福建武夷山坪地钼矿床地质特征及成因探讨①

傅树超
(福建省地质调查研究院，福州，350003)

摘　要　坪地钼矿位于福建武夷山五夫镇境内，由坪地、上西坑、东坑 3 个矿段组成。控矿地质条件有下元古界大金山组变质岩、晚侏罗世中细粒钾长花岗岩和南北向断裂构造。成矿可分为 3 个阶段，中高温热液成矿阶段形成坪地钼矿段，中温热液成矿阶段形成上西坑钼矿段。通过综合资料分析，表明坪地钼矿床成因类型属岩浆热液充填交代型钼矿床，成矿时代为晚侏罗世。

关键词　钼矿床　地质特征　矿床成因　岩浆热液充填交代型　武夷山坪地

坪地钼矿床位于福建武夷山五夫镇境内，武夷山市区东南直距 27 km。福建省区域地质调查队于 2000 年起承担国家大调查项目——坪地钼矿资源评价，基本查明了矿区地质特征和控矿条件，为下一步找矿积累了经验。作者在阐述分析控矿条件基础上，探讨钼矿成因机理。

坪地钼矿床经过工作，发现了坪地钼矿段、上西坑钼矿段和东坑钼矿段。其中坪地钼矿段的矿体位于晚侏罗世酸性岩体的内接触带，呈缓倾角“似层状”产出，上西坑和东坑矿段的矿体则位于岩体的外接触带，受陡倾角断裂控制，呈脉状产出。坪地钼矿是目前省内发现的最大钼矿床，系统分析其成矿地质条件、探讨矿床成因，总结区域找矿标志，对省内乃至华南地区寻找同类型矿床具有重要意义。以坪地、上西坑钼矿段为例，总结其特征。

1　区域地质特征

矿区处于闽西北隆起带北缘，崇安—石城北东向断裂带与浦城—永泰南北向构造岩浆带[1]之间的近南北向狭长地带。主要出露地层有下元古界大金山组和侏罗系长林组、南园组第二段。区内侵入岩分布广泛，主要为晚侏罗世古竹超单元钾长花岗岩及早白垩世花岗岩、花岗斑岩等。构造以断裂为主，南北向、北西向和北东向 3 组断裂成带分布，区内侵入岩、蚀变矿化带及物化探异常大多数受其控制。

1.1　地层

区内出露地层有下元古界大金山组和侏罗系长林组、南园组及第四系（图 1）。

大金山组：为省内古老变质基底层位，呈南北向带状展布于坪地—上西坑一带，组成复式背形的轴部，据岩性特征可分上、下 2 个岩性段。下段以二云石英片岩为主夹斜长角闪岩，上段则以黑云斜长变粒岩为主，变粒岩呈条纹、条带状构造。经原岩恢复，斜长角闪岩原岩为基性火山岩，大金山组原岩属海相火山复理石建造。

① **收稿日期**：2005-02-02
作者简介：傅树超（1963-），男，高级工程师，区域地质与矿产地质专业。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

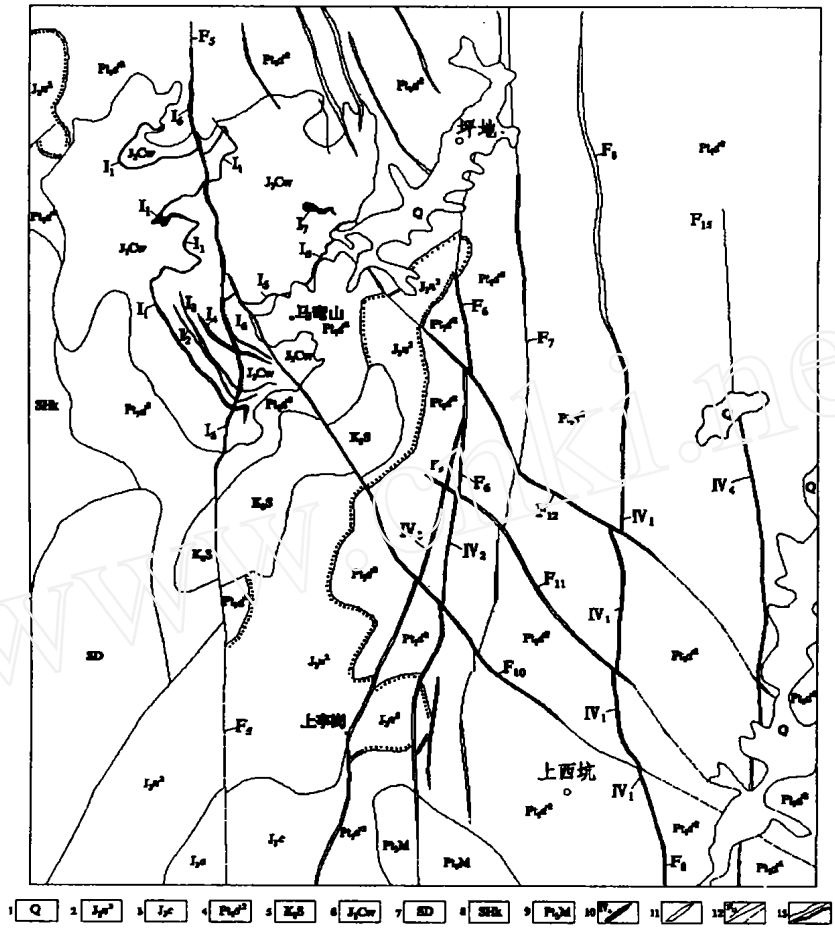


图 1 武夷山坪地—上西坑矿区地质图

Fig. 1 Geologic map of the Pingdi-Shangxikeng mine field in Wuyishan City

1—第四系; 2—侏罗系南园组第二段; 3—侏罗系长林组; 4—下元古界大金山组上段; 5—晚白垩世石牌前单元花岗斑岩; 6—晚侏罗世古竹超单元陈屋楼单元钾长花岗岩; 7—志留纪大坊单元钾长花岗岩; 8—志留纪横坑单元钾长花岗岩; 9—晚元古代梅坝单元二长花岗岩; 10—钼矿体; 11—钼矿化体; 12—实测/推测断层及编号; 13—地质界线/角度不整合界线

据岩石光谱分析, 大金山组变质岩铅、锌、银、钼含量明显高于克拉克值, 区内钼矿化黄铁绢英岩脉 (带) 发育, 是钼矿 (化) 主要赋存层位及近矿围岩。

长林组: 仅见于坪地矿段西侧, 以砂岩、粉砂岩为主, 局部夹灰岩透镜体, 厚度大于150 m, 角度不整合于大金山组之上, 矽卡岩型硫、铅锌矿床受该层位控制, 是区内含矿地层之一。

南园组: 仅坪地及上西坑矿段西部有零星出露, 岩性以中酸-酸性晶屑凝灰岩、熔岩、碎斑熔岩为主, 夹沉积岩, 厚度大于 300 m, 喷发不整合于长林组及变质岩地层之上。

1.2 构造

工作区处于闽西北隆起带[1], 北西向、北东向和南北向断裂带交汇部位, 断裂构造较为发

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

育, 其中以北东向、北西向、南北向构造带与基底褶皱组成区域构造的总体格局。

北东向断裂构造带: 区域上属大将—坪地断裂带, 其走向 30～60°, 倾向南东或北西, 倾角 65～80°; 长约 10 km, 是矿区早期形成, 后期又有活动的控岩构造, 主要分布在北部坪地和矿区西南部。区内表现为控制部分中生代火山喷发和地层沉积、坪地钾长花岗岩体及钼、铜多金属矿化蚀变带的展布。

北西向断裂构造带: 分布于坪地西侧、马鸾山—上西坑一带, 由 3 条主要断裂 (F_{10}、F_{11}、F_{12}) 和其它小断层组成; 出露长度大于 2.5 km, 总体走向北西 300～330°, 为区内形成最晚的断裂带, 经地表查证, 断裂带内黄铁绢英岩、黄铁硅化岩多数有辉钼矿化, 但迄今尚未发现工业矿体。

南北向断裂构造带: 矿区广泛分布, 主要发育有马鸾山 (F_5)、坪地—上西坑 (F_6～F_{10}、F_{15}) 等 7 条断裂破碎带, 断续延伸 5 km～15 km, 组成宽 6 km～7 km, 间距 0.6 km～1.0 km。单条长 4.0 km～11.5 km, 宽 3 m～20 m。该断裂带是区内主要控矿构造, 坪地矿段Ⅰ$_6$ 钼矿体、上西坑矿段的钼矿 (化) 体均赋存于 F_5、F_6～F_9 和 F_{15}断裂带中。

1.3　侵入岩

区内侵入岩分布较广泛, 主要分布在坪地—东坑西部及上西坑西南等地, 出露有晚元古代、志留纪、晚侏罗世和白垩纪花岗岩等。其中晚侏罗世岩体与钼成矿关系密切。

晚侏罗世花岗岩为坪地岩体, 主要出露古竹超单元陈屋楼单元中细粒钾长花岗岩。分布于西北部, 面积约 3 km^2, 呈浅肉红色, 风化为浅灰色, 中细粒花岗结构, 粒度 2 mm～4 mm。岩石化学成分 ($\times10^{-2}$): SiO_2 76.73、Fe_2O_3 0.92、FeO 1.03、Al_2O_3 12.12、TiO_2 0.03、CaO 0.75、MgO 0.04、K_2O 3.77、Na_2O 3.72、TFe_2O_3 2.06, 属过铝钙碱性岩。

坪地岩体几乎全岩矿化蚀变, 主要为硅化、黄铁矿化、绢 (云) 英岩化和辉钼矿化。岩体具环状蚀变分带特征, 岩体中心以钠长石化为主, 边部为云英岩化、黄玉化为主, 岩体及外接触带围岩发育有黄铁绢英岩细脉。

2　矿床地质特征

矿区已发现坪地、东坑、上西坑 3 个钼矿段, 其中东坑、上西坑矿段位于矿区东部, 坪地矿段则位于矿区西北部, 矿体产于坪地岩体中。

2.1　坪地钼矿段

2.1.1　矿体特征

坪地钼矿段已圈出(Ⅰ$_1$～Ⅰ$_5$) (图 1、2), 长 170 m～1 500 m, 厚 0.37 m～7.29 m; 出露标高 620 m～900 m, 矿体平行相间排列, 呈“似层状”赋存于钾长花岗岩“层节理”中, 受坪地岩体控制, 总体走向北北西, 倾角平缓。矿体厚度沿走向及倾向均有变化, 局部具有膨胀、缩小、分叉、复合等现象。

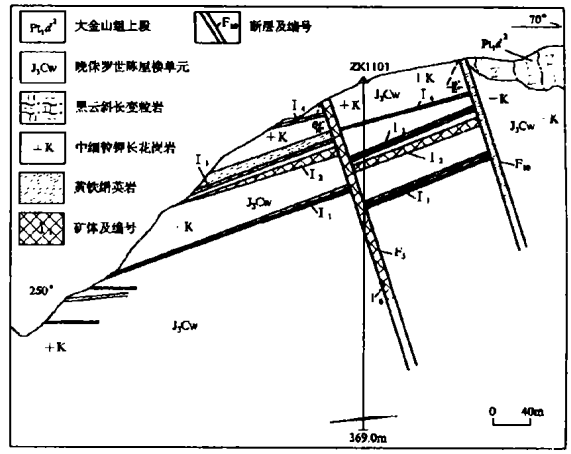


图 2　武夷山坪地矿段钼矿 11 线地质剖面图

Fig. 2　Diagram showing the geologic section of No. 11 exploration line in the Pingdi molybdenum ore block

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

其中Ⅰ$_1$钼矿体规模最大，已控制长1 500 m，走向330°，倾向北东，倾角10°～15°，平均厚2.56 m，平均品位0.234%，预测（333+ 334）钼资源量大于4 000 t，现已进行详查工作。矿体底板为黄铁绢英岩或硅化岩，其间常夹一层厚3 cm～10 cm（最大达30 cm）褐铁矿，二者接触界线清楚。矿体顶底界线一般也比较明显，在野外用肉眼基本上可以判断矿（化）体与围岩之界线。

2.1.2 矿石类型

矿石类型以黄铁矿化硅化岩型为主，次为黄铁绢英岩型，少数为辉钼矿化花岗岩型。组成矿石的主要金属矿物有辉钼矿和黄铁矿，次为磁铁矿、钼铅矿、钛铁矿，地表可见次生氧化矿物褐铁矿和钼华；主要脉石矿物为石英、绢云母、白云母。经光片观察，结合人工重砂鉴定结果，矿石中金属矿物含量6.53%，脉石矿物含量93.47%。

辉钼矿：铅灰色或灰黑色，多为自形六方板片状，半自形、他形鳞片状、片状、厚板状，外形多不规则，晶体常发生弯曲或挠曲，并见细片状辉钼矿呈浸染状及细脉状分布，晶面偶见生长纹，主要嵌布于黄铁矿和石英聚晶中，呈微细他形鳞片聚晶条纹，斑点状充填于石英及黄铁矿裂隙中。从光片、薄片鉴定，细小辉钼矿被石英、白云母等包裹，其成因可分为2个世代，第一世代辉钼矿呈自形-半自形六方板状与黄铁矿、石英共生连嵌分布，个别可见后二者中有细粒鳞片辉钼矿包裹体。第二世代的辉钼矿主要以他形微细鳞片晶组成，呈条纹状-细脉状充填于石英晶隙中，少部分充填于黄铁矿晶隙中，反映了该矿石钼矿化至少经历了2个中高温热液作用阶段，钼矿粒径一般0.2 mm～0.7 mm，大者可达1.84 mm，在Ⅰ$_1$矿体中少数可达5.21 mm。与辉钼矿共生的黄铁矿晶形复杂，粒径在0.01 mm～0.2 mm，大部分破碎成碎屑状。根据含矿脉的穿插关系及光、薄片镜下矿物穿插关系，确定成矿阶段及矿物生成顺序（表1）。

从上述资料分析，随着晚侏罗世岩浆活动的加剧，相对封闭的环境逐渐转换为开放环境，岩浆期后含矿热液（气）在周围断裂带或裂隙中充填交代成矿，即形成坪地Ⅰ$_6$矿体和上西坑等受断裂控制的陡倾角脉状钼矿（化）体。

2.2 上西坑钼矿段

上西坑矿段在F$_6$、F$_8$、F$_9$和F$_{15}$4条南北向断裂破碎带中赋存钼和钨钼矿（化）体。其中Ⅳ$_1$钼矿体规模较大，其它矿（化）体只进行地表追索和少量槽探揭露。

2.2.1 矿体特征

Ⅳ$_1$钼矿体呈脉状赋存于大金山组南北向断裂（F$_8$）破碎带的蚀变构造岩或石英脉中（图3），出露标高750 m～900 m。矿体总体走向南北，但受北西向断裂影响平面上呈“之”字形，即北端走向为北西340°，南端走向为南东140°～160°，中部走向近南北，倾向总体向东，倾角65°～80°。矿体厚度2.09 m～8.46 m，平均4.54 m，矿石品位沿走向和倾向略有变化，Mo品位0.037%～0.487%，平均0.160%。其总体趋势是向南矿体厚度变薄并趋于尖灭，品位也较低；矿体北段厚度较大，品位较高且相对稳定，顶底板均为硅化黄铁矿化构造角砾岩，并普遍具辉钼矿化，与矿体没有明显界线。

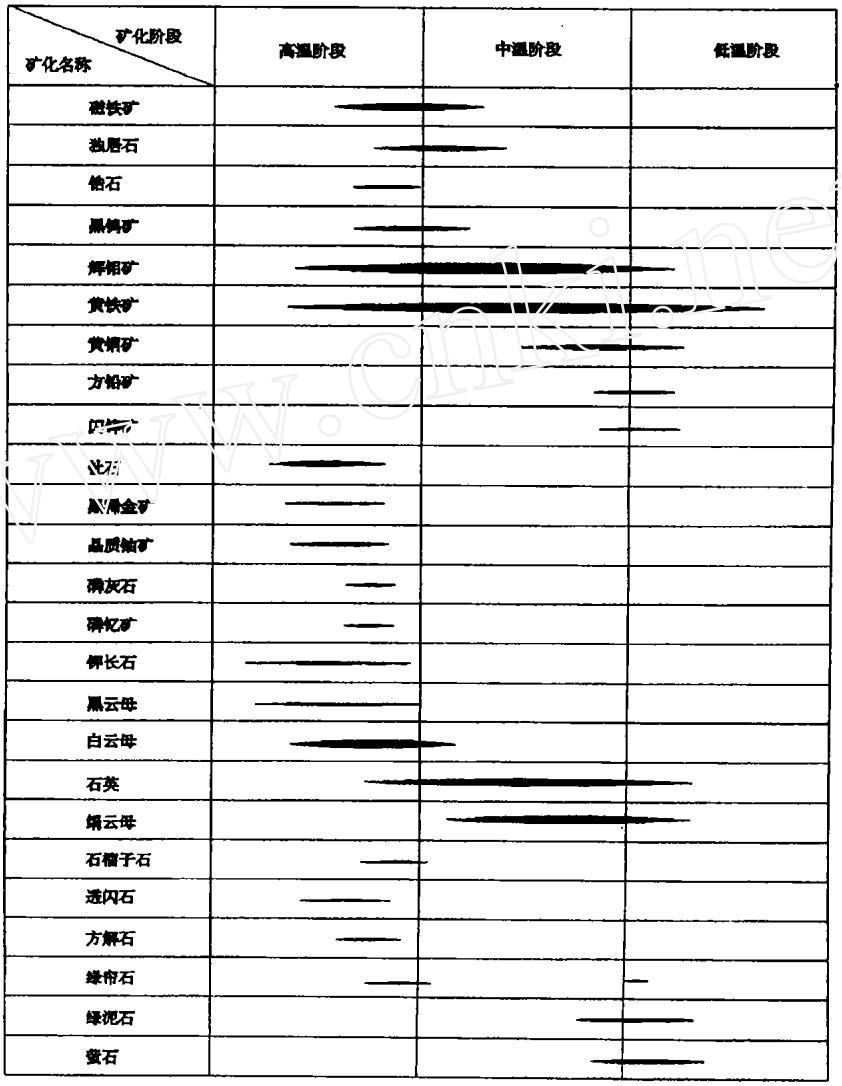
2.2.2 矿石类型

Ⅳ$_1$基本上属于单一的钼矿体。主要由2种矿石自然类型组成，即蚀变构造角砾岩型和石英脉型。2种矿石类型交互出现，分布没有明显规律，难以单独划分。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1　坪地矿区辉钼矿成矿阶段及矿物生成顺序

Table 1　Ore-forming stage and mineral succession of the molybdenite in the Pingdi mine-field



矿石金属矿物主要有黄铁矿、磁黄铁矿、辉钼矿，少量铅族矿物和闪锌矿；脉石矿物主要为石英、长石，少量云母、绿泥石等。辉钼矿、黄铁矿等金属硫化物以细粒聚晶分布于构造角砾岩的胶结物中或以浸染状包含结构及压碎结构出现。矿石构造以浸染状为主。据分析成果，矿石除含钼外，伴生钨、铋、硫及少量铜、铅、锌等。

Ⅳ$_1$ 矿体的矿石品位沿走向和倾向略有变化，一般 0.037%～0.456%，平均 0.202%，属有用组分分布均匀矿体。矿石品位从中部向两侧，由高变低，其中 3～8 线的矿石品位相对比较稳定。走向上矿石品位变化情况与厚度成正比，向北、向南矿石品位逐渐变低；在倾向上向深部有变富的趋势。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

3 控矿条件及成因分析

坪地钼矿段矿体呈“似层状”赋存于坪地岩体张性断裂中。上西坑钼矿体呈脉状赋存于大金山组南北向及北东向断裂破碎带内。

3.1 成矿地质条件

3.1.1 地层岩性控矿条件

区内与成矿关系密切的地层是下元古界大金山组变质岩。岩性为黑云斜长变粒岩和角闪斜长变粒岩为主夹片岩，大面积分布。岩层变形变质强烈，并具有不同程度的混合岩化，为上西坑钼矿段的赋矿围岩。据1∶5万石陂、浒洲幅区调资料，该套地层铜钼钨多金属元素含量均高于福建同时代变质地层的含量，其中Mo高出1.9倍～6.1倍；同样也高于地表克拉克值的一至数倍，其中Mo高出1.3倍～3.5倍。因此，地层是提供成矿物质的源岩之一，其通过燕山晚期岩浆同化作用，使岩浆不断富集Mo，并形成成矿热液。

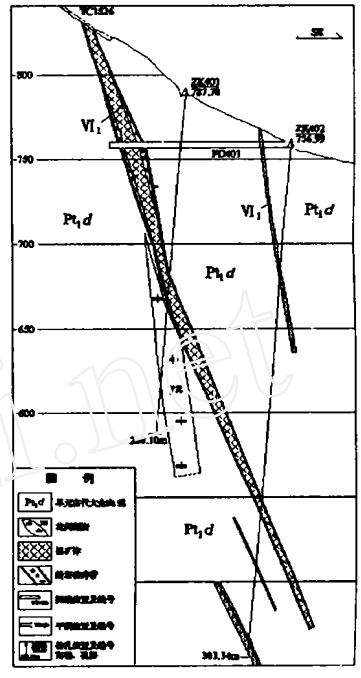


图3 上西坑钼矿段Ⅳ$_1$矿体地质剖面图

Fig.3 Diagram showing the geologic section of the Ⅳ$_1$ orebody in the Shangxikeng molybdenum ore block

3.1.2 侵入岩控矿作用

根据福建成矿系列及成矿模式研究，与燕山早期酸性岩浆活动有关的成矿系列为钨、钼、锡、铜、铅亚系列。该区侵入岩与钼多金属矿的成矿关系密切，区内与钼(钨)多金属矿成矿关系密切的为晚侏罗世坪地岩体，钼多金属矿(床)点及异常均沿其内外接触带分布。

坪地岩体地表出露面积约3 km^2，呈小岩瘤状侵入于大金山组变质岩。坪地岩体地表出露标高500 m～900 m，似层状钼矿体主要分布于岩体的顶部，标高为620 m～900 m，往往位于岩体与大金组的内接触带，而620 m标高之下未发现矿体。在上西坑矿段，钼矿体分布于大金山组中，物探资料表明，其深部存在隐伏岩体。上述资料说明晚侏罗世中细粒钾长花岗岩具有明显的控矿作用。

坪地岩体与福安赤路斑岩型钼矿床、清流行洛坑斑岩型钨(钼)矿床的控矿岩体对比，可以发现其岩石化学成分基本相似[2]。岩石中SiO_2含量在76.10%～76.87%，Na_2O+K_2O含量7.49%～8.98%；里特曼指数δ均小于4，在1.6～2.5，为钙碱性岩系，属太平洋型花岗岩；岩浆分异指数DI值均大于92，属分异程度较高的强分异型花岗岩，均已接近碱性花岗岩或其过渡类型，在W.J.Collins的Na_2O-K_2O图解中大多数投影于A区，为非造山带碱性花岗岩[3]。

3.1.3 构造控矿条件

从区域上看，不同时代、不同性质和规模的断裂构造带对成矿作用的表现形式不同，区域性的深大断裂往往是岩浆和热液侵入和运移的主要通道，是成岩、成矿作用的主要条件，控制着较大成矿带的形成；而低级别的断裂则是控制成矿区或是赋矿的重要场所。

(1) 控制成矿远景区的构造，区域上一级断裂构造的次级断裂构造或派生构造，控制了成

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

矿远景区的分布, 特别是两组或多级断裂交汇的部位。评价区多金属成矿远景区明显受北东向坪地—大将断裂带、北西向祝源—大源和南北向东坑—叶坑等断裂构造控制。

(2) 控制矿体的构造, 矿体、矿化体空间分布严格受区域性断裂的次级断裂破碎带或裂隙控制, 如坪地钼矿 $Ⅰ_1$ 矿体受北西向张性缓断裂控制, $Ⅰ_6$ 矿体和上西坑钼矿 $Ⅳ_1$、$Ⅳ_2$ 矿体均受区内一组南北向断裂破碎带 (F_5、F_8) 控制。

3.2　成矿阶段及成因分析

控矿地质条件分析表明, 坪地钼矿床成矿期为晚侏罗世, 可划分为 3 个成矿阶段: 第一阶段为预成矿阶段, 第二阶段形成坪地钼矿段, 第三阶段形成上西坑钼矿段。

3.2.1　第一成矿阶段

为矿源预富集期, 燕山晚期第一阶段构造运动在区内较强烈, 主要表现以铁场—祝源逆冲推覆断层为代表的脆性断裂活动, 同时伴随着酸性岩浆的侵入, 不断同化大金山组变质岩, 对地层中的钼等成矿物质产生了活化而富集, 逐步形成含矿热液, 并伴随岩浆从深部缓慢上侵 (图 4), 岩浆以主动侵位为主, 上侵时温度达 860℃～1 020℃[4]。侵位过程发生热气球式膨胀作用, 压力不断加大对围岩产生挤压, 诱发压扭性裂隙。

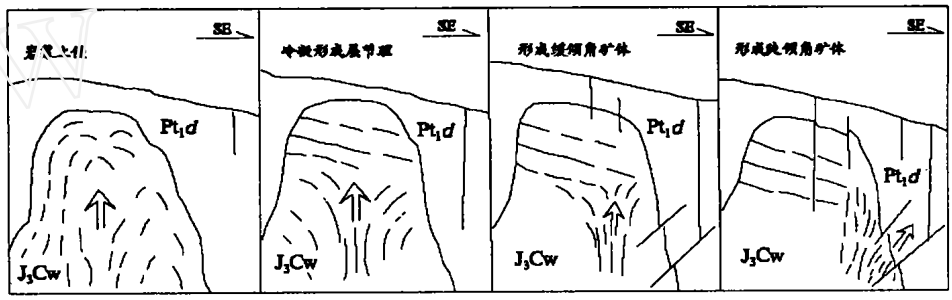


图 4　坪地钼矿成矿模式示意图

Fig. 4　Sketch map showing the ore-forming pattern of the Pingdi molybdenum minerals

3.2.2　第二成矿阶段

为中高温热液成矿期, 燕山晚期构造运动第二阶段, 在区内主要表现为继承性的断裂活动和大量酸性岩浆岩的侵入, 同时伴随着断裂构造的形成。岩浆活动促进区内基底成矿元素, 尤其是钼、钨等元素进一步活化迁移, 同时岩浆本身也携带了大量的成矿物质。酸性岩浆上侵形成坪地岩体过程中, 温度逐渐下降, 压力也随之减小, 岩浆冷却收缩而形成缓倾角层状节理, 为岩体张性原生节理。岩浆热液携带成矿物质充填于成矿有利部位, 形成中高温热液型钼多金属矿, 所形成的辉钼矿片径较大, 易选矿, 如坪地钼矿 $Ⅰ_1$ 矿体。中高温热液成矿期可进一步划分为 2 个阶段, ①气液交代作用阶段, 以岩浆期后碱质交代为主, 形成钠化、云英岩化、黄玉化及磁铁矿化; ②热液硫化物阶段, 形成硅化、绢英岩化、辉钼矿化。其中钼矿化可分为 3 个阶段, 早期形成网脉状辉钼矿石英脉, 中期形成细脉状辉钼矿脉 (切穿前者), 晚期形成浸染状、团块状、囊状辉钼矿。

3.2.3　第三成矿阶段

为中温热液成矿期, 坪地岩体形成过程中, 大金山组中南北向断裂继续活动, 酸性岩浆

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

中的含矿热液向外迁移，另一方面，岩浆携带元素在运移过程中与围岩发生交代作用，并淬取了部分围岩中的成矿物质，使热液中钼含量不断提高，随着压力的下降，在南北向断裂破碎带等成矿有利部位富集成矿，形成岩浆期后气化-热液型钼钨矿体，如上西坑Ⅳ$_1$矿体。最后剩余含矿岩浆充填于坪地北西向断裂，形成北西向矿化体。

综上所述，晚侏罗世酸性岩浆沿北东向深断裂侵位，上侵过程中不断同化大金山组矿源层，并使钼元素不断富集，形成含矿热液；在岩浆逐步冷凝后形成张性断裂，岩浆期后含矿热液沿先期张性断裂充填交代形成坪地矿段脉状钼矿床。随后应力场发生变化，在南北向右行剪切应力作用下，形成南北向断裂破碎带（如F_5、F_6、F_7），其规模大、延伸长，具先压后张多期活动特征；随后应力场再次变化为左行剪切，形成北西向张性断裂破碎带（如F_{11}、F_{12}、F_{13}），其切割南北向断裂，同时延伸不长，其中上西坑F_{13}明显切割F_8，证明北西向构造形成较晚。在控矿作用方面，早期北西向张性缓断裂、北东向断裂控制的钼矿体品位较富，晚期北西向张性断裂控制的钼矿体品位较低，往往形成钼矿化体。因此，坪地钼矿成因类型属岩浆热液充填交代型钼矿床，成矿时代为晚侏罗世。

3.3 主要找矿标志

(1) 土壤Mo异常浓集中心是区内寻找钼矿的重要标志。

(2) 晚侏罗世钾长花岗岩的内接触带，尤其是岩体内的层节理或裂隙，岩体顶部和旁侧的断裂破碎带是成矿的有利部位。岩体中绢英岩化、硅化、钾化、黄铁矿化是重要找矿标志。

(3) 下元古界大金山组变质岩中的南北向、北东向和北西向断裂破碎带发育地段。多组构造交汇处，尤其是北西向与南北向断裂交汇处，是重要的控矿构造。

(4) 断裂破碎带中的黄铁矿化、硅化、绢英岩化等蚀变强烈并构成黄铁矿化硅化岩脉或黄铁绢英岩脉的地段，是重要的找矿标志。

(5) 在地貌上常常形成陡崖的黄铁矿化硅化岩脉，也可作为区内直接找矿标志。

(6) 已知的矿点、矿化点及矿石露头、转块、铁帽等是直接找矿标志。

(7) 物探（电法）测量时出现的激电异常可以用于指导找矿。

感谢林亨才高级工程师、王文兵工程师在本文写作过程中给予的大力支持和帮助，承蒙刘昭平高级工程师的指导与评审，在此一并致谢。

参 考 文 献

1 地矿部福建地质矿产勘查开发局．福建省1∶50万地质图说明书．福州：地图出版社，1998

2 福建省地质矿产局．福建省区域地质志．北京：地质出版社，1985

3 马昌前等．花岗岩类岩浆动力学．北京：中国地质大学出版社，1994

4 福建省地质矿产局．1∶5万石陂、浒州幅区调报告，1993

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

On Geologic Characteristics and Genesis of the Pingdi Molybdenum Deposit in Wuyishan City, Fujian Province

Fu Shuchao

(*Fujian Institute of Geology Survey and Research, Fuzhou,* 350003)

Abstract

The Pingdimolybdenum Deposit, located atWufu Town, Wuyishan City, ismade up of the three molybdenum allotments, namely Pingdi ore block, Shangxikeng ore block and Dongkeng ore block. The ore-control geological conditions include the metamorphic rock of Early Proterozoic, the intermediate-fine grain moyite of Late Jurassic and faulted structures of the northern and southern trend. It is considered that there are three ore-forming stages. The intermediate-high temperature hydrotherm ore-forming stage comes into be the Pingdi molybdenum ore block and the moderate temperature hydrotherm ore- forming stage takes shape of the Shangxikeng molybdenum ore block. The analysis results of the integrated data make it clear that the Pingdimolybdenum deposit belongs to the molybdenum deposit of the magmatic hydrothermal filling and metasomatic type and the metallogenetic time is Late Jurassic.

Keywords molybdenum deposit, geologic characteristics, genesis of a deposit, magmatic hydrothermal filling and metasomatic type, Wuyishan City

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net