



黄金地质研究所

信息室 提供

战略地质调查项目系列成果——
黄金地质专题信息编辑之十二

钨矿床

WU KUANGCHUANG

中国人民武装警察部队黄金地质研究所

2007 年 10 月



黄金地质研究所
信息室 提供

战略地质调查项目系列成果——
黄金地质专题信息编辑之十二

钨矿床

W U K U A N G C H U A N G

课题组成员：李杰美 王美娟 朝银银 王 欣



目 次

概 况

中国钨矿床分类·····	(1)
中国钨矿床主要类型·····	(2)
中国钨矿床的基本地质特征·····	(8)
中国钨资源的分布·····	(9)
中国钨矿床的主要成矿带(区)·····	(10)
中国钨矿床时空分布及成矿规律·····	(20)
钨矿业简史·····	(21)
20 世纪新发现的层控型钨矿床·····	(22)
亚洲钨矿床(WO_3 储量 >5 万 t)·····	(23)
20 世纪发现的超巨型钨矿床(WO_3 储量 >20 万 t)·····	(24)
世界钨资源概况·····	(24)

典型矿床

湖南柿竹园夕卡岩型钨矿床·····	(25)
福建行洛坑花岗岩型钨矿床·····	(29)
河南三道庄夕卡岩型钨-钼矿床·····	(34)
湖南沃溪变质热液型钨-金-锑矿床·····	(38)
甘肃小柳沟石英脉型钨-多金属矿床·····	(43)

详细摘要

国 内

湖南瑶岗仙夕卡岩型钨矿床·····	(53)
湖南新田岭夕卡岩型钨矿床·····	(55)
甘肃塔儿沟石英脉型钨矿床·····	(56)
江西大吉山热液型钨矿床·····	(58)
江西西华山热液型钨矿床·····	(59)
江西阳储岭斑岩型钨-钼矿床·····	(59)
广东锯板坑石英脉带型钨矿床·····	(60)
广西珊瑚—长营岭花岗岩型钨-锡矿床·····	(61)
广东莲花山斑岩型钨矿床·····	(63)
广东大宝山风化残积型钨-铁矿床·····	(64)

国 外

加拿大坎通夕卡岩型白钨矿床·····	(66)
加拿大马克通夕卡岩型白钨矿床·····	(66)
加拿大普莱森特山黑钨矿床·····	(66)
美国派恩克里克夕卡岩型白钨矿床·····	(66)
美国克莱梅克斯斑岩型钨-钼矿床·····	(67)
澳大利亚金岛夕卡岩型白钨矿床·····	(67)
澳大利亚卡拜因山黑钨矿床·····	(67)
玻利维亚乔赫亚钨-锡矿床·····	(67)
玻利维亚奇科特格朗德钨-锡矿床·····	(68)



译 文

奥地利阿尔卑斯山中部 Felhertal 钨矿床白钨矿的铼、钹、铅同位素	(68)
法国地块中央晚华力西期与造山作用有关的构造矿化系统	(68)
印度西北部新元古代酸性岩浆与钨成矿的关系	(69)
钨成矿的演化历史	(69)
蒙古阿尔泰山 Kyzyltau 钨矿床的流体状态和成矿建造——钨-锡成矿系统的流体变异的证据	(69)

英 文

Tungsten deposits in the Wolfram Schist , Namaqualand , south Africa : strata-bound versus granite-related genetic concepts	(70)
The hydrothermal geochemistry of tungsten in granitoid environments : I. Relative solubilities of ferberite and scheelite as a function of T , P , pH, and m_{NaCl}	(71)
Fabrication and investigation of tungsten deposit on top and bottom surfaces of thin film substrate	(72)
Assessment of grid-based whole-rock δD surveys in exploration : Boulder County epithermal tungsten deposit , Colorado	(72)

附 录

钨、锡、汞、铋矿产地质勘查规范	(73)
钨矿石工业要求	(100)
中国钨矿主要产地	(101)
国外钨矿床一览	(102)
世界钨资源年评 (2004—2005)	(106)

主要参考文献	(109)
--------------	-------

结 语	(110)
-----------	-------



中国钨矿床分类

20 世纪 50 年代以前, 钨矿床分类受 W·林格伦 (1911), P·尼格里 (1925), 史奈德洪 (1932) 等矿床分类的影响, 主要在岩浆一元论的基础上, 强调了温度、压力或矿床距离岩体的位置。60 年代初期, 则侧重于矿物共生组合和矿石建造因素; 中期以后, 注意到沉积、变质和岩浆作用与钨的成矿作用的关系, 逐步认识到成矿的多源、多因、多阶段性以及多种机制联合控矿的特征, 促使成矿理论有了显著的提高, 从而也导致钨矿床成因分类产生了重要的变革。

1 矿床成因分类准则

矿床类型的划分是否符合客观实际, 主要取决于对矿床成因的研究程度。多元成矿的科学观点和理论, 以及提供可能发现新矿床的信息, 应当作为成因分类的重要依据。

1) 成矿物质的多源性, 作为主要成矿元素的钨, 其来源可概分为岩源和层源。岩源系指岩浆岩, 层源乃指地层 (包括具有固定层位的火山沉积物), 此外, 相对矿床位置而言, 又有自源与他源的区别: 自源为就地取材的同生沉积物, 容矿层即矿源层; 他源属异地迁积。成矿的钨来自上述不同的岩源、层源, 或自源、他源, 可分别形成各具特征的同源矿床, 也可以异途同归, 形成多源复成矿床或多型共生矿床。因此, 作为矿床成因分类准则的矿源因素包括岩源、层源及复合源。

2) 成矿条件的多样性, 钨的成矿条件, 具有地层、构造、岩浆作用等多种因素。地层沉积建造是供矿、容矿的基本因素之一, 不同的容矿建造机制, 分别决定着矿床类型的差异, 诸如碳酸盐岩建造总是形成夕卡岩或似夕卡岩钨矿床, 而硅铝质建造则往往产生交代岩或角岩型矿床。构造-岩浆是成矿的另一个重要基本因素, 不同构造所导致的不同成因、不同岩性以及不同地球化学特征的岩体, 分别产生各具特点的矿床类型。多种成矿条件联合控矿, 必然导致多型矿床的共存与复合。

3) 矿化作用的多因性, 主要是矿液性质、构造环境、围岩因素等, 它们又各自表现了多样性。例如矿液的成分、酸碱度、氧硫逸度、盐度、浓度、温度、压力等不同分别制约着不同的矿床类

型。不同的构造环境, 导致脉型、岩筒型、细脉浸染型等明显的差异。围岩的多样性及其对成矿的影响, 已属众所周知。此外, 交代与充填作用, 也是关系到矿床类型的重要因素。

4) 提供预测找矿信息, 从研究矿床成因类型的目的来看, 一个实践性较强的分类方案, 不单是要符合成矿的客观规律, 而且还应当对找矿前提和发现新类型矿床的可能性提供预测信息。如果是预测与花岗岩有关的矿床, 就应当考虑作为成矿条件的不同岩浆-成矿系列, 从而根据客观地质条件, 发现同一系列中的各型矿床。如果地层是主要成矿前提, 而且特定沉积建造、层位对供矿、容矿具有控制作用, 那么相应的矿床类型, 亦必体现种种控矿地层标志。因此, 有关岩浆-成矿系列与地层控制条件, 不仅是成矿的基本因素, 而且也为预测找矿揭示了“按岩体找矿”, 还是“顺层找矿”以及可能发现的矿床类型。

2 矿床成矿类、型级别的划分

在全国约 1 000 处钨矿床的调查研究基础上, 根据上述分类准则, 对钨矿床成因类型建立了“类”、“亚类”和“型”三级单元。

1) 类, 为钨矿床成因分类的最高级单位。成矿因素包括内在因素和外部条件, 内因主要体现于矿质来源及钨元素的地球化学演化, 外因为矿化作用所要求的客观条件。矿化即内因与外因相互作用过程及其产物。在地壳成长过程中, 钨的“分散”→集中→成矿”, 首先通过沉积 (包括火山) 作用, 形成矿源层, 其次经过种种再造机制以及变质作用, 直接以地层为前提形成层控钨矿床, 或经过分熔、重熔间接衍生为岩控钨矿床。之后, 各类钨矿床经过表生作用进而再向沉积转化, 形成种种表生钨矿床。因此, 将钨矿床划为岩控钨矿床、层控钨矿床和表生钨矿床 3 类。

2) 亚类, 为矿床成因分类的二级单位, 也是反映成矿规律和预测找矿的基本因素。岩控矿床的矿源取决于不同花岗岩体的源岩。由于源岩不同, 直接关系到花岗岩的成因分类及其有关矿床的属性。中国与钨矿床有关的花岗岩类岩体的源岩, 有陆壳改造与壳-幔过渡同熔源两大类 (徐克勤等,



1981)。它们是岩源钨矿床的 2 类主要矿源，理应作为划分钨矿床成因亚类的重要依据。对于层控钨矿床，因包括自源、他源、复合源等，情况比较复杂，对其主次地位往往不易作出准确的判断，暂分层控再造和层控叠加 2 个亚类。

成矿作用系指成矿的主导因素，如岩控钨矿床各种不同的“构造-岩浆-成矿作用”；层控钨矿床的多因复控成矿作用——“沉积-再造-变质作用”、“沉积-岩浆叠生作用”等作为划分亚类的主要依据。现代表生矿床的成矿作用，已体现于大类，所以不再划分亚类。

3) 型，为矿床成因类型中最基本的单元，分别隶属于不同的类和亚类，主要根据成矿机制及其矿化特征而定。诸如：岩浆-热液充填、交代作用；

沉积-变质作用（似夕卡岩、混合岩以及各种交代岩）；表生氧化-淋滤作用等。预测找矿意义则体现于作为找矿标志的种种矿化现象。

由不同矿源或不同成矿前提所形成的矿床，有些具有共同的矿化作用，例如矿液充填-交代以及各种构造环境等。因此，有些因素具一定的普遍性，从而出现跨类、跨亚类的型，如石英脉型、角砾岩筒型等。

3 钨矿床的成因类型

根据前述矿床成因、预测找矿目的等分类原则，将中国钨矿床划分为 3 类，5 个亚类，20 个型（表 1）。

表 1 中国钨矿床成因类型

类	亚 类	型	典 型 矿 床
岩 控 钨 矿 床	壳源改造花岗岩 成矿亚类	花岗岩细脉浸染型	福建省洛坑,江西下桐岭
		钠长花岗岩型	江西大吉山(69 号岩体)
		云英岩型	江西洪水寨
		花岗伟晶岩型	广东白石岗
		夕卡岩型	江西宝山,湖南新田岭
		石英-萤石型	湖南香花铺
		石英(长石)脉型	广东锯板坑,江西西华山
		蚀变角砾岩型	广西八步岭,江西虎家尖
	壳-幔混源同熔 花岗(闪长)岩 成矿亚类	角砾岩筒型	江西大湖塘狮子崖
		斑岩型	广东莲花山,江西阳储岭
层 控 钨 矿 床	层控再造(改造) 成矿亚类	角砾岩筒型	江西胎子崇、李公岭
		火山岩型	福建广平
	层控叠加 成矿亚类	似夕卡岩型	江西高湖、和尚滩
		沉积再造型	湖南沃溪
		混合岩-似夕卡岩型	江西永平,云南南秧田
现代表生 钨 矿 床		石英脉-似夕卡岩型	江西岗鼓山,甘肃塔儿沟
		云英岩-复合夕卡岩型	湖南柿竹园
		石英脉-交代岩型	广西大明山,江西隘上
		氧化淋滤型	广东大宝山,江西塔前
		冲积砂矿型	江西丰田

摘自《中国矿床》中册

中国钨矿床主要类型

中国是钨矿资源大国，研究钨矿床的学者甚多，从成因、建造、工业等各个角度提出过钨矿床分类方案。分类方案很多，各具优缺点。这里归纳为以下 7 种类型：1) 热液型；2) 夕卡岩型；3) 花岗岩型；4) 斑岩型；5) 火山岩型；6) 砂钨矿；7) 风化型矿床。但是上述矿床类型很难包括中国众多矿床的实际情况，因为许多矿床是复合成因，多种成因交织在一起，比如斑岩矿床与夕卡岩型矿

床，钨矿化既产在斑岩体内，又产在夕卡岩里，而图面上又只能单一化，所以这里只能采用多数人的习惯叫法或其主要成因类型。

1 热液型钨矿床

热液型钨矿床是中国最重要、经济价值最高的钨矿类型，分布范围非常广泛，各成矿区带均有产



出,但王要集中在南岭成矿区,特别是华南造山系的后加里东隆起区,从行政区看以江西、广东为最多,常成群成带出现(图1)。热液型矿床一个重

要特点是矿富、易选,矿石 WO_3 品位多数在1%以上,大型矿床不少,但目前尚未发现超大型矿床。

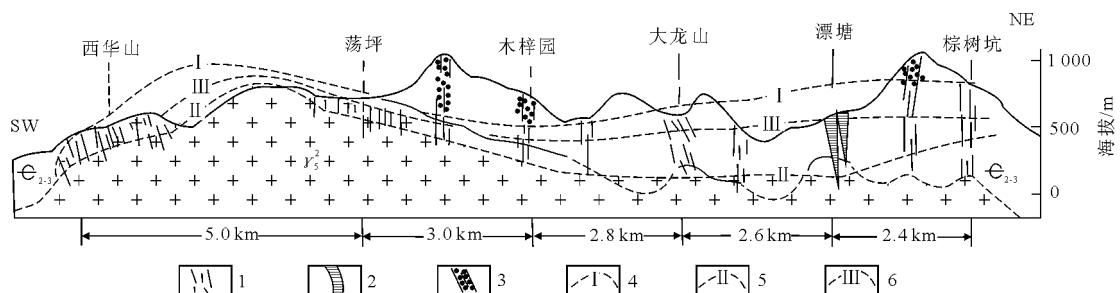


图1 西华山—漂塘纵向地质剖面图(据杨明桂等,1984)

ϵ_{2-3} —中上寒武统; γ_5^2 —燕山早期黑云母花岗岩;1—石英大脉型矿体;2—石英细脉型矿体;3—矿化标志带;4—各矿床主要工业矿体上界连线;5—各矿床主要工业矿体下界连线;6—各矿床主要工业矿体最好部位连线

热液型钨矿主要是岩浆期后气液活动的产物。据物质组分和产出形态,中国热液型钨矿主要有黑钨石英脉型、白钨石英脉型、云英岩型、花岗岩接触带上的伟晶岩型以及变质热液等类型。黑钨石英脉型是热液型钨矿数量最多、经济意义最大的类型。该类钨矿床分布在花岗岩及浅变质岩系中。含矿石英脉为岩浆演化末期的矿化气液充填(交代)于断裂裂隙中的产物。花岗岩既是内接触带矿脉的围岩,又是外接触带矿脉的成矿母岩。根据其脉体形态及产出部位又可进一步分为内接触带大脉型,内接触带细脉带型,外接触带大脉型,外接触带细脉带型。所谓大脉型即脉幅一般大于10 cm的含矿石英脉,而脉带型是指脉幅2~10 cm的含钨石英脉,平行密集或连锁交错呈带状产出,含矿石英脉密度一般大于1条/m。黑钨石英脉矿床形态十分复杂,无疑受构造压力性质(压扭、张性、压性、张扭复合等)和围岩性质的影响。常可见到矿脉的膨大缩小、尖灭再现,弯曲多支、侧羽状、马尾状等形态。一个矿床矿脉的数量差别很大,大脉型矿床3~5条到百余条以上,细脉带型矿床其数量则难于统计。矿脉的深度差异也很大,一般在变质岩中的外接触带矿床其深度要大于花岗岩体内的内接触带矿床。前者多在200~800 m,个别最深可达1200 m,已知大型钨矿床,深度均在500 m以上。如著名的西华山(图2)、大吉山(图3)、黄沙(图4)、漂塘、盘古山、上坪等(朱焱龄等,1981;刘梦庚,1984)。

黑钨石英脉矿床主要金属矿物有黑钨矿、锡石、辉钼矿、辉铋矿、绿柱石、白钨矿等,部分伴有铜、铅、锌等多种硫化物。矿脉中非金属矿物主

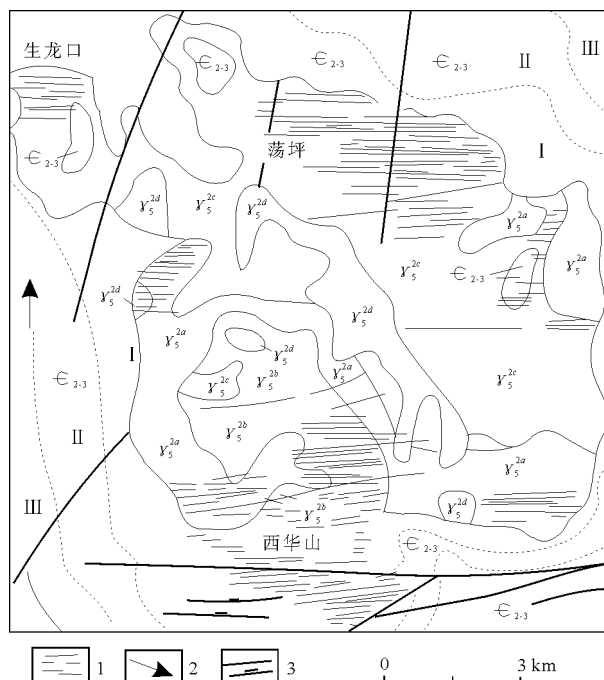


图2 西华山复式岩株地质略图(据吴永乐等,1987,略有修编)

ϵ_{2-3} —中上寒武统; γ_5^{2a} —斑状中粒黑云母二长花岗岩; γ_5^{2b} —中粒黑云母二长-碱长花岗岩; γ_5^{2c} —斑状中粒黑云母二长花岗岩; γ_5^{2d} —斑状细粒二长花岗岩;I—角岩带;II—角岩化带;III—斑点斑岩带;1—矿脉;2—流线方向;3—断层

要是石英,次有云母、长石、萤石、方解石、黄玉、电气石、氟磷酸铁锰矿等。

石英脉型钨矿成矿元素组合类型很多,如钨-锡组合(漂塘、珊瑚)、钨-钼组合(茅坪)、钨-铋组合(盘古山、大龙山)、钨-铍组合(荡坪、千亩田、画眉坳)、钨-铜组合(夏色岭)、钨-铅-锌组合(瑶岗仙、黄沙),等等。

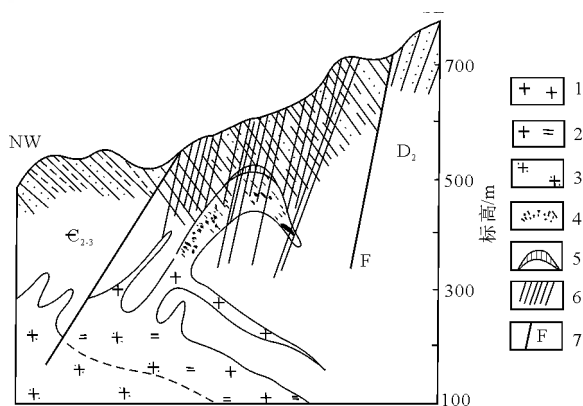


图3 大吉山钨矿床剖面示意图 (据颜美钟, 1984)

D₂—中泥盆统; E₂₋₃—中上寒武统; 1—白云母花岗岩; 2—二云母花岗岩; 3—黑云母花岗岩; 4—花岗岩型钨矿体; 5—似伟晶岩壳; 6—含钨石英脉; 7—断层

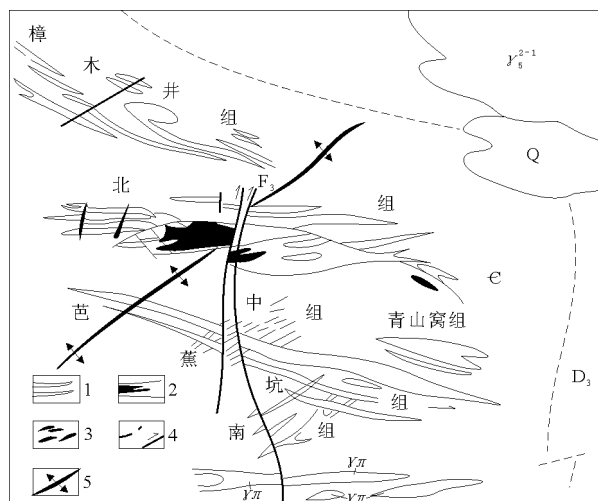


图4 黄沙钨矿床地质示意图 (据夏宏远等, 1984)

Q—第四纪沉积物; D₃—晚泥盆世砂砾岩; E—寒武纪变质砂板岩; γ_2^{-1} —黑云母花岗岩; $\gamma\pi$ —花岗斑岩墙; 1—线脉带; 2—线脉带; 3—细脉-大脉带; 4—断层; 5—背斜轴

脉钨矿床围岩蚀变在岩体内的蚀变有钾长石化、钠长石化、硅化、云英岩化; 变质岩中有硅化、白云母化、钾化、电气石化; 在伟晶岩和石英脉中有铁锂云母化、黄玉化、电气石化及绿泥石化等。在花岗岩体下部的钾(钠)长石化带、硅化带、云英岩化带常具面型蚀变特征, 并常有晚期线性蚀变叠加; 在石英脉两侧的蚀变多具线性蚀变特征。岩体自下而上直到围岩具有钾(钠)长石化硅化带→云英岩化带→黄玉萤石电气石化带→碳酸盐绿泥石化带的蚀变垂直分带。

外接触带的石英脉型钨矿床常具有“五层楼”的结构分带, 即顶部线脉带、上部细脉带、中部细脉大脉混合带(薄脉带)、下部大脉带、根部尖灭消失带; 内接触带的石英脉型矿床具“三层楼”的

结构分带, 即顶部线细脉带、中部大(细)脉带、根部尖灭消失带(图5, 古菊云, 1984; 邱瑞龙, 1984)。总的说, 自岩体向外向上物质组分具硅酸盐→氧化物、钨酸盐→硫化物→碳酸盐的变化趋势。矿化具脉动特征, 物质组分分带与各期次脉动强度关系密切。随着晚期矿化作用变弱, 往往表现出后退现象, 因而有些矿床出现逆向分带特征。

除黑钨石英脉型钨矿床外, 热液脉型钨矿床在个别地区, 特别是碳酸盐地层内还有含白钨矿萤石脉, 如湖南东山、深坑里, 或含白钨矿方解石脉, 如湖南汝城大山。

云英岩型钨矿多指在花岗岩内接触带中的云英岩块体, 其矿物成分以白云母和石英为主, 二者之和一般大于90%。云英岩块体的体积不大, 一般长十几米到几百米, 宽10 m到100余米, 最厚可达数十米, 钨矿体多产于岩体顶面以下20~60 m处。云英岩体内常有黑钨矿、锡石、白钨矿、辉钼矿等浸染其中。云英岩型钨矿作为独立矿床的不多, 如洪水寨、九龙脑, 但伴生在其他内接触带脉钨矿床中则常见, 如西华山、下桐岭等矿床中含钨石英脉两侧均有云英岩化带, 或者产于花岗岩内的云英岩脉, 如柿竹园。

伟晶岩型钨矿作为独立的钨矿床极为少见, 典型的伟晶岩型钨矿有白石岗钨矿。伟晶岩型钨矿多伴生于石英脉型钨矿内, 多为花岗岩接触带上的伟晶岩壳, 或接触带附近的含钨伟晶岩脉。伟晶岩型钨矿其物质组分、围岩蚀变与石英脉型钨矿床相似, 矿石结构、构造主要为细脉浸染状或呈囊状“砂包”富集。

变质热液钨矿如广西大明山钨矿, 矿体产于下泥盆统细粒含泥质砂岩中, 含矿层位稳定, 呈层状、似层状, 主矿床走向长1 000 m, 一般厚30 m, 倾斜延深3 000 m, 矿石成分简单, 主要为黑钨矿、白钨矿、辉钼矿、石英和方解石, 近白云母花岗岩处有云英岩化, 矿石矿物颗粒粗大, 含钨较富, 矿体中黑钨矿石英细脉呈细网脉状, 在白云母花岗岩外接触带还见少量含钨石英大脉, 表明成矿作用受后期叠加改造作用明显(图6); 沃溪式钨矿分布在雪峰山隆起区, 赋矿层位为元古宇冷家溪群、板溪群, 趋于在马底驿组底部和五强组底部富集, 赋矿岩石为板岩、粉砂岩、砂岩夹碳酸盐岩薄层及薄层硅质岩, 矿体主要赋存于层间断裂拉开的虚脱部位及主断裂旁侧羽状裂隙中, 矿体呈层状、似层状, 与地层大体吻合, 但亦有层间脉分支与地层斜交的矿脉, 单条层间脉长自数十米至300多米,



矿床类型	带名	示意剖面	垂直高度/m	脉带宽度/m	平均脉幅/m	经济价值
外接触带矿床 (五层楼)	线脉带		100~200	10~30	0.003~0.007	无
	细脉带		50~150	15~30	0.02~0.05	小
	薄脉带		150~250	5~15	0.40~0.20	大
	大脉带		200~450	2~6	0.35~0.60	最大
	消失带		>50	3~8	0.10~0.25	无
内接触带矿床 (三层楼)	细线脉带		30~250	20~40	0.005~0.02	小
	大脉带		50~300			大
	消失带		>40			无

图5 脉钨矿床五层楼、三层楼垂直分带模式图 (据古菊云, 1981, 有修改)

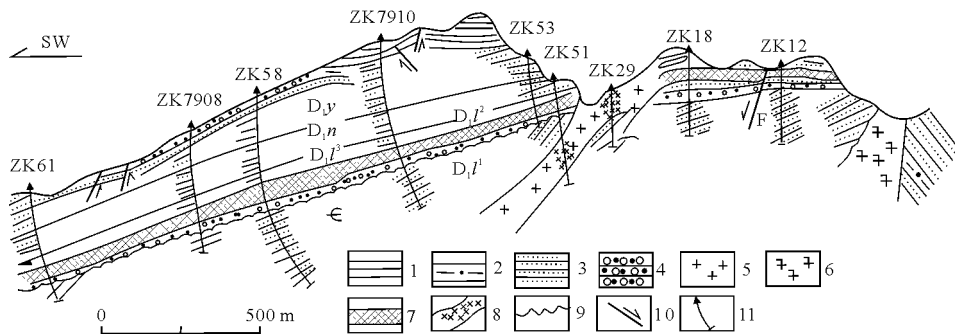


图6 广西大明山钨矿床地质剖面图 (据马林清等, 1984)

D_{1y}—下泥盆统郁江组; D_{1n}—下泥盆统那高岭组; D_{1l³}—下泥盆统莲花山组上段; D_{1l²}—下泥盆统莲花山组中段; D_{1l¹}—下泥盆统莲花山组下段; E—寒武系; 1—页岩; 2—砂质页岩; 3—砂岩; 4—砾岩; 5—斑状白云母花岗岩; 6—黑云母花岗闪长岩; 7—似层状矿体; 8—岩体中网状含钨石英脉; 9—不整合界线; 10—断层; 11—已施工钻孔

延深 300~1 700 m, 金属矿物主要是白钨矿、辉铋矿、自然金组合, 非金属矿物为石英、绢云母、方解石等, 矿体围岩蚀变弱, 局限于矿体顶底附近, 为硅化、黄铁矿化和夕卡岩化。

2 夕卡岩型钨矿床

夕卡岩型钨矿床在中国的重要作用仅次于热液

型钨矿床, 但保有储量之多则远超过热液型钨矿床。夕卡岩型钨矿分布范围也较广 (图 7), 但主要集中在南岭成矿区, 大地构造位置属华南造山系的印支拗陷区, 或后加里东隆起区与印支拗陷区的交接地带, 在扬子成矿区、吉黑成矿带、东秦岭成矿带、燕山成矿带都有产出。夕卡岩型钨矿的控矿层位自古元古界至三叠系均有发现。中国夕卡岩型矿床大、中型较多, 但品位相对较贫, 多数大矿

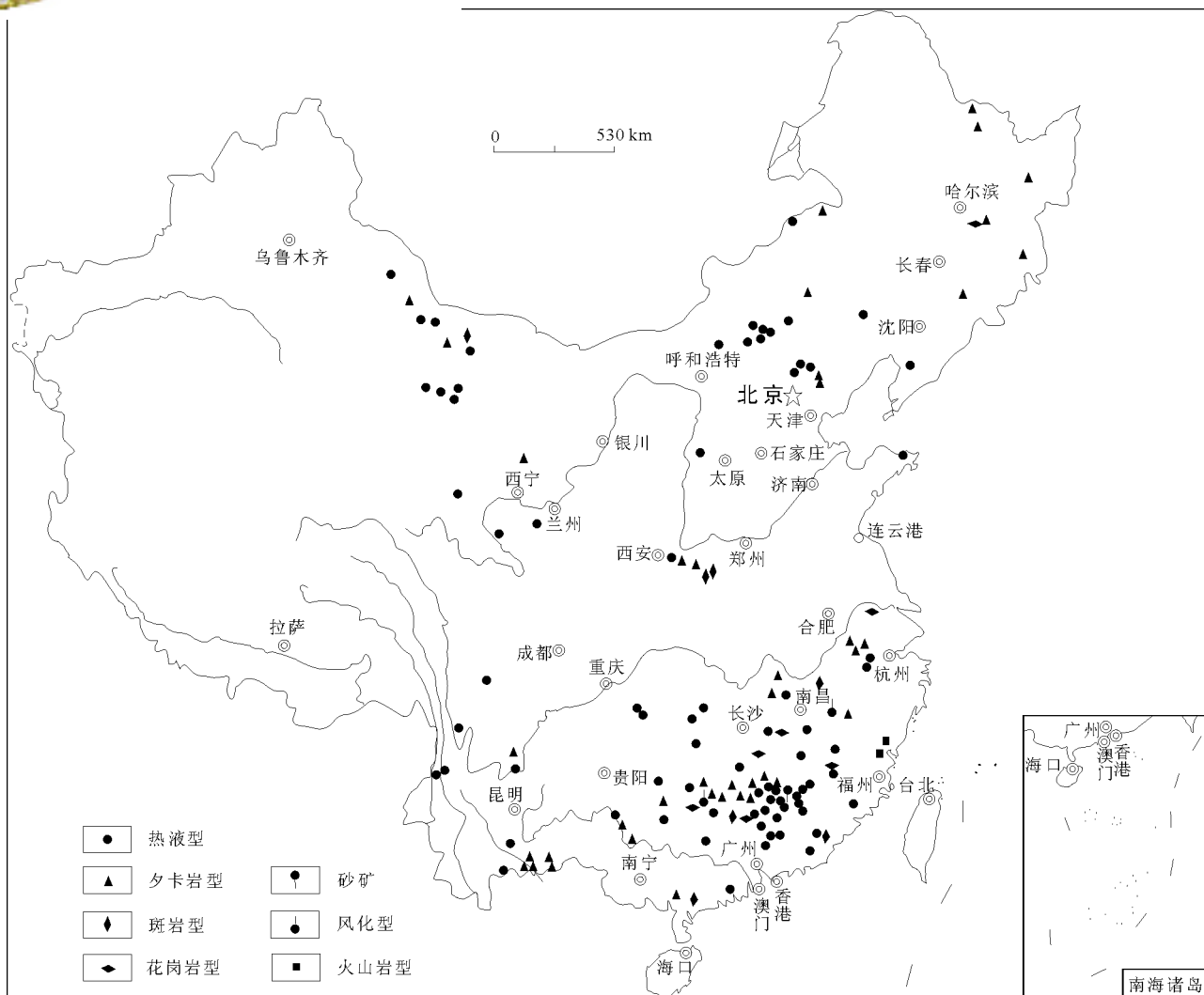


图 7 中国主要钨矿床分布略图

WO₃ 品位低于 0.5%。夕卡岩型钨矿床的形成与酸性花岗岩有关，由于岩体的侵入，在接触带附近的碳酸盐岩和少数含钙硅酸盐岩石中，经交代作用形成夕卡岩体或夕卡岩带，再由含钨热液作用而形成钨矿床。夕卡岩型钨矿因围岩介质富钙，因此，几乎都为白钨矿床。矿床多产于外接触带夕卡岩中，少数产于内接触带。中国最大的夕卡岩型钨矿为柿竹园钨矿。

中国华南夕卡岩型白钨矿床赋矿的地层时代，从寒武系到下二叠统有若干个富碳酸盐岩层位，其中以泥盆系和石炭系最为重要。

夕卡岩型钨矿的产状形态复杂，大部分受控于接触面，也有的受控于构造裂隙或层间裂隙。矿床形态多为似层状、透镜状、脉状、带状、扁豆状、帚状及不规则囊状等。矿床一般长 30 m 至 800 余米，最长达 1 000 多米，宽 1 ~ 50 m，厚数米至数百米，柿竹园钨矿厚达 300 m。矿石品位一般较石

英脉型钨矿低，但品位较均匀，WO₃ 一般在 0.15% ~ 0.7%，常有 Cu, Pb, Zn, Mo, Bi, Sn, Be 等组分伴生。主要金属矿物为白钨矿，常有辉钼矿、辉铋矿、辉铊矿、锡石、磁铁矿、方铅矿、闪锌矿等共生或伴生，并组成各种组合矿石。非金属矿物主要是透辉石、石榴子石、绿帘石、硅灰石、符山石、石英、方解石等。矿石以粗粒结构为主，构造有浸染状、网脉状、条带状、块状、晶洞构造等。

夕卡岩钨矿的围岩蚀变主要是夕卡岩化、云英岩化，次要的还有钾长石化、钠长石化、电气石化、硅化、绿泥石化等。夕卡岩钨矿床蚀变分带十分明显，表现为外侧夕卡岩化，内核为云英岩化。代表性矿床有湖南新田岭白钨矿床、柿竹园钨（锡-铋-钼-多金属）矿床，黑龙江羊鼻山钨矿床（赵一鸣等，1990；毕承思，1987）。

部分矿床附近并无岩浆岩，如曹家坝钨矿，矿



床位于湘中白马山—龙山 EW 向隆起东部,矿体主要赋存于中泥盆统跳马涧组—棋子组灰岩、泥灰岩、钙质砂岩、粉砂岩中,矿区经钻探垂直深达 800 m 未见岩浆岩,工业矿石产于夕卡岩化碳酸盐岩中的白钨矿石,成矿围岩为夕卡岩,矿体顺层整合产出,层位稳定,白钨矿呈浸染状,围岩蚀变可能由区域变质作用所致,具简单的夕卡岩化。

3 花岗岩型钨矿床

花岗岩型钨矿床数量不多,主要分布在热液石英脉型钨矿比较发育的南岭成矿区,在扬子成矿区、吉黑成矿带也有零星分布(图 7)。

花岗岩型钨矿是指矿床中白钨矿和黑钨矿等有用组分在花岗岩体内呈浸染状或细网脉浸染状产出的钨矿床,它们是晚期岩浆结晶分异和岩浆期后热液充填交代作用叠加的产物。矿化产在花岗岩体内,岩体就是矿体,并常有含钨石英脉伴生。含矿岩体多为小侵入体,岩体的岩性以细粒白云母花岗岩为主,其次有细粒二云母花岗岩及钠长石化花岗岩。它们多是复式岩体晚期次的产物,从而表明岩浆演化过程中分异十分充分。含矿岩体的化学成分是高硅 [$w(\text{SiO}_2) > 74\%$],富碱 [$w(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) > 7.5\%$],贫铁,贫钙、镁。

花岗岩型钨矿矿体与围岩界线不明显,靠工业指标来圈定边界。常见矿体形态为筒状、透镜状、似层状、带状、囊状等。主要金属矿物有白钨矿、黑钨矿、辉钼矿、锡石、辉铋矿、铌钽铁矿、黄铜矿等。非金属矿物为石英、白云母、微斜长石、磷灰石等。矿石构造以浸染状、细脉浸染状为主。围岩蚀变有钠长石化、钾长石化、云英岩化,蚀变多呈面型。

花岗岩型钨矿近来在一些脉钨矿床下部又有新的发现,如茅坪钨矿,过去是一个小型黑钨石英脉型钨矿,通过工作发现下部隐伏岩体中有花岗岩型钨矿体,从而增加了储量,由小型变成了一个中型钨矿床(李毅,1991)。代表性矿床有行洛坑、红岭、大吉山 69 号矿体(图 3)以及徐山等钨矿床。

4 斑岩型钨矿床

斑岩型钨矿主要分布在地台接合地带、古陆边缘和深大断裂带,如东南沿海成矿带、扬子地台北缘和东秦岭成矿带都有零星分布(图 7)。

斑岩型钨矿基本上是与浅成侵位的花岗岩类

——斑岩有成因和空间联系的。矿体主要赋存于斑岩体内外接触带及爆破角砾岩筒内,赋矿围岩主要是花岗斑岩、花岗闪长斑岩、二长花岗斑岩、石英斑岩、斑状花岗岩、爆破角砾岩,部分矿体产于角岩、变质砂岩、板岩或夕卡岩内。矿体形态多呈板状、透镜状、似层状、筒状等。金属矿物主要是白钨矿、黑钨矿、辉钼矿和黄铁矿,次为磁黄铁矿、黄铜矿、毒砂、闪锌矿、方铅矿、自然铋等。非金属矿物主要有白云母、石英、斜长石、钾长石、绿泥石、黄玉、萤石、石榴子石、透辉石等。矿化在斑岩体内外接触带常以浸染状、细脉、网脉浸染状为特征。主要有石英细脉、云母石英细脉、长石石英细脉,其次是硫化物石英细脉、绿泥石细脉。其中以石英细脉、云母石英细脉、硫化物石英细脉含矿最好。细脉长一般 0.5~5 cm,宽 0.1~1 cm。矿体与围岩界线不清,由边界品位控制。矿体长数十米到数百米,延深可达数百米。斑岩型钨矿的围岩蚀变主要有钾长石化、硅化、白(绢)云母化、绿泥石化及夕卡岩化。蚀变多表现为面型,并具分带现象,通常由内向外一般出现钾长石(黑云母)化带→青磐岩化带。主要工业矿化一般分布在石英绢(白)云母化带中。多次成岩伴随多次矿化蚀变作用。多期多阶段矿化蚀变的叠加往往形成复杂的蚀变分带模式。代表性矿床有广东莲花山钨矿、江西阳储岭钨矿,三道庄—南泥湖钨-钼矿等矿床。

5 火山岩型钨矿床

火山岩型钨矿在中国仅产于东南沿海之丽水—海丰沿海火山岩中,为小型矿床或矿点,经济意义不大(图 7)。

火山岩型钨矿床产于中生代酸性陆相火山熔岩、凝灰岩、凝灰质砂页岩中,成矿热液与火山作用有密切的时间、空间和成因联系。中国火山岩型钨矿体几乎均赋存于上侏罗统南园组流纹质晶屑凝灰岩、凝灰质泥岩及凝灰质粉砂岩中。

钨矿体多为石英细脉带,石英网脉带,也有少量大脉及浸染状矿化。金属矿物主要有黑钨矿、辉钼矿、白钨矿、辉铋矿、闪锌矿、黄铁矿等。非金属矿物有绢云母、白云母和石英等。矿体由含钨-钼矿化的绢英岩细脉、微脉及大脉组成,也见钨-钼矿化浸染于云英岩或绢英岩中。围岩蚀变主要有云英岩化、绢英岩化、黄铁绢英岩化及夕卡岩化。代表性矿床有福建广坪钨矿。



6 风化型钨矿床

原生钨矿床或含钨地质体在漫长地质时期的物理化学破坏作用下，特别是表生风化淋滤作用下，易溶组分被淋失，导致钨元素相对富集而形成新的钨矿床类型——风化型。有的钨呈离子吸附状态被吸附于褐铁矿之中（东乡含钨铁帽属于该类型），有的钨元素呈钨矿物微晶（黑钨矿、白钨矿）被褐铁矿-针铁矿包裹，或呈微晶生长在石英细脉网脉内。矿石呈风化残余半自形粒状，隐晶质、土状结构，角砾状、皮壳状、网孔状构造。主要金属矿物有褐铁矿、赤铁矿、针铁矿以及微晶黑钨矿、白钨矿等。

该类矿床钨的储量往往很大，但 WO_3 品位低，难选，一般仅具有潜在经济价值。属于该类型矿床的江西东乡含钨铜矿（钨-铁矿体产于铜矿体之上）和广东大宝山铜-钼-钨-多金属矿的铁帽部分中也有少量的黑钨矿，铁帽中 WO_3 含量达

0.15%，具有一定的工业意义。

7 砂钨矿

砂钨矿主要分布在江西、湖南、广东、云南原生钨矿密集区。砂钨矿床多产在原生钨矿附近低洼地区，在坡积层及河流冲积层中发育。矿体一般产在距原生矿 2~3 km 范围，常呈狭长带状，或似层状、透镜状、巢状产出。矿层上部多为富含石英及岩石碎屑的泥砂层及砾石层，矿层下部为泥砂层及基岩。砂钨矿以冲积型规模较大，残坡积型规模小。砂钨矿床主要金属矿物为黑钨矿、白钨矿、锡石、金红石等。此类矿床多为小型，并由于易找、易采、易选，在采矿早期曾有过较大经济意义，近期该类钨矿资源多已枯竭。代表性矿床有赣南杨眉寺钨-锡砂矿区、铁山垅砂矿区（冶金工业部南岭钨矿专题组，1983）。

摘自《中国主要金属矿床成矿规律》

中国钨矿床的基本地质特征

在中国广袤的国土中，北起兴安岭，经秦岭南达三江地区，由天山、祁连山海拔 4 000 m 左右的高原山区至广东南鹏岛海平面之下，都分布有若干钨矿床成矿区，尤其在南岭一带，形成世界上密度最大的钨矿床汇集区。综观中国约 1 500 处钨矿床，其分布环境和地质位置繁杂多变，几乎遍见于各个重要地史阶段和种种不同性质的构造单元，诸如：前震旦纪古老地台区（江南古陆中之湘西沃溪—西安，赣北九岭—高台山等区钨矿床）；加里东地槽区（祁连山塔儿沟、野马滩以及华南加里东地槽褶皱系中广泛分布的大量钨矿床），华力西地槽区（新疆天山与华南钦州地区的钨矿床）与华力西地台区（江西永平钨矿床等）；更重要的是叠加于上述构造单元特别是滨太平洋燕山旋回活化构造域。钨矿床的围岩，分别为前震旦系至上侏罗统，几乎包括所有沉积建造；由九岭期至燕山期的新老花岗岩类，偶见某些闪长岩类岩体（广东陶河，江西石雷）；还有以板岩、千枚岩、变质砂岩（变粒岩）为主的变质岩，以及少数混合岩、片岩、大理岩、变火山岩等。钨矿床的成矿时代最早为加里东期，华力西—印支期较少，燕山期，尤以燕山早期为最多，喜马拉雅期亦较罕见。成矿岩体主要为黑云母花岗岩和黑云母二长花岗岩，其次为二云母花

岗岩和二云母碱长花岗岩，少数为花岗闪长岩、花岗闪长斑岩和石英斑岩。

钨矿床在某些地区分布数量最多、密度大。如赣南诸广山东麓（崇义—大余—上犹地区），在 7 800 km^2 范围内，汇集了 185 处钨矿床（点），几乎平均纵横 10 km^2 即有 2 处钨矿床；又如盘古山区，在 11 000 km^2 范围内有 111 处钨矿床（平均每 100 km^2 就有 1 处）。由此可见矿床是成群成组出现的。在每一密集区往往产有 1~2 个大型钨矿床，而在每个矿床中几乎都拥有 1~2 条“王牌”矿脉，这是石英脉型钨矿床高度汇集区所常见的一个分布特点。

丰富多彩的矿床类型，确是中国钨矿床的一大特色，除现代热泉沉积矿床与含钨卤水-蒸发岩矿床外，几乎世界上所有已知钨矿床成因类型在中国均有发现。按成矿温度，有汽化高温至低温的；按成矿物质来源，有层源的层控钨矿床与来自岩源的岩控钨矿床以及多源复合的；按矿床产状形态类型，有各种形式的脉型，整合于沉积建造的层型，沿花岗岩体与碳酸盐质围岩接触带产出的不规则带型（夕卡岩），沿成矿花岗岩产状形态产出的细脉-浸染岩体型等；按矿物组合，综合所有钨矿床的伴生金属，几乎集有色、稀有、稀土元素之大成，单



个矿床也往往以多种矿物组合为特点，有的矿床伴生矿物多达 50 种以上；按主要伴生工业金属元素，仅常见的就有 W- (Sn, Bi, Mo), W-Be, W-Cu, Pb, Zn, Ag), W-Nb-Ta, W-Au-Sb, W-Li, W-Cu-Fe, W-REE 等。围岩蚀变类型也是多种多样，同一矿化作用在不同的围岩中，不同矿化阶段，则常常出现形形色色的蚀变类型。上列繁杂现象主要取决于矿床成因的随机性变化。由于成矿有利因素的普遍交替出现，不仅形成复杂多样的矿床类型，而且经常在同一矿田或矿床中，呈现多型矿床（矿体）共生的特点，诸如：石英脉-夕卡岩型；石英脉-层控型；石英脉-斑岩型。多型共生较复杂的矿床（田）如：江西大湖塘钨矿床，岩体内浸染型 (Sn-W-Mo) -角砾岩筒型 (W-Sn-Be)；又如湖南柿竹园钨矿田，岩体内云英岩型-夕卡岩型-叠加于夕卡岩的网脉型、云英岩-大理岩中的网脉型-石英脉型；瑶岗仙钨矿床，花岗岩内浸染型-石英大脉型-细脉网脉型-云英岩型-花岗伟晶岩型-夕卡岩型等。

矿床规模之大也是世界钨矿床罕见的，仅在南岭 5 省（区）范围内，已知大型钨矿床就有 20 处，其中某些矿床的探明储量，超出国家所定大型规模标准数倍以至 10 倍以上。当前世界上最大的石英脉型钨矿床（广西锯板坑）、层控夕卡岩型钨矿

（柿竹园）、花岗岩体细脉浸染型钨矿床（福建行洛坑）、似层状钨矿床（广西大明山）均出现于这个地区。此外在祁连山和秦岭地区也都存在着大型钨矿床。

多元成矿是中国钨矿床高度发育的重要有利因素，主要体现于成矿物质的多来源——岩源、层源和复合源，含钨建造的多层位——元古宇、寒武—奥陶系、泥盆—石炭系，成矿作用的多期性，成矿流体的多源性，成矿环境的多变性，等等。钨元素地球化学的多种适应性——钨在各种地质事件及其不同环境中的广泛适应，如在岩浆阶段、岩浆热液、各种矿化流体、变质作用、表生作用中，均可活化、迁积形成矿床。在钨的成矿过程中，由地槽沉积含钨建造→区域动热变质→深部构造混合岩化、花岗岩化→活化地块、断裂重熔再生花岗岩→构造脉动补充侵入花岗岩而成矿，表现了钨矿床的形成必然是多旋回构造岩浆的产物。在多期多阶段脉动成矿作用的过程中，又表现为硅酸盐→氧化物→硫化物→碳酸盐阶段。在同一成矿区或同一蕴矿区（带），还有多构造-地球化学场，即多中心成矿以及多种成矿单元的空间属性等。所有这些，都是举世瞩目的中国钨矿床的重要特征。

摘自《中国矿床》中册

中国钨资源的分布

在中国 32 个省（市）自治区中，除上海、重庆、宁夏、台湾外，其他 28 个省（市）自治区都有钨矿床（点）分布，全国已知钨矿床、矿点 1 500 个以上（康永孚等，1994）。矿床主要分布在华南的赣、湘、粤、闽、桂 5 省和河南省，上述 6

省钨矿保有储量之和占中国钨矿储量平衡表上保有储量的 80% 以上（表 1，图 1），中国各省钨资源累计探明和保有储量数及其所占百分比见表 1。中国钨矿床超大型、大型、中型、小型及矿点的累计探明、保有储量数及它们所占百分比见表 2，图 2。

表 1 各省钨矿储量统计

省 名	矿 床 数		累 计 探 明 储 量		保 有 储 量	
	个数	所占比例/%	储量/t	所占比例/%	储量/t	所占比例/%
湖 南	58	14.54	1 973 454.0	27.56	1 536 933	29.64
江 西	81	20.30	1 724 668.0	24.09	1 093 210	21.09
河 南	8	2.00	791 270.0	11.05	641 039	12.37
广 东	97	24.31	602 791.8	8.42	376 028	7.25
福 建	12	3.01	324 164.0	4.53	306 766	5.92
云 南	18	4.51	286 072.0	4.00	247 389	4.77
广 西	21	5.26	401 498.0	5.61	349 470	6.74
甘 肃	7	1.75	342 732.0	4.79	139 296	2.69
内 蒙 古	17	4.26	119 913.0	1.67	117 225	2.26
其 他	80	20.05	594 670.5	8.30	376 278	7.76
总 计	399		7 160 233		5 183 604	

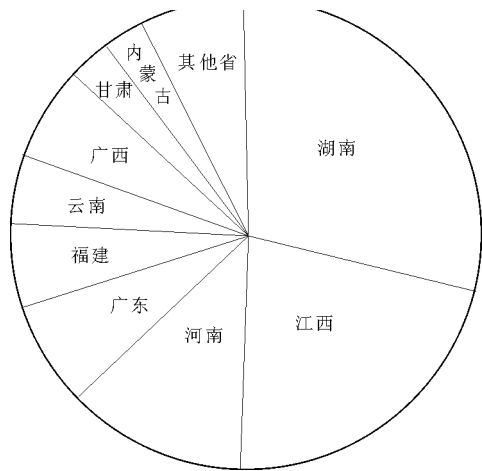


图 1 中国各省钨矿保有储量统计图

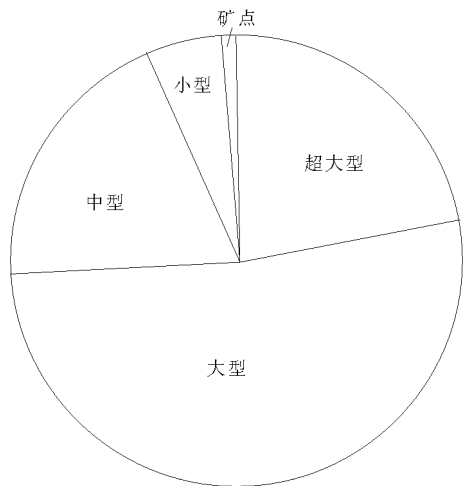


图 2 各类矿床（按规模）保有储量图

表 2 按矿床规模统计的储量及百分比

矿床规模	矿 床 数		累 计 探 明 储 量		保 有 储 量	
	个数	所占比例 /%	储量 /t	所占比例 /%	储量 /t	所占比例 /%
超大型	2	0.5	1 205 552	16.83	1 165 765	22.49
大 型	35	8.77	3 766 692	52.61	2 697 726	52.04
中 型	71	17.79	1 551 382	21.67	1 004 447	19.38
小 型	143	35.84	548 492	7.66	281 843	5.44
矿 点	148	37.09	88 115	1.23	33 853	0.65
总 计	399		7 160 233		5 183 604	

中国有大型以上钨矿床 37 个，其中热液型 16 个，夕卡岩型 14 个，斑岩型 4 个，花岗岩型 3 个。上述 37 个大型以上钨矿床钨储量占总累计探明储量的 69.44%，占保有储量的 74.53%。在中国某些地区钨矿床分布非常集中，数量多、密度大，常

成群、成组出现，如大庾—崇义—上犹地区 7 800 km² 就有 185 个矿床（点），平均每 5 km² 就有 1 个钨矿床，其中大型钨矿就有 24 个，中型钨矿有 52 个（康永孚等，1994）。

摘自《中国主要金属矿床成矿规律》

中国钨矿床的主要成矿带（区）

中国有钨矿床（点）1 500 余处，分布范围十分广泛，主要分布在古地块边缘、板块俯冲带或缝合线附近（李春昱，1981；康永孚，1994）。根据钨矿床所产出的地质构造位置，可以划分下列 10 个成矿区带。

1 吉黑成矿带

本带北起小兴安岭南抵辽东半岛，大部处于吉黑造山系的张广才岭造山带，南段包括延边地槽造山带。本带是以前古生代结晶灰岩及片麻岩为基底，以古生代海陆相沉积和中生代陆相沉积为主要盖层的褶皱断裂区。带内广泛分布华力西期花岗岩和部分燕山期花岗岩。有大型钨矿床 1 处（翠宏山钨-钼-铁-多金属矿）和中型钨矿 2 处，其余为小型

钨矿床。如形成于元古宙与黑云母混合花岗岩有关的羊鼻山铁-钨矿；形成于华力西期的翠宏山钨-钼-铁矿、白石砬子钨矿；形成于燕山期的弓棚子铜-钨-钼-锌矿、铁汞山钨-钼矿。矿床分布比较稀疏，以夕卡岩型含钨-多金属矿床为主，或钨-钼共生，或与铁-铅-锌矿、铜-钨矿伴生。钨矿体或含钨矿体主要赋存于碳酸盐与花岗岩类侵入体的接触带或邻近接触带的层间构造中，成矿围岩的层位主要是古元古界麻山群柳毛组、下泥盆统下黑龙江组以及下二叠统的玉泉组及七门岭组。与成矿关系密切的岩浆岩为元古宙的混合花岗岩，华力西早期、晚期及燕山早期的斜长花岗岩、花岗闪长岩、黑云母花岗岩、白岗质花岗岩及花岗斑岩等酸性花岗岩类。

区内代表性矿床有翠宏山钨-钼-铁-多金属矿，钨-钼均具大型规模。矿床产于华力西白岗质花岗



岩接触带上的镁夕卡岩和碎裂岩化的白岗岩中。矿区共有 106 个矿体,有钨-钼矿体、铁-钨矿体、钨-铁矿体、铅-钨矿体等。较大的Ⅲ号钨-钼矿体长达 1 650 m,主要金属矿物为白钨矿、辉钨矿、锡石、磁铁矿、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、毒砂、黄铁矿等。矿石品位较低,WO₃ 含量仅为 0.147%~0.207%,当前矿床的可利用性低。区内弓棚子钨矿为一中型规模的夕卡岩型矿床,钨与铜-钨矿相伴生。与成矿有关的侵入岩为燕山期花岗闪长岩(K-Ar 年龄为 119~138 Ma),侵入于下二叠统玉坟泉组(陈学义,1980)。矿体赋存于角岩、大理岩与花岗闪长岩接触带,往往从围岩中延续到岩体内,构成内外接触带矿床。

2 内蒙古—兴安岭成矿带

该成矿带分布在内蒙古呼和浩特以东广大区域内,大部处于大兴安岭造山带与华北地台接壤部位。带内有大型钨矿床 1 处(黄岗铁-锡矿),中型矿床 3 处。带内华力西—燕山期构造-岩浆活动剧烈,与成矿关系密切的主要是华力西和燕山期的黑云母花岗岩、花岗斑岩和石英斑岩。赋矿地层有元古宇、中泥盆统和中上石炭统的碳质、砂质、钙质板岩,大理岩,变质砂岩,下二叠统的细碧岩、火山碎屑岩和大理岩以及侏罗纪砂砾岩。钨矿床类型有黑钨石英脉型和夕卡岩型。多伦复背斜产出一系列与华力西期花岗岩有关的热液黑钨矿石英脉型钨矿,除白石头洼钨矿达中型外,其余为小型和矿点。在东乌旗复背斜有与燕山期斑状黑云母花岗岩有关的沙麦石英脉型钨矿,其经济意义较大。花岗岩的 K-Ar 年龄为 106~109 Ma,为燕山晚期,该侵入体侵入于下侏罗统砂砾岩内(宋桂森,1986)。矿体由 3 条主脉和伴随主脉有多条复脉的 3 组细脉群组成,主脉长 320~520 m,宽 1~2 m,延伸 100 余米,矿床规模为中型。矿体内金属矿物主要是黑钨矿,有少量的赤铁矿、黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿等,非金属矿物是石英、白云母,还有少量黑云母和黄玉。含钨石英脉两侧蚀变是硅化和云英岩化。成矿带内黄岗—甘珠尔庙一带是一个以锡为主的钨-锡-多金属夕卡岩成矿带。黄岗铁-锡矿是一锡、钨都达大型规模的矿床,但钨为锡-铁伴生矿。锡-钨-铁矿化与燕山期黑云母钾长花岗岩有关。与花岗岩体接触的下二叠统碳酸盐岩地层长达 20 km,接触带广泛发育夕卡岩化为主的热液蚀变带。铁矿体伴有锡,钨则以白钨矿形式赋存于夕卡岩

中。内蒙古—兴安岭成矿带多产出经济价值较高、易采、易选的黑钨矿石英脉型钨矿,成矿条件良好,值得进一步开展钨矿地质工作,找寻更多的钨矿床。

3 燕山成矿带

燕山成矿带包括平谷、蓟县、兴隆及晋北地区,处于华北地台北缘造山带与古陆边缘接壤处,是燕山旋回强烈构造-岩浆活动区。带内除局部古老的吕梁期花岗岩体外,广泛发育与钨矿成矿有关的燕山期花岗岩。赋矿地层为太古宇密云群、吕梁群和中元古代的变质岩系。在近 EW 向断裂带上发育着石英脉型及夕卡岩型小型钨矿(矿点)多处。钨矿体赋存在太古宇和中元古代变质岩和花岗岩体的内外接触带上。矿带东段燕辽地区主要分布在密云沙厂—兴隆六道河东西线一带。产于花岗岩外接触带变质岩中的密云沙厂钨矿、东牛角峪钨矿都为石英脉型黑钨矿,蓟县沿河钨矿产于花岗岩内接触带的石英脉型钨矿。矿体呈脉状、透镜状、串珠状。金属矿物主要是黑钨矿,少量的黝铜矿、方铅矿等硫化物。沿河钨矿、东牛角峪钨矿分别有锡、铜、银和铅、银伴生。在碳酸盐岩地层中亦有夕卡岩型钨矿,如密云圣水头金-钨-银矿,蓟县石臼钨-钼矿都是产在酸性花岗岩与白云岩接触带上的夕卡岩型矿床,但在上述 2 个矿床中钨仅作为共生或伴生状态存在。成矿带西段晋北地区也有小型钨矿床存在,如方山秦家崖钨矿是产在太古宇吕梁群变质岩中的细脉带型含铜-铍的钨矿床,有人推测与矿化有关的花岗岩属太古宇,与其相似的还有方山关帝山钨矿,类烦羊圈沟钨矿都是产于吕梁群变质岩中的脉状钨矿。金属矿物主要是黑钨矿、白钨矿、锡石、黄铜矿等。上述矿床规模均很小,地质勘查工作也很少,目前仅能称为矿点。

4 南岭成矿区

南岭成矿区在大地构造位置上相当于包括赣南粤北后加里东隆起带和湘桂粤滇华力西印支拗陷带的华南造山系,大地构造总的特征是构造变动剧烈,隆起和拗陷相间出现,深大断裂纵横交错,岩浆活动频繁,特别是与钨成矿作用密切的中生代花岗岩类非常发育,遍布全区。本区为中国钨矿床高度发育区,也是世界钨矿床分布最密集的地区,大中型矿床有 68 处,占全国大中型矿床数的 62%,



围绕这些大中型矿床，还分布有一系列中小型钨矿床，而且矿床类型多，伴生金属组分丰富。区内拥有世界上主要矿床类型的最大的矿床，如热液黑钨石英英大脉型的大吉山、西华山钨矿，石英细脉带型锯板坑钨矿和漂塘钨矿，夕卡岩型柿竹园钨-锡-铋矿，以及花岗岩型的行洛坑钨矿。区内钨矿床在空间上分段集中，进而可划分 11 个聚集带。

4.1 闽西聚集带

该带处于武夷山脉东麓，赣南粤北后加里东隆起带的东段，闽西北加里东造山带与闽西南华力西—印支拗陷带的过渡地带。带内钨矿床数量并非很多，但矿化非常集中，仅清流行洛坑矿床就聚钨储量 30 多万 t。围绕行洛坑岩体周围尚有北坑、国母洋等中小型钨矿床多处。行洛坑钨矿为产于燕山期黑云母花岗岩体内细脉浸染型钨-钼矿床。含矿岩体产于上震旦统变质岩中，在平面上呈 NEE 向椭

圆状，整个岩体被白钨矿浸染，密集的含钨、钼石英小脉穿插其中，此外，还另有数条石英大脉。早期产出的以浸染状的白钨矿、辉钼矿为主，晚期则以黑钨矿石英脉为多。金属矿物除白钨矿、辉钼矿、黑钨矿外，尚有锡石、绿柱石、铁闪锌矿、黄铁矿、辉铋矿等，非金属矿物有石英、黑鳞云母、长石、萤石等。含矿岩体的自变质和热液蚀变有钾长石化、云英岩化、硅化、钠长石化和绿泥石化等（刘文章，1984）。在闽西将乐的新路口热液石英脉型钨-锡矿也达中等规模，此外连城珠地、龙岩青草芋等均有小型钨矿分布。

4.2 于山聚集带

该矿带纵贯江西中部和东南部，仍属后加里东隆起带的东段，有大型矿床 3 处，中小型矿床多处。矿床分布在以于都为中心，宜黄、泰和兴国、赣县、会昌等地（图1）。区内矿床类型主要是与

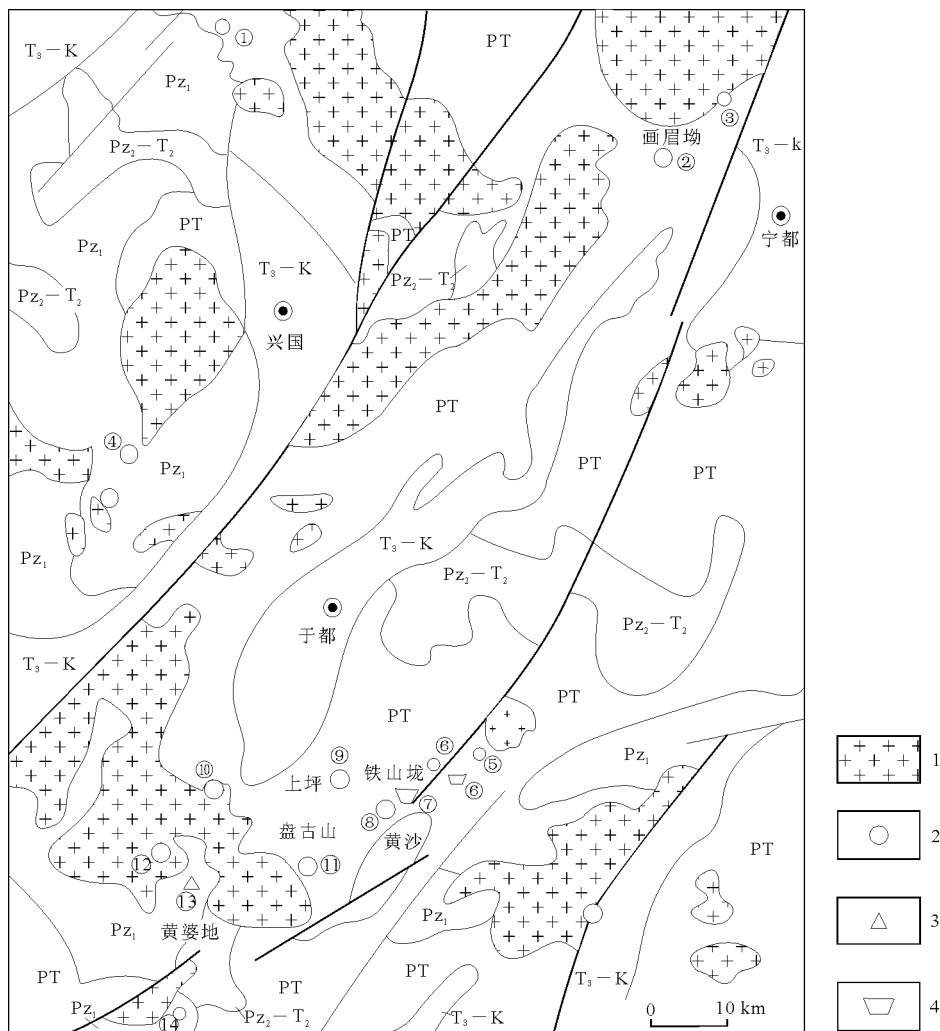


图 1 于山聚集带地质简图

PT—元古宇；Pz₁—下古生界；Pz₂-T₂—上古生界—中三叠统；T₃-K—上三叠统—白垩系；1—燕山期花岗岩；2—热液型钨矿；3—夕卡岩型钨矿；4—砂钨矿；矿床编号：①—小龙，②—画眉坳，③—廖坑，④—白石山，⑤—白鹅，⑥—隘上，⑦—铁山垅，⑧—黄沙，⑨—上坪，⑩—长坑，⑪—盘古山，⑫—葛藤坳，⑬—黄婆地，⑭—上坪



燕山期花岗岩有关的黑钨矿石英脉的热液型矿床。自北向南较重要的矿床有大王山、画眉坳、小龙、上坪、盘古山、黄沙和白鹅钨矿，其中画眉坳、盘古山和黄沙钨矿为大型。画眉坳钨矿为产于震旦系变质岩中的钨-铍共生的石英大脉型矿床；黄沙钨矿产于寒武纪浅变质岩中的富银、富多金属硫化物的石英大脉型钨矿，盘古山则是产于泥盆纪浅变质岩的富铋石英大脉型钨矿。上述3种矿床附近地表均无花岗岩出露，花岗岩均为隐伏小岩体。与此不同的是产于花岗岩内接触带的石英脉型钨矿均为小型，如大王山钨矿、白鹅钨矿。带内其他类型钨矿不发育，夕卡岩型钨矿仅零星分布于断陷带中，如

黄婆地钨矿赋存于燕山早期黑云母花岗岩与石炭系灰岩、变质砂岩接触带的夕卡岩中。

4.3 武功山—玉华山聚集带

该带地跨赣西北和湘东，萍乡—铅山深断裂西段南侧，向西延至湘东茶陵、衡阳一带。带内元古宙变质岩及混合岩构成结晶基底，盖层不发育。岩浆-构造运动剧烈，燕山期花岗岩分布广泛。有大型中型钨矿床7处，其中大型4处，总体沿断隆呈NEE向带状展布，自东向西有徐山、下桐岭、浒坑、湘东、川口、邓阜仙、杨林坳等钨矿床（图2）。钨成矿作用多与燕山期花岗岩有关，产于花岗岩外接触带板溪群和泥盆系板岩和变质砂岩的有黑

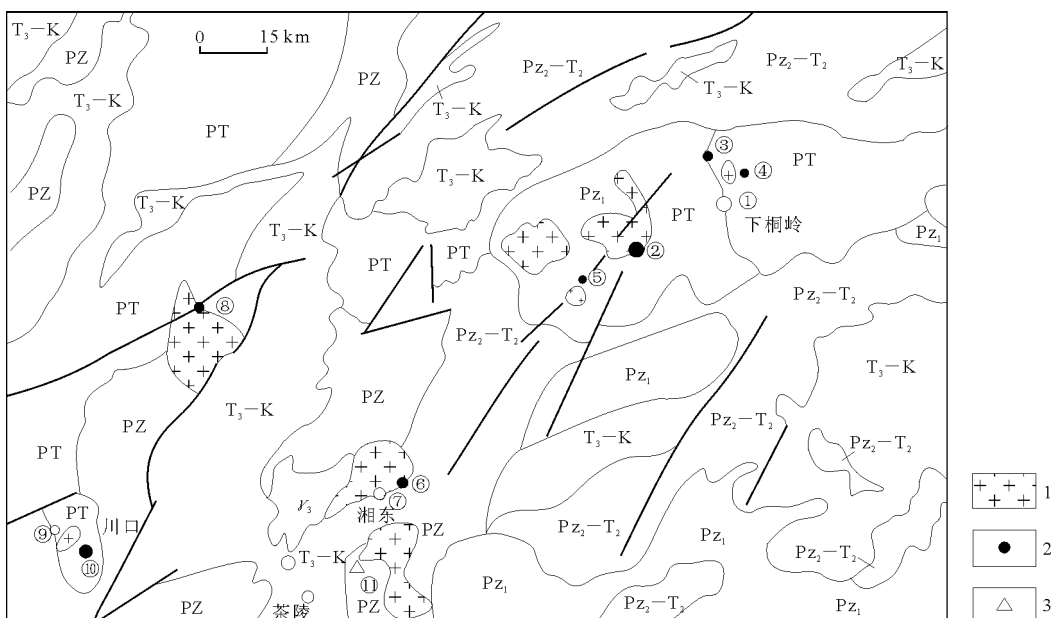


图2 武功山聚集带地质简图

PT—元古宇；PZ—古生界；Pz₁—下古生界；Pz₂—T₂—上古生界—中三叠统；T₃—K—上三叠统—白垩系；Y₃—加里东期花岗岩；1—燕山期花岗岩；2—热液型钨矿；3—夕卡岩型钨矿；矿床编号：①—下桐岭，②—浒坑，③—新坊，④—黄坪坪，⑤—武功山，⑥—金竹垄，⑦—湘东，⑧—明月峰，⑨—杨林坳，⑩—川口，⑪—垄上

钨矿石英大脉型武功山钨矿，细脉带型杨林坳钨矿，产于花岗岩内接触带黑钨矿石英脉型钨矿有浒坑和阜仙钨矿。下桐岭钨矿为花岗岩型钨矿（图3），矿床产于武功山混合岩的边缘，出露地层为震旦纪浅变质岩，成矿作用与花岗岩有密切成因联系，钨矿床围绕花岗岩分布（杨子江，1986）。

4.4 诸广山聚集带

该带位于赣粤加里东隆起带的东南段，地处赣西南大庾—崇义—上犹地区，在7 800 km² 范围内汇集了185处钨矿床（点），几乎平均每5 km² 即有1处钨矿床（康永孚等，1994），其中大型矿床2处（西华山、漂塘），中型10处（图4）。区内地层以寒武系、奥陶系为主，震旦系仅局部零星出

露，泥盆系—石炭系分布于少数断陷盆地内。岩浆-构造异常强烈，加里东、华力西、印支及燕山期岩体均很发育，与成矿有关的岩体为燕山期中酸性花岗岩，且多以复式岩体或小岩株产出或隐伏于地下，并侵入于上述地层。钨矿床类型以热液黑钨矿石英脉型占绝对主导地位，产在花岗岩体内带的石英脉型矿床仅有西华山、荡坪少数几处，多数黑钨矿石英脉型矿床产于花岗岩体外接触带寒武纪、奥陶纪浅变质岩中，如漂塘、大龙山、棕树坑、左拨等钨矿床。著名的西华山钨矿产于燕山期西华山复式花岗岩体西南部中粒黑云母花岗岩内，岩体侵入于寒武纪浅变质岩中，在2.9 km² 矿化面积内有大小工业矿脉615条，一般长200~600 m，多数脉

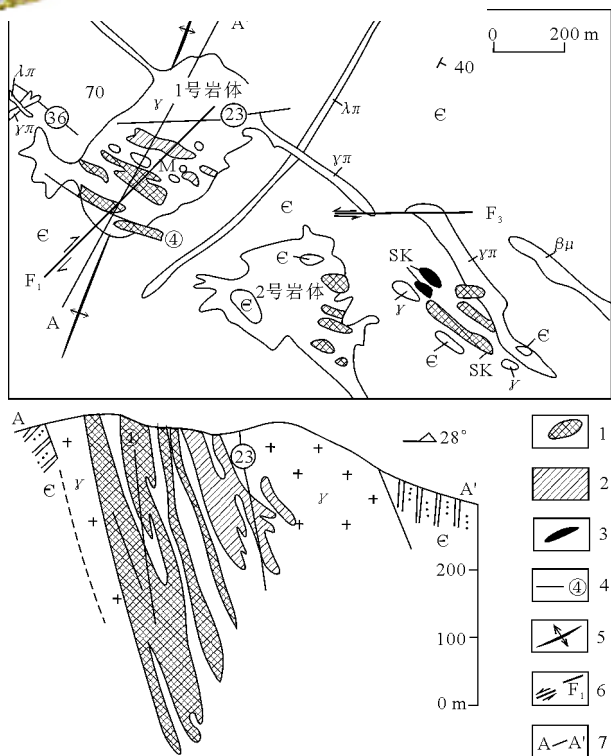


图3 下桐岭矿区地质略图(据李崇佑等, 1984)

ε—寒武系; γ—燕山期花岗岩; γπ—花岗斑岩; λπ—石英斑岩; βμ—辉绿岩; 1—细脉浸染型钨矿体; 2—细脉浸染型钼矿体; 3—似夕卡岩型白钨矿体; 4—含钨石英大脉及编号; 5—背斜轴; 6—断层; 7—剖面线位置

幅为 0.2~0.6 m, 脉内有用的金属矿物为黑钨矿, 次为辉钼矿、辉铋矿、锡石、黄铁矿、白钨矿等, 非金属矿物主要有石英、云母和长石, 脉侧围岩蚀变有云英岩化、钾长石化、硅化等(吴永乐等, 1988)。带内另一著名大型钨矿漂塘钨矿为石英细脉带型钨矿床, 具工业价值的脉带 13 条, 另有单脉 10 条, 矿带呈 EW 走向, 长 1 230 m, 平均宽 20 m, 脉带内以 1~4 cm 的脉最为常见, 矿床具多阶段脉动特征, 可分 7 个成矿阶段, 表现为从最早的前期无矿条带状石英脉阶段, 经历了辉钼矿-绿柱石-石英脉, 硫化物-锡石-黑钨矿-石英脉, 后期条带状石英脉, 末期为萤石-碳酸盐脉 7 个矿化阶段(刘梦庚等, 1980)。主要金属硫化物和非金属矿物与西华山钨矿相似, 但硫化物明显增多。黑云母化、白云母化、萤石-碳酸盐化等较为发育。带内除黑钨矿石英脉型矿床外还有花岗岩型矿床, 如崇义茅坪钨矿在石英脉的根部隐伏的白云母花岗岩株顶部有黑钨矿、白钨矿浸染状矿体。此外, 九龙脑、洪水寨为云英岩型矿床, 夕卡岩型矿床有铅厂、焦里等钨-多金属矿床。

4.5 九连山聚集带

本带位于赣南粤北加里东隆起区南段, 包括江西三南地区(全南、龙南、定南)和粤北曲江、始

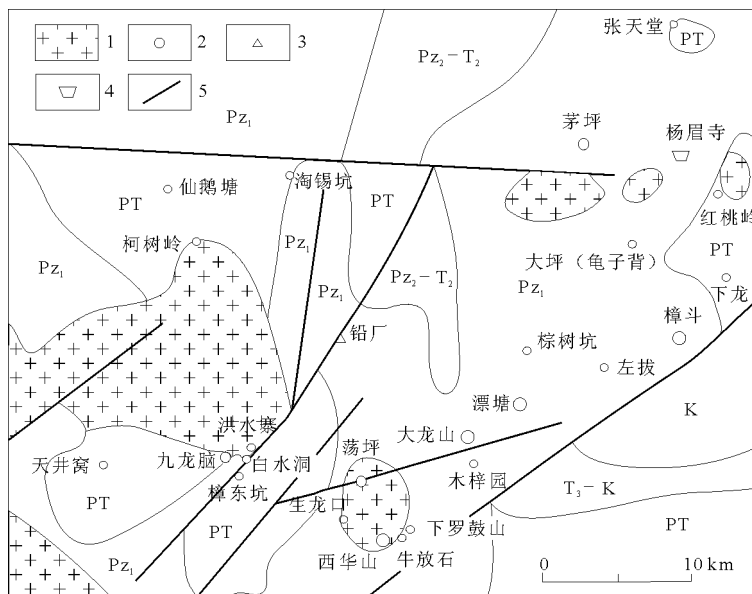


图4 诸广山聚集带地质简图

PT—元古宇; Pz₁—下古生界; Pz₂-T₂—上古生界—中三叠统; T₃-K—上三叠统—白垩系; K—白垩系—老第三系; 1—燕山期花岗岩; 2—热液型钨矿; 3—夕卡岩型钨矿; 4—砂钨矿; 5—断层

新、连平一带。区内有大吉山、锯板坑和大宝山 3 处大型钨矿床, 它们分别为热液石英大脉型、热液石英细脉型和斑岩型矿床, 中型钨矿床 9 处, 中型

以下矿床(点)数十处, 是仅次于诸广山区第二大钨矿聚集带。带内赋矿地层为寒武纪变质砂岩、少数为上古生界砂页岩和碳酸盐岩地层。燕山期花岗



岩断续出露，多为分异较好的中小型岩体。矿床类型主要为黑钨矿石英脉热液型钨矿，产于花岗岩内接触带和寒武纪变质砂岩内，且以产于变质岩中为多。产于内接触带的石英脉型钨矿床有西坑钨-钼矿、小坑钨矿、椒子斜钨矿、黄竹坪钨矿等，多为小型钨矿；而产于外接触带变质岩中的有大吉山、锯板坑、岢美山、瑶岭、石人嶂、师姑山、棉土窝钨矿等，多属大中型，其中锯板坑和棉土窝为细脉带型钨矿。大吉山钨矿上部是大脉型，赋存于上寒武统浅变质的砂板岩中，含钨石英脉在浅部构成3个主要脉带，脉带长600~800 m，延深大于700 m，脉中金属矿物主要是黑钨矿、白钨矿、辉钼矿、磁黄铁矿、黄铁矿等，非金属矿物主要有石英、长石、白云母、电气石等，脉侧有电气石化、黑云母化、硅化等蚀变。石英脉之下有隐伏的白云母花岗岩，岩体内具有较强的黑钨矿、白钨矿化，并伴有较多的铌钽铁矿、细晶石等稀有稀土矿物，

非金属矿物除石英、白云母、长石外还有锰铝榴石。矿石具浸染状、条带状构造，花岗岩蚀变有钠长石化、白云母化，为岩浆晚期的自交代作用的产物，通常称大吉山69号矿体。与69号矿体相类似的花岗岩型矿床带内还有红岭钨矿，红岭钨矿及大吉山69号矿体均达到中型规模。夕卡岩型钨矿仅见于花岗岩与上泥盆统的灰岩接触带上，有鸡啼石、单竹坑等小型矿床。斑岩型钨矿有大宝山铜-钼-多金属矿床，白钨矿为伴生矿，矿体围饶花岗闪长斑岩呈环状产出，钨可达大型规模。风化型钨矿有和尚田、大头榜钨矿，均属小型矿床。大宝山钨矿的上部也为风化型。

4.6 湘东南聚集带

该带位于湖南南部，华力西拗陷带的东段，钨矿床集中分布在郴县、汝城、宜章等县，带内有特大型矿床1处，大型矿床4处，中型矿床8处，中型以下矿床数十处(图5)。该带是我国钨矿重要聚

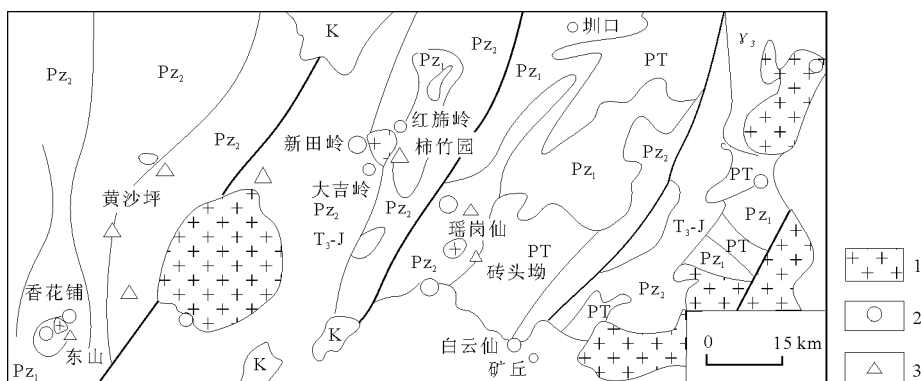


图5 湘东南聚集带地质简图

PT—元古宇；Pz₁—下古生界；Pz₂—上古生界；T₃-J—上三叠统—侏罗系；K—白垩系；Y₃—加里东期花岗岩；1—燕山期花岗岩；2—热液型钨矿；3—夕卡岩型钨矿

集带之一，矿床类型主要是夕卡岩型，其次是热液石英脉型，夕卡岩型钨矿床主要分布在郴县、宜章、桂阳等县。矿体赋存在燕山早期酸性花岗岩类与上泥盆统、下石炭统碳酸盐岩接触带的夕卡岩中。特大型夕卡岩型矿床有柿竹园钨-锡-铋-钼矿，大型矿床有新田岭钨矿和瑶岗仙白钨矿床，黄沙坪夕卡岩型铅-锌矿中伴生的钨矿也达大型规模，其他中小型矿床还有砖头坳钨矿、宝山铜-钨矿等。带内产于花岗岩内外接触带的热液石英脉型钨矿除瑶岗仙黑钨矿达大型规模外，其他为中小型，如红旗岭锡-多金属矿为产于震旦系变质岩中的细脉带型矿床，白云仙钨矿大蒲矿区为产于外接触带的矿床，而白云仙将军寨矿区则是产于白云仙花岗岩内带的矿床。香花铺白钨矿是富含石英-萤石的白钨

矿床。高坳钨矿可能是与加里东花岗岩有关的小型脉状矿床，而资兴杨梅坳钨矿则是产在寒武纪变质岩中的热液型钨矿。著名的特大型柿竹园钨-锡-铋-钼矿床是产于千里山花岗岩体东南缘与上泥盆统余田桥组泥质条带灰岩的接触带上，千里山花岗岩为燕山早期似斑状黑云母花岗岩，为一多阶段复式岩体，矿体与接触带外带的夕卡岩的分布一致，形态简单，呈一巨大透镜体，矿体SN长1000 m，EW宽700 m，厚100 m以上，最厚达500 m。金属矿物主要为白钨矿、黑钨矿、锡石、辉钼矿、辉钼矿、磁铁矿、黄铁矿等，非金属矿物为石英、透辉石、石榴子石、符山石、萤石等。蚀变主要有夕卡岩化、云英岩化、钾长石化、钠长石化等，矿床内钨、锡、铋、钼均达到大型规模。



4.7 桂东北聚集带

该带为湘桂拗陷的一部分,矿床主要分布在广西富川、恭城、钟山、贺县以及湖南道县一带,主要盛产锡矿,钨作为共生矿,更多的是以锡的伴生矿出现。带内钨有大型矿床1处,中型2处,小型12处。带内泥盆系发育,燕山期花岗岩广泛出露。矿床类型主要是热液石英脉型钨矿。珊瑚长营岭钨-锡矿具大型规模,矿床赋存于中下泥盆统的砂页岩和白云质灰岩内,岩浆岩仅见矿区西部的盐田岭细粒小花岗岩株,属燕山晚期。已知含矿石英脉700条,其中工业矿脉200多条,一般长300~700 m,厚0.3~2 m,延伸300~500 m。上述矿脉构成4组大体上平行的脉带。矿床具多阶段矿化特征,金属矿物除锡石、黑钨矿、白钨矿外,还有毒砂、黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿等硫化物,非金属矿物石英、白云母、黄玉、萤石、电气石等。除长营岭脉状矿外,大冲山钨-锡矿及栗木岩体周围的三黄、牛栏坪、老虎头都是产于花岗岩体内的脉状含钨锡矿。带内夕卡岩型矿床有钟山黄宝钨-锡-钼矿,而栗木水溪庙则为花岗岩型锡矿床,钨、铌、钽为伴生矿。在湖南境内道县地区也有中小型脉状和夕卡岩型钨-锡矿产出,如产于花岗岩与中泥盆统接触带的河路口夕卡岩型钨-锡矿,产于花岗岩内接触带的石英脉型尚家坪钨-锡矿。

4.8 桂中聚集带

该带属湘桂拗陷西段的桂中武鸣、宾阳一带。出露寒武纪地槽型沉积,上覆为泥盆纪碎屑岩和碳酸盐岩建造。下泥盆统含钨较高,已构成钨矿的矿源层。燕山期花岗岩岩浆活动较为频繁,小岩体零星出露。带内矿床数较少,有一大型变质热液矿床和一小型热液石英脉状钨矿床和多处矿化点。其中代表性矿床——大明山钨矿就产于下泥盆统莲花山组中部含泥质砂岩中。含矿层稳定,受一定岩性控制,围岩中W丰度较高,莲花山组泥质砂岩中钨含量($17.9 \times 10^{-6} \sim 23 \times 10^{-6}$)大于其他同类岩石的11~15倍(马林清等,1984),矿体呈层、似层状,具有冲洗层理、沉积韵律等沉积特征。矿体厚度与含矿层厚度呈正相关。矿石以条带状为主,矿物组分主要是黑钨矿,少量辉钼矿、白钨矿、毒砂等。非金属矿物为石英、云母、菱铁矿等。矿床围岩蚀变不强,靠近白云母花岗岩为云英岩化,近矿为硅化、绢云母化。矿床具沉积和岩浆-热液叠加改造特征。此外,宾阳的高田—马岭钨矿为小型含钨石英脉型矿床,矿体赋存于燕山期花岗岩内接触带。

4.9 桂北聚集带

该带地跨江南台隆的西南边缘,丹池地区属华力西—印支期的断块拗陷,而桂北罗城、融水以及贵州从化地区处在雪峰隆起与华力西拗陷的衔接部位。该带是我国最重要的锡矿成矿带,大厂锡-铜-铅-锌-铋-汞-多金属矿田即在带内,在锡-多金属矿床中普遍伴生有白钨矿、黑钨矿。赋矿围岩为中泥盆统一下石炭统浅变质岩。与矿有关的侵入岩为燕山晚期的花岗岩类小侵入体。此外,茶山矿是以铋-钨为主的热液矿床,矿体产于花岗岩外接触带的泥盆系灰岩中,钨达中型规模,而拉么钨-铜矿为夕卡岩型矿床,钨也达小型规模。桂北罗城、贵州从化一带赋矿围岩主要是震旦纪变质岩,与成矿作用有关的侵入岩除燕山期外,尚存加里东期岩体。罗城平洞岭钨矿是产于震旦纪变质石英砂岩内脉状矿床,矿区附近未见岩浆岩。贵州从化乌牙钨矿,是一小型热液型矿床,矿体也产于加里东期花岗岩外接触带板溪群变质岩中。

4.10 滇东南聚集带

该带位于华南加里东地槽造山系中的华力西印支拗陷带的西南段,云南个旧、文山、马关等地是中国最重要的锡矿带,钨作为锡的伴生矿或共生矿产出。带内钨矿达大型规模的仅1处,中型有4处,中型以下10余处。主要矿床类型为夕卡岩型。赋矿地层主要为中三叠统个旧组碳酸盐岩。与成矿关系密切的岩体多是经过充分分异演化的燕山晚期黑云母花岗岩。在个旧地区矿床集中在个旧复式岩体东部,以黑云母花岗岩为主,且多为隐伏岩体,在与中三叠统个旧组碳酸盐岩的接触带上形成了马拉松、松树脚、老厂、卡房等大型夕卡岩型锡矿床,矿床内有大量的白钨矿伴生,钨达大型规模的有卡房锡矿,其余皆为中小型。此外,文山老君山钨矿为产于燕山期花岗岩与中寒武统白云岩接触带的夕卡岩型钨矿;麻栗坡南秧田钨矿则是产在前寒武纪片岩、片麻岩、麻粒岩中的层状夕卡岩钨矿。

5 东南沿海成矿带

本带大地构造分区属东南沿海造山系,其范围包括浙、闽、粤东部地区和海南岛,属华南地台的一部分。在华力西—印支旋回时期本区仍是地槽拗陷区,印支运动使之回返隆起,在中生代成为上叠式陆相火山断陷盆地,火山岩广泛覆盖。本带南部粤东地区剥蚀较深,暴露出加里东基底,而闽东剥蚀浅还保存着大片的火山岩。带内主要赋矿地层有



前泥盆纪浅变质砂板岩,中下侏罗统变质砾岩和石英、绢云母砂岩以及上侏罗统陆相中酸性熔岩夹火山碎屑岩。成矿带内燕山期花岗岩广泛分布,多为继火山活动之后同源岩的浅成超浅成侵入体。带内钨矿床产地较多,但比较分散,中型规模的仅有莲花山钨矿洋竹径钨矿,余为小型矿床。除独立的钨矿床外还有较多的钨-钼、钨-铍的共生矿,如白石岗、广坪钨-钼矿、塘湖山钨-铍矿等。带内矿床类型较多,热液石英脉型有塘湖山钨-铍矿,细脉带型有洋塘钨矿,伟晶岩型有白石岗钨-钼矿,斑岩型有莲花山钨矿等。

成矿带内较有影响的钨矿床为莲花山斑岩型钨矿。该矿位于东南沿海成矿带 NE 向南澳断裂和 NW 向大浦—饶平断裂的交会部位。与成矿有关的岩浆岩为浅成潜火山杂岩体,它是岩浆连续侵位-分异演化而形成的斑岩组合,主要岩石有石英斑岩、花岗斑岩、石英闪长玢岩和隐爆角砾岩。上述岩体 K-Ar 和 Rb-Sr 年龄都在 138~116 Ma 区间(满发胜等,1983)。矿体赋存于石英斑岩、石英闪长玢岩、与下侏罗统金鸡组变质砂岩的内外接触带或产于上述岩石的破碎带中,隐爆角砾岩内也有较强的矿化。矿化呈细脉、网脉及浸染状构成不规则的楔形或囊状矿体。矿石中有黑钨矿、白钨矿、锡石、辉钼矿和铅-锌等硫化物,非金属矿物主要是石英、云母、绿泥石、红柱石、石榴子石等。矿床上部以黑钨矿为主,下部以白钨矿为主,底部出现铅-锌矿体。含矿岩体蚀变分带清楚,岩体中部为面型钾长石化带、两侧为黄铁矿-绢云母化带,外侧为绿泥石-黄铁矿-绢云母化带。与钨矿成矿关系密切的石英斑岩 SiO_2 含量为 65.04%, 锶同位素初始值为 0.706 68, 与壳-幔混熔型花岗岩锶初始值 (0.705~0.710) 一致。

6 扬子成矿区

本区大地构造分区属扬子地台,东起浙江北部经苏南、皖南、赣北,鄂东南横跨洞庭湖经雪峰山至梵净山,再折向桂北至云南,呈狭长带状延伸。扬子地台相对较稳定,经历了雪峰、吕梁、加里东、华力西、印支、燕山等岩浆-构造活动。大型隆起、大型拗陷、深大断裂发育,具多期活动叠加明显的控矿作用。区内钨资源丰富,矿床类型之多仅次于华南成矿区,是我国第二大钨矿富集区。鉴于区域广阔、成矿作用不同,分下列 4 个二级聚集带分别论述。

6.1 浙西—皖南聚集带

该带主要包括浙西—皖南台褶带范围。赋矿地层有震旦系志棠组砂页岩、板岩,雷公坳组砂岩、粉砂岩,蓝田组薄层灰岩、含锰白云岩,休宁组砂岩、泥岩,寒武系泥质灰岩,中奥陶统大理岩。燕山期岩浆活动强烈,形成一些与钨矿化关系密切的中酸性花岗岩。钨矿床类型主要有产于老变质岩层间的夕卡岩型白钨矿床、热液石英脉型黑钨矿床和与酸性花岗岩有关的夕卡岩型的白钨矿床。老变质岩层间的夕卡岩矿床主要发育在皖南绩溪、青阳一带,际下、巧川、百丈崖、高家磅钨矿都具有中型规模。矿体产于震旦系蓝田组,沿含锰白云岩、白云质灰岩顺层产出。矿体为似层状,金属矿物有白钨矿、磁黄铁矿、黄铜矿、黄铁矿等,非金属矿物为透辉石、硅灰石等。蓝田组普遍具有较高的钨丰度 [$w(\text{W})$ 为 $47 \times 10^{-6} \sim 89 \times 10^{-6}$], 为钨矿的矿源层,矿体附近除高家磅钨矿外均有燕山期侵入体出露,际下为花岗闪长岩,巧川为花岗闪长斑岩,百丈崖为黑云母花岗岩。矿体系经上述岩浆活动再造而成的。与燕山期黑云母花岗岩有关的黑钨矿石英脉型钨矿多产于临安和绩溪千亩田花岗岩体周围的小岩株与震旦系志棠组、雷公坳组砂岩、粉砂岩、板岩的内外接触带中。金属矿物主要是黑钨矿、辉钼矿、绿柱石、黄铜矿等,非金属矿物有石英、长石、白云母、萤石等。该类矿床有千亩田、夏色岭、古门坑等。矿床规模多为中小型,一般 WO_3 含量在 1.5% 以上,具有较高的经济价值。夕卡岩型矿床多产在燕山期花岗岩与寒武纪泥质灰岩、中奥陶统大理岩的接触带上。带内该类矿床一般品位低,且为铜-铁、钼的伴生矿,规模也较小,经济意义不大,如绩溪逍遥钨-钼-铜矿,淳安铜山铁矿等。

6.2 江南台隆聚集带

本带呈 EW 向横亘于湘赣 2 省北部和湘西雪峰山区,主要由元古宇双桥山群、冷家溪群、板溪群褶皱基底组成,盖层为震旦系—志留系,间有上古生界,为一套巨厚的含有大量火山物质浅变质的泥岩和碎屑岩。花岗岩有晋宁期、华力西期和燕山期,具多旋回特点。带内湘西元古宇的钨、铋、金丰度较高,钨为地壳丰度的 2~8 倍,矿床类型以湘西桃源一带产于元古宇冷家溪群马底驿组浅变质板岩层间裂隙的钨-铋-金矿最为有名。在古陆边缘赣北有香炉山似层状夕卡岩白钨矿床,成矿作用发生在侵入体附近,矿体与围岩呈渐变关系。江西九岭—障公山一带与酸性花岗岩侵入体有关的钨矿床



有细脉带型(大湖塘)、石英大脉型(袁衣洞),产在浅成侵入体二长花岗斑岩和花岗闪长斑岩体内有阳储岭斑岩型钨矿。东乡枫林铜矿床矿体直接产于石炭纪火山碎屑岩、硅质岩中,风化型钨矿体产于铜矿体之上。矿体与地层整合,呈层状、似层状,钨与赤铁矿共生呈吸附和微晶状态,后期有白钨矿-黑钨矿细网脉叠加构成钨矿体,钨虽具大型规模,但因难选尚难利用。

6.3 下扬子聚集带

下扬子聚集带钨矿主要分布在大冶凹陷。大冶凹陷是一个早古生代拗陷带,燕山运动旋回强烈,基底构造复杂,伴生有大规模的岩浆活动,导致了广泛的铁、铜、钨、钼的成矿作用。带内主要是夕卡岩型白钨矿床,而且钨多与铜、钼共生或伴生。成矿作用与燕山期花岗闪长岩、石英闪长岩、石英闪长玢岩有关。矿体产于岩体与围岩的接触带,成矿围岩为下二叠统栖霞组、中下三叠统大冶群的灰岩。矿体为似层状、透镜状。金属矿物主要是白钨矿、辉钼矿、黄铜矿、黄铁矿、磁铁矿等,非金属矿物有石榴子石、透辉石、方解石、石英等。矿床主要分布在阳新大冶一带,有付家山钨-铜-钼床、龙角山铜-钼-钨矿、阮家湾铜-钨-钼矿、马岭山白钨矿、胡家湾钨-钼矿等。矿床多为中小型,且伴生有铜、钼等元素,具有较高的经济价值。20 世纪 80 年代在下扬子东段宁镇山脉也发现谏壁钨-钼矿,矿体赋存于燕山期二长花岗岩体内,矿石具浸染-网脉浸染状构造。金属矿物主要有辉钼矿、白钨矿、黄铜矿、黄铁矿。非金属矿物有石英、钾长石、石榴子石、黑云母,矿床为小型,属花岗岩型钨矿床。

6.4 康滇地轴聚集带

康滇地轴为一北窄南宽的 SN 向构造-岩浆活动带,具多旋回、多期次成矿特点。带内主要成矿作用是铁-铜,钨矿床分布范围较小,仅在四川会理、康定,云南石屏、安宁一带,而且多与锡相伴生。该带元古宙、印支期、燕山期都有钨的成矿作用发生,且以元古宙为多。矿床类型有夕卡岩型、石英脉型和具层控性质的沉积变质改造型。夕卡岩型钨矿达中型规模的有云南安宁九道湾钨矿。成矿与晋宁期二云母花岗岩有关,矿体产于岩体与中元古界昆阳群钙质板岩的外接触带。矿体为似层状,主要金属矿物为白钨矿、锡石、黄铁矿等。与燕山期二云母花岗岩有关的夕卡岩型矿床有龙乌拉溪钨矿,矿体产于花岗岩体与二叠纪灰岩接触带,但矿床规模很小。与印支期似斑状黑云母花岗岩有关的

热液石英脉型康定赫德锡-钨矿,石英脉产于花岗岩体内外接触带,外接触带围岩为三叠系西康群石英片岩,金属矿物为锡石、黑钨矿、白钨矿、黄铜矿等,钨矿为小型。与前震旦纪闪长岩有关的有石屏龙潭钨矿,矿体产于闪长岩体与前震旦纪的变质砂页岩接触带上,钨虽具中型规模,但因与褐铁矿相伴生而难选,近期难于利用。带内具层控性质产于前震旦系会理群变质砂岩、大理岩、绢云母片岩的层间破碎带内,主要金属矿物为白钨矿、锡石、黄铜矿、方铅矿、磁铁矿,普遍有夕卡岩化,矿床规模很小,不具经济意义,如会理顺河山神庙锡-钨矿、顺河刘家钨-铜矿,会理下村吕家山白钨矿等。

7 东秦岭成矿带

该带位于华北地台南缘西段,常称卢氏—栾川成矿带,有丰富的金矿、钼矿、钨矿和锑矿,为中国重要成矿带之一。该带处于华北古陆块南缘的绿岩带上,阜平运动后遭受混合岩化作用并长期处于隆起状态。赋矿地层有太古宇太华群混合岩、角闪片麻岩、黑云母斜长片麻岩(如文峪含钨金矿、东闯含钨金-铅矿)和中元古界长城系宽坪群二云母石英片岩、黑云母斜长片麻岩(如南台含钨钼矿),以及中元古界蓟县系栾川群绢云母片岩、白云质大理岩、火山碎屑岩(三道庄、南泥湖钼-钨矿)等。该带中生代遭受强烈的燕山运动,其断裂、褶皱表现为继承基底构造,与成矿关系密切的燕山期浅成-超浅成花岗岩类小岩体发育。钨矿床类型主要是斑岩型、夕卡岩型及热液石英脉型。斑岩型和夕卡岩型钨矿多为一体,而且是钼-钨共生,钨常作为伴生元素产于钼矿床内,但 WO_3 储量巨大,三道庄矿区钨储量达 50 多万 t,南泥湖矿也有 15 万余 t。具有中型以上的矿床尚有南台、骆驼山、上房沟、夜长坪等钨-钼矿床。南泥湖—三道庄钼-钨矿床产于豫西断隆三川—栾川断陷造山带内,出露蓟县系栾山群一套浅海相碎屑岩、火山碎屑岩及碳酸盐岩等。这套岩石受燕山期岩浆侵入影响形成各种角岩和钙镁夕卡岩。与成矿关系密切的侵入岩为燕山期细中粒斑状黑云母花岗岩、斑状二长花岗岩。花岗岩体属高钾、富碱,钙碱系列岩石。岩体属幔-壳混合源型,出露面积仅 0.15 km^2 ,为岩株状复式岩体。钼矿体产在岩体内及邻近的角岩中,而钼-钨矿体则主要产在外接触带钙镁夕卡岩内。矿体呈层状、似层状产出,矿化呈纵横交错的网脉浸染



状。金属矿物主要是辉钼矿、白钨矿、黄铁矿、磁铁矿、黄铜矿等,非金属矿物有石英、钾长石、斜长石、钙铁榴石、透闪石等。热液蚀变早期为钾长石化、硅化、碳酸盐化,晚期为青磐岩化,多具面型特征。石英脉型钨矿床有陕西蓝田清峪上长钨矿。该矿仅属矿点,产于燕山期黑云母花岗岩与太古宙变质岩的接触带上。此外,灵宝的文峪、东闯金矿(含白钨矿)为多金属硫化物石英脉型矿床,呈脉状及似层状产于太古宇太华群变质岩中。

8 秦—祁—昆成矿带

本带包括祁连山造山系西段、秦岭造山系西段及其与东昆仑造山系交会部位。这一带钨矿具分段富集特点,主要分布在肃南—肃北,和政—夏和,都兰—乌兰一带。带内多旋回构造-岩浆活动强烈,加里东期、华力西期、印支期、燕山期都有钨的成矿作用,带内以加里东期钨的成矿作用最为重要。钨矿床类型主要是热液石英脉型和夕卡岩型。在肃南、肃北一带有较多的加里东期热液石英脉型钨矿床,如肃北县的塔儿沟钨矿,矿床与加里东期花岗闪长岩有关,赋矿围岩为元古宇北大河群角闪石英片麻岩、绢云母石英片岩和条带状大理岩。矿床为多型共生大型钨矿,有石英脉型、夕卡岩型和云英岩型。黑钨矿石英脉型矿床发育于塔儿沟背斜及其两翼的上述片岩中,达工业品位的矿脉有 180 多条,在平面和剖面上平行成群产出,矿体总体上呈 NE—SW 向展布,夕卡岩矿体产于背斜轴部条带状大理岩中,呈似层状、连续透镜状。矿层中除白钨矿体外,还有扁豆状夕卡岩铅-锌矿体,云英岩型钨矿体发育于花岗闪长岩顶部及外接触带片岩中,但矿化弱,未构成工业矿体,金属矿物有黑钨矿(主要产于石英脉中)、白钨矿(主要产于夕卡岩中)、绿柱石、黄铁矿、毒砂、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿等,非金属矿物有石英、云母、黄玉(主要在石英脉中)、石榴子石、透辉石、符山石(主要在夕卡岩矿体中),方解石、萤石。黑钨矿石英脉矿体围岩蚀变有白云母化、硅化、钾长石化、云英岩化、碳酸盐化等,白钨矿夕卡岩矿体的蚀变主要是夕卡岩化。塔儿沟矿区矿脉中白云母 Rb-Sr 年龄为 434.64 Ma,成矿为加里东期(张作衡等, 1999)。

带内与塔沟钨矿相似的另一较重要矿床为小柳沟钨-钼矿床,矿床位于肃北县,由有色总公司西北地质勘查局 1994 年发现,已初步控制钨储量 20

多万 t。矿区南部有小柳沟花岗闪长岩小岩株,埋深 200 m 以下钻孔见到黑云母花岗岩。矿体产于黑云母花岗岩顶部和元古宇镜天山群含铁千枚岩夹灰岩中。矿体以黑钨矿石英脉型为主,还有花岗岩型和夕卡岩型矿化。黑钨矿石英脉型矿体主要产于岩体外接触带千枚岩中;夕卡岩白钨矿体产于接触带附近碳酸盐岩层,呈透镜状;花岗岩型矿体产于黑云母花岗岩岩株突起部位的钾长石化、石英-绢云母化带内。矿化以辉钼矿为主,还有白钨矿等,呈浸染、网脉浸染状。矿体为似层状。据张作衡等(1998)资料,小柳沟钨-钼矿床辉钼矿的 5 件 Re-Os 年龄数据为 436~496 Ma,与塔儿沟钨矿的白云母 Rb-Sr 年龄相近,成矿时代为加里东期(张作衡等, 1999;周廷贵等, 1999)。在祁连山造山系西北段肃北县还有与华力西期花岗岩有关的红尖兵山钨矿及与加里东二长花岗岩有关的野马滩钨-钼矿,二者都是热液型矿床。在秦岭造山系西段上古生代拗陷区甘肃夏和、和政一带还有燕山期夕卡岩型和热液型钨矿床(点)分布,如夏和阿姨山夕卡岩型铜-钨矿、和政大槐沟热液型铜-钨矿。在昆仑造山系东段青海都兰一带也有矿床分布,如乌兰杂子黑钨矿则是产于华力西期花岗闪长岩体外接触带的夕卡岩层状钨矿。成矿带内除塔儿沟和小柳沟钨矿外规模均不大,多为小型矿床。

9 天山—北山成矿带

该带位于中国西北部,属天山—兴安造山系西段,在新疆中部、甘肃、内蒙古西部,呈 EW 向展布。在古生代经历了加里东及华力西 2 期构造运动,其后又遭受燕山运动影响,是典型的多旋回造山运动的地区。带内岩浆活动剧烈又频繁,时间上大部分集中在华力西期。钨矿床的成矿时代主要是华力西期,个别为燕山期。矿床多为中小型。矿床类型主要为热液石英脉型,个别为斑岩型和夕卡岩型。石英脉型钨如温泉祖鲁洪钨-铜矿,含矿石英脉产于华力西期斑状黑云母花岗岩外接触带泥盆纪浅变质岩中;哈密琼洛克钨矿、星星峡绿洲泉钨矿都是产在华力西期花岗岩内接触带的石英脉型钨矿;在甘肃走廊有红尖兵山石英脉型钨矿,规模达中型,成矿与华力西期二长花岗岩有关,矿脉产于外接触带下石炭统白山群流纹英安岩、英安质凝灰岩中;在内蒙古北山优地槽造山带额济纳旗有鹰嘴红山钨矿,矿脉产于华力西期黑云母二长花岗岩内接触带。在额济纳旗还有七一山斑岩型钨-钼矿,



矿体产于燕山早期花岗岩与下志留统绢云母石英片岩、安山质凝灰岩接触带。黑钨矿、白钨矿、辉钼矿等金属矿物呈浸染和网脉浸染状产出，矿床规模可达中型。成矿带内夕卡岩型钨矿不甚发育，哈密星星峡有小白石头泉钨矿，矿体产于华力西期花岗岩闪长岩与中震旦统大理岩的外接触带夕卡岩中。

10 三江成矿带

本带位于云南西部、西藏东部三江造山系、冈底斯—念青唐古拉造山系和松潘—甘孜造山系，多旋回的构造-岩浆活动强烈，加里东期、印支期、燕山期、喜马拉雅期各期均有钨的矿化活动。钨矿主要分布在泸水、中甸、江达、玉龙等地。本带已知的矿床类型有热液型、夕卡岩型和斑岩型。五叉树热液型矿床与加里东期黑云二长花岗岩有关，是产于外接触带上寒武统含钙变质碎屑岩层间的白钨

矿-石英-电气石型矿床。矿体呈似层状和脉状，金属矿物为白钨矿、磁黄铁矿、白铁矿、黄铜矿等。石缸河钨矿为与燕山期闪长岩-辉长岩有关的热液型钨矿床。矿体呈脉状、透镜状产于寒武纪砂板岩的层间破碎带和闪长-辉长岩脉带中，金属矿物为白钨矿、锡石、绿柱石等。上述 2 个热液矿床均达中型规模。据邱华宁等资料（1995），上述 2 矿床石英、白钨矿 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 法测定结果分别为 39 Ma 和 69 Ma，应属于喜马拉雅期。中甸红山洞铜矿为产于印支期石英闪长玢岩与中三叠统接触带上的铜、钼、白钨矿夕卡岩型矿床，钨为伴生矿，为小型。带内还有中甸麻花坪钨-铍矿，该矿为产于泥盆系大理岩亦可能属喜马拉雅期成矿。据玉龙铜-钼矿勘探报告报道，玉龙铜-钼矿内钨为伴生矿，其储量 WO_3 近 6 万 t，达大型规模。

摘自《中国主要金属矿床成矿规律》

中国钨矿床时空分布及成矿规律

1 中国钨矿床时空分布

从成矿期来看，据《中国内生金属成矿图说明书》（1987）统计的钨矿床成矿时代 [以矿床（点）数量为基础]，前寒武纪成矿期占 2%，加里东期占 4%，华力西期占 9%，印支期占 2%，燕山期占 83%。从空间分布来看在中国三大成矿域，即古亚洲成矿域、滨太平洋成矿域、特提斯成矿域均有不同程度的分布，说明空间分布广泛。康永孚、苗树屏等（1994）将中国钨矿分布划分为 5 个成矿带，即华北成矿带、华南成矿带、天山—北山成矿带、西秦岭—祁连成矿带、三江钨-锡成矿带。其中，华南成矿带中的南岭成矿区（包括政和—大埔深断裂以西的闽西、赣湘南部、粤桂 2 省区的一部分和滇东南部分），是我国钨矿床高度发育区，也是世界上主要钨矿类型，如石英脉型（广东锯板坑钨矿、江西大吉山钨矿等）、花岗岩细脉浸染型（福建行洛坑钨矿）、以夕卡岩为主的层控多因叠加型（湖南柿竹园钨-锡-铋-钼矿）、层控型（广西大明山钨矿）等。

如此可见，中国钨矿时空分布既广泛又相对高度集中。成矿期主要集中于燕山期，矿床分布特别是大型、超大型钨矿主要集中于南岭成矿区。其储量占全国钨储量的 70% 以上。

2 中国钨矿成矿主要特点和若干规律

1) 具有多元成矿特点，即成矿物质的多来源（岩源、层源、混合源、壳源、壳-幔源等）；含矿建造的多层位（元古宇，震旦系，寒武系—奥陶系，泥盆系—石炭系，上侏罗统）；成矿作用的多期性；成矿环境的多样性以及钨元素地球化学的多种适应性，如在岩浆阶段、岩浆热液、各种矿化流体、变质作用及表生作用中，均可活化、迁移，在有利的构造条件下富集成矿。

2) 具有地层、构造、岩浆岩多种因素及其复合控矿的特点，地层沉积建造是供矿、容矿的基本因素之一，不同的容矿建造机制分别控制形成不同类型的钨矿。如碳酸盐岩建造总是形成夕卡岩或似夕卡岩型钨矿床（以白钨矿为主）；而硅-铝建造则往往产生交代岩或角岩，形成岩体浸染型、细脉浸染型、脉型、角砾岩筒型钨矿床。不同的构造-岩浆机制，形成各具特征的矿床类型。例如，由深大断裂从深部带来的壳-幔混源型岩脉，可以形成斑岩型、角砾岩筒型钨矿；而来自壳源型的岩脉则形成脉型或夕卡岩型钨矿。各种成矿条件联合控矿，必然产生多型矿床的共生与复合。

3) 矿床高度集中分布和成群成带出现，如前所述，南岭是中国钨矿最密集的成矿区，尤其是赣



南、湘南、粤北地区的钨矿床更是高度集中分布，而且是成群成组的出现。如在赣南大余—崇义—上犹地区，仅在 $7\,800\text{ km}^2$ 范围内就有 180 多个矿床（点）密集分布，几乎平均 10 km^2 内即有 2 处钨矿床，并呈现等距、近等距的分布；又如，盘古山区在 $11\,000\text{ km}^2$ 范围内也有 1~2 个大型钨矿并有“卫星”式一批中小型矿床围绕大型矿床产出而成成群成组的分布。在每个矿床中几乎都有 1~2 条“王牌”矿脉（规模大，品位富的矿脉），如西华山钨矿的 299 号“王牌”脉长 920 m，脉宽最大 3.60 m，而且品位富。每个矿区的含钨石英脉成群成带的产出（许多脉钨矿体一起产出而形成矿体群；按矿体分布疏密程度而分为脉带型矿脉和单脉形矿脉）。如赣南的西华山、大吉山，湘南的瑶岗仙，粤北的锯板坑、梅子窝、石人嶂等特大、大中型钨矿床中的矿脉均是成群成带的分布。这种成群成带的分布规律，对找矿、勘探、开发具有重要指导作用。

4) 矿床水平分带规律，在南岭内生钨矿床具有明显的分带性。这种分带规律在一些成矿区带和

矿田、矿床中均不同程度的显示。如南岭赣南钨矿成矿区带，王成发（1984）提出赣南脉状钨矿具有区域性水平分带特征，表现以大余岭为中心的半环状分带，按钨矿地球化学特征分 3 个带：Ⅰ——钨—锡矿带，Ⅱ——钨矿带；Ⅲ——钨—多金属矿带。

5) 矿床垂直分带规律，在石英脉型钨矿床（简称脉钨矿床）的矿体形态在垂直空间具有“五层楼”式的变化规律。这种垂直变化规律的认识，是 20 世纪 60 年代初广东冶金地质九三二队在勘探粤北梅子窝脉钨矿床时研究总结出来的，形象地称为“五层楼”：1) 石英云母线（也叫线脉带），2) 稀疏细脉带，3) 密集细脉带，4) 平行薄脉组，5) 单独大脉，即以带、组、脉为基本模式。在赣南、湘南等地的脉钨矿床的矿脉也存在类似的垂直分带。这种“五层楼”式模式，对找矿、勘探和矿床开采具有实际指导意义。但应指出，有些脉钨矿床的矿脉因剥蚀和其他地质因素所致，不一定每个矿床都显现出“五层楼”式的垂直变化规律，有的仅具有三层、四层。

摘自《中国矿情》第二卷·金属矿产

钨矿业简史

从 1783 年西班牙首次用炭从黑钨矿中提取了金属钨至今有 200 余年的钨矿开发、冶炼、加工历史。

中国对世界钨业发展作出了举世瞩目的贡献。中国钨矿于 1907 年发现于江西省大余县西华山[西华山钨矿的发现，在许多文献中都记载是 1908 年。现据《中国矿床发现史·江西卷》（1996）报道，西华山钨矿发现于 1907 年]，钨矿开采始于 1915—1916 年（据《中国矿床发现史·江西卷》，1996 年）。此后在南岭地区相继发现不少钨矿区，生产不断扩大，至第一次世界大战末期，钨精矿产量达到万 t，跃居世界钨精矿产量首位，至今仍居世界第一位。

中国钨矿资源丰富。开发钨矿地质调查工作，由翁文灏先生创始于 1916 年，尔后在河北、江西、广东、广西等省（区）分别做了一些探测工作。20 世纪三四十年代，对赣、湘、粤、桂、滇等省（区）的一些钨矿床进行了较系统的地质调查，特别是对赣南地区的钨矿，先后有燕春台、查宗禄、周道隆、徐克勤、丁毅、张兆瑾、马振图等地质学

家做了颇有成就的地质调查研究。其中，徐克勤、丁毅所著《江西南部钨矿地质志》（1943），对赣南几十年钨矿床分别作了系统的论述，堪称我国第一部钨矿地质专著。这些地质前辈的工作成果，不仅为后来地质勘探工作奠定了基础，而且也为当时开采赣南钨矿提供了重要依据。

1935 年，江西省成立了资源委员会钨业管理处，统一价格，收购钨砂。1938 年，西华山建立矿场，投资经营东西大巷进行坑采。抗战胜利后改为资源委员会第一特种矿产管理处西华山工程处。据不完全统计，西华山钨矿至新中国成立前，共采出钨砂近 5 万 t。1937 年成立大吉山钨矿工程处，收回民窿开凿第九中段，开始国营生产。

在 20 世纪三四十年代，不仅发现了大量黑钨矿，而且白钨矿也有陆续发现。资源委员会矿产测勘处金耀华、杨博泉于 1943 年对云南省文山县老君山地区进行矿产地质调查时，首次发现接触交代型白钨矿床（夕卡岩型白钨矿床），著有《云南文山老君山白钨矿床之成因及其意义》论文（地质论评，1943，No. VIII）。1947 年，徐克勤又在湖南省



宜章瑶岗仙和尚滩发现了白钨矿床，并写专文报道。

新中国成立后，为振兴钨业，在 20 世纪五六十年代开展了前所未有的大规模钨矿地质普查和勘探工作。由原重工业部、冶金部、地质部所属地质勘探部门，迅速地对赣、湘、粤以及闽、桂、滇等省区的钨矿开展全面普查勘探工作，在第一个五年计划期间（1953—1957 年），为赣南西华山、大吉山、岿美山、盘古山“四大名山”黑钨矿床作为重点矿山建设项目以及在湘南、粤北、桂东北等地区的钨矿建设矿山，提供了可靠的地质成果，作为采

选设计的依据。60～80 年代，为保矿山、保建设和钨业持续发展，继续进行了大量地质勘查工作，在华南和西北甘肃等地又发现并探明了一批大型、超大型钨矿，为中国钨业可持续发展，准备了充足的矿产资源。

在大量地质勘探工作基础上，从 50～70 年代建立了原中央直属企业的矿山有 20 多座和一大批地方国营的中小型矿山，到 80 年代以来，国营钨矿山形成生产矿石总能力达 870 万 t。年产钨精矿（ WO_3 ）4～5 万 t。

摘自《中国矿情》第二卷·金属矿产

20 世纪新发现的层控型钨矿床

传统的钨类型有石英脉型和夕卡岩型。层控型的铋-钨-汞（辉铋矿-白钨矿-辰砂）矿床是 20 世纪 60～70 年代确认的一种有远景的钨矿类型。自 1967 年奥地利发现费尔伯塔（Felbertal）层控钨矿以来，在世界范围内掀起了对这种非常规类型的钨矿的勘查活动。现在在奥地利、前南斯拉夫、意大利、西班牙、葡萄牙、挪威、法国、美国、巴西、津巴布韦、纳米比亚、南非、澳大利亚、俄罗斯、乌兹别克斯坦、格陵兰和中国均有发现。

矿床产在一定的地层层位和一定的岩性地层中，矿体呈整合层状、透镜状。已知的成矿时代为前寒武纪和早古生代。

根据产出的地质环境和矿床特点，这类钨矿床可划分为 2 个类型。

1) 片麻岩系中的白钨矿-硫化物-似夕卡岩型。矿化通常与前寒武纪的花岗片麻岩和角闪岩岩系的区域花岗岩化和夕卡岩化作用有关，为夕卡岩化角闪石化的前寒武纪片麻岩和角闪岩中的含白钨矿的矿床。如挪威北部的宾德尔地区，该区白钨矿矿化产在夕卡岩化的或者实际上未蚀变的黑云母片麻岩和黑云母角闪石片麻岩中的富含阳起石的夕卡岩地段。另外，法国的黑山地区、美国的科罗拉多州和怀俄明州、巴西、俄罗斯、乌兹别克斯坦等均有这种类型矿化出现。

2) 碳酸盐-片岩岩系中的白钨矿-硫化物-石英岩型。矿化发育在早古生代优地槽火山岩-硅质-碳酸盐陆源岩系中，一般产在火山岩-硅质-陆源岩系

和以碳酸盐类岩石为主的岩系的接触带中。矿化呈细脉浸染状产在硅化和含石墨的灰岩、石英岩或钙-泥质页岩层中。含矿层特点：钨的地球化学背景值偏高；硅化作用和石墨化作用强烈；有基性变质火山岩的顺层岩体存在。与第一种类型相比，第二种类型的意义较大，因为第一种类型的矿化中 WO_3 的含量较低及其分布不稳定，很难划分出较大的矿体。第二种类型矿床在阿尔卑斯山区如奥地利、南斯拉夫、意大利以及土耳其境内广泛分布。其中有已投产的奥地利费尔伯塔大型白钨矿矿床，其 WO_3 储量 16 840 t， WO_3 平均品位 0.75%，其含白钨矿带沿近 EW 向延伸超过 2.5 km，沿垂直方向延伸约 1.4 km。含白钨矿层的上部厚 300 m，产在以页岩为主的哈巴什火山岩-碳酸盐-陆源岩层中，矿床内的岩石受到区域变质作用，已变质成绿片岩相。矿体由分散浸染状钼白钨矿组成，与钼白钨矿共生的矿物：磁黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿、辉铋矿、自然铋等。矿化分布受围岩的结构、构造控制，矿体的层控性质非常明显。

中国的层控钨矿床有以湖南新邵县曹家坝矿床为代表的层控似夕卡岩型白钨矿矿床。矿床多出现在中元古代至晚古生代，赋存于细碎屑岩类夹碳酸盐类岩系的夕卡岩化岩石中，矿体呈层状，层位稳定。这种夕卡岩与通常和岩体接触交代形成的夕卡岩不同，因而称其为“似夕卡岩”。目前除湖南外，江西等地有发现。

摘自《矿产勘查百年》



亚洲钨矿床 (WO₃ 储量≥5 万 t)

国家(地区)	矿床或矿区	储量 WO ₃ /万 t	品位 w(WO ₃)/%	矿床类型	成矿时代	发现年代或现状
蒙古	温都尔查干(Undur Tsagaan)	31.62	0.17	沉积岩中网脉	古生代(泥盆纪)	
韩国	上洞(Sangdong)	12.01	0.71	夕卡岩	中生代(中侏罗世)	
泰国	莫克山(Doi Mork)	大型		夕卡岩	中生代(三叠纪)	
越南	努帕(Nuiphao)	11.7(储量) 16.7(资源量)	0.21(储量) 0.19(资源量)	夕卡岩/云英岩	中生代(白垩纪)	可行性研究完成
吉尔吉斯斯坦	特鲁多沃(Trudovoye,在萨雷扎斯 Сарыджаз 锡矿区内)	12.6	0.32	花岗岩	古生代(晚石炭世—二叠纪)	
乌兹别克斯坦	杰特姆套(Djetymtau)	35.0(资源量)	0.35	夕卡岩	古生代	
土耳其	乌卢达格(Uludag)	4.54	0.44	夕卡岩	晚古生代	
俄罗斯	特尔内奥兹(Tyrny-Auz)	6.94	0.25~0.50	夕卡岩	中生代	
俄罗斯	英库尔(Yincool)	大型		石英脉	中生代	
俄罗斯	尤尔廷(Yurtin)	大型		石英脉	中生代	
中国	内蒙古黄岗	5.29	0.39	夕卡岩	中生代	未采
中国	黑龙江翠宏山	12.16	0.32	夕卡岩	古生代	未采
中国	福建行洛坑	30.43	0.23	斑岩	中生代	1957 年发现,开采
中国	江西西华山	8.13	0.93	热液石英大脉	中生代	1907 年发现,开采
中国	江西漂塘	9.18	0.20	热液石英细脉带	中生代	开采
中国	江西大吉山	15.34	1.90	热液石英大脉	中生代	1918 年发现,开采
中国	江西盘古山	10.22	1.105	热液石英大脉	中生代	开采
中国	江西黄沙	7.87	0.58	热液石英大脉	中生代	开采
中国	江西画眉坳	5.20	0.86	热液	中生代	开采
中国	江西浒坑	5.94	1.53	热液石英大脉	中生代	开采
中国	江西下桐岭	12.17	0.23	斑岩	中生代	开采
中国	江西香炉山	21.66	0.74	夕卡岩	中生代	1957 年发现,开采
中国	江西徐山	8.20	0.84	热液石英大脉		开采
中国	江西阳储岭	5.74	0.20	斑岩	中生代	1961 年发现,未采
中国	河南栾川三道庄—南泥湖	63.79	0.10~0.12	斑岩-夕卡岩	中生代	1956 年发现,开采
中国	湖南柿竹园	70.50	0.331	云英岩-夕卡岩	中生代	1954/1955 年发现,开采
中国	湖南新田岭	30.31	0.37	夕卡岩	中生代	1956 年发现,未采
中国	湖南瑶岗仙(黑钨矿)	6.20	1.27	高温热液石英脉	中生代	20 世纪 40 年代发现,开采
中国	湖南瑶岗仙(白钨矿)	20.44	0.29	高温热液石英脉	中生代	未采
中国	湖南黄沙坪	9.10	0.25	夕卡岩	中生代	开采
中国	湖南砖头坳	6.65	0.67	夕卡岩	中生代	未采
中国	湖南杨林坳	19.19	0.46	高—中温热液		开采
中国	广东锯板坑	10.03	0.63	石英脉	中生代	1918 年发现,开采
中国	广西珊瑚	8.33	1.09	热液石英大脉	中生代	开采
中国	广西大明山	16.09	0.24	热液石英细脉带	中生代	开采
中国	甘肃塔儿沟	20.87	0.74	石英脉-似夕卡岩	古生代	1965 年发现,开采
中国	甘肃小柳沟	>20.00	0.67	石英脉-夕卡岩	古生代	1994 年发现
中国	云南个旧	14.00		夕卡岩	中生代(中三叠世)	开采



20 世纪发现的超巨型钨矿床 (WO_3 储量 >20 万 t)

序号	国家	矿床或矿区	储量 WO_3 /万 t	$w(\text{WO}_3)/\%$	矿床类型	成矿时代	发现年代
1	加拿大	麦克米伦山口(马克通) (Macmillan Pass, Mactung)	27.00	0.90	夕卡岩型	晚白垩世	1972
2	加拿大	洛贾姆溪(Logiam Creek)	21.19	0.13	斑岩-夕卡岩型		1977
3	中国	湖南柿竹园	70.50	0.33	夕卡岩型	中生代	1954—1955
4	中国	湖南瑶岗仙	20.44	0.27	夕卡岩型		20 世纪 40 年代
5	中国	湖南新田岭	30.31	0.37	夕卡岩型	中生代	1956
6	中国	福建行洛坑	30.43	0.23~3.29	花岗岩型	中生代	1957
7	中国	河南三道庄	50.24	0.11	夕卡岩型	中生代	1956
8	中国	江西香炉山	21.66	0.74	夕卡岩型		1957
9	中国	甘肃小柳沟	>20.00	0.67	石英脉型、夕卡岩型	古生代	1994
10	中国	甘肃塔儿沟	20.87	0.66	石英脉型、夕卡岩型	古生代	1965

摘自《矿产勘查百年》

世界钨资源概况

世界各大洲都有钨矿产出，但大部分钨矿分布在环太平洋两岸，部分钨矿床分布在地中海地区，极少部分钨矿床分布在亚洲、欧洲、美洲和非洲腹地，且很分散。主要产钨国家亚洲有中国、朝鲜、韩国、日本、马来西亚、缅甸；北美有加拿大、美国；中南美洲有墨西哥、玻利维亚、巴西、秘鲁、阿根廷、智利；大洋洲有澳大利亚；欧洲有原苏联、瑞典、英国、法国、奥地利、葡萄牙、西班牙、土耳其；非洲有尼日利亚、扎伊尔、乌干达、南非等国。

据《英国矿物手册》(1990—1991) 统计，全世界有 256.4 万 t 钨金属量，中国为 120 万 t，占世界钨总金属量的 46.8%；其次为原苏联，具 28 万 t；加拿大为 26 万 t，占 10.1%。世界十大产钨国的储量占世界总储量的 91% 以上。世界主要产钨国钨的储量见表1，图1。显然上述统计不够精

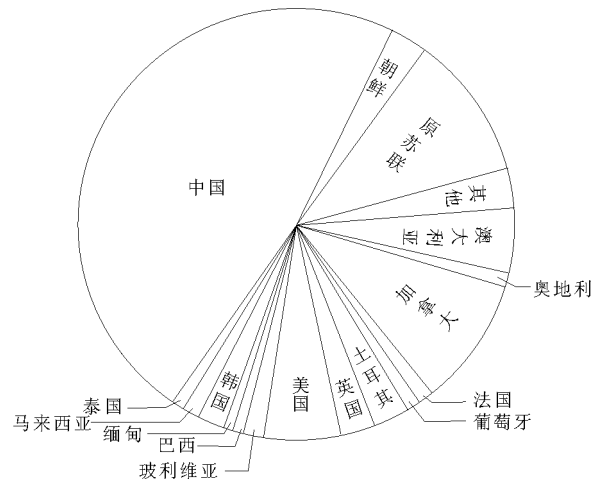


图1 世界钨矿储量

确，但各国钨资源所占的比例和排序仍具参考价值。

世界上最主要的钨矿类型是夕卡岩型钨矿床，在市场经济国家夕卡岩型钨矿占钨储量的 65%，占钨产量的 60%，其次是网脉浸染状的斑岩型钨矿床。矿石工业类型以白钨矿石为主，约占国外钨矿总储量的 2/3 以上。加拿大的坎通 (Cantung) 钨矿，马克通 (Mactung) 钨矿，美国的斯特劳伯里 (Strauberry) 钨矿，奥地利的米特西尔 (Mittersill)，澳大利亚的金岛 (King Island) 钨矿，韩国的山洞钨矿都是大而富的白钨矿矿床，它们的平均品位都在 0.6% 以上。

摘自《中国主要金属矿床成矿规律》

表1 世界钨储量 (金属量)

国家	储量 1 000 t	百分比/%	国家	储量 1 000 t	百分比/%
中国	1 200	46.8	泰国	30	1.2
原苏联	280	10.9	葡萄牙	26	1.0
加拿大	260	10.1	法 国	20	0.8
美 国	150	5.8	巴 西	20	0.8
澳大利亚	130	5.1	马来西亚	17	0.7
朝 鲜	80	3.1	奥地利	15	0.6
英 国	70	2.7	缅甸	15	0.6
土耳其	65	2.5	墨西哥	8	0.3
韩 国	58	2.3	津巴布韦	5	0.2
玻利维亚	45	1.8	原捷克斯洛伐克	5	0.2

引自英国《矿物手册》，1990—1991。



湖南柿竹园夕卡岩型钨矿床

矿区地处华南加里东褶皱系中心地段，位于湘南千里山花岗岩体东南缘与泥盆纪碳酸盐岩层接触带。区域地层分布有震旦系、寒武系、泥盆系、石炭—二叠系、三叠系、三叠—侏罗系等，包括了加里东旋回、华力西—印支旋回、燕山旋回 3 个构造层，其中泥盆系与成矿关系密切。区内褶皱-断裂构造复杂，加里东构造层呈紧密褶皱基底；印支旋回构造运动使上古生界产生宽阔舒缓褶皱；燕山运动强烈而频繁，普遍交错的断裂活动，反映了块断构造的特征，并且导致大规模花岗岩浆侵入。花岗

岩比较发育，具多期多阶段侵入活动特点，如加里东期、印支期等。与成矿密切有关的千里山花岗岩为燕山期复式岩体，侵入上泥盆统余田桥组，出露面积 9.7 km²，具有多阶段成岩成矿特征。该岩体周围分布有东坡、野鸡尾、金狮岭等 10 余处钨、锡、铋、钼及多金属矿床（点），构成著名的东坡矿田。其中柿竹园矿床（图 1），矿体厚大，物质组分复杂，并具多型矿化叠加共生特征，不仅为当前世界上罕见的巨型钨矿床，而且具有多因成矿的重要理论意义。

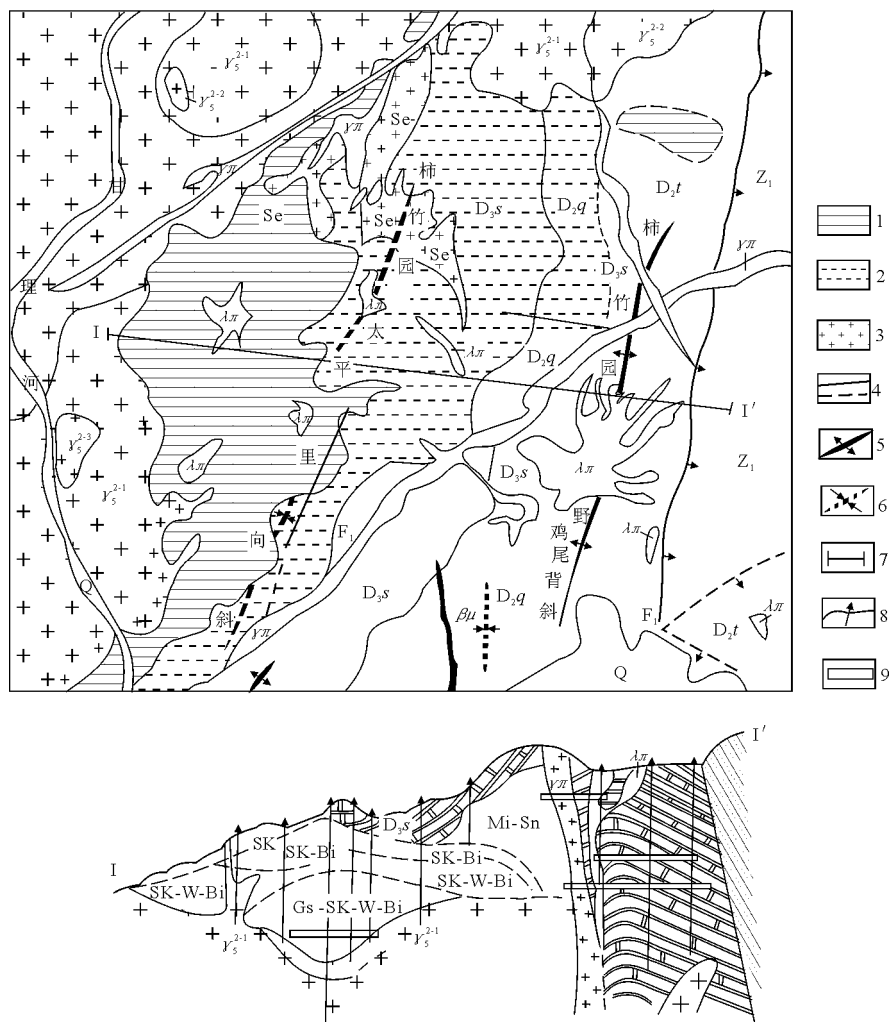


图 1 柿竹园矿区地质与剖面图（转引自康永孚等，1994 略作修改）

Q—第四系；D_{3s}—上泥盆统余田组大理岩；D_{2q}—中泥盆统棋梓桥组白云质大理岩；D_{2t}—中泥盆统跳马涧组砂岩；Z₁—震旦纪石英砂岩及板岩； γ_5^{2-1} —细粒斑状黑云母花岗岩； γ_5^{2-2} —中粗粒黑云母花岗岩； γ_5^{2-3} —细粒（少斑）二云母花岗岩； $\gamma\pi$ —花岗斑岩； $\lambda\pi$ —石英斑岩（属 γ_5^{2-1} 浅成相）； $\beta\mu$ —辉绿（玢）岩；Se—绢云母岩（属 γ_5^{2-2} ）；SK—夕卡岩（剖面）；Mi-Sn—大理岩化锡矿带；SK-Bi—夕卡岩铋矿带；SK-W-Bi—夕卡岩钨-铋矿带；Gs-SK-W-Bi—网脉状云英岩穿插的夕卡岩钨-铋矿带；1—夕卡岩（平面）；2—夕卡岩化大理岩；3—云英岩化；4—实测及推测冲断层；5—背斜轴；6—向斜轴；7—剖面位置；8—钻孔；9—坑道



1 矿区地质

矿区内出露有震旦系与泥盆系，震旦系分布于矿区东侧，主要为石英砂岩、千枚岩、板岩等。其中成矿元素的含量较高，与同类岩石相比，钨、钼高出 15 倍以上，锡、铅、锌、铜高出 5 倍以上。

泥盆系在矿区内只见中上统。中统跳马涧组 (D_2t) 砂岩出露于矿区东南隅；棋梓桥组 (D_2q) 碳酸盐岩层分布在矿区东部野鸡尾一带。上统余田桥组 (D_3s) 产于矿区中部，主要为灰岩、泥质条带状灰岩、泥灰岩夹粉砂岩和页岩，厚约 270 m，大部分已夕卡岩化，为矿区主要容矿地层。各碳酸盐岩层中成矿元素含量较高，与同类岩石相比，钨、锡含量高 5 倍以上，铅、锌高 10~16 倍。

褶皱主要有野鸡尾—柿竹园背斜与柿竹园—太平里向斜，两者轴向均为 20° 。柿竹园—太平里向斜向 N 扬起，核部为余田桥组，东翼与背斜毗联，西翼被千里山岩体所截，柿竹园巨型矿床即产于该向斜北端核部。

断裂、裂隙发育，按走向可分为 4 组：1) NNE 向（倾向 SEE，倾角 $25\sim 80^\circ$ ）——派生裂隙十分复杂，密集成带，岩支岩脉频繁充填，既为

石英脉、云英岩脉、萤石脉会集空间，也是夕卡岩最厚大地段；2) NE 向（倾向 SE，倾角 $25\sim 70^\circ$ ）——多为岩脉和含矿石英脉充填，钨、钼、铋矿化强烈，构成富矿带；3) NW 向（倾向 SW，倾角 $70\sim 80^\circ$ ）——数量、规模均较小，往往成群分布，局部分别充填萤石、石英脉，脉侧蚀变较发育；4) EW 向（倾向 S，倾角 $60\sim 70^\circ$ ）——局部充填铅-锌矿脉。上述各系统断裂、裂隙、在接触带附近高度发育；在向斜核部余田桥组内尚有密集的轴面劈理，它们具有多因多阶段成生特点，对夕卡岩以及多型矿化复合共生提供了有利的构造环境。

接触带构造为柿竹园矿床定位以及控制其产状形态的重要构造因素。千里山花岗岩株东南缘岩体向内凹入部位与柿竹园—太平里向斜核部东侧相接合呈港湾状，将余田桥组厚层碳酸盐岩层围拢其中，形成良好的封闭接触条件。接触面两侧裂隙十分发育，构成面积约 2 km^2 的破碎地段，不仅有大量花岗质岩脉贯穿其中，而且是形成巨大的夕卡岩及其复合矿体的重要构造因素。

千里山花岗岩株为燕山期 4 次侵入成岩的复式岩体 (γ^1 ， γ^2 ， γ^3 ， $\lambda\pi$ ， $\gamma\pi$ ，此外尚有最晚的 $\beta\pi$ ：辉绿玢岩)。各阶段岩石造岩矿物特征见表 1。

表 1 千里山花岗岩主要造岩矿物成分含量

岩体代号	岩石类型	主要矿物含量/%			
		石英	钾长石	斜长石	黑云母
γ^1	斑状细粒黑云母花岗岩	28~40	30~40	20~30	2~4
γ^2	中心相 粗中粒黑云母花岗岩	30~40	35~45	20~35	2~5
	边缘相 斑状细中粒黑云母花岗岩	28~35	30~40	28~35	2~5
γ^3	白岗岩	25~32	35~45	25~35	1~2
	斑状细粒黑云母花岗岩	30~35	30~40	20~30	1~4
$\gamma\pi$	花岗斑岩	32~40	35~43	15~25	2~5
$\lambda\pi$	石英斑岩	35~45	30~40	15~25	1~3

各阶段花岗岩主要矿物成分：石英 25%~45%，钾长石 30%~45%，斜长石 15%~35%，黑云母 1%~5%。副矿物属锆石-独居石型，并且富含钨、锡、铋、钼以及挥发分矿物，与华南燕山期含钨、锡花岗岩相类同。

岩石化学成分表明各期花岗岩均属钙碱系列。具铝饱和超酸富碱 ($K>Na$) 特点，并表现由早到晚 ($\gamma^1\rightarrow\gamma^3$) 化学成分向富碱，贫钙、铁方向演化；岩石分异指数 (DI) 依次增大。揭示千里山复式花岗岩体乃属同源岩浆伴随多阶段构造-岩浆活动，不断分异演化，依次侵入定位的产物。

岩体的主要成矿元素（钨、锡、铋、钼）均高

于克拉克值几倍至几十倍，具有华南钨、锡成矿花岗岩的共同特性。各主要阶段花岗岩（不包括晚期斑岩、玢岩）中稀土元素含量呈现岩体从早到晚 ΣREE ， ΣHREE 明显递增，销亏损愈趋明显的特征；稀土分配模式由平缓右倾“海鸥”形，递变为两翼平展的“海鸥”形（图 2）。

γ^1 为 172 Ma (K-Ar 法)，(162±24) Ma (Rb-Sr 法)； γ^2 为 139 Ma (K-Ar 法)，(141±20) Ma (Rb-Sr 法)； $\gamma\pi$ 为 129 Ma (K-Ar 法)，(140±6) Ma (Rb-Sr 法)。值域 172~129 Ma，应属燕山中期。根据中粗粒黑云母花岗岩 (γ^2) 中石英-长石矿物对氧同位素温度计与花岗岩熔融实

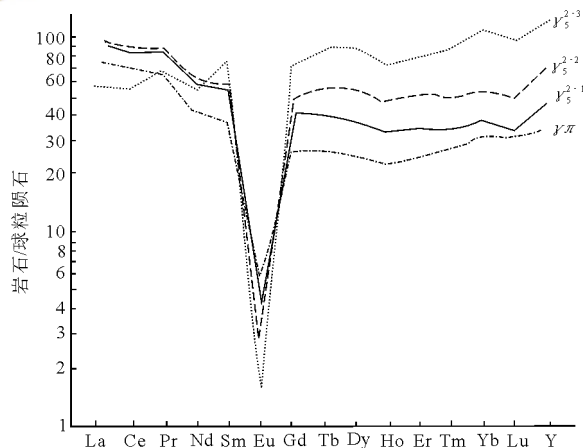


图2 千里山花岗岩体各次侵入岩稀土配分模式图(据南岭钨矿床研究组, 1985)

验,成岩温度处于690~770℃区间。压力 $1\times 10^8\sim 1.35\times 10^8$ Pa。结合其他地质资料分析,推断成岩深度约为4.5 km,属中深成相。

2 矿床特征

2.1 矿体产状及物质组分

多型矿体叠加复合于花岗岩与灰岩的接触带,以外接触带为主,形态简单,呈厚大的透镜体产出,走向 $10\sim 20^\circ$,倾向SEE,倾角 $5\sim 20^\circ$ 。矿体长1 000~1 200 m,宽600~800 m,厚一般150~300 m,是当前世界上已知最大的钨矿床。

已知矿物达96种,常见主要金属矿物有黑钨矿、白钨矿、辉钼矿、辉铋矿、锡石及多金属硫化物等;主要非金属矿物为萤石、石榴子石、透辉石、符山石、角闪石、长石、石英、云母等。按矿物共生组合及其结构、构造,可划分为4种主要矿石类型:大理岩锡矿石;夕卡岩钨-铋矿石;网脉状云英岩-石英脉-夕卡岩钨-锡-钼-铋矿石;云英岩钨-钼-铋矿石。矿石主要为浸染状、网脉状及条带状构造。主要成矿元素有钨、锡、铋、钼、铍、铜、铅、锌,伴生元素有铌、钽、铪、金、银、镱,非金属元素有硫、氟等。

2.2 围岩蚀变

夕卡岩化,普遍发育在碳酸盐岩层与各期花岗岩的接触带,具多阶段交代蚀变特点。按矿物组合可分为简单夕卡岩与复杂夕卡岩:简单夕卡岩仅有微弱的钨、锡矿化,当遭受后期构造-热流体叠加改造则形成各种复杂夕卡岩;后者与钨、锡、铋、钼等矿化具有密切的成因联系,主要矿体即产于复杂夕卡岩内。

云英岩化,产在花岗岩体顶部及夕卡岩中的花

岗质脉岩内。前者呈面型分布,后者呈脉状产出。按矿物组合可分为富石英云英岩,石英黄玉云英岩、石英云母云英岩、萤石黑鳞云母云英岩。它们均与钨、锡、铋、钼、铍矿化具有密切关系。面型云英岩多形成云英岩钨、钼、铋矿石;相当发育的脉状、网脉状云英岩与复杂夕卡岩共同组成网脉状云英岩-石英脉-夕卡岩钨、锡、钼、铋复合矿体。

萤石化,蚀变成因的萤石,常与绿泥石、电气石、绢云母等共生。萤石化与钨、锡、铍以及金属硫化物矿化关系密切。

电气石化,见于网脉状大理岩中,一般呈条带状或不规则状集合体分布,在空间上常与大理岩-锡石矿化共生。

绿泥石化,发育在接触带附近的复杂夕卡岩中,呈不规则集合体或条带状分布,与金属硫化物矿化具有一定成因联系。

此外,尚有钾长石化、钠长石化以及硅化,分别与矿化作用具有不同程度的时空关系。

2.3 多期次成岩成矿作用

矿区多次花岗岩浆活动分别产生相应的多期矿化作用。

1)第一期成矿,斑状细粒黑云母花岗岩(γ^1)侵入余田桥组泥质灰岩和部分锡矿山组灰岩中,接触交代作用形成较广泛的夕卡岩,主要由符山石、石榴子石、辉石、硅灰石等组成,并伴随较弱的白钨矿和锡石矿化。迄岩浆期后热流体阶段,在夕卡岩中进而产生萤石化、绿泥石化、硅化;同时在岩体内形成云英岩化,且伴有浸染状钨、锡、铋、铅、锌矿化。矿化不强,很不均匀。

2)第二期成矿,与第二次侵入中粗粒黑云母花岗岩(γ^2)密切相关,是矿区最重要的钨、铋、钼、锡、铍成矿作用期,从成岩到岩浆期后热液体成矿,可以从早到晚具体划分为5个矿化阶段。第一为简单夕卡岩阶段, γ^2 岩体与碳酸盐岩层接触带附近,产生浅色石榴子石夕卡岩;远离接触带则形成反应夕卡岩、夕卡岩化大理岩和网脉状大理岩。当 γ^2 岩体与早阶段夕卡岩接触,则呈现叠加改造现象。本阶段夕卡岩以红色石榴子石、无色萤石、白钨矿为典型矿物。主要矿化为白钨矿和锡石,伴有微弱钼矿化。第二为伟晶岩阶段,花岗岩(γ^2)成岩末期,热流体沿顶部边缘充填交代形成似伟晶岩壳。矿物成分为长石、石英、云母,呈伟晶结构。往往有钾(钠)长石化、云英岩化,并伴有绿柱石、锡石、黑钨矿以及铌、钽矿化。第三为云英岩(复杂夕卡岩)阶段,成岩后较



早阶段热流体在不同环境中交代作用的结果，于岩体顶部产生面型云英岩化以及岩脉中的脉型云英岩，伴生有钨、锡、铋矿化；外接触带先成的夕卡岩被进一步交代改造，呈角闪石、绿帘石、萤石组成的复杂夕卡岩，矿化以黑（白）钨矿、辉铋矿、辉钼矿为主，其次有磁黄铁矿、黄铜矿，锡矿化微弱。本阶段为矿床重要的矿化阶段。第四为石英-氧化物阶段，随着成矿流体的不断演化，温度逐渐降低，沿裂隙充填为黑钨矿石英脉，含少量白钨矿、辉钼矿、辉铋矿等。脉侧发育有狭窄的云英岩化、夕卡岩化和萤石化。第五为石英-硫化物阶段，主要形成金属硫化物石英脉，金属矿物有闪锌矿、方铅矿、黄铁矿、磁黄铁矿及少量穆磁铁矿。蚀变有硅化、绿泥石化以及黄铁矿染。

3) 第三期成矿，与第四次侵入的花岗（石英）斑岩有关，是本区又一次重要矿化期，以锡石-多金属或锡石-黄铜矿化为主。矿体多呈不规则筒状、透镜状、脉状产于斑岩脉（墙）或其两侧。围岩蚀

变有夕卡岩化、云英岩化、萤石化、绿泥石化、硅化、碳酸盐化等。本期成矿作用可进而划分 4 个矿化阶段：夕卡岩阶段，发育在岩脉两侧，矿化弱；云英岩阶段，见于石英斑岩内，蚀变强烈，以锡石、黄铜矿化为主，黑钨矿、黄铁矿次之；锡石硫化物阶段，金属矿物主要为磁黄铁矿、锡石、闪锌矿、黄铜矿，其次有少量白钨矿，蚀变为硅化、萤石化和绿泥石化；硫化物-碳酸盐阶段，主要有黄铁矿、方铅矿、闪锌矿；围岩蚀变为硅化、白云母化、碳酸盐化。

4) 第四期成矿，与辉绿玢岩有关，仅见浸染状黄铁矿及磁黄铁矿，矿化微弱，无工业价值。

2.4 矿床分带

本矿床沿垂直和水平方向的分带性十分醒目，尤其反映在以岩体接触带为中心的垂直分带更为清楚。沿着由岩体内部向上或向外侧的方向，围岩蚀变、金属矿物以及矿石类型，分别呈现有规律的演变和明显的分带特征（表 2）。

表 2 柿竹园矿床综合分带特征

岩 石	蚀变分带	主要成矿元素分带(含量/%)	主要金属矿物分带	矿石类型分带
碳酸盐岩层	大理岩 夕卡岩化大理岩	Sn(0.26) (Be)(0.07)	锡石、黝锡矿 塔菲石、金绿宝石、尖晶石	锡石-大理岩
	夕卡岩	W(0.267) Bi(0.11) Sn(0.186)	白钨矿 辉铋矿(自然铋、辉铅铋矿) 主要呈类质同像赋存于石榴子石中	白钨矿、辉铋矿-夕卡岩
	网脉状云英岩 复杂夕卡岩	W(0.632%) Bi(0.152) Mo(0.121) (Sn)(0.093)	黑钨矿、白钨矿 辉铋矿(自然铋) 辉钼矿 锡石	黑(白)钨矿、辉铋矿、辉钼矿-网脉状云英岩、复杂夕卡岩
接触面				
花岗岩	面型云英岩	W(0.353%) Mo(0.163) (Sn)(0.070) (Bi)(0.056) (Be)(0.085)	黑钨矿、白钨矿 辉钼矿 (锡石) 辉铋矿 绿柱石	黑钨矿、辉钼矿-云英岩

3 矿床成因探讨

3.1 矿质来源

根据硫、氧同位素组成，本区成矿物质及矿化流体，具有岩源与层源以及岩浆流体与大气降水的多源性，揭示了多源叠加的基本特征。

1) 硫同位素组成，辉钼矿 δ^3S 的变化范围是 4.39‰~6.89‰，均值为 6.05‰，标准离差为 0.652‰，塔式分布特征很明显；黄铁矿 δ^3S 为 0.24‰~8.63‰，均值为 5.53‰，标准离差为 2.32‰；方铅矿 δ^3S 为 6.70‰~10.93‰，闪锌矿 δ^3S 为 5.08‰~9.92‰，它们的离散度均很大。表明成矿早期高温阶段接近岩体部位（辉钼矿、黄

铁矿）的硫来源于岩浆；而晚期阶段远离岩体部位，由于不断混入地层内的生物硫，因此硫源则以混合源为主。

2) 氧同位素组成， $\delta^{18}O$ — $\delta^{17}O$ 三期花岗岩的石英或全岩 $\delta^{18}O$ 为 9.80‰~11.00‰，属富含 $\delta^{18}O$ 的花岗岩，与华南燕山期成矿花岗岩的特征基本一致。花岗斑岩的 $\delta^{18}O$ 为 7.8‰，表明岩浆侵位较高，可能有非岩浆水混入。据测温数据计算所得花岗岩体石英流体相的 $\delta^{18}O_{H_2O}$ 为 9.04‰~10.07‰，属正常岩浆水范围。随着成矿作用由早到晚推移，矿化流体呈现有规律的变化，如：早期云英岩阶段（410℃）流体相 $\delta^{18}O_{H_2O}$ 为 7.8‰~10.20‰，与岩浆水接近，随后降至 3.9‰~8.4‰，继而到黑钨



矿石央阶段,又降至 $1.30\text{‰}\sim 2.61\text{‰}$,反映大气降水的渗入量逐步增加;至晚期的萤石石英阶段,流体相 $\delta^8\text{O}$ 已降至 $-6.30\text{‰}\sim -8.9\text{‰}$,表明几乎为大气降水所代替。

此外,据赵彦明、杨昌明等对本区铅同位素的研究,也证明近岩体轴的铅属正常铅,具岩浆岩特点,其模式年龄为 $143\sim 196\text{ Ma}$,与千里山岩体 Rb-Sr, K-Ar 年龄基本一致,显示部分铅来源于花岗岩;远离岩体的 Th-Pb 变化范围较大,反映部分铅属于地壳中铀、钍蜕变形成的异常铅。从而也表明本矿床的成矿物质是岩浆地层双重来源。

3.2 成矿环境

1) 矿物包裹体特征,矿物包裹体类型、组分以及温度,在成矿早期到晚期的不同时空环境中,呈现有规律的变化。早期夕卡岩及伟晶岩阶段,包裹体类型以液相为主,至云英岩阶段则以气相为主。其气液比在垂直方向有上部大而下部小的明显变化。包裹体组分从早期夕卡岩阶段至石英硫化物阶段, HCO_3^- , Cl^- , K^+ , Na^+ , Ca^{2+} 的浓度与 Cl^-/F^- 值依次降低,而 F^- , SO_4^{2-} 递增;夕卡岩阶段 F^- , Ca^{2+} 的浓度最高,有大量萤石和白钨矿晶出。

2) 矿化流体的性质,根据陈骏的研究,①本矿床成矿流体为高盐度体系,主要成矿阶段的流体盐度均大于 20% ,浓度最高,说明矿化强度与流体盐度密切有关;②早期夕卡岩阶段流体为弱碱性(pH 值 $6.60\sim 6.98$),云英岩阶段为偏碱性(pH 值 $5.94\sim 6.22$),适合白钨矿、辉钼矿、辉铋矿淀积;③早期夕卡岩阶段流体的 Eh 值较高($3\sim 14\text{ mV}$),随后逐渐降低,至石英硫化物阶段为最低

(-23 mV);而云英岩与复杂夕卡岩阶段一般较低($-3\sim -4\text{ mV}$),说明它们形成的氧化还原条件逐渐降低。

3.3 矿床成因

1) 岩浆作用,千里山复式岩体为陆壳深熔花岗岩浆,在有利的构造环境中,经历不断的分异演化并间歇性上侵于泥盆纪碳酸盐岩层,在特定空间就位形成复式花岗岩株。岩浆中的成矿物质来源于深熔的源岩,并在其运移过程中汲取于褶皱基底的岩层(本区震旦系钨、钼含量高于同类岩石 15 倍以上);含矿岩浆多阶段分异演化的成岩作用,给造矿物质提供了有利的聚集条件。

岩浆演化成矿作用的特点:供矿、运矿以至复式成岩导致多阶段矿化。同时,成岩过程的热扩散以及渗滤交代作用,对于产生反应夕卡岩与促使围岩中成矿物质的活化、迁积以至成矿,也是不容忽视的因素。

2) 地层因素,泥盆纪碳酸盐岩层作为赋矿层位,不仅岩石化学成分具备有利的交代-容矿条件,而且其中钨、锡、铅、锌等成矿元素含量高于同类岩石 $5\sim 16$ 倍,它们无疑是成矿的物质基础和必然矿源。此外,稳定同位素研究和矿体分布的制约性研究,都证明矿床具有地层供矿和容矿的层控特点。

根据矿床特征以及大量地质、测试资料的分析,可以推断柿竹园矿床乃属层控多因复成钨(锡-铋-钼)矿床,或称层控叠加夕卡岩钨(锡-铋-钼)矿床。

摘自《中国矿床》中册

福建行洛坑花岗岩型钨矿床

1 区域地质条件

行洛坑钨(钼)矿区位于闽西北加里东隆起区边缘,河源—瑞金—邵武断裂带的东侧,属武夷山加里东隆起蕴矿带。

矿区及其外围地层可分为基底和盖层 2 部分:前者属加里东构造层,后者为华力西构造层,两者呈不整合接触。基底由上震旦统千枚岩、变质石英砂岩、大理岩、变质沉凝灰岩、霏细岩、凝灰质砂岩等以及下寒武统变质石英砂岩、千枚岩、千枚状粉砂岩组成;盖层由上泥盆统砂砾岩、石英砂岩和

粉砂岩组成。矿床产于加里东构造层中,主要围岩是上震旦统。

矿区经历多次构造运动发展阶段,基底和盖层都出现许多断层和褶皱。其中燕山运动最为强烈,形成总体方向为 NE 的区域构造线,河源—瑞金—邵武断裂带属主体构造。由于 NE 向和其他方向大断裂的切割,本区发生了断块隆起,它无疑是燕山运动的产物。在断块上,出现多个 NEE 向复式倒转褶皱和 NEE, NE, NW 等方向的断裂。前者可能属加里东基底构造,后者主要产于燕山期。整个断块上的成岩成矿都严格受这些构造的控制。



行洛坑矿区即产于行洛坑倒转背斜（倒转翼）的近轴处。

本区多期构造运动都伴随着岩浆活动。加里东期宁化岩体，属片麻状黑云母花岗岩，同位素年龄为 360.8 Ma，矿区内也有此类小岩体。华力西期岩浆岩有伟埔岩体等，以片麻状花岗岩为主，同位素年龄为 260.65 Ma。燕山期花岗岩类分布最广，数量分布最多，它们都明显受 NE 向大断裂的制约，构成与华南东部岩浆带相一致的地区性构造-花岗岩带，行洛坑花岗岩属于岩带的小岩体，同位素年龄一般为 186.8~142.8 Ma，形成于侏罗纪，为燕山早期岩体。花岗岩岩石类型常见的有黑云母二长花岗岩、花岗岩和钾长花岗岩，多数岩体属复式侵入体。从岩石化学成分来看，一般为 Al 过饱和，高 Si，富碱。这些岩体中，有色金属元素 W，Sn，Mo，Bi 和稀有金属元素 Nb，Ta，Li，Rb 都较高，岩带上的大量钨（钼）矿点又都分布在岩体的内外接触带，说明成岩与成矿存在着内在的联系。

2 矿区花岗岩的地质地球化学

行洛坑矿区的花岗岩体侵位于基底地层，由 1 个岩株和众多的岩脉构成（图 1）。岩株是区内的主岩体，其平面形态为似椭圆状，长轴方向 NEE，出露面积约为 0.13 km²，分南北岩体，南岩体大于北岩体，中间被围岩所隔，往下合为一体，且到一定深度有逐渐变大的趋势。岩体与围岩接触面较陡，其南北接触面基本与地层产状一体，向 SSE 倾斜。多数研究者认为此岩体系复式岩体（也有人视为多相岩体）。根据各种岩石穿切关系、岩性差异、同位素年龄值等，岩浆活动主要分为 3 个侵入阶段，由南岩体的中细粒似斑状黑云母二长花岗岩（ $\gamma_2^{(3)C_1}$ ）→北岩体的细中粒钾长花岗岩（ $\gamma_2^{(3)C_2}$ ）→隐伏的细粒似斑状二长花岗岩（ $\gamma_2^{(3)C_3}$ ）。南岩体 K-Ar 等时线年龄为 155 Ma，Rb-Sr 等时线年龄为 (145.6±12) Ma。北岩体 Rb-Sr 等时线年龄为 (147±12) Ma。隐伏岩体 Rb-Sr 等时线年龄为 (143.5±3) Ma，均生成于中晚侏罗世，即燕山早期。广泛分布于花岗岩株内外的脉状岩体，多呈 NEE 方向，计有花岗斑岩、细粒花岗岩、细晶岩、钾长岩、辉绿玢岩、闪长岩等，它们应为岩浆多阶段演化-侵入过程的衍生物。根据刘景福（1982）的调查研究，岩体边部还有爆破角砾岩。成矿似与隐伏的细粒似斑状二长花岗岩关系较为密切。

行洛坑复式花岗岩体的主要造岩矿物是石英、钾长石、斜长石和黑云母。石英含量比较稳定，钾长石以微斜条纹长石为主，斜长石多为钠奥长石或奥长石（ $An=12\sim32$ ），且常见环带构造，黑云母富铁贫镁（含铁系数 $K_f=0.65$ ，含镁系数 $K_m=0.34$ ）。随岩体形成由早到晚，斜长石牌号和黑云母含量都有降低的趋势。

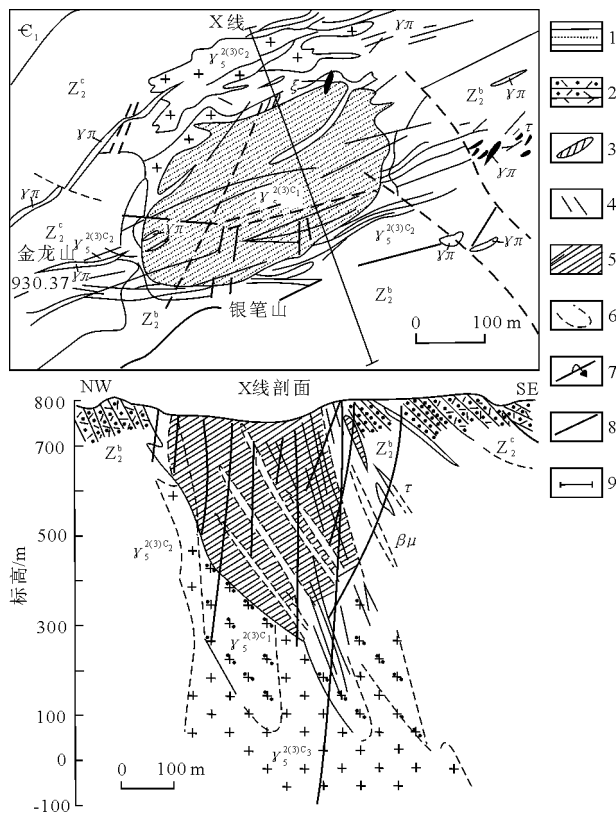


图 1 行洛坑钨（钼）矿床地质平面与剖面图（据康永平等，1994，略作修改）

ϵ_1 —下寒武统一岩性段； Z_2^c ， Z_2^b —上震旦统第三、第二岩性段； $\gamma_2^{(3)C_3}$ ， $\gamma_2^{(3)C_2}$ ， $\gamma_2^{(3)C_1}$ —细粒似斑状二长花岗岩，细中粒钾长花岗岩，中细粒似斑状黑云母花岗岩； $\gamma\pi$ —花岗斑岩脉； τ —细晶岩脉； ξ —钾长岩脉； $\beta\mu$ —辉绿玢岩脉；1—角岩化变质粉砂岩；2—角岩化凝灰岩；3—白云质灰岩；4—含矿石英脉；5—细网脉状钨（钼）矿体；6—细网脉型工业矿体界线；7—倒转背斜；8—断层；9—剖面位置

根据福建地质矿产局、闽西地质大队等（1985）对行洛坑岩体测定的大量岩石化学数值及有关参数的统计计算，岩石化学性质可归纳几点：1）酸度高（ $SiO_2=74.29\%\sim76.85\%$ ，或 SiO_2 过饱和）；2）铝过饱和（ $Al_2O_3 > Na_2O + K_2O + CaO$ ， $Al/CNK=1.03\sim1.21 > 1$ ）；3）富碱质（ $K_2O + Na_2O = 7.55\%\sim9.12\%$ ， $a=12.50\sim15.11$ ）；4）基性组分偏低（ $Fe_2O_3 + FeO + MgO = 1.08\%\sim2.71\%$ ）；5）岩浆演化程度甚高（分异



指数 $DI=78.46\sim95.39$ ，固结指数 $SI=1.51\sim4.35$ ；属于比较典型的钙碱性岩类（里特曼指数 $\sigma=1.61\sim2.59$ ）。

行洛坑复式花岗岩体的主要有色金属元素 W，Mo，Sn，Be 都较高，为维氏酸性岩丰度值的 2 倍以上，与华南燕山期花岗岩相比，W，Mo，Be 明显偏高，Sn 偏低。岩体中的 Cu，Pb，Zn，Bi 等元素亦较高，系维氏值的 1.5~3 倍。从南岩体→北岩体→隐伏岩体，W，Mo 含量相继降低，Sn 增高。岩体中 Nb 和 Ta 相当于维氏值的 4~21 倍，Li 和 Rb 相当于维氏值的 21~22 倍，它们也都大于华南燕山期花岗岩类的平均值。花岗岩中挥发性元素 F，Cl，S 等的含量远低于华南一般钨矿床的成矿花岗岩。

复式岩体稀土元素总量 $\Sigma REE_2O_3=71.47\times 10^{-6}\sim207.77\times 10^{-6}$ ，低于华南燕山期花岗岩的平均含量。稀土分配模式有 2 种情况（图 2）：南北岩体呈向右缓倾，Eu 负异常较强的曲线， $\delta Eu=0.14\sim0.37$ ；隐伏岩体则呈中低度左倾，为强 Eu 负异常的曲线， $\delta Eu=0.10$ 。

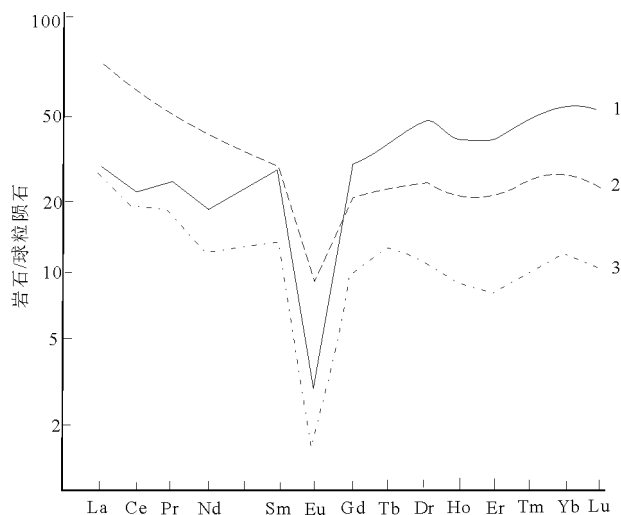


图 2 行洛坑花岗岩稀土分配模式（据闽西地质大队，1985）

1—隐伏岩体；2—南岩体；3—北岩体

根据宜昌地质矿产研究所（1980）测定的 $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ 为 0.709 7~0.715 3，平均为 0.712 5。福建地质科学研究所对行洛坑花岗岩中的石英做了固相包裹体测温实验，始熔温度为 500℃，均一温度为 840~1 100℃；黄文荣（1982）也引用 Tuttle，Bowen（1958）和 Yoder（1957）的相图提供的推断：成岩温度为 680~730℃，压力为 $1.3\times 10^8\sim2\times 10^8$ Pa。据此估算成岩深度为 1~4

km，即该花岗岩属浅成—中深成岩体。

岩体周围的上震旦统变质岩层发生有明显的接触变质作用。从接触面往外，大致可以分出变质程度不同的 2 个带：1）红柱石黑云母角岩带，宽 0.2~0.7 m，主要变质岩石类型是红柱石黑云母角岩、二云母角岩、长英质黑云母角岩和透辉石透闪石角岩；2）黑云母长英质角岩带宽 200~250 m，出现一套不均匀分布的黑云母、白云母、绢云母、绿泥石变质矿物的角岩化岩石，如角岩化千枚岩、角岩化长石石英砂岩、角岩化凝灰质砂岩、角岩化凝灰岩等。按接触变质云母角岩的化学分析结果，氟含量为 0.30%~0.48%，表明岩体周围有挥发性元素扩散晕，其范围可能比接触变质带要小些。

以上特征说明，行洛坑矿区的复式花岗岩体是陆壳（硅铝层）重熔岩浆形成的，即陆源花岗岩或改造型花岗岩，它应该是钨矿床的成矿岩体，其中隐伏的细粒似斑状二长花岗岩尤具成矿意义。

3 矿床地质

3.1 矿床的类型、形态和矿化特征

行洛坑矿区实际上有 3 种矿床类型：细网脉型钨（钼）矿床、大（薄）脉型钨矿床和夕卡岩型钨矿床。细网脉型矿床工业意义最大。

3.1.1 细网脉型钨（钼）矿床 矿体由连续采样圈定，包括含矿细（薄）脉和矿化围岩 2 部分。它产于南岩体上部，仅有很小部分延伸进变质岩中。矿体平面呈椭圆形，剖面上略呈楔形。矿体长 636 m，平均宽 159 m，最大延深 525 m。矿体走向 NEE，倾向 SSE，倾角 70°左右，与岩体产状基本一致。

充填脉体的网状裂隙是多组裂隙交织而成的，其力学性质主要显示压剪性和张剪性。在复式岩体内外都有出现，有一定方向性，但岩体内的裂隙发育强度远大于围岩，尤以南岩体内裂隙密度最大，而且靠近接触面又比远离接触面的发育程度高。

各组裂隙充填的脉体，基本是石英脉，其他脉为数极少。大多数是 0.1~10 cm 的线脉及细脉。主要的线、细脉有 4 组：NEE，NNW，NE 和 NW 向，其中以 NEE 向的脉体为最多。各组石英脉倾角 70~80°。在不同的空间部位，脉体的密集度不尽一致，呈现疏密相间的脉带，但矿体中的含脉密度一般都达到 20 条/m 以上。

各组脉体都遭受到 NW 和 NE 向成矿后平移



的错动,但错距较小,对脉带的连续性影响不大。

在细网脉型钨(钼)矿床中,石英脉及围岩——蚀变花岗岩(包括爆破角砾岩)均有矿化,但金属矿物主要在脉内,浸染于围岩者为数有限,仅局部相对富集。较常见的含矿细脉有3种:硫化物黑(白)钨矿石英脉和辉钼矿白钨矿石英脉。第一种矿脉主要是NEE向,第二种矿脉多为NNW向,第三种矿脉定向性较差。主要矿石构造类型亦有3种:细网脉状构造、平行细脉状构造和细脉浸染状构造。

矿石中的金属矿物有黑钨矿、白钨矿、辉钼矿、黄铁矿、黄铜矿、铁闪锌矿、毒砂、辉铋矿、自然铋、绿柱石、锡石等,其中前3者是主要工业矿物。非金属矿物为石英、斜长石、钾长石、铁白云石、黑云母、白云母、萤石等。

矿石的 WO_3 含量较均匀,主要变化区间是 $0.10\% \sim 0.30\%$,平均品位为 0.233% ,其中黑钨矿占矿床 WO_3 总量的 50.82% ,白钨矿占 49.18% 。矿石中钼品位为 0.024% ,绝大部分钼都赋存于辉钼矿中。此外,还有Cu, Be, Bi, Nb, Ta, Sc, Y, Au, Re等元素。

钨(钼)矿化严格地受岩石性质控制,在南岩体中细粒似斑状黑云母二长花岗岩内,含矿细脉较多,品位较高,围岩蚀变复杂且强度较大,含矿性亦好,从而形成了一个巨大的细网脉型工业矿体。在其围岩中,品位一般都达不到工业要求,仅在南岩体接触围岩的某些部位,矿体部分地延伸进入变质岩中。

钨(钼)矿体及其富矿段产出的空间位置,与深部隐伏的细粒似斑状二长花岗岩有关,该岩体突起的顶部往往是矿化富集的矿块。

细网脉型钨(钼)矿体中的矿化强弱,与矿化细脉的含矿密度和含脉率呈正相关,即含脉密度愈大,含脉率愈高,矿化就愈强;另外,钨(钼)矿体品位的高低,也受含矿大(薄)脉带的影响,有大(薄)脉带通过,尤以其出现频率高的部位品位也较高。矿体西南端的高品位地段,就是NEE与NNW两个脉带的密集交会部位,这是因为在细网脉型矿体中的所有大(薄)脉都并入该矿体。钨(钼)矿化富集具有多中心性,富集矿段大小不一,但多数分布于岩体的边缘,这表明矿化富集与接触构造也密切相关。

3.1.2 大(薄)脉型矿床 大(薄)脉型矿床是本矿区第二类工业矿床。含矿大(薄)脉产于行洛坑复式岩体内外,主要在南岩体的南半部及其旁侧

围岩中,同进穿过细网脉型矿体和变质岩。矿脉成组、成带出现,并为左行侧列排列。主脉带走向NEE,倾向SSE,倾角 $50 \sim 80^\circ$,与细网脉型矿体产状基本一致。已知矿脉有几十条,长数十米至500 m,厚 $0.10 \sim 1.40$ m,延深 $45 \sim 430$ m。

本类矿床主要矿脉有3类,硫化物黑(白)钨矿石英脉,含锡石绿柱石的黑钨矿石英脉和辉钼矿白钨矿石英脉,以前者为主。矿脉中的金属矿物与细网脉矿体无大差异。矿石中钨品位较高,单脉平均 WO_3 含量为 $0.557\% \sim 3.279\%$,但分布不均匀,在矿脉形态变化部位,经常可见钨矿石“砂包”。

大(薄)脉型和细网脉型矿床,是同一成矿流体在不同的构造裂隙中结晶而成的。

3.1.3 夕卡岩型矿床 行洛坑复式岩体的外接触带上震旦统岩层中,有白云质灰岩和钙质粉砂岩透镜体,它们都有不同程度的夕卡岩化,常见为镁橄榄石硅镁石夕卡岩和透辉石透闪石夕卡岩。夕卡岩钨矿体就产在这些岩石中,主要见于南岩体外接触带。

夕卡岩型白钨矿矿体呈扁豆状或透镜状,走向NEE,倾向SSE,倾角 $50 \sim 80^\circ$ 。矿体规模不大,已知的最大矿体长度大于300 m,厚度为7.35 m。矿体中金属矿物有白钨矿、黄铜矿、磁黄铁矿和黄铁矿。主要非金属矿物是透辉石、粒硅镁石、透闪石、镁橄榄石、阳起石、富镁黑云母和白云母。矿体的钨矿化不均匀,工业矿体 WO_3 含量为 $0.172\% \sim 0.752\%$,平均 0.524% 。

3.2 围岩蚀变特征

矿区的围岩蚀变比较发育,可以划分出岩体内和岩体外蚀变,面型和线性蚀变(福建地质矿产局,闽西地质大队,1985)。

岩体内的面型蚀变,是岩浆晚期熔体分异交代和岩浆期后热液交代相叠加的结果,所以蚀变类型比较复杂,计有钾长石化、钠长石化、云英岩化、云母化、水云母-伊利石化、硅化、绿泥石化、碳酸盐化等,显然是以碱交代为主。钾长石化一般发育于岩体的顶部,呈团块状、细脉状和粗晶状产出,有时伴生黑云母化;钠长石化与钾长石化关系密切,多沿微斜条纹长石边部分布,有时也可见黄玉-白云母-钠长石细脉;云英岩化主要产在内外接触带和岩体顶部,分布不均匀,强度也不大;碳酸盐化表现为白云石和方解石呈不规则状、云雾状或细脉状,分布在钾长石化地段;白云母化、绢云母化、硅化、绿泥石化等分布零散,连续性差,而且



其中往往有 2 种以上的蚀变相伴出现。岩体的线性蚀变主要发育在含矿脉体的两侧,由几种蚀变组合构成若干条带,属于热液作用的产物。其一般情况是以石英脉为中心,从内向外依次为石英脉→富云母云英岩带→正常云英岩带→云英岩化、钾(钠)长石化花岗岩带→钾长石化花岗岩带→花岗岩。云英岩化带从上往下逐渐变窄,而钾长石化带则逐渐变宽。

岩体外变质岩中的面型蚀变有硅化、绢云母化、绿泥石化、黄铁矿化等,它们都是成矿期产生的。总的说来,这些蚀变的强度都不大,但从近矿到远矿仍有由强到弱的趋势。至于线性蚀变,主要是夕卡岩化、电气石化、绿泥石化、黄铁矿化和碳酸盐化都出现于石英脉带内外的一定部位。

3.3 矿化(蚀变)阶段

对行洛坑钨(钼)矿床矿化(蚀变)阶段的划分,很不一致。

行洛坑复式岩体中的隐伏花岗岩为直接成矿母岩。在成岩晚期一期后的不同时期,多次分异出来的性质和温度均不完全相同的成矿流体,沿相应时期产生的构造裂隙上升到各种岩石中,早期高温流体对地层中的碳酸盐岩或碳酸盐质岩石进行交代,形成含矿夕卡岩,而在各种硅酸盐质岩石中则以充填作用为主,形成了含矿石英脉。尔后,酸度逐渐增高、温度逐渐降低的成矿流体又发生了 3 次脉动式上升,充填裂隙,形成了 3 种含矿或不含矿的脉体。这样,整个成矿过程从早到晚便可大致分出 5 个阶段:白钨矿-夕卡岩阶段,辉钼矿-白钨矿-石英阶段,锡石-绿柱石-黑钨矿-钾长石-石英阶段,硫化物-白钨矿-黑钨矿-石英阶段,髓石-萤石-碳酸盐阶段。这 5 个矿化(蚀变)阶段可以从矿脉的穿切关系、矿物组合、结构、构造、成矿温度、脉侧蚀变等方面的差异性加以区分。

4 矿床成因

4.1 成矿温度、压力和深度

行洛坑钨矿床脉石英中的包裹体基本是一般的液气包裹体和含子矿物的多相包裹体,CO₂ 及其他包裹体极为罕见。液气包裹体形态为椭圆形、长条状和不规则状,大小为 5~20 μm,气液比小于 3%,应属液相包裹体。

福建地质矿产局、闽西地质大队(1985)测定石英包裹体均一温度为 216~274℃,平均 251℃。部分黑钨矿和白钨矿爆裂温度为 283~343℃。应

用石英-黑钨矿分馏方程计算出第 4 阶段的同位素平衡温度应为 307~321℃,平均为 313℃,与黑(白)钨矿的爆裂温度非常接近。由此判断,矿床的成矿温度应为 251~313℃,矿床为中偏高温。

利用含矿石英脉中个别含 CO₂ 石英包裹体,采用 CO₂ 浓度法估算的成压矿力约为 400×10⁵ Pa,由此估算成矿深度为 1.32 km,在成岩深度的下限值以上。

4.2 稳定同位素组成

1) 硫同位素,按中国地质科学院矿床研究所资料,行洛坑矿区石英脉中部分硫化物的硫同位素组成: $\delta^{34}\text{S}_{\text{黄铁矿}} = 0.1\text{‰} \sim 1.8\text{‰}$, $\delta^{34}\text{S}_{\text{黄铜矿}} = -2.4\text{‰} \sim -0.7\text{‰}$, $\delta^{34}\text{S}_{\text{闪锌矿}} = -1.2\text{‰} \sim -1.1\text{‰}$, $\delta^{34}\text{S}_{\text{辉钼矿}} = -1.4\text{‰} \sim 0.3\text{‰}$,平均值为 -0.3‰ ,最大离散值为 4.2‰。显示该矿床的硫同位素组成十分稳定,与陨石中的³⁴S 接近。说明其硫源单一,属典型的岩浆硫。

2) 氢、氧、碳同位素组成,3 个矿化阶段脉石英 $\delta^8\text{O}$ 的变化区间为 12.73‰~13.87‰,平均 13.24‰。此数值很稳定,又与花岗岩的 $\delta^8\text{O}_{\text{石英}}$ 值接近,表明矿脉和花岗岩的氧具同源性。

3 个矿化阶段脉石英包裹体水氧、氢同位素组成 $\delta^8\text{O} = 5.46\text{‰} \sim 6.3\text{‰}$,平均 5.79‰; $\delta\text{D} = -52\text{‰} \sim -64\text{‰}$,平均为 -56.7‰ 。表明成矿流体水接近于正常岩浆水,张理刚(1985)确切地称其为钨-锡系列花岗岩再平衡混合岩浆水。而无矿石英包裹体水的 $\delta^8\text{O}$ 为 -7.2‰ , δD 为 -63‰ ,显然是大气降水。

脉状矿床中白云石的 $\delta^{13}\text{C}$ 为 $-5.5\text{‰} \sim -6\text{‰}$,平均为 -5.7‰ ,说明碳来源于岩浆。

4.3 成矿物质来源

根据行洛坑矿区花岗岩和矿床的地质地球化学特征以及二者的内在联系,可以判断成矿物质来自花岗岩浆,其主要依据:1) 花岗岩和矿床的时空关系密切,多方法测定花岗岩成岩年龄为 143~155 Ma, K-Ar 法测定矿床的成矿年龄为 146~156 Ma,两者基本一致;2) 岩体中见到的有色金属矿物,正是矿床中出现的金属矿物;岩石中含量相对较高的钨、钼、锡等金属元素,正是矿床中的主要成矿元素;3) 硫化物的硫同位素组成表明硫源于岩浆,脉石英包裹体水氢、氧同位素组成说明其为钨-锡系列再平衡混合岩浆水。

4.4 矿床成因类型

本矿床具有如下一些成因标志:矿床处于区域深大断裂旁侧的多向次级断裂的交会部位;区内分



异演化良好的复式或多相成矿花岗岩，属于壳源花岗岩质杂岩类；成矿物质来自花岗岩浆；矿床主要产在岩体内，部分延伸进入变质沉积岩中；成矿以充填作用为主，交代作用强度不大；含矿石英脉的脉幅大小不一，但以线、细脉占绝对优势；钨、钼矿化主要在脉内；矿石中除、钼矿物外，还有较为复

杂的多金属硫化物；围岩蚀变以碱交代蚀变为主；成矿温度为 $251\sim 313\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，压力约为 $400\times 10^5\text{ Pa}$ 。这些成因特点表明，本矿床为花岗岩中充填（交代）细脉浸染型中偏高温钨（钼）矿床，简称为细脉浸染型钨（钼）矿床。

摘自《中国矿床》中册

河南三道庄夕卡岩型钨-钼矿床

河南栾川三道庄钨-钼矿床地处中朝准地台南缘之豫西断隆与东秦岭褶皱带接壤地段的黑沟—栾川深断裂北侧（据河南地质局、陕西地质局，1983；刘存善、王澄宇，1986），矿床赋存于 NWW 向延伸的南庄口—三道庄岭背斜轴部。区内分布地层为上元古界青白口系栾川群，矿区南侧出露有印支—燕山期黑云花岗闪长岩和中细粒斑状二长花岗岩构成的复式岩体。矿床外围尚有上房沟、南台、夜长坪、南泥湖等矿床汇集而成重要的钨-钼成矿区。该区无论地球化学背景还是已知矿

床，以普遍富钼异常而且往往形成大型钼矿床为特色。三道庄和南泥湖紧相毗联构成同一钨-钼矿田，南泥湖以钼为主，三道庄则钨-钼共生。均为大型矿床，乃中国腹地令人瞩目的钨-钼矿床（图 1，图 2）。

1 矿区地质

1.1 地 层

矿区出露地层为新元古界青白口系栾川群变质

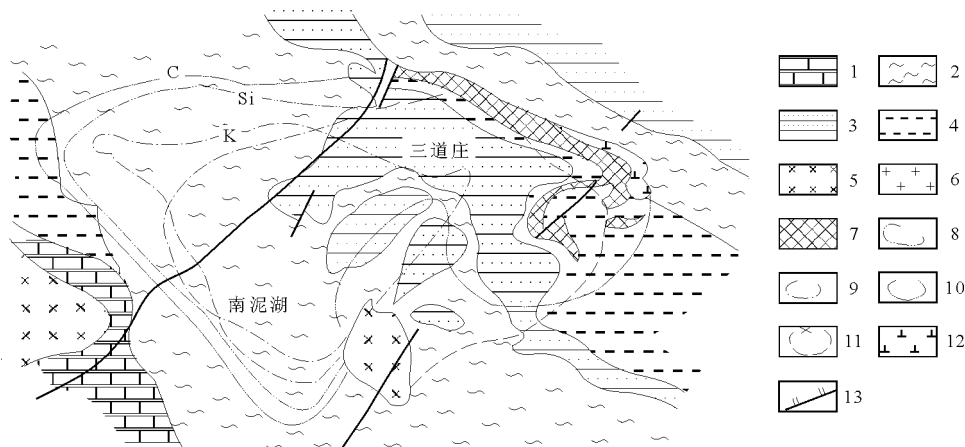


图 1 河南栾川南泥湖—三道庄钨-钼矿床地质简图（据罗铭玖、董群英等，1985）

1—煤窑沟组中下段；2—南泥湖组中段；3—南泥湖组下段；4—三川组中下段；5—变辉长岩；6—斑状花岗岩；7—夕卡岩；8—正长斑岩；9—钾化带；10—硅化带；11—沸石-碳酸盐化带；12—阳起石-绿泥石、绿帘石化带；13—断裂

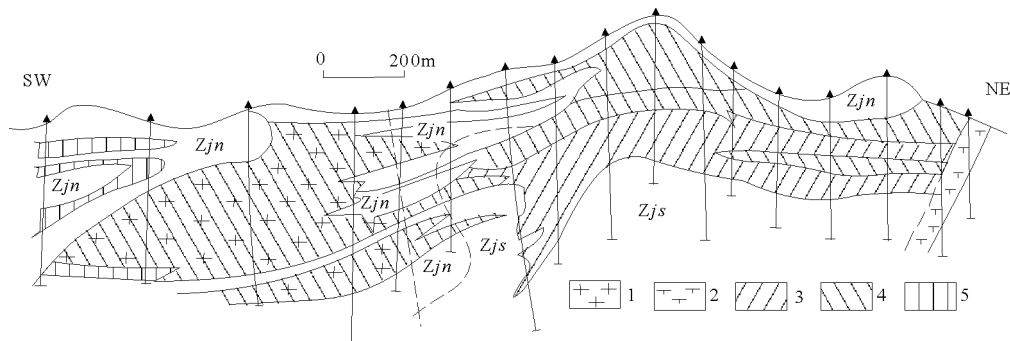


图 2 河南栾川南泥湖—三道庄钨-钼矿床 9 横勘探线矿体形态简图（据罗铭玖、董群英等，1985）

Zjn—南泥湖组；Zjs—三川组；1—斑状黑云母二长花岗岩；2—细晶正长岩；3—钨矿床；4—钼表内矿；5—钼表外矿



岩系，与成矿具有密切联系。

白术沟组，下段为碳质绢云母千枚岩，绢云石英片岩与长石石英砂岩互层，并夹少量钙质片岩；中段主要为灰红色厚层状细粒钾长石英岩；上段为板状碳质千枚岩，薄层绢云石英岩夹碳质大理岩，为本区下部含矿层。

三川组，下段以含石英细粒变质砂岩为主，夹千枚岩，经热变质后形成长英角岩、黑云母长英角岩、石英岩等；上段岩性主要为大理岩，夹薄层钙质片岩，经热力变质作用，形成钙硅角岩或似夕卡岩，是三道庄钨-钼矿床的主要上部矿化层位，厚 184~323 m。

南泥湖组，下段主要为石英岩夹绢云母片岩，经热力变质形成长英角岩，黑云母长英角岩及石英岩，是本区次要的含矿层位，厚 80~120 m；中段以碳质绢云母片岩为主，夹云母石英片岩，碳质千枚岩及钙质二云片岩与大理岩透镜体，经变质而成黑云母长英角岩、透辉石长英角岩、阳起石长英角岩等，厚 144~203 m，是本区钨-钼矿床的主要赋矿层位；上段为片状黑云母大理岩，经变质而成为条带状钙硅角岩或似夕卡岩，厚 54~202 m。

煤窑沟组，下段为变质细砂岩、云母石英片岩、大理岩互层；中段主要是白云质大理岩，局部形成镁质夕卡岩；上段为二云母片岩，白云质大理岩夹云母石英片岩，顶部为碳质片岩夹石煤层。

上列地层，不仅是本区容矿层位，而且具有较高的钨、钼丰度（表 1），为成矿作用提供了有利的物质基础。

表 1 栾川群各个层位钨、钼丰度

层	位	样数/个	$w(B)/10^{-6}$	
			W	Mo
煤窑沟组	上段	37	10	0.72
	中段	16	11.4	0.32
	下段	34	10.78	2.14
南泥湖组	上段	56	11.57	0.88
	中段	34	10.98	1.13
	下段	20	10	0.69
三川组	上段	53	10	0.48
	下段	16	10.8	1.77
白术沟组	上段	34	1	36.9
	中段	20	10	1.05
	下段	33	10.5	1.25
维氏值			1.3	1.1

据河南地质局，陕西地质局，1983。

1.2 构造

矿区处于庄科—青和堂背斜倾没端的次级构造，即南庄口—三道庄岭箱状背斜轴部。背斜东起南庄口西经三道庄岭至南泥湖王家东沟一带倾伏，

轴向 280~310°，核部宽 400~600 m，倾角 5~10°，两翼形态不对称，北翼倾向 0~40°，倾角 30~80°，局部褶皱紧密并向 SW 倒转，同时在该方向上产生冲断层；南翼倾向 180~240°，倾角 30~70°。箱状背斜内较大的次级构造为王家东沟向斜。不同级序的背斜、向斜联合控制矿层的分布，总的褶皱比较舒缓，赋存于变质岩内的矿体亦相应表现为较稳定的巨厚矿层。

区域性断裂以 NWW—NW 走向系统最为发育，NEE 向次之。各组断裂规模不等，但普遍具成群成带分布特征。矿区南侧有黑沟—栾川深断裂通过，它对三川—栾川褶皱带以及区域成岩成矿都有重要影响。矿区内东北部分布 NWW—近 EW 走向断裂破碎带，走向 270~305°，倾向 SW，倾角 60~70°，延伸达 2 km 以上，使三川组与南泥湖组直接接触，构成矿层的北界；断裂内产有矿化角岩、正长细晶岩脉。

矿区内主要有 3 组断裂带，自东而西分别为太保山—老母庙断裂带，北家尖—杨家岭断裂带，下道村—房北沟断裂带。它们总体走向为 20~30°，倾向 W，倾角 60~80°，延伸均在 1 km 以上，对矿层的产状具有不同程度的影响，主要表现为成矿后的干扰作用。

1.3 岩浆岩

矿区南庄口—三道庄岭背斜南侧，产出南泥湖岩体，为中细粒斑状二长花岗岩及细粒斑状黑云母花岗闪长岩组成的复式岩株，在地表呈 0.12 km² 的椭圆形。岩体边缘及其附近岩枝、岩脉较发育，局部呈同化混染现象。岩体⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 初始值为 0.707； $\delta^{18}O$ 为 7.2‰~9‰；熔融包裹体均一温度为 920~960 °C，表明该复式岩体属同熔型花岗岩系列，掺有多量壳层物质的壳-幔混合源型；同时反映成岩作用处于较高的温度环境。

细粒斑状黑云母花岗闪长岩隐伏于下部，K-Ar 同位素年龄为 (136±3.7) Ma；中细粒斑状二云母花岗岩位于其上部，直接出露地表，K-Ar 同位素年龄为 (130.9±4.5) Ma，2 种岩体均属燕山期同源岩浆分异演化的产物，与成矿作用具有密切的成因联系。2 种花岗质岩体的造岩矿物含量特征具有较明显的差别（表 2），其中与成矿密切有关的斑状二长花岗岩化学成分的特征：SiO₂ 平均含量为 73.49% (70.08%~76.06%)，S 值 82 (78.5~83.9)，显示硅酸过饱和特点，K₂O+Na₂O 总量平均为 8.7% (6.99%~10%)，K₂O/Na₂O 平均为 2.31 (1.21~11.26)，即岩石属高硅



表 2 南泥湖复式岩体特征对比

岩性特征	中细粒斑状二长花岗岩	细粒斑状黑云母花岗岩闪长岩
斑晶含量/%	20~50,主要为石英,钾长石	5~10,主要为钾长石,次为石英
长石含量/%	斜长石 25~30($A_n \approx 20$),钾长石 30~40	斜长石 51((环带 $A_n=16 \sim 34$),钾长石 20
石英含量/%	30 左右	20 左右
黑云母含量/%	基本无或小于 5	5~10
结 构	似斑状,基质细—中粒花岗岩结构	似斑状,基质细粒自形、半自形
化学成分	相当于花岗岩	相当于花岗岩闪长岩
副矿物	磷灰石、榍石、磁铁矿等	磁铁矿、锆石、磷灰石等
同位素年龄/Ma	130.9±4.5	136.5±3.7

富钾的钙碱性系列。

矿区内 2 种花岗岩质岩石均具有较高丰度的钨和钼,其中斑状二长花岗岩含 M_o 100×10^{-6} , W 70×10^{-6} , 分别高于维氏值几十至 90 倍;细粒黑云母花岗岩闪长岩含 M_o 40×10^{-6} , W 46×10^{-6} , 亦高于维氏值几十倍。有意义的是,在造岩矿物中,也含有较多量的钼。显然,长石、石英和黑云母都是钼的载体矿物。岩体富含成矿元素的特点,表明岩浆演化成岩过程对钼、钨矿化提供了有利的重要条件。

斑状二长花岗岩 $\Sigma REE = 154.20 \times 10^{-6}$, $\Sigma Ce/\Sigma Y = 8.25$, $\delta Eu = 0.67$;斑状黑云母花岗岩闪长岩 $\Sigma REE = 297.74 \times 10^{-6}$, $\Sigma Ce/\Sigma Y = 11.49$, $\delta Eu = 0.81$, 2 种岩体之间不仅有明显的差别,而且与华南多数成矿花岗岩也不一致,但却与华南某些斑岩铜矿的成矿小岩体近似,反映本区成矿岩体具有同熔型花岗岩的特点。

2 矿床特征

2.1 矿体产状

三道庄钨-钼矿体于三川组内顺层展布,呈似层状、厚层状产出,与地层整合,形态比较简单而规整,距离斑状二长花岗岩体 800 m 以外,具有明显的层控特征。矿区西南部之南泥湖矿段,主要为钼矿化,部分产于斑状花岗岩内(顶部),大部分赋存在南泥湖组与三川组变质岩中,呈层状产出。顶底板分布有零星小矿层,矿层端缘尖灭部位,往往分支复合,形态复杂。

层状矿体走向 $280 \sim 310^\circ$, 倾向 SW, 在背斜轴部倾角 $5 \sim 10^\circ$, 两翼部分地段遭受褶皱、断裂影响,倾角 $40 \sim 90^\circ$, 矿层长 1 800 m, 倾斜延深 1 200 m, 厚度一般为 80~150 m, 最厚可达 364 m。三川组上段的夕卡岩、钙硅角岩矿化最佳,顶底板长英角岩矿化较差。钼矿化范围较大,由外接触带延及岩体内(三道庄—南泥湖),波及三川组、

南泥湖组以及白术组多层岩石;钨矿化产于三道庄,远离二长花岗岩体,主要在矿床中下部三川组内呈现厚层钨-钼矿体。总体来看,本矿床具有规模大、层位稳定、形态较简单的特点。

2.2 矿石组分特征

1) 矿石类型,根据矿物共生组合可划分为夕卡岩型(占全区金属储量 50% 以上)和角岩型(占 34%)两大类;花岗岩浸染型(占 16%)矿石分布零散。

夕卡岩型矿石产于二长花岗岩体外接触带三川组碳酸盐岩层中。矿物成分主要有钙铝石榴子石、钙铁石榴子石、钙铁辉石、透辉石(以上矿物占 80%),其次有石英、硅灰石(共占 10%),少量萤石、方解石、斜长石、钾长石、普通辉石、角闪石、符山石、黑云母、方柱石等(共占 5% 左右);金属矿物有辉钼矿、白钨矿、黄铁矿、磁黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿、斑铜矿、磁铁矿和钛铁矿等。按矿物组合特征可进而划分为透辉石-石榴子石夕卡岩钨-钼矿石和石榴子石-钙铁辉石夕卡岩钨-钼矿石 2 种。

透辉石斜长石角岩型矿石,通常远离岩体接触带沿碳酸盐岩地层分布。矿物成分以斜长石(50% 左右)、透辉石(30% 左右)为主,其次是石英(10% 左右),少量方解石、萤石、榍石、石榴子石、黑云母(总量小于 5%);金属矿物有辉钼矿、白钨矿、黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、钛铁矿等。

硅灰石石榴子石角岩型矿石,产于岩体外接触带碳酸盐岩层。矿物组成主要有硅灰石(65% 左右)、石榴子石(20% 左右),次要矿物为透辉石(5%~7%),少量萤石、方解石、石英、斜长石(总量小于 5%)以及微量绿帘石、褐帘石、符山石、磷灰石等;金属矿物有辉钼矿、白钨矿、黄铁矿、磁黄铁矿、斑铜矿等。

2) 矿石结构、构造,常见者可概括为他形—自形结构(白钨矿),鳞片状(辉钼矿)、交代假象



和交代残余结构。矿石构造主要有浸染状(白钨矿、辉钼矿以及其他金属硫化物)、细脉状(辉钼矿-白钨矿-黄铁矿石英细脉,辉钼矿或黄铁矿单矿物细脉)。

3) 钨的赋存状态,矿床中的钨均以白钨矿形式存在,分为无色与灰色2种。无色者为纯白钨矿(含 WO_3 80.94% ~ 82.24%, 含 Mo 0.02% ~ 0.17%, 具蓝白色荧光);灰色者为含钼白钨矿(含 WO_3 71.06% ~ 80.49%, 含 Mo 6.0% ~ 7.3%, 具橙黄色荧光)。一般呈自形一半自形四方双锥,粒度多为 0.1 ~ 0.3 mm,最大可达 1.4 mm。夕卡岩中的白钨矿(多为灰色含钼白钨矿)粒度较大,角岩中者(无色纯白钨矿为主)较小,呈浸染状和细脉状分布:浸染状者一般不均匀,常与石榴子石、透辉石、石英、辉钼矿等镶嵌,有时与石榴子石、透辉石呈交代关系,并有多脉石矿物及辉钼矿的包裹体;呈细脉分布者,以灰色含钼白钨矿为主,呈不均匀粒状断续分散于各种脉体中,共生矿物有石英、长石、方解石、萤石、黄铁矿、辉钼矿、磁黄铁矿、石榴子石、透辉石等,常与辉钼矿呈镶嵌、穿插、包裹关系。灰白色白钨矿中包裹体很多,包裹体粒度为 0.02 ~ 0.06 mm,成分复杂,有透辉石、石榴子石、磷灰石等。电子探针扫描证明钼呈类质同象均匀分布于白钨矿中。

2.3 围岩蚀变

本区伴随矿化作用的围岩蚀变十分普遍,由于多阶段矿化以及围岩性质不同,总体分为2个系列:一是二长花岗岩体内的蚀变,主要为钾硅交代(绢英岩-云英岩化、硅化等),只限于南泥湖矿段,仅与钼矿化有关。另一是产于三道庄岩体外接触带与钨-钼矿化密切有关的蚀变,可进而分为角岩化与夕卡岩化。

1) 角岩化,斑状二长花岗岩等岩浆侵入三川组及南泥湖组,在成岩过程中受热力作用变质(微弱矿液叠加蚀变),导致围岩产生广泛的角岩化,分布范围远离岩体 800 m 以外。硅铝质围岩形成长英质角岩,碳酸盐质围岩则产生钙硅角岩(反应夕卡岩);后者按矿物组合又可分为硅灰石-石榴子石角岩和斜长石-透辉石角岩2种类型。与夕卡岩相似,它们均伴随钼矿化与钨矿化。分布范围较广,但矿化不均匀,若干地段只限于钨-钼的初步富集,局部可达工业矿化,但某些部位在晚阶段进一步叠加夕卡岩化后,则有利于形成较佳矿体。

2) 夕卡岩化,它是形成本区钨-钼矿化最有利的蚀变类型,主要产于岩体外接触带三川组碳酸盐

岩层,呈层状、似层状顺层分布。夕卡岩深褐色,粒状变晶结构,块状构造。矿物成分以钙铁辉石、钙铁石榴子石为主,其次有钙铝石榴子石、透辉石、硅灰石、斜长石、符山石以及萤石、石英、阳起石、绿帘石、磁铁矿、黄铁矿、磁黄铁矿、方解石、绿泥石、水黑云母、沸石等。普遍含白钨矿和辉钼矿。根据矿物组合,可进而分为透辉石-石榴子石夕卡岩和石榴子石-钙铁辉石夕卡岩2种。夕卡岩中常见有钙硅角岩的残余团块,显微镜下可见钙铝石榴子石明显早于钙铁石榴子石,表明夕卡岩化系晚阶段叠加于角岩进一步交代蚀变的产物。

由大理岩→硅灰石-石榴子石角岩→透辉石-石榴子石夕卡岩的多次交代进程中,物质组分的变迁主要表现为铁、硅、铝带入,钙被带出。角岩化阶段主要是三川组、南泥湖组变质石英砂岩、千枚岩与大理岩等地层本身物质的调整或再分配。由角岩进而夕卡岩化,根据其岩石化学成分显示蚀变过程中元素的地球化学行为:由钙硅角岩→石榴子石-钙铁辉石夕卡岩带出钙,引入 Fe^{2+} 和硅(Fe^{2+} 进入钙铁辉石);由钙硅角岩→透辉石-石榴子石夕卡岩带出钙,引入 Fe^{3+} 和硅(Fe^{3+} 进入钙铁石榴子石)。

硅灰石-石榴子石角岩(WO_3 0.047%, Mo 0.098%)→透辉石-石榴子石夕卡岩(WO_3 0.106%, Mo 0.178%)交代过程中 W, Mo 均进一步富集,表明晚阶段夕卡岩化,再一次叠加了热流体中的成矿物质。

此外,矿区还见有钾化、硅化、碳酸盐化等蚀变,但对矿化作用不很重要。

2.4 矿化特征

本矿区不同矿化类型及其形成机制,反映了成矿演化系列中多阶段矿化的特点,可以分为2期、4个阶段。

1) 角岩化期,斑状二长花岗岩体成岩过程中的热力变质作用,导致外接触带围岩形成钙硅角岩,并伴随钨、钼的富集,局部地段形成工业矿体。这是本区第一个矿化阶段。

2) 夕卡岩期,近岩体内外接触带的交代变质作用(气化高温热液, 400 ~ 260 °C),分别于岩体及围岩形成不同的蚀变矿石:硅酸盐-硫化物阶段(第二阶段),因地制宜,可分为在岩体内外接触带的钾交代,伴随浸染型钨-钼矿化(岩体内主要为钼);在岩体外接触带碳酸盐岩地层(含早阶段角岩)的夕卡岩化,伴随钨-钼矿化,为本区主要矿化阶段。



3) 石英-硫化物阶段 (第三阶段), 岩浆期后含矿热液叠加矿化, 先后生成磁黄铁矿、黄铁矿、黄铜矿等金属硫化物, 伴有少量辉钼矿、白钨矿; 非金属矿物主要为石英。

4) 碳酸盐阶段 (第四阶段), 是矿化末期, 在中低温环境 (240~180 °C) 中生成石英、萤石、方解石、沸石、绿泥石等, 伴有少量辉钼矿、白钨矿、黄铁矿、磁铁矿、黄铜矿等。往往呈细脉穿插。钨-钼矿化微弱, 且极不均匀。

矿床在空间上以岩体为中心, 可分为内接触带、接触带、外接触带 3 个区带。内接触带主要是岩体内伴随绢英岩-云英岩化、硅化形成的钼 (钨) 矿体 (南泥湖); 紧邻岩体的正接触带, 主要为顺层分布的钼-钨矿体; 远离岩体的外接触带即是三道庄顺层分布的夕卡岩钨-钼矿体与钨-钼角岩层。

由于成矿作用中的特定地层条件 (三川组及南泥湖组下段) 及其空间分布与岩体接触形态的不同, 上述 3 个矿化带在空间上并不呈现同心环状分布, 而是表现为偏倚于岩体北侧伸展。矿区西南部南泥湖岩体与东北部三道庄夕卡岩矿体之间, 大致以角岩化为中心, 向外依次扩展为钾化、硅化、碳酸盐化, 略呈不规则环带状分布。

3 矿床成因探讨

3.1 成矿物质来源

本区三川组 W 含量 $10 \times 10^{-6} \sim 10.8 \times 10^{-6}$, 南泥湖组 W 含量 $10 \times 10^{-6} \sim 11.57 \times 10^{-6}$, 高于地壳 W 丰度 (1.1×10^{-6}) 9 倍以上; 二长花岗岩含 W 70×10^{-6} , Mo 100×10^{-6} , 分别高于世界花

岗岩 W, Mo 丰度 (维氏值) 60~90 倍以上。因此, 上述地层与岩体均为钨-钼成矿提供了必要的物质基础。

本区氧同位素组成特点是白钨矿 $\delta^{18}\text{O}$ 为 5.63‰, 含钼白钨矿 $\delta^{18}\text{O}$ 为 3.91‰, 矿体中石英 $\delta^{18}\text{O}$ 为 10.865‰, 经计算成矿流体 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 为 5.6‰, 表明其主要属正常岩浆水, 可能有少量大气降水混入。各矿化阶段辉钼矿硫同位素组成特点是 $\delta^{34}\text{S}=1.84\text{‰} \sim 6.27\text{‰}$, 绝大部分大于 3‰, 均属正值, 呈较明显的塔式分布, 表明硫主要来自深部花岗岩浆, 可能混入部分壳层硫。

综合上述资料, 证明本区成矿物质与矿化流体主要来源于斑状二长花岗岩熔浆, 部分来自壳层或赋矿围岩。

3.2 矿床成因

1) 地层, 三川组、南泥湖组地层具有较高含量的 W, Mo 成矿元素, 对成矿过程, 特别对角岩型矿化提供了有利的物质基础。同时, 作为钙硅角岩与夕卡岩矿体赋存层位的碳酸盐岩层, 其化学成分及其层间构造 (挠曲、剥离、破碎) 具备了有利的容矿条件。

2) 岩浆岩, 斑状二长花岗岩不仅是主要矿源, 而且成矿过程中的热力变质作用、接触交代作用以及其衍生矿化热液的多阶段叠加交代 (充填) 作用, 是形成本区特大型钨-钼矿床的主导因素。

上述基本因素在适宜的构造环境下, 促使本区角岩矿化→夕卡岩矿化→热液矿化多阶段成矿演化系列的形成, 并使矿床具有岩控 (主要)-层控多因复成特点。

摘自《中国矿床》中册

湖南沃溪变质热液型钨-金-锑矿床

湖南沃溪钨-金-锑矿区位于扬子地台中段东部边缘湘西雪峰古陆的 NE 段, 处于弧形构造由 NE 到近 EW 向的转折部位。

1 矿区地质条件

矿区地层有元古宇冷家溪群、板溪群、震旦系和中生界白垩系, 各地层之间均为不整合或断层接触, 其中板溪群是本区的赋矿地层。板溪群划分为马底驿组和五强溪组, 为一套浅海相浅变质砂泥质碎屑岩系。马底驿组又可分成 3 个岩性段: 下段灰

绿色砂质板岩和中粒砂岩; 中段紫红色含钙绢云母板岩、紫红色绢云母板岩和砂质板岩, 矿床即产于该层位中; 上段灰绿色砂质板岩夹紫夹紫红色绢云母板岩和石英砂岩。五强溪组为灰绿色长石石英砂岩、砂质板岩和含砾砂岩。

矿区位于 EW 向的平卧红岩溪—唐浒坪反 S 形构造的西半部。从矿区西部往东部, 地层走向由近 EW 转为近 SN 向, 形成一个向 NE 突出的弧形转折, 因而本区为一平均倾向 NE 并具弧形的单斜构造。区内褶皱主要是一些横穿反 S 形构造的小型背斜和向斜, 从西往东褶皱轴方向由近 SN 转为



NE 向再变为近 EW 向，形成向 SW 收敛的似放射状构造。由于这些褶皱一般都是向外（NE）张开而倾没，所以又称之为裙边式构造。

本区所见的断裂有 4 类：1）区域性的沃溪断裂带，走向 NEE，倾向 NNW，倾角 30° 左右，属逆掩断层。矿体多出现在该断裂的下盘，所以它是重要的控矿断裂；2）作为反 S 形构造成分的弧形断裂，这与成矿也有一定联系；3）上述褶皱与断裂联合导生的层间破裂构造及其派生的节理裂隙为重要的容矿构造。在沃溪断裂的下盘见有 6 条规模较大的层间破裂，属压扭性构造；4）NE 和近 EW 向断层，系成矿后构造。

矿区内尚未发现任何性质的岩浆岩。

2 矿床地质特征

2.1 矿床的空间分布、形态、产状和规模

沃溪钨-金-锑矿床沿沃溪断裂和反 S 形构造呈带状展布，由 6 个矿段构成，自西而东为红岩溪、鱼儿山、栗家溪、十六公棚、中沃溪和上沃溪，矿段间距为 250~600 m，全区面积为 7.5 km^2 （图 1）。矿体主要产于马底组中部岩性段的紫红色含钙绢云母板岩中，以沿层间破裂带及其旁侧裂隙充填为主。

矿体多呈隐伏状态。按其产出特征可以分为层间脉、细脉带和侧支脉 3 种类型（湖南冶金地质勘探大队 237 地质队，1978）。前者是主矿体，后 2

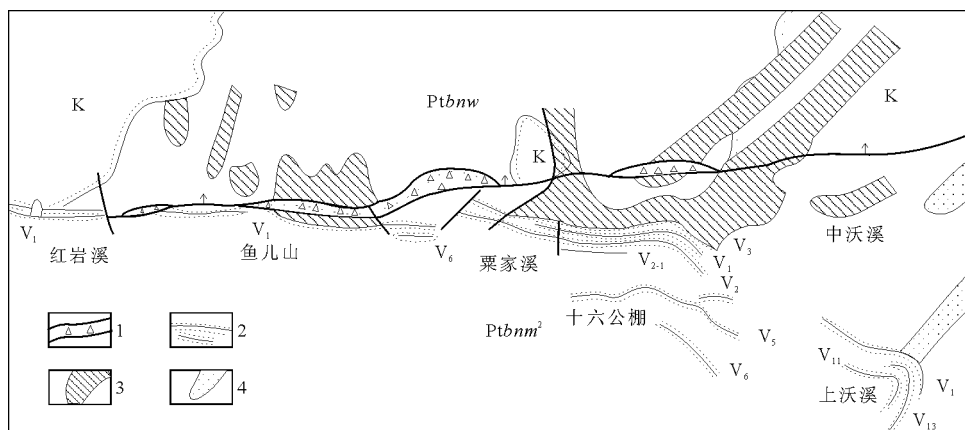


图 1 湖南沃溪钨-金-锑矿床地质简图（据湖南冶金地质大队 237 地质队原图修整）

K—白垩系红色砂砾岩；Ptbnw—板溪群五强溪组；Ptbnm²—板溪群马底驿组中段；1—破碎带；2—蚀变带及石英脉；3—矿柱投影；4—推测矿体

者为伴生矿体。

1）层间脉形矿体，以含矿石英脉为主体，赋存于紫红色含钙绢云母板岩的顺层挤压破碎带中，产于沃溪断裂下盘，成群密集平行分布，走向近 EW—NW—近 SN，倾向近 N—NE—近 E，倾角 $25^{\circ}\sim 35^{\circ}$ （图 2）。已知的矿化破碎蚀变带有 6 条，编号为 V₁—V₆。含矿石英脉在破碎带内呈断续分

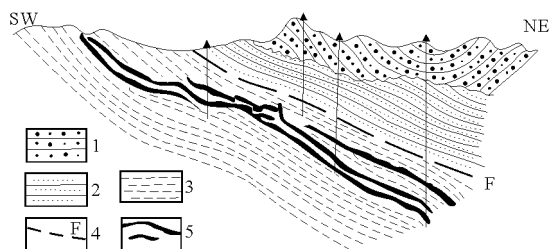


图 2 湖南沃溪钨-金-锑矿床地质剖面示意图（据朱焱岭等，1981）

1—白垩系红色砂砾岩；2—板溪群五强溪组石英砂岩；3—板溪群马底驿组紫红色板岩；4—断裂；5—矿脉

布，它往往与旁侧部分含矿破碎岩石一起组成工业矿体。全区共有矿体 23 个，呈似层状或扁豆状产出，单矿体长 50~350 m，厚 0.10~3.00 m，平均为 0.53 m，倾斜延深 300~1 700 m。这种长度小、延深大的薄矿体称之为“矿柱”，在十六公棚矿体中最多，规模也最大。矿体间的无矿间距为 20~140 m，并可见线状断层泥或蚀变带连接矿体。此类矿体具有如下明显的特点：矿体的赋存部位严格受开张式倾伏褶皱的制约，矿体的侧伏方向基本一致；矿体的倾斜延深大于走向延长，前者为后者的 3~12 倍；矿体沿倾斜方向与背斜和向斜轴的倾伏方向倾角变缓的部位厚度增大，矿化增强；自西而东，矿体埋藏深度逐渐加大；本类矿体是该矿床的主矿体，其储量约占全区总储量的 60%。

2）细脉带型矿体，在层间脉两侧的羽状压剪性裂隙中充填的含矿石英细（网）脉与强蚀变板岩共同组成细（网）脉带矿体，它们包括平行层间脉



单间细脉构成的矿体和平行与斜交层间脉构成的交叉细网脉矿体。矿体形态为扁豆状、楔状、帚状等，一般走向长 20~60 m，倾斜延深 40~100 m，厚度大小不一，最大不超过 8 m。石英单脉长 1~4 m，厚 0.50~5.00 cm。含脉密度大于 10 条/m，含脉率 5%~13%。细（网）脉带矿体一般出现在 2 条层间脉相互靠近的部位，或层间脉与侧支脉锐角相交的部位，有时也见于层间脉弯曲内侧或其尖灭尾端，但多数产于层间脉型矿体的下盘。此类矿体占全区总储量的 30%。

3) 侧支脉型矿体，在层间脉旁侧的次级张性裂隙中充填的含石英脉，延长 10~15 m，厚 0.3~2.0 m，多数见于层间脉的下盘。

2.2 矿石矿物成分

矿石中的金属矿物有白钨矿、黑钨矿、自然金、辉锑矿、黄铁矿、毒砂、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、黝铜矿、辉铜矿、钨华、锑华、褐铁矿等；非金属矿物以石英为主，次为绢云母、方解石、绿泥石、叶蜡石、白云石、铁白云石、高岭石、伊利石、磷灰石、钠长石等。其中白钨矿、黑钨矿、自然金和辉锑矿是主要工业矿物。

按罗献林等的资料，黑钨矿的化学成分： WO_3 60.27%~72.75%， FeO 18.02%~21.74%， MnO 0.20%~1.92%， Sc_2O_3 0.026 5%~0.028 0%， Au 0.50×10^{-6} ~ 5.00×10^{-6} 和微量 Nb, Ta，说明这种黑钨矿属于含 Au, Sc 较高的钨铁矿。白钨矿微量元素的含量： Mo 100×10^{-6} ~ 500×10^{-6} ， Au $0 \sim 24 \times 10^{-6}$ ，其他杂质元素都很低，个别样品含 Au 较高。自然金是本区最重要的金矿物，它的载体矿物主要有石英、黄铁矿、辉锑矿和伊利石，其次为白钨矿、黑钨矿和毒砂（武警黄金地质研究所，1985），金的成色变化范围为 985.4~997.10，含 Ag $0 \sim 0.06\%$ （桂林冶金地质研究所，1977；湖南冶金地质大队 237 队，1978），其他还有 Cu, Pb, Zn, W, Ni 等杂质元素。辉锑矿含有多种混入元素： Au 6.47×10^{-6} ~ 110×10^{-6} ， W $0 \sim 800 \times 10^{-6}$ ，以及 Pb, Zn, As 等，可称含金辉锑矿。

2.3 矿石类型、结构、构造和成矿阶段

按矿物的共生组合关系，湖南冶金地质大队 237 队（1978）把矿石划分为 5 种工业类型：白钨矿-石英型，辉锑矿-自然金-石英型，白钨矿-辉锑矿-自然金-石英型，黄铁矿-自然金-石英型和白（黑）钨矿-自然金-石英细脉-蚀变板岩型。其中以钨-金-锑混合的第三类型最为普遍。白钨矿-石英型

矿石多分布于 15 m 中段以上或细脉带内，往深部辉锑矿-自然金-石英型矿石比例增大，第五类矿石则一般产在细脉带中。

矿石主要是自形—半自形、溶蚀交代、充填和压碎结构；条带状、角砾状、块状、网脉状、梳状、晶洞状构造等，条带状构造最常见。

根据矿脉的穿切关系、矿物的共生组合和结构、构造，并参照各种矿物的形成温度，可将本矿床的成矿过程大致分为 3 个阶段（湖南冶金地质大队，1978）：石英-白钨矿阶段，石英-硫化物阶段和石英-碳酸盐阶段。白钨矿主要形成于第一阶段；第二阶段以形成自然金和辉锑矿为主，并有大量硫化物产出；第三阶段似无工业矿化。

2.4 矿化特征及其分带性

1) 矿化特征，层间破裂及其旁侧裂隙控制着矿床的空间分布，包含于层间破裂中的开张式倾伏背斜和向斜轴部的剥离空间，则控制着工业矿体（柱）的产出位置，背斜与向斜的大小、弯曲度、开张度及其倾伏延伸的稳定性都影响着矿体（柱）的形态、产状和规模。矿床中的 6 个矿段，从西到东 W, Au, Sb 的含量都是由低到高再转低，矿化最强的地段是栗家溪和十六公棚，它们为矿床的成矿中心。矿床的工业元素 W, Au, Sb，以金的矿化强度和深度最大，也最稳定，其次是 Sb，最后为 W。Au 的含矿系数为 0.90~0.99，品位变化系数为 96%~116%；Sb 的含矿系数为 0.64~0.71，品位变化系数为 127%~154%；W 的含矿系数为 0.47~0.55，品位变化系数为 296%~327%。

2) 矿石类型与矿体类型的关系密切，在层间脉型矿体中出现较多的是钨-金-锑矿石，其次是钨-金和金-锑矿石；细（网）脉带型矿体主要是钨-金矿石；局部强蚀变板岩构成金矿石。黄铁矿的结晶程度与金矿化强弱密切相关，石英-硫化物阶段形成的黄铁矿粒度小，结晶程度低，多呈条带状或细脉状出现，Au 含量较高；据不同粒级黄铁矿化学分析结果（钟东球等，1979）：大于 2 mm 粒级含 Au 51.1×10^{-6} ，0.5~2 mm 粒级的为 80.5×10^{-6} ，小于 0.5 mm 粒级的为 142.6×10^{-6} 。在钙质较高围岩中的矿体，白钨矿相对富集。

3) 矿化分带性，在矿床的水平方向上 3 种主元素的变化：西端的红岩溪、鱼儿山和东端的上沃溪矿段都以 W, Au 矿化为主，中部栗家溪、十六公棚和中沃溪矿段则以 W, Au, Sb 矿化为主。从钨的物相变化上看，从西到东白钨矿含量逐渐增加，黑钨矿逐渐减少。这种现象鱼儿山矿段反映尤



为清楚。该矿段西边的胡家台、马家院 2 矿柱的黑钨矿占 83%，白钨矿占 17%；向东到西矿柱，黑钨矿占 69%，白钨矿占 31%；再向东到东矿柱则白钨矿占 67%，黑钨矿占 33%。

在垂直方向上，根据各中段的初步统计，3 种元素的总体变化：W 富集于中上部，Au, Sb 变化不大，而 Au 往下略有增高的趋势。矿物相的大体变化情况：白钨矿多出现于矿体的上部，往下逐渐减少；黑钨矿、闪锌矿、方铅矿、毒砂、黄铁矿等则下部多于上部，其中硫化物往下逐渐增高。

2.5 围岩蚀变及其与矿化关系

本矿床所见的围岩蚀变有褪色化、黄铁矿化、硅化、碳酸盐化、绿泥石化、伊利石化、叶蜡石化、绢云母化、电气石化、钠长石化等。这些蚀变不同程度地发育于矿体的上下盘或其内部，与矿化关系密切。其中褪色化：绢云母板岩原为紫红色，蚀变褪色而为黄褐色、黄白色或浅肉红色，靠近矿体蚀变强度大，色更浅；黄铁矿化：主要发育于褪色岩石中，呈浸染状、细脉状或条带状产出，黄铁矿的含量与金矿化呈正相关；硅化：也多产于褪色蚀变带，与钨矿化关系比较密切；碳酸盐化：常常出现在矿体尖灭或矿体变弱地段，位于黄铁矿化和硅化的外缘；绿泥石化：经常与碳酸盐化伴生，但分布不普遍，它的出现预示矿体尖灭或矿化减弱；伊利石化：多为脉壁小条带，其本身常有矿化，甚至可形成含金矿石。

尽管各类蚀变在空间上有伴生、叠加现象，但从矿体往外仍隐约可见其大体排列顺序，即伊利石化→硅化→黄铁矿化→碳酸盐化→绿泥石化等。由于矿体经常赋存于褪色化、黄铁矿化、硅化等组合蚀变破碎带中，所以把其确认为矿床的地表标志带。

3 矿床形成机制

3.1 矿床的定位因素

本矿床的定位主要受两大因素制约：其一，地层-岩性，湘西雪峰山钨-金-锑成矿带有多个赋矿层位，但对沃溪矿床来说，是板溪群马底驿组，而最重要的又是该组的中部岩性段，其中以紫红色含钙绢云母板岩为主要容矿层。这种板岩中，因含钙质条带和钙质结核而显示出条带状构造。本岩层综合统计主要矿物成分：绢云母 80%~90%，铁质物 4%~7%，石英 2%~5%，其次是碳酸盐和绿泥石，还有少量粘土矿物和电气石。其二，地质构造，出现于上述地层中的层间破裂及其旁侧裂隙是

本矿床的容矿构造。这种层间破裂是 NEE 走向的沃溪断裂之顺层导生裂隙与开张式倾伏褶皱之层间剥离的复合构造破裂，沿褶曲轴部的裂度和延深特大，属压剪性断裂；在层间破裂两侧的裂隙则应是它的剪性或剪张性次级裂隙。总的看来，本矿床的控矿构造系统是断裂和褶皱的联合体，容矿空间均为次级断裂或裂隙。

3.2 地层化学成分及矿源层

板溪群是一套岩性复杂而多变的地层，岩性不纯，以 Si, Al, Ca 三元素的平均含量较高为特点。根据沃溪和西安 2 矿区及其区域地层微量元素测量结果，冷家溪群和板溪群中的各种成矿元素都较高。主成矿元素 W, Au, Sb 的含量：冷家溪群 $W 5 \times 10^{-6} \sim 30 \times 10^{-6}$ ，为地壳丰度值的 4~27 倍，Sb $0 \sim 35 \times 10^{-6}$ ，也比地壳丰度值高出许多，Au 也普遍高于地壳丰度值；板溪群 $W 7 \times 10^{-6} \sim 100 \times 10^{-6}$ ，为地壳丰度值的 6~90 倍，Sb $2 \times 10^{-6} \sim 300 \times 10^{-6}$ ，为地壳丰度值的 3~480 倍，Au 也同样普遍比地壳丰度值高。这就有理由推断，无论冷家溪群还是板溪群，都存在丰富的成矿物质，均可称之为矿源层，只要有适当的成矿条件，便有可能在这些岩层中形成矿床。沃溪板溪群马底驿组的中部岩性段即是该矿区的主矿源层。

值得注意的是，区域地层的成矿元素高于矿区地层，即矿区为成矿元素的低值区。这表明矿区内原呈分散态的成矿元素，通过成矿作用有相当部分已活化转移到容矿部位，富集成为矿床。这就进一步证实了成矿物质应该是来源于矿源层。

3.3 矿床中石英包裹体一般特征

据冶金部南岭钨矿床专题组 (1981)，罗献林 (1984) 等对石英包裹体成分分析，本矿区石英包裹体为液相 (部分为纯液相)，在高倍显微镜下偶见子矿物。气液比多数为 10%~15%，少数 15%~30%。据丁碧英 (1980)，南京大学 (1981)，罗献林 (1984) 等对石英包裹体成分分析，微量气相成分及其浓度一般是 $CO_2 > N_2 > CO > CH_4 > H_2 > C_2H_4 > C_2H_2 > O_2$ 。微量液相成分中的阳离子及其平均含量 $K^+ > Na^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+}$ ；阴离子的平均含量 $SO_4^{2-} > Cl^- > F^-$ 。

从以上数据可以看出，包裹体气相属 CO_2-N_2-CO 型，液相为 $K^+-SO_4^{2-}$ 型；在矿化阶段的矿物包裹体中， H_2O , CO_2 , N_2 , F^- , Cl^- 等挥发性组分明显高于非矿化阶段，表明成矿元素是在高挥发分流体中富集；Au, Sb, Pb, Zn, Cu 等金属矿物的形成阶段，矿物包裹体中的 SO_4^{2-} 相对较高，



因而晶出大量硫化物；气相成分中普遍存在 CH_4 ， C_2H_4 ， C_2H_2 等有机质，它可能是从围岩中带来的； F^-/Cl^- 值为 $0.018\sim 0.113$ ，表明包裹体溶液为富 Cl 型 ($\text{F}^- + \text{Cl}^-$)/ SO_4^{2-} 值，从早到晚阶段逐渐降低 ($0.87\rightarrow 0.42$)，即溶液酸度略有下降，这与一般成矿演化规律一致。

另外，矿物包裹体溶液中，含一定数量的重金属元素 Au, Sb, Cu, Pb, Mn, Ni, Co, Cr 等，其中成矿元素也是在矿化阶段含量较高，这也表现了它与成矿作用的一致性。

上述包裹体成分特征，与一般岩浆成因金属矿床的明显不同，而与本区地层的关系十分密切。

3.4 成矿温度、压力和深度

对沃溪及其相邻矿床，做过许多成矿温度研究工作，多数矿物的主要形成温度在 $200\sim 300\text{ }^\circ\text{C}$ 之间，属中温矿床。

应用石英包裹体测压法，罗献林 (1984) 测得沃溪矿床成压力为 $115\times 10^5\sim 354\times 10^5\text{ Pa}$ ；万嘉敏 (1986) 测得西安矿床成矿压力为 $680\times 10^5\text{ Pa}$ 。这些数据说明矿床是在中低压条件下形成的。

根据压力和深度的关系，推测成矿深度为 $0.5\sim 3\text{ km}$ ，反映其变化范围大，属超浅成—浅成—中深成矿床。这可能是动力改造型矿床的一种特点，而区别于其他成因的矿床。

3.5 成矿溶液的盐度、酸碱度和氧化还原电位

1) 盐度，据罗献林等 (1984) 测得沃溪矿床石英包裹体溶液的盐度为 $3\%\sim 10\%$ ，平均 6.2% ；武警黄金地质研究所 (1985) 测定盐度为 $6.01\%\sim 18.09\%$ ，平均 11.63% 。表明成矿流体具中低盐度特征，但不稳定。

2) 酸碱度和氧化还原电位，丁碧英 (1980) 测得沃溪矿床石英包裹体溶液的酸碱度 (pH 值) 为 $6.14\sim 8.12$ ，平均 6.88 ，按 3 个成矿阶段计算包裹体溶液的氧化还原电位 (Eh 值) 分别为白钨矿-石英阶段 $304.6\sim 379.5\text{ mV}$ ，硫化物-石英阶段 $104.5\sim 330.7\text{ mV}$ ，石英-碳酸盐阶段 344.4 mV ，表明其总体环境属弱氧化。但在成矿过程中，电位是不断发生变化的；处于中间的主要矿化阶段电位值较小，即其氧化度相对较低，这与本阶段晶出大量硫化物是一致的。

3.6 同一层位不同矿床同位素特征

1) 岩石的 K-Ar 同位素年龄，万嘉敏 (1986) 以西安矿区马底驿组蚀变板岩、变质砂岩作全岩 K-Ar 同位素年龄测定，其表面年龄：蚀变板岩 $317.4\sim 412.2\text{ Ma}$ ，平均 364.8 Ma ，变质砂板岩

$302.0\sim 476.6\text{ Ma}$ ，平均 389.2 Ma ，它们给出了加里东晚期的年龄。

2) 铅同位素组成及其模式年龄，万嘉敏 (1986) 在西安矿区采取矿体的方铅矿和围岩的全岩共 10 个样品，张理刚 (1985) 在同类型的西冲矿床采取 1 个方铅矿样品，进行铅同位素组成及其模式年龄的测定。他们所得的结果与上述 K-Ar 同位素年龄属加里东晚期 ($364.8\sim 389.2\text{ Ma}$) 比较，这里的铅同位素模式年龄则落入加里东早期 ($498\sim 615\text{ Ma}$)。同一对象不同方法测定结果不完全相同，这应该有方法本身带来的误差。

元古宇冷家溪群和板溪群，均属雪峰期形成，其成岩年龄应该大于 $1\text{ }000\text{ Ma}$ ，而所测年龄数据却反映为加里东期，这诚然是变质年龄；而对于方铅矿和蚀变围岩的测定值来说，那就是成矿年龄。

区域变质岩、矿化蚀变围岩、矿体三者的年龄值非常接近，说明区域变质和矿化蚀变作用是同时进行的，暗示着它们在成因上的内在联系。在雪峰隆起区目前已知的钨-金-锑矿床 (点) 的产出地层有冷家溪群、板溪群、震旦系和寒武系。从这些赋矿地层，结合年龄值判断，区域变质和成矿时间最大的可能是寒武纪，也就是加里东早期。

区域变质岩、矿化蚀变围岩、矿体三者的铅同位素组成无大差异，表明 3 种铅来自同一母源，并且是在同一时期、同一地质作用下产生的。这就是板溪群矿源层中的铅，经区域变质作用而形成了具有新的同位素成分的铅，一部分活化转移富集成矿床组分，另一部分则仍然保存在地层中。

3) 硫同位素组成，矿床中硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为分散，正偏离最大值 23.5% ，负偏离最小值 -6.3% ，但多数测定值在 $-4\%\sim 4\%$ 之间，结合矿床地质条件来判断，硫主要应来自变质岩层，至于其他硫源，纵使有也是次要的。

4) 氧、氢同位素组成，从沃溪、西安等矿床的岩石和矿物氧同位素组成测定结果看，浅变质岩层与原岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 值比较接近。例如，低级变质的粘土岩 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 $15\%\sim 18\%$ (卢武长, 1986)，碳酸盐岩 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 $14.5\%\sim 17.8\%$ (Kolodng, 1978)；沃溪一带是元古宙海底沉积，时代较老而变质程度不高，氧同位素组成：板岩 $\delta^{18}\text{O} = 15.4\%\sim 17.1\%$ ，灰岩 $\delta^{18}\text{O} = 15.8\%\sim 17.56\%$ 。沃溪矿床中 $\delta^{18}\text{O}_{\text{石英}} = 15.30\%\sim 20.92\%$ ， $\delta^{18}\text{O}_{\text{方解石}} = 16.93\%\sim 18.20\%$ ，2 组数据比较吻合，表明本矿床中的石英和方解石都是变质作用形成的；矿床的成矿物质与容矿地层也有紧密联系。



5) 成矿流体水的氧、氢同位素组成, 沃溪、西安等矿床的石英、白钨矿、黄铁矿等矿物包裹体水的 $\delta^{18}\text{O} = 4.8\text{‰} \sim 11.2\text{‰}$, $\delta\text{D} = -48.74\text{‰} \sim -81.00\text{‰}$ (图3), 个别 δD 达 -118‰ 。而对于一般变质水的氧、氢同位素组成, 多数人的取值: $\delta^{18}\text{O} = 5\text{‰} \sim 25\text{‰}$, $\delta\text{D} = -20\text{‰} \sim -65\text{‰}$ 。2 组数值对比得知, 沃溪地区矿床矿物包裹体水 $\delta^{18}\text{O}$ 和 δD 都较变质水低。

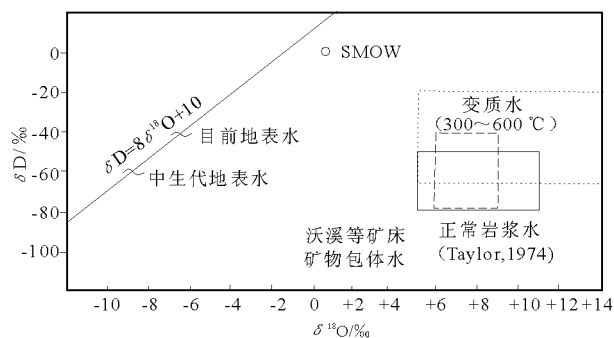


图3 湖南沃溪矿床成矿流体水 $\delta^{18}\text{O}$ - δD 关系图 (据古菊云, 1988)

根据张理刚的研究, 湘西雪峰地区现代大气降水的 $\delta^{18}\text{O} = -6.1\text{‰} \sim -7.4\text{‰}$, $\delta\text{D} = -40\text{‰} \sim -50\text{‰}$; 中生代大气降水 $\delta^{18}\text{O} = -8.8\text{‰} \sim -10.0\text{‰}$, $\delta\text{D} = -60\text{‰} \sim -70\text{‰}$ 。这就是说, 中生代大气降水的氧、氢同位素组成比现代轻。由此推理, 早古生代成矿时期大气降水的氧、氢同位素组成可能又比中生代要轻: $\delta^{18}\text{O} < -10\text{‰}$, $\delta\text{D} < -70\text{‰}$ 。如果这个推理能够成立, 那么沃溪地区矿床的矿物包裹体水就很可能是变质水和大气降水的混合水, 其 $\delta^{18}\text{O}$ 值自然会高而 δD 值自然会低于单纯的变质水。

3.7 成矿演化历史和矿床类型

中国吕梁构造运动以后, 湘西雪峰地区开始了元古宙地槽型沉积, 经过东安、雪峰、澄江等构造运动, 结束了元古宙地质历史, 形成冷家溪群、板溪群和震旦系。元古宇主要是一套浅海相巨厚的泥砂质碎屑岩-建造和碎屑岩-碳酸盐岩建造, 但在某些矿区的冷家溪和板溪群中见有凝灰岩或含火山碎屑的沉积岩夹层; 古生代则以泥砂质碎屑岩-碳酸

盐岩建造为主。从冷家溪群到寒武系, 各时代地层中都有钨、金、铋矿源层的存在。先期矿源层的形成, 除陆源含矿物质的分选聚集外, 与海底火山活动和热泉作用也可能有一定联系, 而后期矿源层则应是前期矿源层风化剥蚀、搬运再沉积所造成。这些矿源层的形成, 可以认为是整个成矿作用过程中矿质的首次浓集。

时至早古生代, 雪峰地区成为扬子地台与华南地槽褶皱系的过渡地带 (靠地台一侧), 地质作用非常复杂, 发生过比较强烈的构造运动, 相当于郁南运动。尽管目前还未发现寒武系与奥陶系之间的构造间断面, 但其地壳变动遗迹也许存在。上面已经提到, 从地层、矿体所记录的成岩成矿年龄和矿产的时空分布来看, 加里东早期是区域变质和矿床生成的主要时期。

区域变质是强大的地壳运动之结果。同时, 势必产生许多不同级次和不同性质的断裂和褶皱, 包括那些低序次的容矿断裂和裂隙。在高温高压的作用下, 岩层中的许多矿物发生重结晶, 并释出一些成分复杂的变质分泌水。在此作用中, 矿源层及其围岩内各种成矿物质, 如钨、金、铋、铜、铅、锌、硫、氟、硅、钙等, 也出现活化现象, 部分进入变质流体, 通过裂隙扩散或粒间渗透而向某些特定部位转移, 进入有利的成矿空间, 结晶沉淀而形成多种新的矿物。含矿流体不断汇聚, 有用金属越来越富, 最后形成矿床。沃溪马底驿组的紫红色含钙绢云母板岩是主要矿源层, 其层间破裂及上下盘的裂隙均为有利的容矿构造, 因而形成以层间脉为主体的矿床。

根据上述大量事实可以得出如下结论: 沃溪地区以至整个雪峰成矿带钨-金-铋矿床的形成, 都与地层、构造和区域变质作用紧密相关, 严格受“层、相、位”的控制, 而与岩浆作用不存在任何联系。因此, 矿床大类应属于沉积-再造层控型矿床 (陆源沉积成矿-变质再造富集层控矿床), 具体类型可称层间破裂-裂隙带型钨-金-铋矿床, 或称层控再造型钨-金-铋矿床。

摘自《中国矿床》中册

甘肃小柳沟石英脉型钨-多金属矿床

1 区域地质概况

小柳沟钨-多金属矿床位于甘肃省肃南县境内, 北距著名的桦树沟铁-铜矿床约 20 km。矿区位于

北祁连沟-弧-盆系元古宇朱龙关群裂谷带中。区内出露地层主要为前寒武系, 其次为奥陶系、石炭系、白垩系。

前长城系北大河群为一套碎屑岩-碳酸盐岩建



造, 主要为片岩、片麻岩、麻粒岩、大理岩, 局部夹中基性火山岩, 含铁矿层。长城系朱龙关群为碎屑岩—碳酸盐岩—基性火山岩建造, 是小柳沟矿区主要地层, 可分为上下 2 岩组: 上岩组主要为绢云绿泥千枚岩、角闪云母片岩、灰岩、玄武岩; 下岩组主要为砂质千枚岩、石英岩, 为含铁复理石建造, 产朱龙关式沉积变质铁矿。小柳沟钨-多金属矿赋存于上下岩组过渡带。蓟县系镜铁山群上部为灰岩、白云岩等; 下部为含铁复理石建造, 主要为千枚岩、粉砂岩夹灰岩、基性火山岩, 产桦树沟式铁-铜矿; 青白口系大柳沟群 (Pt_3) 为一套碳酸盐岩—类复理石沉积, 主要为灰岩、板岩与泥灰岩互层及玄武岩透镜体。奥陶系从上到下分别为海相碎屑岩、碳酸盐岩建造—细碧质火山岩建造—陆源类复理石碎屑岩建造—海相碎屑岩建造等。石炭系为一套碎屑岩建造, 主要为砂岩、页岩夹灰岩、煤层。白垩系为河湖、山麓相陆屑建造, 主要为砾岩、砂岩及泥岩。

区内褶皱主要为朱龙关—镜铁山复式向斜, 呈 NW 向展布。断裂发育, 主体走向亦呈 NW 向, 以逆断层为主。NE 向断裂与之交错。

区内地表侵入岩不发育, 两侧均有基性—超基性岩呈 NW 向断续成带分布。南带发育, 从吊大坂至古浪峡断续长 100 km, 岩体呈长条状、透镜状, 常与朱龙关群基性火山岩共生, 产有金、铜等

矿化。酸性侵入岩不发育, 呈岩脉、岩株状产出, 但在小柳沟铜-钨矿床深部发现隐伏的石英二长花岗岩体, 并赋存有铜、钨矿体, 与成矿关系密切。

区内金属矿产较多, 主要有桦树沟铁-铜矿床、黑沟铁矿、西流沟铁-铜矿等。

2 矿区地质特征

2.1 地 层

矿区出露地层为长城系朱龙关群, 可分为上下 2 个岩组, 5 个岩性段 (表 1, 图 1)。下岩组分布在矿区西部, 以含铁碎屑岩沉积和缺少火山岩为特征, 分为上下 2 个岩性段。上岩组分布于矿区东部, 以碎屑岩、火山岩夹碳酸盐岩为特征。可分为上中下 3 个岩段, 每个岩段又分为上下 2 部分。岩性分布特点是碎屑岩与玄武岩 (角闪云母片岩) 呈互层产出, 而且每一层底部都夹有薄层状灰岩, 构成矿区主要含矿层位, 矿区 90% 以上矿体赋存在该层位。上岩段火山岩减少, 碳酸盐岩增多。朱龙关群上岩组部分岩石化学成分见表 2, 根据久野 ($Na_2O + K_2O$)— SiO_2 图解, 属拉斑玄武岩系列, 与海恩德曼 (1992 年) 的同类岩石化学成分平均含量比较, 具有 SiO_2 , K_2O 明显偏高, CaO , Na_2O 明显偏低, 碱质总量略偏高特征。 SiO_2 在片岩、千枚岩中比正常同类变质岩明显偏高; 灰岩与

表 1 小柳沟矿区长城系朱龙关群地层特征

组	段	主 要 岩 性
上岩组 (Ch_2)	上岩段 (Ch_2^3)	厚层状灰岩、绿泥绢云千枚岩
	中岩段 (Ch_2^2)	上部: 玄武岩、灰岩 下部: 角闪云母片岩、夕卡岩化灰岩、绢云绿泥千枚岩、玄武岩
	下岩段 (Ch_2^1)	上部: 角闪云母片岩、含碳绢云千枚岩、薄层状灰岩 下部: 斑点状含碳绢云千枚岩、角闪云母片岩
下岩组 (Ch_1)	上岩段 (Ch_1^2)	上部: 千枚状细砂岩 下部: 中厚层状石英岩、绢云绿泥千枚岩、钙质千枚岩
	下岩段 (Ch_1^1)	上部: 碳质千枚岩及绿泥绢云千枚岩 下部: 绿泥绢云千枚岩夹铁矿体

夕卡岩化灰岩相比, SiO_2 , Al_2O_3 , $Fe_2O_3 + FeO$ 增加, MgO , K_2O 降低, 说明岩石受到后期热液的改造。

2.2 构 造

矿区内地层分布特征显示了矿区存在 3 个穹隆构造, 已发现的 4 个矿床均分布在矿区中部的穹隆构造中。岩层在中部走向近 SN, 东部呈马蹄状弧形分布, 并向外倾斜, 在空间上构成“D”型穹隆。经钻孔揭露, 发现隐伏石英二长花岗岩体, 证

实该“D”型构造是岩浆侵位上拱所产生的横弯褶皱作用所致, 并在“D”型构造中心形成放射状、环状断裂, 后被石英脉充填形成十分发育的石英脉带。矿区北部岩层呈弧顶向南弯曲的弧形分布, 矿区南东部岩层亦呈弧顶向 W 拱起的弧形分布。根据分析这 2 个地段可能存在另外 2 个穹隆 (图 1), 它们对本区下一步找矿具有深远意义。

区内断裂主要有 3 组, 一组为区域性 NW 向, 顺层产出; 第二组为 NNW 向压扭性, 为成矿前断

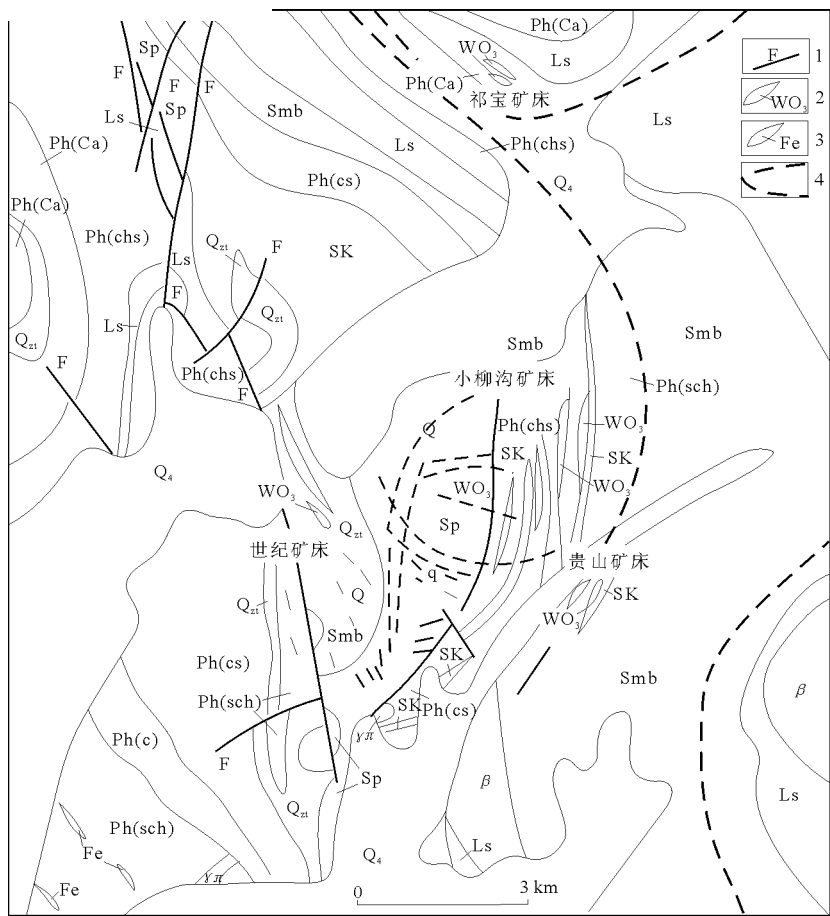


图 1 小柳沟铜-钨矿区地质简图 (据朱焱岭等, 1981)

Q₄—第四系; Ph (Ca) —钙质千枚岩; Ph (chs) —绿泥绢云千枚岩; Ph (sch) —绢云绿泥千枚岩; Ph (c) —碳质千枚岩; Ph (cs) —含碳绢云千枚岩; Q_{z1}—石英岩; Ls—灰岩; Sp—千枚状细砂岩; Tβ—玄武质凝灰岩; β—玄武岩; Smb—角闪云母片岩; SK—夕卡岩; γπ—花岗岩斑岩; q—石英脉; 1—断层; 2—钨矿体; 3—铁矿体; 4—穹隆构造

表 2 小柳沟铜-钨矿区岩石化学成分

岩石名称	化 学 成 分/%				
	SiO ₂	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	FeO
夕卡岩化灰岩	42.57	27.74	7.45	3.57	2.51
角闪云母片岩	58.21	6.18	5.03	3.38	3.58
玄武岩	58.79	0.98	6.16	2.96	6.88
灰 岩	35.41	21.4	15.19	2.96	1.76
花岗岩	79.56	0.51	0.54	0.67	0.62
花岗岩	76.74	0.33	0.81	0.75	0.36

岩石名称	化 学 成 分/%				
	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O ⁺	H ₂ O ⁻
夕卡岩化灰岩	7.86	0.10	0.65	1.63	0.51
角闪云母片岩	13.26	0.19	3.36	2.39	0.09
玄武岩	12.53	0.08	3.74	2.67	0.43
灰 岩	5.10	0.15	2.53	1.69	0.47
花岗岩	12.96	3.0	1.88	1.53	0.47
花岗岩	14.69	0.12	4.67	1.04	

裂, 世纪矿床 1 号矿体产于该组断裂中。断裂长近 1 km, 倾向 W, 倾角 70°左右; 第三组断裂呈 NE 或近 SN 向分布, 一般长百余米至数百米, 对矿体有一定破坏作用, 为成矿后断裂。

2.3 侵入岩、脉岩

矿区内地表侵入岩不发育, 仅见花岗岩、石英闪长岩枝和少量辉长岩脉。1997 年, 在小柳沟铜-钨矿床经 1 个钻孔揭露, 在 2 700 m 标高处发现隐伏石英二长花岗岩体, 但分布及形态尚不清楚 (图 2)。在祁宝铜-钨矿床可见一条长 400 余 m, 宽 35 m 的花岗闪长岩脉, 该岩脉上下盘均见接触交代形成的夕卡岩, 并赋存有祁宝铜-钨矿床 1, 2 号铜-钨矿体, 岩体中普遍具有浸染状及星点状黄铜矿化、辉钼矿化。上述中酸性脉岩与隐伏石英二长花岗岩应为同源、同期次的产物。二者矿物成分相似, 化学成分见表 2。其 K₂O 与 Na₂O 比值相差较大, SiO₂ 含量较高, δ=0.67, AR=2.04, 属钙碱性花岗岩。该岩体的化学成分与华南含 W, Sn 的花岗岩十分相似, 岩体与邻区同类岩石对比, 应属加里东晚期重熔型花岗岩。

矿区内石英脉十分发育, 脉宽 0.1~0.5 m, 最宽 2 m, 长 20~50m, 多沿放射状、环状裂隙

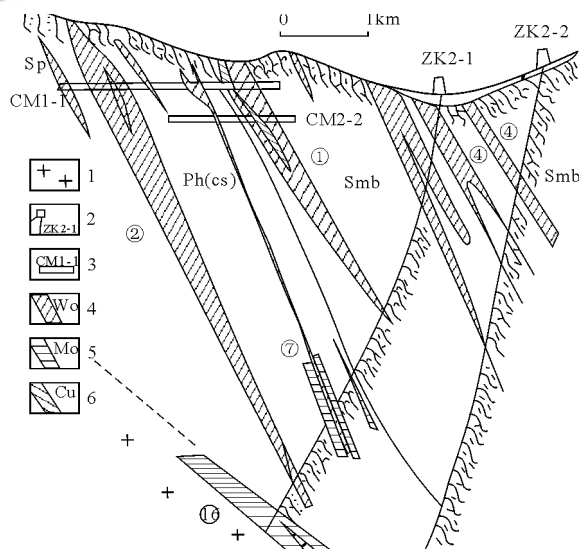


图2 小柳沟铜-钨矿床2线剖面图

Q—第四系；Sp—千枚状细砂岩；Smb—角闪云母片岩；Ph(cs)—含碳绢云千枚岩；1—花岗岩；2—钻孔及编号；3—穿脉及编号；4—钨矿体；5—钼矿体；6—铜矿体

充填，主要分布在隐伏岩体顶部的下岩组各类岩石中，脉体两侧具有白钨矿、黄铜矿、辉钼矿化。

2.4 地球化学特征

通过对矿区次生晕及原生晕地球化学普查，化探异常呈椭圆形面状分布，为多元素组合的综合异常，强度高。元素组合以 Cu, W, Mo, Pb, Zn, Bi, Ag 为主，具有分带现象，内带为 Cu, W, Mo, Bi 组合，外带为 Pb, Zn, Ag, Au 组合。W 异常值大于 20×10^{-6} ，最大值达 500×10^{-6} ；钼异常值大于 20×10^{-6} ，最大值 300×10^{-6} ；锡异常值大于 24×10^{-6} ，最大值 150×10^{-6} ；铋异常值大于 12×10^{-6} ，最大值 200×10^{-6} ；铅异常最大值可达 300×10^{-6} ；锌异常最大值可达 100×10^{-6} ；银异常最大值可达 3×10^{-6} 。

W 元素主要与灰岩、夕卡岩化灰岩、夕卡岩、角闪云母片岩、含碳千枚岩、石英脉有关；Cu, Mo, Bi, Zn 元素主要与夕卡岩、含碳千枚岩、石英脉、含砂千枚岩、隐伏石英二长花岗岩有关；Sn, Sb 与夕卡岩有关；V 主要与千枚状细砂岩、含碳千枚岩、石英岩、碳酸盐岩有关；B 与角闪云母片岩、含碳千枚岩、石英岩等碎屑岩有关；Au 与角闪云母片岩有关。

经对矿床多元素分析统计表明，其矿化元素有 W, Cu, Mo, Bi, Be, Sn, V, Au, Ag, Zn，其中 W, Cu, Mo, Bi 可构成单独矿体或相互共生、伴生，其余元素为伴生有益组分。除主元素 W 外，其他共生、伴生元素分布规律：1) Cu, Bi, Sn,

Mo 与 W 呈正相关，赋存于同一地质体中；2) Cu, Bi 矿化分布范围比 W 大，除分布在钨矿体中外，在隐伏石英二长花岗岩体的内外接触带也有富集；3) Ag, Au 与 W 呈负相关，而与 Be 呈正相关；4) 各元素在钨矿体中的分布强度为 $Cu \geq 0.1\%$, $Bi \geq 0.06\%$, $Mo \geq 0.06\%$, $Zn \geq 0.03\%$, $Sn \geq 0.01\%$, $V \geq 0.05\%$, $Be \geq 0.01\%$, $Au \geq 0.1 \times 10^{-6}$, $Ag \geq 5 \times 10^{-6}$ ；各元素分布特征见图3。

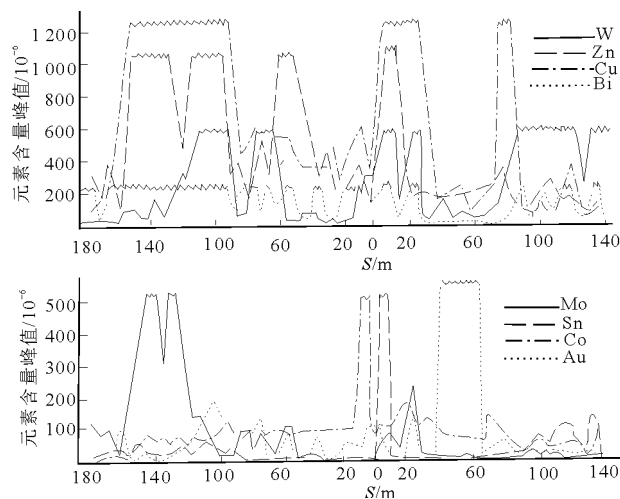


图3 小柳沟铜-钨矿床4线原生晕异常趋势分析图

2.5 重砂异常特征

在矿区开展自然重砂测量，发现了 $5.5 \text{ km} \times 5 \text{ km}$ ，面积为 27.5 km^2 的自然重砂异常（图4），异常呈等轴状，分带清晰，梯度大，浓集中心明显，异常下限为 0.0001% ，上限为 0.1% 。本区重砂

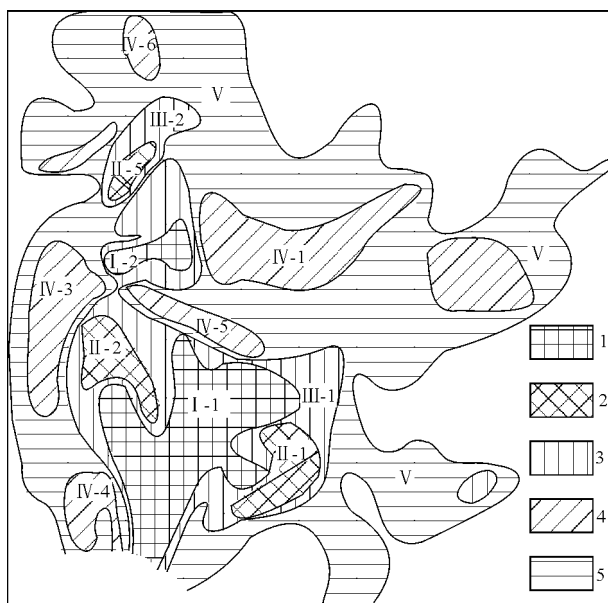


图4 小柳沟矿区重砂异常示意图

1—Ⅰ级异常及编号；2—Ⅱ级异常及编号；3—Ⅲ级异常及编号；4—Ⅳ级异常及编号；5—Ⅴ级异常及编号



异常很好地反映了矿区矿化的分布,对地质找矿不仅快速、直观,而且准确,其中Ⅰ,Ⅱ级异常基本代表了较富大矿体的分布,还有近1/2的白钨矿重砂异常区未开展地质工作,故该区地质找矿前景十分乐观。

3 矿床地质特征

小柳沟钨-多金属矿区 EW 宽 7.2 km, SN 长 6.5 km, 面积 46.8 km²。目前已发现 4 个矿床,分别是小柳沟、世纪、祁宝、贵山铜-钨矿床。其中小柳沟铜-钨矿床分布在矿区中部,面积为 1.7 km²;世纪铜-钨矿分布在矿区西部,面积约 0.675 km²;祁宝铜-钨矿床分布在矿区北部,面积 7.56 km²;贵山铜-钨矿床分布在矿区东部,面积为 0.64 km²。

3.1 矿体产状、规模

1) 小柳沟铜-钨矿床现已圈定出 12 条矿体,其中主矿体 4 条,占总储量的 90.50% 以上。矿化带除 16 号矿体外均赋存于上岩组中下岩段角闪云母片岩底部所夹的薄层状夕卡岩化灰岩中,容矿岩石多具碎裂岩化,矿体与围岩界线不清,肉眼无法

确定矿体边界。矿体连续性好,矿化稳定。在钨矿体中常共生或伴生铜、钼矿。16 号矿体为赋存于隐伏岩体内外接触带中的钨-钼矿体,单工程控制,其中外接触带为钨-钼矿体,内接触带为钼矿体,整个石英二长花岗岩均为钼矿体,未穿透(图 2)。

2) 祁宝铜-钨矿床,该矿床已发现矿体 2 条,容矿岩石为灰绿色夕卡岩,矿体产状与围岩产状一致,矿体呈似层状产出。容矿岩石蚀变强烈,主要蚀变为硅化、透闪石化,透闪石呈长条状、放射状集合体分布,岩石中白钨矿呈星点状和细脉状分布,常伴生铜、钼矿。

3) 世纪铜-钨矿床,该矿床已发现矿化体 3 条,矿化体呈似层状、透镜状产出,容矿岩石为灰绿色透闪石化夕卡岩。岩石蚀变强烈,主要为绿泥石化、硅化,矿化体中石英细脉极为发育,矿体连续性好,厚度较为稳定,在钨矿体中常伴生铜、钼矿。

4) 贵山铜-钨矿床,该矿床已发现矿体 5 条,主矿体 2 条。矿体呈似层状、脉状产于玄武岩中,容矿岩石为石榴子石夕卡岩,矿化主要为白钨矿,以细脉状为主,星点浸染状次之,矿化不均匀。各矿床矿体形态、产状、规模见表 3。

表 3 主要钨矿体地质特征

矿床名称	矿体号	矿体形态及容矿岩石	矿体规模/m			矿体产状/°	
			长度	水平厚度	延深	倾向	倾角
小柳沟	1	层状,夕卡岩	560	9.63	600	75~180	54~80
	2	层状,角闪云母片岩	500	6.18	700	90~165	50~76
	4	层状,夕卡岩	780	12.76	320	110	70
	6	似层状,角闪云母片岩	300	4.62	260	114	84
	7	脉状,含碳绢云千枚岩	200	8.64	500	122	48
	8-1	脉状,角闪云母片岩	130	3.61	170	104	62
	9	似层状,角闪云母片岩	250	5.91	250	114	60
	11	似层状,夕卡岩	235	20.96	100	110	63
	14	似层状,角闪云母片岩	250	9.57	200	135	48
	16	层状,千枚状细砂岩	350	4.36	200	135	73
	1	脉状,角闪云母片岩	385	7.79	100	230	82
	2	似层状,角闪云母片岩	210	16.9	100	230	82
世纪	3	似层状,角闪云母片岩	742	13.71	200	236	66
祁宝	1	似层状,夕卡岩	200	10		30	62
	2	似层状,夕卡岩	450	6.88		35	65
贵山	1	似层状,夕卡岩	200	26.60		143	78
	2	似层状,夕卡岩	300	4.15		120	68

3.2 矿化类型

根据矿体特征,矿区主要矿化可分为 3 种类型。

1) 层状矿化,该类型矿化严格受层位和岩性控制,均分布在上岩组中下岩段和下岩组上岩段之玄武岩、角闪云母片岩底部及所夹薄层状夕卡岩化

灰岩中。主要矿体如小柳沟 4 号矿体产于上岩组中岩段玄武岩底部及与下部碎屑岩所夹夕卡岩化灰岩中;1 号矿体产于上岩组下岩段上部、角闪云母片岩底部及夕卡岩化灰岩中;2 号矿体产于上岩组下岩段底部的角闪云母片岩中。矿体呈层状、似层状、透镜状,总体与围岩产状一致,呈弧形分布。



矿化以稠密浸染状、条带状、细脉浸染状为主，既继承了沉积构造特点，又有后期叠加改造。

2) 脉状矿化，矿化受断裂、裂隙控制，如受断裂控制的世纪矿床 1 号矿体和受环状、放射状裂隙控制的矿化石英脉。

3) 面状矿化，该类型矿化受岩体接触带控制，矿化分布在内外接触带附近，矿化体形态受接触带和岩体形态控制。矿化以稠密浸染状、浸染状为主。

3.3 矿石特征

1) 矿石类型，主要为块状黄铜矿—白钨矿，稠密浸染状—条带状白钨矿、黄铜矿，白钨矿—辉钼矿，锡石—白钨矿矿石。主要以稠密浸染状白钨矿—黄铜矿及浸染状—稠密浸染状白钨矿矿石为主。

2) 矿石组构，主要有自形、半自形、他形粒状结构，固溶体分离、压碎、包含、交代、溶蚀结构等。以条带状和稠密浸染状构造为主，其次有细脉浸染状、细脉状、团块状、碎裂状构造。

3) 矿石成分，矿石的主要化学成分按含量的多寡依次为 SiO₂ 54.21%，Al₂O₃ 10.71%，Fe₂O₃ 8.24%，CaCO₃ 6.08%，MgO 3.42%，CaF₂ 3.17%，K₂O 1.28%，WO₃ 1.90%，Na₂O 0.096%，P₂O₅ 0.04%。根据光谱分析结果及矿石

物相分析，伴生元素平均值：钼 0.027 3%，铜 0.107 6%，锡 0.007 7%，锑 0.001 9%，铋 0.020 9%，铍 0.004 6%，银 2.01 × 10⁻⁶，金 0.003 9 × 10⁻⁶。有用金属组分除钨外，铜、钼、锡的含量较高，综合回收意义较大，银、金具有一定的综合利用价值。其他金属组分含量都很低，综合回收意义不大。矿石的矿物组成较为简单（表 4，5），金属矿物的主体是白钨矿，其次为黄铜矿和黄铁矿，其余金属矿物较少。白钨矿粒径多介于 2~0.1 mm 之间。与白钨矿连生的矿物主要为石英、石榴子石、方解石等非金属矿物，其次为黄铜矿、黄铁矿，偶有辉钼矿，个别为毒砂、辉铋矿及其他硫化物。与黄铜矿连生的矿物主要为透闪石、硅灰石、石榴子石和石英等，少量为白钨矿、黄铁矿和闪锌矿，个别为毒砂、辉铋矿及其他硫化物。黄铁矿主要与长石、绿泥石、方解石、绢云母、石英和各种夕卡岩矿物连生，部分与黄铜矿连生，少数与白钨矿及其他硫化物连生。

根据对小柳沟 1 号矿体所取的选矿试验样分析研究表明，矿石体重为 3.28，又取各被测矿物的理论比重均值：白钨矿 6，黄铜矿 4.2，黄铁矿 5.1，计算出各矿物的重量含量：白钨矿 2.34%，黄铜矿 0.71%，黄铁矿 1.71%，进一步将其按理论成分换算成有用组分 Cu，WO₃，S 的重量含量，

表 4 部分金属矿物扫描电镜能谱分析（点分析）结果

样号	矿 物	w(B)/%							
		S	Fe	Au	W	Ca	Cu	Bi	As
1-1	黄铁矿(I)	54.35	45.65	0.00					
3-6	黄铁矿(I)	53.13	46.87	0.00					
2-1	黄铁矿(II)	54.35	45.46	0.19					
5-1	黄铁矿(II)	56.54	42.54	0.92					
5-2	黄铁矿(II)	56.20	42.92	0.88					
3-1	黄铁矿(II)	53.78	45.02	1.20					
2-1	白钨矿			0.00	83.89	16.11			
2-4	白钨矿			0.00	83.69	16.31			
2-2	黄铜矿	36.56	29.77	0.00			33.67		
2-2	黄铜矿	36.50	29.68	0.27			33.55		
2-3	黄铜矿	36.62	29.68	0.26			33.14		
3-2	黄铜矿	35.46	29.86	1.16			33.42		
3-4	辉铋矿	19.04		0.00				80.96	
3-5	辉铋矿	18.69		0.00				81.31	
3-3	毒砂	21.21	37.55	0.00					41.23

分析单位：西安有色金属西北矿产地质测试中心。

表 5 小柳沟铜-钨矿床矿石矿物组成

矿物类型	金 属 矿 物	非 金 属 矿 物
主要矿物	白钨矿	石榴子石、石英、方解石
次要矿物	黄铜矿、黄铁矿	透辉石、透闪石、萤石、长石、绿泥石、绢云母、绿帘石
少量矿物	闪锌矿、方铅矿、毒砂、辉铋矿、辉钼矿、菱铁矿、斑铜矿、磁黄铁矿	硅灰石、白云石、高岭石



可得 $Cu = 0.245$, $WO_3 = 1.8795$, $S = 1.1621$ 。由此可见, 矿石中的铜主要赋存于黄铜矿中, 以其他形式存在者为 0.49% , 可能存在于极微量的斑铜矿中; W 主要赋存于白钨矿中, 以其他形式存在者约为 0.56% ; S 基本上分布于黄铁矿和黄铜矿中。依据张志雄所介绍的方法, 为充分反映矿的空间分布特性, 以嵌布均匀度表示嵌布均匀性, 嵌布均匀度 = 见矿单元数 / 统计单元数 $\times 100\%$ 。在 720 个统计单元中, 白钨矿见矿单元数为 378, 黄铜矿为 316, 黄铁矿为 295, 由此得出它们的嵌布均匀度分别为 52.6, 43.9 和 41.0, 都属于较均匀嵌布。

3.4 围岩蚀变

矿床围岩蚀变发育, 主要有硅化、夕卡岩化、绿泥石化、绿帘石化、黄铁矿化、大理石化、碳酸盐化、绢云母化等, 其中夕卡岩化、硅化、透闪石化、绿泥石化、绿帘石化主要集中于灰岩及角闪云母片岩中, 绢云母化、黄铁矿化、高岭土化主要在千枚状砂岩、含碳绢云母千枚岩中。与矿化关系密切的蚀变主要有夕卡岩化、硅化、绿泥石化、绿帘石化。上述蚀变在灰岩中常形成富矿体, 分布在角闪云母片岩中时, 则形成绿泥绿帘透闪石蚀变岩, 并出现细脉浸染状白钨矿。

4 控矿因素

4.1 层位、岩性控制

区域内长城系朱龙关群上岩组碎屑岩、玄武岩具有互层状产出的特点, 表明火山具有间歇式喷发特点。上下岩组过渡带控制了小柳沟矿床中主要矿体, 并定位于玄武岩 (角闪云母片岩) 底部及所夹碳酸盐岩—夕卡岩化灰岩中。矿区不同岩石微量元素见表 6: 含碳绢云千枚岩中 $Cu, Zn, Ni, Bi, W, B, V, Mo$; 灰岩中 Cu, Zn, Sn, W, Sb ; 角闪云母片岩中 $Cu, Zn, Ni, Co, Bi, W, Au, Cr$; 大理岩中 Cu, Zn, Ni, Co, W, V 的含量均高出地壳克拉克值数倍至数十倍, 有的甚至高达数百倍, 这也说明上述岩石是成矿的主要矿源层, 为成矿提供了丰富的物质来源。其中 Cu, Zn, Bi 主要集中于下岩组顶部及上岩组底部的千枚岩及角闪云母片岩中, W 则主要集中于上岩组下部的火山岩及碳酸盐岩中。因此, 该套地层构成了形成矿床的初始“矿源层”。其中的玄武岩、角闪云母片岩、薄层状灰岩, 为矿体主要容矿围岩。

4.2 侵入岩

矿区隐伏的石英二长花岗岩对矿床的形成起到了如下控制作用。

表 6 小柳沟铜-钨矿床部分岩性微量元素含量 $w/(B) 10^{-6}$, $w/(Au) 10^{-9}$

元素	角闪云母片岩(189)	灰岩(6)	夕卡岩(59)	绿泥绢云千枚岩(4)	含碳绢云千枚岩(85)	石英岩(9)	千枚状细砂岩(53)	花岗岩(7)	大理岩(4)	大理岩化灰岩(35)	红柱石绢云千枚岩(28)
As	93.97	1 028.69	64.84	10.05	229.4	670.28	88.49	72.5	666.75	62.39	274.75
Sb	29.26	208.79	39.67	110.93	22.11	100.79	10.61	41.66	168.99	25.93	12.38
Au	8.87	16.96	4.99	1.83	5.77	18.58	3.24	2.05	1.62	1.93	31.34
Hg	0.029	0.02	0.023	0.02	0.024	0.030	0.023	0.037	0.024	0.026	0.024
Cu	236.9	233.9	308.5	83.8	359.6	708.0	533.3	442.4	645.7	106.2	611.8
Pb	17.1	68.7	52.0	14.7	27.6	32.7	22.7	64.1	19.2	18.2	35.2
Mn	1.455	1.992	1.430	1.869	851	775	977	706	890	2.066	666
Cr	99.8	49.9	117.2	94.0	89.3	65.0	126.2	25.1	160.8	65.2	45.2
Ni	46.95	36.6	60.7	59.1	48.3	29.8	59.0	14.2	72.3	25.2	14.8
Be	9.4	40.0	17.3	16.2	7.3	7.9	5.6	9.8	5.2	19.5	12.1
Mo	22.16	18.21	20.16	9.30	54.95	74.16	44.51	68.62	4.92	32.67	52.40
Sn	11.4	19.3	24.3	20.1	11.1	21.0	12.5	7.2	12.0	241	19.8
V	94.4	54.5	87.4	82.0	275.1	221.2	275.8	86.7	133.8	53.0	57.2
Ag	0.359	0.649	0.516	0.123	0.392	1.260	0.896	0.557	0.270	0.463	0.954
Ti	4.232	1.792	2.827	3.662	5.825	3.176	4.758	786	4.216	1.489	3.142
Zn	339	249	166	136	227	128	170	60	120	255	123
Co	25.1	20.3	24.7	30.4	29.1	17.1	26.6	8.7	35.9	12.4	14.0
W	193.0	508.9	275.2	522.9	130.7	38.2	185.8	31.7	48.6	606.8	65.8
Bi	18.31	81.97	56.30	28.96	27.64	62.06	20.31	16.00	3.99	42.72	21.26
B	110.1	30.1	33.7	10.0	147.6	158.9	71.0	74.2	39.4	27.9	125.6

注: 样品由桂林有色地质矿床研究所分析; 括号内为样品数。



1) 是矿床的成矿物质来源之一。由表 6 可知, 岩体中微量元素 Cu, Pb, Ag, Ni, Co, Mo 比地壳中花岗岩平均含量高出几倍, Bi, Sn, W 元素高出几十倍。

2) 在侵入过程中所提供的含矿热液对元素的活化迁移起到了积极作用。

3) 促使初始矿源层成矿元素进一步改造, 矿化叠加, 富集成矿。

4) 再度活化的含矿热液沿裂隙充填形成脉状矿体。

5) 所携带的大量成矿物质在岩体顶部与围岩的内外接触带形成面状矿化。因此, 侵入岩体是成矿最主要的条件和控制因素。

4.3 构造

岩浆侵位导致矿区穹隆的形成, 促使岩层受力变形和碎裂化, 使成矿作用更加彻底。此外, 形成的层间裂隙和各种线状、环状、放射状裂隙又成为

矿液沉淀的良好场所。因此, 构造对成矿也起到重要的控制作用。

5 矿床成因

5.1 成矿条件

5.1.1 包裹体特征 包裹体成分石英硫化物脉中石英包裹体一般很细, 呈现不规则状分布, 一般液相大于气相, 分别见有子晶。液相和气相成分如表 7、表 8 所示。石英包裹体液相成分相对富 Na^+ , Cl^- , 贫 Ca^{2+} , Mg^{2+} , F^- , 而 SO_4^{2-} 有时偏高, 组分类型为 $\text{Na}^+-\text{Cl}^--\text{SO}_4^{2-}$ 型, 反映成矿流体可能主要来源于海水。气相成分中 H_2O , CO_2 含量高, $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 值小, H_2 , CH_4 也较高, 表明成矿流体在演化过程中有少量有机质存在。

经过对矿床中石英、黄铁矿、黄铜矿所取包裹体进行分析, 结果显示如下。

表 7 小柳沟铜-钨矿床石英包裹体液相成分

样品号	$w(\text{B})/10^{-6}$						Na^+/K^+	Cl^-/F^-
	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	F^-	SO_4^{2-}		
1	0.218	0.092	0.00	0.001	0.022	0.011	0.192	2.36
2	1.99	0.23	0.48	0.30	2.12	1.169		8.65

表 8 小柳沟铜-钨矿床石英包裹体气相成分

样品号	$C(\text{B})/\text{m}^{-3}$						CH_4/CO_2	$\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$
	CO_2	H_2O	H_2	N_2	CH_4	CO		
1	2.15	108.90	0.02	0.05	0.55	0.00	0.26	0.019
2	2.73	65.49	0.68	10.90	1.94	0.44	0.71	0.04

1) 成矿温度, 矿石中石英包裹体均一温度变化范围为 $163\sim 372\text{ }^\circ\text{C}$, 平均 $225\sim 276\text{ }^\circ\text{C}$, 爆裂温度在 $210\sim 350\text{ }^\circ\text{C}$ 之间, 说明成矿温度为中—高温。

2) 成矿溶液的盐度、密度和压力, 在石英硫化物阶段成矿流体盐度平均为 $7\%\sim 14.8\%$, 为中等盐度; 密度为 0.9 g/cm^3 ; 成矿压力为 $180\times 10^5\text{ Pa}$ 。根据盐度及深度图解, 成矿深度为 $260\sim 540\text{ m}$ 。

3) 成矿氧逸度、硫逸度、二氧化碳逸度, 利用李秉伦 (1968) $\log f_{\text{CO}_2}-T$ 关系图解, 成矿 CO_2 化碳逸度 $\log f_{\text{CO}_2}$ 为 -0.76 , -0.84 。由成矿流体平衡反应: $\text{CH}_4+2\text{O}_2\rightarrow\text{CO}_2+\text{H}_2\text{O}$, 考虑理想状态和高温时, $f_{\text{H}_2\text{O}}$ 忽略, 得出 $\log f_{\text{O}_2}-T$ 关系图, 取 $T=210\sim 350\text{ }^\circ\text{C}$, 成矿氧逸度 $\log f_{\text{O}_2}$ 计算值为 $-41\sim -33$ 。用 Scott 和 Barnes 公式得出成矿硫逸度 $\log f_{\text{S}_2}$ 为 -15.78 。

4) 成矿的 pH, Eh 值: 经计算 pH 值在 5.04

~ 6.12 之间, 据季秉伦 Eh-T 图解确定成矿时 Eh 值为 -0.51 V , 为弱酸—中性还原环境。

5) 成矿溶液中含硫原子团活度及总硫浓度: 经计算成矿溶液中含硫原子团活度 $\lg \alpha_{\text{H}_2\text{S}}$ 为 -2.95 , $\lg \alpha_{\text{HS}^-}$ 为 -4.72 , $\lg \alpha_{\text{S}^{2-}}$ 为 -7.75 , $\lg \alpha_{\text{HSO}_4^-}$ 为 -5.82 , $\lg \alpha_{\text{SO}_4^{2-}}$ 为 -5.64 , 总硫浓度 $[\sum \text{S}(\text{M})]$ 为 10^{-3} 。表明成矿热液中 H_2S , HS^- 为主要含硫原子团, 其中 H_2S 占 99% 以上。这也充分说明成矿物质沉淀是在弱酸性还原条件下进行的。

5.1.2 同位素特征

1) 硫同位素, 矿石硫化物硫同位素组成中, 黄铁矿 (3 件) $\delta^4\text{S}$ 为 $10\text{‰}\sim 11.7\text{‰}$, 平均 10.57‰ , 黄铜矿 (1 件) 为 10.7‰ , 比较集中, 与陨石、海洋硫酸盐硫同位素组成均有明显的差别。据矿床地质特征推断, 石英—硫化物成矿阶段硫的成因属于混合硫, 有 2 种以上来源, 可能来自



地层或地壳重熔花岗岩和大气水混合作用的混合硫。

2) 氢氧同位素, 石英硫化物脉中石英 (1 件) 实测 $\delta^8\text{O}$ (矿物) 为 13.3‰ , $\delta^8\text{O}$ (H_2O) 为 3.07‰ , δD (H_2O) 为 -60‰ , 表明成矿溶液既不是岩浆水, 也不是海水, 它与硫有大致相同的来源, 即大气地表水与地层中的建造水或重熔花岗岩岩浆水的混合流体。

3) 铅同位素, 矿石硫化物的铅同位素组成中 (表 9), 3 个黄铁矿与朱龙关群基性火山岩的铅同位素组成基本一致, 且二者的 μ 值接近。在铅的构

造模式图 (图略) 上位于造山带与地幔铅演化线之间, 属于深源岩浆 (岩) 铅。黄铜矿放射铅含量高, 在构造模式图上投点位于上部地壳线之上, 表明这部分矿石铅在搬运沉积和再活化转移成矿过程中, 经历了 U, Th 含量高的陆源铅的混染。

4) 铼-锇同位素, 只有当初始 $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ 值已知时, 单个样品的 Re-Os 模式年龄才可以通过 Os 同位素组成和 Re, Os 含量计算出。黄典豪和李红艳等指出辉钼矿中普通 Os 含量往往是很低的, 相对来说 Re 含量却十分高, 所以, 几乎所有的 ^{187}Os 都来自 ^{187}Re 的放射性蜕变。因此, 模式年龄可以通过辉钼矿中的 ^{187}Re 和 ^{187}Os 含量进行计算 (表 10)。

由于矿石类型不同, 辉钼矿中 ^{187}Re 和 ^{187}Os 含量变化比较大, 但是 Re 与 Os 之间的关系是明显的。5 个样品的模式年龄很相近, 为 $436\sim 496\text{ Ma}$ 。根据所测数据绘制出 $^{187}\text{Re}-^{187}\text{Os}$ 等时线图 (图略), 5 个点较均匀地分布在一条线上。等时线的相关系数 (r) = 0.9997 , 斜率 (b) = 0.007603 ± 0.00214 , 截距 (a) = 0.10 ± 0.29 , 等时线年龄为 $(462 \pm 13)\text{ Ma}$ (2σ)。小柳沟铜-钨矿床的辉钼

表 9 小柳沟铜-钨矿床铅同位素组成

序号	岩石、矿物名称	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	μ 值
1	基性熔岩 (全岩) ¹⁾	18.152 0	15.339 5	37.175	9.59
2	黄铁矿 ²⁾	18.099 20	15.541 565	37.686 811	9.41
3	黄铁矿 ²⁾	17.983 671	15.499 46	37.662 293	9.31
4	黄铁矿 ²⁾	18.039 964	15.480 678	37.599 632	8.355
5	黄铁矿 ²⁾	18.382 353	18.809 154	38.592 096	9.24
6	黄铁矿 ³⁾	18.099 2	15.541 6	37.686 8	9.41
7	黄铁矿 ³⁾	17.983 7	15.499 9	37.662 4	9.31
8	火山岩 ³⁾	18.455 2	15.565 7	38.501 0	9.59

注: 1) 铅同位素已校正; 2) 据长沙大地构造所黄瑞华等 (1995); 3) 据核工业部铀矿地质研究所。

表 10 小柳沟铜-钨矿床 Re-Os 同位素年龄

样品编号	取样量/g	$\text{Re} \pm 2\sigma/\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	$^{187}\text{Re} \pm 2\sigma$	$^{187}\text{Os} \pm 2\sigma/\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	模式年龄/Ma
XL7-1	0.255 5	2.266 ± 0.024	1.419 ± 0.015	10.17 ± 0.50	436 ± 12
XL7-3	0.211 3	4.972 ± 0.044	3.120 ± 0.027	23.67 ± 0.82	462 ± 17
XL7-6	0.200 1	8.470 ± 0.268	5.471 ± 0.168	42.74 ± 0.16	475 ± 15
XL7-7	0.243 0	1.67 ± 0.021	1.050 ± 0.012	7.90 ± 0.52	475 ± 5
XL7-10	0.294 7	0.760 ± 0.300	0.476 ± 0.019	3.89 ± 0.20	496 ± 32

矿 Re, Os 同位素测年结果与相邻的塔儿沟钨矿区矿脉中白云母 Rb-Sr 测年数据 434.64 Ma 基本吻合, 表明区内铜、钨、钼矿化发生于加里东期, 这为在中国定量确认第一个加里东期钨矿成矿带提供了准确的时代依据。这一年龄数据还表明, 北祁连山钨矿化和相关的花岗岩侵位发生于奥陶纪早中期, 也就是板块碰撞前期, 这与花岗岩岩石化学示踪成岩环境所得出的结论相吻合。

迄今在中国已确认有 3 种不同来源的辉钼矿, 其 Re 含量变化具有一定的规律性 (表 11), 在中国与磁铁矿系列 (I 型) 花岗岩有关的钼矿床和铜-钼矿床中辉钼矿含 Re 比较高, 例如辽宁兰家沟斑岩钼矿床的辉钼矿含 Re $31.04 \times 10^{-6} \sim 60.6 \times 10^{-6}$; 辽宁杨家杖子夕卡岩型钼矿床 33.4×10^{-6}

$\sim 53.1 \times 10^{-6}$; 河北寿王坟斑岩—夕卡岩型铜 (钼) 矿床 10.51×10^{-6} ; 北京大庄科角砾岩筒型钼矿床 11.5×10^{-6} ; 陕西金堆城斑岩型钼矿床 $12.9 \times 10^{-6} \sim 19.7 \times 10^{-6}$; 河南南泥湖—三道庄斑岩—夕卡岩型钼-钨矿床 $13.1 \times 10^{-6} \sim 53.7 \times 10^{-6}$; 城门山斑岩铜矿中辉钼矿含 Re $10.34 \times 10^{-6} \sim 14.78 \times 10^{-6}$; 乌努克吐山铜 (钼) 矿中辉钼矿含 Re 50.9×10^{-6} 。与钛铁矿系列花岗岩 (S 型) 有关钨-锡矿床的 Re 含量明显低于前者, 例如柿竹园钨-锡-钼-铋矿床辉钼矿 Re 含量仅 $1.04 \times 10^{-6} \sim 1.34 \times 10^{-6}$ 。陕西黄龙铺碳酸盐脉型钼 (铅) 矿床被黄典豪等证明为幔源型矿床, 其中辉钼矿的 Re 含量达 $283.5 \times 10^{-6} \sim 633.1 \times 10^{-6}$ 。多宝山—铜山斑岩铜 (钼) 矿床和铜矿峪斑岩铜矿十分特殊,



表 11 中国主要含 Mo 矿床中辉钼矿的 Re 含量

矿床名称	样品编号	Re/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	Re-Os 模式 年龄/Ma	参考文献	矿床名称	样品编号	Re/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	Re-Os 模式 年龄/Ma	参考文献
黄龙铺碳酸盐型钼	HD80-1	283.5 \pm 6.9	130 \pm 7	黄典豪等,1994	兰家沟—杨家杖子夕卡岩—斑岩型铜	L-1	31.04 \pm 0.74	188 \pm 5	黄典豪等,1996
	HD81-96	256.0 \pm 3.5	222 \pm 8			L-3	45.13 \pm 1.01	186 \pm 5	
	HD81-101	438.6 \pm 6.0	227 \pm 7			L-5	44.74 \pm 0.57	188 \pm 5	
	HD93-10	530.6 \pm 12.9	231 \pm 7			L-15	60.6 \pm 0.7	185 \pm 4	
	HD93-11	633.1 \pm 5.4	220 \pm 5			Y-15-1	34.4 \pm 0.5	190 \pm 6	
金堆城斑岩钼	J82-1	12.9 \pm 0.4	129 \pm 7	Y-15-2		33.8 \pm 0.3	187 \pm 2		
	J82-9	19.7 \pm 0.5	131 \pm 4	Y-17		55.1 \pm 1.2	191 \pm 6		
	J82-0	15.8 \pm 0.5	139 \pm 3	寿王坟夕卡岩型铜(钼)	SH-13	10.51 \pm 0.18	148 \pm 4		
南泥湖—三道庄斑岩—夕卡岩型钼-钨	N83-39	53.7 \pm 1.0	146 \pm 5	黄典豪等,1994	大湾斑岩—夕卡岩型铜(钼)	DW95-1	17.14 \pm 0.32	144.4 \pm 7.4	黄典豪等,1996
	N83-37	34.27 \pm 0.48	146 \pm 46			大庄科爆破角砾岩型钼	DC-95-1	15.97 \pm 0.16	
	N0-26	36.68 \pm 0.92	156 \pm 8		DC-95-11		20.19 \pm 0.32	144.7 \pm 10.7	
	N83-52	22.3 \pm 0.4	148 \pm 10		DC-95-2		11.24 \pm 0.20	146.4 \pm 5.9	
		3-3	131.7 \pm 0.1		147 \pm 6	乌努克吐山铜(钼)	W-48	50.9 \pm 0.4	
城门山斑岩型铜	CH-2	14.87 \pm 0.16	144 \pm 2	吴良士等,1997	多宝山—铜山铜(钼)	Du-9	567 \pm 19	521 \pm 20	赵一鸣等,1997
	CH-3	13.17 \pm 0.29	139 \pm 3			Du-20	537.9 \pm 25	509 \pm 5	
	CH-4	10.34 \pm 0.21	140 \pm 2			D865	303.2 \pm 1.5	507 \pm 3	
	CH-5	10.76 \pm 0.09	139 \pm 3			832-860	822 \pm 21	505 \pm 14	
柿竹园钨-钼-铋-铍	TP-16-1	1.22	154	李红艳等,1996		832-2	497 \pm 6	476 \pm 14	
	TP-16-2	1.34	153		S-528-1	1 240 \pm 40	2 109		
	TP-17-1	1.22	149		S-528-2	1 280 \pm 20	2 076		
	TP-17-2	1.32	130		870-5147-3	176.1 \pm 3.0	2 098		
	560-9-1	1.04	158						
560-9-2	1.16	151							
小寺沟斑岩—夕卡岩型铜(钼)	S-17	37.14 \pm 0.5	134 \pm 3	黄典豪等,1996					

其辉钼矿中 Re 含量十分高,分别为 303.2×10^{-6} ~ 888×10^{-6} 和 171.2×10^{-6} ~ $1\,280 \times 10^{-6}$ 。这可能预示着这 2 个含矿斑岩来源于上地幔及壳-幔之间。由此可以总结出从幔源、壳-幔混源到壳源,辉钼矿的 Re 含量各递降 1 个数量级。小柳沟钨-钼矿床中辉钼矿的 Re 含量为 0.8×10^{-6} ~ 8.7×10^{-6} ,平均 3.7×10^{-6} ,说明其物质来源介于壳源—壳-幔混源之间,更偏向壳源一端。

综上所述,矿床成因应属火山喷发沉积-岩浆热液改造型矿床。

5.2 成矿模式

中元古代地壳拉张,在镜铁山一带形成了大小不一的构造盆地,接受陆源碎屑沉积时伴随火山喷发活动,部分 W, Cu, Mo 等元素随着沉积作用进入特定的层位形成本区矿源层。加里东运动所诱发的重熔型中酸性花岗岩侵位上拱,导致区内地层在横弯褶皱作用下形成穹隆及配套的放射状、环状断裂以及层间的虚脱构造;此外,由于岩浆侵入所产生的含矿热液进一步对初始矿源层进行改造,使其富集;富含再度活化的含矿地下水与岩浆衍生热流体汇合沿裂隙充填形成石英脉钨矿体,从而形成本区钨-多金属矿床(图 5)。

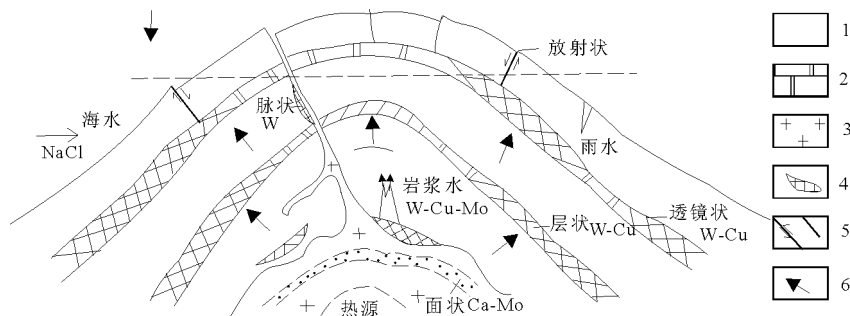


图 5 小柳沟矿区成矿模式图

1—玄武岩、角闪片岩;2—灰岩或夕卡岩化灰岩;3—花岗岩;4—矿体;5—裂隙;6—热液运移方向



湖南瑶岗仙夕卡岩型钨矿床

瑶岗仙钨矿区位于华南加里东褶皱系的中部，湘南—粤北燕山隆起北缘。

本区有三大构造层：加里东、华力西和燕山构造层，三者呈不整合接触。加里东构造层有寒武系浅变质砂岩、板岩；华力西构造层为中泥盆统（ D_2 ）砂岩、砂砾岩、页岩，中上泥盆统（ D_{2+3} ）灰岩、页岩，下中石炭统（ C_{1+2} ）灰岩、砂岩、页岩；燕山构造层为下侏罗统（ J_1 ）石英砂岩、长石

砂岩、砂砾岩、页岩。各时代地层都有矿体赋存，但以泥盆系为最重要。

瑶岗仙区域构造线为 NE 向，矿区分布于老虎垄背斜的 SW 倾没端（图 1）。区内构造以断裂为主，主要断裂有 NE 和 NW 向 2 组。其中几条主断裂（ F_1 ， F_2 ， F_3 ， F_4 ），构成本区 NW 向延长的方块构造。

方块里的 NE 向炉厂坪—刘王殿断裂，可能是

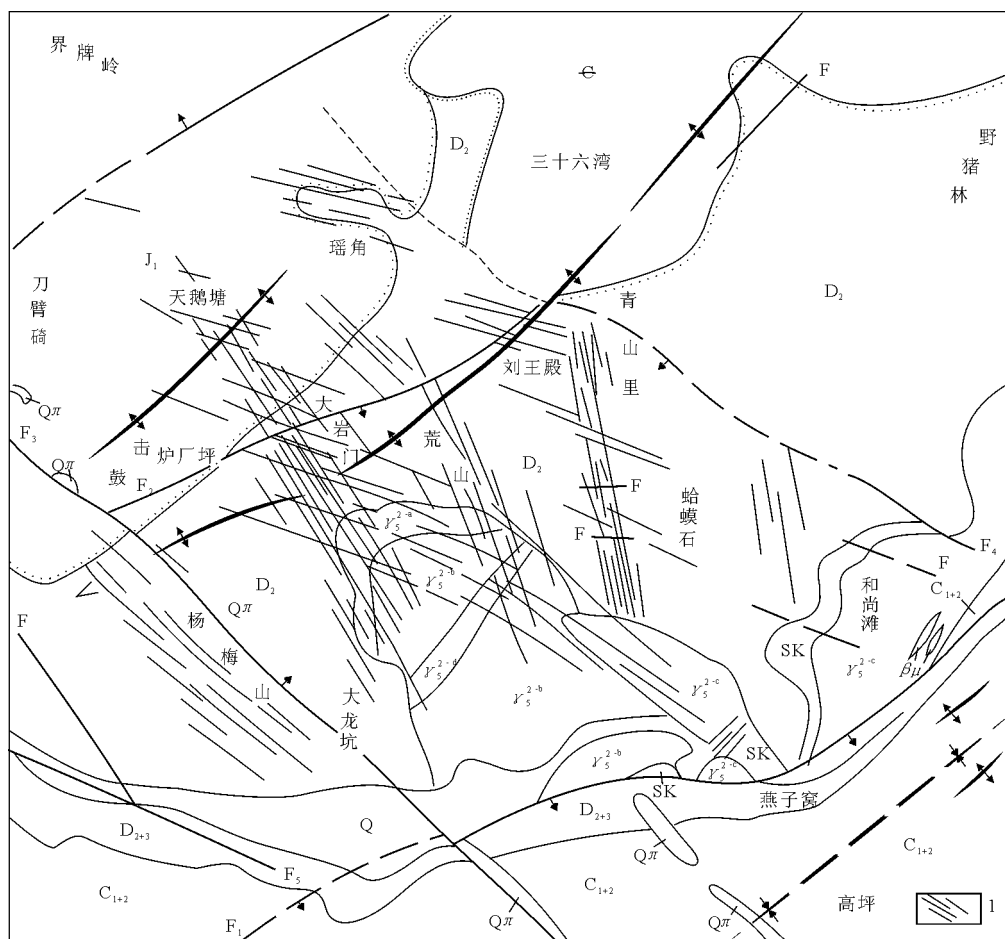


图 1 瑶岗仙钨矿床地质构造图（据湖南地质局 206 地质队原图修整）

Q—第四纪冲积层； J_1 —下侏罗统砂岩； C_{1+2} —下中侏罗统灰岩、砂岩； D_{2+3} —中上泥盆统灰岩； D_2 —中泥盆统砂岩； ϵ —寒武系浅变质砂岩、板岩； β_x —辉绿岩； $Q\pi$ —花岗斑岩； γ_5^d —细粒微斑状白云母碱长花岗岩； γ_5^c —细粒斑状二云母二长花岗岩； γ_5^b —中粗白云母二长花岗岩； γ_5^a —中粗粒似斑状黑（白）云母二长花岗岩；SK—矿化夕卡岩；1—含矿石英脉

次一级构造，它严格制约容矿裂隙带的分布。容矿性质有两大类：沿层或层间挤压破裂（带）和剪性或压剪性裂隙带。前者主要是 NE 方向，形成层控型矿床；后者有 3 组：NNW，NW 和 NWW 组，形成脉状矿床。

瑶岗仙花岗岩出露于矿区中部，面积 1.2 km^2 ，呈复式岩株产出，长轴方向 NW，岩体云母 K-Ar 年龄 169~178 Ma，属燕山早期。陈依壤等（1987）根据岩体特征及其切割关系认为成岩可划分为 4 个阶段：中粗粒似斑状黑（白）云母二长花



闪岩 (γ^a) → 中粒白云母二长花岗岩 (γ^b) → 细粒斑状二云母二长花岗岩 (γ^c) → 细粒微斑状白云母碱长花岗岩 (γ^d)。此外, 还有一些脉如细晶岩、伟晶岩、辉绿岩、花岗斑岩、石英斑岩等, 它们均晚于上述花岗岩。

本矿区有多种类型矿床: 石英脉型钨矿床, 似夕卡岩型白钨矿床, 细网脉砂岩型白钨矿床, 花岗岩型钨-钼矿床, 花岗伟晶岩型钨矿床, 云英岩型钨矿床。外围尚有铅-锌矿化和锑-汞矿化。

1) 石英脉型黑钨矿, 瑶岗仙脉状钨矿床产于矿区中北部的复式岩体北段内外接触带, 赋矿围岩是寒武系、中泥盆统、下侏罗统和花岗岩。已知矿脉有 200 多条。出露标高为 1 690 m, 控制最深标高为 580 m, 垂直工业矿化区间为 300~1 000 m。矿脉成组成带产出, 以大岩门、荒山、蛤蟆石、杨梅岭等脉带的规模为大。按产状的不同, 主要矿脉可分为 3 组: NNW, NW 和 NWW 组。NWW 组脉带主要分布于矿床东部的岩体外接触带, 向 W 倾斜; NW 组脉带分布于矿床中部和西部的岩体内接触带, 多数倾向 SW, 少数倾向 NE; NWW 组脉带产出最为广泛, 矿床的不同地段和岩体的内外接触带均可见到, 但以矿床中北部的岩体 NW 接触带相对集中, 主要倾向 SSW。3 组脉带以 NWW 组成矿规模最大。整体脉带朝 SE (花岗岩内) 侧伏, 侧伏角大于 60° 。各脉带矿脉的侧幕交替现象比较普遍, 平面上以左行侧现为主, 垂直方向以后行侧列居多。

本矿床的单脉长 200~1 200 m, 厚 0.10~1.5 m, 延深 100~1 000 m, 其中以 NWW 组单脉规模最大。

脉钨矿床的金属矿物有黑钨矿、锡石、白钨矿、黝锡矿、毒砂、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、黄铁矿、磁黄铁矿、辉铅铋矿、绿柱石、辉铋矿、斑铜矿、车轮矿、菱锰矿等 20 余种, 其中黑钨矿是最主要的工业矿物; 非金属矿物有石英、白 (绢) 云母、锂白云母、黑云母、长石、萤石、黄玉、方解石和绿泥石等。

钨是本矿床的主要工业元素, 锡、铜、锌等可以综合利用。在各组矿脉中, 钨、锡、钼、铋、铍以 NNW 组含量最高, 铜、锌、铅、砷以 NWW 组为最高, NW 组各种元素则介于二者之间。黑钨矿主要是钨锰铁矿, 部分为钨锰矿; 矿物中的铋、钼含量与华南同类矿床基本一致。

按矿床中各组矿脉的穿切关系和矿物成分差异, 可以分成 4 个成矿阶段: I 黑钨矿-锡石-石英

(NNW 组); II 黑钨矿-硫化物-石英 (NW 组); III 黑钨矿-多硫化物-石英 (NWW 组), IV 碳酸盐。

各组矿脉从 NNW 组 → NW 组 → NWW 组矿化深度越来越大, 其中后者达千米, 但矿化强度逐渐减弱, 从而构成从东往西钨含量逐步降低的趋势。

无论脉带或矿体, 沿走向都以中部的钨-锡矿化最富, 往两端逐渐减弱; 在垂直方向, 钨的富集部位在中部至中上部, 锡则多在中上部, 形成接触带外侧围绕岩体分布的马蹄形富矿带。

钨的含量变化系数平均为 139~300, 并具分段富集特征, 在平面上富矿段长度一般为 20~30 m, 其间的贫矿段往往大于富矿段。但矿化均匀性与矿脉平均品位相关, 品位高的矿脉矿化较均匀。锡的矿化均匀性和稳定性都较好, 在任何方向上都较少出现品位突变现象。

黑钨矿的局部富集与金属矿物特别是硫化物的种类和数量略呈正相关, 而与辉钼矿、长石、萤石等似为负相关。

矿脉形态产状变化部位, 如分支、交叉、膨胀、弯曲、陡缓转变处, 钨矿化相对富集, 并且出现较多的富矿包 (砂包)。

本矿床的矿化具有 2 个特点: 一是矿床 (主要是 NWW 组脉带) 在垂直方向上同时穿过加里东、华力西、燕山期 3 个构造层, 并在各构造层中都有工业矿体, 这在中国的脉钨矿床中是独一无二的; 二是矿床中部脉带下方、花岗岩 NW 端的接触带, 出现多个 NWW 方向的规模较大的细脉带型矿带, 它与外接触带同方位脉带呈衔接递变关系, 而且在该细脉带下部又见到大脉, 从而造成内外接触带特大矿化深度, 这类脉状矿床也是极为罕见的。

脉钨矿床的围岩蚀变有硅化、毒砂化、黄铁矿化、云英岩化、白云母化、叶蜡石化、黄玉化、碳酸盐化、绿泥石化等。垂直方向上矿床具有形态分带性: 出露在外接触带沉积 (变质) 岩地表的线、细脉带往下逐渐收敛合并为大 (薄) 脉, 当进入下部花岗岩时, 在接触面上再次出现新的线、细脉带, 往下也有合并变大现象, 深部又探出宽度更大的矿脉。主要金属元素在垂直方向上与各带矿物大体相应: 锡、铍富集在中上部, 钨、铜、锌在中部至中上部, 铅在中部, 钼在中下部。

石英包裹体均一化测温: 1 275 m 中段 (五中段) 平均温度为 252°C , 1 041 m 中段 (十一中段) 为 278°C , 708 m 中段 (十九中段) 为 284°C , 590 m 中段 (钻孔) 为 323°C 。

2) 夕卡岩型白钨矿, 本矿床的赋矿层位 2 个:



一是矿区东部和尚滩、燕子窝一带的中上泥盆统碎屑岩、碳酸盐岩；二是寒武纪钙质板岩。但后者规模小、品位低。矿体的赋存部位主要是在接触带以外的砂岩与灰岩的界面及其附近的薄层灰岩，并且严格受层位控制。它不完全是接触交代所形成，故称为似夕卡岩型矿床。

矿体赋存于夕卡岩及其上下的夕卡岩化岩石中，呈似层状和扁豆状产出。夕卡岩和矿体的产状都与地层一致，走向 NE，倾向 SE，倾角 $30\sim 40^\circ$ 。主要矿层沿走向长 $500\sim 2\,000\text{ m}$ ，倾斜沿深 $300\sim 1\,400\text{ m}$ ，各矿层厚 $10\sim 22\text{ m}$ 。

似夕卡岩钨矿床包括 3 个部分：中间夕卡岩矿体，上部夕卡岩化灰岩矿体，下部夕卡岩化角页岩-板岩矿体。在夕卡岩和夕卡岩化灰岩矿体中，有较多的含矿细脉，包括石英长石萤石脉、石英方解石萤石脉、方解石硫化物脉、萤石脉、白云母石英脉等。有用矿物一部分浸染于夕卡岩和夕卡岩化灰岩中，另一部分则分布在各种细脉中，为浸染细脉状矿体。

原生矿石中已知的金属矿物有白钨矿、辉钼矿、辉铋矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、黄铁矿、磁黄铁矿、毒砂及少量锡石；非金属矿物有符山石、硅灰石、石榴子石、透辉石、透闪石、阳起石、绿帘石、萤石、方解石、石英、绿泥石、金云母、白云母、绢云母、蛇纹石、高岭石等；氧化带则有钨钼钙矿、钨铅矿、钨钼铅矿、钨华、白铅矿、水锌矿、铜蓝、褐铁矿及一些原生矿石残留下来的矿物。

白钨矿一般富集于复杂夕卡岩中，夕卡岩矿物越复杂，白钨矿含量越高。白钨矿的产出与硫化物紧密相关，其中与黄铁矿和磁黄铁矿的关系尤为密切；伴生硫化物的种类越多，含量越高，白钨矿越富集。白钨矿与萤石的共生具有特殊意义，即萤石集中的部位，白钨矿明显相对富集。白钨矿的富集受含矿细脉密度和类型的制约，含脉密度越大，白钨矿含量越高，其中石英萤石脉、石英硫化物脉、白云母石英脉等越多，白钨矿就更富集。靠近花岗

岩体矿段和切穿含矿层的 NW 向断裂上盘，钨品位增高。

围岩蚀变类型有夕卡岩化、绢（白）云母化、硅化、黄铁矿化、萤石化、绿泥石化、白云母化、蛇纹石化等。夕卡岩化、大理岩化、白云母化、蛇纹石化主要出现在碳酸质岩石中，绢（白）云母化、硅化多见于泥砂质碎屑岩内，黄铁矿化、萤石化、绿泥石化则各类围岩普遍存在。与成矿关系最为密切的蚀变是夕卡岩化、云母化、硅化和萤石化。

本矿区的矿床可分三大类：岩体内的钨（花岗岩型、伟晶岩型、云英岩型）矿床；岩体内外的脉状矿床；层控型（似夕卡岩型、细网脉砂岩型）矿床。矿脉中白云母 K-Ar 年龄为 178 Ma 。

瑶岗仙脉钨矿床石英流体包裹体有 3 类：气相、液相和含 CO_2 液相。似夕卡岩白钨矿矿床的包裹体有液相和气相 2 类。2 类包裹体的气相成分及其相对含量： $\text{H}_2\text{O} > \text{CO}_2 > \text{CH}_4 > \text{N}_2 > \text{CO} > \text{O}_2$ 。液相成分中阳离子及其相对含量： $\text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ ，阴离子以 Cl^- 和 F^- 为主，并有少量 HCO_3^- 和 SO_4^{2-} 。由此得知石英包裹体富含 CO_2 ， Cl^- 和 F^- 等成分与钨矿化强度呈正相关。

包裹体溶液的 pH 值为 $4.70\sim 7.25$ ，盐度为 $5.1\%\sim 5.8\%$ ，密度值为 0.79 g/cm^3 。脉钨矿床的石英包裹体均一温度为 $240\sim 283^\circ\text{C}$ ，爆裂温度为 $265\sim 375^\circ\text{C}$ ，黑钨矿爆裂温度为 $150\sim 260^\circ\text{C}$ 。似夕卡岩矿床中主要夕卡岩矿物形成温度可能大于 400°C ，但有用矿物的形成或许还是在 300°C 以下。脉钨矿床成矿压力为 $361\times 10^5\sim 720\times 10^5\text{ Pa}$ 。推算成矿深度为 $1\sim 3\text{ km}$ 。 $\delta^4\text{S}_{\text{硫化物}} = -1.0\text{‰}\sim 0.6\text{‰}$ 。脉钨矿床石英的 $\delta^8\text{O}$ 平均值为 12.8‰ ，黑钨矿 $\delta^8\text{O}$ 为 5.12‰ 。利用石英-水氧同位素分馏方程计算本矿床矿物包裹体水 $\delta^8\text{O}$ 为 $5.85\text{‰}\sim 8.17\text{‰}$ ，平均为 6.89‰ 。脉钨矿床的石英包裹体水的 δD 值为 $-40\text{‰}\sim -70\text{‰}$ 。

摘自《中国矿床》中册

湖南新田岭夕卡岩型钨矿床

新田岭钨矿区位于湖南省郴州市南西 18 km 处，为大型夕卡岩型白钨矿床，矿区面积 21.74 km^2 ，累计探明储量 WO_3 30.31 万 t ，并伴生可观的锡、钼、铋等矿产。1957 年发现有白钨矿矿体，

1958—1964 年进行普查、详查，1978—1981 年进行勘探。矿床规模巨大，白钨矿储量丰富，矿石可选性较好，并可综合回收钼、铋、铍、镓等矿产品，是一个具有重要经济价值的特大型夕卡岩型白



钨矿床，可供近期开发利用。

矿床位于华南加里东褶皱系中部湘桂粤坳陷区、骑田岭花岗岩体东北端与石炭系碳酸盐岩地层的接触带。区内地层主要是石炭系，其层序和岩性自下而上：下统为岩关阶下段白云质灰岩及白云岩；大塘阶石磴子段，下部为微晶灰岩，上部为泥质灰岩、中晶灰岩夹泥质条带灰岩；测水段，下部石英砂岩夹钙质页岩，中部灰质页岩、页岩夹薄层砂岩，上部砂页岩互层夹灰岩、白云质灰岩透镜体；梓门桥段白云岩。中上统为壶天群白云质灰岩（图1）。矿区岩浆岩为骑田岭花岗岩体，属印支期到燕山早期的产物，主体侵入岩为斑状黑云母花岗岩基，是该区主要成矿岩体。直接控矿构造为沿花岗岩体边缘凸凹形态的接触构造以及钙质围岩的层间构造。全区共有大小矿体约80个，按其分布空间及控矿因素的不同分为3个矿带：Ⅰ矿带，分布于外接触带，矿体规模小、厚度薄，连续性也较差；Ⅱ矿带，产于正接触带，为该区主矿带，钨储量占全矿2/3以上，大小矿体20余个，其中储量达1万t以上的矿体有3个，最大的矿体长1600m，沿倾向控制70~400m，厚10m以上，最厚地段达64m；Ⅲ矿带，主要产于岩体内的灰岩捕虏体中，大小矿体共20余个，其中钨储量达1万t以上的矿体有2个，整体矿带规模仅次于Ⅱ矿带。矿床围岩蚀变发育，主要有夕卡岩化、硅化等。矿床矿石组合主要为夕卡岩-白钨矿矿石，其

次有辉钼矿-白钨矿矿石，辉钼矿-辉铋矿矿石，磁黄铁矿-铁闪锌矿矿石。矿床平均品位（ WO_3 ）0.37%。伴生组分：钼0.015%，锡0.025%，以及铋、铅、锌、金、银等。矿床类型为典型夕卡岩白钨矿床。

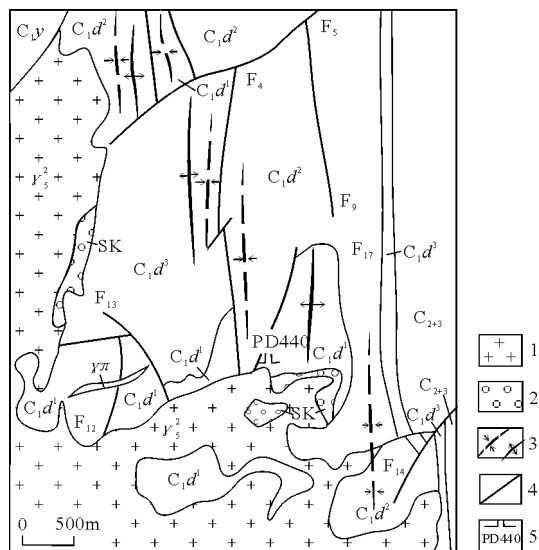


图1 新田岭矿区地质略图

C2+3—中上石炭统壶天群；C1d—下石炭统大塘阶；C1d¹—石磴子段；C1d²—测水段；C1d³—梓门桥段；C1y¹—下石炭统岩关阶；γπ—花岗斑岩；1—燕山花岗岩（ γ ）；2—夕卡岩（SK）；3—背、向斜轴；4—断层；5—坑道位置及编号

摘自《中国矿情·第二卷 金属矿床》

甘肃塔儿沟石英脉型钨矿床

塔儿沟矿区位于祁连山褶皱系，中祁连隆起区大雪山复式向斜东北侧，属于秦岭—祁连山成矿带西段肃北蕴矿区。矿床赋存在构成塔儿沟背斜的前震旦纪变质岩层（中元古代早期长城系）。北邻野牛滩加里东期花岗闪长岩体，地处海拔3782m。

矿区南侧外围大雪山复向斜中分布有震旦系、奥陶系、石炭系、白垩系、第三系等。矿区内皆为前震旦纪变质岩（图1）。

区内出露的前震旦纪变质岩系不仅是空间上的赋矿层位，而且为矿床的形成提供了一定的矿质。如主要容矿层之片岩段，层中的钨含量都远远高于地壳克拉克值：石英岩26倍，角闪石英片岩60倍，绢云石英片岩56倍，千枚岩60倍，黑云石英片岩32倍，二云石英片岩20倍，大理岩16倍。

区内岩浆岩以中酸性岩为主，其次为超基性

岩、基性岩和碱性岩。中酸性岩有花岗闪长岩、石英闪长岩、角闪花岗岩、二长花岗岩等。与成矿有关的主要为分布于矿区东北侧的野牛滩加里东期花岗闪长岩：呈岩墙状产出，长1000m，宽20m，在矿区东部呈指状岩支隐伏于矿体的下方。

矿床处于北祁连加里东褶皱带和中祁连隆起2个区域构造单元交接部位，既为NW向转为EW向构造的枢纽地段，又是大雪山坳陷与塔儿沟隆起交替带的正性地块边缘。野牛滩花岗闪长岩南侧前震旦系组成紧闭的塔儿沟背斜，轴向310~315°，矿区就处于背斜轴部中段的条带状大理岩分布区。断裂、裂隙与塔儿沟背斜具有密切成生联系，断裂多属褶皱过程中的伴生压（扭）性构造。与褶皱平行或呈锐角交切的NW，NWW，近EW走向断裂及其派生的次级裂隙最为发育，具压性或压扭性特

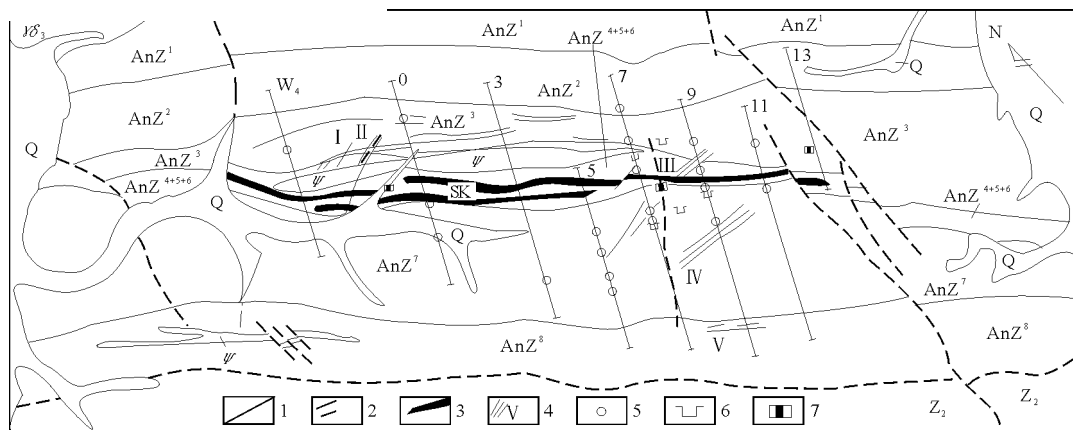


图1 甘肃塔儿沟钨矿床地质简图(据甘肃地质局第四地质队修编, 1982)

Q—第四纪冲—洪积物; Z₂—中震旦系灰岩、板岩千枚岩; AnZ⁸, AnZ⁷, AnZ⁴⁺⁵⁺⁶, AnZ³, AnZ², AnZ¹—前震旦系千枚岩, 绢英片岩, 条带状大理岩, 绢英片岩, 石英片岩, 红柱石片岩; Y₈₃—花岗闪长岩; φ—斜长角闪岩; 1—断层; 2—黑钨矿石英脉; 3—夕卡岩白钨矿; 4—矿带及编号; 5—钻孔; 6—平巷; 7—浅井

征, 延伸规模较大, 往往被岩脉或矿脉所充填。

1) 石英脉型钨矿体, 全区达到工业要求的矿脉共 180 余条, 产于塔儿沟背斜轴部与靠近轴部的两翼地段。矿脉的围岩为绢云片岩、绢英片岩、红柱石片岩、条带状大理岩以及千枚岩。全区划分 5 个脉带: I 和 II 号脉带走向 320°, 长 600 m, 宽 100~250, III 和 IV 号脉带走向 NWW 到近 EW, 长 700 m, 宽 50~150 m; V 号脉带走向 290~300°, 长 500 m, 宽 20~40 m。各脉带均出露在海拔 3 500 m 以上, 向 NE 方向以 60~70° 倾角下延, 深达 600 m 矿脉仍无显著变化。

矿石可划分为黑钨矿-石英和硫化物-黑钨矿 2 种矿石类型。黑钨矿-石英矿石, 由黑钨矿、石英、绿柱石、黄玉组成。矿石品位最佳。黑钨矿为中细粒、粗粒、巨板状晶体(长 7~12 cm), 呈星散块粒状或稀疏状产出, 局部见块状集合体。硫化物-黑钨矿矿石, 成分以硫化物为主。金属矿物有黑钨矿、白钨矿、辉铋矿、辉钼矿、绿柱石、黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、锡石等; 非金属矿物主要为石英, 其次为毒砂、白云母、黑云母、电气石、萤石、方解石、黄玉、重晶石等。

成矿作用分 3 个阶段。气化高温矿化阶段: 主要晶出硅酸盐-氧化物矿石, 有白云母、黄玉、绿柱石、石英、黑钨矿、白钨矿、锡石, 少量辉铋矿、辉钼矿、黄铁矿等; 高中温矿化阶段: 以氧化物-硫化物为主, 有石英、绿柱石、黑钨矿、白钨矿、锡石、辉铋矿、黄铁矿、毒砂、黄铜矿等; 中低温矿化阶段, 硫化物居绝对优势, 局部有碳酸盐矿物, 有方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、毒砂、黄铜矿、辉铜矿、斑铜矿及重晶石、方解石、萤石等。矿脉

上部多为气成高温矿物, 如绿柱石、辉铋矿等; 中下部多属高—中低温矿物, 主要是大量硫化物。

2) 似夕卡岩型白钨矿矿体, 分布于塔儿沟背斜轴部, 呈似层状、连续透镜状整合产于条带状大理岩中, 构成较稳定的矿层。矿层倾向 205~215°, 倾角 60~80°, 走向延长 2 000 m, 宽 20 m, 延深 300 m 以上。其中工业矿体已圈定 21 个, 最长者 710 m, 一般厚 2~5 m。矿层中除主要的白钨矿矿体外, 还散见规模较小的扁豆状铅-锌矿体。白钨矿矿体的主要金属矿物有白钨矿、绿柱石、黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿、方铅矿、闪锌矿等; 非金属矿物为石英、透辉石、钙铁石榴子石、符山石、方解石、萤石、白云母等。

似夕卡岩白钨矿矿化可分为 2 个矿化阶段。夕卡岩化阶段: 条带状大理岩层, 通过动-热变质作用, 形成反应夕卡岩或顺层渗滤交代夕卡岩, 主要由无水硅酸盐矿物组成, 矿物成分为钙铝石榴子石、透辉石、符山石以及白钨矿等; 石英硫化物阶段: 早期夕卡岩进一步遭受热流体渗滤交代作用, 生成多量金属硫化物及部分白钨矿。

石英脉型钨矿体的围岩主要为绢云石英片岩、角闪石英片岩、条带状大理岩等, 从而出现多种蚀变类型: 白云母化、硅化、云英岩化、碳酸盐化, 还有绢云母化、黄铁矿染等。似夕卡岩白钨矿矿体的蚀变主要是夕卡岩化, 广泛分布于条带状大理岩与角闪石英片岩中, 而不产在岩体接触带。

塔儿沟钨矿区硫同位素组成表明似夕卡岩中 $\delta^4\text{S}$ 为 11.43‰~ -2.52‰, 而角闪片岩以及黑钨矿石英脉中的 $\delta^4\text{S}$ 几乎多集中于 10‰~ -15‰。

摘自《中国矿床》中册



江西大吉山热液型钨矿床

大吉山钨矿区位于江西省全南县大吉山镇，距县城 41 km，大型黑钨矿床，累计探明储量 (WO_3) 17.39 万 t (据《中国矿床发现史·江西卷》公布的储量)，并伴生丰富的铋、钼、铍、铌、钽等矿产。矿山建设是国家第一个五年计划的 156 项重点建设工程之一。

大吉山钨矿发现于 1918 年，之后民窿开采。地质调查工作最早始于 1929 年。1953—1955 年由重工业部中南有色局长沙地质勘探公司二〇五队进行大规模的详细勘探，1956 年提交了《大吉山钨矿地质勘探报告书》。1969 年，为寻找富钼矿在矿床深部发现 69 号花岗岩型钽-铌-钨-铍矿体，1982 年提交了《江西省全南县大吉山矿区花岗岩型钽-铌-钨-铍矿床地质勘探报告》。

矿区位于赣湘粤加里东隆起成矿带的九连山区。近 EW 向延展的隆褶带与 NE 向断裂复合部位是该矿床成岩成矿的主要定位构造。区内地层为寒武纪板岩、变质砂岩。2 条平行断裂延伸较远，为寒武系与泥盆系之分界 (图 1)。区内燕山期花岗岩浆活动频繁，具有同源多阶段成岩成矿演化系列。矿区北侧出露有面积粗粒斑状黑云母花岗岩，矿区深部隐伏有中粒二云母花岗岩；上部过渡为细粒钠长石化白云母花岗岩岩盖，即为钨-铍-钽-铌矿化岩体，又称 69 号岩体。矿区分布有石英脉

型黑钨矿床、岩体浸染型钨-铍-钽-铌矿床和稀土矿床，构成典型的多型共生钨矿床。石英脉型黑钨矿床，矿体主要赋存在燕山早期花岗岩及其外接触带的寒武纪浅变质岩系中，并以外接触带为主。含钨石英脉 (矿脉)，主要呈 NWW 和 NNE 向，平行密集成群成组产出。单脉可见尖灭再现、膨缩、分支复合、弯曲等现象。矿区共有编号矿脉 113 条，其中有开采价值的矿脉 103 条，并分为南中北 3 组，均向 NE 倾斜，倾角 $70\sim 80^\circ$ 。各脉组由上往下渐次收敛，由西向东渐散开。脉组水平延长一般 $850\sim 900\text{ m}$ ，最大达 $1\,150\text{ m}$ ，矿脉延深 $800\sim 900\text{ m}$ ，最深可达 $1\,000\text{ m}$ 。平均厚度 0.45 m ，最厚可达 3 m 以上。矿脉围岩蚀变主要为硅化、云英岩化、电气石化、黑云母化、绿帘石化、黄铁矿化等。金属矿物有黑钨矿、白钨矿、辉铋矿、辉钼矿、方铅矿、闪锌矿等。矿石平均品位 WO_3 2.033% ，伴生钼 0.038% ，铋 0.105% ，铍 0.021% ，锡 0.02% 。通常将大吉山钨矿划为石英脉型黑钨矿床，实际根据该区具多型矿床共生特征及其所反映的成岩成矿演化系列，可简略概括为 (由早到晚)：成岩阶段 (黑云母花岗岩—二云母花岗岩—白云母花岗岩—似伟晶岩)→自变质交代矿化阶段 (白云母花岗岩浸染型钨-铍-钽-铌矿床)→岩浆期后含矿热液充填阶段 (黑钨矿石英脉矿床)。

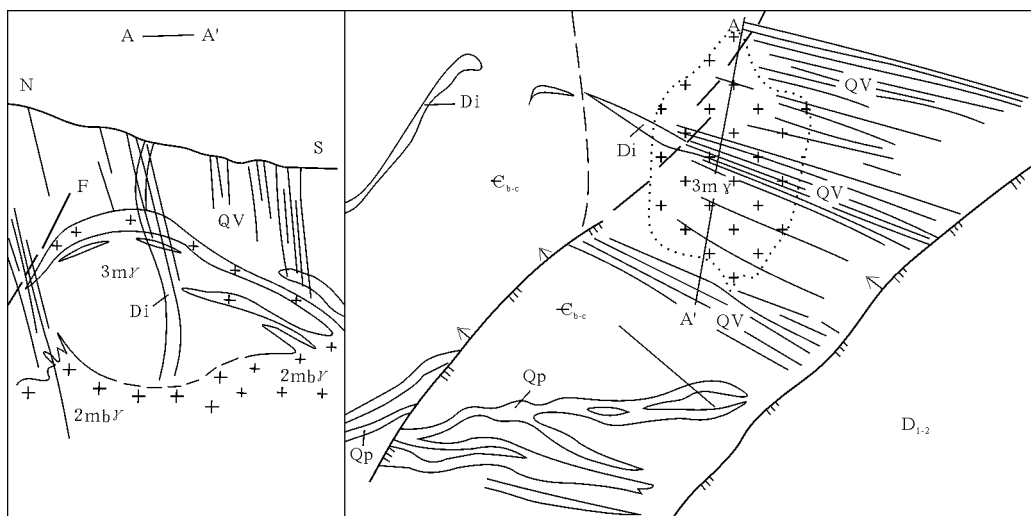


图 1 江西大吉山矿区地质略图 (据甘肃地质局第四地质队修编, 1982)

D_{1-2} —泥盆纪砂岩、砾岩； ϵ_{b-c} —寒武系浅变质砂、板岩； $3m\gamma$ —细粒白云母花岗岩 (矿体，平面图上为投影范围)； $2mb\gamma$ —中粒二云母花岗岩；Di—闪长岩；Qp—石英斑岩；QV—含钨石英岩脉

矿区位于江西省北部,地处九岭 EW 构造带与赣州、波阳新华夏系坳陷带的交接部位(张大椿,1984)。区内出露地层单一,除第四系外全部



为元古宇板溪群浅变质岩类，主要由泥质、砂质和凝灰质板岩组成。成矿母岩为燕山晚期中酸性杂岩体，按其形成的先后顺序：石英闪长岩、花岗闪长岩、花岗闪长斑岩第一期和第二期。其中花岗闪长

岩构成杂岩体的主体，并有多次隐爆角砾岩，花岗闪长斑岩第二期为主要的矿化母岩。自岩体向外有 200~600 m 宽的热接触变质晕，主要由长英质云母角岩组成（图 1）。

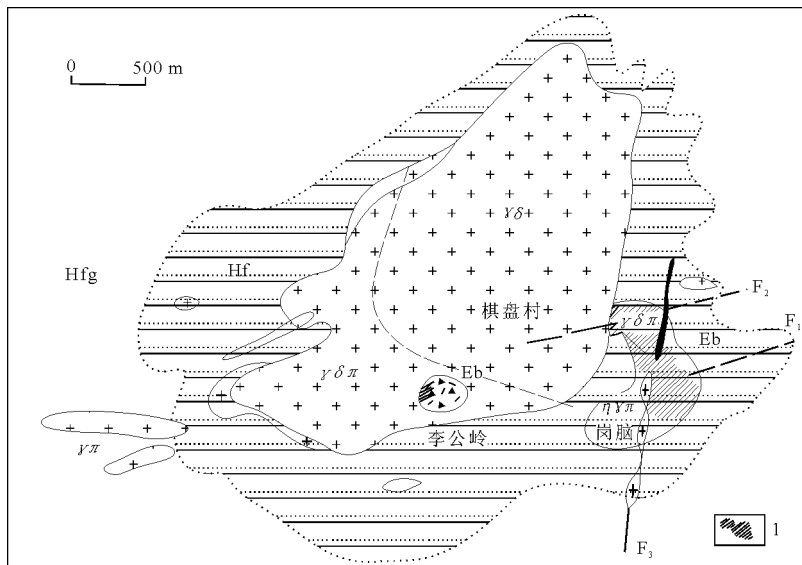


图 1 江西阳储岭矿床地质略图

Hfg—元古宇板溪群；Hf—角岩； $\gamma\delta$ —花岗闪长岩； $\gamma\delta\pi$ —花岗闪长斑岩； $\eta\gamma\pi$ —二长花岗斑岩； $\gamma\pi$ —花岗斑岩脉；Eb—爆破角砾岩筒；1—钨-钼矿体

钨-钼矿化呈网脉状、浸染状产出，具有斑岩矿化特征。矿体呈近水平似层状。白钨矿体长 200~500 m，宽 100~300 m，单层厚数米至数十米，最厚为 139 m。钼矿体长 200 m 左右，宽 100~200 m，单层厚 4~15 m，最厚 23~72 m。平均品位： WO_3 为 0.19%，Mo 为 0.06%。矿石类型及矿物组合，按矿体赋存的围岩分为斑岩型和角砾岩型矿

石。主要金属矿物以白钨矿为主，次为黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿等。与矿化有关的热液蚀变主要发育在岩体的顶部。蚀变类型主要有钾长石化、黑云母化、硅化、绢云母化、绿泥石化、碳酸盐化等。

矿化类型为斑岩型钨-钼矿床。

摘自《中国矿情》第二卷·金属矿床

广东锯板坑石英脉带型钨矿床

锯板坑钨矿区位于广东省连平县城东北 23 km 处，地处九连山腹地，是九连山钨矿带的重要组成部分，为特大型石英脉黑钨矿床，已控制的钨矿储量（ WO_3 ）10 万 t 以上，伴生的铅、锌、铜、锡、银等也有可观的储量。

矿区发现于 1981 年，是一处断续开采的钨-锡矿点。矿区地质调查始于 1956—1958 年，1965—1969 年完成矿区地质评价，1978—1983 年完成第一阶段地质勘探。

矿床处于南岭纬向构造带的东段，大东山—贵东 EW 向岩浆、断裂带东端南缘与 NE 向九连山复式褶皱带的复合部位。矿体围岩为奥陶纪浅变质碎

屑岩。岩浆岩不发育，控制矿体垂直深度达 1 000 m 无尖灭趋势，亦未见花岗岩体及其他酸性岩体。主要矿体为 EW 向石英脉带黑钨矿，次为 NW 和 NE 向薄脉组（图 1）。矿区分布的矿体规模巨大，EW 向脉带有 9 条工业矿体，长度 178~1 114 m，平均 685 m，控制深度 264~923 m，平均 629 m，累计厚度 16 m，矿体厚度变化系数 53%~83%，部分钻孔主要矿体真厚度近 8 m，矿石钨锡平均品位近 1%。金属矿物主要有黑钨矿、锡石、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、黄铁矿等。石英脉带矿化垂直分带具有“五层楼”分布规律，有脉带型和单脉型两大类矿体。矿床类型为石英脉带型黑钨矿床。

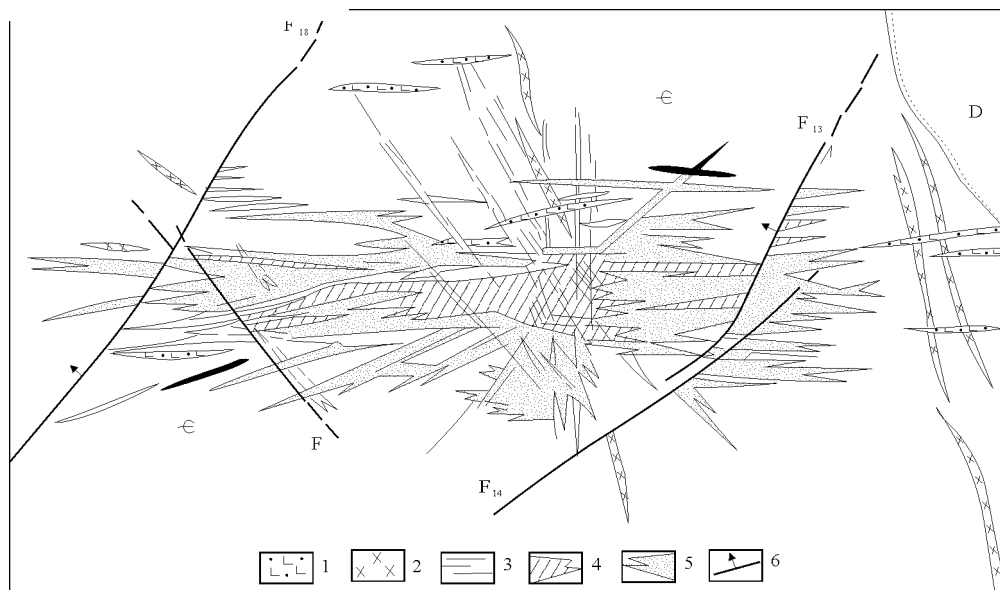


图1 广东锯板坑矿床地质略图(据广东冶金923队)

€—寒武系; D—泥盆系; 1—云斜煌斑岩; 2—次闪辉绿岩; 3—石英大脉; 4—密集细脉带; 5—稀疏细脉带; 6—断层

摘自《中国矿情》第二卷·金属矿床

广西珊瑚—长营岭花岗岩型钨-锡矿床

珊瑚钨-锡-铋矿区位于华南褶皱系的中部,贺县华力西拗陷区内。出露的地层为泥盆系:下统莲花山组(D_1l)砂岩、砂砾岩和页岩,那高岭组(D_1n)页岩和灰岩;中统郁江组(D_2y)为砂岩、页岩及少量泥灰岩,东岗岭组(D_2d)灰岩或白云质灰岩;上统桂林组(D_3k)全为灰岩。在钻孔中还见有寒武系地层,主要是浅变质的石英砂岩和长石砂岩。各类矿床均赋存于中下泥盆统。地层中W的平均值为 52.33×10^{-6} ,相当于地壳同类岩系平均值的40倍,Sn平均值 59.08×10^{-6} ,为平均值的29倍。

成矿区构造以断裂为主:NE,NW,近SN和近EW向,其中以NE向最多。最大的NE向断裂是笔架山和石灰山断裂,倾向SE,属逆冲构造。长营岭钨矿床即在这2条断裂之间。

岩浆岩仅见于成矿区西部的盐田岭,有花岗岩小岩株出露,面积约 0.14 km^2 ,属细粒花岗岩。全岩K-Ar同位素年龄为106~111 Ma,属燕山晚期。Rb/Sr值3.23,全岩的 $\delta^{18}\text{O}=9.6\%$ 。

长营岭矿区坑道内见有正长石脉,全岩K-Ar同位素年龄为106~111 Ma。长营岭及其东北方向有规模较大的航磁异常,推测与隐伏岩体有关。

珊瑚成矿区的钨-锡、钨-铋、钨、锡-多金属及

铅-锌矿床(点)共有十多处,主要分布于中部和长营岭和西部葫芦岭地区。以长营岭为中心的中部矿田,包括长营岭石英脉型钨-锡矿床,杉木冲、龙门冲萤石石英脉型钨-铋矿床,八步岭、旗岭、九华、大冲山石英角砾脉型钨矿床。以葫芦岭为中心的西部矿田中,有金盆地、大槽等萤石石英脉型钨-铋矿床(点),天柱岭、五富旗鼓石英角砾脉型钨矿床(点),盐田岭似层状锡-多金属矿床。成矿区内矿床的空间分布严格受断裂制约,主要是NE和NW向断裂。NE向笔架山和石灰山断裂之间的中区,次级的NE,NW和其他方向断裂的密度很大,形成网格状构造,矿床即分布于这些网格断裂的特定部位,且多数靠近笔架山断裂的上盘。

长营岭石英脉型钨-锡矿床,位于NE向石灰山断裂的下盘,为珊瑚成矿区的主矿床。矿化面积约为 2 km^2 ,整体脉带的平均方向为 33° ,长2300 m,宽600~1000 m,延深大于900 m,已知含石英脉有700多条,工业矿脉200多条。单脉长一般为300~700 m,最长达1000 m,厚一般为0.3~2.0 m,大者为2.0~6.1 m,延深一般为300~500 m,最深达800 m。矿床品位较高,是规模巨大的钨-锡矿床(图1)。

在整个脉带中可分成6个大致平行的脉带:

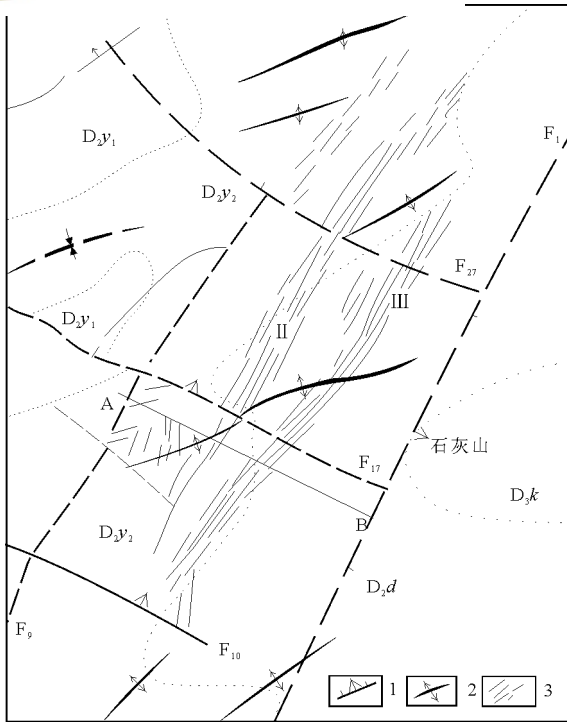


图 1 广西长营岭钨-锡矿床地质图 (据广西有色金属总公司 204 地质队原图修整)

D₃k—桂林组灰岩；D₂d—东岗岭组灰岩；D₂y₂—郁江组上段灰岩；
D₂y₁——郁江组下段页岩；1—断层；2—背斜；3—钨-锡矿脉

I—VI号带，以II，III，IV号脉带规模为最大。矿床分为4个演化阶段：锡石-黄玉-萤石-石英；黑钨矿-锡石-石英；硫化物-白钨矿-石英；碳酸盐。矿物成分包括硅酸盐、氧化物、含氧盐、卤化物、自然元素等六大类，三十多种矿物（表1）。

本矿床的化学组分也有20种以上，含量较高的成矿元素是W，Sn，Cu，Zn，As和S。WO₃ 0.45%～1.97%，SnO 0.17%～0.58%，Cu 0.07%～0.21%，Zn 0.11%～0.41%，As 1.72%～2.25%，S>1%。其中W，Sn是主要有用元素，Cu，Zn可综合利用。

围岩蚀变类型有硅化、萤石化、电气石化、绢（白）云母化、绿泥石化、黄铁矿化及碳酸盐化等。

长营岭脉状钨-锡矿床具有垂直方向形态分带特征，即“五层楼”式矿床。自上而下分出5个带：裂隙云母线脉带，云母石英细脉带，石英薄脉带，石英大脉带，消失带。

长营岭石英脉型钨-锡矿床白云母 K-Ar 同位素年龄为 90.7～105.5 Ma。包裹体呈面状或星点状分布，大小多在 5～20 μm 之间，绝大多数属液态包裹体，气液比一般小于 30%。微量气体有

表 1 长营岭脉状钨-锡矿床的矿物成分

类 型	主 要 矿 物	次 要 矿 物	少 见 矿 物
原生矿物	金属矿物	黑钨矿、锡石、白钨矿、毒砂、闪锌矿、黄铜矿	黄铁矿、磁黄铁矿、黝锡矿、黝铜矿、白铁矿、方铅矿、绿柱石、深红银矿、自然铋
	非金属矿物	石英、白（绢）云母、萤石、黄玉、方解石、白云石	菱锰矿、针铅铋银矿、自然砷、雄黄
次 生 矿 物		钨华	辉铜矿

据夏宏远,1984。

N₂，CO₂，H₂，CH₄ 和 CO，其中以 N₂ 和 CO₂ 为主，其他成分都较低，各组分的浓度顺序为 N₂>CO₂>H₂>CH₄<CO。主要液相成分是 H₂O 和 CO₂，此外还有阳离子 K⁺，Na⁺，Ca²⁺，Mg²⁺ 和阴离子 Cl⁻ 和 F⁻。石英包裹体液相盐度值为 1.00%～6.70%，平均为 3.86%；密度值为 0.83～0.91 g/cm³，平均为 0.87 g/cm³。成矿流体的氧逸度（f_{O₂}）10⁻²⁹ Pa，硫逸度（f_{S₂}）10⁻⁵ Pa。近 300 个样品的测温结果：主要金属矿物钨-锰-铁矿的爆裂温度为 190～329℃，锡石爆裂温度为 270～400℃；主要非金属矿物石英爆裂温度为 260～325℃，均一化温度为 155～361℃；萤石均一化温度为 132～345℃。长营岭钨-锡矿床成矿压力的测定分别为 1.2×10⁸～1.9×10⁸ Pa 和 0.6×10⁸

～1.0×10⁸ Pa。据此推测成矿深度为 2～5 km。

珊瑚成矿区石英脉型钨-锡矿床的硫同位素离散值为 2.8‰；萤石石英脉型钨-锡矿床、石英角砾岩钨矿床和似层状锡-多金属矿床的硫同位素离散值为 8.4‰～31.9‰。钨-锡矿床中的磷灰石测得锶同位素初始比值 (⁸⁷Sr/⁸⁶Sr)_i=0.720 405。石英脉型的石英、黑钨矿、白云母的 δ¹⁸O 值一般都与壳源岩浆热液成因的脉状钨（锡）矿床基本相当，惟其中 δ¹⁸O_{石英} 值稍偏高。黑钨矿的 δ¹⁸O 表明成矿流体是以少¹⁸O 的大气降水为主体，并有部分岩浆加入的混合水。长营岭钨-锡矿床成矿流体水 δ¹⁸O=6.2‰～10.2‰。成矿流体水 δD=-50.9‰（夏宏远），-38.5‰～-38.7‰（刘家齐）。

摘自《中国矿床》中册



广东莲花山斑岩型钨矿床

莲花山矿区位于东南沿海褶皱系中生代侵入-喷出岩带的南段,属环太平洋成矿域华南成矿带的组成部分,矿区产于南澳—长乐深断裂西侧澄海—同安断裂近旁的钱惠断裂与石髻断裂的交会处。广泛分布上三叠统小坪组含碳质碎屑岩建造,下侏罗统金鸡组泥砂质碎屑岩建造和上侏罗统高基坪群陆相中酸性火山岩建造;碎屑岩和火山岩为不整合接触。与火山岩同源的侵入体多属花岗岩类,呈 NE 向断续分布,构成一个花岗岩带。其中出露面积最大者为莲花山复式岩株,约为 35 km²。

本区以花岗岩带为中心的 NE 向锡、钨矿化带,长约 35 km,宽约 10 km,矿床(点)大都分布于岩体的内外接触带,莲花山斑岩钨矿床则为该矿化带的一个规模较大的矿床。

矿区地层属下侏罗统金鸡组,厚度为 670 m,自上而下分为 5 层,由绢云母砂岩和石英砂岩相间产出。最上一层为绢云母砂岩夹石英砂岩,厚度为 230 m,为矿床的成矿围岩。

莲花山地区为一轴向 NE 的背斜,矿区分布于背斜 NW 翼,走向 NE 的短轴背斜 NE 端的倾没部位。矿区断裂发育,成矿时断裂即容矿破裂带,出现在石英斑岩与下侏罗统砂岩的接触带上,可称接触破裂带,分南北 2 带;北带位于岩体北面的外接触带,规模较大;南带则在岩体南面的内接触带中,规模较小(图 1)。

矿区的浅成-潜火山杂岩体,是一种岩浆连续侵位-分异演化而形成的斑岩组合,主要岩石有石英斑岩、花岗斑岩、石英闪长玢岩和隐爆角砾岩。隐爆角砾岩主要出现在石英斑岩的边缘,有 2 次爆破:第一次爆破的砂岩和岩浆岩角砾被花岗质熔浆所胶结;第二次爆破的混染角砾为含矿流体所胶结,常可见到作为胶结物的硫化矿物和黑钨矿。在上述接触破碎带即角砾岩带上,可能有多处隐爆中心,形成一些强烈的破碎角砾岩筒,这些部位就是矿化中心。区内外多种岩浆岩全岩-单矿物 Rb-Sr 等时线年龄 138 Ma, K-Ar 等时线年龄 129 Ma;黑云母花岗岩全岩-单矿物 Rb-Sr 等时线年龄 137 Ma;石英斑岩全岩 K-Ar 等时线年龄 120 Ma,矿化云英岩中白云母 Rb-Sr 等时线年龄 135 Ma, K-Ar 表面年龄 116 Ma。

本区北矿带主要赋存于外接触带,南矿带基本

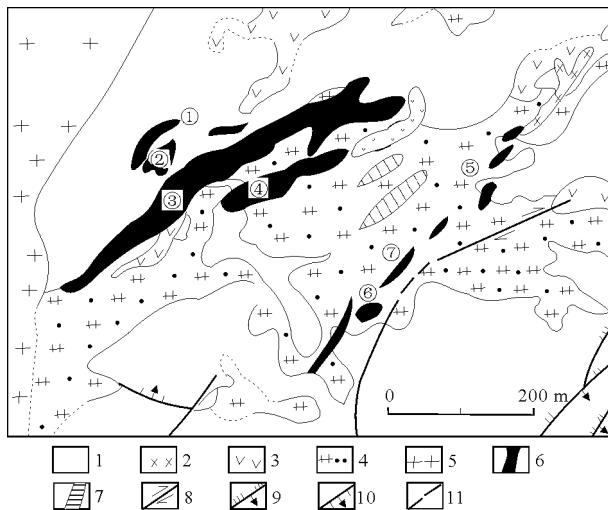


图 1 莲花山钨矿床地质图(据康永孚等,1994)

1—下侏罗统砂岩;2—辉绿岩;3—石英闪长玢岩;4—石英斑岩;
5—黑云母花岗岩;6—石英细脉带;7—平移断层;8—逆断层及
倾角;9—正断层及倾角;10—推测断层;11—矿脉

处于内接触带,2 矿带大致平行产出,走向 40°~60°,倾向 SE,倾角 55°~75°,与石英斑岩岩墙基本一致。每个矿带都由许多矿体组成,但北矿带规模较大,矿体的产状与矿带大体相同,形态以脉状为主,次为透镜状和筒状;主矿体长 100~200 m,厚几米到几十米。

已知矿物已达 80 种,其中原生金属矿物 34 种,非金属矿物 23 种,次生矿物 23 种。主要金属矿物有黑钨矿(钨铁矿和钨锰铁矿)、白钨矿、毒砂、磁黄铁矿、黄铁矿、黄铜矿、锡石、闪锌矿、方铅矿、辉铋矿、锑银矿、圆柱锡矿、辉砷钴矿、独居石、磷钇矿和金红石。非金属矿物有石英、白云母、黑云母、绢云母、绿泥石、红柱石、石榴子石、正长石和磷灰石。次生矿物有褐铁矿、高岭石和钨华等。

可以分为 3 种矿石类型:白云母-石英-红柱石-黑钨矿,多分布于矿床上部;石英-硫化物-黑钨矿-白钨矿,主要产于矿床中部或中上部的围岩中;硫化物-白钨矿-黑钨矿,多出现于矿床的中下部或下部,亦产于各种围岩中。

钨矿石的 $\delta E_u = 0.45 \sim 0.77$, 平均为 0.65。

矿石中的原生钨矿物黑钨矿:白钨矿 $\approx 3:2$ 。黑钨矿的特点是氧化锰的含量范围为 2.60%~8.11%。 WO_3 在 71.89%~79.20%。



本矿床的特点是出现含钨金红石，钨含量高达 5.19%，多见于内接触带矿石中。

莲花山钨矿床不同硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值：黄铁矿 1.50‰~3.70‰，磁黄铁矿 1.20‰~3.14‰，黄铜矿 1.90‰~4.50‰，毒砂 1.60‰~3.00‰。与黑钨矿共生的黄铁矿 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 1.80‰~3.70‰，平均 2.30‰；硫化物组合中的黄铁矿为 1.10‰~2.00‰，平均 1.50‰。

矿体中各种矿物的 $\delta^{18}\text{O}$ 变化范围：石英 8.80‰~14.0‰，平均 10.7‰；黑云母 2.80‰~3.2‰；白云母 4.9‰~6.2‰，平均 5.6‰；黑钨矿 0.8‰~1.4‰，平均 1.1‰；方解石 12.7‰~13.0‰，平均 12.8‰。上部黑钨矿云母石英脉 $\delta^{18}\text{O}_{\text{石英}} = 12.0‰$ ，中部白钨矿硫化物石英脉 $\delta^{18}\text{O}_{\text{石英}} = 9.7‰$ 。

2 个方解石碳同位素分析结果，其 $\delta^{13}\text{C}_{\text{方解石}}$ 值分别为 -6.0‰和 -7.2‰。

矿区的围岩蚀变普遍而又复杂，具面型特征。

主要蚀变类型有钾长石化、黑云母化、云英岩化、绢英岩化、绢云母化、硅化、绿泥石化、黄铁矿化和碳酸盐化。围绕花岗斑岩体基本存在 3 个蚀变带：接触带内侧为钾化带（钾长石化、黑云母化）；接触带为石英云母化带（云英岩化、绢英岩化、绢云母化、硅化）；接触带外侧为青磐岩化带（绿泥石化、绢云母化、黄铁矿化、碳酸盐化）。矿床的工业矿体主要产于第二带。

矿床主要金属矿物的生成温度在 250~350℃。石英包裹体气相成分主要是 H_2O 和 CO_2 ，液相为盐类水溶液。液态包裹体盐度为 16.4%~22.8%；多相包裹体盐度高达 33%~51%。计算成矿流体水 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 -2.4‰~8.7‰，石英气相包裹体水 δD 值为 -44‰~-60‰。

莲花山钨矿床是壳-幔混源岩浆在近地表条件下形成的浅成—超浅成斑岩型矿床。

摘自《中国矿床》中册

广东大宝山风化残积型钨-铁矿床

大宝山矿田位于粤北曲仁华力西拗陷东缘翘起部位。区内见有 4 套地层：寒武系八寸群浅变质砂岩、板岩；中上泥盆统桂头组砂砾岩、砂岩、页岩，棋梓桥组灰岩、白云质灰岩、白云岩、砂岩、页岩、泥灰岩；下侏罗统金鸡组砂砾岩、石英砂岩、粉砂岩、页岩；下白垩统陆相火山-沉积岩系。各时代地层之间均为角度不整合或断裂接触，但下白垩统覆盖于泥盆系之上。主要的赋矿地层是泥盆系和下白垩统。

矿田产于 NE 向吴川—四会—仁化深断裂东侧官坪大断裂的北端。区内出现的断裂有 NNW，NE 和近 EW 向 3 组，并构成主要控岩构造，它们的次级断裂则是重要的控矿构造，3 组断裂的交会处就是成岩成矿部位（图 1）。

大宝山地区的岩浆活动发生在大陆地壳上，有 3 个连续演化阶段：岩浆侵入阶段→潜火山作用阶段→火山活动阶段，形成 3 种同源类质异相岩体：浅成侵入相花岗闪长斑岩、超浅成潜火山相次英安斑岩、地表喷溢相中酸性火山碎屑（熔）岩。其中花岗闪长斑岩产状为岩株，次英安斑岩为岩墙，覆盖在泥盆系桂头组和棋梓桥组上面的火山岩可视为岩被。花岗闪长斑岩、次英安斑岩、火山岩、矿体之间为渐变过渡。花岗闪长斑岩和次英安斑岩的

Rb/Sr 值为 0.56~0.69， $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$ 为 2.67~10.47，稀土配分模式为左高右低的平滑状倾斜曲线， δEu 为 0.75~1.02；两类岩石的里特曼指数 $\sigma < 1.80$ ，钙碱指数为 61， $A/NKC > 1$ 。花岗闪长斑岩、次英安斑岩的 K-Ar 年龄为 107~97 Ma，相当于早白垩世。

大宝山矿田的成矿可分为 2 个时期 4 个阶段。钨-铁矿床的形成实际上经历了 2 个成矿亚阶段、2 种成矿作用方式：火山沉积分异成矿和风化淋滤富集。火山沉积分异形成的原生矿层位于火山岩内，推测为低品位的含钨多金属矿床，金属矿物有黄铁矿、磁黄铁矿、赤（磁）铁矿、菱铁矿、黑钨矿、白钨矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、辉铋矿等。火山岩及其中的含钨多金属矿层形成后，经过长期、反复的物理化学风化作用，2 者都已全部发生变质，并出现明显的垂直分带，它与一般硫化物矿床氧化带剖面相类似，从上到下可分为完全氧化带、氧化富集带、次生硫化富集带和原生带，前 3 带都在火山岩层内，后 1 带则在沉积碳酸盐岩层中。火山堆积-改造钨-铁矿床产生在最上部的完全氧化带，实际上是一个铁帽。

火山岩与钨-铁矿床常呈互层产出。近矿火山岩主要是英安质凝灰岩、凝灰熔岩或火山质凝灰熔

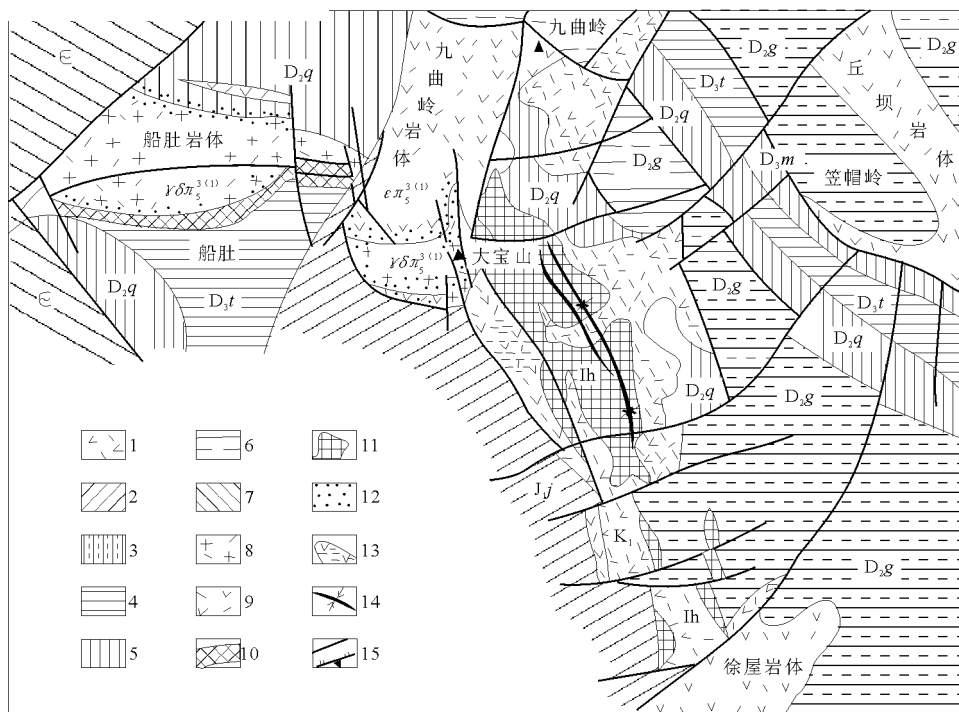


图 1 大宝山矿区地质图

1—下白垩统火山岩系 (K_1); 2—下侏罗统金鸡组 (J_1j); 3—上泥盆统帽子峰组 (D_3m); 4—上泥盆统天子岭组 (D_3t); 5—中泥盆统棋梓桥组 (D_2q); 6—中泥盆统桂头组 (D_2g); 7—寒武系八村群 (E); 8—早白垩世花岗闪长斑岩 ($\gamma\delta\pi_3^{(1)}$); 9—早白垩世次英安斑岩 ($\xi\pi_3^{(1)}$); 10—夕卡岩型钨-铜矿床 (SK); 11—火山堆积—风化改造型钨、铁矿床 (铁帽) (Ih); 12—斑岩型钨 (铜) 矿床; 13—斑岩型铜矿床; 14—向斜轴; 15—断层 (F)

岩, 这套火山岩本身也有强度不一的铁 (钨) 矿化。钨-铁矿体共有数十层, 规模大小不一, 其中主矿体长度 2 000 m 左右, 平均厚度约 35 m。矿层走向近 SN, 倾向 W, 倾角 $20\sim 60^\circ$, 矿层内见有一定数量的细 (网) 脉充填, 有些部位的含脉密度可达 $2\sim 5$ 条/m, 主要是 1~10 cm 的含矿石英脉。

钨-铁矿石的金属矿物有褐铁矿、赤铁矿、针铁矿、水锰矿、黑钨矿、白钨矿、钨华、黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿、辉铋矿、黑铜矿、赤铜矿等 20 多种, 其中以金属氧化物为主, 次为硫化物和钨酸盐; 非金属矿物是石英、绢 (白) 云母及粘土矿物。按部分样品的全分析结果, 矿石平均有用金属组分: Fe_2O_3 70.52%, WO_3 0.17%, Cu 0.28%, Pb 0.09%, Zn 0.08%, Bi 0.07%, 主要有用组分是钨和铁, 铋可综合利用。

常见的矿石结构有交代假象、鲕粒状、残余半自形晶粒、变余微晶、粉砂状和土状, 主要构造类型有致密块状、蜂窝状、海绵状、皮壳状、胶状、条带状、网格状、孔穴状和角砾状等。

矿石类型可分为致密块状、疏松状和粉 (土) 状矿石 3 种。平面上矿床中部以致密块状矿石为主, 往外逐渐变为疏松状, 到边部则为粉 (土) 状矿石; 在垂直方向上, 上部主要是致密块状矿石, 中部多见疏松状, 下部则以粉 (土) 状矿石为主。

钨元素 90% 呈单矿物出现, 钨矿物的主要产出形式有 2 种: 一是呈微晶被褐铁矿-针铁矿包裹, 二是呈细 (微) 晶生长在石英细 (网) 脉内。

从物相分析资料看, 含钨矿物以黑钨矿为主, 占 71%~90%, 其次为白钨矿, 占 9%~25%, 钨华 1%~3%。据钨矿物粒度分析表明, 黑钨矿的颗粒很小, 0.10~0.02 mm 者占 68%~77%, 其他多小于 0.02 mm, 仅有极少量矿物颗粒大于 0.10 mm。

特别值得一提的是, 矿体中钨矿化富集与石英的含量密切相关, 即含矿石英细 (网) 脉密集的部位, 钨的品位较高。矿床北部靠近次英安斑岩或花岗斑岩地段, 含矿石英细 (网) 脉最多, 形成钨矿化的富集区。

摘自《中国矿床》中册



加拿大坎通夕卡岩型白钨矿床

坎通夕卡岩型白钨矿矿床位于塞尔温盆地东部边缘。含矿地层为早寒武世的碳酸盐岩层。矿化灰岩为粗粒结晶灰岩，厚 70 m，其间有大理岩化白云岩和泥质灰岩夹层。矿化灰岩的下部为“硬干酪”灰岩，厚 70 m，以泥岩为主，其中呈夹层或透镜体出现的钙质层大部分已蚀变为矿化夕卡岩。“硬干酪”灰岩之下是下部泥灰岩层。覆于矿化灰岩之上的为上部泥灰岩层，再上为白云岩层。上述地层均呈整合接触。全区地层褶皱成一个平卧背斜。白垩纪晚期侵入的“矿山”岩株，由石英二长岩构成。接触带产状平缓，与平卧背斜的下翼斜交。主要有 2 个矿体，一为“坑内”矿体，产于平

卧背斜上翼的“矿化”灰岩与“硬干酪”灰岩交界处及“硬干酪”灰岩下部层位中，产状平缓；另一矿体为新发现的 E 矿体，蕴藏在 300 m 以下的背斜下翼，接近“矿山”岩株的顶部。矿石矿物为白钨矿，伴生有黄铜矿、块状磁铁矿等。

“坑内”矿体探明矿石储量 364 万 t， $w(\text{WO}_3)$ 为 1.63%，伴生 Cu 0.2% (Cumings, 1975)。其中露采部分矿石储量为 120 万 t，现已采尽。E 矿体 EW 长 2 800 m，平均厚 13 m，倾斜延深 600 m，向 S 倾，倾角 20°。已建成投产，日产矿石 1 000 t。

摘自《国外主要有色金属矿产》

加拿大马克通夕卡岩型白钨矿床

马克通白钨矿矿床与坎通同属于一个成矿区，情况类似。所不同的是本区地层褶皱较平缓。早寒武世地层一般为千枚岩及碳酸盐岩层，其间有白垩纪的石英二长岩岩株侵入，接触带产状较陡。在南部接触带的围岩中形成夕卡岩白钨矿矿床。在下碳酸盐岩层中生成了下含矿夕卡岩层；在其上的角页岩层的碳酸盐岩夹层中，生成了含矿夕卡岩层。这

2 个似层状含矿层与地层整合，产状较缓，局部有小型褶曲。下含矿层较厚 (10~60 m)，已控制宽度达 600 m，埋藏在地下约 200 m 处；上含矿层较薄 (20 m 左右)，控制宽度为 200 m，埋藏较浅。已公布的矿石储量 6 300 万 t，矿石 $w(\text{WO}_3)$ 为 0.96%。

摘自《国外主要有色金属矿产》

加拿大普莱森特山黑钨矿床

普莱森特山黑钨矿矿床是加拿大东南部的主要矿床，位于新不伦瑞克省，属华力西期褶皱带的一个火山岩盆地。矿床蕴存在 2 个火山口中的长英质喷出岩内。而这 2 个火山岩筒又分布在云英岩化的斑状花岗岩 (同位素年龄为 320 Ma) 中。北部长英质喷出岩筒称为北带，为钨-锡-钼-铋矿化。南部长英质喷出岩筒简称为火塔带，为钨-锡-铋矿化。

火塔带包括 3 个独立的钼-钨矿体，一个呈等轴状，另一个呈弧状椭圆形，还有一个尚未完全控制。主要矿石矿物为黑钨矿和辉钼矿，呈细脉状和

浸染状，矿物颗粒很细。矿石储量 910 万 t， $w(\text{WO}_3)$ 0.393%， $w(\text{MoS}_2)$ 0.202%。火塔带已建立矿山，设计规模为日处理矿石 1 000 t。

北带包括 4 个初步圈定的高品位钼-钨矿体，1 个铋矿体，6 个近地表的锡-贱金属矿化带和 1 个深部锡矿体。估计矿石储量 1 150 万 t， $w(\text{Sn})$ 0.11%， $w(\text{WO}_3)$ 0.24%， $w(\text{MoS}_2)$ 0.1%，另外尚有一定储量的铋矿石。由于勘查程度较低，目前矿石储量尚不确切。

摘自《国外主要有色金属矿产》

美国派恩克里克夕卡岩型白钨矿床

本矿床属夕卡岩型白钨矿矿床，位于加利福尼亚州，是美国的第一大钨矿。含矿夕卡岩产于派恩克里克残留盖层的西部边缘与莫干克里克二长花岗

岩的接触部位。残留盖层由上古生代沉积变质岩组成，走向近 SN，长 6 km，EW 宽 400 m 左右，最宽达 900 m。褶皱呈近于直立的紧密向斜。主要含



矿层是派恩克里克大理岩。二长花岗岩是白垩纪(同位素年龄为 92~93 Ma)侵入的,呈中—粗粒似斑状结构。夕卡岩沿接触带连续延伸,接触带以陡倾斜为主,也有缓倾和凹陡地段,甚至在剖面中见到犬牙交错的锯齿形隐伏接触带。矿石矿物有白

钨矿、辉钼矿、黄铜矿和斑铜矿等。单个矿体长数百米,厚 1.5~30 m,平均 $w(\text{WO}_3)$ 0.5%,大部分矿石中含 Mo 0.1%~0.5%。钨储量为 2.4 万 t。

摘自《国外主要有色金属矿产》

美国克莱梅克斯斑岩型钨-钼矿床

本矿床属于斑岩型钨-钼矿床,渐新统花岗斑岩侵入到前寒武纪片麻岩、片岩和多种火成杂岩中。含矿杂岩发育着 4 期在时间和空间上密切相联的岩浆侵入作用,每期都有自身的蚀变作用和成矿过程。第 1 期侵入作用在岩体顶部形成的赛里斯科矿体遭到侵蚀,残留部分现已采尽。其下为第 2 期侵入作用形成的上部矿体,呈倒置的盆状,是克莱梅克斯矿山的主要开采对象,开采面积为 $914 \text{ m} \times 1\,219 \text{ m}$ 。与第 3 次侵入作用有关的下部矿体亦呈倒置的盆状,矿体底部已达可采深度 762 m。在下部矿体的下面是与第 4 次侵入作用有关的倒置盆状矿化体。虽然含有钼和钨,但埋深较大没有开采价

值。4 次侵入作用的规模一次比一次小,一次比一次深,相应的矿化规模也越来越小。

上部矿体中的黑钨矿浸染于钼矿体外缘的细网脉带中。伴生矿物为黄铁矿、石英、绢云母、黄玉和萤石。黑钨矿的生成晚于辉钼矿。

克莱梅克斯矿床主要开采钼矿,矿石储量 4.6 亿 t。选厂回收钼精矿后的尾砂送入钨选厂,钨的回收率为 30%。其产量占美国钨矿产量的 1/3,是美国第二大钨矿生产矿山。如果按矿石 $w(\text{WO}_3)$ 0.03% 计算,钨金属储量达 13.8 万 t。

摘自《国外主要有色金属矿产》

澳大利亚金岛夕卡岩型白钨矿床

本矿区是澳大利亚最重要的钨矿山。产量约占澳大利亚钨矿产量的 60% 以上。包括道尔芬、博尔德赫德、梅因 1 号等 3 个夕卡岩型白钨矿矿床。火成岩是华力西期的花岗闪长岩,夕卡岩为交代寒武纪碎屑岩中的大理岩夹层形成的,上覆有基性火山岩系,下伏为石英岩层。道尔芬矿床有 2 个大透镜状矿体,长 400~500 m,厚 2~45 m。矿石储量 680 万 t, $w(\text{WO}_3)$ 为 1.0%。博尔德赫德矿

床与二长花岗岩有关,矿体规模较小,长 100 余米,厚 10 m 左右。矿石储量 260 万 t, $w(\text{WO}_3)$ 为 0.8%,均为隐伏矿。白钨矿在夕卡岩中呈细脉浸染状,有的呈不规则石英脉,厚度从几厘米到几米。梅因 1 号矿体较复杂,规模不清。道尔芬露采部分已采尽,目前,金岛矿区已都是地下开采。

摘自《国外主要有色金属矿产》

澳大利亚卡拜因山黑钨矿床

这是澳大利亚黑钨矿的重要产地。矿床赋存于紧密褶皱的中泥盆纪—上石炭世的泥质沉积地层中。其中产有近于平行的黑钨矿石英脉群,单脉厚 15~30 cm。矿石矿物大部分为黑钨矿,少量为白钨矿。黑钨矿结晶小者肉眼不易辨认,结晶大者可达 5 cm。黑钨矿在石英脉中分布极不均匀,矿石

品位不易确定,据 818 m 深的矿心计算,矿石含 WO_3 约为 0.09%。用钻探工程已控制的矿石储量 1 500~2 500 万 t。目前钻探工作仍在进行中。露天矿山也在开采,日产矿石 5 000 t。入选矿石品位只有 0.07%。

摘自《国外主要有色金属矿产》

玻利维亚乔赫亚钨-锡矿床

乔赫亚钨-锡矿床位于拉巴斯的东偏北,是玻利维亚最大的钨精矿生产矿山之一。

在奥陶纪—志留纪的砂岩、板岩地层中,有隐

伏的花岗岩体侵入。在岩体的顶部围岩中发育着 NE 和 NW 向 2 组裂隙。NW 组裂隙中有矿脉生成。几条主脉长 1 400 m,厚 0.6~0.9 m,延深



500 m, 倾向 SW, 倾角 40~60°, 主要矿物为黑钨矿、黄铁矿、锡石、黄锡矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿等。这是玻利维亚多年来连续生产的矿山, 年

产精矿 (金属量) 500 t 左右。

摘自《国外主要有色金属矿产》

玻利维亚奇科特格朗德钨-锡矿床

这是南美洲最大的钨矿床, 储量 7.2 万 t (C. D. Willig 等)。开采量不大, 钨精矿 (金属量) 生产规模仅有 100 t/年。

矿床位于背斜轴部的奥陶纪—泥盆纪的电气石化石英岩和角岩中, 褶皱和断裂异常发育。在走向 EW 和 NE 的 2 组裂隙中, 发育含黑钨矿及硫化物的石英脉 100 多条, 其中富矿脉有 40 多条, 走向长由几十米至数百米; 厚 0.05~1.2 m, 平均 22

cm; 垂直延深 1 300 m。还赋存有网脉带, 长 350 m, 宽 80 m, 延深 280 m。主要矿物为黄锡矿、黑钨矿, 少量毒砂和闪锌矿。此外, 区内还有砂矿产出, 黑钨矿品位 160×10^{-6} 。

此矿山正在扩建, 设计规模为矿石 1 000 t/日。

摘自《国外主要有色金属矿产》

奥地利阿尔卑斯山中部 Felbertal 钨矿床白钨矿的铈、钕、铅同位素

对奥地利阿尔皮斯山东部的 Central Tauern Window 的 Felbertal 矿床的白钨矿及其围岩进行了 Sm-Nd, Rb-Sr, 和 Pb-Pb 同位素测定。第一阶段的白钨矿保存很少, 与重结晶的第二阶段白钨斑状变晶的 Sm-Nd 等时线年龄为 (581 ± 105) Ma, 认为这个 Sm-Nd 年龄即为最初的钨矿成矿期。这与白钨矿及变质辉岩中 2 个同成因的变余斜辉石和钙镁磷石中的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 等时线年龄 $[(517 \pm 114)$ Ma 和 (517 ± 130) Ma] 较接近 (在误差范围内)。第二阶段的白钨矿变晶可能是奥陶纪/加里东期 (未确定) 变质作用引起的, 这从石炭纪具有花岗岩类的侵入及华力西构造变质期同位素再造可得到进一步证实。第一、第二阶段的微黄色荧光的含 Mo 白钨矿形成于氧化的碱性条件, 因此 REE 没有发生分馏, Sm-Nd 同位素系统还保持原始状态。这种条件显然不适合第三 $[(319 \pm 34)$ Ma, 晚华力西期再活化]、第四阶段 $[(29 \pm 17)$ Ma, 阿尔卑斯期变形] 白钨矿的形成。这 2 个阶段均由带蓝色莹光的含少量 Mo 到不含 Mo 的白钨矿组成, 并显示出明显的 REE 亏损和分馏, 这可能是由成矿环境从中性转为弱酸性时发生重复侵蚀和再沉淀造成的。

钨矿成矿初期的成矿来源和沉积机理可由以下 5 点推断得出: 1) 第一阶段白钨矿的放射性铈同位素数据 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.726 \sim 0.730$) 与正常地壳钕同位素组成 ($\epsilon_{\text{HUR}}^{+1} = -3.8 \sim -7.3$) 同时出现; 2) 在第一阶段白钨矿中 U 含量高达 74×10^{-6} ; 3) 岩浆成因斜辉石 $[(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i=0.707$; 认为在岩浆房里发生沉淀] 与普遍存在的钙镁角闪岩 $[(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i=0.736$; 水合流体渗透过程中发生亚固相成矿] 之间存在 ^{87}Sr 突变; 4) 镁铁质矿物中铈非常富集, 铷和锂较富集, 钾存在正常的弧形成分; 5) 白钨矿及其围岩的铅同位素的组成显示出活动大陆边缘地幔物质被地壳成分所覆盖。

可以认为地壳中段的活动大陆边缘是钨成矿最初的位置。脱水麻粒岩 (存在云母破坏反应) 中含钨的上升流体在辉长岩和同期的花岗岩类侵入岩中构成了一个对流流体系统。可以确定在 Felbertal 矿床中体积大约 103 km^3 的岩体经历了麻粒岩相的变质 (与流体发生反应), 其含钨大约 200 000 t。可以推断钨在流体中的含量大约是 100×10^{-6} 。

朝银银译自 *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1997, 61 (23), 王美娟校

法国地块中央晚华力西期与造山作用有关的构造矿化系统

法国地块中央由于其多金属成矿的多样性, 其在华力西构造带的特殊位置以及有 GeoFrance 3D

系统获得的丰富的地质、地球物理和金属成矿数据成为一个特殊的研究区域。矿床形成于造山作用晚



期,形成2种不同的有经济意义的系统:一种是Au±Sb热液系统,另一种是W±Sn和稀有金属岩浆-热液系统。这2种系统在310~300 Ma时同时活动。

基底底部存在2种不同类型的金矿,“深部”金矿是在快速剥离过程中从静岩压力到静水压力下发展的,而“浅部”金矿是在没有明显上升的静水压力下定位的。

W±Sn和稀有金属矿床在特定岩浆快速上升后的最后重结晶阶段就位于上地壳,同期发生的区域抬升作用加强了成矿作用。含金成矿系统与复杂的网状地壳断层系统(最初在335~315 Ma时期

活动)的再活化有关。沿断层覆盖着335~315 Ma的花岗岩-混合岩穹隆,在三维热液系统中起重要作用。巨型热液单元携带金及相关金属元素到达面积约100 km×10 km,深30 km的地方。相反,富亲岩浆元素(W, Sn, 稀有金属)的花岗岩形成较小的热液单元(面积10 km×10 km,深小于6 km)。在(300±15) Ma下地壳发生麻粒岩化作用期间,深层流体和岩浆均萃取出金属元素。法国地块中央的2个晚石炭世矿化系统的成因均与同碰撞期末期和碰撞期后早期的扩展相重合。

朝银银译自 *Ore Geology Reviews*, 2005, 27 (1-4), 王美娟校

印度西北部新元古代酸性岩浆与钨成矿的关系

印度西北部新元古代(900~700 Ma)的地壳发展是以几个酸性岩浆幕的生成为标志的。岩浆作用发生于德里造山旋回,持续到稳定的Aravalli克拉通的出现。在拉贾斯坦邦的中部和南部地区,其中一部分花岗岩就位在德里岩石超群中,并与钨成矿有关。Degana, Sirohi和Sewariya地区的3个钨矿床即是其中重要的钨矿床。当这些矿床中的非矿化花岗岩相差较大时,其矿化花岗岩的地质背

景、岩石学和地球化学特征可进行类比。

对这3个地区的矿化花岗岩进行对比可以看出:1)矿化花岗岩通常为小的深层岩体;2)矿化花岗岩就位于地壳上部;3)深层岩体的顶端直接露出地表,或者靠近地表;4)花岗岩的地球化学特征:富氧化铝,W, B, F, Rb和Li,亏损Sr。

朝银银译自 *Gondwana Research*, 1999, 2 (1), 王美娟校

钨成矿的演化历史

地球演化分4个阶段:1)初始地壳形成(4.5~3.8 Ga);2)花岗片麻岩穹隆和绿岩带形成(3.8~2.5 Ga);3)原地槽带转变为褶皱系统(2.5~1.5 Ga);4)从1.5 Ga演化至今。最后一个阶段可分为6个演化期:格林威尔期、贝加尔期、加里东期、华力西期、基米里期和阿尔卑斯山期。除了第1个演化阶段钨成矿与其他各阶段均有联系。一般可开采的矿床有夕卡岩型,云英岩型和

脉型。层控型矿床是一种新型矿床,尚未得到充分的研究。世界钨矿储量大部分生成于中生代,特别是在欧亚大陆东南部。在老的建造向新的建造演化时,钨含量由分散富集为矿床,只有新生代的矿床没有遵循这个规律。

王欣译自 *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 1993, 8 (1-4), 王美娟校

蒙古阿尔泰山 Kyzyltau 钨矿床的流体状态和成矿建造 ——钨-锡成矿系统的流体变异的证据

Kyzyltau 矿区位于蒙古阿尔泰山的北部。W(-Y-Be-Mo)矿化主要发生在花岗岩矿脉和网状脉、长英质火山岩、玄武岩流和砾岩中。矿脉中的主要矿石矿物有黑钨矿、萤石、绿柱石及少量辉钼矿。对Ulaan uul, Buraat uul和Tsunkheg矿床的热液石英、萤石、绿柱石及赋脉的花岗岩中岩浆石

英的流体包裹体进行了显微测温 and 激光拉曼光谱研究。Kyzyltau矿脉中的假次生/主要包裹体的主要成分为液态水,也包括不同数量的CO₂气体,N₂/CH₄值>1。笼形化合物熔融结果显示,假次生包裹体中不含或含微量气体成分。矿脉中假次生/主要包裹体的T_h值为180~433℃。流体包裹体数



据表明, Ulaan uul 和 Buraat uul 矿脉的多孔石英^Ⅱ和绿色萤石^Ⅱ中的流体相分离过程使流体发生不混合现象。发生不混溶的压力为 $100 \times 10^5 \sim 350 \times 10^5$ Pa。Kyzyltau 矿区的萤石^Ⅰ的稀土成矿显示重稀土富集及较强的负铈异常。Buraat uul 和 Tsunkheg 地区萤石^Ⅱ的特征是稀土元素的 HREE 含量减少伴随着铈异常的减弱。与萤石^Ⅰ中稀土总量强烈上升不同的是, Ulaan uul 矿脉中萤石^Ⅱ的稀土元素配分模式变化不大。文献资料表明, 高温、富铁、以钾为主的卤水锡石矿可以与铁-绿泥石和铁-电气石一起在石英脉中富集 (Bolivian 型)。如果富气体、低盐和富铁的流体发生相分离, 锡石-黑钨矿会发生沉积 (Cornwall/Devon 型)。

Kyzyltau 地区的矿床以含低铁蚀变组合为特征, 钠含量高于钾含量, 稀土元素和 Y 含量高, 尽管存在锡成矿潜力但锡还是较少。流体包裹体数据以及地球化学和地质特征均表明钨成矿位于富 Li-Fe 的次火山侵入体的上部。矿化流体的 pH 值大小是控制 Kyzyltau 矿区的钨沉淀的主要因素。成矿流体的水-岩作用, 温度降低和不混溶过程使酸性的含二氧化碳流体变为钨沉淀合适的 pH 值范围。可以推断, 没有锡矿化的钨矿石建造可能产在以具有较大潜力的锡和钨矿为特点的矿床中。据此, 可以在 Kyzyltau 矿床附近找到更有利的锡矿化。

王欣译自 *Chemical Geology*, 1999, 154 (1—4), 王美娟校

Tungsten deposits in the Wolfram Schist, Namaqualand, South Africa : strata-bound versus granite-related genetic concepts

Several tungsten deposits, from which ca. 1 800 metric tons (t) of concentrate at 65.3 per cent WO_3 was produced, occur in the Okiep copper district, South Africa, which is part of a high-temperature, low-pressure granulite terrane (M_2 ; 750 degrees \sim 850 degrees, 5 \sim 7 kbars). The 1.2 to 1.0 Ga high-grade metamorphism of Proterozoic supracrustal and older intrusive rocks is polymetamorphic and was accompanied by crustal melting resulting in formation of several early to postorogenic granitoid suites. The W-Mo deposits are spatially and genetically associated with the 1.1 Ga Concordia granite, a silica-rich (70% \sim 76%), peraluminous leucogranite with subalkaline monzonitic magma characteristics. More fractionated cogenetic intrusions are interpreted as separated residual granitic liquids. They are enriched in large ion lithophile (K_2O , Rb) and some high field strength (W, Nb, etc.) elements. Mineralized pegmatites, replacement orebodies (strongly silicified granitic rocks), and exo- and endogranitic veins are distinguished. Ferberite and minor scheelite are associated with Mo, Cu, and Bi sulfides and U-Th, Nb, REE silicates, oxides, and phosphates. Metapelites (Wolfram schist) hosting S_2 subparallel exogranitic veins are characterized by M_2 upper amphibolite-lower granulite facies assemblages (bi-

otite-sillimanite + or-garnet, + or-cordierite plus quartz, alkali feldspar, and plagioclase). Schistose host rocks were derived from normal clastic sedimentary material, slightly peraluminous lithologies probably from more pelitic kaolinite-rich precursors. The facts that late to postorogenic granites and the W-Mo deposits are deformed, metamorphic ore textures (e. g., garnet coronas around ore minerals) are preserved, and ore deposit, specific hydrothermal low-temperature alteration is absent, suggest that the second M_3 late-Kibaran metamorphic overprint postdated mineralization. Oxygen isotope temperatures of ca. 600 degrees to 660 degrees C for coexisting garnet and quartz from mineralized veins and host rocks indicate that high-grade conditions were again reached during this late Kibaran overprint. Retrograde greenschist facies metamorphism is of Pan-African age (ca. 560 \sim 590 Ma) and is unrelated to mineralizing processes. The W-Mo deposits are interpreted as metamorphosed, deep-seated granitic ore deposits occurring in a polymetamorphic high-grade terrane. Two high-grade events of Kibaran age (M_2 and M_3) and a low-grade event of Pan-African age (M_4) are distinguished.

摘自 *Economic Geology*, 1995, 90 (7)



The hydrothermal geochemistry of tungsten in granitoid environments: I. Relative solubilities of ferberite and scheelite as a function of T , P , pH, and m_{NaCl}

The characteristics of granitoid-related tungsten deposits hosted in siliceous (carbonate-free) rocks (e. g., Panasqueira, Cligga Head, Pasto Bueno) are reviewed and the ranges of physico-chemical parameters of the ore-forming fluids are summarized. The two important tungsten minerals in these deposits are wolframite and scheelite, which were deposited mostly between 200 °C and 500 °C and 200 and 1 500 bars. The salinities of the mineralizing fluids were typically less than 15 wt percent but commonly were significantly higher (up to 55 wt %). The two predominant dissolved components are Na^+ and Cl^- with subordinate Ca^{2+} , K^+ , and carbonate species ($\text{CO}_3^{2-}/\text{HCO}_3^-$). The contents of CO_2 are highly variable, but X_{CO_2} values typically range from 0 to 0.1. Limited pH and f_{O_2} estimates indicate a moderately acidic fluid with oxygen fugacities between those of the QFM and HM buffers. These parameters were used to guide solubility and speciation modeling of W in hydrothermal fluids in granitoid environments.

Experimentally derived thermodynamic data for scheelite, ferberite, aqueous Ca, Fe, and W species, and other required aqueous species were critically evaluated and the most reliable data were adopted. Where necessary, missing data were estimated. The resultant thermodynamic database provides a basis for solubility and speciation calculations in the system Ca-Fe-W-Cl-O-H. The simultaneous solubilities of scheelite and ferberite in NaCl-HCl-H₂O solutions were calculated at temperatures from 200 °C to 600 °C, pressures from 500 to 1 000 bars, pH from 3 to 6, and m_{NaCl} from 0.1 to 5.0 moles/kg H₂O. The solubility model takes account of the species H^+ , OH^- , Na^+ , Cl^- , NaCl^0 , HCl^0 , NaOH^0 , H_2WO_4^0 , HWO_4^- , WO_4^{2-} , Fe^{2+} , FeCl^+ , FeCl_2^0 , FeOH^+ , FeO^0 , HFeO_2^- , Ca^{2+} , CaCl^+ , CaCl_2^0 , CaOH^+ , NaHWO_4^0 and NaWO_4^- . The calculations indicate the following: (1)

solubilities of scheelite and/or ferberite can attain values as high as hundreds to thousands of parts per million as the tungstate species H_2WO_4^0 , HWO_4^- , WO_4^{2-} , NaHWO_4^0 and NaWO_4^- ; thus, tungsten-chloride, -fluoride, or -carbonate complexes, or more exotic species are not required to transport sufficient W to form an ore deposit; (2) the tungsten concentration in equilibrium with scheelite and ferberite increases strongly with increasing temperature, increasing NaCl concentration and decreasing pH, but is only weakly dependent on pressure; (3) the Ca/Fe ratio of a solution in equilibrium with both scheelite and ferberite decreases strongly with increasing temperature, i. e., the field of stability of scheelite expands with increasing temperature; the implication, therefore, is that simple cooling of a solution with a constant Ca/Fe ratio cannot result in the replacement of ferberite by scheelite, and that field observations of the late-stage replacement of ferberite by scheelite require an increase in the Ca/Fe ratio concomitant with cooling; (4) the Ca/Fe ratio is relatively independent of pH; and (5) the effect of NaCl concentration on this ratio changes as a function of temperature and pressure. At less than 400 °C the ratio is independent of, or decreases with, increasing NaCl concentration; at higher temperatures the ratio first decreases and then increases with increasing NaCl concentration. Experimental data on the solubility of scheelite and the Ca/Fe ratio of fluids in equilibrium with scheelite+ferberite, and which are not used in parameterizing our model, generally agree with the results of calculations performed using our thermodynamic database within an order of magnitude. However, our critical examination of available thermodynamic data reveals that significant uncertainty remains in several parameters (e. g., the solubility products of scheelite and ferberite and the association constants for alka-



li tungstate ion pairs). This uncertainty can only be reduced via carefully conceived, executed, controlled, and interpreted experiments, taking into

account the various experimental pitfalls identified in this paper.

摘自 *Economic Geology*, 2000, 95 (1)

Fabrication and investigation of tungsten deposit on top and bottom surfaces of thin film substrate

Electrons with energies of 20 200, and 400 keV were used in electron-beam-induced deposition (EBID) to investigate deposition on both the top and bottom surfaces of a film substrate when an electron beam is injected into the top surface. Tungsten tips were successfully fabricated on the bottom surface of the film substrate using 200 and 400 keV electrons. The microstructure as-deposited at a different electron energy is a mixture of nanocrystallites and amorphous materials. The nanocrystallites of the structure deposited using 20

keV electrons (1~2 nm) were smaller than those of the structures deposited using 200 keV (2~4 nm) and 400 keV electrons (3~5 nm). The proportion of amorphous materials in the as-deposited structure was reduced using high-energy electrons. There was no difference in microstructure between the top and bottom tips simultaneously deposited on the film substrate using high-energy electrons.

摘自 *Japanese Journal of Applied Physics*, 2007, 46 (9)

Assessment of grid-based whole-rock δD surveys in exploration: Boulder County epithermal tungsten deposit, Colorado

Important epithermal tungsten mineralization in the Boulder County district is mainly hosted by quartz-ferberite ($FeWO_4$) veins. Isotopic studies based on an extensive grid (δD) and individual samples of wall-rock alteration and mineralization (δD , δO) have demonstrated the dominance of meteoric fluids during alteration processes. However, the involvement of magmatic fluids during the deposition of the ferberite veins cannot be ruled out. The fluids responsible for alteration exchanged with the country rocks to produce a large δD anomaly but no concomitant $\delta^{18}O$ anomaly, indicating that water/rock ratios were small. The δD anomaly coincides closely with those produced by H_2O^+

and Rb/Sr, used as a proxy for hydrothermal alteration, but does not correlate closely with either lithochemical W anomalies or areas of greatest W production. It is concluded that the fluids responsible for district-wide hydrothermal alteration are distinct from those that produced the W mineralization and that δD anomalies, while a sensitive technique for highlighting areas of significant fluid-rock interaction, must be used with caution for identifying drilling targets. The study has provided an estimate of the stable isotope composition of early Tertiary meteoric water in the Front Range (ca. $\delta D = -140$, $\delta^{18}O = -18.7$).

摘自 *Economic Geology*, 2001, 96 (1)



钨、锡、汞、锑矿产地质勘查规范

DZ/T 0201—2002

1 范 围

本标准主要为钨、锡、汞、锑矿产地质勘查工作规定了研究程度，控制程度，工作质量，可行性评价，矿产资源/储量类型及划分条件，矿产资源/储量估算等方面的要求。

本标准适用于钨、锡、汞、锑矿产的地质勘查和资源/储量估算；也适用于验收及评审钨、锡、汞、锑矿产各阶段地质勘查报告；还可作为矿业权转让，矿产勘查开发筹资、融资、股票上市等活动中评价及估算矿产资源/储量的依据。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB 12719—91 矿区水文地质工程地质勘探规范

3 勘查的目的任务

钨、锡、汞、锑矿产地质勘查的目的是寻找和发现新的矿产资源，探求各类矿产资源/储量，提交各个阶段的勘查报告，为矿产资源开发服务。

勘查工作分为预查、普查、详查、勘探 4 个阶段。各阶段的任务如下。

- a) 预查阶段是通过对区内资料的综合研究、类比及初步野外调查、极少量工程验证提出可供普查的矿化潜力较大地区，有足够依据时可估算预测的矿产资源量；
- b) 普查阶段是对矿化潜力较大地区进行一定数量的各项野外工作，以及概略研究，确定是否有进一步详查的价值，并圈出详查区范围，估算推断的矿产资源量；
- c) 详查阶段是进行系统的勘查工作，基本查明矿床地质特征以及控制或破坏矿体的因素，基本确定矿体的连续性，并通过预可行性研究，做出是否具有工业价值的评价，圈出勘探区范围，及估算控制的矿产资源/储量；
- d) 勘探阶段是进行各项系统的加密工作，详细查明矿床地质特征以及控制和破坏矿体的因素，确定矿体的连续性，估算探明的矿产资源/储量，并通过预可行或可行性研究为矿山建设投资决策和设计确定生产方案等提供必要的依据。

4 勘查研究程度

4.1 预查阶段

4.1.1 地质研究程度 在全面收集，深入分析，研究和对比区域地质、物探、化探、重砂、遥感、矿产勘查资料和各种研究资料的基础上，对预查区内成矿条件有利的物探、化探、重砂异常、矿（化）点，采用路线地质踏勘，结合适宜的物探、化探方法进行初步评价。查明主要物探、化探异常特征和地质概况，对发现有价值的物探、化探异常和矿（化）体（层）投入极少量的验证工程，以了解矿体（层）品位、厚度、产状等，并与地质特征类似的已知矿床类比，选定普查区；当有必要参数时，可以估算预测的矿产资源量。

4.1.2 矿石质量研究 对发现的矿体（层），通过极少量的样品分析，大致了解矿石自然类型及矿石结构



构造、矿物成分、化学成分和品位等。

4.1.3 矿石加工技术条件研究 通过少量矿石类比研究,做出是否可选的预测。

4.1.4 矿床开采技术条件研究 对发现的矿床(点)或有价值的异常,以收集、分析区域资料为主,大致了解勘查区水文、工程及环境地质条件。

4.1.5 综合勘查综合评价 据区域成矿条件,对预查区内可能赋存的其他矿产资源开展综合找矿和评价。

4.2 普查阶段

4.2.1 地质研究程度 在收集和研究区域地质资料、分析区域地质特征基础上,采用露头详细检查、1:50 000~1:5 000 的地质填图和适宜的物探、化探方法以及数量有限的取样工程,基本查明普查区内的地层、岩浆岩、构造、围岩蚀变等基本特征;评价矿(化)点和各类异常的含矿性以及成矿远景;对已发现的矿体(层)进行大致控制,大致查明矿体(层)的形态、产状、规模和品位等;估算推断的资源量,为是否详查及如何详查提供依据。

4.2.2 矿石质量研究 通过数量有限的样品分析,大致查明矿石的结构、构造、矿物成分、化学成分、品位、矿石的自然类型、工业类型以及矿石中有用、有益、有害组分的种类,为能否被工业利用提供依据。

4.2.3 矿石加工技术条件研究 一般进行对比研究,做出是否可能作为工业原料的初步评价;对组分复杂,粒度较细,国内尚无成熟选(冶)矿经验的钨、锡、汞、锑矿石,应进行可选(冶)性试验或视条件进行实验室流程试验。

4.2.4 矿床开采技术条件研究 收集、分析区域资料并与同类型矿山开采资料对比,必要时开展专项调查,大致了解地表水分布,地下水类型及补给、排泄条件,矿床主要充水因素,矿体顶、底板围岩稳固性及开采对环境、人文景观的可能影响;大致划分矿床开采技术条件类型(3类9型)。

4.2.5 综合勘查综合评价 初步了解与主矿种共、伴生矿产种类、含量及赋存状态,对其工业价值和利用的可能性做出初步评价。

4.3 详查阶段

4.3.1 地质研究程度 通过1:5 000~1:2 000地质填图和各种勘查方法和手段,详细查明钨、锡赋矿层位和汞、锑含矿岩系的地层年代、岩性、岩相、层厚和层序,特别注意汞、锑含矿(体)层位和矿化屏蔽层的研究,建立详查矿床的含矿地层柱状图(地层层序表)。

详细查明主要控矿构造(断层、褶皱、裂隙、破碎带等)的分布、产状、规模和性质,以及各种构造对矿床、矿体的控制作用;研究成矿后的构造对矿体的影响程度。

侧重研究与钨、锡矿化有关的岩浆岩的种类、岩性、形态、产状、规模、侵入时代、演化特点、与围岩接触关系,及其地球化学特征、地球物理特征等;研究其与成矿的关系或对矿体的破坏关系。

详细查明矿床的围岩蚀变特征和分布范围,研究蚀变与矿化的关系,编制矿化-蚀变分布图;对与变质作用有关的矿床需基本查明变质作用类型、强度、相带分布及岩性特征等。

用系统取样工程基本查明钨、锡、锑矿体和汞含矿体的总体分布范围、数量,基本控制主矿体以及规划首期开采矿体的产状、形态、空间分布;对汞矿还需阐明含矿体内矿体的赋存状态、展布规律和确定合理计算含矿系数的原则,并论述其可靠程度;基本确定矿体的连续性和矿体间相互关系;估算控制的矿产资源/储量,为是否勘探及选择勘探方法提供依据。

4.3.2 矿石质量研究 基本查明矿石结构、构造,矿物组合及含量,有用矿物粒度、嵌布特征、空间分布规律、化学成分,有用、有益、有害组分的种类、含量及分布规律;初步划分氧化带、混合带和原生带;基本确定矿石自然类型和工业类型,为矿山项目建议书和预可行性研究提供矿石质量依据。

钨矿石要特别查明黑钨类和白钨类比例及空间分布。

锡矿石要特别查明锡石锡、硫化锡和胶态锡三者比例及空间分布。

锑矿石要特别查明锑氧化率,并据此划分氧化矿石($w_B > 50\%$)、混合矿石(w_B 为 $20\% \sim 50\%$)和原生矿石($w_B < 20\%$)。

4.3.3 矿石加工技术条件研究 一般进行矿石的可选(冶)性试验或实验室流程试验;对生产矿山附近,有类比条件的易选(冶)矿石,可以进行类比评价,不作选(冶)试验;对难选(冶)矿石或新类型矿



石，可进行实验室流程试验或实验室扩大连续试验，以便对主矿种及其共伴生组分做出综合评价。

4.3.4 矿床开采技术条件研究

4.3.4.1 水文地质

基本查明地表水体分布范围及水（流）量情况；收集、了解大气降水资料；根据区域水文地质条件圈出汇水边界。

基本查明矿区和矿床的含水层和隔水层的岩性、厚度、产状、分布及埋藏条件；含水层的裂隙或岩溶的发育程度、分布规律及其富水性；地下水的补给、径流、排泄条件及其与区域水文地质环境的关系；地下水的水量、水位（水压）、水质、水温及其动态变化；隔水层的隔水性能和稳定性。

基本查明断裂构造和破碎带的富水性及导水程度，各含水层之间及其与地表水的联系，矿体围岩的富水性和水压，老窿分布及其积水情况等对矿床开采的影响。

初步确定水文地质边界和矿坑主要充水因素，预测矿坑涌水量。

根据矿床充水的主要含水层的类型和水文地质条件，初步确定矿床水文地质条件复杂程度。

根据矿区及区域水文地质资料，评价矿区的供水水源条件，提出解决矿山供水的方向。缺水或干旱矿区要投入找水勘查工程。

4.3.4.2 工程地质

初步测定矿石、围岩的有关物理力学性质参数；基本查明矿区内断层、破碎带、风化软弱带、节理、裂隙带、岩溶等的分布范围；研究矿体及顶底板围岩的稳固性和露采边坡的稳定性；调查老窿、生产矿井的分布情况，大致圈出采空区范围；初步确定矿床工程地质条件复杂程度。

4.3.4.3 环境地质

基本查明围岩、矿石、地表水体、地下（热）水、废石中危害人体健康的放射性元素、有害组分种类和含量，收集矿区及附近地震、岩崩、滑坡、泥石流等自然灾害资料，综合水文、工程地质条件分析它们对矿山开发的可能影响；预测矿山开发可能引起的滑坡、塌陷、泥石流、地震、突水、地表水体水量减少或枯竭、水污染、大气污染、土岩污染等环境地质问题，分析它们对周边环境、人文景观等的可能影响。

矿床地质勘查阶段一般与水文、工程和环境地质勘查阶段相匹配；但水文地质、工程地质条件特别复杂或矿区位于人口密集区、城镇、旅游区、重要文物保护单位、水源地和森林区等附近，水文、工程和环境地质勘查工作要超前开展。

4.3.4.4 划分的技术条件类型

根据上述水文、工程、环境地质条件，综合划分矿床开采技术条件类型（3类9型）。

4.3.5 综合勘查综合评价 基本查明共、伴生矿产种类、含量、规模、赋存状态、分布范围和共伴生关系，对其工业利用价值做出评价。

钨矿床注意综合评价锡、铋、铂、铜、铅、锌、铋、锂、铌、钽、钴、铍、银、金、锆、镓、铟、镉及稀土元素等。

锡矿床注意综合评价钨、铅、铋、锌、铜、钼、铌、钽、银、硫等。

铋矿床注意综合评价金、银、砷、钨、汞、铋等。

汞矿床注意综合评价金、硒、铊等。

4.4 勘探阶段

4.4.1 地质研究程度 在详查阶段基础上，用加密取样工程及相应的工作，进一步查明矿床的地质特征，建立矿床地质模型；在三维空间上详细查明勘探区内钨、锡、铋矿体（层）和汞（含）矿体（层）的数量、分布范围；详细查明主矿体（层）的规模、形态、产状、空间分布、厚度、品位及变化情况，确定其连续性；估算探明的矿产资源/储量。

4.4.2 矿石质量研究 在详查阶段工作基础上，对主矿体（层）进行详细的矿石质量研究。详细查明矿石结构、构造，矿物种类及含量，化学成分，有用、有益、有害组分及其含量，研究它们在矿体（层）内赋存状态和分布规律；对氧化作用强烈的矿床，要详细查明氧化带、混合带、原生带各自的矿石结构、构造，矿物成分及含量，化学成分，有用、有益、有害组分及其含量，研究次生富集（贫化）规律，详细划分氧化带、混合带和原生带；详细划分矿石自然类型和工业类型及矿石品级，以满足矿山开采和预可行性



或可行性研究的需要。

4.4.3 矿石加工技术条件研究 一般进行实验室流程试验,必要时进行实验室扩大连续试验;有类比条件的矿山,易选矿石进行可选(冶)试验或实验室流程试验;对难选的或新类型矿石,进行半工业试验,必要时大型矿山做工业试验,为预可行性或可行性研究和矿山建设设计选择最佳工艺流程提供依据。

4.4.4 矿床开采技术条件研究

4.4.4.1 水文地质

详细查明勘探区水文地质条件,准确划分其复杂程度;根据水文地质资料结合矿山开拓方案,采用合理方法计算首采区、第一开采水平的矿坑涌水量及动态变化,预测下一开采水平的涌水量;预测开采中可能出现的水文地质问题,并提出防治措施。

4.4.4.2 工程地质

详细测定主矿体(层)矿石和顶底板围岩的有关物理力学性质参数,包括硬度、块度、湿度、体积质量(体重)、含泥率、安息角、松散系数、抗压、抗剪强度等;详细查明矿区内断层、破碎带、风化软弱带、节理裂隙带、采空区、溶洞等的分布范围;详细研究矿体(层)及顶底板围岩的稳固性和露天采场边坡角的稳定性;确定矿床工程地质条件复杂程度;预测开采过程中可能出现的工程地质问题,并提出防治措施。

4.4.4.3 环境地质

详细查明水体、矿石、围岩、废石中危害人体健康的放射性元素、有害物质组分及含量,充分收集矿区及附近有关自然灾害资料,研究它们对矿山开采可能造成的影响程度并提出防治措施;预测矿山开采对环境、人文景观可能造成的危害程度并提出防治措施。

4.4.4.4 划分矿床开采技术条件类型

综合上述水文、工程、环境地质条件,准确划分矿床开采技术条件类型(3类9型)。

4.4.5 综合勘查综合评价 在勘探主矿种和主矿体(层)的同时,对矿体(层)中及勘探区内具有工业价值的共生矿产、伴生有益组分进行综合勘探和综合评价,必要时采用加密工程详细查明它们的品位、规模、分布范围、赋存状况、分布规律及与主矿种关系,计算矿产资源/储量,并研究综合回收利用的途径。

如需独立系统开采,则视市场需求布置专门的勘探工程。

5 勘查控制程度

5.1 勘查类型确定

5.1.1 勘查类型的划分 在地质观察和研究的基础上,从矿床实际出发,抓住主要因素,参照类似矿床的勘查经验划分勘查类型。

确定勘查类型要分清主、次矿体及其变化情况,如果主、次矿体在同一地段平行重叠分布,且间隔较小时,应以主矿体为准;若矿体间距较大,或主、次矿体分布于不同地段,勘查或开采都可以构成单独的系统,则主、次矿体应分别确定其矿床勘查类型。

随着勘查工作的不断深入,对原先划定的勘查类型应进行及时的检查与修正。

5.1.2 确定矿床勘查类型的主要参数 矿体规模、形态复杂程度、厚度稳定性、矿石有用组分分布的均匀程度、构造破坏程度等五个方面。

5.1.2.1 矿体(汞:含矿体)规模

矿体(汞:含矿体)规模分级详见附录 E 表 1。

5.1.2.2 矿体(汞矿:含矿体)形态复杂程度

a) 简单,即外形规则,呈层状、似层状、薄板状矿体,产状变化^①小或变化规律明显,内部无或很少有夹石和无矿天窗,基本无分支复合或分支复合有规律;

① 产状变化:变化小或较小,即受控于单一的波状褶皱(或断裂),含矿体产状与控矿构造一致;变化较大,即受控于产状复杂的褶皱(或断裂),含矿体产状与控矿构造基本一致;变化大,即控矿构造复杂,含矿体产状多变。



- b) 较简单, 即外形较规则, 呈似层状、板脉状、扁豆状、透镜状、不规则的带状, 产状变化较小, 内部有夹石和分支复合;
- c) 复杂, 即外形不规则, 多呈透镜状、扁豆状、管状、楔状等, 夹石及分支复合现象出现频繁, 产状变化大, 且规律性不明显。

5.1.2.3 主要有用组分分布均匀程度

钨、锡、铋矿按品位变化系数划分有用组分分布均匀程度, 详见附录 E 表 2; 汞矿按含矿系数划分矿化连续性, 详见附录 E 表 3。

5.1.2.4 厚度稳定性或矿体内部结构复杂程度

钨、锡、铋矿按厚度变化系数划分矿体厚度稳定程度, 详见附录 E 表 4; 汞矿体内部结构复杂程度则按含矿体与其中的矿体产状是否一致及矿化富集规律明显与否来划分, 详见附录 E 表 5。

5.1.2.5 构造破坏程度

- a) 小, 即矿体基本无断层破坏或岩脉穿切, 矿体的圈定和连接基本没有受影响或影响很小;
- b) 中等, 即矿体有断层破坏或岩脉穿切, 矿体的圈定和连接受构造明显影响;
- c) 大, 即有较多断层或岩脉穿切, 矿体的主体欠完整, 错动距离大, 严重影响矿体形态。

5.1.3 勘查类型划分 原则按照主矿体(汞矿: 含矿体)规模、形态、厚度稳定程度(汞: 含矿体内部结构)、有用组分稳定程度(汞: 矿化连续性)、构造影响程度等因素, 将勘查类型划为三类, 详见表 1。各勘查类型实例详见附录 F。

表 1 矿床勘查类型划分表

勘查类型	钨、锡、铋	汞
第Ⅰ类型 (简单型)	矿体规模达大型(钨为中等至大型), 形态简单—较简单, 厚度稳定—较稳定, 主要成分分布均匀—较均匀, 构造破坏程度小—中等	含矿体规模达大型, 形态简单—较复杂, 矿化连续—基本连续, 内部结构简单—较复杂, 构造破坏程度小—中等
第Ⅱ类型 (中等型)	矿体规模属中型, 少数为大型, 形态较简单—复杂, 厚度较稳定—不稳定, 主要成分分布较均匀—不均匀, 构造破坏程度小—中等	含矿体规模中等, 形态复杂, 矿化不连续, 内部结构复杂, 构造破坏程度小—中等
第Ⅲ类型 (复杂型)	矿体规模为小型, 少数为中型, 形态复杂, 厚度不稳定, 主要成分分布不均匀, 构造破坏程度中等—大	含矿体规模小, 形态复杂, 矿化不连续, 内部结构复杂, 构造破坏程度中等—大

5.2 勘查工程间距的确定

5.2.1 勘查工程间距确定的依据 确定勘查工程间距的合理性主要是用控制矿体的连续性和稳定性来检验的, 当一个矿床由多个稳定程度不等的矿体或矿段组成时, 应根据各自特征分别确定工程间距。

5.2.2 影响勘查工程间距的主要因素 影响勘查工程间距的主要因素是矿床地质条件复杂程度、变化规律及矿体地质变量。对于钨、锡、铋矿体而言, 一般以矿体规模、矿体形态复杂程度、有用组分的稳定程度、厚度稳定程度、构造破坏程度等作为主要地质变量; 对于汞矿而言测主要以含矿体规模、形态、矿化连续性、矿体内部结构及构造破坏程度作为主要地质变量。

5.2.3 确定勘查工程间距的方法 勘查工程间距确定的方法主要有三种:

- a) 第一种地质统计学方法, 即对勘查工程数量较多的矿床, 运用地质统计学中区域化变量的特征, 确定最佳网度值;
- b) 第二种类比法, 即对一般的中小型矿床, 有类比条件时, 运用传统类比法确定最佳网度值;
- c) 第三种试验法, 即对大型或超大型矿床, 应进行不同勘查手段的工程验证, 确定最佳网度值。

最佳勘查网度的确定一般需采取多种方法逐步确定, 不能一概而论, 应采取由稀到密, 稀密结合, 由浅到深, 深浅结合, 典型解剖, 区别对待的原则进行部署。对于矿体地质变量了解少的勘查工作早期, 一般采用类比法, 参考同类同型或同类矿床达到控制程度的网度放稀(多倍)控制, 选择典型地段进行解剖并获取足够的矿体地质变量变化的参数, 运用地质统计学, 确定矿体地质变量的变化区间长度, 以此为基础, 确定最佳网度值。



5.2.4 不同勘查工作阶段及控制程度对工程间距的要求 不同勘查工作阶段及控制程度对工程间距要求如下:

- a) 预查,即只用极少量工程验证地质、物化探异常,达到大致了解矿体(化)情况的目的,故对工程间距不作要求;
- b) 普查,即主要根据验证异常和初步控制矿体的需要布置有限取样工程,对工程间距一般采用类比法,用稀疏工程初步控制矿体;
- c) 详查,即要用系统取样工程控制矿体,一般以矿体地质变量的变化区间长度的 1/2 为基本控制间距,达到基本确定矿体连续性的目的;
- d) 勘探,即在勘探区内已有系统工程控制的基础(详查阶段)上加密取样工程控制,最终达到肯定矿体的连续性,排除矿体连接的多解性。

5.2.5 不同矿种及不同矿床勘查类型工程间距的确定 不同矿种、不同矿床勘查类型,控制的矿产资源/储量按类比法确定的工程间距参考表见附录 G。

5.3 控制程度的确定

5.3.1 预查阶段应对发现的矿体或矿化异常,根据极少量工程取得的资料,估算预测的矿产资源量,为区域远景规划提供宏观决策的依据。

5.3.2 普查阶段除大致查明矿床、矿体地质特征外,应根据有限的取样工程数据并根据地质成矿规律等估算推断的矿产资源量,作为矿山远景规划的依据。

5.3.3 详查阶段除基本查明矿床、矿体地质特征,矿石质量和加工技术特性,主要开采技术条件等外,根据系统工程取得的资料估算的控制的矿产资源/储量,一般应达到矿山最低服务年限的要求。

5.3.4 勘探阶段除详细查明矿床、矿体地质特征,矿石质量,加工技术性能,主要开采技术条件外,还应根据在系统工程基础上的加密工程取得的资料圈定、估算探明的矿产资源/储量,其中可采储量部分一般应满足矿山首期建设设计返本还息的要求。

5.3.5 对延伸很大的矿床,勘探垂深应根据矿床规模、类型的不同与投资者商定。

6 勘查工作及质量要求

6.1 地形及工程测量

应采用全国统一坐标系统和最新的国家高程基准点。对于边远地区小矿,周围没有可供联测的全国坐标系统基准点时,可采用全球卫星定位系统提供的当地数据,建立独立坐标系统测图,但必须详细说明所采用定位仪器的型号、定位的时间、程序、精度;确有困难,可采用独立坐标系测图,但必须说明假定坐标及高程的依据。测量的精度要求应执行 DZ/T 0091《地质矿产勘查测量规范》。不同比例尺的勘探线剖面应是实测的。

6.2 地质填图

不同勘查工作阶段应开展不同比例尺的地质填图工作,以满足所要求的地质可靠程度,其精度要求应按同比例尺地质填图规范要求执行:

- a) 预查阶段:对有望地区,一般选择几条路线进行地质踏勘,地形底图最好使用同比例尺正规地形图,地质点一般采用地形地物定点;
- b) 普查阶段:一般开展 1:50 000~1:5 000 地质填图,地形底图为正规 1:50 000~1:10 000 地形底图,或放大成 1:5 000 的地形底图,地质点一般采用地形地物定点,对蚀变矿化体或重要地质界线而言,若遇浮土覆盖则需用适量槽探、井探或浅钻工程稀疏揭露控制,勘查工程及勘探线剖面必须实测;
- c) 详查和勘探:详查一般开展 1:5 000~1:2 000 地质填图(精测),勘探一般开展 1:2 000~1:1 000 地质填图(精测),必要时勘探阶段可开展 1:500 地质填图,所用地形底图需进行地形测量,精度需符合同比例尺的测量规范,对蚀变矿化体及重要地质界线,若遇浮土覆盖,需按一定的工程间距布设槽探、井探或浅钻工程揭露控制,所有地表工程、地质点、勘探线剖面均须用



仪器法展绘到图上,对于薄矿体(层)、标志层及其他有特殊意义的地质现象,必要时应扩大表示。

6.3 物化探工作

6.3.1 依据矿床的地质、矿化特征及矿区的自然地理条件,选择有效的物探、化探方法进行综合勘查。对于钨、锡矿床,常选择开展大比例尺重力、磁法、自然电流法等地球物理测量及土壤地球化学测量或岩石地球化学测量等;对于铋、汞矿床,可选择投入联合剖面、大功率电法、构造地球化学、岩石地球化学、汞气测量、土壤地球化学等方法。各比例尺物化探工作的精度要求需遵守同比例尺的物化探规范,各项测试数据应准确可靠,各项改进、创新的计算程序必须经有资质的专家评审、认可后方可使用。物、化探新技术、方法的应用需在有效、经济的原则下投入。

6.3.2 应开展一定数量的参数测定,布置一定的地质地球物理、地球化学综合剖面(已知剖面)作为物化探推断解释的依据。应充分利用普查、详查钻孔开展井中物化探工作,寻找盲矿体,便于研究解决矿体形态产状和连接关系。用作储量计算的测井资料,必须是定量解释的测井成果。

6.4 探矿工程

6.4.1 原 则 根据矿体产状、形态及地形条件合理选择勘探手段。

6.4.2 槽探、井探、硐探 槽探深度应挖至基岩新鲜面,断面应尽可能平整;当浮土较厚(大于3 m)时以浅井或浅钻揭露,深度以掘至基岩为止,浅井四壁应平整。若地形有利则应用平硐探索浅部矿体的产状与矿化的变化情况;对老窿应有选择性地清理。为了有效地指导深部探矿工程设计,地表的工程密度应比深部工程加密一倍,必要时可用沿脉槽探或沿脉平硐等。

6.4.3 坑 探 一般用于矿床首采区或主要储量区,并尽量考虑为生产利用,对陡倾斜矿脉(尤其是薄板状矿脉)的沿脉坑道,应严格在脉内坑道掘进,并按勘探线间距用穿脉坑道穿透矿体。坑探工程质量按DZ/T 0141《地质勘查坑探工程规程》执行。

6.4.4 钻 探 施工中除严格执行有关规程外,根据矿床特征,必须达到如下要求:

- 岩心平均采取率不低于70%;
- 矿体及其顶底板3~5 m的围岩、近矿围岩蚀变带、控矿构造标志层的采取率不低于80%;若连续有两个回次(或厚大矿体中连续5 m以上)采取率低于80%时,必须采取补救措施;
- 矿心应尽可能保持原状,特别注意矿心被粉碎后可能造成的贫化或富集的假象,为此,对多脉带矿体及破碎带控制的矿体,应严格控制钻探回次进尺的长度与钻进时间;采用金刚石钻探工艺时,穿矿孔径要满足取样要求;
- 必须按有关规程的质量要求,认真测量钻孔顶角和方位角,做好钻孔测斜、孔深校正、简易水文地质观测、原始记录、封孔及岩心保管等工作。钻孔弯曲度必须符合规程和地质设计要求,钻孔方位角偏斜距离的允许范围不能超过勘探线间距的五分之一,偏斜超差时要及时设法补救,见矿点(及厚度大于30 m的矿体出矿点)应测定钻孔弯曲度。封孔质量不符合规程或设计要求时需返工重封。

6.5 化学分析样品的采取、加工和测试

6.5.1 基本分析样品 凡是矿化露头和探矿工程中揭露控制的矿体、矿化带及夹石、矿化带顶底板界线都应贯穿矿体全厚度连续采取基本分析样品,对不同类型、不同品级的矿石应分段连续采取,保证样品的代表性。

- 取样方法:对槽探、井探、坑探工程及矿化露头,一般采用刻槽法;但视矿化均匀程度,也可采用刻线法、方格法。单样长度一般为0.5~1.5 m,样槽断面规格为:刻槽法,(10~5 cm)×(5~3 cm);刻线法,宽度为1 m,线距一般为20~30 cm,线断面为3 cm×2 cm;方格法,宽度为1 m,点距一般为(20~30 cm)×(10~20 cm)。在勘探或详查阶段,一般应进行采样方法试验,选择代表性强且经济的采样方法及规格。穿脉坑道的样槽应在坑壁腰线上连续采取,沿脉样槽应在掌子面或顶底板采取,并按勘探线间距,在矿脉顶底板上应各有一个无矿样品控制矿脉的真实厚度;对钻探工程的矿心取样,应沿矿心纵轴分半采样,遇不同回次的矿心直径不同和采取率相差大的情况下,应分别采样。样长一般亦为0.5~1.5 m。



b) 基本分析项目：王要有用组分（包括共生矿产）。

6.5.2 光谱全分析样品 为确定组合分析和化学全分析项目，需在矿体不同空间部位、不同矿石类型（或品级）及某些围岩、蚀变带取样，样品可从基本分析样的副样中挑取或单独采取。

6.5.3 组合分析样品 主要了解矿石伴生的有益和有害组分。

a) 取样：样品的组合要依据伴生元素的分布规律，按工程、分矿体、矿石类型从基本分析样的副样中提取，按基本分析样品长度的比例进行组合。

b) 分析项目：根据光谱全分析和化学全分析结果，结合矿床地质特点，对有实际意义的伴生组分（有益的和有害的）均应列为组合分析项目。

6.5.4 矿石化学全分析样品 为全面查定矿石中元素的种类含量，应在光谱全分析与岩矿鉴定的基础上进行矿石化学全分析。

取样样品可利用组合样，或专门采取有代表性的样品，不同类型的矿石应分别分析 1~2 件，以确定矿石的性质和特点。

6.5.5 物相分析样品 用于研究矿石中有用、有害组分在不同物相（或矿物）中的分配值、分配率。

a) 取样：样品可在基本分析样的副样中抽取，或用组合样品，为防止样品氧化必须及时进行，也可专门采取物相分析样品。

b) 分析项目：矿化主元素的全含量、硫化态、氧化态、硅酸态（锡）、硫酸态（锑）、自然态（汞）等相态含量。

6.5.6 单矿物分析 主要查明贵金属、稀散元素或稀有金属的赋存状态、分布规律、含量及其与主元素的关系，为选冶流程提供依据。

a) 取样：样品一般采自富矿体，在实验室内用各种机械分选方法获得；用作计算矿产资源/储量时，应按工程或按块段采集。一般送样质量为 2~20 g。

b) 分析项目：根据不同矿床、矿石矿物和查定目的确定。

6.5.7 样品加工 分析样品的制备必须严格按照切乔特公式进行缩分：

$$Q=Kd^2$$

式中：

Q ——缩分后所取得的最小可靠质量（g）；

K ——缩分系数；

d ——样品碾碎后最大颗粒的直径（mm）。

K 值的大小一般采用经验值。钨矿一般采用 0.2~0.3；锡矿一般用 0.2，组分很不均匀时用 0.3~0.5；锑矿一般采用 0.2~0.3，若伴有贵金属组分， K 值用 0.4；汞矿一般采用 0.2，组分很不均匀时，采用 0.3~0.5。若遇新类型矿床，必要时，应进行 K 值试验。

在样品加工过程中，要求损失率不大于 5%，每次缩分误差应小于 3%，加工应严格遵守操作规程，严防污染。

样品缩分后，除满足基本分析、组合分析和全分析需要外，还需保留一定数量的副样。一般副样质量为 300~400 g。

6.5.8 化学分析质量

6.5.8.1 承担单位 样品测试必须由获得国家或省级资质和计量认证三级以上的测试单位承担。

6.5.8.2 内部质量检查 基本分析、组合分析、物相分析结果应分批、分期做内部检查分析，内检样由按原分析样品总数的 10% 在副样中抽取，编密码送原分析室进行分析。

6.5.8.3 外部质量检查 外检样品由原实验室从正样中按原分析样品总数的 5% 抽取，当矿床样品总数量较少时，外检样比例要视情况适当提高（一般不得少于 30 个）。

6.5.8.4 内、外检样品分析结果误差处理办法 按 DZ/T 0130.3—94《地质矿产实验室测试质量管理规范》执行，内检合格率不低于 95%，外检合格率不低于 90%。

当内检超差时，应及时检查加工、化验质量，找出原因，及时处理；当外检超过允许误差时，双方应认真查明原因，必要时进行仲裁分析。



6.6 矿石选（冶）试验样品的采集与分析、试验

6.6.1 矿石选（冶）试验程度 由矿产勘查投资人决定。样品采集前，矿产勘查人应与试验单位共同编制采样设计书，经矿产勘查投资人批准后实施。

6.6.2 样品的采集 样品采取要考虑矿石类型、品级、组构特征和空间分布的代表性，并应考虑开采时的矿石贫化，组合后样品的平均品位（包括共生组分）一般应略低于矿区内所代表的矿石工业类型的平均品位，有多种矿石类型的样品混合时，其比例应与矿石类型储量比例一致，如果矿床规模大，物质组分复杂，还应分段采样。

6.7 岩石、矿石物理技术性能测试样品的采集与试验

6.7.1 为了估算矿产资源/储量和研究矿床开采技术条件，在详查、勘探中必须测定岩石、矿石和矿体顶底板围岩的物理力学性能。采样与试验项目一般包括：矿石的体积质量（体重）、湿度、块度、含矿系数（汞矿）；矿体顶底板围岩和矿石的稳定性、硬度、安息角以及抗压、抗剪、抗拉强度；采样方法、数量、质量按《金属非金属矿产地质普查勘探采样规定及方法》执行。

6.7.2 体积质量（体重）样应按矿石类型和品级分别采样，在空间上应有代表性。详查、勘探阶段，除每种主要矿石类型或品级的小体积质量（体重）样品数量不少于 30 个外，还应采取一定的大体积质量（体重）样，以便对体积质量（体重）进行校正；对疏松或多裂隙孔洞的矿石则采取一定的大体积质量（体重）样。小体积质量（体重）样为 $60 \sim 120 \text{ cm}^3$ ，且应在野外封蜡；大体积质量（体重）样不少于 0.125 m^3 。测定矿石体积质量（体重）时需同时测定它的主元素品位、湿度和孔隙度。当湿度大于 3% 时，体积质量（体重）值应进行湿度校正。

6.7.3 岩、矿石物理力学样采集重点放在矿体的上下盘，采样要有代表性，能反映出各种岩矿石的主要特征。

6.8 原始记录、综合整理和报告编写

矿产勘查各阶段，原始编录必须在现场及时进行，编录须客观、准确、齐全反映第一性地质情况，重要地质现象除文字记录外，应有大比例尺素描图。各项原始编录资料应及时进行质量检查验收和综合整理。工作质量按 DZ/T 0078《固体矿产勘查原始地质编录规定》和 DZ/T 0079《固体矿产勘查地质资料综合整理、综合研究规定》执行。

在不同阶段的勘查工作结束时，要及时编写矿产地质勘查报告，具体按 DZ/T 0033—2002《固体矿产勘查/矿山闭坑地质报告编写规范》的要求编写。

6.9 新技术、新方法

提倡从野外工作开始，到资料整理、提交报告，全过程使用计算机技术及 RS 技术、GPS 技术、GIS 技术开展工作，尽量采用数字化技术处理，各种数据建立勘查成果数据库。

7 可行性评价

7.1 概略研究

指在普查阶段对矿床开发经济意义的概略评价。所采用的数据是我国同类型矿山几十年的经验数据。其目的是确定投资机会，其结果可信度低，只可作为矿床进一步勘查和矿山制定长远规划的依据。

概略研究可由地质勘查单位完成。

7.2 预可行性研究

指在详查阶段对矿床开发经济意义的初步评价。其结果具有较强的时效性，可信度一般，可作为矿床进一步勘探和（或）矿山制定总体规划的依据。

研究所提供的地质资料和矿床（区）地形地貌特征，借鉴类似矿山经验，对未来矿山建设提出原则方案，包括规模、开拓主要工程量、开采方式、方法、产品种类、产品质量、选矿工艺流程和矿山总体建设轮廓等；收集、研究矿床（区）所在地的经济地理资料，包括交通、水源、电源、燃料、动力、建筑材料、劳动力、生活资料供应情况及气候、生态环境等，结合矿山建设方案初步估算矿山建设总投资和矿山生产成本；收集、研究国内外市场当时钨、锡、汞、铋的需求量、产量、产品品种、产品质量和价格等资



料开预测其未来趋势，初步估算未来矿山产值；用动态方法估算矿山的赢利能力，包括内部收益率、净现值、投资回收期等。预可行性研究结果直接作为矿山开发投资依据时，还需进行不确定性分析，指出矿山经营风险中最关键因素，计算盈亏平衡点。

钨、锡、锑是我国优势矿种，大型以上矿床要考虑我国的资源政策、出口政策和外汇管理政策及其未来可能的调整。

预可行性研究必须由有资质的单位完成。

7.3 可行性研究

指在勘探阶段对矿床开发经济意义的详细评价。其结果具有很强的时效性，可信度高，可作为矿山开发投资和设计的依据。

详细研究矿床规模、矿体空间的位置、矿石质量、矿床开采技术条件和气候、矿（床）区地形条件，提出多个可供对比的采、选方案，包括开采规模、开采方式、开拓方案、产品方案、选矿工艺流程、产品质量、开拓工程量、采矿损失量、贫化率、选矿回收率等。

详细收集、研究国内外市场钨、锡、汞、锑资源/储量、产量、产品种类及质量现状并预测其未来走势；系统调查、统计、分析国内外市场对钨、锡、汞、锑需求量、产品种类、质量要求和价格现状并预测其未来走势。

详细收集、评价矿山外部建设条件，包括交通、水源、电源、燃料动力、建筑材料、劳动力、生活资料供应情况等，结合矿山采、选方案，提出矿山总图运输。

对于钨、锡、锑矿还要研究我国的资源政策、出口政策、外汇管理政策及未来走势。

大型以上矿床要开展国民经济分析。

用动态方法开展经济效益分析，包括投资总额、投资回收期、总成本、总产值、内部收益率、净现值等。开展不确定性分析，指出矿山经营风险最关键因素，计算盈亏平衡点。

可行性研究必须由有资质的单位完成。

8 矿产资源/储量分类及类型条件

8.1 矿产资源/储量分类依据

8.1.1 分类依据 储量和资源量分类依据是地质可靠程度、可行性评价程度和经济意义。

8.1.2 地质可靠程度 分为预测的、推断的、控制的、探明的。

8.1.2.1 预测的 是指具有矿化潜力较大地区经过预查得出的结果。在有足够的数据并能与地质特征相似的已知矿床进行类比时，才能估算出预测的资源量。

8.1.2.2 推断的 是指对普查区按照普查的精度大致查明矿床的地质特征以及矿体的展布特征、品位、质量等，也包括那些由地质可靠程度较高的基础储量或资源量外推的部分。矿体的连续性是推断的。矿产资源数量的估算所依据的数据有限，可信度较低。

8.1.2.3 控制的 是指对矿区的一定范围依照详查的精度基本查明了矿床的主要地质特征、矿体的形态、产状、规模、矿石质量、品位及开采技术条件，矿体的连续性基本确定，矿产资源数量的估算所依据的数据较多，可信度较高。

8.1.2.4 探明的 是指在矿区的勘探范围内依照勘探的精度详细查明了矿床的地质特征、矿体的形态、产状、规模、矿石质量、品位及开采技术条件，矿体的连续性已确定，矿产资源数量估算所依据的数据多，可信度高。

8.1.3 可行性评价程度 分为概略研究、预可行性研究和可行性研究，具体要求见前述。

8.1.4 经济意义 分为经济的、边际经济的、次边际经济的和内蕴经济的。

8.1.4.1 经济的 其数量和质量是依据符合市场价格确定的生产指标计算的。在可行性研究或预可行性研究当时的市场条件下开采，技术上可行，经济上合理，环境等其他条件允许，即每年开采矿产品的平均价格能满足投资回报的要求，或在政府补贴和（或）其他扶持措施条件下，开发是可能的（投资收益率高于国家或行业基准收益率）。



8.1.4.2 边际经济的 在进行可行性研究或预可行性研究之时，其开采是不经济的，但接近盈亏边界（投资收益率介于0与国家或行业基准收益率之间），只有在将来由于技术、经济、环境等条件的改善或政府给予其他扶持的条件下才可变成经济的。

8.1.4.3 次边际经济的 在进行可行性研究或预可行性研究之时，开采是不经济的或技术上不可行的（投资收益率小于0），需大幅提高矿产品价格或由于技术进步，使成本降低后方能变为经济的。

8.1.4.4 内蕴经济的 仅通过概略研究做了相应的投资机会评价，未做预可行性或可行性研究。由于不确定因素多，无法区分其是经济的、边际经济的，还是次边际经济的。

8.2 矿产资源/储量类型

8.2.1 储 量

8.2.1.1 经济的可采储量（111） 探明的经济基础储量的可采部分，是指在已按勘探阶段要求加密工程的地段，在三维空间上详细圈定了矿体，肯定了矿体的连续性，详细查明了矿床地质特征、矿石质量和开采技术条件，并有相应的矿石加工选（冶）试验成果，已进行了可行性研究，包括对开采、选冶、经济、市场、法律、环境、社会和政府等因素的研究及相应的修改，证实其在估算的当时开采是经济的，内部收益率高于国家或行业基准收益率。估算的可采储量及可行性评价结果可信度高。

8.2.1.2 经济的预可采储量（121） 它所达到的勘查阶段、地质可靠程度同（111），但只进行了预可行性研究，表明当时开采是经济的，内部收益率高于国家或行业基准收益率。估算的可采储量可信度高，但可行性评价结果的可信度一般。

8.2.1.3 经济的预可采储量（122） 它是控制的经济基础储量的可采部分，指已达到详查工作程度要求的地段，地质勘查达到控制的程度，经预可行性研究结果表明开采是经济的，内部收益率高于国家或行业基准收益率。估算的可采储量可信度较高，可行性评价结果的可信度一般。

8.2.2 基础储量

8.2.2.1 经济的基础储量（111b） 它所达到的勘查阶段，地质可靠程度，可行性评价阶段及经济意义的分类同（111）所述，与其惟一差别在于本类型是用未扣除设计、采矿损失的数量表述。

8.2.2.2 经济的（预可研）基础储量（121b） 它所达到的勘查阶段、地质可靠程度、可行性评价阶段及经济意义的分类同（121）所述，与其惟一差别在于本类型是用未扣除设计、采矿损失的数量表述。

8.2.2.3 经济的（预可研）基础储量（122b） 勘查阶段、地质可靠程度、可行性评价阶段及经济意义均与（122）相同，差别在于用未扣除设计、采矿损失数量表述。

8.2.2.4 边际经济的（可研）基础储量（2M11） 是指在达到勘探阶段工作程度要求的地段，详细查明了矿床地质特征、矿石质量、开采技术条件，圈定了矿体的三维形态，肯定了矿体连续性，有相应的加工选（冶）试验成果。可行性研究结果表明，在确定之时，开采是不经济的，但接近盈亏边界，内部收益率介于0和国家或行业基准收益率之间，只有当技术、经济等条件改善后，才可变成经济的。这部分基础储量可以是覆盖全勘探区的，也可以是勘探区中的一部分，在可采储量周围或在其间分布，估算的基础储量和可行性评价结果的可信度高。

8.2.2.5 边际经济的（预可研）基础储量（2M21） 它所达到的勘查阶段、地质可靠程度、分布特征与（2M11）完全相同，但只进行过预可行性研究，估算的基础储量可信度高，但可行性评价结果的可信度一般。

8.2.2.6 边际经济（预可研）基础储量（2M22） 指达到详查工作阶段要求的地段，基本查明了矿床地质特征、矿石质量、开采技术条件，基本圈定了矿体的三维形态，预可行性研究结果表明，在确定之时，开采是不经济的，但接近盈亏边界，内部收益率介于0与国家或行业基准收益率之间，待将来技术、经济条件改善后可变成经济的，这部分基础储量可以覆盖全详查区，也可以是详查区的一部分，可以在可采储量（122）周围或其间分布。估算的基础储量可信度较高，可行性评价结果的可信度一般。

8.2.3 资源量

8.2.3.1 次边际经济的（可研）资源量（2S11） 是指在已达到勘探阶段工作程度要求的地段，地质可靠程度已达到探明的，经可行性研究结果表明，在确定当时，开采是不经济的，内部收益率小于0，需要大幅度提高矿产品价格或大幅度降低成本后，才能变成经济的。所估算的资源量和可行性评价结果的可信



度局。

8.2.3.2 次边际经济的(预可研)资源量(2S21) 指勘查工作阶段和地质可靠程度同(2S11),但只进行过预可行性研究,在确定之时,开采是不经济的,内部收益率小于0。估算的资源量可信度高,可行性评价结果的可信度一般。

8.2.3.3 次边际经济的(预可研)资源量(2S22) 是指已达到详查工作程度要求的地段,地质可靠程度为控制的,预可行性研究结果表明,在确定之时,开采是不经济的,内部收益率小于0,需大幅度提高矿产品价格或大幅度降低成本后,才能变成经济的。估算的资源量可信度较高,可行性评价结果的可信度一般。

8.2.3.4 内蕴经济的资源量(331) 在已达到勘探程度要求的地段,地质可靠程度已达到探明的,但未做可行性研究或预可行性研究,仅做了概略研究,经济意义尚不确定。估算的资源量可信度高,可行性评价可信度低。

8.2.3.5 内蕴经济的资源量(332) 是指勘查工作程度已达到详查阶段要求的地段,地质可靠程度为控制的,可行性评价仅做了概略研究,经济意义尚不确定。估算的资源量可信度较高,可行性评价可信度低。

8.2.3.6 内蕴经济的资源量(333) 是指在勘查工作程度只达到普查阶段要求的地段,地质可靠程度为推断的,资源量只根据有限的的数据估算,其可信度低。可行性评价仅做了概略研究,由于不确定因素多,故其经济意义无法区分是经济的、边际经济的,还是次边际经济的。

8.2.3.7 预测的矿产资源量(334)? 根据区域地质、地球物理、地球化学、遥感等工作,确定具有矿化潜力的地区,勘查工作只达到预查程度,并根据地质、物化探异常预测矿体(层)的存在和有极少量工程验证,其资源量是根据与其地质特征相似的已知矿床类比估算的,可信度很低,其经济意义尚不确定,属于潜在矿产资源,只能作为勘查工作规划的依据。

9 矿产资源/储量估算

9.1 矿产资源/储量估算的工业指标

9.1.1 工业指标定义 工业指标是在当前技术经济条件下评价矿床的工业价值,圈定矿体,估算矿产资源/储量的依据。

9.1.2 工业指标的确定

9.1.2.1 类比法 可参考本规范附录 I 或《矿产工业要求参考标准》推荐的一般工业指标,也可类比类似矿床的工业指标。

9.1.2.2 统计法 利用试样的化验分析结果对矿物的主要有用组分按不同的含量区间作统计计算,求出各品位含量区间的频率分布特征,再根据主要有用组分的含量频率分布特征并结合矿区其他地质条件确定边界品位和最低工业品位。

9.1.2.3 价格法 一般根据产品价格,采、选(冶)综合回收率及综合生产成本等参数确定,并用“收支平衡品位”确定最低工业品位。

9.1.2.4 方案法 从矿石储量和质量、矿山生产规模、矿体开采的难易程度、矿石的损失与贫化、金属回收率、投资费用及经济效益等各方面进行综合分析论证来确定。根据矿床地质的实际资料,以充分合理利用矿产资源和有较好的经济效益为前提,经多方案试算对比,一般以净现值为0和内部收益率与行业基准收益率(一般为8%~12%)相等为标准所对应的品位为边界品位,而且应根据不同的边界品位,估算矿产资源/储量,绘制矿产资源吨/品位曲线,为矿产资源/储量的动态管理创造条件。

9.1.3 不同勘查阶段确定工业指标的方法 不同勘查阶段确定工业指标的方法应不完全相同。一般预查、普查阶段多用类比法确定;详查阶段常用统计法、价格法确定;勘探阶段一般采用方案法确定。

9.1.4 工业指标的主要内容 有边界品位、最低工业品位、矿区(床)平均品位、最低可采厚度、夹石剔除厚度,对小于可采厚度而品位较高的矿体,采用米百分值。对工业能够利用的共生矿产及伴生组分,应提出综合指标。



钨、锡、汞、铋一般工业指标参考附录 J。

9.2 矿产资源/储量估算的一般原则

9.2.1 除预查、普查阶段可使用本规范的工业参考指标外，详查、勘探阶段必须严格使用投资方（业主）提出并经矿产资源主管部门正式审批下达的工业指标。

9.2.2 参与矿产资源/储量估算的各项工程质量均须检查合格，不合格的工程不能参与相应控制程度的矿产资源/储量类别估算。

9.2.3 共生组分应与主金属等同估算矿产资源/储量；伴生有用组分必须是在查明组分赋存状态、分布规律、回收利用途径的基础上，采用组合分析或精矿分析的数据与主金属同时进行估算；分散元素可根据单矿物分析或精矿分析资料估算。

9.2.4 必须根据矿体的产状、形态和勘查工程布置形式，选择最合理的估算方法，并论证其正确性。较常用的有传统的几何法、地质统计学法及 SD 法。对于使用新软件估算矿产资源/储量的，必须经矿产资源储量主管部门组织专家鉴定验收后，方可使用。

9.2.5 根据矿床控制程度，按矿体、分块段、矿石类型、矿产资源/储量类别分级估算矿石量、平均品位、金属量，并在计算图件上标明各类储量（或基础储量）、资源量在地质空间的分布。

9.2.6 估算已开采的矿床时，应扣除截止到勘查工作结束时的采空区储量；对埋藏在永久性建筑物及文化古迹以下的矿体，应列出基础储量（资源量）数据。

9.2.7 对估算方法及其结果的正确性应进行检验，要选择一部分有代表性的矿体或块段，采用其他方法进行检验估算。

9.3 确定矿产资源/储量估算参数的要求

9.3.1 面积测定 块段面积的测定可采用几何图形法、求积仪法、方格纸法、称量法及其他方法，面积应测定两次以上；要求其误差在 2% 以内，面积取其平均值。

9.3.2 平均品位计算

9.3.2.1 单工程平均品位计算 一般用样长加权求得，遇有特高品位时，则应处理特高品位后再计算。

9.3.2.2 特高品位处理 通常品位值高于矿体（床）平均品位 6~8 倍的样品称为特高品位，当品位变化系数大时取上限值，变化系数小时取下限值。处理特高品位前，首先应对被视为特高品位的样品的副样进行第二次内检分析，当两次分析的结果在允许误差范围内确定为特高品位时，用第一次的结果作为待处理的特高品位值。处理的方法是用特高品位参加其所影响的块段或单工程平均品位计算，用计算出的块段或单工程（矿体厚度较大时）平均品位代替该样品参与块段或单工程平均品位的正常计算；如果特高品位呈有规律分布，且可圈出高品位带时，则应单独圈出估算，不再进行特高品位处理。

9.3.2.3 块段平均品位计算 用地质块段法计算矿产资源/储量时，块段平均品位通常用单工程（或样品段）厚度加权法求得，用垂直剖面法和水平断面法计算时，先采用单工程厚度加权，再采用面积进行加权求取块段平均品位。

9.3.3 平均厚度计算 用于地质块段法的矿体厚度，都应是垂直于矿体投影平面的假厚度。块段平均厚度的计算，一般用算术平均法。当厚度变化大而工程分布不均匀时，则用加权平均。

9.3.4 矿石体积质量（体重） 一般致密矿石用小体积质量（体重）平均值估算储量。不同类型的矿石应分别使用各自的体积质量（体重），对裂隙发育、氧化疏松矿石应采用大体积质量（体重）平均值估算储量，当体积质量（体重）与品位正相关时，也可用回归法计算体积质量（体重），当矿石湿度大于 3% 时，矿石体积质量应予以校正。

9.3.5 含矿系数 汞矿床含矿系数必须客观地反映含矿体内具有工业价值的矿石比值，一般以具方向性的线性系数较为合理，宜按矿化富集规律或矿体分布变化特征灵活确定估算方法，不得简单地就矿连矿或用见矿工程率、见矿工程控制面积率及体积率取代。含矿系数一般先修正矿石量，再估算金属量。

9.4 矿产资源/储量分类结果表

根据矿体的经济意义、可行性评价程度、地质可靠程度，对勘查工作所获得的矿产资源/储量进行分类，并编制分类结果表。表中在说明矿石量、金属量、平均品位的同时，反映出矿产资源/储量的地质可靠程度和经济意义，并标明矿产资源/储量编码。



附 录 A
(规范性附录)
固体矿产资源/储量分类

表 1 固体矿产资源/储量分类表

经济意义	地质可靠程度			
	探明矿产资源			潜在矿产资源 预测的
	探 明 的	控 制 的	推 断 的	
经济的	可采储量(111)			
	基础储量(111b)			
	预可采储量(121)	预可采储量(122)		
	基础储量(121b)	基础储量(122b)		
边际经济的	基础储量(2M11)			
	基础储量(2M21)	基础储量(2M22)		
次边际经济的	资源量(2S11)			
	资源量(2S21)	资源量(2S22)		
内蕴经济的	资源量(331)	资源量(332)	资源量(333)	资源量(334)?

注：表中所用编码（111～334），第 1 位数表示经济意义：1=经济的，2M=边际经济的，2S=次边际经济的，3=内蕴经济的，?=经济意义未定的；第 2 位数表示可行性评价阶段：1=可行性研究，2=预可行性研究，3=概略研究；第 3 位数表示地质可靠程度：1=探明的，2=控制的，3=推断的，4=预测的；b=未扣除设计、采矿损失的可采储量。

附 录 B
(资料性附录)
钨、锡、汞、锑矿床规模划分标准

表 1 钨、锡、汞、锑矿床规模划分标准表

矿种名称	单 位	矿 床 规 模		
		大 型	中 型	小 型
钨	WO ₃ (万吨)	>5	1~5	<1
锡	Sn(万吨)	>4	0.5~4	<0.5
汞	Hg(吨)	>2 000	500~2 000	<500
锑	Sb(万吨)	>10	1~10	<1

附 录 C
(规范性附录)
汞的环保要求

汞是当前环境污染的最大公害之一。汞的污染分有机汞与无机汞两类，无机汞毒性较小，由呼吸道进入人体较之消化道进入者危害性大；有机汞通过生物界复杂的食物链可富集近数百至数十万倍。震惊世界的日本水俣病，即源于含汞废水。

a) 目前国家工业“三废”排放试行标准 GB/T 4—73 对汞的要求为：

- | | | | | |
|-------------------------------|------------|------|------|------|
| 1) 废水最高容许排放浓度： | 0.005 mg/L | | | |
| 2) 废气： | | | | |
| 烟囱高度 (m) | 20 | 30 | 40 | 60 |
| 最高允许排放浓度 (mg/m ³) | 0.01 | 0.02 | 0.04 | 0.06 |

b) 国家工业企业设计卫生标准 GBJ 3—73 要求：

居民区大气中含汞最高容许浓度日平均 0.000 3 mg/m³。



附 录 D

(资料性附录)

汞矿含矿体的圈定

汞矿的矿化一般极不均匀，各采样线间，品位呈跳跃变化，且不因加密测线而异。按勘查工程控制、圈定的“矿体”，开采时常见矿石与不稳定夹石随机交错，以致采场互不连续，或越出圈定边界，实为矿体相对密集的地质体。

含矿体按含矿系数与品位乘积及控矿地质特征圈定。为此，矿床的地质研究程度将直接影响到合理圈定含矿体的问题。具体用于圈定含矿体边界的标志能否定量，也主要取决于地质研究程度。

含矿体一般分两个步骤圈定，首先在平面（或纵投影面）上圈定，然后在断面方向圈定。平面圈定含矿体均按见矿勘查工程内推或外推的原则，结合控矿地质构造条件，用直线或自然曲线连接、圈定。断面圈定一般以控矿地质标志为依据，随各矿床的地质特征及地质研究程度而异。含矿体的边界可以是矿体边界，也可以按控矿标志超越矿体边界。以往沿用于圈定边界的具体方法如下：

- 含矿边界明显，含矿体厚度不大，矿体直接受控于标志面——包括覆盖层或断裂面，含矿体边界即按标志面圈定；
- 含矿边界不明显，含矿体厚度较大，矿体在含矿部位内跳跃变化，含矿边界分别按以下方法确定，即：
 - 以矿体顶、底界以外的结晶辰砂为边界。
 - 按统计规律，首先确定见矿概率最大部位，再分别按矿体及辰砂的分布情况圈定边界，即在最大见矿概率部位内，按辰砂的顶、底界为边界；矿体在该部位内，辰砂连续分布至其外，按最大见矿概率部位的顶、底为边界；矿体自该部位连续至其外，以矿体顶或底为边界。
 - 有条件确定含矿体边界品位的矿床，按定量指标圈定。

附 录 E

(资料性附录)

钨、锡、汞、锑矿床勘查类型确定因素参考

表 1 矿体规模分级参考表

矿 种	参 数	矿 体 规 模			备 注
		大	中	小	
钨	长/m	>1 000	1 000~300	<300	若矿体为管条状,则:倾斜长大于 500 m,截面积大于 200 m ² 为大型;倾斜长为 500~200 m,截面积为 200~30 m ² 为中型,倾斜长小于 200 m,截面积小于 30 m ² 为小型
	延深或宽/m	>600	600~200	<200	
锡	长/m	>700	700~300	<300	
	延深或宽/m	>200	200~100	<100	
锑	长/m	>600	600~300	<300	
	延深或宽/m	>400	400~200	<200	
汞	长轴/m	>600	600~200	<200	此处规模指的是汞矿的含矿体规模
	短轴/m	>100	100~40	<40	

表 2 主要有用组分分布均匀程度分级参考表

均匀程度	品位变化系数/%		
	钨	锡	锑
均 匀	<50	<60	<70
较均匀	50~130	60~120	70~125
不均匀	>130	>120	>125

表 3 矿化连续性分级参考表

连续性	汞含矿系数
连 续	≥0.7
基本连续	0.5~0.7
不连续	≤0.5



表 4 厚度稳定程度分级参考表

稳定程度	厚度变化系数/%		
	钨	锡	锑
稳定	<60	<50	<65
较稳定	60~80	50~100	65~100
不稳定	>80	>100	>100

表 5 汞矿体内部结构复杂程度分级表

级 别	特 征
简 单	矿体产状与含矿体一致,矿化富集规律明显
较复杂	矿体产状与含矿体不一致,矿化富集规律明显
复 杂	矿体产状与含矿体不一致或矿体产状多变,矿化富集规律不太明显或不明显

附 录 F

(资料性附录)

钨、锡、汞、锑矿床勘查类型划分实例

表 1 钨、锡、汞、锑矿床勘查类型划分实例

矿种	勘查类型	矿床实例	主矿体规模			矿体形态	品位变化系数/%	厚度变化系数/%	构造破坏程度	矿化连续性	夹石情况	备 注
			长/m	延深或宽/m	厚度/m							
钨	第Ⅰ类型	湖南瑶岗仙夕卡岩型白钨矿床	2 000	>1 000	一般 10~40 平均 20	缓倾斜似层状	86	较稳定		基本连续	偶见	
		江西漂塘石英细脉带型钨-锡矿床的Ⅰ、Ⅲ矿带	800~1 230	470~560	10~20	细脉带	26~42	42~40	小	基本连续	少	
	第Ⅱ类型	江西盘古山石英大脉型钨-铋矿床	400~800	400~800	0.3~0.72	陡倾斜薄板状至厚板状	220~242	稳定	小	基本连续		
		湖南邓阜仙石英大脉型钨-铜-锡矿床	400~1 000	300~550	0.3~0.5	陡倾薄板状	170~400	较稳定		基本连续		
	第Ⅲ类型	江西棕树坑石英大脉型钨-锡矿床	80~150	150~300	0.16~0.45	陡倾薄板状	200	40	小			
		湖南沃溪层状浸染型钨-铋-金矿床	100~300	200~1 500	0.2~3	板柱状、透镜状、囊状	285	70	小	不连续		
锡	第Ⅰ类型	广西大厂长坡区硫化物-硫酸盐型矿体 92 号	700	>1 130	5~79 平均 26.53	似层状	169	14	无	连续	很少	又如云南个旧松树脚锡石-硫化物夕卡岩型 1—1 号矿体
		91 号	480	>1 030	14.28	似层状、透镜状	142	82	无	连续	偶见	
	第Ⅱ类型	广东阳春锡山锡石-石英脉 18 号矿体	400	200	12	似层状	75~85	60~80	中等			又如广西栗木老虎头蚀变花岗岩型矿床;云南个旧马拉格锡石-硫化物型 22 及 4 号矿体;广东长铺锡石-石英型 V2 矿体;广西大厂长坡区硫化物-硫酸盐 0 号矿脉等
	第Ⅲ类型	云南个旧老厂锡矿床 2~4 号矿体	266	92	平均脉幅 5.6	层脉组合,形态复杂	131					又如云南个旧卡房 1—2—1 号矿体、广东阳春锡山锡石-石英型 9 号矿体
锑	第Ⅰ类型	湖南锡矿山飞水岩锑矿床Ⅰ号矿体	1 010	753	一般 1~5 平均 3	似层状	65	62	很小	连续	少	
		贵州半坡锑矿Ⅰ号矿脉	1 196	430	3.74	陡倾斜交错脉状	124	114	很小	基本连续	少	又如甘肃崖湾锑矿 6 号矿体、云南木利锑矿 1 号矿层等
		湖南锡矿山飞水岩锑矿床Ⅱ号矿层的主矿段	1 600	410	一般 3~17.8 平均 5.62	似层状	89	88	很小	较连续	较多夹石	
	第Ⅱ类型	湖南板溪锑矿床的蒋家冲 2 号矿脉	900	620	0.33	陡倾交错型薄板状	63	97	小	基本连续	少	又如湖南渣滓溪锑矿床 9 号矿脉
	第Ⅲ类型	安徽花山锑-金矿Ⅲ号矿脉	240	120	1.82	透镜状	120	113	小	不连续		又如江西宝山锑-金矿、广西赵家岭锑矿床
汞	第Ⅰ类型	贵州务川木油厂汞矿床 449 号矿体	3 300	246~436	3.15	似层状	49~64	41~58	小	连续		
		贵州万山杉木董汞矿床主含矿体	1 250	40~120	5.3	似层状	含矿系数 0.74		小	连续		
		贵州铜仁沙落湾—回龙溪汞矿	400~1 100	40~220	数米	似层状层带状	含矿系数 >0.5			较连续		
	第Ⅱ类型	贵州丹寨宏发厂汞矿	120~440	60~200	数米至十余米	层带状或透镜状		内部结构较复杂		不连续		又如贵州铜仁路腊汞矿
	第Ⅲ类型	贵州万山冷风洞汞矿床Ⅰ号含矿体	360	8~30	0.5~2.75	似层状、扁豆状、豆荚状				不连续		



附 录 G

(资料性附录)

钨、锡、汞、锑矿床勘查工程间距

表 1 钨、锡、汞、锑矿床勘查工程间距参考表

矿种	矿床 勘查 类型	勘查工程间距/m		备 注
		控 制 的		
		沿 走 向	沿 倾 向	
钨	I	坑:100~120;钻:100~200	坑:100~200;钻:80~200	
	II	坑(穿脉):80~100;钻:80~100	坑(沿脉):100;坑(穿脉):80~100;钻:60	
	III	坑(沿脉或穿脉加短沿脉):50~60;钻:50	坑(沿脉或穿脉加短沿脉):40~50;钻:40	
锡	I	80~120	80~120	1)似层状与脉状或管条状与脉状组合而成的矿体,应根据具体情况控制主体部分或分别布置工程;2)管条状矿体的水平截面控制工程应在两个以上,其布置形式可采用平行穿脉或“十”字穿脉或扇形水平钻控制;3)对于第II,第III类型的板脉状矿体,一般采用沿脉坑道为主,配合钻探或穿脉中拉短沿脉进行勘查
	II	60~80;管条状:20~40	40~60;管条状:60~80	
	III	40~50;管条状:10~20	30~40;管条状:30~40	
汞	I	240~120	80~40	1)汞矿多呈带状分布,含矿体长短轴之比一般为5:1至10:1,宜用勘探线法布置工程,勘探线的方向应垂直长轴;2)汞矿一般隐伏并具有多层性,宜用钻探为主要勘查手段;但由于矿化的特殊复杂性,了解含矿体的内部结构,研究矿化富集规律等又必须用坑探,若地形条件允许,勘探阶段宜适当增加坑探工程量
	II	120~60	40	
	III	120~60	40~20	
锑	I	坑:80~100;钻:80	坑:两个中段高;钻:60~120	1)缓倾斜矿床,中段高一般为20~35 m,陡倾斜矿段中段高一般为40~60 m;2)对第III类型矿床而言,只能“边采边探”
	II	60~80	坑:一至两个中段高;钻:40~60	
	III	30~40	坑:一个中段高;钻:30~40	

注:表中所列为详查工程间距,勘探工程间距原则上加密1倍以上;表中所列工程间距是指工程实际控制矿体的斜距;当矿体的走向长与倾斜长有显著差别时,表中所列工程间距要作相应调整;划分勘查类型、选择勘查手段和确定勘查工程间距,要充分考虑各矿床地质特征和矿体的具体地质因素,必须从实际出发,及时地综合研究,合理地布置勘查工程,不宜机械套用或简单地以工程密度取代地质研究程度。

附 录 H

(资料性附录)

钨、锡、汞、锑矿床主要工业类型

表 1 钨矿床主要工业类型简表

矿床 类型	地 质 特 征	成矿时代	矿体形态 及规模	矿石类型 及结构、构造	主要金属矿物	矿 石 质 量		矿床 规模	类型相对 重要性	矿床实例
						w(WO ₃)/%	伴生组分			
夕卡岩 钨矿	产于花岗岩类岩体与碳酸盐岩或火山-沉积岩系接触带及其附近	古生代至新生代,以中生代为主	似层状、透镜状、少量脉状,厚数米至百余米,走向可达1~2 km,倾向达1 km	白钨矿矿石,块状、角砾状、细脉状、浸染状	白钨矿,伴生辉钼矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、锡石及铍矿物	0.2~2.5	Mo, Pb, Zn, Cu, Bi, Au, Ag, Sn	小、中、大型,有时为特大型	重要	湖南瑶岗仙、大溶溪
斑岩 钨矿	产于花岗岩类(花岗闪长斑岩、石英斑岩、花岗斑岩)岩体上部或顶部内外接触带,具钾化、绢云母化、泥化、青磐岩化	侏罗纪为主,次为白垩纪	透镜状、带状、长宽为数百米、厚数十米	白钨矿矿石或黑钨矿矿石;网脉状	白钨矿或黑钨矿,伴生辉钼矿、锡石、辉铋矿、闪锌矿、黄铁矿、方铅矿、方钴矿	0.2~0.6	Cu, Sn, Mo, Pb, Zn, Fe, S, Bi, Au, Ag	小、中、大型	次要	广东莲花山、江西阳储岭
云英岩 钨矿	产于花岗岩类岩体上部及顶部硬砂岩、砂岩和页岩层中,花岗岩围岩中常见钾长石化和云英岩化	中生代至新生代	脉状、镶柱状、网脉矿化体,面积为几万至几十万平方米,深可达千米以上	黑钨矿矿石;块状、细脉状、浸染状	黑钨矿,伴生白钨矿、辉钼矿、锡石、辉铋矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、黄铁矿	0.2~2.0	Mo, Bi, Sn	小、中型	次要	江西九龙脑、湖南柿竹园



续表 1

矿床类型	地质特征	成矿时代	矿体形态及规模	矿石类型及结构、构造	主要金属矿物	矿石质量		矿床规模	类型相对重要性	矿床实例
						$w(\text{WO}_3)/\%$	伴生组分			
石英脉钨矿	产于花岗岩类岩体上部与围岩的内外接触带裂隙中,花岗岩具钾长石化、云英岩化,泥质岩具角岩化	中生代和新生代为主,古生代次之	脉状和脉带状,厚几厘米至几米,脉带可达几十米,走向长可达 1~2 km,倾向达 700 m,常有几至几百条平行脉	黑钨矿矿石、白钨矿矿石;块状、细脉状,时见角砾状、浸染状	黑钨矿,有时为白钨矿,伴生锡石、辉钼矿、黄铁矿、辉铋矿、钽铌矿物、方铅矿、闪锌矿、绿柱石	0.2~2.4	Sn, Mo, Bi, Nb, Ta, Be	小、中、大型	重要	江西西山、浒坑
硅质岩钨矿	产于沉积及火山-沉积岩的硅质岩中,有工业意义者为变质的类似物	古生代	层状、似层状、透镜状,矿带长数百至千米,最长 2 600 m,宽百余米至数百米,厚数米至百余米	黑钨矿及白钨矿矿石;微细粒浸染状、条带状	含钨赤铁矿、钨酸铁矿(微细粒)、白钨矿,伴生菱铁矿、辉钼矿	0.2~0.5	Cu, Fe, S, Mo, Au, Ag, Bi	小、中、大型	潜在资源为主	江西枫林, 广西大明山

表 2 锡矿床主要工业类型简表

矿床类型	地质特征	成矿时代	矿体形态及规模	矿石类型及结构、构造	主要金属矿物	矿石质量		矿床规模	类型相对重要性	矿床实例
						$w(\text{Sn})/\%$	伴生组分			
夕卡岩锡矿	产于花岗岩类岩体与碳酸盐岩石内外接触带,远离岩体出现各种成分似层状、沿层透镜状、脉状矿床	中生代为主	似层状、透镜状、囊状、脉状、厚数米至数十米,延深数十米到数百米	原生锡石矿;浸染状、块状、网脉状	锡石,伴生磁黄铁矿、闪锌矿、黄铁矿、毒砂、方铅矿	0.3~1.0	Fe, Cu, Pb, Zn	小、中、大型,特大型	重要	云南个旧, 广西大厂
斑岩锡矿	产于浅成—超浅成酸性斑岩岩体内接触带,具黄玉绢英岩化、云英岩化、绿泥石化、硅化	中生代和新生代为主	筒状、复杂形态,平面面积一般小于 1 km ² ,延深达数百米	原生锡石矿;网脉状	锡石,伴生黑钨矿、辉钼矿、辉铋矿、黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿	0.1~0.6	W, Mo	中、大型	重要	广东银岩、西岭
锡石硅酸盐脉锡矿	产于花岗岩类岩体外接触带的硅铝质岩石中,近岩体常以电气石为主,远岩体以绿泥石为主	中生代为主,次为古生代	脉状、带状矿化体、镶柱状网脉体,矿化深达数百米	原生锡石矿;浸染状、带状、角砾状	锡石,伴生有铜和锌的硫化物,有时有黑钨矿	0.4~3.0	W, Cu, Bi, In, Pb, Zn	小、中、大型,特大型	重要	云南铁厂
锡石硫化物脉锡矿	产于花岗岩类岩体外接触带的硅铝质岩石中	中生代为主,其次为第三纪	脉状、带状矿化体、柱状、似层状、透镜状	原生锡石矿;浸染状、角砾状	锡石为主,伴生磁黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、黄铁矿	0.2~2.0	Cu, Zn, Pb, In, W, Ag	小、中、大型	次要	内蒙古大井
石英脉及云英岩锡矿	产于中深成花岗岩类岩体与硅铝质岩石内外接触带附近,具云英岩化、浅色云母化、电气石化	中生代为主	脉状、脉带、镶柱状网脉体或呈不规则状,从岩体内 100 m 至上部围岩中 600 m 为矿化区间	原生锡石矿;块状、浸染状、少量为角砾状集合体	锡石为主,常伴黑钨矿、辉铋矿、钽铌铁矿、辉钼矿、绿柱石、锂云母	0.3~0.8	W, Bi, Ta, Nb, Sc, Be, Li	小、中、大型	次要	广西栗木
花岗岩风化壳锡矿	产于含锡石的花岗岩或具锡石蚀变(钠长石化、云英岩化、硅化、电气石化等)带的花岗岩的顶部风化壳中	中生代、新生代	层状、似层状、透镜状、带状,长宽一般数百米直至千米以上,厚数米至数十米至百米以上	风化壳锡石矿;土状、半松散状	锡石为主,伴生黑钨矿、白钨矿、钽铌铁矿、磷钇矿、钽铁矿、金红石	锡石含量为 0.15~0.4 kg/m ³	W, Nb, Ta, TR, Ti	小、中、大型	重要	云南云龙



表 3 汞矿床主要工业类型简表

矿床类型	地质特征	成矿时代	矿体形态及规模	矿石类型及结构、构造	主要金属矿物	矿 石 质 量		矿床规模	类型相对重要性	矿床实例
						w(Hg)/%	伴生组分			
层状汞矿	常产于背斜构造内的碳酸盐岩层中,常见断层破碎带和层间破碎带	新 生 代、中生代	层状、透镜状、厚度数米至十几米,偶可达数千米	汞硫化物矿或锑汞硫化矿;浸染状、细脉浸染状	辰砂、辉锑矿,伴生锑黑辰砂、锑汞矿,时有自然汞,其他有黄铁矿、白铁矿、毒砂及铜、铅、锌硫化物	1.5~2.0	Sb, Cu, Te, Pb, Zn	中、大型,特大型	重要	贵州万山、务川
脉状汞矿	产于各种岩石的断裂中,具滑石菱镁片岩化,少数碳酸盐化和泥化	中 生 代、新生代	脉状,长几米至三百米,偶达五百米,宽几米,偶达几十米,延深几十至二百米,偶可达七百米	汞硫化物矿;浸染状、细脉浸染状	辰砂、伴生少量辉锑矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、辉铋矿、雄黄、黄铁矿	0.1~1.0	Sb, Cu, Pb, Zn, Bi, As	小、中型至大型	次要	贵州大园、肖家冲

表 4 锑矿床主要工业类型简表

矿床类型	地质特征	成矿时代	矿体形态及规模	矿石类型及结构、构造	主要金属矿物	矿石质量		矿床规模	类型相对重要性	矿床实例
						w(Sb)/%	伴生组分			
层状锑矿	产于碳酸盐岩层中,位于大断裂附近	中生代	似层状为主,次为扁豆状、透镜状;沿层产出,长数百米至千余米,厚几十厘米至数米,延深百米	辉锑矿及其氧化物;块状、角砾状、浸染状	辉锑矿,伴生少量黄铁矿,微量磁黄铁矿、闪锌矿、毒砂等	2~6	Hg,As	中、大型、特大型	重要	湖南锡矿山,云南木利,湖北徐家山
脉状锑矿	产生浅变质板岩、石英砂岩、火山碎屑岩、碳酸盐岩中的层间破碎带、断裂破碎带	中生代为主,次为古生代、新生代	脉状(大脉状、细脉带状、不规则脉状);交错脉和顺层脉长几十米至几百米,个别达千余米,宽几米,延深数百米	辉锑矿及其氧化物;锑汞、锑钨金硫化物;块状、角砾状、浸染状、条带状及细脉带状	辉锑矿及其氧化物,伴生白钨矿、黑钨矿、毒砂、黄铁矿、闪锌矿、黝铜矿等	2~5	W, Au, As, Hg, Pb	小、中、大型	次要	广西大厂,贵州半坡,湖南沃溪

附 录 I
(资料性附录)

钨、锡、汞、锑矿床一般参考工业指标

1 钨矿床一般参考工业指标及伴生组分评价指标

钨矿床一般参考工业指标及伴生组分评价指标见表 1 和表 2。

表 1 钨矿床一般工业指标参考表

项 目	要 求	备 注
边界品位(WO_3 质量分数)	0.064%~0.1%	坑采厚度 $\leq 0.8\text{ m}$ 时应考虑米百分值计算
最低工业品位(WO_3 质量分数)	0.12%~0.20%	
可采厚度	$\geq 1\sim 2\text{ m}$	
夹石剔除厚度	$\geq 2\sim 5\text{ m}$	

表 2 钨矿床伴生有用组分综合评价参考表

组分	$w(\text{Cu})/\%$	$w(\text{Pb})/\%$	$w(\text{Zn})/\%$	$w(\text{Sn})/\%$	$w(\text{Mo})/\%$	$w(\text{Bi})/\%$	$w(\text{Sb})/\%$	$w(\text{Co})/\%$	$w(\text{BeO})/\%$	$w(\text{Li}_2\text{O})/\%$
含量	0.05	0.2	0.5	0.03	0.01	0.03	0.5	0.01	0.03	0.3
组分	$w(\text{Ta}_2\text{O}_5)/\%$	$w(\text{Nb}_2\text{O}_5)/\%$	$w(\text{Tr}_2\text{O}_3)/\%$	$w(\text{Ga})/\%$	$w(\text{Ge})/\%$	$w(\text{Cd})/\%$	$w(\text{In})/\%$	$w(\text{S})/\%$	$w(\text{Au})/10^{-6}$	$w(\text{Ag})/10^{-6}$
含量	0.01	0.02	0.03	0.001	0.001	0.002	0.001	4	0.1	1

2 锡矿床一般参考工业指标及伴生组分评价指标

锡矿床一般参考工业指标及伴生组分评价指标见表 3 和表 4。



表 3 锡矿床一般工业指标参考表

项 目	要 求	备 注
边界品位(Sn 质量分数)	0.1%~0.2%	坑采厚度<0.8 m 时应考虑米百分值计算
最低工业品位(Sn 质量分数)	0.2%~0.4%	
可 采 厚 度	≥0.8~1 m	
夹石剔除厚度	≥2 m	

注：1) 本参考指标是以全锡计算，适用于以锡石为主的矿床。当矿床中胶态锡、硫化锡所占比例>10%时，要提高指标；2) 以胶态锡、硫化锡为主的矿石，要按采、选、冶技术经济条件另行制定指标。

表 4 锡矿床伴生有用组分综合评价参考表

组 分	Cu	Pb	Zn	Bi	W	Mn	Fe	S
质量分数/%	0.2	0.5	0.8	0.01	0.02	4	20	10

3 汞矿床一般参考工业指标

汞矿床一般参考工业指标见表 5。

表 5 汞矿床一般工业指标参考表

项 目	要 求	项 目	要 求
边界品位(Hg 质量分数)	0.04%	可 采 厚 度	≥0.8~1.2 m
最低工业品位(Hg 质量分数)	0.08%~0.10%	夹石剔除厚度	≥2~4 m

注：1) 由于汞矿勘查时只能圈出含矿体，上述指标则用于勘查工程中圈定见矿厚度，并据以计算含矿系数及矿体平均品位；
2) 评价含矿体时，按含矿系数与品位乘积提出指标要求，即含矿系数×矿体平均品位≥0.04%；
3) 指标中品位下限用于规模较大，开采建设条件较好的汞矿床；
4) 厚度下限用于陡倾斜矿床，反之则用上限；
5) 厚度<0.8 m，用米百分值（厚度×品位）确定指标；
6) 矿床的平均品位应大于 0.12%~0.15%，才宜进一步工作。

4 锑矿床一般参考工业指标及伴生组分评价指标

锑矿床一般参考工业指标及伴生组分评价指标见表 6 和表 7。

表 6 锑矿床一般工业指标参考表

项 目	要 求	项 目	要 求
边界品位(Sb 质量分数)	0.5%~0.7%	可 采 厚 度	≥0.8~1 m
最低工业品位(Sb 质量分数)	1.0%~1.5%	夹石剔除厚度	≥2 m

注：<0.8 m 时，按工业米百分值计算。

表 7 锑矿床伴生有用组分综合评价参考表

组分	$w(B)/\%$									$w(B)/10^{-6}$	
	As	Se	Co	Ni	WO ₃	CaF ₂	Hg	BaSO ₄	Bi	Au	Ag
含量	0.2	0.001	0.01	0.1	0.05	5	0.005	8	0.05	0.1	2

附 录 J

(资料性附录)

钨、锡、汞、锑（矿物、元素）的性质和用途及地球化学性状

1 钨（矿物、元素）的性质、用途及地球化学性状

钨金属呈银白色，质量密度大（单晶钨为 19.3 g/cm³），熔点高（3 400 ℃），高硬度和高强度，耐磨、耐腐蚀性强。0.002 mm 的钨丝拉伸强度为 4.50 kg/mm²。在高温条件下的拉张强度超过任何金属，并有良好的高温导电、导热性能，膨胀系数小。常温下钨在空气中是稳定的，在 400 ℃时开始氧化，失去光泽。高于 600 ℃的水蒸汽使钨迅速氧化，生成 WO₃ 和 WO₂。不加热时，任何浓度的单一盐酸、硫酸、



硝酸、氢氟酸以及土水对钨都不起作用。当温度升至 $80\sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时，上述各种酸中除氢氟酸外，对钨发生微弱作用。在常温条件下钨可以迅速溶于氢氟酸和浓硝酸的混合液中，但在碱溶液中不起作用。在有空气存在条件下，熔融碱可以把钨氧化成钨酸盐，在有氧化剂 (NaNO_3 , NaNO_2 , KClO_3 , PbO_2) 存在的条件下，生成钨酸盐的反应更猛烈。高温下，钨与氯、溴、碘、一氧化碳、二氧化碳和硫等起反应，但不与氢反应。

金属钨是电器工业和电子工业的重要原料。

碳化钨主要用于生产硬质合金。广泛用于金属切削加工工具、矿山及地质钻头镶片、拉伸冲压磨具、耐磨耐腐蚀零件等。

钨合金钢用于制造高速钻头、切削工具和机械中抗磨、抗打击、耐腐蚀的结构材料。

高比重钨基合金（钨、铁、镍、铜、锰制成）用于飞机的平衡系统和配重系统、仪表系统中的惯性旋转元件及陀螺仪的转子，以及医疗和化学放射性同位素（钷 60）的容器和反坦克、反潜艇的穿甲弹头。

含钨高温合金，应用于宇航业做火箭喷嘴、喷管、离子火箭发动机的热分解器；核工业用来做盛液态金属的容器、热离子交换器等。

其他还应用于颜料、油漆、橡胶、纺织、石油、化工等方面。

钨业生产主要品种有钨精矿和钨的中间制品，即钨铁、钨酸、钨酸钠、钨酸钙、三氧化钨、蓝色氧化钨、仲钨酸铵（APT）、偏钨酸铵、钨粉、钨丝、WC 粉、硬质合金、铸造碳化钨等。

钨在自然界是一种分布较广泛的元素，几乎见于各类岩石中。钨在元素周期表中属于第 6 周期第 VI_B 族，原子序数为 74，原子量为 183.85。钨在地壳中的平均含量为 1.3×10^{-6} ，在自然界主要呈六价阳离子，其离子半径为 $0.65\times 10^{-10}\text{ m}$ ，电价高，有极强的极化能力，是亲石元素，与氧、氟、氯亲和力强，而形成配阴离子，主要形式是 $[\text{WO}_4]^{2-}$ 。它与溶液中 Fe^{2+} , Mn^{2+} , Ca^{2+} 等阳离子结合形成黑钨矿或白钨矿而沉淀富集。

钨的重要矿物均为钨酸盐。在成矿过程中与 $[\text{WO}_4]^{2-}$ 配阴离子结合的阳离子仅有 Ca^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Pb^{2+} 和 Cu^{2+} , Zn^{2+} , Al^{3+} , Fe^{3+} , Y^{3+} 等，因而形成矿物有限。目前在地壳中仅发现有 20 余种钨矿物，但具有开采价值的只有黑钨矿和白钨矿。

钨在热液中的迁移形式是多样的。钨矿液进入不同围岩时，往往产生不同反应，进入硅铝质围岩时，易形成黑钨矿；而进入碳酸盐岩围岩时，易交代形成白钨矿。

在表生条件下，钨矿物较稳定，可形成砂矿。但在酸性介质条件下，含钨矿物可被分解，并以 WO_3 形式溶于地表水中，在一定条件下形成某些钨的次生矿物。有时以矿物微粒或离子形式被粘土或铁锰氧化物吸附而聚集于页岩、泥质细砂岩及铁锰矿层中。近年来在古老变质岩系中发现有层状钨矿床和钨的矿源层，说明变质作用对钨也能起富集作用。

2 锡（矿物、元素）的性质、用途及地球化学性状

锡是人类最早发现和使用的金属之一。

锡是一种银白色金属，强光泽，质量密度大 (7.31 g/cm^3)，熔点低 ($231.968\text{ }^{\circ}\text{C}$)，质软（摩氏硬度 3.75），展性好，延性很差，不能拉成细丝。化学性稳定，锡盐无毒。随温度变化锡有三种同位素异性体： α -锡，或称灰锡（等轴晶系）； β -锡，或称白锡（正方晶系）； γ -锡，或称脆锡（斜方晶系）。

由于锡展性好，化学性质稳定，无毒，易溶、抗腐蚀、摩擦系数小等特点，广泛用于人类生活、现代工业、国防工业、尖端科学诸方面。

镀锡板（马口铁），占锡消费量的 40% 左右，用作食品和饮料的容器、各种包装材料、家庭用具和干电池外壳等。

锡铅和少量铋组成低熔点合金即焊锡，占锡消费量的 20%。

锡与一些金属（铜、铅、镍、铋、锆、银、金等）制成合金，如青铜、巴比特合金、活字合金、钛基合金、铋锡合金等用于轴承工业、印刷工业、原子能工业和航空工业等领域。

锡的有机化合物主要用作木材防腐剂、农药等；锡的无机化合物主要用作催化剂、稳定剂、添加剂和陶瓷工业的乳化剂等。

地壳中锡的丰度约 2×10^{-6} ，锡的原子序数为 50，原子量是 118.71，位于元素周期表第 5 周期 IV_A



族，离子半径： Sn^{2+} 为 $1.02 \times 10^{-10} \text{ m}$ ， Sn^{4+} 为 $0.74 \times 10^{-10} \text{ m}$ 。

锡属于亲铁铜元素组，但在岩石圈上部又具有亲氧和亲硫两重特性。锡与硫化合，形成一硫化锡和二硫化锡，在高温条件下具有较强的挥发性。锡与氧化合，生成一氧化锡和二氧化锡，其中四价化合物——二氧化锡（锡石）在自然界是最稳定的化合物之一。

由于离子半径、电负性的相近似，离子 Sn^{2+} 可与 Ca^{2+} ， Cd^{2+} ， In^{2+} ， Te^{2+} 等类质同象置换；而 Sn^{4+} 则与 Fe^{3+} ， Mg^{2+} ， Sc^{3+} ， In^{3+} ， Nb^{5+} ， Ti^{4+} 等类质同象置换。

据研究，锡在岩浆演化成岩早期，锡以分散状态分布于云母、角闪石、榍石等造岩矿物中，或以锡石副矿物产出；热液作用阶段，锡一方面生成氧化物（锡石）和含 $[\text{SnO}_3]^{2-}$ ， $[\text{SnO}_3]^{4-}$ 等配离子的锡酸盐，另一方面又可生成硫化物（硫化锡）和含 $[\text{SnS}]^{2-}$ ， $[\text{SnS}_4]^{4-}$ ， $[\text{SnS}_6]^{6-}$ 等配离子的硫锡盐酸。由于锡酸盐和硫锡酸盐均易于水解，生成锡的氢氧化物，经脱水作用生成 SnO_2 （锡石）。

锡石在表生条件下极稳定，可富集于锡石硫化物矿床的氧化带和砂矿床中，锡的硫化物、硫盐和硅酸盐矿物，在氧化带可形成木锡和水锡石。

3 汞（矿物、元素）的性质、用途及地球化学性状

汞是在常温下惟一呈液态的金属，又称水银。—38.89℃时凝成固体。银白色，质量密度为 13.456 g/cm^3 ，沸点 357℃。汞还能与许多金属形成合金，称为汞齐。

朱砂（ d-HgS 黑色粉末， D-HgS 红色粉末）是传统的贵重中药，色泽艳红、美丽，粒大的称珠宝砂，是珍品；含辰砂的叶蜡石，称为“鸡血石”，是珍稀的宝玉石原料。

氧化汞，其鲜红色粉末，广泛用于各种标准汞电池中作电池去极剂，橙黄色（红色）氧化汞还用于分析试剂、防腐、防霉和制药工业。

氯化汞（ HgCl_2 ）又称升汞，主要用于化工触媒剂，也用于锌锰电池、医药、分析试剂、防腐和制取其他汞盐等。在塑料工业，用乙炔法生产聚氯乙烯时，氯化汞可作为氯乙烯合成工序的催化剂。

汞齐合金中，钛汞齐主要是作为汞释放器代替液态汞用于汞灯及荧光灯的生产之中。锌汞齐主要用于碱性高能电池、锌银扣式电池和锌空气电池的生产之中，作电池负极活性材料。

汞位于元素周期表第 6 周期第 II_B 族中，原子序数为 80，原子量 200.59，离子半径： Hg^+ 为 $1.27 \times 10^{-10} \text{ m}$ ， Hg^{2+} 为 $1.12 \times 10^{-10} \text{ m}$ 。它是典型的亲铜元素，在亲铜元素中具有最大的电离势。汞的第一个电子的电离势为 10.43 eV；第二个电子的电离势是 18.75 eV。这就是说它比金的电离势 9.22 eV 和银的 7.57 eV 还要大，所以汞易与各种金属按不同比例生成合金 [例如汞银矿（ AgHg 或 $\text{Ag}_2\text{Hg}_2 \sim \text{Ag}_{36}\text{Hg}$ ）、汞膏（ Hg_2Cl_2 ）、汞金矿（ AuHg ）]。

在自然界中的汞主要是形成红色的硫化物——辰砂。它几乎是一种纯的 HgS ，而黑色的硫化物——黑辰砂（ HgZnFe ）（S）是一种固溶体。至于汞的复杂硫化物——汞黝铜矿（ $(\text{CuHg})_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ ）和硫汞铋矿 HgSb_4S_8 ，由于不太稳定，在低温热液条件下极易转变为简单硫化物——辰砂，因此，汞的复杂硫化物极为少见。

汞的显著特点之一是具有很强的挥发性，所以它具有和其他金属不同的迁移性能。

自然界中分布的汞有金属汞、一价汞和二价汞的化合物。 HgCl_2 可以溶于水而迁移，但硫化汞的溶解度很低，而且周转介质中许多物质对汞都有很高的吸附能力，因而汞矿床的分散晕能延伸的范围很小。

汞在地壳中的丰度为 0.08×10^{-6} 。在不同类型火成岩中含量变化范围在 $0.01 \times 10^{-6} \sim 0.1 \times 10^{-6}$ 之间；在不同类型的沉积岩中，汞含量顺序为页岩 > 砂岩 > 灰岩；在各种土壤中，汞的含量亦有较大的变化。

汞在土壤中的行为主要表现在土壤对汞的固定和释放作用上。土壤中的腐殖质对汞有很大的吸附性，尤其在 pH 值较低时，更易吸附。当 pH 值偏高时，土壤中矿物质对汞的吸附作用相应地增强。

4 铋（矿物、元素）的性质、用途及地球化学性状

铋是一种银白色金属。质量密度为 6.69 g/cm^3 ，摩氏硬度 3，熔点 630.5℃，沸点 1580℃，性脆，不具延展性，是电和热的不良导体（导电率为银的 4.2%），在常温下不易氧化，耐酸，抗腐蚀。铋的最大特征是热缩冷胀和具同素异形现象。

铋与其他软金属（铅、锡、铝、铜）制成合金，用于制作蓄电池、印刷铅字合金、轴承、耐酸和耐磨



元件以及车辋上榴霰弹、曳光弹等。锑还制作低熔点焊接材料。高纯度锑金属（99.99%）作为硅、锗的掺杂元素或铋、硒、碲的掺杂元素以及锑的金属互化物（钢锑、铝锑、稼锑）可制成半导体晶体元件，用于通讯器材、医疗器材、国防武器、军工仪表、电视机、收录机等方面。

锑的化合物用途也很广泛。天然硫化锑用于制成火柴，将其加入炮弹有利于射击校准。三氧化锑是制造珐琅亮漆和耐火漆的重要原料。三氯化锑可供钢的制品、医药上刺激剂、试器上的烧蓝用。五氯化锑用于有机化学生产。五硫化锑是橡胶生产的红色颜料及硬化剂。锑酸铅是一种耐火涂料。硫酸三氟锑酸铵是染料，用于织物的染色。

目前，生产各种阻燃剂是锑主要市场需求。

锑在元素周期表中是第 5 周期的 V_A 族元素。原子序数 51，原子量 121.75，原子半径 1.45×10^{-10} m，离子半径 Sb^{3-} 为 2.45×10^{-10} m 和 Sb^{5+} 为 0.62×10^{-10} m，地球化学电价有 3－，3＋，4＋，5＋。锑和砷、铋有密切的地球化学关系和相似的化学性质，同属亲铜元素，被称为“半金属族”。故砷、锑、铋、汞常组成各种硫盐矿物和复硫化物，如黝铜矿-砷铜黝矿、硫锑汞矿等。

锑的最外层电子结构 $5S^2 5P^3$ 以 P^3 充填形式出现，丢失电子和获得电子可能性均存在，既可形成阳离子（ Sb^{3+} ， Sb^{4+} ）或自然金属（Sb），也可形成阴离子（ Sb^{3-} ）和配阴离子 $[SbS_2]^-$ ， $[SbS_2]^{2-}$ ， $[SbS_3]^{3-}$ ， $[SbCl]^{3-}$ ， $[HSb_2S_4]^-$ 等。在自然界中常形成阳离子三价态（ Sb^{3+} ），在低氧富硫环境中， Sb^{3+} 与硫结合形成自然界最普遍分布的辉锑矿；只是在低硫富氧环境中才形成阳离子五价态（ Sb^{5+} ），与氧结合形成锑华等。个别情况出现自然锑或金属互化物的零价态。

锑在地壳丰度为 0.2×10^{-6} ，但浓集系数高（为 25 000）。

锑的熔点和沸点较低，高温时挥发性强，在地球物质分异过程中集中于地壳上部。在岩浆作用初期阶段，因低硫低氧， Sb^{3+} 可与铁族元素结合形成锑钼矿（ Pd_3Sb ），或者呈固熔体分离状态分布于辉长岩质的深成岩中， Sb^{3+} 与 Sb^{5+} 进入磁铁矿、钛铁矿、磷灰石、斜长石中，使它们成了锑的载体矿物。晚期阶段 Sb^{3+} ，有限地代替与碱相近的亲石元素钙，致使方解石、白钨矿等含钙矿物含微量锑。 Sb^{3+} 还部分地替代 Y^{3+} ， Ce^{3+} ， U^{4+} ， Th^{4+} ，使一些铌钽矿物不但含微量锑，而且有时形成钽锑矿、铌钽锑矿、锑铌矿等。此时含锰矿物（黑钨矿物、蔷薇辉石等）也含微量锑。由于上述原因，使很多矿床含微量锑，从而在地球化学勘查中，锑成为远程指示元素。

高温热液阶段，锑熔点和沸点低，溶解度大，不能富集成矿；中温阶段，随硫的浓度增加，锑与亲铁、亲铜元素共同与硫结合形成复硫化物和硫盐矿物（如硫锑铅矿、脆硫锑铅矿、车轮矿等）；低温热液是锑主要浓集成矿期， Sb^{3+} 与硫结合形成辉锑矿，常出现砷、汞、银等低温元素组合。

辉锑矿在表生作用下，于弱酸性溶液中溶解成 $Sb(OH)_3$ 或 $Sb_2(SO_4)_3$ 发生迁移。然而，锑硫酸盐很不稳定，将很快水解，在极强氧化条件下形成锑华、黄锑华、锑赫石，有时构成残积或坡积矿床。有的则迁移到水体沉积形成“矿源层”，成岩后期又活化迁移到有利构造（破碎带、裂隙）中充填成矿。

附 录 G

（资料性附录）

钨、锡、汞、锑的主要矿物

表 1 钨的主要矿物表

汉字名称	英文名称	化学分子式	金属钨质量 分数/%	汉字名称	英文名称	化学分子式	金属钨质量 分数/%
黑钨矿	Wolframite	$(Fe \cdot Mn)[WO_4]$	51.25	钨铁矿	Ferberite	$Fe[WO_4]$	60.53
钨锰矿	Huebnerite	$Mn[WO_4]$	60.72	白钨矿	Scheelite	$Ca[WO_4]$	63.89
钼白钨矿	Molybdoscheelite	$Ca[Mo \cdot W]_4$	47.92	铜白钨矿	Cuproscheelite	$(Ca \cdot Cu)[WO_4]$	52.27
钨 华	Tungstite	H_2WO_4	73.60	水钨华	Hydrotungstite	$H_2WO_4 \cdot H_2O$	68.66
高铁钨华	Ferritungstite	$Fe_2O_3 \cdot WO_4 \cdot 6H_2O$	36.22	铜钨矿	Cuprotungstite	$Cu_2[WO_4](OH)_2$	44.88
辉钨矿	Tungstenite	WS_2	74.19	钨铅矿	Stolzite	$Pb[WO_4]$	40.44
钼钨铅矿	Chillagite	$3Pb[WO_4] \cdot Pb[MoO_4]$	14.89	钨铋矿	Sanmartinite	$(Zn \cdot Fe)[WO_4]$	49.73



表 2 锡的主要矿物表

汉字名称	英文名称	化学分子式	金属锡质量 分数 /%	汉字名称	英文名称	化学分子式	金属锡质量 分数 /%
锡 石	Cassiterite	SnO ₂	78. 8	黑锡矿(亚锡石)	Romarchite	SnO	88. 1
三方硫锡矿	Berndtite	SnS ₂	64. 9	黄锡矿	Stannite	Cu ₂ FeSnS ₄	27. 6
硫锡矿	Herzenbergite	SnS	78. 7	硫锡铅矿	Teallite	PbSnS ₂	30. 5
圆柱锡矿	Cylindrite	Pb ₃ Sb ₂ Sn ₄ S ₁₄	26. 5	辉锑锡铅矿	Franckeite	Pb ₅ Sb ₂ Sn ₃ S ₁₄	17. 09
马来亚石(钙硅锡矿)	Malayaite	CaSn[SiO ₄] ₂ O	44. 5	水锡石(锡酸矿)	Hydrocassiterite	(Sn • Fe)(OH) ₂	62. 2
硫银锡矿	Canfieldite	Ag ₈ SnS ₆	10. 1	硫钼锡铜矿	Hemusite	Cu ₆ SnMoS ₈	13. 9
银黄锡矿	Hocartite	Ag ₂ FeSnS ₄	22. 9	锌黄锡矿	Isostannite	Cu ₂ (Zn • Fe)SnS ₄	31. 8
硫锡铁铜矿	Mawsonite	Cu ₆ Fe ₂ SnS ₈	13. 7	斜方硫锡矿	Ottemannite	Sn ₂ S ₃	71. 2

表 3 汞的主要矿物表

汉字名称	英文名称	化学分子式	金属汞质量 分数 /%	汉字名称	英文名称	化学分子式	金属汞质量 分数 /%
自然汞	Mercury	Hg	100. 00	辰砂	Cinnabar	HgS	86. 20
黑辰砂	Metacinnabare	HgSe	86. 22	硒汞矿	Tiemannite	HgSe	71. 76
碲汞矿	Coloradoite	HgTe	61. 12	汞膏	Calomel	Hg ₂ Cl ₂	84. 98
氯汞矿	Pinchite	Hg ₂ Cl ₂ O	90. 2	黄氯汞矿	Terlinguaite	Hg ₂ Cl ₂ O	82. 20
橙红石	Montroydite	HgO	92. 61	硫汞锑矿	Livingstonite	HgSb ₄ S ₈	21. 25
汞黝铜矿	Hermesite	Cu ₁₀ (Hg • Fe • Zn) ₂ Sb ₄ S ₁₃	6~17				

表 4 锑的主要矿物表

汉字名称	英文名称	化学分子式	金属锑质量 分数 /%	汉字名称	英文名称	化学分子式	金属锑质量 分数 /%
自然锑	Antimony	Sb	100. 00	砷锑矿	Stibarsen	SbAs	61. 9
辉锑矿	Antimonite	Sb ₂ S ₃	71. 72	车轮矿	Bournonite	PbCuSbS ₃	24. 90
硫锑铜矿	Skinnerite	Cu ₃ SbS ₃	29. 80	硫锑铁矿	Gudmundite	FeSbS	58. 09
辉锑铁矿	Berthierite	FeSb ₂ S ₄	5	硫锑铅矿	Boulangerite	Pb ₅ Sb ₄ S ₁₁	25. 90
脆硫锑铅矿	Jamesonite	Pb ₄ FeSb ₆ S ₁₄	35. 39	脆银矿	Stephanite	Ag ₅ SbS ₄	15. 42
火硫锑银矿	Pyrostilpnite	Ag ₃ SbS ₃	19. 4	辉锑银矿	Miargyrite	AgSbS ₂	41. 44
辉锑锡铅矿	Franckeite	Pb ₅ Sb ₂ Sn ₃ S ₁₄	11. 68	硫汞锑矿	Livingstonite	HgSb ₄ S ₈	51. 62
锑华	Valentinite	Sb ₂ O ₃	83. 53	黄锑华	Stibiconite	SbSb ₂ O ₆ OH	
方锑矿	Senarmontite	Sb ₂ O ₃	83. 53	水锑铅矿	Bindheimite	Pb ₂ Sb ₂ O ₆ (O ,OH)	
锑钙石	Romeite	Ca ₂ Sb ₂ O ₇					

附 录 L

(资料性附录)

钨、锡、汞、锑矿石的选冶质量、工艺技术性能及精矿质量标准

1 钨、锡、汞、锑矿石的选冶质量、工艺与技术性能

1.1 钨矿石

钨矿的主要选矿方法有手选、重介质选、重选、浮选、磁选和电选。黑钨矿以重选为主，白钨矿以浮选为主。为提高钨精矿质量和钨的回收利用率，当前有选冶工艺联合的趋势，增加焙烧除砷和浸出水冶(回收有益组分)等冶炼手段。

钨的冶炼有火法和水法两种。黑钨精矿和白钨精矿的冶炼工艺流程不同。当矿石中既含黑钨矿又含白钨矿时，要查明其相应关系和含量比例，分别选出白钨精矿和黑钨精矿，以便分别冶炼。作为钨冶炼矿物原料的钨精矿， $w(WO_3)$ 应大于 65%，经火法冶炼成钨铁合金 [$w(W) > 70\%$ 或 $> 65\%$ ；经水法冶炼成正钨酸钠、钨酸铵或钨酸钙等；最后进一步处理成三氧化钨 [$w(WO_3) > 99.9\%$]，再还原(用氢)成钨粉 [$w(W) > 99.9\%$]。

世界上长期以来开发的钨矿原料，主要是白钨矿，而我国长期以来开采利用的以石英脉型黑钨矿为



王。我国的大型、超大型以白钨矿为主的多金属矿床，由于嵌布粒度细，矿石物质组分复杂，选冶的经济技术指标尚未彻底解决。为此要注意寻找黑钨矿和大颗粒的、易选的白钨矿石。

与钨矿床伴生有益组分通常有锡、钼、铋、铜、铅、锌、锑、金、银、钴、铍、铌、钽、锂、稀土元素、硫、砷、压电水晶、焙炼水晶、萤石等，但如不能在选矿中回收，使其进入精矿，则变成有害组分。砷、硫、铜、磷会使钨钢变脆，影响制品质量；锡会降低钨钢的切削性能；水法冶炼过程中砷会使粗钨酸不易净化，钼会影响钨丝的效能和使用寿命，水冶黑钨精矿过程中钙会影响三氧化钨的浸出率而降低回收率。水冶白钨精矿过程中，锰会影响三氧化钨回收率。黑钨精矿中铋、铋、铅，白钨精矿中锌、铋、铅对于生产优质钨铁有不良影响，白钨精矿中铁、锑对生产优质钨制品也有不良影响。在勘探工作中，查明矿石中和钨矿物中有害杂质的含量及赋存状态，选择合理的选矿方法和工艺流程，尽量降低钨精矿中有害杂质的含量，以便使生产的钨精矿达到国家标准。

1.2 锡矿石

1.2.1 锡质量分数大于 40% 以上的低杂质富锡矿石，可直接入炉冶炼；锡质量分数低于 40% 的矿石，或杂质多的矿石，需经选矿后去杂质，使锡质量分数富集到 40% 以上再入炉冶炼。不同类型的锡矿石，国内采用的选矿方法（流程）有：

- a) 易选矿石，如氧化矿石、锡石石英型矿石、含锡花岗岩型矿石等，常用重选或重-浮流程处理；
- b) 难选矿石，如锡石硫化物的夕卡岩型矿石、锡石硫化物型矿石，一般采用重-浮-重、磁-浮-重等选矿综合流程或选冶联合流程处理；
- c) 极难选矿石，如含锡磁铁矿夕卡岩型矿石，要用磁-浮-重，或中矿烟化等选冶联合流程处理；
- d) 对锡铅共生的矿石，难以选出合格的锡精矿时，则可选出锡铅混合精矿，冶炼生产锡铅焊料或其他合金；
- e) 在锡石粒度细，含铁高，铁锡连生体多，单体锡石少的情况下，我国一些选厂在维持和提高最终锡精矿品位的同时，产出部分富中矿（锡质量分数为 3%~10%）和难选中矿（锡质量分数为 1%~2%），使锡的选矿回收率提高约 10%。

1.2.2 锡的冶炼方法，以火法为主，湿法为辅。现代锡的生产，一般包括四个主要过程：炼前处理、还原熔炼、炼渣和粗锡精炼。

- a) 炼前处理是为了除去对冶炼有害的硫、砷、锑、铅、铋、铁、钨、钽、铌等杂质，同时达到综合回收各种有用金属的目的；炼前处理的方法包括精选、焙烧和浸出等作业，根据所含杂质不同，采用一个或几个作业组成的联合流程；
- b) 还原熔炼主要是使氧化锡还原成粗锡，同时将铁的氧化物还原成 FeO 并与脉石成分一起造渣；
- c) 炼渣用烟化炉挥发方法，这样产出的废渣含锡低，金属回收率高，同时大量减少铁的循环；
- d) 粗锡精炼，一般分为火法精炼和电解精炼，主要是进一步除去铁、铜、砷、锑、铅、铋和银等杂质，同时综合回收有用金属。

1.3 汞矿石

我国已发现的汞矿石类型有单汞、汞铀、汞锑、汞硒、汞金以及汞多金属等。目前，供工业利用者均为单汞矿石。单汞矿石，无论品位高低其选冶性能相近，工业技术不要求划分矿石品级。汞铀矿石中汞未回收。汞锑矿石中汞的分离正在试验中。

单汞矿石易选、易冶，工艺流程简单。通常可在矿山就地进行处理，常在坑口或其附近建成采-冶或采-选-冶联合企业。手选后高品位汞矿石可直接冶炼，低品位矿石经选矿富集后冶炼。一般是重-浮联合流程。用摇床回收药用朱砂，浮选后获汞精矿。

金属汞的冶炼方法有火法和湿法。

- a) 火法炼汞，将汞矿石或精矿进行焙烧，直接将汞还原呈气态分离出来，而后冷凝成液态汞。火法炼汞工序简单，技术经济指标高。
- b) 湿法炼汞是用硫化钠或次氯酸盐溶液浸出汞精矿，浸出液净化后用电解或置换等方法获得金属汞。此法可减少汞污染，但流程复杂，技术经济指标不如火法，故未广泛采用。

美国还研究出从辰砂矿石中提取汞的电氧化法，汞的回收率可达 90%~99%，但未见生产报道。



1.4 铋矿石

铋矿选矿方法，有手选、重选和浮选，大多数采用手选-浮选流程、手选-重选-浮选联合流程，采用单一浮选流程少。

我国铋矿石分为三大类：铋矿石；铋金钨、铋钨、铋金、铋汞共生矿石；锡铅锌为主的铋硫酸盐矿石。

辉铋矿及其氧化物组成的矿石为易选冶矿石，是目前我国主要铋矿石。铋金钨、铋钨、铋金共生矿石是中等易选冶矿石。铋硫酸盐矿石和铋汞矿石分别是较难选冶和难选冶矿石。

铋矿山飞水岩硫化铋矿石，氧化率为 8%~18%，采用手选-重介质-浮选联合流程。

铋矿山童家院混合铋矿石，氧化率为 33%~46%，氧化物以黄铋矿为主，采用手选-跳汰-浮选-摇床的选矿流程。

云南木利氧化铋矿石，氧化率为 63.46%。氧化矿物主要为铋华、铋赫石、黄铋华、红铋矿等，呈土状和粉末状。以重介质旋流预选-重选（跳汰）-矿泥浮选的联合流程效果最好。

含砷较高的铋矿石，在浮选过程中用丁醛铵黑药取代黄药作捕收剂，有利于降低铋精矿中砷的品位。

硫化铋矿、氧化铋矿和混合铋矿，均采用火法冶炼工艺流程。

低品位的块精矿 [$w(\text{Sb})$ 为 6%~15%]，用直井焙烧炉氧化挥发焙烧生产氧化铋。产出的铋氧平均含量为 80%~81%（部分达 82%）。颜色洁白，可作商品出售。

高品位粉状铋精矿经制粒或压团后在鼓风炉中挥发熔炼制取铋氧。铋氧再进入反射炉加碱除砷还原熔炼并精炼成精铋。精铋进入铋白炉内经加热熔化氧化挥发制成三氧化二铋（铋白）。含氧化铋不少于 99.6%，平均粒度 1.4~1.6 μm ，为优质铋白。

高品位单一块状硫化铋块矿，经生铁炉加热熔炼，可产出纯净的针状三硫化铋（俗称生铋）。

除火法冶炼外，为消除环境污染，提高产品质量，推广了电解湿法冶炼，即硫化钠碱性溶液浸出-电解湿法冶炼流程。

湘西铋金钨共生矿石，采用手选（反手选）-重选（摇床、溜槽）-浮选联合流程，分别获得白钨精矿、金精矿和铋金混合精矿。铋金精矿采用“鼓风炉氧化挥发-贵铋电解”提取工艺。

广西大厂铅铋铋硫酸盐多金属矿石中铋的回收，采用浮选流程获铋铅精矿，再用“火法-电解”联合流程，反射炉还原熔炼成高铅合金和高品位铋氧。高品位铋氧再还原熔炼成铅铋合金 [$w(\text{Sb})$ 91%~93%， $w(\text{Pb})$ 6%~9%]。

陕西公馆铋汞矿石与含汞铋矿石，经浮选得铋汞混合精矿，再用法冶炼挥发汞，使汞铋分离。

2 钨、锡、汞、铋精矿质量标准

2.1 钨精矿质量标准

钨精矿质量标准见表 1 和表 2。

表 1 特级钨精矿国家标准（GB 2825—81）

品 种	$w(\text{WO}_3)$ 不小于/%	杂质(w_B)不大于/%													
		S	P	As	Mo	Ca	Mn	Cu	Sn	SiO ₂	Fe	Sb	Bi	Pb	Zn
黑钨特-I-3	70	0.2	0.02	0.06	—	3.0	—	0.04	0.08	4.0	—	0.04	0.04	0.04	—
黑钨特-I-2	70	0.4	0.03	0.08	—	4.0	—	0.05	0.10	5.0	—	0.05	0.05	0.05	—
黑钨特-I-1	68	0.5	0.04	0.10	—	5.0	—	0.06	0.15	7.0	—	0.10	0.10	0.10	—
黑钨特-II-3	70	0.4	0.03	0.05	0.010	0.3	—	0.15	0.10	3.0	—	—	—	—	—
黑钨特-II-2	70	0.5	0.05	0.07	0.015	0.4	—	0.20	0.15	3.0	—	—	—	—	—
黑钨特-II-1	68	0.6	0.10	0.10	0.020	0.5	—	0.25	0.20	3.0	—	—	—	—	—
白钨特-I-3	72	0.2	0.03	0.02	—	—	0.3	0.01	0.01	1.0	—	—	0.02	0.01	0.02
白钨特-I-2	70	0.3	0.03	0.03	—	—	0.4	0.02	0.02	1.5	—	—	0.03	0.02	0.03
白钨特-I-1	70	0.4	0.03	0.03	—	—	0.5	0.03	0.03	2.0	—	—	0.03	0.03	0.03
白钨特-II-3	72	0.4	0.03	0.05	0.010	—	0.3	0.15	0.10	2.0	2.0	0.1	—	—	—
白钨特-II-2	70	0.5	0.05	0.07	0.015	—	0.4	0.20	0.15	3.0	2.0	0.1	—	—	—
白钨特-II-1	70	0.6	0.10	0.10	0.020	—	0.5	0.25	0.20	3.0	3.0	0.2	—	—	—

注：1）表中“—”者为杂质不限；2）本标准不包括人造白钨，该产品另订标准执行；3）精矿中钼铌为有价元素，供方应报出分析数据；4）根据用户需要和资源特点，钨精矿中特级品可自订企业标准执行；5）黑钨精矿特级品Ⅰ类产品中 Sb，Bi，Pb 的杂质要求和白钨精矿特级品Ⅱ类产品中 Fe，Sb 的杂质要求暂不作交货依据，但供方应报出数据。



表 2 一、二级钨精矿国家标准 (GB 2825—81)

品 种	$w(WO_3)$ 不小于 /%	杂质(w_B)不大于 /%									用 途 举 例
		S	P	As	Mo	Ca	Mn	Cu	Sn	SiO ₂	
黑钨一级Ⅰ类	65	0.7	0.05	0.15	—	5.0	—	0.13	0.20	7.0	钨铁
黑钨一级Ⅱ类	65	0.7	0.10	0.10	0.05	3.0	—	0.25	0.20	5.0	硬质合金、触媒、钨材
黑钨一级Ⅲ类	65	0.8	P+As	0.22	0.05	1.0	—	0.35	0.40	3.8	钨材、钨丝、硬质合金、触媒
黑钨二级	65	0.8	—	0.20	—	5.0	—	—	0.40	—	
白钨一级Ⅰ类	65	0.7	0.05	0.15	—	—	1.0	0.13	0.20	7.0	钨铁、硬质合金
白钨一级Ⅱ类	65	0.7	0.10	0.10	0.05	—	1.0	0.25	0.20	5.0	钨材、钨丝、硬质合金、触媒
白钨一级Ⅲ类	65	0.8	0.05	0.20	0.05	—	1.0	0.20	0.20	5.0	钨材、钨丝、硬质合金、触媒
白钨二级	65	0.8	—	0.20	—	—	1.5	—	0.40	—	

注：1) 表中“—”者为杂质不限；2) 精矿中钼钽为有价值元素，供方应报出分析数据；3) 供需双方在特要求和护理原则上，标准中规定的个别杂质项目指标及其他要求（如铁、锑、药剂等）可协商解决；4) 钨细泥、钨杂砂以及钨难选物料等产品按国家统一价格执行。

2.2 锡精矿质量标准

锡精矿质量标准见表 3。

表 3 锡精矿质量标准 (YB 736—82)

类别	品级	锡(w_B) 不小于 /%	杂质(w_B)不大于 /%					
			S	As	Bi	Zn	Sb	Fe
一类	一级品	65	0.4	0.3	0.10	0.4	0.2	5
	二级品	60	0.5	0.4	0.10	0.5	0.3	7
	三级品	55	0.6	0.5	0.15	0.6	0.4	9
	四级品	50	0.8	0.6	0.15	0.7	0.4	12
	五级品	45	1.0	0.7	0.20	0.8	0.5	15
	六级品	40	1.2	0.8	0.20	0.9	0.6	16
	七级品	35	1.5	1.0	0.30	1.0	0.7	17
	八级品	30	1.5	1.0	0.30	1.0	0.8	18
二类	一级品	65	1.0	0.4	0.4	0.8	0.4	
	二级品	60	1.5	0.5	0.5	0.9	0.5	7
	三级品	55	2.0	1.0	0.6	1.0	0.6	9
	四级品	50	2.5	1.5	0.8	1.2	0.7	12
	五级品	45	3.0	2.0	1.0	1.4	0.8	15
	六级品	40	3.5	2.5	1.2	1.6	0.9	16
	七级品	35	4.0	3.5	1.4	1.8	1.0	17
	八级品	30	5.0	4.0	1.5	2.0	1.2	18

注：1) 一类是直接入炉锡精矿产品，二类是冶炼前需加工处理的锡精矿产品；2) 锡精矿中铅、钨为有价值元素，应提出分析数据；3) 自产自用锡精矿产品，可自订企业标准执行。

2.3 汞精矿质量标准

汞精矿质量标准见表 4 和表 5。

表 4 朱砂质量标准 (YB 748—70)

等级	硫化汞(w_B)不小于 /%	杂质[$w(Se)$]不大于 /%
特	98	0.10
1	97	0.20
2	96	0.40

注：1) 特级朱砂粒度规定 5 mm 以上，如用户对粒度有特殊要求，可与厂家协商解决；2) 各级朱砂除硒外的杂质，如用户有特殊要求，可与厂家协商议定。

表 5 湿法朱砂质量标准 (GB 3631—83)

品级	硫化汞(w_B)不小于 /%	杂质(w_B)不大于 /%	
		Se	Fe
一	99.00	0.050	0.10
二	98.00	0.100	0.10

注：1) 产品不得混入机械混合物；2) 产品表面应清洁，洗涤液静置澄清后应清澈透明，其 pH 值与当地天然水 pH 值之差应小于 0.5。



2.4 铋精矿质量标准
铋精矿质量标准见表 6，表 7 和表 8。

表 6 硫化铋精矿标准 (YB 2419—82)

类 别	品 级	铋 (w_B) 不小于 /%	杂质 (w_B) 不大于 /%	
			As	Pb
粉精矿	一级	55	0.6	0.15
	二级	45	0.6	0.15
	三级	35	0.4	0.15
	四级	30	0.4	0.15
块精矿	一级	60	0.6	0.15
	二级	50	0.6	0.15
	三级	40	0.4	0.15
	四级	30	0.4	0.15
	五级	20	0.2	0.10
	六级	10	0.2	0.10

注：硫化铋中的铋含量与精矿中总铋含量之比大于 85%。

表 7 混合铋精矿标准 (YB 2419—82)

类 别	品 级	铋 (w_B) 不小于 /%	杂质 (w_B) 不大于 /%	
			As	Pb
粉精矿	一级	55	0.6	0.15
	二级	45	0.6	0.15
	三级	35	0.4	0.15
	四级	30	0.4	0.15
块精矿	一级	60	0.6	0.15
	二级	50	0.6	0.15
	三级	40	0.4	0.15
	四级	30	0.4	0.15
	五级	20	0.2	0.10
	六级	10	0.2	0.10

注：硫化铋中的铋含量与精矿中总铋含量之比在 15%～85% 范围内。

表 8 氧化铋精矿标准 (YB 2419—82)

类 别	品 级	铋 (w_B) 不小于 /%	杂质 (w_B) 不大于 /%	
			As	Pb
块精矿	一级	60	0.6	0.2
	二级	50	0.6	0.2
	三级	40	0.4	0.15

注：1) 铋精矿中金含量达到工业品位时，应报出分析数据；2) 硫化铋中的铋含量与精矿中总铋含量之比不小于 15%。

钨矿石工业要求

钨矿产工业要求（或称矿产工业要求），包括矿床边界品位 [$w(WO_3)/\%$]、工业品位 [$w(WO_3)/\%$]、可采厚度（m）和夹石剔除厚度（m），对各类型矿床均有不同指标（表 1），典型矿床工业要求实例见表 2。

钨矿床伴生有益组分通常有锡、钼、铋、铜、铅、锌、铊、金、银、钴、铍、锂、铌、钽、稀土、硫、磷、砷、压电水晶、熔炼水晶、萤石等。其中，硫、磷、砷、钼、钙、锰、铜、锡、硅、铁、铋、铌、铅、锌等对钨的冶炼工艺和钨制品为

表 1 钨矿一般工业要求

矿床类型	边界品位 [$w(WO_3)/\%$] 边界米百分值	工业品位 [$w(WO_3)/\%$] 米百分值	运用米百分值厚度 /m	可采厚度 /m	夹石剔除厚度 /m
石英大脉型	0.08～0.10 0.064～0.08	0.12～0.15 0.096～0.12	≤0.8		
石英细脉型	0.10	0.15～0.20		1～2	3
石英细脉浸染型	0.10	0.15～0.20		1～2	2～5
层控型	0.10	0.15～0.20		0.8～2.0	2～3
夕卡岩型	0.08～0.10	0.15～0.20		1～2	3

表 2 钨矿床工业要求实例

矿 床 类 型	边界品位 [$w(WO_3)/\%$]	工业品位 [$w(WO_3)/\%$]	可采厚度 /m	夹石剔除厚度 /m
江西大吉山石英大脉型钨矿床	0.1, 边界米百分值 0.08	0.15, 最低米百分值 0.12	0.8	
江西盘古山石英大脉型钨矿床	0.08, 边界米百分值 0.05	0.12, 最低米百分值 0.08	0.8	
江西上坪石英细脉带型钨矿床	0.1	0.15	1	
福建行洛坑石英细脉浸染型钨矿床	0.1	0.15	2	5
广东莲花山石英细脉浸染型钨矿床	0.12	0.18	1	2
湖南柿竹园石英细脉(网)脉-云英岩-夕卡岩型钨-多金属矿床	0.10	0.15	2	4
伴生组分 Mo 0.01, Bi 0.04 伴生组分 Mo 0.04, Bi 0.07				



有害物质，对各类钨精矿产品所含的这些有害杂质，国家已制定行业标准，即 GB2825—81。因此，这些有害组分，要经过选冶技术途径富集综合

回收，变害为益，变废为宝，综合利用。

摘自《中国矿情》第二卷·金属矿床

中国钨矿主要产地

编号	矿产地名称	储量/万 t		$w(\text{WO}_3)$ 平均%	利用情况
		累计探明	保有		
1	内蒙古东乌珠穆沁旗沙发	2.27	2.13	1.905	已用
2	内蒙古额济纳旗七一山	1.27	1.27	0.174	未用
3	内蒙古太仆寺旗白石头洼	2.22	2.12	0.63	已用
4	内蒙古克什克腾旗黄岗	5.29	5.29	0.39	未用
5	黑龙江宾县弓棚子	3.10	3.01	0.41	已用
6	黑龙江逊克县翠宏山	12.16	12.16	0.32	未用
7	安徽绩溪县际下	1.04	1.04	0.39	未用
8	福建清流县行洛坑	30.43	29.63	0.233	已用
9	江西大余县西华山	8.13	1.92	0.93	已用
10	江西大余县漂塘	8.94	8.57	0.203	已用
11	江西大余县大龙山	1.35	0.15	0.916	已用
12	江西大余县荡坪	1.18	0.26	1.261	已用
13	江西大余县九龙脑	1.98	1.98	0.42	未用
14	江西大余县樟斗	3.11	1.14	1.661	已用
15	江西大余县左拨	2.47	1.62	1.708	已用
16	江西定南县岵美山	2.54	0.57	0.66	已用
17	江西全南县大吉山	15.43	5.62	1.904	已用
18	江西全南县官山	1.03	0.86	0.169	已用
19	江西崇义县宝山	1.64	1.34	0.392	已用
20	江西崇义县宝山茅草沟	1.31	1.31	0.465	未用
21	江西崇义县大坪	1.26	0.12	1.112	已用
22	江西崇义县淘锡坑	1.22	0.92	0.987	已用
23	江西崇义县茅坪	1.30	1.10	2.573	已用
24	江西上犹县焦里(北区)	1.20	1.20	0.296	已用
25	江西上犹县焦里(南区)	2.45	2.45	0.296	已用
26	江西赣县黄婆地	2.49	2.46	0.31	已用
27	江西于都县盘古山	10.22	2.17	1.105	已用
28	江西于都县黄沙	7.87	4.91	0.578	已用
29	江西于都县上坪	3.29	2.52	0.249	已用
30	江西兴国县画眉坳	5.20	0.90	0.857	已用
31	江西泰和县小龙	2.32	0.48	1.153	已用
32	江西安福县浒坑	5.94	1.85	1.525	已用
33	江西分宜县下桐岭(1号岩体)	6.53	6.45	0.225	已用
34	江西分宜县下桐岭(2号岩体)	5.64	5.64	0.23	未用
35	江西修水县香炉山	21.66	21.66	0.74	已用
36	江西丰城县徐山	8.20	8.15	0.84	已用
37	江西都昌县阳储岭	5.74	5.74	0.20	未用
38	河南栾川县三道庄	50.25	49.41	0.117	已用
39	河南栾川县南泥湖	13.54	13.54	0.103	未用
40	湖北大冶市龙角山(520矿体)	1.67	0.71	0.989	已用
41	湖北大冶市付家山	1.04	1.04	0.266	未用
42	湖北阳新县阮家湾	4.03	4.00	0.248~0.4	未用
43	湖南郴县杭竹园	70.13	68.99	0.344	已用
44	湖南郴县新田岭	30.31	30.31	0.37	未用
45	湖南宜章县瑶岗仙(黑钨矿)	6.20	2.78	1.269	已用
46	湖南宜章县瑶岗仙(白钨矿)	20.44	20.44	0.29	未用
47	湖南桂阳县黄沙坪	9.10	9.10	0.254	已用
48	湖南汝城县砖头坳	6.65	6.65	0.67	未用
49	湖南衡南县川口	1.93	0.54	0.46	已用



续表

编号	矿产地名称	储量/万 t		$w(\text{WO}_3)$ 平均/%	利用情况
		累计探明	保有		
50	湖南衡南县川口杨林坳	19.19	16.10	0.46	已用
51	湖南衡南县川口窑木岭	3.31	3.31	0.34	已用
52	湖南茶陵县湘东(邓阜仙)	3.64	0.21	1.19	已用
53	湖南新邵县分水坳	3.29	3.29	0.42	未用
54	湖南安化县东安	1.33	1.33	1.01	已用
55	湖南安化县司徒铺	2.23	2.22	0.38	已用
56	湖南安化县大溶溪	4.39	4.39	0.63	未用
57	湖南桃源县西安	1.66	0.02	1.28	已用
58	广东南雄县棉土窝	1.09	0.45	0.938	已用
59	广东始兴县梅子窝	2.38	0.52	0.799	已用
60	广东始兴县石人嶂	2.17	0.61	0.52	已用
61	广东曲江县瑶岭	3.64	1.08	1.29	已用
62	广东连平县锯板坑	10.03	9.90	0.63	已用
63	广东翁源县红旗	2.85	1.68	1.768	已用
64	广东澄海市莲花山	3.38	1.00	0.53	已用
65	广东廉江市南和	3.33	3.33	0.26	未用
66	广西资源县牛塘界	4.01	3.73	0.699	已用
67	广西钟山县珊瑚	8.33	6.67	1.09	已用
68	广西罗城县平洞岭	1.07	1.07	0.436	未用
69	广西武鸣县大明山	16.02	15.32	0.236	已用
70	广西南丹县茶山	1.32	0.73	0.50	已用
71	广西博白县油麻坡	4.87	4.87	0.399	未用
72	云南个旧市卡房	4.35	4.23	0.232	已用
73	云南个旧市松树脚	2.22	0.99	0.11	已用
74	云南文山县老君山	1.95	1.95	0.351	未用
75	云南麻栗坡县南映田	2.78	2.61	0.50	已用
76	云南泸水县石缸河	1.81	1.78	0.509	开采
77	云南泸水县五叉树	1.30	1.30	2.23	未用
78	云南中甸县麻花坪	4.99	4.99	0.368	开采
79	甘肃肃北县塔儿沟	20.87	20.87	0.736	开采
80	甘肃肃北县红尖兵	1.26	1.26	0.475	未用

摘自《中国矿情·第二卷 金属矿产》

国外钨矿床一览

热液石英脉型

英国卡罗克菲尔 (Carrock Fell) 黑钨矿 (少量白钨矿)

英国卡林顿 (Callington) 锡石 (黑钨矿)

英国赫默顿 (Hemerdon) 黑钨矿 (锡石)

英国南克罗夫蒂 (South Crofty) 锡石 (黑钨矿)

法国蒙特贝洛克斯 (Montbelleux) 黑钨矿

法国蒙特明斯 (Montmins) 黑钨矿 (少量白钨矿)

葡萄牙帕纳什凯拉 (贝拉尔特) [Panasqueiral (Beralt)] 浸染状钨铁矿

葡萄牙博拉尔哈 (Borralha) 黑钨矿

西班牙巴鲁埃科帕多 (Barruecopardo) 黑钨矿 (白钨矿)

西班牙圣芬克斯 (San Finx) 黑钨矿 (锡石)

德国佩切特尔斯格伦 (Pechtelsgriun) 钨锰矿 (白钨矿)

德国埃伦弗里德斯多夫 (Ehrenfriedersdorf) 黑钨矿 (锡石)

前苏联霍尔托松 (Холитосонское) 黑钨矿



前苏联尤尔廷 (伊马利京) (Иультин) 黑钨矿
朝鲜前川 (Chonchon) 黑钨矿
朝鲜建水 (Kensu) 黑钨矿
朝鲜谷山 (Koksan) 黑钨矿
朝鲜金刚 (Kumgang) 黑钨矿
朝鲜双全 (Ssang Jeon) 黑钨矿 (白钨矿)
朝鲜大华 (Dae Hwa) 黑钨矿 (白钨矿)
日本钟打 (Kancuchi) 白钨矿 (黑钨矿)
日本大谷 (Otani) 白钨矿
越南皮亚奥克 (Pia-Oak) 黑钨矿
泰国夜莱昂 (Mae Liang) 黑钨矿
泰国恩戈姆山 (Doi Ngom) 钨铁矿
泰国比劳克 (Pilok) 黑钨矿
泰国旺帕 (Wang Pha) 黑钨矿
缅甸敏马提 (Myinmatti) 黑钨矿
缅甸莫契 (茂奇) (Mawchi) 黑钨矿 (白钨矿)
缅甸土瓦 (Tavoy) 黑钨矿
缅甸海因达 (Heinda) 黑钨矿
缅甸亚达纳本 (Yadanabon) 黑钨矿
马来西亚镇敦 (Chendrong) 黑钨矿
阿尔及利亚阿哈加尔 (Ahaggar) 黑钨矿
乌干达纳马塞特 (Namseta) 黑钨矿
卢旺达索米瓦 (Somirwa) 黑钨矿
津巴布韦戈尔登瓦利 (金谷) (Golden Valley) 金 (白钨矿)
津巴布韦别尔德莫尔 (Beardmore) 黑钨矿
纳米比亚纳米布沙漠 (Namib Desert) 黑钨矿 (锡石)
澳大利亚卡拜因山 (Mt. Carbine) 黑钨矿 (少量白钨矿)
澳大利亚斯托里克里克和阿伯福伊尔 (Story Creek and Aberfoyle) 黑钨矿 (锡石)
加拿大雷德洛斯 (Red-Rose) 钨锰矿 (白钨矿)
加拿大格雷河 (Grey River) 黑钨矿 (少量白钨矿)
加拿大阿尔塔 (Alta) 黑钨矿 (锡石)
美国伊马 (Ima) 钨锰矿
美国阿托里亚 (Atalia) 白钨矿
美国博尔德 (Boulder) 黑钨矿 (少量白钨矿)
美国哈默 (Hamme 或 Tungste Queen) 黑钨矿 (少量白钨矿)
美国洛斯特河 (Lost River) 锡石 (黑钨矿)
墨西哥特科里帕 (Tecoripa) 黑钨矿
危地马拉伊斯塔瓦坎 (Ixtahuacan) 铋钨矿
秘鲁帕斯托布埃诺 (Pasto Bueno) 黑钨矿
秘鲁卡萨帕尔卡 (Casapalca) 黑钨矿
秘鲁朱尔卡尼 (Julcani) 黑钨矿
秘鲁帕尔卡 XI (Palca XI) 钨铁矿 (白钨矿)
巴西佩德拉普雷塔 (Podra Preta) 黑钨矿 (锡石)
玻利维亚保尔萨尼格拉 (Bolsa Negra) 黑钨矿
玻利维亚乔赫亚 (Chojlla) 黑钨矿



玻利维亚恩拉马达 (Enramada) 黑钨矿 (锡石)
玻利维亚比洛科 (Viloco) 黑钨矿 (锡石)
玻利维亚奇科特格兰德 (Chicote Grande) 黑钨矿
玻利维亚昌比拉亚 (Chambillaya) 黑钨矿
玻利维亚卡米 (Kami) 黑钨矿-锡石-硫化物脉
玻利维亚塔斯纳 (Tazna) 黑钨矿
玻利维亚旧普韦布洛 (Pueblo Viejo) 黑钨矿
阿根廷阿根廷矿带 (Argentin Zone) 黑钨矿 (白钨矿)
阿根廷洛斯康多雷斯 (Los Condores) 黑钨矿 (白钨矿)
阿根廷阿吉拉 (Al Aguila) 白钨矿 (黑钨矿)

夕卡岩型

挪威伊克修奥 (Yxjö) 白钨矿 (黑钨矿)
瑞典伊克修伯格 (Yxsjöberg) 白钨矿 (少量黑钨矿)
法国萨劳 (Sallow) 白钨矿 (少量黑钨矿)
奥地利米特西尔 (Mittersill) 白钨矿
前苏联特尔内奥兹 (Тырнауз) 白钨矿
前苏联乔鲁赫—代隆 (Чорух-Дайрон) 白钨矿
前苏联英吉奇卡 (Ингичка) 白钨矿
前苏联梁加尔 (Лянгар) 白钨矿
前苏联科伊塔什和乌加特 (Койташ и Угат) 白钨矿
前苏联迈胡拉 (Майхура) 白钨矿
前苏联列尔蒙托夫 (Лермонтовское) 白钨矿
前苏联东方二号 (Восток-2) 白钨矿 (硫化物)
土耳其乌卢达格 (Uludag) 白钨矿
朝鲜上洞 (Sangdong) 白钨矿
日本玖珂 (Kuga) 白钨矿
日本山口 (Yamaguchi) 白钨矿
日本八茎 (Yaguki) 白钨矿
泰国沙蒙 (沙孟) (Samoeng) 白钨矿
泰国莫克山 (Doi Mork) 白钨矿
马来西亚克拉马特普莱 (Kramat Pulai) 白钨矿
摩洛哥阿泽古尔 (Azegour) 白钨矿
津巴布韦白钨王矿山 (Scheelite King Mine) 白钨矿
澳大利亚金岛 (King Island) 白钨矿
澳大利亚卡拉 (Kara) 白钨矿
加拿大科迪勒拉东部矿区马克通 (Mactung: Macmillan Pass) 白钨矿
加拿大科迪勒拉东部矿区坎通 (Cantung) 白钨矿
加拿大埃默拉尔德 (Emerald) 白钨矿
加拿大本特希尔 (Burnt Hill) 白钨矿
美国斯特劳伯里 (Strauberry) 白钨矿
美国派恩克里克 (Pine Creek) 白钨矿
美国布莱克罗克 (Black rock) 白钨矿
美国斯普林格 (Springer) 白钨矿
美国内华达 (Nevada) 白钨矿
美国埃默森 (Emerson) 白钨矿



墨西哥埃尔弗诺梅诺 (El Fenomeno) 白钨矿
墨西哥特科洛特 (Tecolote) 白钨矿
墨西哥巴维亚科拉 (Baviacora) 白钨矿
墨西哥圣何塞 (S. Jose del Desierto) 白钨矿
巴西布雷瑞 (Brejini) 白钨矿
巴西巴拉沃德 (Barra Verde) 白钨矿
巴西博卡德拉日 (Boca de Lage) 白钨矿
阿根廷洛斯阿韦斯特鲁斯 (Los Avestruces) 白钨矿

其他类型

法国普依莱斯威内斯 (Puy Les Vignes) 石英细脉型黑钨矿 (少量白钨矿)
前苏联卡拉欧巴 (Кара-Оба) 石英网脉型黑钨矿
前苏联阿克恰陶 (Акчатау) 石英网脉型黑钨矿
前苏联英库尔 (Инкур) 石英脉型钨铁矿 (白钨矿)
澳大利亚沃尔夫勒姆坎普 (Wolfram Camp) 网脉型黑钨矿 (硫化物)
泰国夜切迪 (Mae Chedi) 石英网脉及石英脉型黑钨矿
印度德加纳 (Degana) 石英脉、网脉、残积砂矿型黑钨矿
捷克斯洛伐克克拉斯诺 (Krasno) 网脉型锡石 (黑钨矿)
印度科拉尔 (Kolar) 石英脉型白钨矿
印度瓦迪 (Hutti) 石英脉型白钨矿
澳大利亚穆尔金山 (Mt. Mulgine) 石英脉型白钨矿
澳大利亚托灵顿 (Torrington) 石英脉及网脉型黑钨矿
新西兰格莱诺基 (Glenorchy) 石英网脉型白钨矿
加拿大普莱森特山 (Mt. Pleasant) 网脉型黑钨矿
格棱兰戈德霍普 (戈特霍布) (Godthaab) 网脉型白钨矿
美国耶洛派恩 (Yellow Pine) 热液型白钨矿
玻利维亚科尔基里 (Colquiri) 热液型黑钨矿 (锡石)
西班牙佩诺塔 (Penouta) 伟晶岩型黑钨矿
捷克斯洛伐克齐诺维茨 (Tsinovets 或 Cinovec) 伟晶岩型锡石 (黑钨矿)
南非纳巴比普—奥基普 (Nababiep-O'okiep) 伟晶岩型黑钨矿
美国约克山 (York Mt.) 伟晶岩型锡石 (黑钨矿)
美国克莱梅克斯 (Climax) 斑岩型 (网脉型) 钨锰矿 (辉钼矿)
加拿大洛格通 (Logtung) 斑岩型白钨矿 (辉钼矿)
墨西哥因瓜兰 (Inguaran) 斑岩型 (角砾岩筒型) 白钨矿
玻利维亚克奇斯拉 (Quechisla) 斑岩型黑钨矿 (锡石、硫化物)
玻利维亚卡拉科莱斯 (Caracoles) 斑岩型 (热液型) 黑钨矿 (锡石)
美国瑟尔斯湖 (Searles Lake) 盐湖型含钨卤水
乌干达尼亚木里罗 (Nyamulilo) 沉积变质 (网脉型) 黑钨矿
扎伊尔马尼耶马锡矿区 (Maniema Tin Province) 残积型砂矿黑钨矿
加拿大都柏林古尔奇 (Dublin Gulch) 残积、冲积型砂矿金、白钨矿 (少量黑钨矿)
美国锡城 (Tin City) 冲积型砂锡 (钨) 矿
蒙古莫多托 (Modoto) 残积及冲积型砂矿黑钨矿 (白钨矿)
泰国松山 (Khao Soon) 热液充填 (角砾岩型) 钨-铁矿
泰国普吉 (Phuket) 残积、冲积型砂矿型黑钨矿



世界钨资源年评（2004—2005）

中国是世界钨资源最丰富的国家，储量占世界钨储量的 62%。

2004 年世界钨市场需求好转，世界钨的库存下降，消费量增高，从而使国际市场钨价普遍上涨。

由于中国政府继续采取生产配额制度和出口总量控制及配额许可证制度，并在 2004 年减少了出口退税额度，促进了国内消费，减少了钨品的出口。

1 储量和资源

据美国地质调查局资料，2005 年世界钨储量为 290 万 t，储量基础 620 万 t，世界钨资源主要集中在 中国、加拿大、俄罗斯、美国和玻利维亚，5 国合计占世界总储量基础的 87%。其他国家还有：哈萨克斯坦、澳大利亚、泰国、葡萄牙、巴西、缅甸、奥地利、朝鲜、乌兹别克斯坦等（表 1）。

表 1 世界钨储量和储量基础 金属量/万 t					
国家或地区	储量	储量基础	国家或地区	储量	储量基础
中国	180.0	420.0	葡萄牙	2.5	2.5
加拿大	26.0	49.0	奥地利	1.0	1.5
俄罗斯	25.0	42.0	朝鲜	—	3.5
美国	14.0	20.0	其他	36.0	70.0
玻利维亚	5.3	10.0	世界总计	290.0	620.0

资料来源：Mineral Commodity Summaries，2006。

中国是世界钨资源最丰富的国家，储量 180 万 t，储量基础 420 万 t，占世界钨储量的 62%，钨资源广布于全国 21 个省、市、自治区，主要集中在湖南、江西、广东、广西等地。

加拿大钨的总储量为 26 万 t（钨含量），若按储量基础计算，则为 49 万 t，其重要地位仅次于中国，列世界第二位，约占世界钨储量的 9%。加拿大钨矿主要集中在塞汶（Selwyn）钨矿带上，而最具有商业价值的矿床赋存于从大不列颠哥伦比亚省的卡斯尔（Cassiar）岩基到育空地区和西北地区边界的麦克米伦（MacMillan）矿床的延伸地带。其次是俄罗斯，其钨矿储量约占世界钨储量的 9%。

在 20 多种钨矿物中，目前具有工业意义的是黑钨矿和白钨矿。世界已开采的主要钨矿床类型：

石英脉型黑钨矿矿床，是目前世界上最重要的钨矿类型，除中国外，其他国家或地区几乎没有大型矿区，金属矿物以黑钨矿为主，有少量白钨矿；其次是夕卡岩型白钨矿矿床，矿石储量较集中，往往形成大型矿区；斑岩型钨矿床占钨矿总储量的 1/4，金属矿物中黑钨矿和白钨矿几乎各占一半，品位低（含 WO_3 0.1%）。除上述钨矿床类型外，其他还有砂岩型、伟晶岩型和热泉型钨矿床，这些矿床类型的工业意义很小。

2 生产

2004 年世界钨矿山产量为 73 700 t（钨金属量，下同），与 2003 年相比增加了 10.5%（表 2）。世界钨矿主要生产国包括中国、俄罗斯、加拿大、奥地利、葡萄牙、玻利维亚、朝鲜、乌兹别克斯坦、吉尔吉斯斯坦和捷克等。10 年来钨矿产量增长较多的国家主要是中国、奥地利、葡萄牙和乌兹别克斯坦等国。

表 2 世界钨精矿矿山产量 金属量/t				
国家或地区	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年 ^e
中国	42 100	55 100	55 500	67 000
俄罗斯	3 500	3 400	3 900	3 000
加拿大	—	2 295	3 636	—
奥地利	1 237	1 400	1 400	1 400
葡萄牙	698	693	715	746
朝鲜	500	600	600	600
玻利维亚	532	399	441	440
卢旺达	142	153	78	120
蒙古	63	35	40	40
缅甸	48	83	93	100
泰国	50	31	208	200
巴西	22	24	17	20
乌干达	17	16	1	1
世界总计	48 900	64 200	66 700	73 700

注：e 为估计值；资料来源：Minerals Yearbook，2003—2004。

中国是世界上最大钨矿生产国，2004 年中国钨矿产量 67 000 t（我国实际产量大大高于此数近 1 倍），比 2003 年增加了 20.7%。2004 年中国的钨矿产量占世界总产量的 90.9%，近年来中国钨矿产量占世界产量的比重大致保持在 90% 左右，中国钨矿产量在世界上占绝对支配地位。中国的钨



钨生产主要集中在江西 (66%) , 湖南 (19%) , 云南 (6%) , 广东 (5%) , 其他省份占 4%。由于钨是中国实行保护性开采的特定矿种, 钨的生产实行总量控制, 钨品出口实行总量控制和配额许可证制度, 但近年实际产量显然大于生产配额。

2004 年俄罗斯钨矿产量 3 000 t, 与 2003 年相比减少了 23.1%。莱蒙托夫钨矿 (Lermontov) 和普里摩斯科钨矿 (Primorsky) 是俄罗斯 2 个主要钨矿山。哈萨克斯坦和乌兹别克斯坦也有少量钨矿生产, 其产量全部用于国内消费。

2004 年奥地利钨矿产量 1 400 t, 与 2003 年钨矿产量持平。奥地利生产的钨精矿主要供国内冶炼厂生产钨产品。

3 消 费

钨具有熔点高、硬度大、超耐热性、卓越的高温机械性能, 在所有金属中具有最低的膨胀系数, 良好的导电性和导热性, 散热系数低等特点, 广泛用于电力、电子、石油化工、军事工业、金属和木材加工、建筑、采矿、抗磨等领域。常用于切削工具、高速工具钢、灯丝、电极、触点材料、磁控管、碳化钨、催化剂等产品。钨的终端消费领域所占比重在世界各主要钨消费国家或地区不尽相同, 但主要是用于硬质合金和超耐热合金这两大领域 (表 3)。

表 3 世界钨的终端消费结构			所占比例/%		
应用领域	西欧	日本	美国	中国	前苏联国家
硬质合金	62	53	66	41	55
超耐热合金	24	12	9	35	30
加工材料	6	7	16	16	10
其 他	8	28	9	8	5

资料来源: Mining Annual Review, 2005。

20 世纪 80 年代世界平均年消费金属原生钨为 4.5 万 t, 90 年代以来由于世界经济发展缓慢, 对钨的消费有所减少, 1997 年以来全球钨的需求基本上是在 4 万 t 左右波动。2003 年世界钨需求量达到 5.71 万 t, 但到了 2004 年又回落到 5.67 万 t (表 4)。2005 年世界消费量估计为 4.5 万 t。

世界钨的消费变化与世界经济增长密切相关。总体上看, 2004 年西方国家钨的需求减少了 11.1%, 这其中西欧国家和美国需求下降幅度最大, 分别下降了 22.8% 和 16.4%。日本由于钨在汽车工业和 IT 工业的需求持续增长, 钨的总需求

表 4 世界钨的需求

金属量 /t

国家或地区	2003 年	2004 年	市场份额 /%
西 欧	15 150	11 700	31
日 本	5 950	7 150	12
美 国	8 850	7 400	18
其他市场经济国家	5 200	5 000	11
中国国内消费量	21 000	24 000	42
精矿进口	700	1 450	2
其他国家	250	—	1
世界总计	57 100	56 700	

资料来源: Mining Annual Review, 2005。

量增加了 20.2%。估计 2004 年世界钨消费量可能达到 6.12 万 t。

美国是世界最大钨的消费国, 近几年其消费量逐年减少, 2004 年所有形式钨视消费量为 12 600 t, 比 2003 年增长了 25%, 在世界总需求中所占份额为 18%。在美国钨总的消费中, 用于强化碳化钨、超耐热合金及钨铁合金、球磨材料、催化剂、钨金属粉、钨化学品方面的消费有所增长, 而用于炼钢方面的消费有所下降。另外美国钨废料的消费也明显下降, 2004 年美国钨废料的消费量为 4 000 t 钨金属量, 比 2003 年降低 3%, 占有形式钨视消费量的 31.7%。美国钨的视消费量中有 69% 靠进口解决。

中国 2004 年钨的消费量估计为 1.8 万 t, 中国钨品消费结构大致为: 硬质合金 41%, 钨铁 35%, 钨加工材 16%, 化工及其他 8%。

世界其他主要钨消费国家或地区还有俄罗斯、韩国、以色列、中国台湾、印度、巴西、土耳其等。

4 贸易和市场

在钨产品的国际贸易中, 中国依然占据统治地位, 其次是俄罗斯、加拿大、奥地利、玻利维亚等国家。

中国是世界钨产品的贸易大国, 中国供应了国际市场钨产品需求的 80%, 因此, 中国在国际钨市场上具有举足轻重的影响。国际市场钨产品的供应形式完全取决于中国政府的钨业政策。

据中国海关的统计资料, 2004 年中国钨品进口额为 5 334 万美元, 较 2003 年增加 58.4%; 出口额为 28 316 万美元, 较 2003 年增加 28.72%。2004 年进口量同比增加, 而出口量有所减少。出口量减少, 出口额增加反映出钨品出口形势良好。

2004 年, 中国出口 APT 5 909 t, 较 2003 年

减少 30.87%；出口钨铁 6 672 t，较 2003 年增加 4.53%；出口三氧化钨 4 718 t，较 2003 年增加 27.83%。进口方面，2004 年进口钨矿砂及精矿 2 877 t，较 2003 年增加 120.76%。出口的减少主要是因为国内需求增加。由于中国政府采取了出口总量控制和配额许可证制度，并加大对钨矿出口走私的打击力度，使钨矿出口增幅有了较大下降。但从整体来看，出口总量仍偏大。

2004 年美国钨精矿和钨品的进口量为 10 600 t，比 2003 年减少了 14%。其中中国是最大的供应国，占 44%，2004 年全年从中国进口的钨品量为 4 610 t，比 2003 年减少了 4%。其他进口来源国还有加拿大（14%）、德国（11%）、玻利维亚和葡萄牙（各 5%）、以色列（4%）等。钨品包括仲钨酸铵、钨氧化物、钨铁合金、钨精矿、钨金属粉、钨废料、碳化钨粉等。2004 年美国还出口了 3 770 t 钨品，比 2003 年减少了 26%。2004 年美国进口的钨矿石和钨精矿的数量比 2003 年少了一半，主要是因为加拿大 Cantung 矿山关闭减少了向美国的出口量。2004 年美国钨矿石和精矿的主要进口国有加拿大（34%）、玻利维亚和葡萄牙（各 22%）、泰国（10%）和卢旺达（6%）。2004 年美国钨供应量中大约 73% 依靠进口和储备抛售，其余 27% 来自废料回收。

由于仲钨酸铵是国际市场交易最常见的钨产品，因此，仲钨酸铵的价格就成为钨精矿、钨金属粉和碳化钨粉的价格指数。

据英国《金属导报》的报价，2004 年，钨精矿、欧洲市场 APT 和美国市场 APT 价格分别为 50.58 美元/t 度、83.47 美元/t 度和 80.60 美元/t 度（表 5）。钨铁价格比较活跃，在 2003 年的普遍上涨的基础上，继续稳定上涨，全年钨铁平均价格达到了 10.07 美元/kg。

5 展 望

中国是世界钨生产大国，近几年中国由于稳定

表 5 2004 年国际市场钨精矿及仲钨酸铵价格 金属量/t

产 品	单 位	2003 年 12 月	2004 年 12 月	备 注
钨精矿	美元/t 度(WO ₃)	42~50	50.58	
仲钨酸铵	美元/t 度(WO ₃)	66~73	80.60	美国
仲钨酸铵	美元/t 度(WO ₃)	62~66	83.47	欧洲
钨铁合金	美元/kg(钨)	6.85~7.10	10.07	鹿特丹

资料来源：Metal Bulletin，2002—2004。

的政治、经济环境，加上国民经济的高速发展和工业水平的不断提高，对钨的需求保持稳定增加，美国和欧洲经济持续强劲复苏也会促进国际市场钨需求的增长。今后几年中国将会继续实行钨生产总量控制和出口配额制度，因此，中国钨矿产量不会大幅增加。此外，中国政府决定自 2005 年 1 月 1 日起取消钨铁出口退税，为了弥补出口退税的损失，中国的生产和出口企业将会提高价格，钨铁的出口量也将会减少。

由国际市场看，世界经济的进一步好转将拉动钨的需求，因此，2005 年世界钨的消费量仍将保持小幅增长。但是，由于美国继续抛售战略储备钨，加拿大、澳大利亚、越南、泰国等地的矿山正在恢复或扩大生产，2005 年国际市场上的供应量也将增加。国际钨市场的供求渐趋平衡，钨价将保持小幅低位增长趋势。

未来世界钨业的发展一方面取决于世界经济发展对钨的需求；另一方面也取决于钨在新的应用领域的发展前景。在钨最终用途中硬质合金的用量最大，其需求增长变化取决于汽车工业、航空工业、建筑业、采矿业、油气钻探、电子制造的发展。在军火工业中铅的用量在减少，而钨的用量在增加，钨在运动器材方面的消费增长也很快。金属注入压铸技术的发展增加了钨铜合金在小型电子仪器方面的应用。

未来世界钨的生产关系和供应绝大部分仍然来自中国。中国政府对其钨产品生产、出口进行宏观调控的成败将影响世界钨的供应形势。

摘自《世界矿产资源年评》2004—2005



主要参考文献

- [1] 毕承思. 中国夕卡岩型白钨矿成矿基本地质特征 [J]. 中国地质科学院院报, 1987, 第 17 号: 49-64.
- [2] 陈学义. 弓棚子白钨矿床赋存规律 [J]. 黑龙江冶金地质, 1980, (2): 1-11.
- [3] 陈毓川, 裴荣富, 等. 南岭地区与中生代花岗岩类有关的有色及稀有金属矿床地质 [M]. 1989, 北京: 地质出版社.
- [4] 陈尊达, 胡立遂. 黄沙脉钨矿床的地质特征及原生分带 [A]. 国际钨矿地质讨论会论文集 [C]. 1984, 北京: 地质出版社, 25-34.
- [5] 古菊云. 华南脉钨矿床的形态分布 [A]. 国际钨矿地质讨论会论文集 [C]. 1984, 北京: 地质出版社, 35-46.
- [6] 郭文魁. 某些金属矿床的原生分带及其成因问题 [J]. 地质学报, 1963, 43 (3): 247-270.
- [7] 霍斯金. 对世界钨矿产地总的评述 [A]. 国际钨矿地质讨论会论文集 [C]. 1984, 北京: 地质出版社, 415-442.
- [8] 孔昭庆. 论中国钨业的可持续发展 [J]. 中国钨业, 1999, 43 (5~6): 52-55.
- [9] 李崇佑, 许静. 江西及邻省钨矿成因类型 [A]. 国际钨矿地质讨论会论文集 [C]. 1984, 北京: 地质出版社, 55-68.
- [10] 李春昱. 中国的内生成矿与板块构造 [J]. 地质学报, 1981, 55 (3): 195-204.
- [11] 李毅, 杨佑. 茅坪钨锡矿床基本地质特征 [J]. 矿产与地质, 1991, 5 (4): 284-317.
- [12] 刘厚宗. 一个巨型钼矿的“喜与忧”——河南栾川钼矿的调查 [J]. 中国地质, 1991, (5): 20-22.
- [13] 刘梦庚, 盛继福. 江西漂塘钨矿成矿特征 [A]. 第二届全国矿床会议论文摘要汇编 [C]. 1980, 北京: 地质出版社, 27-29.
- [14] 刘梦庚. 中国南方脉型钨矿床的一些特征及成矿模式 [A]. 国际钨矿地质讨论会论文集 [C]. 1984, 北京: 地质出版社, 93-104.
- [15] 刘文章. 福建行洛坑钨钼矿床地质特征 [A]. 国际钨矿地质讨论会论文集 [C]. 1984, 北京: 地质出版社, 105-114.
- [16] 马林清, 冯群耀. 广西大明山沉积-岩浆热液叠加黑钨矿床地质特征 [A]. 国际钨矿地质讨论会论文集 [C]. 1984, 北京: 地质出版社, 143-152.
- [17] 满发胜, 白玉珍, 倪守斌, 等. 莲花山钨矿床同位素地质学初步研究 [J]. 矿床地质, 1983, 2 (4): 35-42.
- [18] 毛景文, 李红艳, 宋学信, 等. 湖南柿竹园钨锡钼铋多金属矿床地质与地球化学 [M]. 1998, 北京: 地质出版社, 1-209.
- [19] 闽西地质大队. 福建清流洛坑钨(钼)矿床地质特征 [M]. 1985, 福州: 福建科学技术出版社.
- [20] 欧阳美才. 生产矿山深边部探矿实践与体会 [J]. 中国钨业, 2000, (3): 21-24.
- [21] 邱华宁, 戴樟模, 蒲志平, 等. 云南泸水钨锡矿床微量钾矿物⁴⁰Ar-³⁹Ar 马鞍型年龄谱的含义 [J]. 矿床地质, 1995, 14 (3): 273-280.
- [22] 邱瑞龙. 瑶岗仙“五层楼”式脉钨矿床围岩蚀变研究 [J]. 矿床地质, 1984, 3 (2): 68-75.
- [23] 盛继福. 我国钨资源形势 [J]. 中国钨业, 1992, (9): 5-9.
- [23] 盛继福. 我国钨资源状况和开发利用情况 [J]. 中国地质科学院矿床地质研究所所刊, 1994, (3): 66-74.
- [24] 盛继福. 中国钨矿地质工作的回顾 [J]. 中国钨业, 1999, 43 (5~6): 65-67.
- [25] 宋桂森. 内蒙古东乌旗沙麦黑钨矿石英脉型矿床矿物学初步研究 [J]. 内蒙古地质, 1986, (1): 54-65.
- [26] 谭运金. 花岗岩型钨矿床 [J]. 宜昌地质矿产研究所所刊, 1985, (10): 99-110.
- [27] 万嘉敏. 湘西西安白钨矿床的地球化学研究 [J]. 地球化学, 1986, (2): 183-192.
- [29] 吴永乐, 梅勇文. 西华山钨矿地质 [M]. 1987, 北京: 地质出版社.
- [30] 夏宏远, 梁书艺, 谢为鑫, 等. 江西黄沙钨矿床的原生分带及其成因 [A]. 国际钨矿地质讨论会论文集 [C]. 1984, 北京: 地质出版社, 221-232.
- [31] 徐克勤, 胡受奚, 孙明志. 华南钨矿床的区域成矿条件分析 [A]. 国际钨矿地质讨论会论文集 [C]. 1984, 北京: 地质出版社, 243-258.
- [32] 颜美钟. 江西找钨矿的基本理论与主要方法 [A]. 国际钨矿地质讨论会论文集 [C]. 1984, 北京: 地质出版社, 259-270.
- [33] 杨明桂, 卢德揆. 西华山—漂塘地区脉状钨矿的构造特征与排列组合形式 [A]. 国际钨矿地质讨论会论文集 [C]. 1984, 北京: 地质出版社, 293-304.
- [34] 杨树德. 我国钨矿床中伴生银的赋存状态及其综合利用 [J]. 中国钨业, 2000, (3): 16-20.
- [35] 杨子江. 下桐岭钨矿床成矿特征的探讨 [J]. 地质论评, 1986, 32 (1): 50-58.
- [36] 冶金工业部南岭钨矿专题组. 华南钨矿 [M]. 1983,



北京：冶金工业出版社。

- [37] 易贤荣. 铁山垅钨矿提高伴生金属回收率的技术改造与实践 [J]. 中国钨业, 1999, 43 (5~6): 123-125.
- [38] 张作衡, 毛景文, 杨健民, 等. 甘肃小柳沟石英脉型钨矿床成矿流体地球化学研究 [J]. 地球学报, 1999, 20: 292-297.
- [40] 赵一鸣, 林文蔚, 毕承思, 等. 中国夕卡岩矿床 [M]. 1990, 北京: 地质出版社, 215-232.
- [41] 中国科学院地球化学研究所. 华南花岗岩类地球化学 [M]. 1979, 北京: 科学出版社.

- [42] 中国钨业协会. 改革体制拯救钨业——中国钨业协会致国务院的建议书 [J]. 中国钨业, 1998, (6): 1-2.
- [43] 周廷贵, 张道忠, 周宏. 甘肃省小柳沟铜钨多金属矿床地质特征及成因探讨 [J]. 西北地质, 1999, 32 (3): 1-10.
- [44] 朱俊. 中国钨资源前景探讨 [J]. 中国钨业, 1997, (11): 11-14.
- [45] 朱焱龄, 李崇佑, 林运淮. 赣南钨矿地质 [M]. 1981, 南昌: 江西人民出版社.

结 语

中国钨矿具有良好的成矿环境, 唯中华大地所富有, 是优势矿产资源。但从开发角度来看, 优势中还有忧虑。

其一, 部分大中型生产矿山即将出现资源危机。据钨业界人士分析, 原有色金属总公司直属的 18 个大中型矿山, 其中生产服务年限 10 年以下的有 9 个。这 9 个矿山年产钨精矿 1 万 t 以上, 预计七八年后即将消失。特别是现有 10 个大型黑钨矿山, 是钨资源优势的骨干矿山, 但其中 8 个矿山已开采了几十年, 进入到中晚期, 还有 2 个黑钨矿山储量虽大, 但开采品位低, 难以堪当后备基地。中国白钨矿虽然储量多, 但贫矿多, 难选矿多, 有 85% 的白钨矿资源达不到矿山保本的最低品位, 难以开发利用。因此, 白钨矿如果近 10 年内选矿技术还不过关, 白钨矿没有优势可言。

其二, 钨矿过渡强化开采, 缩短了矿山正常开采年限, 再加上近 10 年来民工非法进入国有钨矿山乱挖滥采, 屡禁不止, 破坏了矿山生产, 资源浪费严重, 仅江西钨矿山每年损失钨储量 (WO_3) 1 万 t 以上, 更加剧了生产矿山的资源危机。

其三, 钨品大量出口, 管理失控, 而且多头出口, 廉价竞销, 外商渔利。这种拼资源、贱卖资源、浪费资源的做法, 不仅国家蒙受重大损失, 而且也加剧了矿山资源危机, 使钨矿山在困境中越陷越深。

以上 3 个问题如得不到根本解决, 进入 21 世纪也就难以保持和发挥中国钨矿资源的优势。

为振兴钨业, 开拓进取, 抓住机遇, 深化改革, 中国钨业发展前途是光明的。

一是从国内来看, 有国家高度重视, 已经或即

将出台一系列的方针、政策, 促进大多数国有企业摆脱困难。1998 年机构改革后成立的国家有色金属工业局经调研论证, 制定了工业企业三年脱困计划、办法、措施, 这些都给钨业的发展创造了有利良机。

二是从国际环境上看, 国际市场的存在与扩大, 为钨业的发展提供广阔的选择余地。中国钨业实质上是外外向型出口产业, 长期以来, 我国钨产品 65% 左右供出口, 35% 左右用于国内。前几年国际钨市场出现供大于求, 钨品价格下跌, 影响到中国钨业的发展。但随着世界经济开始复苏, 对钨的需求和市场行情开始回升。1993—1997 年, 钨的需求量呈平稳增长趋势, 这对中国钨业的发展是有利的机遇。只要我国对钨品出口加强宏观控制, 整顿好出口秩序, 优化出口产品结构, 发挥中国钨的中间产品质优、量大, 具有左右国际钨市场的优势, 控制出口数量, 促进国际钨市场价格上扬。

三是我国钨矿找矿潜力大, 是解决大中型生产矿山的资源危机, 寻找接续资源的有利条件, 特别是赣南、湖南地区找矿潜力更大。只要投入地质工作, 在一些资源危机的矿山深部、周边及其附近是能够勘探出接续矿段、矿床的。

四是钨业界众多有识之士认为, 中国钨业发展战略, 应以市场为导向, 适应社会化大生产要求, 积极开拓国际、国内 2 个市场, 合理配置生产要素; 大力调整好产品结构, 适度生产钨精矿, 加强发展钨的中间产品; 转换机制, 资产重组, 走集约经营之路, 变钨业的资源优势为经济效益优势。

摘自《中国矿情》第二卷·金属矿产