

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

某石英细脉带型钨锡矿床地质特征

山 峰

一、矿区地质概况

某细脉带型钨锡矿床位于一东西构造带及北东—北北东构造带的衔接地段。区内地层属寒武系浅变质岩。加里东期形成强烈褶皱构造,为一紧密挤压向西倒转的复式向斜。燕山期构造以断裂为主,有东西、北东及北北东三个方向。前者与后两者以反接形式复合,复合部位控制了燕山期隐伏花岗岩体的峰部,为钨锡矿脉裂隙发育和矿化富集的有利地段(图 1)。

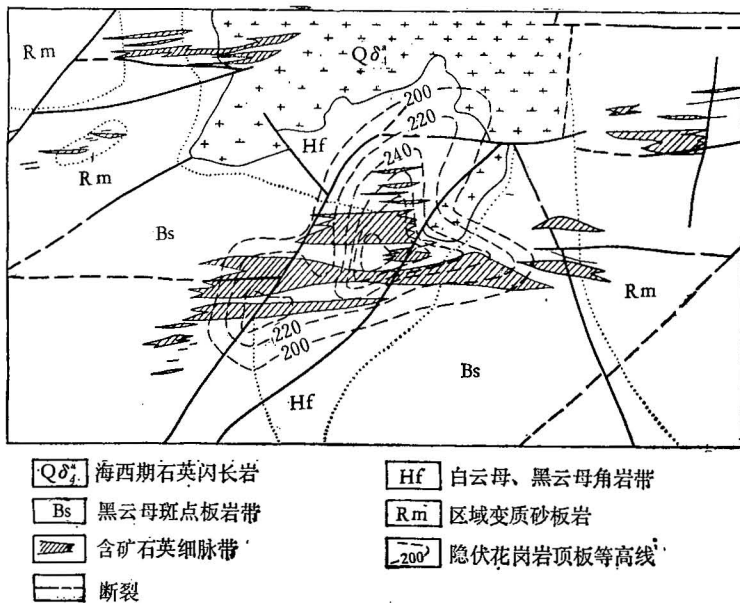


图 1 某钨锡矿区地质略图

矿区的岩浆岩有出露于地表的石英闪长岩 (274×10^6 年) 及隐伏于地下的黑云母花岗岩 ($145-188 \times 10^6$ 年)。依钻孔资料固定的花岗岩顶板标高等值线图(图 1), 其顶板形态呈东西向和北东向伸长, 南陡北缓, 恰在主要矿带的下部。矿床主要成矿时期为 $161-163 \times 10^6$ 年, 和岩体侵入时代极为相近。无论是各工业矿带位置及矿带中矿化富集部位均与花岗岩体凸起顶峰有密切关系。岩体中的副矿物与矿床中主要金属矿物相同, 如黑钨矿、锡石、辉钼矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、毒砂等。因此, 花岗岩体不仅是矿床的围岩, 同时也是成矿母岩。

岩体的围岩热变质作用发育, 角岩化现象广泛, 自内向外, 可分为白云母、黑云母角岩

带及黑云母斑点板岩带。依此,可以预测隐伏花岗岩体及其隐伏深度,对寻找钨矿床具有一定的意义。

二、矿脉地质及矿化富集分带

(一) 成矿阶段的划分

对数以千计的石英细脉进行了系统的观察和研究,发现不同类型的矿脉存在着大量的穿插关系(图2),它们在矿脉产状、矿物共生组合、矿石结构构造、脉侧围岩蚀变类型、矿物的标型特征等方面都有各自的特点,给划分成矿阶段提供了可靠的依据。利用这些标志,将本矿床成矿作用划分为六个阶段和相应的六种矿脉类型,其主要特征和空间分布见图3,4,5,6,7-1,7-2,7-3,7-4,8,9,10和表1。

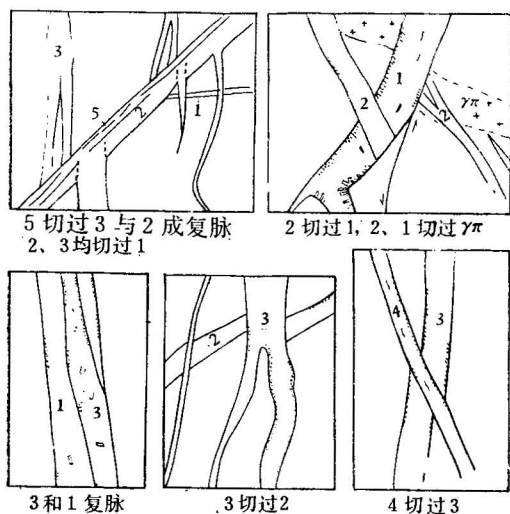


图2 各不同成矿阶段矿脉穿切关系图

图中1、2、3、4、5 分别代表一、二、三、四、五成矿阶段。

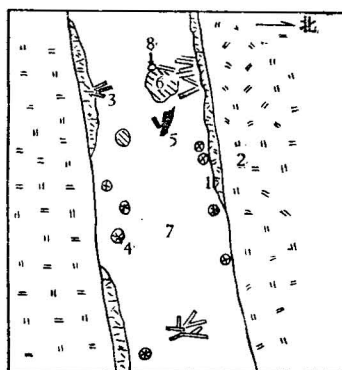


图3 第一成矿阶段矿脉综合特征素描图

1—云母对称梳状镶边; 2—白云母和黑云母围岩; 3—绿柱石(柱状和块状); 4—辉钼矿; 5—黑钨矿; 6—萤石; 7—石英; 8—黄铜矿。

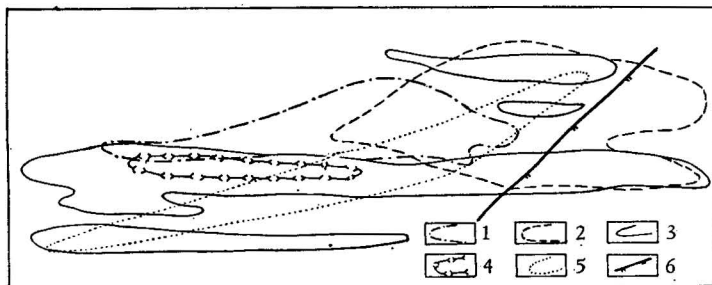


图4 某中段各成矿阶段矿脉平面分布图

1—第一阶段,以含脉率 $\geq 1.5\%$ 圈定; 2—第二阶段,以含脉率 $\geq 2\%$ 圈定; 3—第三阶段,以含脉率 $\geq 2\%$ 圈定; 4—第四阶段,大致圈定; 5—第五阶段,大致圈定; 6—断层。

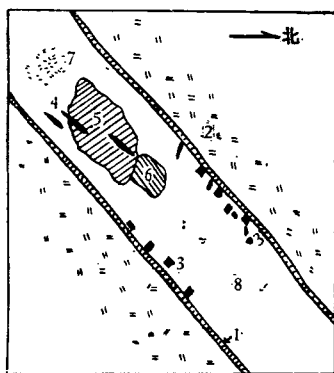


图5 第二成矿阶段矿脉综合特征素描图

1—云母对称梳状镶边； 2—白云母化围岩；
3—锡石；4—黑钨矿；5—黄铜矿；6—萤石；
7—团块状白云母；8—石英。

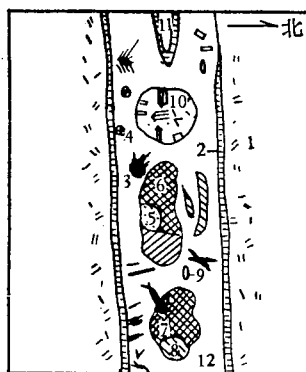


图6 第三成矿阶段矿脉综合特征素描图

1—硅化和白云母化围岩； 2—云母对称梳状镶边；3—黑钨矿；4—锡石；5—氟磷酸铁锰矿；6—硫化物；7—萤石；8—方解石；9—黄玉（部分已蚀变）；10—原生晶洞；11—中石；12—石英。

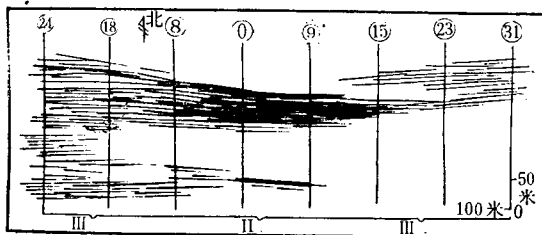
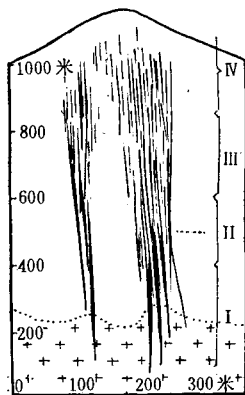


图7 第三成矿阶段矿脉脉型变化示意图

I—10厘米为主的细脉；II—5—10厘米为主的细脉；III—1—5厘米为主的细脉；IV—小于1厘米为主的细脉。

左图为0线剖面示意图；右图为某中段示意图；⑨示勘探线号。

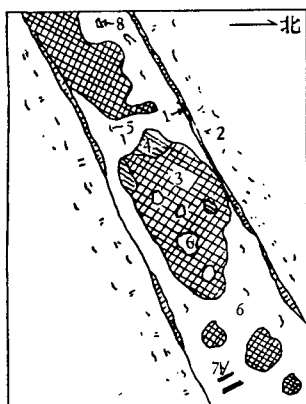


图8 第四成矿阶段矿脉综合特征素描图

1—云母对称梳状镶边； 2—硅化、绢云母化、绿泥石化围岩；3—硫化物；4—萤石；5—绿泥石；6—石英；7—黑钨矿；8—黄玉。

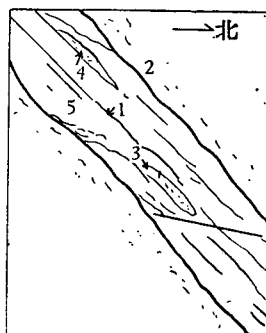


图9 第五成矿阶段矿脉综合特征素描图

1—绿泥石和围岩的条带； 2—硅化和绢云母化、绿泥石化围岩；3—次生晶洞内长水晶、黄铁矿、萤石等晶体；4—中石；5—石英。

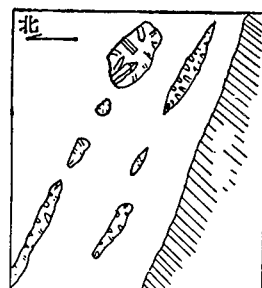
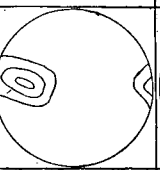
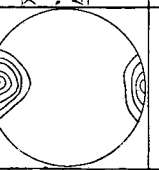
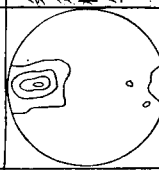


图10 第五成矿阶段矿脉中平行脉壁的晶洞形态和线状排列示意图

表 1 各不同成矿阶段矿脉主要特征表

成矿阶段	矿脉类型	特征矿物	产状	结构构造	围岩蚀变	矿脉发育强度(%)	平均脉宽(厘米)	含矿量	矿性	分布位置
一	(黑铜矿)、辉钼矿、绿柱石—石英脉	辉钼矿、绿柱石(粗大柱状、绿色)、白云母(灰绿色、棕色, 对称条带镶边或呈散状)、石英(块状, 强油脂光泽)、黑铜矿(板状、粒状)、萤石(紫红色)		块状、对称条带状	白云母化、白云母化	13.34 19.08	2.01 0.45 3.75	1 1 12	0.03 0.10 0.05	西北部
二	(绿柱石)、锡石、黑铜矿—石英脉	黑铜矿(厚板状、竹叶状)、锡石、黄铜矿、闪锌矿、绿柱石(无色透明、长柱状、针状)、白云母(无黄色, 整齐的连续的对称梳状镶边, 少量呈团块状)、石英(粒状、块状, 较强的油脂光泽, 带灰色)、萤石(红、紫红色)		对称带状	白云母化、电气石化	16.94 21.68	0.44 1.78 4.06	3 3 5	0.19 0.48 0.38	东北—西南部
三	硫化物、锡石、黑铜矿(或一石英脉(或黄玉)脉)	黑铜矿(薄板状)、锡石、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、铁锂云母—黑磷铁锂云母(暗绿色、棕色、对称梳状镶边)、黄玉、萤石(红色、翠绿色、蓝色)方解石、磷磷铁锰矿、石英(梳状、块状、白色 透明度差、油脂光泽)、辉钼矿、磷灰石		角砾状、对称带状、梳状、原生晶洞	硅化、萤石化、白云母化、电气石化、硫化物矿染	51.23 68.35	1.39 3.94 2.08	17 11 2	0.17 0.40 0.62	全区
四	(黑铜矿)、硫化物—石英脉	黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、铁锂云母(?)、绿泥石、方解石、萤石、石英(梳状、块状、白色)	走向近东西, 北倾 75°左右	对称带状	绿泥石化、绿云母化、碳酸盐化	不发育				深部多见
五	(黄铁矿)—绿泥石—石英脉	绿泥石、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、黄铁矿、白铁矿、毒砂、石英(乳白色、玻璃光泽、梳状、块状)		条带状、角砾状、梳状、原生晶洞	硅化、绿泥石化、白云母化、绿泥石化	5.20 1.36	9.69			矿区中部
六	萤石、碳酸盐脉	萤石(翠绿色、淡蓝色)、方解石、白云石、玉髓、绿泥石	以 260° < 75° 和 190° < 40° 为主	块状、角砾状	萤石化、碳酸盐化	不发育				零星

注: 1. 矿物名称下面标“——”者为次要矿物; 标“——”者为次要金属矿物; 标“——”者为次要脉石。2. 含矿性中矿物含量为面积测量结果, 其值为矿物在矿脉中所占面积的百分比, WO_3 、……等为化学分析结果, 其值是以含量最少者, 为 1 的倍数。厚度 %——某阶段矿脉厚度和/六个阶段矿脉厚度和。条数 %——某阶段矿脉总条数/六个阶段矿脉总条数。含脉率——垂直矿脉走向 1 米长度内矿脉总厚度。含脉密度——1 米长度内矿脉条数。

上列图表说明,不同成矿阶段形成的不同矿物组合类型的矿脉,在平面上各分布在一定的空间,显示出构造应力场的移动控制着成矿裂隙的发生和发展。

(二) 成矿过程中黑钨矿、锡石的物理性质和化学成分的变化

1. 黑钨矿：产于一至四阶段矿脉中,尤以第三阶段矿脉最为主要,在脉中常局部富集,呈“砂包”状。各阶段矿脉中黑钨矿的物理性质、化学成分见表 2。黑钨矿晶体大小与脉幅有关,脉宽则晶体长,反之则短(表 3),平行(010)面长宽比值随着深度增加而加大,如某中段以上第二、三阶段的黑钨矿其长宽比值各为 5:1 及 10:1,而到以下中段则各为 8.7:1 及 11.2:1,这也是由于深部脉幅平均厚度增大的结果。

表 2 各成矿阶段黑钨矿特征表

成 矿 阶 段		一	二	三	四
物 理 性 质	结 晶 形 态	不规则粒状、板状	厚 板 状	薄板状 放射状	针 状 薄板状
	与 脉 关 系	无定向排列,常富集呈块状,产于脉的中部	平行或小角度斜交	垂直或大角度斜交	脉 中 部
	粒度(厘米)	0.1~0.2×1~3 最 长 15	0.5~1.5×2~5 最 长 26	0.2~0.8×2~10 最 长 30	一般结晶细小 1 左右
	11(010) 长 宽 比 比 重 颜 色	6.96 黑 色 为 主	6.90 褐 黑 色	7.04 褐 黑 色	6.37 黑褐—红褐色
主 要 化 学 成 分 (%)	WO ₃	74.54	74.93	74.94	74.24
	FeO	12.52	11.73	9.79	7.08
	MnO	10.32	10.61	12.14	15.54
	H/f**	0.82	0.90	1.25	2.19
分 子 式		(Mn _{0.45} , Fe _{0.54}) _{0.99} W _{1.00} O ₄	(Mn _{0.47} , Fe _{0.51}) _{0.98} W _{1.01} O ₄	(Mn _{0.54} , Fe _{0.43}) _{0.97} W _{1.01} O ₄	(Mn _{0.68} , Fe _{0.31}) _{0.99} W _{1.00} O ₄
	种 属	锰钨铁矿—钨锰铁矿	钨 锰 铁 矿	钨 锰 铁 矿	铁 钨 锰 矿
微 量 元 素 含 量 (%)	Nb ₂ O ₅ *	5.5	2.6	2.4	1
	Ta ₂ O ₅ *	8.4	4.2	4.8	1
	Sc ₂ O ₃ *	5	1.3	1.3	1
	Y ₂ O ₃ *	19.6	3.5	2	1
	Yb ₂ O ₃ *	8.7	2.6	1.5	1
	TiO ₂	0.0585	0.0424	0.0407	0.0345
	Yb	0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	Sn	0.301	0.312	0.782	0.275
	Ca	0.85	0.42	0.932	7
	Mg	0.1	0.1	0.146	0.1
	Ti	0.1	0.1	0.107	<0.1
	Bi	0.03	0.033	0.014	0.065
	Cu	0.014	0.019	0.020	0.014
	Pb	0.011	0.013	0.018	0.018

* Nb₂O₅、Ta₂O₅、Sc₂O₃、Y₂O₃、Yb₂O₃ 等元素,以第四阶段为 1 的相对比值。

** H/f=MnO/FeO。

据 124 个单矿物样品化学分析,全区黑钨矿主要化学成分平均值为 WO₃74.8%、FeO 10.2%、MnO12.1%。从表 2 可知,随着成矿阶段的推移和成矿温度的逐渐降低(一至四

表 3 黑钨矿晶体长度与脉幅关系表

脉 幅 (厘米)	2—6	6.1—10	10.1—15	15.1—30	>30
常见晶体长度(厘米)	1—2	2—4	4—5	4—6	6以上
统 计 个 数	28	24	9	16	18

阶段), 黑钨矿中 H/f 值由 0.82 增到 2.19, 这一变化特征在同一黑钨矿晶体的根部和端部也表现得很明显(表 4)。黑钨矿中微量元素含量的变化也是有规律的: Nb_2O_5 、 Ta_2O_5 、

表 4 黑钨矿晶体根部与端部化学成分比较表

样 品 数	部 位	FeO	MnO	$Nb_2O_5^*$	$Ta_2O_5^*$	H/f
7	根 部	11.31	11.00	1.68	1.77	0.97
7	端 部	9.94	11.39	1	1	1.14

* Nb_2O_5 、 Ta_2O_5 是以端部含量为 1 的相对比值。

Sc_2O_3 、 Y_2O_3 、 Yb_2O_3 、 TiO_2 等在早阶段形成的黑钨矿中富集, 随着时间的推移而逐渐变贫。

同一阶段矿脉, 黑钨矿中 H/f 值的垂直变化, 一般也是随标高的降低而减小(表 5)。

表 5 同一成矿阶段黑钨矿 H/f 值的垂直变化

成矿阶段	中段标高(米)	样 品 个 数	$WO_3\%$	$MnO\%$	$FeO\%$	H/f
一	448	1	74.43	10.96	11.21	0.97
	328	1	75.95	10.61	12.36	0.86
三	676	1	75.58	13.93	9.70	1.43
	616	1	75.95	12.47	10.47	1.19
	580—556	2	75.93	12.44	10.71	1.16
	496	3	76.01	12.49	10.75	1.16
	448	4	75.79	12.24	10.79	1.13
	328	2	75.74	13.00	10.38	1.23
	钻孔标高 300 米以下	2	75.50	11.47	11.95	0.96

同一成矿阶段的黑钨矿中 WO_3 在垂直方向上的变化是中上部较下部含量高(表 5)。另外, 以较系统取样的第三阶段矿脉为例, 中上部中段含量高(WO_3 75.33%), 下部较低(WO_3 73.91%); 在水平方向上的变化, 以样品较系统的某中段 III 号矿带第三阶段矿脉统计结果, 黑钨矿中 WO_3 含量变化不大。黑钨矿中 Nb_2O_5 、 Ta_2O_5 在垂直方向上各成矿阶段均表现为随标高降低而不断增高, 愈接近隐状花岗岩体, 其增长幅度愈大(图 11); 在水平方向上, 矿带中心部位含量最高, 向东西两端变低, 但西部高于东部(图 12)。

同一矿脉中, 当黑钨矿与锡石紧密共生时, Nb 容易进入黑钨矿晶格, 而 Ta 则易于进入锡石中。因此, 黑钨矿中 Nb_2O_5 含量高于锡石, 而 Ta_2O_5 则低于锡石(表 6)。

2. 锡石: 主要产于第二、三成矿阶段, 每一阶段晶出时间延续较长, 但大量晶出是早于黑钨矿, 多在脉壁附近呈对称条带或在中石及矿脉尖灭端附近富集。各阶段锡石的物理特征, 化学成分见表 7。

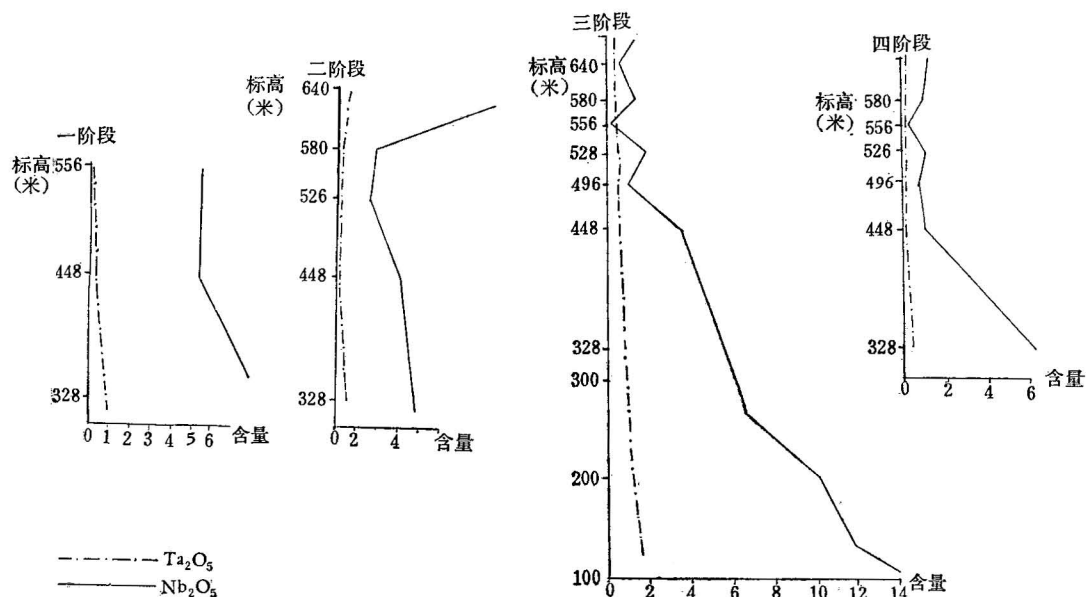


图 11 各不同成矿阶段黑钨矿中 Nb_2O_5 、 Ta_2O_5 含量垂直变化曲线图

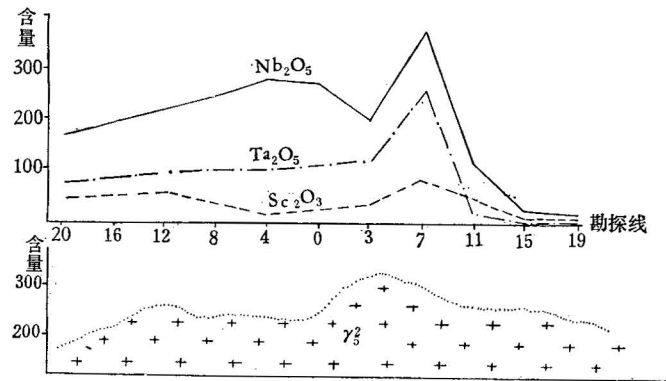


图 12 某中段 III 号矿带第三阶段黑钨矿中 Nb_2O_5 、 Ta_2O_5 、 Sc_2O_3 水平变化曲线图

表 6 同一矿脉黑钨矿、锡石共生时铌、钽含量比较表

成矿阶段	样 品 数	Nb_2O_5		Ta_2O_5	
		黑 钨 矿	锡 石	黑 钨 矿	锡 石
二	3	3.3	1	1	2.4
三	3	3.9	1	1	1.5

注： Nb_2O_5 以锡石中含量为 1 的相对比值； Ta_2O_5 以黑钨矿中含量为 1 的相对比值。

据 55 个样品分析,其主要化学成分的平均含量 SnO_2 97.2 %。

随着成矿时间从早到晚,锡石中 SnO_2 、 Sc_2O_3 、Bi 等含量逐渐增加,而 Nb_2O_5 、 Ta_2O_5 、Mn 等则逐渐减少(图 13)。同一成矿阶段锡石中 SnO_2 、 Nb_2O_5 、 Ta_2O_5 含量在垂直剖面上,自上而下 SnO_2 有所降低,而 Nb_2O_5 、 Ta_2O_5 则不断增加(图 14)。接近隐伏花岗岩体附近及进

表 7 各成矿阶段锡石特征表

成 矿 阶 段		一	二	三
物 理 特 征	结 晶 形 态	半 自 形, 他 形	半 自 形	半 自 形, 他 形
	产 状	与白云母团块共生在脉中部	近壁及白云母边内侧或断续排列成对称条带	在白云母边内侧对称条带及断续排列
	粒 度 (厘米)		一般 0.3—0.8 最大 4	一般 0.4—1, 最大 3
	长 宽 比 值	1	1.52	1.74
	颜 色	棕 褐	棕 褐—黑 褐 色	黑 褐、深 浅 混 杂
化 学 成 分 (%)	比 重	6.65	6.76	6.82
	SnO_2	94.90	97.10	97.66
	Nb_2O_5^*	1.9	1.3	1
	Ta_2O_5^*	3.5	2.7	1
微 量 元 素 (%)	Sc_2O_3^*	1	6.4	28.2
	Mn	1.31	0.401	0.301
	Zr	0.0116	0.0068	0.0075
	Bi	0.010	0.065	0.125
	Ca	0.4	0.166	0.343
	Ti	0.133	0.183	0.162
	Fe	<1	<1	1
	Pb	0.03	0.062	0.052

* Nb_2O_5 、 Ta_2O_5 含量是以三阶段为 1 的相对比值; Sc_2O_3 是一阶段为 1 的比值。

入岩体后,矿脉中锡石含量急剧增高,在水平方向上与某中段花岗岩之顶峰吻合,说明锡石中之铌、钽的含量也与花岗岩有密切的关系。

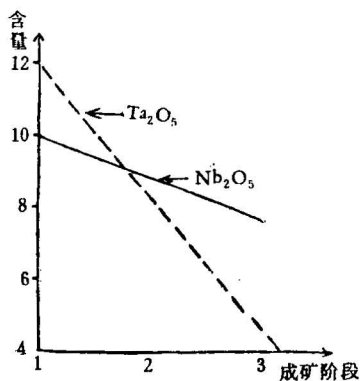


图 13 各成矿阶段锡石中铌、钽含量变化曲线图

(三) 成矿过程中矿液成分的演化

对一、二、三、四、五、六阶段的矿脉进行化学分析结果,可以看出各种元素化合物形成的顺序为氧化物→硫化物→碳酸盐。

从第一阶段到第三阶段的矿脉中 WO_3 、 SnO_2 、F、 Al_2O_3 、 MnO 、 P_2O_5 等元素的含量随着成矿作用的继续而增加,但第三阶段以后趋于减少。 BeO 、 Mo 、 CaO 、 TiO_2 等从成矿早阶段到晚阶段含量趋于减少。硫化物自第三阶段开始富集,至第四阶段为最甚,随后趋于减少,到第六阶段则以碳酸盐矿物及萤石含量最高。 Cd 、 In 、 Tl 、 Te 、 Ga 、 Se 、 Ag 、 Ge 的含量依硫化物变化趋势为转移。 Nb_2O_5 、 Ta_2O_5 从早阶段到晚阶段趋于减少,这主要与黑钨矿中 Nb_2O_5 、 Ta_2O_5 含量随成矿作用发展而减少有关。

(四) 矿 物 分 带

1. 不同阶段矿脉的矿物分带: 通过对一、二、三阶段矿脉分别进行系统的矿物面积测量和矿相研究,发现各种矿物在矿脉中无论水平方向或垂直方向均具有较明显的分带现象。

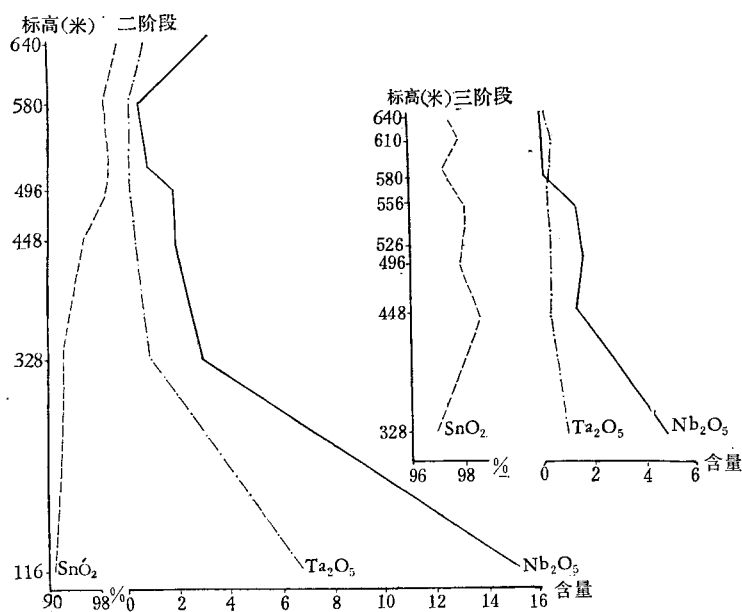


图 14 各不同成矿阶段锡石化学成分垂直变化曲线图

(1) 水平分带:

第一阶段矿脉由脉壁到脉中心依次常为钠长石(少见)→辉钼矿→白云母→绿柱石→黑钨矿→黄铜矿。

第二阶段矿脉自脉壁至脉中依次常为白云母→绿柱石→电气石→锡石→黑钨矿→黄铜矿、闪锌矿等。

第三阶段矿脉由脉壁至脉中心依次常为铁锂云母→绿柱石、正长石(少见)→锡石→黑钨矿→黄玉→萤石→黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿等。在矿脉走向尖灭端, 常见有锡石、黑钨矿、绿柱石、黄玉等矿物的聚集或成为比较单一的矿脉。

(2) 垂直分带:

第一阶段矿脉中的矿物垂直分带现象一般不大明显, 但总体上可见辉钼矿主要富集在下部, 绿柱石富集在中下部, 黑钨矿则在中上部。

第二阶段矿脉中的矿物垂直分带现象在东部较明显, 而在西部不够明显。下部主要富集锡石, 黑钨矿次之(含绿柱石); 中部主要富集黑钨矿, 锡石次之; 上部除黑钨矿外, 硫化物也较发育。

第三阶段矿脉中的矿物垂直分带现象较明显。在下部主要富集锡石和黑钨矿(在石英晶隙内含有辉钼矿); 中部除黑钨矿与锡石外, 硫化物开始发育; 上部西边锡石—云母线发育, 上部东边主要富集硫化物、黄玉等。

2. 温度变化对矿物分带的控制: 众所周知, 温度是控制矿物结晶的主要因素之一。温度梯度越大, 矿物分带就愈清楚。现以第三阶段矿脉为例, 说明温度对矿床矿物分带的影响。

成矿过程的裂隙空间充满热液, 是一个温度场, 其梯度变化由成矿母岩体的中心向地

表或两侧逐渐降低,这个事实早已被若干钨矿床(包括本矿床)的矿物直接测温资料所证实。但也可以用间接的方法,即黑钨矿 H/f 的等值线来表示。在本矿床不同阶段黑钨矿中 MnO/FeO 的变化规律的讨论中知道,随着成矿阶段的往后推移,成矿温度是逐步降低的,但黑钨矿的 H/f 值却在增高,成矿温度愈低, H/f 值就愈大,反之亦然。这样就可把温度场的梯度变化以 H/f 值的空间变化来近似地表示。

根据这一间接表示温度场梯度变化的方法,测制出某中段第三阶段矿脉中黑钨矿的 H/f 等值线图(图 15),以表示矿床在某一水面截面温度场的梯度变化。从图 15 可以看出,黑钨矿 H/f 的最低值恰处于矿体的中央部位,向四周增高,沿东西方向在局部地段另出现若干的低值中心。说明本矿床平面上中央部位成矿温度较高,向南北方向逐渐降低,东西方向则波状起伏地变化。这种变化反映出实际的矿物分带是黑钨矿相对富集在 H/f 的低值地段,而硫化物则富集在高值地段。

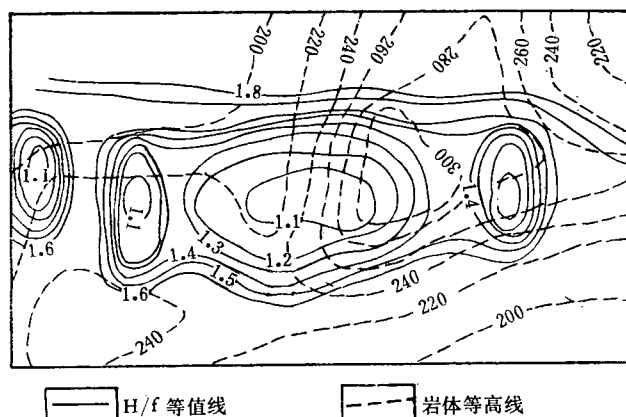


图 15 某中段第三阶段黑钨矿 H/f 等值线平面图

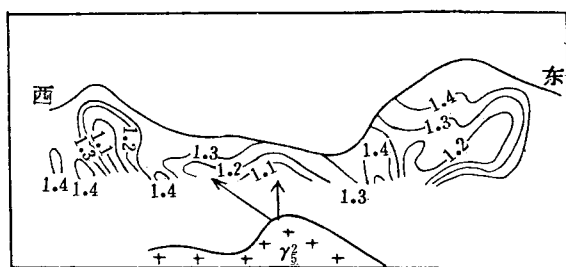


图 16 III 号矿带第三成矿阶段黑钨矿 H/f 等值线纵剖面图

在垂直空间(纵剖面上)的成矿温度变化,也以第三阶段黑钨矿 H/f 等值线纵剖面图(图 16)反映出来。自中下部向上部和东西两侧 H/f 值逐渐增大,成矿温度逐渐降低。对不同标高中段进行系统的矿物面积测量结果,证实随着温度的变化,矿物结晶作用也是自中下部向上和东西两侧作有规律的变化,依次形成辉钼矿、绿柱石、锡石、黑钨矿带→硫化物、锡石、黑钨矿带→锡石、黑钨矿、硫化物带(图 17)。

综上所述,成矿过程,主要是成矿物质在构造应力和温度两种场的作用下发生和发展的变化过程。由此而产生的矿床原生分带,比单一阶段矿脉的分带要复杂得多。就构造

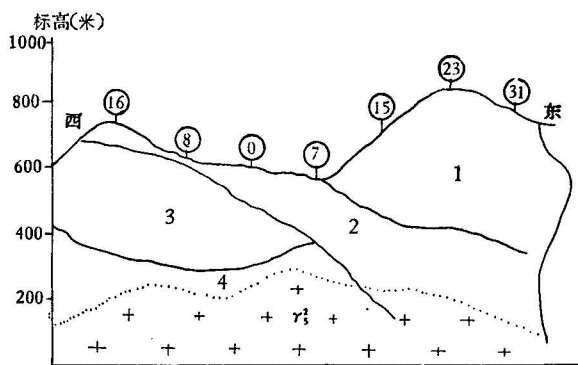


图 17 垂直原生分带纵剖面示意图

1—锡石、黑钨矿、硫化物(铜、锌带)；2—硫化物(铜、锌)、锡石、黑钨矿带；3—辉钼矿、绿柱石、锡石、黑钨矿带；4—硫化物(铜、铅、锌)、锡石、黑钨矿带。

应力场来说,随着时间的推移,除场的向量,强度等发生变化之外(它影响到裂隙的产状、发育程度、结构面性质等的变化),更主要的是不同阶段场的空间位置的移动,它直接控制着前后不同阶段的成矿裂隙是叠置或超复抑或退缩。本矿床第一、二、三阶段矿脉裂隙发育的垂直标高都相差不大,只有四阶段矿脉在矿床深部多见。显示出退缩现象,但它不是主要工业矿化阶段脉矿,影响很小,因此矿床垂向分带主要还是受温度场的影响较大(图 17)。水平分带就大不相同了,前面说过,不同阶段矿脉垂直标高相差不大,但在平面上则各自集中在不同的部位,形成明显的水平分带或分区(图 18),这里构造应力场的控制就转为主导因素,而温度场就降为次要地位了。事物的变化,无不以具体条件为转移,探讨矿床原生分带、矿化富集的问题,外因不是单一不变的,而是随着时间的推移不断地变化,单纯强调某一因素,而不研究若干因素在过程中某一特定时刻何者占主导地位,就难免陷入片面。

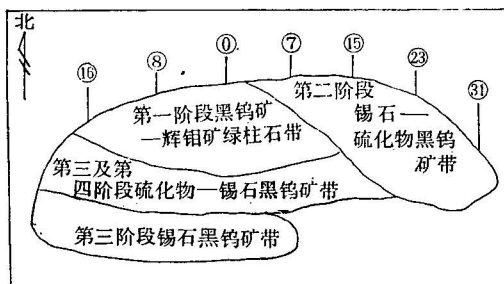


图 18 水平原生分带示意图

三、成矿裂隙的应力场分析

(一) 区域构造带的划分

通过区域褶皱、断裂和裂隙的性质、产状要素、形态变化、填充物特征及其相互关系和

空间位置的系统观察研究,将本区构造作如下初步划分:

1. 区内发育最早的构造:是由寒武系浅变质岩组成轴向北北东、向西陡倾的紧密挤压的倒转复式褶皱。因其与上覆倾角平缓的泥盆系地层呈角度不整合接触,形成时间应属加里东期,以后受燕山运动使之加剧和改造。

2. 东西向构造带:主要由近东西向的挤压面及与之相伴生的北东向和北西向扭裂面组成。形成时间由印支期到燕山期及成矿后均有发育。

3. 北东—北北东向构造带:是本区最发育的构造带之一,它经历了多次活动,一般经历了扭性—压扭性—扭性的复杂过程。由区域东部的断裂走向为北东 50° , 往西至区域中部的断裂逐步偏转至北东 30° 左右;从单一断裂沿走向追索,亦可见走向时为北东 40° , 时为北东 25° 的变化情况,不同走向断裂面力学性质亦有差异,走向北北东者压扭性特征显著,北东者则压性特征较清楚,这种现象反映了由北东构造带经北北东构造带逐步更迭继承发展的结果。区内除了典型的北北东构造带外,主要是受北北东构造带所斜接复活的北东向断裂与东西向构造带断裂复合部位控制了成矿母岩浆的侵入。这从整个成矿带上的若干矿区深部系统钻孔资料所揭露的隐伏花岗岩体形态的延伸方向(顶板等高线)可以得到证实。

4. 南北向构造带:这一构造带,虽不如其它构造带明显,但从矿区外围一些南北走向的压性断裂以及区内另外一些钨矿床的成矿裂隙的力学性质分析,证实本区成矿期曾发生东西向的挤压应力,形成南北向构造带是毋庸置疑的。

由于本区存在多种构造带和多期构造变动,因此,往往同一方向上一组裂隙或同一条断层,其不同发展阶段有不同的力学性质,应属于多构造复合控制的结果。

(二) 成矿裂隙和构造带的成生联系

成矿过程中,岩体内部的热液不断演化(氧化物→硫化物→碳酸盐),构造应力场也分阶段转变。因此,不同阶段形成的裂隙,经矿液充填后便具有不同的矿物共生组合和特定的空间关系,这就等于给每一次应力场作用所产生的裂隙打上了烙印,从而可以对它进行裂隙配套,并进而确定它和构造带之间的成生联系。不同阶段矿脉裂隙的产生见表1统计图和表8。

1. 成矿前裂隙:主要有两组,为不规则网状,沿着破碎带或节理被岩浆前锋的气液充填交代,形成致密块状和角砾状的矽卡岩脉以及网格状和条带状的阳起石细脉,局部地段略呈带状分布。所有这些都属岩浆侵入之前或岩浆侵入早期产生的裂隙,它区别于尔后岩浆结晶分异热液阶段新形成的含矿石英脉裂隙,为成矿裂隙配套清除了早期裂隙的干扰。

2. 成矿期裂隙:主要可分为六个阶段,每一阶段的裂隙均被岩浆期后的气化热液所充填。但其与构造带的成生联系却不相同,兹分述如下:

第一阶段裂隙:共有六组裂隙产状,其中有四组可以配成两套共轭扭裂:其一是走向北东,倾向北西,倾角 80° 和走向北西、倾向南西,倾角 60° 的两组为一套共轭扭裂;其二是走向近东西,向北和向南倾斜,倾角 $60-80^\circ$ 的一套共轭扭裂。岩组分析表明:前者沿裂隙走向方位出现石英岩轴对称极密(4—16%),具S构造岩特征,说明石英岩轴的

表 8 矿区构造裂隙产状一览表

裂隙成 生时期	脉动阶 段	组别	走 向	倾 向	倾 角	发 育 程 度
成矿前		1	不规网状东 北西～南	210~240°	50~60°	
成 期	一	1	近东西	355~360~5°	60~80°	强
		2	近东西	185°	70°	弱
		3	近东南东	211°	10°	最弱
		4	东北西南	330°	70~80°	中
		5	西北西南	220°	60°	中
		6	近南北	270°	50°	最弱
	二	1	近东西	360°	60°	强
		2		180°	60°	弱
	三	1	近东西	5°	80~90°	
	四	1	近东西	360°	75~85°	
	五	1	近东西	360°	55~80°	强
		2		185°	60°	弱
	六	1	近南北	260°	75°	强
		2	近东西	190°	40°	中
		3	近南北	90°	75°	弱
		4	近东西	360°	45°	中
		5	北西西	220°	79°	弱
		6	北东	299°	70°	最弱
成矿后			近东西	350~360~15°	70~80°	强
			近东西	190~175°	40~60°	中

定向排列与断裂面的走向一致,属平方位上的共轭扭裂,而走向近南北,向西倾斜者则为其伴生的张裂隙;后者在两组裂隙面上的应力使围岩的石英颗粒发生了定向排列,但以其中一方向为主,在斜方对称方位上出现了次级最大值,形成类似B构造岩的组构,证明两组裂隙是同时发生的,属于剖面上逆断层性质的一套共轭扭裂,而产状近水平向南西倾斜者为其伴生的张裂隙(图19)。基于上述资料的分析,这一阶段的成矿裂隙应属东西向构造带的范畴,受南北向近水平挤压应力作用的结果。现在的问题是这两套共轭的“X”型扭裂,它们具有扭性或压扭性的特征,如何能被矿液充填。目前有两种解释:一种认为岩块受南北压力超过弹性极限逐步产生微破裂的过程中,一旦压力骤降而失荷导致岩块的膨胀和扩张,使两组扭裂迅速张开而把矿液吸入。另一种解释则认为两组“X”型扭裂形成之后,南北向挤压力逐渐解除,代之岩浆的顶托作用加强,造成垂直应力加大而使裂隙张开充填矿液。看来两者都具有积极的意义。

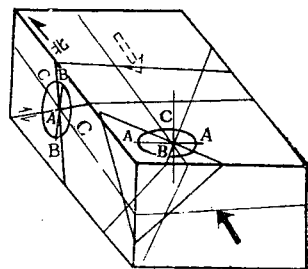


图 19 第一、二成矿阶段
裂隙应力分析图

这里应该着重指出的是,上述分析无论平面共轭扭裂或剖面共轭扭裂都是菱形的钝

角等分线指向主压应力方向——南北向（一般情况下应是锐角等分线指向主压应力方向）。其原因是成矿期岩浆尚处在结晶分异阶段，温度还相当高，在其内外接触带形成裂隙的岩块既是一个应力场，又是一个温度场，在这两种场的联合作用下，岩块具有较高的塑性，南北向主压应力继续作用的时间较长，就可使塑性形变逐步加强，扭裂面便随同形变的进展，向力之作用面中的引张方向旋转，使扭裂面的夹角对着最大挤压方向者变为钝角。这已被野外大量东西向构造带上的观测实例所证实。

第二阶段裂隙：这一阶段裂隙的发生，就其结构面的性质来判断，乃是重复第一阶段的南北向的挤压应力，使岩块进一步向上隆起而继承南北剖面上的两轴形变的结果，因此，它既是继承而又又是新生的裂隙，仍属东西向构造体系的范畴。

第三阶段裂隙：裂隙的特点是走向近东西，多数倾向北 5° 东，倾角一般 80° 以上，有时接近垂直，局部偏转向南倾。某些地段裂隙面上具擦痕，水平方向常见裂隙北盘向西或向东移，一般位移 2—3 厘米左右。垂直方向上常见切穿第二阶段矿脉后，南、北两盘仍保持水平，并无上下错动，但个别情况下却见北盘略有上移。单一裂隙虽较短小，但平行密集。裂隙面绝大多数平直光滑，属扭裂性质，但局部地段却呈张裂性质，一定空间范围内主脉脉幅与支脉脉幅之和相等。裂隙呈带状集中，形成东西走向且自南西北东平行斜裂的几组密集带。该阶段裂隙发育强度和广度以及含矿性均为各阶段之冠。自西而东，西部裂隙绝大多数走向北西西，至矿区中部转为近东西向为主要，到东部则继续偏转至北东东为主。根据上述裂隙结构面的性质、裂隙带的走向和排列方式，它和构造体系的成生联系，可以设想几种情况进行讨论：（1）假设裂隙成生之前矿区岩块的南北两端各有一条东西走向的断裂作为边界条件（这两条断裂可能是早期东西构造带的压性断裂，也可能是北东构造带的 X 型东西向扭裂），当北北东构造带的北西西—南东东方向的挤压力作用于该岩块时，势必优先沿着岩块两端东西向断裂产生右型扭动，从而在岩块内可以形成两组次一级扭裂，其中一组与主扭动方向接近垂直者不发育，另一组与主扭动方向几乎平行呈右型雁行排列者则大量发育。这种应变图像虽可以和裂隙实际情况接近，但它的假设前提是边界条件的存在，然而从矿区地质图上（图 1）看，这边界条件反映是不够明显的；退一步说就是这种边界条件存在，应力场改为西北—东南向挤压，同样也可以产生这种结果。（2）如果把它归属于北东构造带的西北—东南方向挤压应力作用下产生的一组东西向扭裂，那就能比较圆满地和实际裂隙的结构面性质、产状变化以及排列方式等相吻合。例如：扭裂面随同形变进展与最大伸长轴间的角度逐渐减小，由最初北西西转为东西，最后少数甚至到北东 85° 的走向，就能得到较合理的解释（图 20）。

第四阶段裂隙：本阶段裂隙仍属三阶段的应力系统，在某中段以上它表现与第三阶段矿脉组成复脉，但也有部分呈穿切关系，靠近岩体的中段，则因第三阶段矿脉条数相对地减少，便明显地看出它穿切了一、二、三等阶段矿脉，但其产状要素、结构面性质仍与第三阶段矿脉相同，一般为走向东西，倾向北，倾角 70° — 80° 。这就说明它是继承三阶段的应力场，使裂隙再次开张或在其附近新生的裂隙。

第五阶段裂隙：本阶段裂隙产状走向近东西，向北或向南倾斜，以前者为主，倾角 55° — 70° ，均属上盘下滑的性质，明显地把早期矿脉错开，错距大小不等，一般为 50 厘米左右。这次应力场作用的特点，常叠置于第二阶段矿脉，沿脉壁滑动，构成复脉。根据南北

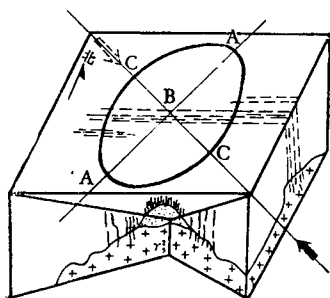


图 20 第三、四成矿阶段裂隙应力分析图

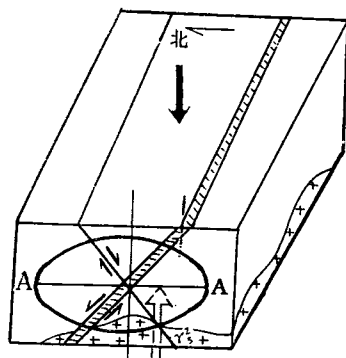


图 21 第五成矿阶段裂隙应力分析图

剖面上的向北或向南倾斜两组裂隙性质的分析,乃是由于深部岩体的顶托作用,在垂直方向上形成最大主应力,东西方向受到限制,因而平面上产生南北拉伸作用的结果(图 21)。

第六阶段裂隙:从裂隙的结构面特点来看与成矿后的断裂相似。根据表 8 中六组裂隙产状配套分析,构造应力场与第一阶段相似,也是属东西向构造带的南北向水平挤压条件下发生发展的。

3. 成矿后裂隙:主要为走向近东西,倾向北或向南两组,前者倾角较大,为 70° — 80° ;后者只有 40° — 60° 左右。这些裂隙在坑道中所见均属断裂而非节理,且普遍见到滴水现象或切断石英脉,有少数被冷水淋滤的碳酸盐矿物所充填形成碳酸盐脉。它仍然继承第六阶段的南北挤压力而新生的裂隙,只是到这一时期下部岩浆期后热液已经停止活动,所以裂隙无矿液充填,却对矿体起破坏作用。

综上所述,由成矿期至成矿后裂隙与构造的成生联系可知,构造应力场的变化自东西向构造带的南北挤压(一、二阶段)转至北东向构造带的西北—东南方向的挤压(三、四阶段),接着第五阶段是岩浆顶托作用造成的垂直方向挤压应力场,到第六阶段以及成矿后又返回东西向构造带的南北向挤压。这样就给人一个清晰的概念,最低限度可以说,本矿床成矿期和成矿后的一段时间里,南北向挤压应力场和西北—东南方向挤压应力场是呈交替变化的。这种变化和每一阶段成矿裂隙内的温度场直接控制了矿床原生分带和矿化富集(包括成矿后矿床的破坏)。

THE GEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF TUNGSTEN-TIN DEPOSITS OF A QUARTZ-VEINLETS-ZONE TYPE

Shan Feng

Abstract

Taking into consideration of the interrelationship of the intersection of the ore veinlets and the types of the mineral paragenesis, the present paper divides the mineralization of the tungsten-tin deposits of a quartz-veinlet-zone-type into six stages and gives the corresponding sequence of the ore-forming substances as: oxides-sulfides-carbonates.

Having studied the ratio of MnO/FeO (H/f , in brief) for the ore-veinlet wolframite of the various stages as well as its vertical and lateral variations of the principal stages, the variation of the temperature field of a certain stage can be determined indirectly and approximately. Moreover, special emphasis is laid on the study of the tectonic stress field of the various stages during and after the mineralization by applying the method of geomechanics. Based on the variation of both fields, the control they exercise over the zoning of primary mineral concentration in the deposits is analysed.