

关于水地球化学测量的回顾和思考

杨少平

(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: 水地球化学测量是地球化学勘查的一种重要方法, 在寻找隐伏矿方面具有明显的优势, 在确定人居环境质量方面可以发挥重要作用。回顾了国内外水地球化学测量的发展历史和现状, 提出了水地球化学测量方法技术今后需要加强研究的几个方面: 基础理论、矿产勘查、环境调查与监测、防震减灾、多方法组合, 以促进水地球化学测量方法技术的良性发展和最大限度的发挥其作用。

关键词: 水地球化学测量; 基础理论; 矿产勘查; 环境调查与监测; 防震减灾; 多方法组合

中图分类号: P632

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2008)01-0013-06

水地球化学测量(water geochemical survey)是通过系统地采集地下水或地表水样品, 分析其中元素或离子的含量及其他地球化学指标(如 pH 值、 E_h 值、总矿化度等), 从中发现找矿信息, 分析解释水地球化学异常, 进而评价异常和找到各类矿床的地球化学勘查方法^[1-4]。其理论基础是水化学和水文地球化学^[3], 简称水化学测量。目前水化学测量已经扩展到环境质量评价领域, 用以发现环境污染源和评价人类生态环境质量。

水地球化学测量在我国已经走过了 50 余年的曲折历程, 积 50 余年发展之经验, 最重要的一点就是: 社会和经济需求决定着水地球化学测量工作的兴衰, 广大水地球化学测量从业人员的不懈努力成就着水地球化学测量事业的发展和进步。

最近国务院发布的《关于加强地质工作的决定》要求: ①突出能源矿产(石油、天然气、煤、铀)勘查, 尽快探明一批新的矿产地, 积极开展煤层气、油页岩、油砂、天然气水合物等非常规能源资源的调查评价和勘查; ②重点加强铁、铜、铝、铅、锌、锰、镍、钨、锡、钾盐、金等矿产勘查, 形成一批重要资源基地; ③加快危机矿山、现有油气田和资源枯竭城市接替资源勘查, 大力推进深部和外围找矿工作; ④强化地质灾害和地质环境调查监测, 完善全国地下水监测网络和加强地下水动态调查评价和过量开采与污染的监测, 全面推进农业地质、城市地质、矿山环境地质调查工作。

随着国务院《决定》的发布, 我国地勘行业迎来了一次难得的发展机遇。水地球化学测量亦如此, 在决定要求的各个勘查领域, 都有水地球化学测量

的用武之地; 特别是能源和金属矿勘查以及环境质量监测方面。

1 国内外概况

1.1 国外

“水文地球化学”作为术语, 1933 年初次见之于文献。随后很快得到承认和使用。到 20 世纪 50 年代发展成为一个独立的学科。

水地球化学方法的大量研究工作是在 20 世纪 40 年代完成的。前苏联的 E. A. Сергеев、Н. И. Софронов、В. А. 苏林等和西方国家的 R. W. Boyle、H. E. Hawkes、J. S. Webb 等勘查地球化学家对水地球化学勘查方法进行了大量探索性研究, 涵盖了从金属矿床和油田水分散晕特征到不同比例尺水地球化学勘查方法技术。研究人员普遍认为: 水地球化学普查同水系沉积物普查相结合, 是解决小比例尺工作任务的方法^[1-3]。

20 世纪 50 年代以后, 水地球化学测量一直在进行着技术进步和应用探索。1965 年, 前苏联勘查地球化学家 М. Недра 出版了《金属矿床地球化学普查指南》一书, 规范了前苏联全国范围内的水地球化学勘查方法技术, 使水地球化学测量走向规范化。利用水地球化学测量技术, 在西伯利亚、哈萨克斯坦、高加索、中亚和远东等地, 对数万平方千米面积的含矿远景进行了评价, 发现了大量的远景地段。在这些地段进一步详细工作以后, 发现了金属矿床^[1-2]。同时, 西方国家的勘查地球化学家也在各自国家不同面积的范围内进行了旨在找寻隐伏矿床的水地球化学测量。如 Lawrence 等(1982)在美国

华盛顿州 Republic Graben 地区大约 1 000 km² 范围内进行的、以找寻金矿为目的的水地球化学测量,平均采样密度 1 点/(10~20 km²)^[5-6]。

这一时期,最重要的技术进步是前苏联托姆斯克综合技术学院水文地球化学中心研制成功不同种类盐基浓缩水中微量元素的共沉淀-光谱分析方法,其中最成功的是 A. A. Миллер 制定的以硫化镉为共沉淀剂的 ЛТИ-ВИТР 法,解决了大量水样品的运输和保存难的问题^[2],从而推动了水地球化学勘查在找矿方面的应用。

20 世纪 70 年代,美国根据世界铀资源形势启动的全国铀矿普查计划中,水地球化学测量是其中最重要的方法之一。这是目前全球覆盖面积最大的水地球化学测量工程。以数年时间对测区中分布的河水和井、泉水系统进行水文观测和水化学普查采样,进行了 30 多种元素的分析测试,研究其中特殊矿化信息的相关关系;以水中 U、F 异常的反比关系找到了几个沉积型铀矿床^[7],推动了水化学测量找铀的工作。

总之,国外研究和生产实践的结果表明:水地球化学测量主要用作常规地球化学勘查方法(如土壤测量、水系沉积物测量、岩石测量等)的辅助方法。但其在圈定矿化带方面的效果,几乎和水系沉积物测量一样好^[8-9],具有巨大的潜在应用价值,特别是地下水测量在勘查隐伏矿床方面。

1.2 国内

我国的水地球化学测量工作始于 20 世纪 50 年代中期,以石油勘查中水地球化学测量方法研究为标志。1954 年 4 月,地质部化探室开始进行石油化探试验研究工作,水地球化学测量是其中重点研究的方法之一,其中包括野外采样技术和分析测试技术,揭开了我国水地球化学测量的序幕。同时,地质部化探实验室开始了水地球化学分析测试研究工作,制定出水中 I 和 Br 测定的方法。嗣后,水地球化学测量的研究和生产工作一直在石油勘查领域中坚持进行。

1955 年,北京石油学院编印了《地球化学勘探》教材,介绍了水地球化学油气勘探方法,使水地球化学测量进入高校讲台。1957~1958 年,地质部西北地质局的陈扬、丁淇、艾贻年等在陕南基本上直接引进前苏联的水地球化学测量方法进行了普查镍矿的试验^[10],开创了我国水地球化学测量找金属矿的先例。地质部物探研究所研制了天然水中铜、铅、锌、镉、砷、镍、钙、硫酸根、重金属总量等比色测定方法和碳酸钙或硫化镉水样共沉淀法^[11-13],为开展金属

矿的水地球化学测量提供了一个更好的基础平台,促进了水地球化学测量工作的快速发展。

20 世纪 50 年代末至 60 年代初,水地球化学测量在我国得到很大的发展。1958 年,华东石油局综合研究大队在安徽“肥北拗陷”开展了 13 500 km² 的 1:50 万水地球化学调查,这是我国首项水地球化学扫面工程。1958 年 5 月,物探研究所李善芳、吴承烈等在南岭地区,朱钧等在江西,309 队在云南开展了不同规模的旨在找寻金属矿床的水地球化学测量方法试验^[14-16]。1958 年 10 月,丁淇、艾贻年在《地质与勘探》第 2 卷第 20 期上发表“用水化学方法普查镍矿床”一文,介绍了在陕南基性-超基性岩带上的试验研究成果,肯定了水化学测量在找寻镍矿上的有效性^[10],这是我国公开发表的第一篇有关水地球化学测量的文章。1960 年 8 月,二机部三局通过在湖南的试验,肯定了水地球化学测量方法是找铀矿的行之有效的的手段之一,从而使水地球化学测量在我国进入到放射性矿床的勘查领域。

20 世纪 60 年代中期至 70 年代中期,水地球化学测量进入低谷。金属矿水地球化学测量基本上停止,只剩下油气勘查领域还在坚持。这一时期值得一书的是:1966 年,国家地震局预报中心开始研究测定水中 Rn、He、Ar、CO₂、CH₄ 等组分在地震期间的变化来预报地震,使水地球化学测量进入到地震预报领域。

20 世纪 80 年代前后,水地球化学测量重新活跃。石油系统肯定了水地球化学方法找油气的效果,认为可以投入生产使用。从而使水地球化学测量覆盖了全国大部分含油气盆地^[17]。1986 年,铀矿地质系统颁行了铀矿水化学找矿规范;1987 年 5 月 1 日以后,在铀矿地质系统内贯彻实施;这是我国第一部有关水地球化学测量方法找矿的专门规范^[18]。同时,还颁行了铀矿水化学编图规范(1:20 万)。截至 1997 年,铀矿地质系统共完成水化学测量区调和普查面积 242 万 km²^[19]。在地质部物探研究所的倡导下,地矿系统以寻找隐伏矿和快速普查为目标的固体矿产(主要是金属矿产)水地球化学测量研究和试生产工作在青海的高寒山区(1978),内蒙古和甘肃的干旱、半干旱荒漠区(1982~1983),东北的玄武岩覆盖区(1986~1989),甘肃的黄土覆盖区(1987~1988),河南和江苏的冲积平原区(1987~1988)和云南的高山峡谷区(1996~1998)进行,累计完成水化学测量面积超过 10 万 km²。1986 年,在“七五”国家科技攻关项目中设置“华北地台北缘寻找隐伏铅锌矿床的水地球化学方

法研究”子专题,这是我国第一个专门进行水地球化学测量研究的项目。1989 年,地矿部物化探研究所任天祥、金仰芬、伍宗华、侯智慧等在《Journal of Geochemical Exploration》第 33 卷 1~3 期(中国专集)上发表有关水地球化学测量的文章 4 篇,这是我国水地球化学测量研究成果第一次向国外集中报道。水样分析:90 年代以前主要用共沉淀、电化学或活性炭吸附等方法预富集后分析^[20-22];90 年代以后,直接用水样分析^[23]。

20 世纪 90 年代中期以后,找矿部门(包括金属

矿和油气勘查)的水地球化学测量基本上进入停滞状态,大规模扫面工作完全停止,只有水化学测量的研究工作还在以小规模并持之以恒的坚持中。这时,其他系统(包括地震预报、环境调查和铀矿勘查等)的水化学测量工作异军突起,研究工作在有一定规模的程度上进行。

据不完全统计,从 1955 年我国开展水地球化学测量工作以来,截至到 2005 年,发表有关水地球化学测量成果文章的刊物和论文集多达 91 种,共登载相关文章 222 篇(其中译文 16 篇)。详见表 1。

表 1 水地球化学测量文章发表情况一览

刊名	发表年度	篇数	刊名	发表年度	篇数
福建地质	2005	1	中南铀矿地质	2004	1
河南地质情报	1998	1	华东铀矿地质	2001	1
湖南地质科技情报	1976	1	西北铀矿地质	1996、1999	2
新疆地质	2002	1	华南铀矿地质	1998	1
吉林地质	1987	1	铀矿地质	2000~2005	5
四川地质学报	2000	1	黄金	1989、1990	2
内蒙古地质	1997	1	黄金地质科技	1993	1
地质找矿论丛	2000	1	有色金属矿产与勘查	1998	1
矿物岩石	2001	1	化工矿产地质	1999	1
岩矿测试	1993~2003	3	地质科技情报/中国地质大学(武汉)	1998、1999	2
航测与遥感	1997	1	石油勘探与开发	1982~1996	5
地质学报	1961	1	天然气地球科学	1995	1
地质论评	1964~1993	5	天然气工业	2000、2002	2
地球学报	1996、2003	2	石油与天然气地质	1980~1985	5
现代地质	2005	1	石油学报	1983、1986	2
水文地质工程地质月刊	1959	1	中国地质灾害与防治学报	1997、2000	2
水文地质工程地质	1981~2001	4	矿业安全与环保	2001	1
水文地质工程地质科技情报	1973	1	海洋地质动态	2001	1
地质科技情报	2001	1	海洋科学	1982	1
地质矿产研究	1975	1	海洋地质与第四纪地质	2003	1
地质月刊	1959	1	冰川冻土	1996	1
物探与化探	1958~2004	28	地球科学——中国地质大学学报	2002	1
地质与勘探	1958~2004	10	水土保持学报	2000	1
中国地质	1962	2	山地研究	1984、1996	2
科学通报	1979	1	Journal of Geochemical Exploration	1989、1994	5
成都理工大学学报*	1982~1996	3	分子科学学报	1981	1
长春科技大学学报	2001	1	地质科学	1983	1
华东地质学院学报	1994	2	地球化学探矿实例(论文集)	1966	1
河北地质学院学报	1995	1	金矿找矿测试方法与技术论文集	1995	1
江汉石油职工大学学报	2000	1	贡嘎山地理考察(论文集)	1983	1
西南石油学院学报	1995	1	地质矿产部地球物理地球化学勘查研究所刊	1987	1
石油实验地质	1980~1989	10	金矿地球物理地球化学勘查新方法新技术研究论文集	1994	2
地球化学	1978~2000	8	地质部地质科学研究院论文集,丁种,第 1 号	1966	1
地球与环境	2004	4	第三届勘查地球化学学术讨论会论文集	1988	3
高原地震	1994、2001	2	第四届勘查地球化学学术讨论会论文选编	1991	3
西北地震学报	1980~1998	6	第五届勘查地球化学学术讨论会论文选编	1995	2
山西地震	1997	2	第六届勘查地球化学学术讨论会论文选编	2000	1
内陆地震	1996~2002	3	物探化探译丛(译文)	1987、1998	4
华南地震	2001	2	国外铀金地质(译文)	1985~2001	4
东北地震研究	1994、1998	2	国外地质勘探技术(译文)	1986~1998	5
地震	1994~2000	4	国外金属矿物化探(译文)	1987	1
中国地震	1996	1	世界地质(译文)	1992	1
地震学报	1980~2003	8	国外地质与勘测(译文)	1996	1
四川地震	1996~2004	3	地质科技动态(译文)	1997	1
地震研究	2004	1	煤炭科学技术	1989	1
中国煤炭	2004	1			

发表论文篇数总计 222

注:截至 2005 年不完全统计(全国地质图书馆和网上调查结果汇总);* 包括其前身成都地质学院学报和成都理工大学学报

表 2 不同领域不同时段发表文章数统计

领域	时段					合计	备 注
	1956 ~ 1965	1966 ~ 1975	1976 ~ 1985	1986 ~ 1995	1996 ~ 2005		
金属矿勘查	10	3	6	32	21	72	含盐类矿产勘查 2 篇、萤石矿勘查 1 篇
油气勘查	1	2	31	11	11	56	含地热勘查 2 篇、天然气水合物勘查 4 篇
铀矿勘查			1	1	16	18	含放射性污染防治 1 篇
地震预报			9	8	24	41	含煤矿透水灾害防治 4 篇、海水入侵监测 1 篇
环境调查			2	1	14	17	
水分析方法	3		2	9	4	18	
总计	14	5	51	62	90	222	

从发表文章分布的领域看(表 2),主要是金属矿和油气勘查,占有水地球化学测量半壁以上的江山;其次是地震预报(含煤矿透水防治)领域,也达到了 41 篇。不同时段文章数反映出的工作活跃程度显示:在初创时段,金属矿勘查领域是一只领头羊,研究工作明显领先于其他领域。到 1976 ~ 1985 时段,油气勘查领域则独领风骚,文章数大幅度领先,以后 2 个时段便明显下降。到 1986 ~ 1995 时段,金属矿勘查领域重新活跃,文章数遥遥领先,而后则有所降低。到了 1996 ~ 2005 时段,铀矿勘查、地震预报和环境调查领域的水地球化学测量工作得到了长足的发展,地震预报领域的文章数名列首位,达到 23 篇。这些都说明水地球化学测量工作具有良好的发展前景。水分析方法研究的高峰出现在 1986 ~ 1995 时段,主要是基于水样无机共沉淀、发射光谱测试为主的水中 30 多种元素或组分的多方法分析技术^[20~21],并广泛应用于生产实际,推动了水地球化学测量工作的前进。2000 年以后,物化探研究所中心实验室开发出一套基于 ICP-MS,辅以原子荧光、无火焰原子吸收、全反射 X 荧光^[23]等测试方法组合的水样分析系统,为大规模水地球化学测量生产准备了一个良好的测试平台。

2 今后研究工作的思考

针对目前我国水地球化学测量研究和生产的现状,今后我国的水地球化学测量工作需要在这几个方面开展研究工作。

2.1 基础理论研究

我国水地球化学测量基础理论研究工作一直比较薄弱,特别需要在以下几个方面加强研究:

- (1)不同地球化学景观条件下,水体中元素存在形式及其溶解度的研究;
- (2)表生带岩石矿物风化过程中水—岩—气—有机物相互作用过程和机理研究;
- (3)不同赋存条件下水体中元素不同相态迁移富集作用规律研究;
- (4)环境变化中水的地球化学作用特征及其对

环境的影响;

- (5)采用化学热力学和化学动力学方法开展水地球化学过程模拟;
- (6)同位素示踪判断水地球化学异常来源;
- (7)水中微生物作用与元素活动规律的关系。

2.2 水样测试技术研究

水样测试技术是水地球化学测量方法研究的基础。目前开发的以 ICP-MS 为主,配以原子荧光、无火焰原子吸收、全反射 X 射线荧光等测试方法组合的分析系统,基本上可以满足一般的水地球化学测量工作的检出限需求,大部分水样都可以报出确定值的数据。而且测试用样品量一般只要几十毫升,解决了大量水样的运输困难,减轻了野外采样的劳动强度,但仍有少量元素的检出限还不能满足要求,如 Pb、Sn 等。

由于水样的不稳定性、某些元素的水不溶性和现有分析仪器测试能力的局限性,开展针对特殊元素的水样现场预处理技术的研究,对于提高水地球化学测量的应用效果还是很有必要的,如 Pb、Sn 等。

2.3 矿产勘查方法技术研究

2.3.1 能源矿产勘查

油气勘查和铀矿勘查一直是水地球化学发展比较快的领域,已经取得了比较好的成果,今后主要是深化的问题。研究不同景观条件下水地球化学测量方法技术、水化学异常的解释推断技术和灵敏指标的选择确定,以大幅度提高找矿效果,特别在油气新区勘查和可地浸型砂岩铀矿勘查方面。

开拓新的应用领域,向海洋勘查进军;向天然气水合物、煤层气等非常规能源勘查领域进军。天然气水合物是一种赋存在低温、高压条件下海底沉积物中的规模巨大的新型能源。已有的研究表明:通过分析由大洋钻探上来的柱状沉积物和孔隙水的地球化学异常来识别海底天然气水合物的存在是可行的。因此,在没有钻井岩芯的情况下,通过浅表层(<20 m)沉积物和孔隙水及底层海水的地球化学测量,测试各种离子含量和同位素异常来有效示踪

天然气水合物的存在,来识别海底可能存在的天然气水合物;破解国际国内天然气水合物勘查中面临的这一道难题。

2.3.2 非能源矿产勘查

在我国中东部地区,出露地表的矿床绝大部分已经找到,今后主要是寻找隐伏矿床。由于地下水的深循环特性,决定了水地球化学测量可以在“攻深找盲”、缓解危机矿山接替资源、寻找隐伏矿床的勘查中发挥重要作用。

在厚覆盖和大面积覆盖区,特别是我国北方和西北的草原、荒漠、戈壁及黄土覆盖区寻找隐伏矿床的工作中,常规化探方法及其他找矿方法大多无能为力。但这些区域多数都广泛分布着地下水,它们主要反映深部信息。从而构成了开展水地球化学测量工作的良好基础条件。可以按照不同景观和工作环境,开展不同比例尺的水地球化学测量,如在内蒙古大草原上,利用牧井开展水地球化学概查扫面,快速确定有利成矿远景带和圈定大型找矿靶区。

在 1:20 万区域化探扫面发现的难评价异常找矿远景的评价方面可望发挥一定的作用。一些化探扫面异常,几上几下进行检查评价,甚至动用一定轻型工程,仍难有中肯结论,成为“鸡肋”。对这类异常的评价,应当转换评价思路,利用地下水深循环的特性,使用水地球化学测量方法有可能得出比较明确的结论。

2.4 环境调查与监测应用

地球生态环境日益受到世界各国不同阶层人们的重视,人们越来越关注自己的生存环境和不断提高生存质量。在与人类生存环境息息相关的水体污染和地方病防治等领域,水地球化学测量都大有用武之地。

环境因素与人类健康之间的关系,自古就为国内外广大学者所关注。我国幅员辽阔,自然环境复杂多变,地方病种类多、分布广、危害大。虽经几十年的研究,在地方病区水环境地球化学调查与监测方面取得了一些进展,但远远不能满足国家提高国民生活质量的要求,还有许多工作要做。水地球化学工作者需要付出更多的努力,主要是确定不同地球化学景观中与人类健康有关的元素不同相态的阈值和防治地方病的水地球化学方法。需要建立一批不同地球化学景观的长期监测点,来研究人类活动对环境影响的演化趋势。

在环境污染的调查、监测和防治方面,水地球化学测量都是主要的方法和手段,今后将继续发挥应有的作用。这方面新的研究方向可能会在污染水体

的阻控和赋存污染水的土体原位生态修复中出现。

2.5 防震减灾技术研究

近年来,随着全球地震活跃期的来临,破坏性地震开始频发。地震预报,特别是短临预报越来越受到重视。经过 40 年的研究和资料积累,我国已经确定了水地球化学测量在地震预报工作中的地位,提出了以水中 Rn 、 Hg 为主的预报指标体系,建立了全国水地球化学地震监测网,并成功地利用水化学资料预报出一系列的地震发震时间,取得了令人鼓舞的成果。今后主要是加强已有指标的测试精度和开发新的预报指标;同时开展大量累积数据的多指标计算机处理方法研究,寻找其中与地震发生之间的规律性,进一步提高短期和临震预报的准确性。

水化学测量用于减灾领域是近 10 年来的事,但已经显露出有意义的苗头,主要是在防治煤矿透水方面,用于确定水体的来源地,以便堵截矿井涌水。在应用水化学测量预测滑坡体稳定性方面已经有人在探索。这些都是今后水化学测量值得注意的发展方向。

2.6 多方法组合技术研究

水地球化学测量虽然在不少领域有许多优势,但是任何方法都不是万能的。因此,在所有领域的水地球化学测量中,都需要选择适宜工作地区地球化学景观条件的多方法组合测量,这样才能充分发挥每种方法的优势,提供尽可能多的信息,以准确判断测量靶标的未来运行方向。如在各类矿产勘查中,需要结合地质、地球物理、遥感等方法和水系沉积物、土壤、岩石等地球化学方法,才能对测区的找矿前景提出比较中肯的评价结论;在地震监测中,也需要结合地球物理场变化、地壳形变测量等获得的资料综合分析判断,才能提高地震预报的准确性。

3 结论

水地球化学测量是地球化学勘查的一种重要的方法。在我国历经 50 余年的曲折发展,已经有了一定的工作基础,在寻找隐伏矿方面具有明显的优势,在确定人居环境质量方面可以发挥重要作用。今后需要在其基础理论、能源和非能源矿产勘查方法技术、环境调查与监测、防震减灾技术、多方法组合技术等方面加强研究工作。以促进水地球化学测量的良性发展,最大限度地发挥其作用,适应国民经济发展提出的更高要求。

参考文献:

- [1] 中国地质科学院水文地质工程地质研究所. 水文地球化学找

- 矿(限国内发行)[M]. 北京:地质出版社,1977.
- [2] Колотов Б А, Крайнов С Р, Рубейкин В З. 金属矿床水文地球化学找矿基础[J]. 王超, 金立敏, 潘乃礼, 等译. 国外铀矿地质, 1985, (增刊).
- [3] 沈照理. 水文地球化学基础[M]. 北京:地质出版社, 1986.
- [4] 中国大百科全书出版社. 中国大百科全书 地质学[M]. 北京:中国大百科全书出版社, 1993.
- [5] Lawrence D T, Mohmmmed I. Electrothermal atomic absorption determination of gold, silver, and arsenic in stream waters and their relationship to gold-silver occurrences in the Republic Graben Washington N E [C]//Levinson A A. Precious metals in the Northern Cordillera, Calgary, Alberta, Canada. 1982.
- [6] 杨育斌、张金来、吴学明, 等. 油气地球化学勘查[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 1995.
- [7] 马超杰. 从国外化探发展趋向看基础研究的重要性[J]. 物探与化探, 1979, 2(1):56.
- [8] Boyle R W. The prospect for geochemical exploration-predictable advances and new approaches[J]. Journal of Geochemical Exploration. 1984, 21(1-3):1.
- [9] Runnells D D. Workshop 3: Hydrochemistry in mineral exploration[J]. Journal of Geochemical Exploration. 1984, 21(1-3):129.
- [10] 丁洪, 艾贻年. 用水化学方法普查镍矿床[J]. 地质与勘探, 1958, 2(20):18.
- [11] 地质部物探研究所化探室. 天然水中微量重金属离子之浓集及其测定[J]. 地质与勘探, 1959, 3(7):17.
- [12] 地质部物探研究所化探室. 天然水中重金属总量、锌、铜、钼、砷的野外快速测定法[J]. 地质与勘探, 1959, 3(11):16.
- [13] 地质部物探研究所化探室. 测定天然水中微迹镍的地球化学野外方法[J]. 地质与勘探, 1959, 3(12):19.
- [14] 李普芳, 吴承烈. 南岭地区水化学、分散流找矿法的初步研究[J]. 地球物理勘探, 1959, (4):17.
- [15] 朱钧, 邵克忠, 史光闾, 等. 利用水化学法普查细脉浸染型铜矿的初步经验[J]. 地质与勘探, 1959, 3(9):3.
- [16] 309 队地质科. 云南某铅矿水化学测量工作初步经验[J]. 地质与勘探, 1960, 4(7):11.
- [17] 刘崇禧, 赵克斌, 余刘应, 等. 中国油气化探 40 年[M]. 北京:地质出版社, 1988.
- [18] EJ/T276-1998, 铀矿水化学找矿规范[S].
- [19] 李家俊. 铀矿勘查地球化学的简要回顾和展望[C]//朱立新, 史长义, 张金华. 第六届勘查地球化学学术讨论会论文选编. 北京:地质出版社, 2000.
- [20] 湖南区测队. PAN-硫化镉共沉淀化学光谱法测定天然水中微量金属元素[J]. 湖南地质科技情报, 1976, (1):31.
- [21] 张文华, 刘金华. 天然水中测定 18 个微量金属元素的化学-光谱法[J]. 物探与化探, 1987, 11(3):235.
- [22] 侯智慧. 表面活化吸附体野外预富集——测定团结沟天然水中的微量金[J]. 地质与勘探, 1986, 22(5):53.
- [23] 李国会, 张天佑, 黄新跃, 等. 全反射 X 射线荧光光谱法同时测定天然水中多种元素[J]. 岩矿测试, 1998, 17(2):123.

A REVIEW AND SOME CONSIDERATIONS OF WATER GEOCHEMICAL SURVEY

YANG Shao-ping

(Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, CAGS, Langfang 065000, China)

Abstract: Water geochemical survey, one of the geochemical exploration methods, has a great advantage in search for hidden ores and in evaluation of ecological environment for human residence. Based on a review of the history and present situation of water geochemical survey in the world, it is held that in this field we should pay special attention to such aspects as basic theory, mineral exploration, environmental survey and monitoring, earthquake prevention and hazard mitigation as well as combination of varied methods so as to improve the technique of water geochemical survey and bring its role into full play.

Key words: water geochemical survey; basic theory; mineral exploration; environmental survey and monitoring; earthquake prevention and hazard mitigation; combination of varied methods

作者简介: 杨少平(1953-), 男, 陕西华阴人. 1978 年毕业于北京大学地质地理系地球化学专业, 1994 年获中国地质大学(武汉)地球化学硕士学位, 教授级高工, 长期从事不同地质地理景观区勘查地球化学基础理论和方法技术研究工作。