

裂破碎带交汇处,以及邻近中生代火山盆地是成矿的有利构造位置。金主要来自麻山群老地层,金及其他矿质有来自深源的叠加。区域变质、混合岩化、同熔岩浆作用、浅成岩、火山岩及脉岩成岩活动等,使矿液具有多源、多期特征,使金多期迁移、富集。成矿温度为高一中温。成矿时代以海西中晚期为主,燕山期叠加富集。矿体为脉状,矿体多、倾角陡。蚀变以绢英岩化、钾化、绿泥石化、夕卡岩化及多金属矿化与其关系密切。热液矿床,充填或交代型,高温毒砂是金主要载体矿物等。据此总结成为老作山式金矿床成矿模式。

撰写本文过程中,引用701队许多资料,得到刘学思、房学增、陈福祥、金昌斗等热诚指导,于丽丽清绘插图,谨此致谢。

主要参考文献

- [1] 南京大学地质学系: 华南不同时代花岗岩类及其与成矿关系, 科学出版社, 1981年
- [2] 张秋生等: 矿源与成矿, 地质出版社, 1981年
- [3] (美) G·福尔: 同位素地质学原理, 科学出版社, 1983年
- [4] 地质部宜昌地质研究所同位素地质研究室编著: 铅同位素地质学研究的基本问题, 地质出版社, 1979年
- [5] 刘平: 地质与勘探, 1985年, 第2期
- [6] Покалов, В. Т. и др.: Сов. геол., 1983, № 7, с. 28~39
- [7] Ломыкина, Г. В. и др.: Геол. рудн. месторожд., 1983, № 6, с. 102~108

多次成岩成矿作用及其找矿评价

梅 勇 文

(江西地质科学研究所)

热液成矿作用的复杂性和多期性,热液成矿作用与其他成矿作用(夕卡岩成矿作用、沉积-变质成矿作用等)的叠加现象,已经引起很多研究者的注意。作者通过对西华山、漂塘、瑶岗仙等许多钨、多金属矿床的研究,发现在华南地区目前不少已知的大型有色、稀有矿床,几乎都是燕山期多次成岩成矿作用的产物。为此,认真研究和总结“多次岩浆期后热液成矿的叠加特征”实有必要。

本文以漂塘钨锡矿床为例,论证岩浆期后热液型矿床的形成,存在着多次成矿作用,以及多次热液成矿的叠加对形成矿化富、规模大矿床的重要意义。

多次成矿作用的划分及其确定的依据

漂塘钨锡矿属石英细脉带型矿床,含石英英脉的围岩为寒武纪浅变质砂板岩。燕山期复式花

岗岩体隐伏于矿床下部,与钨锡矿床的形成在时间上或空间上均有密切的成因联系(图1)。

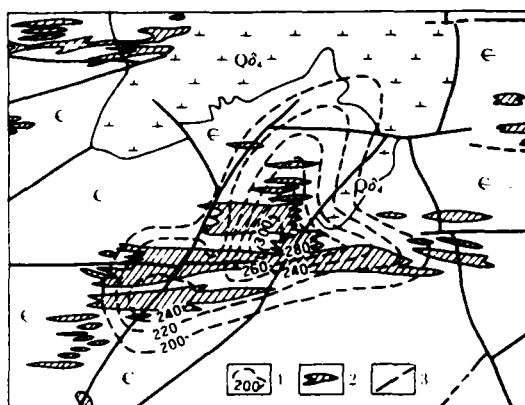


图1 漂塘钨锡矿床地质略图

€—寒武系; Qd4—海西期石英闪长岩; 1—燕山期
隐伏花岗岩顶板等高线; 2—细脉带矿体; 3—断裂

从深部坑道与钻孔所揭露出的隐伏花岗岩岩石特征、各次花岗岩体之间的穿插关系,结合同

位素年龄资料, 可将漂塘隐伏复式花岗岩体具体划分为三个均属燕山期花岗岩浆频繁活动的侵入阶段产物, 即: 燕山期第一阶段中粒黑云母碱长一二长花岗岩 (钾—氩法同位素年龄值为 155.69 ± 1.8 百万年)¹; 燕山期第二阶段斑状中细粒黑云母二长花岗岩; 燕山期第三阶段斑状细粒二云母二长花岗岩。紧随每次花岗岩的侵入, 均伴有规模不等的岩脉贯入和钨、锡、钼、铍等矿化作用。

漂塘细脉带型矿体由多次不同类型的含矿石英脉组合构成, 前人曾对该矿床划分出六个或七个成矿阶段¹, 以后被作为多阶段脉动成矿的典

型实例²。近年来, 随着矿山生产坑道的不断开拓, 许多矿脉之间穿插关系陆续被揭露出来。据此, 以及成矿阶段的演化和多次成岩与成矿的演化关系分析, 笔者认为漂塘矿床不单纯是同一热液成矿期多次脉动成矿阶段所构成的, 而是与多次成岩作用有关的多次热液成矿期 (各次热液成矿期包括几个成矿阶段) 叠加形成的矿床, 具体可划分为三次热液期成矿作用、九个成矿阶段 (表 1)。

必须指出, 在第一次热液成矿期之前, 还有夕卡岩脉和少量不规则石英脉, 均因数量少, 含

漂塘钨锡矿床成矿期次划分表 表 1

成矿岩体	成矿期次	成矿阶段	矿脉类型
γ_3^{2-1}	第三次热液成矿期 (III)	第四	(III ₄) 萤石、碳酸盐—石英脉
		第三	(III ₃) 黄铁矿、绿泥石—石英脉
		第二	(III ₂) 黑钨矿、锡石、硫化物—石英脉
		第一	(III ₁) 黑钨矿、辉钼矿—石英脉
γ_3^{2-2}	第二次热液成矿期 (II)	第二	(II ₂) 黑钨矿、硫化物—石英脉
		第一	(II ₁) 黑钨矿、绿柱石、辉钼矿—石英脉
γ_3^{2-1}	第一次热液成矿期 (I)	第三	(I ₃) 黑钨矿、锡石、硫化物—石英脉
		第二	(I ₂) 硫化物、黑钨矿—石英脉
		第一	(I ₁) 白云母、黑钨矿—石英脉

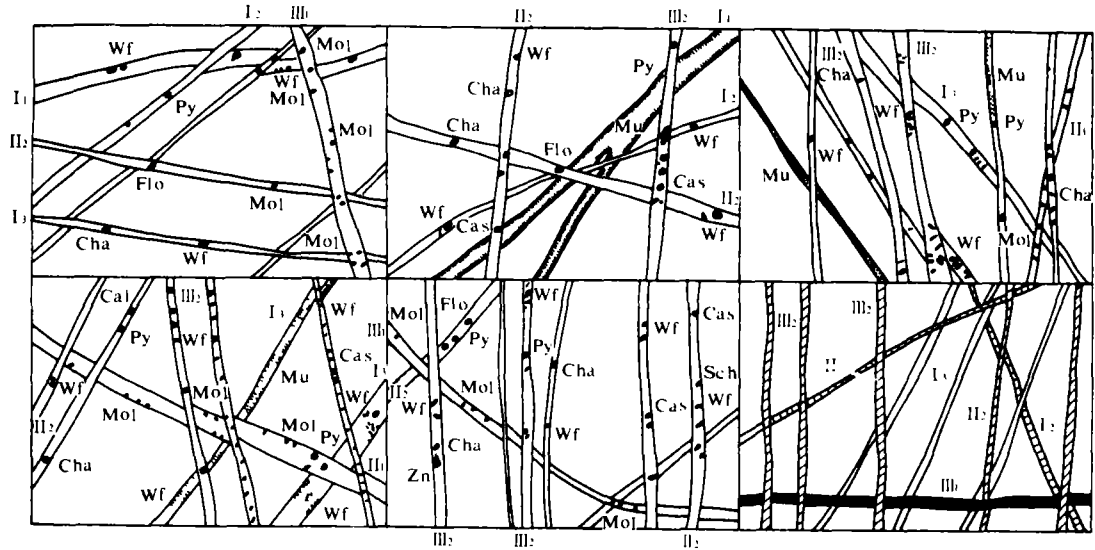


图 2 三次热液成矿期及其成矿阶段矿脉穿插关系

Ber—绿柱石; Cas—锡石; Cha—黄铜矿; Flo—萤石; Gn—方铅矿; Mol—辉钼矿; Mu—白云母; Py—黄铁矿; Sch—白钨矿; Wf—黑钨矿; 矿脉之围岩皆为寒武纪变质砂板岩; 罗马数字为成矿期次和成矿阶段 (图 3 ~ 7 图例同此)

1. 测试单位: 北京大学地质系, 1984 年

矿差,未予划分。在第三次热液成矿期的第二成矿阶段中,包括有四种矿物组合类型的矿脉,有可能作进一步划分,但因资料依据不足,暂作同一成矿阶段处理。

上述划分的主要依据是:

1.矿床中的含矿石英脉,存在着大量的相互穿切(矿脉间切割而无明显错移)或切错(矿脉间切割且有显著错移)关系,这是确定成矿期次、划分成矿阶段的直接地质依据(图2)。实践证明,不同热液成矿期的矿脉之间不仅有明显的切割关系,而且早期矿脉被切错后有显著的位移(图3);同一热液成矿期各成矿阶段的矿脉之

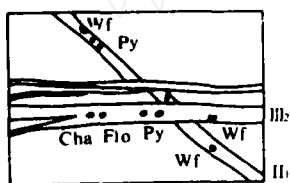


图3 不同成矿期矿脉切错关系

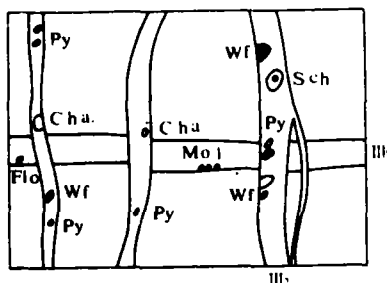


图4 同一成矿期不同成矿阶段矿脉穿切关系

间,虽然也常有清楚的穿切关系,但早阶段矿脉被晚阶段矿脉切割后无明显的位错(图4)。

2.相对高温矿物组合的矿脉切错相对低温矿物组合的矿脉,往往分属不同的热液成矿期。同一热液成矿期的各成矿阶段,具有从(硅酸盐)氧化物→硫化物→碳酸盐的演化规律。如辉钼矿、绿柱石—石英脉之前,仍存在着三个黑钨矿、硫化物—石英脉的成矿阶段,显然应与多次热液期成矿作用有关(图5)。

3.相似矿物组合的矿脉为另一种矿物组合类型的矿脉所隔开,甚至为岩脉所隔开,往往是多次热液期成矿的证据。如穿切(黑钨矿)、辉钼矿、绿柱石—石英脉的黑钨矿、硫化物—石英脉,

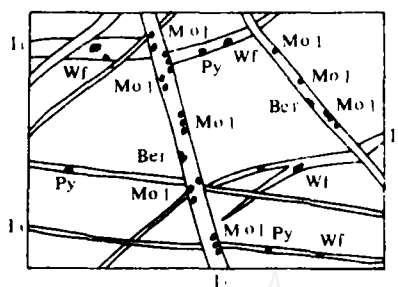


图5 辉钼矿、绿柱石—石英脉切错黑钨矿、硫化物—石英脉

又被另一(黑钨矿)、辉钼矿—石英脉所切错,这两条(黑钨矿)、辉钼矿—石英脉往往是不同热液成矿期形成的产物。

4.同一热液成矿期所形成的复脉,仅表现在矿物的排列上,或者晚阶段矿物沿早阶段矿脉的裂隙充填。不同热液成矿期叠加构成的复脉,主要表现为晚期密集的含石英脉脉近平行穿切早期矿脉,矿物组合彼此无演化关系(图6),有时可见二者为岩脉所隔开。

5.在矿脉中经常出现高温矿物共生组合叠加在低温矿物共生组合之上,如大量锡石、黑钨矿交代或包含金属硫化物等现象,往往与多次热液期矿化叠加有关。

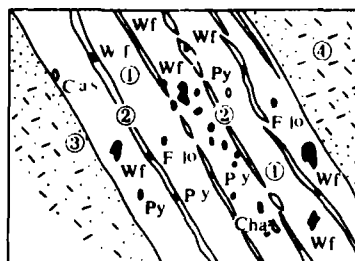


图6 两次成矿形成的复脉特征

①第一次乳白色黑钨矿、硫化物—石英脉; 2 第二次烟灰色辉钼矿、黑钨矿—石英脉; 3 硅化围岩; 4 黑云母化围岩

6.由多次热液成矿期所形成的矿床,其成矿时期往往跨越几个强烈构造活动时期。漂塘矿床已测15条矿脉的钾—氩法同位素年龄值从108~188百万年^②,即经历了燕山期三~四个强烈构造

^②全国同位素地质年龄数据汇编

表 2 热液成矿期主要特征表

成矿期次	成矿阶段	矿脉类型	矿脉产状	主要特征	脉侧蚀变	穿切关系	分布位置
第一热液成矿期 (I)	I ₁	含黑钨矿—白云母石英脉	EW N ₄₀ ° 350 W ₆₅ °	白云母沿脉壁呈对称状产出, 脉中白云母团块发育; 常见少量黑钨矿、黄铁矿、黄铜矿	黑云母化、黄铁矿化		中上部
	I ₂	含硫化物、黑钨矿—白云母石英脉	65~75° NW ₅₀ °	白云母沿脉壁呈不对称状, 脉中白云母团块较为常见; 黑钨矿金属光泽较强, 呈薄板状平行或斜交脉壁生长, 局部富集; 含少量黄铁矿、黄铜矿、萤石、锡石、辉钼矿	黑云母化、白云母化、弱硅化	穿切 I ₁ , 无位错	东北部西部
	I ₃	硫化物 (锡石)、黑钨矿—白云母石英脉	280° N ₅₅ ° EW N ₅₀ ° 350 W ₅₅ °	白云母沿脉壁对称生长, 脉中白云母常见; 少量黑钨矿呈薄板状平行脉壁生长; 常见黄铁矿、黄铜矿、萤石、锡石、方铅矿	白云母化、硅化、黑云母化	穿切 I ₂ , 无位错	中东部为主
第二热液成矿期 (II)	II ₁	(黑钨矿、绿柱石、辉钼矿—石英脉)	320° SW ₅₀ ° 85° N ₆₀ ° 290° NE ₇₂ °	大量辉钼矿沿脉壁生长, 绿柱石较为常见, 呈翠绿色长柱状、板状, 斜交脉壁生长, 黑钨矿呈点状、紫红色萤石常见, 局部见锡石	硅化、黑云母化、白云母化	切错 I ₁ , I ₂ , 左行错距 1 cm	中部西北部
	II ₂	含黑钨矿、(硫化物)—石英脉	280° S ₇₅ ° EW N ₄₅ ° 315° SW ₈₀ °	少量黑钨矿呈粒状或板状平行脉壁生长; 黄铜矿、黄铁矿呈点状或团块状; 局部见有萤石、锡石、绿柱石	硅化、黑云母化、绿泥石化	切错 I ₂ , I ₃ , 穿切 II ₁	中部
第三热液成矿期 (III)	III ₁	(黑钨矿) 辉钼矿—石英脉	350° W ₄₅ °	辉钼矿沿脉壁或在脉中出现; 黑钨矿呈薄板状分布于脉中; 含少量紫红色萤石、绿柱石	硅化、白云母化	切错 I ₂ , I ₃ , II ₁ , II ₂	中东部
	III ₂	(黄玉) 锡石、硫化物、黑钨矿—石英脉、锡石、黑钨矿、硫化物—石英脉、黑钨矿、硫化物—石英脉、(绿柱石) 锡石、黑钨矿、硫化物—石英脉	EW N ₈₅ ° 280° N ₈₂ °	铁锂云母对称脉壁极为普遍; 黑钨矿呈厚板状, 金属光泽较弱, 平行脉壁出现, 锡石近脉壁大量出现; 黄玉、磷灰石近脉壁分布; 团块状黄铜矿、黄铁矿在脉中大量存在; 常见方铅矿、闪锌矿; 见有少量黄铁矿、辉钼矿、辉铜矿、黄铁矿	强硅化、萤石化、白云母化、黄铁矿化	切错 I ₂ , I ₃ , II ₁ , II ₂ , 穿切 III ₁	全区中部最发育
	III ₃	黄铁矿—绿泥石化石英脉	EW N ₈₀ ° EW N ₁₀₀ ° 15° W ₈₀ °	绿泥石化及云母状黄铁矿条带平行脉壁十分发育; 见少量团块状黄铁矿、黄铜矿、毒砂、闪锌矿、方铅矿、白铁矿、萤石、黑钨矿	硅化、绿泥石化、绿泥石化	切错 I ₂ , 穿切 III ₁	靠近 F ₂ 断裂附近
	III ₄	萤石、碳酸盐脉、萤石、碳酸盐—石英脉	EW N ₈₀ ° 280° S ₁₀₀ ° 350° W ₇₅ °	主要由萤石、方解石、白云石、重晶石和石英组成; 局部见黄铁矿; 有时萤石、方解石组成单矿物脉	萤石化、碳酸盐化、绿泥石化	切错 I ₂ , 穿切 III ₁ , III ₂	中部

运动时期,反映各次热液成矿作用是伴随不同构造运动的多次成岩作用出现的。

总之,矿床的多次成矿作用与伴随多次构造运动的多次成岩演化息息相关。而每次成矿作用中的各成矿阶段,则属同一成矿的演化过程,往往具有较为明显的演化规律。因此,以上述实际资料依据,经过综合分析,不难将同一成矿作用的不同成矿阶段与不同热液成矿期之间较严格地区分开来。

各次热液成矿期的主要特征

不同热液成矿期的特征,既有差异性又有一定的继承性。漂塘矿床的三次热液期成矿作用,在矿化类型、矿物共生组合、矿脉产状系统、矿物标型特征,以及脉侧蚀变等方面,彼此有较为明显的区别;从第一次热液成矿期到第三次热液成矿期的主要矿化由 $W \rightarrow Mo(W, Be) \rightarrow W, Sn(Cu, Pb, Zn)$ 依次演变。各次成矿在时间上均可以大体划分出(硅酸盐)氧化物 $\rightarrow$ 硫化物 $\rightarrow$ 碳酸盐几个成矿阶段。总的来说,绿柱石、辉钼矿主要生成于(硅酸盐)氧化物阶段;黑钨矿、锡石以氧化物阶段最为发育,至硫化物阶段仍有黑钨矿、锡石晶出;金属硫化物虽然在氧化物阶段也有出现,但以硫化物阶段相对发育。现将漂塘矿床各次热液成矿期主要特征综述如下(表2):

1. 第一次热液成矿期

钨等矿化主要呈含黑钨矿或含硫化物—白云母石英脉成群产出。大多数矿脉走向近东西,倾向北,倾角 $45 \sim 65^\circ$ 。沿矿脉两壁白云母对称镶边极为普遍,脉中白云母集合体团块也较常见;黑钨矿呈薄板状,金属光泽较强,平行或斜交脉壁生长;硫化物的种类和含量较少。脉侧围岩蚀变主要为黑云母化与白云母化(图7)。

此次热液成矿期又可划分为三个成矿阶段。从第一阶段到第三阶段,白云母含量逐渐减少;硫化物、锡石含量依次增加。第三阶段并出现有方铅矿。本次热液成矿期为钨的主要矿化期之一,其中以第二成矿阶段钨矿化较强,为矿床东部细脉带矿体的重要组成部分。

2. 第二次热液成矿期

本次成矿作用所形成的矿脉以富含辉钼矿、绿柱石为突出特征。矿脉走向主要有北西向、北东东向、北西西向三组,倾向南西或北西,倾角 $60 \sim 75^\circ$ 。辉钼矿多沿脉壁呈不连续的对称条带分布;绿柱石晶体粗大,呈长柱状或放射状集合体斜交脉壁生长;黑钨矿以薄板状为主,呈团块状集合体产出的黑钨矿次之,多近平行脉壁生长;并见有较多的淡紫色或淡绿色的萤石。脉侧围岩蚀变主要为硅化、黑云母化。

此次热液成矿期可明显划分为二个成矿阶段。从早到晚阶段,辉钼矿、绿柱石显著减少;黄铁矿、黄铜矿等金属硫化物明显增加。这次成矿作用为矿床的钼、铍主要成矿期,尤以第一成矿阶段更为主要。

3. 第三次热液成矿期

本次成矿作用主要形成大量锡石、黑钨矿、硫化物—石英脉。矿脉产状主要为走向北西西—东西,倾向北为主,倾角 $80 \sim 87^\circ$;少数矿脉走向北北西,倾向南西,倾角 $55 \sim 65^\circ$,矿脉平行密集排列。矿脉类型较多,矿物组合较为复杂,以黑钨矿、锡石为主,黄铜矿、辉钼矿、黄铁矿也较多,并常见铁闪锌矿、方铅矿、白钨矿、萤石、黄玉等。脉侧围岩蚀变以硅化为主,次为黑云母化、白云母化、绿泥石化等,蚀变分带形式多种多样。

此次热液成矿期主要由四个成矿阶段构成。第一成矿阶段以片体粗大的辉钼矿为主,近脉壁零星分布;黑钨矿平行或斜交脉壁生长;硫化物呈星点状分布于脉中。第二成矿阶段的矿物种类极为复杂,黑钨矿多呈厚板状,金属光泽较弱,近平行脉壁或呈团块状集合体出现;锡石呈深褐色粒状晶体靠近脉壁分布;硫化物种类繁多,大量黄铜矿、黄铁矿呈团块状产于脉中,尚有磁黄铁矿、斑铜矿、铜蓝、方铅矿、闪锌矿、毒砂等;沿脉壁铁锂云母呈对称镶边连续展布;脉内晶洞构造发育。第三成矿阶段主要为条带状矿脉,绿泥石和云雾状黄铁矿呈条带近平行脉壁分布,与石英构成明显的黑、白相间条带,矿化一般较弱。第四成矿阶段为萤石、方解石—石英脉或方解石

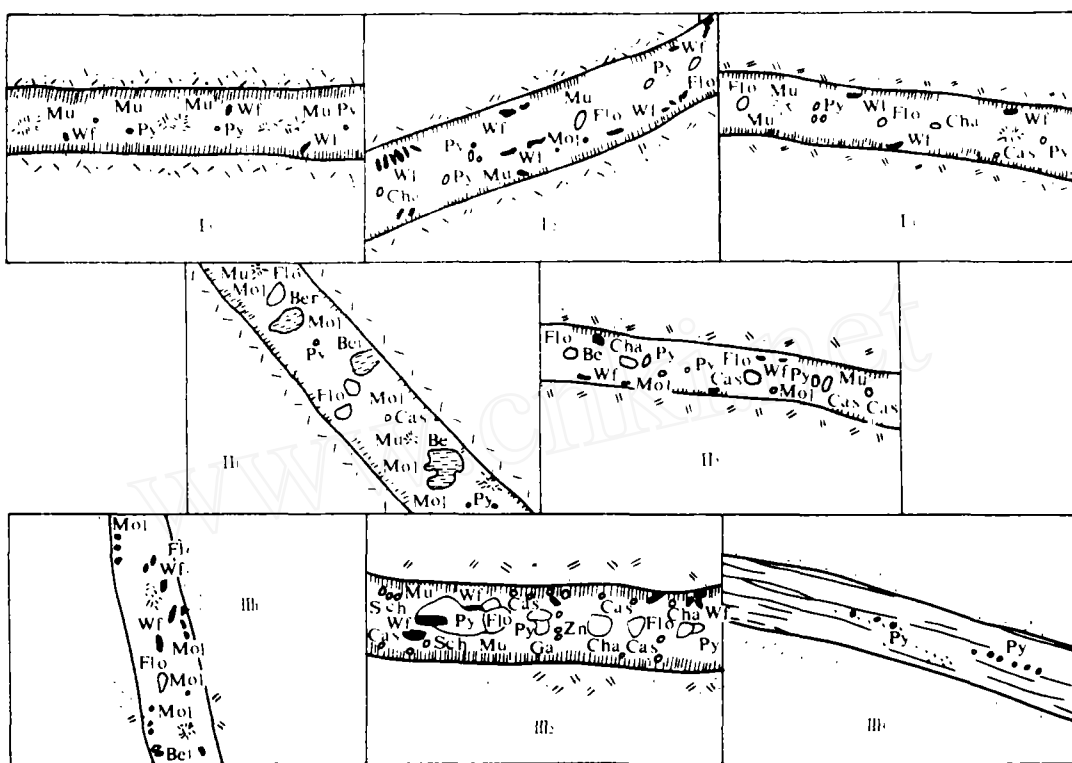


图7 各次热液成矿期不同成矿阶段矿脉特征图

一石英脉。从而这次热液成矿期由第一到第四成矿阶段，构成一个较为完整的岩浆期后热液成矿演化序列。其中以第二成矿阶段的钨、锡、金属硫化物均较发育，为组成矿床最主要的成矿阶段，构成Ⅲ号细脉带矿体的主干。

从上述可以看出，漂塘钨锡矿床系由三次热液成矿作用所形成，各次成矿作用之间既有一定的演化趋势，又存在着各自独立的成矿演化过程，彼此之间有着明显的差异。三次热液成矿作用所形成的矿脉，均具有程度不等的工业意义，尤以第三次热液成矿期的第二成矿阶段矿化最强。三次成矿作用的叠加，是形成矿化富规模大矿体的重要因素。

多次成矿作用的找矿评价标志

漂塘钨锡矿床系由三次热液期成矿作用的多阶段不同类型、不同产状的含石英细脉或大脉所构成。已知有石英细脉带矿体15条，其中以Ⅲ号矿带规模最大；矿带中以1~4厘米宽的石英细脉最为常见，最大单脉幅宽可达2米以上，含

脉密度3条/米，含脉率一般6~8%。矿床的矿物共生组合极为复杂，现已发现矿物有69种，其中主要为黑钨矿、锡石、辉钼矿、绿柱石、黄铜矿、黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、铁锂云母等。

漂塘钨锡矿床的Ⅲ号矿脉带，主要由第一与第三次热液期成矿作用形成的矿脉交织所构成，并受到第二次热液期成矿作用一定的影响。由于多次成矿的叠加，矿化富集且相对较均匀，矿物种类和矿脉类型复杂，矿脉带长可达1230米，平均宽203米，矿化深度720米以上。其他矿脉带主要由一次热液期成矿作用形成的矿脉组成，受其他热液期成矿作用影响较少，矿化相对较贫，矿脉带长一般只有200~500米，矿化深度仅300~400米，矿体规模相对较小。

漂塘矿床三次热液期成矿作用，在空间上既各占一方又有重叠或交织。由于各次成矿特征和矿化强度不同，所形成的细脉带矿体也有一定差异。在多次成矿作用叠加的区段，不仅矿物种类和矿脉类型繁多，也促成矿化富集和提高了矿化的相对均匀性。

同时,多次成矿作用发育的区段,由于容矿裂隙多次活动,沿走向或倾向不断扩张和矿化多次重叠,以及多次分层矿化,所以这些地段不仅矿脉数量增多和矿脉密度升高,从而扩大了矿体或矿床的规模。这正是矿床中Ⅲ号矿脉带矿化富集,以及长度和矿化深度大于其他矿脉带的主要原因。

近年来,作者在详细研究西华山钨矿田多次成岩成矿典型特征的基础上^[3],对漂塘钨锡矿床、大龙山钨钼矿床、木梓园钨钼矿床等许多规模较大的内、外接触带型矿床也进行了研究,不仅找到了多次成岩与成矿的证据,还证实了这些矿床具有多次成矿特征;而且在柿竹园、瑶岗仙、黄沙等较大的钨矿床中,也存在着多次成岩成矿的有力证据,并具有较为明显的多次成矿特征;甚至在大吉山、盘古山等矿化深度较大的钨矿床中,也越来越多地发现了多次成矿的迹象。因此,在总结一般钨矿床的找矿标志基础上,这里着重对这些与多次成岩成矿有关的规模大的矿床找矿评价标志概括如下:

1. 具有含钨丰度较高的区域地球化学背景,以及区域性长期活动的深切断裂发育、构造—岩浆活动频繁而强烈的地区,是形成多次成岩成矿的有利地质条件。

2. 脉状钨矿床与燕山期花岗岩有着密切的成因联系,岩体顶部或边缘含石榴石—二云母或白云母碱长花岗岩——附加侵入体的存在,以及似伟晶岩边或团块、云英岩壳发育,往往是判别成矿岩体和预测钨矿床的重要标志。具有这种特征的多期、多阶段岩体所构成的复式岩体(包括隐伏复式岩体),常出现多次的成矿作用,各次成矿作用的叠加,有利于形成矿化富、规模大的矿床。

3. 高硅、富碱、贫钛、铁、镁、钙,含钨丰度较高的花岗岩,是与脉钨矿床有关岩体的共同特征。这种岩体内产有钨矿脉并又截切或捕虏另一些钨矿脉时,是判断多次成岩成矿最有力的地质证据。

4. 多种矿化脉岩的发育,是预测隐伏成矿岩体及有关矿床的标志。岩脉与岩脉以及与矿脉之间的切割关系,是判别岩浆侵入活动和成矿作用期次的良好标志。矿脉之间为岩脉所隔开,是多次成矿的重要证据,切割关系越复杂,表明成矿期次越多,对成矿更为有利。

5. 规模较大的矿床,一般由多组产状系统的主要矿脉所构成,单纯以一组产状矿脉组成的矿床,多数规模较小。含高温矿物组合或以氧化物组合为主的矿脉切错含中低温矿物组合或以硫化物组合为主的矿脉,往往与多次热液期成矿作用有关;具有这种相互穿切关系的成组成带的矿化云母、石英线脉,即矿化标志带,是产于花岗岩体外接触带型的脉钨矿床重要直接找矿标志。

6. 矿物共生组合复杂,多种矿化与蚀变类型叠加,也是一种重要的找矿标志。由不同期次成矿作用形成的矿脉,彼此先后不具明显的演化规律;在所形成的复脉中,可见到大量高温矿物交代或包含低温矿物的现象,矿物标型特征有明显的差异;甚至出现具有各自矿化原生分带的“两层或多层”矿化。这往往是多次成矿作用所形成的矿化深、规模大的矿体或矿床的共同特征。

由此可见,对多次成岩成矿作用的研究,不仅可以查明矿体分布和矿化富集规律性,而且对指导规模较大矿床的发现、寻找和评价,甚至已有矿床远景规模的扩大,均具有重要的实际价值。

参 考 文 献

- [1] 山峰:地质学报,1976,第1期
- [2] 朱焱龄等:《赣南钨矿地质》,江西人民出版社,1981年
- [3] 吴永乐、梅勇文:《钨矿地质讨论论文集》,地质出版社,1981年,第207~220页