

固态位移在凡口铅锌矿床中的成矿作用*

邱小平

(中国地质科学院地质研究所, 北京)

提 要: 固态位移是指深部或下部的岩层(石), 包括矿体的碎块, 在深部构造应力作用下, 沿着应力梯度减低的方向, 窜位到上部的岩层或岩体之中的地质现象。下部的岩石向上窜位的通道经常是高角度张性断层带。在凡口铅锌矿床, 随着近年来深部坑道的开拓, 发现的固态位移岩石和矿石的种类也逐渐增多, 常见的有铅锌矿石, 硫铁矿石, 锑矿石和各类围岩。由于固态位移反映了研究区范围较深部位的地质与成矿信息, 因而对区域和矿区的构造特征和深部找矿勘探及评价都具有重要的指示意义。

关键词: 固态位移 高角度张性断层 深部成矿预测 凡口铅锌矿床

固态位移作用, 是笔者导师杨开庆研究员对几十年地质野外观察中许多怪异现象所提出的解释^[1,2], 诸如新疆、黑龙江和内蒙古等地多次发现的呈“蒜头状”的铬铁矿分布在中生代红层中, 一个个铬铁矿孤立分布, 表面布满方向杂乱的擦痕, 顶部还有热蚀变圈, 但看不出与成矿母岩超基性岩有什么直接的空间联系, 相当长时间一直是个谜。后来进一步的勘探表明, 凡是浅部有铬铁矿“蒜头”者, 其下部一般都能揭露出较大的铬铁矿体和超基性岩, 因而“蒜头状”铬铁矿成为重要的而且是可靠的找矿标志。近年来的研究, 许多矿区都存在这种固态位移现象, 发现固态位移地质体的种类也越来越多, 常见的有铅锌矿石、硫铁矿石、锑矿石、铜矿石、金矿石和各类围岩。

因此, 固态位移是指深部或下部的岩层(石), 包括矿体的碎块, 在深部构造应力作用下, 沿着应力梯度减低的方向——通常是高角度张性断层带, 窜位到上部的岩层或岩体之中的地质现象。固态位移又称岩类流动, 已知有两种位移方式: 一种是底辟穿刺作用, 即发生在大规模复合褶皱中和面以下的核部高应力区被压碎的岩砾, 或深层滑脱构造形成的块砾, 在侧向压力驱使下, 呈固态在塑性基质中流动变形, 向上沿构造破裂面流注或侵位, 诸如盐丘构造等; 另一种方式是深部半塑性状态岩石或矿石在断层上盘岩块下落遭受重压而向上流注, 其中已结晶的岩块或矿块经挤压破碎, 向上运移过程呈固态与围岩摩擦变形, 形成上大下尖的蒜头状团块。本文研究的重点是后一种固态位移方式。

笔者自从 1985 年开始进入凡口铅锌矿区做博士论文以来, 对固态位移的成矿作用进行了多次研究^[3-8], 尤其是近年来深部坑道的开拓, 在凡口矿区发现的固态位移地质现象也渐趋丰富, 常见的有铅锌矿石, 石英-黄铁矿矿石, 锑矿石和泥盆-石炭纪各层位围岩。

1 凡口铅锌矿床固态位移地质现象

狮岭-200 m 北 14# 穿脉 F₄ 断层带, 在上泥盆统天子岭组中段(D₃t^b)黑色条带灰岩中夹有一坨上大下尖的蒜头状红色砂屑灰岩(样品号: Sh371), 直径约 90 cm, “蒜头”从顶到尖约 2 m, 根据其岩石学特征和微量元素组合特征应属矿区缺失上泥盆统帽子峰灰岩。“蒜头”表面布满方向零乱的擦沟和暗红色变质膜, 其顶部围岩还有环绕“蒜头”的变形圈层, 尖端以下还零散分布有上窜过程中“掉队”的红色灰岩角砾和碎块。种种迹象表现出红色灰岩是在深部压力作用下呈半塑性状态挤上来的。

* 地质行业科学技术发展基金资助项目(编号: 959630)

邱小平, 男, 1959 年生, 研究员, 主要从事矿床学与矿田构造研究。邮政编码: 100037

在金星岭-120 m 9分段4采场 F_4 断层带, 狮岭-200 m 南8[#]、9[#]和20[#]穿脉 F_3 断层带, 狮岭南-240 m 西7[#]至西10[#]穿脉之间的主巷道 F_{16} (实际上就是 F_2) 断层带, 多处都可见到固态位移的铅锌矿石、石英-黄铁矿矿石角砾和灰岩碎块。这些固态位移的岩块和矿块, 尺度一般几十厘米到数米, 呈上圆下尖的蒜头形状, 即雨滴状的流线型, 横截面为圆形。或者在疏松块状硫化物矿体中出现坚硬的铅锌矿石、石英-黄铁矿矿石角砾和灰岩大圆砾。

前些年在废旧坑道常可见到近球形的石英-铅锌富矿石, 因为块大坚硬 (石英硅化的结果), 难以破碎进入溜矿井而被暂时搁置在废旧坑道中。这些近球形的石英-铅锌富矿石与其周围的矿石具有明显的物性差异, 可被剥离成单个的球形, 也很可能是固态位移矿石。

特别值得注意的是狮岭-200 m 南10[#]穿脉 F_4 断层带中的一坨孤立的辉锑矿体, 因坑道的开拓和诸多科研人员的取样, 笔者采样时仅剩球缺形状, 据矿山地测处的同仁介绍, 当初也是直径约1 m的球形。无疑, 也是固态位移矿石。

2 固态位移岩块和矿石的构造与地球化学特征

由于固态位移的岩块和矿块, 是从深部上窜就位到上部的地质体, 属于“外来系统”, 其构造定位和地球化学特征必然与其所处的“原地系统”的岩(矿)石以显著差异, 它反映了研究区范围较深部位的地质与成矿信息, 因而对矿床的研究具有重要的指示意义。

2.1 X-光岩组

在凡口矿区沿 F_4 和 F_2 断层带共测定了4个构造岩方解石X-光岩组, 其中 F_4 断层带固态位移红色灰岩1个 (Sh371) 和原地灰色断层角砾岩2个 (Sh372 和 Sh352), F_2 断层带角砾岩 (Sh384) 1个。 F_4 断层带“原地”灰色构造角砾岩的方解石X-光岩组为斜方对称, 具有近同心的 (1120) 大圆环带和小圆环带, 代表光轴的优选方位: $150^\circ/6^\circ$, 结合费氏台对变形纹和显微破裂的测量, 分出两期压性结构面: 333NE28 (早) 和 334SW75 (晚), 指示 F_4 断层 (产状为 340SW80) 由偏张性转为偏压性的演化过程; 然而相距仅40 cm 在同一断层带的固态位移红色灰岩 (Sh371) 却具有完全不同的岩组构造方位: 倾斜的 (1120) 大圆环带显示的光轴优选方位: $273^\circ/0^\circ$, $219^\circ/32^\circ$, 对应压性结构面为 67NW20, 40SE60, 与 F_4 断层的应力方位无关, 说明它经过滚动和旋转, 符合固态位移的规律。

2.2 硫同位素

根据前人大量硫同位素资料的归纳整理, 凡口矿区硫同位素组成特点为: 围岩中黄铁矿硫同位素组成较分散, $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $-0.8\text{‰} \sim +26.6\text{‰}$, 平均 $+17.0\text{‰}$; 矿石的硫同位素组成则很集中, 呈塔式分布, 其中方铅矿 $\delta^{34}\text{S}$ 值平均为 $+16.1\text{‰}$, 闪锌矿为 $+17.0\text{‰}$, 黄铁矿为 $+19.4\text{‰}$, 总平均值为 $+17.6\text{‰}$, 与围岩黄铁矿平均值相近, 都是大的正值。据计算, 凡口成矿溶液总硫同位素组成 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 19.3‰ [12]。显然, 硫来源于海相沉积硫酸盐的还原产物, 残留的脉状重晶石 $\delta^{34}\text{S}$ 值平均为 $+22.8\text{‰}$ 。

但是, 狮岭-200 m 南10[#]穿脉 F_4 断层带中的固态位移辉锑矿, 不同单位测过3个数据, 其 $\delta^{34}\text{S}$ 值分别为 $+2.1\text{‰}$, $+0.2\text{‰}$ 和 $+4.5\text{‰}$, 平均值 $+2.3\text{‰}$ 。上石炭统壶天群顶板矿体 (SH27a) 固态位移矿石中黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 -2.9‰ , 代表了深源陨硫硫的成分, 说明固态位移矿石与“原地”矿石有着不同的来源。

2.3 铅同位素

固态位移的矿石和灰岩最突出的地球化学特征是富放射性成因的异常铅同位素组成, 尤其富钍-铅, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 大于 39.0, $^{232}\text{Th}/^{204}\text{Pb}$ 大于 39.9, Th/U 值大于 4.0 (表1)。根据固态位移矿石和岩石的铅同位素组成, 计算其 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 与 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 的回归直线方程, 而后采用迭代法和插值法计算回归直线与 Kanasewich 铅原始生长曲线 [10] 的交点年龄为 85×10^6 a, 这个数据代表固态位移作用发生在燕山构造旋回末期。

表 1 固态位移的岩石和矿石铅同位素组成

样品号	采样地点	测试对象	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	μ	Th/U	$^{232}\text{Th}/^{204}\text{Pb}$	分析者
Sh 371	Sh-200 m 北 14 穿 F4	固态位移红色灰岩	18.25	15.77	39.26	9.82	4.19	41.15	测试所
Sh 462	Sh-200 m 南 10 穿 F4	固态位移辉锑矿	18.42	15.67	39.08	9.60	4.00	38.40	测试所
Sh 432	Sh-200 m 南 20 穿 F4	固态位移矿石方铅矿	18.549	15.831	39.230	9.90	4.03	39.90	地质所
Sh 451	J-120 m9 分段 4 采场 F ₄	固态位移矿石黄铁矿	18.550	15.837	39.244	9.91	4.03	39.94	地质所
Sh 143	208/ZK10-256M	辉绿岩墙黄铁矿	17.956	15.760	38.479	9.84	4.02	39.56	地质所

注：由中国地质科学院岩矿测试技术研究所阙松娇、何红蓼、尹明和中国地质科学院地质所张巧大、李柏测试

2.4 碳、氧同位素

表 2 列出了凡口矿区各种碳酸盐样品的碳、氧同位素组成，从正常泥盆纪灰岩、断层带灰岩、固态位移灰岩、矿化灰岩、蚀变铁白云石和菱铁矿脉至与铅锌矿共生的脉方解石， $\delta^{13}\text{C}$ 值逐步降低，从 -0.3% 降低到 -6.0% ，进入到岩浆成因的碳同位素组成范围^[11]。固态位移红色灰岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 -2.0% ，已经偏离正常沉积碳酸盐的碳同位素值，向岩浆成因的碳同位素组成过渡，说明固态位移灰岩在深部经历了深成热液的水-岩反应。

表 2 凡口矿区各种碳酸盐碳、氧同位素组成

地质体名称	样品数	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}/\%$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}/\%$	资料来源
泥盆纪灰岩	9	-0.32	18.98	本文
断层带灰岩，方解石脉	4	-1.98	16.03	本文
固态位移红色灰岩	1	-2.0	15.20	本文
矿化灰岩（-207/ZK2）	6	-2.67	19.33	本文
蚀变铁白云石	5	-3.44	15.46	本文
脉状菱铁矿	2	-5.34	16.38	李荣清 ^①
与铅锌矿共生的方解石	10	-5.96	17.47	[9] 李荣清 ^① 、李建平 ^①

注：由中国地质科学院矿床所白瑞梅、董燕玲测定；① 部分数据引自李建平和李荣清硕士论文

3 固态位移的动力学特征和研究意义

3.1 固态位移的动力学特征

固态位移的蒜头状团块除顶面具有动力变质圈层外，四周还有方向杂乱的擦痕，“蒜头”尖端朝下，尖端部分还有细长的擦沟擦脊，这些特征表明蒜头状团块是循着张性或张扭性断层带，克服围岩介质的重重阻力，在固态或稠粘塑性状态下向上位移的。岩块上升的驱动力来自于深部侧向压力或断层下降盘的重力所造成的垂向应力梯度，当岩块上升定位后，动能并未消耗殆尽，剩余的动能转化为热能和化学能使“蒜头”顶部周围形成动力变质圈层。

为什么固态位移岩块一般都具有蒜头状外形，而且尖端朝下呢？根据流体动力学原理可知，当物体在性质的介质（流体）中运动时，流体具有作稳恒流动的趋势，即流体质点不互相混杂，相邻的两层流体之间彼此作圆滑的流动，每一个空间给定点的流速不随时间而改变。这就要求物体形状取一定的流线型，即物体迎着流体运动方向的一端呈圆滑的对称椭圆形，顺着流体运动方向平滑收敛至一点（这点称下停滞点，流速在此为零）。具有流线型的物体，在流体中直线运动时能保持最大的稳定性和最小的阻力。飞机和船舶的吃水部分被设计成流线型截面是为了保持航行稳定和提高航速。雨滴的降落和油滴在水中上升都采取流线型，收敛尖端的指向与其自身运动方向相反。尽管断层物质不是理想流体，但由于固态位移的物体和断层带物质具有一定的塑性，所以固态位移团块都取近似的流线型——蒜头状，向上位移，尖端朝下。

3.2 固态位移的研究意义

(1) 固态位移是深部地质体上窜到浅部成为“外来体”的过程,可以根据固态位移物体的形态、产状、构造和地球化学特征等因素加以鉴别。由于它产生在高角度张性断层的构造环境,一旦在断层带中发现固态位移现象,就可以确定该断层带曾经是高角度张性断层。例如凡口矿区的成矿断裂 F_2 、 F_3 和 F_4 都发现有固态位移现象,尽管现在表现为奇特的高角度压扭性断层,但它发生岩(矿)石固态位移时却是张性断层,这从矿区的地形、地貌特征就可以证明。因此,研究固态位移可以判断当时的构造环境和构造演化。业以证明,金刚石在金伯利岩浆中就是以固态位移形式高速上升成矿的,也要求高角度张性断层的构造环境。

(2) 根据固态位移的岩块或砾石判断深部盲地层,了解深部地质,发生固态位移的高角度断层下部往往有更大规模的缓倾角构造,对比固态位移岩块与其寄居地层的时代,确定是推覆或滑脱构造。

(3) 从子体与母体关系判断,根据固态位移矿石角砾的成分,可以进行深部成矿预测,推论深部有更大规模的同类型矿体。例如,凡口矿区的深部应该有较大规模的铋矿体。

(4) 国内许多著名矿山,如甘肃金川铜镍矿床、新疆喀拉通克铜镍矿床^[13]和江苏栖霞山铅锌矿床的工业矿体,基本上都是蒜头状矿体,很可能属于固态位移产物。研究浅部高角度断层和下部缓倾角构造,有利于深部找矿勘探的突破。

本文在撰写过程中得到杨开庆研究员的热情指导,在此谨致以由衷的感谢!

参 考 文 献

- 1 杨开庆. 试论构造动力就地成岩成矿作用. 见: 国际交流地质学术论文集(四)——为27届国际地质大会撰写. 北京: 地质出版社, 1985.
- 3 杨开庆. 动力成岩成矿理论的研究内容和方向. 中国地质科学院地质力学所刊, 1986, (第7号).
- 4 邱小平. 广东凡口铅锌矿床成矿构造动力研究. 中国地质科学院院报(博士论文专辑), 1991, (23).
- 5 邱小平. 粤北韶关盆地构造演化与多金属成矿作用. 地学探索, 1992, (7).
- 6 邱小平. 四维成矿模式及其研究意义. 矿产与地质, 1992, 6 (6).
- 7 邱小平. 凡口铅锌矿床矿石退火结构研究. 矿床地质, 1993, 12 (2).
- 8 邱小平. 凡口超大型铅锌矿床改造富集作用. 地学研究, 1997, (29~30).
- 9 陈学明. 粤北凡口铅锌矿床的成因探讨. 见: 南岭地质矿产论文集(2). 北京: 地质出版社, 1986.
- 10 Kanasevich E R. 铅同位素组成数据的解释和地质意义. 梁学谦、陈民扬译校. 见: 金属矿床地质与勘查译丛, 1973, (10).
- 11 白鸽, 袁忠信等. 白云鄂博矿床地质特征和成因论证. 北京: 地质出版社, 1996, 47~52.
- 12 赵瑞等. 凡口铅锌矿床的硫同位素研究. 岩石学研究, 1985, (6).
- 13 陈毓川等. 中国矿床成矿模式. 北京: 地质出版社, 1993, 98~104.