

# 中条山铜矿区电气石特征及其 对成岩成矿作用的示踪意义

孙海田 葛朝华 冀树楷

(中国地质科学院矿床地质研究所) (山西省地质研究所)

**关键词:** 中条山地区; 早元古代; 铜矿床; 电气石

**提 要:** 中条山地区是我国著名的铜矿床集中区。在胡-篦型层控铜矿床容矿热液沉积岩建造和铜矿峪型铜矿床容矿钙碱性次火山-火山沉积岩系及其它地质环境内发现有大量电气石产出。电气石均属镁-铁系列, 且以不含锂为主要特征。电气石由海底盆地热液沉积作用、火山热液喷气作用及热液交代作用形成。这些地质作用的产生均与中条山地区21亿年左右的岩浆活动有关。由于形成条件和形成方式不同, 在不同地质环境产出的电气石具有明显不同的光性和标型特征。

中条山地区是我国著名的铜矿床集中区, 其中胡-篦型层控铜矿床和铜矿峪型铜矿床的铜储量占本区铜总储量的95%以上。1986年, 笔者曾在层控铜矿床内首次发现热液沉积成因条纹状电气石岩。1987年, 又在铜矿峪型铜矿床内发现火山热液喷气成因电气石岩。经进一步研究, 确定容矿主岩为富电气石岩系。此外, 在其它地质环境内也有大量电气石出现。它们的分布和特征具有重要的成因意义。

## 一、区域地质背景

中条山铜矿区位于华北地台南缘。矿区西部出露的中-上太古界涑水群中-高级变质岩和混合岩系构成本区结晶基底, 中部主要为晚太古界“双峰态”变钾质火山岩系、下元古界中条群变质沉积建造和绛县群变次火山-火山沉积建造构成的一套中-低级浅变质岩系, 以窄长条带状沿古陆边缘裂谷拗陷带呈北北东向展布。早元古代的花岗岩浆活动, 在钾质火山岩系内形成北峪钠奥长花岗岩侵入体, 东部则广泛分布着中-上元古界西洋河群安山岩系。胡-篦型层控铜矿床位于矿区南部, 由十几个矿床组成, 矿体在中条群篦子沟组黑色片岩建造内严格地顺层产出, 明显受地层层位和岩性控制, 铜矿峪型铜矿床位于矿区北部, 距胡-篦型层控铜矿床约15km左右, 矿床主要产在钙碱性变次火山-火山沉积岩系之内。

## 二、电气石产出地质环境、光性和标型特征

中条山铜矿区电气石分布广泛, 主要在“双峰态”变钾质火山岩系、铜矿峪型铜矿床容矿钙碱性变次火山-火山岩系和胡-篦型层控铜矿床容矿热液沉积岩系内富集。在不同地质环境产出的电气石往往具有不同的光性和标型特征。根据电气石产状、赋存层位和主岩类型, 将

表 1 电气石产出地质环境、光性和标型特征  
Table 1. Optical properties and typomorphic characteristics of tourmalines in different geological environments

电气石产出地质环境	赋存电气石主岩	产状	自形程度	结晶程度	晶体粒度(c轴方向,单位:mm)	晶体形态	多色性
脉状和热液交代电气石	北峪花岗岩内黑云片岩捕虏体	浸染状	自形一半自形	显晶质	0.05—0.3	粒状及三方长柱状	No—深绿色 Ne—浅玫瑰红色
	钾质基性火山岩	脉状及浸染状	自形一半自形	显晶质	0.2—2	粒状、三方及六方长柱状	No—深绿色 Ne—浅玫瑰红色
	钾质酸性火山岩	角砾岩胶结物	自形一半自形	显晶质	0.05—0.7	粒状及三方长柱状	No—蓝绿色 Ne—浅玫瑰红色
铜矿峪次火山-火山沉积建造	电气石岩	透镜状	它形一半自形	显晶质	0.1—1.5	粒状及三方长柱状	No—深绿色、深蓝色 Ne—浅玫瑰红色
	石英绢云母化带	浸染状	自形一半自形	显晶质	0.2±	粒状及短柱状	No—深绿色 Ne—浅玫瑰红色
中条群篦子沟组黑色片岩建造容矿热液沉积岩	容矿云母石英白云石大理岩及角砾岩	似层状	自形 它形	显晶层 隐晶质	0.1—0.3 0.01±	粒状、短柱及三方锥状 微晶集合体	No—黄褐色 Ne—无色 No—浅黄褐色 Ne—无色
	条带状石英钠长石岩	似层状	自形	隐晶质	0.01—0.03	长柱状	No—绿色 Ne—无色
	条带状电气石岩	似层状、透镜状	它形	隐晶质	0.01—0.05	粒状	No—黄绿色 Ne—无色

它们划分为三种类型(表1)。

### 1. 脉状和热液交代电气石

该类电气石主要产在胡-篦型层控铜矿区“双峰态”变钾质火山岩系及北峪变钠奥长花岗岩捕虏体内(图1)。变钾质火山岩系由基性和酸性火山岩组成,前者主要为绿泥片岩、方柱黑云片岩、黑云片岩和角闪黑云片岩,后者则为变钾质流纹岩、变钾质凝灰岩和角砾岩。北峪变钠奥长花岗岩原被认为是太古代混合岩<sup>[1]</sup>,后经深入研究证明:其属早元古代具裂谷花岗岩性质的侵入体<sup>①</sup>。

变钾质基性火山岩系普遍遭受了硅化、碳酸盐化、阳起石化、钠长石化、黑云母化、角闪石化、电气石化及硫化物矿化等热液蚀变,但它们的分布极不均匀,明显受裂隙控制。电气石作为重要的热液蚀变产物之一,主要呈脉状或浸染状产出。呈脉状产出的电气石晶体形态主要为三方长柱状,结晶粒度较大,沿长轴方向一般为5—10mm,个别达20mm以上,横截面直径多数为0.5—1mm。呈浸染状或团块浸染状产出的电气石呈粒状或柱状,前者晶体粒度一般为0.2—0.5mm,后者沿长轴方向为1—3mm(照片1)。电气石常与黑云母、角闪石、石英、钠长石等热液蚀变矿物共生,多色性明显, No—深绿色, Ne—浅玫瑰红色,有时出现环带结构。

变钾质酸性火山岩内电气石主要呈脉状或作为角砾岩胶结物出现(图1)。角砾岩毗邻北峪变钠奥长花岗岩体附近分布,角砾成分为变钾质酸性火山岩,胶结物主要是电气石和石英,其可能是钾质酸性火山岩破碎后,被源于花岗岩的富硼、硅流体形成的电气石和石英胶结而成。但总体来看,变钾质酸性火山岩中产出的电气石数量较少且分布局限。电气石晶体形态以粒状为主,少数长柱状,粒度主要变化于0.05—0.3mm。多色性明显, No—蓝绿色、Ne—浅玫瑰红色,环带结构十分发育。

北峪变钠奥长花岗岩体内常可见到黑云片岩捕虏体,经花岗岩同化作用捕虏体产生明显的硅化、钠长石化和电气石化。电气石主要与石英、钠长石等热液蚀变矿物共生,在捕虏体边部相对集中。晶体形态以粒状为主,少数柱状,粒度多数变化于0.05—0.3mm。多色性明显, No—深绿色、Ne—浅玫瑰红色。

### 2. 铜矿峪铜矿变次火山-火山沉积建造内的电气石

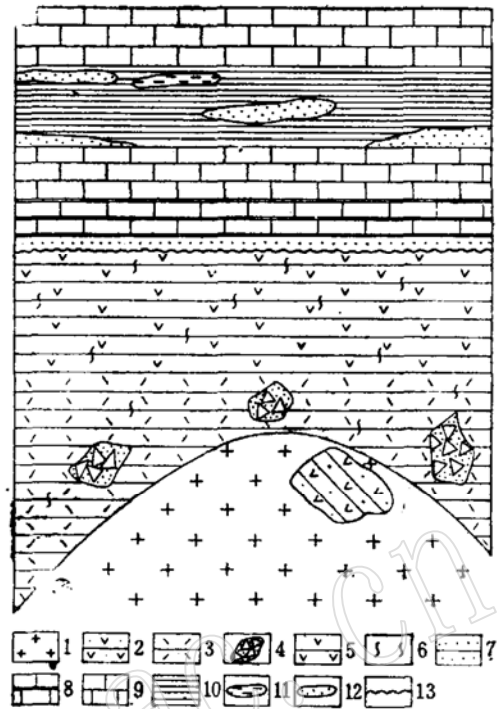


图1 胡-篦型层控铜矿区电气石产出地质环境综合柱状图

Fig. 1. Diagrammatic composite column showing geological environment of tourmalines in Hu-Bi type stratabound copper ore districts

图例说明: 1—北峪变钠奥长花岗岩, 2—花岗岩中电气石化黑云片岩捕虏体, 3—变钾质酸性火山岩, 4—由石英和电气石胶结的角砾岩, 5—变钾质基性火山岩, 6—脉状及蚀变电气石, 7—界牌梁组石英岩, 8—龙峪组钙泥质片岩, 9—余元下组、余家山组大理岩, 10—篦子沟组黑色片岩建造, 11—条纹状电气石岩, 12—富电气石容矿热液沉积岩(7—12为中条群), 13—角度不整合界线

① 据赵凤清硕士研究生论文, 1987

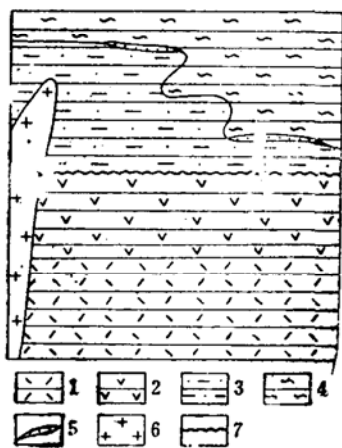


图2 铜矿峪铜矿电气石产出地质环境综合柱状示意图

Fig.2. Diagrammatic composite column showing geological environment of tourmalines in the Tongkuangyu copper deposit

图例说明：1—变质酸性火山岩系；2—变质基性火山岩系；3—容矿变晶屑凝灰岩及电气石化、硅化、碳酸盐化、绿泥石化等热液蚀变；4—绢英片岩；5—电气石岩；6—矿化变钠长花岗斑岩；7—角度不整合界线

(照片2)。另一类为热液蚀变作用的产物。硅化、绢云母化、碳酸盐化、绿泥石化、钠长石化和电气石化是铜矿峪铜矿床重要的热液蚀变，它们是火山—次火山晚期热液活动的产物。热液蚀变电气石主要分布在石英绢云母化带之内，与主矿体紧密伴生。电气石呈半自形—自形粒状产出，粒度一般为0.05—0.1mm。多色性：No—深绿色，Ne—浅玫瑰红色。总体来看，电气石含量较低，很难单独构成电气石热液蚀变带。电气石岩和热液蚀变电气石的形成均与火山—次火山热液活动有关，前者可能是源于火山的富硅、硼热液喷溢到海底局部盆地沉积后经成岩作用形成，后者则是火山或次火山热液交代原岩的结果。

### 3 沉积建造内的同生沉积电气石

中条群篦子沟组黑色片岩建造主要由两类岩层组成：一类是黑色富炭泥质片岩、泥质板岩、石榴绢云片岩夹少量大理岩等正常沉积变质岩，另一类是热液沉积岩。所谓热液沉积岩系指在海底热卤水盆地从热液中以化学沉积方式沉淀的物质经成岩作用形成的沉积岩石。本区产出的热液沉积岩主要由硅酸盐类、富硼硅酸盐类、碳酸盐类、氧化物和硫化物组成。热液沉积岩以富含电气石为重要特征，它呈似层状或透镜状产在黑色片岩岩层内，与围岩整合接触，构成容矿主岩，空间上的分布几乎与矿体一致。根据热液沉积岩主要造岩矿物组合，将其分为四种类型：条纹状电气石岩、条带状石英钠长石岩、金云母石英白云石大理岩和角砾岩。在不同类型热液沉积岩内，电气石的含量、标型和光性特征具有较大差异。

条纹状电气石岩发现于柿沟剖面篦子沟组中上部，呈似层状、透镜状产出，与区域地层产状一致，厚十余米，走向延长断续达几百米。从其产出层序上看，下部与篦子沟组石榴绢云片岩整合接触，上盘相变为矿化黑云母石英大理岩，走向上过渡为含条带状电气石绢英片

铜矿峪铜矿容矿主岩早期被认为属花岗闪长斑岩<sup>[2]</sup>，后来经深入研究认为属由变石英斑岩、变石英二长斑岩及变晶屑凝灰岩组成的钙碱性变次火山—火山沉积建造<sup>[1]</sup>。笔者经近几年的研究工作，认为其属由变钠长花岗斑岩和变石英晶屑凝灰岩组成的钙碱性变次火山—火山沉积建造。在容矿主岩内有大量电气石产出，根据其产状可分为两种类型（图2）：一类为电气石岩，主要呈透镜体在火山沉积岩内产出，大小从几十米到上百米，地表可以发现其围绕变次火山—火山沉积建造周围呈似环状断续分布。电气石岩透镜体一般分布在变晶屑凝灰岩及绢英岩内，与围岩整合接触且界线明显，无热液蚀变分带现象。它具有明显的条纹状、条带状和浸染状构造。主要由石英和电气石组成，电气石含量约30—40%，分布很不均匀，呈条带状及浸染状产出，造成电气石岩具有类似沉积岩的外表特征。电气石岩曾被认为是“石英岩或磁铁石英岩透镜体<sup>[1]</sup>”，但实际上它是火山热液喷气活动的直接产物。电气石主要为自形—半自形显晶质结构，晶体形态主要为粒状、三方长柱状和三方锥状。环带结构十分发育。多色性No—深绿色，Ne—浅玫瑰红色。矿物彼此镶嵌共生，无交代现象

岩。附近无火成岩出露。条纹状电气石岩呈灰黑色,具有明显黑白相间的平直条纹状构造,条纹宽度约0.2—1 mm,黑色条纹以电气石为主,白色条纹以石英为主,显示出极好的正常沉积构造特征(照片3)。其矿物成分简单,主要由电气石(60—70%)、石英(约30—40%)及少量硫化物组成。电气石和石英无相互交代结构,彼此镶嵌形成缝合线共生结构,其中粒度相对粗的电气石表现出重结晶特点。电气石呈显微晶质它形粒状结构,粒度为0.01—0.05mm。由于电气石粒度太细,多色性特征不明显。

石英钠长石岩是胡-篚型层控铜矿床的主要容矿岩石类型之一,呈条带状和块状构造,主要由石英、钠长石、电气石和少量硫化物组成。电气石含量一般为5—10%,主要呈自形晶长柱状显微晶质结构。晶体粒度沿长轴方向为0.01—0.03mm,长与宽之比为4:1。多色性明显,No—绿色、Ne—无色。长柱状电气石常呈定向排列构成断续条纹状构造,其排列方向与地层产状一致,且随岩层产生同步褶皱,显示出很好的原始沉积特征(照片4)。有时电气石富集可达30%以上,在石英钠长石岩中构成宽约1—5 mm的黑色条带,肉眼看类似泥质条带,但其矿物组合主要为电气石、绢云母和石英。电气石条带与围岩界线明显,与地层产状一致,并随条带状石英钠长石岩一起褶皱。

金云母石英白云石大理岩和角砾岩是胡-篚型层控铜矿床最主要容矿岩石。两类岩石中电气石的特征类似,但角砾岩中产出的电气石分布在胶结物内。岩石中电气石含量为10—30%,主要呈浸染状和条带浸染状,含量不均匀。电气石呈显微隐晶质结构及显晶质结构,且以前者为主。显微隐晶质电气石主要呈它形微晶集合体产出,构成“鱼卵状”、似条纹状、不规则状,个别呈似圆状(照片5)。电气石微晶一般小于0.01mm,显微镜下晶体界线很不清晰,无法观测光性特征。但微晶集合体整体上显示出多色性,由浅黄褐色到无色。另外,在角砾岩胶结物中,常见到石英与电气石形成的包裹结构,即石英主要呈圆球形将数粒乃至数十粒电气石包裹。当电气石粒度相对较大时,则形成筛状结构。当电气石粒度小于0.01mm时,则在石英晶体边缘呈串珠状或环状分布,形成环状包裹结构。这种结构表明在同生沉积角砾岩形成过程中富硼、硅流体的积极活动<sup>[3]</sup>。显晶质电气石主要呈三方柱状、三方锥状或粒状,个别为六方柱状,主要呈单晶产出(照片6),很少出现晶体集合体。结晶粒度多数为0.1—0.5mm,多色性十分明显,No—黄褐色、Ne—无色。电气石经常与石英、白云石、金云母、钠长石等主要造岩矿物共生,并且矿物彼此无交代结构,但矿物重结晶现象十分明显。

### 三 电气石成分特征

实验研究结果表明,电气石可以在较宽的P-T条件下稳定存在,且成分复杂,这种特征可以提供其沉积环境和形成条件的信息<sup>[4]</sup>。电气石化学成分主要由锂电气石、镁电气石和铁电气石三个端员组份构成。在不同成因矿床类型中,往往出现不同的电气石系列。变质作用过程中流体与岩石反应常形成铁-镁系列电气石,特别是经常与变质金矿伴生<sup>[5]</sup>;在沉积环境古蒸发岩及红层铜矿伴生的沉积岩中常见到镁-钙系列电气石<sup>[6]</sup>;富含镁-铁系列电气石的岩石常与海相喷气成因的贱金属、金和钨等矿床伴生<sup>[7][8]</sup>。通过本区条纹状电气石岩中电气石单矿物化学分析(表2)及不同地质环境中产出的电气石电子探针分析结果(表3)表明:所有电气石都属镁-铁系列,基本不含锂,钙的含量极低,但氟含量较高。矿物晶体化学式如

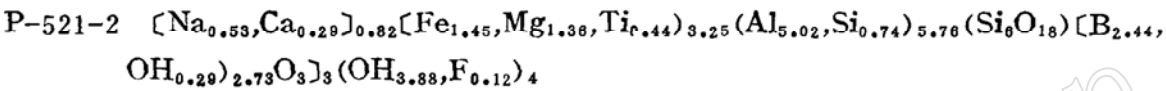
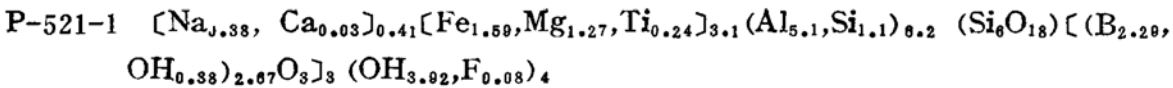
表 2 电气石单矿物化学全分析结果 (重量%)

Table 2. Chemical analyses of individual tourmalines (wt%)

样品编号	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	FeO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Li <sub>2</sub> O	Cl <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	MgO/FeO
P-521-1	42.84	1.91	11.32	5.09	25.88	0.04	0.13	1.20	0.05	7.92	—	<0.005	0.15	3.86	0.453
P-521-2	39.45	3.48	10.15	5.34	24.96	0.03	1.54	1.63	0.07	8.28	0.001	0.007	0.22	3.66	0.526

据中国地质科学院测试所分析

下:



在不同地质环境产出的电气石具有不同的镁、铁比值特征。北峪变钠奥长花岗岩中的黑云片岩捕虏体、变钾质酸性火山岩系和中条群篦子沟组条纹状电气石岩、石英钠长石岩中产出的电气石铁含量较高, MgO/FeO 比值均小于 1, 属相对富铁电气石; 在中条群篦子沟组容矿金云母石英白云石大理岩中产出的电气石镁含量很高, MgO/FeO 比值为 2.5—7, 属镁电气石; 其它地质环境产出的电气石镁、铁含量介于上述两者之间且相对富镁, MgO/FeO 比值一般为 1—2, 属镁铁电气石 (表 3)。电气石镁、铁含量的相对变化呈负相关关系, 即随着电气石镁含量增加, 铁含量降低 (图 3)。富铁电气石常在地层层序的下部或近岩浆岩体产出,

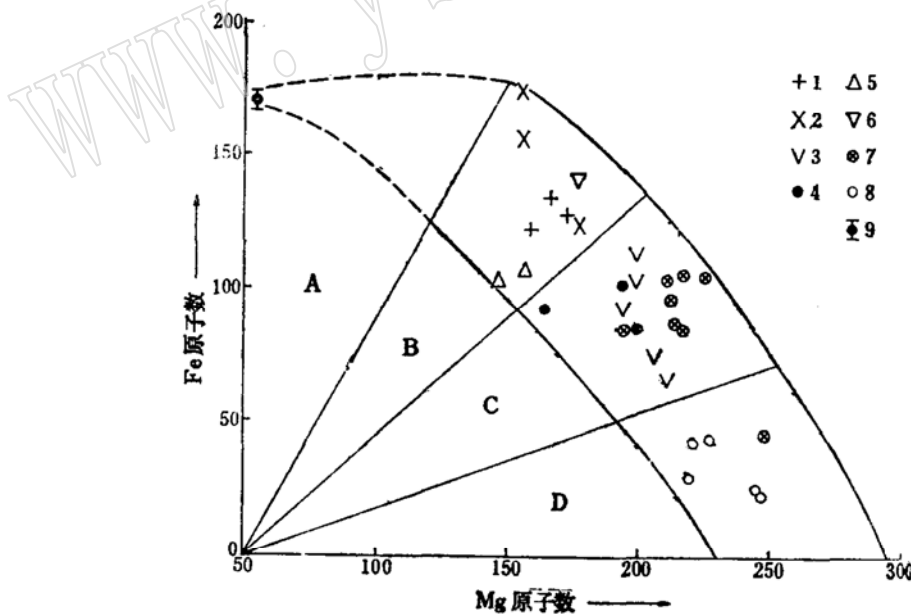


图 3 不同地质环境产出的电气石镁、铁含量变化示意图

Fig. 3. Diagram showing relationship between magnesium and iron contents of tourmalines formed in different environments

图例说明: 1—北峪变钠奥长花岗岩中黑云片岩捕虏体中电气石, 2—变钾质酸性火山岩, 3—变钾质基性火山岩, 4—铜矿峪铜矿区电气石岩, 5—条纹状电气石岩, 6—条带状石英钠长石岩, 7—角砾岩胶结物, 8—容矿金云母石英白云石大理岩, 9—葡萄牙北部花岗岩、细晶岩及伟晶岩中电气石<sup>(9)</sup> R; A—花岗岩区; B—富铁电气石; C—镁、铁电气石; D—镁电气石

表3 电气石成分电子探针分析结果 (重量%)  
Table 3. Electron microprobe analyses of tourmalines (wt%)

电气石产出地质环境	采样位置	样品号	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	MnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	NiO	FeO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MgO/FeO		
北岭变钠奥长花岗岩中黑云片岩捕虏体	桐木沟一口头剖面	5-4	2.27	6.59	29.96	37.09	0.03	0.04	0.25	—	—	—	8.7	—	0.734		
			2.15	6.59	27.85	36.36	0.10	0.19	0.45	0.28	0.08	0.22	9.66	—	0.682		
			2.48	6.69	28.63	36.85	0.01	0.18	0.12	0.12	—	0.21	9.22	—	0.747		
变钾质酸性火山岩	桑家沟	8-2	2.34	6.17	26.40	36.41	0.09	0.22	1.05	—	0.08	—	11.11	—	0.555		
			2.25	6.17	25.90	36.44	—	0.42	1.10	—	—	—	—	12.54	—	0.492	
			2.16	7.15	27.92	36.36	0.01	0.33	0.32	0.30	—	—	0.14	8.69	—	0.823	
变钾质基性火山岩	焦家沟	6-1	1.77	8.24	29.30	36.49	0.18	1.13	0.42	0.07	0.10	0.09	5.47	—	1.506		
			2.48	8.47	31.70	37.97	0.14	0.90	0.80	0.10	0.17	0.13	4.76	0.28	1.779		
			1.73	7.98	29.78	37.44	0.06	1.88	1.05	—	—	0.02	—	7.50	0.21	1.064	
电气石岩	铜矿峪矿区	Ts-1	2.17	7.77	31.09	37.36	0.13	0.44	0.48	—	—	—	0.04	6.56	—	1.184	
			2.17	7.96	29.99	37.39	0.02	0.54	0.57	—	—	0.03	0.19	8.06	0.11	0.989	
			1.80	7.92	30.91	37.64	0.03	0.87	0.69	—	—	—	—	6.10	—	1.298	
条纹状电气石岩	柿沟剖面	P-821	2.04	6.54	30.94	37.44	—	0.15	0.10	0.08	0.10	0.10	6.57	—	0.995		
			2.22	7.76	29.10	36.94	0.03	0.05	0.32	—	—	0.11	0.21	7.27	—	1.067	
			2.27	5.91	33.75	38.46	0.40	0.29	0.43	0.03	—	—	0.14	7.42	0.13	0.796	
条带状石英钠长石岩	南和沟矿区	Kn-13-d21	2.20	6.27	33.10	37.58	0.08	—	0.24	0.02	0.04	—	—	7.78	0.13	0.806	
			1.50	6.99	28.98	37.28	—	2.00	1.12	—	—	0.21	0.04	10.02	0.43	0.698	
			2.11	10.03	30.77	38.13	0.02	—	—	0.14	—	—	—	3.89	0.05	2.578	
角砾岩	老宝滩矿区	KL-1-b01	2.03	7.82	32.02	37.76	0.02	0.85	0.10	0.10	0.04	0.11	0.31	6.10	—	1.282	
			2.13	9.03	29.40	37.21	—	1.44	0.50	—	—	0.16	—	—	—	1.199	
			2.50	8.61	30.42	37.88	—	0.69	0.07	0.10	0.10	0.11	—	—	7.06	0.09	1.219
桐木沟矿区	老宝滩矿区	Km-13-c01	2.30	8.18	30.18	37.57	—	0.57	0.22	0.09	—	—	—	6.34	0.04	1.29	
			3.03	8.72	28.55	37.39	—	0.12	0.05	0.02	0.01	—	—	—	7.59	0.11	1.149
			2.36	8.70	30.13	37.66	0.09	0.39	—	—	—	0.14	0.08	6.10	0.13	1.426	
容矿金云母石英白云石大理岩	南和沟矿区	Kn-13-a04	2.34	8.00	30.15	37.77	0.03	0.80	0.71	0.04	0.09	0.14	7.30	0.07	1.096		
			2.37	9.98	33.15	39.01	0.07	0.48	0.57	—	—	0.15	—	1.52	0.21	6.566	
			2.20	8.86	33.29	38.61	0.04	0.27	2.34	0.22	—	—	—	3.07	0.31	2.877	
大理岩	南和沟矿区	Kn-13-a03	2.16	9.12	33.17	38.59	—	0.49	0.47	—	—	0.14	0.12	3.02	0.26	3.02	
			2.12	9.89	31.66	38.69	0.03	0.57	0.64	0.06	0.06	0.97	—	1.68	0.18	5.887	
			2.06	8.61	30.78	38.19	0.02	0.34	0.88	—	—	1.61	—	2.18	0.11	5.348	

中国地质大学北京研究生部电子探针组分析

如北峪变钠奥长花岗岩体中的黑云片岩捕虏体和变钾质酸性火山岩中的电气石在花岗岩体附近产出，而变钾质基性火山岩中产出的镁铁电气石距花岗岩体相对较远；条纹状电气石岩在胡-篦型层控铜矿床容矿热液沉积建造下部产出，其中的电气石属铁电气石，而在容矿建造内部金云母石英白云石大理岩中产出的电气石则属镁电气石。换言之，从早期到晚期，从近岩体到远离岩体，电气石成分具有向铁含量降低、镁含量增加方向演化的趋势（图3）。并且，富铁电气石基本不与矿体伴生，胡-篦型层控铜矿床主要容矿岩石中产出的电气石以镁电气石为主，铜矿峪铜矿容矿主岩内则为镁铁电气石。

借助 $Al-Al_{50}Fe_{50}-Al_{50}Mg_{50}$ 及 $Fe-Mg-Ca$ 三元图解与世界范围内不同地质环境产出的电气石成分对比可以看出，本区电气石成分主要分布在变泥质岩及变砂屑岩分布区，属贫钙镁-铁系列电气石（图4）。这与世界上某些层控贱金属硫化物矿床（例如阿巴拉契亚-加里东造山带中产出的某些块状硫化物矿床、加拿大沙利文矿床、澳大利亚布罗肯希尔及多姆等矿床）中产出的电气石成分特点相似。但是，与花岗岩及有关热液蚀变作用形成的电气石成分范围不一致。这一点通过 $FeO/(FeO+MgO)$ 对 $Na_2O/(Na_2O+CaO)$ 二元图解也得到充分佐证（见图5）。

通过电气石单矿物全分析（表2）及简项分析（表4）可知，本区不同地质环境内产出

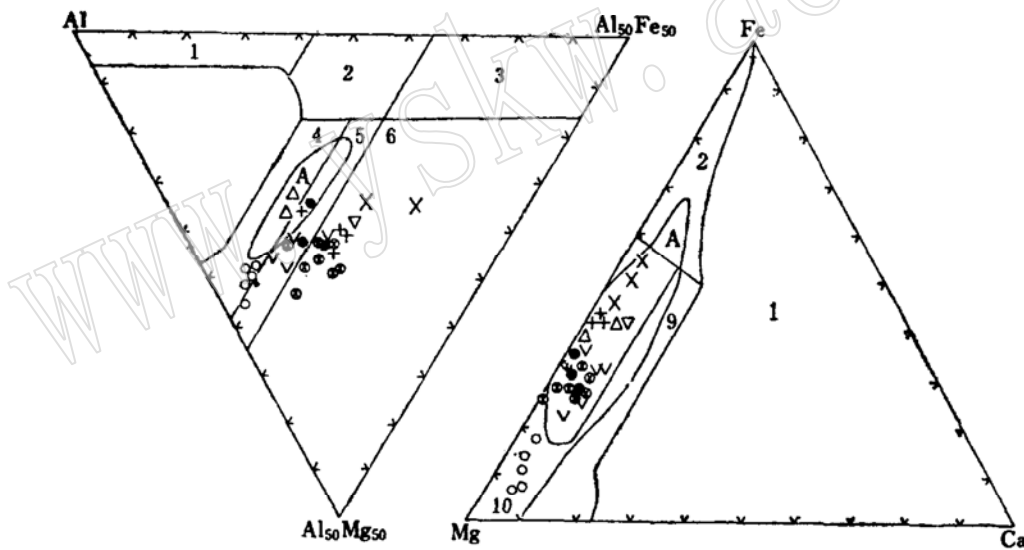


图4 电气石成分分布范围

Fig. 4. Range of chemical composition of tourmalines in  $Al-Al_{50}Mg_{50}-Al_{50}Fe_{50}$  and  $Mg-Fe-Ca$  diagram

1—富锂花岗岩、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—含铝饱和矿物的变泥质岩和变砂屑岩；5—变泥质岩和变砂屑岩；6—富 $Fe^{2+}$ 石英-电气石岩、钙-硅质岩石和变泥质岩；9—富钙变泥质岩；10—贫钙变泥质岩、变砂屑岩及石英-电气石岩；A区—北澳大利亚 Golden Dyke Dome 产在细碎屑沉积岩的层控贱金属块状硫化物矿床中电气石的成分范围<sup>(8)</sup>；图例同图3

的电气石基本不含锂，以富氟为主要特征（图6）。这提供了重要的成因信息。因为由岩浆及岩浆热液交代形成的电气石不仅富铁，而且以富锂为特征。“铁-锂”系列电气石经常与花岗岩晚期交代作用有关，也常作为花岗岩的副矿物出现，特别是常见于与花岗岩有关的钨-锡矿床和热液角砾岩中<sup>[10]</sup>。



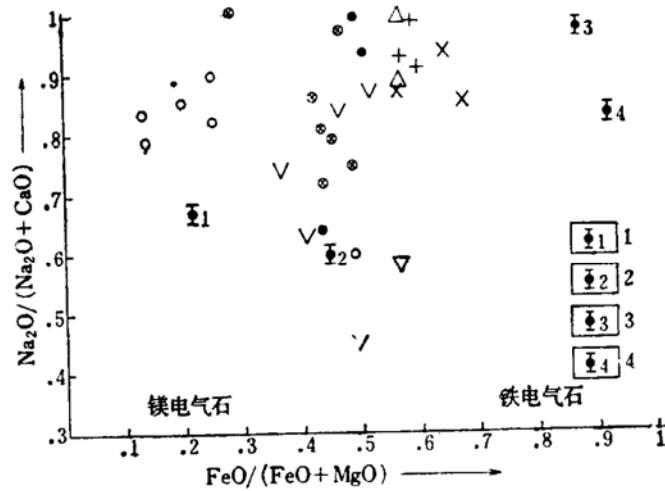


图 5 电气石成分图解

Fig. 5. Range of chemical composition of tourmalines in  $Na_2O / (Na_2O + CaO) - FeO / (FeO + MgO)$  diagram

图例说明：1—阿巴拉契亚-加里东造山带块状硫化物矿床；2—澳大利亚Golden Dyke Dome沉积岩中块状硫化物矿床；3—葡萄牙花岗岩<sup>(9)</sup>；4—英国花岗岩<sup>(10)</sup>；其它符号同图3

表 4 电气石成分简项分析 (重量%)

Table 4. Chemical analyses of tourmalines selected items

电气石产出地质环境	样品编号	Li <sub>2</sub> O	F	Cl
变钾质酸性火山岩、角砾岩胶结物	8-3	0.000	0.010	0.010
铜矿峪铜矿电气石岩	T <sub>1</sub> -3	0.010	0.060	0.007

据中国地质科学院测试所测定

### 四 电气石成因探讨

从本区地质事件发生的时间次序上看，“双峰态”变钾质火山岩系形成于26亿年左右<sup>①</sup>；北峪变钠奥长花岗岩体形成于21亿年左右<sup>②</sup>；铜矿峪铜矿容矿次火山-火山沉积建造也形成于21亿年左右<sup>③</sup>，中条运动约发生在18亿年左右。中条运动是本区最重要的地质构造事件<sup>〔11〕〔12〕</sup>，其使本区中条群沉积建造和绛县群钙碱性次火山-火山沉积岩系等下元古界地层经受区域变质、变形作用达绿片岩相，形成一套浅变质岩系。电气石在浅变质岩系内局部大量产出且以铁-镁系列及不含锂为特征，表明电气石的形成不可能由区域变质作用形成。从电气石

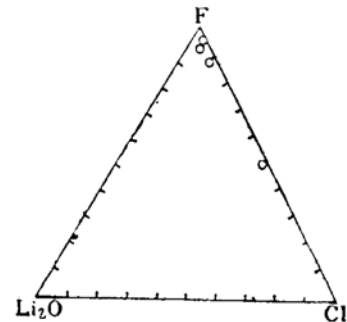


图 6 电气石成分Li<sub>2</sub>O-F-Cl图解  
Fig. 6. Li<sub>2</sub>O-F-Cl diagram of tourmalines

在不同地质环境的产状、结构、构造特征来看，分布在钾质火山岩系中的电气石明显为后生成因。而在铜矿峪铜矿容矿次火山-火山沉积建造和胡-篦型层控铜矿床容矿热液沉积岩中产

① 引自孙海田博士研究生论文，1988  
② 据孙大中未发表资料，1988  
③ 引自孙海田博士研究生论文，1988

出的电气石主要为同生成因,前者与火山-次火山热液活动有关,后者与海底热卤水盆地内的同生沉积作用有关。而所有电气石的形成均与本区21亿年左右产生的岩浆活动地质事件有关。

这次地质事件导致北峪钠奥长花岗岩体在本区南部产生低侵位,并在上太古界钾质火山岩系内定位。这种低侵位岩体在地下处于一种相对封闭系统。在构造活动影响下,断裂作用打破了岩体所在地下深部封闭系统的平衡状态,导致由岩浆活动产生的富硼、硅热液沿着断裂通道上升,一部分流体在钾质火山岩系通道内形成脉状或交代蚀变成因电气石或胶结钾质酸性火山岩形成角砾岩;另一部分流体则沿断裂通道上升到海底,进入另一种完全不同的物理-化学体系,温度陡降,压力骤释,加之海水大量混合,结果使这些富硼、硅流体迅速冷却,并在海底热卤水盆地内产生沉淀,经成岩作用形成结晶程度和自形程度都较差的电气石。而在本区北部铜矿峪矿区浅-滨海相环境,岩浆活动产生高侵位,结果在钾质火山岩系之上形成铜矿峪容矿钙碱性火山-次火山岩系。火山或次火山热液活动对原岩产生交代作用形成热液蚀变电气石或喷溢到海底形成电气石岩。产在不同地质环境内的电气石具有明显不同的光性和标型特征恰好反映了其形成环境的变化。由于电气石构成了胡-篦型层控铜矿床和铜矿峪型铜矿容矿主岩重要的脉石矿物之一,因此,电气石的分布和特征对成岩成矿作用有重要的示踪意义。

#### 参 考 文 献

- [1] 中条山铜矿编写组,1978,中条山铜矿地质。地质出版社。
- [2] 王植、闻广,1957,中条山式斑岩铜矿。地质学报,vol.37,no.4,pp.401-415。
- [3] 孙海田、葛朝华、冀树楷,1989,中条山地区胡-篦型层控铜矿床角砾岩的特征及成因探讨。矿床地质,vol.8,no.1,pp.19-28。
- [4] G. Werding and W. Schreyer.,1984. Alkali-free tourmaline in the system  $MgO-Al_2O_3-B_2O_3-SiO_2-H_2O$ . *Geoch. et. Cosm. Acta*,vol. 48,no.6, pp.1331-1344.
- [5] Phillips, G. N., Groves, D. I. 1983. The nature of Archean gold bearing. *Geol. Soc. Aust.*, vol. 30, pp.25-39.
- [6] Mendelsohn, F., 1957. The structure and metamorphism of the Roan Antelope deposit, Univ. of the Witwatersand, Johannesburg, pp. 149-183.
- [7] Taylor, B. E., and Slack, J. F., 1984. Tourmalines from Appalachian-Caledonian massive sulfide deposits textural, chemical and isotopic relationship. *Econ. Geol.*, vol. 79, pp.1703-1726.
- [8] Plimer, I. R., 1986. Tourmalinite, from the Golden Dyke Dome, Northern Australia. *Min. Dep.*, vol. 21, no 4, pp. 263-270.
- [9] Neiva, A. M. R., 1974. Geochemistry of tourmaline (schorl) from granites, aplites, and pegmatites from Northern Portugal, *Geochim. et Cosmochim. Acta*, vol. 38, pp. 1307-1317.
- [10] Power, G. M., 1968. Chemical variations in tourmalines from south-west England. *Min. Mag.*, vol. 36, pp. 1078-1089.
- [11] 陶铨, 1985, 中条山地区前寒武纪地层的时代。中国地质科学院天津地质矿产研究所所刊, no.12, pp.29-38。
- [12] 柴东浩, 1985, 关于中条运动。中国区域地质, no.15, pp.89-98

## Tourmaline from the Zhongtiaoshan Copper Metallogenic Area, Its Characteristics and Indication Significance for Ore-forming Process of That Area

Sun Haitian, Ge Chaohua

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

Ji Shukai

(Shanxi Institute of Geological Sciences)

**Key words:** Zhongtiaoshan area; early Proterozoic; copper deposit; tourmaline

### Abstract

The Zhongtiaoshan area is one of the famous concentration areas of copper deposits in China. A large quantity of tourmaline has been found in the hydrothermal-sedi-mentary formation which hosts Hu-Bi type stratabound copper deposits, the calcalkaline subvolcanic-volcanic sedimentary rocks which host the Tongkuangyu type copper deposits, and other geological environments of this area. The content of tourmaline can be more than 50% in tourmalinite, but varies in the range of 5—40% in other rocks. Due to the difference of forming conditions and manners in different geological environments, tourmalines show obviously different optical properties and typomorphic characteristics. All tourmalines are dravite-schorl series and contain virtually no lithium. They were formed as a result of hydrothermal deposition in submarine basin, through volcanic hydrothermal exhalation and hydrothermal metasomatism which, however, were all related to magmatic activities in the Zhongtiaoshan area in 2100 Ma age or so.