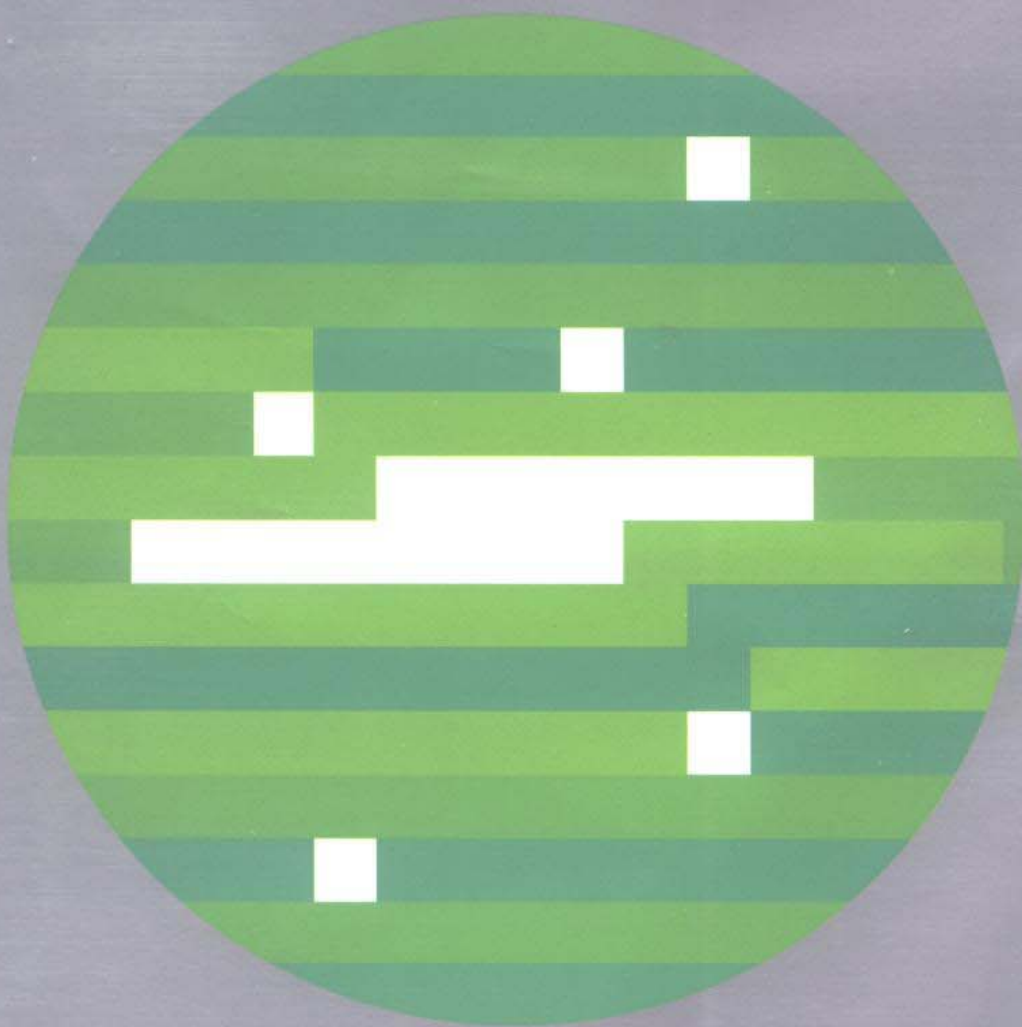


走向21世纪

矿产勘查地球化学

谢学锦 邵 跃 王学求 主 编



地质出版社

国家攀登项目 B85-34 论文集

走向 21 世纪矿产勘查地球化学

谢学锦 邵 跃 王学求 主编

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

走向 21 世纪矿产勘查地球化学/谢学锦等编. -北京:地质出版社, 1999. 11
ISBN 7-116-02943-5

I. 走… I. 谢… II. 矿产-地球化学勘探 N. P62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 65096 号

地质出版社出版发行

(100083 北京海淀区学院路 29 号)

责任编辑: 陈军中 傅学信

责任校对: 黄苏晔

*

北京科技印刷厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本: $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ 印张: 16.5 字数: 386 千字

1999 年 11 月北京第一版 · 1999 年 11 月北京第一次印刷

印数: 1-1000 册 定价: 28.00 元

ISBN 7-116-02943-5

P · 2080

(凡购买地质出版社的图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行处负责调换)

序

寻找巨型矿床有着巨大的风险与不肯定性，有效地减少这种风险与不肯定性有赖于新概念和新战略的提出与新技术的发展。

从 20 世纪 80 年代开始，我们就提出了一系列勘查地球化学新概念：套合的地球化学模式谱系、地球化学块体、巨量的成矿物质供应与聚集、成矿可利用金属、地球气纳微金属、活动态金属、深穿透地球化学、直接信息勘查等。从这些新概念出发，提出了控制矿床形成规模的一种新的理论，即巨型矿床的形成主要在于有着巨量的成矿物质供应与聚集。这种巨量的物质供应与聚集表现为地球上存在成矿元素含量特别富集的地球化学块体，地球化学块体中只有一部分呈活动态易被各种流体携带的金属才能浓集成矿。

在此概念和理论的基础上，我们建立了发现地球化学块体和追踪巨型矿床的方法。对于地球表层巨大的地球化学块体中巨型矿床的“聚集”地点可以通过套合的地球化学模式谱系来追踪；对于隐伏的地球化学块体与隐伏的巨型矿床，提出了一种假说，即整个地球深部有流体呈微气泡形式上升，并可将隐伏于深处的成矿元素信息带到地表。研制了战略性与战术性深穿透地球化学方法，其可以有效地圈定这种深部信息，并追踪隐伏巨型矿床。据此制定了矿产勘查新战略，即在出露区、半出露区及隐伏区的一整套以直接信息勘查为先导，迅速了解全局，逐步缩小靶区的战略。

在上述矿产勘查新战略思想指导下，我们建立了全国性预测大矿、巨矿的地球化学数据库，开发了以 GIS 为基础的图形显示系统。这种高质量的全国地球化学数据库，无论是数量上，还是质量上在国际上都尚属首次。根据地球化学块体的资料可对全国大矿巨矿的潜力进行战略预测，并编制各种金属元素的全国地球化学预测图；将深穿透地球化学方法在大面积隐伏区广泛应用，已发现了一批新的寻找大矿、巨矿的战略靶区。

本论文集全面介绍了攀登计划 B85-34 项目“找寻隐伏和难识别大矿富矿的新战略、新理论和新方法的基础性研究”01 和 07 两个地球化学课题的上述研究成果。

通过这一论文集，以及这一项目的其它 5 个课题论文集的陆续出版，读者可以全面考察我们在立项之初要达到的下列目标是否实现。

(1) 建立地球化学、地质及地球物理资料的全国数据库，并进行综合研究，为中国今后寻找大型特大型矿床，主要是铜、金、银（铀）矿床，奠定扎实的

基础，提供重要的依据。

(2) 通过广泛使用能在隐伏区找矿的新技术新方法，使一些已知矿化区有可能迅速升级成为大型或特大型矿床，并在隐伏区发现新的战略靶区，从而在短期内迅速取得重大经济效益。

(3) 使地球物理与地球化学勘查方法面临划时代的革新。

(4) 为使世界找矿传统战略发生变革作出重要贡献。

(5) 培养出一批跨世纪优秀中青年科学家。

(6) 在国内外发表一系列论文及专著，提交各课题、专题的报告及项目总结报告。

首席科学家 谢学锦

1999年5月

目 录

概念与战略

矿产勘查的新战略	谢学锦 (3)
论矿产勘查史——经验找矿、科学勘查与信息勘查	谢学锦 (12)
寻找隐伏大矿的勘查地球化学方法概论	邵 跃 (23)
巨型矿床与大型矿集区勘查地球化学	王学求 (35)
矿产勘查与信息找矿	吴传璧 施俊法 (48)

理论与方法

巨型矿床的地球化学预测方法	谢学锦 向运川 (61)
战术性与战略性的深穿透地球化学方法	谢学锦 (92)
地球气纳微金属测量的概念、理论与方法	王学求 (105)
金属活动态测量的理论与方法	王学求 卢荫麻 程志中 刘大文 (125)
地球气中金属与活动态金属分析方法研究	卢荫麻 王晓苓 白金峰 (143)
电地球化学勘查的理论与方法	刘占元 (160)
地球深部成矿物质向地表传输的动力学过程初探	张荣华 胡书敏 (168)
流体包裹体地球化学方法——以东坪金矿为例	谢奕汉 王英兰 范宏瑞 (175)
借助 GIS 技术实现区域地球化学数据的可视化管理及综合应用	 向运川 谢学锦 (181)
确定地球化学背景值及异常的分形方法	李长江 麻土华 (195)

应用实例——战略靶区的圈定预测评价

战略性深穿透地球化学方法在穆龙套的初步试验	 谢学锦 王学求 许力 A. A. Kremenetsky V. K. Khfeits (203)
穿透厚覆盖层圈定巨型矿所形成的区域地球化学异常——以在奥林匹克坝矿床的试验为例	王学求 谢学锦 程志中 刘大文 (212)
中国东部覆盖区地球化学块体的圈定与评价	王学求 程志中 刘大文 (223)
安徽北部覆盖区从战略到战术深穿透地球化学测量	 程志中 王学求 刘大文 储国正 曹奋扬 周全兴 张千明 (234)
金属活动态与地球气测量技术在高寒草甸区的试验研究——川西北若尔盖草原覆盖区的实例	刘大文 王学求 程志中 纪仲明 李成涛 (246)

概念与战略

矿产勘查的新战略

谢 学 锦

(国土资源部地球物理地球化学勘查研究所, 河北·廊坊 065000)

0 绪 言

矿产勘查有着巨大的风险与不肯定性,也有着巨大的利润。有效地减少这种风险与不肯定性有赖于新概念的提出与新技术的发展。从20世纪80年代开始作者及其合作者提出了一系列勘查地球化学新概念:套合的地球化学模式谱系;地球化学块体;巨型矿床形成的首要条件是巨大的成矿物质供应量;呈各种活动态的成矿可利用金属量是估计成矿物质供应量的最好指标;在全球范围内有地球气上升,并从地球化学块体中带出各种活动态金属;各种活动态金属有很大一部分呈纳米或亚微米级颗粒存在。根据这些新概念发展了战略性与战术性地球气与金属活动态测量技术,并据此制定了新的矿产勘查战略,即在出露区、半出露区及隐伏区的一整套迅速了解全局,逐步缩小靶区的战略。相信这套战略付诸实施,定将大大减少矿产勘查的风险与不肯定性,并使成功地找到新的有经济价值矿床的资金投入大大降低。

1 矿产勘查的风险

Mackenzie^[14]在“勘探’87”专集上的一文:Mineral Exploration Economics: Focusing to Encourage Success,总结了加拿大与澳大利亚从50年代到70年代矿产勘查的经验,并据此讨论如何有效使用投资使矿产勘查获得更大成功的方法。根据大量数据统计研究,他得出过去30~40年找到1个有经济价值矿床^①平均所需资金如下:

(1) 在加拿大1946~1977年间,平均找到1个有经济价值的贱金属矿床需耗资3800万加元;

(2) 在加拿大1946~1985年间,平均找到1个有经济价值的金矿床需耗资2500万加元;

(3) 在澳大利亚1955~1978年间,平均找到1个有经济价值的贱金属矿床需耗资11100万加元;

(4) 在澳大利亚1955~1978年间,平均找到1个有经济价值的金矿床需耗资6300万加元。

① 西方对“有经济价值矿床”的概念是指那些开采能获得大的利润的矿床。

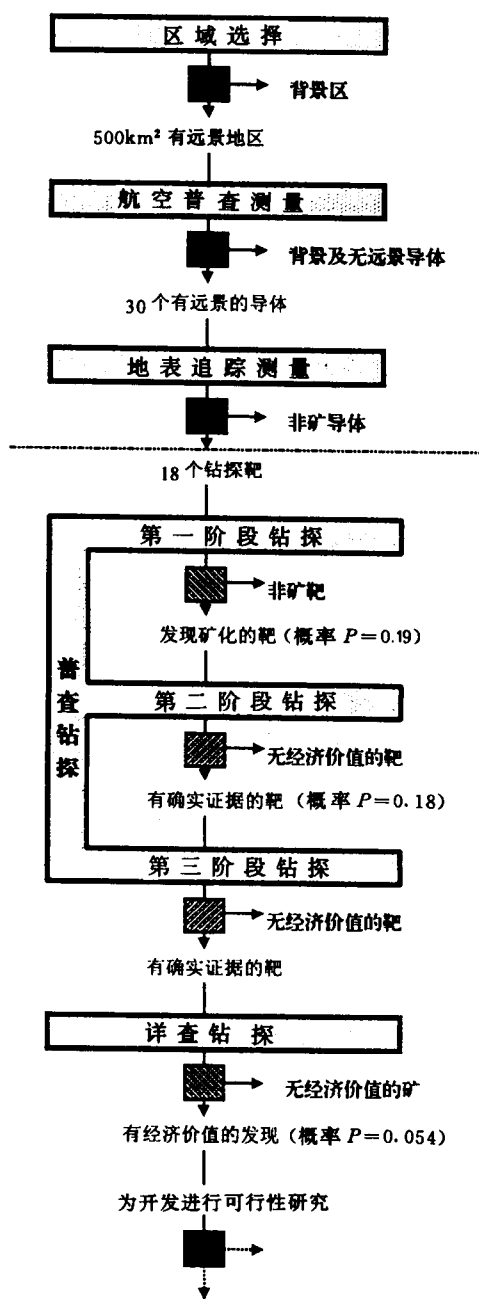


图1 循序勘查程序

(引自 A. W. Mackenzie^[14], 略作修改)

地球物理方法主要利用矿体与围岩某种物理性质的差异。它的不肯定性在于它的多解性, 也许会有另外几种地质体与矿体在这种物理性质上没有很大差异。

Horn 认为, 地球化学方法的不肯定性在于矿床四周不一定有可被辨认的原生或次生地

保证找到有经济价值的矿床需要巨大投资, 这是因为找矿的风险极大。据 Mackenzie 统计, 在加拿大 1951~1974 年间, 1 个贱金属矿产勘查项目投入的经费一般为 683 000 加元, 但它成功的概率只有 0.019。在西澳大利亚 1955~1972 年间, 1 个镍矿勘查计划平均投入为 190 000 加元, 但它成功的概率只有 0.0046。

找矿风险如此之大是因为矿产分布的复杂性与找矿方法的不肯定性, 但找矿一旦成功利润极大。例如, Mackenzie 援引澳大利亚 1955~1978 年共投资 6.4 亿加元于矿产勘查, 共找到 129 个有经济价值矿床。即平均需耗资 5 000 万加元, 才能找到 1 个有经济价值矿床。但所得回报也极为巨大, 因为这 129 个矿床的金属储量共值 1 400 亿加元, 是投资的 200 余倍。这 129 个矿床中 10% 的矿床, 每个矿床价值都在 32 亿加元以上。受到这样大利润的诱惑, 因而许多单位甘冒巨大的风险来进行矿产勘查。

大多数现代矿产勘查是基于对成矿有利地质环境的预测, 而成矿有利的地质环境是根据某种地质理论确定的。

R. A. Horn^[15]在 Uncertainty and Risk in Exploration 一文中写道: “某一地质理论在某一勘查项目中是否有用很不易给以客观评价。地质学家往往对他偏爱的理论热情奉献, 而在勘查高潮中很难再去考察其它可替代的理论。由于勘查的成功需要经过很长时间才能给以判断, 因而存在一种危险, 就是尽管勘查不断失败, 但一个错误的理论仍被坚持使用, 理由是还没有足够的时间去考验它”。

Horn 认为, 为了减少地质理论的不肯定性引起的勘查风险, 就需要更多、更可靠的原始地质信息, 最好的办法是不要带着任何地质理论框框, 在野外作高质量的“无偏倚”的野外观察。这样作出的“地质事实图”(Fact maps)也许并不美观, 而且有时支离破碎, 但对减少勘查风险意义很大。

球化学模式，这种模式即使存在，也不一定能被发现。

由于勘查风险极大，有理由把勘查活动分成几个循序步骤来进行。通过循序的步骤，逐步消去看来无远景或远景较小的地段，这样就可以大大降低勘查的成本。

Mackenzie 例举了 20 余年来在加拿大地盾区找致密块状硫化物矿床成功的典型案例来体现这种循序选择步骤（图 1）。

每项计划根据地质资料选择 500 km² 的远景区，但发现 1 个有经济价值矿床的概率只有 0.054，故一般要进行 20 项这样的计划，才能有把握地发现 1 个有经济价值的矿床。这样地面勘查阶段的总经费是 526 万加元，而普查钻探阶段的总经费是 560 万加元，最后的详查钻探阶段的总经费因矿床大小及复杂性，估计在 25 万~150 万加元之间，这样有把握地发现一个有经济价值的块状硫化物矿床需投资 1 111 万~1 236 万加元（表 1）。

表 1 500km² 草根勘查

阶 段	费用 / 加元		
选 区	20 000		
航空普查	72 000		
地面追踪	171 000		
普查钻探			
第一阶段		207 000	
第二阶段		54 000	
第三阶段		19 000	
详查钻探			41 000
	263 000	280 000	41 000
总 费 用	584 000		

（据 Mackenzie^[14]）

这比前述的 1946~1977 年间加拿大每发现一个有经济价值贱金属矿床平均投资数 3 800 万加元要少得多。这是因为在此典型成功的例案中采用了循序逐步淘汰，大大节约了工作量与投资之故。Mackenzie 的文章表明了西方矿业界为降低勘查风险一直在作巨大努力。但今后随着在隐伏区勘查难度的加大，勘查风险还会进一步加大。如何解决这一难题有赖于新概念与新技术的提出。

2 新概念

（1）在矿产勘查史上风险最小、可靠性最大的是追索矿化露头找矿方法。在地表露头大部分被发现后，地球化学方法继承了这种直接找矿的传统，把辨认矿化直接信息的能力从人类肉眼的万分之几提高到百万分之几。根据地球化学异常圈出的异常是一种微矿化露头（microoutcrops），它对找矿起了重大作用。如果能将辨认微弱矿化直接信息的能力进一步提高，则直接找矿的方法在矿产勘查史上将再度成为主导的方法（谢学锦，1997）。

（2）过去，勘查地球化学家只是研究局部异常（各种类型的分散晕与分散流），所有地

球化学探矿方法都是以局部异常为靶而制定与发展的,这使得地球化学方法长期以来在矿产勘查中只能成为一种辅助性的战术方法。中国的区域化探全国扫面计划开展 19 年以来已覆盖全国 500 余万 km^2 , 这使我们辨认出在自然界不仅有地球化学局部异常模式,亦存在着套合地球化学模式谱系。从零点几到几平方公里的局部异常到数十至数百平方公里的区域地球化学异常,数千至上万平方公里的地球化学省,数万至十几万平方公里的地球化学巨省和数十万平方公里的地球化学域^[18]。只有以这些宽阔的套合的地球化学模式为靶,地球化学方法才有可能演变为战略性找矿方法^[1,13]。

我们认为,这种宽阔的套合的地球化学模式是由于地球太初的不均匀性所引起的,从而提出了在地球上存在富含某些元素的不同规模的地球化学块体 (Geochemical blocks) 的概念^[5,20]。

(3) 大型、特大型或巨型矿床形成的必要与充分条件是要有巨大的成矿物质的供应。过去矿源层与矿源岩的概念都只限于矿体四周较局部的范围,只涉及成矿最后阶段的物质供应。我们的新概念则涉及整个地球的不均匀性。地球上一些巨大的成矿带很可能都是富含巨量某种金属的地球化学块体,有了这样巨大的太初供应量才有可能在漫长的地质时期内,经过不同规模的各种地质过程,逐步富集成矿^[5,20]。

(4) 这种地球化学块体可以用低密度的地球化学填图方法将之勾描出来,同时也可以勾描出其内部结构——在其中套合着的地球化学模式谱系。过去我们提出区域化探全国扫面计划时曾预测:“这个计划可以给出数以万计的以标准方法圈定的,可以在全国范围内进行对比的异常。这样就必然有可能更有效地筛选出数百到数千个最有远景的异常,为找到数十至数百个大中型矿床提供线索……”^[2]这表明我们过去多年倡导的“迅速掌握全局,逐步缩小靶区”的思想主要是从全面比较数以万计的区域性异常后筛选出数千数百个较有远景的异常,进一步再筛选出数十个最有远景找到大矿的异常。成矿物质供应,地球化学块体与套合的地球化学模式谱系这些新概念的提出使得我们多年来倡导的“迅速掌握全局,逐步缩小靶区”的矿产勘查战略有了全新的含义。我们可以全面比较不同地区的金属供应量,挑选出那些可形成大型、特大型矿床最有远景的地区,并沿着它的逐步浓集过程,结合地质及地球物理上有利于成矿的环境逐步缩小靶区,追索到最可能形成大型矿床的地点。

(5) 并非所有在地球化学块体内的金属量都能在成矿过程中被利用。只有那些呈活跃形式,易被各种流体携带、搬运的那部分金属才能在成矿过程中起作用,从而我们提出了“成矿可利用的金属 (Available metals for ore formation——AMOF) 的概念。测定这种呈活动态的 AMOF 在地球化学块体中的含量,并追踪其逐步富集的轨迹,这比测定金属全量更能更可靠地估计成矿金属的供应量,从而能更可靠地预测大型、特大型甚至巨型矿床^[1,5,20]。

(6) 近年来找寻巨型矿床成为国际矿业界普遍的趋势。找寻巨型矿床最大的机遇是在被厚层沉积物或成矿后沉积岩覆盖的隐伏区。如何在隐伏区有效地找到大型甚至巨型矿床已成为当代对矿业界最大的挑战^[19]。

(7) 近 10 余年瑞典人首先提出,并在瑞典、中国、俄罗斯、捷克及法国广泛试验的地气方法证实,在许多矿区都有气体从深部将成矿金属带至地表^[3,4,6~10]。我们认为,既然在全世界许多地区都已证明有地气从深部上升,通过矿体,将超微量的成矿物质带至地表,那么这就不是一种局部现象,而可能是全球性的。因而我们提出了地球气 (Earthgas) 的新概念。我们认为,在全球范围内从深部上升的地球气不仅从矿体及其四周原生晕,而且从一

系列套合的地球化学模式，亦即从整个地球化学块体中带出那些呈活跃形式的金属；这部分金属含量极微，只有用超灵敏的分析方法才能将之检出。这就使我们提出的**地球不均匀性，地球化学块体，成矿金属供应量与巨型矿床形成的关系**，不仅在出露区辨认巨型矿床与一般矿床有效；而且在隐伏区，在缺少地质资料，地表常规化探方法难以发现异常，找矿不肯定性与风险大大增加的情况下，将具更重大的意义^[5,20]。

(8) 近年来各种所谓“深透视 (Deep penetration) 地球化学方法”取得了在隐伏区找矿的突破性进展，这些方法包括在瑞典、中国、俄罗斯、德国、捷克与法国实验的各种地气方法；在俄罗斯、中国、美国实验的各种电地球化学方法；在加拿大实验的酶提取方法；在澳大利亚实验的活动金属离子方法，以及我们早期提出的战术性地气与金属活动态测量方法等^[7,10,11]。这些方法虽然解决了在详查与半详查阶段找隐伏矿的问题，但都未能解决在隐伏区如何找大型、特大型甚至巨型矿床的问题。在何处找巨型矿床，以及巨型矿床与一般矿床在特征上有何不同，仍是要求地质学家解决的问题，而地质学家迄今为止尚未能发现巨型矿床与一般矿床在矿床成因与成矿条件上有何显著差别。

我们现在发展的深透视方法包括战略性与战术性地气与金属活动态方法，与其它各国各家发展的深透视方法的不同之处在于，它不仅能在详查和半详查阶段圈出被埋藏在厚层成矿后沉积岩及外来运积物下的矿体，而且在勘查工作开始选区之前就能发挥主要作用，圈出在大面积隐伏区内成矿金属供应量的规模，可靠地指出在隐伏区中最有可能找到大型矿、特大型矿床甚至巨型矿床的地区，然后还可以逐步加密网格，沿着套合的地球化学模式逐步缩小靶区，直到缩小到 Mackenzie 所说的供草根勘查的 500 km² 的靶区。过去的这种选区工作只能靠地质学家的理论推测以及少量地表矿化线索的指引来进行。

3 新技术

在上述新概念的指引下，我们发展了一整套新技术。目的是在隐伏区找大型、特大型甚至巨型矿床时大大降低成本，减少风险。

(1) 发展了在隐伏区的战略性与战术性地气方法 (Nanoscale metals in earthgas, 简称 NAMEG)^[22,23]。这套技术是在地球深部有气体以全球规模上升，并从套合的地球化学模式及矿体中带出活动态的主要是以纳米及亚微米级颗粒存在的金属，这些新概念的基础上发展起来的。用锥形螺纹钻钻进 80 cm 深，从钻进的相距 2~5 m 的两个钻孔中各抽出 5 L 气体，使其通过 0.4 μm 的静电滤膜，之后，再通过经特殊处理的聚氨脂泡沫塑料。取出泡沫塑料送实验室，用中子活化方法分析其中的 Ag、As、Au、Ba、Br、Ca、Ce、Co、Cr、Cs、Eu、Fe、Hf、Hg、Ir、K、La、Mo、Nd、Rb、Sb、Sc、Se、Sm、Sn、Ta、Tb、Th、U、W、Rb、Zn、Zr 等元素。这种技术的最大难题是如何降低在操作中出现的各种噪音，特别是泡沫塑料中本底值的起伏。因为 10 L 地球气带上来的金的背景平均值只有 (0.15~0.30) ng，异常下限为 (0.20~0.60) ng。国内外许多工作中使用活性炭为金的收集器，但活性炭中 Au 含量的起伏在 (1~10) ng/g 之间，并且很难被清除，这就会完全掩蔽掉地球气金异常。我们使用的特殊处理方法使金的噪音降至 (0.04~0.08) ng/g。这才有可能勾绘出如此微弱的金异常。噪音问题在战略性测量阶段几乎是“致命”的。

(2) 发展了在隐伏区的战略性与战术性的金属活动态测量方法^[21~24] (Mobile forms of

Metals in Overburdens, 简称 MOME0)。这套技术是在地球气携带纳米及亚微米级颗粒金属至地表, 地球气逸散入大气, 这些金属将以各种活动态留于土壤中的新概念为基础发展起来的。各种活动态金属包括水提取金属 (用去离子水提取), 吸附态和可交换态金属 (用 5% 柠檬酸铵溶液提取), 被 Fe-Mn 化合物包裹的金属 (用 0.3mol/L 柠檬酸铵+2% 盐酸羟胺溶液提取), 及与有机物结合的金属 (用 0.1mol/L NaOH+0.1mol/L $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 溶液提取)。对于各种活动态金属分别用高灵敏度的原子吸收法分析 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、Fe、Mn、Ni、Cr、Co 等元素, 用原子荧光方法分析 As、Sb、Bi、Hg 等元素。

(3) 发展了对活动态金属的循序两步提取技术^[21,24]。这种技术是根据金主要呈纳米及亚微米级颗粒存在的新概念为基础发展起来的。过去多年的偏提取技术所使用的弱溶剂主要目的是打开活动态金属依附的载体, 这样活动态金属就自然进入溶液。呈纳米及亚微米级颗粒的金从载体中释放出来, 或者不能进入溶液, 或者被胶体吸附而沉淀, 因而必须进行第二步处理, 使金进入溶液。其它元素也可能有类似行为, 有待今后进一步研究。

(4) 针对上述新技术, 发展了一整套从战略到战术, 从极低密度 [1 个采样点/(1 000~10 000)km²] 到超低密度 [1 个采样点/(100~1 000) km²], 甚低密度 [1 个采样点/(10~100) km²], 低密度 [1 个采样点/(1~10) km²] 的采样系统。有了这套系统并使用上述新技术就可以有效地在隐伏区或出露区, 任何规模上实现我们的“迅速掌握全局, 逐步缩小靶区”的战略思想。

4 新战略

根据上文所述的新概念与新技术, 我们提出了一整套矿产勘查新战略。这套新战略的主旨是在整个矿产勘查过程中以直接找矿信息为先导, 结合地质与地球物理资料, 迅速掌握全局, 逐步筛选或缩小靶区, 直至找到大型、特大型甚至巨型矿床。在出露及半出露地区, 过去通过区域化探全国扫面计划对这套战略不完整不系统的应用, 已证明是卓有成效的。在全国扫面计划中, 的确是以直接找矿信息为先导, 从大面积内圈出的区域化探异常中筛选出 Mackenzie 所述的为草根勘查所需的几百平方公里甚至几十平方公里的面积, 进行地面普查及追踪测量。由于区域地球化学异常是直接和矿化相联系的, 因而以它为先导进行选区可以大大减少根据地质预测选区的不肯定性。但过去十余年的实践只是不完整 (对异常的比较与筛选只在局部图幅, 或地区, 或省的范围内, 未能在全国范围内进行) 地采用了一种逐步筛选靶区, 即对大量区域性异常进行横向逐步筛选的方法; 而没有采用过本文所述的另一种逐步缩小靶区的方法, 即在少数成矿物质供应量最为丰富的地球化学块体内部逐步追踪成矿物质最大的富集区。这是一种套合的逐步缩小靶区方法。我们准备今后利用全国的资料, 开展这两种 (横向的及套合的) 逐步筛选及逐步缩小靶区的工作。相信有全局在胸, 定能进一步减少矿产勘查中的不肯定因素, 并解决何以在中国只找到大量中小型金矿床与铜矿床而不能发现巨型矿床的疑案。

下面重点讨论在隐伏区找矿的新战略。Mackenzie 所举的在加拿大找寻致密块状硫化物矿床成功的战略部署是在隐伏区找矿的实例, 这种海底喷发火山沉积类型矿床一般为成矿后的厚层沉积岩所覆盖, 需依靠物探方法圈出良导体来发现, 而常规的化探方法几乎无能为力。Mackenzie 的部署是从用地质理论预测选出 500 km² 的地区开始进行草根勘查, 根

据多年经验，它的成功概率只有 0.054，故必须要在 20 个这样的选区进行工作，才能有把握地找到一个有经济价值的致密块状硫化物矿床。实际覆盖的面积为 10 000 km²，亦即由于预测的不肯定性，至少需覆盖 10 000 km²，才能找到一个有经济价值的矿床。我们的新战略不同之处在于开始就在隐伏区及半出露区部署覆盖更大的面积，例如 10 万 km²。这个面积可选在地质环境最有利的成矿带或成矿密集区。在此范围内进行超低密度的 NAMEG 及 MOMEQ 地球化学战略性测量，取得成果后就可迅速将靶区缩小至数千至 1 万 km²，再进行区域性甚低密度的 NAMEG 与 MOMEQ 及常规地球化学测量。第三阶段则可在优选出的数百平方公里内进行半详查，然后缩小到数十平方公里的面积（涉及几个靶区）。这样不仅有把握找到一个大型、特大型或巨型矿床，而且为今后工作提供了一系列有希望找到大型、特大型及巨型矿床的后备基地。这种新战略部署及所需费用见表 2。从表 2 可以看到这种新战略部署所需费用比 Mackenzie 所提的最为成功的实例减少了十余倍，而找矿的把握性却大大增加。

表 2 矿产勘查新的战略部署及费用

阶 段	覆盖面积/km ²	采样密度/ (样品 · km ⁻²)	经费/元	平均费用/ (元 · km ⁻²)	样品数
第一阶段战略测量	100 000	1/100	1 000 000	12	1 000
第二阶段区域测量	10 000	1/25	400 000	40	400
第三阶段详细测量	500	1/1	250 000	500	500
第四阶段定位测量	50	20/1	500 000	10 000	1 000
总费用			2 150 000		

注：第一阶段与第二阶段的地质及地球物理资料研究工作，第三阶段与第四阶段的地球物理测量工作及地质研究工作费用未列在内。

我们还没有机会广泛从头到尾的试验这种矿产勘查新战略，仅举我们在山东的工作作为一个实例。

1994 年我们在山东全省进行了超低密度的 NAMEG 及 MOMEQ 测量。采样密度是每 800 km² 1 个采样点，圈出了几个大的地球化学省。其中胶东的地球化学省面积达 6 000 km²，几个特大型金矿床如玲珑-招远、焦家、大尹格庄、三山岛皆位于该地球化学省的北部。南部主要是厚层冲积物覆盖，厚度大部分在数十至百余米之间，这一地区地质资料很少，但从异常角度看应是胶东进一步找大型金矿床的主要方向。1995 年我们在这胶东地球化学省内将采样加密到 10~100 km² 1 个采样点，在覆盖区圈出的几个巨大的异常与北部已知矿带的异常在分布趋势上非常一致。限于经费我们还未对南部几个巨大的异常做进一步工作。由于陈光远教授从地质理论上对位于焦家与三山岛之间的地区感兴趣，因而在 1996 年在这里 33 km² 内进行了 500 m×500 m 的详查，并再加密到 500 m×100 m 以具体确定钻探靶区的位置。虽然钻探结果尚未见分晓，但从这一实例也可看到在隐伏区这种逐步缩小靶区的方法——从广大面积内迅速捕捉到最有远景的目标——所起的重要作用。这项工作的部署及费用可见表 3。

表3 山东实例

阶 段	覆盖面积/km ²	采样密度	经费/元	平均费用/(元·km ⁻²)	样品数
第一阶段战略测量	160 000	1 样品/800km ²	220 000	1.4	220
第二阶段区域测量	6 000	1 样品/(20~100) km ²	240 000	40	240
第三阶段详细测量	30	500 m×500 m	60 000	2 000	120
第四阶段定位测量	12	500 m×100 m	120 000	10 000	240
总经费			640 000		

5 结论

矿产勘查存在着巨大的风险与不肯定性。我们从20世纪80年代以来提出的勘查地球化学新概念与发展的深透视地球化学新技术,制定了一整套新的迅速了解全局、逐步缩小靶区的矿产勘查战略办法,以便减少矿产勘查风险,大大节省投资。在广大出露区及半出露区,由于已经拥有大量区域化探扫面资料,可以从全国范围内使用第一种横向比较全国区域性异常的方法,以便筛选出最有远景的靶区以及使用第二种从大的地球化学块体入手套合地逐步缩小靶区的方法来找寻大型、特大型甚至巨型矿床之所在。在广大隐伏区及半出露区,则可以大约10万km²的面积作为一个迅速掌握全局的单元,使用新发展的深透视地球化学方法,分三个阶段逐步缩小靶区,最后在(10~50)km²范围内进行综合的地球化学与地球物理定位测量及地质研究,以达到有把握找到有经济价值的矿床的目的。与Mackenzie提出的在加拿大找寻隐伏的块状硫化物矿床的非常成功的战略部署相比,他们有把握的找到一个有经济价值矿床需覆盖至少10 000 km²,对地面勘查工作投资526万加元;我们则从10万km²入手逐步缩小靶区只需用资金300余万元人民币(加上地质地球物理研究及后期地球物理测量费用),相当于60余万元加元。因而这种新的战略方法有可能大大节省投资,并同时减少找矿风险。

后记:地球物理地球化学勘查研究所成立30周年之际我曾写了一篇“三十而立”^①的文章,在文章末尾提出“我衷心祝愿物化探研究所的勘查地球物理与勘查地球化学在经历30年而逐步成长成熟之后,能继续顺利前进,在庆祝40周年之时能达到“不惑”的境界……”值得欣慰的是,我们现在确已做到不随外国亦步亦趋,亦不沾沾自喜于小改小进。使中国化探在国际勘查地球化学发展的前沿阵地处于领先地位,并努力改变勘查地球化学甚至整个矿产勘查工作的面貌,这还需要有关领导部门的远见卓识与大力支持。

参 考 文 献

- [1] 谢学锦,王学求.金矿化探(三):金的颗粒分布与取子样误差关系的研究.物探与化探,1992,16卷6期
- [2] 谢学锦.中国化探走向2000年.物探与化探,1992,16卷2期,81~85
- [3] 王学求,惠秦,吉望西.土壤气体中金测量.见:第二届激光单原子学术讨论会文集.北京:清华大学出版社.

① 《庆祝建所三十周年纪念专刊》,内部资料,地质矿产部地球物理地球化学勘查研究所,1987.10.

- [4] 童莼茵, 梁兴中和李巨初. 地气测量研究及在东季金矿的试验. 物探与化探, 1992, 16 (6): 445~451
- [5] 谢学锦. 用新观念与新技术寻找巨型矿床. 科学中国人, 1995 年第 5 期
- [6] 王学求, 谢学锦, 卢荫麻. 地气动态提取技术的研制及在寻找隐伏矿上的初步试验. 物探与化探, 1995, 19 卷 3 期
- [7] 王学求, 卢荫麻, 程志中, 谢学锦. 区域地气与元素活动态测量技术在隐伏区寻找巨型矿的试验研究. 物探化探译丛, 1995 年 4 期
- [8] 伍宗华, 金仰芬等. 地气测量在叶县—邓县—南漳地学剖面研究中的应用. 岩石学报, 1995, 11 (3), 333~342
- [9] 刘应汉, 任天祥等. 隐伏矿区地气测量试验及效果. 有色金属矿产与勘查, 1995, 4 (6), 355~360
- [10] 王学求, 谢学锦. 非传统金矿化探的理论与方法技术研究. 地质学报, 1996, 70 (1)
- [11] 王学求, 程志中. 元素活动态测量技术的发展及其意义. 国外地质勘探技术, 1996 年 2 期
- [12] 王学求. 地气测量技术的发展及其意义. 国外地质勘探技术, 1996 年 4 期
- [13] 谢学锦. 勘查地球化学的现状与未来展望. 地质论评, 1996, 42 (4), 346~355
- [14] Mackenzie B W. Mineral exploration economics: Focusing to encourage success. Proceeding of Exploration'87, 1989, 3~21, Ontario Geological Survey
- [15] Horn R A. Uncertainty and Risk in Exploration. Proceeding of Exploration'87, 1989, 46~59, Ontario Geological Survey
- [16] Xie Xuejing, Shen Ruiping and Wang Xueqiu. Particle Size distribution of gold on geochemical samples. Explore. 1990, No. 68; 6~9
- [17] Xie Xuejing and Wang Xueqiu. Geochemical exploration for gold: a new approach to an old problem. In: A. W. Rose and P. M. Taufen (Editors), Geochemical Exploration 1989. J. Geochem. Explor. 1991. 40: 25~48
- [18] Xie Xuejing and Yin Bingchuan. Geochemical patterns from local to global. J. Geochem. Explor., 1993, 47: 109~129
- [19] R. Woodle. The multidisciplinary team approach to successful mineral exploration integrated methods in exploration and discovery. Extended Abstract, 1993, AB129~AB131
- [20] Xie Xuejing. Surficial and superimposed geochemical exploration for giant ore deposits. Clark, A. H. (editor), Giant ore deposits II, 1995, 475~485. Kingston, Canada
- [21] Wang Xueqiu, Xie Xuejing and Ye Shengyong. Concepts for gold exploration based on the abundance and distribution of ultrafine gold. J. Geochem. Explor. 1995, 55 (1~3): 93~102
- [22] Wang Xueqiu, Cheng Zhizhong, Lu Yinxu, Xu Li and Xie Xuejing. Nanoscale metals in earthgas and mobile forms of metals in overburden in wide-spaced regional exploration for giant ore deposits in overburden terrains. J. Geochem. Explor. 1997, 58 (1): 63~72
- [23] Wang Xueqiu, Liu Dawen, Chengzhizhong and Xie Xuejing. Wide-spaced geochemical mapping for mineral exploration in concealed terrain. In: Proceeding of the 30th IGC (in press), 1997
- [24] Wang Xueqiu. Leach of mobile forms of metals in overburden: development and application. J. Geochem. Explor. 1998

论矿产勘查史

——经验找矿、科学勘查与信息勘查

谢 学 锦

(国土资源部地球物理地球化学勘查研究所, 河北·廊坊 065000)

R. Woodall^[1]在其重要著作“成功的矿产勘查中的经验与概念”一文中说:“经验是不涉及科学理论或原理的,而是从经历与实际观察中获得的知识。概念是一种思想、观念或理论。概念勘查涉及矿床成因理论。”

经验勘查(empirical exploration)与概念勘查(conceptual exploration)的提法在西方矿业界由来已久。这两者之间的界限确实模糊不清。R. Woodall认为:“经验勘查家找寻理论以便表明某些观测是否确切,而概念勘查家则搜寻经验证据去验证理论。”“没有纯粹的经验勘查,在经验勘查与概念勘查中也没有明显界限。”

西方矿业界所使用的经验勘查与概念勘查实际上是矿产勘查历史上一个相当长时期内的两种作法。在每一个实际的找矿例案中两种作法经常是综合或交替使用。正如R. Woodall所指出的:“勘查与发现的成功之路并不是单靠经验或概念铺成的,它是理论与观测、概念与经验的混合体^[1]。”

但经验勘查一词用于这一历史时期并不确切,技术勘查(technological exploration)一词可能更确切。因为这种勘查方式主要使用地球物理与地球化学方法,取得大量肉眼观察不能得到的数据,建立一系列描述性的与矿产成因理论无关或不需要考虑与矿产成因是否有关的勘查与评价准则。

1 经验找矿

在矿产勘查历史的早期确实有过直接的纯经验式找矿时期,那就是探矿人(pro prospector)的时期。凭着他们丰富的实践经验发现矿化露头及矿化蚀变。由于矿化露头是矿床非常可靠的直接证据,故这一时期的成就是巨大的。截至1972年,至少全世界生产出的矿石总量的90%来自这一时期所发现的矿床^[2]。

20世纪40年代以后,尤其在西方发达国家,随着地表矿化露头大部分被发现,单凭肉眼观察直接找矿的时代逐渐让位于应用地质理论对成矿有利的环境与过程进行推测,同时用新的地球物理与地球化学方法来验证这样的推测。