

四川虎牙雪宝顶 W-Sn-Be 矿床矿物学标型特征及流体对矿物形态的影响

刘 琰^{1,2}, 邓 军^{1,2}, 孙岱生², 周应华²

1. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083

2. 中国地质大学岩石圈构造、深部过程及探测技术教育部重点实验室, 北京 100083

摘要: 四川虎牙乡雪宝顶钨锡铍矿床产出宝石级绿柱石、白钨矿、锡石、电气石等矿物且晶形完好。共生矿物有长石、方铅矿、石英、方解石、云母等。绿柱石、白钨矿和锡石色彩绚丽, 其成分较为复杂, 类质同象现象普遍, 晶体形貌具有标型意义。对该区代表性矿物绿柱石、白钨矿、锡石等进行了成分研究、形貌描述及矿物共生组合特点分析, 从矿物标型特征、围岩蚀变类型确定了矿床属于高温热液云英岩脉型矿床, 在此基础上重点探讨了板状绿柱石成因。

关键词: 晶体形态; 标型特征; 矿床类型; 虎牙; 四川。

中图分类号: P618.3

文章编号: 1000-2383(2007)01-0075-07

收稿日期: 2006-03-00

Morphology and Genesis Typomorphism of Minerals in W-Sn-Be Deposit of Huya, Sichuan

LIU Yan^{1,2}, DENG Jun^{1,2}, SUN Dai-sheng², ZHOU Ying-hua²

1. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

2. Key Laboratory of Lithospheric Tectonics, Ministry of Education, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

Abstract: Many kinds of gem-grade minerals such as beryl, scheelite, cassiterite and tourmaline, and sub-products such as K-feldspar, galenite, tabular quartz, tabular calcite and mica were found in beryl-scheelite vein deposit of Huya, Pingwu County, Sichuan Province. The major minerals like beryl, scheelite and cassiterite have relatively complicated chemical composition and remarkable isomorphism, which enables them to have typomorphic significance. Studies on the chemical composition, configuration and mineral assemblages of the typical minerals such as beryl, scheelite, cassiterite, feldspar and tourmaline of this area reveal the typomorphic significance of the mineral assemblage and it is determined that the deposit is a high temperature epithermal quartz vein deposit. So the appearance of the minerals tabular configuration is concerned with alkali-rich chemical composition, environment of the mineral and the direction of the mineralized hydrothermal liquid.

Key words: crystal morphology; genesis typomorphism; type of deposit; Huya; Sichuan Province.

虎牙藏族自治乡雪宝顶山脉钨锡铍矿床主要有哗哗水、五猪塘、蒲口岭等矿点。雪宝顶钨锡铍矿床产有绿柱石、锡石、白钨矿、磷灰石及电气石等宝石级晶体, 晶形完整、硕大, 颜色鲜艳, 具有极高的观赏和商业价值。该矿床独特的形成条件已为专家学者们所关注, 其研究内容集中于矿床类型、成矿流体及

其来源、绿柱石板状成因、谱学特征、结构测定等方面。然而, 目前学者们对该矿床的成因类型争论较大, 主要认识有中低温浅成热液矿床、气成热液矿床或其成矿热液属于气成高温热水溶液(林金辉等, 2000; 叶松等, 2001; 曹志敏等, 2002; 陈志军等, 2002; 周开灿等, 2002)。究其原因主要是对矿床温度

表 1 四川雪宝顶绿柱石化学成分 (%)

Table 1 Chemical compositions of beryl samples from Xuebaoding, Sichuan Province

样号	SiO ₂	BeO	Al ₂ O ₃	FeO	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Li ₂ O	Rb ₂ O	Cs ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O ⁺	H ₂ O ⁻	总量
1	64.23	12.20	17.33	0.12	0.06	0.000	0.005	0.37	0.078	1.44	0.054	0.77	0.005 4	0.36	0.000	3.04	0.10	100.16
2	63.19	11.97	17.31	0.14	0.07	0.006	0.004	0.30	0.073	1.47	0.091	0.86	0.009 1	0.31	0.010	3.56	0.31	99.68

资料来源:刘琰等(2005).

的研究多采用包裹体均一法测温等手段。由于测试仪器型号、采样位置、测试条件、包裹体类型(如原生、次生包裹体)和其他系统误差等而使测试结果有所差异,因而认识和结论也不完全相同。且以往对与绿柱石共生的白钨矿、锡石、电气石、钾长石等矿物研究内容较少,尤其是缺乏对矿物晶体形貌特征、化学成分标型、围岩蚀变、共生组合等方面的研究。本次工作是在野外详细调查基础上,以围岩蚀变、矿物共生组合、矿物标型为主要依据,结合包裹体测温结果综合探讨该矿床的成因。

1 地质背景

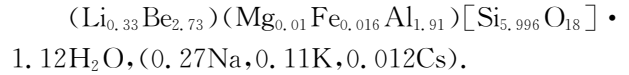
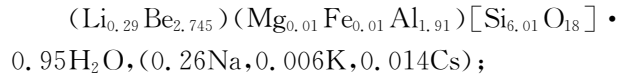
本次研究样品主要采自蒲口岭和哗哗水一带,海拔 4 225 m。矿点位于摩天岭东西向复杂构造带磨子坪—上纳米复式向斜核部的一个次级构造——紫柏杉穹窿构造中,出露地层为中三叠统“扎奈山群”地层。该地层构成一个长轴北北东向的椭圆形穹窿构造。紫柏杉花岗岩体侵入穹窿核部,岩层围绕岩体分布;矿区断裂构造不甚发育,但张节理发育,为矿液流动和储集提供了良好的通道和场所。矿床成因与碱性花岗岩的侵入极为密切。矿石矿物为绿柱石、白钨矿、锡石及少量硫化物,脉石矿物为石英,次为白云母、长石、萤石等。已知矿脉有 40 多条,长数十米,厚 0.5~1.5 m,有的只有几厘米或更窄。大多数矿脉发育有明显的带状构造。绿柱石、白钨矿、锡石常产于脉壁或晶洞中,呈团块状或晶簇状。

2 绿柱石标型特征

2.1 绿柱石化学成分

由样品化学全分析结果(表 1)可见:两组样品中主要成分 Al₂O₃、SiO₂ 和 BeO 约占各自总量的 93.76%和 92.47%。绿柱石中碱金属 Li₂O、Na₂O、K₂O、Rb₂O 和 Cs₂O 平均含量分别为 0.81%、1.45%、0.073%、0.007 3%和 0.335%,可将其归为

含铯、锂—钠绿柱石。2 个绿柱石样品中 FeO 和 Fe₂O₃ 含量总和分别为 0.18%、0.21%,Fe²⁺、Fe³⁺ 主要占位于 Al-O 八面体 Al³⁺ 位置,它们是雪宝顶绿柱石成色的主要杂质离子(林金辉等,2000)。以 O=18 为基准,计算样品晶体化学式分别为:



绿柱石中碱金属含量高,特别是 Li 类质同象替代 Be、Na、K、Rb、Cs 元素能够进入绿柱石六方环孔洞中。按绿柱石分类,本区绿柱石为无色—淡蓝色含铯、钠—锂绿柱石。

2.2 绿柱石形貌

绿柱石晶体呈板状,常见单形有六方双锥 $s\{11\bar{2}1\}$ 、 $p\{10\bar{1}1\}$,六方柱 $m\{10\bar{1}0\}$ 、 $a\{11\bar{2}0\}$ 和平行双面 $c\{0001\}$,其中平行双面与六方双锥常见。有的样品缺失 $s\{11\bar{2}0\}$ 或 $p\{10\bar{1}1\}$,呈碟状;个别样品底面直径与柱高相等,呈短柱状。晶体直径一般在 2~3 cm,大者 5~7 cm,部分可达十几厘米(刘琰等,2001)。绿柱石晶体常常沿 c 轴紧密平行连生,有时被误认为是接触双晶。此外,从绿柱石结晶习性和形态看,绿柱石并不存在双晶现象(White and Richards, 1999;刘琰等,2005),与其他地区绿柱石形态相比差别较大。其晶面微形貌发育,主要为螺旋纹和生长丘。其中 $\{0001\}$ 面生长纹远比六方双锥和六方柱面螺旋生长纹发育,螺旋生长现象较为明显,这种表面螺旋生长纹与低饱和度有关(刘琰等,2005)。

Hawthorne and Černý(1977)、王贤觉等(1981)和邹天人(1996)根据绿柱石化学成分特点对绿柱石进行分类:无碱绿柱石、贫碱钾绿柱石和钾钠绿柱石、钠绿柱石、钠—锂绿柱石。国内外相关研究(Beyc, 1960;陈光远等,1987;邹天人,1996)表明,绿柱石的形态与碱金属含量有一定关系,含钠高的绿柱石一般为短柱状、不完整桶状,因此绿柱石的形态具有标型意义。通过实际观察,雪宝顶绿柱石既有短柱状又有板状,以板状绿柱石居多。反映了板状绿

柱石是高碱环境的产物. 与之相应的是, 雪宝顶板状绿柱石碱金属含量也较高.

3 白钨矿标型特征

3.1 白钨矿化学成分

采用电子探针分析白钨矿化学成分, 结果表明(表 2): 白钨矿含有微量 CuO、FeO. 按矿物通式中 2

表 2 雪宝顶白钨矿的化学成分(%)

Table 2 Chemical compositions of scheelite from Xuebaoding, Sichuan Province

样品	WO ₃	CaO	MoO ₃	CuO	FeO	总量
W ₁	80.50	18.86	0.00	0.00	0.01	99.38
W ₂	81.25	18.67	0.00	0.00	0.05	99.97
W ₃	81.60	18.87	0.00	0.03	0.00	100.50
* 南岭及邻区白钨矿(平均)	78.46	19.29	0.747	0.010	0.340	98.846

测试在中国地质大学(北京)电子探针室完成; 仪器型号: 日本岛津公司制造 EPMA-1600, 分析采用氧化物标样; 定量加速电压: 15 kV, 束流: 2×10^{-8} A, 束斑直径 0.5 μm ; * 据李逸群和颜晓锺(1991).

个阳离子和考虑电价平衡, 以 O=4 为基准计算, 求得白钨矿的晶体化学式为: W₁. Ca_{0.98} [W_{1.01} O₄]; W₂. Ca_{0.96} [Fe_{0.002} W_{1.01} O₄]; W₃. Ca_{0.97} [Cu_{0.01} W_{1.01} O₄].

李逸群和颜晓锺(1991)根据白钨矿中 MoO₃ 含量把含 MoO₃ 0.50%~13.53% 归为含钼白钨矿. 但从本文分析结果来看, 雪宝顶白钨矿中 MoO₃ 含量 < 0.50%, 不属于含钼白钨矿, 同时也不属于钼钨钙矿系列分类与命名表. Cu、Fe 等元素进入白钨矿发生类质同象替代, 说明成矿时温度较高.

3.2 白钨矿形貌

四方晶系、四方双锥晶类 4/m. 本区白钨矿常呈近于八面体状的四方双锥或厚板状. 部分晶体平行连生(图 1a), 有些则成不规则粒状集合体(图 1b). 经过晶体测角, 本区白钨矿晶体主要有四方双锥 $p\{111\}$, 个别样品出现 $\beta\{113\}$ 单形和四方双锥 $e\{101\}$ (图 2). 白钨矿晶体一般长 1~3 cm, 也有 10~15 cm 的巨晶体, 还曾见 8~9 kg 的巨晶. 由于脉宽仅数十厘米或更窄, 成矿溶液主要平行脉壁供应, 垂直脉壁供应较少, 因此平行于脉壁方向晶面生长较快而成为厚板状(图 1a). 白钨矿晶体属四方晶系, 在实地考察中本区未见以往报道的六方双锥状白钨矿(周开灿等, 2002), 只存在四方双锥白钨矿貌似八面体的现象.

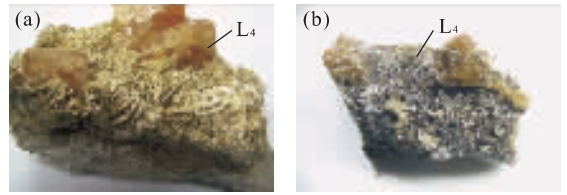


图 1 a. 厚板状白钨矿与平行连生的白钨矿雪宝顶白钨矿; b. 白钨矿粒状集合体和针状电气石
Fig. 1 a. Thick tabular scheelite and parallel growth of beryl; b. Scheelite crystal and acicular turamaline

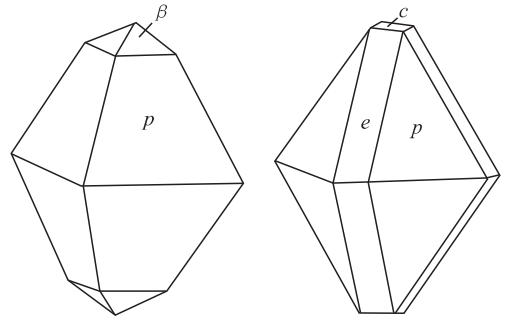


图 2 白钨矿晶体理想形态(王濮等, 1987)
Fig. 2 Ideal drawing of scheelite

4 锡石标型特征

4.1 锡石化学成分

锡石化学成分中往往含有 SiO₂、TiO₂、FeO、WO₃、Ta₂O₅、MnO、Nb₂O₅ 等杂质, 本区锡石化学成分如表 3. Fe、V、Ti、Mn 元素的出现与锡石的黑色有关. 锡石具有磁性成分中含有较高含量的磁性元素有关. 锡石中有环带结构. 对不同颜色环带进行分析发现, 深褐色条带中 FeO、Ta₂O₅、Nb₂O₅、WO₃ 含量普遍较高(如样点 2-1、2-2); 浅褐色区域杂质含量较低(如样点 1-1、1-2). 一般认为气成高温热液型锡石和高温热液型锡石成分稍有差异, 前者铌钽含量较高. 而本区含有较高的铌钽含量, 较南岭及邻区钨矿床中含矿石英脉、云英岩和硫化物热液矿床中锡石铌钽含量都要高, 也说明了本区锡石属于气成高温热液型. 铌钽含量高于一般热液型锡石铌钽含量 0.08% (王濮等, 1982), 这也是气成高温热液型锡石特征之一.

4.2 锡石形貌

锡石粒径一般在 1~3 cm, 少数 5~7 cm, 最大可达 10 cm 以上, 重 15 kg. 晶体锥面较为发育, 经过测角分析, 主要单形有四方双锥 $s\{111\}$ 和 $e\{101\}$. 晶

表 3 锡石化学成分(%)

Table 3 Chemical compositions of cassiterite

点号	SnO ₂	FeO	V ₂ O ₅	TiO ₂	WO ₃	MnO	Nb ₂ O ₅	Ta ₂ O ₅	总量
1-1	99.35	0.05	0.23	0.00	0.14	0.17	0.01	0.04	100.00
1-2	99.20	0.00	0.07	0.25	0.15	0.23	0.15	0.07	100.12
2-1	96.08	0.71	0.00	0.07	0.19	0.26	1.53	0.24	99.08
2-2	97.77	0.39	0.00	0.19	0.26	0.00	0.87	0.18	99.66

测试在中国地质大学(北京)电子探针室完成;仪器型号:日本岛津公司制造 EPMA-1600,分析采用氧化物标样;定量加速电压:15 kV,束流: 2×10^{-8} A,束斑直径 0.5 μm .

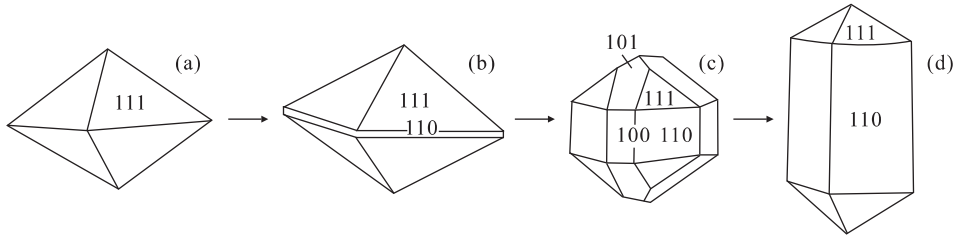


图 3 锡石的理想形态(王濮等,1982)

Fig. 3 Ideal drawing of cassiterite

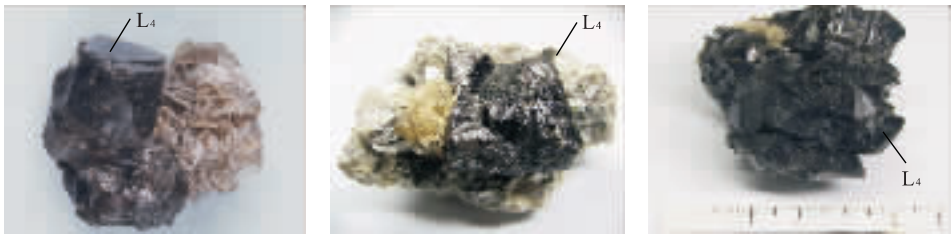


图 4 锡石晶体的不同形态

Fig. 4 Cassiterite crystal of different configurations

体常以集合体形式产出,沿 c 轴平行连生(图 3). 锡石晶形为四方双锥状和短柱状,柱面部发育,晶体长宽比为 3:1~4:1. 个别锡石出现了罕见的溶蚀现象(刘琰等,2005),说明晶体在生长过程中物质供应的变化. 本区锡石具有图 4 中 3 种形态,以第 3 种为主. 通过实地考察,本区还存在着板状锡石. 从图 3a~3d 也反映了成矿温度由高到低的连续变化过程(王濮等,1982),晶体柱面发育有纵纹. 从恢复后的理想晶体形态上可判断锡石属高温热液型. Shneider(1937)认为高温条件下,晶体 c 轴收缩,并随温度降低而增长,在大于 600 $^{\circ}\text{C}$ 时为钝角双锥或柱状双锥亚型的八面体;大于 500 $^{\circ}\text{C}$ 时为板状;450 $^{\circ}\text{C}$ 时为锐角双锥(或单锥)状柱体;小于 450 $^{\circ}\text{C}$ 为锥—柱状晶体. 图 4 中从左至右依次出现了钝角双锥、锐角双锥锡石晶体形态,说明本地矿床中锡石是高温成因,矿床属于高温热液型.

5 其他矿物标型特征

5.1 电气石形貌

本区电气石可以分为两类:第一类是发状电气石(图 1b),在实体显微镜下观察发状电气石呈蓝色;第二类是褐绿色透明宝石级电气石(图 5). 尺寸为:3 cm \times 1 cm \times 1 cm 顶部断面球面三角形和柱面纵纹发育,第二类电气石可以用作宝石开发. 以往钨锡铍矿中曾有宝石级电气石报道,但还未有图片报道. 电气石褐绿色与电气石中 Mg 和 Fe 元素有关. 发状电气石的出现与温度和成矿位置的变化有关. 发状电气石出现阶段较早,大量出现于围岩蚀变阶段的石英中和成矿期的绿柱石中.

5.2 钾长石形貌

长石的种类和形态十分丰富,据前人研究,不同种类和形态的钾长石成因与温度密切相关而且具有标型特征. 800 $^{\circ}\text{C}$ 时, $c\{001\}$ 和 $b\{010\}$ 特别发育,形

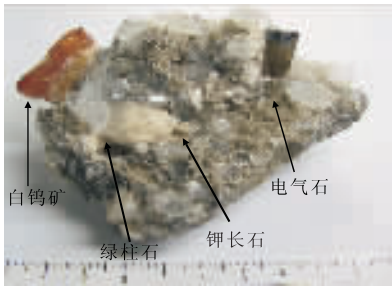


图 5 柱状电气石晶体
Fig. 5 Tourmaline crystal

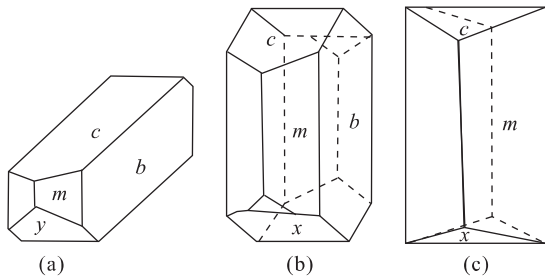


图 6 钾长石的晶形标型(王濮等,1984)
Fig. 6 Ideal drawing of K-feldspar

成沿 *a* 轴延伸的柱状。500~350 °C 时,伟晶作用、气成高温热液形成沿 *c* 轴延伸的板柱状,理想形态如图 6(陈光远等,1987)。雪宝顶钨锡铍矿中产出了与图 6 相对应的 3 种长石种类(图 7),本区钾长石以图 6b、6c 为主,常见 1~2 cm,大者可达 5 cm。3 种钾长石的出现说明了该区成矿流体从高温到低温的变化。野外地质考察中,发现大量类似图 6a 类型的长石,并且与云母、石英共生。

6 成矿流体流向对晶体形态的影响

环境因素对晶体生长形态的影响很大。雪宝顶

绿柱石产于晶洞中,大部分绿柱石 *c* 轴与洞壁呈锐角, {0001} 面平行于脉壁。由于脉宽一般 10 cm,溶液平行脉壁供应,垂直脉壁供应较少,造成晶体的平行双面生长速度较慢,从而导致了板状绿柱石的出现,与板状绿柱石共生的板状石英、板状方解石和板状锡石(图 8b)也证实了这一点。

当矿液从某个方向源源不断的供给结晶物质,晶体在这一方向生长就较快。矿液流向对晶体生长不对称性、内部生长环带差异性、晶体生长不完整性及定向平行连生的影响都很大(图 8a,曾庆丰,1986)。该区产出的厚板状白钨矿、板状石英、板状方解石和板状锡石等矿物晶形成因与成矿流体的运移方向有关。弓长岭铁围岩绿泥片岩中气成热液成因磁铁矿板状双晶及板状晶体也是由于铁质沿裂隙面供应而长成平行裂隙的板状(陈光远等,1984)(图 8c)。该区短柱状绿柱石同时存在,进一步说明空间所限而促使流体运移定向,也是影响板状晶形的原因之一。

7 结论

(1) 本文结合区域地质背景从矿物组合、矿物标型特征、围岩蚀变和成矿环境等方面探讨了矿床成因。在传统的包裹体测温方法基础上,对宏观的外在矿床特征进行成矿类型判断。(2) 根据雪宝顶绿柱石矿床云英岩化的围岩蚀变现象,白钨矿、锡石、电气石的矿物共生组合,沿 *c* 轴延伸发育的高温标型板柱状钾长石,短柱状及四方双锥较为发育的锡石的出现,都说明该矿床为高温热液云英岩脉型矿床。钨、锡、铍元素成矿也说明了该矿床是高温热液矿床。绿色绿柱石、桔红色白钨矿、黑色锡石和蓝色电气石的出现与高温环境下杂质进入矿物晶格中有关,更进一步证实了该矿床的成因。(3) 绿柱石、白钨

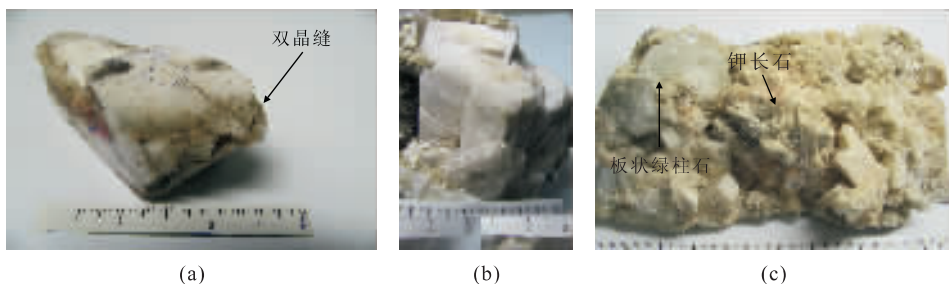
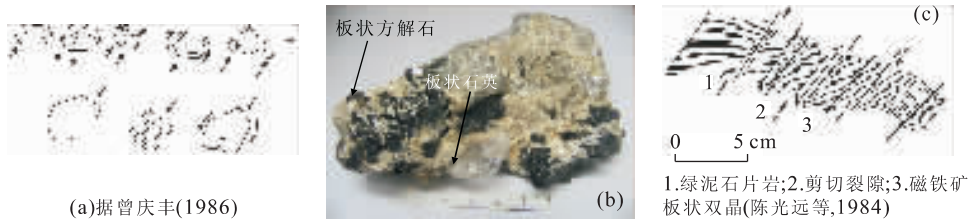


图 7 钾长石实际形态
Fig. 7 Practical drawing of K-feldspar



(a)据曾庆丰(1986)

(b)

1.绿泥石片岩;2.剪切裂隙;3.磁铁矿板状双晶(陈光远等,1984)

图 8 矿物生长受流体影响示意图

Fig. 8 Sketch map of crystal morphology affected by mineralizing fluid

矿、锡石等主要矿物的化学成分复杂、类质同象置换普遍,表明矿物形成温度以及成矿溶液中碱金属含量较高。(4)板状绿柱石、短柱状绿柱石、厚板状白钨矿、板状石英、板状方解石和板状锡石等的出现与环境因素有关。2种不同形态的白钨矿及2种形态不同的电气石的出现说明了成矿热液中物质的不均一性和成矿热液温度的变化。

致谢:成都矿产地质研究所沈敢富研究员对野外工作提供了大量指导和意见,沈战武硕士参与了本次野外工作,AAA国际矿业公司刘光华教授在野外工作中提供了大量支持,在此一并表示感谢!

References

- Cao, Z. M., Li, Y. G., Ren, J. G., et al., 2002. Geologic and geochemical features of the volatile-rich ore fluid and its tracing and dating in the Xuebaoding beryl-scheelite vein deposit. *Science in China (Series D)*, 32(1): 64–72 (in Chinese).
- Cao, Z. M., Zheng, J. B., An, W., et al., 2004. Geochemistry of Xuebaoding alkali granite and its ore controlling effect. *Journal of Ocean University of China*, 34(5): 874–880 (in Chinese with English abstract).
- Chen, G. Y., Sun, D. S., Sun, C. M., et al., 1984. The genetic mineralogy of Gongchangling. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 4(2): 30–34 (in Chinese with English abstract).
- Chen, G. Y., Sun, D. S., Yin, H. A., 1987. Genetic mineralogy and prospecting mineralogy. Chongqing Press, Chongqing, 212–214 (in Chinese).
- Chen, Z. J., Wan, S. M., Lü, X. B., et al., 2002. Study on fluid inclusions in beryl from Pingwu, Sichuan Province. *Geological Science and Technology Information*, 21(3): 65–68 (in Chinese with English abstract).
- Hawthorne, F. C., Černý, P., 1977. The alkali-mental position in Cs-Li beryl. *Can. Mineral.*, 15: 414–421.
- Li, Y. Q., Yan, X. Z., 1991. Bureau of geology & mineral resources of Jiangxi Province. China University of Ge-

sciences Press, Wuhan, 95–96 (in Chinese).

- Lin, J. H., Cao, Z. M., Liu, J., et al., 2000. Mineral spectroscopic studies of beryls from Xuebaoding, Sichuan. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 19(4): 369–375 (in Chinese with English abstract).
- Liu, Y., Deng, J., Cai, K. Q., et al., 2005. Mineralogical characteristics of beryl in Pingwu County, Sichuan Province, Southwest China. *Earth Science Frontiers*, 12(2): 324–331 (in Chinese with English abstract).
- Liu, Y., Zhang, B., Yu, X. Y., 2001. The mineralogical characteristics and its application prospect of beryl in Pingwu, Sichuan. *Geology and Prospecting*, 37(2): 55–57.
- Shneider, Y. A., 1937. Morphological and genetic scheme of the habits of cassiterite. *Problems of Soviet Geology*, 7: 187–199 (in Russian). *English Abstract from Chemical Abstract*, 31: 5. 723.
- Wang, P., Pan, Z. L., Weng, L. B., 1982, 1984, 1987. Systematic mineralogy (the first, second and third volumes). Geological Publishing House, Beijing, 541–542 (in Chinese).
- Wang, X. J., Zou, T. R., Xu, J. G., et al., 1981. Study on minerals from pegmatites, Altai. Science Press, Beijing, 56–59 (in Chinese).
- White, J. S., Richards, R. P., 1999. Chinese beryl crystal mimic twinning. *Rocks & Minerals*, 74: 318.
- Ye, S., Qi, L. J., Luo, Y. A., et al., 2001. Relationship between the rare-metal contained granitic intrusions and beryl mineralization in Pingwu, Sichuan. *Geological Science and Technology Information*, 20(2): 66–70 (in Chinese with English abstract).
- Zeng, Q. F., 1986. Conditions for hydrothermal mineralization. Beijing Science and Technology Press, Beijing, 69–70 (in Chinese).
- Zhou, K. C., Qi, L. J., Xiang, C. J., et al., 2002. Geologic characteristic of forming beryl gem in Pingwu, Sichuan. *Mineral. Petrol.*, 22(4): 1–7 (in Chinese with English abstract).
- Zou, T. R., 1996. Colouration mechanism and main controlling factors of aquamarines from China. *Mineral Deposits*,

15 (Suppl.):55-61 (in Chinese with English abstract).

Брус, А. А., 1960. геохимия бериллия и генетические типы бериллевых месторождений. Изд. АН СССР, Москва, 21-110.

附中文参考文献

曹志敏, 李佑国, 任建国, 等, 2002. 雪宝顶绿柱石-白钨矿脉状矿床富挥发份成矿流体特征及其示踪与测年. 中国科学(D辑), 32(1): 64-72.

曹志敏, 郑建斌, 安伟, 等, 2004. 雪宝顶碱性花岗岩岩石地球化学与成矿控制. 中国海洋大学学报, 34(5): 874-880.

陈光远, 孙岱生, 殷辉安, 1987. 成因矿物学与找矿矿物学. 重庆: 重庆出版社, 212-214.

陈光远, 孙岱生, 孙传敏, 等, 1984. 弓长岭铁矿成因矿物学专辑. 矿物岩石, 4(2): 30-34.

陈志军, 万世明, 吕新彪, 等, 2002. 四川平武绿柱石中流体包裹体研究. 地质科技情报, 21(3): 65-68.

李逸群, 颜晓锺, 1991. 中国南岭及邻区钨矿床矿物学. 武汉:

中国地质大学出版社, 95-96.

林金辉, 曹志敏, 刘菁, 等, 2000. 雪宝顶绿柱石的谱学研究. 岩石矿物学杂志, 19(4): 369-375.

刘琰, 邓军, 蔡克勤, 等, 2005. 四川平武板状绿柱石矿物学特征及板状成因. 地质前缘, 12(2): 324-331.

刘琰, 张斌, 余晓艳, 2001. 四川平武绿柱石结晶学特征研究及发展前景. 地质与勘探, 37(2): 55-57.

王濮, 潘兆鲁, 翁玲宝, 1982, 1984, 1987. 系统矿物学(上、中、下册). 北京: 地质出版社, 541-542.

王贤觉, 邹天人, 徐建国, 等, 1981. 阿尔泰伟晶岩矿物研究. 北京: 科学出版社, 56-59.

叶松, 亓利剑, 罗永安, 等, 2001. 四川平武稀有金属花岗岩与绿柱石的成矿属性. 地质科技情报, 20(2): 66-70.

曾庆丰, 1986. 论热液成矿条件. 北京: 北京科技出版社, 69-70.

周开灿, 亓利剑, 向长金, 等, 2002. 四川平武绿柱石宝石成矿地质特征. 矿物岩石, 22(4): 1-7.

邹天人, 1996. 中国海蓝宝石的呈色机理及控制因素. 矿床地质, 15(增刊): 55-61.