

## 盲矿预测(三)

邓尔新

(成都理工学院 成都 610059)

(续前)

对于那些与火成侵入岩体,或火山岩类有关的矿床,也是在运用综合物探方法间接查明成矿地质条件前提下针对下列几种物性特征,选用综合性物探方法追索与圈定矿体:

(1)磁性矿体,包括含磁铁矿的铬铁矿体、金刚石矿体;含磁铁矿、磁黄铁矿的铜、镍硫化物矿体,锡石硫化物矿体等等,均可以磁法为主,再根据各矿种物性特征,配合运用重力测量、地震法或电法追索和圈定盲矿体。

(2)不含磁性的矿体具比重大的金属与非金属矿,如赤铁矿、锰矿、铅锌矿和重晶石等盲矿可用重力法为主,配合电法、激发极化法(针对金属高电导性)等加以圈定。有时重力负异常能圈定比重小的非金属盲矿,如盐矿等。

(3)一般铜、铅锌有色金属盲矿具明显激电效应,故采用激发极化法几乎对所有铜矿和大多数铅锌矿都是追索和圈定其盲矿的常用的有效方法。其中有些需用化探方法综合验证才能起到最佳作用,例如我国管查铜矿、山东小河水村铜矿,爱尔兰纳凡铅锌矿等,有些则配合重力法圈定深的盲矿,如加拿大派恩帕因特铅锌矿床等等(详见后章实例)。

(4)对于一些具高电阻率的石英脉型钨、锡、钼、铋等矿床或金、银石英脉型矿床,则采用高电阻率法(例如对陡倾斜石英

脉用中间梯度法)或压电性方法追索与圈定其盲矿。

(5)含各种放射性矿物或元素的矿体用伽马能谱测量法,加上针对矿体物性的其它方法综合追索圈定盲矿,如一些铜、铀矿的深部预测。

(6)一些有用矿物含量很低地分散在岩石中,但具工业价值。它们并无明显物性异常特征,如金、钨、钼、汞、铋等等,这类盲矿只能通过与其共生的矿物,具各种物性异常,加以追索和圈定。例如金、钨、钼等与黄铜矿等共生、则可用激法极化法通过追索含黄铜矿等地质体来寻找欲寻找的盲矿。

(7)大多数汞、铋矿床,形成单元素矿床,有用矿物在岩石中分散而含量较低,因而与围岩无物性差异,对这类盲矿,物探方法失去作用而不能利用。这是唯一特殊的盲矿类型。

4、地球化学方法在寻找和预测盲矿中的综合运用 地球化学找矿方法在岩石、土壤、水系沉积物、生物、水、气等各类介质中的测量对于寻找和预测盲矿都有着它们的特殊作用。由于它能发现与成矿和成矿元素有关的地球化学异常,因而由它们提供的矿化信息一般均能直接反映矿化或矿体的存在,而且还不会产生像物性异常所常反映出的多解的缺陷,虽然人们用这种方法试图穿透介质以了解地下更深处的成矿现

象,但却是远远达不到像地球物理方法所能达到的效果,然而它们仍然是目前综合寻找和预测盲矿方法中最重要技术手段之一。同时,它还能验证与检查其它物性异常所提供的找矿信息或地质理论指导找矿的效果。

虽然地球化学找矿方法能直接指示并导致发现盲矿体,但现代发展趋势的一个方面还在于重视广泛运用地球化学方法配合中一大比例尺区调工作以查明区域地质和地球化学特征。包括查明区域主要或基本地球化学特征、成矿条件、含矿远景以及区分各类地质体的含矿性、各种含矿建造和与成矿有关的构造体系。笔者认为也可将其称之为“间接”找矿。在这方面传统和常规的方法是岩石、土壤和水系沉积物地球化学测量方法。诚然这三种方法能发挥其特殊和有效的作用,其中水系沉积物地球化学测量犹如重砂测量的某些功用一样并还有它独自特殊不可取代的功用,使它能最快、高效率低成本地查明区域成矿远景,直接导致盲矿预测靶区的圈定。岩石和土壤地化测量除了能配合中一大比例尺填图和上述间接找矿之外,尚能直接追索与发现各类隐藏和埋藏的盲矿。所以以上三种化探方法乃可视之为目前地球化学找矿方法之主体。然而笔者认为对于“间接”找矿的地球化学方法,人们常常将岩石化学(即主要元素氧化物)的研究排斥在地球化学找矿方法之外。这种狭义的“化探”局限了“间接”地球化学找矿方法的效用。如果在地质,尤其是在岩石学研究的基础上,综合岩石化学、化探以及地球化学元素数据的各种数理统计处理的全面研究对于区域地球化学特征(主要或基本)的查明及评价区域成矿远景、判断岩石和各类地质构造体的含矿性等等必然会有最佳的效果。这种可称之为以查明区域地球化学特征为基

础的“整体地球化学评价找矿法”,如果再与遥感和物探找矿法相结合,则无论是对“间接”或“直接”寻找和预测盲矿无疑将会是成功之道。此外,由于宇宙、航空找矿方法的发展,例如航空气体测量、航空微(粒)尘测量和空中金属有机化合物微粒或气溶胶测量等空中测量采样方法的进展,以及大气和气中微量化学组分引起的物性异常,配合运用遥感和宇宙、空中物探的调查等,这些技术方法的改进将会使今后快速大面积收索宝贵矿化信息收到更好的效果。因此从发展趋势来看笔者称之为“整体地球化学评价找矿法”和新技术方法如气体及与其有关的地球化学测量的运用,将会得到越来越多的重视。至于植物和水化学测量较适合用于在大比例尺或特定的地域内直接寻找并追索盲矿。甚至有时用水化学测量还可发现很深的盲矿。现分别两大方面阐述综合运用地球化学方法预测和寻找盲矿的功能。

4.1 整体地球化学评价和找矿法查明区域地球化学特征和成矿远景 这即是配合区调发挥其“间接”找矿功能在中一大比例尺区调中配合地质填图、立体制图以及地球物理方法从总体方面对某些特定规模(与中一大比例尺相应)的区域的地质、地球化学特征及其含矿远景作出较全面和准确的评价。这对初步缩小找矿靶区并在此基础上进一步工作以发现多种多类的盲矿是至关重要的。从某种意义上来说这“间接”找矿应是直接找矿的先决或前提条件,所以越来越受到广大找矿工作者的重视。一般来说它包括对区域地球化学三方面的研究:

(1)针对所有成矿或与其有关的微量元素的研究。这就是现代传统和常规的地球化学找矿法(或简称之为化探)。其中配合中一大比例尺区调进行的即前述岩石、

土壤和水系沉积物地球化学测量为主体的化探。水系沉积物地球化学测量因其速度快、成本低和效率高所以常超前于地质测量填图而进行。在它发现异常并初步圈定远景地区重点深入地研究地质成矿条件和进行岩石、土壤地球化学测量,在一旦发现异常的情况下便及时再加密测网测量。

(2)主要元素氧化物(或称岩石化学)地球化学研究,这就是笔者前文所强调的项目。有时这项研究在地质调查时进行,由于分析成本较高,故在区调时一般加以忽略或简略,仅成为研究岩石的附带工作,故所得资料往往很零散且未能与全研究(调查)区内的上述化探测量相结合分析,并往往不能用以系统阐明区域地球化学的主要或基本特征。

(3)上述二种研究采样分析所得数据的进一步处理,揭示三大类元素(即亲铁元素族、亲铜元素和亲石元素族)以及成矿元素及其有关元素之间的内在联系或相互关系,常用简单数学方法或较复杂的各种数理统计以及图解方法加以表达,以便更深刻地反映区域地球化学特征、元素活动史、地质体的含矿性及区域远景评价等等。例如邓尔新等(1982—1987)在浙江省绍兴—诸暨—东阳北部金矿带成矿规律及找矿方向的研究中,对上述三方面地球化学的内容进行了较全面和深入的研究从而揭示了该金矿带的区域地球化学特征及各类地质体的含矿性以及各类元素在各类地质体中的丰度、集中分散规律及其相互之间的关系。

邓尔新(1984年)将上述金矿带划分为:1,北部中嵛—平水金、铜矿田;2,中—南部潘村—横山—桐树林金(铜)矿田。经重新对该区岩石全面鉴定和岩石学的研究确定:北部中嵛—平水金、铜矿田内主要为火山—岩浆岩建造,属下元古界双溪坞群

地层,火山岩系的第一、二和第四火山旋回,主要是由细碧—角斑岩建造组成的优地槽火山岩系(前人误为陆相变质火山玢岩系),第三旋回以酸性火山碎屑岩为主体。雪峰期绍兴花岗闪长岩(前人误定为二个石英闪长岩体)侵入于上述双溪坞火山岩系之中。火山岩系基本上保持原火山原岩面貌、少量轻微变质不超过绿片岩相以及某些地段有动力变质及蚀变现象。邓尔新等(1982—1984)根据火山岩在矿田内的分布与出露面积,在未蚀变新鲜原岩中取大量系统的岩石化学样品进行化学分析,得出其主要元素氧化物百分含量如下表(表1)并根据各类火成岩(火山岩及花岗闪长侵入岩)出露面积加权求出全矿田主要元素氧化物含量的平均值,从这平均值可以看出整个金、铜矿田区域地球化学的主要特征。除此之外,又将金、铜矿田中的与成矿基本无关的酸性凝灰岩剔除,则可以同样加权平均法求得全矿田内与成矿有密切关系的细碧—角斑—石英角斑岩等火山岩系及花岗闪长岩侵入体的主要元素氧化物的平均百分含量。这又从另一个侧面反映出中嵛—平水金、铜矿田区域地球化学特征的与成矿密切相关的另一主要方面(表1)。从全矿田主要元素氧化物的平均含量值来看与戴里花岗闪长岩(标准岩)特征相近,说明其为相当上壳层的成分,但其 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 和 $\text{CaO}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 及 $\text{Na}_2\text{O}$ 偏低而铁族元素如铁、镁(超基性岩浆元素族)、锰、以及钛的氧化物偏高。这些主要特征是由火成岩的主体成分所决定的。与成矿有密切关系的细碧—角斑—石英角斑岩火山岩系(已知西裘铜矿即平水铜矿和中嵛金矿分布于此岩系的有关火山岩中)和绍兴花岗闪长岩(含金矿化)在矿田中的分布面积占主体。它们的主要元素氧化物平均含量值反映出中酸性偏中性火成岩类的特点,其

总体成分大约相当于下壳层的成分。它们  $\text{MgO}$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{MnO}$  等亲铁或铁族元素氧化物相对于戴里花岗闪长岩  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{FeO}$ 、物

表 1 中岙—平水金、铜矿田主要元素平均含量(%)

岩石类型	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{TiO}_2$	$\text{FeO}$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{MnO}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O}$
细碧岩类	50.02	16.72	4.16	1.48	6.25	4.94	4.42	0.43	0.15	1.08	4.31
角斑岩——石英角斑岩类	66.14	14.35	2.31	0.07	3.07	2.91	2.15		0.31	0.88	3.93
花岗闪长岩类	65.46	14.15	2.90	0.62	2.41	3.82	2.73	0.20	0.07	1.69	2.36
酸性凝灰岩类	73.73	13.63	2.94	0.65	0.74	0.09	1.16		0.03	2.91	0.23

中岙—平水金、铜矿田主要元素地球化学特征及其与标准花岗闪长岩比较

类 别	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{TiO}_2$	$\text{FeO}$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{MnO}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$
金矿田岩类 加权平均值	65.81	14.40	2.89	0.76	2.68	2.73	2.37		0.15	1.66	2.87	1.72
细碧—角斑—石英角斑 岩加权平均	63.17	14.66	2.87	0.79	3.33	3.62	2.77		0.18	1.25	3.76	2.1
戴里花岗闪 长岩	65.01	15.94	1.74	0.57	2.65	4.42	1.91		0.07	2.75	3.70	1.34

偏高较大,而  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$  均偏低,但其中  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$  比值却大大高于戴里花岗闪长岩的  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$  比值。这说明火山岩是在海底喷溢的,另一方面也说明其来源(岩浆物质来源)于上地幔或地壳深部。火山岩类相当于邓尔新在成矿规律<sup>[9]</sup>中所述的钙—碱性绿岩建造的上部岩组。岩浆岩(火山岩和侵入岩)的成因和其物质来源从其主要元素氧化物的一系列特征可以得到较好的说明。这对于区域含矿远景的评价是十分重要的基础资料。金矿带的中—南部为潘村—横山—桐树林金(铜)矿田。经岩石学的研究原岩恢复,认为该矿田内主体片麻岩系夹有少量片岩类的变质岩系原岩主要为一套火成岩—火山

岩系。以各类岩石出露面积加权平均,以 23 个化学分析样品求得全矿田主要元素氧化物的平均百分含量如表 2;其主要变质岩类的主要元素氧化物平均百分含量如表(2),表 2 中可见全矿田主要元素氧化物的平均百分含量值,充分揭示了全变质岩金(铜)矿田区域的地球化学主要特征。它与前述中岙—平水金、铜矿田中产出之角斑岩的地球化学特征相类似。换言之,它们原岩相当于钙—碱性绿岩建造之中火山岩组(详见邓尔新:成矿规律<sup>[9]</sup>北美太古代绿岩带 Michipicoten 群地层柱状图)。它们相对陆壳之下壳层组分其  $\text{SiO}_2$  含量还偏低,镁铁组分还偏高,是优地槽海底喷溢之火山熔岩或碎屑岩的典型产物。此外此建造

变质程度较金矿带之北部略深,为绿片岩相—低级角闪岩相。它们与北部中岳—平水金、铜矿田之间为大横断裂切割,因此,

从地质和地球化学特征分析均可得出一致的结论,变质岩系原岩为以角斑岩为主体

表 2 潘村—璜山—桐树林金(铜)矿田主要元素地球化学特征(%)

岩石类型	原岩	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	CaO	MnO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O/K <sub>2</sub> O
全矿田变质岩系平均成分	相当于角斑岩	60.86	0.73	16.11	2.98	2.98	2.76	4.43	0.10	3.81	2.00	1.91
钾长—二长片麻岩类	酸性火成岩	68.02	0.51	14.89	1.40	2.00	1.23	1.87	0.09	3.87	3.39	1.14
斜长片麻岩	中酸性火山岩	67.48	0.39	15.21	1.95	1.80	1.35	2.02	0.07	3.88	2.40	1.62
斜长片麻岩—角闪斜长片麻岩	中性火山岩	58.80	0.75	16.48	3.61	3.16	3.01	5.34	0.10	3.85	1.53	2.52
绿片岩——角闪片岩类	细碧岩类	52.51	1.24	17.20	3.91	4.68	5.02	6.29	0.14	3.59	1.51	2.26

的细碧—角斑—石英角斑岩系,与北部火山岩系同来源于上地幔和地壳深部但层序较北部火山岩系为低,产出较深,故变质程度也相对较深,经断层抬升剥蚀而出露地表。除此之外,代表金矿带中—南部变质岩区的岩石化学百分含量平均值与诺科斯角斑岩(标准岩)相比<sup>[10]</sup>,以及分别各类出露于矿田中的变质岩与其原岩相当的标准火成岩相对比,均可显示出矿田内的变质岩系地球化学主要特征为铁、镁总值, CaO 和 TiO<sub>2</sub> 值高, Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O 总量虽偏低,但 Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O 值却偏高较显著。也同样证实上述变质岩系原岩火山岩系的成因、物质来源及其与成矿的关系。与主要元素氧化物地球化学特征的研究紧密相关的是在全金铜矿带展开大量微量元素的分析和研究。全区的微量元素仍然按其亲铁、亲铜和亲石族的三大基本分类进行系统研究,主要的目的在于查清这三大类元素与主要成矿元素 Au、Ag、Cu(亲铜元素族)内在成因联系,它们在各类地质体中的分配、迁移和富集规律。为此,必须将所获数据进行系统

整理。其中最基本的方法是查清各个主要成矿元素或其它微量元素在全区和各个地质体中的丰度,即背景含量,均方差和变异(化)系数以及异常下限值等基本数据。在此基础上可进一步查清各类元素相互关系,在地质和成矿作用过程中活化或带出带入的程度。在不同成矿期或同一成矿期不同成矿阶段富集成矿的可能性、规模及形成条件和机理等等。同时利用所圈定的各种元素地球化学异常区,进一步追索和圈定盲矿体。在确定成矿或有关元素在地质体中的丰度时,应严格采用通常规范的方法多方案地剔除元素异常含量值和元素含量频数直方图制图的对比,在此基础上采用正态分布最好、变异系数最小,结合地质分析判断最合理的最佳方案。如邓尔新等(1984)以上述方法,选择了最佳方案在全金矿带以 183 个微金分析样品,197 个铜的化学分析确定了金矿带全区的 Au、Cu 背景值。并两个矿田及其主要含矿岩石相应有关样品中确定 Au(以及铜)的各自背景值如表 3 中所示。从表中数据可知,中

岙—平水金、铜矿田中细碧岩和侵入岩中含金丰度相对较高,铜在火山岩中丰度较高,相应的它们的均方差和变化系数均较小。Au、Cu 在变质岩系(潘村—桐树林金(铜)矿田)中的丰度很低,相应的均方差和变化系数也较大。说明原岩—火成岩在变质作用过程中,Au、Cu 均发生活化带出迁移,富集于变质热液中,这与笔者观察总结,认为潘村—横山—桐树林金(铜)矿田内的金矿床和矿点均分布于区内深大断裂—富盛—乌灶深大断裂之上盘,科长—角闪斜长片麻岩及其中绿片岩内之平行深大断裂带的一系列断裂的旁侧羽状断裂裂隙中,大多为含金石英脉矿床或矿点的事实是相符合的。此外,还以 227 个化学分析样品确定了 Ag 的异常下限值。又测定了 Co、Ni、Cr、V、Ti、Mn、Pb、Zn、Ga、Ba、Zr、Y、Sr 等 13 个微量元素在全区和分区各类岩石中的平均含量(ppm)。其中 Co、Ni、Cr、V、Mn 在各矿田和各类岩石中以及全区的平均值均与相应的标准岩的这些元素

平均含量值要高出许多。而 Zr、Y、Sr 等含量偏低,Pb、Zn、Ga 等亲铜元素族则与标准岩类中该微量元素的含量基本相同,或略为偏高。在此基础上进一步对各矿田和矿田内各类火山岩、侵入岩及变质岩中所含微量元素分别有金属异常和无金属异常含量的样品进行了集群分析。从分析结果可知二个矿田内各种岩石中无金属异常含量的样口集群分析均反映出铁族(或亲铁元素族)元素(不仅丰度高)同簇且相关性显著,其中尤以绍兴花岗闪长岩中最为显著,且该族元素又与金、银、铜、铅、锌、镓等亲铜元素族有很好的相关性<sup>[11][12]</sup>。亲石元素族在各类岩石中丰度低但也均同簇其相关性也好。在金矿带的火山岩和变质岩中无论是有无金属异常含量的样品其微量元素的集群分析结果均可见 Au 均为独立体系。在中岙金矿床矿石内和其它岩浆岩变质岩有金属异常的样品中,Au—Ag 相关极为显著(回归分析也证实这一结果)。它们还与 Pb、Zn 有不同程度的相关。

表 3 金矿带全区及各矿田、重要矿床和岩类 Au、Cu 含量(背景值等)表

地区或地质体		金矿带全区	中岙—平水金铜矿田	中岙金矿床	中岙细碧岩	潘村—横山—桐树林金矿田	绍兴花岗闪长岩
项 目							
背景值	Au(g/t)	0.0033	0.00449	0.0033	0.004	0.0025	0.004
	Cu(ppm)	<sup>*</sup> 57	58	90.59	104.17	56	
异常下限值	Au(g/t)	0.01	0.011	0.01	0.01	0.008	0.01
	Cu(ppm)	144	147			141	
异常变化系数下限值	Au(%)	97	72		72	115	75
	Cu(%)	77	76			77	

(\*注:表中 Cu 的背景值取与 Au 共生的情况,若单独圈定 Cu 的异常取 Cu 的背景值为 70—80ppm,异常下限值为 200—260ppm,以 212—216 个样品确定)

说明 Au—Ag 为热液成矿。异常带中的 Au—Ag 高含量是叠加于正常岩石中,是由含 Au—Ag 热液带入的组分。铜和锌与其它元素的相关性虽较复杂,但在变质岩、火山岩无金属异常样品的簇群分析中它们与铁族元素同簇,并有一定相关关系。综合以上可得出下列结论:(1)绍兴花岗闪长岩主要和微量元素地球化学特征均与我国华南雪峰期各地花岗闪长岩相同。整个金矿带中的火山—岩浆岩和变质岩系的地球化学总体特征明显地表现出它们共同来源于上地幔或地壳深部的成因<sup>[11,12]</sup>。(2)Au 与 Cu 应同属上地幔或地壳深部岩浆源。在岩浆作用分异过程中产生复杂的关系。在拉斑玄武岩岩浆分异的过程中,Ni—Co—V—Cr 与 MgO 亲密而相关易于富集于岩浆结晶作用的早期,并在后期金、铜分异出岩浆之后,岩浆恢复含 MgO、TFe 量高时它们又相应升高(如切割中岙金矿脉的晚期钠长辉绿岩脉就是这样)。Au—Cu 则在岩浆分异的过程中显示出与 Na<sub>2</sub>O 关系较密切,并有强亲硫性,因此在拉斑玄武岩岩浆结晶分异作用的中、后期富集。在以角斑岩类为主体的岩系中则可见 Cu 与铁族元素呈相关关系。这主要是由于 Cu 与中—中酸性岩浆岩同源上地幔或地壳深部,所以在一定相关性水平上,铜与铁族元素为一大簇。此外,在岩浆分异至中—酸性阶段,含矿气液中富铜。因而在岩浆喷气过程中铜(Cu)与中酸性—中性岩浆母岩(火山熔岩)共生。而 Au 则与拉斑玄武岩岩浆分异作用形成的富钠细碧质水岩浆成矿作用有关。此外 Au 还在岩浆分异作用的晚期,形成中酸性岩浆侵入作用及其派生的含 Au 岩浆期后热液中富集。金的亲铁性和亲硫性以及富钠的碱性溶液中迁移富集的能力显示出金的总的特征是在岩浆期后热液和火山热液中富集。同时它们常常与来自

上地幔岩浆源的基性—中酸性分异作用良好的岩浆岩如细碧—角斑岩火山岩系或花岗闪长岩、基性花岗岩有密切成因关系。(3)区域变质作用,使已形成之火山岩—岩浆火成岩变质,其中所含 Au(Ag)、Cu 等主要成矿元素活化,带出并迁移至线变质相带岩系的构造裂隙中形成 Au(Ag)、Cu 等矿脉<sup>[13,14]</sup>。

根据成矿规律及上述区域地球化学总特征的研究和整体评价可极大地缩小靶区,例如在上述整个金矿带的区域内将靶区集中缩小到细碧岩(找 Au 为主)、角斑岩—石英角斑岩(找 Cu 为主)和花岗闪长岩(找 Au)的分布区内以及在富盛—乌灶深大断裂之上盘、斜长—角闪斜长片麻岩及其中所夹绿片岩等变质岩系(找 Au、Cu)分布区内,以大比例尺化探扫面。即以水系沉积物地球化学测量配合重砂测量先行。岩石测量地球化学方法可沿断裂、裂隙构造先行构造地球化学测量,然后配合大比例尺填图展开相应比例尺的土壤和岩石地球化学测量。这样在缩小靶区之后工作量可省去 2/3 左右,并能大大提高找矿效率。例如已在深大断裂带所取构造地球化学原生晕样品,发现异常地段,其上盘往往有金矿床、矿点出现。从中岙金矿所取原生晕样品研究,可见明显的原生晕包裹金矿脉,占探深部含矿裂隙之上盘细碧岩广泛蚀变,Au 的原生晕显著。坑道在浅处切穿矿脉,矿脉上、下盘之细碧岩、角斑岩广泛蚀变,Au 的原生晕在矿脉上盘发育强烈规模较大,矿脉下盘也仍然有 Au 的原生晕发育。因此,利用构造裂隙岩石地球化学测量能较快地发现金的盲矿脉的头晕和侧晕<sup>[15]</sup>。

以上以具体实例论述了整体地球化学评价和找矿法的研究内容、方法及评价成矿远景缩小地球化学找矿靶区的效果。在

不同地区,还可根据实际情况选用更多的方法以达到更准确评价区域成矿远景缩小找矿靶区的目的。例如对稀土元素地球化学、放射性地球化学的研究,运用更复杂的数理统计处理数据,或制作更为丰富和复杂的地球化学图件等等。本文下面还将详述研究岩石化学纠正三次勘查错误,最后探明矾山含稀土磷、铁矿生动实例。

#### 4.2 直接预测和追索盲矿的地球化学方法的综合运用。

地球化学的各种找矿方法及其与地质、遥感和物探等方法的综合运用对找寻、追索与圈定盲矿均起着极为重要的作用。国内外通过地球化学方法寻找到世界级大型、特大和大型矿床以及发现和圈定大量中、小型矿的实例众多,其中大多数中—大型以上的盲矿的发现是综合运用地质遥感和物化探多种方法的结果,但也有不少盲矿是单一以化探方法直接发现的。这都说明了地球化学找矿法在直接追索与圈定盲矿方面有不可取代的作用。

在寻找、追索和圈定盲矿的过程中,运用岩石地球化学测量最为广泛。土壤地球化学测量在寻找疏松覆盖层之下的隐伏盲矿,或者发现隐藏盲矿在覆盖层下之原生晕等都是很有效的方法。这二种方法在大比例尺区调(1:50000—1:25000)或更大比例尺的普查中,配合地质制图、物探扫面等方面对发现隐藏和隐伏的盲矿田、盲矿床和盲矿体都有它独特的作用。在矿床或矿点被转入勘查阶段之后,配合坑、占勘查,在地下进行的岩石地球化学测量与槽、浅井探矿工程相配合对于验证遥感、物探和小比例尺地球化学探矿信息、圈定隐伏盲矿也是不可缺少的常规工作方法。岩石和土壤地球化学方法特别适用于稀有、有色金属,而甚至对各种金属与非金属盲矿它们也仍然是有用的方法。本文作者曾举

出了用原生晕或土壤次生晕在80年代找到一些世界级大型金矿的实例美国和前苏联在60年代末和70年代初利用原生晕找到卡琳型金矿和穆伦套金矿等例子充分说明岩石地球化学方法在寻找地表和盲矿的极为重要的意义<sup>[9]</sup>。在大比例尺系统岩石地球化学测量,预测盲矿远景和发现新的具工业价值盲矿方面,前苏联和保加利亚地学者总结他们七十年代以来的成果和进展反映他们在前苏联哈萨克斯坦、南乌拉尔以及保加利亚等地区对稀有、有色金属,金—多金属等等远景区的肯定和发现一系列规模巨大的多种成矿元素的异常带,成功地预测盲矿田—盲矿体的成就。他们在哈萨克斯坦对加里东和海西期最典型的云英岩型稀有金属成矿区以岩石地球化学测量配合1:50000地质测量对有远景地区以500×500米的网度采取样品,在较好远景地段以250×(100—50)米网度采样,总共2500个样品,取得了一系列成果。发现在含矿花岗岩的顶部岩颈,既表现局部重力最小值,又伴有宽阔的综合地球化学晕,离花岗岩顶部岩颈越远,晕中有色金属成矿元素占的比例越大(分带现象)。在规模很大的地球化学异常反映出来的导矿带范围内,不同方向导矿带的交叉地段为最有利成矿的地段,矿床、矿点等即分布于此地段内。由这样重新为评价展开的化探工作,划分出三个有远景的矿段,查明了新的导矿构造和控矿构造,确定了锡—铌矿点和金—银矿点分布的有利的火山管道—次火山相等蚀变地带。在已查明的一些矿床的翼部发现了新的有工业价值的盲矿体。他们还对海西期石英—金—多金属矿床分布区150平方公里范围内按500×250米网度,取550个捡块样品,查明有金、银、铅、锌、铜、钼、钨、铋、锡、铌、铍和钴的地球化学异常。划分出金的异常(金带入带)规模



很大,长 15 公里,宽 2—2.5 公里,呈近东西的北东向延伸。在这巨大的地化所查明的导矿构造范围内,分布着已知矿体和矿化点。经新的地化成果研究发现原来认为北西向构造控矿,现认识只有当其与上述规模巨大的北东向构造的交叉地带才有矿床、矿点出现。在皮切洛雅德脉状石英—多金属矿区所在的区域内,按 500×250 米网度进行岩石地球化学测量,对所获得的低异常采用累剩法所制的区域异常图成功地追索到矿床地段的所有含矿构造。所发现的规模很大长 5.5 公里宽 2 公里的异常带为线状延伸它包含含矿断裂和矿脉。异常带延伸至西部,又发现有北东向的含矿构造存在。已知的皮切洛雅德矿床就是产在近南北向(北西 310°和北东向—60°)二组合矿构造交叉地段。在保加利亚巴尔干山脉中部地区为查明该区黄铁矿型铜矿远景所进行的 1:25000 比例尺岩石地球化学测量配合水化学找矿所圈出的异常带的规模超过原有已知矿点面积数拾倍。有远景的地球化学异常位于北西向和北东向断裂交叉处。一般在北西向的地球化学异常中起主导作用的是 Cu、Co、Ni,而在北东向的地球化学晕中起主要作用的则是 Ag、Pb、Zn。在异常带中进一步以更大比例尺 1:5000 的地球化学和地球物理及综合地质调查后,证实有盲矿存在的远景并转入进一步勘查揭露。整个异常带已证实为铜—多金属矿化类型,最有远景的盲矿带处于地下 200—300 米深处。他们还对哈萨克斯坦晚泥盆—早石炭世碳酸盐类岩石中铅锌矿分布的阿克扎尔—阿克索朗原生异常带进行分析研究。成矿元素铜、锌、银、铜、汞在空间分布相互有关,由它们组成的异常分布带组成大型线型带入带反映出导矿构造有长数拾公里,宽 300—400 米的汞、锌、铅、铜、银、钡晕,沿主要导矿构造每隔

5.5—7 公里与横向控矿断裂的交叉地段有一个矿田和矿结,以面积为 15—20 平方公里的等轴状异常场(同一套元素)为标志,在矿田和矿结内,单个矿体和成群的矿体都有长 3—4 公里,宽达数百米的原生晕。有的晕中除主要由上述成矿元素组成之外,尚有显著数量的镉和铟。晕中元素分带以上往下为: Pb—Ag—Cd—Hg—Cu—Ba—Mo—Zn。已划分出了八个大异常场,大大扩大已知矿田的远景,并于其中发现漏掉盲矿体可能性很大的地段。此外,他们在前苏联南乌拉尔等地区还利用趋势分析发现地下风化型镍矿的分布规律<sup>[16]</sup>。以上仅是一些国家利用原生晕评价远景区预测隐藏盲矿田—盲矿体的成功的部分实例,但从中已可见到岩石地球化学测量在大比例尺区调和普查中系统进行所获成果的重大找矿意义。此外,配合物探、占探、坑道进行更大比例尺 1:10000—1:1000,岩石地球化学测量,直接找到工业价值很大的盲矿的成功实例也有很多,本文作者曾举出西澳化探在物探综合异常的基础上成功找到与硅铁建造有关的浸染型层状金矿的实例。我国在福建普查利用物探和原生晕预测隐藏较深的铜矿实例(详见下文)以及我国辽宁青城子铅锌矿在勘查中利用占孔岩芯中取样分析所得原生晕(头晕)进一步占探找到隐藏工业盲矿的例子<sup>[17]</sup>,国外如美国在亨蒂克铅锌多金属矿地下分支坑道中取样发现原生晕(侧晕)铅、锌含量为高异常,于是再往前掘进不足 5 米即发现富矿体,勘查后得知其储量达 12000 吨。诸如此类的例子较多,在下文中各类盲矿预测成功实例中还将较系统叙述。大比例尺区调和普查找矿阶段中土壤地球化学测量对隐伏盲矿的预测是它的主要功能。在评价远景区和辅助解决地质问题等方面它大体相当于岩石地球化学测量上述的作用。由

于它被限定在一定厚度范围内的覆土中的取样调研工作,因此某种意义上较之岩石地化测量运用的广泛性和效果相对要差一些。它除了对稀有、有色金属、贵金属以及放射性金属的盲矿寻找非常有效之外,几乎对所有金属和某些非金属隐伏盲矿的预测、追索和圈定都是可行的方法,有时还可利用这个方法间接寻找隐藏盲矿。我国利用土壤地球化学分别在广东、广西、山东、四川和陕西等省发现铜、锡、大型钼钒、铬矿等等隐伏盲矿<sup>[1,2,17]</sup>。对于分析土壤中次生晕在分带性从而在覆盖层下发现不同类型的盲矿有广东省土壤地球化学测量取得的成功实例;我国广东省地化找矿工作者在将覆盖层中取样分析获得的次生晕划分为内带位于花岗岩与灰岩接触带上以 W、Sn、Bi 晕为主异常含量高规模大,中带位于灰岩中为 Pb、Zn、Cu、Sb 晕,外带位于砂岩中的 As 晕。经占探查明内带晕有疏松沉积物之下有工业价值较大的钨矿直接产出,中带找到铅—锌—铜的盲矿体。诸如此类的实例也很多,限于篇幅在此不一一详述。

水化学、植物化学和气体地球化学找矿方法虽因某些条件限制常不能配合地质制图系统进行,但仍然能利用它们成功地寻找、追索和圈定盲矿。有时还可预测到很深的隐藏盲矿,例如水化学找矿法,有时其它方法均不见效,而用它却发现了较深的盲矿。我国江西德兴铜矿区,在已知和新发现铜矿床之外围经占探验证岩石和土壤地球化学异常未见工业盲矿,但发现流经该区之水流中,有标志有工业价值矿体的水异常:Cu 和  $\text{SO}_4^{2-}$  异常(浓度高)而 pH 值低,尤其是在该区的一些支流流水中也有明显的上述水化学异常出现,说明该区确有盲矿存在的可能性,但该区已查明的原生异常含量很低,分析这很可能是由于盲

矿隐藏很深所致。于是在围岩蚀变和有水化学异常的地段,加强研究布置深占孔,结果占穿揭露了一个隐藏较深的大型铜矿床。在江西省南部地区配合 1:50000 填图同时进行了水化学测量,结果依据  $\text{Cl}^-$  含量异常配合地质构造分析(该异常处于盆地沉降中心)以及物探重力负异常及电测深曲线为高电阻率位置,布置占孔揭穿深部有 150 米厚的岩盐层。此外,利用水化学如含 Br 高异常等标志寻找钾盐盲矿的实例也是很多的。水化学找矿对于寻找铀盲矿也是很有效的方法,流经铀盲矿的地下水常溶有含 U 元素的水晕。此外,铀盲矿常共生有如 Zn、Pb、Cu、Mo 等等的硫化矿物以及一些气体(如 Rn 氡),这些元素可与 U 共同形成水晕,当它们出露地表,就可在水样中发现它们,也因水流较远,故能指示深处盲矿。例如我国北方某铀矿床通过水晕,在查明有 U—Zn 及 Mo、Rn 水晕异常高的情况下,用浅占揭露,有的水异常指示的深处见盲矿,有的却见到原生异常。在前文中笔者论述了由于矿体产于含矿断裂、破碎带或裂隙之中,这些构造有时与地表相通达于浮土之下,或者由于地下盲矿被新构造断裂切穿,这些断裂可作为通道将溶有或含有成矿元素的水晕、气晕运移到土壤或大气(指气晕)中。因此,除上述之水晕之外,气晕(尤其是活动性大的汞气—详见前文所述)在某种情况下可以指示很深的隐藏盲矿。壤中和大气中气汞地球化学测量是目前国内外寻找盲矿的现代技术方法之一,十分有效。例如我国四川某铀矿远景地段,用伽玛测量和十个占孔探查均未揭露铀盲矿,由于在 1978 年开展了壤中气汞测量,在已知矿带之北部发现气汞群点异常,且强度大。以 5 个占孔勘探均揭穿了一个工业盲矿体。此外,他们还以壤中气汞测量指导地下坑道探矿又成功地揭穿一

些工业盲矿体。这些例子仅从一个方面说明运用壤中气汞测量指导找寻、追索盲矿的现实意义。笔者还在前文较广泛地论述到国内外以各种气晕指导找盲矿的实例和尝试。对  $\text{SO}_2$ 、 $\text{CO}_2$  等气体对找寻黄铁矿型—多金属,硫化物银、金矿、汞矿等等均在大力研究和开展之中。至于利用生物—主要是植物来寻找盲矿,笔者也在前文中作了较广泛论述,植物的各方面发育和表现特征配合遥感遥测和航空地质学测量对找寻盲矿有重要作用。地球化学方面是以广泛取样通过某些器官中灰分的地球化学异常来找矿。在植被如森林发育地区,或有迁移成因(外来)的土、砾、冰碛物覆盖区,利用它来寻找盲矿也是有它不可取代的功

效,一般来说对亲铁、亲铜和亲石元素基本上都可用植物地球化学找矿方法来寻找这些成矿元素的盲矿,国外如美国、芬兰都成功地以植物中灰分成矿元素的异常找到覆盖层之下的铀矿、镍矿等,一般盲矿隐伏数米至 25 米,特殊情况下可发现 50 米或更深的隐藏盲矿,这需视有无切穿盲矿的新断裂构造将含成矿元素的水晕带到植物根部而定。以上可见综合运用地球化学找矿方法(还包括包裹体、航空、海洋化探等),并配合本文所述其它各种找矿方法是现代找寻、追索和圈定盲矿,或评价远景区,缩小找矿靶区不可缺少的最重要的方法之一,并仍在发展之中。

(未完待续)

### 主要参考文献

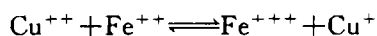
- [1]邓尔新. 矿产预测,《找矿勘探地质学》(高等学校统编教材),P. 21—71,地质出版社,1988 年 4 月北京第二次印刷。
- [2]邓尔新. 论盲矿带(田)盲矿床(体)的预测,盲矿预测(一),成都地质学院,科技情报(一),1982 年 4 月。
- [3]刘燕君编著. 遥感找矿的原理和方法,冶金工业出版社,1994 年 4 月。
- [4]L. C. Rowan, E. H. Iathram. Remote Sensing in Geology Edited by B. S. Siegal. A. R. Gillespie by John Wiley & Sons Neco York Chichester Brisbane Toronto, 1980.
- [5]A. Г. 塔尔霍夫, B. M. 邦达连科, A. A. 尼基金著. 地球物理方法的综合应用,姜枚译,李方锦校,地质出版社,1988 年 3 月。
- [6]D. A. 巴尔. 加拿大不列颠哥伦比亚查佩尔(Chappelle)金—银矿床,国外金矿译文专辑,成都地质学院 1981 年 5 月,邓尔新译自 Transactions of the Canadian Institute of Mining and Metallurgy and of the Mining Society of Nova Scotia. Vol. 81, P. 28—41. 1978.
- [7]邓尔新. 外生成矿规律(一、二、三),四川有色金属,1993 年第 2, 3, 4 期(连载)。
- [8]丁绪荣,于汇津等编. 金属物探简明教程,地质出版社,1980 年,北京。
- [9]邓尔新. 成矿规律及盲矿预测与管理(连载),地质科技管理,1989(4);1990(1—6);1991(5—6)。

(下转第 29 页)

铁锑比实际上比计算添加硫酸亚铁时大得多。空气氧化法脱砷率可达 99%，脱锑率为 95% 左右。锰粉、高锰酸钾法只是一次性脱除，不仅脱除砷、锑的效率低，而且对高砷、锑原料，由于添加铁量不能过多而使硫酸锌溶液质量无法达到净化前液对砷、锑的要求。

(2) 空气氧化除铁，进入渣中的铁以针铁矿 ( $\text{FeOOH}$ ) 的形态存在，针铁矿的澄清，过滤性能良好，不形成胶体氢氧化铁沉淀，从根本上解决了除铁矿浆澄清、过滤困难的问题，基本上排除了澄清、过滤困难阻塞氧化矿湿法炼锌流程现象。而锰粉—高锰酸钾法，形成的铁沉淀均为氢氧化铁，当铁量高时，是无法使浓缩过程很快澄清的。只要有少量氢氧化铁进入上清液，压滤速度就变得缓慢，甚至无法过滤。

(3) 空气氧化除铁使用廉价的压缩空气和少量的硫酸铜作氧化剂 (因为二价铜离子的存在，亦对硫酸锌溶液中的二价铁有氧化作用：



该反应式为逆反应。当溶液  $\text{pH} > 2.5$

时，反应向形成三价铁的方向进行，生成的一价铜离子又被氧化成二价铜离子而得到活化。因此，硫酸锌溶液空气氧化除铁的条件下，二价铜离子起到氧化剂的作用，仅仅为了提高设备生产能力，加速溶液周转，在二价铁仍有少量存在于溶液中时，加入  $0.1\text{g/l}$  左右的高锰酸钾，强制铁的氧化过程。因此，空气氧化除铁生产成本远比锰粉—高锰酸钾氧化低，约为降低 50% 左右。

(4) 空气氧化除铁、砷、锑工艺锌回收率比较高，空气氧化法锌的回收率为 95.75%，锰粉高锰酸钾法锌的回收率为 94.26%，这是因为空气氧化法矿浆澄清、过滤性能好，过滤时由渣带走的锌比较少，另外，空气氧化法所产生的中和铁渣的  $\text{pH}$  值在 5 左右，而锰粉—高锰酸钾所产铁渣的  $\text{pH}$  值在 5.2 以上，也使空气氧化法锌的直收率高于锰粉—高锰酸钾法。悬空多管空气搅拌器既是湿法炼锌过程中浸出搅拌的理想设备，又是推广空气氧化除铁、砷、锑、锕等杂质、降低生产成本、提高经济效益的有利手段。

(上接第 43 页)

- [10] 贺同兴等. 变质岩岩石学, 地质出版社, 1980 年北京。
- [11] Deng Erxin (邓尔新). Characteristics of Geology, Geochemistry and Gold Mineralization of Shaoxing Granodiorite in Zhejiang Province, China. Petrogenesis and Mineralization of Granitoids Proceedings of 1987 Guangzhou International Symposium, Science Press, Beijing and New York, 1992。
- [12] 邓尔新. 浙江绍兴花岗闪长岩的地质地球化学和含金特征 (国际会议宣读论文中文版), 成都地质学院学报, 1989 年 4 月。
- [13] 邓尔新. ①浙江省中侏细碧岩类岩石学岩石化学特征及其成因, 地球科学, 1986 年 9 月第 5 期; ②浙江省中侏细碧岩类微量元素地球化学特征及其与金矿的成因联系, 成都地质学院学报, 1986 年 11 月。
- [14] 邓尔新. 浙江省绍兴—东阳北部金矿带变质岩系原岩恢复, 成都地质学院学报第 2 期, 1990 年 4 月。
- [15] A. A. 斯梅斯洛夫, H. M. 金科夫等主编. 地球化学与找矿, 阎立本译、张国荣校. 地质出版社, 1985 年 7 月。
- [16] 王崇云等编. 地球化学找矿基础, 地质出版社, 1987 年 10 月。