

·学术讨论·

# 隐伏矿勘查经验与启示

## ——从《信息找矿战略与勘查百例》谈起

施俊法, 唐金荣, 周 平, 金庆花, 李友枝, 朱丽丽

SHI Jun-fa, TANG Jin-rong, ZHOU Ping, JIN Qing-hua, LI You-zhi, ZHU Li-li

中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037

Development and Research Center, China Geological Survey, Beijing 100037, China

**摘要:**以大型隐伏矿床的发现历史为依据,系统地总结了隐伏矿勘查的经验与策略,并从矿产勘查哲学的角度进行了深入的思考。针对拟寻矿床的地质特征,抓住深部关键的地质因素,查明地球物理和地球化学特征与它们的对应关系,把地球物理和地球化学判据转化成找矿标志,是提高隐伏矿找矿效率的关键。成矿作用的分带现象是一个普遍的规律,对于指导隐伏矿预测和矿床深部勘探具有重要的意义。直接信息是矿产勘查最可靠的信息。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研究程度上两者可以转化。以直接信息为先导,实现从区域到局部的转变,使找矿迅速突破。必须充分重视各类方法的应用条件与前提,重视各种直接信息的挖掘与印证,加强各类方法的集成与综合。对于一个重要的成矿区(带)来说,随着地质研究与找矿工作的深入,需要不断地修订和调整勘查准则。矿产勘查投资是一种高风险、高效益的投资,是一项创造性很强的实践,集调查与研究于一体。矿产勘查不以研究“水平”论高低,而以“成败”论英雄;要看勘查的实效,而非理论的高深;要看是否见矿,而非勘查过程的简繁。经验与理论、科学与技术的交叉与融合是通向矿产勘查的成功之路。

**关键词:**隐伏矿; 勘查实例; 勘查策略**中图分类号:**P61;P62**文献标志码:**A**文章编号:**1671-2552(2008)04-0433-18

Shi J F, Tang J R, Zhou P, Jin Q H, Li Y Z, Zhu L L. Experience in exploration for buried deposits and its implications—discussed from Information-based Mineral Exploration Strategy and One Hundred Mineral Exploration Case Histories. *Geological Bulletin of China*, 2008, 27(4):433-450

**Abstract:** Based on the discovery history of large buried deposits, the authors summarize the experience and strategies in buried deposit prospecting and deliberate on them in the context of the mineral exploration philosophy. To improve the efficiency and effectiveness of prospecting for deep-seated buried deposits, the key geological factors at depths related to the geological characteristics of the prospecting deposits are illustrated by their corresponding relations to the geophysical and geochemical indicators, and the geophysical and geochemical criteria for ore deposits can be transformed into prospecting indicators. The direct information is the most reliable information of mineral exploration. Direct information is the most reliable information for mineral exploration. Direct information and indirect information are not distinguished according to disciplines, and the two kinds of information may be transformed mutually under certain conditions and on degrees of survey. Direct information is used as a guide to achieve transformation from the whole region to local areas step by step until a breakthrough in mineral exploration can be made rapidly. It is necessary to pay full attention to the application conditions and preconditions of various methods and attach importance to the extraction and confirmation of various kinds of direct information and strengthening the integration of diversified methods. For an important metallogenic province (belt), the exploration criteria need to be revised and adjusted constantly when geological research and prospecting deepen. Mineral exploration is

**收稿日期:**2007-12-10; **修订日期:**2008-01-25**基金项目:**国土资源部百名优秀青年科技人才基金和国土资源调查项目(编号:1212010561508)联合资助。**作者简介:**施俊法(1964-),男,博士,研究员,从事地质科技发展战略研究。E-mail:sjunfa@mail.cgs.gov.cn

an investment with both high risk and great benefits, also a highly creative practice which combines investigation with research. The success in mineral exploration is not judged by the "level" of research and the profundity of metallogenic theory or the simplicity or complexity and the exploration process, but by the actual results of exploration and whether new deposits are found. Integration between experience and theory and between science and techniques leads to the road to the success in mineral exploration.

**Key words:** buried deposit; exploration case history; exploration strategy

长期以来,随着露头矿寻找殆尽、找矿难度不断加大,寻找隐伏矿成为国内外急待解决的问题。早在20世纪80年代初,加拿大地质调查局J.Boldy<sup>①</sup>便指出,要“探测第三维(垂直)空间——在已采矿区地下150~1500 m深度勘查深部矿,开辟一个新的地质前沿”。据报道,1975—2004年间,在智利安第斯铜成矿带共有23个重大发现(超大型矿床),其中10处完全在无矿化覆盖层的岩石以下(也不含淋滤铁帽),有8处是1991—2004年间发现的盲矿床<sup>②</sup>。

同时,随着科学技术的发展,矿床的开发深度不断加大。目前,世界上最深的矿山是南非的兰德金矿,开采深度已超过4000 m;加拿大的萨德伯里铜镍矿,开采深度已超2000 m;中国辽宁的红透山铜矿,勘探深度达1300 m。这些勘查与开发成果清楚地表明,深部隐伏矿客观存在,不仅找矿具有巨大潜力,而且开发也能得以实现。

要解决矿产资源的瓶颈问题,寻找隐伏矿是必然的选择。国内外的经验均表明,只要敢于面对、勇于探索、科学部署,实现隐伏矿寻找的突破是大有希望的。笔者在编著《信息找矿战略与勘查百例》<sup>③</sup>的基础上,着重研究了国外33个大型超大型隐伏矿床的发现过程(表1),对隐伏矿的找矿工作进行了总结与思考。

在人类漫长的地质找矿历史中,实际上一直伴随着寻找隐伏矿的课题。露头矿和隐伏矿都是成矿系统的构成部分,只是二者相对于侵蚀截面的位置不同,有发现的难易之别。由于外生地质作用对成矿系统的风化剥蚀程度不同,各种后生产物对基岩中成矿系统的覆盖状况各异,便形成了不同产出类别的隐伏矿床。但是,所谓的出露与隐伏,实质上是就人们对找矿标志的观察能力而言的。在找矿历史的早期,人们能寻找或认识的是业已出露地表的矿体。随着对成矿环境及相关次生作用的认识不断深入,形成了找矿标志的概念,可以根据地表铁帽和上覆沉积物中的指示矿物等发现下伏矿体。进而,由于对控矿的地层、岩石、构造的深入了解和对成矿地质规

律、成矿分带的理解的升华,已经可以依据诸多地质标志的综合总结成矿模式,指导找矿方向,促进了众多矿床的发现。其中的许多矿床,就宏观地质标志的显露程度来说,似可视为露头矿,而就其实际的产出状况看,已经属于隐伏矿了。就勘查手段而言,物化探技术可以探查肉眼看不到的地下地质-构造特征,发现元素乃至原子结构层面的成矿信息,大大丰富了找矿标志的内涵和外延,为隐伏矿的勘查注入了新的活力。由此可见,从本质上说,隐伏矿勘查能力的提高,实际上是人们认识、获取、综合找矿标志的能力的提高。这就是我们从信息找矿战略出发思考隐伏矿勘查工作的由来。

信息找矿战略是一项系统工程,它不仅需要丰富的地质知识去认识和鉴别找矿标志,更需要用科学的方法论来组织和运用各类方法技术,才能充分地获取直接和间接的找矿信息,提高找矿效果。本文就找矿过程中的7个重要方面,总结出8个实施找矿战略的基本观点;依据所收集到的百个勘查案例,概括出10条认识性观点。欲借助于这些归纳,与读者共同探讨隐伏矿找矿的问题。

## 1 依据矿床产出条件,制定勘查程序

观点1:依据矿体(成矿系统)及其次生、后生产物相对于地表和侵蚀截面的产出状况,制定合理的勘查程序,提高隐伏矿找矿的整体效果

### 1.1 隐伏矿的分类

隐伏矿是一个广义的概念,包括多种多样的在地表没有矿体露头的矿床。国内外学者就其产出特征提出了多种分类方案<sup>④</sup>,大同小异,主要有“产出状况”和“产出深度”2种分类体系。现将其中有代表性的列举如下。

#### 1.1.1 以产出状况为主的分类方案

广义的隐伏矿床包括多种产出型式。例如,前苏联的舍赫特曼等<sup>⑤</sup>把未出露地表的矿床统称为隐伏矿床,并进一步划分为:①覆盖矿床;②掩埋(埋藏)

表1 近30年来世界重要隐伏矿或深部矿的发现过程

Table 1 Case histories of discovery of major buried or concealed deposits in the world for the last 30 years

| 序号 | 矿床名称                            | 国别   | 储量                                  | 品位                      | 覆盖物质           | 厚度/m         | 矿床发现简史   | 发现时间 |
|----|---------------------------------|------|-------------------------------------|-------------------------|----------------|--------------|--|------|
| 1  | 斯潘塞<br>Spence                   | 智利   | Cu 400×10 <sup>4</sup> t            | Cu 1.0%                 | 熔结凝灰岩          | 4~150, 平均 80 | 对位于智利北部第二重要的斑岩型铜矿带的“大草原”按网度系统钻探而发现的, 物化探没起作用   | 1996 |
| 2  | 加比苏尔<br>Geby Sur                | 智利   | Cu 468×10 <sup>4</sup> t            | Cu 0.52%                | 熔结凝灰岩          | 10~70, 平均 40 | 加比苏尔矿床是历时 5 年的系统区域勘查发现的。水系地球化学测量和航磁测量对选定靶区有所帮助。在地质填图之后, 钻探证实   | 1996 |
| 3  | 科亚瓦西<br>Collahuasi              | 智利   | Cu 2542×10 <sup>4</sup> t           | Cu 0.81%                | 火山凝灰岩 (半隐伏)    | 70           | 在地表, 通过对蚀变和淋滤铁帽的研究, 识别出罗萨里奥和乌希纳 2 个斑岩铜矿系统。后来, 对整个矿区的激发极化测量圈出了与 2 个斑岩铜矿系统一致的极化率和电阻率异常, 矿床被发现  | 1991 |
| 4  | 卡迪亚里奇韦<br>Cadia Ridgeway        | 澳大利亚 | Cu 42×10 <sup>4</sup> t<br>Au 133t  | Cu 0.77%<br>Au 2.46g/t  | 成矿后的中生代玄武岩     | 20~80        | 老资料的复查, 地质填图和取样, 以及对钻孔的重新测井, 确定该区是巨大的富金斑岩系统的一部分。依据磁法和激发极化法测量, 对卡迪亚里奇韦地区早期的钻孔进行定位, 对构造位置有利的目标进行广泛的深部钻探。后来证实矿体因埋藏太深, 不能产生地面地球物理响应                              | 1996 |
| 5  | 安塔帕凯<br>Antapaccay              | 秘鲁   | Cu 341×10 <sup>4</sup> t<br>Au 61t  | Cu 0.89%<br>Au 0.16g/t  | 成矿后的火山岩和冲积层    | 几米至 150      | 在已关闭的老矿山附近寻找砂卡岩型铜矿。初始的钻探主要是根据磁法和电磁法异常测量结果进行的, 以检查电导体和电阻体之间的接触带上有无砂卡岩的存在。结果, 先后打到了矿化的砂卡岩和闪长岩。后来, 为控制矿化砂卡岩的延伸, 在北安塔帕凯打到了细脉浸染状黄铜矿和斑铜矿。然后, 依据激发极化测量圈定了斑岩型铜金的矿化范围 | 1999 |
| 6  | 远东南<br>Far Southeast            | 菲律宾  | Cu 336×10 <sup>4</sup> t<br>Au 453t | Cu 0.73%<br>Au 1.24 g/t |                | <650         | 建立了低温浅成热液矿床与斑岩型铜金矿床的空间关系。依据该模型认为, 在勒班陀矿床的近东侧存在一个斑岩矿床, 且埋藏较深  | 1987 |
| 7  | 杰里特峡谷<br>Jerrit Canyon          | 美国   | Au 214t                             | Au 6.5g/t               | 无矿崩积物          | 不详           | 源于对文献调查和对铋矿的短期勘查。由于精细的地质观察和类比研究, 认识到产在沉积岩中的金矿具有巨大的潜力。依靠土壤地球化学和地质特征, 实现了找矿突破  | 1979 |
| 8  | 金坑<br>Gold Quarry               | 美国   | Au 450t                             | Au 1.5g/t               |                | 120~180      | 根据地质填图和土壤化探, 大胆使用钻探, 再加上一些运气   | 1979 |
| 9  | 孤树<br>Lone Tree                 | 美国   | Au 127t                             | Au 2.43g/t              | 砾石层和冲积层        | 隐伏 120       | 为了检验一个概念模型, 即查证该覆盖区是否是 2 条明显构造带的交会处, 且被有利的岩石所覆盖, 后来钻探验证该概念是不正确的。但钻探确定了该矿床的南部 (石房部分), 接着打的扩边钻又圈定了孤树山以西的更大的北部。化探和物探在该矿发现的过程中没起作用                               | 1989 |
| 10 | 阿基米德<br>Archimedes              | 美国   | Au 25.5t                            | Au 5.1g/t               | 冲积层            | 150          | 对老窿的岩屑取样, 发现有金矿化, 依靠先进的地质模型和“扩边”钻探, 实现找矿突破   | 1988 |
| 11 | 帕普莱恩<br>Pipeline-South Pipeline | 美国   | Au 256t (南帕: 111t)                  | Au 3.2g/t (1.6g/t)      | 砾石层            | >180         | 钻探再多加上一运点运气, 是该矿床的主要勘查方法   | 1991 |
| 12 | 梅斯基特<br>Mesquite                | 美国   | Au 107t                             | Au 1.13g/t              | 第四系和新近系、古近系沉积岩 | 几十至 60       | 出露的低品位金矿化在广泛分布的冲积覆盖层下面可能是连续的, 随后进行了大范围的钻探以检验该假设。在开采期间继续进行的勘探钻进又获得了新的发现   | 1984 |
| 13 | 维多利亚<br>Victoria                | 菲律宾  | Au 133t                             | Au 7.71g/t              | 隐伏             | 350          | 是对与其紧邻的截然不同的 2 个矿体 (勒班陀高硫化和远东南斑岩型铜-金矿体) 进行钻探发现的。钻探的目的是追索该矿发现前 25 年就有记载的 2 个品位高的金脉带。发现过程中未使用物化探   | 1996 |

续表 1

| 序号 | 矿床名称                | 国别   | 储量  | 品位   | 覆盖物质          | 厚度/m    | 矿床发现简史  | 发现时间 |
|----|---------------------|------|---|--|---------------|---------|---|------|
| 14 | 贝拉德罗 Veladero       | 阿根廷  | Au 585t<br>Ag 9231t   | Au 1.58g/t<br>Ag 23.5g/t                                 | 岩石            | 30~150  | 地质(构造和蚀变)、化探和物探三者结合确定了一个统一的大异常带。CSAMT 方法对在贝拉德罗区确定含金硅质岩具有特殊价值  | 1999 |
| 15 | 斯卡德尔斯 Scuddles      | 澳大利亚 | Zn 96×10 <sup>4</sup> t<br>Cu 21.6×10 <sup>4</sup> t  | Zn 8%<br>Cu 1.8%   | 盲矿            | 120     | 研究了该矿以南 4km 处地表地质填图发现的铁帽山矿床,在此基础上,以成矿理论为指导,利用航磁测量发现了靶区,然后依据地面磁测和土壤化探,进一步确定了异常的存在,钻探验证了该矿床的存在  | 1979 |
| 16 | 埃洛伊丝 Eloise         | 澳大利亚 | Cu 17.1×10 <sup>4</sup> t   | Cu 5.5%  | 泥质砂砾层         | 50~70   | 采用高精度的航磁测量圈出了一些中、高强度的磁异常,随后借助地面磁测和地面瞬变电磁法确定矿化的大致位置,有目的地布设钻孔。在已打的钻孔中进行井中瞬变电磁测量,将实测的瞬变电磁曲线与理论模拟的瞬变电磁曲线进行对比分析,以确定钻孔的见矿部位,推断出矿体的倾向和延伸,准确地圈定出了矿床 | 1986 |
| 17 | 奎河 Que River        | 澳大利亚 | Zn 48×10 <sup>4</sup> t<br>Pb 27×10 <sup>4</sup> t<br>Ag 496t<br>Au 11t                                 | Zn 11.6%<br>Pb 6.6%<br>Ag 121g/t<br>Au 2.7g/t            | 盲矿            | 平均 75   | 在最初的地质普查工作中,首先进行了区域物化探测量,将区域水系沉积物异常与航空电磁异常综合起来分析研究,使勘查工作由整个面集中到特定的目标,进而采用土壤测量和地表电磁法测量,确定了矿体的位置  | 1974 |
| 18 | 赫利尔 Hellyer         | 澳大利亚 | Cu 6.76×10 <sup>4</sup> t<br>Zn 233×10 <sup>4</sup> t<br>Pb 122×10 <sup>4</sup> t<br>Au 42t<br>Ag 2822t | Cu 0.4%<br>Zn 13.8%<br>Au 2.5g/t<br>Pb 7.2%<br>Ag 167g/t | 盲矿            | <150    | 在奎河矿床发现后,在已知矿体上试用 UTEM 电磁法,发现能探测到更深的矿体,因此,在该区用该方法进行扫面发现了较好的异常,加之在该区架电线时挖出了矿化露头,从而确定了钻探靶区  | 1983 |
| 19 | 欧内斯特亨利 Ernest Henry | 澳大利亚 | Cu:140×10 <sup>4</sup> t<br>Au:70t  | Cu:1.14%<br>Au:0.55%                                     | 厚层黑色土壤,显生宙砂砾区 | 40~50   | 以简单实用的矿床经验模型为指导,通过物探和地质驱动的勘查计划的实施而见成效的  | 1991 |
| 20 | 东阿瓜斯-田尼达斯 AET       | 西班牙  | Cu:29.7×10 <sup>4</sup> t<br>PbZn:97.2×10 <sup>4</sup> t  | Cu:1.1%<br>Zn:2.8%<br>Pb:0.8%                            | 盲矿            | >300    | 在对地面瞬变电磁异常无法解释后,作井中瞬变电磁法,并对其结果加以解释和查证,见矿之后,用充电法有效地确定了矿化的范围和走向   | 1985 |
| 21 | 内维斯-科尔沃 Neves-Corvo | 葡萄牙  | Cu 3013.5×10 <sup>4</sup> t<br>Pb-Zn 326.4×10 <sup>4</sup> t  | Cu:7.81%<br>Zn:1.33%<br>~5.72%                           | 盲矿            | 350     | 以重力异常筛选靶区,不断修正地质、地球物理模型,并最终验证模型而发现矿床  | 1977 |
| 22 | 坎德拉里亚 Candelaria    | 智利   | Cu 395×10 <sup>4</sup> t<br>Au 95t  | Cu 1.08%<br>Au 0.26%                                     | 灰岩;部分在冲积层之下   | 50      | 3 条激发极化剖面,圈定出一个中等强度的极化率异常验证发现了该矿的北部。随后,对矿带按一定网度进行钻探。同时在全区进行偶极-偶极激发极化测量和地面磁测,两者都获得了大片异常,发现了矿床南部。运气是一个重要因素                                    | 1987 |
| 23 | 坎宁顿 Cannington      | 澳大利亚 | Pb Zn:717×10 <sup>4</sup> t<br>Ag 22160t  | PbZn:12.6%~16.4%<br>Ag 310~540g/t                        | 白垩纪和现代沉积物     | 10~60   | 在澳大利亚内围层东部,从概念出发,对一个牛眼状航磁异常进行钻探检查发现的  | 1990 |
| 24 | 阿布拉 Abra            | 澳大利亚 | Pb 360×10 <sup>4</sup> t<br>Ag 1200t<br>Au 19.5t  | Pb 1.8%<br>Ag 6g/t<br>Au 0.13g/t                         | 碎屑岩           | 230~450 | 是依据一致的磁异常、重力异常的圈定和精细的模拟解释得以发现的  | 1981 |
| 25 | 里申 Lisheen          | 爱尔兰  | Zn 253×10 <sup>4</sup> t<br>Pb 42×10 <sup>4</sup> t<br>Ag 572t  | Zn 11.5%<br>Pb 1.9%<br>Ag 26g/t                          | 盲矿            | 100~200 | 以成矿模型为指导,依据激发极化和土壤化探异常圈定靶区  | 1990 |

续表 1

| 序号 | 矿床名称                         | 国别   | 储量                                 | 品位                                | 覆盖物质   | 厚度/m      | 矿床发现简史  | 发现时间      |
|----|------------------------------|------|------------------------------------|-----------------------------------|--------|-----------|---|-----------|
| 26 | 福蒂蒂尤德<br>Fortitude           | 美国   | Au 72t<br>Ag 254t                  | Au 6.96g/t<br>Ag 24.7g/t          | 不含矿沉积岩 | 45~110    | 在矿区附近,钻孔打到了富含磁黄铁矿的含金硫化物矿化,从而在该岩株北边开展了地面磁法和电磁法测量。结果显示出一个明显的磁力高,然后用一个垂直钻孔验证最高磁异常值,在109m处无矿岩石的下面打到了23m厚的矿化           | 1989      |
| 27 | 波戈<br>Pogo                   | 美国   | Au 175t                            | Au 17.8g/t                        | 盲矿     | 120       | 在水系沉积物地球化学测量发现异常之后,利用土壤地球化学测量进一步缩小靶区  | 1998      |
| 28 | 维克多<br>Victor                | 加拿大  | 矿石 460×10 <sup>4</sup> t           | Cu:7.3%<br>Ni:2.25%<br>Pt:11.3g/t | 盲矿     | 2430      | 深钻加井中瞬变电磁法  | 1991      |
| 29 | 东麦克瑞迪<br>McCreedy East       | 加拿大  | 矿石 680×10 <sup>4</sup> t           | Cu:9.9%<br>Ni:0.9%                | 盲矿     | 1520      | 深钻加井中瞬变电磁法  | 1990      |
| 30 | 克瑞顿<br>Creighton             | 加拿大  | 不详                                 | Cu:1.98%<br>Ni:6.86%              | 盲矿     | 2190      | 深钻加井中瞬变电磁法、大地电磁法和高频地震反射法  | 1991-1992 |
| 31 | Nickle Rim South             | 加拿大  | 矿石资源量 1370×10 <sup>4</sup> t       | Ni:1.7%<br>Cu 3.6%<br>Au 0.8g/t   | 盲矿     | 1200~1750 | 采用新的勘查战略,在萨德里盆地边缘杂岩体底部寻找高品位的埋藏不甚深的“接触带”型矿床,特别是底板型,通过三维建模,加上钻探的帮助,发现了矿床  | 2004      |
| 32 | 显山<br>Prominent Hill         | 澳大利亚 | Cu:150×10 <sup>4</sup> t<br>Au:80t | Cu 1.6%<br>Au 0.6g/t              | 沉积盖层   | 100       | 钻探验证较微弱的区域重力异常和较明显的航磁异常   | 2001      |
| 33 | 科特兹山<br>Cortz Hills Pediment | 美国   | Au:270t                            | Au:9.5g/t                         | 盲矿     | 45~170    | 根据踏勘填图和采样分析所得的认识,以及物化探所提供的数据,建立二维和三维模型。在一重力低区有一明显的重力高区,且其间的重力等值线颇密。在此布了一孔,以验证这一重力反差是否代表蚀变。后来,围绕该孔打了13个孔,证实了矿化的连续性 | 2002      |

注:1~27引自参考文献[2],28~30引自[18],31~33引自[11]

矿床;③掩覆矿床;④隐伏矿或盲矿床。池三川<sup>[9]</sup>依据矿体是否产在基岩内部(未出露)、基岩上方的覆盖情况,将隐伏矿分为4类:①盲矿体;②覆盖盲矿体;③埋藏矿体;④埋藏盲矿体。

本文根据现已发现的矿床的产出特征作如下分类(图1)。

(1)露头矿(A):矿体及其直接宏观标志出露于现今地表。

(2)掩伏矿(B):矿床形成后曾出露地表,后来又被厚层疏松的沉积物所覆盖。这类矿床也常被称为“掩埋矿”或“埋藏矿”。例如,美国卡林金矿带曾出露于地表的孤树、阿基米德、帕普来恩等矿床,均被后来的冲积层或砂砾层所覆盖。

(3)覆盖矿(C):矿床曾被侵蚀作用所揭露,但

后来被时代年轻的基岩层所覆盖。狭义的隐伏矿通常即指这种产出状况的矿床。例如,智利的斯潘塞、加比苏尔、科亚瓦西等斑岩铜矿床曾出露于地表,后被熔结凝灰岩覆盖。澳大利亚卡迪亚里奇韦矿床出露地表后,又被成矿后的中生代玄武岩覆盖。

(4)盲矿(D):位于基岩内部,从未被侵蚀出露,一般深度较大。例如,葡萄牙内维斯-科尔沃块状硫化物矿床和加拿大东麦克瑞迪、克瑞顿铜镍硫化物矿床。

(5)半隐伏矿或半掩埋矿(E):同一矿床的部分矿体或大部分矿体隐伏或掩埋于地下深处,部分出露于地表。

此外,因产出关系的组合,还有掩埋-盲矿(F)、掩埋-覆盖矿(G)等产出类型。

### 1.1.2 以产出深度为主的分类方案

刘家远等<sup>[3]</sup>援引前苏联B.B.阿里斯托夫等的资料将隐伏矿床分为盲矿、埋藏-盲矿、埋藏矿,并按上覆层的平均深度分为近地表的(小于30 m或30~100 m)、中深的(100~300 m)、深埋的(300~1000 m)、超深的(大于1000 m)4类。

根据矿床离地面的深度,可将隐伏矿分为以下几类。

(1)浅部隐伏矿:产出深度为0~300 m。这个深度相对较浅,使用一般的物化探方法便能探测出来。

(2)较深部隐伏矿:产出深度为300~500 m。矿产勘查的难度明显加大,中国矿产资源开发深度平均在350 m左右。

(3)深部隐伏矿:产出深度为500~2000 m。在这个深度范围内,传统的地表勘探方法难以奏效。

在国内,一些专家把0~500 m深度范围称为第一深度找矿空间,500~2000 m称为第二深度找矿空间<sup>[4]</sup>。

### 1.2 隐伏矿的勘查程序

由于隐伏矿的产出状况不同,勘查方法的适用性和效能也会不同,欲获得最佳的找矿效果,就需讲求恰当的方法组合及勘查程序。大体可分成3种情况。

(1)盲矿勘查:盲矿的勘查难度是最大的,到目前为止,主要是在已知矿区的开发勘探中,依靠对控矿规律的深入了解和正确把握,借助地表和深部地质、物化探资料的针对性采集,建立相应的找矿模型,取得找矿成功;在面积性普查和区域性找矿中,只利用各种地表资料和间接找矿标志找到盲矿的实例尚属罕见。因此,应把盲矿勘查列为一种特殊的程序,主要在对已知矿床的“探底摸边”中采用,已形成了一套可用的勘查程序(图2)。

(2)出露区和半掩蔽区的隐伏矿勘查:据已有经验,出露区指基岩出露地表的地区,包括原地风化产物和异地覆盖物厚度不大于1~3 m的地区。在这里,隐伏矿的各种近地表的找矿标志能比较可靠地查明,化探优势能充分地发挥,物探(甚至遥感)技术能有效地应用,宏观地质控矿要素能准确地确定,已有的区域找矿和局部找矿经验能最大程度地发挥作用。半掩蔽区指与出露区毗邻或相间的浅覆盖区,原地和异地覆盖物的厚度较小,一般不超过10~30 m。

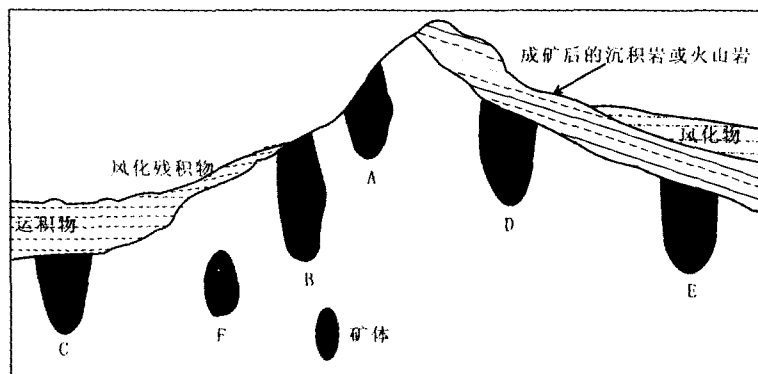


图1 矿体产出类型示意图

Fig.1 Diagram of the occurrence types of orebodies

A—露头矿;B—掩埋矿;C—覆盖矿;D—盲矿;E—半隐伏矿或半掩埋矿;  
F—掩埋-盲矿;G—埋藏-覆盖矿

在这里,矿体及其成矿系统的标志或踪迹尚可在近地表查明,覆盖层对深部成矿信息的屏蔽还没有完全阻止一些常规找矿方法的运用,出露区的找矿经验和勘查程序尚能借鉴和采用。在这2类地区,对矿床的存在、分布有确切的、必然的、直接的指示意义的信息和对矿床的存在、分布有关联的、概率的、间接的指示意义的信息,均可借助各种勘查方法不同程度地查明,直接找矿和间接找矿的策略可以综合运用,构成了一套包括寻找隐伏矿、半隐伏矿在内的找矿程序(图3)。

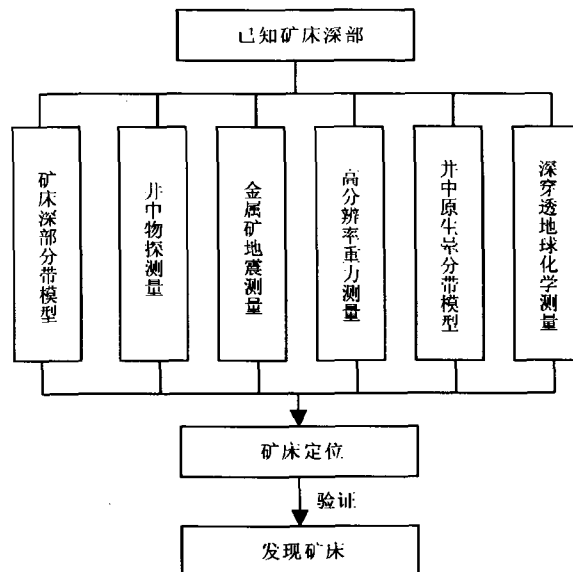


图2 已知矿床深部盲矿的勘查程序

Fig.2 Exploration procedure for known deeply buried deposits

(3)掩蔽区隐伏矿勘查:通常,掩蔽区指被厚层(数十米至百米以上)异地运积物广泛而连续覆盖的地区(亦称覆盖区)。在这里,基底的地质构造特征用一般的地质方法已无法观测,基岩中的成矿信息被严重乃至完全屏蔽,常规的地质找矿方法难以施展,只有某些探测深度大、观测精度高的物探方法和一些深穿透地球化学方法<sup>[7]</sup>才能获取到某些可用的找矿信息。虽然科学技术的不断进步和找矿经验的持续积累为这些方法的找矿应用开辟着道路,但仍处于实验和探索阶段。掩蔽区找矿在技术上、经济上都面临着很多难题,尚未形成可行和通用的勘查程序。

## 2 研究控矿地质因素,确定找矿标志

观点2:在区域性勘查中,针对拟寻矿床的地质特征,抓住深部关键的地质因素,查明地球物理和地球化学特征与矿床的对应关系,把地球物理和地球化学判据转化成地质找矿标志,是提高隐伏矿找矿效率和效果的重要途径

区域化探资料在找矿中的作用尽为人知,矿床地球化学特征与地质特征的相互关系也有许多较成熟的研究方法。本文仅就地球物理特征向地质标志的转化举几个实例。

(1)卡林型金矿——用区域性重磁资料查明与矿有关的深部岩体与构造。大量研究表明,美国内华达州卡林金矿带的矿床与深部隐伏的深成花岗岩体和大型断裂系统有关,矿床往往产在花岗岩体与围岩的边界上。由于该区露头较少,圈定隐伏岩体成为找矿突破的一个关键地质问题。在诸多勘查方法中,航磁和重力法可有效地圈定深部花岗岩的空间展布范围。美国地质调查局主要根据磁测数据编制了内华达深成花岗岩体分布图(图4)。由此推断出了深成岩体的边界、成分和时代。通过对比研究发现,大多数已知的浸染型金矿床靠近计算出的磁化强度界面或推断的深成岩边界(图4)。根据磁测结果推断出了与卡林型金矿有关的花岗岩侵入体的分布范围<sup>[8]</sup>。

(2)萨德伯里铜镍矿——用反射地震和重力资料确定含矿杂岩体底部的界面。加拿大萨德伯里矿区现已扩展成为一个长轴60 km、短轴27 km的扁环形矿带,已发现50多个矿床。镍金属潜在资源量超过 $1000 \times 10^4 \text{ t}$ ,成为世界上最大的铜镍矿产地。萨德伯里的铜镍矿化和萨德伯里火成杂岩体(SIC)密切相关,一般认为SIC是由大型陨石撞击而成的。矿化正好产在SIC与围岩的界面上。查明萨德伯里盆地SIC底面的深度(界线)是实现该区深部找矿突破的一个关键地质问题。由于SIC的底界深度颇大,综合应用反射地震和重力测量才能解决这一问题<sup>[9-10]</sup>。

地震成像表明,萨德伯里构造的深部明显不对称。在北半部,反射地震剖面反映出了花岗岩-苏长岩和苏长岩-底板岩石的界面,证明萨德伯里的北山由向南缓倾的(25~30°)底板片麻岩、SIC及沉积岩层组成,叠加的构造起伏不大。高频反射地震的结果发现,在盆地中心之下构造型式发生着变化,靠近SIC中轴的沉积岩层和SIC的上层被断层截断,而底板片麻岩和SIC的铁镁质岩单元则继续向南倾,在盆地中心深达4.5 km,到南山之下达10 km。南山的地震成像以陡北倾和南倾( $\geq 45^\circ$ )反射面为主,有些南倾反射面向上投影到南山剪切带上,其他反射面

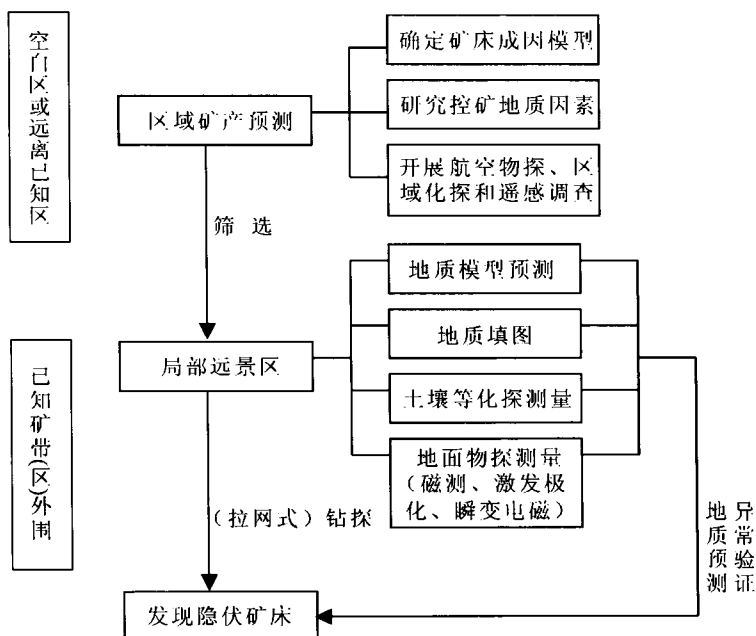


图3 出露区、半掩蔽区隐伏矿的勘查程序

Fig.3 Exploration procedure for concealed deposits in outcrop areas and half-buried areas

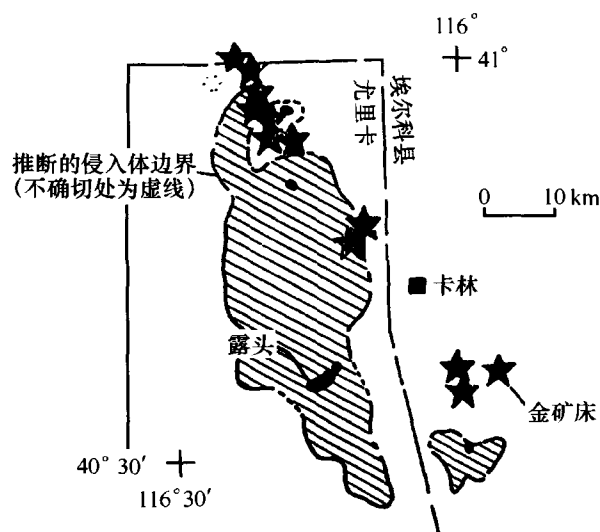


图4 卡林矿床附近与金矿有关的花岗岩的分布<sup>[4]</sup>

Fig.4 Distribution of granite related to gold deposits in the vicinity of the Carlin-type deposit

解释为单个的主剪切带或断层带。在这些剪切带或断层带上,岩性单元产生了叠瓦作用,而萨德伯里构造在北西—南东方向上发生明显的缩短作用。在萨德伯里构造的南缘附近,明显的近地表北倾反射面很可能来自苏长岩—花斑岩界面(图5)。

根据上述思路,依据地震方法在盆地内确定了杂岩体的底界,通过三维地质模拟,加上井中物探,发现了一批矿床,其中最为重要的是2002年发现的大而富的Nickel Rim South矿床<sup>[11-12]</sup>。

### 3 依据矿床分带模型,预测深部矿化

观点3:成矿作用的分带现象是一个普遍规律,从与矿体伴生的元素组分分带和浓度分带,到不同矿种、不同类型矿床的成矿分带,都是分带规律的客观反映。利用成矿作用的分带特征指导隐伏矿预测和深部勘探具有重要意义

从不同层面和角度研究和利用分带规律,是提高隐伏矿勘查效果的重要途径。就成矿模型的研究来说,初期的研究主要针对某个类型甚至某个矿床进行,不太注意它们之间的成矿联系。近10多年来,人们越来越关注相关矿种和类型的矿床之间的分带关系,建立了一系列视域开阔、内涵新颖的成矿模型,在理论和思路上为隐伏矿的勘查拓宽了道路。下面的几个例子具有一定的代表性。

#### 3.1 太古宙脉状金矿床的地壳连续成矿模式

长期以来,人们对太古宙绿岩带金矿的研究主要集中于绿片岩相和低角闪岩相变质岩中的中温(250~400℃)热液金矿。20世纪80年代后期以来,相继在津巴布韦、澳大利亚等太古宙麻粒岩相岩石中发现了若干高温(>700℃)热液脉型金矿床,同时在次绿片岩相岩石中也发现了一些低温(<180℃)热液脉型金矿床。这些发现大大改变了人们以往的认识,修正了人们的一些传统观念。于是,澳大利亚的Groves<sup>[13]</sup>在总结前人研究的基础上,于1992年提出了太古宙脉状金矿床的地壳连续成矿模式(图6)。该模

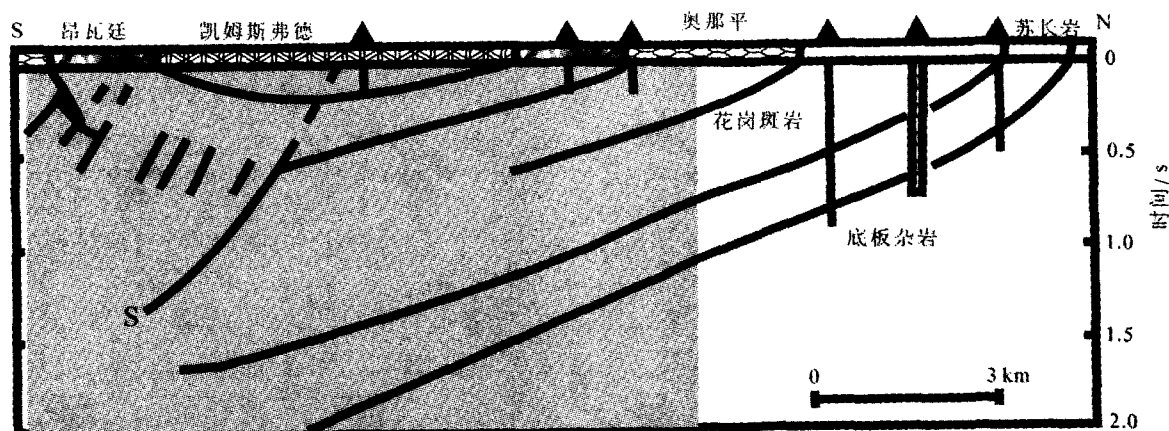
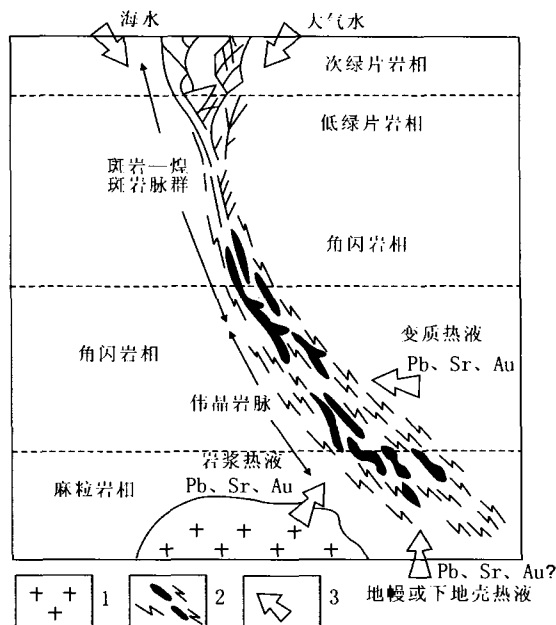


图5 测线41解释地震剖面<sup>[4]</sup>

Fig.5 Seismic interpretation section of line 41

S标志层由层状地带(北部)向形变地带(南部)过渡;实心黑三角表示孔位



图6 太古宙脉状金矿床的地壳连续成矿模式<sup>[13]</sup>Fig.6 Crustal continuum model for  
Archean lode gold deposits

1—花岗质侵入体;2—含矿构造带;3—矿液运移方向

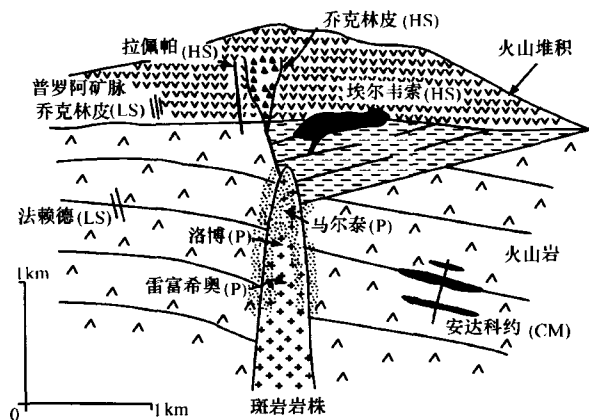
型认为,从次绿片岩相到角闪岩相、再到麻粒岩相的变质岩中都有脉状金矿产出,在不同的垂向深度上可连续形成金矿,至少涉及15 km以上的地壳剖面。产在不同变质岩中的金矿床属于一组连续的同成因的矿床组合。但这3类不同变质相中的金矿在成矿构造条件、围岩蚀变组合、矿石矿物组合、金的赋存状态等方面均有区别。这一模式并非反映同一矿区内的金矿化垂向分布,而是概括地反映了区域范围内一系列金矿床的分布特征。

### 3.2 斑岩铜矿与低温浅成热液矿床叠置模型

根据对美国、菲律宾、巴布亚新几内亚、前南斯拉夫、匈牙利等地斑岩型铜矿床的研究,英国矿床学家Sillitoe<sup>[14]</sup>指出,在火山岩区的许多斑岩型铜矿系统的高部位,多发育有浅成热液贵金属矿脉和含硫砷铜的块状硫化物矿脉;它们发育在上部泥化蚀变带内,是斑岩铜矿系统上部火成岩段的一个组成部分,共同构成火山岩区的热液系统;在大量硫砷铜矿脉之下可能有斑岩型铜矿的存在。例如,在菲律宾勒班陀含砷铜矿-金矿脉下方就发现了超大型的远东南斑岩型铜矿床。

图7为西利托<sup>[15]</sup>对智利金(铜)矿床分布的总结。该模型的实质是,智利的高硫化浅成低温热液型金矿化往往发育在以侵入体为中心的斑岩型矿化的上方,低硫化浅成低温热液型矿床及更深部位的接触交代型、脉型金矿床则产在斑岩型矿化的边缘部分(图7)。

关于套叠模式的成因,过去认为是在接近火山岩的地区古地表的地温陡然变化的结果。但这种解释不能令人信服地说明,在与俯冲作用有关的火山-深成弧中发育的许多金矿床和贱金属矿床中,为何存在浅部低温热液矿床和次火山型蚀变、矿化明显套叠的现象。西利托<sup>[15]</sup>通过广泛研究各类矿床的套叠模式,提出了“火山剥蚀和塌陷”是以侵入体为中心发生矿床套叠的成因。该观点认为,斑岩岩株内及其周围的热液持续的时间可长达1 Ma,在某些系统内长达2~3 Ma;而单个侵入体只需10~100 ka即可冷却。这一数据说明,成矿作用过程中有足够的时间使火山岩遭受侵蚀。显然,陡峭地形的山区剥蚀速度大于平缓地区。据估计,前者是后者的10倍,平均速度为1 m/1000 a。地震引起的滑坡作用是破坏地形的最主要形式。地震事件、喷发活动、高层位的岩浆侵入及其他原因的瞬间重力滑坡会导致扇形塌陷或破火山口的塌陷,从而形成套叠的蚀变矿化系统。从成矿作用来看,套叠作用是很重要的,因为2种或更多种矿

图7 智利若干典型金矿床相对于理想化  
斑岩系统的产出位置<sup>[14]</sup>Fig.7 Occurrence location of some typical gold deposits  
in Chile relative to that of the idealized porphyry system  
图中乔克林皮金矿的关系部分是推测的。CM表示接触  
交代型;HS表示高硫化低温热液型;LS表示  
低硫化低温热液型;P表示斑岩

化环境产物的叠加会生成新的特大型矿床。在以侵入体为中心的系统中,套叠作用可导致早期沉淀的金属受到热液淋滤,发生再富集。从矿床的空间分布来看,套叠模式揭示了斑岩型金矿床与低温热液型金矿床的空间关系,同时将两者的成因统一起来。

在寻找以侵入体为中心的矿化系统时必须考虑这种套叠模式,尤其在勘查高硫化的低温热液矿床时更应注意。套叠作用的野外证据有:①斑岩侵入体和(或)晚期岩浆玻璃质石英网状细脉(最初是作为钾硅酸盐矿物组合的一部分生成的)上叠加有高级泥质蚀变矿物组合和高硫化矿物组合;②保存火山残余物。在智利地区容易识别出扇形塌陷。在野外缺少地貌证据的情况下,岩屑崩落和(或)由此形成的含矿蚀变、矿化岩块的爆发产物表明,扇形塌陷影响矿化套叠的热液系统的上部。

根据这一套叠模式,推断在菲律宾宾勒班陀低温浅成热液铜金矿床下方存在一个斑岩矿床,且埋藏较深<sup>[2]</sup>。深钻探很快证实了远东南矿床的存在。据称,中国福建紫金山矿床的上金下铜也属于这一模式。因此,在低温浅成矿床下方(一般在旁侧)要注意寻找深部斑岩型矿床。

### 3.3 喷气沉积型(Sedex型)铅-锌矿床与网脉状铜矿在空间上的互存现象

Sedex型铅-锌-银矿床是世界上最重要的铅-锌矿床类型,占世界铅、锌储量的1/3以上。据戴自希等<sup>[16]</sup>报道,该类型矿床往往与脉状、网脉状铜矿在空间上相伴产出。古巴西部就有侏罗纪的喷气沉积型铅-锌矿床,在区域内既有层状的Sedex型铅-锌矿床,又有网脉状的铜矿,有的矿床上有Sedex型铅-锌矿,下有网脉状铜矿。世界其他地方也有与铜矿伴生的Sedex型铅-锌矿床,如澳大利亚的芒特艾萨(Mount Isa)矿床、加拿大塞尔温盆地的托姆(Tom)矿床、德国的腊梅尔斯伯格(Rammelsberg)矿床、中国内蒙古的霍各乞和炭窑口矿床等。这种矿床类型之间的相互关系为开展区域找矿提供了有益的思路<sup>[16]</sup>。

## 4 以直接信息为先导,揭示矿化分布

观点4:直接信息是矿产勘查最可靠的信息,应起先导作用

统计资料表明,“找矿人”和“传统”找矿阶段发

现的大型、超大型矿床数量占已知(12种金属)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最直接、最可靠的信息——矿化露头。就是到了现代矿产勘查阶段,地表露头或人工露头仍然是矿产勘查的关键证据<sup>[2]</sup>。例如,澳大利亚赫利尔块状硫化物矿床、爱尔兰纳凡铅锌矿,都是在系统的勘查过程中确定了矿化远景,但对打钻验证还犹豫不决,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。芬兰最重要的哥打拉赫蒂硫化镍矿床,是20世纪50年代修公路开出一个路堑,发现了成矿信息,后来进一步工作发现的。世界上最大的南非维特瓦特兰德金矿田的主要含金砾岩富矿层,是2位农民在100多年前为一农场主盖房时发现的。加拿大的赫姆洛金矿区,距该国的重要公路只有一箭之地,实际上在20世纪50年代修公路时就横切了一条金矿带,但一直未能辨认出来,到1981年才据之发现了金矿。就是到了20世纪90年代,这类直接信息依然在矿床发现中发挥着关键的作用。例如,1993年发现的加拿大世界级沃伊塞湾镍铜钴矿床,在勘查工作开始实施区域化探取样的过程中,找矿人便在直升机上看到了地表岩石锈蚀的情况,然后在沃伊塞湾西北侧检查出一些矿化露头,见到了黄铜矿细条带穿插的辉长岩,并追索出一条长约500 m、宽40~80 m的矿化带,这就是该矿床发现的最初前兆。1997年3月台湾报道,1996年在北宜快速道路隧道内距礁溪出口1100 m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<sup>[17]</sup>。

在《信息找矿战略与勘查百例》中,笔者统计了100个矿床发现的关键因素,其中地表地质填图与化探方法在矿产勘查中起作用的比例最大,分别占77%和69%<sup>[2]</sup>。那里所说的地质填图主要是指野外矿化露头的追索,它获取的是直接信息。化探方法主要依据拟寻找矿种的指示元素(如以金找矿战略)勘查隐伏矿床。因此,地质填图和化探方法提供的信息主要是直接信息。物探方法对于块状硫化物矿床的勘查起作用的占100%,这是因为块状硫化物矿床的物性极为敏感,实际上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。因此,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到先导的作用。

观点5:直接信息和间接信息不是以学科划分的,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

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2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。矿化露头、矿化蚀变、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、概率的、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<sup>[7]</sup>。

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,以He、Rn、CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>,甚至Hg等为指标的气测化探方法提供的就是间接信息。在测区地质条件比较理想的情况下,有效的传统化探方法所提供的信息基本上是直接信息,但由岩性和景观条件引起的“假”异常(非矿异常)就不应再视为找矿的直接信息了。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或缺的直接信息<sup>[7]</sup>。

在已知矿床和找矿靶区的勘探过程中,最有条件也最有可能获取到隐伏矿存在的直接信息。除可直接证实有矿化存在的地质信息和地球化学信息外,借助钻孔等探矿工程进行井中物探和物性研究,往往能把地球物理特征转换成直接的地质信息,从而大大强化了深部找矿的技术手段。实际找矿工作中以下几方面的经验可以说明这一点。

#### (1)直接实施“野猫钻探”或深部钻探取样分析

根据地质分析,在已知矿床外围(尤其在外围覆盖区)开展拉网式钻探,获取直接的矿化信息,有时会直接实现找矿突破。典型的实例是智利的斯潘塞斑岩铜矿床,该矿床是在对智利北部第二重要的斑岩型铜矿带所处的“大草原”进行按网度系统钻探的过程中发现的<sup>[2]</sup>。美国卡林金矿带的帕普帕莱恩矿床也是在已知矿床外围的覆盖区直接钻探的

结果<sup>[2]</sup>。当然,在开展拉网式钻探之前,需要从区域成矿带的角度深刻地认识该矿床的特征。

由于覆盖层较厚,地表化探工作效益常常不佳。国外常常通过深部钻探取样、化验获取深部的矿化信息。例如,澳大利亚古努姆布拉斑岩型铜-金矿床,最初采用的是螺旋钻取样,后来采用了回转空气鼓风钻取样。连续而系统的勘探及对该区高质量的地质、地球化学分析导致了该矿的发现。

#### (2)矿床原生晕轴向分带序列及其深部矿化预测

矿床原生晕轴向分带序列是预测深部隐伏矿的有效工具。矿床原生晕地球化学模型不仅是简单的元素分带模型,而且包含深刻的矿床成因、矿石建造、矿物地球化学的内涵。该类模型揭示的规律和建立的相应方法论,不仅适应于原生晕的解释和某些类型单矿体(矿床)的研究,而且适用于多种次生地球化学异常的解释和各种与热液有关的矿床类型、更大尺度成矿客体的研究。因此,对于已知矿床的原生晕地球化学分带序列进行研究,并与标准的地球化学分带序列相比,有助于揭示深部矿体是否存在。当矿体在垂向上不连续分布或呈雁行式排列时,根据矿床的原生晕分带指数等指标,也可以有效地揭示出来。在这方面,中国和俄罗斯具有大量的研究实例和成果。

根据格里戈良<sup>②</sup>的资料,用他们研制的原生晕法评价了2000多个地段的矿化远景,只有约100个异常地段被认为有盲矿和弱侵蚀矿远景,无远景异常地段的剔除率为95%。对远景异常地段中的85个异常实施了探矿工程,其中75个见矿,成功率达88%。对无远景地段中的37个异常进行验证,尽管在地表都有达到工业参数的矿化,但验证结果表明,它们无一例外全是深侵蚀矿化,深部没有工业矿体。

这些资料表明,地球化学原生晕的这套研究方法应在隐伏矿找矿,包括在已知矿周围“探边摸底”中很好地推广应用。

#### (3)井中地球物理信息与深部矿化预测

钻孔地球物理方法可获取钻孔周围和底部的直接信息,这对发现井旁或井底的隐伏矿(盲矿)是很重要的。资料表明,在加拿大、澳大利亚等国近30年来发现的金属矿中,有许多是借助钻探和井中地球物理方法得以奏效的。对于一些勘查历史悠久的老矿区,深部钻探与井中物探方法的有机结合,已成为寻找深部隐伏(盲)矿床的有效方法组合,为老矿区

的繁荣注入了新的活力。

在井中物探方法中,采用较多的是井中磁测、井中激发极化法、深部充电法及井中瞬变电磁法(TEM)。井中充电法主要用于圈定矿体范围、确定矿体产状及埋藏深度,寻找充电孔附近的隐伏盲矿体和相当大的空间(数十平方千米)内发现隐伏构造、岩体、盲矿体等地质问题。这种方法在俄罗斯得到广泛应用。如在科拉-卡累利阿铜镍矿区,用井中充电法发现和追索了索普查岩体下层的矿脉型矿田。对索普查岩体的勘查导致在400~900 m深度上发现了硫化铜镍矿,成为井中充电法与钻探方法合理组合的典范,后来,这一组合方法被成功地用于阿拉列琴、罗夫纳湖及哈萨克斯坦的科斯姆伦矿区。

井中TEM系统由于更加接近深部隐伏矿体,可降低上覆盖层的影响,在钻孔周边200~300 m半径范围内具有较好的分辨能力,能获取深部隐伏矿体的直接信息。在加拿大、澳大利亚等一些老的矿区或矿产普查中,该方法对寻找深部隐伏矿床发挥了主导作用,成为圈定深部隐伏矿床的有效组合方法之一。

在勘查历史悠久的加拿大萨德伯里铜镍矿区,20世纪80年代中期,勘查工作的重点转移到在深部沿着萨德伯里火成岩的接触带以下的底板中寻找极富的底板型矿床。在有利的接触带,钻孔大多数已打到300 m,有的达600 m或更深。如何寻找深部的矿床成为近10年来关键的地质问题。目前的找矿实践证明,深部钻孔加井中瞬变电磁测量是一种实用和有效的勘查方法组合。利用这种方法组合,从80年代中期到90年代,在深部相继发现了一批极富的铜镍硫化物矿床<sup>[10]</sup>。例如,1987年在萨德伯里盆地南缘地下1280 m的深度发现了深部林兹里高品位矿床;90年代初国际镍公司利用该方法在盆地的东缘发现了大而富的维克多矿床,在盆地北缘发现了新麦克里达铜镍矿床。维克多矿床储量达 $(1800\sim 3600)\times 10^4$  t,埋深为2400 m,镍品位为1.5%~2.6%,铜5%~7.4%,贵金属6.7~17 g/t,含铜 $(90\sim 266)\times 10^4$  t。新麦克里达矿床埋深1000~1500 m,铜储量 $79\times 10^4$  t、镍 $5.8\times 10^4$  t,铜和镍的品位分别为11%和0.8%。另外,深钻和井中瞬变电磁法的结合还在已开采的接触带型矿床之下发现了一个高品位的底板矿床——东麦克瑞迪矿床,并用电磁测量进一步圈出了矿床的范围。该矿床埋深1200~1500 m,有多个富的含矿层位。由此可见,井中物探方法的有效应用使这个古老的矿

山增添了活力,延长了寿命。

在勘查活动逾百年的加拿大诺兰达矿区,随着勘查活动的深入和勘查技术的提高,钻探和钻孔电磁测量的方法组合也成为该矿区目前主要的勘查手段之一。80年代用这种组合方法相继发现了科伯特矿床(埋深700 m)和安西尔(埋深1280 m)矿床。运用这种方法,还在加拿大马尼托巴省斯诺莱克地区发现了奇瑟尔北(Chisel North)锌铜矿床<sup>③</sup>,在西澳马吉斯(Maggie Hays)和艾米丽安(Emily Ann)发现了镍矿床<sup>[19~20]</sup>。

另外,钻孔TEM还能辅助钻探,提高打钻的效益和成功率。打钻与钻孔TEM的结合可为打钻提供不间断的钻进信息,从而在满足勘探目标需要的前提下使得必需的钻孔长度和钻孔数量最小化。它能帮助地质学家判定打钻是否已经到位,判定是否已经钻遇地下导体,是否还应再钻进几米,还是已经偏离目标体需要另开新钻等问题。

## 5 以勘查技术为先导,迅速缩小靶区

观点6:以直接信息为先导,实现从区域到局部的转变,使找矿迅速取得突破

在成矿(区)带找矿中,物化探方法通常可以起到战略性找矿方法的作用,尤其是超低密度区域化探技术的发展,为“迅速掌握全局、逐步缩小靶区”提供了一种可行的途径。世界上一些国家和地区所进行的区域化探扫面计划便是一个很好的证明。例如,20世纪70年代美国能源部的“铀矿资源评价计划”,80年代的“加拿大区域化探全国扫面计划”和北欧的挪威、瑞典、芬兰<sup>③</sup>在北纬66°以北实施的“Nordkalott计划”,以及中国实施的“区域化探全国扫面计划”等。这些计划的实施大大促进了成矿区带的矿产勘查工作。

20世纪90年代,纽蒙特公司曾在印度尼西亚开展过大面积的化探普查计划,从区域展开,迅速地在巴都希贾乌和梅塞尔矿床上方发现了地球化学异常,于是通过追踪露头 and 地表地质填图,达到了对化探异常查证的目的,很快便发现了巴都希贾乌和梅塞尔2个超大型矿床<sup>[2]</sup>。即使在具有一定工作程度的老区,灵活地使用地球化学方法也会取得相应的找矿效果。例如,1978年11月,霍姆斯塔克公司提出要从区域着手,通过踏勘检查、详细检查和靶区评价几

个层次的工作,筛选矿点或异常,进而发现矿床。在这种思路的指导下,根据已知矿床模型和对矿点进行岩石拣块取样,发现了化探异常,通过异常检查找到了金矿化露头,后经钻探证实了一个大型的麦克劳林金矿床。由此可见,按照从区域到局部的观点,在勘查新区,使用传统的化探方法,迅速掌握全局、逐步缩小靶区,实现矿产勘查在点上的突破;在勘查的老区,或者采用新的化探方法,实现从区域到局部的转变,或者应用新的理论与方法,重新认识已有的地球化学资料,强调从区域地球化学背景中揭示控矿的地质因素,并从不同级次方向上揭示地球化学异常的结构与特征,从而有效地筛选远景区。

物探方法虽然总体来说是间接的找矿方法,但一旦确定了矿床的控矿因素,就有可能将物探信息转化为直接的找矿信息,从而可以使物探方法起到战略方法的作用,尤其在地表覆盖的地区,需要深入研究大探测深度的物探方法的应用条件,使物探信息转化为与找矿直接有关的信息。例如,澳大利亚昆士兰州西北部的芒特艾萨成矿区是世界上最大的铜、铅、银产地之一,开采历史已逾百年。这里早期的勘查活动主要集中在元古宙岩石的出露区。20世纪80年代以来,勘查目标部分地转移到中生代沉积岩覆盖区。在这类地区主要产出与铁岩和剪切作用有关的沉积岩容矿铜-金矿床,如斯塔雷(Strararra)、奥斯本(Osborne)、埃利奥特(Elliott)、埃洛伊斯(Eloise)和欧内斯特亨利(Ernest Henry)。由于矿床为全隐伏的,故常规的地质找矿方法受到很大程度的限制。在这一地区,由于铜-金矿化远景区常常与条带状含铁建造(BIF)有关,因此,要确定远景区首先要确定条带状含铁建造,其中高精度航空磁法和地面磁测一般为最有效的方法。基于这一认识,地面时间域电磁法得到了较为广泛的推广与应用,并屡屡奏效。1985年纽蒙特公司和CSR有限公司联合承担了风险勘探。在详细的地面磁测的基础上,利用固定和移动回线瞬变电磁测量进行局部扫面工作,圈出了与磁源相吻合的良导带,钻孔打到了矿化铁岩。此后,进一步利用磁测垂向导数和模拟TEM测量进行钻孔定位,直到打了28口金刚石钻孔才第一次发现了有经济意义的厚矿层,见到了32 m厚、含Cu 5.8%、Au 3.28 g/t的富矿。此后进一步的工作确定了奥斯本矿床的范围。1988年BHP公司在成矿区东部的褶皱带利用TEM测量验证了航空

和地面磁异常,在50~70 m厚的中生代沉积层之下发现了埃洛伊斯铜-金矿床。同样,基于类似的找矿思路和方法组合,1991年西部矿业公司在成矿区东部褶皱带东缘40~50 m厚的沉积层之下找到了欧内斯特亨利铜-金矿床,这是澳大利亚自奥林匹克坝矿床发现以来最大的铜矿发现。由此可见,近10年来,以高精度磁测和地面时间域电磁法为主的物探方法对该成矿区带的找矿新发现起到了主导作用。

20世纪80年代以来,印度尼西亚在金矿勘查前期的选区工作中也广泛地使用了遥感数据,这一时期的找金工作集中在新生代岩浆活动带。在韦塔岛地区的金矿勘查中,CSR矿业公司首先对努沙登加拉群岛的陆地卫星成像资料进行分析,识别出了几处浅成热液矿化的有利构造背景,之后对韦塔岛和利朗岛进行了1:5万的摄影地质解译工作,针对勘查区无地形和地质资料等问题,编制水系图并识别出浅成热液或斑岩矿化的构造远景区,摄影地质解译工作的重点地区是前期对陆地卫星成像进行分析圈定的异常区。在此工作的基础上安排野外地质填图和化探取样工作。后续工作也证实了卫星和航空影像异常区与火山岩中的强蚀变带和岩脉有关,并找到了几处具有经济意义的金、银矿床<sup>[2]</sup>。

## 6 应用新方法新技术,获取找矿信息

观点7:必须充分重视各类方法的应用条件与前提,重视各种直接信息的挖掘与印证,加强各类方法的集成与综合。方法技术的适用性和针对性比先进性更为重要

新方法新技术在矿产勘查中的地位是不言而喻的,前面已论述了这一问题。但“新”与“旧”是相对而言的,一个地区没有使用过某方法,对于那个地区来说,该方法就是新方法。

这里以澳大利亚大奎河和赫利尔矿床的发现史为例作一说明<sup>[2]</sup>。奎河矿床发现之后,在已知矿体上方使用激发极化法(IP)获得了极化率异常。随后十多年来在该区广泛地进行了频率域和时间域激发极化调查,但是这些调查只是证实了所获得的异常,而未能找到新的含矿目标。由于激发极化法没有取得效果,再加上10多年间电磁技术的发展,勘查者采用探测深度较大的瞬变电磁系统——UTEM系统,在奎河矿床上进行了新的试验,结果成功地找出了S透镜

体和早先地磁调查未发现的有经济价值的P/Q透镜体。于是,勘查者使用UTEM法在大部分地区完成了区域UTEM测量,在测区最北端的一条测线上发现了一个强导体。为了进一步追踪异常,测量继续向北延伸,最终圈出了一个长400 m、埋深大、中等导性的导体。后经钻探验证,发现了赫利尔矿床。

近年来,综合物化探技术发展迅速,多种方法和技术的综合应用和相互佐证已成为当前物化探工作的一大特色。澳大利亚斯卡德尔斯(Scuddles)矿床的发现过程可以较好地说明这一点<sup>[3]</sup>。该硫化物矿床是一个大型的、隐伏的火山成因块状硫化物矿床,位于澳大利亚佩思北部51 km,与南部4 km处的铁帽山铜-锌矿床构成了澳大利亚西部最富的贱金属资源基地。在火山成因块状硫化物矿床模式的指导下,使用航空磁法在区域上开展工作,在获得的120个磁异常中,斯卡德尔斯异常排在第3位,是重要的查证对象。为了查证磁异常的性质,采用了土壤地球化学测量方法。由于测区内冲积物覆盖厚、风化强烈,贱金属和贵金属均被淋滤。早期的浅部(12 m)土壤取样分析几乎没有显示出重大的化探异常,勘查者不敢轻易打钻。仔细研究已有的资料后,认为土壤取样深度不够,并决定重新钻探取样,取样过程由地质人员监督,取样深度打到基岩为止,一般达40~70 m。结果在斯卡德尔斯上方发现了Cu(620 g/t)、Pb(380 g/t)和Ag异常,从而坚定了斯卡德尔斯上方打钻的决心,后来的钻探很快证实了矿床的存在。

物探方法是查证化探异常的重要手段之一。通过物探方法对化探异常的查证,确定了地球化学异常的存在,同时确定了地质体或矿体的产状,从而为钻探验证提供了科学的依据。印度尼西亚铜金矿带中的韦塔岛成矿区、古农蓬科尔金矿床,基本上都是由化探发现与矿化有关的异常后,使用物探方法(尤其是地面磁法和激发极化法)进行查证的。

在发现和圈定镍-铜硫化物矿床方面,直升机电磁法/磁测法、水平线圈电磁法(HLEM)等高分辨率方法,在用于探测地表以下100 m以内的导体及估测其电导性时表现上佳。固定翼飞机电磁法(探测深度可达400 m)、瞬变电磁法(可达800 m)、大地电磁法(MT可达1500 m)等穿透深度较大的方法,在勘查深度上有其所长,但也相应地降低了目标分辨率和电导的估测精度。加拿大沃伊塞湾矿床的发现史便

是多种物探方法综合应用的典型案例。沃伊塞湾矿床发现于1994年,矿石储量和资源量超过 $1.16 \times 10^6$  t,与发现山铁帽有关的浅部矿化用HLEM和地面磁测很容易就探测到了,据此发现了Ovoid矿床(实测资源量 $3170 \times 10^4$  t)和发现山矿床(推定资源量 $730 \times 10^4$  t)。Reid Brook矿床(推定资源量 $1900 \times 10^4$  t)属矿化的西延部分,是沿走向进一步开展直升机电磁/磁测而发现的。地面瞬变电磁测量填绘出的东部深延主矿带(推定资源量 $4700 \times 10^4$  t)下延到800 m深度,区域性音频大地电磁法(AMT)测量则更进一步,所填绘出的远东部深延带(推定资源量 $4700 \times 10^4$  t)下延到1300 m深度。后2个矿床在以前的地层钻探中都被打到过。

## 7 不断创新找矿准则,实现找矿突破

观点8:对于一个重要的成矿区(带)来说,随着地质研究与找矿工作的深入,需要不断地修订和调整勘查准则

矿产勘查的理论必须转化成找矿准则,才能具体指导勘查工作的方向和目标,成为资料解释的依据。因此,找矿准则的创新对推动勘查工作的发展有更加实际的效用。

难识别的卡林型金矿勘查工作的发展是一个很好的实例。卡林型金矿床的地质理论不断完善,随着找矿工作的深入,勘查技术的应用发生了较大的变化,找矿不断取得新的突破。美国内华达州整个卡林金矿带的找矿工作可以划分为3个阶段。第一,以构造窗模式为主导的找矿阶段(1960—1970年)。20世纪60年代初,美国地质调查局的罗伯茨<sup>④</sup>提出了4条找矿准则:①在构造窗及其附近找矿;②罗伯茨逆断层下盘的碳酸盐类地层的下部层位是有利的成矿层位;③在有希望的构造体系,如断层交叉处找铅、锌、银矿体;④紧靠逆断层上盘的岩石也可能产生局部矿化,尤其侵入体附近也是找矿的有利部位。这就是著名的“构造窗找矿模式”。按照这些准则,通过大量化探取样分析发现,与Au伴生的As、Hg、Sb等元素是该区找金的指示元素组合。根据化探圈出的异常区,于1962年进行验证,结果第三孔见矿,最终发现了卡林金矿床。按照这一找矿策略,20世纪60年代又相继发现了科特兹、布斯特拉普、“蓝星”、巴克霍恩金矿。第二,修正并发展构造窗找矿模式阶段(1971—1980

年)。20世纪60年代后期,找矿人员按照构造窗模式,将找矿工作主要局限在罗伯茨山组。由于找矿效果不佳,1970年后,利弗莫尔等<sup>④</sup>针对已知矿化区外围找矿提出了以下找矿准则:①有利的钙质沉积岩;②与石英脉不同的普遍热液硅化的证据;③与矿化有关的黄铁矿氧化作用的铁锈颜色;④靠近侵入体和(或)有蚀变岩墙存在。同时,找矿空间范围不局限于卡林带,尤其重视了不符合经典“构造窗模式”的格彻尔矿带,从而导致了一系列的重要发现,例如平森、普雷布尔、拉比特河、奇姆河等矿体。在这个时间段内,一系列矿床的发现引起了人们对卡林型矿床的重新重视,并获得了如下一些新的认识:认为卡林型金矿的容矿围岩具有多样性,除了碳酸盐岩外,还有片岩、燧石岩、凝灰岩、流纹岩、安山岩和白岗岩。对罗伯茨山逆断层的控矿作用提出质疑。20世纪70年代以来,化探分析金的技术取得了重大进展,大大降低了金的检出限,能准确确定出金的真实背景,从而大大提高了找矿效果。第三,寻找深部隐伏矿的新阶段(1981年至今)。20世纪80年代以来,主要采用物化探技术,在深部找矿方面取得了一些重大突破。这里以2002年发现的科特兹山矿床为例加以说明。该矿床在科特兹选矿厂以南5 km,2003年证实储量172 t,矿床产在泥盆纪碳酸盐岩系上部的燧石和纹层状粉砂岩中。矿体顶部埋深105 m。在构造地质研究和物化探的指导下,用深循环钻孔着重找断层下盘碳酸盐岩中的卡林型金矿床。根据踏勘填图、采样分析所得到的认识和物化探提供的数据,建立了二维和三维模型。重力测量和地震测量有助于揭示厚的盖层下的基底构造。在一低重力区有一明显的重力高区,且其间的重力等值线颇密。在此布了一孔,以验证这一重力反差是否代表蚀变。后来,围绕该孔打了13个孔,证实了矿化的连续性。

## 8 以勘查实例为依据,分析找矿启示

从根本上说,隐伏矿找矿是一个实践性的课题。从表1中的实例可以看出,每一个重大发现,每一次重大突破,每一点重要进展,都离不开肩负责任、充满自信,解放思想、开拓创新,坚持实践、提高素质<sup>⑤</sup>。其中的许多经验和启示值得我们借鉴,包含的深刻矿产勘查哲学值得我们思考。总览找矿实例,可形成如下认识性观点。

观点9:矿产勘查投资是一种高风险、高效益的投资,必须勇于实践,敢于探索

根据笔者对国外100个大型矿床发现历史的统计<sup>⑥</sup>,发现矿床平均需要19年。其中34%的矿床是经过5年或不足5年发现的,33%的矿床是经过20年以上时断时续的勘查才获得成功的。由于在统计过程中很难确定某个矿床真正开始勘查的时间,所统计的时间会比实际找矿时间相对短一些,也就是说,平均发现一个矿床的时间要长于19年。而且在实际找矿过程中,对同一地区、同一矿点“几上几下,彼下此上”,最终获得发现的例子屡见不鲜。笔者还统计了某些矿床发现前曾参与勘查工作的公司数目。结果表明,在100个矿床中,每个矿床平均至少有2.7家公司参与过工作,其中最多的可达10家公司。从矿床发现到投产所需的时间也相差较大,有的不到1年,如美国科夫和智利的埃尔印第奥、给比苏尔等;有的则长达22年,像智利的洛斯帕兰布雷索和埃尔特索罗矿床,有的所发现的矿床至今还未得到开采。总体来看,它们所需的平均时间在7年左右。由此足见矿床发现的艰难性和复杂性。但是,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。根据有关资料,加拿大1946—1982年间发现了900个金属矿床(不包括铁矿),75%的矿床赋存在16个大矿区或大矿床中。可见,巨型矿床的寻找与研究,不仅为国民经济的发展提供矿业基地,也是提高矿产勘查业整体效益的重要途径。因此,寻找大型、特大型矿床越来越成为各国矿产勘查的主要目标。

观点10:矿产勘查集调查与研究于一体,是一项创造性很强的实践

矿产勘查是实践性很强的地质调查,一切理论、模型、准则、技术的应用,必须接受找矿实效的考验。知道了别人通过实践总结出的规律,自己未必就能照猫画虎地找到矿;能进行理论总结和室内研究的高手,未必就是野外实践的能手。感觉到的东西,不通过实践去理解它,就不能变成自己手中的武器。纵观国内外的找矿经验,在任何地区找矿,一般都经历由浅入深的过程,即往往从露头、老硐或铁帽等地表标志入手,先发现浅部矿,然后再借助物探、钻探资



料和地质、地球化学资料对深部成矿条件进行分析,逐步向深部发展的过程。这就要求地质人员用腿到野外去找矿,用眼去观察和发现。从来没有听说过不出野外就能找到矿的情形。因此,矿床发现往往属于长期奋斗在野外第一线的地质人员。

坚持长期的野外实践是找矿成功的必要条件,但不是充分条件。国内外的成功经验都表明,找矿工作既需要一批脚踏实地的苦干家,更需要有智慧、有远见的带头人,即在实践中磨练出来的找矿专家。

观点11:矿产勘查不以研究“水平”论高低,

而以成败论英雄

人们对矿产勘查的评价,最终要看勘查实效,而非理论高深;要看其是否见矿,而不在其过程简繁。换句话说,矿产勘查是科学知识和技术方法运用的实践,是知识创造财富的过程,应以最终找到经济矿床为目标,其中就包含着科学和技术的创新<sup>[2]</sup>。实现找矿成功的因素很多,有理论因素、经验因素、技术方法因素、个人能力因素,也有偶然因素,甚至经费投入因素。经验与理论、科学与技术的交叉与融合是通向矿产勘查的成功之路。

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“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,应是主要的衡量标志。

观点12:已知矿床外围和深部尚有巨大的潜力,就矿找矿是最重要的一条途径

从表1可以看出,一部分矿床位于已知矿床的外围,尤其是已知矿床的外围覆盖区,通常是掩埋矿床或隐伏矿;另一部分矿床是已知矿床深部的盲矿床。

许多古人、前人做过大量地质找矿和采矿工作的地区,地质研究程度已很高,但仍然会有空白、有盲点,有古人、前人的疏漏。地表区调查路线的线距、点距、网度不一定够密,深度不一定够大,精度、水平等也不一定很高,研究程度很难说已经到家。20

世纪90年代澳大利亚“世纪”和坎宁顿等巨大矿床的发现就是最好的例证。100多年来,在“世纪”矿床周围的勘查活动从未停止过,几经上下和反复,9次被勘查公司租用和放弃,但是最终还是发现了大矿,说明这种“勘查程度高”的地区,尤其是大型的矿化集中区,仍有发现矿床的潜力。在已知矿带外围的覆盖区,有时采用拉网式的钻探便能实现找矿突破,智利的斯潘塞斑岩铜矿床便是一个最好的证明。

观点13:矿产资源的概念属经济范畴,也属历史范畴,要与时俱进

矿产是有时间概念的,对矿产、矿石、矿床、矿床类型的认识是发展变化的<sup>[1]</sup>。由于人类社会经济的发展和科技的进步,矿石的开采和加工技术不断进步,矿石的开采品位总地来说不断下降,开采的深度在增大。斑岩铜矿因其品位不高,长期以来人们不屑一顾,直到发展了大规模的露采方法之后,才成为颇具经济效益的矿床。

例如,美国朗德山金矿,70多年的勘查与开发历史表明,矿业活动的起伏兴衰与地质概念的更新似无必然的联系,倒是获利方式和采冶技术主导着深部的勘探和储量的扩大。尽管1908年地质学家便意识到了该矿山的巨大潜力,但地表露头富矿从1906年采到1937年便已告终。限于当时采、冶的水平,人们转而注意砂矿,从1914年到1972年,虽所获不少,但前景暗淡。史密斯公司20世纪30年代中期的深部勘查取得了重大突破,但因当时的经济-工艺因素,未能引起足够的重视。70年代初,堆浸技术的发展激活了人们对大规模低品位资源的兴趣,仅仅依靠对老资料的核查利用和深部钻探,便使可采矿石储量从1000多万吨扩大到1.7亿多吨,使原本的隐伏矿变成了露采矿。

观点14:矿床发现依赖于科学的思维,要不断解放思想、充满信心和激情

隐伏矿勘查的工作部署和具体实施是一个复杂而艰难的科学技术课题。因而,首先需要的是我们完成这一使命的信心。美国石油地质学家普拉特<sup>⑤</sup>1951年在一篇著名的《找油哲学》中指出,“如果人们不相信还有油能被发现,他们就不会去钻探石油”,“那就发现不了油田”,“归根到底,找到石油的地方是在人的脑海里”。固体矿产勘查也有同样的哲理,勘查者



要充满自信和找矿热情,这是深部找矿成功的前提。

这种信心既需要有地质科学技术进展的支持,也要有实况分析作支撑。隐伏矿勘查遇到的情况是千变万化的,这里再举例说明,可增强我们找矿的信心。

经验表明,任何一个地区的勘查工作要取得新的突破,必须要有新的思路。美国石油地质学家迪基<sup>⑥</sup>曾指出,“我们一般用旧思路在新地方发现石油,有时也可用新的思想在老地方发现石油,而很少用旧思想在老地方发现大量石油,过去我们不止一次认为石油找完了,实际上是我们的思路贫乏而已”。因此,对于一个工作程度较高的地区迫切需要运用新思路,重新认识现有的地质资料。例如,菲律宾格拉斯贝格铜金矿、智利拉科伊帕金银矿等都是通过查阅老资料而实现找矿突破的。

观点15:应用而不固守矿床模型,相信而不迷信

#### 矿床模型

任何成矿理论与找矿方法都与当时所处的历史阶段密切相关。对已有的理论、假说、模式不应拒绝,也不能盲从,可以结合实际来检验,会有助于找矿。近二三十年来,成矿理论与成矿模式是找矿预测的一个重要工具,并且屡有成功的例子,对此应充分肯定。但应当指出的是,矿床模型是人们基于现有观测数据的基础之上对某类矿床特征的高度概括与总结,因此许多模式还是初步的,需要在实践过程中不断完善。在实际勘查过程中,常有这样的事件发生,即有步骤地遵循着某种成矿理论模型开展工作,发现了矿床,但最终被证明该模型是错误的。例如,美国卡林金矿带的孤树矿床,被认为产在2条明显的构造带交会处,且被岩石所覆盖,但却证明原来的概念是不正确的,钻探结果也确实发现了该矿床。这充分说明,实践过程在不断地完善和发展着概念与理论。

在矿产勘查中,建立矿床模型(既包括经验的,也包括理论的)是有益的。无论是经验勘查模型还是理论勘查模型,都有助于对观测资料的观察与收集,有助于扩大找矿人员的视野。但建立和使用模型也会约束人们的思路。模型是一把双刃剑,既可作为组织资料的有效方法,提高理解力和预测能力,也会对不符合模型的那些资料的感知力起“催眠作用”,从而使人们不加思索地使用模型。建立模型是矿产勘查战略固有的工作,它是指导资料收集和资料解释(认识、理解)的手段,而不是目的,或者说,建模是勘

查工作中深化资料收集和认识的运行过程,而不是终结<sup>[2]</sup>。同样,已有的勘查技术常常是在特定的景观条件下针对某种矿床而选定的,因此,方法技术的运用是有条件的,不能无限地推广,需针对不同地质条件制定有效的勘查技术组合。

观点16:找矿意识是对矿产勘查过程及其每一个细节的把握和分析

勘探活动是实践、认识、再实践、再认识的过程,需要大胆预测,小心求证。在预测和求证的过程中,最关键的是要增强找矿人员的找矿意识。所谓“找矿意识”是指这样一种能力,即“从沙子里挑出珍珠,再将珍珠串成项链”。也就是说,从众多的地质信息(包括物化探信息)中识别出与矿化有关的信息,尤其是与成矿作用有关的直接信息(“挑珍珠”);然后,再将各种不同的矿化信息联系起来(“串成项链”),达到去粗取精、去伪存真,最终对矿床作出有效的预测。

地质人员要对观察到的事实进行客观编录,这是预测普查的基础,也是“从沙子里挑出珍珠”的关键。对于有些找矿信息而言,不同的地质人员有不同的认识。但对于生性爱好找矿的人来说,他对找矿信息有特别的敏感之处,并能把不同找矿信息有机地、合理地联系在一起,进而对矿床产出的部位作出准确的判断。这正是勘查者的找矿意识。勘查者的找矿意识不是凭空而来的,是多年实践工作积累的必然结果,是勘查者所掌握的理论、技术、经验与感知的综合表现。

观点17:找矿是一个不断探索的过程,需要找矿者坚持不懈

许多矿床都是找矿人员坚持不懈、锲而不舍、专心入迷、用心找矿发现的。表1所列的矿床中,大多数是经过多年勘查发现的。找矿工作需要耐心,需要坚忍不拔、艰苦而富有成效的工作,才能达到顶点。找矿人员要具有找矿的强烈愿望,具有强烈的事业心和紧迫感,以积极进取的态度对待存在的问题。为了找矿需要冒着生命危险下老硐察看,敢于翻山越岭,在逆境中生活。这种献身精神不是由公司制度、工资、奖金等因素激发出来的,而是来自找矿者本身的强烈愿望。

当然,找矿虽然需要强烈渴望、长期耐心、不畏

艰险,但更需要思路创新、广征博引,拥有新的技术和手段。

观点18:找矿要点运气,机遇总是给那些有准备的人

找矿的成功常常需要几分运气。机遇总是给那些有准备的人<sup>[23]</sup>。

机遇往往稍纵即逝,能不能把握机遇,还需要一些胆量和勇气。智利的斯潘塞金矿和美国卡林金矿带的帕普帕莱恩矿床、南帕普莱恩矿床在钻探前没有做过任何物化探工作,找矿者凭着一股勇气,在已知矿床的外围打钻,成功地找到了金矿。运气、胆量、理论、经验的交叉与融合,导致了矿床的发现<sup>[23]</sup>。

致谢:在本文编写的过程中,国土资源部信息中心冯钟广研究员、吴传璧研究员和中国地质调查局发展研究中心刘士毅研究员审阅了全文,提出了许多宝贵的修改意见,在此表示衷心的感谢!

#### 参考文献:

- [1] Sillitoe R H. Andean copper province: tectonomagmatic settings, deposit types, metallogeny, exploration, and discovery[J]. *Economic Geology*, 2005, 100: 845-890.
- [2] 施俊法,姚华军,李友枝,等.信息找矿战略与勘查百例[M].北京:地质出版社,2005.
- [3] 刘家远,单娜琳,钱建平,等.隐伏矿床预测的理论和方法[M].北京:冶金工业出版社,2007.
- [4] 舍赫特曼 P A 等著.热液矿床详细构造预测图[M].石准石等译.北京:地质出版社,1982.
- [5] 池三川.隐伏矿床(体)的寻找[M].武汉:中国地质大学出版社,1988.
- [6] 滕吉文.强化开展地壳内部第二深度空间金属矿产资源地球物理找矿、勘探和开发[J].*地质通报*,2006,25(7):767-771.
- [7] 唐金荣,吴传璧,施俊法.深穿透地球学化迁移机理与方法技术研究新进展[J].*地质通报*,2007,26(12):1579-1590.
- [8] Grauch V J S. Geophysical tools for defining covered geologic features: significance for disseminated gold deposits in Nevada, USA[C]//Bicentennial Gold'88, extended abstracts poster programme. Geological Society of Australia Inc., 1988, 2(23):527-529.
- [9] Clowes R M. Lithoprobe-geoscience probing of inner space leads to new developments for mining exploration[J]. *CIM bulletin*, 1994, 87(977):36-48.
- [10] McGrath P H, Broome H J. A gravity model for the Sudbury Structure [C]//Proceedings of the Sudbury-Noril'sk Symposium. Ontario Geological Survey Special Volume 5, 1994:21-31.
- [11] Barnett E S. Discovery, geology and metal zoning of the Nickel Rim depth deposit, Sudbury, Canada[C]//Proceedings of Nickel'96, Kalgoorlie, 27-29 November. 1996:131-137.
- [12] 王绍伟,刘树臣.21世纪初期国外矿产勘查与发现[M].北京:地质出版社,2006.
- [13] Groves D I. The crustal continuum model for late-Archaean lode-gold deposits of the Yilgarn Block, Western Australia[J]. *Mineralium Deposita*, 1993, 28:366-374.
- [14] Sillitoe R H. Gold metallogeny of Chile: an introduction[J]. *Economic Geology*, 1991, 86:1187-1205.
- [15] 西利托 R H. 莫玲译.火山剥蚀和塌陷:以侵入体为中心的矿床套叠原因[J].*国外地质科技*,1996,(1):53-57.
- [16] 戴自希,王家枢.矿产勘查百年[M].北京:地震出版社,2004.
- [17] 施俊法,吴传璧.巨型矿床勘查新战略:信息找矿[J].*矿床地质*,2000,19(8):88-95.
- [18] King A. Deep drillhole electromagnetic surveys for nickel/copper sulphides at Sudbury, Canada[J]. *Exploration Geophysics*, 1996, 27(1):105-118.
- [19] Peters B, Buck P. The Maggie Hays and Emily Ann Nickel Deposits, Western Australia: A geophysical case history [J]. *Exploration Geophysics*, 2000,31:210-221.
- [20] 周平,施俊法.瞬变电磁法(TEM)新进展及其在寻找深部隐伏矿中的应用[J].*地质与勘探*,2007,(6):63-69.
- [21] 刘宝和.从勘探实践看找油哲学[M].北京:石油工业出版社,2005.
- [22] 周玉琦.油气勘探的辩证思维与方法——从事油气勘探活动的心得体会[J].*石油与天然气地质*,2007,28(5):545-551.
- [23] Woodall R. Empiricism and concept in successful mineral exploration[J]. *Australian Journal of Earth Science*,1994, 41:1-10.
- ① 崔霖沛,吴其斌,熊寿庆,等.物探寻找以铜为主的隐伏矿床的物探方法.中国地质矿产信息研究院,1994:1.
- ② Григорян С В. Рудничная геохимия. Недра, 1992: 287.
- ③ Vowles A K. A case history of the discovery of the Chisel North Zinc/Copper Deposit - Snow Lake, MB. 2000. <http://www.cro-negeophysics.com/Chisel%20case%20history%20for%20SEG.pdf>.
- ④ 地质矿产部情报研究所.国外重要矿床(区)勘查史例.1985:277-284.
- ⑤ 普兰特 W E. 论找油哲学.刊于《西方矿产勘查哲学》,中国地质矿产信息研究院,1992:37-40.
- ⑥ 吴传璧,施俊法,陈玉明,等.国外区域化探异常评价方法,地质矿产信息研究成果(二十七).地质矿产信息研究院,1994.