

巨型矿床勘查新战略——信息找矿^{*}

施俊法 吴传璧

(中国地质矿产信息研究院, 北京)

提 要: 直接信息是最可靠的找矿信息, 在矿产勘查中必须起先导的作用。直接信息与间接信息在一定条件和环境下可以互相转化的, 只有在信息具有直接指示矿床存在和分布的特性时, 它才会发挥实际的找矿效能。因此, 多学科信息的收集和综合分析, 是信息找矿战略实施的核心。信息找矿战略可以表述为“针对巨型矿床勘查, 我们应当瞄准隐伏矿和难识别矿, 以直接找矿信息(化探资料)为先导, 综合地质和地球物理信息, 迅速掌握全局, 逐步缩小靶区, 直至找到大型特大型矿床。”

关键词: 巨型矿床 勘查战略 信息找矿 地球化学方法

中图法分类号: P628⁺.1

1 巨型矿床勘查战略的思考

1987 年 Mackenzie 在《勘探'87》发表的论文题为“Mineral Exploration Economic: Focusing to Encourage success”^[6]。在该文中他对 50~70 年代加拿大和澳大利亚的矿产勘查经验进行过总结, 依据大量统计研究, 得出找到一个具有经济价值矿床(指开采能获得利润的矿床)平均所需资金如下: 加拿大地盾在 1951~1974 年间, 一项贱金属矿产勘查经费的投入一般为 68.3 万美元, 但成功率只有 0.019。西澳大利亚在 1955 年~1972 年间, 一项镍矿勘查平均投入为 19 万美元, 但成功概率为 0.0046; 东澳在 1955~1972 年间, 元古代贱金属矿床勘查需要投入 51.8 万美元, 成功概率为 0.0032。

矿产勘查活动也是一种高风险高效益的投资。一旦发现一个有经济价值的矿床便可获得高额的利润, 可达投资费用的 10~30 倍。尤其是发现世界级的矿床, 其经济价值可在亿元以上。

回顾矿产勘查的发展过程, 不难发现矿产勘查的效果(发现矿床的数量和质量、勘查工作的成本效益)并不与矿产勘查阶段的演进(主要是找矿理论和勘查技术的发展)有必然的增进关系; 矿产勘查战略的合理性并不是一个绝对的概念, 必然是与当时的地质、找矿环境和形势, 所面临的主要找矿任务和难题, 所拥有的找矿理论和技术相联系的, 很难、也不应该依其出现的先后论其“好”与“坏”, “先进”与“落后”, 能解决矿产勘查所面临的难题, 取得当时条件下的显著找矿成果, 应是其主要衡量标志。合理的勘查战略应以减小风险、降低勘查总体成本、提高勘查总体效益为目标。

* 本文为国家攀登项目资助(编号: B85-34)

第一作者简介: 施俊法, 男, 1964 年生, 副研究员, 长期从事地质科技情报研究。邮政编码: 100037
1998-08-05 收稿, 1999-04-22 修改回

2 技术方法在矿产勘查中的战略地位

80年代以来,矿产勘查越来越依赖于技术的发展。P. Laznicaka 对世界上140个巨型金属矿床的发现情况作总结后得出^[7],采用先进技术发现30%;凭机会偶然发现30%;政府填图和结果发现14.5%;根据“非先进技术”(传统找矿法)发现24%。但将1965~1995年时段抽出来单独统计,采用先进技术发现的占71%,偶然发现的只占5.5%。可见,先进的勘查技术在矿床发现中越来越起着关键性作用。

80年代以来,西澳大利亚是在“风化层”之下金矿勘查获得了重大的进展。R. Woodall 认为^[8],这些金矿床的发现应归功于4个技术的重大突破:①钻进技术的完善,从而能够从风化层之下的潜在基岩中快速、廉价的取样;从而也导致了第二个突破;②在复杂的风化层的条件下,了解金在表生作用条件下迁移的情况;③研制出了达 10^{-9} 级的精确而又廉价的金分析方法,从而能够从土壤的微弱金异常含量追索到被掩盖的原生源;④详细的磁测数据的可得性,从而使物探人员能够和地质人员共同解释土壤沉积物和风化岩石表层下面的岩石和构造。

上述资料说明了技术方法在矿产勘查中的总体作用。下面将从矿床发现过程中各种方法作用的角度,进一步说明技术方法的战略地位。

我们共收集了国外70年代以来发现的100个贵金属、贱金属矿床,其中54个矿床主要依据Sillitoe的资料^[9],并依据我们掌握的情况加以补充和修改。其余46个矿床依据国内外有关文献报导,我们进行归纳总结^[1]。

大多数项目都找到了勘查者最初设计的矿床类型,但也有例外的情况。例如,印尼的巴图希贾乌、智利的Marte和Lobo,开始时是为了寻找低温浅成热液金矿床,而结果是找到了斑岩铜-金矿;加拿大安大略省的迪图尔湖大型金矿床,在开始时试图寻找铜锌矿床,结果发现了大型金矿床。

在我们收集的100个矿床中,地表地质填图在矿床发现中起作用的占77%;地球化学方法占74%,地球物理方法占34%,概念模型起作用的占23%(图1)。至少30%的矿床是多学科方法综合的结果,有些矿床虽然是单兵种作战而找到的,但在单兵种里也是存在多种方法的组合。

在我们收集的100个矿床中,62个金矿床(其中包括金储量到达一定规模的伴生金矿床)地球化学方法起作用的占80.6%(50);地球物理方法起作用的只占19.36%。但在寻找块状硫化物矿床方面地球物理方法占有绝对的优势,所收集的10个块状硫化物矿床中它都起着关键的作用;而地球化学方法在寻找贱金属矿床上起作用的占60%。

1997年P. Laznicaka对世界上337个巨型和超巨型矿床的发现时间作了统计分析^[7](图2)。从图2可以看出,1945年以前发现的矿床共169个,约占总数的50%,其后发现的矿床为168个,也只约占50%。在“传统”找矿阶段以前和以后,所发现的巨型矿床在数量上是相当的。不过,1945年以后随着找矿理论的更新和深化,技术手段的进步,矿床的发现速率增大了。同时也应该看到,1985年以后所发现矿床的数量相对地明显减少了。1945年以前,现代地质勘查技术正处在一个早期发展时期。因此,在此之前所找到的矿,大多数矿是由传

统找矿方法或找矿人找到的,而且多数矿是地表露头矿,即使在1945年后,仍有一部矿分巨型的露头矿被发现。

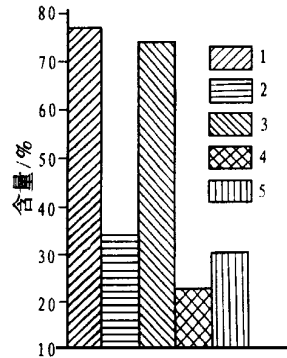


图1 各种方法在100个巨型矿床勘查中的作用
1—地质填图; 2—物探; 3—化探;
4—概念模型; 5—综合方法

Fig. 1. The role of various methods in the exploration of 100 giant deposits.

1—Geological mapping; 2—Geophysical exploration;
3—Geochemical exploration; 4—Conceptual model;
5—Integrated method.

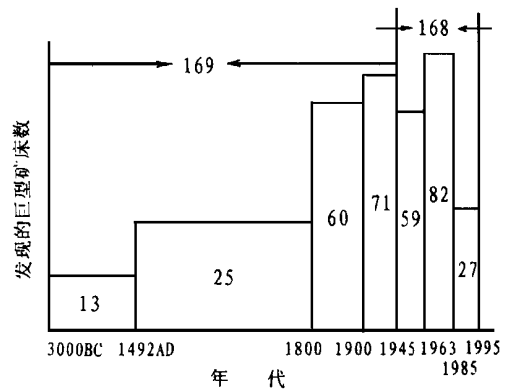


图2 世界上337个巨型矿床的发现
随时间变化的直方图

(根据 P Laznicaka, 1997 修编)

Fig. 2. Histogram showing the discovery of superlarge ore deposits in the world with time.

由此可见,在矿产勘查的历史上追索矿化露头是最直接的、最可靠的找矿方法,它构成地质填图的重要部分。地球化学方法继承了这种直接找矿方法的传统,把辨认矿化的直接信息的能力从人类肉眼的万分之几提高到十亿分之几,根据地球化学方法圈出的异常是一种矿化“微露头”。地球物理方法在寻找块状硫化物矿床上起着提供直接信息的作用。因此,我们可以认为与矿化有关的直接信息是最可靠的找矿信息。

3 信息找矿战略

回顾矿产勘查的历史,追根溯源,最初的找矿活动始发于信息,而不是理论。图2资料表明,“找矿人”和“传统”找矿阶段发现的巨型、超巨型矿床数量占已知巨型矿床的一半,这些阶段的找矿成本最低,而经济效益最大。那时的勘查主要依据的是最直接、最可靠的信息——矿化露头,尽管对这种信息的寻找和判断不乏有理性认识的指导,但作为矿床发现依据本身,仍然属信息范畴。就是到了现代矿产勘查阶段,地表露头或人工露头仍然成为矿产勘查的关键证据。例如,澳大利亚赫利尔块状硫化矿床、爱尔兰纳凡铅锌矿床都是在系统的勘查过程中,确定了矿化远景后,但对打钻验证还在犹豫不决时,刚好其他单位在施工过程中挖出矿化的露头,从而坚定了钻探验证的决心。到90年代,矿床发现依然有这类直接信息发挥着关键作用。例如,1990年美国纽蒙特公司在印尼发现的巴图希贾乌金矿^[10],在开展区域化探取样中,找矿人在河流上发现了具有浸染状矿化的漂砾,对该矿点的评价提供了重要证据。1997年3月台湾报导了1996年在北宜快速道路隧道内距礁溪出口1100m处,发现了

以往未曾发现的铅锌矿体。这些事例说明, 时至今日, 矿化露头这种最直接的找矿信息仍未失去勘查意义。

由此可见, 信息是矿产勘查活动之本, 是认识深化和理论产生的源头。许多信息在人们尚未搞清“何以会有”的情况下, 便能导致矿床的重大发现。所以, 我们把新的矿产勘查战略称为“信息找矿战略”, 正体现了对信息相对于认识具体性的尊重。当然, 信息若不上升为理性认识, 人们也不能正确地理解信息的本质, 进而指导更广泛信息的收集。在讨论矿产勘查战略之前, 让我们先来讨论一些重要问题。

3.1 寻找大型特大型矿床几种途径:

(1) 在已知矿床深部和外围寻找新的矿床, 扩大已知矿床的储量, 使已知的中小矿床扩大为大型、特大型矿床。

(2) 难识别的矿床或非常规矿床 (unconventional deposit): 难识别矿床的概念主要是相对当时的技术而言。难识别矿床应包括几方面含义: ①是新类型的矿床或非常规矿床, 但人们对之尚未认识, 依据常规的找矿标志可能难以识别出来; ②矿体与周围介质的物性相似或区别不大, 难以借助物探方法识别, 而地质观测又不能及; ③因受覆盖或次生作用影响, 地球化学的有效信息较弱, 在地球化学上表现为弱异常。

(3) 隐伏区寻找巨型矿床。

3.2 与矿化有关的直接信息是最可靠的信息, 在矿产勘查中必须起先导的作用

上述研究表明, 直接信息是最可靠的信息。地球化学方法继承了这种直接找矿方法的优点, 对找矿起着重大作用。然而, 多年来地球化学家一直集中研究局部异常, 而对更加宽阔的异常没有认识; 对矿化直接证据的认识, 只是从工业品位向下最多扩展一个数量级, 不注意从区域更大背景来认识地球化学异常的特征。这种思想使化探方法只能成为一个辅助性的战术手段, 而难以发挥其战略作用。例如, 在西方的一些区域化探计划中, 对于金的异常只瞄准 $20 \times 10^{-9} \sim 600 \times 10^{-9}$ 以上的异常。这势必丢失大量的与金矿化有关的信息, 使得金矿找矿效果不佳。80年代以来, 澳大利亚研制了大样可堆浸金 (BLEG) 方法^[11], 使金检限降到 0.005×10^{-9} , 保证金的分析结果具有良好的重现性, 从而使金矿勘查获得了很大的突破。因此, 如果能将地球化学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。

3.3 直接信息和间接信息在一定的条件下和一定的研究程度上是可以相互转化的

矿产勘查实践中收集到的信息, 可大致地划分为直接信息和间接信息两类。所谓直接信息, 指的是对矿床的存在和分布有确切的、必然的、直接的指示意义的信息, 如矿化露头、蚀变、地球化学异常等, 原则上应归入直接信息之列。所谓间接信息, 指的是对矿床的存在和分布有关联的、间接的指示意义的信息。诸如大地构造环境、有利的构造和地层、一般的地球物理信息等, 原则上可视为间接信息。

然而, 直接信息和间接信息并不是以学科划分的; 在一定的条件下和一定的 (信息) 研究程度上两者是可以转化的。例如, 同是经过地质调查和研究所获得的, 对达到找矿目的而言, 也有直接与间接之分。就是通常被认为具有直接找矿特点的化探方法, 提供的也不尽是直接信息, 例如, 对金属矿勘查来说, He、Rn、CO₂、CH₄, 甚至 Hg 等为指标的气测化探方法, 提供的就是间接信息。对找矿而言, 地球物理资料通常被认为是间接信息, 但在一定的

勘查条件下却可变成不可缺的直接信息。例如在加拿大萨德伯里地区,与基性岩有关的块状硫化铜镍矿床的初期找矿工作主要靠地质和化探方法,物探被视为间接手段。但是随着矿山的开采和勘查工作向深部进行(现找矿深度已达2400 m),靠地质和化探手段获取信息已无能为力或难度很大,而使用井中瞬变电磁法探测钻孔间矿体的位置,由于其干扰因素少,数据解释方法成熟,成了最能提供直接找矿信息的手段。

对于块状硫化物矿床来说,物探方法便是一种直接的找矿方法。又如,磁法找铁矿便是一种最直接最有效的方法。深究找矿实践所依据的信息,直接与间接信息在一定条件下发生性质转化的类似例子不胜枚举。

既然直接信息和间接信息不是按学科划分的,两者在一定条件下可以转化,信息找矿战略中多学科资料的收集和综合解释便成为必然的方法途径,因为只有以测区的地质-景观实况为前提,以可以判定的直接信息为依据,对多学科的信息进行复合、迭代和映证,才能真正认识间接信息的价值。

3.4 信息找矿战略的级次问题

在以往的勘查评价过程中,存在一种通病,即一开始就将注意力集中在单个矿点或局部异常上,研究思路过窄,揭示的信息不充分,在矿点或局部资料综合上,缺乏广阔的视域和相应的技术手段,简单地讲,就是“就矿点论矿点”,“就异常论异常”。随着区域预测评价工作的开展,人们越来越重视成矿背景和成矿控制因素的认识,形成了系统论的概念。按照这种概念,必须从区域着眼,遵循从区域到局部的原则,逐步筛选远景区和异常。在前苏联,逐步形成了不同级次物化探异常研究^[2]。在西方,虽然没有提出矿田晕的概念,但重视利用物化探资料揭示控矿背景因素。依此思路,一项着眼于大区域或全国的勘查战略,应该是分级次的,以求迅速掌握全局,逐步缩小靶区。

3.5 隐伏区获取与矿化有关直接信息的途径

由于易寻找的露头矿殆尽,找矿明显难度加大,但“(巨型矿床)的未来属于那些富有成效地在隐伏区勘查的人”。然而,在掩盖区,地表地质观察无法直接进行,地质理论预测的不确定性大大增加,传统的化探方法也已无能为力,物探信息几乎成了别无替代的战略措施。但是地球物理信息从总体上来说间接找矿信息,它具有多解性。因此,如何以直接信息为先导是隐伏区找矿的关键问题。幸运的是,近30多年来发展了以偏提取技术、地电化学和气体测量等多种有效的、深穿透的化探方法,尤其是以瑞典人研制的地气法^[10,12~14]为开端,出现了元素分子形式法,离子晕法等以分析地气流带上来的固相微粒迁移为原理的新探测手段^[3],能探查地下掩伏矿体的直接信息,为在掩盖区以化探为主导勘测方法开辟了新的前景。

根据上述分析,我们支持谢学锦院士的提法,以“信息找矿战略^[4,5]”作为这种新的矿产勘查战略的名称,并原则上赞同他对这种战略的表述:

针对巨型矿床勘查,应瞄准隐伏矿和难识别矿,以直接找矿信息(化探资料)为先导,综合地质和地球物理信息,迅速掌握全局,逐步缩小靶区,直至找到大型特大型矿床。

在裸露区和半裸露区, 各种地、物、化勘查方法和技术能很好的使用, 所得信息较为齐全, 信息找矿战略的实施主要是在各个勘查阶段上 (不同级次的勘查区内), 以直接信息的获取和运用为主导, 加强多学科信息的综合研究, 尽快地缩小靶区, 推进勘查进展, 通过提高研究程度, 减少地质理论预测的不确定性, 增加那些不符合已建地质模式的新发现的机会。例如, 70年代美国的“铀矿资源评价计划”、加拿大区域化探全国扫面计划等, ……。实际上是上述信息找矿战略的实践。我国“六五”以来的找矿成就, 也充分说明了这套勘查战略是成功的。

谢学锦等在传统的上置晕探测方法上发展适合于隐伏区快速扫面地球气 (NAMEG) 和元素活动态 (MOMEO) 方法, 在国内外的面积试验取得了肯定的成果, 从实践上证明了在掩盖区以化探作为主导勘查方法的可行性。图3A是在胶东地区水提取金分析结果^[5], 其取样密度为每800 km²一个采样; 图3b区域化探全国扫面计划中水系沉积物中金的分析结果。从图3A来看, 水溶相金 $> 2.0 \times 10^{-9}$ 的数千平方公里的水提取金异常, 从招远、焦家、三山岛已知大型金矿区一直延伸到南部冲积物覆盖区, 从而为隐伏区找矿指明了方向。这个结果是十分喜人的, 我们预感到信息找矿战略将使隐伏区找矿获得重大突破。

当然, 作为完整的信息找矿战略, 必然是多学科方法的综合运用, 在不同地区的不同环节某种方法会起到关键性的作用。就是区域性勘查的主导方法, 也会因测区地质条件和勘查方法应用特点而有所变换。例如, 在南澳大利亚, 当地金矿主要产在元古宙的石英-磁铁矿的铁岩 (ironstone) 内, 而铁岩中的磁铁矿为航磁的应用创造了前提, 加之航磁精度已达0.01 nt, 有可能揭示其分布的细节。所以, 近几年来南澳的矿产勘查中主要使用航空磁测, 并导致了一系列重大发现。

4 结 论

(1) 矿产勘查是一种高风险高效益的投资。合理的勘查战略应以减小风险、降低勘查总体成本、提高勘查总体效益为目标。

(2) 直接信息是矿产勘查最可靠的信息, 它在矿产勘查中必须起先导的作用。在裸露区如

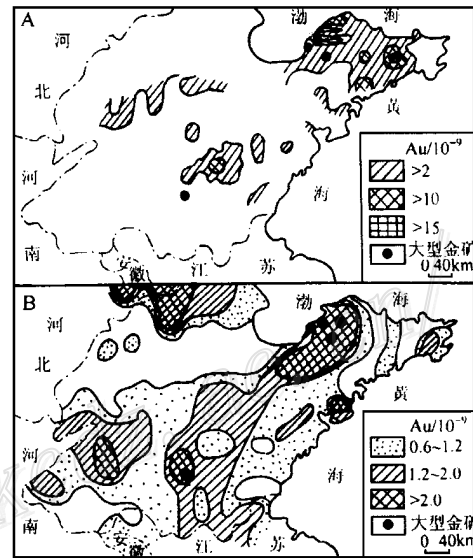


图3 山东金地球化学图

(引自谢学锦, 1998)

A—根据区域化探全国扫面计划水系沉积物分析结果 (4 km² 一个数据); B—根据水提取金分析结果 (800 km² 一个数据)

Fig. 3. Geochemical maps for Au in Shandong province, China.

A—Based on Au contents of stream sediment samples collected in RGNR Project (1 data per 4 km²)
B—Based on water extractable Au in soil samples (1 data per 800 km²).

此, 在隐伏区也是如此。

(3) 直接信息和间接信息在一定的条件下和一定的(信息)研究程度上两者是可以转化的。信息找矿战略的实施, 是用收集到的直接信息为指引, 充分运用多学科信息作复合和印证, 突出多学科方法的综合效能。

(4) 按系统论的观念, 新的找矿战略应迅速掌握全局, 逐步缩小靶区。

(5) 地气法、离子晕法、活动金属离子法及地电化学方法等非常规化探方法成为隐伏区的矿产勘查获取直接信息的主要手段。

(6) 信息找矿战略可表达为: 针对巨型矿床勘查, 应瞄准隐伏矿和难识别矿, 以直接找矿信息(化探资料)为先导, 结合地质和地球物理信息, 迅速掌握全局, 逐步缩小靶区, 直至找到大型特大型矿床。

本文是在谢学锦院士指导下完成, 在研究过程中得到了王绍伟研究员、戴自希研究员大力支持, 在此表示感谢。

参 考 文 献

- 1 施俊法, 吴传璧. 70年代以来国外大型特大型矿床发现背景统计分析. 中国地质, 1998, (8): 40~42.
- 2 施俊法. 矿产勘查地球化学发展的基本态势. 中国地质, 1997, (6): 41~43.
- 3 吴传璧, 施俊法. 上置晕与物质的“类气相”垂向迁移. 地学前缘, 1998, 5(2): 185~194.
- 4 谢学锦. 论矿产勘查史——经验找矿、科学勘查与信息勘查. 地学研究(第29~30号). 北京: 地质出版社, 1997, 254~266.
- 5 谢学锦. 战术性与战略性的深穿透地球化学方法. 地学前缘, 1998, 5(2): 171~183.
- 6 Machenzie B W. Mineral exploration economics: focusing to encourage success. IN: Garland G D, ed. Proceedings of Exploration '87, Toronto: Queen's Printer for Ontario, 3~21.
- 7 Laznicaka P. Discovery of giant metal deposit and districts. In: Pei R F, ed. Proc. 30th Int. Geo. Congr. Energy and mineral resources for 21st century, geology of mineral economics. Holland: VSP, 1997, 9: 355~366.
- 8 Woodall R. Exploration: the life-blood of mining company the AusIMM Bulletin, 1996, Feb: 64~67.
- 9 Sillitoe R. H. Exploration and discovery of base-and precious-metal deposits in the circum-Pacific region during the last 25 years. Resource Geology Special Issue (Tokyo), 1995 (19): 1~109.
- 10 Meldrom S J, Aquino, Gonzales et al. The Batu Hijau porphyry copper-gold deposits, Sumbawa Island, Indonesia. In: Van Leeuwen T. M., Hedenquist J W, James L P, Dow j A S, ed. J. Geochem. Explor., 1994, 50: 203~220.
- 11 Wood D G, Porter R G, White N C. Geological features of some Paleozoic epithermal gold occurrence in northeastern Queensland, Australia. In: Hedenquist J W, White N C, Siddeley G, ed. Epithermal gold mineralization of the Circum-Pacific: Geology, Origin and exploration, II. J. Geochem. Explor., 1990, 36: 413~443.
- 12 Kristiansson K., Malmqvist L. Evidence for nondiffusive transport of Rn in the ground and a new physical model for the transport. Geophysics, 1982, 47(10): 1444~1452.
- 13 Kristiansson K., Malmqvist L. Trace elements in geogas and their relation to bedrock composition. Geoexploration, 1987, 24: 514~534.
- 14 Kristiansson K., Malmqvist L, Persson W. Geogas prospecting: a new tool in the search for concealed mineralizations. Endeavor, New Series, 1990, 14(1): 28~33.

A NEW EXPLORATION STRATEGY FOR GIANT DEPOSITS— INFORMATION EXPLORATION

Shi Junfa, Wu Chuanbi

(Chinese Institute of Geology and Mineral resource Information, Beijing 100037)

Key words: giant deposit, exploration strategy, information exploration, geochemical method

Abstract

The statistical data from 100 large or superlarge deposits outside China show that geological mapping, geochemical method and geophysical method and conceptual model played an important role in 77%, 74%, 34% and 23% of the discoveries, respectively. It can be concluded that direct information is the most reliable information. Under a certain condition, the transformation will take place between direct information and indirect information. Only when information indicates the distribution and presence of deposits can it play a role in mineral exploration. Integration and analysis of multiple disciplines seem to be the key to realize information exploration strategy.

Information exploration can be described as follows: We should pay attention to the buried deposits and the almost indiscernible deposits; exploration is guided by direct information (geochemical method) from strategic reconnaissance for reducing targets to tactical surveying for pinpointing drill sites until the giant deposit is discovered.