关于扩大化探找矿的深度与广度问题

孙德武

（吉林冶金地质勘探公司）

为了扩大找矿的深度与广度，目前化探工作正朝着地球化学填图和成矿预测的方向发展。欲进一步提高化探的找矿预测能力，必须将反映不同成矿、控矿特征，不同地质—地球化学环境，不同找矿靶区（靶标）的若干地球化学信息，在地球化学图件上充分显示出来，以指导找矿。本文仅就扩大找矿靶区（靶标）、扩充取样测试对象、增加测试项目，从而扩大找矿、信息量等问题提出一些粗浅看法。

扩大找矿靶标（区）

1.圈定蚀变带 众所周知，多数矿床是由若干沿一定储矿构造展布的矿体（脉）群组成；热液矿床周围多伴有规模较大的热液蚀变带，甚至在远离矿体的部位也分布有较为宽阔（可达几十至几百米）的弱蚀变带。这些蚀变带常具有专属的和特征的矿物组合。尽管有时矿石可沉淀于最强的蚀变带之外，但迄未发现空间位置超出蚀变外带（弱蚀变带）的矿床。因此，矿床的各种蚀变带可以作为化探找矿的靶标。

为了探讨蚀变带的生成机理，确定找矿指标，这里介绍一下王联魁等提出的中低温热液蚀变演化的地球化学模型。

如图1所示，不断上升的弱酸性或酸性热水溶液沿构造断裂交代淋滤花岗岩的结果，使溶液本身增加了K、Al、Ca、Fe、Na和F、Cl、CO_2、S、OH的浓度，因而改变了溶液离子浓度比。热液向两侧渗透扩散至绢云母（伊利石、黄铁矿）带，沉淀出K、Al和S、F，而Ca、Mg、Fe、Na在溶液中继续增加并向外迁移。结果，在别的蚀变带也造成了一些元素的沉淀与另一些元素的析出。热液的内生演化直至溶液浓度与围岩处于平衡状态时告终。这种元素的分散与富集，在不同类型矿床的蚀变带均可见到。

根据上述蚀变过程的分析，通过运矿（矿化剂）元素（如F、S、Cl、I、CO_2等）和控矿元素（如K、Na、Mg、Fe、Ca等）的测定，完全可以圈出各类蚀变及其分布范围。这将比地质观察法反映灵敏，简便快速。因此可先用比一般“金属量测量”少得多的样品，扫瞄出区域性蚀变带（如黄铁矿化、次生石英岩化、碳酸盐化、碱交代等），把它们作为成矿有利的靶区，在此基础上再进一步追踪矿体（床），就可减少正常场样品量，使找矿评价工作更加有的放矢，从而加快速度，提高找矿效果。

2.岩体评价 一定的矿床往往与一定类型的侵入体有关。岩体的含矿性评价可以预测可能出现的矿种，矿物共生组合及分带特征，并指出可能的赋矿部位。

例如根据Cr_2O_3的概率分布特征，可优

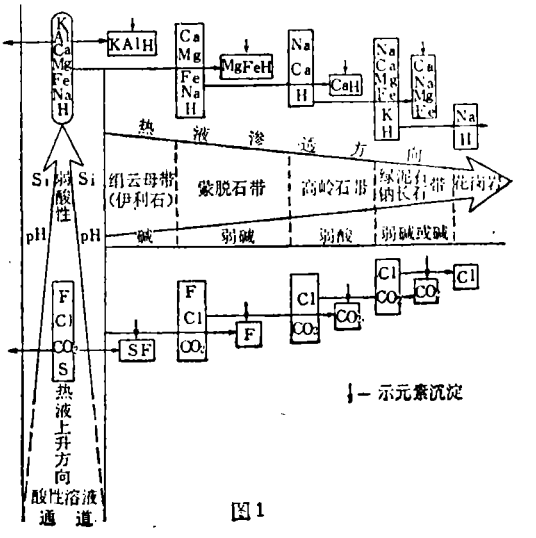


图1

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

选出最有利于形成铬矿的岩体，并预测含矿规模、判断含矿岩相。其依据是：整个超基性岩体中Cr_2O_3分布得愈不均匀富集成矿的可能性就愈大；即概率分布的偏倚程度愈大，愈易于富集成矿。如西北某超基性岩中Cr_2O_3概率分布特征如表1。

表1

岩体号	含矿性	样数	Cr_2O_3含量范围	平均值(X)	均方差(S)
1	无矿	40	0.16～0.45	0.32	0.07
2	矿化	60	0.2～0.77	0.37	0.109
3	矿化	36	0.25～0.76	0.41	0.103
4	小型	62	0.08～1.85	0.54	0.312
5	中型	46	0.04～1.72	0.57	0.291
6	大型	37	0.15～1.99	0.64	0.376

对岩浆型硫化铜镍矿来说，可依其硫和硫化物相Cu、Co、Ni的平均含量来区分含矿与不含矿岩体（在地表或工程中取正常岩石分析）。加拿大61个地点1079个超基性岩统计资料如表2。

表2

含矿类别	样品数	平均含量			
		S	Cu	Ni	Co
"无矿""超基性岩"(只含少量硫化物)	616	590	259	579	43.9
"小矿""超基性岩"(<5000吨)	91	1770	522	842	43.5
"含矿""超基性岩"(>5000吨)	372	5820	439	1870	83.5

与中酸性岩浆活动有关的矿床种类繁多，成因也很复杂。由于它的上侵、成岩成矿发生在地壳的更浅部，由地壳岩石的再熔作用形成，因而不同于基性岩。它的原始成分随重熔的原岩性质和成分而变化，在地理分布上差别极大，因而它的"地球化学省"，矿化集中区"等区域性控矿规律较明显。由于挥发性物质（运矿元素）丰富，活动强烈，成岩成矿具多期性的特点，成矿作用多发生在岩浆期后阶段。在成矿与共生侵入体之间存在着继承性，因此可把岩体作为大的靶标。通过对岩体含矿性的地球化学评价，可剔除与成矿关系不大的岩体，缩小找矿靶区。评价参数可从岩体的岩石化学成分（尤其是控矿元素），运矿与成矿元素的含量（尤其是某些矿物中的元素含量变化），同位素年龄，副矿物特征、分布及其中"成矿"与"运矿"元素的变化规律，包裹体温度、成分等方面获取。然后，将上述原始数据经因子、趋势、判别、点群分析等统计分析方法加以优选，提出含矿岩体的评价指标。

3.构造调查 矿床的形成必须有足够的物质来源，同时还须有一定的运矿与储矿构造。除了用遥感、地球物理等方法研究构造外，近年来"构造地球化学方法"的研究与应用也日益增多。除了利用元素的含量变化特征外，热释发光、热晕和蒸发晕亦有一定效果。特别值得提出的是，掩盖区运用气测方法寻找开放构造比较理想。此外，水化学方法对于了解构造含矿性亦不失为有效手段，如在夹皮沟某金矿，卤素测定的结果清晰地反映了蚀变构造控矿的特征（图2）。

4.层控研究 成矿物质来源除岩浆外，在其上侵演化过程中从围岩中攫取了许多组分，因而有些矿床显示了一定的层控特征。区域上的矿源层及控矿层位，在物质成分上亦会有明显的地球化学差异。区域调查资料中的趋势分析的剩余异常，往往是具体矿化

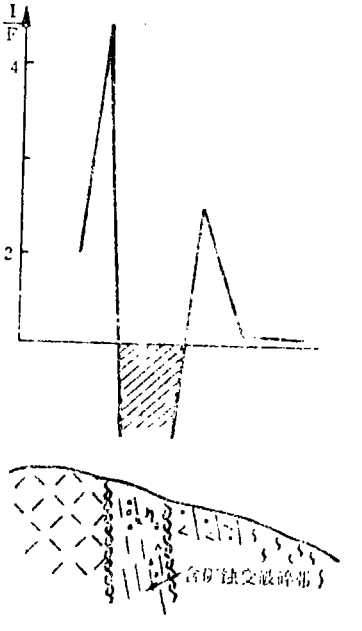


图2

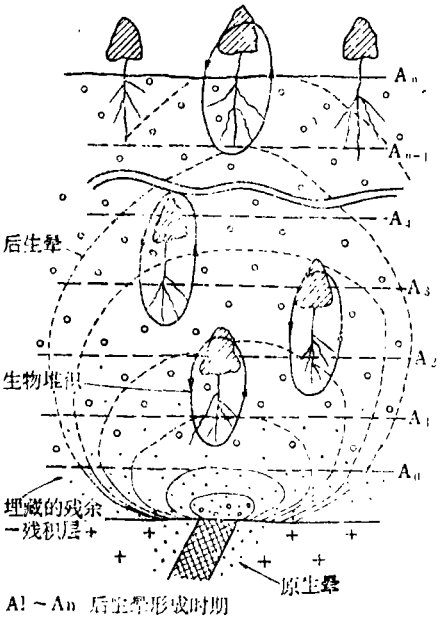
© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

部位的显示，而区域趋势中心则往往是矿源层与控矿层位的反映。隐伏的矿源层还可以通过水化学及气测方法加以探查。

上述各种扩大找矿靶区的方法不是孤立的，在化探找矿中应综合运用，只要坚持合理的工作程序，区域展开，逐步缩小靶区，择优评价，就可以减少盲目性，提高找矿的准确性。

扩充取样对象

反映矿床（矿体）的各种地球化学异常，可形成于矿床周围的各种介质中（图3）。在进行综合地球化学调查时，有必要因地制宜，充分发掘可供利用的介质和取样测试对象，以扩大找矿信息。以岩石样品为例，全岩样品有时不足以揭示隐藏在某些矿物中的有用信息，因此近年来某些矿物（包括副矿物）的研究颇为广泛，用于找矿方面的成功实例也较多。诸如：利用黑云母中Sn、Cu、Cl的高含量评价含锡花岗岩和斑岩铜矿；根据黄铁矿及碳酸盐中元素混入物的成分、浓度和分带性追踪矿体；根据石英中元素成分变化和矿物学特征，可区分矿化前期、矿化期、矿化晚（后）期产物；磷灰



$A_1 \sim A_n$ 后生晕形成时期

图3

石和金红石中Cl和Cu的高含量和其它一些矿物学特征是斑岩铜矿的有效找矿标志；内生磁铁矿矿化规模和与矿石同时形成的硅酸盐（石榴石、辉石、角闪石、绿帘石）的含铁量成正相关关系，某夕卡岩铜矿依造岩矿物含铁性评价硫化矿床矿化强度并认为是区分矿与非矿异常的标志；根据磁铁矿中锗的分布分配特点区分其成因。再如长江中下游火山岩铁矿的蚀变分带现象可从矿物成分上的变化上明显地反映出来。

有时，尚可根据矿物的组分及其含量变化特征，进行露头评价；区分干扰异常，分辨矿体前缘晕及尾晕，研究异常分带，评价岩体含矿性，寻找盲矿，确定矿床成因等等。

例如在乌拉尔一些隐伏含铜黄铁矿矿区，在矿体顶盘及矿体以外地段钻孔中分别采取方解石、绿帘石、石英细脉样品，从中分离出石英、方解石、绿帘石等单矿物进行分析，结果发现产于矿体之上的细脉中的Cu、Ba、Sr的含量比无矿地段中的明显增高，方解石和绿帘石中的Cu、石英中的Ba、石英和绿帘石中的Sr相对富集，且在据矿体垂直距离200米处最明显。

某些次生矿物和粘土矿物及Fe、Mn的氢氧化物也是值得重视的研究对象。如阳新一带根据孔雀石中杂质元素的变化区分矿与矿化异常。因酸性环境中Bi易流失，矿体及浅部强矿化地段孔雀石中Bi低于200ppm，而一般矿化地段却高达500～600ppm，甚至1000～2000ppm。红旗岭镍矿上方土壤中伊利石的Ni含量比无矿地段伊利石的明显增高。

为了强化异常，减少大量挑选单矿物的困难，有时将样品分成重粒级与轻粒级，磁性与非磁性，电磁性与非电磁性组分分别进行成分查定，亦可得到理想的效果。

用水提取法提取土壤中以水溶液形式或以腐植酸—草酸形式存在的元素，可反映厚层覆盖区的隐伏矿床。有人曾用此法查出深达40～60米的盲矿。另外也有用此法发现玢岩、凝灰角砾岩覆盖下盲矿的例子。这种后生异常可用图4说明。

在风沙混伴地区，选取能排除风成沙的

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

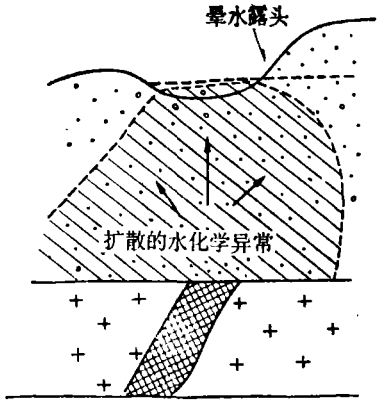


图4　埋藏矿体上扩散的水化学晕略图

粒级，能减轻风成砂的贫化作用，使异常更加完整。

为揭示基岩的地球化学现象，在取不到原岩的情况下，较粗粒级的岩石，矿物碎屑在普查找矿阶段亦可作为一种代用品。

一些易为植物吸收的元素，可通过生物循环—堆积作用从深部转移富集至A(或A_0)层。据报导，金的生物吸收系数，（灰份中的金含量和土壤中金含量之比）多半大于1，不同气候带的金矿床上方均清晰地显示出金的植物地球化学异常。金含量在土壤中的分布以腐植层中最高，并可用水提法测定。

为了寻找隐伏矿床，水体是不可忽视的研究对象，故应重视水化学法的应用。其优点一是探测深度较大，在地质条件有利时，可达数百米；二是异常规模大，延长可达几～几十公里，因而即使用较少的工作量也可发现异常；三是适用范围广，不论水系是否发育均可使用。近年来的研究表明，以为难以开展水化学找矿的干旱和半干旱地区也取得了积极效果（图5、6）。可作为文字说明的补示。

除成矿元素外，控矿与运矿元素也可能进入水体，有时组成新的络合物被搬运。因此对水样进行调查，也将有助于寻找蚀变体或含矿蚀变构造带。

扩大测试项目、扩充指标

近年来在化探工作中将运矿与控矿元素，气体，气液包裹体，热释发光，同位素及其比值等作为找矿指标，已初见成效，应广为探索和利用。

大量事实已经表明，运矿与控矿元素对成矿元素的萃取、搬运和富集起着重要的作用。它们往往构成矿床外围宽阔的蚀变带，是找矿中极有用的前缘指标。根据络合物的形成规律，在选择测试项目时，不能只限于周期表中间部位的成矿元素上。当对一元素的测试有困难或异常衬度小时，尚可用同族下周期元素替代，如有人用Rb、Sr替代K、Ca圈定蚀变带。

由于元素存在形式不同，有时采用合理的相分析方法能更清晰地发现异常。如某铀铅矿，用铀的总量（全提取）圈出的晕未到

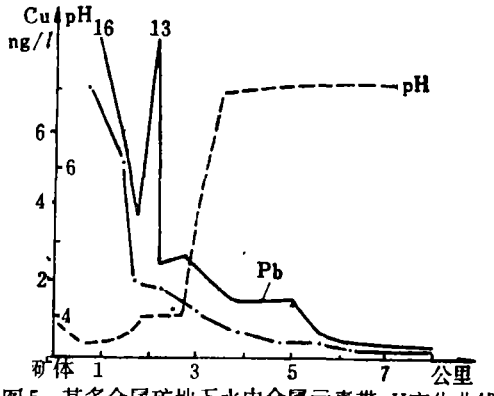
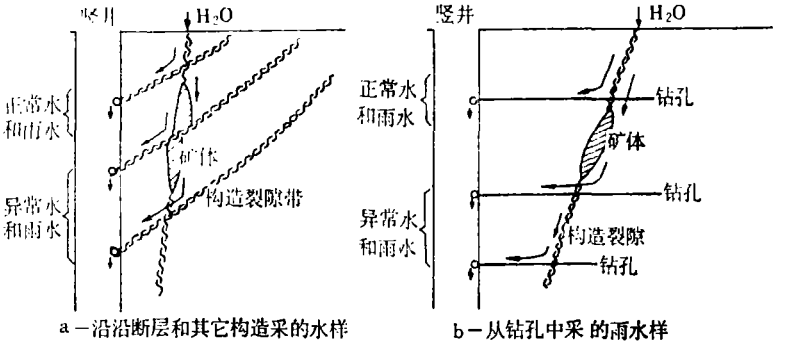


图5　某多金属矿地下水中金属元素带pH变化曲线



a－沿沿断层和其它构造采的水样　　b－从钻孔中采的雨水样

图6　探、采矿过程中应用地下水和大气降水找矿示意图

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

达地表，尔后，用部分提取法分析出活性铀，其晕的范围扩大了300米，普查隐伏矿的深度扩大1.5倍。

美国廷提克铅锌矿，用光谱分析得出pb 40ppm，Zn100ppm，未查出异常。三年后改用醋酸溶样，只提取硫化物相，得到了满意的结果（图7）。

图8为某浸染型钼矿床用不同分析方法测定样品中Mo的含量变化曲线，可见醋酸提取法效果最佳。

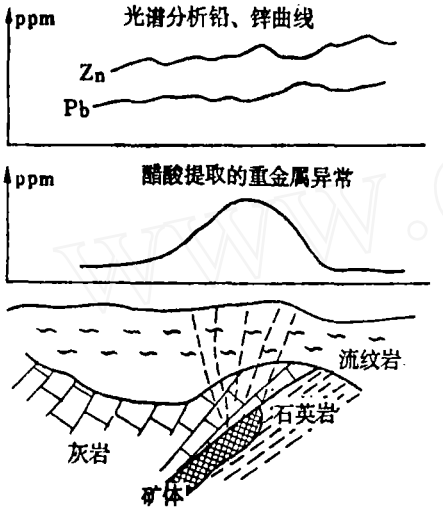


图7

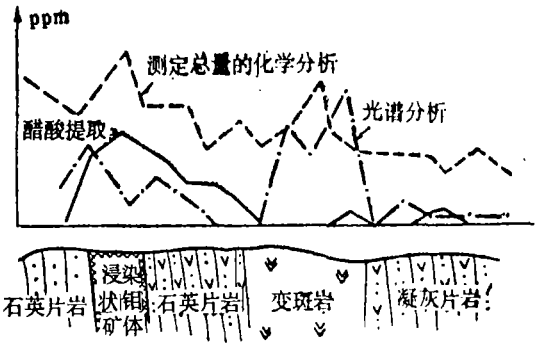


图8

通过包裹体测温圈出的热晕和蒸发晕是一种规模较大的地球化学异常，可指示出内生矿床周围受成矿热液热力影响的范围，也可预测热液通道及其上侵方向，预测盲矿可能赋存的空间位置。因此可以利用热晕和蒸发晕寻找盲矿和隐伏矿体。今后通过对包裹体温度、压力、pH—Eh、浓度、盐度、成分等指标的测试与研究，必将解决一系列地质一地球化学问题，用以指导找矿。

近年来，由于多元（变量）统计分析方法及电子计算机的广泛应用，构成了在原始信息基础上，经过数学逻辑处理而产生的各种统计学指标。它比单一原始指标有更清晰，更严密的指示意义。当对大量原始指标进行整理分析时，也只有运用统计学方法，才能加快资料整理的速度和条理性，也便于电子计算机自动成图。

随科学技术的进步，找矿地球化学指标会日益增多，其指示意义和分辨力会日益增强。现阶段，查清能反映不同寻找目标（地质现象）本质特征的原始指标，乃是当务之急，否则再好的电算方法，也难以提供各种信息的确切函义。

《地质论评》复刊征求订户启事

《地质论评》是中国地质学会于1936年创办的一种地质科学的综合性刊物，自1966年停刊后，于1979年第四季度复刊，当年10月份与12月份已各出一期。

它的任务在于反映地质科学研究的动态，进行学术讨论，传播新的地质知识，报道地质学会的活动及其他消息，以达到促进地质科学技术水平提高的目的。它的内容比较广泛，包括地质学的各种专业及其边缘学科。读者对象主要是广大的地质科学技术人员和地质院、校师生。

复刊后的《地质论评》由地质出版社每逢双月出版，自1980年起改为逢单月出版。每期定价0.65元。

订阅办法：国内由全国地区级以上（包括地区级）邮局发行，地区级以下城镇的读者，请自行委托在地区级以上城市的单位或个人向邮局代订，或向地质出版社邮购组（北京安外安德路47号）直接订阅。国外由中国国际书店（北京399信箱）发行。

凡拟订阅本刊的读者，请及早办理订阅手续，以免脱订。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net