可惜的是，含金最好的矿段显然已被剥蚀掉。砂金作为普查含金斑岩铜矿的标志，是可行的。

## 工作中的失误及教训

在玉龙矿带紧密结合已知的成矿规律，综合运用物探和化探方法找矿，收到了一定成效。但如果片面地强调某一异常的重要性或对成矿地质规律把握不准，工作中就会出现失误。

例1　玉龙岩体接触带上的环状铁矿体，其磁异常值数千伽马，峰值上万伽马，故最初误认为是夕卡岩型铁铜矿，因而对产生视极化率12～14％的激电异常的原因迷惑不解。在验证过程中，钻孔主要是沿由接触带Ⅲ号铁矿体伸入岩体内的一条产状陡、宽约20米、上千伽马的弧形磁异常带布置。经四个钻孔验证，均未见到铁矿体（系铁矿转石引起的假异常），控制铜矿厚度平均不到100 米。实际上，激电异常在玉龙矿带其他矿床和矿点的发现中都起到了关键性作用。

例2　玉龙矿区四周有数十个大小不等、产状各异的岩株、岩枝、岩床、岩墙和岩脉。岩性多为花岗斑岩。我们曾选择玉龙外围两个视极化率值与玉龙差不多的小岩体进行钻孔验证。结果发现异常系弱黄铁矿化的角岩和炭质泥页岩所引起。围岩仅具角岩化或热烘烤现象，未见强烈的钾化、硅化、绢云母化和青盘岩化。另外，这两个小岩体均为产状缓的岩床，而不是玉龙式的陡立小岩筒。可见，只考虑激电异常，而不考虑地质规律，则容易被假异常所迷惑。

例3　马拉松多矿区有三个相距很近的喜山期黑云母二长花岗斑岩。初期，物化探工作都以地质上认为有成矿远景的卡仁马勇岩体为研究对象，面积只有0.3 平方公里。由于工作面积过小，对矿区地球物理特点了解不充分，故矿异常与非矿异常特征未摸清，结果将昂克弄岩体北接触带强黄铁矿化流纹岩引起的自电、激电综合异常误认为矿异常。其实，当时已有少数激电测深点展布到昂克弄矿体上，曲线为A 型，即具较高极化率（12～18％）和高电阻率（100～300欧姆·米），$\eta_s$与$\rho_s$曲线变化均缓慢、倾角小，并相交成剪刀状，夹角不大。但这些特点未能引起重视。结果两个验证钻孔落空，漏掉了矿体。后来，将矿区物化探工作面积扩大到4 平方公里以上，并对已取得的各种资料再次进行全面综合分析，同时与玉龙和多霞松多等已知斑岩铜矿床进行对比，认为矿区围岩蚀变范围大（超过岩体面积百余倍），具分带性，钾硅化强，岩体侵入于背斜轴部，构造裂隙发育，矿液有良好的沉积场所，故成矿条件有利。于是，选择地质成矿条件好、次生晕含铜最高点布置了第三个验证孔，结果穿过5.1 米厚的第四系之后，直至终孔570 米均为品位稳定的铜矿石。这说明物化探工作的开始阶段，工作面积不宜过小。

### 参　考　文　献


［1］周宜吉：地质与勘探，1982，第6期

［2］周宜吉：矿床地质，1985，第4卷，第2期


# 蛇形坪铅锌矿床成因初探


杨　昌　明

（武汉地质学院）


蛇形坪铅锌矿床自60年代中期勘探以来，许多单位陆续对其作过大量的地质研究工作。多数学者认为，该矿床属于与花岗斑岩有关的高中温岩浆热液矿床，但也有人把它列为受后期改造较强烈的层控矿床。在前人工作的基础上，根据我们的初步研究成果，本文侧重探讨蛇形坪铅锌矿床与岩浆岩的关系及其成因标志。

## 岩浆活动及其与矿化的关系

本矿床位于湖南郴县东坡矿田千里山复式岩



© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

体西南，处于湖南临武—宜章新华夏断裂构造带与南岭东西向构造带的交接部位。区内构造复杂，以北东向断裂和褶皱构造最为发育，其次为近东西向、南北向及北西向构造。不同方向的构造在时间上相互交替，多次活动，严格控制着本区成岩成矿的发展过程。区内出露地层主要为泥盆系中统棋梓桥组和上统佘田桥组碳酸盐岩，因受岩浆活动影响，多已变质成结晶灰岩或大理岩，其次有泥盆系中统跳马涧组石英砂岩。

矿田内岩浆活动频繁而强烈，出露的岩浆岩主要有四种，它们是同源岩浆分异不同阶段侵入的产物。根据岩性特征和相互穿插关系，并参考同位素年龄等资料，它们的形成顺序从早到晚为：中细粒斑状黑云母花岗岩（$\gamma_5^{2-1}$）、中粗粒黑云母花岗岩（$\gamma_5^{2-2}$）、细粒少斑状花岗岩（$\gamma_5^{2-3}$）及花岗斑岩。均为燕山早期产物。矿区内除中粗粒黑云母花岗岩外，余者皆可见到。其中仅花岗斑岩出露地表，呈岩墙状产出。走向北东—南西，延伸3000米以上，向北东插入千里山花岗岩体，倾向南东，倾角40～85 。铅锌矿体产于岩墙两侧及其附近的碳酸盐岩围岩中。前人根据花岗斑岩与铅锌矿体空间上的这种密切相伴关系，认为矿化与花岗斑岩具有成因联系，后者是成矿母岩，并在成矿过程中起着隔挡层的作用。随着矿山生产的发展，大量有意义的地质现象的揭露，为地质研究创造了条件。我们通过坑道地质填图发现：

1.花岗斑岩与矿体接触界线清楚截然，岩脉明显切割或错断铅锌矿脉（图1－A）；

2.花岗斑岩脉延伸出去的小岩枝插入铅锌矿体（图1－B）；

3.花岗斑岩与铅锌矿体接触带附近的花岗斑岩一侧见有铅锌矿捕虏体（图1－C）；

4.花岗斑岩与矿体接触时，有几到几十厘米宽的冷凝边，其形态、产状明显受花岗斑岩和矿体接触界面形态产状控制（图1－D）；

5.花岗斑岩脉及其与矿体接触处未发现铅锌矿化以及与矿化有关的蚀变。

由此可见，花岗斑岩的侵入明显晚于铅锌矿化，两者不可能有成因联系。那么，铅锌矿化究竟与何种岩浆岩有关呢？由于区内发育的花岗岩隐伏地下，以往勘探所获取的岩心已经散失，无

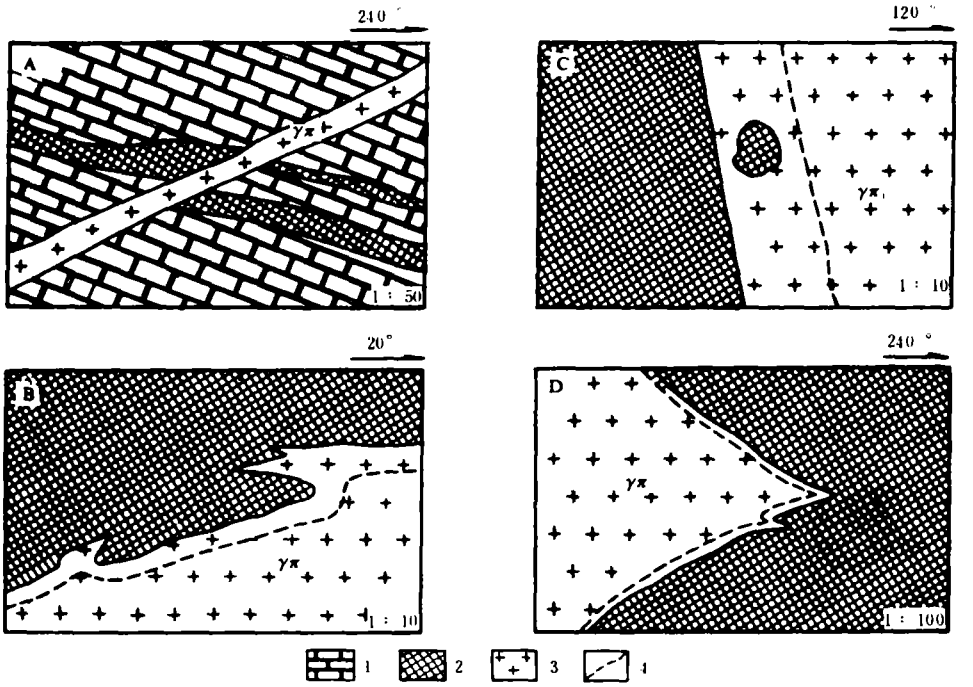


图1　铅锌矿化与花岗斑岩的关系

1—大理岩；2—铅锌矿体；3—花岗斑岩；4—冷凝边



© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

法查证。笔者通过矿田内与蛇形坪矿床处于同一矿带的、邻近相类似的东坡山等铅锌矿床的对比研究，发现第一期中细粒斑状黑云母花岗岩边缘相及小岩枝相石英斑岩中铅锌矿化极为强烈，与矿化有关的蚀变也相当发育，铅锌矿脉明显穿插中细粒斑状黑云母花岗岩边缘相和小岩枝相石英斑岩（图 2）；而第二、三期中粗粒黑云母花岗岩、细粒少斑状花岗岩中铅锌矿化十分微弱。显然，本区铅锌矿化应发生于第一期中细粒斑状黑云母花岗岩侵入之后、第二期中粗粒黑云母花岗岩侵入之前。这一认识从同位素年龄资料也可得到证实，矿石铅同位素模式年龄为171～178 百万年，明显地早于花岗斑岩（62～146 百万年）和第二期中粗粒黑云母花岗岩（139 ～141 百万年），而与第一期中细粒斑状黑云母花岗岩（162～172百万年）非常接近。

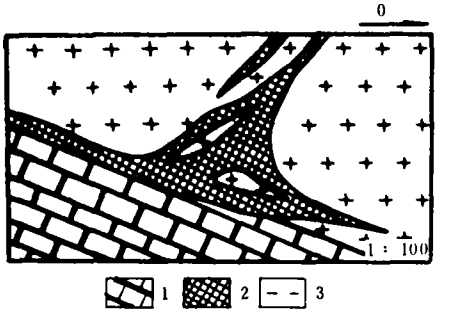


图 2　铅锌矿化与石英斑岩的关系

1 —矿化大理石；2 —铅锌矿体；

3 —矿化石英斑岩

不同期次岩体人工重砂资料（表 1）表明，早期中细粒斑状黑云母花岗岩中副矿物种类多，含量高，其中方铅矿及磁铁矿和黄铁矿等铁矿物的含量比晚期花岗岩高得多，由此可见，区内夕卡岩化和矿化与中细粒斑状黑云母花岗岩有密切联系。

千里山复式岩体部分重矿物含量（g/10 kg）

（据武汉地质学院柿竹园实习队）　　表 1

| | 钛铁矿物 | | | | | | 金属硫化物 | | | | | | 钨锡矿物 | | | 磷铀矿物 | | | | 含挥发分矿物 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 岩浆岩 | 磁铁矿 | 赤褐铁矿 | 钛铁矿 | 金红石 | 锐钛矿 | 榍石 | 毒砂 | 黄铁矿 | 辉钼矿 | 辉铋矿 | 方铅矿 | 闪锌矿 | 黑钨矿 | 白钨矿 | 锡石 | 磷灰石 | 独居石 | 含铀矿物 | 晶质铀矿 | 孔雀石 | 自然铋 | 萤石 | 黄玉 | 电气石 |
| $\gamma_5^{2-1}$ | 0.625 | 14.67 | ◑ | ◑ | ○ | | ○ | 25.55 | ● | 0.028 | ● | | ◑ | ◑ | ● | 0.056 | ● | ● | | ◑ | | 5.696 | 0.284 | ● |
| $\gamma_5^{2-2}$ | | ○ | ◑ | | ○ | | 0.0033 | 0.026 | ◑ | ○ | ○ | ○ | 0.078 | 一粒 | ● | ● | 0.234 | ◑ | ◑ | ● | ● | 0.018 | 0.838 | 1.56 |
| $\gamma_5^{2-3}$ | | ● | | ○ | | ◑ | ◑ | 0.712 | 0.014 | 0.014 | | ○ | 0.286 | ● | ◑ | 0.136 | ◑ | ◑ | | ○ | | ◑ | 6.786 | ○ |

○—1 ～10粒；◑—10～100 粒；●—100 粒～ 1 %

岩石中$SiO_2$的含量（表 2）明显偏高，达

中细粒斑状黑云母花岗岩化学成分（%）　　表 2

| 序号 | $SiO_2$ | $TiO_2$ | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | FeO | MnO | MgO | CaO | $Na_2O$ | $K_2O$ | $H_2O^+$ | $P_2O_5$ | 总计 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 75.46 | 0.06 | 12.43 | 0.45 | 1.40 | 0.04 | 0.09 | 0.90 | 3.28 | 4.78 | 0.76 | 0.03 | 99.68 |
| 2 | 74.82 | 0.09 | 12.66 | 0.40 | 1.88 | 0.05 | 0.25 | 0.83 | 2.44 | 5.88 | 1.02 | 0.03 | 100.35 |
| 3 | 74.77 | 0.12 | 12.59 | 0.15 | 0.98 | 0.01 | 0.18 | 1.50 | 3.55 | 5.50 | 0.65 | 0.03 | 100.03 |
| 4 | 75.47 | 0.09 | 12.24 | 0.36 | 1.78 | 0.05 | 0.23 | 0.77 | 3.41 | 4.89 | 0.74 | 0.03 | 100.06 |
| 5 | 75.34 | 0.10 | 12.63 | 0.25 | 1.44 | 0.05 | 0.24 | 0.74 | 3.55 | 5.24 | 0.73 | 0.06 | 100.37 |
| 平均 | 75.17 | 0.09 | 12.51 | 0.32 | 1.50 | 0.04 | 0.20 | 0.95 | 3.25 | 5.26 | 0.78 | 0.04 | 100.11 |
| 6 * | 71.99 | 0.21 | 13.81 | 1.37 | 1.72 | 0.12 | 0.81 | 1.55 | 3.79 | 4.03 | 0.64 | 0.20 | 100.24 |

* 中国黑云母花岗岩，黎彤等，1962.



© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

75.17 %，比中国黑云母花岗岩高3.18%；岩石碱质含量高，$K_2O+Na_2O$为8.51%，且$K_2O>Na_2O$；铁、镁、钙含量明显偏低。岩石$S$，$Q$值分别为82.6和35.6，$a$值为14.3，$a/c$比值为14.3。是一种富钾、贫铁镁钙的超酸性岩石，具有含矿岩浆岩的特征。

东坡矿田岩浆岩微量元素含量（ppm） 表3

| 岩石名称 | 代号 | Cu | Pb | Zn | W | Sn | Mo | Bi | Be |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 中细粒斑状黑云母花岗岩 | $\gamma_3^{3-1}$ | 11.0 | 34.0 | 50.0 | 35.5 | 18.0 | 30.2 | 4.25 | 17.0 |
| 中粗粒黑云母花岗岩 | $\gamma_3^{3-2}$ | 9.0 | 45.0 | 59.0 | 46.0 | 25.0 | 6.1 | 4.5 | 12.0 |
| 细粒少斑状花岗岩 | $\gamma_3^{3-3}$ | 9.0 | 54.0 | 78.0 | 32.3 | 16.7 | 2.68 | 1.6 | 20.0 |
| 早期花岗斑岩 | $\gamma\pi_1$ | 21.7 | 53.3 | 19.7 | 12.2 | 12.3 | 4.3 | <3 | 8.7 |
| 晚期花岗斑岩 | $\gamma\pi_2$ | 20 | 55.3 | 32.3 | 12.6 | 10 | 3.8 | <3 | 9.3 |
| 华南燕山早期花岗岩* | | 16 | 21.05 | 14.2 | 10.20 | 22.9 | 2.80 | | 7.9 |

* 据南大地质学系。

从表3可见，千里山花岗岩成矿元素的含量都高于华南燕山早期花岗岩，其中铅高出1.6～2.6倍，锌高出3.6～5.5倍。很明显，原始岩浆富含铅锌等成矿元素，有可能提供丰富的成矿物质。三期花岗岩中又以第一期中细粒斑状黑云母花岗岩铅锌含量最低。第三期细粒少斑状花岗岩铅锌含量最高。这正好反映铅锌矿化与中细粒斑状黑云母花岗岩的成因联系。以铅为例，在离子半径和晶体化学性质上，铅与钾相似。成岩时期，随着岩浆的分异演化，铅倾向于进入钾长石晶格，岩石中铅含量和氧化钾分子呈正相关关系。然而本区花岗岩的铅含量与氧化钾分子数却呈负相关关系，即第一期中细粒斑状黑云母花岗岩氧化钾分子数最高，而铅含量却最低。这就说明，岩浆分异早期，外界物理化学环境不利于铅进入钾长石晶格，而有利于铅在第一期岩浆侵入后的残余岩浆和热液中富集，有利于铅的独立矿物形成，从而为成矿提供了良好的物质基础。岩浆分异晚期，由于物理化学环境发生变化，铅大量进入钾长石晶格，致使第二、三期岩浆侵入后的残余岩浆和热液贫铅，不利于成矿。

三期花岗岩中，以第一期中细粒斑状黑云母花岗岩钾长石化等蚀变最为发育。根据成矿元素在未蚀变中细粒斑状黑云母花岗岩和钾长石化中细粒斑状黑云母花岗岩中的含量变化（表4），铅在钾长石化花岗岩中的含量明显低于未蚀变花岗岩中的含量，钨、锡、钼、铍等元素也有类似规律。由此可见，钾化有利于铅等某些成矿元素的活化转移，提供部分成矿物质来源。

岩石稀土元素分析结果表明（表5），稀土总量（ΣREE）平均值407.95ppm，轻稀土较富集。我们以Herman（1971）22个球粒陨石稀土元素平均值为标准，将所分析的岩石样品稀土元素含量标准化，其分布模式呈V型曲线，具有极为明显的负铕异常（图3），铕异常强度系数$\delta Eu$平均值为0.05。表明该复式岩体是壳源岩浆

蚀变与未蚀变花岗岩成矿元素含量（%）对比表

（据武汉地质学院柿竹园实习队） 表4

| 编号 | 岩石名称 | Pb | W | Sn | Mo | Bi | Be | Cu |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 中细粒斑状黑云母花岗岩 | $5.0\times10^{-3}$ | $1.3\times10^{-3}$ | $2.9\times10^{-3}$ | $3.2\times10^{-4}$ | $1.0\times10^{-4}$ | $1.1\times10^{-3}$ | $1.1\times10^{-3}$ |
| 2 | 〃 | $4.4\times10^{-3}$ | $4.0\times10^{-3}$ | $1.9\times10^{-3}$ | $3.2\times10^{-4}$ | $1.4\times10^{-4}$ | $2.3\times10^{-3}$ | $7.0\times10^{-4}$ |
| 3 | 钾长石化中细粒斑状黑云母花岗岩 | $3.5\times10^{-3}$ | $1.2\times10^{-3}$ | $1.9\times10^{-3}$ | $2.2\times10^{-4}$ | $1.0\times10^{-4}$ | $1.9\times10^{-3}$ | $1.1\times10^{-3}$ |
| 4 | 〃 | $2.8\times10^{-3}$ | $1.3\times10^{-3}$ | $1.8\times10^{-3}$ | $3.2\times10^{-4}$ | $4.2\times10^{-4}$ | $8.0\times10^{-4}$ | $9.0\times10^{-4}$ |



© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

岩石稀土元素组成特征（ppm） 表5

| | La | Ce | Pr | Nd | Sm | Eu | Gd | Tb | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu | Y | ΣREE | δEu | ΣCe/ΣY |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\gamma_3^{3-1}$ | 36.17 | 83.74 | 11.5 | 41.13 | 12.29 | 0.30 | 12.28 | 2.24 | 13.99 | 2.65 | 8.19 | 1.26 | 8.63 | 1.22 | 83.90 | 319.49 | 0.02 | 1.37 |
| $\gamma_3^{3-2}$ | 36.89 | 55.58 | 9.07 | 36.51 | 17.45 | 0.13 | 21.68 | 4.65 | 33.00 | 5.94 | 19.10 | 3.23 | 5.50 | 3.46 | 216.48 | 487.78 | 0.01 | 0.48 |
| $\gamma_3^{3-3}$ | 20.55 | 85.47 | 11.82 | 42.39 | 13.26 | 0.23 | 15.04 | 2.94 | 20.09 | 3.93 | 12.18 | 1.85 | 12.54 | 1.78 | 132.31 | 376.38 | 0.01 | 0.85 |
| $\gamma\pi_1$ | 78.03 | 155.22 | 18.55 | 56.38 | 12.52 | 0.50 | 10.08 | 2.00 | 11.41 | 2.30 | 6.91 | 1.12 | 7.49 | 1.06 | 69.89 | 433.46 | 0.04 | 2.87 |
| $\gamma\pi_2$ | 84.40 | 163.56 | 19.19 | 55.94 | 11.65 | 0.67 | 8.82 | 1.65 | 9.04 | 1.77 | 5.27 | 0.87 | 5.50 | 0.80 | 53.53 | 422.66 | 0.05 | 2.84 |

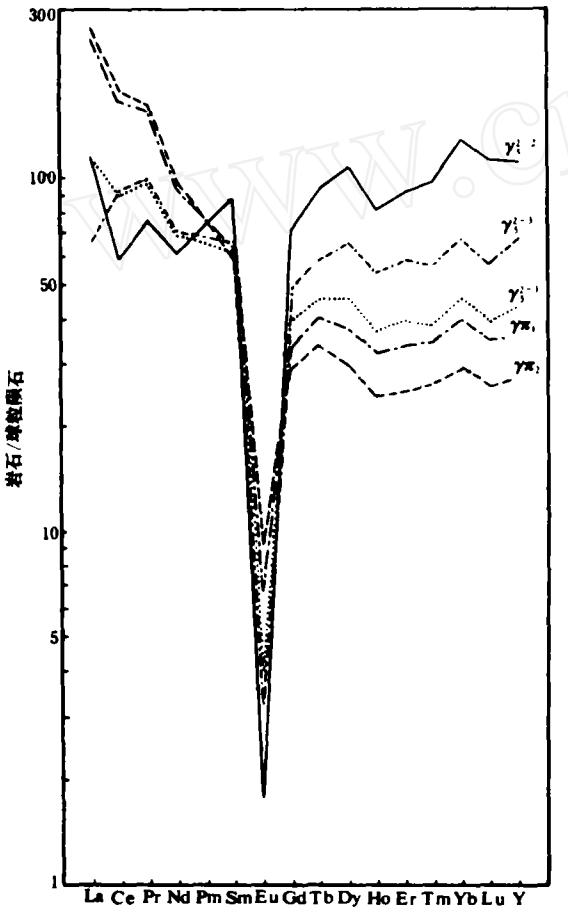


图3 蛇形坪铅锌矿床花岗岩类稀土模式

结晶分异的产物，岩石化学特征（K>Na，贫铁镁钙）和锶同位素初始比值高（$Sr^{87}/Sr^{86}$=0.7094～0.733）也反映了这一特征。

综上所述，本区铅锌矿化与陆壳重熔的第一期中细粒斑状黑云母花岗岩有关，与花岗斑岩没有成因联系。

## 矿床岩浆热液成因标志

### Ⅰ．地质标志

该矿床由20多个矿体组成，大者长1300余米，宽35米，小者长数米，宽不足1米。铅锌矿体呈脉状、透镜状、囊状及不规则状。构造控矿明显，矿体多断续分布于棋梓桥组和佘田桥组碳酸盐岩地层北东向断裂构造带内，向南东倾斜，倾角40～70°。矿石常见结构有他形一半自形晶粒状结构、交代结构和固熔体分离结构等。矿石构造多为块状、浸染状、条带状、网脉状和角砾状等。矿物成分复杂，计有30余种。主要有方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、磁黄铁矿、方解石、石榴石、蔷薇辉石、萤石和石英等。矿石类型以磁黄铁矿铅锌矿石、黄铁矿铅锌矿石和铅锌矿石为主。根据矿石结构构造及矿物之间的相互关系等，成矿作用大致分为三期六个阶段，具有多期、多阶段特征。铅锌品位呈多峰混合型分布曲线（图4）正是这一特征的反映。矿床范围内的矿化分带现象甚为明显。无论是水平分带还是垂直分带，其分带趋势和矿田范围内的矿化分带趋势一致，都是以千里山复式花岗岩体为中心向外展布，而不是以北东向花岗斑岩墙为中心向两侧展布。自北东向南西，自深部向浅部，朝着远离岩体的方向，矿体形态、成矿元素和矿物成分由复杂到简单，闪锌矿含铁量由高到低，围岩蚀变由夕卡岩化变为硅化、绢云母化和碳酸盐化等，成矿温度由高到低。矿化围绕千里山复式花岗岩体所呈现的分带规律，进一步证实了矿化与花岗岩的成因联系。



© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

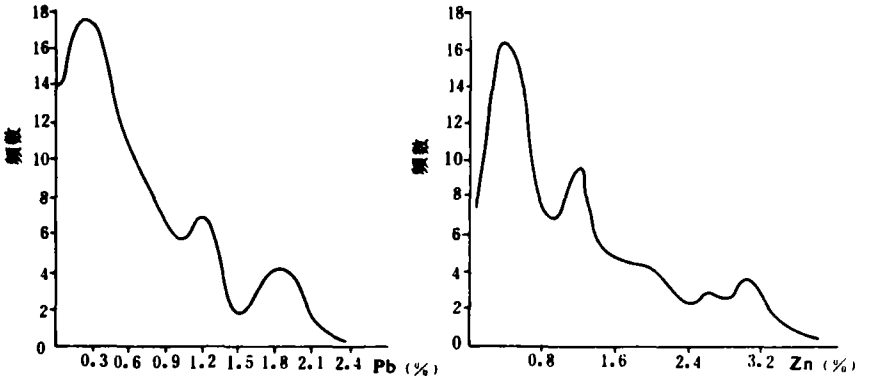


图 4　矿石铅锌品位统计分布曲线

2．成矿元素和Zn/Pb比值标志

铅锌是本矿床的主要成矿元素，其品位不稳定，最高品位Pb41.11 %，Zn50.12 %；最低品位铅0.006 %，锌0.015；平均Pb1.54%，Zn2.29%。Zn/Pb比值对矿床成因的研究，能够提供较重要的信息。统计分析表明，不同成因热液矿床的Zn/Pb比值不同（表6）。成矿物质明显来自岩浆热液的矿床，其Zn/Pb比值一般小于2，而从围岩中萃取矿质占一定比重的矿床，其Zn/Pb比值往往大于2。本区Zn/Pb比值为1.49，与成矿物质明显来自岩浆热液的矿床相似。

不同成因类型铅锌矿床Zn/Pb比值　表6

| 类型 | 实例 | Zn/Pb | 类型 | 实例 | Zn/Pb |
|---|---|---|---|---|---|
| 岩浆期后热液矿床 | 湖南蛇形坪 | 1.49 | 沉积改造矿床 | 云南金顶 | 4.7 |
| | 湖南水口山 | 1.9 | | 湖南禾青 | 3.0 |
| | 湖南桃林 | 2～3 | | 广东凡口 | 2.12 |
| | 江西银山 | 1.4 | | 广西北山 | 4.6 |
| | 浙江五部 | 1.2～1.4 | | 甘肃厂坝 | 4.5 |

3．矿物标型微量元素标志

方铅矿和闪锌矿是本区的主要金属矿物。由于微量元素的地球化学行为对成矿的物理化学条件反映比较灵敏，因此单矿物的某些微量元素含量及其比值能够反映矿床的成因特征，可作为判断矿床成因的标型元素。

（1）方铅矿：区内方铅矿中银、锑含量较高，分别达1800和2610ppm，与水口山等国内外岩浆期后热液型矿床方铅矿中银、锑含量相近（表7）。在银—锑含量关系图上，两类矿床明显地分为两个区域（图5）。此外，本区方铅矿中还含有不均匀分布的钨、锡等元素，说明铅锌矿化是继矿田内与第一期中细粒斑状黑云母花岗岩有关的钨锡矿化之后发生的又一次成矿作用。

（2）闪锌矿：本区闪锌矿具有富In、贫Ga，Ge以及Ga/In<1，Ge/In<1的特点。

不同成因矿床方铅矿银、锑含量（ppm）对比　表7

| 类型 | 序号 | 矿床名称 | Ag | Sb | 类型 | 序号 | 矿床名称 | Ag | Sb |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 岩浆期后热液型 | 1 | 湖南蛇形坪 | 1800 | 2610 | 沉积改造型 | 7 | 湖南鱼塘 | 2.25 | 18 |
| | 2 | 湖南水口山 | 1143 | 1365 | | 8 | 广西凯顶 | 28.7 | 1349 |
| | 3 | 湖南黄沙坪 | 2934 | 4540 | | 9 | 云南金顶 | 77 | |
| | 4 | 江西银山 | 5957 | 4994 | | 10 | 美国上密西西比河谷 | 19.7 | 632 |
| | 5 | 吉林孟恩 | 4887 | 2713 | | 11 | 密苏里东南 | 29 | 567 |
| | 6 | 美国Wood River | 3643 | 3771 | | 12 | 苏联雅库特温特 | 58 | |
| | 平均 | | 2995 | 2724 | | 平均 | | 36 | 642 |



© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

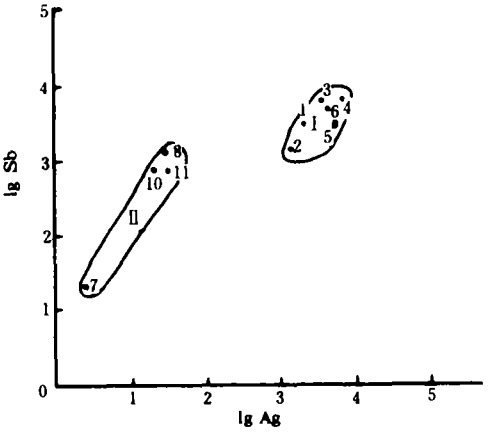


图 5　方铅矿中Ag、Sd含量关系图

Ⅰ—岩浆期后热液矿床；Ⅱ—沉积改造矿床

（矿区编号与表 7 相同）

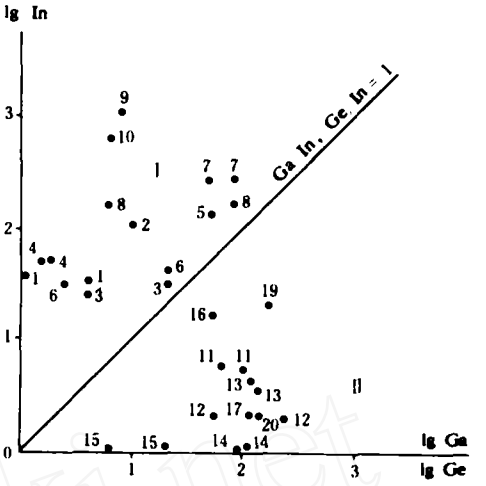


图 6　闪锌矿中Ga、Ge和In含量关系图

Ⅰ—岩浆期后热液矿床；

Ⅱ—沉积改造矿床

· Ga—In；· Ge—In

（编号同表 8）

和与岩浆活动有关的矿床闪锌矿的特征一致（表8）。在Ga，Ge和In关系图上，本矿床落于岩浆期后热液矿床区域（图 6）。另外，闪锌矿的含铁量较高，在0.9 ～11.11 %之间，平均3.32%，和与岩浆活动有关的矿床闪锌矿含铁量高的特征是一致的。

不同成因矿床闪锌矿In、Ga、Ge含量（ppm）特征　　表 8

| 类型 | 序号 | 矿床 | In | Ga | Ge | Ga/In | Ge/In | 类型 | 序号 | 矿床 | In | Ga | Ge | Ga/In | Ge/In |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 岩浆期后热液型 | 1 | 湖南郴县蛇形坪 | 35 | 4 | 1 | 0.11 | 0.03 | 沉积改造型 | 11 | 湖南后江桥 | 5 | 61 | 93 | 12.2 | 18.6 |
| | 2 | 湖南郴县东坡山 | 104 | 9.3 | | 0.09 | | | 12 | 河北高板河 | 2 | 48 | 184 | 24.0 | 9.2 |
| | 3 | 湖南桃林 | 28 | 21 | 4 | 0.75 | 0.14 | | 13 | 广东凡口 | 4 | 113 | 132 | 38.3 | 33.0 |
| | 4 | 黑龙江小西林 | 54.8 | 1.7 | 1.8 | 0.03 | 0.03 | | 14 | 密西西比上游 | 0 | 95 | 102 | ＞1 | ＞1 |
| | 5 | 江西银山 | 128 | 52 | 7 | 0.41 | 0.05 | | 15 | 云南金顶 | 0 | 7 | 18 | ＞1 | ＞1 |
| | 6 | 湖南水口山 | 35 | 31 | 2.5 | 0.89 | 0.07 | | 16 | 喀尔巴阡 | 17 | 50 | | 2.9 | |
| | 7 | 湖南七宝山 | 268 | 53 | 79 | 0.20 | 0.29 | | 17 | 不列颠诸岛 | 2 | 96 | | 48 | |
| | 8 | 苏联哈萨克斯坦 | 160 | 89 | 7 | 0.56 | 0.04 | | 18 | 高加索艾雅特佐斯克 | 0.2 | 40 | | 200 | |
| | 9 | 苏雅库特艾格哈亚 | 898 | 8 | | 0.01 | | | 19 | 爱尔兰升洛普希尔 | 20 | 170 | | 8 | |
| | 10 | 苏联里夫京 | 625 | 7 | | 0.01 | | | 20 | 中亚西亚塔鲍克 | 2.0 | 140 | | 70 | |
| 平均 | | | 233.5 | 27.6 | 14.5 | 0.30 | 0.09 | 平均 | | | 5.2 | 82.0 | 105.8 | 50.5 | 47.9 |

**4．稳定同位素地球化学标志**

（1）硫同位素组成标志：据41件硫同位素分析资料，本区$\delta S^{34}$从+0.3 ‰到+9.92‰，平均值6.03‰，变化范围较窄，未超过10‰。闪锌矿、方铅矿和黄铁矿具有较类似的正值集中及变异区间。硫同位素组成的“塔式”分布规律明显，“塔基”较窄，“塔峰”突出并略偏正值一方（图 7）。反映硫源比较单一，接近陨石硫特征，但也有少量地层中硫的混入。硫同位素组成与水口山等岩浆期后热液型铅锌矿床十分相似，而与美国密西西比河流域型铅锌矿床和我国泗顶、金



© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

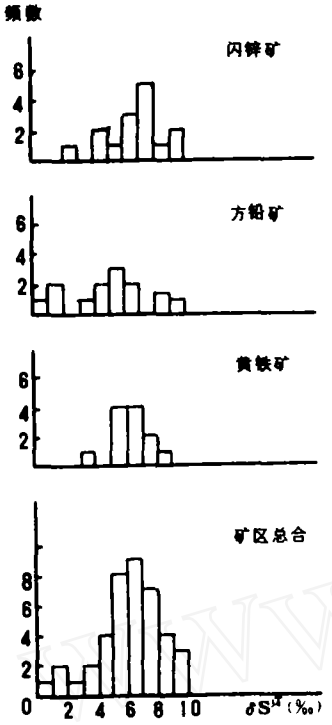


图 7 硫同位素组成频数直方图

顶等沉积—改造型矿床的$\delta S^{34}$绝对值大和（或）变化范围宽有明显的区别（图 8）。

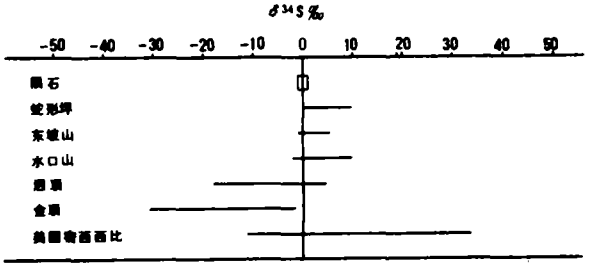


图 8 不同类型铅锌矿床硫同位素组成

（2）铅同位素组成标志：通过矿石铅同位素及其与岩石铅同位素的对比研究，可以判断矿床成因及其在成因和物质来源上的联系。笔者对矿石中的方铅矿，花岗斑岩及花岗岩中微量铅分别采样作铅同位素测定。结果表明，方铅矿的铅同位素组成较稳定。$Pb^{206}/Pb^{204}$值变化范围小于0.14％（$\mu$值平均为9.81），$Pb^{208}/Pb^{204}$比$Pb^{206}/Pb^{204}$变化范围较大些，但也小于0.62％。

不同成因类型铅锌矿床铅同位素组成对比　　表 9

| 类型 | 序号 | 实例 | $Pb^{206}/Pb^{204}$ | $Pb^{207}/Pb^{204}$ | $Pb^{208}/Pb^{204}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 岩浆期后热液型 | 1 | 湖南蛇形坪 | 18.60 ~18.71 | 15.71 ~15.89 | 38.87 ~39.49 |
| | 2 | 湖南东坡山 | 18.62 ~18.70 | 15.61 ~15.87 | 38.70 ~42.03 |
| | 3 | 湖南水口山 | 18.10 ~18.39 | 15.32 ~15.58 | 38.70 ~39.21 |
| | 4 | 湖南黄沙坪 | 18.69 | 15.45 | 39.13 |
| | 5 | 广东大宝山 | 18.51 ~18.36 | 15.36 ~15.46 | 38.57 ~38.82 |
| 沉积改造型 | 6 | 广西泗顶 | 17.96 ~19.32 | 15.29 ~16.51 | 38.12 ~41.04 |
| | 7 | 广东凡口 | 18.12 ~18.81 | 15.51 ~16.02 | 38.29 ~40.23 |
| | 8 | 密西西比河流域 | 19.91 ~21.46 | 15.80 ~15.98 | 39.92 ~40.64 |
| | 9 | 密苏里东南 | 19.69 ~21.46 | 15.65 ~16.19 | 39.10 ~41.02 |
| | 10 | 澳大利亚布罗肯希尔 | 16.117~19.48 | 15.538~15.91 | 36.059~39.42 |

与泗顶、凡口等沉积—改造型铅锌矿床铅同位素组成截然不同，而与水口山、黄沙坪等岩浆期后热液型铅锌矿床方铅矿铅同位素组成十分相似（表 9）。方铅矿铅同位素组成与花岗斑岩铅同位素组成有着明显的差异，而与千里山复式岩体的花岗岩铅同位素组成接近，图 9 清晰地反映出这一特征。由此可见，矿石铅与花岗斑岩中铅的来源不同，没有成因联系，而与千里山复式花岗岩体有成因联系，两者中的铅具有相似的历史或相同的来源。

## 成矿温度

根据下列测温资料，笔者认为本矿床形成温度大致在 220 ~550 ℃范围内。



© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

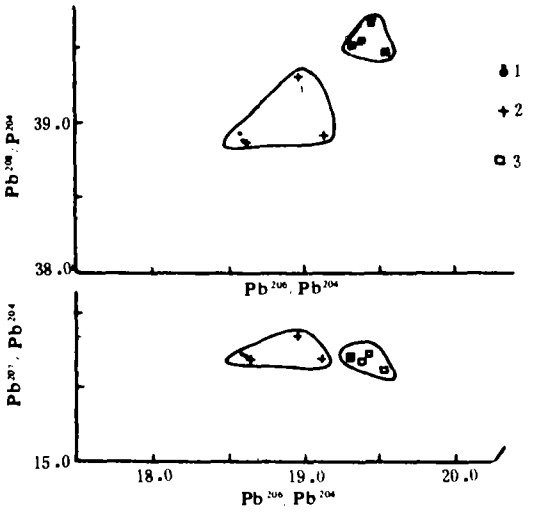


图 9　铅同位素组成坐标图

1—方铅矿；2—花岗岩；3—花岗斑岩

**1．围岩蚀变及矿物共生组合**

本区围岩蚀变类型主要有夕卡岩化、硅化，其次还有绢云母化等。矿物组份较复杂，以方铅矿、闪锌矿为主，并发育有磁黄铁矿、磁铁矿、白钨矿等高温矿物。表现出高中温蚀变类型和矿物共生组合的特点。

**2．矿物固熔体分解温度**

矿石中发育磁黄铁矿与闪锌矿、黄铜矿与闪锌矿、赤铁矿与磁铁矿等固熔体分离结构，反映矿石形成温度应在350 ～580 ℃之间。

**3．闪锌矿Ga，In含量及Ga/In比值**

产于高温矿床内的闪锌矿In高Ga低，而低温闪锌矿则相反。从表10可见，本矿床闪锌矿In，Ga含量及Ga/In比值与中温矿床的特征值类似。此外，闪锌矿中铁、锰、镉含量较丰富，

闪锌矿中Ga，In含量及Gn/In比值　　表10

| 元素 | 已知矿床 | | | 蛇形坪 |
|---|---|---|---|---|
| | 高温 | 中温 | 低温 | |
| Ga | 1.3 ～14 | 1.1 ～32 | 18～200 | 1 ～6 |
| In | 150 ～520 | 11～240 | 1 ～30 | 18～45 |
| Ga/In | 0.001～0.05 | 0.01～5.0 | 1 ～100.0 | 0.02～0.19 |
| Ga/In平均值 | 0.015 | 0.10 | 11.0 | 0.11 |

也与成矿温度较高有关。

**4．矿物包裹体测温温度**

闪锌矿内包裹体测定结果表明，包裹体类型主要以气液两项为主，气液比5 ～15%，扁圆状或多边形，分布均匀，数量较多，个体一般在5 ～15 μ之间。均一法测温结果为205 ～380 ℃。

**5．硫同位素交换平衡温度**

根据矿物沉淀过程中，同一条件下形成的不同矿物之间，同位素交换处于平衡或基本平衡时，矿物对的$\Delta\delta S^{34}$值与平衡温度成线性关系，关系式为$\Delta\delta S^{34}=A\times10^6/T^2$。从表11可知，本区同位素交换平衡温度变化范围为394 ～432 ℃。

闪锌矿—方铅矿硫同位素交换平衡温度　　表11

| 样品号 | 矿石特征 | $\delta S^{34}$‰ | | $\Delta\delta S^{34}$ ‰ | 温度（℃） |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 闪锌矿 | 方铅矿 | | |
| S 718－36－5 | 致密块状矿石 | 7.79 | 6.18 | 1.61 | 432 |
| S 718－36－128 | 〃 | 7.20 | 5.40 | 1.80 | 394 |

**6．微量元素地质温度计**

运用闪锌矿—方铅矿镉或锰地质温度计，对5件样品计算出的成矿温度范围在480 ～590 ℃之间。

综上所述，本矿床属于与斑状黑云母花岗岩有关的高—中温岩浆热液型矿床。寻找该类岩体以及在其周围开展普查找矿工作将是今后找矿的主要方向。

工作期间，得到东坡矿地测科的大力支持，翟裕生教授的指导和林新多、熊鹏飞副教授的帮助，文中引用了有关单位的资料，在此一并致谢！

**参　考　文　献**

〔1〕尹汉辉：地球化学，1978，第4期

〔2〕童潜明：岩石矿物与测试，1984，第3卷，第4期

〔3〕地质部宜昌地质矿产研究所同位素地质研究室：《铅同位素地质研究的基本问题》，北京，地质出版社，1979年

〔4〕成都地质学院：《矿床学》（下），北京，地质出版社，1978年



© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net