

第四讲 氧碳同位素地球化学找矿模式

刘本立

(北京大学)

根据大量实际研究资料认为,氧、碳同位素研究可应用于找矿。尤其是在石灰岩分布区,寻找与盲岩体有关的盲矿体,将成为一种有用的新手段。与各种成因的热源体有成因联系的盲矿体,在其顶部必形成原始的温度场。由于同位素组成的变化是温度的函数,因而通过同位素组成的测定,必然反映出原始温度场的存在。这对指导找矿可提供一种重要的信息。

关键词: 碳氧同位素; 原始温度场; 找矿模式

热液中最大量、最活跃的组份是 H_2O 和 CO_2 。利用其变化规律来指导找矿,已经在一些领域中进行了研究、探索和应用。例如,矿物包裹体的研究,红外光谱的光密度测试,碳酸盐围岩中的氧、碳同位素测量等都取得了一些进展。发展和应用这些新的或“潜在的”找矿技术,是作者的多年宿愿。开发矿业要取得较大的突破,一靠新的认识,二靠新的找矿方法。一种新的找矿技术的研究和应用,往往意味着一系列矿床的发现。然而,新方法的研究不会是一帆风顺的,作者深信,在所扶持的新方法研究中,哪怕只有十分之一是成功的,那么它的经济效益却是不可估量的。

基本原理

各种热液成矿作用中 H_2O 与 CO_2 是最大量、最活跃的组份,也是热液含矿流体中渗透和扩散最远的组份。因而它们在围岩中的变化,将比几十年来地球化学找矿工作中主要应用的金属元素的变化更显著、更清晰、范围更大(达数百米甚至千米)。成矿热液

中 H_2O 与 CO_2 在围岩中的变化是指原生变化。作为流体的 H_2O 和作为气体的 CO_2 ,当未与围岩发生同位素交换反应时,它们可能在气液包裹体中有所保存。但是最主要的部分,尤其是以碳酸盐岩为围岩时,成矿热流体与围岩的作用,将主要体现在同位素交换反应,实质上就是 $\delta^{18}O$ 、 $\delta^{13}C$ 的变化。这种变化一定会反映原生作用遗留的信息。假如成矿作用之后,曾发生过溶解与重结晶作用,这将起干扰作用。

M.L.Jensen (1970),用 $\delta^{18}O$ 作内生矿床和围岩的等温线来确定矿化中心(图1)。笔者考虑到,实际工作中,在石灰岩、白云质灰岩地区采集矿物对是极难实现的,因而求得温度值同样是艰难的。同位素分馏原理明确指出,同位素值是温度的函数,即随温度的增高, δ 值降低。因此,运用 δ 值圈定的异常图,就是温度场的体现。 δ 值的低值区反映矿化中心。

同位素交换反应主要发生于溶解与重结晶过程中。碳酸盐岩较易在热流体的作用下发生同位素交换反应,因而碳酸盐岩地层分

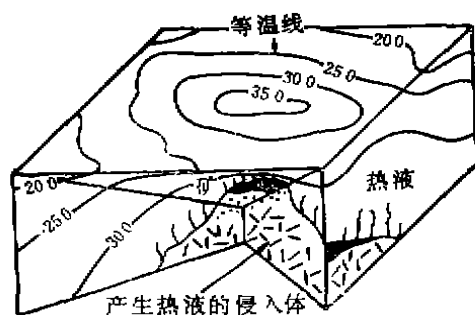


图 1 应用氧同位素组成数据确定矿化中心模式图
(M.L.Jensen, 1970)

布区内应用此法是有利的。我国碳酸盐岩分布区相当广泛，本法的应用前景显而易见。

由于 H_2O 和 CO_2 是含矿流体中渗透和扩散最远的组份，其数量与成矿元素数量之比是百万倍、千万倍，甚至更高。因此，其作用范围大，容易被发现；数量大而分布上又相对均匀，以少量样品测试便可发现异常。

采样及处理

应用本法时，采样及样品的处理是一项十分精细的工作。不能设想随便打一块或几块样，不加精选就测试的结果会取得预期成效。采样时应注意下列事项：①有无其他热源体的存在，一般在距其10m之外才能取样（例如，围岩中的各种脉岩）。②石灰岩或白云质灰岩是否经过与矿化作用无关的溶解与重结晶作用。③采集足够新鲜的碳酸盐岩样品。④在几十米²、甚至更大的范围内分别取小块样（约1g一块），10~18块组成组合样，这种样品的测值具有平均值的意义。⑤相距50~100米内，采一件组合样即可。

室内样品处理也要认真对待。野外采样每件约15~20g，经过碎而不粉的破碎后，缩分几次，剩下约4g样，其粒径在60目左右。双目镜下精选出约2g样供同位素测试之用。碳酸盐矿物的氧、碳同位素分析系采用

磷酸法。样品的同位素比值以 δ 表示。 $\delta^{18}O$ 以SMOW为标准， $\delta^{13}C$ 以PDB为标准。所有的样品采集和处理，主要由刘本立完成；样品制备是在陈成业的帮助下由刘本立完成；同位素测定由莫志超等完成。

背景参考值

为使这一有希望的找矿法得到应用，笔者将多年直接测定的有关数据有选择地整理成下表。

不同地区碳酸盐围岩 $\delta^{18}O$ 、 $\delta^{13}C$ 的背景值表

产地	岩性	$\delta^{18}O$ (‰)	$\delta^{13}C$ (‰)	样品数	是否变质
山东淄河	白云质灰岩	25.06		1	未变质
贵州菜园子	白云岩	25.63	1.23	7	"
贵州观音山	灰岩	25.3	4.5	4	"
湖南茶盘塘	灰岩	23.07	1.39	7	"
湖南仙人岩	白云岩	25.05	1.77	1	"
"	灰岩	23.58	2.23	1	"
湖南何家坨	白云岩	25.78	-0.35	3	"
湖南界牌岭	白云岩	24.57	1.28	2	"
"	灰岩	23.33	2.33	3	"
云南大红山	白云石大理岩	18.21	0.37	10	中变质
吉林大栗子	大理岩	17.15	-0.55	2	"
陕西大西沟	灰岩	18.82	1.64	2	浅变质

(据刘本立等, 1984)

表中未变质的样品主要是古生代的，包括寒武系、志留系、泥盆系、石炭系和二叠系。这些样品的氧同位素值比较接近，灰岩的氧同位素在23~25‰，而白云岩为25‰以上。碳同位素值相对差别较大。云南大红山和吉林大栗子的大理岩是元古代的，经受过中深变质作用影响。 $\delta^{18}O$ 降为17~18‰。陕西大西沟灰岩（泥盆纪）经浅变质， $\delta^{18}O$ 降为18.82‰。

统计表明，在未变质的碳酸盐地层分布区内，由于热源体的影响而发生明显的 $\delta^{18}O$ 降低。在几个地区都发现，一般可降低到16~12‰，甚至更低。而碳同位素往往构成负异常。与背景相比，氧、碳同位素异常，

尤其是氧同位素异常是相当清晰的。这就能为找矿提供明确的信息。

成矿作用的强烈程度，与地层水、地下水以及部分岩浆水的参与有关。这些水越丰富，成矿的可能性愈大，致使围岩与水的同位素交换反应也强烈进行。其结果是同位素低值的形成。有些岩体较大，在其邻近部位采集的样品，氧、碳同位素无显著变化，这种现象似乎预示着邻近区内成矿的可能性较小。

某些重要实践成果

1. 栗木水溪庙矿床是典型的、以碳酸盐岩为围岩的盲岩体和盲矿体。地表样品测试结果整理成图2，钻孔样品测试结果整理成图3与图4。据上述3图可明显看出以下趋势：

①距深部矿化中心270m的地表样品，可明显反映出氧、碳同位素异常；其特点是氧同位素随距离的缩短而“变轻”，即 $\delta^{18}\text{O}\%$

距矿化中心越近其值越低；碳同位素变化也类似，有时为负值。

②平面上可圈出 $\delta^{18}\text{O}$ 的等值线晕(见图2)。由于 $\delta^{18}\text{O}$ 值是温度的函数、 $\delta^{18}\text{O}$ 与温度成反比，其低值区代表温度较高的部位，即矿化中心部位。

③将图1同图2与图3相比较表明，笔者所获得的资料与M.L.Jensen (1970)曾理想化的示意图相当吻合。

④钻孔样品的氧、碳同位素变化很有规律。氧同位素由地表向深部大体上连续降低，碳同位素也类似，而当氧同位素值回升时，碳同位素值又突然降低较大，出现较大的负值。这个特点反映出近矿化中心和近接触带“脱碳酸气”的结果。

⑤矿区北部含矿断层的上盘出现清楚而连续的线型异常。

⑥为排除主观因素，采样时并不清楚矿化中心和岩体“冒尖”部位，但异常圈定后与其相对照，却吻合得相当好。又如H-14

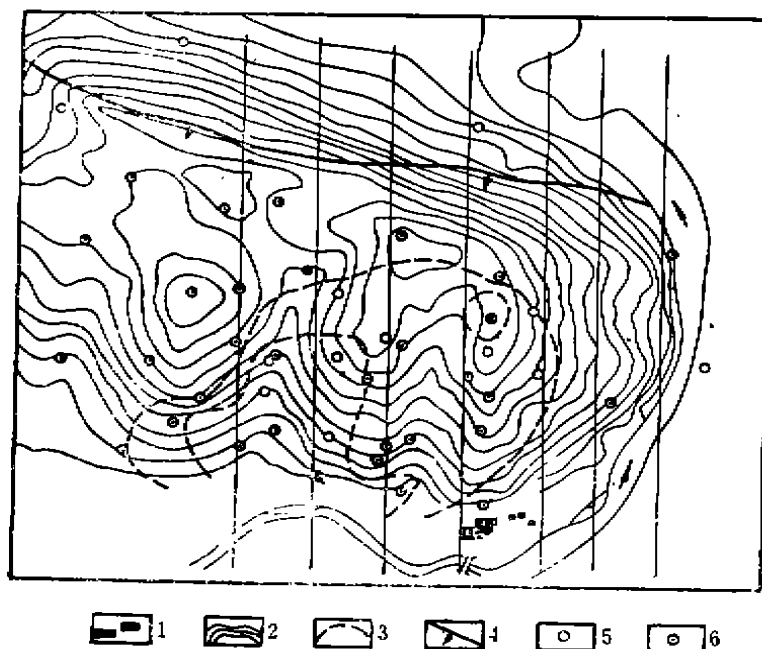


图2 水溪庙矿床地表碳、氧同位素异常图

(据刘本立, 1988)

1—居民点；2—等高线；3—异常等值线；4—断层；5—孔位；6—采样点

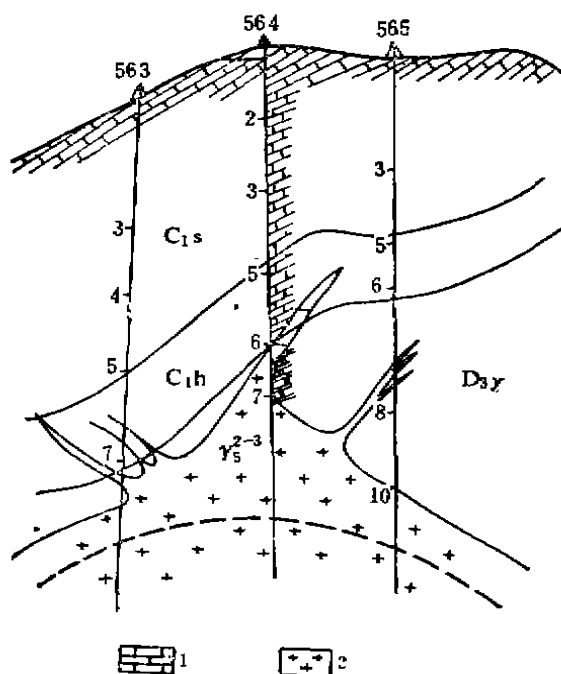


图 3 水溪庙二号勘探线剖面图
1—灰岩；2—花岗岩

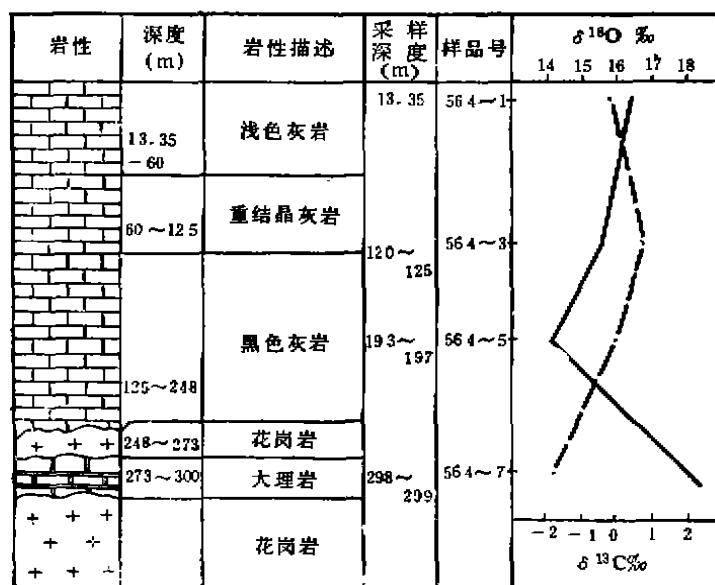
点，测得异常值，笔者并不了解含矿情况，当与271队交换意见时，他们指出“那本来就有一条矿脉”。

⑦采样点间距往往大于100m，然而明显的异常却无遗漏。当异常较大或矿床规模较大时，采样点距150~200m，深信也能圈定异常区。

2. 湖南某锡矿也是典型的与盲岩体有关的盲矿体。该区主要作了两个剖面和一个钻孔的样品。结果绘成图5与图6。这两个图件显示出如下规律性：

①由图5可见，盲岩体距地表将近500m。然而与其有关的矿化作用，地表采样即可发现，而且出现明显的异常。盲岩体与盲矿体产于背斜轴部，其氧同位素异常也是对称的。

②剖面上（图6），盲岩体与盲矿体的部位，氧同位素构成明显的“谷”（负异常）。



图：ZK564孔柱状图与氧、碳同位素变化曲线
(据刘本立等，1988)

利用这种“谷”的标志，可为找矿提供一种重要的信息。

③该区矿体产于背斜轴部，矿液容易集中，而不容易分散，这可能是造成同位素异

常在相当大的范围内呈均匀状态（图5）。在近500m的垂深范围内，氧同位素值变化

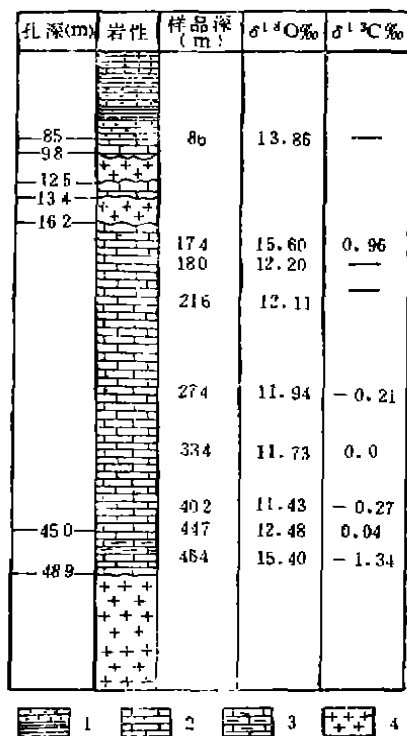


图5 湖南某锡矿J130-2孔的氧、碳同位素异常

（据刘本立等，1988）

1—石英砂岩与页岩互层；2—含锡、铍等多金属矿体的灰岩、大理岩化灰岩；3—交代岩夹硅质灰岩；4—钨锡矿化的花岗斑岩

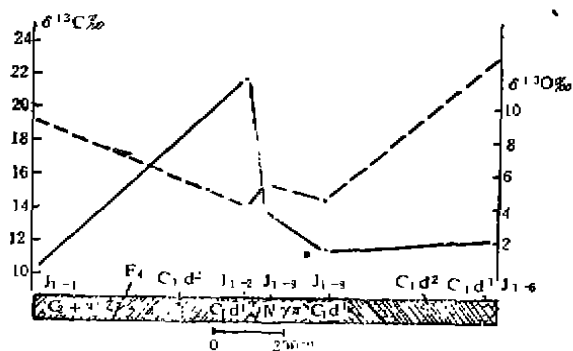


图6 1剖面氧、碳同位素变化曲线

（据刘本立等，1988）

甚小。地表不同部位的4个异常值在14.16~15.62%之间。这种地表与垂深方向异常呈较

均匀的状态表明，矿化均匀、大而富。

④当时已施工的钻孔均在背斜之一翼，而背斜的另一翼尚未施工。但据初步工作，地表4个异常点中有3个是在背斜的另一翼，因而提出背斜的另一翼可能存在含矿热源体，值得重视。

⑤J130-2孔的氧、碳同位素垂深变化同水溪庙的情况类似，即靠近接触带时，氧同位素回升而碳同位素出现较大的负值。这再次说明，深部“脱碳酸气”作用的存在。

⑥一个盲岩体的形成过程，尤其是含矿盲岩体，从岩浆到完全冷却结晶要经过以百万年计的长期地质历史过程。也就是说，由数百度的高温到常温岩石的形成是个缓慢的过程。因而就会造成热源体的散热（尤其是在封闭较好的条件下）是缓慢而又比较均匀的。例如J130-2孔，只要采集少量样品就能测出异常的存在。

3. 遥感解译的环形构造，可能有多种成因。其中之一可能与含矿盲岩体有关。272队曾在水岩坝异常区由遥感发现环形构造，笔者曾先后两次采样作了氧、碳同位素分析。将其结果落在图上得到图7。如图所示，以 $\delta^{18}\text{O}$ 值为19、17、15可圈出等值线，

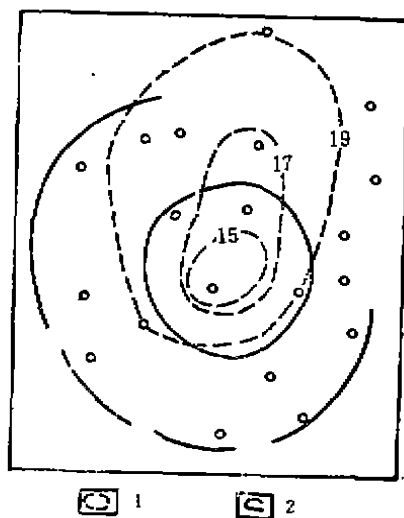


图7 氧同位素异常与环形构造

（据刘本立等，1988）

1— $\delta^{18}\text{O}$ 等值线；2—环形构造

以15为异常中心。这与环形构造的内圈非常吻合。而低值区 $\delta^{13}\text{C}$ 出现较大的负值。这些特征表明,其深部可能存在含矿岩体,有待验证。

4. 云南大红山矿区为我国著名的与海底火山喷发有关的铁铜矿床。据云南省地质九队等单位研究,从喷发物的产状特点推断为中心式喷发。那么氧、碳同位素研究能否证实这一结论呢?经过系统采样分析,将其结果绘成图8。这是以ZK50为中心3个方向上 $\delta^{18}\text{O}$ 与 $\delta^{13}\text{C}$ 值的变化趋势。将其绘成平面投影图,可以清楚显示出以ZK50为中心的环状异常。ZK50的 $\delta^{18}\text{O}$ 值为10.07‰, $\delta^{13}\text{C}$ 为-1.51‰,是最低值,可以确定其为中心。3个剖面均显示出,随远离喷发中心, $\delta^{18}\text{O}$ 值明显增高,正常值为18~19‰, $\delta^{13}\text{C}$

为正值(图9)。笔者所获资料证明,古火山是中心式喷发。内圈,即异常中心与地质和岩石学研究推断为中心式喷发及火山颈位于ZK50孔一带是完全吻合的。外圈大体上代表着火山熔岩和铁矿的分布范围。

大红山矿区区域变质已达到相当于变粒岩或浅粒岩相,多次岩浆活动,热液交代变质等,经过长期的多次叠加作用之后,原来的因火山喷发引起的碳酸盐围岩的氧、碳同位素变化仍然保留其信息。

5. 康家湾是我国前些年找矿工作取得突破性进展的矿区。笔者曾由南向北在矿体脉石矿物中采集方解石作了氧、碳同位素测定。结果较清楚地显示,南部 $\delta^{18}\text{O}$ 值为8.63‰, $\delta^{13}\text{C}$ 为-2.97‰,而中间部分 $\delta^{18}\text{O}$ 为12~13‰;北部 $\delta^{18}\text{O}$ 为15~16‰, $\delta^{13}\text{C}$ 为+1.44‰。根据此变化趋势推断,矿液的流动方向是由南向北。这一推断与硫同位素的研究是吻合的。

结 语

①氧、碳同位素研究应用于找矿,是近年来国际上比较重视的一种找矿新技术。

②以碳酸盐岩为围岩的分布区,氧、碳同位素低值区可能反映含矿岩体、气成热液作用、含矿斑岩体、古火山口等。

③采集能具有平均值意义的代表性样品是重要的,以这种样品而论,100~200m一个点就不会漏掉一定规模的矿床。

④本法与地质、物化探结合,或在其他方法工作的基础上,或在勘探区内应用可能更好些。

⑤本法的应用需要院校、科研单位同地质队紧密结合。

⑥呼吁有关管理部门扶持新的找矿方法的研究和应用。

在结束本文时,向曾经支持、赞助、帮助过作者的十几个单位,50多名同事深表谢意!

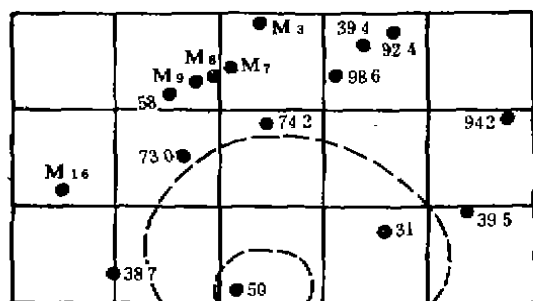


图8 采样点相对投影位置及同位素异常中心

(据刘本立等, 1982)

1—钻孔; 2—地表样

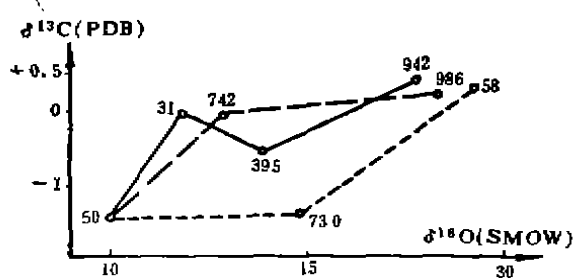


图9 火山作用中心与同位素变化趋势

(据刘本立等, 1982)