

G.J.S. 戈维特 主编

地质矿产部情报研究所译

勘查地球化学手册

第三卷

矿产勘查的岩石地球化学



冶金工业出版社

勘查地球化学手册

第三卷

矿产勘查的岩石地球化学

G.J.S.戈维特 主编

地质矿产部情报研究所 译

冶金工业出版社

内 容 简 介

《勘查地球化学手册》是根据荷兰埃尔塞维尔科学出版公司1983年出版的《Handbook of Exploration Geochemistry》一书翻译的。本册为第三卷——矿产勘查的岩石地球化学。

本卷共十三章，内容包括两部分：总论部分概括地介绍了岩石地球化学勘查方法在矿产勘查程序中的地位和作用，元素丰度、性状以及取样和异常的识别等基本问题；各论部分就区域规模的勘查和局部及矿区规模的勘查，系统介绍了各种类型矿床及相关地质体的地球化学特征和异常特征。其中对岩体含矿性评价及与岩浆岩有关的锡矿和斑岩型矿床，脉型及交代型矿床，块状硫化物矿床等与火山岩和沉积岩组合有关的矿床，从地球化学特征和找矿标志方面作了详尽而系统的探讨，引用并论证了大量实际资料。书后还有附录，详细介绍了地壳元素丰度研究的方法以及使用丰度值时应注意的问题，并列表提供了有关实际数据。

本书可供地质、冶金、建筑、化工、核工业等部门化探工作人员、矿床地质和矿产找矿勘探的地质工作人员使用，也可供地质院校有关专业师生参考。

勘查地球化学手册

第 三 卷

矿产勘查的岩石地球化学

G. J. S. 戈维特 主编

地质矿产部情报研究所 译

责任编辑 姚参林

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街嵩祝院北巷39号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

850×1168 1/32 印张13 7/8字数364千字

1988年1月第一版 1988年1月第一次印刷

印数00,001~1,700册

ISBN7-5024-0224-1

TD·32 定价4.05元

译者的话

近年来, 勘查地球化学迅速发展, 在地质普查勘探和其他相关领域内得到了越来越广泛的应用。同时, 勘查地球化学研究方法不断更新, 文献资料大量积累。野外地质和地球化学工作者很难从浩如烟海的文献中把握其发展全局, 抽取其精髓要旨, 亟需有总结性的论著来指导生产实践。为适应这种需求, 著名勘查地球化学家戈维特(G. J. S. Govett)主持编写了《勘查地球化学手册》丛书, 计划分七卷出版, 即: 1. 化探分析方法; 2. 化探中的统计学和数据分析; 3. 矿产勘查的岩石地球化学; 4. 矿产勘查的水系沉积物地球化学; 5. 矿产勘查的土壤地球化学; 6. 矿产勘查的生物地球化学和地植物学; 7. 矿产勘查的挥发性元素等。到目前为止, 前三卷已由荷兰埃尔塞维尔科学出版公司出版, 其中第一卷已有中译本, 由地质出版社出版。

为便于广大化探和地质工作者使用, 中国地质学会勘查地球化学专业委员会委托地质矿产部情报研究所组织这套手册二至七卷的翻译, 由冶金工业出版社出版。这项工作得到地质矿产部物探化探局和科技司、中国有色金属工业总公司、地质矿产部物探化探研究所的大力支持。我们首先把第三卷(矿产勘查的岩石地球化学)介绍给读者, 第二卷随后出版。一俟其他各卷的原版书问世后, 将陆续组织翻译出版。

本卷前言、绪论和第一章, 吴传璧译, 张肇元校; 第二章, 张肇元、沈福农译, 吴传璧校; 第三章, 吴传璧译, 林彻校; 第四章, 朱炳球译, 阮天健校; 第五章, 任天祥译, 第六章, 吴承烈译, 第七章、第八章, 刘泉清译, 吴传璧校; 第九章, 蔡玲珊译, 阮天健校; 第十章, 金仰芬译, 崔霖沛校; 第十一章, 伍宗华译, 欧阳宗圻校; 第十二章, 徐外生译, 阮天健校; 第十三章, 吴传璧译, 林彻校; 附录, 吴传璧译。全卷由吴传璧审校。译者水平所限, 不当之处难免, 敬请读者指正。

译者 1986年6月

前 言

地球化学作为一种勘查方法，其应用的扩展，导致出现了两个有关的实际问题：积累起来的资料数量巨大以致无法在一卷书里对它们作有一定深度的探讨；在产业部门工作的、尤其是在北美和欧洲主要城市之外工作的地质工作者和地球化学工作者，深感难以跟上技术文献中报道的新发展。在世界各地举行的各种会议上，我和同行们讨论了这些问题，随后又与埃尔塞维尔 (Elsevier) 科学出版公司编辑部研究，从而产生了出版分卷丛书——《勘查地球化学手册》的设想。在这套丛书中，各个领域的专家们可以对勘查地球化学的不同方面作详尽的探讨。作为这套丛书的编辑，我的作用大体上限于动员我的同行们为此项工作贡献他们的时间和知识，并尽可能使各卷有共同的写法和格式。丛书的第一卷已于1981年出版（《地球化学勘查中的分析方法》，W.K.Fletcher编）；本卷是第三卷，其余五卷尚处于不同的编写阶段。

本套手册的宗旨不同于那些囊括勘查地球化学整个领域内容广泛的普通教科书。这套分卷手册的基本构思，是要以对从事实际勘查工作的地质人员和地球化学人员有用的形式，介绍与矿产勘查有关的特定学科的合用资料；同时，各卷都包括足以供研究人员和研究生参考的资料。有两卷涉及分析方法和数据处理的一般课题；其他各卷则为各类勘查测量的专著。

本卷是专门论述现行技术方法之一——岩石地球化学的第一卷。虽然这本书不可避免地反映了我本人对岩石地球化学勘查的看法和做法，但它不仅以我的著作为依托，也参照了其他人以英文或英译文发表的著作。选入本书的资料均用于说明具体的结果和一般性的结论。用了200多幅插图来说明这些资料，源出于已发表著作的插图，大部分又都重新绘过，在许多情况下，还提出了新的解释或补充了引自其他来源的资料和结论。

我避免使用“litho geochemistry”（岩石地球化学）这一术语，因为我认为，它在词源学上是没有根据的；这一点也与苏联的用法有争议（见Govett, 1978）。我认为，凡有可能的地方，应尽量使用言简意赅的术语。例如，Soil geochemistry（土壤地球化学）就比pedo geochemistry要好。我力求将这种简明的信念贯穿于本书的表述之中。理论尽量压缩，以满足理解和论断结果的需要为准。

这种作法在表述上造成了一些问题，因为理解理论地球化学过程，对资料的解释和应用技术的发展是至关重要的。所以，对元素在地壳中的分布原理作了简要的综述（第二章），鉴于它们的重要性，又在一份单独的附录中（附录1，P.C.Rickwood博士编）作了较为全面的探讨，该附录中还包括一篇有关元素地壳丰度研究现状的述评。

在提供有关地质资料方面也产生了类似的问题。岩石地球化学勘查不能脱离对地质作用（尤其是成矿作用）的透彻了解。为使本书保持适当篇幅，地质资料必须精减；然而，地质作用的重要性并不因论述之多寡而受影响（读者欲知更多的细节，可查阅引证的文献）。

岩石地球化学勘查的主要不足，是缺少“无矿”沉积（例如，没有经济价值的黄铁矿沉积）的资料，这一点在本书所包括的资料中亦反映出来。那些缺乏成矿元素的热液矿化作用或其他矿化作用，显然也会引起与伴生有成矿元素矿化类似的蚀变和广泛的地球化学变化。非常需要对这类无矿的体系作详细的地球化学研究。更为普遍的情况是，在勘查地球化学工作者中间，存在着不愿发表认为是不成功的（按找矿的意义来说）的调查结果的想法，而这一类否定结果的发表，却会大大有助于岩石化学勘查技术的发展。

那些很了解我的人可能会对我不讨论勘查成本而感到奇怪；这是一个经过深思熟虑的省略，因为要进行对比需有种种限定条件，以致一些数据会使人产生误解，或者变成无用的东西。测量

成本在各国和各地相差悬殊；视成本也会因公司而异，甚至在一个国家内，由于雇用的人员和公司的结算方法不同，视成本也有差异。此外，有一项活动（岩石地球化学测量的解释）实际上是无法核算成本的，尽管我认为，在数据解释上应该花更多的勘查费用。

在编写本书的过程中(历时四年)，承蒙世界各地的许多人给予协助，同意我使用他们的资料，在一些情况下，他们甚至提供了补充资料。我还必须感谢过去十二年来我在新不伦瑞克大学和新南威尔士大学带过的许多研究生。

我特别感谢我的新南威尔士大学的同事P.C.里克伍德博士，他撰写了附录1。我还要感谢J.A.库普博士、E.M.卡梅伦博士、R.G.加勒特博士和W.K.弗莱彻博士，他们评审了许多章节，并提出了宝贵的意见，当然，他们对本书提出的任何观点并不负有责任。新不伦瑞克大学的J.罗斯先生和R.麦卡洛克先生承担了大部分图件的绘制和照相复制工作；尤其要向新南威尔士大学的M.霍瓦恩小姐和G.斯莫尔先生表示谢意，感谢他们的近期工作。我还要感谢我的秘书J.海登小姐（为大部分初稿打字）和M.瓦伦丁小姐（从事使人生厌的表格打字和校样工作）。我衷心感谢M.H.戈维特小姐在编辑业务上所给予的热情协助，以及在原稿付印方面所做的工作。最后，我要感谢F.W.B. Van艾辛加博士（原属埃尔塞维尔科学出版公司），他欣然接受了出版手册丛书的初始设想；感谢H.弗兰克博士（埃尔塞维尔科学出版公司），感谢他在编写本书期间所给予的赞助和表现出的坚韧精神。

G.J.S.戈维特
于新南威尔士，悉尼

目 录

译者的话	
前言	
绪论	1
第一篇 总论	5
第一章 勘查程序中的地球化学	5
引言	5
地球化学勘查的基本原理	7
地球化学测量的主要类型	7
地球化学勘查的程序	8
区域规模的勘查	9
局部和矿区规模的勘查	11
结论	13
第二章 地壳丰度、元素的地球化学性状和取样问题	14
元素的丰度	14
元素的分类及其地球化学性状	18
取样	20
第三章 地球化学异常的识别	26
引言	26
背景值和异常下限	27
数据的空间分布	29
“对数正态律”	32
总体划分	34
异常模式	37
苏联的解释方法	37
结论	42
第二篇 区域性勘查	45
第四章 深成岩伴生矿床的区域性勘查——含矿和无矿侵入体的识别	45

元素浓度和地球化学专属性	45
频率分布特征	48
依据长英质侵入体全岩分析的案例	51
加拿大科迪勒拉	51
其他实例	56
依据铁镁质侵入体全岩分析的案例	62
矿物分离物、卤素和矿物选择性浸取的应用	66
方法原理	66
全岩中卤素和水的测量	67
黑云母中的卤素	72
黑云母和长石中金属的分布	78
硫化物的选择性浸取	86
结论	88
第五章 深成岩伴生矿床的区域性勘查——含锡花岗岩的鉴别	92
引言	92
案例	93
依据岩石和矿物中的锡作判别	93
依据非矿元素的判别	98
解释方法讨论	106
结论	111
第六章 脉状和交代矿床的区域性勘查	112
引言	112
大于6公里的异常	113
3~6公里的异常	115
1~3公里的异常	123
结论	132
第七章 火山岩和沉积岩组合中层状矿床的区域性勘查	135
引言	135

块状硫化物矿床的地质特征和成因·····	136
加拿大地盾的太古代块状硫化物矿床·····	145
一般地球化学特征·····	145
诺兰达地区的区域性测量·····	149
无矿和成矿火山旋回的鉴别·····	153
SiO ₂ 含量的变化·····	155
组构变化·····	159
加拿大地盾的元古代块状硫化物矿床·····	160
新不伦瑞克的古生代块状硫化物矿床·····	165
塞浦路斯的块状硫化物矿床·····	174
火山岩中块状硫化物矿床的其他实例·····	175
沉积岩组合中的块状硫化物矿床·····	177
结论·····	180
第三篇 局部和矿区规模勘查·····	183
第八章 斑岩型矿床局部和矿区规模的勘查·····	183
引言·····	183
加拿大的案例·····	186
吉洪岩基·····	186
加拿大的其他研究案例·····	198
美国的案例·····	203
比尤特矿区·····	203
莱特斯溪矿区·····	204
卡拉马祖矿床·····	207
铜峡矿床·····	209
布雷肯里奇地区·····	213
伊利采矿区·····	215
美国的其他研究成果·····	216
Rb、Sr和K的应用·····	219
结论·····	230
第九章 脉状矿床和交代矿床的局部及矿区规模勘查·····	232
引言·····	232

对数衰减模式·····	232
地表岩石和风化基岩的测量·····	241
矿脉规模和离脉距离的确定方法·····	248
结论·····	253
第十章 火山岩和沉积岩组合中层状矿床的局部及矿区	
规模勘查——前寒武纪、元古代及黑矿型矿床 ·····	255
引言·····	255
太古代和元古代的矿床·····	255
蚀变带·····	255
勘查研究·····	261
黑矿型矿床·····	271
蚀变带·····	271
勘查研究·····	273
结论·····	276
第十一章 火山岩和沉积岩组合中层状矿床的局部和	
矿区规模勘查——新不伦瑞克 ·····	278
引言·····	278
矿床概况·····	279
微量元素的地球化学响应·····	281
希思斯蒂尔矿床上的累加晕·····	282
不伦瑞克12号矿床的微量元素晕·····	284
卡里布矿区簇群分析和线性判别函数的应用·····	286
希思斯蒂尔矿床、不伦瑞克12号矿床和卡里布矿床上Pb-Zn	
的线性判别函数晕·····	289
水溶性元素、电导率和pH的分布·····	293
大量元素晕·····	297
不伦瑞克12号矿床·····	297
希思斯蒂尔矿床·····	299
卡里布矿床·····	303

分析上的考虑	305
地球化学分散的一般模式和推断解释	307
结论	312
第十二章 火山岩和沉积岩组合中层状矿床的局部及 矿区规模勘查——塞浦路斯、土耳其和大 洋洲	315
塞浦路斯的矿床	315
土耳其的矿床	320
澳大利亚的矿床	324
摩根山和莱尔山	324
伍德劳恩矿床	331
利默里克	333
阿亚克斯矿点	336
斐济的韦纳列卡矿床	337
结论	339
第四篇 总结和结论	342
第十三章 地球化学响应及工作结果的综述	342
引言	342
识别含矿侵入体及斑岩矿床周围的晕	344
区域规模	344
离散晕	345
矿物分离物和卤素	349
脉型和交代型矿床	349
区域规模	349
围岩晕	352
火山-沉积块状硫化物矿床	352
结论	356
附录 1 元素的地壳丰度、分布和晶体化学	362
附录 2 常见岩石类型的元素丰度	407
附录 3 必要样品数目概率表	412

绪 论

岩石地球化学勘查用于探测矿床周围或与矿床相伴生的原生分散模式。“原生分散”这一术语是由詹姆斯 (James, 1967) 定义的, 用以描述未风化岩石中的元素分布状态——不论矿床是后生的还是同生的。在此, 遵循这一论点的原意, 将原生分散一词用于描述由于成矿或成岩作用在岩石中呈现出来的元素分布状态, 不论这些分散模式是直接还是间接与成矿作用有关。这一定义包括上盘围岩 (即明显晚于火山-沉积块状硫化物生成时代的岩石) 中的地球化学晕, 以及明显与火成作用和表部风化作用有关的风化岩石中的地球化学晕之类的分散模式。在某些极度风化的情况下, 原生和次生作用之间的界线可能变得十分模糊不清, 但这一点并不碍于这一定义的实用性。本书使用的所有其他术语, 均沿袭它们的传统含意。

尽管曾试图对岩石地球化学资料作一番全面的概括, 但在选材的整个过程中的指导原则是: “在勘查中是否有用?” 如果资料不能满足这一基本准则, 它们就要被剔除, 尽管在其他方面它们或许是有意义的。选材的第二条准则是 “有关地质和矿化、采样方法和分析技术的资料是否足以对结果作出有独到见解的评价”, 在本书中人们不难发现, 这条准则施行起来不如第一条准则那样严格, 尤其是对苏联的资料, 以便尽量求得有广泛的资料来源。本书只采纳了少数几个应用同位素和液态包裹体的例子。最终的局限性还在于能否取得有英文本的资料来源。

大量资料是从已发表的文献中得到的; 这些资料又由作者本人的研究和咨询活动, 以及作者在新不伦瑞克大学 (加拿大) 和新南威尔士大学 (澳大利亚) 的研究生们的工作作了适当的补充。为了便于对比, 对来自其他作者的大部分资料都以统一的格式重新绘制了图件。在许多情况下, 只要已发表资料中的数据充

分,都作了补充解释;切望作者们的原始资料 and 观点不致因此而受到损害。

岩石地球化学勘查,和任何其他的地球化学勘查方法一样,只是许多可用于矿产勘查的技术方法之一。因此,在第一章中便探讨了勘查地球化学在整个矿产勘查程序中的应用问题。

在第二章中讨论元素的地壳丰度和它们在岩石和矿物中分布的控制因素,因为矿体反映着正常地球化学平衡状态的明显变化,了解元素在岩石中的正常分布状况,对于识别因矿化作用引起的偏差是十分必要的(这些问题在附录1中作了较详尽的讨论)。取样和分析问题是所有大地物质的共同问题,因为岩石颗粒度大小不一,组构及元素在不同矿物间的优选分配情况不同,会造成一些特殊的问题。在第二章中也对这些问题进行了讨论。

显然,岩石地球化学资料的正确解释,是将这项技术成功地用于勘查工作的基础。这本书自始至终贯穿了对解释方法细节的探讨(在《勘查地球化学手册》丛中,还有专门论及这一课题的单卷,见Howarth, 1982)。第三章,即第一篇的最后一章,专门论述在各类地球化学测量中有关异常识别的某些较广泛和一般性的问题。这一章还介绍了苏联用于岩石地球化学数据解释的某些独特的技术方法,因为它们不同于大部分讲英语的地球化学家所使用的技术。

本书其余绝大部分的内容,皆以适合勘查实践为宗旨。基本上可划分为:

第二篇:区域规模的勘查——能区分出成矿区和无矿区的大规模地球化学响应。

第三篇:局部和矿区规模的勘查——能在1~2公里以内检测出来的围绕单个矿床的地球化学响应,以及在矿床直接围岩中的地球化学响应。

二、三两篇的进一步划分,主要是依据矿床类型和相伴的地质环境。这种划分方案有某些缺点。例如,火山-沉积块状硫化物矿床在二、三两篇中都作了讨论;脉型矿床在三个单独的章节

中作了详尽程度不等的论述。此外，有些矿床不易分类，而矿化作用和地球化学响应的一般形态又用于确定分类。无需争论，以矿床类型为依据（即在某个截面上考虑围绕块状硫化物矿床的所有规模的响应）进行基本划分，在科学上可能更为恰当。然而可以断定，采用勘查程序作为分类基础能最好地使这本书达到面向用户的目的。

在第二篇中，第四章论述深成组合的矿床，主要涉及潜在成矿侵入体与无矿侵入体的地球化学区分，而不管在成因上与之伴生的矿化是斑岩铜矿，还是产在侵入体内部和周围的脉状矿床和交代矿床。识别含锡侵入体这一特殊问题，在第五章中讨论。第六章论述的是脉状矿床和交代矿床周围分散的区域规模空间晕的判定问题，而不讨论在特定岩石单位中矿化的地球化学特征识别问题。关于区域规模勘查的最后一章，讨论了在特定火山岩单位中和区域规模空间晕中矿化作用的地球化学特征的识别问题。

第三篇涉及单个斑岩型矿床（第八章）、脉状和交代矿床（第九章）及火山-沉积块状硫化物矿床（第十、十一和十二章）周围的地球化学晕。块状硫化物矿床占了较大篇幅，这既反映了可供利用的已发表资料多，也反映了笔者本人的工作多集中在块状硫化物矿床上。

在第二和第三两篇，尽可能详细地介绍了有关的地质情况，矿化的规模和品级，采集的样品数，样品间距或密度，使用的分析技术，单个元素或元素组合晕的规模或其他响应。这些数据均编入了最后一章（第四篇第十三章），以便针对不同类型矿床的不同规模勘查工作总结最有用的指示元素，并指出可预期的晕的规模。

第二和第三两篇提供的矿例资料 and 解释，说明岩石地球化学可以有效地在所有勘查阶段用于寻找多种多样的矿床。第十三章中编入的内容为使用或有意使用野外岩石地球化学技术方法的人，以及为从事发展和改进岩石地球化学在矿产勘查中应用研究的人，提供一个总的轮廓。然而，说一句告诫的话看来不无好处，

编入第十三章中的内容是否合用，要看对构成本书主体的各个矿例研究得是否仔细而定，而且随着新资料的获得，内容不断更新，最好还要加以扩充。

第一篇 总 论

第一章 勘查程序中的地球化学

引 言

矿产勘查在财政上是一项风险很大的事业（或冒险），成功的机会通常被估计为1/1000。按现代地质知识水平，还不能消除对矿产勘查投资的风险因素，但是已经在整体计划阶段和在使用可以得到的最佳技术效能方面作了努力，以减少风险因素。

图1-1总结了作决策的概括性格式。第一个关键性的决策是何种矿产品应为勘查目标。在成本渐次增高的勘查程序中，要在许多地方依据勘查资料和财政考虑，作出继续或停止某一特定工作项目的决策。

影响执行某项特定勘查项目决策的三个主要因素是：经济因素、政治因素和地质因素。某些决策是简单易懂的，例如某个公司需要增加它的储量以维持社团的生存。另一些决策则要复杂得多，并要取决于在一个潜在的勘查区内是否可以期望（和保持）政府的长期政策有利于矿产开发。尽管政治因素和经济因素可能是十分吸引人的和重要的，本书仍以探讨勘查工作中的地质因素为主，特别是论述岩石地球化学在矿产勘查中的作用。作为讨论岩石地球化学这种特殊勘查技术的一个骨架，本章简要地对勘查地球化学的一般原理作一评述，讨论地球化学测量的主要类型及其在矿产勘查总程序中的地位。