

# 辽东地区硫铁矿床中电气石岩热水沉积剖面 结构序列<sup>\*</sup>

## Occurring Order of Tourmaline Rocks Associated with Pyrite Deposits in East Liaoning: An Indicator of Hot- Water Deposition at Sea Bottom

夏学惠  
Xia Xuehui

(化工部化学矿产地质研究院 涿州 072754)

(*Geological Institute for Chemical Minerals, Ministry of Chemical Industry, Zhuozhou, 072754*)

**提 要** 电气石岩在辽东元古宙裂谷内的硫铁矿床中广泛发育, 辽河群高家峪含矿建造中, 富电气石岩主要与硫铁矿体成矿关系密切。这种富电气石岩产出层位稳定, 在成因上具有特殊的纹层状、条带状、块状剖面结构序列。这种由纹层状电气石岩逐渐过渡到块状电气石磁黄铁矿石(层)的演变特征, 是海底喷流成矿作用的典型代表。经对比研究, 辽东地区的电气石岩与世界许多超大型块状硫化物矿床, 尤其是沉积岩中的(SEDEX)矿床中的电气石岩特征十分相似。本文通过电气石岩韵律层的自组织成因, 电气石的FeO/(MgO+FeO)比值、氢氧同位素、稀土元素组成等的研究, 建立了热水沉积电气石岩的序列找矿模式。提出了电气石岩是元古代克拉通裂谷环境中海底喷流作用形成的。纹层状电气石岩与块状电气石磁黄铁矿石(层)的这种成因联系具有重要找矿标志意义。它的出现可以指示热液通道, 喷口的位置及热水沉积盆地的范围。从而为确立矿体的分布规律提供信息。依据这一成矿标志, 在面临闭坑的老矿山外围找到了矿体。

**Abstract** Tourmaline rocks widely occur within the pyrite deposits of the Proterozoic rift in the eastern part of Liaoning province, particularly in the pyritized sequences of the Gaojiayu formation of the Liaohé group. Genetically closely linked with pyrite mineralization, they not only rest on specialized stratigraphic levels, but also constitute a characteristic spatial order of occurrence from laminar tourmaline to banded tourmaline to massive tourmaline, an orderly orientation typical of mineralization through sea-floor spouting. Comparative studies reveal that the tourmaline rocks in the eastern Liaoning have almost the same occurring features as do those associated with some superlarge pyrite deposits, mostly of sedimentary

\* 1996-05-15 收稿, 1996-09-16 改回。

本文为化学工业部重点研究项目(编号93-2-24)的成果之一。

作者简介: 夏学惠 男 1955年出生 高级工程师 硫铁矿床地质及矿物学专业

genesis, in the other parts of the world. Following systematic researches on the eastern Liaoning's tourmaline rocks in terms of self-structuring in rhythmic layers, ratios of  $\text{FeO}/(\text{MgO}+\text{FeO})$ , oxygen and hydrogen isotopes and REE pattern, a model for their hot-water depositional orders was proposed for locating the related pyrite deposits. And it was pointed out that all these tourmaline rocks should be attributed to sea-floor, hot-water spouting in intracraton basins. They, particularly laminar tourmaline rock tend to coexist with pyrrhotite layers, thereby serving as an important guide to hunting ores. Moreover, their occurring orders can underline what channels the hydrothermal solution flowed through, where the spouting vents were situated and how much the range of the depositional basins cover, thus providing a great deal of information about how to identify the locations of pyrite orebodies. In fact, the application of these practices to those mines which will soon be mined out has led to discovery of new orebodies in their peripheral areas.

**主题词** 电气石岩 热水沉积 剖面结构 找矿模式 硫化物矿床 辽东地区

**Key words:** Tourmaline rock; Hot-water deposition; Occurring order; Model for ore-hunting; Sulfide deposit; Eastern part of Liaoning province

**分类号:** P611

**Classific. Code:** P611

## 1 电气石岩产出的地质背景

辽东元古宙地层内赋存着一系列多金属硫铁矿床,矿床的产出受辽东裂谷(陈荣度,1990)控制明显。辽东裂谷演化的不同阶段的构造-沉积环境是本区多金属硫铁矿成矿最重要的前题条件。

笔者在对裂谷内张家沟-蔡家沟含铜磁黄铁矿成矿带的研究中,发现成矿带内的硫铁矿床普遍与纹层状电气石岩关系密切。本区硫铁矿床赋存于元古宙辽河群高家峪组一套沉积变质岩系中,含硫建造呈东西向展布,与裂谷展布方向一致(图1)。含硫建造下部层位为里尔峪组含硼海相火山-沉积岩<sup>①</sup>。著名的辽东硼矿就赋存在此层位内。这意味着含硫建造下伏地层中存在着巨大的“硼库”。含硫建造岩石组合主要为石墨变粒岩、透辉石大理岩、方柱石大理岩、镁电气石变粒岩、微斜长石岩、富电气石岩、电气石磁黄铁矿岩等。电气石岩呈层状与地层产状一致,延长稳定,含硫建造内断续延伸约30km。区域上常与硫化物矿床紧密伴生。从岩石结构构造分析,层状电气石岩与后期成岩变质作用关系不大。与层状硫铁矿密切伴生的电气石岩为一种含硼化学沉积物。

## 2 热水沉积电气石岩剖面结构特征

电气石岩主要呈层状产于硫铁矿层的下部或呈夹层赋存在硫化物矿层中间,厚度为0.5~3m,呈层状、透镜状,延伸稳定。受后期构造作用与含矿地层一起产生同步褶皱(图2)。在

<sup>①</sup> 夏学惠等,1995.辽东风城地区硫铁矿成矿条件及找矿方向研究报告.

长约30km的硫铁矿带范围内均有层状电气石岩的发育,并与含铜磁黄铁矿床紧密伴生。经过6个矿床坑道详细研究,发现富电气石岩在剖面上产出规律明显。这种规律表现在作为近矿围岩的矿体底板电气石岩主要呈纹层状(照片1)、韵律层状(照片2),向上逐渐过渡为条带浸染状电气石磁黄铁矿岩(照片3),继续沿垂向剖面渐变为块状电气石磁黄铁矿矿石(层)(照片4)。几类含电气石岩石和矿石的特点描述如下。

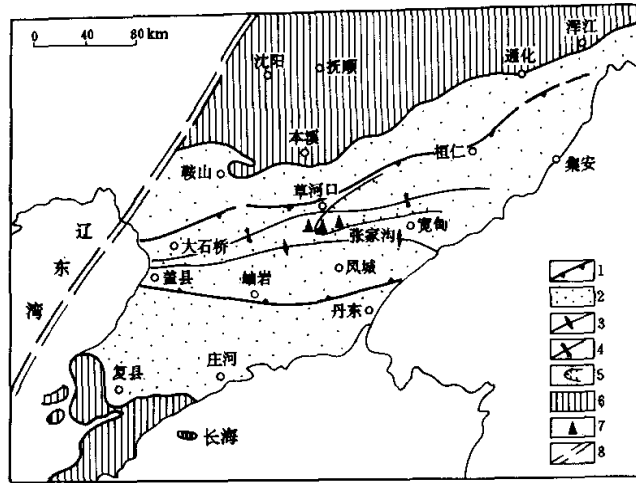


图1 辽东裂谷构造环境及硫铁矿位置略图(据陈荣度,1990修改)

1. 深断裂带; 2. 裂谷沉积; 3. 主要背斜; 4. 主要向斜; 5. 地壳减薄区; 6. 太古宙古陆; 7. 硫铁矿床与电气石岩产出位置; 8. 古邻庐断裂带

Fig. 1 Tectonic setting and position of sulfide-pyrite deposits of East Liaoning rift

## 2.1 纹层状电气石岩

岩石呈棕灰色、褐黄色,纹层构造非常发育(照片1),局部地段可见韵律层理(照片2)。岩石主要由电气石和石英组成,电气石含量一般在60%~85%,有部分含微量磁黄铁矿、石墨等。岩石组成矿物颗粒细小,粒径在0.1~0.15mm,粒状变晶结构,自形-半自形粒状镶嵌结构(照片5),矿物颗粒间无定向。

韵律层理主要由不同矿物变化所再现,如浅色层理主要由微斜长石构成,渐变为电气石与微斜长石混合层,进而过渡到镁电气石暗色层理。这种现象在一块薄片上就可观察到(照片6)。组成韵律层理的微斜长石颗粒细小,粒度均匀,粒径在0.08~0.1mm,格子双晶发育(照片7)。韵律层的宽度一般在0.5~1.5cm。化学成分上表现为暗色层富Fe、B、Mg,而浅色层富K、Al、Si。

## 2.2 条带状电气石磁黄铁矿岩(石)

这种岩石呈棕褐色,具条带(照片3)、条带浸染状构造,局部地段可见斜层理构造(照片8)。岩石主要由镁电气石和磁黄铁矿组成,电气石含量在40%~60%,含少量石英、金红石

等,电气石粒径一般在0.1~0.2mm,与磁黄铁矿不均匀地相间出现。电气石呈自形短柱状,磁黄铁矿呈它形粒状,二者形成相间结构。

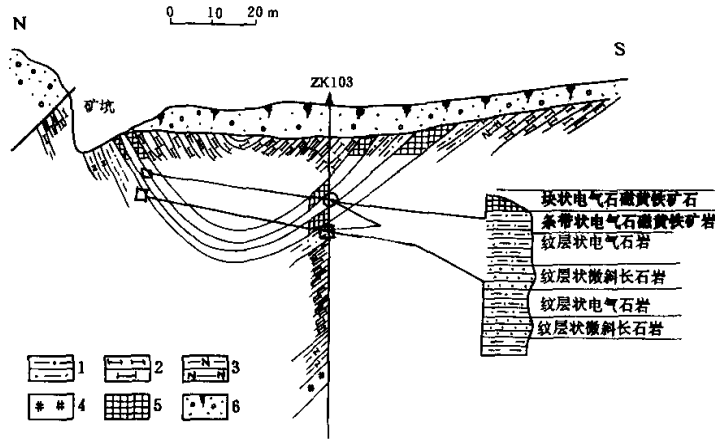


图2 辽东硫铁矿床蔡家沟矿段60线剖面图(据丹东地质大队资料与现在采矿坑道实测剖面编绘)

1. 纹层状电气石岩; 2. 透闪透辉变粒岩; 3. 石墨变粒岩; 4. 花岗伟晶岩; 5. 电气石磁黄铁矿矿石层; 6. 第四系残坡积物

Fig. 2 Cross-section of No. 60 exploration line in Caijiagou ore block

斜层理构造主要发育在郭家粉房矿床中,组成斜层理矿物主要为电气石和磁黄铁矿。这种层理构造的产生,可能与浊流或含矿热流体在溢出喷口后,由于动力作用对先形成的沉积层在未固结的情况下产生剪切拖拽有关。正象现在大洋底喷流沉积产生的同生角砾、斜层理构造一样,它们均反映了成矿流体溢出喷口后沿水-岩界面流动,对尚未固化的沉积物产生作用的结果。

### 2.3 块状电气石磁黄铁矿石

这种矿石呈灰黑色、古铜黄色,以块状构造为主。矿石主要由电气石和磁黄铁矿组成(照片4),电气石含量变化较大,在20%~45%,磁黄铁矿含量50%~75%含少量黄铜矿、石英等。电气石颗粒大小不一,均匀地分布在磁黄铁矿内(照片4),粒径变化在0.06~0.25mm间,电气石自形程度较高。镜下可见与磁黄铁矿共生的电气石常具有环带。

## 3 电气石岩的岩石化学特征

富电气石岩岩石化学成分见表1。由表1可以看出,从纹层状电气石岩→条带状电气石磁黄铁矿岩→块状电气石磁黄铁矿石,化学组分发生了一系列变化。其中SO<sub>2</sub>、TiO<sub>2</sub>、B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含量由高到低,Fe含量则明显增高。

表1 电气石岩与电气石磁黄铁矿石化学成分(%)

Table 1 Chemical composition (%) of tourmalinites and pyrrhotite ores

样号	G-21	G-23	G-16	G-19	G-18	Zh-02	Zh-03
岩石名称	纹层状电气石岩	纹层状电气石岩	条纹状电气石岩	条纹状电气石岩	条带状磁黄铁矿电气石岩	块状电气石磁黄铁矿石	块状电气石磁黄铁矿石
SiO <sub>2</sub>	59.04	61.04	61.00	56.60	59.35	31.42	26.46
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.72	13.96	13.93	17.99	15.26	4.36	1.16
TiO <sub>2</sub>	0.55	0.41	0.48	0.54	0.56	0.18	0.08
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.03	1.01	1.23	1.32	1.13	TFe 35.14	TFe 42.20
FeO	2.56	4.94	5.25	2.84	2.88		
MnO	0.048	0.044	0.066	0.045	0.058	0.038	0.044
CaO	1.57	2.06	2.04	1.71	1.40	0.32	0.34
MgO	5.10	5.68	5.30	7.98	5.21	1.50	0.53
K <sub>2</sub> O	2.84	0.16	0.31	0.13	8.89	0.0048	0.014
Na <sub>2</sub> O	0.47	0.18	0.30	0.30	0.30		0.015
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.19	0.10	0.18	0.072	0.10		
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.41	5.13	4.92	5.76	2.74	4.60	2.10
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0.95	0.65	0.82	2.30	1.10		
CO <sub>2</sub>	1.22	0.72	0.40	0.34	0.28	Ts 21.73	Ts 26.91
有机C	0.34	0.23	0.37	0.32	0.21		
灼减	2.82	3.64	3.36	2.28			
总量	100.86	99.95	99.96	100.54	99.20	99.27	99.85

注:表中数据由化工部地质研究院测试中心分析, TFe 为全铁含量, Ts 为全硫含量。

电气石岩被认为是一种富硼的硅质建造 (Plimer, 1986), 所存在的差别只是硼的高度富集。据此可以采用硅质岩的 TiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 和 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-(K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O) 二元图解判别电气石岩的成因。将辽东地区电气石岩投影在图 3 和图 4 上, 岩石均落在海底热液沉积成因的硅质岩区, 其投点与沙利文铅锌矿区的由典型海底喷气作用所形成的块状硫化物矿床内的电气石岩、Broken Hill 铅锌矿床中电气石岩一致 (Slack, 1993)。

富电气石岩的稀土元素组成见表 2, 从表 2 看出, 从纹层状电气石岩-块状电气石磁黄铁矿石(岩), 稀土元素 ΣREE 显著降低, ΣREE 从 23.73 μg/g 变化到 8.66 μg/g(平均)。电气石岩和电气石磁黄铁矿石球粒陨石标准化稀土元素分配模式, 均反映为 Ce 亏损, 但电气石岩除 Ce 亏损外还具有 Eu 正异常的特点。而电气石磁黄铁矿石则更接近于平坦型(图 5)。辽东地区电气石岩稀土元素特征与 (Michard, 1986) 报道的现代大洋底热液沉积岩稀土元素(总量低, 轻稀土元素含量大于重稀土元素含量, Eu 正异常和 Ce 亏损)特征是一致的(夏学惠, 1995)。

对不同岩(矿)石中的电气石在同一条件下进行电子探针成分分析(表 3)。从分析结果可以看出, 由纹层状→条带状→块状岩(矿)石中电气石成分发生了系列变化, FeO 含量由 4.43%→8.05%→10.59%(平均); 计算电气石化学式, 由铁-镁系列向镁-铁电气石系列演化。无论是纹层状还是块状矿石中电气石的 FeO/(FeO+MgO) 比值则局限在 0.17~0.69 范围内, 与世界许多海底喷气成因的硫化物矿床中的电气石接近。在 Al-Fe<sub>50</sub>Al<sub>50</sub>-Mg<sub>50</sub>Al<sub>50</sub>成分图

解(图6)中,所有电气石投影点全部落在变质泥岩和变质砂岩的电气石成分区。与阿巴拉契亚块状硫化物矿床中的电气石分布范围一致。

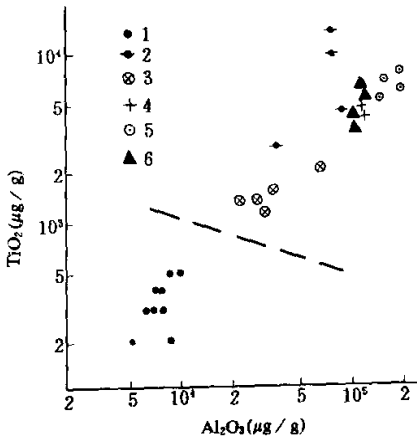


图3 不同成因类型硅质岩 TiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 图解  
1. 生物成因硅质岩; 2. 火山弧区硅质岩; 3. 与海底热卤水有关的热液沉积硅质岩; 4. 沙利文铅锌矿区电气石岩; 5. 布罗肯希尔矿区的电气石岩; 6. 辽东风城硫铁矿床中电气石岩

Fig. 3 TiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> diagram of different genetic types of siliceous rocks

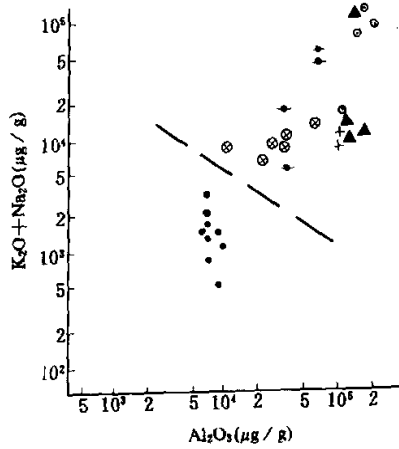


图4 不同成因类型硅质岩的 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-(K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O)图解(原图据毛景文等, 1990; 图例同图2)

Fig. 4 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-(K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O) diagram of different genetic types of siliceous rocks

表2 电气石岩和电气石磁黄铁矿石稀土元素分析(μg/g)  
Table 2 REE analysis of tourmalinites and pyrrhotine ores(μg/g)

样品号	Sm-01	S-07	S-02	Sm-04	S-11	Z-08
岩石名称	纹层状电气石岩	纹层状电气石岩	条带状电气石岩	条带状电气石岩	电气石磁黄铁矿石	电气石磁黄铁矿石
La	6.02	3.32	4.09	5.67	1.39	0.6
Ce	10.48	3.55	5.31	9.45	2.88	0.122
Pr	0.93	<1.00	0.63	<1.00	0.332	0.152
Nd	3.28	2.90	1.85	3.24	0.95	0.337
Sm	0.74	0.81	0.51	0.90	0.24	0.10
Eu	0.38	0.24	0.37	0.31	0.081	0.03
Gd	0.44	0.54	0.64	0.71	0.252	0.12
Tb	<0.30	<0.60	<0.30	<0.60	0.045	0.02

续表 2

样品号	Sm-01	S-07	S-02	Sm-04	S-11	Z-08
岩石名称	纹层状电气石岩	纹层状电气石岩	条带状电气石岩	条带状电气石岩	电气石磁黄铁矿石	电气石磁黄铁矿石
Dy	0.56	0.66	0.85	0.55	0.245	0.123
Ho	0.13	0.14	0.24	<0.20	0.048	0.024
Er	0.25	0.38	0.66	0.22	0.127	0.072
Tm	<0.10	<0.20	<0.10	<0.20	0.02	0.012
Yb	0.33	0.36	0.77	0.21	0.114	0.066
Lu	<0.10	<0.20	<0.10	<0.20	0.02	0.01
Y	3.11	5.22	6.00	2.84	1.39	0.654
ΣREE	27.15	19.67	22.32	25.79	8.134	2.242
δEu	2.04	1.136	2.195	1.287	1.10	0.93
δCe	0.839	0.44	0.63	0.83	0.86	0.08
(La/Sm) <sub>N</sub>	5.082	2.564	5.012	3.936	3.62	3.75
Sm/Nd	0.675	0.838	0.828	0.834	0.757	0.891
(Gd/Yb) <sub>N</sub>	0.817	0.918	0.509	2.075	1.355	1.114
(La/Yb) <sub>N</sub>	7.772	3.371	2.426	11.598	5.947	2.99
Eu/Sm	1.406	0.813	1.986	0.944	0.925	0.822
LREE/HREE	4.357	1.478	13.49	3.788	2.598	1.218

注: 稀土元素分析由国家地质实验测试中心伍新宇等完成。

表 3 电气石电子探针成分分析(%)

Table 3 Electron microprobe analyses of tourmalines in percentage (%)

样号	1	2	3	4	5	6	7
岩(矿)石类型	纹层状电气石岩	纹层状电气石岩	纹层状电气石岩	条带状电气石磁黄铁矿石	条带状电气石磁黄铁矿石	条带状电气石磁黄铁矿石	块状电气石磁黄铁矿石
SiO <sub>2</sub>	37.50	37.29	38.15	37.40	37.51	37.74	38.04
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	30.94	34.35	34.81	30.40	32.43	32.74	32.80
FeO	2.49	4.50	4.35	5.47	8.02	8.07	10.59
CaO	2.43	2.25	2.06	1.69	2.28	1.09	1.14
MgO	11.91	5.52	6.16	10.68	5.84	5.24	4.84
K <sub>2</sub> O	0.10	0.29	0.40	0.10	0.43	0.46	0.30
Na <sub>2</sub> O	1.67	1.88	2.44	1.82	1.84	2.55	2.35
TiO <sub>2</sub>	1.02	1.37	0.57	0.80	0.55	0.47	0.57
MnO	0.04	0.43	0.04	0.06	0.10	0.15	0.38
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.70			9.75			
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0.80			1.00			
F	0.39			0.33			
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.019	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		0.99	0.82		0.80	0.82	0.00
LiO	0.008			0.016			
FeO/(FeO+MgO)	0.17	0.45	0.43	0.34	0.56	0.61	0.69

注: 序号1、4为化学分析, 分析者: 国家地质实验测试中心; 其它为电子探针(JCXA-733型电子探针仪)分析, 分析者: 中国地质科学院矿床所探针室陈克槐。

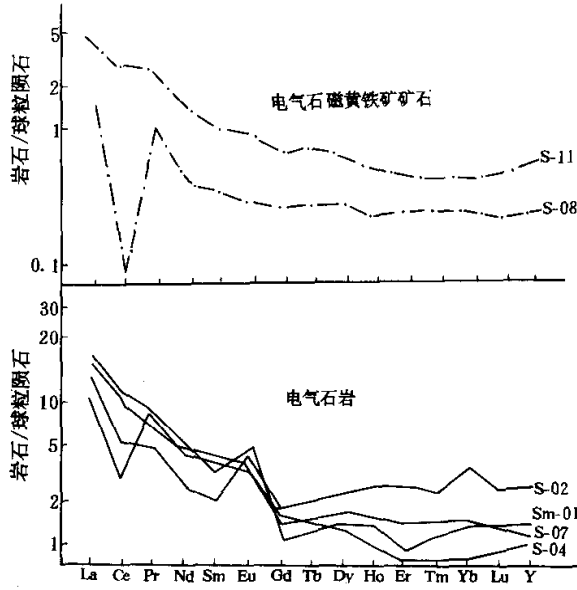


图5 电气石岩和电气石磁黄铁矿矿石稀土元素标准化模式

Fig. 5 REE distribution pattern of tourmalinite rocks and Pyrrhotite ores

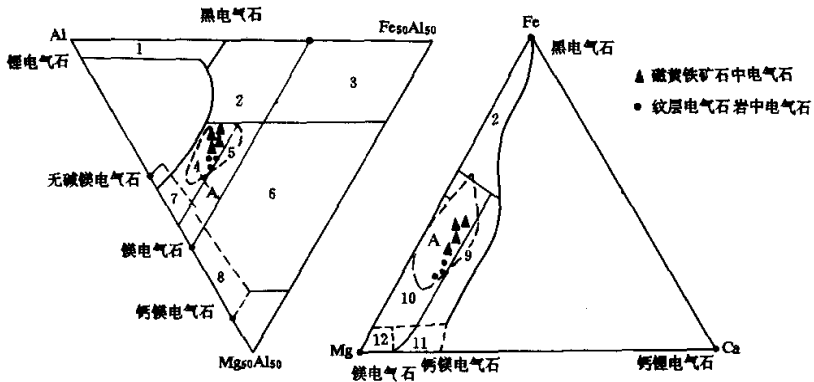


图6 电气石成分分区图(据 Taylor and Slack, 1984)

1. 富锂电气石岩、伟晶岩和细晶岩；
2. 贫锂花岗岩、伟晶岩和细晶岩；
3. 热液蚀变花岗岩；
4. 具铝过饱和相的变质泥岩和变质砂岩；
5. 不含铝饱和相的变质岩和变砂岩；
6. 富含  $K^+$  的石英-电气石岩、钙-硅质岩和泥质变质岩；
7. 富铈、钽的沉积变质岩；
8. 变质碳酸盐岩和变质辉石岩；
9. 富钙的变质泥岩；
10. 贫钙变质泥、砂岩及石英-电气石岩；
11. 变质碳酸盐岩

Fig. 6 Compositional plot of tourmalines (after Taylor and Slack, 1984)



## 4 电气石氢氧同位素组成特征

为了考查电气石在不同类型岩(矿)石中的变化特点,对纹层状电气石岩与块状电气石磁黄铁矿石内的电气石分别进行氢、氧同位素测定。其中纹层状电气石岩内的电气石 $\delta^{18}\text{O}$ 变化在14.8‰~16.7‰,  $\delta\text{D}$ 变化在-50‰~-53‰。块状电气石磁黄铁矿石内的电气石 $\delta^{18}\text{O}$ 为13.3‰,  $\delta\text{D}$ 为-62‰。与Taylor and Slack(1984)报道的块状硫化物矿床中电气石氢、氧同位素值接近。

在电气石氢-氧同位素组成变化图中(夏学惠, 1995), 辽东地区硫铁矿床中电气石投点均落入块状硫化物区域内, 与国外典型海底喷气块状硫化物矿床中的电气石一致。而与花岗伟晶岩中的电气石显著不同。

## 5 电气石岩的成因与找矿模式

上述几方面的研究表明, 辽东地区硫铁矿成矿带内的电气石岩是一种与硫化物矿层密切伴生的热水沉积岩。含矿建造岩石化学及沉积环境分析<sup>①</sup>, 盆地内富含B、Ba、K、Si、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{S}$ 等组分, 具有海底深部循环热水的某些特点。这种海底热水沿同生断裂溢出, 进入沉积盆地而成矿。辽东裂谷构造演化研究(陈荣度, 1990; 邴贵先, 1984)表明, 张家沟-蔡家沟一带含矿建造是裂谷演化一定阶段的产物, 含矿建造分布明显受深断裂控制。深断裂所狭的断陷盆地是硫化物沉淀的有利场所。从张家沟矿区到郭家粉房矿区的狭长含矿岩系中普遍发育层间同生角砾。矿石中出现的特殊同生棱角状、撕裂状混杂矿石, 硫化物矿层内的斜层理, 电气石岩的韵律层等, 都是同生断裂常期间歇性活动的有利证据。同生断裂为深部含矿热水活动提供了通道。如电气石韵律层的形成, 为一种组分分层的自组织结构。这种自组织原因, 可能与裂谷内同生断裂喷流的热水流动力学有关。在地热活动区下部的天然热储中, 因下部温度高, 含化学物质多, 故存在两种梯度之间的偶合和竞争, 由于温度梯度导致流体不稳定, 而浓度梯度又促使流体稳定, 这就产生了一个有限的对流层, 这种热储具有流体双扩散对流分层(王江海, 1993)。当热储中的分层流体因压力梯度而使流体分层上升, 含K、Al、Si的组分沿同生断裂溢出, 沉淀形成浅色层——微斜长石层(照片6)。当含B、Fe、Mg的组分上升时则形成暗色层——含磁黄铁矿镁电气石层(照片6)。由于深部动力的变化, 同生断裂的常期活动, 这就形成了本区硫铁矿床中的韵律性组分分层现象。当运移流动的含矿热水经过下伏含硼“库岩”并同时产生淋滤作用。经过热循环作用的含矿化剂B、 $\text{H}_2\text{S}$ 、Fe、Cl的热水溢出喷口进入盆地后, 由于这种裂谷环境具有储存、聚集成矿元素的条件, 使通过同生断裂溢出的含硼成矿物质不致流散。在热水喷流动力学作用与盆地物理化学条件控制作用下, 硼和硫化物分别有序沉淀, 形成了纹层状电气石岩向电气石磁黄铁矿层过渡的剖面结构序列。这种电气石岩剖面结构的出现, 在该区具有普遍性, 具有重要的找矿意义。出现这种剖面结构序列, 是喷流热水沉积的特殊环境所决定的, 是物质来源、物化条件, 控矿盆地综合作用的结果。

① 夏学惠, 1995. 辽东风城地区硫铁矿成矿条件及找矿方向.

电气石岩在沉积剖面上表现为明显的纹层状、条带状、块状剖面结构序列,即由下部的近矿围岩——纹层状电气石岩逐渐过渡为条带状电气石磁黄铁矿岩(石),最终过渡到上部的块状电气石磁黄铁矿(层)。它是一种特殊热水沉积的产物,图7中热水沉积电气石岩纹-条-块剖面结构序列模式,代表了辽东凤城地区元古代裂谷带中硫化物矿床成因与找矿的典型模式。这一区域性模式的建立,为在该区及华北地台北缘元古宙分布区找寻硫化物矿床提供了理论依据,我们利用这一找矿模式已为面临闭坑的老矿山(马坊矿)找到了可采矿体。

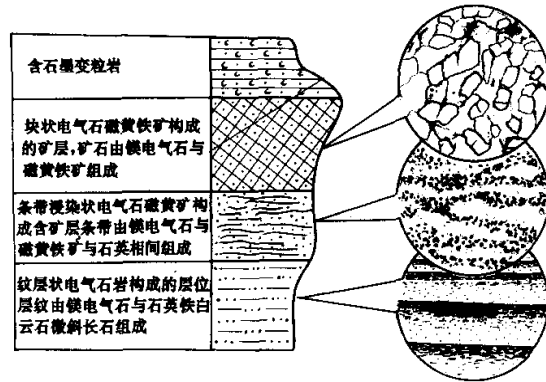
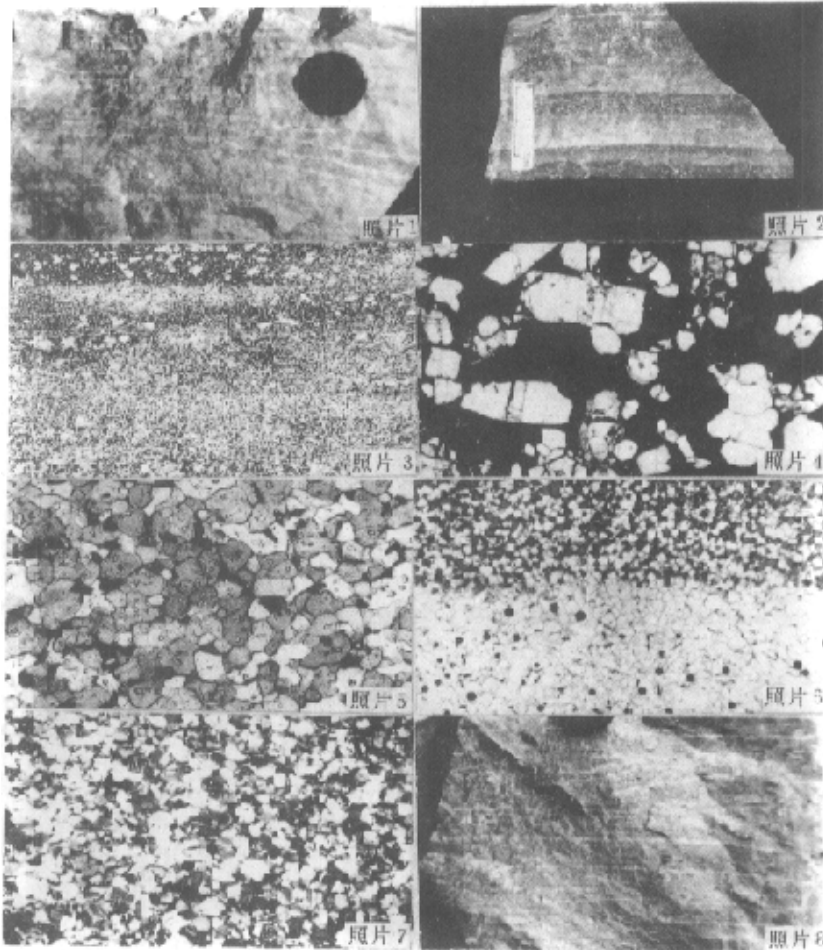


图7 热水沉积电气石岩纹、条、块剖面结构序列模式  
Fig. 7 Texture sequential model of laminated bedding-streaked-massive form tourmaline rocks of hot water deposit

### 参 考 文 献

- 陈荣度. 1990. 辽东裂谷的地质构造演化. 中国区域地质, (4): 306~315
- 王江海. 1992. 耗散结构理论与地质学研究. 地球科学进展, (2): 5~11
- 毛景文, 陈毓川, 陈晴勋, 杨开泰. 1990. 中国桂北地区两类电英岩及其对成矿环境的指示. 岩石矿物学杂志, 9 (4): 290~297
- 夏学惠. 1995. 热水沉积电气石岩稀土元素地球化学特征. 地质地球化学, (6): 57~59
- 夏学惠. 1995. 辽东裂谷带硫化物矿床内电气石系列矿物学与找矿关系. 矿物岩石, 15 (4): 62~71
- 邴贵先. 1984. 辽东早元古代裂陷槽. 辽宁地质学报, (2): 12~14
- Jebrak M and Gauthier M. 1991. Terrigenous dilution using a method for quantifying hydrothermal input in the sedimentary environment. Marine Geology, 98 (1): 17~24
- Michard A. 1986. The REE content of some hydrothermal fluids. Chem. Geol., 55: 51~60
- Plimer I R. 1986. Tourmalinites from the Golden Dyke Dome, Northern Australia. Mineralium Deposita, 21: 263~270
- Slack J F, Palmer M R. 1993. Origin and significance of tourmaline-rich rocks in the Broken Hill district, Australia. Econ. Geol., 88 (3): 505~541
- Taylor B E and Slack J S. 1984. Tourmalines from Appalachian-Caledonian massive sulfide deposits: textural, chemical and isotopic relationship. Econ. Geol., 79: 1703~1726



**照片说明** 1. 纹层状电气石岩, 电气石与石英相间构成纹层, 大注硫矿野外坑道照象, 放大2倍; 2. 韵律层理构造, 暗色层为电气石, 浅色层为微斜长石与少量铁白云石, 标本编号G-21; 3. 条带状电气石磁黄铁矿, 浅色为石英电气石, 深色为磁黄铁矿, 薄片, 视域对角线长2.8cm; 4. 块状电气石磁黄铁矿, 白色为镁电气石, 黑色为磁黄铁矿, 薄片, 单偏光, 视域对角线长1.346mm; 5. 纹层状电气石岩内的电气石(暗色)与它形石英(白色)相互嵌布, 薄片, 单偏光, 视域对角线长3.378mm; 6. 韵律层内的电气石(深色)与微斜长石(浅色)二者界线明显, 薄片, 单偏光, 视域对角线长3.378mm; 7. 韵律层内的浅色层均由微斜长石和少量铁白云石组成, 微斜长石格子双晶发育, 薄片, 正交偏光, 视域对角线长1.346mm; 8. 斜层理构造, 层理由石英电气石和磁黄铁矿构成, 标本。