

解释方法。该方法在大地电磁和直流电测深反演计算中均取得了初步成果。该方法不用设计初始模型，不用反复迭代，解也比较直观形象。图 3 a 为三层理论模型及其 ρ 理论曲线，图（3 b）是用拟地震反演法得到的 q_n^* 反射系数图。图中 q_n^* 显示出界面一次反射的位置和极性强度等，并给出了地电断面层位的明确标志以及电阻率的有关情况。

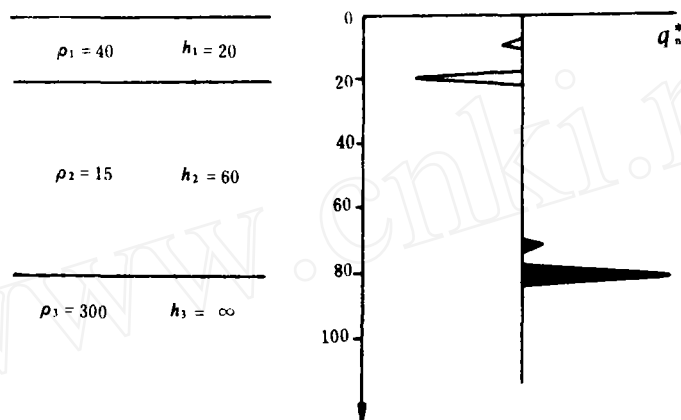


图 3 b 用拟地震反演得到的结果

（因 $K_1 = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}$ ，当 $\rho_2 > \rho_1$ 时， q_n^* 为正，反之为负， K_2 为同样情况。所以经过拟地震反演后将得到类似图 3 b 的 q_n^* 随深度变化图。）这种表示显然更直观形象，可以从图中根据反演得到的 q_n^* 的位置、极性、大小来直接了解地下有关电性层的位置和电阻率信息。为电测深资料的推断解释提供十分有益的帮助。当然这类方法目前仍在研究阶段，不过我们确信，它的应用必将为电测深的解释开辟更广阔的发展前景。

本文曾得到王家映同志的热情帮助，在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] B. K. 马特继耶夫：《电磁测深解释》北京，煤炭工业出版社，1978年
- [2] 何德登等编：《地震勘探——原理和方法》，北京，地质出版社
- [3] 陈仲候、何昌礼：地球物理学报，第23卷，第1期，1980
- [4] Santni, R. S., et al : Geoeexploration, 1983, Vol. 21,

热释CO₂找矿方法的初步研究

张 美 娣

（有色金属工业总公司矿产地质研究院）

概 况

（一）研究目的

近几年来，国外有关资料报道了用热释 CO₂ 寻找隐伏的有色金属矿床的方法。CO₂ 气体普查方法，是在现场直接抽取壤中气，然后用色谱仪直接测定，

圈出控制内生金属矿化的可渗透性断裂构造上方的气体分散晕，从而指导找矿，效果是比较明显的。

自1982年起，我们先后在水口山、张埭、栖霞山、凡口等已知不同类型的矿床上，对土壤和岩石热释 CO₂ 这一找矿方法作了探索性试验研究。在四种不同类型的矿床上，作了6个土壤剖面、一个钻孔岩石

剖面的热释 CO_2 试验,结果表明,这种方法在已知的掩埋矿、盲矿和断裂构造的上方,一般都有 CO_2 异常,据此我们对异常的形成机理进行了初步探讨,提出了今后需进一步研究的问题。

土壤中吸附态 CO_2 的来源有:①土壤与近地表大气之间的交换作用;②地表生物腐烂;③碳酸盐地层分布区经化学作用释出 CO_2 ;④随大气降水带入和从地下深部循环水中释出 CO_2 ;⑤油气、油层及煤层通过物理和化学作用释放 CO_2 ;⑥岩浆活动和成矿作用过程中所带出的大量气体含有 CO_2 。⑦矿体和岩石中的矿物包裹体被破坏也释出 CO_2 。我们要测定和研究的是与成矿作用有密切关系的⑥、⑦两部分 CO_2 ,查明其异常,以指导掩埋矿和盲矿的找矿。

(二) 工作方法

1.取样点距:一般点距为20米,在矿体及构造带可加密至10米,远离矿体时放宽到30~40米。

2.样品加工及粒级试验:选择康家湾100线的样品分两组进行试验。一组是将野外采集的样品直接装入塑料瓶内加盖,室内阴干后过40~80目,装入试管封口待测。这样可减少污染,但样品潮湿时不易过筛,等的时间长会影响工作效率,且在野外携带不便。另一组是将所取样品经曝晒或吹干,破碎后过80~120目待测。两组样品的测定结果表明,其相对应的样品 CO_2 含量基本相同,异常峰位也大致重合,能较好地反映矿体位置。前者异常形态虽略优于后者,但样品处理较后者麻烦,故统一采用将样品风干或晒干后,取小于80目的样品测定。

3.测定方法 曾将康家湾100线的样品用气相色谱法测定 CO_2 ,速度慢,效果不佳,后改用光电控制非水滴定法^①测定 CO_2 (方法步骤从略)。

实 例

(一) 康家湾铅锌矿床 矿床位于水口山老矿区东约1.8公里,矿体埋深200~300米。属丘陵地形,残坡积层0~几米,部分为冲积物和稻田覆盖。出露地层有第四系、白垩系、侏罗系、二叠系和石炭系,

地层间呈不整合和假整合。区内断裂构造发育,燕山期中酸性岩体沿断裂和背斜交叉部位侵入,多呈超覆状。矿体主要受东西向张性断裂及北东、北西两组断裂控制,部分矿体产于一级倒转背斜的层间剥离空间。康家湾矿体即产于倒转背斜和 F_{22} 大断裂交叉处,矿体赋存在侏罗系底部的硅质砾岩和二叠系硅质岩及泥灰岩中,矿体呈层状、透镜状,走向北东,倾角东陡西缓,产状与岩层一致。主要金属矿物有方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、次为黄铜矿、毒砂、磁黄铁矿、赤铁矿等;脉石矿物有石英、方解石、白云石、少量黄玉等。

穿过矿体上方的100线剖面,土壤热释 CO_2 异常明显,含量范围是0.01~0.035%,衬度值7,背景值0.003%,异常连续性好, F_{22} 上方 CO_2 异常值达0.05%。

127线剖面出现三个明显异常(图1),东部异常位于盲矿上方,宽约100米,峰值高(0.07%),衬度值为9.2,异常连续性好;中间异常宽约200米, CO_2 含量一般为0.02~0.04%,异常连续性很好,位于小山包附近,地表为半风化石岩,地质人员认为是次一级背斜构造的核部,对成矿有利,且热释 CO_2 和电化学都有异常反映,推测矿体向西有一定延深,布钻验证仅见星点状黄铁矿矿化,下部构造极为复杂,故认为该异常由下部构造和黄铁矿化引起;西侧异常宽50米,衬度值为6.5,连续性较好,物探电测资料指示红层可能向上隆起,预测深部有小背斜,准备布钻验证。

(二) 张垓铜铁矿床 矿区位于张垓—南桥断裂的西南段,出露地层为第四系河口滨海冲积相的粘土夹粉砂岩层,厚107~182米。区内岩浆岩有基性、中性、中酸性和酸性岩四种,张垓花岗闪长岩体为本区最大的岩体,属燕山晚期产物。大部分矿体赋存于花岗闪长岩体与前泥盆系百家村组中段接触带的夕卡岩中,矿体呈狭长的似层状。主要金属矿物有黄铜矿、磁铁矿、闪锌矿和辉钼矿,次为赤铁矿、黄铁矿、镜铁矿、孔雀石等。非金属矿物有石榴石、透辉石、透闪石、绿帘石、方解石、石英、蛇纹石等。

我们选择4线、5线和水文2号孔作了热释 CO_2 试验,在矿体上方均有较开阔的连续异常。

4剖面为掩埋矿体(图2),矿体上方出现清晰的

^①姜琼珍等:铝土矿中二氧化碳的测定——光电控制非水滴定法,1981年。

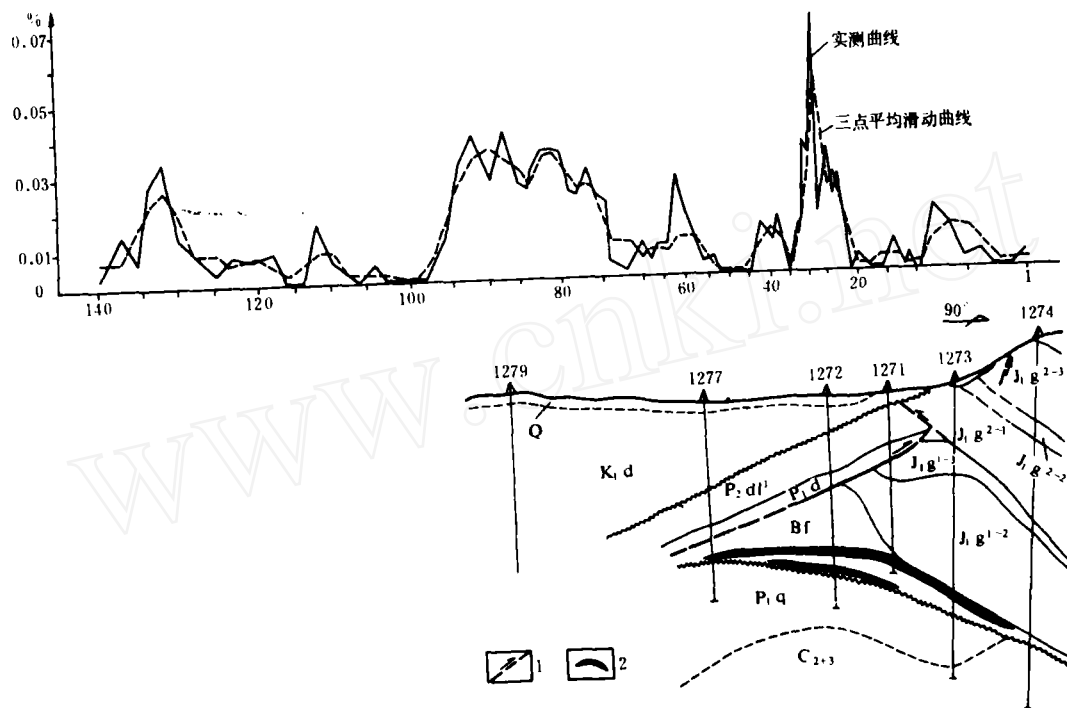


图1 康家湾铅锌矿床127线土壤热释CO₂异常剖面图

Q—冲积层; K₁d—粉砂岩、细砂岩夹砾岩层; J₁g—长石英砂岩、泥质砂岩和底砾岩; P₁q—上部为含燧石灰岩、下部为灰岩; P₁d—炭质砂页岩互层、硅质泥灰岩和含燧石灰岩; P₁d¹—石英砂岩、炭质页岩和粉砂岩; C₂₊₃—白云岩、白云质灰岩及少量页岩; Bf—断层破碎带

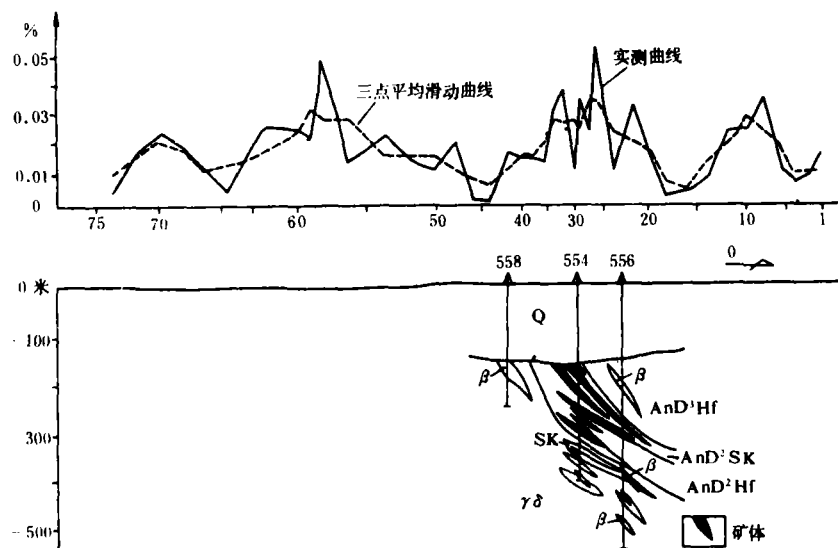


图2 张塔铁铜矿床4线土壤热释CO₂异常剖面

Q—第四系; AnD³—前泥盆系百家村组上段; AnD²—前泥盆系百家村组中段; Hf—角岩; β—辉绿岩; γδ—花岗闪长岩; γ—花岗细晶岩; SK—夕卡岩

CO₂异常,其范围和矿体位置基本吻合。矿上异常的左右两侧出现连续性较好的异常,在4线两旁的5线和12线,距4线200米,已有钻孔控制下部的矿体(矿化),故推测这些异常由同一矿带引起。

水文ZK 2号孔岩石热释CO₂结果(图3)表明,CO₂含量与矿体关系密切,矿体和稍上的部位CO₂含量高;远离矿体时趋于稳定;近地表CO₂又趋于增高,这种增高趋势是由下部矿引起还是其他原因造成,尚待进一步研究。

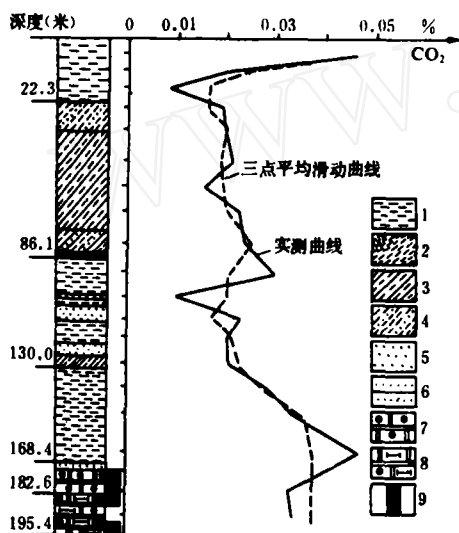


图3 张垌ZK 2号孔岩石热释CO₂剖面图

1—粘土; 2—亚粘土; 3—亚粘土夹亚砂土; 4—亚粘土夹细砂; 5—细砂; 6—绿泥石英岩; 7—石榴石夕卡岩; 8—石榴石透辉石夕卡岩; 9—矿体

(三) 栖霞山铅锌矿 矿区主要剖面42线位于开阔的平原地区,第四系冲积层约30米,该区侏罗纪地层较厚,局部达千米,此外还有二叠纪、石炭纪和泥盆纪地层。矿体受岩性和构造控制,产于F₃破碎带的中石炭统黄龙组灰岩中。矿石构造为浸染状或细脉浸染状,主要矿物有闪锌矿、方铅矿、黄铁矿、菱铁矿和钙菱锰矿。

42线土壤热释CO₂的异常(图4)呈锯齿状无规律地分布,经三点平均滑动,异常能大致反映矿体的空间位置,但峰值低,衬度小(异常比背景高1~2倍),异常连续性差。1983年重新取样做热释CO₂,异常衬度值(4.2)有所提高,但连续性仍不好,可能与矿体埋深大有关。

(四) 凡口铅锌矿床 210~212线是凡口水草坪

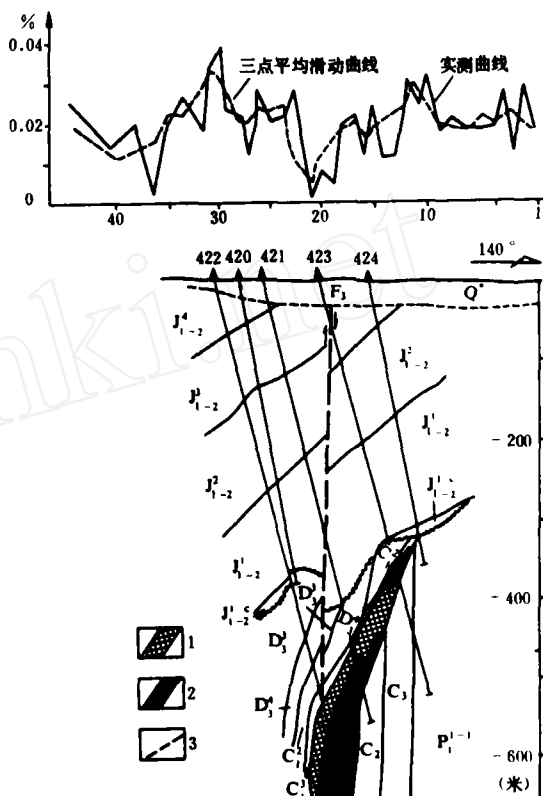


图4 栖霞铅锌矿42线热释CO₂异常剖面图

Q—淤泥质亚粘土和含淤泥的粉砂岩; J₁₋₂—含砾粗砂岩、粉细砂岩互层及火山角砾凝灰岩; P₁₋₁—中厚层灰岩夹燧石层和粉砂质页岩; C₁—厚层灰岩; C₂—粗晶灰岩和致密灰岩; C_{1'}—细晶灰岩、粉砂质页岩及少量钙质页岩; D₁—巨厚含砾石英砂岩、粉砂质页岩; 1—铁矿体; 2—铅锌矿体; 3—断层

矿床的主要剖面,基本位于水稻田区。地层为石炭系白云质粉砂岩和厚层灰岩,其底部偶见不规则状的铅锌矿体,泥盆系粉砂岩夹粉砂质页岩和中厚层石英砂岩及各种灰岩,为本区重要的含矿层位。菱铁矿、厚层铅锌矿及黄铁矿体的产状受层位和构造控制,顺层产出,多层成矿,矿体埋深100~200米。黄铁铅锌矿石中主要金属矿物有方铅矿、闪锌矿和黄铁矿;菱铁矿石中主要为菱铁矿、铁白云石和方解石等。

从210~212线热释CO₂剖面(图5)可以看出,在断裂带和小矿体群上方,断续出现不完整的异常,大体能指示这一矿体群的分布范围。异常峰值为0.04%,衬度值为4左右。已知菱铁矿上方的异常不明显,可能系矿体埋深大、产状平缓和构造不发育所致。该剖面5~10号点所显示的异常比菱铁矿上方高

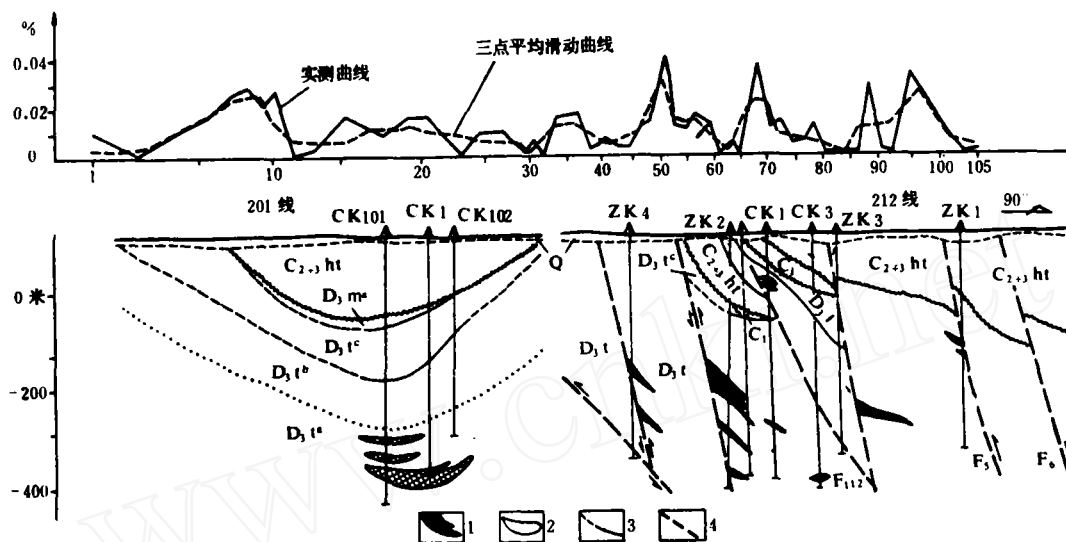


图5 凡口铅锌矿床210~212线土壤热释CO₂异常剖面图

Q—第四系；C₂₊₃ ht—白云岩、白云质灰岩和灰岩；C₁—白云质粉砂岩、灰岩夹石英砂岩；D₃ m₂—粉砂岩夹粉砂质页岩和石英砂岩；D₃ t—灰岩、生物灰岩及泥灰岩；1—铅锌矿体；2—菱铁矿体

一倍左右，据钻孔所控制的菱铁矿产出部位，推测其西部异常下约300米可能有顺层的菱铁矿体。

热释 CO₂ 异常形成机理的探讨

CO₂ 在地球化学研究方面具有重要意义，它既是岩石风化的营力，又是绿色植物的营养。在成矿作用过程中，既是成矿元素的搬运介质，又是某些矿物溶解和沉淀的催化剂。

(一) 热释CO₂的存在形式 与金属矿床有关的土壤热释CO₂，是以什么形式存在呢？初步试验研究表明，用蒸馏水煮沸土壤样品所得热释CO₂，可能有两种赋存形式。一部分呈气体吸附状态；另一部分是来自低熔点的金属碳酸盐和碳酸氢盐。为证明部分CO₂来自金属碳酸盐类，我们用纯试剂NaHCO₃，Na₂CO₃，K₂CO₃，CaCO₃作了试验，结果(表2)表明，NaHCO₃释出CO₂最多，其余三种仅释出少量或不释出。从几种碳酸盐的热解曲线

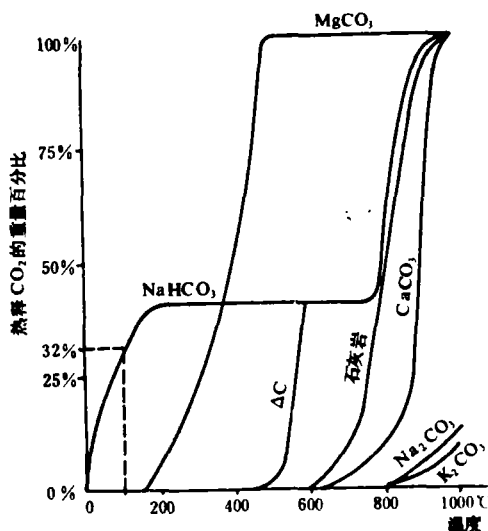


图6 几种碳酸盐的热解曲线
(引自Duchscherer, 1979)

(图6)也可以看出，在0~100℃温度范围内，NaHCO₃的热解量达32%，热解量与温度基本成正比。

上述情况说明，用蒸馏水煮沸土壤样品，会使其中的部分碳酸氢盐和碳酸盐分解释出CO₂。

为搞清两部分CO₂的主次关系，选取5个样品，对每个样品分三种情况测定(表2)，其结果表明：88、92号点土壤样品中吸附态CO₂含量较低，热释CO₂主要来自低熔点的碳酸盐及碳酸氢盐；20、32号点的

表1

化学式	CO ₂ 释放量(%)	备注
NaHCO ₃	9.62	用固体纯试剂，在20毫升蒸馏水中煮沸相同时间。
Na ₂ CO ₃	0.31	
K ₂ CO ₃	0.15	
CaCO ₃	—	

表 2

测 定 序 号	127线*			42线**		备 注
	88	92	105	20	32	
1	0.049	0.046	0.0098	0.032	0.014	用蒸馏水煮沸土壤样品测CO ₂ 总量
2	0.0126	0.0126	0.0084	0.0168	0.0048	抽取样品中的吸附态CO ₂ ，测其量
3	0.0364	0.0322	0.0014	0.0160	0.0098	用蒸馏水煮沸抽掉吸附态CO ₂ 的样品，测定CO ₂
	26%	27%	86%	52%	34%	吸附态CO ₂ (2) / 热释CO ₂ 总量 (1) × 100%

* 在山包上采样，地表原岩风化强烈；** 在菜地采样，土壤较湿。

样品吸附态CO₂含量高，这可能与采样点潮湿易吸附外来的CO₂有关；105号点CO₂含量为该区背景值，多呈吸附态。据以上试验结果我们初步认为，与矿有关的那部分热释CO₂，主要是来自样品中的低熔点碳酸氢盐和碳酸盐类。

(二) 热释CO₂异常形成机理 根据CO₂的性质及其在成矿和矿床次生变化过程中的作用，我们认为与金属矿床有关的热释CO₂异常CO₂的来源有：

1. 成矿作用晚期大量的挥发组分中有CO₂。CO₂可呈气体状态沿构造裂隙上升到靠地表的部位，其中一部分被地表土壤吸附，一部分在水的作用下与矿床上方的多种金属离子形成碳酸盐和碳酸氢盐。当用蒸馏水煮沸样品时，呈吸附态和赋存于低熔点碳酸氢盐中的CO₂被释出，一些难分解的碳酸盐可能部分被水解而释出CO₂。因此，CO₂含量高的部位，反映金属离子比较富集，从而指示掩埋矿或盲矿的部位。

2. 矿物和岩石中包裹体破裂能释出CO₂。由于成矿后的各种作用，使岩石和矿物中的部分包裹体破裂释出气相CO₂和易溶碳酸氢盐，这部分呈气态的CO₂也可沿裂隙上升到地表被土壤吸附。康家湾主要矿带单矿物包裹体的气相分析结果(表2)表明，

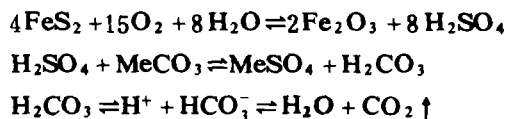
康家湾矿床单矿物包裹体中气相CO₂含量 表 3

矿物名称	样品数	CO ₂ 含量 (ppm)
石 英	1	28.28
方解石	4	24.82
方铅矿	15	21.78
闪锌矿	16	13.57
黄铁矿	7	16.45

据王继华资料

石英和方解石包裹体中的气相CO₂含量比闪锌矿、黄铁矿和方铅矿包裹体中的气相CO₂含量相对高些，说明CO₂在成矿晚期趋于富集，故通过扩散和易溶盐迁移，在矿体上方形成CO₂异常是可能的。

3. 金属硫化物矿床次生变化能使碳酸盐释出CO₂被土壤吸附。其变化过程是：



综上所述，我们认为赋存于岩石和硫化矿体中的CO₂，是以气态或可溶性碳酸氢盐的形式迁移富集到地表，并在矿体上方形成异常。在迁移转化过程中，水中的溶解氧、HCO₃⁻和细菌等因素起着重要作用。但与金属硫化矿床有密切关系的CO₂异常的形成机理是非常复杂的，有待于作更深入的试验研究和探讨。

(三) 影响因素 从已作的初步试验，我们体会到，CO₂异常形成机理十分复杂，影响因素已较多，就目前的试验程度我们认为影响因素有：

1. 季节变化对CO₂含量有影响。对张埝5线作了不同季节采样分析对比(图7)，气温较高的季节(1982年9月)所采样品，比温度较低的季节所采样品CO₂含量普遍偏高，这可能是温度高促使表生氧化作用和释放CO₂的生物过程加速所致。一般来说，有机质多的土壤，夏季CO₂含量高于冬季。

2. 土壤水分对CO₂含量有影响。当土壤水分大时，能加速碳酸盐的水解，不断产出HCO₃⁻，并释放出CO₂气体，1982年多半是在田埂旁和洒过水的菜地里取样，样品较潮湿；1983年春季所取样品相对要干些，这也是造成两次采样CO₂含量有差异的原因之一。因此应避免在河边、水沟和太湿的粘土中取

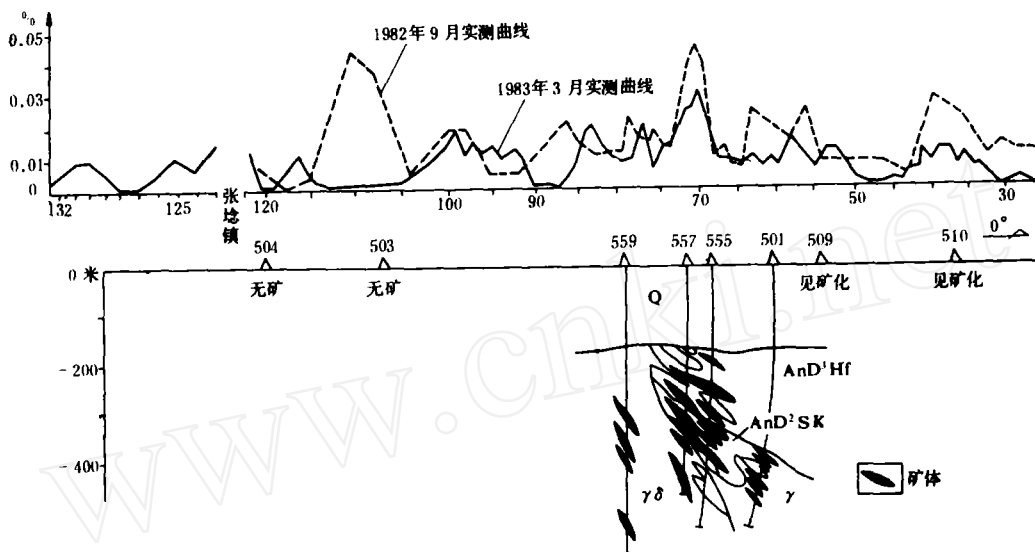


图7 张塘铁矿床5线不同季节采样热释CO₂含量对比

Q—第四系；AnD³—前泥盆系百家村组上段；AnD²—前泥盆系百家村组中段；Hf—角闪岩；γδ—花岗闪长岩；γ—花岗细晶岩；SK—夕卡岩

样，以免造成假异常。

3. 有机质的多寡对CO₂含量也有影响，其影响程度需作进一步试验研究。

土壤和岩石热释CO₂用于地球化学找矿，是一项探索性的试验工作，虽然取得了初步成果，但有许多问题尚需进一步研究：①选择典型矿床，将钻孔控制的原生晕剖面与地表地质情况相结合，进一步研究土壤、岩石热释CO₂异常的形成机理。②了解不同

岩性CO₂的背景含量及分布特征，以消除碳酸盐地层CO₂高背景所造成的假象。③进行模拟试验，搞清CO₂在土壤中的扩散、迁移和富集规律。④搞清对CO₂异常的干扰因素，研究消除干扰的方法。

参 考 文 献

- [1] B. B. 波利卡尔波奇：《次生晕和分散流》，1976
- [2] 李天杰等：《土壤地理学》，北京，人民教育出版社，1979年

关于“电提取离子法”若干问题的探讨

费 锡 铨

(南京地质学校)

从原理上讲，电提取离子法适用于任何能够形成离子晕的矿产资源和地质问题。自从电化学找矿方法（主要是其中的电提取离子法）在有关学术会议和刊物上发表后，受到了很多单位的重视。为了推广该方法用于生产，我们举办了（还将继续举办）两期短训班，对某些理论和实际问题进行了广泛地探索和讨论，现就其中的几个问题谈谈自己的认识和看法。

（一）电提取离子法中电极上所提取元素的

来源 一般来说，在电场作用下以离子状态移向收集极富集或析出的离子是来自矿体，确切地说，不是当时来自矿体处的离子，而是经过漫长的地质年代，深部矿体处的离子在地电场、浓差扩散、地下水循环等因素作用下，早已运移到近地表的松散层中，形成处于动态平衡状态的离子晕，这种离子晕中的某些离子，在人工电场作用下被提取富集到采样电极上。另外，在25℃时，无限稀释的金属离子其淌度一般为 $n \times 10^{-4}$ 厘米/秒，