

## 大厂锡多金属矿床热液喷气沉积的证据 ——含矿建造及热液沉积岩

韩发

R.W.哈钦森

(中国地质科学院矿床地质研究所)

(美国科罗拉多矿业学院)

**内容提要:** 通过对大厂锡多金属矿床含矿建造特征及容矿岩石的岩石学、地球化学研究,探讨了矿床形成的地质环境,证明了主要容矿岩石是从海底热卤水系统中以化学沉淀方式形成的热液沉积岩。

**主题词:** 含矿建造 热液沉积岩 大厂

大厂锡多金属矿床产于南丹—河池晚古生代裂谷盆地中。从区域上看,该裂谷盆地位于江南古陆西南缘,是右江晚古生代裂谷盆地更靠近大陆一侧的次一级盆地(陈洪德、曾允孚,1988,田洪均,1981)。从丹池盆地本身来看,在晚泥盆世早期,大厂锡多金属矿床形成于其中以硅质岩为主要特征的更次一级非补偿型的深水盆地内(陈洪德、曾允孚,1988)。根据矿区内硅质岩的分布,矿体所赋存的三级或四级盆地(呈北西走向)与二级盆地走向一致。矿区出露的地层、岩浆岩及构造格局,已有大量文献资料,此不赘述。

### 一、大厂锡多金属矿床含矿建造特征

我们的研究工作主要是在长坡和铜坑二个矿区进行的。对于大厂锡矿来讲,这二个矿区具有足够的代表性,并且矿床形成的最初形式也保存得最好。一个显而易见的事实是,长坡、铜坑矿床的主要容矿岩石具非常发育的条带状构造,这些条带除了容矿主岩——硅质岩、灰岩外,由各种不同成分组成的不同岩石、矿石类型的条带起着举足轻重的作用。其中富绢云母的条带、富硫化物的条带、含长石或富长石的硫化物硅质条带、含电气石或富电气石的硫化物硅质条带最为常见。它们与硅质岩或灰岩呈互层产出,厚度变化不大,延伸十分稳定。因此,对整个含矿建造特征的研究,将了解矿床形成地质环境提供重要依据。

从矿床地质剖面图(图1)可以看出,长坡、铜坑矿床主要含矿地层为上泥盆统碳酸盐岩-硅质岩建造,按岩石类型我们把该建造内与矿床有关的层位自下而上划分为以下4个岩石组合(图2):

1. 纹层状锡石硫化物-硅质岩组合( $D_3^1$ ): 该组合以块状硅质岩和条带状硅质岩为主。条带状硅质岩由互层产出的含碳的锡石-硫化物纹层、硅质岩纹层及少量富含绢云母的纹层组成(照片1、2)。除了富含绢云母的纹层而外,其余两种纹层中总是含有一定量的富镁电气石,多者可达20%左右。特别是互为条带的锡石硫化物-硅质岩分布广泛,稳定产出,沿走向可以在近千米的范围内进行对比,不具任何交代形成特征。在本组合内发现有多处富含锡石的角砾岩筒,其角砾成分主要为硫化物及硅质岩,胶结物既有与围岩同成分的硫化物、硅质岩,也有方解石-石英-硫化物脉和锡石-石英-硫化物脉。值得指出的是,在角砾岩中有椭圆形的硫化物角砾,说明它们是软沉积物在塌陷盆地的斜坡上经过短距离的滚动形成的。另外,硅质岩角砾本身往往具有上述的硫化物纹层并含有富镁电气石,说明硫化物和电气石都是在角砾岩形成之前就形成了,而不是后来的矿化。这种孤立分布的角砾岩筒可能是海底热液活动系统的喷气口。另外,在这个组合中普遍含碳较高(平均2.1%),在硅质岩中有放射虫,说明当时的水盆地是一种还原富硅质的条件。

2. 具薄层状锡石钾长石硫化物夹层的泥灰岩组合( $D_3^2$ ): 这个组合以泥灰岩为主,但其中夹有少量富含绢云母的、含硫化物富长石锡石或富长石的、含长石锡石富硫化物的及含少量杂质矿物的硅质岩纹层

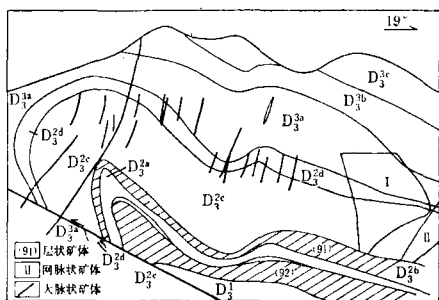


图 1 长坡锡矿地质纵剖面图

(据大厂矿务局地测处)

$D_3^{1a-c}$ —为灰岩、页岩互层，其余地层岩性符号同图 2

Fig. 1. Diagrammatic longitudinal section of the Changpo tin deposit.

$D_3^{3a-3c}$ —Alternate limestone and shale; other symbols as for Fig. 2.

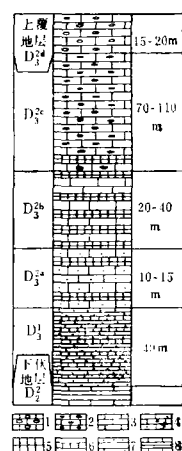


图 2 大厂锡矿床榴江组含矿建造综合剖面图

1—大扁豆灰岩；2—小扁豆灰岩；3—细条带灰岩；4—泥灰岩；5—锡石钾长石硫化物-硅质岩纹层；6—锡石硫化物纹层；7—块状或条带状硅质岩；8—马家坳组上段灰岩-页岩夹硅质岩

Fig. 2. Generalized column of the ore-bearing formation in the Dachang tin orefield.

1—Large lenticular limestone; 2—Small lenticular limestone; 3—Fine striped limestone; 4—Marl; 5—Cassiterite K-feldspar sulfides-siliceous laminae; 6—Cassiterite sulfide laminae; 7—Massive or banded siliceous rocks; 8—Limestone-shale intercalated with siliceous rocks of upper Majiao Formation.

(照片3、4)。其中除富含绢云母的纹层而外，其余各种成分的纹层常呈互层产出，并在局部条件下集中形成厚度变化于0.2—3m、在走向上延长可达300m以上条带状的含锡石硫化物硅质层，这种含矿层始终与地层整合产出，并形成同步褶皱，具有显著的同生沉积特征。另外，这种含矿的硅质岩层也是这个组合中唯一的含矿层位，因此，从总体来讲这个组合构不成工业矿体。但富含绢云母的泥质夹层在这个组合中显然增多了，并构成了具有一定规模的独立层位，说明了当时是以陆源物质为主的沉积环境。

3. 纹层状锡石钾长石硫化物-碳酸盐岩-硅质岩组合 ( $D_3^{2b}$ )：本组合的岩石学基本特征与第一组合的条带状硅质岩相似，不同之处在于：①这个组合的岩石中出现了碳酸盐岩。但就其数量而言，碳酸盐岩少于硅质岩，因此，总体看来这个组合的岩石类型仍属于硅质岩类；②长石类矿物在硫化物或硅质岩纹层中较为常见（照片5、6），这些差别说明了形成本组合的成岩水体中钾、钙和铝的化学势有所增高。然而它仍以富含碳质（平均2%），以硅质岩为主，并在硅质岩纹层中偶见放射虫等特征与第一组合的形成环境基本相似。

4. 具纹层状锡石钾长石硫化物夹层的碳酸盐岩组合 ( $D_3^{2c}$ )：本组合以正常沉积的小扁豆状灰岩为主，只在其底部有一层条带状含钾长石的硅质灰岩夹层，沿走向这个夹层有时相变为条带状的含锡石硫化物硅质岩（照片7），其厚度变化于0.1—7m，延伸可达300m以上。这个含矿层与第二组合中的含矿层在产出形态、矿石结构构造特征及矿物组合等方面都十分相似，说明它们的形成环境基本是一致的。

由上述可见，在本矿区整个含矿建造内，不同成分、不同类型的岩石、矿石互层产出，延伸稳定，同步褶皱遍布，软沉积滑动变形构造发育，具有明显的同生沉积特征。层状锡矿化则只产出在与硫化物-硅质岩有关的各种纹层中。因此，这种纹层发育的层位（第一和第三组合）便是主矿体（91号、92号矿体）所在

位置。这两个层位具有相似的形成地质环境，即水盆地相对较深，水体中非晶质二氧化硅含量较高。所有这些事实表明，各种纹层状的含锡矿石不是后来产出在那里的，而是生来就在那里的，不是某种地质事件的偶然产物，而是整个沉积建造发展过程中的必然结果，不是脱离这种地质环境的外来物，只是富含有用组分的岩石而已。

## 二、热液沉积岩的岩石学和岩石化学

长坡、铜坑矿床的主要容矿层位是以硅质岩为主的两个层位。在这二个层位中，除了硅质岩和碳酸盐岩而外，还普遍发育有条带状含长石或富长石的岩石、条带状含电气石或富电气石的岩石、条带状富碳质的岩石、条带状含电气石的方解石石英长石岩，这些条带状岩石均属热液沉积岩。现分述如下：

硅质岩为本矿区最主要的容矿岩石，从中泥盆统到上泥盆统的各个层位均有产出，并以上泥盆统底部(D<sub>3</sub><sup>1</sup>)及中部(D<sub>3</sub><sup>2b</sup>)最为发育。总体看来，硅质岩可以再划分为两个类型：块状硅质岩和细条带状硅质岩。块状硅质岩主要产出在上泥盆统的底部(D<sub>3</sub><sup>1</sup>)，一般为中薄层，由85—90%的细粒石英组成，粒径一般在0.01—0.02mm，具特征的缝合线结构(照片8)，这可能是在成岩、压实过程中微弱的再结晶作用所致。这种硅质岩的特点是质地较纯，含杂质矿物少，因此在化学成分上SiO<sub>2</sub>含量高达90%，其他组分如TiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、MgO、K<sub>2</sub>O、Na<sub>2</sub>O等含量低(表1)。条带状硅质岩由上述各种不同成分的岩石条带及硫化物条

表1 大厂锡多金属矿床热液沉积岩及与其有关矿石的化学成分(质量%)

Table 1. Chemical composition of hydrothermal sedimentary rocks and their associated ores from the Dachang tin-polymetallic orefield

序号	样品号	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CaO	MgO	MnO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	烧失量	Cr	Ba	总和	S <sup>a</sup>
1	T2-2	59.90	0.37	6.99	6.50	14.20	0.42	0.64	0.02	0.95	0.04	0.03	8.30	0.04	0.04	98.44	8.17
2	T18	47.80	0.51	12.90	1.15	1.55	19.30	1.80	0.14	4.02	0.13	<0.03	11.40	0.02	0.10	100.85	1.12
3	DT25-1 <sup>b</sup>	11.37	0.06	3.26	0.86	1.98	2.22	0.80	0.02	2.20	0.12	<0.03	2.31	0.02	0.02	25.26	1.76
4	DT25-2 <sup>b</sup>	48.74	0.73	15.36	1.36	2.66	1.01	1.15	0.01	10.50	0.09	0.04	3.96	0.03	0.16	85.80	2.36
5	DT24-51	39.80	0.19	7.16	0.40	0.45	0.92	0.66	0.01	4.73	0.03	<0.03	1.80	0.19	0.03	56.30	0.18
6	DT24-52 <sup>b</sup>	67.28	0.78	11.79	2.92	3.78	0.47	1.43	0.01	6.95	0.07	0.11	4.42	0.03	0.15	100.19	3.35
7	C15-2 <sup>b</sup>	84.29	0.29	5.55	1.00	1.29	1.01	1.17	0.02	1.92	0.04	<0.03	2.99	0.04	0.01	99.01	1.15
8	T22-1	60.10	0.26	6.24	0.25	17.35	1.11	0.85	0.03	3.59	0.05	<0.03	4.10	0.03	0.49	94.47	8.20
9	T22-2	66.60	0.49	12.00	1.30	8.45	0.74	2.01	0.03	5.03	0.09	0.09	3.80	0.01	0.29	100.93	3.72
10	C20-1 <sup>b</sup>	15.60	0.08	1.85	2.79	57.15	2.92	0.25	0.09	0.37	0.02	0.01	18.40	0.02	0.01	97.56	25.40
11	C20-2	48.84	0.44	10.87	1.49	11.44	9.22	1.90	0.17	1.75	0.34	4.55	8.34	0.03	0.06	99.44	4.97
12	T11 <sup>b</sup>	91.15	0.04	1.76	1.12	3.18	0.47	0.15	0.04	0.45	0.01	0.23	1.19	0.11	0.02	99.92	1.41
13	C5 <sup>b</sup>	85.26	0.03	1.05	0.51	0.45	8.46	0.18	0.06	0.14	0.01	0.45	3.60	0.04	0.01	100.15	0.20
14	平均值 <sup>d</sup>	90.81	0.09	1.92	0.75	1.13	1.53	0.20	0.12	0.53	0.25	0.18	2.50			100.01	

a、硫是单独分析的；b、因硫含量高，这些样品的Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和FeO原始分析结果不准确，表中所用数据是根据样品中黄铁矿或磁黄铁矿含量校正过的，但总和保持不变；c、这些样品中含有未被分析的锡石；d、23个块状硅质岩样品的平均值。样品描述：1、条带状磁黄铁矿-闪锌矿矿石中的富碳含磁黄铁矿、闪锌矿的硅质条带，产于小扁豆页岩层位；2-9见照片描述；10、11为条带状黄铁矿矿石，其中10为含电气石、石英的黄铁矿条带，11为富绢云母条带，产于硅质岩层位；12、13分别为含碳低和含碳高的两个块状硅质岩，产于硅质岩层位

带互层组成，这类岩石总体上以硅质条带为主，因此我们称其为条带状硅质岩。从分布上来看，它们产出在上泥盆统的各个层位中，但以产出在含矿建造的第一及第三组合内为主。显然，与块状硅质岩相比，条带状硅质岩分布范围更广，硅质岩本身除了含有类似于块状硅质岩中的粒状石英外，还含有不同数量的硫化物、电气石、长石、绢云母、方解石等杂质矿物及碳质混入物(照片9、10)，其化学成分中TiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、MgO、K<sub>2</sub>O及Na<sub>2</sub>O的含量比块状硅质岩高(表1，样品C15-2)。

含电气石岩或电气石岩：近年来由于对热液沉积岩研究的不断深入，电气石岩作为热液沉积岩的一种代表性岩石，受到了层控矿床学家们的普遍重视。一般把含电气石超过20%的层状岩石，作为一种独立的岩石类型称之为电气石岩，否则称含电气石岩。在大厂锡矿条带状硅质岩中，各种类型的条带状硫化物中以及富含锡石、钾长石的条带状矿石中都或多或少地含有一定数量的电气石。从含矿建造剖面上看，第一、三组合的岩石几乎普遍含有电气石，而在第二、四组合中只有纹层状含锡石、钾长石的硫化物-硅质岩中含电气石，并且某些地段电气石的含量高达20%以上。而泥灰岩及扁豆状灰岩中几乎不含电气石。详细的野外地质填图及显微镜下观察表明，在第三组合的上部，条带状硫化物发育的部位，岩石中电气石的含量往往高于20%，可称之为电气石岩，此处电气石岩在走向上呈不连续产出，但在某些地段可以连续延长100m以上。肉眼观察岩石呈黑色致密块状，多与硫化物互成条带，条带宽一般为0.1—1.0cm左右。镜下发现，在更细的由各种不同矿物组成的纹层中，电气石的含量变化很大（照片11）。在富含电气石的纹层中含电气石85%，石英5%，碳质10%（照片12）；在富含石英的纹层中含电气石20—30%，石英40—70%，碳质5—20%；在富含硫化物的纹层中，含电气石3—7%，黄铁矿，闪锌矿90%、石英、方解石3—5%。但不管在那种纹层中，电气石的粒度都非常细，一般为2—8 $\mu$ m，呈无定向分布的针状体。在大厂矿区所有纹层状岩石中的电气石颜色都非常浅， $N_e$ 为浅褐色， $N_o$ 为无色。与之共生的石英粒度也非常细小，一般为0.02—0.08mm的粒状体，两者均一分布。电子探针分析表明，产于各种层位中的电气石都是富镁电气石， $MgO$ 为7.71—10.05%， $FeO_{TFe}$ 为0.19—4.50%（表2）。含电气石岩或电气石岩的另一个特征是含有较多的碳质。特别是在条带状硅质岩中，电气石往往总是与碳质条带相伴随，并形成同步褶皱（照片9、10）。这种特征与北澳 Golden Dyke Dome 贱金属块状硫化物矿床中的电气石岩十分相似（Plimer, 1986）。

含长石或富长石岩：含长石或富长石岩在本矿区主要分布于上泥盆统中部各层位中，其中以第二、三组合中出现了非常好的条带状或韵律式条带状的富钾长石岩最为特征（照片3、4、6）。从矿物共生组合的角度来看，这种富钾长石岩由锡石-钾长石条带、石英-钾长石条带、磁黄铁矿-钾长石条带组成。锡石-钾长石条带含锡石5—50%，钾长石50—85%及少量石英、白云母、电气石等矿物。其中锡石为浅色、不规则块状，一般粒径0.1—0.2mm；钾长石为板状，粒径多在0.1—0.15mm左右，并总包含有一定量的极细粒的针状电气石和具有溶蚀特征的粒状锡石。石英-钾长石条带含绢云母5—15%，石英20—30%，钾长石50—60%及少量的白云母、电气石和碳质。其中石英为它形粒状，粒径为0.05—0.06mm；长石亦为它形粒状，粒径为0.07—0.1mm，全部矿物呈均匀分布，具缝合线结构特征（照片13）。磁黄铁矿-钾长石条带含磁黄铁矿50—75%，钾长石25—30%，石英5—20%。钾长石为板状，粒径为0.1—0.3mm，其中常含有细粒的磁黄铁矿及电气石包体。上述三种富钾长石的条带状岩石，前二者常呈互层状产出，形成了含石英、锡石的条带状钾长石岩（照片3、6），后者常与块状磁黄铁矿和富碳硅质岩互层，形成了含石英富硫化物的条带状钾长石岩（照片4）。这二种不同岩石类型在走向上呈互为过渡关系，但以富含硫化物的条带状钾长石岩更为常见。从更广泛的意义来说，这种条带状富钾长石的岩石又与条带状硅质岩互为过渡关系，同样，在数量上和分布上又以后者为最多、最普遍。这种条带状富钾长石岩在化学成分上以富Al、K、Ba为特征（表1）。在4个样品中有2个因含较多的锡石，无代表性，另外2个样品 $Al_2O_3$ 为11.79—15.36%（平均13.58%）， $K_2O$ 为8.95—10.50%（平均8.73%），比硅质岩相应组分含量高5—10倍。这2个代表性样品Ba的含量分别为0.16%、0.15%，明显偏高。钾长石电子探针分析结果证实了这点，如表3所示，10个分析点平均Ba含量为0.14%，与化学分析结果很接近，特别是富硫化物钾长石岩中的钾长石含Ba更高（该样品未做全岩化学分析），电子探针14个分析点平均含Ba为3.40%，充分说明这类岩石含Ba高与钾长石有关。

条带状方解石石英长石岩：这是一种富含碳质的复矿物岩石，主要组成矿物：电气石5—10%，方解石15—70%，培长石10%，钾长石20—30%，石英30—40%。所有的矿物质都非常细小，一般粒径小于0.02mm，自形程度差，均匀分布。这种岩石主要分布在条带状的碳酸盐岩-硅质岩上部，此处，本组合内碳酸盐岩条带明显增加（照片5）。这种富Ca的环境给硅质岩本身也带来了如下一些变化：①硅质条带中方解石含量增加了，一般硅质岩内含方解石小于3%，此处则增加到15—20%。②岩石中出现了培长石（表3），这与其

表 2 大厂锡多金属矿床电气石电子探针分析结果 (质量%)  
Table 2. Microprobe analyses of tourmalines from the Dachang tin-polymetallic orefield

样号	C15-3	C15-5	C27-2	C27-3	D11-1	D11-3	DC27-1	DC27-2	DC27-3	T9-2	T9-3	D1(3)	D1(2)
化学成分													
SiO <sub>2</sub>	36.49	38.90	38.62	38.44	37.46	37.13	37.58	36.54	37.22	36.89	37.88	35.01	35.00
TiO <sub>2</sub>	0.10	0.06	0.09	0.03	0.07	0.10	0.09	0.24	0.06	0.07	0.34	0.44	0.15
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	33.79	33.13	34.63	34.86	33.33	33.39	34.18	33.35	33.41	32.67	31.23	32.38	33.59
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.02	0.03	0.12	0.07	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.04	0.05
Fe-O <sub>TF</sub>	0.88	0.19	1.98	1.96	2.01	1.94	2.35	4.50	2.07	2.72	2.47	14.45	13.78
MnO	0.11	0.04	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.23	0.09	0.00	0.19	0.02
MgO	9.04	9.56	8.85	8.88	8.62	8.83	8.90	7.71	9.11	9.10	10.50	1.05	1.78
CaO	1.10	0.75	0.27	0.34	0.62	0.01	0.68	0.66	0.76	0.36	1.71	0.12	0.31
Na <sub>2</sub> O	1.81	2.19	1.24	1.31	1.65	1.70	2.11	2.26	2.05	1.29	1.51	2.00	2.22
K <sub>2</sub> O	0.00	0.03	0.04	0.02	0.16	0.05	0.00	0.03	0.00	0.03	0.05	0.03	0.00
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	10.85	10.88	10.77	10.77	10.73	10.85	10.74	10.62	10.76	10.74	10.77	10.04	10.08
H <sub>2</sub> O*	3.72	3.70	3.70	3.71	3.68	3.70	3.68	3.65	3.69	3.70	3.71	3.45	3.47
Σ	97.69	99.43	100.25	100.39	98.45	97.77	100.31	99.56	99.36	97.68	100.17	99.20	100.45
Na <sub>2</sub> O/(Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O+CaO)	0.62	0.74	0.80	0.78	0.68	0.97	0.76	0.77	0.73	0.77	0.46	0.93	0.88
FeO/(FeO+MgO+MnO)	0.07	0.02	0.18	0.18	0.19	0.18	0.21	0.37	0.18	0.23	0.19	0.93	0.89

按单位晶胞中含 31 个氧原子数计算的阳离子数	
Si	5.939
Al	6.000
Cr	0.000
Al	0.483
Fe	0.093
Mg	2.194
Mn	0.016
Ti	0.013
Ca	0.128
Na	0.571
K	0.000

\*计算值; H<sub>2</sub>O是按一个分子结构式中含4(OH), 并且忽略了F, Cl计算的, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>是按一个分子结构式中含3B计算的, 样品描述: C27样的电气石产于硅质岩内的富碳质条带中; T9样的电气石产于细条带碳酸盐岩-硅质岩内的闪辉矿条带中; D11样的电气石是闪长粉岩中的副矿物; D1样的电气石产于拉么Cu-Zn矿床花岗岩裂隙岩内的石英-电气石脉中; C15, T1, DC27样见照片描述

表3 大厂锡多金属矿床条带状富长石岩中长石的电子探针分析结果(质量%)

Table 3. Microprobe analyses of feldspar from the Dachang tin-polymetallic orefield

样号 (点数)	T18-1 (4)	T18-2 (2)	T18-3 (2)	T18-4 (2)	DT259 (4)	T1-11 (2)	T1-12 (3)	T1-21 (3)	T1-22 (3)	T1-23 (3)	DT2451 (2)	DT2452 (2)	DT262 (2)
Na <sub>2</sub> O	0.380	0.610	0.408	0.443	0.203	0.111	0.091	0.073	0.093	0.177	0.108	0.152	0.137
K <sub>2</sub> O	0.035	0.056	1.018	0.034	15.720	14.082	14.526	14.308	14.282	14.312	16.130	16.065	16.075
CaO	21.175	20.030	20.617	21.409	0.000	0.044	0.030	0.044	0.015	0.037	0.056	0.025	0.014
BaO	0.109	0.135	0.407	0.103	0.007	3.987	3.976	3.287	3.923	3.892	0.176	0.144	0.469
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	34.898	34.120	33.208	35.179	17.543	18.865	19.176	18.499	18.908	18.590	17.444	17.455	18.047
SiO <sub>2</sub>	45.475	43.177	44.954	44.927	65.625	65.084	63.787	65.422	64.856	63.871	67.332	67.677	65.795
Σ	102.072	98.128	100.612	102.095	99.098	102.173	101.586	101.633	102.077	100.819	101.246	101.518	100.537

## 长石的分子百分数

Ab	3.20	5.2	3.5	3.6	2.0	1.1	0.8	0.7	0.9	1.1	1.0	1.45	1.3
Or	0.2	0.3	6.1	0.2	98.1	90.8	91.3	91.7	91.3	91.1	98.3	98.2	97.75
by	0.2	0.3	0.6	0.2	0.0	7.9	7.7	7.4	7.8	7.6	0.5	0.25	0.85
An	96.40	94.2	89.8	96.0	0.0	0.2	0.2	0.2	0.0	0.2	0.2	0.1	0.05

样品T1的描述见照片说明,其余全部样品描述见表1,其中样号DT259同表1的DT25-1;样号DT2451、DT2452同表1的DT24-51

形成环境中钙化学势的增高是一致的。正因为这种岩石富Ca,出现了培长石,并且与钾长石共存,我们把它作为一种单独的岩石类型划分出来。从岩石化学成分来看(表1,样品T18),除了Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、K<sub>2</sub>O、Ba含量高,与富钾长石岩相似而外,该岩石含Ca显著高,反映其形成于富Ca的环境。

与上述各类热液沉积岩互成条带的硫化物或绢云母岩(表1中样品C20-1, C20-2, T22-2),我们将在容矿岩石地球化学一文中进行对比研究,此处不予论述。

### 三、热液沉积岩喷气沉积成因证据

随着层控矿床研究的不断深入,一种新的岩石类型——热液沉积岩(或称喷气岩、化学沉积岩)受到了矿床学家们普遍的重视,并且被认为这是二十多年来矿床学研究领域的一项重要新进展。的确,从同生矿床的角度来看,容矿岩石的类型及其成因指示着矿床形成的地质环境。因此,在某种意义上讲,对容矿岩石的研究比对矿床本身的研究显得更为重要。这也就是我们在此专门对热液沉积岩进行讨论的目的所在。

在研究方法上,目前并没有一种非此即彼的“绝技”能判断某种岩石是否为热液沉积岩。但是已经积累起来的大量实际资料和野外地质关系的研究证明,前寒武纪铁建造及与块状硫化物矿床有关的各类硅质岩、长石岩及电气石岩等均属热液沉积岩。我们对大厂锡多金属矿床热液沉积岩成因的研究就是在这样的背景上用类比的方法进行的。

1. 硅质岩是大厂锡多金属矿床最重要、最基本的热液沉积岩。从区域分布上看,丹池成矿带内硅质岩的分布与同沉积断裂密切相关(郜兆典,1980和陈洪德、曾允孚,1988),并且主要产出在非补偿型的深水沉积盆地中,表明其形成可能与海底热液系统有关。从硅质岩岩石学本身来看,它具有非常发育的沉积条带状构造,显然不是交代形成的。然而矿物结晶程度差,粒度微细,特征的缝合线结构,意味着它未曾遭受过强烈的变质作用,也不可能是砂岩之类的岩石经变质作用形成。特别是在硅质岩中常常见到一种由微晶石英组成的胶粒状结构(照片14),单个胶粒直径为0.05—0.1mm,多呈圆形或椭圆形,有时具同心环状构造,这种胶粒状结构在加拿大塞尔温盆地与块状硫化物矿床有关的硅质岩中亦常见。另外,在澳大利亚东北部Lau盆地中于水下1990m处现代热液沉积形成的重晶石-蛋白石岩中,也见到了这种胶粒状结

构的蛋白石 (Bertine 等, 1975)。研究表明, 这种结构是胶体沉积形成的, 说明了硅质岩是  $\text{SiO}_2$  化学沉淀的直接产物。

本区硅质岩是否属于生物成因, 这是我们要讨论的又一个问题。就总体而言, 硅质岩有生物成因的也有火山成因的。但以下的地质事实十分重要: ①硅质岩在地质历史中的分布以前寒武纪为最多, 在显生宙则逐渐减少; ②从数量上来看, 硅质岩以产于地槽区为主, 并且绝大多数不含或很少含硅质生物介壳; ③地槽区的硅质岩往往直接位于水下喷发熔岩之上 (Garrison, 1974) 或直接上覆于热卤水沉积物 (块状硫化物、赭石等) 之上 (Bernard, 1982; Robertson 等, 1974); ④这种硅质岩往往与含黄铁矿的黑色页岩伴生, 而与碳酸盐岩“势不两立” (Siever, 1962; Хворова, 1977); ⑤特别是对于地槽区的硅质岩, 尽管它们有时含有硅质生物介壳, 然而这些硅质生物是与燧石岩成因无关的附带组分, 只是因为那里富硅的热卤水环境是它们得以保存下来的良好场所 (Robertson 等, 1974)。上述事实说明与硅质岩有关的沉积建造形成于闭塞的深水局限盆地中, 这种盆地处于只接受少量或不接受碎屑物质的位置, 其中的海水化学成分与正常海水不同, 即有非正常补给的  $\text{SiO}_2$  使得硅质生物介壳得以保存, 并且 pH 值偏低, 使浮游的钙质生物残体发生溶解 (Siever, 1962)。因而, 硅质岩的形成与火山活动有着密切关系, 生物成因不是主要因素。大厂锡多金属矿区硅质岩产出的地质环境与上述普遍性的地质事实是一致的, 即局限性的深水盆地, 很少有外来碎屑物质加入的非补偿型沉积环境, 主要硅质岩层位 ( $D_3^1$ ) 很少含碳酸盐类矿物, 然而富含碳质, 偶而也发现有放射虫存在 (徐珏, 1987), 说明了当时沉积盆地中水体的  $\text{SiO}_2$  含量较高。尤其是硅质岩中具有喷气成因特征的电气石纹层非常发育, 这是生物成因的硅质岩所不具备的。另外, 现有的资料表明, 不同成因类型的硅质岩化学成分组成是不一样的。从表 4 可以看出,  $\text{TiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{MgO}$  的百分含量, 在生物成因的硅质岩中普遍低, 而在与火山作用或海底热液系统有关的硅质岩中普遍高。为醒目起见, 将有关资料表示于图 3、4。从  $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{TiO}_2$  的投影图上可见, 生物成因的硅质岩 (除了一个例外) 与火山或海底热卤水成因的硅质岩明显分为两个区。值得指出的是, 在生物成因的硅质岩区, 投影点零散分布, 即  $\text{Al}_2\text{O}_3$  和  $\text{TiO}_2$  之间无相关关系; 而在火山及海底热卤水成因的硅质岩区, 投影点呈带状分布,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  和  $\text{TiO}_2$  之间相关系数为 0.6390, 呈对数正相关关系。地球化学研究表明, 对于充分海解的化学沉积岩  $\text{Al}_2\text{O}_3$  与  $\text{TiO}_2$  之间呈正相关

表 4 不同成因硅质岩的化学成分 (质量%)

Table 4. Chemical composition of siliceous rocks with different origins

岩石类型	序号	样品数	$\text{SiO}_2$	$\text{TiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{FeO}$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{MnO}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{P}_2\text{O}_5$	烧灼量	总和	$S^a$
生物成因的硅质岩	1	8 <sup>(1)</sup>	88.04	0.016	0.84	1.59	0.26	5.07	0.19	0.30	0.16	0.18	0.03	3.40	100.07	
	2	13 <sup>(2)</sup>	95.96	0.03	0.71	0.43	0.08	0.30	0.02	0.02	0.05	0.06	0.02	2.93	100.61	
与火山有关的硅质岩	3	24 <sup>(3)</sup>	未测	0.36	5.63		3.72 <sup>b</sup>	0.62	1.28	0.23	1.09	1.01	未测	未测		
与火山有关的块状硫化物矿床中的硅质岩	4	1	77.30	0.52	7.51	0.55	5.35	1.35	1.90	0.04	0.87	0.44	<0.03	2.00	97.96	
	5	1	65.40	0.50	15.90	1.35	4.75	0.88	0.98	0.10	1.90	7.86	0.08	1.40	101.09	0.12
	6	1	71.10	0.45	12.10	0.50	4.90	0.25	1.84	0.13	1.69	2.97	0.07	2.00	98.00	0.26
	7	1	52.60	1.15	15.50	3.00	11.90	1.37	3.68	0.14	3.09	0.78	0.31	5.00	98.51	4.78
与海底热泉有关的硅质岩	8	8 <sup>(4)</sup>	92.31	0.23	2.89	0.43	0.94	0.47	0.95	0.25	0.45	0.33	0.05	0.63	99.93	
富含电气石的喷气岩	9	2	61.00	0.45	10.95	2.05	16.68	0.37	1.82	0.04	0.32	0.59	0.03	3.80	98.10	6.87
大厂矿区的硅质岩	10	5	73.68	0.25	5.65	2.06	4.13	5.93	0.79	0.06	1.37	0.05	0.13	5.50	99.60	2.41

a—硫是单独分析的; b—此处是全铁。采样位置: 4—澳大利亚 Renison Bell 矿山; 5—加拿大 Agnic-Eagle 矿山;

6—加拿大 Cobett 矿山; 7—加拿大 Millebach 矿山; 9—加拿大沙利文矿山; 其他见参考文献

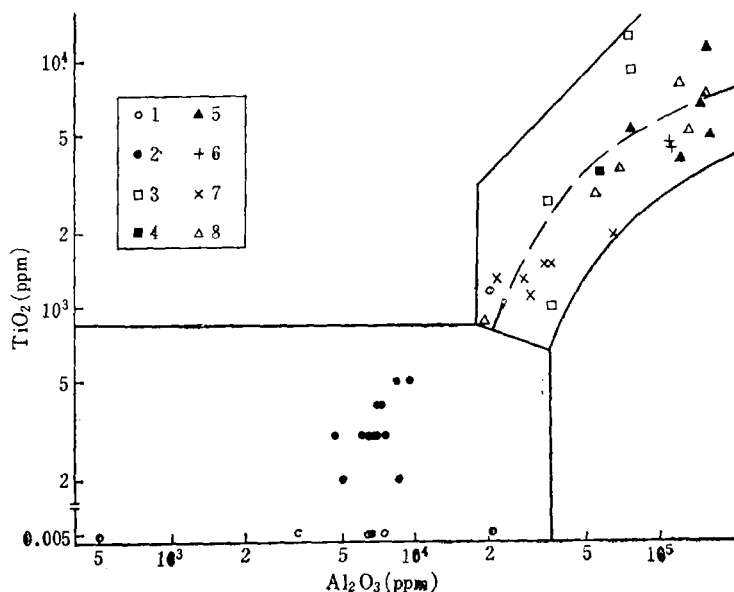


图 3 不同成因的硅质岩中  $TiO_2$ - $Al_2O_3$  关系图

1—生物成因的硅质岩；2—生物成因的硅质岩（取自深海钻探计划第62航次）；3—火山弧区的硅质岩；4—24个火山弧区硅质岩样品的平均值；5—与火山有关的块状硫化物矿床中的硅质岩；6—沙利文矿区富含电气石的喷气岩；7—与海底热卤水系统有关的硅质岩；8—大厂矿区的硅质岩

Fig. 3.  $TiO_2$ - $Al_2O_3$  diagram for siliceous rocks of different origins.

1—Biogenetic siliceous rocks; 2—Biogenetic siliceous rocks (from Voyage No. 62 of Deep Sea Drilling Plan); 3—Siliceous rocks of volcanic arc area; 4—Average value of siliceous rocks from 24 volcanic arc areas; 5—Siliceous rocks in massive sulfide deposits related to volcanos; 6—Tourmaline-rich effusive rocks of Sullivan Mine; 7—Siliceous rocks related to submarine hot brine system; 8—Siliceous rocks of the Dachang ore district.

关系（韩发等，1983）。图3所揭示出来的规律与这一原则是一致的，这为我们提供了另一个判别硅质岩成因的地球化学方法。我们把大厂硅质岩样品分析结果投影于图3，所有点都落在了火山或热卤水成因的硅质岩区，并且与17个已知分析样品所求的相关曲线（图中虚线）十分一致，这充分说明大厂的硅质岩在成因上与热卤水活动系统有关。在  $Al_2O_3$ - $(K_2O+Na_2O)$  图解上，二种不同成因的硅质岩（除了一个例外）也明显分为两个区，同样，大厂样品的投影点也都落在了火山或海底热卤水成因的硅质岩区内（图4）。

2. 长坡、铜坑锡矿床的含电气石岩或电气石岩总是呈纹层状或层状产出，常常被后期各种类型的脉状矿化所切穿，但其相反的关系从未见到。这种纹层状或层状岩石又总是与硅质条带、硫化物条带或碳质条带呈互层出现，并且在某些地段沿走向延伸可达100m以上。大量的薄片观察表明，条带状的含电气石岩或电气石岩与条带状硫化物或条带状硅质岩在走向上呈过渡关系是更普遍的特征。许多研究者们（Lapierre, 1980, Vokes, 1979, Plimer, 1980, Slack, 1982）在研究块状硫化物矿床时发现了这种现象，并且把这种产状的含电气石岩或电气石岩看作是硫化物在地层学上局部相的等同物，认为它们是海底热液喷气岩（Slack, 1982, Taylor等, 1984, Plimer, 1986）。显微镜下矿物之间生成关系的研究，为我们提供了电气石形成时间的重要信息。首先，在大厂矿区，在条带状的硫化物-硅质岩或条带状的硫化物-碳酸盐岩-硅质岩中，成岩期形成的梯状脉十分常见，由于硅质岩为脆性岩石，梯状脉主要形成于硅质条带中。脉中的充填物，则因条件而异。如果与硅质岩呈互层的条带是硫化物，则脉中充填物亦为硫化物（照片4，另有专文讨论）；如



果与硅质岩呈互层的条带是碳酸盐岩,则脉中充填物为方解石(照片5)。这种关系说明了硅质条带、硫化物条带、碳酸盐岩条带是同生沉积的,其次也说明了在成岩期的物理化学条件下,方解石和硫化物比石英、

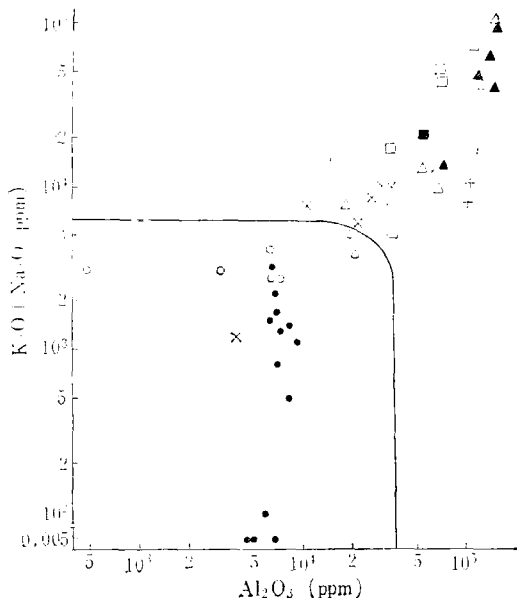


图4 不同成因的硅质岩中  $(K_2O + Na_2O) - Al_2O_3$  关系图  
(图例同图3)

Fig. 4.  $(K_2O + Na_2O) - Al_2O_3$  diagram for siliceous rocks of different origins.  
(Symbols as for fig. 3)

硅酸盐类矿物更易于活动迁移,因而梯状脉首先被它们所充填。有意义的是,在照片5的硅质条带中含有电气石、培长石、钾长石等硅酸盐矿物,它们都与微晶石英呈均匀分布,而从未出现于梯状脉中。显然,此处的电气石和长石是在梯状脉形成之前就已经存在于那里了,或者说它们是成岩期之前的产物。相反,如果这些硅酸盐矿物是后期热液蚀变形成的,那么蚀变热液就应该首先进入梯状脉中,而不是致密块状的硅质岩内,蚀变矿物应首先交代易于被交代的方解石,而不是致密硅质岩中的石英。也就是说,如果电气石、长石类矿物是后期热液蚀变形成的,那么它们首先应出现于梯状脉中,而不是相反。

另外,电气石的化学成分研究表明,一般情况下,与火成岩有关的脉状电气石是典型的黑电气石,而与块状硫化物矿床有关的层状电气石是镁电气石或者是富镁电气石与黑电气石类质同象系列的过渡种属(Taylor等,1984)。在个别矿区发现有富铁电气石,但这种电气石结晶粗大,是否受后来某种地质作用的影响,值得进一步研究。另外,也应该注意把层状电气石岩与补给带中脉状或块状电气石岩区别对待。因此,总体看来这两种不同成因的电气石在化学成分上明显不同,其中最重要的差别是FeO、MgO、CaO、Na<sub>2</sub>O的含量及其相应的比值。泰勒等<sup>[5]</sup>取自9个块状硫化物矿区的30个电气石样品所获得的分析结果表明,FeO 0.68—5.09%, MgO 6.65—12.38%, FeO/(FeO + MgO) 0.06—0.40 (平均0.21), Na<sub>2</sub>O/(Na<sub>2</sub>O + CaO) 0.31—0.91 (平均0.66)。大厂矿区11个样品分析结果与泰勒的数据十分相似,FeO 0.91—0.45%, MgO 7.71—10.05%, FeO/(FeO + MgO + MnO)、Na<sub>2</sub>O/(Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O + CaO)分别变化于0.02—0.37 (平均0.18)和0.46—0.97 (平均0.73) (表2)。在大厂矿区与火成岩有关的副矿物电气石或脉状电气石的化学成分则明显地不同于前者,其FeO 13.44—14.63%, MgO 1.02—1.98%, FeO/(FeO + MgO + MnO)、Na<sub>2</sub>O/(Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O + CaO)分别变化于0.87—0.93 (平均0.91)、0.82—0.94 (平均0.91) (表2)。为了把大厂矿区电气石岩与某些块状硫化物矿区(沙利文, Golden Dyke Dome)典型的电气石岩进行对比,分别绘制了图5、6。从图5可以看出,大厂、沙利文及Golden Dyke Dome矿区的电气石分别投影于一个确定的范围内(沙利文矿区的电气石投影于Ⅲ、Ⅳ两个区,是因为Ⅲ区的电气石是后期再结晶作用形成的),说明了在特定矿区内,电气石岩的形成条件比较稳定。从投影区的分布来看,这三个矿区的电气石都位于镁电气石与黑电气石之间,并且三者的分布范围较接近,但大厂矿区的电气石以更富镁为特征。同与火成岩有关的电气石相比,上述三个矿区的电气石明显与之有别。在电气石的组成分区图解上(图6),大厂、沙利文及Golden Dyke Dome矿区的电气石主要投影于变泥质和变砂质岩石区,其中大厂矿区电气石的投影区更接近镁电气石,远离与火成岩有关的电气石成分区(图6中的1、2、3区)。与火成岩有关的电气石名副其实地全部投影于贫Li花岗岩区,说明了电气石的成分确实反映了它们的成因。

总之,根据大厂矿区含电气石岩或电气石岩的产出特征,它们所特有的沉积组构以及电气石是成岩期

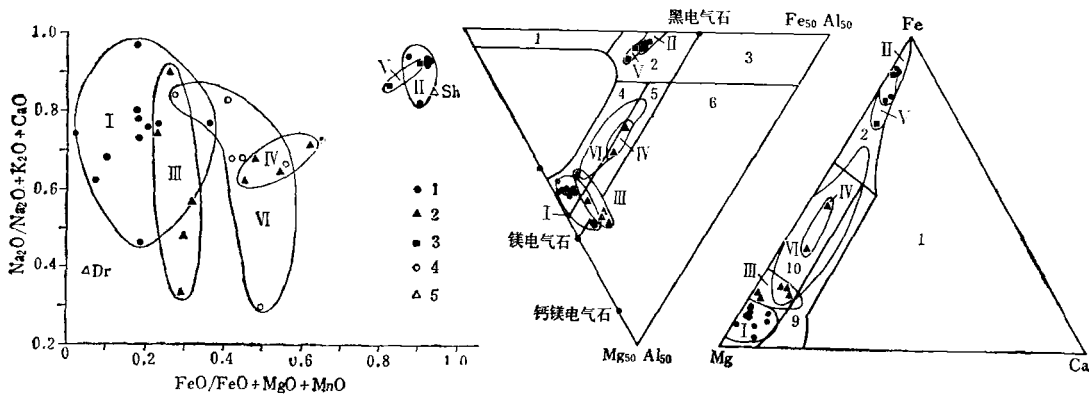


图 5 大厂锡多金属矿床及块状硫化物矿床中电气石成分对比图 (左图)

(据 Ethier 等<sup>[6]</sup>, 1977 图解改编)

I、1—大厂锡矿床中的电气石, 分别取自层状电气石岩、层状硫化物矿石及条带状硅质岩; II、1—大厂锡矿床中的电气石, 分别取自闪长玢岩中副矿物电气石和花岗斑岩中石英-电气石脉; III、2—沙利文矿区顶、底板的琥珀色电气石; IV、2—沙利文矿区淡绿色—褐色和褐色电气石; V、3—沙利文矿区附近下元古代岩株中黑电气石<sup>[6]</sup>; VI、4—北澳大利亚 Golden Dyke Dome 含金贱金属块状硫化物矿床中的电气石<sup>[7]</sup>; 5—电气石; ΔDr—镁电气石, ΔSh—黑电气石 (据 Deer 等 1972)

Fig. 5. Composition of tourmalines from the Dachang tin orefield, Sullivan Mine and Golden Dyke Dome (after Ethier et al., <sup>[6]</sup>1977) (left).

I、1—Tourmalines respectively from bedded tourmalinite, bedded sulfide ores and banded siliceous rocks of the Dachang tin orefield; II、2—Tourmalines respectively from diorite porphyry (as an accessory mineral) and quartz-tourmaline veins in granite porphyry of the Dachang tin orefield; III、2—Amber tourmaline from the Sullivan footwall and hanging wall; VI、2—Greenish-brown and brown tourmaline disseminated in the Aldridge metasediments in the eastern sector of the Sullivan orebody and concentrations of finely felted aggregates in laminae associated with quartz and pyrrhotite in the footwall of the central western sector; V、3—Black tourmaline from the Hellroaring Creek stock reported to be lower Proterozoic in age<sup>[6]</sup>, southeastern British Columbia, Canada; VI、4—Tourmaline from tourmalinite horizons in the Kapalga Formation from the Golden Dyke Dome<sup>[7]</sup>, Northern Australia. Open triangles marked with Dr and Sh indicate composition of dravite and Schorl respectively, reported by Deer et al. (1972).

图 6 大厂锡多金属矿床及块状硫化物矿床中电气石成分分区对比图<sup>[7]</sup> (右图)

1、2—富锂 (1) 和贫锂 (2) 花岗岩、伟晶岩和细晶岩区; 3—热液蚀变的花岗质岩石; 4—具有铝过饱和矿物的变泥质、砂质岩; 5—变泥质和变砂质岩; 6—富含 Fe<sup>3+</sup> 的石英-电气石岩石; 9—富钙变泥质岩; 10—贫钙变泥质岩、变质砂岩和石英-电气石岩, 其他同图 5

Fig. 6. Compositional fields of tourmalines from the Dachang tin orefield, Sullivan Mine and Golden Dyke (after Plimer, 1986) (right).

1, 2—Li-rich (1) and Li-poor (2) granitic rocks, pegmatites and aplites; 3—Hydrothermally altered granitic rocks; 4—Metapelites and metapsammities with Al-saturated minerals; 5—Metapelites and metapsammities; 6—Fe<sup>3+</sup>-rich quartz-tourmaline rocks; 9—Ca-rich metapelites; 10—Ca-poor metapelites, metapsammities and quartz-tourmaline rocks. Data for Sullivan Mine tourmaline are from Ethier<sup>[6]</sup>, for Golden Dyke Dome from Plimer<sup>[7]</sup>. Other symbols as for Fig. 5.

之前的形成物而不是后来物和电气石的成分不同于火成岩有关的电气石等事实, 我们认为这种岩石是从海底热卤水中沉积形成的。这种沉积物可能是一种富 Ba 的硅胶, 也可能就是直接从热卤水中沉淀出来的二氧化硅和电气石<sup>[6,7]</sup>。各种地质观察及地球化学研究表明, 后一种可能性更大。

3. 含长石或富长石岩在产状、分布、组构特征及矿物共生关系等方面都与含电气石岩或电气石岩十分相似, 说明了它们具有相同的生成环境和形成方式。这种岩石和长石单矿物中含 Ba 普遍高 (表 1、3), 如在

富含硫化物的钾长石岩中,钾长石含Ba最高可达4.51%,反映了它们形成于富Ba的环境。块状硫化物矿床中含Ba高是个普遍性的特征。Ba构成重晶石或毒重石,有时以独立的地层单位出现,有时呈纹层状或浸染状出现于其它热液沉积岩中。在加拿大塞尔温盆地的块状硫化物矿床中,重晶石或毒重石就常常与硅质岩相伴生。特别是在澳大利亚东北部Lau盆地所发现的重晶石-蛋白石岩中,三个样品含重晶石分别为2%、5%、30%,含蛋白石分别为25%、50%、30%,含火山玻璃分别为73%、45%、40%(Bertine等,1975)。无疑,这种重晶石-蛋白石岩应该是古代块状硫化物矿床中的重晶石硅质岩的现代实例。在大厂矿区的具体条件下,由于硫化物广泛发育,硫酸盐矿物缺乏,故Ba便参与到长石中。这种富Ba的长石往往与硫化物或石英共生,形成具有沉积组构特征的条带状岩石(照片4、5、6)。因此这种富Ba的地球化学环境为本矿区含长石或富长石岩形成于海底热卤水系统提供了另一个信息。

本矿区热液沉积岩微量元素及稀土元素地球化学也为其成因提供了有力证据,具体资料另有专文发表。

#### 四、讨论与结论

矿床学的发展史为我们提供了一个鲜明的事实,即与海底火山活动或热卤水对流循环系统有关形成的具有经济价值的沉积物——金属矿床,受到了全人类的极大重视,经过了长期的磨难,地质学家们终于认识了它们的成因。但没有经济价值的同类沉积物——容矿岩石,则受到了人们的冷遇,以致于对它们的成因至今尚处于捉摸不定的状态。在这里,一个关键性的问题是,海底火山活动或热卤水系统能否提供足够物质以形成热液沉积岩。尤其是这种系统能否提供足够的 $\text{SiO}_2$ 形成硅质岩,又是关键的关键,因为硅质岩是热液沉积岩中数量最多、分布最广的岩石。另外,在20℃时,非晶质 $\text{SiO}_2$ 要达到119.26ppm才能从正常海水中以化学沉淀方式沉积下来,而正常海水中只有4ppm的非晶质 $\text{SiO}_2$ 。下面我们用一些现代地热系统及海底热卤水系统的资料,简要阐明这个问题。

喜马拉雅地热带是一个没有火山活动,但水热爆炸及间歇喷泉活动十分强烈的现代陆相地热带,该区277个水样研究结果表明, $\text{SiO}_2$ 是热水中重要组分,其平均含量以32—100ppm为主,大于100ppm者占总样品数的17%。那些富含 $\text{SiO}_2$ 的热水,当热水喷到地表以后,则 $\text{SiO}_2$ 变为凝胶状态,以化学沉淀方式沉积下来,形成硅华台地、硅华丘。有的硅华丘高达50m,有的甚至高出河谷达400—500m。这些 $\text{SiO}_2$ 的沉淀物常呈致密块状、条带状构造<sup>(1)</sup>。上述资料虽然来源于陆相热泉系统,但全部是直接观察到的事实,它至少告诉我们热泉系统确实能提供大量的 $\text{SiO}_2$ ,并形成相当规模的硅质岩。关于现代海底火山活动和热卤水系统目前也积累了大量的资料:在Surtsey火山活动附近, $\text{SiO}_2$ 浓度突然提高了三倍(Stefausson,1966);在南极洲Deception岛火山喷气活动区附近,水体中Si和Mn浓度分别达到50700mg/l和2420mg/l(Eldorfield,1972);Bann Wuhu海底火山喷口热水中 $\text{SiO}_2$ 的含量比附近海水高10倍,铁和锰的氧化物沉淀作用显而易见(Zelenov,1964);红海热液系统(A-II海渊)的卤水中含 $\text{SiO}_2$ 为64.19ppm,是正常海水的16倍(Emery等,1969);太平洋21°N热泉系统中,喷口附近卤水含 $\text{SiO}_2$ 高达1291ppm(Rosenbauer等,1983)<sup>(2)</sup>,此处白色烟室喷出的流体主要成分是非晶质和重晶质的 $\text{SiO}_2$ 。研究证明,从这些卤水中形成的化学沉淀物确实含有大量的非晶质 $\text{SiO}_2$ 。如红海“A-II”海渊的沉积物中,铁蒙脱石相、非晶质针铁矿相,硫化物相和水锰矿相分别含 $\text{SiO}_2$ 为24.4%、8.7%、24.7%和7.5%,其中被确定下来含 $\text{SiO}_2$ 的矿物只有铁蒙脱石,因此,其它各项中均含有大量的非晶质 $\text{SiO}_2$ (Bischoff,1980)。在太平洋21°N“黑色烟室”沉积物中,也有大量非晶质 $\text{SiO}_2$ ,这些非晶质 $\text{SiO}_2$ 有的在硫化物表面呈球状,有的呈薄层状与硫化物互层产出(Haymon等,1981)。在澳大利亚东北部Lau盆地所发现的重晶石-蛋白石岩更是富含 $\text{SiO}_2$ 的现代热液沉积物。海洋地质学研究发现,海底热泉系统总是位于规模不大的局限性深水盆地内。如红海“A-II”海渊长14km、宽5km、水深2170m。太平洋21°N处的“黑色烟室”分布于长6.2km、宽仅0.2—0.5km、水深2600m的狭长盆地中。这就保证了排泄到海底的热卤水与广海中的大洋水互不发生混合,因而有利各类化学沉积物的形成。其实这种地质环境与古代块状硫化物矿床的形成环境是一致的。

许多研究者对海底火山活动或热卤水系统对海水成分的影响及其在地质历史中的演变给予了极大的重视。表5是每年排泄到海底的热卤水及注入大洋的河流带入海洋中某些成分的资料。不难看出, 卤水与河流带入大洋中的主要成分的数量几乎相等, 十分可观, 其中卤水带给大洋的 Mn、Li、Rb 更多。根据现代洋中脊热卤水对流系统计算, 在5—11Ma内, 全部海水可能通过洋脊对流循环一遍, 在200Ma内洋底可能更新一次, 因此洋底没有发现老于侏罗纪的岩石。这些资料说明了, 即使地壳运动处于相对稳定的今天, 海底热液系统对海水成分的影响也起着“二分天下”的作用。如果考虑到地球形成的早期, 海底火山活动

表5 海底热卤水及河流带入海洋成分对比表(mol/a)<sup>(9)</sup>

Table 5. Elements brought into the ocean by submarine hot brine and rivers respectively

元素	Ba	K	Mn	Li	Rb	Ca	Si	Mg
卤水	$6.1 \times 10^9$	$1.25 \times 10^{12}$	$16.5 \times 10^9$	$160 \times 10^9$	$2.7 \times 10^9$	$4.3 \times 10^{12}$	$3.1 \times 10^{12}$	$-7.7 \times 10^{12}$
河流	$10 \times 10^9$	$1.90 \times 10^{12}$	$4.5 \times 10^9$	$13.5 \times 10^9$	$0.37 \times 10^9$	$12 \times 10^{12}$	$6.4 \times 10^{12}$	$5.3 \times 10^{12}$

更强烈, 那么海底热液循环系统带给大洋的物质就更加可观。稀土元素地球化学的研究已经为此提供了证据。在太古代及早元古代, 含铁建造的各类化学沉积物都有显著的 Eu 正异常, Ce 未发现有意义的异常。但自中元古代开始, Eu 的正异常变得不明显, Ce 则出现了富集或亏损两种实例。在现代洋脊金属沉积物中, Eu 及 Ce 都具显著的负异常。显然, 随着地质时代的变化, 含铁建造中 Eu、Ce 所表现出来的规律性与海水成分变化有关。福里等<sup>(10)</sup>认为, 在太古代和早元古代有大量强还原热流体倾泻到海底, 在还原条件下 Eu 可以呈  $Eu^{2+}$  状态在热水流体中被优先搬运。因此, 当时海水富含 Eu, 各类化学沉积物都具有显著的 Eu 正异常。以后, 由于海水变成氧化型, 地球热平衡降低和大陆风化作用重要性增强, 海水中可溶解的  $Eu^{2+}$  逐渐变少, 各类富铁化学沉积物均亏损 Eu, 尤以现代洋中脊金属沉积物为特征。在上述过程中, Ce 的行为与 Eu 相似, 只是海水中 Ce 的明显亏损在局部地区于早元古代就发生了。以上事实证明, 在地质历史的早期, 由于强烈的火山活动, 确有大量的还原性热流体被排泄到海底, 并从中形成了具有相当规模各类化学沉积物, 尤其是硅质岩。当然, 随着地质历史的发展, 海底火山活动逐渐变弱, 与之有关的化学沉积物也相应减少, 以至于在现代大洋盆地中没有相当规模的这类沉积物被发现。显然, 在这里不能机械地应用“将今论古”的原则。基于这种理解, 把大厂锡多金属矿床产出的地质环境、含矿建造、主要容矿岩石的岩石学及地球化学特征联系起来看, 我们认为本矿区的硅质岩、各类层状的富含电气石、长石及硫化物的岩(矿)石都是从海底热卤水循环系统中以化学沉积方式形成。在以热液沉积岩为主的层位中, 有少量的陆源泥质混入, 形成纹层状的绢云母岩, 这并不是什么反常的现象, 而是客观地质作用的必然结果。

### 参 考 文 献

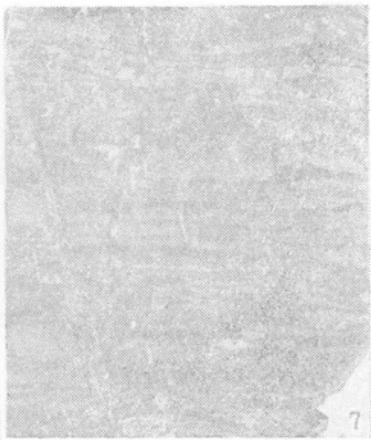
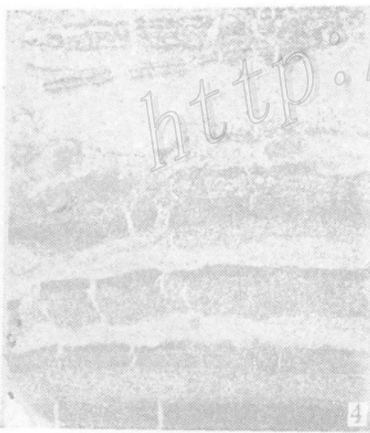
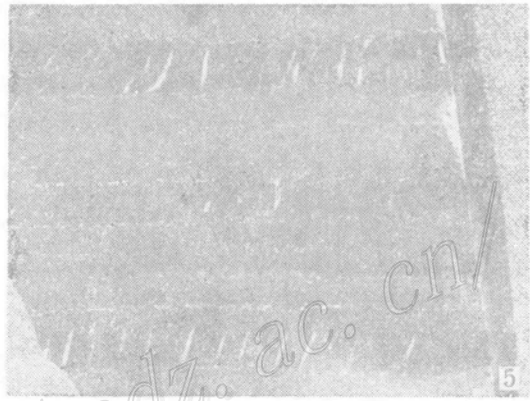
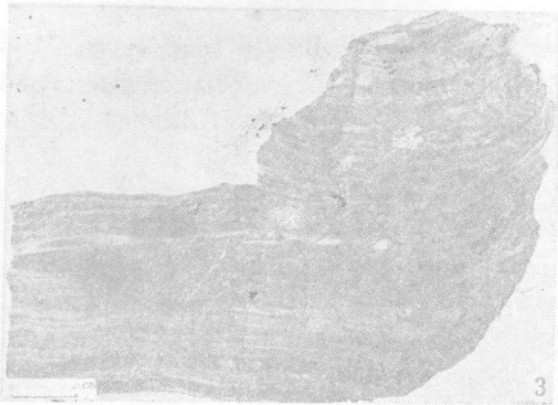
- [1] 中国科学院青藏高原综合科学考察队, 1981, 西藏地热, 科学出版社
- [2] Hein, J. R., Vallier, T. L. and Allan, M. A., 1981, Chert Petrology and geochemistry, mid-Pacific mountains and Hess Rise, deep sea drilling project Log 62. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, Vol. 62, pp.711—748.
- [3] Pollock, S. G., 1987, Chert formation in an Ordovician volcanic arc. Journal of Sedimentary Petrology, Vol. 57, No. 1, pp.75—84.
- [4] Takeo Watanabe, Shunzo Yui, Akiva kato, 1970, Metamorphosed bedded manganese deposits of the Noda-Tamagawa Mine. Volcanism and Ore Genesis.
- [5] Taylor, B. F., and Slack, J. F., 1984, Tourmalines from Appalachian-Caledonian massive sulfide deposits: textural, chemical, and isotopic relationships. Econ. Geol., Vol. 49, 1703—1726.
- [6] Ethier, V. G., Campbell, F. A., 1977, Tourmaline concentrations in Proterozoic sediments of the south-

- ern Cordillera of Canada and their economic significance. Canadian Jour. Earth Sci., Vol. 14.
- [7] Plimer, J. R., 1986, Tourmalinites from the Golden Dyke Dome, Northern Australia. Mineralium Deposita, 21, 263—270.
- [8] Rosenbauer, R. J., Bischoff, J. L., 1983, Uptake and transport of heavy metals by heated seawater. A summary of the experimental results. Hydrothermal processes at seafloor spreading center.
- [9] Honnorez, J., 1983, Basalt-seawater exchange: A perspective from an experimental viewpoint: Hydrothermal processes at spreading center.
- [10] Fryer, B. J., Fyfe, W. S., and Kerrich, R., 1979, Archean volcanogenic oceans. Chem. Geol., 24.
- [11] Хотян, м. Ю., 1972, Кремнистые породы поднемеловой эффузивно-туфово-кремнистой формаций полуострова камчатского мыса; литология и полезные ископаемые, No. 3, 97.

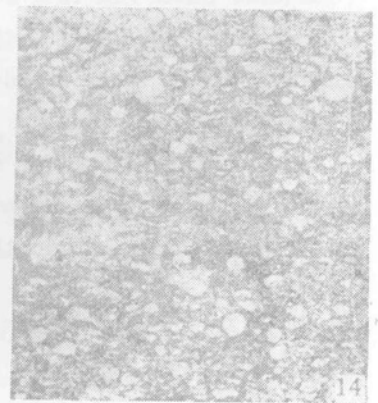
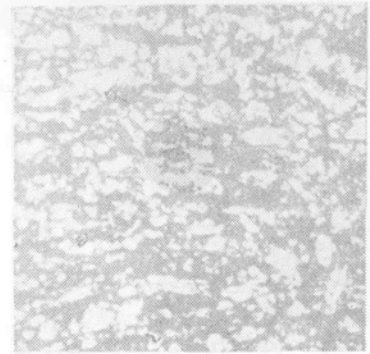
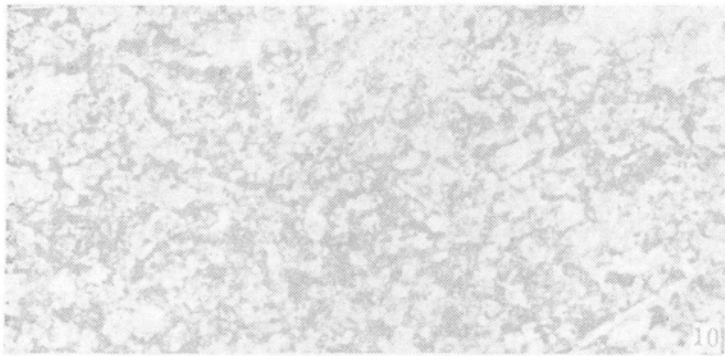
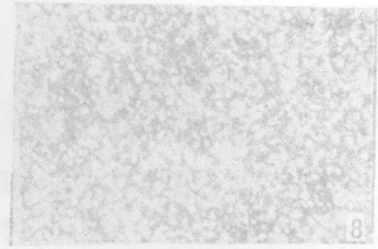
### 图版说明

1. 条带状硅质岩, 浅灰色者为黄铁矿, 暗色者为含碳硅质岩 C15 长坡锡矿
2. 条带状硅质岩, 暗色者为闪锌矿, 灰色者为磁黄铁矿, 浅灰色者为绢云母岩 T22 铜坑锡矿
3. 条带状富长石岩, 暗色者为含石英、绢云母的钾长石岩, 浅色者为含锡石的钾长石岩 DT24-5 铜坑锡矿
4. 韵律式条带状的硫化物-硅质岩, 硫化物(磁黄铁矿)中含钾长石 1/2原大 T1 铜坑锡矿
5. 条带状碳酸盐岩-硅质岩(或富长石岩), 亮灰色浸染状细条带为黄铁矿, 在硅质条带中形成非常特征的梯状脉 原大 T18 铜坑锡矿
6. 条带状富长石岩, 暗色者为含石英、绢云母的钾长石岩, 浅色者为含锡石的钾长石岩 DT25 铜坑锡矿
7. 条带状硅质岩, 暗色者为闪锌矿, 亮灰色者为磁黄铁矿, 灰色者为硅质岩 1/2原大 T888 铜坑锡矿
8. 硅质岩的微晶石英  $\times 100(-)$  C19 长坡锡矿
9. 硅质岩中含电气石的碳质条带  $\times 50(-)$  C15 长坡锡矿
10. 照片9 碳质条带中的电气石  $\times 200(-)$
11. 条带状电气石岩, 黑色者为黄铁矿, 细粒均一分布的暗色者为电气石  $\times 32(-)$  DC27 长坡锡矿
12. 照片11中电气石条带局部放大  $\times 200(-)$
13. 具缝合线结构的钾长石岩  $\times 100(+)$  DT25 铜坑锡矿
14. 条带状硅质岩中的胶粒结构  $\times 40(-)$  C8838 长坡锡矿

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



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



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

EVIDENCE FOR EXHALATIVE ORIGIN FOR ROCKS AND  
ORES OF THE DACHANG TIN POLYMETALLIC FIELD:  
THE ORE-BEARING FORMATION AND HYDRO-  
THERMAL EXHALATIVE  
SEDIMENTARY ROCKS

Han Fa

*(Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing)*

Richard W. Hutchinson

*(Geology & Geological Engineering dept., Colorado School of Mines, Golden, CO 80401)*

**Abstract**

The Dechang tin-polymetallic ore district is located in a midlate Paleozoic rift that flanks the southwestern border of the Jiangnan Massif. The Devonian sequence contains the main ore-hosting stratigraphic units, and main ore bodies are strictly confined within certain host strata.

The host rocks consist mainly of massive and bedded siliceous rocks, with lesser but important proportions of alternating thin beds of carbonates, feldspar-rich rocks and tourmaline-bearing rocks, or tourmalinites. Some of these rocks exhibit soft sedimentary deformation structures and textures. Petrologic and petrochemical studies indicate that the siliceous rocks contain virtually no siliceous tests of biogenic origin, but are enriched in  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $MgO$ ,  $K_2O$ , and  $Na_2O$ , suggesting that these siliceous rocks are different from biogenic ones. The tourmalinites alternating with carbonaceous beds are enriched in  $MgO$ , and composition of the tourmaline is similar to that in bedded tourmalinites from massive base metal sulfide deposits. The feldspar-rich beds often contain important amounts of cassiterite. They generally also contain a high content of barium, and  $BaO$  content of individual feldspar grains reaches 4.51%. These data suggests that these siliceous and other unusual bedded rocks are of submarine hydrothermal exhalative origin.