度仅与样品中铀、镭含量和束缚条件有关，而与样品的铀矿化类型无直接关联。因此，热释氡法可用于任何一种铀矿化类型的找矿，但在实践中以配合蒸发晕、热晕寻找热液铀矿床的效果最佳。

在实验过程中，黄铁心同志提出了不少建设性意见，在此谨谢。

## 《通讯》征稿启事

《矿物岩石地球化学通讯》是联系全国各地会员的一个内部刊物。它主要刊登有关矿物学、岩石学、地球化学方面的国内外最新研究简讯；综合评述某一学科的发展动态；报道本会活动情况；刊登会员对科研、生产、教学和本会工作提出的建设性意见；以及会员的业务活动情况、出国访问观感，新的书刊评介等。欢迎本会会员及广大矿物岩石地球化学工作者踊跃投稿。每篇稿件一般不超过3000字。来稿一经采用，将酌付稿酬。

来稿请寄贵阳九十一号信箱学会秘书处。

《通讯》编辑组

# 桃林铅锌矿床流体包裹体及稳定同位素研究

魏家秀　丁悌平

（地质矿产部矿床地质所）

## 一、前　言

湖南桃林铅锌矿是我国著名的铅锌矿床°近年来，由于矿物包裹体温压地球化学及稳定同位素的进展，为进一步研究桃林铅锌矿床形成的物理化学条件、成矿溶液的性质和物质来源等提供了定性定量的测试方法。



© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

本文测定了桃林铅锌矿流体包裹体的温度、成矿流体的盐度、密度及其成矿压力，并结合该矿床硫、氧、氢和铅同位素的研究，对流体包裹体均一温度和硫同位素测温结果进行对比，并相互验证。

由矿物包裹体和稳定同位素所提供的各种地球化学参数，了解桃林铅锌矿床的形成，进一步完善该矿床的成因和成矿机制的研究。

## 二、地质概况

桃林铅锌矿位于湖南东北部，属于湘东北区域东西向构造带与新华夏构造复合部位。整个矿床产于板溪群变质岩与幕阜山花岗岩之间的断裂破碎带中。

矿区主要有板溪系千枚岩、变质泥沙岩、页岩。震旦纪页岩和灰岩在矿区以北十公里处。

幕阜山花岗岩基在矿区南部大面积出露，与千枚岩等呈侵入接触。

矿床受构造控制。早期张性（北北西向）裂隙控制了花岗岩的侵位和形态。成矿期以压扭—张扭性裂隙为主，是主要的容矿构造。

含矿带长20—30公里，北东东方向延长，宽为200—300米。矿体呈板状或大的透镜状在断裂带内产出。整个矿区自东向西有邱皮坳、杜家冲、银孔山、上塘冲、官山、断山洞等六个矿体。矿体一般长1000—500米，厚可达数十米。由几米宽的大脉和几毫米宽的细脉组成，具有裂隙构造充填的特点。上塘冲为本次工作的重点。

该矿床主要金属矿物有闪锌矿和方铅矿。少量黄铜矿、黄铁矿伴生。脉石矿物有石英、萤石、重晶石和少量碳酸盐矿物（方解石为主）。

围岩蚀变以硅化为主，其次有绿泥石化、绢云母化和微弱的碳酸盐化。

矿区中的矿物共生系列反应了多期脉动充填的成矿特点，主要可见到三种类型的矿物组合：

Ⅰ.石英—萤石—暗色闪锌矿—方铅矿—黄铜矿；

Ⅱ.石英—萤石—暗色和浅色闪锌矿—方铅矿—黄铜矿—重晶石；

Ⅲ.浅色闪锌矿—方铅矿（少量）—重晶石—石英—方解石—玉髓。

以上三种类型组合以矿脉形式产出。第Ⅲ种矿脉切割穿插第Ⅰ种是多见的；而第Ⅱ种矿脉则界于第Ⅰ和第Ⅲ种之间，多形成复合脉。

第Ⅰ.Ⅲ种矿物共生组合，基本代表了桃林矿区主要含硫矿物的两个形成阶段。

## 三、流体包裹体特征

本次矿物包裹体工作，主要集中于上塘冲矿区。该区闪锌矿和方铅矿含量高，而重晶石比其他矿区含量低，其地质特征可代表桃林铅锌矿床。矿物包裹体样品与硫同位素样品配对采集（见采样位置示意图1）。



© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

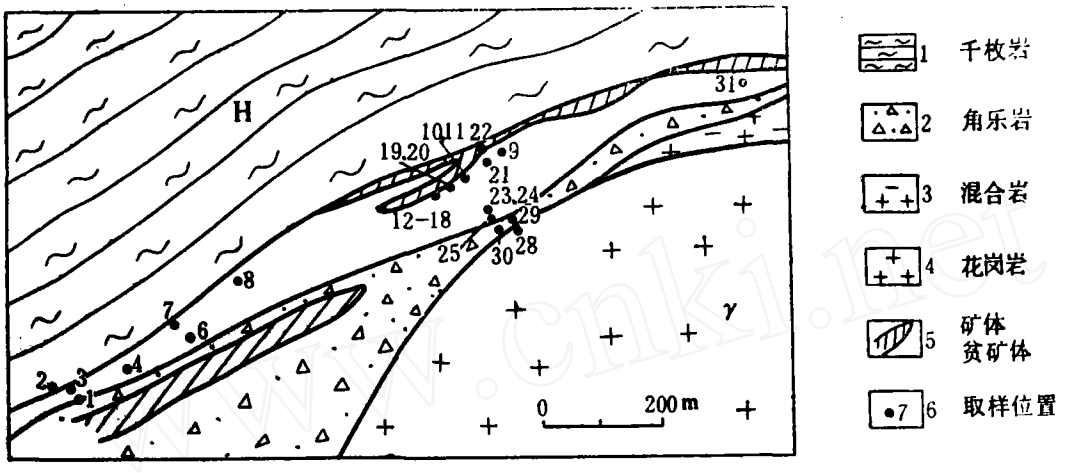



图1　桃林上塘冲矿区采样位置图

对矿区内的闪锌矿、萤石、石英和重晶石中的流体包裹体进行了光薄片的显微镜下观察和描述。用均一法测其温度；用冷冻法测其盐度（即含矿溶液的浓度）。同时进行了压力和密度的测算。

有关矿物包裹体特征，可见表1。

**表1　　桃林铅锌矿床矿物包裹体特征**

| 矿物名称 | 闪　锌　矿 | 萤　石 | 石　英 | 重晶石 |
|---|---|---|---|---|
| 包裹体大小（μ） | 一般：24－12<br>大者：56－24<br>小者：6－4 | 一般：16－10<br>大者：32－24<br>小者：6－4 | 一般：16－8<br>大者：36－24<br>小者：4－2 | 一般：16－8<br>大者：28－16<br>小者：6－4 |
| 形　状 | 六边形；六面体，<br>拉长的六边形和六面体<br>不规则形状 | 四方形；四方体；<br>六边形；六面体；<br>拉长的四边形，六边形，<br>少数成不规则形状 | 六边形；四边形；<br>管状；椭圆形，<br>不规则形状 | 长方形；矩形，<br>四方形；长条状；<br>小椭圆形，<br>不规则形状 |
| 数　量 | 深色闪锌矿：数量不多<br>浅色闪锌矿：数量较多 | 很　多 | 很　多 | 较　多 |
| 体积百分比 $\left(\frac{V气}{V液+V气}\right)\%$ | 一般：12－8<br>大者：30－20<br>小者：＜8 | 一般：15－10<br>大者：20－50；＞50（有一组）<br>小者：＜5 | 一般：12－5<br>大者：20－15；＞50<br>小者：＜5 | 一般：10－5<br>大者：＞50（有一组）<br>小者：＜5 |
| 分布特征 | 深色闪锌矿受原生两组解理控制，平行解理分布者多，<br>浅色闪锌矿则多为孤立的单体或成行分布 | 顺生长带成排出现<br>也有孤立的个体 | 顺晶棱等成排出现<br>顺微裂隙成行排出现<br>不规则的分布 | 平行晶棱排列<br>不规则的分布 |
| 包裹体类型 | Ⅰ气－液两相包体为主 | Ⅰ气－液两相包裹体，<br>Ⅱ气体包裹体（少量），<br>Ⅲ含（NaCl）子矿物的三相包裹体（少量） | Ⅰ气液两相包裹体<br>Ⅱ纯液体包裹体 | Ⅰ气液两相包体<br>Ⅱ气体包体 |

由表1可知，本区的主要包裹体类型有：

Ⅰ.气液两相包裹体：气液比，气相＜50％者。普遍分布于该区的透明矿物之中，是最发育的包裹体类型。

Ⅱ.气体包裹体：气相＞50％者。主要在萤石、石英和早期重晶石之中。



© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

Ⅲ.纯液体包裹体：不具气相者，由纯液相充满整个包裹体腔之中。主要分布在晚期形成的重晶石、石英和方解石之中。

Ⅳ含子矿物的三相包裹体：由固相（子矿物）、气相和液相组成。矿区中少见，目前仅在早期萤石中见到两个含NaCl子矿物的三相包裹体。

以上为原生包裹体的四种类型。原生包裹体具有一定的形状，大多数的外形与主矿物的晶形一样。然而，同一类型包裹体在早、晚成矿阶段的各种矿物中其分布状况，相态大小和气液比都不尽相同。如同样是气液包裹体，在早期石英和萤石中其气液比多在35—15%以上，大小多在16—8μ以上，其形状也规则。深色闪锌矿中的气液包裹体比浅色闪锌矿中的形状规则，气相可占12%以上，有的气相可达30%。且包裹体形状受闪锌矿的两组解理控制，形成拉长的六边形。而浅色的闪锌矿的包裹体大小不一，分布杂乱，气相也小，且有“卡脖子”状包裹体存在。

次生包裹体，一般形状不规则，且气相＜5%。在石英颗粒中见有假次生包裹体。

## 四、均一温度及成矿溶液的盐度测定：

在西德莱兹1350热台上，分别对本矿区的透明矿物：萤石、石英、重晶石和闪锌矿进行了均一温度测定。现将测得的均一温度数据分别作萤石、石英、重晶石和暗色、浅色闪锌矿的均一温度直方图（图2和图3）。

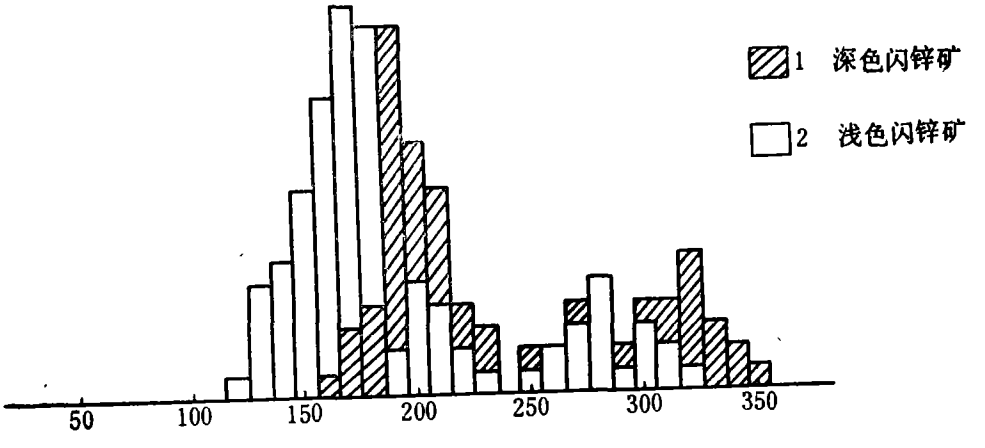



图2　闪锌矿气液色裹体均一温度直方图

由图2所示：深色闪锌矿350—250℃；230—160℃，浅色闪锌矿300—250℃；230—130℃。



© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

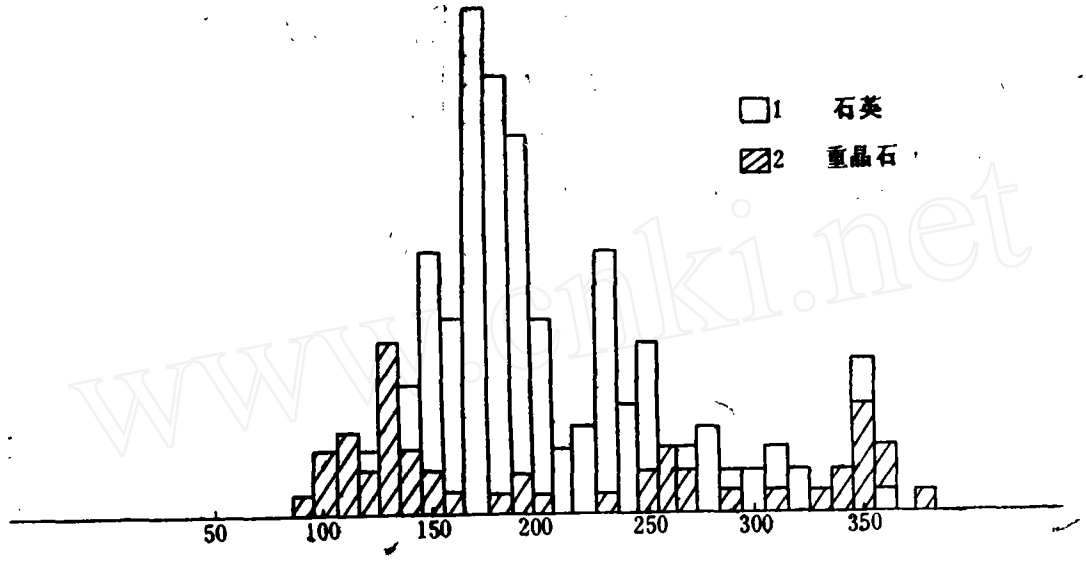



图3　石英、重晶石气液色裹体均一温度直方图

由图3所示：石英360—270℃；250—110℃，重晶石290—230℃；200—90℃。图2和图3又揭示了该矿床的两个主要成矿阶段。我们知道矿物包裹体是成岩成矿溶液残余被捕获和封存在矿物结晶缺陷之中，并保留至今的产物。由包裹体所获得的各种物化信息，即反应了成岩成矿时的物化条件。为此，所测得的温度值即可代表桃林铅锌矿床两个不同成矿阶段矿物的形成温度。

利用冷冻法，用国产半导体冷台，测定气液包裹体中溶液的冰点，来求得包裹体所代表的成矿溶液的盐度（即浓度）。

由所测定的含盐度的数据，可得出该矿区两个成矿阶段盐度值的区间：

第Ⅰ成矿阶段：19.5（重量）%—12.5（重量）%；

第Ⅱ成矿阶段：15.3（重量）%—7.0（重量）%。

由均一温度、盐度数值，求得成矿时的压力为180巴。

其成矿溶液的密度值为0.83—0.77g/cc。

## 五、均一温度与硫同位素温度对比

对样品中的硫化物和硫酸盐所进行的硫同位素测定结果表明，所有硫化物的$\delta^{34}S$值均为负值。变化范围由-3.1到-12.1‰，不同矿物有不同的变化范围：

1.黄铜矿的 $\delta^{34}S$值由-3.1到-4.4‰；

2.闪锌矿的 $\delta^{34}S$值由-3.1到-8.9‰；

3.方铅矿的 $\delta^{34}S$值为-5.7到-12.1‰；



© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

4.重晶石的 $\delta^{34}S$值为16.5到18.8‰（详见图4）。

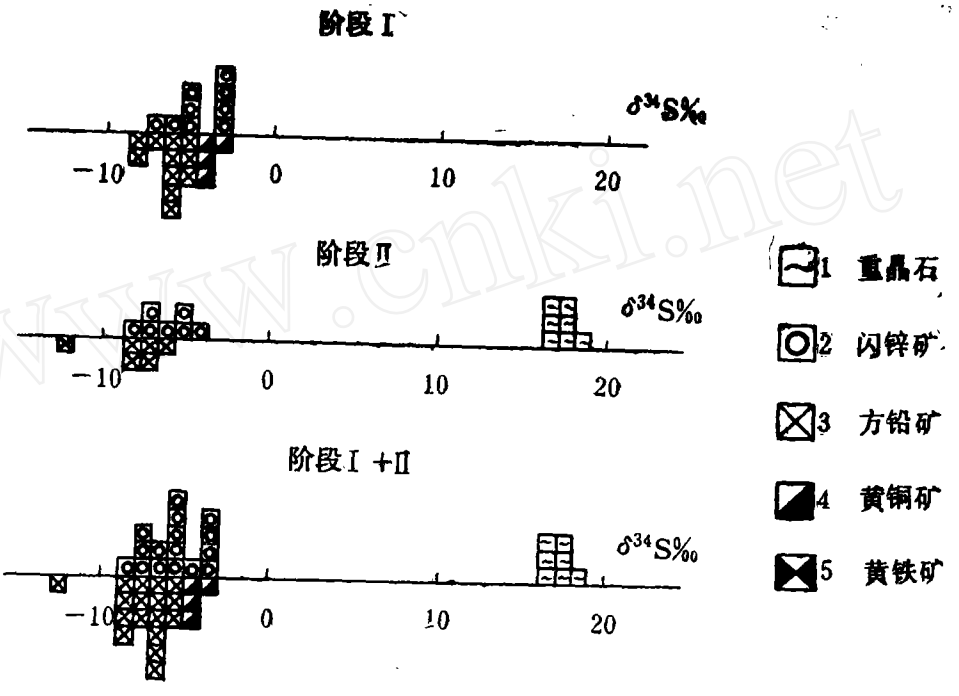



图4　硫同位素组成分布图

硫同位素测温：对本矿区硫化物之间硫同位素分馏，采用了槻原和Krouse（1971）的方程，因为这是一组包含了方铅矿—黄铜矿对的实验标准方程，即为：

$$\triangle^{34}S_{闪-方}=0.8\times10^{6}T^{-2};$$

$$\triangle^{34}S_{黄铜-方}=0.65\times10^{6}T^{-2}。$$

对重晶石硫化物同位素分馏，采用了酒井等（1978）的实验结果而导出的方程：

$$\triangle^{34}S_{重-闪}=6.44\times10^{6}T^{-2};$$

$$\triangle^{34}S_{重-方}=7.34\times10^{6}T^{-2}。$$

利用上述诸方程，计算出的各矿物对同位素平衡温度列于表2。

表2　　均一法实测温度与硫同位素温度对比

| 样品号 | 06 | 08 | 01 | 03 | 04 | 019 | 020 | 31 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 实测均一温度最佳值(°C) | 340 | 305 | 285 | 345 | 170 | 245 | 180 | 245 |
| 硫同位素温度值(°C) | 289 | 296 | 266 | 301 | 156 | 240 | 251 | 284 |

前文中均一温度的结果，揭示了各种矿物的形成温度范围，及第Ⅰ、Ⅱ成矿阶段的温度范围。然而，就其同一产状的光薄片中，由所测得的同一成矿阶段的矿物共生系列



© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

的矿物均一温度的综合，用数理统计的方法求得其最佳值，即同一样品中矿物共生组合形成温度重现性好的温度值。得出它们的温度最佳值，可以与同一产状，同一样品的硫同位素温度值相对比（表2）。

运用最小二乘回归法，将上述实验均一温度和硫同位素温度数据，以线性回归方程计算，二者呈正相关，其相关系数为：

$$R=0.7954$$

线性方程为：$T_{均}=-26.73+1.12T\delta^{34}S$。

其均一温度与硫同位素温度关系如图5。

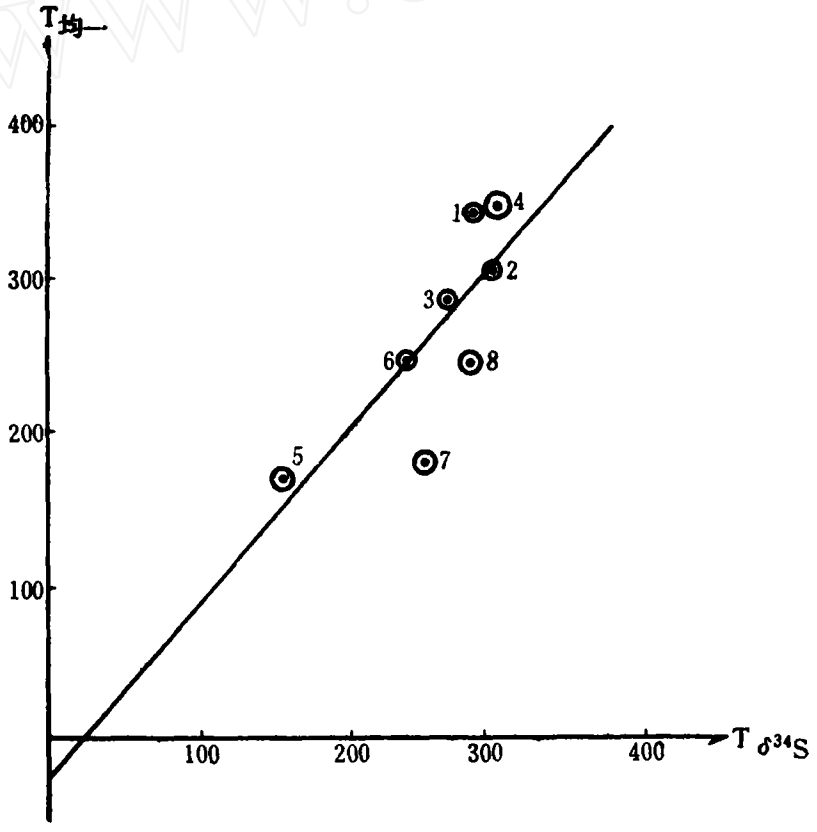



图5　均一温度与硫同位素温度关系图

由稳定同位素和矿物包裹体研究得知，该矿床的闪锌矿和方铅矿从第一成矿阶段到第二成矿阶段都有沉淀。其温度、盐度范围宽，而 $\delta^{34}S$ 值变化也很宽阔，这反映了铅、锌沉淀时间之长久，在成矿过程中虽然温度、盐度和 $\delta^{34}S$ 值具梯度变化，却也很适合铅、锌的沉淀。

铅、锌的地球化学特征说明：在热液中锌比铅要较早地与 $S^{2-}$ 结合，形成ZnS。由于在较高温的热液中的FeS进入ZnS的晶体中，所以在较高温条件下形成的ZnS都是深



© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

色。铅的迁移距离远，在热液中比锌沉淀晚。

桃林矿区两个成矿阶段的矿物系列中，都是闪锌矿早于方铅矿。暗色闪锌矿主要在第一阶段形成；浅色闪锌矿则在第二成矿阶段形成，但是两者之间并无截然界线。两个成矿阶段的温度、盐度和 $\delta^{34}S$值又有相当范围的重叠，这反映了桃林铅锌矿床成矿作用的延续性和继承性。

由表2及图5看出，各样品的均一温度和硫同位素温度基本一致。由硫同位素温度得出的第Ⅰ成矿阶段的温度在344至266℃，这与包体均一温度一致。而第Ⅱ成矿阶段的温度范围，由硫同位素温度值看，其范围狭窄，由265℃至221℃。而均一温度的范围，又过于宽了，这是因为含矿溶液在闪锌矿淀出后、由于$H_2O$加入，溶液变稀。在温度、盐度继续下降时，仍有具有包裹体的重晶石、玉髓等矿物晶出。

根据成矿溶液中硫的总同位素组成，可以讨论矿石硫的来源。第一阶段含矿热液的 $\delta^{34}S\Sigma S$值为0.01‰，第二阶段为 $\delta^{34}S\Sigma S$值为14.84‰。第一阶段的硫同位素组成具有原生硫的特点，可以认为硫源来自地壳下部或上地幔。

铅同位素结果与落基山和科罗拉多盆地“主谱”型矿床的相似，它们的地质背景也与桃林矿床类似。因此可以肯定矿石铅和花岗岩中的铅均来自地壳下部。

通过矿物包裹体研究，在萤石和部分石英中的气体包裹体以及整个成矿过程中气液包裹体的普遍存在，说明挥发组分对成矿作用的影响，主要是氧逸度和硫逸度的影响。

本矿区闪锌矿的含铁量相当低。由0.1—2.4%。由Barton (1979) 图，可估计桃林成矿溶液 $Logfs_2$约为-8到-10。同样，其氧逸度查图求得：第Ⅰ成矿阶段 $Logfo_2$为-31而第Ⅱ成矿阶段降低至 $Logfo_2$为 -34。

对该矿区的石英、闪锌矿、重晶石和方解石中流体包裹体水的 δD值进行测定（表3）。

表3　　桃林铅锌矿床流体包裹体中 δD值测定

| 样品号 | 01 | 03 | 04 | 13 | 18 | 20 | 21 | 22 | 23 | 31 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 包裹体水 $\delta_D$值(‰) | −60 | −45 | −46 | −49 | −47 | −39 | −47 | −36 | −69 | −31 |

由表3可知，该矿区流体包裹体水的 δD值变化范围在-31到-69‰。整个矿区流体包裹体水的 δD值变化不大，多落在一个岩浆水、氧同位素变异的同生卤水和古代雨水相重叠的范围内。

但是由于矿物包裹体研究，得知在整个成矿作用中温度、盐度具梯度变化、挥发组分对成矿作用的影响，花岗岩与矿床的密切关系以及硫和铅的深部来源，可以得出在硫化物沉淀的早期，岩浆水可能起一定作用的结论。而在成矿作用的晚期有卤水和古代雨水的加入。



© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

## 六、 结 论

一、通过包裹体均一温度与硫同位素温度对比，得知二者基本一致。第一阶段为350—270℃，第二阶段为300—120℃。通过二者的温度对比，不仅确定了各矿物的形成温度条件，而且对该矿区两个成矿阶段的温度划分的结论，是前人所未能从包裹体工作获得的资料。

二、四种类型的包裹体的存在，早期具有气体包裹体以及气液包裹体在成矿作用中的普遍存在。说明挥发组分对成矿作用的影响。加之所测试的整个矿床形成过程的温度和盐度梯度，更进一步揭示热液矿床的气热滤和扩散作用。

早期萤石中的包裹体具有NaCl子矿物。该矿床的含矿热液属$NaCl—H_2O$系列。

铅锌是在成矿溶液具有一定浓度条件下成矿的。

三、同位素研究证实了桃林铅锌矿的物质来源：矿石中硫来源于地壳下部或上地幔；矿石铅和花岗岩中长石中的铅均来自地壳下部。

幕阜山花岗岩具有S型花岗岩的特点，为地壳岩石变质重熔而形成的。

四、桃林铅锌矿床产于幕阜山花岗岩和板溪群沉积变质岩之间的断裂带上。矿物包裹体同位素资料证实：在成矿作用早期岩浆水起作用，晚期有卤水和大气降水在流体中占了主导地位。

五、矿石中硫来自地壳下部或上地幔，而成矿溶液中的硫随硫化物的沉淀$\delta^{34}\Sigma S$值由-1增到-14左右。成矿温度350℃—160℃；盐度19.5（重量）%—7.0（重量）%；成矿压力在180巴以下，成矿溶液密度0.83—0.77g/cc。成矿溶液中硫的分压对数为-8到-10，氧分压的对数为-31到-34。各种含硫化合物保持化学和同位素平衡。

综上所述，桃林铅锌矿床属于中温热液充填型矿床。

# 法国包裹体研究近况

徐国庆

（北京铀矿地质研究所）

应法国铀矿地质研究中心主任B.Poty先生的邀请，1983年初，我与蒋桂玉同志对法国的包裹体研究工作进行了为期45天的考察。考察了三个单位：法国铀矿地质研究中心，南锡岩石地球化学研究中心和巴黎第十一大学玻璃包裹体实验室。现将这次考察的简要情况介绍如下。



© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net