壤中汞气测量的作用和问题

冶金工业部物探公司研究室气测组

自七十年代初期地科院物探所在我国开始气体地球化学探矿方法试验之后，冶金地质系统许多单位也相继开始这项研究，并取得了可喜的成果。本文根据我组三年来在12个矿区（点）进行试验及试验性生产的体会以及收集的部分单位试验成果，作若干探讨。

一 壤中汞气测量成果的可靠性

和其他化探方法一样，本方法工作成果的质量也是由分析测定、采样、自然等三个独立因素决定的。这里只对它们的影响加以评述，详细问题将另作讨论。

1.分析测定因素 包括分析方法的可靠性和仪器的稳定性。我们目前采用非色散单光束冷原子吸收原理测汞，以具有锐利辐射峰的空心阳极灯作光源，用滤光片提高滤光特性。SO_2、CO_2的分子带可以吸收2537 Å，但灵敏度低。由于预先用金丝捕集汞气，可消除许多干扰气体的影响，但仍可能吸附少量SO_2；若在仪器内加$MgClO_4$过滤器，则可滤去。土壤中一般的水份和CO_2不影响测定。

CGY-2测汞仪（自制）带有对数变换、连续灵敏度调节、自动调零和峰值保持电路。操作时只要装卸金丝管和启动延时电路即可直读汞气含量。测定下限为5×10^{-12}克。零点漂移半小时<1/2格（3毫伏）。在空气湿度为90%时，峰值保持漂移<1格（6毫伏）。重复测定误差<3%（$\frac{Cx-\bar{C}}{\bar{C}}$），故可靠性较高，对总误差影响小。高压稳压电源和汞灯的稳定性对仪器稳定性的影响很大，是达到上述指标的必要条件。

仪器标定误差仅为4%，但须防止批次标定误差。

2.采样因素 采样位置或金丝采样管不一致会影响所采气体的含量。对不同加工方法制得的金丝管的汞回收率进行对比后，发现其变化范围可达50～90%，同型号的管若工艺不标准仍可引起20～30%的相对误差。这不仅带来偶然误差，也造成所测含量偏低并使不同单位的数据难以对比，故应使用回收率在80%以上而且多次使用金丝不易脱落和松动的管子。新金丝管需严格除汞，并要保证保管时不被污染。当取样点不恰当时，会造成异常区内单点含量变化很大，这个问题后面还要提及。

3.自然因素 包括覆盖层性质、厚度、湿度、土温和降雨引起的汞气分布的不均匀和汞气含量随土温和气温变化等问题。从不同洞中重采样所得样品的分析误差高达42%，据分析是由这些因素引起的。关于降雨的影响，从图1可知，雨后汞量系统偏低，主要是非毛管孔隙中汞气被水挤出，土壤通气性不好等原因造成的。同时由于土壤性质及雨后排水、蒸发条件不同，其影响程度在不同地区有区别。

土壤温度是汞气产生日变化和季节变化

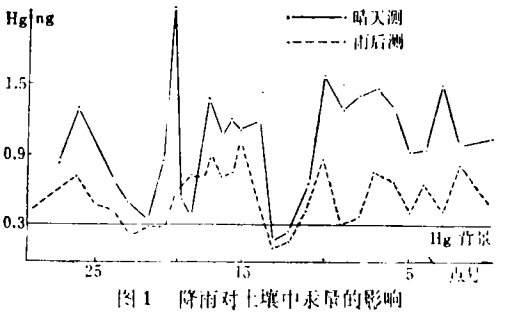


图1 降雨对土壤中汞量的影响

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

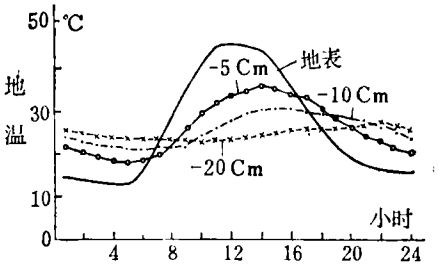


图2 不同深度土壤温度随时间的变化

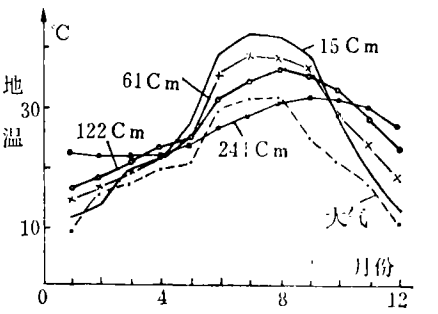


图3 不同深度土壤温度在不同季节的变化

的原因。图2、3、4是不同土层地温的变化及汞气含量变化的情况。原桂林冶金地质研究所在黑龙江地区也作过研究，发现6～7月间汞的背景值比8月份的高出三倍。（见本刊1977年第7期），为克服上述因素引

土壤中汞气测量典型实例简表　　表1

矿床	矿体埋深（米）	覆盖情况	背景值（毫微克）	异常值（毫微克）	
伏牛山夕卡岩型铜矿	50～60	残坡积—冲积层，亚粘土厚10～30米	0.27	8	矿体上盘异常下降缓慢，下盘梯度陡
富家坞斑岩铜矿	几～几十	疏松沉积物，有机质较多，厚0.2～3米	0.09	0.2～0.4	上盘异常梯度比下盘缓，人工堆积覆盖区异常仍很明显
红透山火山—沉积变质铜矿	0～250	残坡积，厚度＜1米	0.1～0.2	2～40	与矿有关断层可引起1.3毫微克异常，小断层无反映，250米以下矿体无反映
小铁山火山岩型铜铅锌矿	0～350	风积黄土，厚几～十几米	0.05～0.1	0.3～2	埋深200余米矿体有反映，连续性好，并伴有Zn^{2+}及Cu^{2+}盐晕异常
石青硐火山岩型铜铅锌矿	几十	风积及冲积黄土，厚几～几十米	＜0.01	＞0.02	异常弱但清晰，连续性好，伴有Zn^{2+}（局部Cu^{2+}）盐晕异常
凡口铅锌矿	100～200	冲积—洪积覆盖层，粘—亚粘土质，厚20～40米	0.1	0.4～7	异常主要反映断裂构造，含矿部位异常较强
毕家山沉积变质铜铅锌矿	0～70	残坡积，几十米亚粘土、砂土夹碎石	0.03～0.05*	0.12～18*	异常沿背斜轴部及控矿断裂发育
大厂锡多金属矿	0～几百	残坡积及近代人工堆积	0.1	8	沿斜向最深可反映400米深的矿体，但水平层状矿体无反映
玉兰汞矿	几～十几	坡积层，厚几米	0.05	0.5～2	赋矿段断裂的异常强度比无矿段同一断裂的高
金厂峪金矿	几十	坡积层，厚0.2～几米	0.17～0.2	6	异常反映了含金脉带，矿体全采空时异常很弱
石碌赤铁富矿	地表至几百米	坡积物及近代人工堆积，0.5～4米	0.1～0.2	1～6	侵蚀出露并有表土覆盖的矿体异常反映清楚
雷神庙夕卡岩型磁铁矿	0～几十	黄土，厚几米	10～20**	127～490**	矿体上方汞气异常与磁异常吻合

* 含量及其单位系据原报告统一变换，　** 原报告数据单位是毫微克/立方米

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

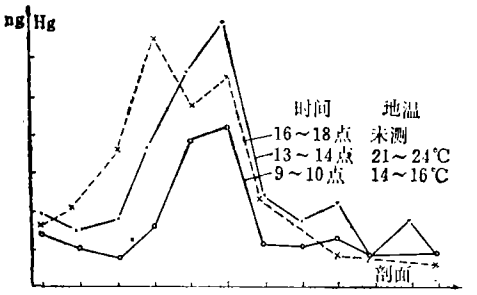


图 4 不同地温下土壤中汞含量变化

起的测量误差，对各测点含量作如下改正：

$$C_1 = K_1 \cdot C_1'$$

其中：K_1—测线改正系数 $= M_0/M_1$；M_1—测线内频数最高含量值；M_0—全区频数最高的含量值（也可以测线M_1的众数值近似求出）；C_1—改正值；C_1'—原始数据。

此外，以相对误差为40%，计算了重采样的合格率，仅达77%。对比了同一矿体上三个单位在两年内作的结果，同测点测定值有较大差别，但对于确定整个异常的存在而言，基本一致。需要指出：若同洞重采样（两次相隔5分钟），重现性较好，只要布置足够的检查量（5～10%），即可满足找矿要求。同时也必须提高气测的观测精度。

二 壤中汞气测量的地质效果

关于个别矿区的找矿实例已有专文总结，故在此仅列一简表（表1），不再详述。

通过对不同类型铜、铅、锌、锡、汞、金等硫化矿床及赤铁富矿的试验，初步体会到气测在圈定隐伏断裂以及寻找深部盲矿方面是很有前途的；特别在厚层覆盖区，当次生晕和原生晕方法受到局限时，其优越性更为突出。

1.厚层外来覆盖区寻找隐伏断裂构造的效果 在许多地区试验中都发现残坡积层覆盖下的断裂构造上可出现明显的汞气异常。凡口铅锌矿区的成果则进一步说明，气测在40米厚冲积—洪积层地区也可获得同样效果。

该矿赋存于泥盆系灰岩中，并受次级背斜和断裂控制，特别当北北西与北东两组断裂交汇且切割次级背斜构造时对成矿最有利。因此圈定构造有重要找矿意义。但本区大部为耕作层覆盖，厚达20～40米，须依靠钻探完成构造填图。为此投入汞测试验，结果如下：

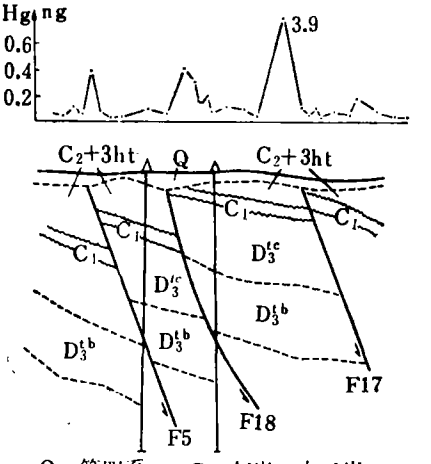
（1）区内各组断裂均出现连续性好，强度为0.4～7 ng（毫微克），局部达40ng的汞气异常，且不受阴雨天影响。

（2）异常位置反映基岩面断裂位置，并不因覆盖层厚度不同或断层产状而偏移，反映了土壤中汞气可能以气相垂直上升（图5）。

（3）一般情况下同一断裂带内有矿地段异常强度较大，但不同组断裂异常规模有所不同。

（4）银屑坪区段的三带异常经钻探验证，确实有断裂存在，并在强异常上打到十余米厚富矿体。

从上述结果看，气测比钻探填图要快速、简便得多，当然，气测结果也需必要的钻探验证。



Q－第四系 C_1－灰岩、白云岩
D－灰岩夹泥灰岩 D_3－花斑状灰岩
C_2+3ht－白云岩、白云质灰岩
F5－断层编号

图 5 凡口铅锌矿 210 剖面汞气含量图

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

2.覆盖区寻找盲矿体及隐伏矿体的效果 在常规化探方法受到限制的若干厚层覆盖区进行了试验，效果良好。

伏牛山夕卡岩型铜矿，矿体被石英闪长岩超覆，超覆岩体厚达50～60米，地表覆有30米左右坡积—冲积物，在Ⅴ剖面上次生晕无异常。又如小铁山火山沉积成因的铅锌多金属矿，矿体多为盲矿，埋深最大为350米，地表覆有几～几十米的风积黄土；过去在矿体露头上仅发现过零星的原生晕点异常，钻孔和坑道原生晕也不发育。大厂锡多金属矿，某矿体沿倾向埋深约400米，顶部为灰、页岩等厚岩层覆盖，表土为0.n～n米的坡积物，化探异常零星出现。上述地区常规方法的找矿效果均不理想，而从图6、7、8来看，气测的结果则很清楚地反映了矿体的存在。

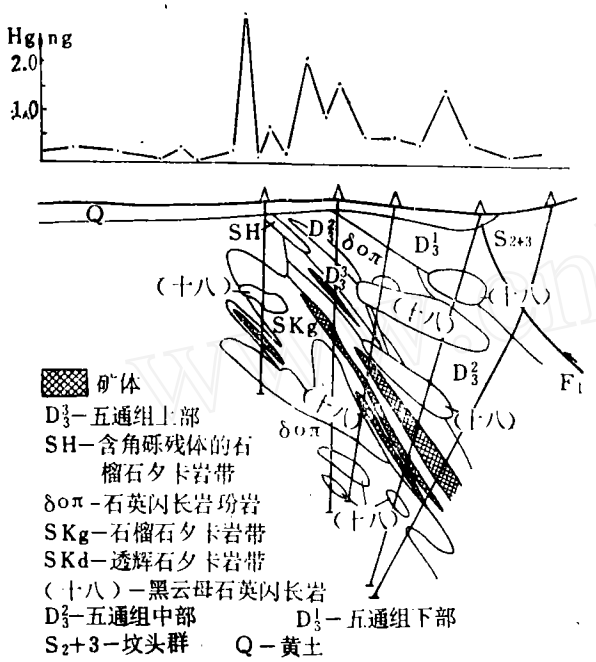


图6 伏牛山南—铜矿5线土壤汞气含量图

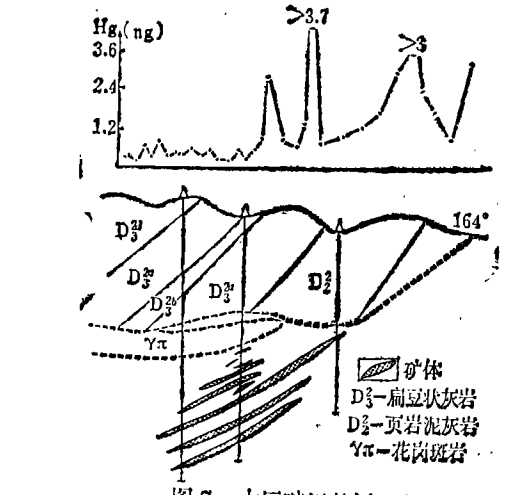


图7 大厂矿田某剖面土壤中汞气含量剖面图

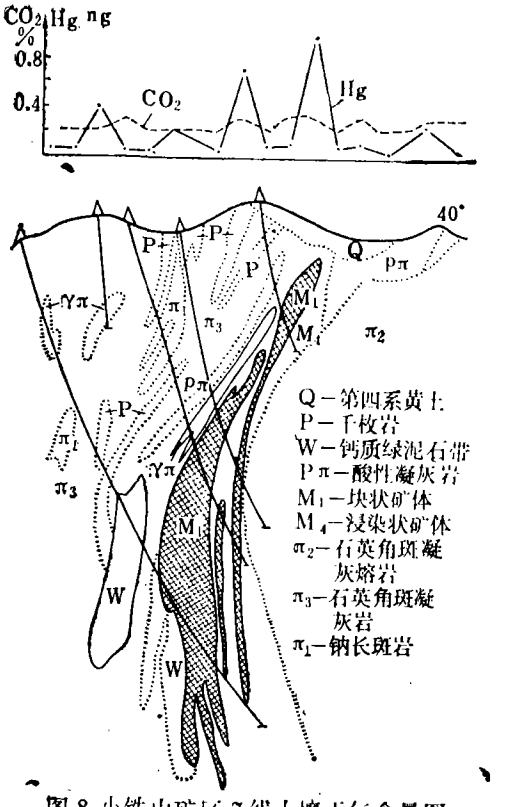
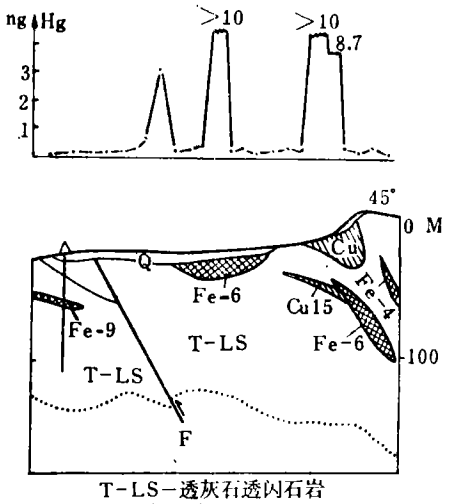


图8 小铁山矿区7线土壤汞气含量图

三 几点认识

1.汞气在土壤中的性状 在本组工作地区，壤中汞气的背景含量在0.0n～0.2毫微

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



T-LS—透灰石透闪石岩
Cu—铜矿体 Fe—铁矿体

图 9　石碌铁矿 28 线汞含量图

克范围内变化*。异常区内含量变化很大且采样重现性差，其原因可能与土壤孔隙有关。气体主要赋存于土壤中较粗的非毛管孔隙中，这种孔隙在土壤中是不规则分布的，故造成了壤中汞气含量的不均匀。当覆盖层的物质为粗粒碎石较多的土壤及碎石堆积物时，不仅孔隙分布更不均匀，且通气性好，故在大气稀释作用下还会造成汞量偏低。覆盖层太薄也不利汞气保存。所以采样时应尽量避开这些地方。

壤中气不可能形成层流或湍流运动，只能在太阳热辐射影响下以热分子形式迁移。从毛细多孔体热物理研究中了解到这种迁移与温度及孔隙度有关。下部气源体的气体向地表迁移就属这种情况。在同一土层的水平方向上温差一般较小，所以迁移范围相对也小。这与实际观察到的现象一致。下面是土壤扩散公式：

$$D = KS^2 = \frac{1}{\lambda} D_0$$

式中：D—壤中气扩散系数；K—常数；S—自由孔隙；λ—当量扩散距离；D_0—大气中扩散系数。

由此可见，土壤孔隙对壤中气的扩散影响很大。壤中气在水平方向的迁移能力弱，其扩散又受自由孔隙影响，这就使土壤中分布不均匀的汞气很难依赖扩散迁移达到相对均匀的程度。

壤中汞气在抽气过程中的动态特性也与大气不同。在几个地区都作了如下试验，在同一采样洞内每 3 ～ 5 分钟抽取一定体积，测量其含汞量。结果表明，汞量与采样体积并不呈线性关系（表 2）。这与土壤孔隙、补给速度、抽气速度、气体密度有关。关于壤中气动力学问题还有待研究，但至少可以认为，对壤中气的含量用毫微克/立方米这样的大气含量单位来表示，显然是不恰当的。

壤中气在不同性质土壤中的补给特征　表 2

第一种情况				第二种情况			第三种情况		
编号	2 升	4 升	6 升	编号	2 升	4 升	编号	2 升	4 升
1	0.05	0.2	0.2	1	0.17	0.28	1	0.15	0.08
2	0.5	0.2	0.2	2	0.11	0.27	2	0.8	0.5
8	0.2	0.2	0.05	8	0.08	0.13	3	0.98	0.79
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	4	0.72	0.50
26	0.08	0.12		12	0.27	0.7	5	0.17	0.08
27	0.06	0.10		13	0.13	0.55	6	0.39	0.07
28	0.06	0.10		14	0.11	0.55			
Σ	4.77	4.84		Σ	2.11	5.71	Σ	3.21	2.02

2. 气晕发育特点及其影响因素　在许多线状异常源（脉状矿体或断层等）上，壤中气晕的宽度都不太大，一般为十几～几十米。面状异常源（如斑岩铜矿）以及规模大的构造破碎带，断层交汇处，异常略为变宽。气晕发育特点（图10）可归纳如下：

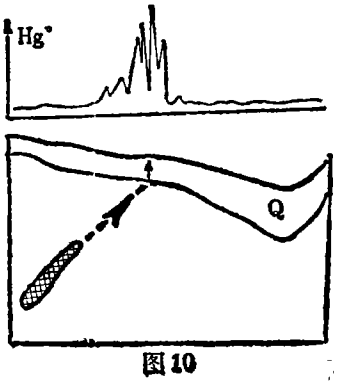


图 10

* 各种资料中的数据由于条件不同无从对比。

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

（1）气异常一般出现于矿体倾斜方向的前缘。

（2）在基岩面以上的覆盖层中气异常多沿垂直方向分布，与地形及覆盖厚度关系不大。

（3）矿体上盘气异常梯度缓而下盘陡。

矿体产状对气晕的发育有明显影响。埋深在200～300米以上的倾斜矿体，即使并非严格受断裂构造控制，汞气异常反映也比较好，但对于水平层状矿体，如大厂锡矿一个规模很大的水平层状矿体，异常反映并不好。这说明气晕的发育需要一定规模的通道，单靠岩石孔隙本身还不足以提供气晕良好发育的条件。

还有许多因素影响气晕的强度，但目前尚缺乏足够的资料说明。在此仅提出两点：一是作为气源的矿化体的矿化集中与否，二是其中汞含量的高低。例如矿化相对分散的斑岩铜矿，异常弱，而脉状矿体却比较强。这可能是由于从气源体释放的汞气的集中程度的差异，故受到的稀释作用的影响不同所造成的。此外，对比了两矿床矿石中汞含量与异常的关系（表3），看来两者有一定联系。甘冶综合队在某沉积变质Cu—Fe矿床上也发现，含汞0.4～0.02ppm，平均0.13ppm的矿体，可出现0.09毫微克（约为背景值的9倍）的汞气异常，而含汞仅0.02ppm的矿体没发现异常。

3.气晕异常评价的初步尝试 目前已了解到产生汞气异常的气源体有这几种：硫化矿体、赤铁矿、断层、碳质板岩、锰质泥质粉砂岩、铁锰质硅质岩、石英钠长斑岩等地质体以及矿渣堆和炉渣等污染源。在厚层覆盖尤其厚层外来运积物覆盖的情况下，评价这些异常更是困难。在甘肃某地曾以盐晕来区分硫化矿体与硅质岩、斑岩引起的两类异常。硫化物在氧化条件下被溶解，金属元素以离子形式在溶液中沿土壤毛细管上升，并吸附在黄土颗粒表面，而硅质岩或斑岩中的金属元素在溶液中溶解度小，难以迁移。采用1％柠檬酸提取样品就可以测定离子吸附状态的金属含量，从而把两类异常源分开。表4列出矿体上盐晕异常含量。与硅质岩有关的汞异常处Cu^{2+}与Zn^{2+}的盐晕仅在0.6ppm以下，可见两种异常源差异很大。关于潮湿地区可否用盐晕或生物地球化学方法研究汞气异常的问题，尚需进一步试验。

表3

矿床	Cu+Pb+Zn（%）	Hg / Cu+Pb+Zn	Hg（毫微克） 背景值	Hg（毫微克） 异常值
小铁山	22.8	2	0.05～0.1	0.3～2
火焰山	5.4	1.1		
铜厂沟	1.2	0.83		
石青硐	1.57	0.50	<0.01	>0.02
	0.82	0.45	〃	〃

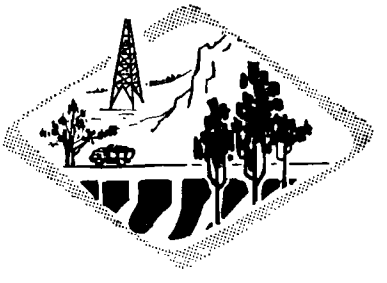
表4

剖面	Hg_0 含量（毫微克）	Hg_0 宽度（米）	Zn^{2+} 含量（ppm）	Zn^{2+} 宽度（米）	Cu^{2+} 含量（ppm）	Cu^{2+} 宽度（米）
5	0.12	20	未测	—	未测	—
6	0.32	50	未测	—	1.0	40
7	4.0	40	27	120	100	60
8	0.45	40	1.3	20	0.1～0.2	—
9	10	35	15	40	0.1～0.2	—
10	0.43	80	80	50	63	50
11	0.9	50	1	15	1.6	15
12	0.1	10	0.1	—	0.2	—
13	0.03	—	0.1	—	0.2	—

*　　*　　*

由于野外和实验室工作尚未结束，对以上几个问题的认识还很粗浅，可能有错，望读者帮助指正。

工作中得到江苏、江西、广西、广东、河北、甘肃五省（区）十二个队和矿山以及原桂林冶金地质研究所、武汉地院的热情支持和帮助，同时获得湖北、辽宁、吉林等兄弟队的宝贵资料，在此一并致谢。



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