

文章编号:0258-7106 (2004) 02-0142-08

## 深部找矿研究问题<sup>\*</sup>

翟裕生<sup>1</sup> 邓 军<sup>1</sup> 王建平<sup>1</sup> 彭润民<sup>1</sup> 刘家军<sup>1</sup> 杨立强<sup>2</sup>

(1 中国地质大学“岩石圈构造、深部过程及探测技术”教育部重点实验室, 北京 100083; 2 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100101)

**摘 要** 中国大部分矿产资源供应的紧缺形势,要求加大中东部地区深部找矿(包括矿山和矿集区)的力度。文章在论述深部找矿的重要性、可能性和艰巨性的基础上,阐释了深部找矿的有关概念,对比了深部矿床和浅表矿床的差异,重点论述了深部探矿的 4 个基本科学问题,包括: 成矿系统发育的完整程度; 成矿系统发育的深度; 成矿系统网络的三维结构与矿床分带; 深部矿床的示踪标志。最后,作者对加强深部找矿提出了意见和建议。

**关键词** 地质学 深部找矿 成矿系统 矿床分带 矿化网络 矿床示踪标志

**中图分类号**: P612

**文献标识码**: A

### 1 深部找矿的重要性、可能性和艰巨性

随着经济建设的快速持续发展,中国常用大宗矿产资源的短缺形势日益凸现。现有产出 25 种主要金属矿产的 415 座大中型矿山中,192 座(占 46.2%)面临不同程度的资源危机<sup>①</sup>,因此,急需加强矿山深部和外围的找矿工作,发现接替资源,延长矿山寿命。这不仅可以缓解资源供应的紧缺状况,促进矿业可持续发展,还有助于矿区和矿城的职工就业和社会稳定,保护国家资源安全,因而有着重要的社会和经济意义。此外,随着深部找矿的展开,矿山地质工作的加强,很多新的成矿现象以及新成矿环境和新类型矿床将陆续发现,这将大大丰富矿床学的研究内容,为提高矿床学研究水平提供新的机遇和条件。

中国是一个发展中国家,现代矿业起步较晚。现有的金属矿山,探采深度多在 300 ~ 500 m,只有少数几座铁、铜和金矿山,开采深度达到了 1 000 m。而国外开采超过千米的金属矿山有 80 多座,其中印度 Kolar 太古宙绿岩型金矿采矿深度达 3 200 m,南非 Witwatersrand 金-铀砾岩型金矿采深达 4 000 m。

美国和加拿大的一些大型矿山采矿深度也超过了 2 000 m。中国近年来的深部找矿也有令人瞩目的发现,如云南会泽铅锌矿、云南个旧锡矿、广东凡口铅锌矿、安徽冬瓜山铜矿、江西相山铀矿和胶东招远金矿,已在接近或达到千米的深度找到工业矿体。这些找矿实践说明深部找矿有巨大潜力。

按成矿理论分析,成矿有利空间在地下 5 ~ 10 km 的深度范围,这个空间正好是地壳内外动力的复合场,也是多种成矿要素发生突变与耦合的转折带,适于大量岩浆矿床、热液矿床的产出。据对一些成矿区带的综合研究,一个大型热液成矿系统的垂直延伸可达 4 ~ 5 km 或更深(裴荣富等,1999)。在俄罗斯科拉半岛的科学钻探中,在 10 km 上下的深度发现了变超基性岩中的 Cu-Ni 硫化物和基性岩中的 Fe-Ti 矿化。幔源的金刚石矿可能最初形成在岩石圈底部。这说明,在地壳中相当大的深度间隔内,具有形成金属矿床的有利空间和相应条件,深部矿床潜力还是很大的。可以认为,在“上天、入地、下海”这探索新矿产资源的 3 大领域中,向地下深部找矿是比较现实和有一定经验积累的。

由于深部矿床隐藏地下,人们对有关的成矿条件和矿床特征知之甚少,矿床示踪信息量少,且多为

<sup>\*</sup> 本文得到国家自然科学基金重点项目(No. 40234051)和国家重点基础研究发展规划项目专题(No. 2001CB409807)联合资助  
第一作者简介 翟裕生,男,1930 年生,教授,博士生导师,中国科学院院士,主要从事矿床学、矿田构造和区域成矿学的教学和研究工作。

① 吕古贤,郑大瑜,朱裕生,等. 2003. 危机矿产资源潜力调查与评价. 中国地质调查局地质调查项目成果报告(编号: 200110200104). 121 ~ 124.

收稿日期 2004-03-17; 改回日期 2004-04-02. 李 岩编辑。

间接信息,因而找矿任务艰巨,风险较大。但由于发现大矿的巨大效益,使得它又是一个十分引人入胜的探索。多年来的国内外经验表明,深部找矿要具备的几个基本条件是:对地质成矿规律和矿床模型有深刻的理解和创新认识,有不同于浅部矿床找矿的新的找矿思路;有以精细野外(现场)和实验室观测为基础的综合信息集成和新的找矿方法与技术(包括地质、物探、化探和钻探技术);有足够的资金和科学的管理;有学识渊博、经验丰富、探索创新、敢冒风险的地质找矿人员(队伍)。由于深部找矿的难度大,任务复杂艰巨,因此,更需要先进的地质、矿床理论的指导和合理技术方法的综合利用。在这方面,很多专家在论述成矿预测理论和找矿方法时都不同程度地涉及到了深部找矿问题(陈毓川, 1999;陈毓川等, 2002),为进一步研究打下了一定的基础。

## 2 深部找矿和深部矿床的有关概念

现有矿床及勘查文献中提到的深部找矿多指相对于浅部而言,很少作定量说明。各个国家(地区)的矿业发展历程、科技水平和市场需求以及矿种的不同,使得对探矿的深度有不同的要求和不同的理解。中国现有金属矿山的探采深度一般为300~500 m,有少量的控深钻孔达1 000 m以下,但采矿大于1 000 m的只是个别。考虑到中国的矿产勘查和矿山开采技术水平,对中国大部分地区的深部找矿似可定为500 m以下的深度。对老矿业基地,此深度可考虑延深到800~1 000 m。总的认为,深部找矿是一个相对概念,要考虑其深部是否有成矿的可能和经济、技术等多方面的因素。

### 2.1 深部找矿的地区和矿种

深部找矿地区没有固定的范围,视各地区的地质成矿条件、经济社会发展水平和矿业市场需求而定。它既指现有矿山的深部和外围找矿,也包括在一些有利成矿区带中对已发现矿床的深部勘查。在当今和今后一段时间内,抓紧开展对有市场需求和成矿条件的大中型危机矿山的“探边摸底”、“攻深找盲”工作有更大的现实意义。

根据有关部委的要求,深部找矿应以煤、铀、铜、金、富铁、富锰、铅、锌、钨、锡、锑、钼等紧缺和优势矿种为重点(国务院办公厅, 2004),以尽可能找到

大矿、富矿和易采选冶矿为目标。

### 2.2 矿床形成深度和矿床产出深度

深部矿床指现阶段产在深部的矿床,而不一定就是指在深部形成的矿床。矿床形成深度和矿床产出深度是两个概念,不能混淆。地壳和岩石圈是在不断变化的,早已生成的矿床因其所处地质环境的变化,其产出深度也会相应改变。例如,在一定深度形成的矿床,当其所在区段隆升,上部地层岩石受剥蚀时,矿床位置就会变浅甚至出露地表。相反,原生成在浅表的矿床可因后来所在区域的显著沉降,而被埋藏在深部。还有些产在稳定地块中的矿床,因成矿后缺少大的变动,其形成深度与现产出深度可大体一致。因此,深部产出矿床可包括:原来形成在深部或很深部,现仍在深部保存的矿床(如多数岩浆矿床和高温热液矿床);原生成在浅表,现埋藏于深部的矿床,如沉积变质矿床。明确区别矿床形成深度和矿床产出深度,有利于查明控矿条件和矿床形成后的变化历史,这对找矿和评价是很重要的。

### 2.3 深部矿床与浅表矿床的区别与联系

产出在深部的矿床与浅表矿床的对比见表1,这种比较只有相对意义,视矿床所在的内外动力环境和矿床类型的差异而有若干变数。

深部矿床和浅表矿床的区别主要是产出深度及由此派生出的一系列差别。但同一类型的深部矿床和浅表矿床的基本成矿作用应是一致的,其产出深度的区别则是形成深度和以后地质变动的综合作用的结果。

深部矿床和浅表矿床是有密切联系的,表现在:

(1) 矿床在地壳中的产出深度是可以变化的,是动态的。如前所述,原在深部可以变浅,原在浅部后来可以被深埋。深浅是相对的。

(2) 在一个区域中产出的同时代同类型的矿床中,有的产在深部,有的产在浅部,情况复杂多样。以铜陵矿集区为例,冬瓜山层控铜矿产在地下800~1 000 m,而同类型的铜官山层控铜矿则产在浅表。它们在形成时处于同一地质环境,因后来所处构造位置及剥蚀程度的差别而现在处于不同深度。

(3) 每种类型矿床产出深度的跨度(空间)是不同的。有的跨度较小,有的则相反。在跨度较大的一些矿床中,有的矿体产在浅部,有的产在深部;有时,一个大矿体可自地表向下延深到1 000 m以下,

表 1 深部和浅表矿床对比简表

Table 1 A comparison between deep deposits and shallow deposits

	浅表矿床	深部矿床
产出深度	< 500 ~ 1 000 m	> 500 ~ 1 000 m
演变类型	a. 原浅现浅;b. 原浅现深	a. 原深现深;b. 原深现浅
原生特征	保存较少、较差	保存较多、较好
次生变化	较明显	不明显
地温、地压	较小	较大
成矿系统中位置	较浅、较上	较深、较下
找矿方法	地质、化探、物探、浅表工程等	地质、物探、化探、深部钻探、坑道等
矿床信息	较易获得,较直观	较难获得、较少,较微弱、间接多
主观因素介入程度	较少	较多
勘察费用	较少(有些或露天)	巨大
实例	铜厂 Cu、Au 矿	冬瓜山 Cu 矿

浅部探矿和深部探矿只是针对一个矿体的不同部位,如会泽麒麟厂热液型铅锌矿床、澳大利亚 Parks 斑岩铜矿床和 Rand 型 Au-U 砾岩型层控矿床等的单个矿体产出深度都大于 1 km。

### 3 深部找矿的地质科学问题

进行深部找矿的关键是要深入研究区域和矿区的成矿规律,重点是成矿环境、成矿系统和成矿演化,以便全面认识矿床之所以产在某一深度空间的原因及其制约因素,运用适当手段,发现深部矿床。

#### 3.1 成矿系统发育的完整程度

按笔者理解,成矿系统是指在一定时空域中,由成矿要素、源-运-储成矿过程、成矿产物及成矿后变化等诸因素构成的成矿整体(翟裕生,1999)。一个发育完整的成矿系统,具有一定的时-空边界,包括三维网络空间,常能包括多个矿种和多种矿床类型。如长江中下游成矿带,其中的燕山期与岩浆热液有关的成矿系统发育就比较完整,体现了成矿的多样性和复杂性,既有 Cu、Fe、Au、Ag、Pb、Zn、Co、V、Ti、P 等多个矿种,又有矽卡岩型、斑岩型、脉型、角砾岩型、层控型等多种矿床类型,其形成时间自 170 Ma 到 90 Ma,又分布在自武汉到上海的沿江广阔空间(翟裕生等,1996)。

研究了解成矿系统的发育完整程度,可帮助我们建立起对研究区成矿过程和矿床类型的整体认识,在深部找矿中可起到由已知到未知、由此及彼、由浅入深、举一反三的作用。对区域成矿系统及所产生的矿床系列(组合)有了基本认识,有助于在深部找矿中寻找新类型和新矿种,从而提高找矿的成效。例如,安徽 321 地质队和江西赣西北地质队依

据对长江中下游成矿带矿床组合“多位一体”的认识进行深部找矿,分别发现了狮子山矿田深部的冬瓜山铜矿和城门山矿床的深部层控矿体。

一个成矿系统发育完整需要多种有利因素的耦合。例如,一个热液成矿系统要发育完整,形成大型矿床,需要有超常规的热能和流体。Barnes(2002)指出,反复侵入的复式岩体能提供足够的热能以维持对流的热液系统。因此,在热液活动区中复式岩体的存在是找矿的关键性标志。国外很多重要岩浆-热液矿床就是产在这种环境中的。

#### 3.2 成矿系统发育的深度

不同的成矿系统形成在不同的构造环境和地壳的不同深度。研究掌握各种成矿系统的发育深度(空间),有助于从宏观上把握矿床的空间分布规律,包括在垂向上的分布特征。这对于在一个区域中进行深部找矿有直接的指导作用。

根据已有的大量探矿、采矿资料,已知变质、受变质矿床多发育在中下地壳中,与幔源基性-超基性岩浆有关的成矿系统形成也较深,可在中下地壳中发生。与花岗岩类有关的成矿系统多发育在上地壳或距地表 5 ~ 15 km 的范围内,而与陆上或海底的火山-次火山活动有关的浅表热液矿床也可延伸至地下 3 km 左右。

海陆盆地中的沉积矿床一般是近水平、延伸大的矿层,当其受到区域构造作用时可下降到地壳深处并受到明显的热动力变质改造。

不同成矿系统的发育深度参见图 1,其中矿源场、中介演化场(中介场)和储矿场等概念引用了李人澍(1996)的观点。

按区域的构造层,可划分出产在古老结晶基底中的成矿系统、早古生代岩层中的成矿系统、晚古生

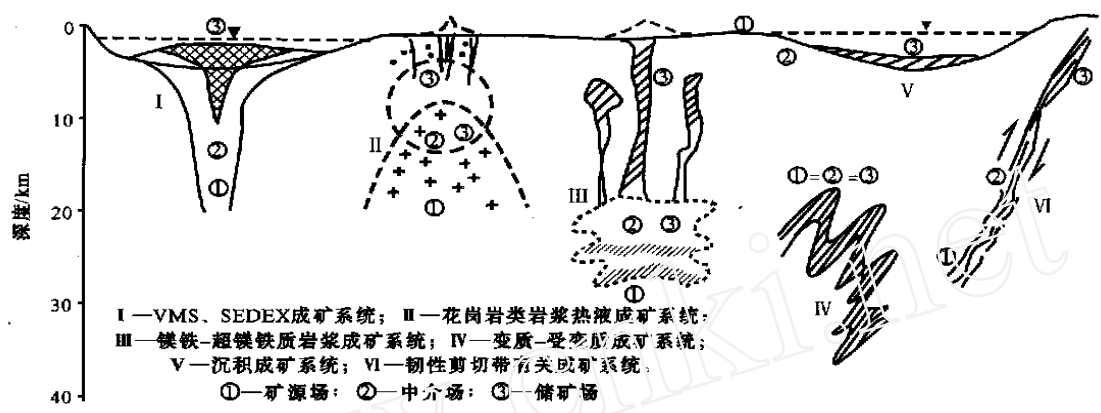


图 1 主要成矿系统发育深度概图

Fig. 1 Depths of the occurrence of the major metallogenic system

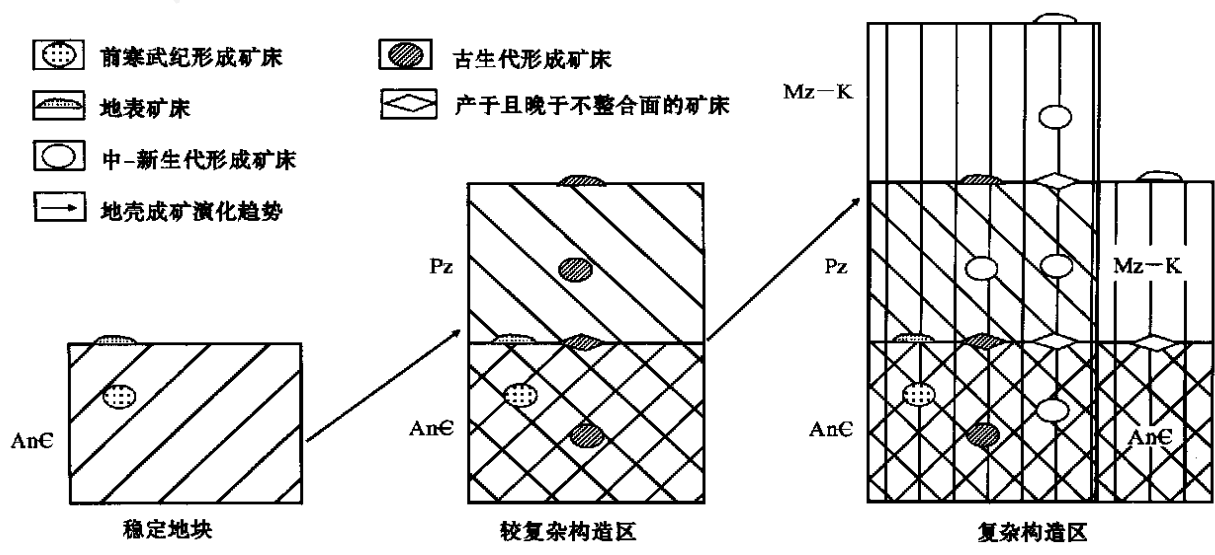


图 2 产于不同构造层和不整合面上的各时代矿床(垂向示意剖面)

Fig. 2 Ore deposits of various ages occurring in different structural layers and unconformity surfaces

代岩层中的成矿系统、产在中生代和新生代地层中的成矿系统等。越古老的矿床产出的局限性越大，越年轻的矿床产出的有利空间越多，尤其是产在多旋回构造的地块中的矿床(图 2)。

3.3 成矿系统网络的三维结构与矿床分带

矿床分带性指矿床的物质组成、矿石组构、矿化强度(品位)、矿化类型及岩石、构造等在区域和矿床内的空间变化规律。研究阐明矿床分带特征，尤其是矿床垂直分带特征，对找寻深部矿床有重要意义。

从成矿系统观点看，成矿系统的网络性表现为系统内部各成员(矿床、矿点、围岩、构造、流体及各类矿化异常)间的有序分布和相互关联，表现为共

生、过渡、复合、重叠和多通道性。作为一个网络，它有自己的内部结构和外部边界(三维的)，具有比矿床分带更为广阔的内涵。在深部找矿中要着重研究矿化网络的垂向变化趋势。

以上讲的是在一次成矿作用中一个成矿系统的结构及分带性，至于由多个成矿系统叠合交织形成的网络就更加复杂，影响因素就更多。

研究矿床的垂直分带，即矿化网络由浅向深的变化趋势，包括以下主要问题：变化内容，有矿种变化(如浅部 Ag、Pb、Zn，深部 Cu、Mo 等)；矿化类型变化(如上为脉型、细脉型，下为斑岩型及矽卡岩型等)；含矿岩石变化(碎屑岩、碳酸盐岩、泥质岩等及

其组合);成矿强度变化(矿石品位和矿体规模)以及由大气、地下水作用制约的氧化带深度等。变化形式(指矿体由浅到深的变化)极为复杂多样,可概括为(矿体)连续型、断续型、多层型以及构造断开型等(图3)。对于复杂的矿床分带还要仔细研究其成因,如顺向分带、逆向分带以及多个矿化阶段的叠加分带。要强调指出的是,每个矿床都有其形态产状特征,如再经过后来的构造变动,将更加难以辨认和测定。因此,要作详细的调研和缜密的思考判断,包括采用大比例尺立体图等精细方法,而不宜套用某种现有模式。

如何根据已知的浅表矿床信息推断其向下延伸的方向,涉及因素很多,目前尚无成熟的经验,以下几点可作参考:

(1) 利用矿床模型或勘查模型的完整性。一个完整的矿床模型,应能清楚地显示出矿床的顶部特征和根部特征(蚀变的、构造的、元素组合晕等)及整个矿床的蚀变矿化结构,作为预测深部矿体的重要标志。如斑岩铜矿模型(以矿化蚀变分带为主体)可以作为帮助深部探矿的依据,如 Kalamazoo 矿床找矿成功的实例(Guilbert et al., 1986);又如金矿脉的地化原生晕模型可帮助判断矿头、矿身、矿尾的部位,从而有助于指出找矿方向(李惠等,1998)。

(2) 构造控矿研究。构造是控制矿体向深部延伸的重要因素,大型垂直断裂及相关的角砾岩筒、岩墙等控制的矿体可深达 1 km 以上,主要断裂与分支断裂的交点常是富矿囊的定位处。而复式褶皱的顶缘虚脱部位也是富矿石的聚集部位。一般可依据含

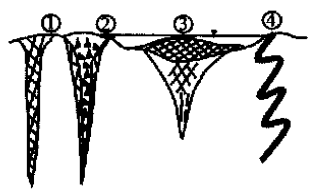
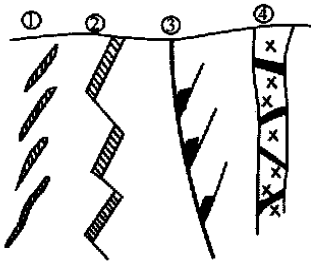
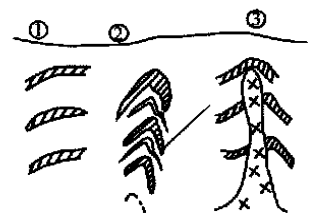
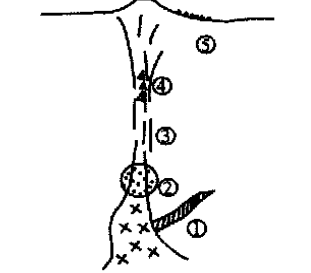
变化型式	图 示	矿体产状	控制因素	矿床类型	实 例
连续型		① 矿脉	大型断层	热液型	云南会泽铅锌矿
		② 矿筒、矿柱	角砾岩筒	金伯利岩筒	南非金刚石矿
		③ 层状矿 + 网脉带	海底次级盆地	VMS型	日本黑矿
		④ 复杂矿体	复式褶皱	沉积变质型	鞍山式铁矿
断续型		① 雁行状	雁形状裂隙	主要为热液型	招远金矿
		② 折线状	曲折正断层		招远金矿
		③ 鸟巢状	主次断裂复合或断裂 + 岩性		凡口铅锌矿
		④ 阶梯状	岩墙中脆性裂隙		澳大利亚星辰金矿脉
多层型		① 层状	沉积分异或岩浆堆晶作用	沉积型	南非金铂矿
		② 马鞍状	热液充填交代	岩浆分异型	南非布什维尔矿
		③ 层控状	矿源层 + 热液叠加	热液型	澳洲本地戈金矿
多型多层型		① 层状	砂卡岩型	热液型 广义斑岩型	东南亚、中国东部、北美Cordillera等矿集区综合
		② 脉网	斑岩型		
		③ 脉状	热液型		
		④ 角砾状	热液型		
		⑤ 泉华状	热液型		

图 3 矿床主要垂向变化型式

Fig. 3 Major vertical variation styles of ore deposits

矿断层的断距、断裂带宽度、断裂性质推测该断层的垂向深度及相应的矿体尖灭深度;同时还要注意矿化系统垂向的多通道性对矿床规模及产状的控制(翟裕生等,1993)。

除垂向构造外,不同岩层界面、不同构造层界面、不整合面、拆离和滑脱断层带及隐伏岩体接触带也应注意研究,因为这些有显著物化性质差异的临界面和突变带,常是含矿流体运移道路上的物理化学障,是深部矿体的就位场所。

矿床的垂向变化参见图 3,深部矿床产状十分复杂,这里只是概括地加以表述。该图中的多型多层型多表现为高硫的浅成低温矿床和深部斑岩铜矿床的套叠(Telescoping),这在很多地区是常见的(Hedenquist et al., 1999)。另外,矿床由浅到深的变化,除表现在形态产状上外,在成矿元素、蚀变等方面也有变化,如著名的芒特艾矿床在浅部以铅锌矿为主,到约 1 500 m 的深度处则以铜矿石为主(Perkins, 1990)。

### 3.4 深部矿床的示踪标志

大多数矿床包括深部矿床与周围的地质体都有明显的物理和化学性质差别,表现为种种异常。另外,矿床的形成,一般都经历了由矿源、流体输运到矿石沉淀聚集的过程。在这个过程中含矿流体在所经过的地质体中会遗留下或多或少的成矿痕迹(踪迹)。成矿过程的遗迹和矿体本身的异常都可以作为追踪和指示矿体存在的标志,对它们作全面研究是深部找矿的一个基本手段。

矿体和矿化通道中的各类异常不是孤立的,而是密切关联的。运用综合的和整体的观点,对地、物、化、遥异常,宏观异常与微观异常,直接异常与间接异常,原生异常与次生异常等作综合研究,可以建立起各类成矿系统(区域的、矿田的)的综合异常模型(翟裕生等,1999a;1999b),这对找矿是很有帮助的(图 4)。

除图 4 中标出的各种异常外,在岩石、矿物尺度上的异常还有标型矿物晕、矿相学特征等,在微观尺度上还有矿物流体包裹体特征、地气晕、显微及超微结构特征等。

上述异常信息都各有其有用性和局限性,偏宏观的异常信息如地球物理、构造及岩石异常等能反映成矿的构造岩石环境及矿体的间接信息,可用于优选靶区;而蚀变岩石、找矿矿物学和各类地球化学晕是接近矿体的信息,可据以逼近矿体。实际工作

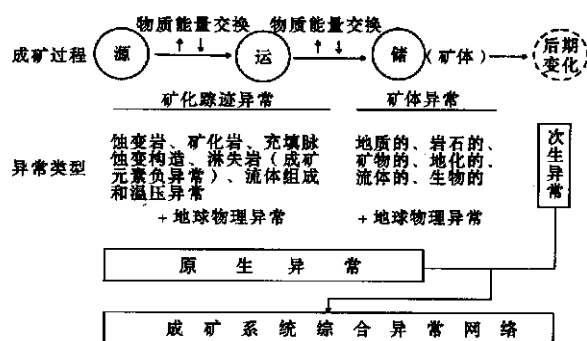


图 4 成矿系统及综合异常网络图解

Fig. 4 Diagram showing the network of the metallogenic system and the composite anomaly

中,应综合运用各类信息筛选出各种异常的复合带、浓集带,它们常是大型矿床(体)的示踪标志。

深部矿床(体)的各种异常,如果在矿床形成后未经重大变化,则原生异常保存较好,但由于位置较深,其反映在浅部的异常信号一般比较微弱。这就需要充分利用已有钻孔、坑道中揭露的每一个直接、间接矿化信息,作精细的研究和判断;适当开展钻井中和坑道内的物化探等工作,从近距离捕捉矿化异常。同时,也要针对深部矿床的种种特点,研究发现新的异常和新的探测方法。一些有效的常规地质方法也可提供重要信息,例如,找矿区内成矿后岩脉或断层如在深部经过矿体,则可能将破碎的矿石块(粉)带到浅部,从而提供深部存在矿体的证据。勘查地球化学表明,当地气(geogas)通过矿床或矿床周围的原生分散晕时,会将超微细颗粒的成矿元素带到更浅部位直到地表,从而提供比较可靠的有关深部可能存在大型矿床的信息(谢学锦,2002)。

## 4 结语及建议

当前在中国中东部广大地区,已逐步进入深部找矿的新阶段。深部找矿的经济和社会意义重大,同时也是发展成矿学和矿产勘查学的一个良好机遇,希望同行专家多加关注。近期内可先制定工作计划,坚持产、学、研相结合的调查研究路线,深入解剖代表性矿山,充分收集、整理、分析已有的大量地矿资料,研究矿床成因和就位机制,阐明矿化网络,建立深部找矿的勘查模型,并以工程查证,以期找到深部矿体。

深部找矿既要有系统观和整体观,又要精细观

测,见微知著。既要通过类比从已知到未知,寻找与已知矿床类型类似和同类的矿床,又要善于求异创新,注意那些与已知矿床类型不同的新矿床类型和新矿种,以及相应的新的成矿环境(翟裕生,2003)。

鉴于深部找矿是一项有战略意义的重大科技工程,建议政府有关部门尽早支持立项研究。

裴荣富先生是著名矿床学家,他为中国地矿事业和矿床学科的发展做出了多方面的贡献。谨以此文纪念裴先生从事地质工作 60 年。

## References

- Barnes H L. 2002. Energetics of hydrothermal ore deposits in frontiers in geochemistry: organic, solution and ore deposit geochemistry [M]. Bellwether Publishing, Ltd. 184 ~ 190.
- Chen Y C, ed. 1999. Theory and methods of mineral resources exploration and assessment at present [C]. Beijing: Seism. Press. 1 ~ 560 (in Chinese).
- Chen Y C, Chang Y F and Zheng M P. 2002. Status of mineral resources in China and countermeasures to realize sustainable supply [J]. Mineral Deposits, 21 (Supp): 1 ~ 3 (in Chinese with English abstract).
- Guilbert J M and Park C F Jr. 1986. The geology of ore deposits, W. H [M]. New York: Freeman and Company. 411 ~ 418.
- Hedenquist J W and Arribas A Jr. 1999. The top and bottom of high-sulfidation epithermal ore deposits [A]. In: Staley, et al., ed. Mineral deposits: processes to processing [C]. Balkema Rotterdam. 515 ~ 518.
- Li H, Zhang W H and Chang F C. 1998. Superimposed primary geochemical halo model of conceal large and superlarge gold ores prediction [M]. Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese).
- Li R S. 1996. Theory and practice on the metallogenic system analyze [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 19 ~ 20 (in Chinese with English summary).
- News Office of State Department. 2003. White book of "The Mineral Resource's Policy of China" [N]. Press of Land and Resources of China, 2003-12-24 (2) (in Chinese).
- Pei R F, Peng C and Xiong Q Y. 1999. Deep structural processes and accumulation of super amount metals in the Nanling ore-forming provinces [A]. In: Pei R F, Zhai Y S and Zhang B R, ed. Deep structural processes and mineralization [C]. Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese).
- Perkins W G. 1990. Mount Isa copper orebodies [A]. In: Hugher F E, ed. Geology of the mineral deposits of Australia and Papua New Guinea [C]. Melbourne: The Australian Institute of Mining and Metallurgy. 935 ~ 941.
- Xie X J. 2002. The surficial geochemical expression of giant deposits [A]. In: Zhang B X, ed. Applied geochemistry into the 21st century—50's anniversary of Academician Xie Xuejin's devoting to the research on geochemistry [C]. Beijing: Geol. Pub. House. 425 ~ 432 (in Chinese with English abstract).
- Zhai Y S and Lin X D, ed. 1993. Study of ore field structures [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1 ~ 214 (in Chinese).
- Zhai Y S, Yao S Z, Cui B, et al. 1996. Research on metallogenic series [M]. Wuhan: Press of China Univ. Geosci. 1 ~ 192 (in Chinese with English abstract).
- Zhai Y S. 1999. On the metallogenic system [J]. Earth Science Frontiers, 6 (1): 13 ~ 27 (in Chinese with English abstract).
- Zhai Y S, Deng J, Cui B, et al. 1999a. Ore-forming system and comprehensive geo-anomaly [J]. Earthsci. (J. Graduate School, China Univ. Geosci.), 13 (1): 99 ~ 104 (in Chinese with English abstract).
- Zhai Y S, Deng J and Li X B. 1999b. Regional metallogeny [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1 ~ 287 (in Chinese with English summary).
- Zhai Y S. 2003. Metallogeny of China and some important ore-forming environments [J]. Geol. in China, 30 (4): 337 ~ 342 (in Chinese with English abstract).

## 附中文参考文献

- 陈毓川, 主编. 1999. 当代矿产资源勘查评价的理论与方法 [M]. 北京: 地震出版社. 1 ~ 560.
- 陈毓川, 常印佛, 郑绵平. 2002. 中国矿产资源形势与实现可持续发展的对策 [J]. 矿床地质, 21 (增刊): 1 ~ 3.
- 国务院新闻办公室. 2003. 《中国的矿产资源政策》白皮书 [N]. 中国国土资源报, 2003-12-24 (2 版).
- 李惠, 张文华, 常凤池. 1998. 大型、特大型金矿盲矿预测的原生叠加晕模型 [M]. 北京: 地质出版社.
- 李人澍. 1996. 成矿系统分析的理论与实践 [M]. 北京: 地质出版社. 19 ~ 20.
- 裴荣富, 彭聪, 熊群尧. 1999. 南岭金属成矿省深部构造过程与超巨量金属堆积 [A]. 见: 裴荣富, 翟裕生, 张本仁, 主编. 深部构造作用与成矿 [C]. 北京: 地质出版社. 1 ~ 13.
- 谢学锦. 2002. 巨型矿床的地表地球化学显示 [A]. 见: 张炳熹, 主编. 面向 21 世纪的应用地球化学——谢学锦院士从事地球化学研究 50 周年 [C]. 北京: 地质出版社. 425 ~ 432.
- 翟裕生, 林新多, 主编. 1993. 矿田构造学 [M]. 北京: 地质出版社. 1 ~ 214.
- 翟裕生, 姚书振, 崔彬, 等. 1996. 成矿系列研究 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社. 1 ~ 192.
- 翟裕生. 1999. 论成矿系统 [J]. 地学前缘, 6 (1): 13 ~ 27.
- 翟裕生, 邓军, 崔彬, 等. 1999a. 成矿系统与综合地质异常 [J]. 现代地质, 13 (1): 99 ~ 104.
- 翟裕生, 邓军, 李晓波. 1999b. 区域成矿学 [M]. 北京: 地质出版社. 1 ~ 287.
- 翟裕生. 2003. 中国区域成矿特征及若干值得重视的成矿环境 [J]. 中国地质, 30 (4): 337 ~ 342.

## Researches on Deep Ore Prospecting

Zhai Yusheng<sup>1</sup>, Deng Jun<sup>1</sup>, Wang Jianping<sup>1</sup>, Peng Runmin<sup>1</sup>, Liu Jiajun<sup>1</sup> and Yang Liqiang<sup>2</sup>

(1 Key Laboratory of Lithospheric Tectonics and Lithoprobng Technology, China University of Geosciences, Ministry of Education, Beijing 100083, China; 2 Institute of Geology and Geophysics, CAS, Beijing 100101, China)

### Abstract

The shortage of most sorts of mineral resources in China demands strengthening deep ore (including ore mine and ore cluster) prospecting in central and eastern China. Based on a discussion about the importance, probability and difficulty of deep ore prospecting, the authors explain some concepts about deep ore prospecting and point out the differences between deep ore deposits and shallow ones. Four basic geological problems concerning deep ore prospecting is emphatically dealt with in this paper, i. e., the integrity of the metallogenic system; the depth of the occurrence of the metallogenic system; three-dimensional structure of metallogenic system and mineralization zoning; and tracing criteria of deep ore deposits. Some suggestions on strengthening deep ore prospecting are also put forward in this paper.

**Key words :** geology, deep ore prospecting, metallogenic system, mineralization zoning, mineralization network, tracing criteria of ore deposits