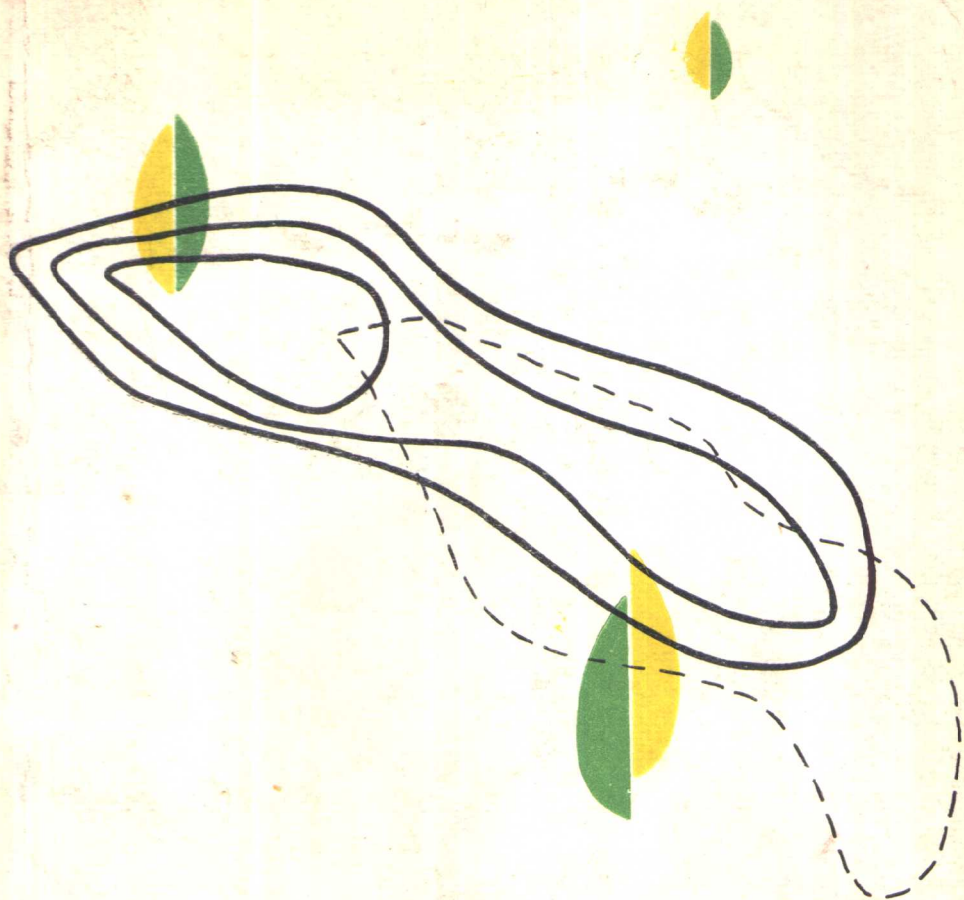




生物探矿法

R. R. 布鲁克斯 著 顾连兴 陈晓亚 等译校

生物探矿法

R.R.布鲁克斯 著

顾连兴 陈晓亚 等 译校

冶金工业出版社

生物探矿法

R. R. 布鲁克斯

顾连兴 陈晓亚 等

冶金工业出版社 出版发行

《北京北河沿大街尚祝院北巷3号》

新华书店总店科技发行所经销

冶金工业出版社 印刷厂印刷



*

850×1168 1/32 印张 11 字数 288 千字

1990年10月第一版 1990年10月第一次印刷

印数00,001~800册

ISBN 7-5024-0647-6

P·8 定价8.70元

译 序

随着勘探工作的不断深入,找矿难度与日俱增。在新的形势下,探矿工作者决不能囿于露头地质学、地球物理学和地球化学等传统手段,而应当尽力探求新的方法。生物探矿法将植物学、动物学、植物化学、植物生理学、生态学、生物地理学、分析化学、地球物理学和统计学与地质学密切结合起来,近年来日益兴起,大有发展前景。然而,最新的方法往往是人们最不熟悉的方法,迄今为止,在我国尚未见到系统介绍这种方法的一本专著。

本书是根据威利(Wiley)公司出版的《生物探矿法》(Biological Methods of Prospecting for Minerals)一书第二版(1983)译出的。作者R.R.布鲁克斯(Brooks)为英格兰人,今年60岁,1952年和1960年先后于布里斯托大学(Bristol University)和开普敦大学(University of Cape Town)获化学学士和地球化学博士学位,1966年开始生物地球化学研究工作,并作为访问学者先后于美国、澳大利亚和加拿大作过较长期的考察和研究。1984年曾访问过中国。布鲁克斯先后发表过生物地球化学方面的专著四种和论文约200篇。本书是作者在其1972年所发表的《矿产勘查中的地植物学和生物地球化学》(Geobotany and Biogeochemistry in Mineral Exploration)一书的基础上写成的,但内容较前书更为翔实,基本上反映了近年来国外在生物探矿法领域中的主要成果和研究现状。我们选译此书,希望能抛砖引玉,对我国的生物探矿工作有所推动。

生物探矿理论主要是地质学和生物学两个学科的杂交产物,两个学科的名词、术语均大量出现。为确保译文质量,译校人员多数来自南京大学地球科学系外,南大生物系陈晓亚博士也参加了译校工作。本书序言和第1~3章由顾连兴译,陈晓亚校;

第4~5章、第8~11章由陈晓亚译,顾连兴校;第6~7章由施佳译,陈晓亚校;第12~13章由胡志宏译,顾连兴校;第14~15章由程海译,陈晓亚、顾连兴校;第16~17章由陈泽铭译,陈晓亚、顾连兴校;第18章由程海译,顾连兴校;第19章由胡志宏译,顾连兴校;第20~21章由孙晓明译,陈晓亚、顾连兴校;第22~23章由孙晓明译,顾连兴校。最后由顾连兴统一整理。

翻译力求忠于原著。人名、地名、专业术语尽量参照有关词典而使之规范化。凡生物种属名称,均尽可能译出其中文,并将拉丁学名缀于其后。少数植物种无相应中文名(大多数为国内迄今未发现的种),此时只列其拉丁学名。为节约篇幅,序言中的两段谢词及部分插图中有关版权的图注均未译出。

本书在翻译过程中,胡受奚教授曾给予热情关怀和指导,译者于此谨致谢忱。

译 者

于南京, 1987. 4.

序 言

矿产的生物勘探法已使用多年，包括地植物学（植被观察）、生物地球化学（植物化学分析）和地动物学（用动物探矿）。至本世纪50年代止，植物法仍然只在苏联应用，而今则已近乎遍及世界各国。

介绍植物方法的第一本英文著作是1964年的一本俄文书英译本《生物地球化学勘探法》，此书为已故的D.P.马利尤加（Malyuga）所著。虽然本书在一定程度上过分强调了苏联人的经验和自然环境，而对西方的工作涉及甚少，但仍不失为第一本重要的开拓性的英文版著作。另一译自俄文的版本于1979年问世，为A.L.科瓦列夫斯基（Kovalevsky）所著《矿床的生物地球化学勘探法》。此书篇幅较短（共136页），是另一本令人赞许的佳作，其内容较马利尤加的书更为量化，但其弊端与前书如出一辙，也是过多地介绍于苏联人的研究成果。在104篇参考文献中，西方文献仅有21篇，且未见1971年以后的文献。

1972年，笔者写过一本《矿产勘查中的地植物学和生物地球化学》，该书现已绝版。该版本的大受欢迎鼓起了笔者撰写此书以作续篇的勇气。此书反映了人们对生物勘探法的日益关注，并首次介绍了地动物学方法。人们的关注取决于多种因素。首先，世界上易被发现的矿床已所剩无几，进一步找矿需要更先进的方法。其次，计算机的问世和统计技术的应用使生物勘探法日臻完善和量化。因缺少进行这种统计运算的合适装置，故早年的生物勘探法基本上是经验性的，致使这方面的工作未能蓬勃开展。

本书虽有百分之二十五左右的内容取自作者的前书，但决非

仅是前书的修订。本书有新的观点，介绍了较为定量化的方法，涉猎的文献（966篇）也比前书广得多。书中除充实了解释生物地球化学数据的统计方法外，还对航空生物地球化学勘探法作了介绍和讨论。航空法令人鼓舞的新进展使之有可能在不久的将来获得广泛的应用。关于地植物学的章节也较前书大为充实，其中还纳入了若干重要实例的详细研究。本书还更加侧重地介绍了环境遥感这一重要课题。环境遥感是地植物学领域中大有希望的一种手段。

本书面向不同岗位的读者，它既可供勘探部门的野外地质人员阅读，也可供生物地理学、应用地球化学、经济地质学、地形科学、地质学、地球物理学、化学、生物化学、植物化学等领域的学生参考。凡与生物勘探法有关的各门学科的所有人员，均可置一而备用。

本书是在总结许多科学家以往工作的基础上写成的，笔者曾获得了许多朋友、同事、研究生和技术人员的协助。有关的基金部门、勘探公司曾为作者在澳大利亚、斯里兰卡、加拿大、新喀里多尼亚和新西兰等地的研究工作提供了资金、技术和后勤方面的支持，笔者于此一并致谢，并将此书献给他们。

作者编写此书，目的是将生物勘探法所涉及的各学科贯通起来。作者如能说服地质学家将地质锤稍搁片刻而去认真地在周围的植被中寻求启示，或能使分析人员和野外地质人员更加注意这一问题，则本人之愿足矣。

R.R.布鲁克斯

1983年4月于新西兰北帕默斯顿

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 生物学方法在探矿中的应用	1
1.2 生物探矿法文献	2
1.3 研究中心	4
1.4 本书的内容和目的	5

第一部分 探矿地植物学

第 2 章 探矿地植物学导论	9
第 3 章 指示矿化的植物群落	11
3.1 前言	11
3.2 指示地植物学制图技术	13
3.3 特征性植物区系	21
第 4 章 指示植物	34
4.1 前言	34
4.2 指示植物的神话	34
4.3 专门指示植物	37
4.4 指示植物的分类	49
4.5 指示植物的进化	52
4.6 作为矿化指示植物的苔藓和地衣	53
4.7 成功应用指示植物的评价	55
第 5 章 矿化诱导的形态变异和突变	57
5.1 前言	57
5.2 矿物对植物的毒害	57
5.3 形态变异和突变	59
5.4 结论	67
第 6 章 植被遥感	69

6.1 前言	69
6.2 紫外和可见波段遥感	74
6.3 近红外遥感	76
6.4 热图像	78
6.5 雷达图像	79
6.6 多波段卫星图像	79
第7章 地植物学勘探法估价	87
7.1 前言	87
7.2 成功地应用地植物学的若干实例	88
7.3 地植物学的经济意义	90
7.4 地植物学方法的优缺点	91
7.5 展望	91

第二部分 探矿地动物学

第8章 地动物学导论	95
第9章 指示矿化的陆地哺乳动物	96
9.1 前言	96
9.2 受有毒金属影响的陆地哺乳动物	96
9.3 用狗嗅测矿床	100
第10章 指示矿化的鸟类和鱼类	105
10.1 指示矿化的鸟类	105
10.2 指示矿化的鱼类	106
第11章 指示矿化的昆虫	108
11.1 前言	108
11.2 用作探矿的蜂	109
11.3 用作探矿的白蚁	109

第三部分 探矿生物地球化学

第12章 生物地球化学勘探导论	115
第13章 土壤及其形成	118
13.1 前言	118
13.2 土壤层和土壤剖面	119
13.3 影响成壤作用的因素	121

13.4 微量元素在土壤中的分布及活化转移	126
第14章 植物对元素的富集作用	135
14.1 前言	135
14.2 植物中元素的丰度	135
14.3 植物的离子吸收机制	137
14.4 不同种植物对元素吸收的多样性	138
14.5 植物对金属的超量富集作用	138
14.6 排斥作用机制及其生物地球化学勘探意义	140
14.7 影响植物对元素聚积的因素	152
14.8 结论	160
第15章 生物地球化学参数及其找矿意义	163
15.1 前言	163
15.2 生物吸收系数 (BAC)	164
15.3 相对吸收系数 (RAC)	167
15.4 向顶系数 (AC)	167
15.5 时间性吸收系数 (TAC)	169
15.6 活动元素吸收系数 (MAC)	170
15.7 生物地球化学参数意义综述	171
第16章 生物地球化学勘探野外指导	172
16.1 前言	172
16.2 地点选择	172
16.3 试验植物和采样方法的选择	173
16.4 植物的采集和储存	174
16.5 化学分析样品处理	175
16.6 表达分析数据的重量基础	177
16.7 样品的污染	177
16.8 指示元素	180
16.9 踏勘的评价	181
16.10 未知区的生物地球化学勘探	184
16.11 生物地球化学勘探中的背景数据	186
第17章 生物地球化学勘探的其它样品类型	187
17.1 前言	187
17.2 地衣	187

17.3 苔藓	189
17.4 腐殖质	194
17.5 泥炭	196
17.6 树汁和植物汁液	200
17.7 溪流中的有机质样品	201
17.8 标本材料	201
第18章 植物试料的化学分析	202
18.1 前言	202
18.2 样品的制备	203
18.3 原子吸收光谱法	205
18.4 发射光谱法	210
18.5 X-射线荧光光谱仪	211
18.6 比色法	211
18.7 放射性分析方法	212
18.8 电感耦合等离子源发射光谱法	213
18.9 野外化学实验	213
18.10 流动实验室	215
18.11 植物分析方法总评价	216
第19章 生物勘探法数据的统计解释	218
19.1 前言	218
19.2 总体和分布	218
19.3 参变和非参变方法	222
19.4 显著性的简单检验	223
19.5 二元分析	227
19.6 多元分析	234
第20章 航空生物地球化学勘探	246
20.1 前言	246
20.2 来自植被的矿化大气微粒	247
20.3 影响大气采样的气象因素	249
20.4 大气微粒采样及分析装置	251
20.5 空中及地面微迹地球化学勘查采样系统使用实例	253
20.6 航空生物地球化学勘探评价	255
第21章 植物标本室中的生物地球化学勘探	257

21.1	前言	257
21.2	植物标本样品的分析	259
21.3	植物标本研究的一些实例	260
21.4	植物标本研究所确定的超量富集植物种	272
21.5	超量富集植物种的地理分布	276
21.6	对植物标本生物地球化学勘探的评价	277
第22章	生物地球化学勘探的回顾	279
22.1	生物地球化学勘探的成功例子	279
22.2	生物地球化学勘探的经济价值	280
22.3	生物地球化学勘探的优缺点	282
22.4	使用生物地球化学方法必须考虑的问题	284
22.5	生物地球化学方法展望	285
第23章	按元素顺序排列的生物勘探参考文献	286
附录		
附录 I	F 检验值表	295
附录 II	t 检验值表	298
附录 III	χ^2 检验值表	300
附录 IV	r 的显著性值表	302
参考文献		303

第 1 章 绪 论

1.1 生物学方法在探矿中的应用

当前，由于经济的发展和人口的增长，对地球上日趋减少的资源需求量不断增长，全世界掀起了一股空前的找矿热潮。世界上大多数易被发现的矿床好多年前就已被找到，因而，剩下的那些矿床不是产在海底之下，就是产在人迹难以到达之处，那些地方或者被冰川所盖，或者分布着茂密的森林和灌木，岩石露头难以寻觅。

为了发现那些日渐难找的矿床，探矿地球化学工作者可以采用多种方法，其中包括航空地球物理方法，也包括分析空气、水、水系沉积物、土壤、岩石、植物、动物和泥沼等的各种地球化学方法。这些方法已渐趋完善，然而没有一种方法可以圈定矿化的全部边界，这一点已成了明显的事实。慎重地选用两种或三种不同的方法，能取得比单独采用一种方法优越得多的效果，这也许就是人们近年来重新关注生物探矿法的原因之一。生物方法包括生物地球化学（植被的化学分析）、地植物学（植被覆盖的目视研究）和地动物学（应用动物找矿）。

一些有效的手段，如原子吸收光谱仪、电感耦合等离子发射光谱仪等（参见第18章）使样品的分析变得十分容易。加上一些空中取样方法的研制成功，便加快了生物地球化学探矿法的进展。前十年内所产生的采用了先进技术的环境遥感法（参见第6章）极大地推动了地植物学的发展。采用尖端计算机的统计技术的发展明显地提高了研究工作的精密度和可靠性，因而使地植物学和生物地球化学这两种方法均受益极大。

作为一种探矿手段，植被不象岩石、土壤水和水系沉积物那

样易被接受。这可能是因为植物学方法的应用及其结果解释需要更高的技术水平，在一个新地区还要求作某种初步踏勘。对某些野外工作人员来说，植被是一种“危害”，是在其他方法开展前必须无情清除的前进道路上的障碍。所幸这种看法正在改变，许多探矿人员已开始认识到，植被可作为一种财富，而不是一种障碍。植被中植物种的分布及其元素含量，可为企图对之进行解释的探矿人员提供重要的信息。

植物在找矿方面的适用程度当然会取决于自然条件和植被覆盖的程度。世界上大约有三分之二的陆地表面为植被所覆盖，其中42%是森林，24%是草地，21%是半干旱区的荒漠灌木和牧草。通常，由于天然植被较稀疏的已开发地区的探矿工作比边远地区更深入，同时沙漠中岩石露头较清楚，所以似乎可以说，世界上剩下的矿床应覆盖在植被下面。因此，生物学方法在探矿工作中的应用今后将日益广泛。

1.2 生物探矿法文献

在生物探矿的各个领域中，由于西方无法得到苏联所发表的大量成果，所以很难统计每年可能发表多少篇文献。即使是化学文摘、生物学文摘、甚至文献杂志(Referativny Zhurnal)中的文献也往往是有选择的，并不能毫无遗漏地反映这个多学科领域的全貌。据A. L. 科瓦列夫斯基(Kovalevsky)^[447]的资料，苏联于1938~1970年间发表的各领域的论文约有460篇。上述三个来源的生物探矿文献总数约有150篇。笔者最近对1965~1980年间全世界的上述文献作了计算机检索，其结果是333篇，其中苏联文献仅有61篇。笔者手头有苏联一位著名生物地球化学家(A. L. 科瓦列夫斯基)的完整的著作目录。选取他的著作时发现，计算机检索仅获得其著作的四分之一。将同样的方法用于笔者本人的著作，仅找出了其中的60%。考虑到所有这些遗漏，图1.1列出了1938年(S. M. 特卡利赫开创性的生物地球化学论文^[812]发表的一年)以来所发表的生物探矿论文的总数。在这些数字的计

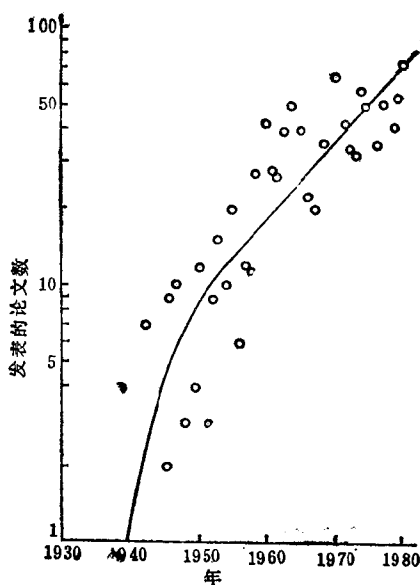


图 1.1 1938~1980年间生物探矿法领域中每年发表的
论文数目 (对数坐标)

算过程中，我们将文摘杂志中出现的俄文文献数目乘以4，将西方文献数目乘以1.7。这样获得的这段时期内文献总数大约为1000篇，其中18%是地植物学方面的，3%是地动物学方面的，79%是生物地球化学方面的。大约四分之一的地植物学论文与遥感有关。

表1.1列出了由计算机检索到的1965~1980年间科学论文的出处。计算机检索明显地低估了苏联的文献数，对西方文献的估计值也偏低。由于苏联文献广泛地分布在许多不同杂志中，故将其归为一类。登载苏联文献最多的杂志要数苏联科学院院报 (Doklady Akademii Nauk SSSR)。

如将文摘杂志中遗漏的文献考虑在内，这期间的全部生物探矿论文中，英文的 (包括俄文著作的译本) 约占6%，俄文的约

表 1.1 1965~1980年间发表生物探矿法论文的杂志

出 处	论 文 数 目
苏联杂志	73
美国地质调查所出版物	33
会议和讨论会论文	31
地球化学勘探杂志	25
经济地质	17
硕士和博士论文	13
加拿大地质调查所出版物	10
书和书中的章节	9
国际原子能机构出版物	6
采矿和冶金研究所所刊	5
澳大利亚采矿和冶金研究所论文集	3
芬兰地质学会会刊	3
其他刊物	105

注：据计算机检索，对苏联文献有明显的低估。

占36%，德文、法文和西班牙文大约占1%，所有其他各种文字加起来占其余的1%。

1.3 研究中心

表1.1中所列的资料提供了关于生物探矿法领域研究中心的某些信息。在西方，很大一部分研究（主要是生物地球化学的）仍然是由美国地质调查所进行的。主要的地植物学中心是斯坦福大学的贝德福德学院和遥感实验室。其余的研究零星地分布在各个大学和政府的研究所内，如加拿大地质调查所等。除了美国地质调查所那种很好地建立了生物学方法的机构以外，这个领域中各个机构的重要性还往往随着具体研究人员的退休或迁往别处而改变。

在苏联，即使著名的科学家调走或退休，研究中心往往也仍能保持其特色。该领域中著名的研究单位有乌兰乌德地质研究所（A.V.科瓦列夫斯基）、莫斯科维尔纳茨基地球化学和分析化学研究所（V.V.科瓦尔斯基）、塔什干地质和地球物理研究所（R.

M.塔利波夫)、列宁格勒大学 (M.D.斯卡利吉娜—尤费姆茨娃)、莫斯科矿产地质研究所 (F.V.丘克霍洛夫)。这样简单介绍虽然很不完整,但却又一次表明了苏联在生物探矿法研究中所处的领先地位。

1.4 本书的内容和目的

本书的目的是将不同学科(植物学、动物学、地质学、分析化学、地球物理学、生物地理学、植物化学、植物生理学和生态学)的内容综汇于一册。这些学科是生物探矿法的有机组成部分。在现代科学研究的许多领域中,仍然是存在着缺乏宽阔的视野这一问题。有一句古老的谚语说:所谓专家,就是那些对极少的事知之甚少,对没有的事无所不知的人。这句话未免荒诞可笑,却不可否认地反映了科学界真实的一面。直到这种令人遗憾的趋势被扭转,更多广泛的跨学科研究兴起时,仍有许多科学工作者对其他的学科一无所知。这种状况在生物探矿法领域中最显著。扫除这些人为的障碍,便是编写本书的动机。笔者希望这一目的能得以实现。