

# 地球物理和 地球化学找金属矿 地球物理部分

[加] 彼得·胡德 编辑



地质出版社

# 地球物理和地球化学 找金属矿

地球物理部分

张肇元 等译

地质出版社

## 内 容 提 要

本书为1977年10月在渥太华召开的金属矿地球物理和地球化学国际科学讨论会的论文汇编。原书由彼得·胡德博士编辑，共编入四十篇文章。由于篇幅较大，中译本将分三集出版，即地球物理部分、地球化学部分、史例部分。本集为地球物理部分，共15篇文章，内容包括：地质与矿床、固体矿产地球物理概述、航空电磁法、地面电磁法、直流电阻率测量的应用和解释的新发展、用于有色金属勘探的磁法、用于有色金属勘探的重力法、激发极化法、铀矿普查勘探中的 $\gamma$ 射线能谱测量、核测井、有色金属矿床的测井方法、寻找有色金属矿床的遥感技术、地球物理资料的计算机汇编及解释等等。书中介绍的各学科的发展动态、许多思路和技术，对于我国物探人员会有启发和帮助。

Geological Survey of Canada

Economic Geology Report 31

### Geophysics and Geochemistry in the Search for Metallic Ores

edited by Peter J. Hood

Proceedings of Exploration 77—an international symposium held in

Ottawa, Canada in October 1977

Minister of Supply and Services Canada 1979

## 地球物理和地球化学找金属矿

### 地球物理部分

地质矿产部书刊编辑室编辑

责任编辑：张怀素

地质出版社出版

（北京西四）

地质出版社印刷厂印刷

（北京海淀区学院路29号）

新华书店北京发行所发行·全国新华书店经售

开本：787×1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub>·印张：24<sup>7</sup>/<sub>8</sub>·字数：585,000

1982年11月北京第一版·1982年11月北京第一次印刷

印数：1—2,539册·定价：4.30元

统一书号：15038·新 853

## 写在中译本前面

1977年渥太华金属矿物探和化探国际讨论会，是加拿大地学理事会主办的有三十多个国家的七百多位地球物理学家、地球化学家和地质学家参加的一次盛会。这次会议广泛而深入地讨论了国际上应用于金属矿方面的物探和化探科学技术的最新进展，取得了丰富的成果。加拿大地质调查局出版的、由彼得·胡德博士编辑的这本论文集，详细地汇集了会上发表的四十篇文章。这些文章包括最近十年来地质矿产、物探和化探发展状况的综合评述，物探和化探各分支学科的专题评述和若干应用史例，以及我国代表团根据会议主人的要求在会上作的关于中国金属矿物探和化探综述的文章。

加拿大曾于1967年召开过固体矿产和地下水物探国际讨论会，并随即出版了会议论文集。本次会议发表的物探方面的许多文章，评述和报导了上次会议后十年来的发展，而化探方面有些文章涉及的范围则超过最近十年。从这些文章中可以清楚地看到，由于采矿工业的需要，作为地质工作重要组成部分的物探和化探工作的发展是十分迅速的。特别是七十年代中期以来，西方一些主要国家大规模开展了铀矿地质工作，大大刺激了物探和化探提高技术水平的要求。许多其他学科的新成就不断地被引进到物探和化探之中。新的观点和概念不断提出，方法、仪器和数据解释技术的多样性和迅速改进，往往给人以日新月异的感觉。

从各国提供的材料看，金属矿物探和化探的找矿效果总的来说是比较好的。这些效果有些是体现在直接找矿上，有些是体现在间接找矿上。许多史例说明，在一定的自然条件下，由于恰当地选用方法技术和正确地进行资料解释，找到了重要的矿床，解决了地质上的难题。随着地质工作的发展和物探、化探技术水平的提高，物探和化探的应用领域还要逐步扩大。今后将更加强调用物探和化探方法（其中包括航空方法）进行地质填图，配合遥感技术，以大大加快区域地质调查步伐，同时提供多种基础资料，供经济建设和科学研究之用。对普查找矿来说，物探和化探要因地制宜地解决条件困难地区的找矿问题和加大找矿深度，把地质、物探、化探更好地结合起来，以提高地质效果和经济效果。

我国地质工作同样面临着在新情况下进一步正确而充分地运用物探和化探方法，从而迅速有效地发展物探和化探科学技术的问题。本书中各学科的发展动态和史例，许多思路和技术，对我们物探工作者和化探工作者来说无疑是很有益的；从更广泛的意义来说，对我国有关地质工作者也是值得参阅的。

听到这本书的中译本即将出版的消息，我怀着喜悦和感激的心情，写了以上这些话。

夏国治

一九八一年八月

## 前 言

勘探工作是发展任何采矿工业的前提，一个国家靠着这种手段确定它的矿产资源。1977年间加拿大采矿工业非燃料部分的产值为70亿加元，占全国国民生产总值的相当部分。采矿工业还对商品和服务业有广泛的需求，因此它的投资对整个经济具有收益增殖的作用。矿山要求进行道路、电力和通讯等基本建设。因此，建立采矿工业往往是发展一个国家的第一步。

今天，矿产勘探离不开物探和化探。有关的知识和技术发展迅速，应用越来越专门化，花费也越高。日益增长的费用应由整个社会在矿产品的价格中加以支付。因此，为从事勘探工作的人们提供有关发展动态的最新评述性文章以支持他们的工作，是在为公益服务。1970年加拿大地调局发表了1967年固体矿产和地下水地球物理讨论会的论文集，很受欢迎，以致重印了三次。因此，加拿大地调局发表上述论文集的后续篇，不仅有助于提高勘探工作的效率和效果，而且还可作为评价过去10年间科技进展的准绳。

渥太华  
1979年3月

D. J. 麦克拉伦  
加拿大地质调查局局长

## 写在前面

本专辑包括1977年10月在渥太华召开的金属矿地球物理和地球化学国际科学讨论会的论文。

讨论会是由加拿大地学理事会的一个委员会在加拿大地调局和许多企业界资助人的支持下筹办和组织的。这次讨论会是十年前在尼亚加拉瀑布城召开的固体矿产和地下水地球物理加拿大一百周年纪念讨论会的后续会议。在这十年里,全国科研理事会联合委员会已解散,在地学方面由加拿大地学理事会接替。该理事会由加拿大与地学有关的所有学术和专业团体的代表组成。矿产勘探,特别是金属矿勘探,是加拿大得以确立世界性声誉的活动。这一声誉来自发展勘探隐伏矿的现代技术方法和应用这些技术方法的经验。在过去30年里,物探技术方法有了累进的发展并用于此项目的,在最近10年里化探方法也取得了同样的重要地位。鉴于这些原因,加拿大地学理事会完全支持科学讨论会组织委员会的建议,勘探77在评述现代勘探技术方法中应给予地球物理和地球化学以同等的重视。因此,在这方面,1977年的科学讨论会有别于1967年召开的那一次。

加拿大地学理事会主席P. J. 萨维奇主持了这次科学讨论会的开幕式。共有来自36个国家的770名注册代表,包括来自中华人民共和国的官方代表团参加了会议。在4天的会议期间提出了40篇论文。与讨论会同时还举办了勘探仪器和工作成果展览会,共为33家展出单位提供了场地。为反映70年代后期各种金属矿产勘探方法的实际情况构画出不偏不倚的画图,作出了巨大的努力。谨向所有为筹办、准备和进行这次讨论会付出了时间和精力的人们,向为大会提交论文并在准备资料发表的前前后后花费了大量时间的作者们表示感谢。特别要感谢彼得·胡德(P. Hood),他在审定论文的工作中付出了不知疲倦的辛勤劳动。

### 勘探77组织委员会成员如下

- S. W. 霍姆斯 (Stanley W. Holmes) 名誉司库
- B. E. 马尼斯特 (Bernard E. Manistre) 书记/司库
- P. J. 胡德 (Peter J. Hood) 程序委员会主席
- H. O. 西格尔 (Harold O. Seigel) 物探召集人
- J. A. 库普 (J. Alan Coope) 化探召集人
- R. M. 彭伯顿 (Roger M. Pemberton) 史例召集人
- K. A. 摩根 (Kenneth A. Morgan) 史例召集人
- P. 莫伊德 (Pauline Moyd) 顾问
- J. 尼达姆 (John Needham) 展览委员会主席

A. G. 达恩利 (Arthur G. Darnley) 总主席

# 引 言

在筹办勘探77科学讨论会的技术程序中，程序委员会决定保留与1967年一百周年纪念会同样的格式，以便使论文集基本上成为一本叙述金属矿物探和化探方法最新进展的教科书。因此决定要有评述经济地质、地球物理和地球化学的一般性论文，继而是叙述地球物理和地球化学各种主要分科发展动态的文章，然后是由从事这门专业的勘探人员提供的说明应用这些方法寻找矿山的文章。为此目的，由程序委员会选出两名来自采矿公司的共同召集人，以便尽可能地征集地理分布位置广泛、矿床类型迥异的史例。程序委员会试图使勘探77讨论会在范围上尽可能成为国际性的，稍微侧重于加拿大。其结果是42%的论文由加拿大之外的作者撰写，16个史例中有9个写的是外国进行的勘探工作。

出版这本论文集得到了加拿大地质调查局、加拿大和国外一些大学和采矿及服务公司许多作者的协助。每篇论文均经一位或两位审稿人审订，他们的工作显著地提高了论文的质量。审稿人是：

## 审 稿 人 名 单

发展动态部分：

A. 贝克尔 (Becker)

R. A. 博斯特特 (Bosschart)

P. M. D. 布雷德肖 (Bradshaw)

K. B. S. 伯克 (Burke)

E. M. 卡梅伦 (Cameron)

R. H. 卡彭特 (Carpenter)

J. M. 卡森 (Carson)

L. G. 克洛斯 (Closs)

L. S. 科利特 (Collett)

J. G. 科纳韦 (Conaway)

J. A. 库普

A. G. 达恩利

P. H. 多德

A. V. 戴克 (Dyck)

I. L. 埃利奥特 (Elliott)

W. A. 芬尼 (Finney)

E. H. S. 高彻 (Gaucher)

R. L. 格拉斯蒂 (Grasty)

A. F. 格雷戈里 (Gregory)

P. G. 哈洛夫 (Halloy)

M. T. 霍尔罗伊德 (Holroyd)

R. D. 赫钦森 (Huchison)

P. G. 基利恩 (Killeen)

K. 科桑克 (Kosanke)

J. 林奇 (Lynch)

G. W. 曼纳德 (Mannard)

S. S. 纳戈尔瓦拉 (Nargolwalla)

I. 尼科尔 (Nichol)

P. 诺加德 (Norgaard)

N. R. 佩特森 (Paterson)

A. R. 拉图 (Rattew)

M. S. 里福德 (Reford)

K. A. 理查森 (Richardson)

A. W. 罗斯 (Rose)

W. J. 斯科特 (Scott)

H. O. 西格尔

W. W. 希尔茨 (Shilts)

A. J. 辛克莱 (Sinclair)

V. R. 斯莱尼 (Slaney)

D. W. 斯特兰韦 (Strangway)

D. W. 瓦格 (Wagg)

S. H. 沃德 (Ward)

H. V. 沃伦 (Warren)

G. F. 韦斯特 (West)

史例部分:

J. G. 贝尔德 (Baird)

E. J. 巴兰坦 (Ballantyne)

R. W. 博伊尔 (Boyle)

J. D. 科贝特 (Corbett)

J. D. 克龙 (Crone)

T. 弗拉纳根 (Flanagan)

D. C. 弗雷泽 (Fraser)

R. J. 亨德森 (Henderson)

E. H. W. 霍恩布鲁克 (Hornbrook)

F. L. 杰戈迪茨 (Jagodits)

J. J. 拉乔伊 (Lajoie)

J. 马克亚当 (McAdam)

R. S. 米德尔顿 (Middleton)

K. A. 摩根

R. H. 彭伯顿

L. E. 里德 (Reed)

本报告 (本论文集编号为加拿大地调局经济地质报告31——中译本编者注) 是按加拿大地调局 (渥太华) 文字照相复印部门制备的拷贝印刷的。参加印制的人员有:

D. 巴斯比 (Debby Busby)

J. 科特 (Judy Coté)

S. 加格农 (Susan Gagnon)

J. 吉利兰 (Janet Gilliland)

S. 拉龙德 (Suzanne Lalonde)

S. 帕恩赫姆 (Sharon Parnhem)

出版校订和装订人员有:

L. 马奥尼 (Leona R. Mahoney)

L. A. 弗思 (Lorna A. Firth)

M. J. 基尔 (Michael J. Kiel)

彼得·胡德

总编辑, 程序委员会主席



# 目 录

写在中译本前面	夏国治
前言	D. J. 麦克拉伦
写在前面	A. G. 达恩利
引言	彼得·胡德
地质与矿床(1)*	D. R. 德里 (1)
固体矿产地球物理概述(2)	H. O. 西格尔 (9)
航空电磁法(4)	A. 贝克尔 (31)
地面电磁方法和有色金属(5)	S. H. 沃德 (46)
直流电阻率测量的利用和解释的新发展(6)	G. V. 凯勒 (67)
用于有色金属勘探的磁法(7)	
.....	P. J. 胡德 M. T. 霍尔罗伊德 P. H. 麦格拉思 (81)
用于有色金属勘探的重力法(8)	J. G. 坦纳 R. A. 吉布(116)
激发极化法(9)	J. S. 萨姆纳(135)
铀矿勘查中的 $\gamma$ 射线能谱测量方法——航测仪器(10A)	Q. 布里斯托(148)
铀矿勘查中的 $\gamma$ 射线能谱测量方法——理论和工作方法(10B)	
.....	R. L. 格拉斯蒂(163)
铀矿勘查中的 $\gamma$ 射线能谱测量方法——应用和解释(10C)	P. G. 基利恩(180)
金属矿地球物理和矿产勘探核测井的新趋势(11)	J. A. 楚别克(259)
有色金属矿床的测井方法(12)	W. E. 格伦 P. H. 纳尔逊(287)
寻找金属矿床的遥感技术——对目前的作用和今后远景的评述(22)	
.....	A. F. 格雷戈里(315)
地球物理资料的计算机汇编及解释(23)	A. 斯佩克特 W. 帕克(335)
参考文献	(355)

\* 括号中数字为原书论文编号。

# 地质与矿床<sup>①</sup>

D.R.德里

## 摘 要

在过去十年中, 板块构造概念几乎对地学的所有方面, 包括矿床的分布和成因, 都产生了影响。这和下述情况恰好吻合:

- (1) 日益强调矿床围岩生成的周围条件, 而不强调后来的成矿作用;
- (2) 用于寻找新矿床的物探和化探方法日益多样化, 灵敏度也愈高。

许多金属矿床与板块边界间的关系越来越明显, 这方面最好的例证可能是斑岩铜矿床。其他与板块边界有关的矿床包括各种金属矿床, 直到蒸发盐和石油的富集。

必须承认这样一个事实: 几乎没有什么新的发现可以直接归功于板块构造概念的运用。只是在矿床被发现之后, 板块构造概念才会给出令人信服的理由, 说明矿床为什么会出现在那里。矿床的实际发现往往是在凭经验推理 (如已观察到的斑岩铜矿床与邻近大陆边缘的山系之间的关系) 选出的地区上利用地球物理、地球化学或常规的普查方法取得的结果。火山成因有色金属矿床与火山中心之间关系的概念, 为矿床的发现立下了汗马功劳, 但即使在这方面, 在现代的概念未被确立之前, 根据经验把酸性熔岩成功地作为有利的标志。

将来地质人员应致力于更建设性地直接运用板块构造概念及其在矿石富集中各种可能的含义, 以便在单凭经验无法准确地选择的特定地区内进行普查勘探工作。这样有可能使他们更加注意寻找地表上可能并无显示的穿透很深的地壳断裂。这种断裂可通过板块构造研究推测出来, 并用穿透深度大的物探方法或用大范围的但灵敏的化探测量加以判定。

## 引 言

这次讨论会的主要目的是对应用地球物理和地球化学寻找新矿床的发展动态作一番回顾。我们希望, 通过回顾中所涉及的史例和比较研究, 加强地质、地球物理和地球化学的协调, 并在发挥各自专长的情况下合作得更好。

本文拟从地质方面讲一些正在变化着的概念, 这些概念与在本次讨论会上提出的其余文章中将要讲到的地球物理和地球化学的改进和新技术是一致的。

我想简单地回顾一下最近十五年发展起来的两个主要概念, 它们对矿产勘探已作出的贡献及其在实践中的一些局限性, 以及将来如何克服这些局限性。

① Duncan R. Derry (Derry, Michener & Booth, Toronto, Canada): Geology and ore deposits.

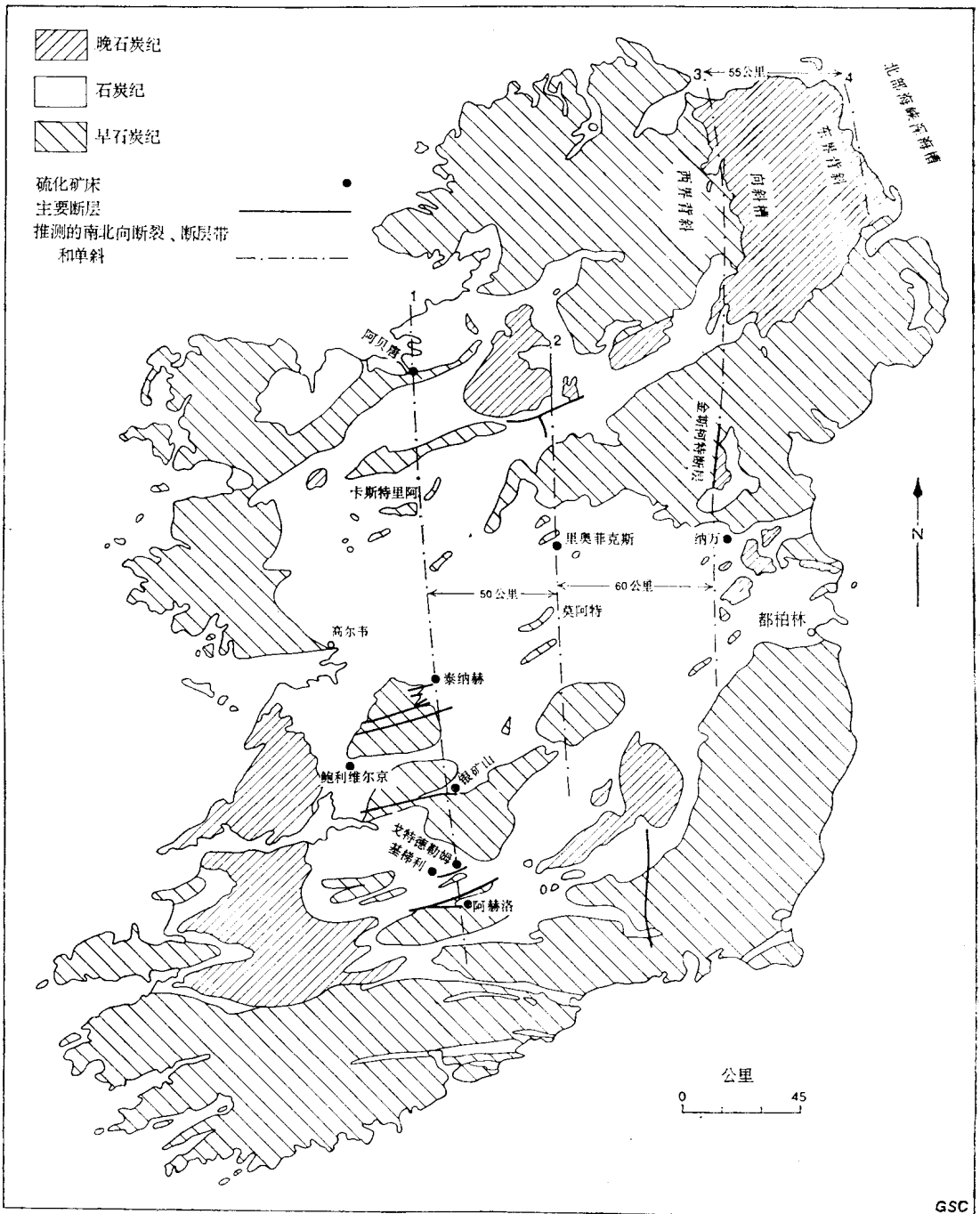


图 1.1 爱尔兰地质图，附假定的南北向地断裂和在Dinantain（下石炭统）岩石中的较大  
型铜-铅-锌矿床

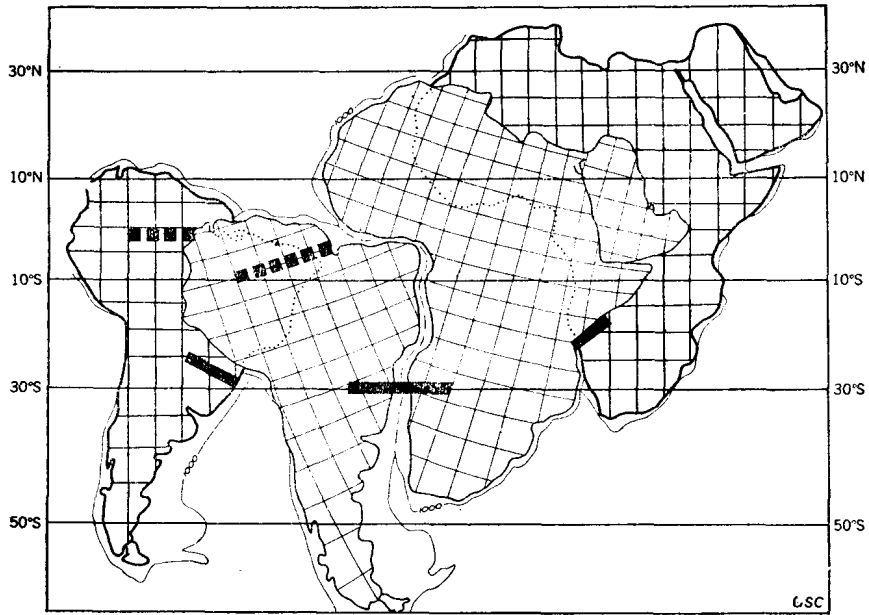


图 1.2 大陆漂移前后非洲和南美洲地断裂方向

## 矿石与围岩的同期性

第一个概念直接涉及到矿石成因，并适用于各类金属。但是，这个概念的基本趋势是认为成矿作用与围岩生成时占主导地位的条件有更密切的关系，而不是与后来的地质作用有更密切的联系。一个明显的例子是以诺兰达矿区为典型代表的块状硫化物矿床，过去曾认为它们是在火山岩质或沉积岩质围岩形成以后几百万年乃至几亿年发生的热液交代作用形成的。今天，多数人都接受这类矿体的初始沉积与围岩大体上是同时的论点，尽管承认很久以后发生的重新活动也起了关键性作用。在许多情况下，这种重新活动能朝着有利于经济开发的方向改变矿石的最终品位和矿物形态。

认识发生根本变化的另一个例子——认为成矿作用至少与上盘是同时的，并且矿床是在当时的地表与其附近形成的——所谓“脉型”铀矿，我倾向于把它叫做“不整合型”铀矿，因为矿体只是偶尔呈裂隙充填状产出。在这种情况下，认为表生富集对造成目前的矿石品位至少发挥了主要作用的概念，取代了在许多地质人员头脑中固有的晚期热液交代作用的假设。

这两个例子说明，一般倾向于认为多数金属矿床的矿石和围岩是同期的，是在地表或其附近形成的。这是一种有普遍意义的概念，它可以直接用来选择重点找矿地区，并对一些矿体的发现已作出很大贡献。诚然，如果不清楚地理解它们的含义，往往不易把有意识地运用工作假说同凭经验地利用观察到的各种关系截然分开。例如，在提出太古代硫化物矿体是火山成因观点以前很久，许多地质人员就注意到：这种矿体似乎常常与酸性熔岩或火山碎屑岩有空间关系。一位地质人员给这种粗粒火山碎屑岩起了个名字，叫“选矿厂岩石”，因为他几乎经常在能看到选矿厂或能听到选矿厂机器声音的地方见到它们。在找矿方面，我记得我在 1958 年曾和 RioCanex 公司人员一起，在魁北克北部的一个地区布置了航

空电磁法测量。这个地区部分地就是根据酸性火山岩带选择的,因为我们注意到其他地方的铜锌矿就有这种共生关系。结果发现了一个中等的矿体,这就是后来的波埃里尔(Poirier)矿山。在这一例子中我们是凭经验找矿的,并没有什么特定的理论来解释这种共生关系。此后,火山成矿理论已被有效地用来选择进行详测性物探和化探工作的地区。根据这个理论制定的计划开始在新不伦瑞克省执行,终于使 Texasgulf 公司发现了安大略北部的基德克里克(Kid Creek)矿床。

## 板块构造与矿床成因

最近15或20年以来,对固体矿产勘探工作有影响的第二个主要的概念上的变化,自然是板块构造。在板块构造的早期,甚至在魏格纳、杜托伊特(Du Toit)和霍姆斯的著作中,就曾谈到过大陆漂移与金属矿或石油的富集关系。但是,直到板块构造的现代概念发展起来的时候,人们才开始考虑地壳板块叠复(即俯冲带)对矿体成因的意义不只是矿体相对大陆边缘的产出位置问题。这里我们可能又是全凭经验地在把老板块边缘作为找矿标志。在现代板块构造概念出现的前几年,许多从事地质和找矿工作的人就提出了矿床与地质时代界线的关系。1960年我在经济地质学家学会发表的理事长讲演中指出,如果我们过去把找矿活动限制在加拿大前寒武纪地盾任何一个太古代-元古代界线的100英里范围以内,我们就能找到该地盾全部矿床的80%。但是,由于水平的限制,我当时还不能提出这方面的理由。

1974年5月,加拿大地质矿物学会在纽芬兰省圣约翰(St. John's)召开了一次讨论会。会后出版了一本书,这是加拿大地学科技人员普遍引以自豪的。这本书由D. 斯特朗主编(1976),共包括32篇论文,是欧洲、美国、南非、澳大利亚以及加拿大各地的权威们写的。这是迄今为止有关板块构造与矿床成因方面内容最丰富的一本书,我相信它在今后会受到更大的重视。特别有意义的几篇论文是A. 米切尔关于矿床与俯冲边缘的关系的文章;A. H. 克拉克和女王大学的同事们对安第斯山脉两个剖面的研究文章和帝国大学(伦敦)R. H. 西利托(Sillitoe)关于安第斯地区的文章;D. F. 桑斯特(Sangster)和F. J. 索金斯(Sawkins)关于火山成因的块状硫化物矿床的文章;T. 佐藤(Takeo Sato)关于日本硫化物矿床的文章;T. P. 塞耶(Thayer)关于与蛇绿岩有关的成矿作用的文章;P. 拉兹尼卡(Laznika)关于铅矿全球分布的文章;澳大利亚A. Y. 格利克森(Glickson)关于与板块构造有关的元古代构造的文章;W. 沃克(Walker)关于全球性造山运动-不整合与矿床成因的关系的文章。当然,以前也发表过许多有价值的论著,不过由于这本书涉及的虽是同一个领域的问题,但却是以全世界范围的完备的实际资料为基础的,因此不能把它和上述那些论著相提并论。

但是,话虽这么说,我还必须作出一个老老实实的结论。就是说,我还不知道有什么重要的金属矿床可以肯定地说是由于应用板块构造概念而发现的。上面列举的所有论文以及有关出版物中刊载的许多其他论文,都提供了使人难忘的资料,认为各种类型的矿床与板块边缘有关系等等,并能够解释它们出现的理由。然而,实际发现的矿床主要是通过凭经验推论选择的地区内对地球化学或地球物理异常打钻发现的。下面谈几个例子。

与板块边缘有最紧密关系的是斑岩铜矿与俯冲带的关系。但是,在现有的板块构造概

念提出来很多年以前，就有人提出斑岩铜矿是沿大陆边缘造山带分布的模式，并被许多大的有色金属勘探公司用在长远的找矿规划中。这种凭经验指出的找矿有利地带长达数千公里。我虽然希望但并不相信，上面列举的载入加拿大地质矿物学会专刊中那些值得钦佩而不容轻视的研究论文，能使我们把力量集中在俯冲带有潜在斑岩铜矿带希望的，比如说15~20%范围内，而将其余范围作为相对不利地带放弃。板块构造与铅锌矿的关系也应当是这样，铅锌矿往往形成与斑岩铜矿平行但离板块边缘更远的矿带——我们能合乎逻辑地解释这些控制因素，但我们能否有信心地把这种知识或理论用于选择找矿地区，从而把我们的勘探投资和物化探力量集中在这些选定的地区上呢？我们目前主要还是在观察岩浆岩组合和沉积岩组合的基础上凭经验进行选区的。

把蛇绿岩作为来源于洋底的物质来认识，这对板块构造概念的发展具有特殊的意义。断续的蛇绿岩产出位置构成的线性带可能是缝合线，即构造板块碰撞线的最可靠的标志。例如，亚洲的雅鲁藏布江—印度河线，就代表印度板块与欧亚板块相撞的一条大的（如果不是主要的）碰撞线。最近在纽芬兰省进行的研究证明，蛇绿岩代表着阿巴拉契亚—加里东期老板块碰撞缝合线。

从经济观点来说，在板块构造概念被普遍接受以前，赫钦森（1965）等人就研究了塞浦路斯产于蛇绿岩中的黄铁矿和铜矿床，并得出结论说，这些矿床主要是同生的，而不是交代的。查理·休斯顿等人（多伦多）新近在世界上蛇绿岩分布最广泛的地区，即阿曼苏丹发现了矿床（更确切地说是500~2500年前开采过的矿床的重新发现），他们不是根据板块构造理论预测的，而是由于阅读了该区考古学书籍，继之进行地质和地球物理踏勘，最后圈出了钻探目标（Crone, 1979）。

铬铁矿储量主要产在世界各地的蛇绿岩中，毫无疑问，将来找这种战略金属时，也将把力量集中在已知的以及可能某些现在还未知但可以根据板块构造推论找到的蛇绿岩带上。但是迄今为止（1977），就铬铁矿来说，恐怕还不能把任何新产量或主要储量直接归功于板块构造的推论。

日本的许多地质人员从板块构造的观点对日本的黑矿型及有关矿床重新进行了研究，并令人信服地表明，这种类型的矿床与岛弧期的板块边缘有关。但是据我所知，这类矿床都是在详细研究火山岩地层和下伏基底构造的基础上应用各种地球物理技术，最后打钻才发现的，甚至间接地也不能归功于板块构造理论。不过，这种理论可能在其他岛弧的（如新西兰北岛和南太平洋其他部分）火山岩系中掀起新的找矿热潮。

我上面提到的几种类型的矿床似乎与板块构造有特殊的密切关系。尽管如此，目前还难以提出令人信服的证据，说明我们接受这些原理已经直接地帮助了找矿工作。希望随着对板块构造的深入研究和知识水平的不断提高，能出现一些新的概念或工作假说，以帮助我们更准确地集中找矿力量，而不是放在比如说笼统的板块边缘上。下面只是一些在这方面的推测。

## 成矿区的选择

成矿区的概念（更正确地说是成矿区的观察）在板块构造出现以前很久就已出现，早在本世纪廿年代中期德洛内（de Launey）就讨论过。但是象75年前一样，至今仍然令人难以理解的是：为什么世界上有些地区虽然跨越数次地质事件，似乎总能产生出异常多

的某一种或某几种金属矿床。锡可能是最诡秘和最令人不解的一种金属：它的世界已知储量的59%左右集中在一个包括泰国、马来西亚、印尼西部和中华人民共和国西南部的地区内，面积约300万平方公里，或者说还不到地球表面的0.6%。此外，这里的锡矿总是与3~0.48亿年前侵入的至少是三期花岗岩有关。全世界锡储量的另外12%集中在玻利维亚境内的一小片地区，至少是在四个亚造山期形成的，以最后一次造山运动（0.2亿年前，但一直延续到约100万年前）形成的储量为最大。远东的和安第斯山脉的锡矿带都位于板块边缘带，但只占其中令人难以理解的一小部分地区。如果我们能了解这两个锡矿带富集的原因，我们就能利用这方面的知识去找新的锡的成矿区（可能比上述两个小些），这就会减轻我们对所有有色金属中可能是最短缺的金属——锡在将来的世界市场供应方面的关切。

一位享有盛誉的地质学家和作者P. 鲁蒂埃（Routhier, 1976）对成矿带问题提出一些想法。他对世界锡矿区提出的一些想法对我是没有说服力的，但是他在中欧和南欧（在那里，他被公认是权威）进行的一些比较合乎实际的观察却有很大意义。例如，他提出了一个包括西班牙著名的里奥廷托矿山在内的广阔的成矿带。他指出，在这个向东走向的由古生代沉积岩和火山岩组成的成矿带内有铜矿和黄铁矿带，并夹有锰矿带，与整个成矿带斜交。他还提出在西欧有几个铅锌成矿带，它们都穿过地质界线，并包括不同时代和不同类型的矿床。第一个成矿带从比利时的阿登山脉一直延伸到西德的上哈尔茨山，含中泥盆世到三叠纪的金属矿床，既有脉型的，也有层状型的。第二个成矿带（不是很肯定的）从西班牙北部开始向东北方向延伸，穿越比利牛斯山脉，沿阿尔卑斯山脉南缘分布。在该成矿带中，矿床的时代界线和类型似乎不尽相同，但主要金属是铅和锌。顺便指出，南斯拉夫的特雷普察（Trepca）矿床——欧洲大陆上铅和锌的最重要产地，并不属于上述任何一个矿带，而可能是位于一个孤立的、较小的矿带中。

鲁蒂埃（1976年）还注意到一个以铜矿为主的成矿带，这些铜矿有的产大量的铜，有的主要具有学术意义。这个成矿带以弧形呈近南北向延伸，长达550公里，经过保加利亚、南斯拉夫东部和罗马尼亚，其围岩时代不同，从晚中生代到中第三纪。

每个成矿带的控制因素是哪些呢？尽管没有与成矿带一致的、可以看到的断裂带，但是人们往往倾向于得出这样的结论，即在现有的围岩形成以前，应当有一些地壳断裂系统存在。P. 鲁蒂埃没有作出肯定的结论，但是他说，“因而，可以认为Zn-Pb矿带揭示了以前存在的构造方向，尽管它部分地被比较新的地质现象掩盖了”。他继续说，“一个基本问题是：成矿区是否与在它以前形成的地球化学区接合了，是如何接合的？”

### 初始地壳断裂

关于一些在地表上看不到、而单个地看来似乎又与各自构造带上某些矿床或矿点吻合的断裂的问题，一直是世界上某些地区的地质学家考虑的问题。E. A. 诺布尔（Noble）多年以来一直在研究这个问题，并对其成因提出了一些想法。后来，E. B. 布罗克（他主要是在南非工作，但把他的想法普遍地应用于全球构造）认为地壳断裂与矿床形成有关系。

关于在地表上无法辨认的横切“地断裂”（geofractures）可能具有的意义，是M. 拉塞尔（Russel）在研究爱尔兰（图1.2）以及英国和格陵兰部分地区的铅-锌矿时认识的。

他指出,在爱尔兰的12个矿床中——每个都含1万吨以上铅-锌金属(或其他金属的相当值),有五个位于走向为北西 $8^{\circ}$ 的一条线上,这五个矿床是:阿贝顿(Abbeytown)、泰纳(Tynagh)、“银矿山(Silvermines)”,戈特德鲁姆(Gortdrum)和艾赫洛(Aherlow)(后两个为铜-银矿)。他认为可能还有其他一些南北向“地断裂”,彼此大体是等距离的,即介于45公里到65公里之间。顺便指出,最大的铅锌矿床即纳凡(Navan)矿床与任何已知矿床都不能“配成”一条南北向的线,尽管它位于穿过金斯库特(Kingscourt)内围层的一条线上,并大致在预期的等距离位置上。

几年前I. S. 汤普森和我一起爱尔兰工作过,他提出一些可能有矿床存在的、大体是等距离的南北向“线”。由于找矿“战略”的原因,这些资料当时未发表,但被试验性地用来选区,以进行化探工作。这些工作取得了某些令人鼓舞的成果,但尚无经济意义。

M. 拉塞尔认为,这些在地壳上部形成的垂直脆弱带,是由于东西向相对的张力和孔隙水的高压形成的。这些带能使热水(热水是在深部释放出来的,并向“地断裂”底部张力集中的地方迁移)携带着从地槽的岩石中淋滤出来的金属,通过对流作用迁移到地表。凡有足够硫的地方,金属便会在地断裂与横切的有利构造——在这种情况下主要是北东东向的正断层——相交的地方沉淀下来。

如果真有这种“地断裂”存在,关于它形成的主要原因也只能是个推测,但是M. 拉塞尔认为,它们可能与后来形成中大西洋中脊的主要断裂的开始出现有关。

一直强调横切的、有时是等距离的断裂和脉的意义的另一个人,是J. 库蒂纳(Kutina)。他最初是在捷克斯洛伐克的波希米亚地块工作,后来又在世界其他地区(包括北美和南美)工作。他认为捷克斯洛伐克西部那些横切不同时代和构造单元界线的南北向断层和脉系,大体上是呈等距离的模式。他在最近的一篇论文中(1976)对比了1968年一篇文章中示出的模式和深洋底断裂带的间距,并象R. 西利托一样,认为成矿作用可能与地幔的“热点”有关。

J. 库蒂纳指出,穿过从前连在一起的两个大陆边界的“地断裂”,现在不一定具有共同的方向(图1.2)。例如,非洲在1.4亿年前与南美洲连在一起时,它的长轴由现在的南北向朝西南方向偏转 $30^{\circ}$ 。同样,南美洲使它目前的南北向的轴朝东南方向转 $15^{\circ}$ 。因而,如果东西向断裂系统是在这两个大陆分开前切越了它们的边界,那么断裂系统的两半现在在方向上就会相差 $45^{\circ}$ 。

对那些可能影响成矿作用的深而古老的构造进行观察的,还有一些苏联人,其中包括M. 法沃尔斯卡娅(Favorskaya, 1976)。她试图把那些从板块构造理论概括出来的成矿规律与一些大矿床的已知分布规律联系起来,认为这些大矿床就是一些主要的地球化学异常。这些区域断裂构造的深度被认为是很大的,是“穿透性的”,不仅穿过不同的地壳构造的边界,而且也穿过大陆和大洋的边界。她认为,这些聚矿的构造具有长期的、各种各样的矿质来源,“显然与那些比板块边界上发生的作用更深的作用有关”。

## 评 论

上述观察和推论的难点恰恰是因为它们是推测的。在小比例尺图上画几条穿过一些矿床的线比较容易。但是,如果更严细地研究就会发现,这些结论过份地依赖小比例尺的推



测，因此地学界有一种全盘否认这些想法的倾向。地球物理人员通常对这些想法持特别藐视的态度，根本不从或很少从物理学的角度来支持这些想法。但是，在板块构造概念发展中可以认为起了重要作用的地球物理人员应当记住并引以为戒的是，当时最强烈地反对魏格纳、杜托伊特和霍姆斯等人想法的，正是一些地球物理人员，他们认为任何形式的大陆移动从物理学和数学上看都是不可能的。地质人员中有相当一部分人（包括我在内）不太懂数学，因此过份轻易地接受了这类有见地的批评意见。

我认为，应当把更多的力量用来寻找上述“地断裂”存在的证据，它们可能与成矿带或在几条平行的构造带上呈线状排列的矿床有关。今后应当研究出一些能够通过地震或其他物探手段确定在地表上看不到的“地断裂”或断裂系统的方法。我认为，这是参与找矿工作的地球物理人员面临的一项最艰巨的任务，也是政府部门理应承担的一项任务。在自由经营的企业中有一些反对政府为专门找矿而承担测量的说法，认为这种工作可以而且应当由私营企业承担，以减轻纳税人的负担。但是，这里提到的这类项目只能由一个中央协调机构承担。

由于这种断裂系统延伸深度很大，可能延伸到地幔，所以除物探方法外，还应当用大规模的区域化探方法来探测。在这方面，苏联的经验是特别宝贵的，因为苏联地质部多年以来一直在广大地区用化探方法找矿。在我国（加拿大）和凡可进行矿产勘探的地方，这方面的工作理应由政府组织或政府主办单位来做，以便使其成果由一个机构协调起来。

## 结 论

我并不想给大家留一个印象，似乎我在诋毁矿床成因与板块构造之间的基本关系。我远没有这个意思，我认为，只要我们能掌握更多的有关的历史和地质作用方面的知识，我们会找到其间更为紧密的制约关系。我讲的是一种倾向，特别是在为非地学或其他学科的专家写的文章中存在的一种倾向，这种倾向容易给人留下一个印象，似乎找矿的地质科技人员现在已经掌握了新的手段，从而从根本上改变和简化了他们在选区方面的任务。情况并不是这样。最近找到的矿床，不论是金属和非金属矿床还是油田，都是在观察到的地质或地理资料基础上根据经验而选择的地区内发现的，这些资料与板块构造概念是一致的，但并不是由它直接推导出来的。如果我们能更多地了解到有关的详细构造机制，那么我相信我们就能更准确地选出找矿地区。识别更详细的构造和板块运动的机制，在很大程度上取决于区域地球物理和地球化学研究，而在此基础上进一步检查的工作项目应有更大的探测深度和灵敏度，以确定钻探目标。

译文转自《国外地质科技》1978, N. 2

张肇元 校