

氧同位素找矿方法及应用

蒋少涌

(中国地质科学院矿床地质研究所)

提 要 本文介绍了氧同位素找矿方法的基本原理, 采样要求和一些应用实例。对于热液矿床来说, 成矿热液中 H_2O 和 CO_2 是最活泼的组分。它们对矿化围岩的影响十分显著, 范围也很大, 从而很容易改变其同位素比值, 形成清晰均匀的同位素晕。通常, 在热(矿)源体的周围, $\delta^{18}O$ (和 $\delta^{13}C$) 值常形成一个明显的低“谷”。利用这种“谷”的标志来指导找矿, 特别是找寻盲矿(岩)体具有重大意义。

关键词 同位素晕 氧同位素找矿

一、前 言

多年来, 稳定同位素在地质学中应用的焦点主要是集中在基础研究方面。它在矿床成因、成矿物理化学条件, 成矿物质来源等方面的应用已经充分显示了其独特的优越性。这些研究成果, 对于地质找矿具有一定意义。而将稳定同位素方法直接应用于找矿勘探中, 则是近些年来逐渐发展起来的。

稳定同位素应用于找矿的研究, 无论在国内还是国外, 目前均属于前缘性的探索性科学研究, 它是一种新的或“潜在的”找矿技术。逐渐深入的研究表明, 该方法具有许多一般原生晕方法不具备的优越性^[1]。

目前, 在同位素找矿领域中, 主要应用的有铅同位素找矿方法和氧同位素找矿方法。前者作者已有介绍^[2], 本文将主要介绍氧同位素找矿方法。应当指出, 该方法目前还属探索性的。虽然它是一种有希望、有潜力的找矿方法, 但毕竟还不成熟, 还需要各种方法配合, 尤其是要在地质研究的基础上进行才能得以发展和应用。本文的目的旨在通过该方法的介绍, 使我国广大地质找矿人员有所借鉴和启发, 并且能够在这方面作进一步的研究, 以期使这种很有希望的找矿方法得到实际应用。

二、利用氧同位素找矿的基本原理

对于热液矿床来说, 成矿热液中的 H_2O 和 CO_2 是最活泼的组分, 它们在矿化围岩中的变化远比金属元素的变化显著、清晰, 并且影响范围也更大。一般情况下, 成矿热液的 $\delta^{18}O$ 、 $\delta^{13}C$ 值

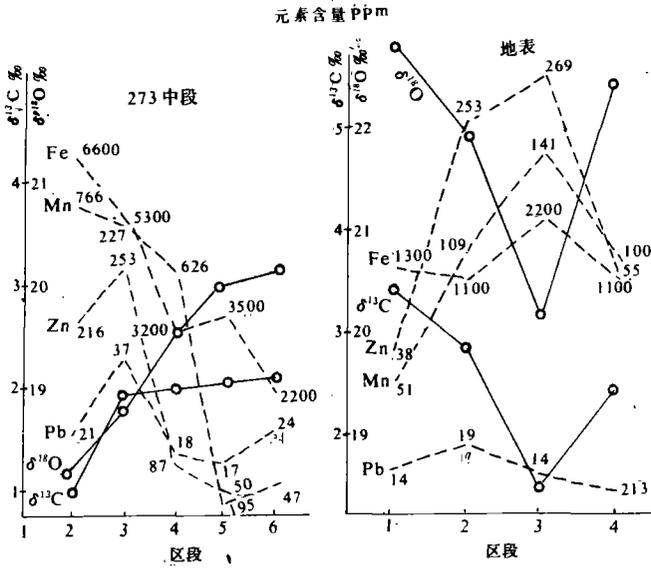


图 1. 黄沙坪矿区 C_{1d} 灰岩氧碳同位素与 Fe、Mn、Pb、Zn 元素含量变化图(据童潜明, 1985)。

Fig. 1. Plot showing variations of isotopes of O and C and the element of Mn, Pb and Zn of C_{1d} limestone in Huang shaping district.

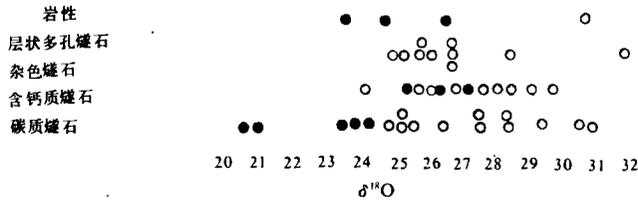


图 2 各种岩性燧石的 δ¹⁸O 图

(实心点表示样品采自已知硫化矿化 1km 范围内, 空心点则为 1km 范围以外)

(据 R. D. Harrover 等, 1982)

Fig. 2. Plot showing δ¹⁸O values of cherts in various rocks (after R. D. Harrover et. al, 1982)

均显著低于围岩。在一定温度下, 它对围岩产生蚀变作用, 与围岩发生同位素交换反应。例如, $CaC^{18}O_2 + 3H_2^{16}O \rightarrow CaC^{16}O_3 + 3H_2^{18}O$



有时我们在宏观和微观上均无法观察到这种蚀变作用,但其同位素组成却已明显地变轻,指示了蚀变作用的存在。随着热液蚀变作用的加强,同位素组成变轻就越显著。因此,自七十年代以来,许多学者都曾指出了这种“潜在的”找矿技术^[1,3,4,5,6]。

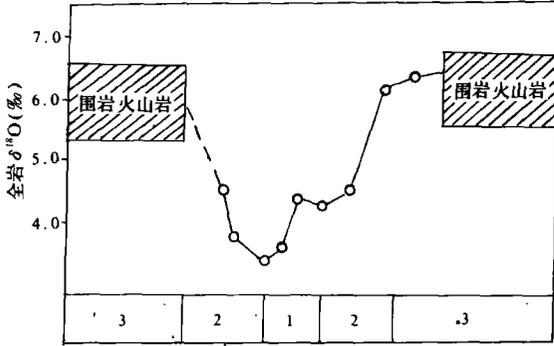


图3 δ¹⁸O 沿阿穆莱特蚀变带剖面线的变化情况

(据 D. W. Beaty 和 H. P. Taylor, 1982)

Fig. 3. Variation of δ¹⁸O along Amlet alteration belt.

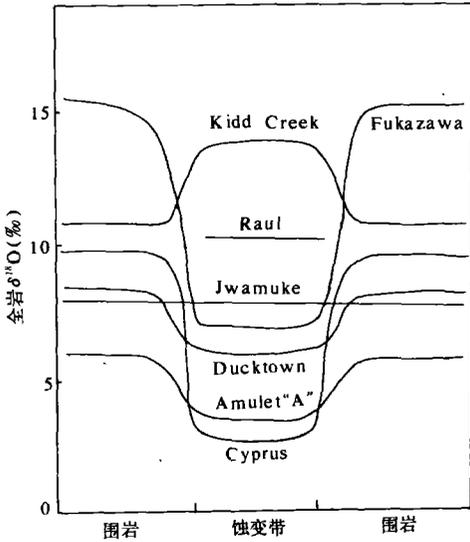


图4 六个块状硫化矿床的蚀变带全岩 δ¹⁸O 值示意剖面图

(据 D. W. Beaty 和 H. P. Taylor, 1982)

Fig. 4. Plot showing δ¹⁸O values of six massive sulfide ore deposits in a schematic section.

同位素平衡交换反应决定于温度,也就是说,同位素组成的变化是温度的函数。在热(矿)源体的中心,温度一般较高。因此,从热(矿)源体中心向外,常常可以形成一个明显的同位素等值线晕圈。它能指示向热(矿)源接近时逐渐增高的温度。研究表明,在热(矿)源体的周围,δ¹⁸O(或δ¹³C)值常形成一这明显的“谷”。温度愈高,δ¹⁸O(或δ¹³C)值愈低,热(矿)源体中心的“谷”越明显。因此,利用这种“谷”的标志来指导找矿,特别是导找盲矿(岩)体具有重大意义。

三、氧同位素样品的采样要求

对于以碳酸盐岩为围岩的热液矿床,采样时应注意有无其它热源体的存在,岩石或矿物是否经过溶解或重结晶。应采集足够新鲜的碳酸盐岩样品,用 100% H₃PO₄ 法分析其氧、碳同位素组成。采样距离根据不同情况可相距 100 米至 300 米。一个盲岩体的形成过程,从岩浆到完全冷却结晶要经过以百万年计的长期缓慢过程,因热源体的散热必然是缓慢又比较均匀的。从而在热源体周围形成均匀的同位素异常。因此,只需采集少量样品就可以发现异常,这似乎是本方法的较大优越性之一。实践表明,在普查找矿阶段应用本方法时,以 200 米点距采样,将不会漏掉够规模的异常^[1]。

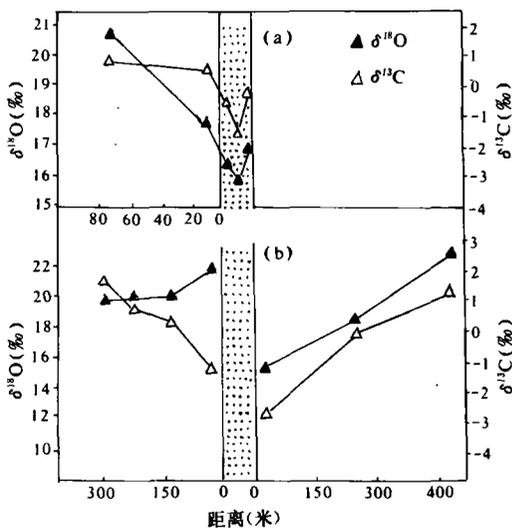


图 5 Gaspe 矿区碳酸盐 $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ 值与蚀变中心距离关系剖面图
(据 Daria Duba 等, 1985)

(a) 东北 Patapedia 中心, (b) 东 Patapedia 铁帽

Fig. 5. Plot showing distance of $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ values (carbonate) to alteration centres in Gaspe mining district

对变质程度很深的碳酸盐岩,变质作用会造成对热源产生的负异常的干扰。因此不适合应用该方法。

对于以硅酸盐岩为围岩的热液矿床,常需系统采集围岩全岩样品,用 BrF₃ 方法分析其氧同位素组成。采样距离常比碳酸盐岩区要密,范围也较小。

四、应用实例

1. 岩浆热液型 Pb—Zn 矿床

黄沙坪矿床是湖南南部一个以铅锌为主的大型岩浆热液型多金属矿床。容矿围岩主要是碳酸盐岩。主要矿体是隐伏的，并与隐伏小岩体密切相关。据童潜明对碳酸盐岩的氧、碳同位素的研究表明^[1]，它围绕花岗斑岩体发生有规律的变异。在 273 中段，紧靠岩体的 1、2 区段，其 $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ 值低，由 2 区段向北至 5 区段，其值逐渐升高。在地表靠近隐伏岩体的 3 区段样品 $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ 值低，由此向北和向南均升高，与此同时，样品的 Fe、Mn、Pb、Zn 等元素含量呈相反变化趋势形成一个峰值（图 1）。因此，碳酸盐岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ 负异常区并同时出现元素含量（原生晕）的正异常区，就可能有隐伏岩体的存在，且其异常强度最大处可能就是隐伏岩体所在位置。

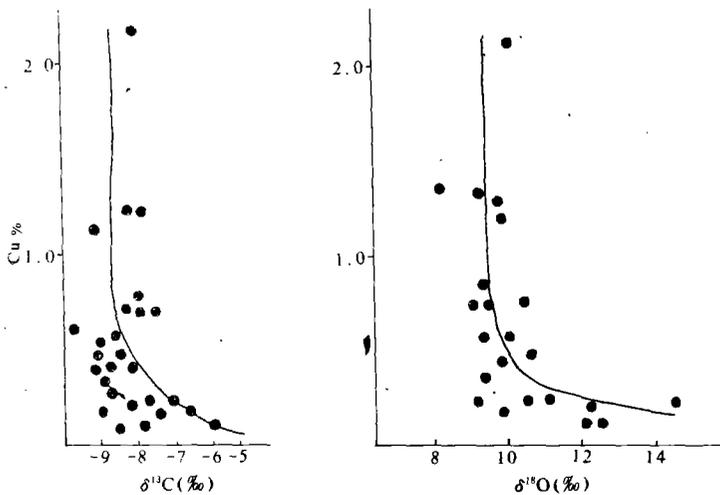


图 6. C 带样品中主岩方解石 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 值对铜品位的图解

(据 K. L. Shelton, 1983)

Fig. 6. Plot showing relation of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ of calcite (hosting rock) in C zone to copper ore grades.

2. 层控型 Pb—Zn—Ag 矿床

加拿大 Sullivan 块状硫化物矿床是赋存在沉积岩中的同生块状硫化物矿床的典型例子。它产于中古生界 Purcell 超群的 Aldridge 组中。在西部矿体的下盘为一大电气石蚀变带，而矿体上盘被强烈蚀变为由钠长石、绿泥石、碳酸盐和黄铁矿组成的粗粒岩石（钠长石—绿泥石蚀变带）。 $\delta^{18}\text{O}$ 值的研究表明，电气石蚀变带

全岩 $\delta^{18}\text{O}$ 为 10.7—13.1‰，平均 11.9 ± 0.8 ‰，与 Aldridge 组围岩同位素值一致；而上盘的钠长石—绿泥石蚀变带，全岩 $\delta^{18}\text{O}$ 为 6.1—7.8‰，平均 7.1 ± 0.7 ‰，存在一 $\delta^{18}\text{O}$ 的亏损晕，该晕

圈在矿体上方并向外延伸达 100 米远处。实际工作中,最先观察和研究的岩石往往是矿体的上盘岩石,因此根据这一 $\delta^{18}\text{O}$ 的亏损量可以指示其下的矿化存在。

在阿拉斯加西 Brooks 岭的 De long 山发现有海底喷气的 Pb—Zn—Ag 矿化,它赋存在遭受剧烈褶皱和断裂的碳质燧石及页岩中。假如在海底喷气中心附近经受高温的燧石,应比正常海底条件下结晶的燧石形成较粗的雏晶,且具有较低的 $\delta^{18}\text{O}$ 值。那么,燧石的 $\delta^{18}\text{O}$ 值和雏晶粒径就可能成为寻找喷气型矿床的找矿标志。从研究区内四个硫化物产地附近的占孔岩芯和露头上采集了 50 个燧石样品,结果如图 2。明显可以看出,在 1Km 硫化物矿化范围内采集的大多数燧石样品(图中实心点),其 $\delta^{18}\text{O}$ 值比无矿化地区(图中空心点)的 $\delta^{18}\text{O}$ 值低。因此对于以层状燧石和泥质岩为主的喷气硫化矿床, $\delta^{18}\text{O}$ 勘察技术效果是明显的。

3. 火山成因块状贱金属硫化矿床

加拿大魁北克的 Amulet “A” Cu—Zn 矿床是火山成因块状硫化矿床的典型实例。其矿体由 1km 范围内的四个磨菇状硫化物透镜体组成,从块状硫化物透镜体向下延伸,还有一个浸染状硫化物的同心带状蚀变岩筒。这个岩筒由一个所谓“斑点绿岩”(即斑点状堇青石直闪石岩石)中心核带和围绕它呈格子状破裂的含黑云母的蚀变带组成。沿着蚀变岩筒从中心向外的一条剖面线采样分析氧同位素值,结果如图 3。围岩火山岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 5.2—6.7‰,穿过黑云母蚀变带时,降至 4.5‰左右,而在斑点绿岩带中甚至降至 3.6‰。即形成了一个以蚀变岩筒为中心的低 $\delta^{18}\text{O}$ 值带。

图 4 为世界六大火山成因块状硫化矿床的蚀变带全岩与围岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 值示意图。为便于比较,图中蚀变带宽度取同一值。从图 4 可知,块状硫化矿床的 $\delta^{18}\text{O}$ 值在蚀变带明显变轻。但在 Uwamuke 矿床,网脉带和围岩都强烈蚀变,其 $\delta^{18}\text{O}$ 值 (8.0 ± 1.2) 是均匀的。而在巨大型的 kidd creek 矿床,与围岩相比蚀变带似乎多富集了约 3‰ 的 $\delta^{18}\text{O}$ 。

蚀变岩筒中的强烈蚀变岩石较之围岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 值低,使人们能根据 $\delta^{18}\text{O}$ 的变轻带草拟出古热液通道。如果在一已知地区把一套蚀变带绘制在图上, $\delta^{18}\text{O}$ 值就可能表明哪一个带遭受了最强烈的水热作用,哪一个带里的温度更有利于成矿。蚀变带具有异常高的 $\delta^{18}\text{O}$ 情况下,勘探的潜在储量是很大的。 $\delta^{18}\text{O}$ 值高的 kidd creek 成矿溶液蚀变了岩石,其 $\delta^{18}\text{O}$ 值在 13—16‰ 之间。这个值比 Abitibi 带任何其他地方的正常火山岩,事实上也比世界上任何时代的火山岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 值都高的多。因此,如果找到了高 $\delta^{18}\text{O}$ 的露头,又能排除很低的温度因素,如风化作用的影响,则就很可能是深处的高 $\delta^{18}\text{O}$ 的热液流经了岩石。一般说来,热液的盐度相对于海水的盐度增加的愈大,热液中一个强的 $\delta^{18}\text{O}$ 漂移的可能性就愈大,溶液携带金属的能力也就愈大。

4. Fe、Cu 矿床

加拿大魁北克 Gaspe' 矿山含有很多小的矽卡岩型和细脉状铜矿床。该区存在许多蚀变中心, Daria Duba 等^[9] 对其中二个蚀变中心周围的 Matapedia 群泥质灰岩和钙质页岩中的碳盐岩进行了氧、碳同位素测定,结果分别投影到一个东西向剖面(图 5)。

在东 patapedia 铁帽弱蚀变带两侧,存在着一个 $\delta^{13}\text{C}$ 值系统地向着减小趋势,而 $\delta^{18}\text{O}$ 值的减小仅发生在剖面的东半部。在东北 patapedin 中心的强蚀变带周围也存在着 $\delta^{13}\text{C}$ 值和 $\delta^{18}\text{O}$ 值向着降低的现象。在每个中心的可见蚀变带内, $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 的亏损明显加剧。

K. L. Shelton (1983) 对 Gaspe 矿
山砂卡岩型矿体围岩方解石的
 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 研究指出, 方解石 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$
值的亏损程度与铜矿石的品位成正
比。方解石 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 值亏损的那些地
层就是含铜成矿溶液的储集层, 而方
解石 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 值亏损较小的那些地层
便是较差的储集层。因此, 利用围岩
方解石的同位素组成可作为一种勘探
手段和找矿标志来圈出砂卡岩矿化
的范围。K. L. Shelton (1981) 对该矿床
C 带矿体方解石的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 研究表
明, 其亏损程度与铜品位成正比, 低于
经济矿化的砂卡岩矿石的方解石
 $\delta^{13}\text{C} = -7.5 \sim -5.7\%$, $\delta^{18}\text{O} =$
 $10.0 \sim 14.5\%$; 而具有经济意义的砂
卡岩矿石的方解石 $\delta^{13}\text{C} = -9.5 \sim -7.6\%$, $\delta^{18}\text{O} = 7.4 \sim 9.9\%$ 。图 6 的双曲线表明, 方解石
 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 值的亏损有一临界值。低于这一临界值, 便出现具有经济意义的铜富集; 高于这个
值, 则仅有不具经济意义的铜矿化。

云南大红山矿床为我国著名的同海底火山喷发有关的铁铜矿床。从喷发物的地质产状、
分布特点, 推断为中心式喷发。由于火山喷发这种巨大热源将引起围岩的同位素交换反应而
导致同位素分馏, 随着与热源距离的不同而存在温度梯度, 那么环绕火山喷发中心的碳酸盐矿
物应敏感地显示出同位素组成的变异。刘本立等^[10] (1982) 对矿区 17 个大理岩的氧、碳同位
素分析表明, 在近火山喷发中心的大理岩 $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ 值较低, 分别为 $9.8 \sim 14.8\%$ 和 $-0.05 \sim$
 -1.5% 。其中 1 号样品的 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 10.1% 、 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 -1.5% , 是云南地质九队推断为火山颈
的位置。远离火山喷发中心的样品 $\delta^{18}\text{O}$ 值明显增高, 大多达 $18 \sim 19\%$, $\delta^{13}\text{C}$ 值为正值。据
这些数据可大致圈出同位素异常的轮廓 (图 7)。这一轮廓与地质和岩石学研究推断为中心式喷
发和火山颈位于 ZK50 孔一带是完全吻合的。

山东淄河菱铁矿床, 分布于寒武奥陶系海相碳酸盐岩地层中。矿体形态复杂, 主要矿体为
似层状。为一热液型菱铁矿床。对围岩碳酸盐的氧、碳同位素分析表明, 距矿体越近, 其 $\delta^{18}\text{O}$
值越低。矿体顶板为负异常, 变化范围达 100 米以上。曾取了几个钻孔的岩芯样品, 钻孔中的
原生晕发现在菱铁矿顶板 3—10 米范围内有 Cu 和 Mn 的正异常, Sr 的负异常。许多矿体的上
部还有重晶石出现。可见氧、碳同位素异常比金属元素的异常大 10 倍以上。

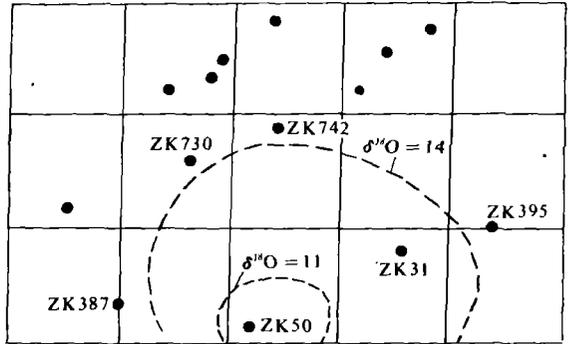


图 7. 大红山矿床碳酸盐岩采样点投影相对位置及同位素异常中心

(据刘本文等, 1982)

Fig. 7 Plot showing projection points of sampling locations and centre of isotopic anomaly

参 考 文 献

- [1] 刘本立等,物探与化探, 12 (5) 1988, 344—351
[2] 蒋少涌,地质科技情报, 12 (3) 1988, 103—107
[3] Taylor, H. P. Jr, Econ. Geol. 69 (6) 1974, 843—883.
[4] Harrover, R. D., Norman, D. I., Savin, S. M. and Sawkins, F. J., Econ Geol.) 77 (7) 1982, 1761—1766
[5] 刘本文等,物探与化探, 7 (1), 1983, 37—39
[6] 刘本立等,桂林冶金地质学院学报, 1984
[7] 童潜明,《矿物岩石》, 1985
[8] Daria Duba and Winans-Jones, A. E., Econ. Geol., 28 (7) 1983, 1350—1363
[9] Shelton, K. L., Econ. Geol., 78 (2) 1983, 387—421
[10] 刘本立等,岩矿测试, 1 (4) 1982, 1~5

OXGEN ISOTODES AND ITS APPLICATIONS TO MINERAL EXPLORATIONS

Jiang Shaoyong

(Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences)

Abstract

The basic principles of mineral exploration using oxygen isotopes are introduced in this paper, as well as the collection of the samples and some applying examples. According to hydrothermal deposits, H_2O and CO_2 in ore-forming solution are the most active elements which have a strong and wide affections upon the host rocks. Therefore the isotope compositions are changed very easily and formed a clear and uniform isotopic abnormal halo. In general, the value of $\delta_{18}O$ (or $\delta_{13}C$) forming a clear low "V" shape is very useful in mineral exploration, especially in finding buried ore and rockbodies.