

# 浙江和平硼矿床地质特征及成因

郑关春 金素芳

(浙江省地矿厅第一地质大队)

**内容提要:** 和平硼矿床属中低温热液交代型。它是我国首次发现的中型硅硼钙石矿床, 可直接利用于玻璃工业。矿体赋存于上侏罗统劳村组底部砾岩中, 并受其砾岩成分和构造的控制。硼质来源于隐伏花岗闪长岩体, 在温度为306—120℃、pH为6.7、Eh为58.63mV的弱酸氧化环境、封闭条件下富集成矿。

**主题词:** 硅硼钙石硼矿床 地质特征 矿床成因 浙江和平

和平硼矿是我国较大的硅硼钙石硼矿床,也是唯一可被利用的硼硅酸盐矿床。矿石经选除铁后, 硼精矿达到无碱玻璃纤维原料的工业要求, 不需要提炼成硼酸直接可以利用, 尾矿可作农田肥料, 经济效益显著, 具有工业利用前景。

## 一、矿床地质特征

矿区位于钱塘台拗、安吉—长兴台陷的北东部、学川—湖州大断裂的北西侧, 震幕山中

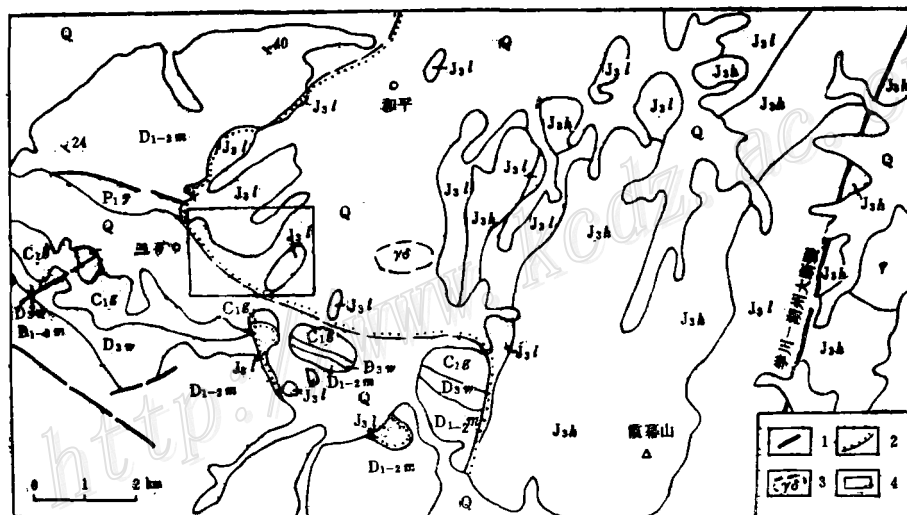


图1 区域地质略图

Q—第四系; J<sub>3h</sub>—上侏罗统黄尖组; J<sub>3l</sub>—上侏罗统劳村组; P<sub>1y</sub>—下二叠统垵桥组; C<sub>2h</sub>—中石炭统黄龙组; C<sub>1g</sub>—下石炭统高骊山组; D<sub>3w</sub>—上泥盆统五通组; D<sub>1-2m</sub>—下中泥盆统茅山组; γ—花岗岩; 1—深大断裂; 2—不整合面; 3—隐伏花岗闪长岩体; 4—矿区范围

Fig.1. Sketch regional geological map.

Q—Quaternary; J<sub>3h</sub>—Upper Jurassic Huangjian Formations; J<sub>3l</sub>—Upper Jurassic Laocun Formation; P<sub>1y</sub>—Lower Permian Yanqiao Formation; C<sub>2h</sub>—Middle Carboniferous Huanglong Formations; C<sub>1g</sub>—Lower Carboniferous Gaolishan Formations; D<sub>3w</sub>—Upper Devonian Wutong Formations; D<sub>1-2m</sub>—Lower-Middle Devonian Maoshan Formations; γ—Granite; 1—Deep fault; 2—Unconformity; 3—Concealed granodiorite body; 4—Limits of ore district.

生代火山盆的西缘(图1)。

(一) 矿区地质: 区内发育上下两个构造层: 上构造层属燕山期, 由上侏罗统劳村组火山岩和底部砾岩组成, 不整合在下构造层上, 大致呈水平层状产出, 未发现褶皱和断裂, 硼矿体赋存在劳村组底部砾岩中; 下构造层属印支期, 由泥盆一二叠系碎屑岩、碳酸盐岩组成, 为一向北倾斜的平缓单斜构造, 倾角一般20°—30°, 并有两条近东西向断裂(F<sub>101</sub>、F<sub>102</sub>)横贯矿区, 次一级北东、北西向断裂发育(图2)。

矿区地层有上侏罗统劳村组安山(玢)岩和底部砾岩, 下二叠统堰桥组砂泥岩、栖霞组灰岩, 中上石炭统黄龙-船山组灰岩, 中下泥盆统茅山群砂岩(图2)。

矿区东部隐伏花岗岩闪长岩体由东向西侵入于下二叠统堰桥组中, 埋深约600m(海拔标高-596.58—-600.50m)(图1)。由黑云母花岗岩和花岗闪长岩组成。根据同位素测定资料, 岩体地质年龄为125.5Ma(黑云母K-Ar法), 其侵入时代属燕山晚期。

由于矿区东部隐伏岩体侵入, 区内岩石普遍遭受热变质, 变质程度随离岩体的距离从东往西由强变弱: 碳酸盐岩的变质由粗晶大理岩、细晶大理岩到大理岩化灰岩; 砂泥岩的变质由红柱石角岩、黑云母红柱石角岩、石英角岩到角岩化砂泥岩; 黄龙组底部白云岩常见蛇纹石化, 伴有硼镁石矿化、多金属矿化; 劳村组安山(玢)岩发育青磐岩化, 底部砾岩见砂卡岩化、硅硼钙石矿化、局部铅锌矿化。

(二) 含矿砾岩特征: 矿区含矿砾岩位于劳村组底部, 厚0—27.79m, 常夹砂泥岩透镜体, 与上覆安山(玢)岩(厚50.78—199.99m)呈火山喷溢不整合接触, 与下伏石炭系、二叠系呈构造不整合接触, 沿不整合面呈平缓起伏状, 倾角小于15°。砾岩的中上部是硼矿体主要赋存部位。砾岩厚度以矿区中部最大, 一般大于20m, 火山盆边缘和矿区东部厚度变小, 为6—10m。砾石含量80—85%, 分选差。砾石成分因地而异, 南部近碳酸盐岩分布区, 以石灰岩砾石为主(60—80%), 北部近碎屑岩分布区, 以砂岩、粉砂岩砾石为主, 钙质胶结为主的砾岩与硼矿化关系密切。

砾岩蚀变, 钙质砾石见蚀变强度不一的砂卡岩化、大理岩化; 硼矿体附近石榴石砂卡岩化较明显, 铅锌矿体附近透辉石砂卡岩化较明显, 无矿化地段只见大理岩化; 砂泥质砾石具硅化、角岩化。

(三) 硼矿体特征: 区内见有3个硼矿体, 都分布于矿区西部。主矿体(1号矿体)赋

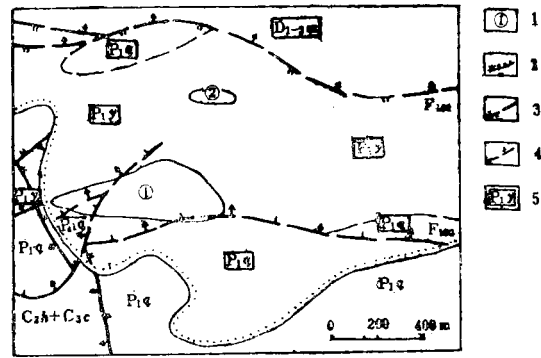


图2 矿区基岩地质略图

P<sub>1q</sub>—下二叠统栖霞组; C<sub>2h</sub>+C<sub>3c</sub>—中上石炭统黄龙、船山组; 1—矿体编号; 2—不整合线; 3—掩盖区断裂; 4—掩盖区地质界线; 5—掩盖区地层代号; 其他同图1

Fig.2. Sketch bedrock geological map of the ore district.

P<sub>1q</sub>—Lower Permian Qixia Formations; C<sub>2h</sub>+C<sub>3c</sub>—Middle-Upper Carboniferous Huanglong-Chuanshan Formation; 1—Serial number of ore body; 2—Unconformity; 3—Fault in covered area; 4—Geological boundary in covered area; 5—Symbols of strata in covered area. Other symbols as for Fig.1.

表 1 矿石化学成分表 (%)

Table 1. Chemical composition of ores (in percentage)

矿体号	样品数	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	TiO <sub>2</sub>	MnO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	烧失量	总量
1	7	5.77	50.27	23.73	3.47	2.06	2.24	0.20	0.18	0.51	0.07	0.75	11.57	100.87
2	1	5.23	62.68	15.15	6.64	3.08	1.40	0.33	0.11	2.01	0.13	0.55	2.81	100.12

注：浙江省地质测试中心分析

存在劳村组底部砾岩的中上部,东西向长616m,南北向宽100—200m,倾角平缓(3°—15°),呈椭圆形透镜状。矿体沿走向较稳定,倾向变化较大:厚度1.00—7.99m,平均4.50m,厚度变化系数65%;B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>单工程品位5.00—7.99%,平均5.77%。矿石成分见表1。

组成硼矿石的主要硼矿物为硅硼钙石,偶有斧石。硼矿石主要由硅硼钙石、方解石、石英、石榴石组成,次为硅灰石、绿帘石、绿泥石、毒砂和少量透辉石、蒙脱石、闪锌矿、黄铁矿、方铅矿及微量伊利石、叶腊石、锆石等。

据硼矿石矿物组分测定,矿石属石英、方解石、硅硼钙石类型。矿石结构主要为粒状变晶结构、包含结构、交代结构,局部为残余砂状结构。矿石构造均为致密块状构造。

此外,矿区中部见有铅锌矿产于硼矿体的上下部,与硼矿体伴生,多数为单个钻孔见矿。但在铅锌矿石中不含或含微量硼。

#### (四) 硅硼钙石矿物特征(表2)

表 2 硅硼钙石矿物主要特征表

Table 2. Major characteristics of datolites

项目	标准硅硼钙石 <sup>[3]</sup>	和平矿硅硼钙石	测试方法	测试单位
化学成分 (%)	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 19.12, CaO 34.62, SiO <sub>2</sub> 38.46, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 0.11, H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> 5.35	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 21.61, CaO 35.00, SiO <sub>2</sub> 37.40, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 0—0.15, H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> 5.78	电子探针	地矿部宜昌所
晶胞参数	a <sub>0</sub> 9.66 Å; b <sub>0</sub> 7.64 Å; c <sub>0</sub> 4.83 Å β 90°09'	a <sub>0</sub> 9.628—9.658 Å; b <sub>0</sub> 7.594—7.60 Å; c <sub>0</sub> 4.828—4.835 Å β 90°8'57"—89°38'41"	X衍射	浙江地质测试中心
其他物性	无色、白、黄、浅绿—红色。 二轴(-),光轴角70°—74°, N <sub>p</sub> 1.622—1.631, N <sub>m</sub> 1.651—1.654, N <sub>g</sub> 1.664—1.677,镜下无色	白色微带绿色,不规则粒状,二轴晶(-),光轴角70°—80°, N <sub>p</sub> 1.6231, N <sub>m</sub> 1.6540, N <sub>g</sub> 1.6661,镜下无色	岩矿鉴定	浙江地质测试中心
	相对密度2.9—3.0	相对密度3.099	拉力法	

## 二、对矿床成因的探讨

### (一) 控矿因素

1. 硼矿体主要产于劳村组底部砾岩中,其石灰岩砾石含量约为60—80%,并以钙质胶结

为主, 孔隙度较大; Ca:Si (原子比) 为0.3—0.4:0.8—1.0, 而硅硼钙石中的Ca:Si (原子比) 为1:1。因此, 除含矿热液带来B、H<sub>2</sub>O和部分Si外, 还必须具备含Ca组分, 以满足硅硼钙石所需要的化学组分, 形成工业矿体。由此可见, 硼矿体的形成受一定化学成分的岩石制约。

2. 硼矿(化)体多赋存于火山盆地边缘和凹陷部位, 表明这些地段有利于矿液储存。

3. 硅硼钙石矿(化)体富集在劳村组底部砾岩中, 其不整合面之下的层位必须是堰桥组下部的层位, 以及劳村组与上古生界的不整合面、F<sub>102</sub>断裂附近。硼镁石矿化、电气石矿化常见于黄龙组与高骊山组假整合面附近, 说明这些成矿前构造有利于硼矿液的迁移。

4. 主矿体位于劳村组底部砾岩的中上部, 直接顶板大多为致密块状安山(玢)岩, 为成矿时的良好屏蔽层, 促使矿液在其下面的砾岩中交代沉淀, 富集成矿。

(二) 矿质来源 硼质主要来自矿区东部的隐伏花岗闪长岩体。

1. 据化学分析, 花岗闪长岩含B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.03%、F 0.104%, 其中斜长石含B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.214%, 为富F含硼岩体。

2. 硅硼钙石单矿物经氢氧同位素测定(宜昌所),  $\delta D - 62\text{‰}$ ,  $\delta^{18}O + 7.13\text{‰}$ 。其投影点落在原生岩浆水区, 说明矿液中的水是岩浆水(图3)。

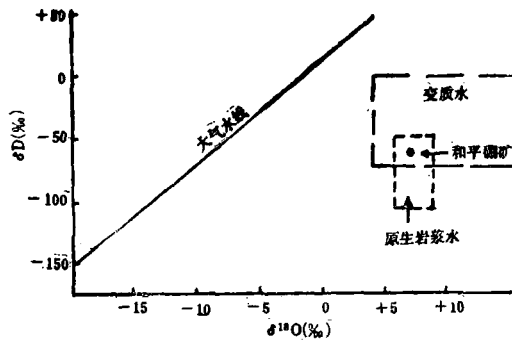


图3 硼矿成矿热液 $\delta D-\delta^{18}O$ 图解

Fig. 3.  $\delta D-\delta^{18}O$  diagram of ore-forming hydrothermal solution for the boron deposit.

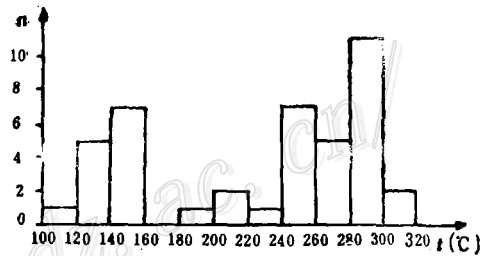


图4 硅硼钙石频数-温度分布直方图

Fig. 4. Histogram showing frequency-temperature distribution of datolite.

(三) 矿液成分 据南京大学对1号矿体硅硼钙石包裹体成分测定, 气液成分含量(ml/100g) CO<sub>2</sub> 5.58、CH<sub>4</sub> 2.57、CO+N+O 73.19、H<sub>2</sub>O 117.58。液体内离子成分见表3。

表3 硅硼钙石包体(液体)离子成分表

Table 3. Ionic composition of fluid inclusions in datolite

离子成分	Ca <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Fe <sup>3+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>
含量(ppm)	5.546	8.40	5.70	2.50	0.16	0.5424	—	0.074	0.0917	0.1587
离子成分	Mn <sup>2+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>	Ba <sup>2+</sup>	Co	Cr	Li <sup>+</sup>	Ni	P <sup>5+</sup>
含量(ppm)	0.0076	0.0021	0.0116	0.0318	0.0329	0.0009	0.00154	0.002	0.0016	0.00416
离子成分	Sr <sup>2+</sup>	Ti <sup>4+</sup>	V <sup>5+</sup>							
含量(ppm)	0.00906	0.0022	0.0012							

总矿化度23.14556ppm, pH 6.7, Eh 58.63mV。

上述数据说明含矿溶液富含 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{F}^-$ 、贫 $\text{K}^+$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Al}^{3+}$ 、 $\text{Mn}^{4+}$ , 属弱酸性, 成矿环境为弱酸氧化封闭系统。

(四) 成矿温度 据包体42个样品测温结果(均一法), 硅硼钙石形成温度可分为早、晚两期: 早期为306—206℃, 其中300—240℃区间是硼矿的主要成矿期; 晚期为153—120℃(图4)。

(五) 成矿作用 由于燕山晚期含硼岩浆的侵入活动, B可从富F的碱性岩浆溶液中被带出, 呈 $(\text{BO}_3)^{-}$ 络阴离子和 $(\text{BF})^-$ 、 $[\text{B}(\text{OH})_4]^-$ 、 $\text{B}(\text{OH})_3$ 络合物<sup>[1,2]</sup>沿劳村组不整合面、黄龙组假整合面、 $\text{F}_{102}$ 断裂进行迁移, 与围岩发生渗透、扩散和交代作用。在高骊山组角岩中形成星散状电气石、黄玉、红柱石, 黄龙组白云岩段有利部位生成硼镁石、多金属, 在孔隙度较大、硅钙成分适宜、且富Ca贫Fe、Mg、Mn、Al的劳村组底部砾岩中, 在上有安山(玢)岩阻隔下的弱酸(pH 6.7)、氧化环境(Eh 58.63mV)、温度为306—120℃的 $\text{CaO-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 封闭体系中, 在火山盆边缘和盆底凹陷部位的砾岩中上部富集成矿, 构成工业硼矿体。当底部砾岩中局部Fe、Mn、Al含量较高时, 生成斧石。

(六) 成矿时代与矿物生成顺序

1. 成矿时代: 硼矿体产于矽卡岩化劳村组底部砾岩, 硅硼钙石常与石榴石、硅灰石、石英、方解石形成交代结构、包含结构, 说明其成矿时间与接触变质时间大致相同或者稍晚。接触变质作用主要由隐伏的燕山期(早白垩世)的花岗闪长岩体所引起。因此, 推测本矿床的成矿时代为早白垩世。

2. 矿物生成顺序: 根据矿物组合关系和形成温度, 组成硼矿石的主要矿物生成顺序, 成矿早期接触变质、中温热液阶段生成石榴石、硅硼钙石和少量方解石; 成矿晚期低温热液阶段生成方解石、石英和少量硅硼钙石、石榴石。

综上所述, 和平硼矿受岩性、构造控制较明显, 硼质来源于隐伏花岗闪长岩体, 在中低温弱酸氧化环境的封闭条件下富集成矿。矿石具交代结构、包含结构。因此, 本矿床成因类型应属中低温热液交代型硼矿床。

## 参 考 文 献

- [1] 武汉地质学院地球化学教研室编 1979 地球化学 地质出版社
- [2] 南京大学地质系地球化学教研室 1984 元素地球化学 科学出版社
- [3] 王濮、潘兆槽等编著 1984 系统矿物学 地质出版社

**GEOLOGICAL CHARACTERISTICS AND GENESIS OF THE  
HEPING BORON DEPOSIT IN CHANGXING  
COUNTY, ZHEJIANG PROVINCE**

Zheng Guanchun and Jin Sufang

*(No.1 Geological Party, Bureau of Geology and Mineral Resources of Zhejiang Province,  
Hangzhou, Zhejiang Province)*

**Abstract**

The Heping boron deposit is a meso-epithermal metasomatic datolite type medium-sized concealed boron deposit discovered for the first time in china, and its ores can be used directly in glass industry. The ore body occurs in basal conglomerate of Upper Triassic Laocun Formation and is controlled by composition of the gravels and structures. The boron materials were derived from the concealed granodiorite body and, at the temperature of 306—120°C and under the weakly acid, oxidizing and closed condition with pH 6.7 and Eh 58.63mV, concentrated to form ore deposit. The ores show granuloblastic texture, poikiloblastic texture and metasomatic texture.

<http://www.kcdz.ac.cn/>