



金的勘查 地球化学

理论与方法·战略与战术

王学求 谢学锦 著

EXPLORATION GEOCHEMISTRY OF GOLD

PRINCIPLES AND METHODOLOGY

TACTICS AND STRATEGY

山东科学技术出版社

www.lkj.com.cn

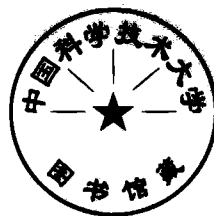
国家科学技术学术著作出版基金资助出版

金的勘查地球化学

理论与方法 · 战略与战术

EXPLORATION GEOCHEMISTRY OF GOLD
PRINCIPLES AND METHODOLOGY · TACTICS AND STRATEGY

王学求 谢学锦 著



山东科学技术出版社

国家科学技术学术著作出版基金资助出版

金的勘查地球化学

理论与方法·战略与战术

王学求 谢学锦 著

出版者:山东科学技术出版社

地址:济南市玉函路16号

邮编:250002 电话:(0531)2065109

网址:www.lkj.com.cn

电子邮件:sdkj@jn-public.sd.cninfo.net

发行者:山东科学技术出版社

地址:济南市玉函路16号

邮编:250002 电话:(0531)2020432

印刷者:山东新华印刷厂

地址:济南市胜利大街56号

邮编:250001 电话:(0531)2059512

开本:787mm×1092mm 1/16

印张:20.25

字数:440千

版次:2000年12月第1版第1次印刷

ISBN 7—5331—2383—2

P·26

定价:45.00元

图书在版编目(CIP)数据

金的勘查地球化学 理论与方法·战略与战术/王学求,
谢学锦著. —济南: 山东科学技术出版社, 2000. 12
ISBN 7-5331-2383-2

I. 金... II. ①王...②谢... III. 金矿床-地球
化学勘探 IV. P618.510.8

中国版本图书馆CIP数据核字 (2000) 第31987号

谨以此书献给

所有那些从事科研与勘查，
历尽千辛万苦找金的人。

内 容 提 要

本书不仅是对国内外金矿勘查最新研究成果的系统阐述,也是作者多年研究工作的总结。作者利用大量最新研究成果修正和补充了金在各种天然介质中的含量数据,特别是首次给出了大规模的金在水系沉积物、泛滥平原沉积物、土壤和气体中的含量数据。利用现代分析测试技术,对金的表生存在形式进行了系统的研究和重新分类。提出一系列勘查地球化学新概念。总结了常规金矿地球化学勘查方法,并着重对近些年发展起来的寻找隐伏金矿的新方法和新理论进行了详尽的探讨与阐述,首次对作者研制的地球气纳微金属测量方法和金属活动态测量方法进行了系统而全面的理论和技术阐述。论述了金矿地球化学勘查的战略与战术,并提出了一系列矿产勘查的新概念和一整套迅速掌握全局、逐步缩小靶区的寻找大型和特大型金矿的战略思想理论与方法,并根据地球化学块体资料对中国大型、特大型金矿的潜在地区进行了预测。总结了金矿地球化学勘查所取得的成就,并选择典型找矿案例进行了剖析,以便读者更好地了解和掌握全书的理论、方法和战略战术的使用。

本书可供从事地球化学、勘查地球化学、地质矿产勘查和矿床学有关研究人员和广大从事金矿勘查的野外工作人员以及高等院校有关专业师生参考和使用。

作者简介



王学求,生于1963年1月,辽宁人。1986年毕业于长春地质学院勘查地球化学专业,获学士学位。1989年获得应用地球化学专业硕士学位。1998年获得地球探测与信息技术专业博士学位。一直在地矿部地球物理地球化学勘查研究所从事勘查地球化学研究工作,历任助理工程师、工程师、高级工程师。国际勘查地球化学家协会会员,美国科学促进会委员,美国纽约科学院院士,地矿部“百名跨世纪人才”获得者。作为项目负责人先后主持国家攀登计划课题、国家重点科技攻关计划专题、地矿部定向科研项目、中国地质勘查技术院国土资源大调查项目、勘查项目和国际合作项目等10余项。发表中英文论文30余篇,其中有6篇被SCI收入。



谢学锦,生于1923年5月,上海人。1941年入浙江大学物理系,1947年毕业于重庆大学化学系。先后任地矿部地球物理地球化学勘查研究所所长,名誉所长。1980年被选为中国科学院院士。曾担任中国地质学会理事,勘查地球化学专业委员会主任委员,联合国教科文组织国际地质对比计划执行局委员。现担任国际地球化学勘查杂志副主编,国际地质标准通讯顾问委员会委员,国际地球化学填图计划指导委员会委员,分析技术委员会主席。发表中英文论文近百篇,专著两部。有50余篇论文被SCI收入。先后主持国家攀登计划项目、国家自然科学基金项目、国家攻关计划项目和地矿部科研项目等几十项。曾获得国家科技进步二等奖1项,地矿部一等奖1项。

前 言

勘查地球化学在过去的几十年里,特别是在近十几年里发生了巨大的变化。这不仅表现在它已成为矿产勘查必不可少的工具,从矿产勘查从属地位的一种战术手段上升到能左右整个矿产勘查全局的战略地位,而且已经从一门经验或技术,发展成为一门真正的科学。在这一历史巨变中,在国外所表现最为突出的是 20 世纪 70 年代在斑岩铜矿和铀矿勘查所取得的成就,而在中国这一表现主要是在金矿勘查中所取得的巨大成就。根据原地矿部的统计资料,中国在 1980 年至 1995 年这 15 年中所发现的金矿中有 90% 以上是根据勘查地球化学方法(化探)所发现的。

随着出露矿产的日益枯竭,寻找隐伏矿正在成为勘查地球化学最重要、最活跃的研究领域,也促使勘查地球化学一些新方法和新技术的诞生。这些新方法、新技术的应用不仅为理论研究提供了有力的手段,而且这些新方法和新技术的诞生还发现了过去一些传统理论无法解释的现象。这促使勘查地球化学家更深入地思考和研究一些理论问题,使地球化学勘查更科学化,而不只是仅限于经验或技术。

今天金矿地球化学勘查一方面在出露区已经形成一整套的做法,发展成一门完整的勘查地球化学分支科学,另一方面在寻找隐伏矿方面正在面临划时代的革新。我们正处于一个过去取得的成就与未来面临的挑战的间歇期。本书正是在这种背景下,试图对过去成功的做法进行系统的全面的总结,并对现在和未来所面临的寻找隐伏矿和大矿、巨矿及全球化矿产勘查的挑战所出现的突破性的进展进行阐述。

本书不仅总结了国内外金矿勘查的最新研究成果,而且也是对作者多年研究工作的总结。本书共分四篇:在第一篇中作者利用大量最新研究成果修正了金在各种天然介质中的含量数据,特别是首次给出了大规模的金在水系沉积物、泛滥平原沉积物、土壤和气体中的含量数据,并对金的存在形式,特别是表生存在形式,结合利用现代分析测试技术,对其进行了系统的研究和重新分类,并提出一系列勘查地球化学新概念;在第二篇中作者主要总结了常规金矿地球化学勘查的方法,并着重对近些年发展起来的寻找隐伏金矿的新方法和新理论进行了详尽的探讨与阐述,首次对我们研制的地球气纳微金属测量方法和金属活动态测量方法进行了系统而全面的理论和技术阐述;在第三篇中,作者阐述了金矿地球化学勘查的战略与战术,并提出了一系列矿产勘查的新概念和一整套迅速掌握全局,逐步缩小靶区的战略思想和寻找大型和特大型金矿的途径与方法,以及根据地球化学块体资料对中国大型、特大型金矿的潜在地区进行了预测。相信通过这套战略和方法的实施,定将大大减少矿产勘查的风险与不肯定性,找到新的大型、特大型金矿的概率将大大提高,而找矿周期将会大大缩短。第四篇总结了金矿地球化学勘查所取得的成就,并选择典型找矿案例进行了剖析,以便读者更好地了解 and 掌握全书的理论、方法和战略战术的使用。

在全书的编写过程中,力图体现“创新”二字。引用的资料最新,给出的数据最新,应用和介绍的技术最新,以及全书提出了一系列勘查地球化学新概念:包括超微细金(亚微米和纳米颗粒金)、地球气纳微金属、活动态金属、套合的地球化学模式谱系、地球化学块体、成矿物质供应量、巨型矿床形成的首要条件是巨量的成矿物质的供应与聚集、呈各种活动态的成矿可利用金属量是最好的估计成矿物质供应量的指标、全球地球气上升、直接信息深穿透地球化学等。

该书的许多研究成果取材于作者参加或主持的下列科研项目或专题。国家“七五”重点黄金科技攻关项目:激光单原子探测技术在金矿化探中的应用。国家“八五”科技攻关计划专题:非传统金矿化探的理论与方法技术研究,利用超低密度化探方法和激光单原子等分析技术寻找大型、特大型金矿的探索研究。国家攀登计划专题:战略性与战术性地球气与元素活动态测量的理论与方法技术研究,利用战略性地球气与元素活动态测量技术在桂西寻找大型金矿的研究,川西北若尔盖草原覆盖区大型金矿存在的可能性研究。地矿部定向科研项目:桂西寻找大型金矿的研究,安徽北部成矿远景评价与找寻大型矿床的研究。国际合作项目:利用超低密度化探新方法在沙漠覆盖区穆龙套金矿的试验研究(中、俄、乌三方合作研究项目),地球气与元素活动态测量方法在热带深风化覆盖区奥林匹克坝矿床的适用性研究(中澳合作项目)。地矿部百名跨世纪人才培养计划资助项目:超大型矿床的勘查地球化学理论与方法研究。研究经费得到了原国家科委、原地质矿产部、中国地质勘查技术院和部分省局的大力支持。

本书是基于这些研究工作的部分总结,是集体研究的结晶,作者要特别感谢参加这些项目研究工作的卢荫麻、成志中、刘大文等。长春科技大学戚长谋教授和物化探研究所邵跃教授级高级工程师对该书进行了审阅,并提出了许多宝贵意见。全书的简稿还得到中国科学院院士郭文魁先生和中国地质科学院裴荣富研究员的审阅。

本书由国家科学技术学术著作出版基金和山东省泰山科技专著出版基金会共同资助出版。

在此,一并向所有参与和关心本书出版的专家和单位表示衷心的感谢!

作 者

2000年10月

目 录

第一篇 金的勘查地球化学原理

第一章 金的地球化学概述	3
第一节 金的名称的起源	3
第二节 金的地球化学概述	4
第三节 金矿物简介	7
第四节 金矿床的主要类型	7
第二章 金在自然界的含量分布	10
第一节 金在岩石中的含量分布	10
第二节 金在土壤中的含量分布	13
第三节 金在水系沉积物中的含量分布	14
第四节 金在植物中的含量分布	15
第五节 金在动物中的含量分布	19
第六节 金在天然水体中的分布	20
第七节 金在气体中的分布	21
第八节 金的地壳克拉克值与地表丰度	22
第三章 金的存在形式	24
第一节 金的内生存在形式、迁移与沉淀	25
第二节 金的表生存在形式	27
第四章 金的地球化学模式	45
第一节 地球化学背景与异常	45
第二节 地球化学模式的类型	46
第三节 地球化学模式的成因	52

第五章 采样理论	59
第一节 样品代表性	59
第二节 采样密度	70
第三节 勘查类型	71

第二篇 金矿勘查地球化学方法

第一章 岩石地球化学方法	79
第一节 区域原生金异常	79
第二节 局部原生异常	81
第三节 金矿指示元素	82
第四节 岩石测量工作方法	85
第二章 水系沉积物地球化学方法	88
第一节 金在水系沉积物中的分散	88
第二节 水系沉积物测量工作方法	90
第三章 土壤地球化学方法	98
第一节 土壤剖面与土壤性状	98
第二节 土壤中金的存在形式	100
第三节 金在土壤不同层位中的分布	101
第四节 土壤测量方法	102
第四章 水地球化学方法	104
第一节 金在水中的存在形式	104
第二节 水地球化学方法找金	104
第三节 水地球方法的优缺点	106
第五章 生物地球化学方法	108
第一节 植物方法找金	108
第二节 植物溶解(吸收)金的机理与试验	111

第三节	植物金的分析方法	112
第四节	动物找金的记载	112
第六章	气体与流体地球化学方法	114
第一节	气体地球化学方法	114
第二节	流体地球化学方法	118
第七章	偏提取方法与电提取方法	121
第一节	偏提取方法	121
第二节	元素有机质结合形式法	123
第三节	酶提取法	123
第四节	活动金属离子法	126
第五节	电提取测量	128
第六节	离子测量系统	129
第八章	金属活动态提取方法	131
第一节	偏提取方法在金的提取中所遇到的难题	131
第二节	金属活动态提取概念的提出	132
第三节	金属活动态的存在形式及提取方法	133
第四节	金属活动态样品分析与质量监控	136
第五节	活动态金在土壤中的分布	137
第六节	金属活动态异常的形成机制	145
第九章	地气法与地球气纳微金属测量理论与方法	147
第一节	地气概念的提出与演化	147
第二节	地球气中纳微金属测量概念的提出	148
第三节	地气的采样技术与分析方法	149
第四节	地球气纳微金属测量技术的研制	150
第五节	地球气超微量金属的分析方法	157
第六节	地球气中的元素组合	160
第七节	地球气中金的背景值与分布特征	160
第八节	地球气测量的再现性和季节性变化	162
第九节	地球气异常模式	167
第十节	地球气的形成机理探讨	170

第十一节	地球气纳微金属测量的操作程序·····	176
第十二节	地球气测量存在问题的讨论·····	178
第十章	深穿透地球化学 ·····	182
第一节	深穿透地球化学的概念·····	182
第二节	深穿透地球化学的研究内容·····	183
第三节	建立深穿透地球化学的必要性与意义·····	185
 第三篇 金矿地球化学勘查的战略与战术 		
第一章	思路的革新与新概念的提出 ·····	189
第一节	直接信息是最可靠的信息·····	189
第二节	直接信息与间接信息相结合进行综合信息勘查·····	193
第三节	发展能探测深部矿化发出的直接信息深穿透地球化学方法·····	194
第四节	降低金分析的检出限·····	194
第五节	在区域化探和战略性概查中使用低异常下限·····	197
第六节	注重异常的整体可比性·····	199
第七节	巨量金属供应和聚集是区分大矿巨矿的最主要标志·····	204
第八节	地球化学采样——从高密度到低密度由局部至全球·····	204
第九节	迅速掌握全局、逐步缩小靶区·····	205
第二章	金矿地球化学勘查程序 ·····	210
第一节	勘查阶段的划分·····	210
第二节	勘查步骤·····	212
第三节	勘查中的科学与艺术·····	214
第三章	方法技术的选择与匹配 ·····	216
第一节	对不同的矿体产出类型使用不同的方法·····	216
第二节	对不同的景观条件选择使用不同的采样介质和分析方法·····	217
第三节	战略性方法与战术性方法·····	217

第四章 利用勘查地球化学方法寻找大型巨型金矿的探索	219
第一节 寻找大型巨型矿床的必要性	219
第二节 寻找大型巨型矿床的风险	220
第三节 寻找大型巨型金矿的途径	220
第四节 与寻找巨型矿床和大型矿集区有关的新概念	222
第五节 寻找巨型矿床和大型矿集区的勘查地球化学理论基础	226
第六节 区分大型巨型金矿的方法	229
第五章 利用地球化学信息对全国金矿资源潜力的战略预测	233
第一节 利用地球化学块体对出露区和半出露区的预测	233
第二节 利用深穿透地球化学方法对部分覆盖区的预测	241

第四篇 金矿地球化学勘查成就与找矿案例

第一章 金矿勘查地球化学成就	243
第一节 化探方法在中国发现的异常数及见矿数	243
第二节 化探方法在中国所发现的各种矿产	244
第三节 化探方法在中国所发现的金矿数目	244
第四节 发现金矿的周期	244
第二章 出露区找矿案例	246
第一节 河南上宫金矿的发现	246
第二节 贵州烂泥沟金矿的发现	250
第三节 新疆阿希金矿的发现	252
第四节 新疆康古尔塔格金矿的发现	255
第五节 山东归来庄金矿的发现	257
第六节 辽宁排山楼金矿的发现	258
第三章 新方法在隐伏区的试验与应用实例	261
第一节 战术性勘查实例	262
第二节 区域金属活动态测量实例	263

第三节 战略性概查实例	263
参考文献	298

第一篇

金的勘查地球化学原理

金在自然界各种介质中的含量分布、内外生存在形式、分散与迁移和地球化学异常模式构成了金矿勘查地球化学的理论基础。矿产勘查地球化学就是要利用研究元素含量的分布和变化,发现异常,建立模式,进行解释推断来寻找矿床。所以含量的研究可以为勘查地球化学提供基础的参考数据和异常解释依据;元素的存在形式、分散与迁移规律的研究是对所发现的现象或地球化学模式进行合理解释推断的基础;而金的物理化学性质又支配着金在自然界中的存在形式、分散与迁移方式;合理的采样原则是合理而有效的发现含量的分布特征和地球化学模式的前提。因此,金的物理化学性质、含量分布、存在形式、分散与迁移、异常模式和采样原则构成了金矿勘查地球化学的基础理论要素。

尽管对金地球化学的研究,特别是含量分布的研究,在 19 世纪中叶德国地质地球化学家 K. G. 毕晓夫在他出版的三卷集著作《化学地质与物理地质学教程》(Bischof, 1855)中第一次整理了金的地球化学资料,对金的分布和性状做了很好的总结。但文中并没有给出有关金含量分布的数据。直到 19 世纪末,由于金分析方法的改进,才有了金含量分布的研究资料。F. W. 克拉克于 1908 年在他最伟大的著作《地球化学数据》中第一次有了地球化学元素含量的系统记录(Clarke, 1924)。在有关金属矿床一章中,他对金的地球化学做了当时完善的总结,并首次给出了金的含量分布数据。之后 A. E. 费尔斯曼于 1939 年在他的巨著《地球化学》的第四卷(Fersman, 1939)中更详细地总结了金的地球化学性质,并首次总结讨论了金的内外生迁移与沉淀机理。V. M. 戈尔德施密特于 1954 年出版了《地球化学》一书(Goldschmidt, 1954),作者在书中详细地讨论了金在岩石中的含量分布、金的结晶化学、金在风化和成壤中的行为,以及利用金银比值和硅铁比值计算了金在地壳中的丰度。但自 20 世纪 50 年代以后的近 20 年中,由于对金兴趣和对金矿开采在世界范围内的下降,几乎没有发表有关金的地球化学的论著。进入 20 世纪 70 年代末期,黄金价格的上涨刺激了金矿业和研究工作的再度振兴(Boyle, 1979)。从而有了两部有关金的地球化学专著的出版,一本为前苏联的彼德洛夫斯卡娅(1973)所著《自然金》,另一本是加拿大 Boyle(1979)所著《金的地球化学与金矿床》。前一本书由于语言的障碍,中国的读者几乎很少了解。其实书中内容相当丰富,有关于金的分析、金的溶解和迁移、金的分布与克拉克值以及金的内外生循环的系统阐述。Boyle 所著《金的地球化学与金矿床》一书在我国流行甚广,广泛被中国学者所引用,这是目前有关金的地球化学最权威的一部著作。

金地球化学研究历史中的各个阶段,都与分析技术的进步密不可分。利用火试金光谱分析金的检出限可达 $0.1 \sim 0.02 \mu\text{g/g}$ (普拉科逊, 1958)。利用预富积光谱分析和原子吸收分析,检出限可达 0.1 ng/g (陈绍仁, 1980)。而利用中子活化分析,金的检出限可达

0.01 ng/g(文森特等,1960)。近些年,利用激光单原子分析,已将金分析的检出限逼近到 pg/g 级(惠秦等,1992;王学求等,1993)。

这些高灵敏测试技术的使用可以使我们对金的含量,不仅是全量,还包括偏量,以及存在形式有了更进一步的了解。并且也不断地对金的地球化学数据和理论做出补充和修订。因此作者在这一篇里,主要将引用自 1979 年 Boyle 的著作《金的地球化学与金矿床》发表以后,特别是近些年,所积累的大量事实与数据,并结合前人的研究成果对金在自然界中的含量分布、存在形式、分散模式做出补充和修改,以便为现代金矿勘查地球化学提供更详实可靠的基础资料和更趋完善和适用的理论基础,同时对采样理论进行讨论。