

新一轮就矿找矿

董和金

湖南省国土资源厅, 湖南长沙 410011

摘要: 本文简要回顾了二十世纪五、六十年代就矿找矿的历史, 进而提出新一轮的就矿找矿。相比之下, 新一轮就矿找矿具有新的特点。深部找矿实则是一种就矿找矿, 地壳连续成矿理论、深部流体(成矿)作用理论、成矿台阶理论都为新一轮就矿找矿提供了理论依据。深部找矿在国内外初显成效, 湘中地区亦有很多成功案例。本文从3个方面总结了深部找矿的一些经验标志, 即矿种及矿种组合系列标志、花岗岩成矿专属性标志、幔源成因矿床的鉴别标志。此外, 辨别成矿流体的深(幔)源标志、加强成矿规律研究、更新观念、引进新技术新方法, 都是实际深部找矿工作中需要注意的。

关键词: 就矿找矿; 深部找矿; 地壳连续成矿; 深部流体(成矿)作用; 成矿台阶; 找矿标志

中图分类号: P622; P624 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2015.02.02

A New Round of Making Ore Search Nearby

DONG He-jin

Bureau of Land and Mineral Resources of Hunan Province, Changsha, Hunan 410011

Abstract: A new round of making ore search nearby is proposed in this paper based on previous prospecting history from 1950's to 1960's. The new round of making ore search nearby has its new characteristics. Deep prospecting is a type of making ore search nearby. Crustal Continuum Model, deep fluid function (mineralization), and metallogenic level provide a theoretical basis for the new round of making ore search nearby. Success in ore prospecting was achieved both in China and abroad, especially in Hunan Province. This paper sums up some experience of deep ore prospecting criteria in three aspects, i.e., minerals and mineral assemblages, granite metallogenic specialization indicators, identification of mantle-origin deposit marks. In addition, identifying the deep mantle source marks of ore-forming fluids, strengthening the study of the metallogenic regularity, updating the concept, and the introduction of new technology and new method deserve much attention in the actual deep ore-prospecting work.

Key words: making ore search nearby; deep prospecting; crustal continuum model; deep fluid function (mineralization), and metallogenic level; prospecting indications

1 就矿找矿的简要回顾

就矿找矿, 是在已开采矿区或已发现矿产的地区附近进行矿产普查的一种找矿途径, 在二十世纪五十年代被公认为是行之有效的重要找矿途径和方法之一。

二十世纪五十年代的矿产勘查选区(点), 基本上是依据正在开采的矿山、废弃老矿山及群众报矿点进行的, 这在当时取得了显著成果。

首先, 通过以矿种组建地质勘查队伍, 即依据

正在开采的矿山、废弃老矿山, 进行就矿找矿, 我们找到了很多矿产。

以湖南省为例, 解放前夕地质调查队伍只有湖南地质调查所的24人, 其中地质技术人员仅有12人, 设备简陋, 仅仅对铁、锰、铜、铅、锌、锑、金等20余个矿种的矿山周围做过简易的地面调查和个别矿种的矿产勘查工作, 探明有储量的矿种甚少。

中华人民共和国的成立为湖南地质事业的发展开辟了广阔的道路。在党和政府的统一领导下, 1950年6月, 中南重工业部资源勘测处成立。为更好

地进行中南地区地质矿产勘测,改湘所为第三地质调查所,选择已知矿山成立了水口山铅锌矿队、湘潭锰矿勘探队。1952年8月,地质部成立中南地质局,在湖南先后依托已知的铁矿、铅锌矿、煤产地成立了茶陵、水口山、资兴等地质队或钻探队。1952年底已有各类勘探人员312人,完成钻探2478 m。

1953年,发展国民经济的第一个五年计划开始执行,根据国民经济建设对矿产资源的急需,中南地质局改组队伍,大力开展了煤、铁、铅、锌、钨、铋及金刚石等资源的普查勘探。比如,1954年,依据已勘查的矿山和已知老矿山,将原驻湘地质队伍扩编和新建为水口山、桃林、黄沙坪、潘家冲等四个铅锌矿地质队和斗笠山煤矿队、茶陵铁矿队、沅水金矿队(沅水中下游有100多年采金历史)及3个普查队,共计13个地勘单位;冶金部中南地质勘探公司在原有8个地质队的基础上依托老矿山相继组建了二零二队(常宁柏坊铜矿)、二零六队(瑶岗仙钨矿)和二一四队(邓阜仙钨矿)等,共计11个地质队;为加速发展我国原子能工业所需铀资源的勘查,1955年3月25日在长沙成立了中华人民共和国地质部三局二零九队(1979年5月改为核工业中南地质勘查局),担负长江以南11个省(区)的铀矿勘查;燃料工业部中南煤田地质勘探局于1954年开始对湖南境内的煤田施行勘探,依据资兴煤矿设立资兴勘探队。

队伍的改组成功,为地质勘查的成功奠定了基础,如地质部三局二零九队在湖南根据航空伽马测量发现并探明了金银寨汪家冲大型铀矿床,为1964年我国首次核试验提供了铀原料。

就湖南省从建国初期地质勘查史分析,地质找矿勘探始于就矿找矿,以老矿区(主要为老矿山)为依托,大胆改组,成立地质队进行勘查,取得了丰硕的地质成果,获得了大量的矿产储量,为新兴矿山建设提供了矿产资源保障。

另外,二十世纪五十年代的群众报矿也是就矿找矿的又一成功依据。

在“二·五”头三年,国民经济各领域开展“大跃进”运动。绝大多数地(市)、县、人民公社(乡)相继成立地县地质队,群众报矿组织,全省找矿报矿达534.82万人次,发现24899个矿点、矿化点,为我们今后地质找矿提供了有价值的信息。其中部分矿点经过查证具有工业价值,并发现发展远景大中型矿多个,祁东大型铁矿和浏阳永和大型磷矿,就是当地群众报矿发现,而后经地质队勘查评价的。

2 新一轮就矿找矿的特点

随着社会经济的快速发展,国家对矿产资源的

需求量也快速增加。可是,地表矿越来越少,找矿机率小,找矿难度增加,矿产资源的短缺日益显现,世界对资源的争夺也越演越烈。

为了满足日益增长的矿产资源需求,人们把找矿的目光转向极地(南极和北极)、海洋乃至其它星球,或研发新的替代资源等。这些,有的比较遥远,有的勘查开发难度大或当今不可及。

因此,从目前来看,就老矿山(区)深部找矿是首选之策,其可行性引起各国重视,且有很多优势。

深部找矿,它的性质实则是一种就矿找矿。新一轮就矿找矿虽然与二十世纪五、六十年代的就矿找矿具有共性,但还有以下几个自身的特点:

(1)新一轮就矿找矿是在已知矿山(区)的深部找矿,是由已知到未知,由浅入深的延续找矿过程。即是在已知矿区、矿种、矿床类型都很明确的情况下找矿勘查,找矿方向和勘查重点部位也很明确,就是矿区(或矿体)深部。

(2)新一轮就矿找矿具有可预见性。因为老矿区或老矿山积累了大量勘查和开采地质资料数据,做了很多科研工作,对成矿地质环境、成矿规律、矿体形态和产出规律都了如指掌。因此,我们可根据已掌握的丰富地质资料,运用成矿台阶理论和成矿系列、幔源成矿、矿流柱等理论,预测深部矿体能否向下延深,是否有新矿体存在,这是提高新一轮深部就矿找矿成功率的最重要利器。

(3)新一轮就矿找矿的深部有规律可循。在总结已知矿产成矿规律(特别是矿体形态、产状、矿体三维延伸规律),运用现代勘查新技术(现代电子和计算机信息集成)指导找矿,可以起到事半功倍的效果。

(4)新一轮就矿找矿有新理论(或理念)和新方法、新技术支撑。我国地质勘查经过几十年的工作,积累了大量的地、物、化、遥基础地质资料;创立成矿系列、成矿台阶、喷流成矿等诸多成矿学说和理念;在研究成矿地质条件和成矿规律基础上,建立了成矿模式和找矿模型等;积累了五结合等找矿方法。在探矿技术方面,超深钻探、电磁法勘探、电子计算在矿产勘查中的广泛应用都为新一轮就矿找矿起到了重要的助推作用。

(5)新一轮就矿找矿新增资源储量的利用效益高,成本低。新发现的资源储量可以直接为矿山生产所利用,盘活了国有固定资产,盘活了老矿山的生产系统,稳定了产能,保证矿山生产的连续性,促进了地方经济发展与社会和谐,是最经济的找矿战略思考。

(6)新一轮就矿找矿可以给当地带来稳定和繁

荣。老矿山深部找矿,特别是在危机矿山的深部找矿,可以保证社会安定,有利于矿山城市的发展。我国有几百个依托矿山而建的市或城镇,随着矿山闭坑,大量产业工人的转移或失业,城市日渐凋敝。老矿山延伸开发,能够减少工人的转移或失业,有利于矿山城市产业结构的调整和社会的和谐发展。

另外,在新一轮就矿找矿过程中,探索并形成了以运行机制创新为“主线”,以资金和技术两个轮子为“驱动”,以严格规范管理为“保障”的管理思路,调动了各方(国家和矿山)找矿的积极性,开创了新时期地质找矿工作的新模式,极大地提高了找矿效果。

值得注意的是,我们所讲的就矿找矿的深部找矿,不是无限深度去找矿,这是因为深部找矿探矿难度大,成本高。另外深部采矿既要克服地压、地温及岩爆的监测与控制的难题,又要承受深部采矿的深井提升,防治水患和通风防尘等技术的复杂性和费用过高的问题。深部矿井残余地应力可达150~200 Mpa,印度科拉尔金矿1800 m深度温度可达53.3℃,2000 m深处达69℃。地压地温岩爆,不仅易造成人员伤亡,还会对井下支柱、矿柱及其它设施造成严重破坏。因此,从目前探矿和开采技术水平及市场价位考量,我国现阶段确定探矿深度为1500~2000 m,其中开采深度1200~1800 m是很适宜的。

3 新一轮老矿山深部就矿找矿具有理论根据

3.1 地壳连续成矿理论

长期以来,人们普遍认为区域变质岩中的金矿主要产在绿片岩相和角闪岩相岩石中,而麻粒岩相岩石中则不大可能形成金矿,其理由是麻粒岩相温、压太高,不利于金的沉淀。然而,八十年代后期以来,相继在津巴布韦、澳大利亚等太古代麻粒岩相岩石中发现了若干高温(>700℃)热液脉型金矿床,同时也在次绿片岩相岩石中发现了一些低温(<180℃)热液型金矿床,这些发现大大改变了人们以往的认识,修正了人们的错误观念,于是澳大利亚Groves(1993)在总结前人研究的基础上,提出了太古代脉状矿床的地壳连续成矿模式(Crustal Continuum Model)。该模式认为,从次绿片岩相到麻粒岩相的变质岩中都可有脉状金矿床产出,在不同的地壳深度上可连续形成金矿,至少在地下15 km以上的地壳剖面中,产在不同变质岩相岩石中的金矿床属于一组连续的同成因矿床组合,但它们成矿的构造条件,围岩蚀变组合、矿石矿物组成和金的赋存状态等方面则有一定区别。这些脉状金矿床的相

互关系并非反映同一矿区金矿化的垂向的分布,而只是反映区域范围内一系列金矿床的分布特征。

这一理论也符合湖南省江南古陆西南缘金成矿带的实际情况。江南古陆西南缘是湖南省重要的金矿带,该带分布有数十个大中型金矿,产金矿区北端有冷家溪群(黄金洞金矿、万古金矿),中段有板溪群(官庄金矿、辰州金矿),西南端有江口组(铲子坪金矿、大平金矿、湘中新邵龙山金矿)。这些脉状金矿表现了同一成矿带金矿化的垂向分布和这一成矿带内一系列金矿床的分布特征,为湖南省深部找金矿提供了理论依据和方向。

3.2 深部流体(成矿)作用理论

过去许多人认为,地壳深部是干的,不渗透的,源于地壳的流体在地壳深部也不可能作大规模横向运移。然而近十年来的地壳流体研究成果表明,地壳深部存在着大规模的流体活动,横向运动可达100 km以上,纵向渗透可达9 km以下。

根据国内外在古老地盾上的深钻研究成果,我们发现,地壳深部(大于7 km和大于4 km)存在大量自由流体,并有矿质沉淀现象和金银矿化。这些成果从根本上改变了人们关于地壳深部是干的、无大量自由流体活动、无热液成矿作用以及地壳深部流体不能作大规模横向运移的错误认识,从而也为人们找矿勘查提供了新的思路和方向。

3.3 成矿台阶理论

在同一成矿区域(或矿田)、同一成矿系列形成的同一类型矿床,其主要矿体赋存在相近的标高范围,称为成矿台阶(董和金,2002,2005)。在同一大地构造位置,由于地壳的稳定性、均衡性以及与之相关的岩浆侵位标高一般相差不远,因此,与岩浆热液有关的同一类型矿床往往具有相近的成矿台阶。例如湘南芙蓉矿田锡矿以10号脉为代表的26条锡矿脉,它们的成矿台阶大都在800 m标高以上,与湘南地区瑶岗仙、尚家坪石英脉型锡矿和官塘斑岩型锡矿成矿标高相近(图1)。而位于骑田岭南侧内外接触带附近磁铁矿矽卡岩锡矿其成矿标高为200~800 m,与金船塘大型磁铁矿矽卡岩锡矿成矿台阶一致。

又如南岭地区及湖南境内铅锌矿,我们统计了桃林、七宝山、水口山、黄沙坪、宝山、广东天堂、凡口等8个大型铅锌多金属矿,因为它们与深源同熔岩浆热液有关,成矿标高都在300 m以下,最深可达-700 m。而千里山外围南风坳、枫树板、柿竹园、金船圪等地铅锌矿,因为同属浅源重熔成矿系列,它们成矿标高都在800~1100 m(图2)。这样的例子举不胜举。

成矿台阶并不是什么高深的理论创造。一方面,

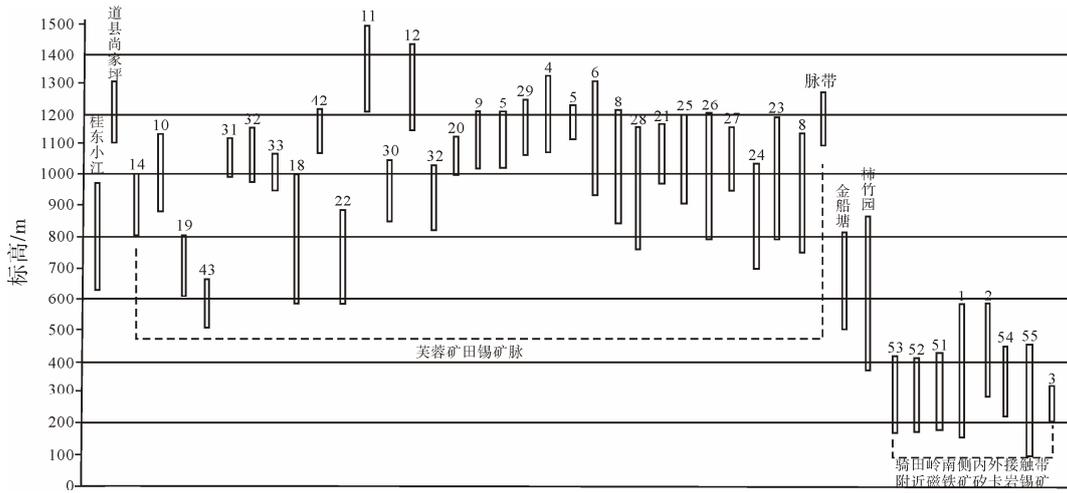


图1 湘南地区锡矿成矿标高比较

Fig. 1 Metallogenic levels of some tin deposits in south Hunan Province

矿区名称 标高/m	临湘桃林	浏阳七宝山	常宁水口山	常宁康家湾	桂阳黄沙坪	桂阳宝山	桂阳大访	衡东吊马垅	衡东东岗山	新邵清水塘	郴县南风坳	郴县枫树板	郴县金船塘铅锌矿	柿竹园铅锌矿	广东新兴天堂	广东凡口铅锌矿
1000																
800																
600																
400		老虎口	鸡公湾													
200			鸭公塘													
0																
-200																
-400																
-600																

图2 湘南(及广东部分)主要铅锌矿矿床的成矿标高

Fig. 2 Metallogenic levels of some lead zinc deposits in south Hunan Province and Guangdong Province

它可理解为成矿系列理论在矿床铅直方向空间定位上的形象表述,即将二维定位(X, Y)发展为三维(X, Y, Z)空间定位,为矿床勘查预测和勘查提高了精确度。另一方面,从成矿系列理论和成矿阶段理论延伸又提出幔源和壳源两成矿系列,并提出幔源成矿系列矿床矿区深部找矿机率高的论断。

从理论上讲,内生矿床的成矿台阶的形成,与内生成矿机理有关:一方面与成矿岩浆岩的化学成分、含矿性有关(成因类型),另一方面与成矿地质环境(地层、岩性、构造)和成矿物理条件(温度、压力)有关。

根据成矿阶段理论,可将成矿花岗岩类划分为两大成矿系列:即幔源深层同熔花岗岩成矿系列和壳源浅成重熔花岗岩成矿系列。其中幔源深层同熔花岗岩成矿系列与金、铜、铅、锌等矿种有关;浅成壳源重熔花岗岩成矿系列与铌、钽、钨、钇、铅、银有关。与浅成重熔花岗岩成矿系列的矿床成矿台阶高、延深浅不同,幔源深层同熔花岗岩成矿系列矿床的成矿台阶低,且延深很大,该系列矿床

在深部找矿具有很大潜力,这是我们深部主攻的成矿系列和方向。

上面讲的是与花岗岩类有成生联系的两大成矿系列,明确了锁定幔源成矿系列危机矿山的深部找矿,将会取得丰硕成果。那么,与花岗岩类无明显成生联系的矿床,有没有幔源成矿系列呢?回答是肯定的。湘中金、铋矿就是以幔源成因为主的矿床,所以在它们的深部都找到有价值的金铋资源,为我们坚定了在幔源成矿系列的矿床深部找矿的信心。因此,从成矿阶段理论出发,研究老矿山(矿区)矿床的幔源成因系列(包括与幔源花岗岩有关的矿床和幔源成因的矿床)是指导深部找矿的重要方法。

4 新一轮就矿找矿初显成效

4.1 新一轮老矿山深部就矿找矿在国内外都有找矿成功案例

国外成功案例很多,其中取得明显成效的有南非兰德金铀矿、加拿大萨德伯里铜镍矿区、智利埃爾印第奧—马里昆加铜金矿带、蒙古奥玉陶勒盖

(Oyu-tolgoi)斑岩铜-金矿和美国卡林金矿(中国地质科学院矿产资源研究所, 2009)。

4.2 新一轮老矿山深部就矿找矿在我国也取得了明显效果

首先,经济效益可观。近年来国土资源部启动深部就矿找矿,新增资源储量静态工业总产值达万亿元,潜在利润数千亿元,平均延长矿山开采年限17年,稳定职工就业60余万人。

其次,新增矿产资源量喜人。根据全国危机矿山勘查结果的资料统计分析,老矿山勘查深度达500~2000 m,可新增矿产资源量25%~50%或更多。

如南岭地区深部找矿取得了重要成果,据不完全统计:广西南丹铜坑锌铜矿新增资源量锌173万吨、铜7万吨;湖南黄沙坪铅锌矿新增资源量铅锌6万吨、钨8万吨、钼3万吨、铁1800万吨;湖南宝山铅锌矿已施工的5个钻孔均见到富矿,预期新增铅锌资源量40万吨;广东大宝山钨多金属矿新增资源量钨5万吨。国内外许多地质学家认为广东仁化凡口铅锌矿是“层、相、位”控制的层控型矿床,地表以下320 m没有矿体赋存。但地勘人员研究发现,该矿的成矿、控矿地质地球化学条件十分复杂,为“多因复成”矿床,地下320 m以下特别是狮岭矿区深部还有较好的找矿前景。经地勘工程验证,地勘人员在凡口铅锌矿深部发现了大型富矿体,潜在经济效益达130多亿元。这些成果充分展示了南岭地区深部找矿的成功案例。

笔者认为,南岭地区深部找矿,应采取积极而又慎重的态度。因为南岭地区以壳源花岗岩为主,与壳源有成生联系的铋钼铍、钨、锡、铅锌、稀土、稀有矿,从矿床成因和成矿台阶段理论分析,这些矿床成群成带分布广泛,但大多埋藏在浅部,深部找矿机率相对较小。但有三种情况有可能在深部找到矿:一是隆起区凹陷带沿深大断裂分布的幔源成因的“SI”型花岗岩区的矿区深部,例如水口山、坪宝地区、铜山岭、凡口等矿区;二是与深部找矿(金、铜、钨、铋)矿种相伴生的多金属矿区,例如广西南丹、广东大宝山;三是与壳源有成生联系的矿产,从成矿台阶段分析,当时勘探深度没有控制到的地段,乃可加深勘探的矿区,例如瑶岗仙、界牌岭。

4.3 湘中地区锑金矿深部就矿找矿亦有很多成功案例

湘中地区,以锑金矿为主,伴有钨矿,这可能

是雪峰弧金矿带、湘中锑矿带与桃(江)一汝(城)钨矿成矿带相复合的结果。它形成了多种组合的矿床类型:既有单独的锑矿(锡矿山、板溪锑矿)、单独的钨矿(大辰山、司徒铺钨矿),也有锑金矿(龙山锑金矿、安化廖家坪锑金矿)、锑钨矿(渣滓溪锑钨矿),还有金锑钨矿(湘西金矿)等。从幔源成矿理论分析,湘中锑矿以及与其伴生的金、钨矿都有可能在深部找到矿,而且已得到实践证明。湖南省地质学会二十世纪末,组织相关专家对湘西金矿、龙山锑金矿、锡矿山锑矿、渣滓溪锑钨矿等湘中四个危机矿山进行技术咨询和深部找矿研究(龚政等, 2007),都相继取得了丰硕成果(表1)。

为何在湘中地区危机矿山接替资源研究能取得如此超出预想的好成果呢?我认为这主要得益于矿种选得对(金矿是深部找矿有利矿种、湘中锑矿的幔源成因矿种)、使用的方法正确。

值得提出的是,湘中地区锑金矿是湖南省乃至全国的重要产区,但并没有引起地学界专家们的重视。以往,在湖南谈论找矿,言必称南岭。在人们的传统思想中,金锑是低温矿床,一般分布在远离岩浆岩比较远的外带或地表浅部,深部找矿可能性少,因而湘中地区找矿项目少、投入少。

综合上述南岭地区和湘中地区深部就矿找矿成果来看,老矿山深部找矿大有可为,在我国也取得了显著效果。如此一来,也许很多人以为凡是老矿山深部都可以找到矿。这是一种错误的认识,如果用这种思想去布署深部找矿,其结果必定是成功率低下,浪费人力财力,我们不能以为凡是老矿山深部都可以找到矿。为此,下面我想谈谈深部找矿的标志,避免找矿过程中出现不必要的浪费。

5 深部找矿标志

深部找矿,实则是就矿找矿。它的可预见性,是新一轮就矿找矿的最主要特点,也是我们找到矿产标志的重要指导。

正确判断矿区深部有没有矿,地质找矿标志很重要。但是,如何找到找矿标志呢?根据国内的深部找矿成果和经验,结合湖南省花岗岩成矿专属性研究(和湘南及周边地区大型超大型矿床空间定位研究)成果和湘中地区深部找矿经验,笔者认为深部地质找矿标志有以下几个。

表1 湘中地区锑金矿危机矿山预测储量一览表

Table 1 Prognostic reserves of some antimony and gold crisis mines in central Hunan

矿山名称	开采年限/年	原服务年限/年	预测储量	预计增加服务年限/年
锡矿山	112	7.8	41.42万吨	18
龙山金锑矿	118	1.7	金18.85吨, 锑136.12万吨	15
渣滓溪锑钨矿	23	1.4		35
湘西金矿	134	5.7	金30~40吨, 锑6~8万吨	30

5.1 矿种及矿种组合系列标志

深部找矿的有利矿种: 金矿、铜、镍(如国外几个典型案例)、铋、铅锌矿(湘中地区铋金矿, 南岭成矿带中水口山、坪宝地区、铜山岭、凡口等矿区)等。

深部找矿的有利矿种组合:

金矿有: 卡林型金矿、金铀组合型、铜金组合型;

铜矿有: 铜金组合型、铜镍组合型;

镍矿有: 铜镍组合型;

铋矿有: 单铋型、金铋组合型、金铋钨组合型;

铅锌矿有: 金铜铅锌多金属组合型。

前面所列金、铜、镍三种矿种一般都认为来自幔源, 是深部找矿最有前景的矿种, 但也不是绝对的, 要具体情况具体分析。铋、铅锌矿情况比较复杂, 有多种成因, 不是所有的铋、铅锌矿区深部都能找到矿, 只有幔源成矿系列和相应的矿种组合的矿区, 深部才有可能找到矿。因此, 需对多种标志进行综合分析、鉴别。

5.2 花岗岩成矿专属性标志

湖南花岗岩成矿作用和成矿专属性研究比其基性、超基性岩成矿专属性研究要复杂得多(董和金等, 2009)。基性、超基性岩成矿专属性较为明显, 铬、铂矿床与橄榄岩、纯橄岩有关; 钒、钛、铁矿床与斜长岩、辉长岩有关; 金刚石与金伯利岩、钾镁煌斑岩有关。这些矿床为典型的岩浆矿床, 成矿物质来源于岩浆, 矿体分布在岩体中为同成岩、成矿, 矿种和矿物组合相对比较简单。

花岗岩成矿专属性也比较明显, 与其有关的矿产有钨、锡、钼、铋、铍、铌、钽、铜、铅、锌、银、铀、钍、稀土及金矿床等, 彰显了成矿元素组合的复杂性和矿种的多样性。其成矿作用受多种地质作用和成矿环境等诸多因素制约, 因此, 花岗岩成矿专属性问题远比基性、超基性岩成矿专属性要复杂得多, 主要表现在以下几个方面。

一是花岗岩很少有岩浆矿床, 除稀土、稀有金属及部分斑岩型矿床外, 其它矿种基本上无同时成岩、成矿的矿床。这些矿床大多为岩浆期后热液交代、充填在岩体中或产于内外接触带或离开岩体一定距离范围内;

二是花岗岩的起源比较复杂。花岗岩的形成有幔源同融型和壳源重融型以及它们演化系列和互相混合型。花岗岩的成因类多且复杂, 不同成因类型的花岗岩有各自的成矿专属性;

三是壳源重融花岗岩的成矿作用不但与花岗岩的成因类型有关, 还与成岩成矿的区域地质环境有关, 特别与区域地层、岩性的有用金属元素的背景值和物理、化学活性有密切关联;

四是花岗岩的演化、成岩成矿作用比较复杂。花岗岩成岩成矿的差异性, 在时间和空间上为花岗岩成矿专属性研究增加了复杂性和难度。从湖南与花岗岩有成生联系或空间分布联系的大中型有色金属(包括稀有、稀土及分散元素)矿床统计分析, 湖南主要成矿花岗岩只与“SI”和“AS”有关。形成湖南花岗岩两大成矿系列, 即“AS”型、“SI”型两大成矿系列, 其矿化普遍、矿床规模大。和“S”型花岗岩有关的矿化种类和“AS”型相同, 但矿化弱, 矿床规模小。其他类型花岗岩仅发现有关矿化或中小型矿床。

其中壳源“AS”型花岗岩有关的主要是钨、锡、铌钽、铍、铅、锌、稀土矿等, 这些矿床主要分布在浅部, 埋藏不深, 有利于扩大外围找矿。

和幔源“SI”型花岗岩有关的主要是铜、钼、铅、锌、金, 这些矿床埋藏比较深, 有利于深部找矿。查明和判别相应幔源“SI”型花岗岩型, 是判断深部是否具有找矿前景的重要标志。

这里介绍幔源“SI”型花岗岩作为铜、钼、铅、锌、金矿床识别标志的主要特征。

(1) 成矿花岗岩的形成时代

湖南花岗岩虽划分为四个时代, 但和成矿密切相关, 特别是形成有价值矿产的成矿岩体, 时代介于87—165 Ma之间, 属燕山早期和燕山晚期为主的产物。幔源“SI”型花岗岩, 有宝山、大坊、黄沙坪、水口山等铜、铅、锌、金等多金属矿床等多为燕山晚期为主的产物。个别也有燕山早期的产物, 如七宝山。

(2) 成矿岩体的产状、形态与规模严格受构造控制

“SI”型花岗岩是幔源岩浆和地壳硅铝质沉积变质岩同熔作用形成的同熔系列成矿岩体, 区域上常沿断裂带分布, 多位于紧密挤压的褶皱虚脱部位, 逆掩或推复断层或几组断裂交汇处, 岩体的产状多切割地层, 岩体形态复杂, 多呈漏斗状、蘑菇状、岩筒状, 岩体规模较小, 一般小于2 km²。

(3) 成矿花岗岩的岩石及地球化学特征

“SI”型花岗岩, 岩石偏基性, 以花岗闪长岩为主, 部分为英云闪长岩、石英二长闪长岩、石英闪长岩。岩石中斜长石含量多, 基性程度高, An 17~50, 以An 30~50为主; 含角闪石, 黑云母含量较多, 不出现白云母, 部分岩石中有辉石残余。副矿物以磁铁矿为主, 钛铁矿少或没有, 不出现或很少有变生锆石, 独居石含量也很少。

岩石内的黑云母为铁镁质云母至镁质黑云母, MgO含量达(9.57~13.97)WM%(质量百分比), Mf值0.43~0.61, F、Rb、Li、Cs等含量很低。

岩石化学成分偏基性, SiO₂及K₂O+Na₂O含量低,

Ti、Fe、Mg、Ca氧化物含量高。除铜山岭岩体最晚次形成的少量二长花岗岩SiO₂含量达70WB%外,其他岩石的SiO₂含量在(59~69)WB%(体积百分比)之间,岩体平均值中, SiO₂含量(63~67)WB%,比AS成矿岩体低(5~10)WB%; Mg(1.41~3.07)WB%, CaO(2.14~3.44)WB%,比“AS”成矿岩体高3~10倍; K₂O含量高, Na₂O含量相对较低, K₂O/Na₂O比值在1.38~11.34,比“AS”成矿岩体的1.05~1.62大很多。(K+Na)/Al比值0.72~0.39,岩石属钙碱性至钙性中酸性-酸性岩。

和SI等矿化有关的岩体,岩石的稀土元素总量中等, ΣREE平均值为153.78×10⁻⁶~224.10×10⁻⁶,低于维氏酸性岩值;轻稀土富集, ΣCe/ΣY比值3.42~4.84,比AS等成矿岩体富集轻稀土;铕不亏损至微弱亏损, δEu值0.67~0.88。在稀土元素模式图上(图3),曲线为向右倾斜状,铕不亏损,和AS等成矿岩体模式曲线绝然不同。

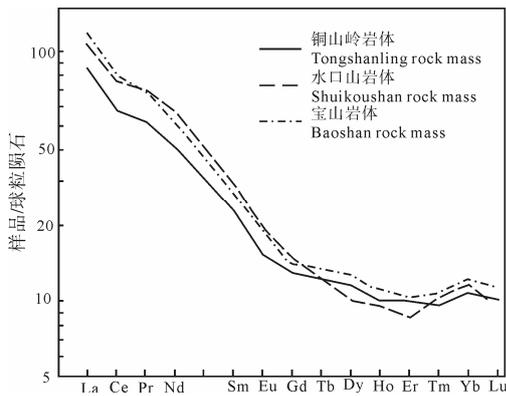


图3 铜钼金等成矿有关岩体的稀土元素模式曲线图
Fig. 3 Chondrite-normalized REE patterns of Cu, Mo, Au metallogenic rock

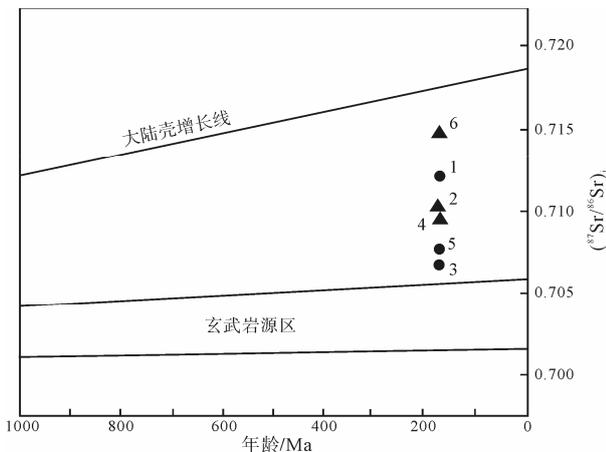


图4 和SI等成矿有关的岩体锶初始值和年龄关系图解
Fig. 4 Relation between initial Sr values and geological ages of SI-related orebodies

- 1、3、5-铜山岭、水口山、宝山岩体全岩等时线初始值;
- 2、4、6-铜山岭、水口山、宝山岩体单个岩石样品计算值
- 1, 3, 5-whole rock isochron initial values of Tongshanling, Shuikoushan and Baoshan;
- 2, 4, 6- single rock sample calculated values of Tongshanling, Shuikoushan and Baoshan

和AS等矿化有关的岩体,岩石微量元素中, W、Sn、Nb、Ta、Rb、U、Th等元素比AS成矿岩体低很多,除宝山岩体的W较高(18.3×10⁻⁶)外,其他岩体这些元素含量均很低,例如: W的含量(1.6~4.8)×10⁻⁶, Sn(3.8~6.5)×10⁻⁶, Nb(13.8~20)×10⁻⁶, Ta(0.9~1.8)×10⁻⁶, U(2.5~5.7)×10⁻⁶, Rb仅(115~178)×10⁻⁶等;而Ba、Sr、Cr、Ni、Co、V等含量高;F含量较低或很低;有关参数中, K/Rb比值及固结指数大; Rb/Sr比值及分异指数小; K/Rb比值达184~366, Rb/Sr比值仅0.2~1.2。

和SI等成矿有关的岩体,岩石的⁸⁷Sr/⁸⁶Sr初始值相对较低,离散于0.7067~0.7147之间;在锶初始值和年龄关系图解上(图4),样点全部位于壳幔源混合区中,没有样点落入大陆壳增长线以上,和AS成矿岩体不同。 $\epsilon_{Nd}(t)$ 值较大,离散于-5.8~7.0之间,平均-6.3,平均值比钨锡成矿岩体的 $\epsilon_{Nd}(t)$ 大。

岩石氧同位素值 $\delta^{18}O$ 为8.5‰~10.68‰,全部岩体 $\delta^{18}O$ 平均值稍低于1%

(4)成矿岩体及成矿分带特征

“SI”型花岗岩成矿岩体,矿化分带不甚分明,比较杂乱无章。只有水口山矿田有一定规律,水口山矿床从岩体边部向外,可分出矽卡岩、黄铁矿带—黄铜矿化带—铅锌矿化带—大理石化带。

康家湾矿区(铅锌金银黄铁矿充填型矿床)可分为矽卡岩、角岩化带—黄铁矿带—铅锌矿化带—硅化带(铅锌金银矿)。

我们这种鉴别标志,完全是建立在单个岩体的特征指数上,是符合实际情况的,但不是绝对的。如果考虑各种因素,显而易见,上述标志也有一定的缺陷,例如黄沙坪和宝山这些岩体都处在炎陵—郴州—江华断裂带影响的次一级同一构造区(单元)的同一矿田中,原来有“坪宝”矿田之称,根据深部物探资料(16 km以下),黄沙坪和宝山两个岩体(群)是连在一起的复式岩体,另从锶同位素初始比值分析,其中黄沙坪隐伏岩体有一个样品的锶同位素初始值为0.7043±0.006,与宝山306号岩体相近,都低于0.708,因此,加上岩体出露标高和成矿台阶等相近的因素,黄沙坪岩体和宝山岩体应同属“SI”型岩体。又如,铜山岭岩体从单个岩体的特征指数将它列为幔源岩体是正确的,但从岩石化学特征来看,铜山岭岩体SiO₂偏高,全岩Nd值为0.51209, $\epsilon_{Nd}(t)$ 约6.7以及从岩体的标高和矿床的台阶显示了壳幔物质特点,因此,黄沙坪岩体和铜山岭岩体应是壳幔物质混合熔融体。在上述两成矿区既要注意寻找幔源型金铜铅锌等矿床,又要注意寻找壳源型钨锡矿床,同时,还要根据成矿花岗岩的形成时代、成矿岩体的产状、形态与规模构造控制因素、成矿花岗岩的成因类型、成矿花岗岩的岩石及地球

化学特征、成矿岩体及成矿分带特征等综合因素鉴别两类成矿岩体,从中区别出幔源型(SI)型岩体及其相关联矿种或矿床。因为以幔源物质为主的幔源型岩体(SI)型及其相关联的金、铜、铅锌多金属矿,它们的成矿台阶比较低,向深部延伸大(深),是深部找矿的最有利成矿系列或矿床。

5.3 幔源成因矿床的鉴别标志

根据成矿台阶理论,幔源深层同熔花岗岩成矿系列矿床的成矿台阶低,且延深很大,该系列矿床在深部找矿中具有很大潜力。

从成矿台阶理论联想思考,有没有幔源成矿系列呢?回答是肯定的。湘中金、锑矿就是以幔源成因为主的矿床,所以在它们的深部都找到了有价值的金锑资源,说明幔源成矿理论是正确的。因此,研究危机矿山矿床的幔源成因,是指导深部找矿的重要标志,在深部勘查前要加大幔源标志的研究。

幔源成因矿床的鉴别,难度比较大,要从宏观地质研究和微观岩石、矿物及包裹体同位素研究等方面进行综合评价。

从宏观上分析,幔源矿床一般分布在深大断裂带上或两侧次级构造中;幔源矿床附近有幔源成因的基性-超基性岩(脉)体,它们的同位素都显示了幔源特征,它们的含矿元素(例如金/锑)丰度都比较高;矿床规模为大型或超大型,矿体分布相对集中,整体分布在平面上呈长圆形或纺锤形。

从微观上分析,同位素示踪研究提供的资料证据对鉴别非常重要。

(1) 锶同位素示踪:不同地质环境下形成的岩石, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始值变化范围是不同的:在海洋玄武岩中为0.702~0.705,大陆玄武岩中为0.702~0.711,壳源岩浆岩中 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始值大于0.708,幔源岩浆岩中 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始值小于0.708,大陆地壳硅铝质岩石中为 0.722 ± 0.005 。因此,我们可以运用 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始值的测试数据辨别成矿流体的来源。

(2) 铅同位素示踪:根据矿石中 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 变化区间来辨别成矿流体的来源,低放射性成因铅可能来自地壳深部,高放射性成因铅可能来自壳源物质。另外可将 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 和 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 的测试数据投到矿石铅同位素的 $\Delta\gamma-\Delta\beta$ 成因图上进行辨别成矿流体的来源(图5)。

(3) 氢氧同位素示踪:首先要研究各成矿阶段(或成矿期)的最具代表性的岩石和矿物的水同位素 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值。从 $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 图解(图6)可知成矿流体性质属于岩浆水、变质水还是大气降水,或是属混合类型。既有岩浆水,也有部分变质水和大气降水。

用同位素示踪来鉴别幔源成因矿床时,也有地学专家采用S同位素或C同位素示踪法,对比方法上有采用图解法的,也有采用座标法的。

6 深部找矿方法

我们说深部找矿是就矿找矿,但深部的就矿找矿与传统意义上的就矿找矿有很大差别,它是在对已知矿山或矿区做了大量地表地质调查、深部勘探等勘查工作、不同程度的科研工作、大量地质勘查和开采工作的基础上进行的延伸(主要是延深)找矿工作。从国外找矿经验来看,一些国家的矿区勘查技术手段相对简单,归纳起来不外乎以下五项:一是成矿规律的研究,二是区域性的航空地质调查,

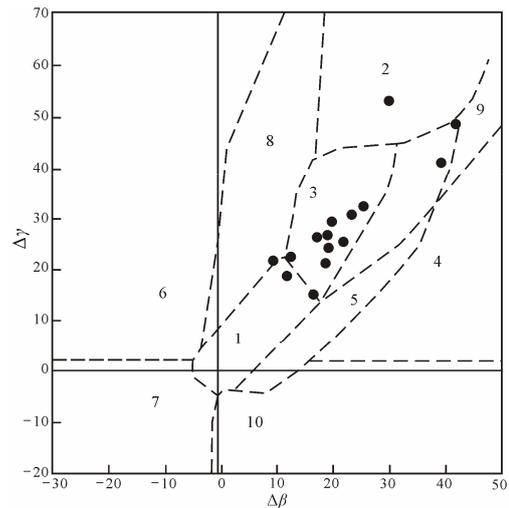


图5 矿石铅同位素的 $\Delta\gamma-\Delta\beta$ 成因图解(据朱炳泉, 1998)

Fig. 5 $\Delta\gamma-\Delta\beta$ relation of Pb isotopes in the orebody (after ZHU, 1998)

1-地幔源铅; 2-上地壳源铅; 3-上壳与地幔混合的俯冲带铅(3a-岩浆作用; 3b-沉积作用); 4-化学沉积型铅; 5-海底热水作用铅; 6-中深质下地壳铅; 7-深质下地壳铅; 8-造山带铅; 9-古老页岩上地壳铅; 10-退变质作用铅

1-mantle source lead; 2-upper crust source lead; 3- subduction zone lead of upper crust mixed with mantle (3a-magmatism; 3b-deposition); 4-chemical deposition type lead; 5-seafloor hydrothermal lead; 6-middle-deep lower crust lead; 7-deep lower crust lead; 8-orogenic belt lead; 9-ancient shale upper crust lead; 10-retrograde metamorphic lead

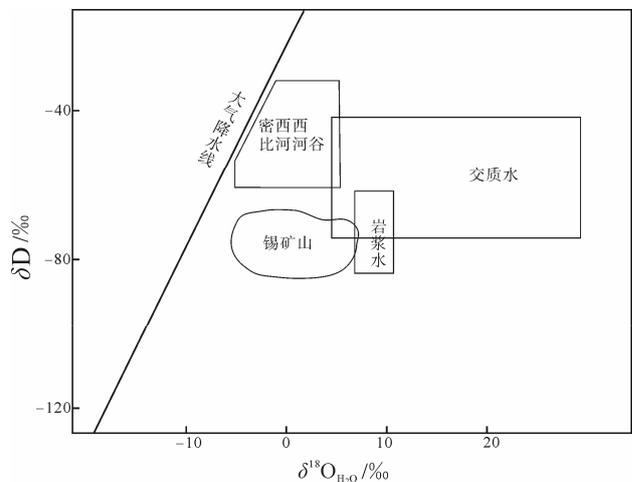


图6 锡矿山锑矿成矿流体图(据印建平等, 1999)

Fig. 6 Diagram showing the ore-forming fluid of the Xikuangshan antimony deposit (after YIN et al., 1999)

三是土壤地球化学取样和岩石拣块取样,四是物探(磁法,地震与重力,或井中瞬变电磁组合),五是深部钻探。但是,简单的手段却取得了很好的效果。据此,我们可以看到,矿产勘查方法是否正确,不应该依其多样性和繁简度论其“好”与“坏”,找矿效果才是最终的衡量标准。

因此,笔者认为,深部就矿找矿要从基础地质工作做起,即:在全面收集整理前人资料的基础上,运用新的找矿理论,按照新的理念和思路,辨别和分析成矿流体深(幔)源标志,确认深部找矿前景;总结研究矿区(或矿)地质成矿规律,创建成矿模式(型),明确找矿方向;加强矿田构造研究、矿体产出形态和延展规律的总结,进行深部找矿预测;进行有针对性的物化探和深部工程(钻探或坑探)验证。这就是四位一体深部就矿找矿工作的方法体系。

在进行上述工作时,我们要明确以下几点:

(1)辨别成矿流体的深(幔)源标志是深部找矿的前提。因为,在论证项目时,必须按照深部成矿的矿种和找矿的类型、岩浆岩深(幔)源成矿专属性、成矿流体的深(幔)源标志等三要素,经专家严格鉴别论证,最终确定深部找矿项目可行不可行。

(2)加强成矿规律研究是矿区深部找矿的基础。因为,按照矿床自身的特征和成矿规律指导找矿工作,既可提高找矿的效率和准确性,又可避免找矿的盲目性。在开展找矿工作时,只要遵循由已知到未知、由浅部到深部的原则,深部找矿的风险就会随之降低。

(3)老矿(山)区深部就矿找矿在成矿理论、观念上必须更新。矿区深部就矿找矿时,成矿规律研究引起找矿思路转变是寻找深部及隐伏矿的关键。有几个传统观点必须重新认识,例如:

传统观念认为,矿体走向(长度)大于倾向延伸深度,矿体倾向变化比走向变化大,因此,现行使用的勘探网度,走向间距一般是倾向间距的一到两倍。这个认识不全对。也许,这对稳定环境下形成的沉积矿床或壳源流体水平运移形成的矿床相对适用,但对幔源流体垂直运移为主形成的矿床就不适用。幔源流体形成的矿床倾向延伸往往大于走向长度,倾向变化比走向变化小。因而用传统或现行的走向间距大于倾向间距的勘探网,显然不能有效控制矿体,甚至漏掉了有价值的矿体。

传统观念认为低温矿床远离岩浆岩,总在高温矿床外围或地表(浅部)出现。这种观念在同源、同一成矿系列适用,对不同源、不同一成矿系列就不适用。例如湘中地区中低温金、锑矿,埋藏或延伸很深,倾向延伸深度比走向长度大1倍乃至数倍。而湘南地区壳源成因的高温钨、锡、铋钼、铅锌矿床,则埋藏或延深很浅。

传统观念中,总是把矿体视为规则板状形态,而现实中板状矿体并不多见,特别是幔源流体形成的矿床的矿体形态具有复杂性、多变性。很多矿体成群成带分布,矿体的分枝复合、膨胀缩小、尖灭再现、侧列、侧伏、倾伏非常多见。因此,要提高对矿体形态及产状的研究在深部中作用的认识,加强矿体形态的研究:一是要研究主矿体或矿体群的分布形态和主轴方向,深部找矿要在主轴方向上去找;二是要研究矿体侧伏规律,深部找矿要沿矿体侧伏方向的深部去找矿;三是要研究矿体倾伏规律,深部找矿要沿矿体倾伏方向的深部去找矿。

(4)深部找矿要探索和引进新技术新方法。深部找矿是在开展详细的地质填图和物(地面磁法)化(水系和土壤沉积物测量)探测工作的基础上,利用成矿规律和成矿模式(模型)进行隐伏矿体预测。现在,它还可根据矿区地质环境、矿床类型和成矿特点,选用实用而有效的勘查技术和方法。例如,运用高分辨率反向地震与重力测量的组合,激发极化测量;运用深部钻探和井中瞬变电磁法的组合,寻找深部和侧旁的隐伏矿体;运用计算技术模拟技术预测隐伏矿体,等等。

7 结语

总之,在就矿找矿的路上,我们任重而道远,但是,只要我们利用科学理论、找到正确方法、发挥我们的聪明才智,发扬吃苦耐劳精神,就会取得显著成效。未来世界是争夺资源的世界,我由衷地希望我们地质人能够不遗余力地在这方面为国家做出贡献。

致谢: 本文的撰写要感谢朱训部长点题,宋瑞祥部长鼓励督促,长沙市开福区教育局教师黄敏同志文字修饰,《地球学报》编辑部作了成文编辑。

参考文献:

- 董和金. 1999. 情系三湘寻宝藏 汗洒四水创辉煌 湖南省辉煌五十年[M]. 长沙: 湖南科学技术出版社.
- 董和金. 2002. 论成矿台阶[J]. 矿床地质, 21(S1): 4-7.
- 董和金. 2005. 论成矿台阶——兼论湖南锡矿成矿台阶及找矿[C]//湖南省地质学会. 湖南地学新进展(2), 长沙: 湖南科学技术出版社.
- 董和金, 徐惠长, 邓松华, 曾东泉, 贾宝华, 刘耀荣, 郑基俭, 吴春兰, 曹湘潭. 2005. 湘南及其周边地区大型及超大型矿床空间定位系统研究[R]. 长沙: 湖南省国土资源厅.
- 董和金, 郑基俭. 2009. 湖南省花岗岩的成因类型及成矿专属性[R]. 长沙: 湖南省国土资源厅.
- 龚政, 王道经. 2007. 湖南省主要有色(贵)金属危机矿山接替资源找矿研究[R]. 长沙: 湖南省国土资源厅.
- 印建平, 戴塔根. 1999. 湖南锡矿超大型提矿床成矿物质来源、形成机理及其找矿意义[J]. 有色金属矿产与勘查, 8(6): 476-481.

中国地质科学院矿产资源研究所. 2009. 国外矿产资源深部找矿勘探的现状与趋势[R]. 北京: 中国地质科学院矿产资源研究所.

朱炳泉. 1998. 地球科学中同位素体系理论与应用——兼论中国大陆壳幔演化[M]. 北京: 科学出版社.

References:

DONG He-jin. 1999. Concern Sanxiang about the deposits, four water to create brilliance, Hunan's fifty years[M]. Changsha: Hunan Science & Technology Press(in Chinese).

DONG He-jin. 2002. On Metallogenic Level[J]. Mineral Deposits, 21(S1): 4-7(in Chinese).

DONG He-jin. 2005. On Metallogenic Level, with a discussion on metallogenic level of tin ore in Hunan and its prospecting[C]//Hunan Geological Society. New Progress of Hunan in Geology. Changsha: Hunan Science & Technology Press(in Chinese).

DONG He-jin, XU Hui-chang, DENG Song-hua, ZENG Dong-liang, JIA Bao-hua, LIU Yao-rong, ZHENG Ji-jian, WU Chun-lan, CAO Xiang-tan. 2005. Space locating research on large and superlarge ore, in south of Hunan and its surrounding areas[R]. Changsha: Bureau of Land and Mineral Resources of Hunan Province(in Chinese).

GONG Zheng, WANG Dao-jing. 2007. Prospecting of the succes-

sive resources for mainly non-ferrous (expensive) metal crisis mines, Hunan province[R]. Changsha: Bureau of Land and Mineral Resources of Hunan Province(in Chinese).

DONG He-jin, ZHENG Ji-jian. 2009. Geochemical Characteristics and genetic types of granite in Hunan[R]. Changsha: Bureau of Land and Mineral Resources of Hunan Province(in Chinese).

GROVES D I. 1993. The crustal continuum model for late-Archaeal lode-gold deposits of the Yilgarn Block, Western Australia[J]. Mineralium Deposita, 28: 366-374.

Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences. 2009. The current trends and Issues of deep prospecting of mineral resources exploration[R]. Beijing: Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences(in Chinese).

YIN Jian-ping, DAI Ta-gen. 1999. Source of ore-forming materials, metallogenic mechanism and prospecting significance of the Xikuangshan super large antimony deposit[J]. Geological Exploration for Non-ferrous Metals, 8(6): 476-481(in Chinese with English abstract).

ZHU Bing-quan. 1998. The Theory and application of isotopic system in Earth Science, with a discussion of Chinese continental crust mantle evolution[M]. Beijing: Science Press(in Chinese).

中国地质科学院朱立新、蒋忠诚、王贵玲 当选俄罗斯自然科学院外籍院士

Professor ZHU Li-xin, JIANG Zhong-cheng and WANG Gui-ling of Chinese Academy of Geological Sciences Elected as Foreign Academicians of Russian Academy of Natural Sciences

2015年2月9日,俄罗斯自然科学院外籍院士颁发证书仪式在北京朗悦饭店举行,受俄罗斯自然科学院委托,俄罗斯自然科学院外籍院士、中国地质大学(北京)教授沈照理教授为朱立新、蒋忠诚、王贵玲研究员颁发了俄罗斯自然科学院外籍院士当选证书。

朱立新,现任中国地质科学院常务副院长,二级研究员,博士生导师。参加工作以来,一直从事勘查地球化学理论及方法研究工作,在地热地球化学、环境及农业地球化学、矿产勘查地球化学等领域取得较好创新性科研成果和业绩,是国内勘查地球化学界有较大影响的科技工作者。作为项目负责人,主持完成国家、部级科研项目近30项;在国内外重要学术杂志上公开发表学术论文100余篇;出版专著和主编论文集7部;获省部级科技成果二等奖4项;获国家实用新型专利1项。

蒋忠诚,现任中国地质科学院岩溶地质研究所业务副所长,二级研究员、博士生导师。长期从事岩溶区水土资源和生态环境研究,主持国家级、省部级等科研项目30多项,在国内外重要专业刊物发表论文190多篇(其中SCI和EI收录30多篇),出版专著15部(其中主编6部),获省部级科技成果奖11项,获实用新型专利2项。

王贵玲,现任中国地质科学院水文地质环境地质研究所所长助理,二级研究员,博士生导师。一直从事地下水资源和地热研究工作,先后主持完成大型科研项目20余项,在国内外期刊和会议文集中发表论文90余篇,撰写专著4部。主持完成的项目分别获省部级科技奖3项;获新华联科技奖突出贡献奖,华夏建筑科学技术一等奖。