很大潜力的找矿远景区,找到了一批在全国有影响的大中型矿床。祝愿西安地质调查中心百尺竿头更进一步,使西北地区的地球化学勘查工作持续取得更大成果,继续走在全国前列!

参 考 文 献 :
References :

[1] 邓 玲,马 梅,申文金.新常态下国土资源标准化发展展望[J].中国标准化,2016(5):49-52.
DENG Ling, MA Mei, SHEN Wen-jin. Standardization Development Prospect of Land and Resources Under the New Normal[J]. China Standardization, 2016(5):49-52.

[2] 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.
MA Mei, YAN Jin-ming, XIA Fang-zhou. Land and Resources Standard System: Past and Future[J]. Science, Economy, Society, 2015, 33(4): 87-92.

[3] 申文金,兰井志.循环经济:国土资源标准化战略研究的新理念[J].中国国土资源经济,2014,27(7):32-34.
SHEN Wen-jin, LAN Jing-zhi. Circular Economies That Is the New Notion with Regard to Strategic Research of Standardization of Land and Resources[J]. Natural Resource Economics of China, 2014, 27(7): 32-34.

[4] 杜子图,罗晓玲,姚 震,等.地质调查标准化理论与实践[M].北京:地质出版社,2019.
DU Zi-tu, LUO Xiao-ling, YAO Zhen, et al. Theory and Practice of Geological Survey Standardization [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2019.

[5] 袁桂琴,杨少平,孙建华,等.地质矿产领域标准体系建设:勘查技术(物化探、钻坑探)标准子体系研究与建立研究报告[R].廊坊:中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所,2015.
YUAN Gui-qin, YANG Shao-ping, SUN Jian-hua, et al. Construction of Standard System in the Field of

Geology and Mineral Resources: Research Report on the Research and Establishment of Standard Subsystem of Exploration Technology(Geophysical and Geochemical Exploration and Pit Drilling Exploration) [R]. Langfang: Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, Chinese Academy of Geological Sciences, 2015.

[6] GB/T 9649. 29—2009,地质矿产术语分类代码第 29 部分:地球化学勘查[S].
GB/T 9649. 29—2009, Terminology Classification and Code of Geology and Mineral Resources, Part 29: Geochemistry Exploration[S].

[7] GB/T 14496—93,地球化学勘查术语[S].
GB/T 14496—93, Terms of Geochemical Exploration [S].

[8] GB/T 14839—93,地球化学勘查技术符号[S].
GB/T 14839—93, Technical Symbols for Geochemical Exploration[S].

[9] DZ/T 0075—93,地球化学勘查图图式、图例及用色标准[S].
DZ/T 0075—93, Standard for Format, Legend and Color of Geochemical Exploration Map[S].

[10] DZ 0003—91,汞蒸气测量规范[S].
DZ 0003—91, Specification for Mercury Vapor Survey [S].

[11] DZ/T 0145—2017,土壤地球化学测量规程[S].
DZ/T 0145—2017, Regulation for Soil Geochemical Survey[S].

[12] DZ/T 0248—2014,岩石地球化学测量技术规程[S].
DZ/T 0248—2014, Code of Geochemical Rock Survey [S].

[13] DZ/T 0370—2021,便携式 X 射线荧光现场分析技术规程[S].
DZ/T 0370—2021, Code of Practice for Field Analysis of Portable X-ray Fluorescence[S].

[14] GB/T 31456—2015,石油与天然气地表地球化学勘探技术规范[S].
GB/T 31456—2015, Technical Specification for Surface Oil and Gas Geochemical Exploration[S].

[15] DZ/T 0011—2015,地球化学普查规范(1 : 50 000) [S].
DZ/T 0011—2015, Specification of Geochemical Reconnaissance Survey(1 : 50 000)[S].

[16] DZ/T 0167—95 区域地球化学勘查规范(1 : 200 000) [S].
DZ/T 0167—95, Specification of Regional Geochemical Exploration(1 : 200 000)[S].

[17] DZ/T 0185—1997,石油天然气地球化学勘查技术规

范[S].
DZ/T 0185—1997, Technical Specification of Geochemical Exploration for Oil and Gas Exploration[S].

[18] DZ/T 0353—2020, 地球化学详查规范(1 : 10 000) [S].
DZ/T 0353—2020, Specification of Geochemical Detailed Survey(1 : 10 000)[S].

[19] GB 3838—2002, 地表水环境质量标准[S].
GB 3838—2002, Environmental Quality Standards for Surface Water[S].

[20] GB 15618—2018, 土壤环境质量:农用地土壤污染风险管控标准(试行)[S].
GB 15618—2018, Soil Environmental Quality: Risk Control Standard for Soil Contamination of Agricultural Land[S].

[21] DZ/T 0258—2014, 多目标区域地球化学调查规范(1 : 250 000)[S].
DZ/T 0258—2014, Specification of Multi-purpose Regional Geochemical Survey(1 : 250 000)[S].

[22] DZ/T 0289—2015, 区域生态地球化学评价规范(1 : 50 000)[S].
DZ/T 0289—2015, Specification of Regional Ecogeochemistry Assessment[S].

[23] DZ/T 0295—2016, 土地质量地球化学评价规范[S].
DZ/T 0295—2016, Specification of Land Quality Geochemical Assessment[S].

[24] DZ/T 0354—2020, 局部生态地球化学评价规范[S].
DZ/T 0354—2020, Specification of Local Ecogeochemisrty Assessment[S].

[25] DZ/T 0380—2021, 天然富硒土地划定与标识[S].
DZ/T 0380—2021, Delimitation and Logo of Natural Selenium-enriched Land[S].

[26] DD 2010—04, 多目标区域地球化学调查数据库标准[S].
DD 2010—04, Standard for Multi-objective Regional Geochemical Survey Database[S].

[27] DD 2014—09, 生态地球化学预警技术要求[S].
DD 2014—09, Technical Requirements for Ecogeochemical Early Warning[S].

[28] DD 2014—10, 土地质量地球化学监测技术要求[S].
DD 2014—10, Technical Requirements for Geochemical Monitoring of Land Quality[S].

[29] 袁桂琴,杨少平,米宏泽,等. 物探化探技术标准体系研究有关问题的探讨[J]. 物探与化探, 2015, 39(6): 1267-1270.
YUAN Gui-qin, YANG Shao-ping, MI Hong-ze, et al. A Discussion on Some Problems Related to the Standard System of Geophysical and Geochemical Techniques [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2015, 39(6): 1267-1270.

[30] 姚 震,杜子图. 关于新时代地质调查工作的战略思考[J]. 地质通报, 2018, 37(11): 2120-2124.
YAO Zhen, DU Zi-tu. Strategic Thinking on the Geological Survey Work in the New Era[J]. Geological Bulletin of China, 2018, 37(11): 2120-2124.

[31] 奚小环,李 敏. 现代勘查地球化学科学体系概论:“十二五”期间勘查成果评述[J]. 物探与化探, 2017, 41(5): 779-793.
XI Xiao-huan, LI Min. Summary of Modern Exploration Geochemistry Scientific System: Commentary on Exploration Achievements Obtained in the Period of “12th Five-year Plan”[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2017, 41(5): 779-793.

[32] 冯 斌,张振宇,吴文鹏,等. 地球物理地球化学数据集成与服务二级项目可行性报告[R]. 廊坊:中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所, 2021.
FENG Bin, ZHANG Zhen-yu, WU Wen-li, et al. Feasibility Report of Geophysical and Geochemical Data Integration and Service Level II Project[R]. Langfang: Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, Chinese Academy of Geological Sciences, 2021.

[33] DZ/T 0167—2006, 区域地球化学勘查规范[S].
DZ/T 0167—2006, Specification of Regional Geochemical Exploration[S].

[34] GB/T 1.1—2020, 标准化工作导则第 1 部分: 标准化文件的结构和起草规则[S].
GB/T 1.1—2020, Directives for Standardization, Part 1: Rules for the Structure and Drafting of Standardizing Documents[S].

[35] 董国臣,李胜荣,申俊峰,等. 自然重砂成因矿物学特征及找矿指示作用[J]. 地学前缘, 2020, 27(5): 171-178.
DONG Guo-chen, LI Sheng-rong, SHEN Jun-feng, et al. Genetic Mineralogy of Natural Heavy Placer Minerals and Its Effectiveness in Mineral Prospecting[J]. Earth Science Frontiers, 2020, 27(5): 171-178.

[36] 郭志娟,周亚龙,杨 峥,等. 雄安新区土壤重金属地球化学监测关键问题探讨[J]. 环境科学, 2020, 41(9): 4169-4179.
GUO Zhi-juan, ZHOU Ya-long, YANG Zheng, et al. Discussion on Key Issues of Geochemical Monitoring of Soil Heavy Metal in Xiong'an New District[J]. Environmental Science, 2020, 41(9): 4169-4179.

[37] 李 括,杨 柯,彭 敏,等. 近 20 年来鄱阳湖流域泛滥平原沉积物微量元素含量与污染变化[J]. 环境科学, 2021, 42(4): 1724-1738.

- LI Kuo, YANG Ke, PENG Min, et al. Changes in Concentrations and Pollution Levels of Trace Elements of Floodplain Sediments of Poyang Lake Basin in Recent Twenty Years[J]. *Environmental Science*, 2021, 42(4): 1724-1738.
- [38] 陈 雪, 杨忠芳, 陈岳龙, 等. 广西中东部 9 县区农田土壤 Se 输入通量研究[J]. *物探与化探*, 2020, 44(4): 820-829.
- CHEN Xue, YANG Zhong-fang, CHEN Yue-long, et al. Selenium Input Flux in Farmland Soil of 9 Counties in the Middle East of Guangxi[J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2020, 44(4): 820-829.
- [39] 陈国光, 梁晓红, 张 洁, 等. 丘陵区土地质量地球化学调查方法技术: 以服务赣州六县精准脱贫土地质量地球化学调查为例[J]. *物探与化探*, 2020, 44(3): 463-469.
- CHEN Guo-guang, LIANG Xiao-hong, ZHANG Jie, et al. Geochemical Survey Method of Land Quality in Hilly Areas: A Case Study of the Geochemical Survey of Land Quality in Ganzhou[J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2020, 44(3): 463-469.
- [40] 王学求, 张 勤, 白金峰, 等. 地球化学基准与环境监测实验室分析指标对比与建议[J]. *岩矿测试*, 2020, 39(1): 1-14.
- WANG Xue-qiu, ZHANG Qin, BAI Jin-feng, et al. Comparison of Laboratory Analysis Parameters and Guidelines for Global Geochemical Baselines and Environmental Monitoring[J]. *Rock and Mineral Analysis*, 2020, 39(1): 1-14.
- [41] 龚庆杰, 夏学齐, 刘宁强. 2011~2020 中国应用地球化学研究进展与展望[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2020, 39(5): 927-944.
- GONG Qing-jie, XIA Xue-qi, LIU Ning-qiang. Research Progress of Applied Geochemistry During the Decade of 2011 to 2020 in China[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2020, 39(5): 927-944.
- [42] 朱炳球, 朱立新, 史长义, 等. 地热田地球化学勘查[M]. 北京: 地质出版社, 1991.
- ZHU Bing-qiu, ZHU Li-xin, SHI Chang-yi, et al. *Geochemical Exploration of Geothermal Fields*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1991.
- [43] 张祥年, 汪明启, 徐广明. 隐伏矿地气地球化学勘查方法的影响因素及其作用方式[J]. *地质调查与研究*, 2007, 30(3): 20-27.
- ZHANG Xiang-nian, WANG Ming-qi, XU Guang-ming. Distortion Reason of Geogas to Indicate Concealed Deposits and Its Reacting Mechanism[J]. *Geological Survey and Research*, 2007, 30(3): 20-27.
- [44] 王 勇, 王东升, 吴国东, 等. 地气测量方法在粤北长排花岗岩型铀矿勘查中的应用[J]. *铀矿地质*, 2020, 36(4): 302-310.
- WANG Yong, WANG Dong-sheng, WU Guo-dong, et al. Application of Geogas Method in the Exploration of Granite-type Uranium Deposit in Changpai Area of Northern Guangdong[J]. *Uranium Geology*, 2020, 36(4): 302-310.
- [45] 蔺强强, 郑 琪, 苏永红. 黄土覆盖区地气测量有效性评价: 以甘肃省通渭县陈贾村地区为例[J]. *物探与化探*, 2020, 44(3): 533-539.
- LIN Qiang-qiang, ZHENG Qi, SU Yong-hong. Effectiveness Evaluation of Ground Geogas Measurement Survey in a Loess-covered Area: A Case Study of Chenjiacun Area in Tongwei County, Gansu Province[J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2020, 44(3): 533-539.
- [46] 王秋波. 甲基卡稀有金属矿区地气测量技术对隐伏矿体的指示[D]. 绵阳: 西南科技大学, 2020.
- WANG Qiu-bo. Indication of Geogas Prospecting Technology to Concealed Ore Body in Jiajika Rare Metal Orefield[D]. Mianyang: Southwest University of Science and Technology, 2020.
- [47] 张 龙. 地气探测技术勘查深循环渗入型隐伏温泉的应用示范研究[J]. *自然科学*, 2021, 9(3): 322-331.
- ZHANG Long. Application Demonstration Research of Geogas Exploration Technology in Deep Circulation Infiltration-type Concealed Hot Springs[J]. *Open Journal of Natural Science*, 2021, 9(3): 322-331.
- [48] 姚文生. 元素活动态提取剂作用机理与实验条件研究[D]. 北京: 中国地质科学院, 2011.
- YAO Wen-sheng. Leaching Mechanism and Conditions of Extractants on Mobile Forms of Elements in Soils[D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences, 2011.
- [49] 窦 备, 张必敏, 叶 荣, 等. 黄土覆盖区隐伏矿地球化学勘查技术试验研究: 以河南中河堤银铅锌多金属矿为例[J]. *物探与化探*, 2021, 45(4): 933-941.
- DOU Bei, ZHANG Bi-min, YE Rong, et al. An Experimental Study of Geochemical Exploration Methods for Concealed Deposits in Loess Overburden Area: A Case Study of the Zhonghedi Polymetallic Deposit in Henan Province[J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2021, 45(4): 933-941.
- [50] 孙彬彬, 刘占元, 周国华. 地电化学方法技术研究现状及发展趋势[J]. *物探与化探*, 2015, 39(1): 16-21.
- SUN Bin-bin, LIU Zhan-yuan, ZHOU Guo-hua. Research Status and Development Trends for Geoelec-

- trochemical Methods[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2015, 39(1): 16-21.
- [51] 刘攀峰, 罗先熔, 文美兰, 等. 近三十年来我国地电化学技术研究回顾与展望[J]. 桂林理工大学学报, 2018, 38(1): 47-55.
- LIU Pan-feng, LUO Xian-rong, WEN Mei-lan, et al. Retrospect and Prospect for Geo-electrochemical Technology Research in the Past Three Decades of China[J]. Journal of Guilin University of Technology, 2018, 38(1): 47-55.
- [52] 张明云, 孙国锋. 活动金属离子法原理方法及应用效果[C]//周永章, 张德会, 李鉴伦. 第三届全国应用地球化学学术会议论文集. 广州: 中山大学, 2010: 412-420.
- ZHANG Ming-yun, SUN Guo-feng. Principle and Application of Active Metal Ion Method[C]//ZHOU Yong-zhang, ZHANG De-hui, LI Jian-lun. Proceedings of the Third National Conference on Applied Geochemistry. Guangzhou: Zhongshan University, 2010: 412-420.
- [53] 成杭新, 杨 柯. 新标准推进富硒土地资源开发利用[N]. 中国矿业报, 2021-07-09(3).
- CHENG Hang-xin, YANG Ke. The New Standard Promotes the Development and Utilization of Selenium-rich Land Resources [N]. China Mining News, 2021-07-09(3).
- [54] 聂洪峰, 肖春蕾, 任伟祥, 等. 生态地质研究进展与展望[J]. 中国地质调查, 2021, 8(6): 1-8.
- NIE Hong-feng, XIAO Chun-lei, REN Wei-xiang, et al. Progress and Prospect of Ecogeological Research[J]. Geological Survey of China, 2021, 8(6): 1-8.
- [55] 王学求, 柳青青, 刘汉粮, 等. 关键元素与生命健康: 中国耕地缺硒吗? [J]. 地学前缘, 2021, 28(3): 412-423.
- WANG Xue-qiu, LIU Qing-qing, LIU Han-liang, et al. Key Elements and Human Health: Is China's Arable Land Selenium-deficient? [J]. Earth Science Frontiers, 2021, 28(3): 412-423.
- [56] 冯新斌, 曹晓斌, 付学吾, 等. 环境地球化学研究近十年若干新进展[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2021, 40(2): 253-289.
- FENG Xin-bin, CAO Xiao-bin, FU Xue-wu, et al. Some Progresses in Environmental Geochemistry Study in China in the Past Decade[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2021, 40(2): 253-289.
- [57] 刘国栋, 李禄军, 戴慧敏, 等. 松辽平原土壤碳库变化及其原因分析[J]. 物探与化探, 2021, 45(5): 1109-1120.
- LIU Guo-dong, LI Lu-jun, DAI Hui-min, et al. Change in Soil Carbon Pool in Songliao Plain and Its Cause Analysis[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2021, 45(5): 1109-1120.
- [58] 夏学齐, 龚庆杰, 徐常艳. 2011~2020 中国应用地球化学研究进展与展望之生态地球化学[J]. 现代地质, 2020, 34(5): 883-896.
- XIA Xue-qi, GONG Qing-jie, XU Chang-yan. Research Progresses on Applied Geochemistry from 2011 to 2020 in China: Ecogeochemistry[J]. Geoscience, 2020, 34(5): 883-896.
- [59] 施俊法, 李友枝. 国外生态地球化学填图理论及其发展趋势[J]. 物探与化探, 2003, 27(6): 469-472.
- SHI Jun-fa, LI You-zhi. Theories and Development Trends of Ecological Geochemical Mapping Abroad [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2003, 27(6): 469-472.
- [60] 周国华, 田黔宁, 孙彬彬, 等. 生态地球化学预测预警若干问题探讨[J]. 地质通报, 2009, 28(1): 118-123.
- ZHOU Guo-hua, TIAN Qian-ning, SUN Bin-bin, et al. Discussion on Ecologic Geochemical Early-warning and Forecasting [J]. Geological Bulletin of China, 2009, 28(1): 118-123.
- [61] 李笑诺, 丁寿康, 陈卫平, 等. 土壤环境质量预警体系构建与应用[J]. 环境科学, 2020, 41(6): 2834-2841.
- LI Xiao-nuo, DING Shou-kang, CHEN Wei-ping, et al. Construction and Application of Early Warning System for Soil Environmental Quality[J]. Environmental Science, 2020, 41(6): 2834-2841.
- [62] 陈建平, 李 靖, 谢 帅, 等. 中国地质大数据研究现状[J]. 地质学刊, 2017, 41(3): 353-366.
- CHEN Jian-ping, LI Jing, XIE Shuai, et al. China Geological Big Data Research Status[J]. Journal of Geology, 2017, 41(3): 353-366.
- [63] 奚小环. 自然资源时期: 大数据与地球系统科学——再论全面发展时期的勘查地球化学[J]. 物探与化探, 2019, 43(3): 449-460.
- XI Xiao-huan. Natural Resources Period: Big Data and Systematic Science of the Earth—More on Exploration Geochemistry During the Overall Development Period[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2019, 43(3): 449-460.
- [64] 奚小环. 大数据科学从信息化、模式化到智能化: 现代地球化学应用研究的新范式[J]. 地学前缘, 2021, 28(1): 308-317.
- XI Xiao-huan. Big Data Science from Informationization to Modelling to Intelligentization: New Paradigm of Applied Geochemical Research[J]. Earth Science

- Frontiers, 2021, 28(1): 308-317.
- [65] 张嘉桐. 基于云计算的地质 G4I 系统结构设计[D]. 长春: 吉林大学, 2013.
ZHANG Jia-tong. Cloud-based Geological G4I System Structure Design [D]. Changchun: Jilin University, 2013.
- [66] 向运川. 区域地球化学数据管理信息系统的实现技术[J]. 物探与化探, 2002, 26(3): 209-214, 217.
XIANG Yun-chuan. Implementation and Techniques of Regional Geochemical Data Management and Information System[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2002, 26(3): 209-214, 217.
- [67] 彭省临, 杨中宝, 李朝艳, 等. 基于 GIS 确定地球化学异常下限的新方法[J]. 地球科学与环境学报, 2004, 26(3): 28-31.
PENG Sheng-lin, YANG Zhong-bao, LI Chao-yan, et al. New Method to Determine Geochemical Anomalies Lower Limit Based on GIS[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2004, 26(3): 28-31.
- [68] 高艳芳, 陈军威, 张玉领, 等. 对地球化学图编制过程的深层探究[J]. 物探化探计算技术, 2015, 37(4): 538-546.
GAO Yan-fang, CHEN Jun-wei, ZHANG Yu-ling, et al. Further Research on Geochemical Mapping[J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 2015, 37(4): 538-546.
- [69] 左仁广, 王 健, 熊义辉, 等. 2011~2020 年勘查地球化学数据处理研究进展[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2021, 40(1): 81-93.
ZUO Ren-guang, WANG Jian, XIONG Yi-hui, et al. Progresses of Researches on Geochemical Exploration Data Processing During 2011—2020 [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2021, 40(1): 81-93.
- [70] 洪 双, 左仁广, 胡 浩, 等. 磁铁矿元素地球化学大数据构建及其在矿床成因分类中的应用[J]. 地学前缘, 2021, 28(3): 87-96.
HONG Shuang, ZUO Ren-guang, HU Hao, et al. Magnetite Geochemical Big Data: Dataset Construction and Application in Genetic Classification of Ore Deposits[J]. Earth Science Frontiers, 2021, 28(3): 87-96.
- [71] 许义江, 李成龙, 谈昊林, 等. 表生地球化学数据库及大数据研究进展[J]. 高校地质学报, 2021, 27(1): 58-72.
XU Yi-jiang, LI Cheng-long, TAN Hao-lin, et al. Advances on Surficial Geochemistry Database and Related Research[J]. Geological Journal of China Universities, 2021, 27(1): 58-72.
- [72] 奚小环, 侯青叶, 杨忠芳, 等. 基于大数据的中国土壤背景值与基准值及其变化特征研究: 写在《中国土壤地球化学参数》出版之际[J]. 物探与化探, 2021, 45(5): 1095-1108.
XI Xiao-huan, HOU Qing-ye, YANG Zhong-fang, et al. Big Data Based Studies of the Variation Features of Chinese Soil's Background Value vs. Reference Value: A Paper Written on the Occasion of *Soil Geochemical Parameters of China's* Publication[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2021, 45(5): 1095-1108.
- [73] 李 括, 彭 敏, 赵传冬, 等. 全国土地质量地球化学调查二十年[J]. 地学前缘, 2019, 26(6): 128-158.
LI Kuo, PENG Min, ZHAO Chuan-dong, et al. Vicennial Implementation of Geochemical Survey of Land Quality in China[J]. Earth Science Frontiers, 2019, 26(6): 128-158.
- [74] 武春林, 王瑞廷, 丁 坤, 等. 中国土壤质量地球化学调查与评价的研究现状和进展[J]. 西北地质, 2018, 51(3): 240-252.
WU Chun-lin, WANG Rui-ting, DING Kun, et al. Geochemical Survey and Evaluation on Soil Quality in China: Research Status and Advances[J]. Northwestern Geology, 2018, 51(3): 240-252.