

山西省中条山铜矿田电气石与电气石岩的研究

叶 松 朱勤文 钟增球 叶德隆 孔东军

(中国地质大学, 武汉 430074)

(山西省 214 地质队, 闻喜县 043801)

主题词 电气石 铜矿田 中条山 山西省

提 要 本文通过对中条山铜矿田电气石和电气石岩地质产状、岩相学和矿物学、矿物化学等特征的研究,指出本区有三种成因类型的电气石:(1)北峪酸性侵入体岩浆期后热液成因电气石;(2)中条群地层中变质热液形成的电气石;(3)赋矿岩石和近矿围岩中热液蚀变电气石。第(3)类电气石具有特征的产状、矿物化学和矿物共生组合标型,是重要的找矿标志。

中条山铜矿区电气石分布广泛,各类岩石中几乎均有产出。前人多认为电气石是铜矿床围岩热液蚀变的产物,并称之为“电气石化”^{①②}。孙海田等^[1]认为,在胡-篁型层控铜矿区“双峰态”变钾质火山岩系及北峪变钠奥长花岗岩捕虏体内的脉状电气石属后生成因,沉积建造内的电气石包括柿沟剖面上的条纹状电气石岩是同生沉积电气石。根据笔者的研究结果^[2,3],对胡-篁型铜矿田范围内的胡家峪-上玉坡背斜核部(北峪地区)的几个地质体的认识已有重大变化:“北峪花岗岩”实为花岗闪长岩;这里不存在“双峰态”火山岩系,北峪花岗闪长岩体四周具斑状结构的岩石不是“变钾质流纹岩”,而是浅成侵入相的花岗斑岩,其外围的黑云片岩也不是“变基性火山岩系”,而是辉长岩侵入体经变质变形分解的产物;花岗斑岩与花岗闪长岩是同源岩浆不同次侵位的产物,二者构成胡-上背斜核部一期统一的酸性岩浆侵入事件(图 1)。矿床学研究新成果认为:胡-篁型铜矿是热液充填交代型的后生矿床^①;铜矿峪型铜矿是以花岗闪长斑岩为主要成矿母岩的斑岩型矿床^②。基于这些新的认识,本文从地质产状、岩相学、矿物学和矿物化学等方面研究了本区(以胡-篁型铜矿田为主)电气石和电气石岩的特征、类型、成因及其对找矿的指示意义。

1 电气石的地质产状和矿物学特征

胡-篁型铜矿田范围内的电气石主要以各种脉状形式产出,可划分为四种产状类型。

1.1 与北峪花岗闪长岩-花岗斑岩伴生的电气石

以含电气石石英脉的形式出现,在侵入体的边部和顶部内接触带较多。脉的宽度几十厘米至 1 米左右,延长几十米至百余米,脉的延伸方向大体与接触带垂直,产状较陡,倾角 60°左右。电气石在石英脉中集成丛状、块状和蜂窝状,晶体较大。其次是在花岗闪长岩和花岗斑岩中出现的纯电气石脉,脉宽几毫米至几厘米,个别达几十厘米,由细粒电气石集合体构成。

① 熊鹏飞等,山西省中条山地区胡-篁型铜矿杨家池-上太平一带大比例尺成矿预测研究,1990。

② 路九如等,中条山铜矿峪型铜矿成矿地质环境和找矿远景研究,1990。
本文于 1996 年 10 月 18 日收到,1997 年 1 月 26 日改回。

在花岗斑岩中局部发育角砾状破碎带,角砾之间的“胶结物”是电气石脉。在花岗斑岩体内接触带局部出现的云英岩中也有电气石细脉穿入。岩相学研究查明:花岗闪长岩和花岗斑岩中的电气石常切穿或包裹主要造岩矿物石英和长石;部分电气石具有筛网状结构,筛孔由细小的圆粒状石英或长石颗粒充填,这些石英和长石颗粒的光性方位不同,反映早先结晶的长石和石英被后期形成的电气石所包裹并遭到熔蚀。这些特征表明电气石生成时间晚于主要造岩矿物,在酸性侵入体岩浆期后有富Si富B的热液活动。花岗斑岩中的电气石石英脉为中粗粒粒状结构,电气石和石英互相镶嵌。此类电气石多呈柱状自形晶,粒径多在 $0.2 \times 0.5 - 0.8 \times 2\text{mm}$,具颜色环带,核部具蓝绿—淡黄色多色性,边部具黄绿—淡黄色多色性。

1.2 变质地层中的脉状电气石岩

在胡—篁型铜矿田范围内的各种变质地层中,均分布有含电气石石英脉或电气石细脉。含电气石石英脉宽几厘米至1米左右,脉内含电气石数量不多,还常有星点状金属硫化物。纯电气石脉宽几厘米至十几厘米,多由粒度较大的电气石集合体组成,这种脉可称为脉状电气石岩。涑水杂岩中的石英电气石细脉多赋存在杂岩的石英脉中,脉宽1厘米左右,电气石含量约2/3,呈粒状或短柱状自形晶,粒径 $0.05 - 1.5\text{mm}$,具绿色—淡黄绿色多色性。中条群石英岩中电气石脉中的电气石多呈粒状自形晶,粒径 $0.2 \times 0.5 - 0.5 \times 0.8\text{mm}$,颜色环带发育,核部具蓝绿—淡黄色多色性,过渡带具黄色—浅黄色多色性,边部具绿色—淡黄色多色性。中条群大理岩中电气石石英脉的电气石含量约40%,多呈柱状自形晶,粒径 $0.25 \times 0.65 - 0.65 \times 5\text{mm}$,部分颗粒具有颜色环带。这些电气石多发育垂直c轴的横裂理。

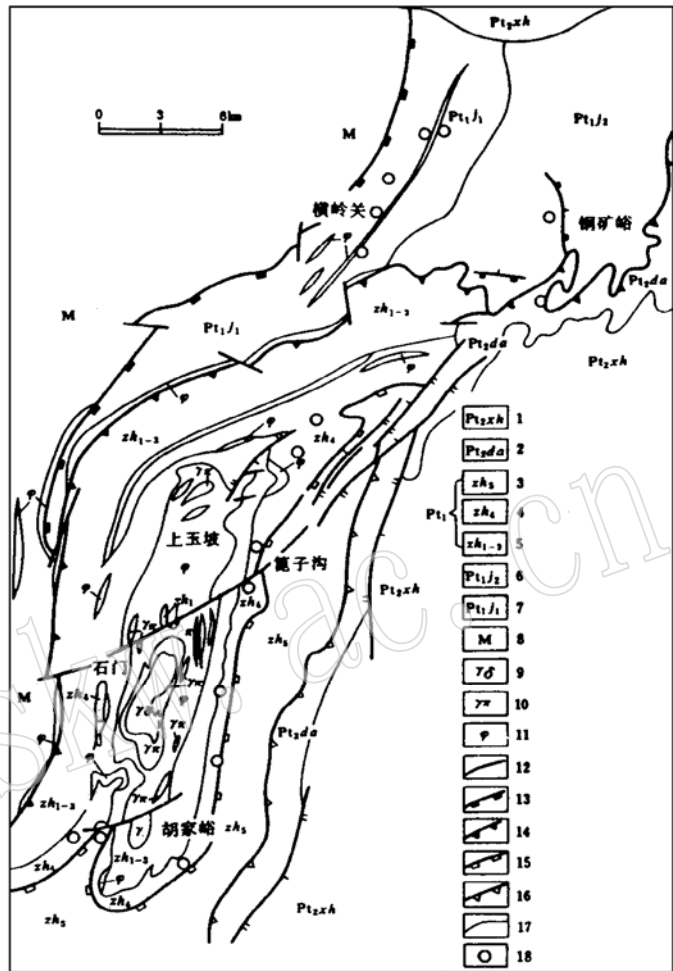


图1 中条山北段地质简图(据王春增^[4],修改)

Fig. 1 Simplified geological map of northern Zhongtiao Mountain
 1—西洋河群; 2—担山石群; 3—中条群余家山组; 4—中条群篁子沟组; 5—中条群下部; 6—绛县群上部; 7—绛县群下部; 8—涑水杂岩; 9—北峪花岗闪长岩; 10—花岗斑岩; 11—变基性侵入岩; 12—断层; 13—平头岭主剥离断层; 14—界牌梁主剥离断层; 15—余家山主剥离断层; 16—担山石主剥离断层; 17—地质界线; 18—铜矿床

1.3 条纹状电气石岩

产于胡家峪矿区西南柿沟剖面的中条群篦子沟组中上部二云片岩中。电气石岩呈灰黑色,极细粒结构,具有黑白相间的纹带构造,黑色电气石纹带宽度0.2—2mm,数量为全岩石的3/4,其中电气石含量达80%以上,电气石的c轴多平行纹带;白色石英纹带宽度0.1—0.5mm,数量为全岩石的1/4,其中石英含量达80%以上。电气石纹带与石英纹带交替构成条纹状电气石岩。此类电气石为粒状或短柱状,粒径多为0.05—0.25mm,具墨绿—淡黄色多色性。

1.4 赋矿岩系中的脉型电气石

在中条群地层赋矿岩石中常见细脉型的脉状电气石。据篦子沟铜矿534 579 624三个中段井下余元下组大理岩、篦子沟组黑色片岩和方柱石黑云片岩中统计,电气石主要赋存在宽度为0.5—3mm的细脉中。这些细脉多数沿片理方向分布,有的斜交片理。细脉的矿物组合除电气石为主外,还含有石英、方解石、黑云母等的一种或两种,以及少量金属硫化物。赋矿大理岩中的电气石呈细脉状或浸染状产出,脉宽大者为4—5mm,小者仅0.1—0.2mm,脉中电气石含量约90%,还含少量石英和黑云母。方柱石黑云片岩中电气石也呈脉状产出,电气石颗粒常大致沿片理方向断续分布。此类电气石自形程度较差,粒径0.02—0.1mm,具绿色—浅黄绿色多色性。在胡家峪铜矿440 490两个中段井下钠长石化大理岩中常见微晶电气石,在极细粒钠长石集合体中定向排列构成显微纹带。

以上各类电气石的产状及其矿物学标型特征综合于表1。

表1 胡—篦型铜矿田电气石产状类型及其矿物学标型特征

Table 1 Modes of occurrence and mineralogical typomorphic characteristics of tourmaline from Hu—Bi type copper district

地质产状	样号	产地	寄主岩石	自形程度	粒度(mm)	颜色和多色性	共生矿物
酸性侵入体中 石英电气石脉 和电气石脉	F-10	口头村东	花岗闪长岩	半自形	0.12—1.0	No 黄绿色 Ne 浅黄色	石英、斜长石 白云母
	O-6	桐木沟西南	花岗斑岩	半自形	0.5—1.5	No 黄绿色 Ne 浅黄色	石英、斜长石 钾长石
	O-2	桐木沟西南	花岗斑岩 中云英岩	半自形	0.02—0.03 0.2—0.4	No 黄绿色 Ne 浅黄色	石英、钾长石 斜长石、白云母
变质地层中 脉状电气石岩	A-5	土岭村	涑水杂岩	自形	0.05—0.13	No 绿色 Ne 浅黄绿色	石英
	E-6	庞家庄东	界牌梁组 石英岩	自形	0.2×0.5 —0.5×0.8	No 蓝色、绿色 Ne 浅黄绿色	石英
	M-1	柿沟	余元下组 大理岩	自形	0.25×0.65 —0.65×5	No 黄绿色 Ne 浅黄色	石英、白云母
条纹状 电气石岩	M-4	柿沟	篦子沟组 二云片岩	自形一半 自形	0.05—1	No 墨绿色 Ne 浅黄橙色	石英
	M-7	柿沟	篦子沟组 二云片岩	自形一半 自形	0.05—0.25	No 褐绿色 Ne 浅黄色	石英
赋矿岩系中 脉型电气石	G-14	篦子沟矿 534中段	方柱石 黑云片岩	半自形	0.03—0.1	No 绿色 Ne 浅黄绿色	石英、黑云母 方柱石、硫化物
	G-29	篦子沟矿 579中段	余元下组 大理岩	半自形	0.02—0.05	No 绿色 Ne 浅黄绿色	黑云母、方辉石 石英

2 电气石的矿物化学特征

电气石是一种复杂的硼硅酸盐矿物, 晶体化学通式是 $XY_3Z_6[Si_6O_{18}](BO_3)_3(OH, F)_4$ 。主要存在两个类质同象系列, 即铁(黑)电气石- 锂电气石系列与铁(黑)电气石- 镁电气石系列。电气石化学成分的复杂变化及其与共生矿物的关系, 使电气石有可能成为其形成环境的指示矿物。由于电气石的物理和化学性质相当稳定, 每个电气石颗粒都可能对其寄主岩的历史提供重要信息。

本区电气石化学成分的电子探针分析结果列于表2, 从中可看出电气石的矿物化学特征及其所反映的成因信息。

(1) 从最重要的阳离子成分 Fe 和 Mg 的量比关系看, 条纹状电气石岩中电气石的 FeO 含量最高, 达 6.73—12.39(wt%, 下同), 平均 9.77, MgO/FeO 为 0.24—1.01, 矿物种属为铁电气石和富铁电气石。酸性侵入体中电气石的 FeO 含量次之, 为 5.34—10.10, 平均 8.00, MgO/FeO 为 0.63—1.67, 其中部分是富铁电气石, 部分是镁铁电气石。脉状电气石岩中电气石的

FeO 含量为 4.65—8.34, 平均 6.20, MgO/FeO 为 0.89—2.17, 其中部分是镁铁电气石, 部分是镁电气石。含矿岩石中电气石的 FeO 含量为 6.44—7.32, 平均 6.82, MgO/FeO 为 1.11—1.29, 为镁铁电气石。另据孙海田资料^[1], 本区条纹状电气石岩的两个电气石单矿物化学分析结果, B₂O₃ 分别为 7.92 和 8.28, Li₂O 均仅为 0.001, F 分别为 0.15 和 0.22。这表明本区所有电气石均属镁铁系列, 且 FeO、MgO 含量变化范围较大, FeO 为 4.65—12.39, MgO 为 2.98—10.12, 表现在电气石种属上有铁电气石、富铁电气石、镁铁电气石和镁电气石四种类型, 在 Mg-Fe 相关图(图2)上呈现出明显的连续过渡趋势。

(2) 电气石成分中的 FeO/(FeO+MgO) 比值能灵敏地反映电气石寄主岩类型及其成因联系: 与花岗岩类有关的电气石的 FeO/(FeO+MgO) 值最高, 与变泥(砂)质岩石有关的电气石的 FeO/(FeO+MgO) 值中等, 块状硫化物矿床中电气石的 FeO/(FeO+MgO) 值最低(表3)。中条山矿区各类电气石成分变化的总趋势也是如此。柿沟条纹状电气石的 FeO/(FeO+MgO) 值高达 0.73, 暗示它们和花岗岩类有某种成因联系。根据条纹状电气石岩具有脉状充填的地质产状, 其稀土元素含量和配分型式与北峪花岗斑岩很接近, 其微量元素 pearce 蛛网图与花岗斑岩近似, 但大离子亲石元素 K、Rb、Ba 相对贫化, Ta 相对富集, 表现出残余熔体的特征, 笔者认为条纹状电气石岩可能也是北峪花岗斑岩浆期后富 Si、B 热液作用的产物。

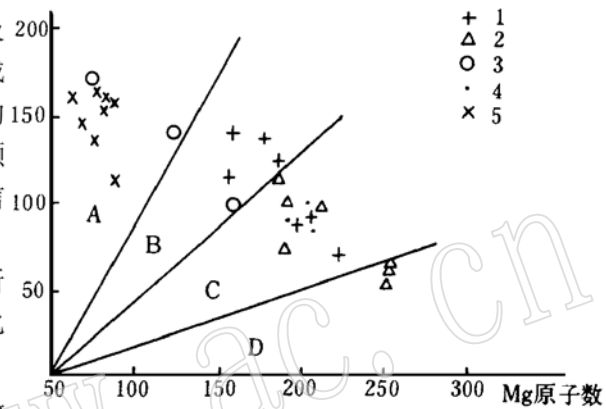


图2 胡- 篁型铜矿田电气石成分的 Mg-Fe 相关图(据孙海田^[1])

Fig. 2 Mg-Fe diagram of tourmalines from Hu-Bi copper district (after Sun Haitian, 1989^[1])

1—酸性侵入体中电气石; 2—脉状电气石; 3—条纹状电气石岩; 4—含矿岩中电气石; 5—铜矿峪矿床蚀变电气石(据路九如等, 1990); A—花岗岩区电气石; B—富铁电气石; C—镁-铁电气石; D—镁电气石

表2 胡一麓型铜矿田电气石的化学成分电子探针分析结果(wt%)及某些参数

Table 2 Electron microprobe analyses and relevant parameters of tourmalines from Hlu-Bi type copper district

产状	样号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Cr ₂ O ₃	CuO	$\frac{FeO}{(FeO+MgO)}$	MgO/FeO	镁电气石 端员	铁电气石 端员
酸性侵入体中 石英脉和电气石脉	F-10	35.91	0.24	31.40	8.18	0.01	6.18	0.40	1.05	0.03	0.30	0.09	0.57	0.76	57.38	42.62
		36.76	0.06	30.50	6.60	0.04	7.94	1.01	2.10	0.06	0.01	0.03	0.45	1.20	68.18	31.82
	O-6	35.77	0.55	29.76	6.72	0.08	8.68	2.37	1.37	0.06	0.00	0.02	0.44	1.29	69.73	30.27
		36.07	0.81	29.84	5.34	0.03	8.94	1.86	1.69	0.05	0.03	0.00	0.37	1.67	74.91	25.09
	O-2	36.09	0.34	29.97	10.10	0.04	6.35	0.24	2.33	0.04	0.00	0.05	0.61	0.63	52.85	47.15
变质地层中 层状电气石岩	A-5	35.86	0.40	28.49	10.04	0.00	7.02	0.18	2.46	0.05	0.06	0.00	0.59	0.70	55.47	44.53
		36.52	0.37	28.55	9.06	0.00	7.43	0.26	2.41	0.05	0.00	0.01	0.55	0.82	59.39	40.61
		36.33	0.65	29.00	8.34	0.06	7.38	0.55	2.51	0.02	0.02	0.00	0.53	0.89	61.20	38.80
		36.08	0.00	30.16	7.49	0.02	7.62	0.06	2.59	0.07	0.00	0.03	0.50	1.02	64.45	35.55
	M-1	36.89	0.04	32.09	5.63	0.02	7.47	0.10	2.86	0.02	0.00	0.03	0.43	1.33	70.31	28.69
E-6		35.15	0.29	29.54	7.09	0.07	8.39	1.71	1.74	0.06	0.18	0.01	0.46	1.18	67.82	32.18
		36.12	0.72	29.13	4.99	0.02	10.10	1.87	1.82	0.03	0.10	0.00	0.33	2.02	78.31	21.69
		36.01	0.86	28.30	5.21	0.04	10.12	1.99	1.79	0.03	0.13	0.02	0.34	1.94	77.11	22.89
M-7		36.11	1.41	28.73	4.65	0.00	10.07	2.03	1.78	0.07	0.05	0.00	0.32	2.17	79.42	20.58
		35.78	0.70	29.14	6.73	0.00	6.77	0.17	2.61	0.04	0.07	0.07	0.50	1.01	64.12	35.88
M-4		35.38	0.87	29.14	10.20	0.00	4.84	0.12	2.48	0.04	0.01	0.00	0.68	0.47	45.82	54.18
		33.78	0.77	29.03	12.39	0.01	2.98	0.11	2.22	0.02	0.02	0.00	0.81	0.24	30.03	69.97
G-29		35.40	0.27	29.27	6.44	0.04	8.29	0.15	2.68	0.04	0.07	0.05	0.44	1.29	69.66	30.34
		36.20	0.27	28.51	7.32	0.01	8.12	0.23	2.51	0.05	0.04	0.01	0.47	1.11	66.41	33.59
G-14	35.44	0.40	28.99	6.70	0.00	7.69	0.32	2.50	0.04	0.04	0.01	0.00	0.47	1.15	67.17	32.83

测试单位及测试者: 中国地质大学(武汉)电子探针室 沈上越

北峪花岗闪长岩和花岗斑岩中电气石的 $FeO/(FeO+MgO)$ 值略偏低, 这和该酸性岩体的化学成分较贫铁^[2]有关。胡家峪铜矿赋矿金云母白云石大理岩中电气石的 $FeO/(FeO+MgO)$ 值极低, 显然和该岩石成分富含 MgO 有关。篦子沟铜矿赋矿岩石和中条群地层中脉型电气石的 $FeO/(FeO+MgO)$ 值中等, 恰反映了这些寄主岩为变泥(砂)质岩石的属性。

表 3 各类岩石中电气石成分的 $FeO/(FeO+MgO)$
Table 3 $FeO/(FeO+MgO)$ ratio of tourmalines in various rocks

序号	寄主岩类型和产地	$\frac{FeO}{(FeO+MgO)}$	序号	寄主岩类型和产地	$\frac{FeO}{(FeO+MgO)}$
1	英国西南部贫 Li 花岗岩	0.91	7	铜矿峪花岗闪长斑岩	0.79(19)
2	葡萄牙北部贫 Li 花岗岩	0.86	8	柿沟条纹状电气石岩	0.73(4)
3	哥伦比亚元古代石英岩和泥质岩	0.45—0.67	9	北峪花岗闪长岩和花岗斑岩	0.55(13)
4	乌克兰沉积变质片岩和片麻岩	0.42—0.50	10	地层中电气石石英岩脉	0.42(7)
5	美国缅因地区变泥质岩	0.41—0.55	11	篦子沟赋矿黑云片岩和大理岩	0.45(8)
6	块状硫化物矿床	0.21	12	胡家峪赋矿金云母石英白云石大理岩	0.20(5)

注: 序号 1—6 转引自吴振寰(1987); 序号 7 据路九如(1990)资料计算; 序号 12 据孙海田(1989)资料计算; 序号 8—11 为本文资料。括号内数字为分析样品数

(3) Henry(1985)^[5]统计近 400 个电气石成分分析数据制定的 Al-Fe-Mg 三角图, 可用于判断电气石与其寄主岩石类型的关系。本区电气石成分在 Al-Fe-Mg 图(图 3)上的投点, 条纹状电气石岩位于贫 Li 花岗岩区, 其它各类电气石则分布在贫 Al 变泥(砂)质岩区和富 Fe 的石英电气石岩区, 且所有投点都分布在铁电气石-镁电气石连线两侧。一部分投点分布在这一联线下方的 6 区, 表明电气石成分中有相当数量的 Fe^{3+} 存在^[5]。本区电气石的 Al_2O_3 含量变化不大, 为 28.30%—32.09%, 按 Henry(1992)^[6]的划分标准, 亦属与贫 Al 变泥质岩有关的电气石。

(4) Na 和 Fe 作为电气石晶体中 X 和 Y 位的主要阳离子, 其含量的变化也灵敏地反映电气石和寄主岩石的关系。本区北峪花岗闪长岩的外围环绕着一圈花岗斑岩(见图 1), 这两种岩石中均有电气石产出。花岗斑岩 N_2O 、 Al_2O_3 低, FeO 、 TiO_2 高, 花

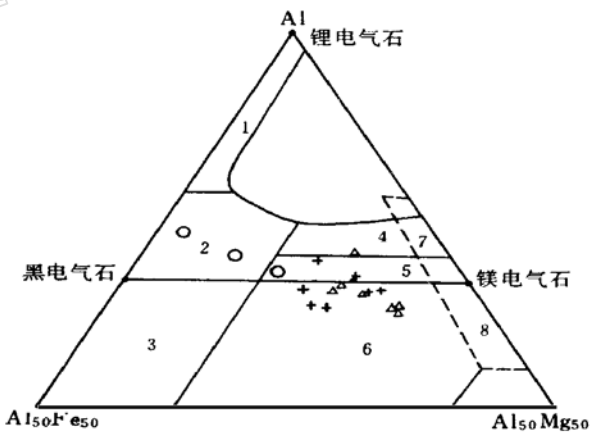


图 3 胡-篦型铜矿田电气石成分的 Al-Fe-Mg 图解(据 Henry, 1985)

Fig. 3 Al-Fe-Mg diagram of tourmaline from Hu-Bi copper district (after Henry, 1985)

1—富 Li 花岗岩、伟晶岩和细晶岩; 2—贫 Li 花岗岩、伟晶岩和细晶岩; 3—热液蚀变花岗岩; 4—富 Al 的变泥质岩和变质砂岩; 5—贫 Al 的变泥质岩和变质砂岩; 6—富 Fe^{3+} 的石英电气石岩; 7—低 Ca 的变超镁铁质岩和富 Cr、V 的变沉积岩; 8—变碳酸岩和变辉石岩。图例同图 2

岗闪长岩 Na_2O 、 Al_2O_3 高, FeO 、 TiO_2 低, 二者在成分上的互补关系反映它们为同一源岩相继熔融的产物^[2]。这两种岩石中产出的电气石在成分上也具有相应的互补关系, 花岗斑岩中的电气石 Na_2O 、 Al_2O_3 低, FeO 、 TiO_2 高, 花岗闪长岩中的电气石 Na_2O 、 Al_2O_3 高, FeO 、 TiO_2 低(表4和图4)。这种对应的成分互补关系暗示了花岗斑岩和花岗闪长岩中的电气石是各自相应的岩浆期后热液活动的产物, 电气石的形成与该两类花岗岩有密切的亲缘关系。

表4 花岗斑岩和花岗闪长岩中电气石成分的互补关系
Table 4 Complementary relationship between tourmaline compositions in granite porphyry and granodiorite

组份	花岗斑岩($\gamma\pi$) (3)*	花岗闪长岩($\gamma\delta$) (5)*	$\gamma\pi$ 中电气石 (7)*	$\gamma\delta$ 中电气石 (5)*
Na_2O	3.36	6.08	1.93	2.13
Al_2O_3	12.82	15.49	28.96	30.65
FeO	2.96	1.45	7.54	5.86
TiO_2	0.45	0.08	0.71	0.42

* 括号内的数字为分析样品数目

3 电气石和电气石岩成因讨论

从前述地质产状、矿物学及矿物化学揭示的成因信息, 可将中条山铜矿区的电气石划分为三种成因类型。

3.1 与花岗岩类有关的电气石(即北峪酸性侵入体岩浆期后热液成因的电气石)

这一成因类型的主要标志:(1)地质产状和空间分布多以石英电气石脉或电气石细脉形式出现于花岗闪长岩和花岗斑岩中, 尤其集中分布于岩体边部和顶部的内接触带, 少数分布于岩体周边附近的围岩中, 包括柿沟剖面的条纹状电气石岩。(2)岩相学特征表明, 花岗闪长岩中的电气石穿插和包裹主要造岩矿物石英与斜长石, 其形成时间明显晚于主要造岩矿物。(3)花岗斑岩和花岗闪长岩在化学成分上有互补关系, 这两个岩体中电气石的化学成分也存在与寄主岩相应的互补关系(表4和图4), 反映了电气石与各自寄主岩石的亲缘关系。(4)这类电气石的 $\text{FeO}/(\text{FeO} + \text{MgO})$ 虽然偏低(13个样品统计为0.37—0.61, 平均0.55, 见表3), 但统计资料表明^[7], 与花岗岩类有成因联系的电气石, 其化学成分有两类变化趋势: 第I类为 MgO 和 FeO 含量同步消长, 且较贫 Mg 富 Fe , 而 MnO 和 TiO_2 含量为异步消长; 第II类为 FeO 、 MnO 含量减少, MgO 、 CaO 含量增加。本区条纹状电气石岩属于第I类, 北峪花岗闪长岩和花岗斑岩中的电气石属于第II类。此外, 作为对比资料, 铜矿峪矿区与花岗闪长斑岩有关的电气石多数属于第I类, 少数属于第II类(图5)。

3.2 与变质作用有关的电气石(即区域变质热液形成的电气石)

胡-篁型铜矿田广泛出现于中条群各组地层中的电气石, 它们的化学成分中 $\text{FeO}/(\text{FeO} + \text{MgO})$ 值中等偏低, 在 $\text{Al}-\text{Fe}-\text{Mg}$ 图上落入变泥(砂)质岩区。这一点虽然与其寄主岩石的性质(中条群地层主要是变泥砂质岩—大理岩建造)基本吻合, 但电气石并不是典型的沉积变质矿物, 而是变质作用后期变质热液作用的产物。这一认识的主要依据:(1)宏观的地质产状均为电气石石英脉或脉状电气石岩, 平行片理或斜交片理产出, 未见层状电气石岩; 薄片鉴定

查明,电气石的微观赋存状态亦为细脉型,从未发现变余碎屑电气石及其自生加大或沉积隐晶电气石重结晶等沉积变质型特点。(2)中条山铜矿区区域地球化学场的一个显著特征是富硼,而胡-篦型铜矿田范围内的中条群地层的区域地球化学背景既富硼又富钠^[8]。与北峪酸性侵入体有关的电气石 17 个代表性样品分析的 Na_2O 含量为 1.37—2.48(wt%,下同),平均 2.08;铜矿峪矿田与主要成矿母岩花岗岩闪长斑岩有关的热液蚀变电气石 19 个代表性样品分析 Na_2O 含量为 1.67—2.69,平均 2.11^①。而胡-篦型铜矿田中条群地层中脉型电气石 9 个代表性样品分析 Na_2O 含量为 2.50—2.86,平均 2.61,这类电气石成分明显富 Na 恰反映了形成电气石的物质成分来源于中条群地层。(3)对中条群区域变质作用的研究查明,几乎所有的变质反应都是释水反应,部分变质反应还同时释放出 SiO_2 和 CO_2 ,这些组份汇合成变质热液。中条群地层的原岩主要是一套细粒泥砂质-碳酸盐建造,B 元素在其中可能有多种赋存状态,或被粘土矿物吸附,或置换粘土矿物四面体位置的 Si,或取代白云石中的 C。在区域变质释放出大量变质热液的同时,易于活化的 B 和 Na 也从岩石中释放出来进入变质热液,随后这些富含 Si、Na、B 的变质热流体沿岩层中的裂隙充填沉淀形成各种脉型电气石。

3.3 赋矿岩石和近矿围岩中的热液蚀变电气石

这类电气石多以细脉型产出,脉内矿物组合主要是电气石、石英、碳酸盐矿物、黑云母和金属硫化物。这类电气石的地质产状和成分特征虽然总体上与第 II 类相似,但却有两点明显不同:一是空间分布局限于赋矿岩石和近矿围岩中;二是电气石成分更富 Mg,种属多为镁电气石。胡-篦型铜矿主要成矿作用是以变质热液为主的混合热液充填交代作用^②。成矿流体的物质成分多来自中条群地层,必定包含一部分富 B、富 Na 的流体。形成矿体的部位是有利于成矿热流体沉淀的构造岩性区段,在这些区段,成矿流体数量较多,活动强烈,在成矿作用过程中伴随出现热液蚀变电气石。由于赋矿岩石常为各种白云质大理岩和黑云片岩等富 Mg 的岩石,因而电气石成分也相应更富 Mg。可以认为,赋矿岩石和近矿围岩中热液蚀变电气石也是与区域变质热液有关的电气石和一种特殊的产状类型,即在有利的构造岩性区段区域变质热液作用、成矿作用与电气石蚀变作用是三位一体的关系。

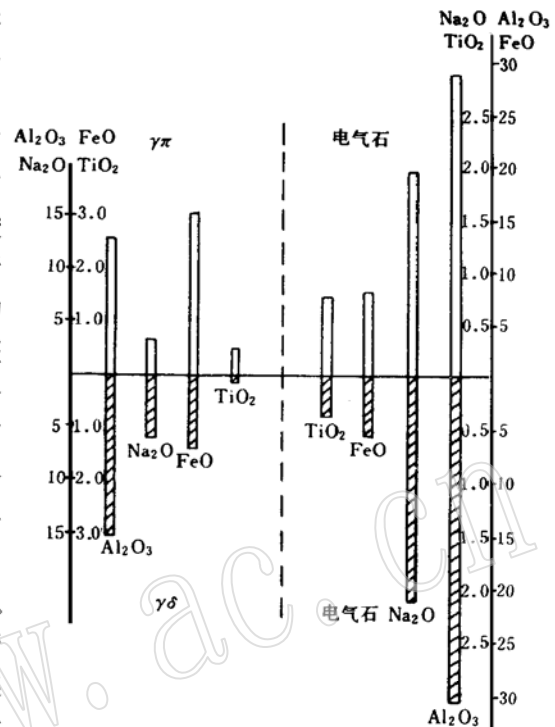


图4 北峪花岗闪长岩和花岗斑岩及其中电气石成分互补关系图

Fig. 4 Complementation diagram showing the relationship between tourmaline compositions in Beiyu granite porphyry and granodiorite

① 路九如等,中条山铜矿峪型铜矿成矿地质环境和找矿远景研究,1990。

② 熊鹏飞等,山西省中条山地区胡-篦型铜矿杨家池-上太平一带大比例尺成矿预测研究,1990。

4 电气石对找矿的指示意义

对本区电气石与成矿的关系前人研究论及较少,认为电气石化“既没有构成很好的蚀变分带,也不是矿化蚀变的直接标志,所以没有直接的找矿意义”^①。综合前述,胡-篦型铜矿田范围内广泛分布的三种成因类型的电气石均是热液作用的产物,这是胡-篦型铜矿热液成矿的重要标志。特别是含矿岩系和近矿围岩中的电气石具有几个明显的特征:(1)产状多为细脉型,脉的宽度多为毫米级;(2)电气石粒度细小,通常为0.02—0.1mm,自形程度亦较差;(3)电气石的化学成分富MgO 贫FeO, $MgO/FeO > 1$,种属为镁铁电气石—镁电气石;(4)与

电气石细脉共生的矿物组合比较复杂,且多含有金属硫化物黄铁矿和黄铜矿,常见组合为电气石+石英+方解石+金属硫化物;电气石+石英+金属硫化物;电气石+黑云母+金属硫化物。这些标型均与其它几类电气石有明显区别,使该类电气石可作为重要的找矿标志。

致谢 本文的研究经费由山西省地矿局资助,参加野外地质调查工作的还有牛新喜、张海英、廖大香,还得到莫宣学教授、李锡章高级工程师、王化龙高级工程师的支持和指导,特此致谢。

参 考 文 献

- 1 孙海田. 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. 岩石矿物学杂志, 1989, 8(3): 232—242.
- 2 朱勤文等. 中条山北段胡家峪—上玉坡背斜核部酸性侵入体岩石学研究. 岩石学论文集, 中国地质大学出版社, 1992, 121—133.
- 3 朱勤文等. 中条山北段元古代岩浆活动与陆壳生长机制. 地质论评, 1997, 43(2).
- 4 王春增. 山西中条山北段变基性火成岩原岩类型及演化特征. 桂林冶金地质学院学报, 1990, 10(2): 129—139.
- 5 Henry D J, Guidotti C V. Tourmaline as a petrogenetic indicator mineral: an example from the staurolite-grade metapelites of NW Maine. *Am. Mineral.*, 1985, 70: 1—15.
- 6 Henry D J and Dutrow B L. Tourmaline in a low grade clastic metasedimentary rock: an example of the petrogenetic potential of tourmaline. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 1992, 112: 203—218.

^① 熊鹏飞, 山西省中条山地区胡-篦型铜矿杨家池—上太平一带大比例尺成矿预测研究, 1990。

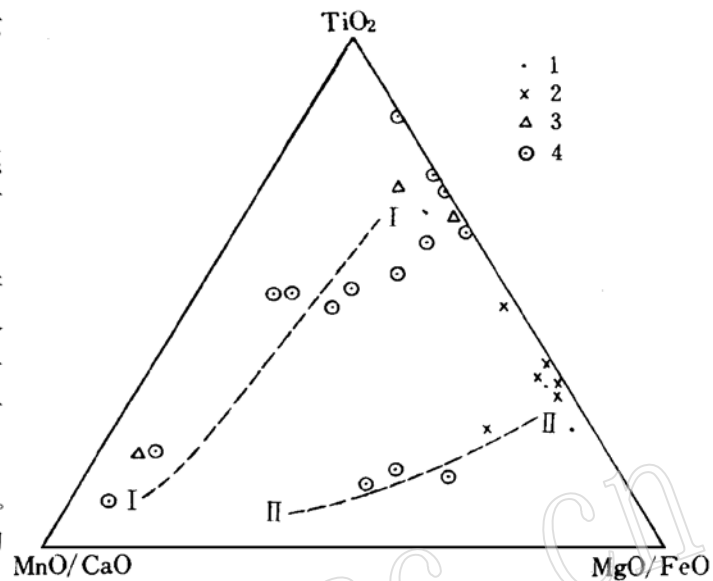


图5 与花岗岩类有关的电气石的成分特征

Fig. 5 Compositional characteristics of tourmaline related with granitoid

- 1—北峪花岗岩闪长岩中电气石; 2—北峪花岗岩斑岩中电气石;
3—条纹状电气石岩; 4—与铜矿峪花岗岩闪长斑岩有关的电气石

- 7 谭运金. 花岗岩类及有关锡矿床中电气石的地质地球化学. 国外花岗岩类地质与矿产, 1987, 4: 1—11.
8 崔斌华. 晋南中条山地区重要成矿元素区域地球化学特征. 山西地质, 1989, 4(2): 161—171.

Tourmaline and Tourmaline-bearing Rocks in the Zhongtiao Mountain Copper Field, Shanxi Province

Ye Song Zhu Qinwen Zhong Zengqiu Ye Delong
(China University of Geosciences, Wuhan 430074)

Kong Dongjun

(No. 214 Geological Party of Shanxi Province, Wenxi Xian 043801)

Key words: tourmaline copper field; Zhongtiao Mountain; Shanxi

Abstract

This paper studies characteristics of geological modes of occurrence, petrography and mineralogy of tourmaline-bearing rocks as well as mineral chemistry of tourmaline, and deals with the genesis of tourmaline.

Four modes of occurrence of tourmaline are recognized: (1) tourmaline accompanied with Beiyu granodiorite and granite porphyry, (2) veinlike tourmaline-bearing rocks in metamorphic strata, (3) striped tourmaline-bearing rocks, and (4) tourmaline veins in the host rocks.

The main mineral chemical characteristics of tourmaline are as follows: (1) the contents of FeO and MgO vary considerably, and there are four types of mineral species: Fe-tourmaline, Fe-rich tourmaline, Mg-Fe tourmaline and dravite; (2) the relative variations of Al₂O₃, FeO, MgO contents are closely associated with types of host rocks and geneses of tourmaline; (3) Na₂O, Al₂O₃ and FeO, TiO₂ contents of tourmaline assume growth and decline relationship in granite porphyry and granodiorite, which corresponds with the mutual compensational relation of chemical composition of the host rocks.

There exist three genetic types of tourmaline: (1) tourmaline formed by post-magmatic hydrothermal solution at the late stage of Beiyu granitoid plutonism, including striped tourmaline-bearing rocks; (2) tourmaline formed by metamorphic fluids in Zhongtiao Group; (3) tourmaline formed by hydrothermal alteration at the stage of copper mineralization and occurring in the host rocks and the near-ore rocks. The third type of tourmaline is characterized by veinlet form, fine grain size, rich MgO and poor FeO and mineral assemblage of quartz, calcite, biotite, pyrite and chalcopyrite. All these characteristics constitute important ore-prospecting indicators.