



云南省马厂箐 Cu-Mo-Au 矿床花岗斑岩 成矿地质证据*

郭晓东¹, 王治华¹, 王 欣¹, 刘 烱¹, 周晓锋², 王绍明²

(¹ 中国人民武装警察部队黄金地质研究所, 河北 廊坊 065000; ² 中国人民武装警察部队黄金第十支队, 云南 昆明 650111)

摘 要 马厂箐铜钼(金)矿床是金沙江-哀牢山构造带内与喜马拉雅期富碱侵入岩有关的典型的斑岩型矿床之一, 其铜钼(金)矿(化)体在空间上与花岗斑岩紧密相伴, 且主要位于花岗斑岩脉(体)的上、下盘。花岗斑岩内发育有具斑岩型矿化特征的细网脉状、浸染状矿化, 其上盘的(似)斑状花岗岩和下盘的向阳组围岩内均发育有脉状、细脉状矿化, 且总体表现出向接触带附近花岗斑岩倾斜的特点。(似)斑状花岗岩中的矿化脉体北倾, 围岩地层中的矿化脉体南倾。花岗斑岩脉(体)上、下盘的矿化脉体表现出越靠近接触带(花岗斑岩脉体)蚀变矿化越强、矿化体的规模越大、出现的频率越高, 而远离接触带(花岗斑岩脉体)则蚀变矿化越弱、矿化体的规模越小、出现的频率越低。铜钼(金)的成矿时代与花岗斑岩的成岩时代较为一致, 其同位素年龄集中在 34~36 Ma。花岗斑岩含有源于富集地幔的镁铁质暗色微粒包体, 并发育浸染状的黄铁矿化、磁铁矿化。暗色微粒包体及其寄主岩(花岗斑岩)具有同源性, 且与壳-幔岩混合作用及成分分异有关, 具有提供成矿物质、成矿流体的基础。因此, 该区的铜钼(金)成矿与花岗斑岩有关。

关键词 地质学 花岗斑岩 成矿证据 斑岩型铜钼金矿床 马厂箐 云南

中图分类号: P618.41; P618.65; P618.51

文献标志码: A

Metallogenic evidence of granite porphyry in Machangqing porphyry-type Cu-Mo-Au deposit of Yunnan Province

GUO XiaoDong¹, WANG ZhiHua¹, WANG Xin¹, LIU Yang¹, ZHOU XiaoFeng² and WANG ShaoMing²

(¹ Gold Geological Institute of CAPF, Langfang 065000, Hebei, China; ² No. 10 Detachment of General Gold Party, Chinese People's Armed Police Force, Kunming 650111, Yunnan, China)

Abstract

The Machangqing Cu-Mo-(Au) deposit is one of the typical porphyry-type deposits related to alkali-rich intrusive rocks of the Himalaya period in the alkali-rich rock belt of western Yunnan. Cu-Mo-(Au) mineralizations are closely associated with the granite-porphyry in space and are mainly located in the upper-lower wall of granite-porphyry dykes. Granite-porphyry assumes such porphyry metallogenic characteristics as fine stockwork and disseminated mineralization. The ore deposit mainly inclines to the granite-porphyry near the contact zone, the mineralized dykes of the porphyritoid granite incline to the north, and the mineralized dykes in host strata incline to the south. Mineralized dykes in the upper-lower walls show features that the nearer to the contact zone (the granite-porphyry dyke), the stronger the alteration, the bigger the mineralized body, and the easier the ore-prospecting work. On the contrary, the farer away from the contact zone (the granite-porphyry dyke), the

* 本文得到‘十一五’国家攻关项目(编号 2006BAB01B10)和武警黄金指挥部专项基金(编号 HJ09-02)资助

第一作者简介 郭晓东, 男, 1969 年生, 博士, 高级工程师, 主要从事黄金地质勘查和研究工作。Email: Xdguo191@sohu.com

收稿日期 2009-12-23; 改回日期 2010-07-12。许德煊编辑。

weaker the alteration, the smaller the mineralized body, and the more difficult the ore-prospecting work. The metallogenic epoch of Cu-Mo-(Au) is the same as the granite-porphyry, and the isotope ages are focused on 35~36 Ma. The granite-porphyry contains dark microgranular dioritic xenoliths from the mantle, and has disseminated pyritization and magnetization. Dark microgranular dioritic xenoliths and their host rock granite-porphyry were derived from the same source, and were related to crust-mantle mixing and compositional differentiation, thus providing ore-forming materials and fluids. Therefore, copper-molybdenum mineralizations are related to the granite-porphyry.

Key words: geology, granite-porphyry, metallogenic evidence, porphyry-type Cu-Mo-Au deposit, Machangqing, Yunnan

马厂箐斑岩型铜钼金多金属矿床是金沙江-哀牢山构造带内与喜马拉雅期富碱侵入岩有关的典型矿床之一,该矿区内所发育的马厂箐复式杂岩体是金沙江-哀牢山富碱侵入岩带的重要组成部分。前人对铜钼矿床以及富碱侵入岩体研究较多,取得了许多有价值的研究成果(杨建琨等,1996;胡瑞忠等,1997;毕献武等,1999;2005;葛良胜等,2002;赵淮,1995;张玉泉等,1997;何明勤等,2003;2004a;2004b;梁华英等,2004;刘显凡等,2004;彭建堂等,2005;汪登红等,2004;曾普胜等,2002;2006)。众所周知,马厂箐岩体具有多期次侵入的特征,由各种类型斑岩组成,其中包括正长斑岩、石英二长斑岩、花岗斑岩、斑状花岗岩和煌斑岩等。然而,究竟哪一期、哪种类型的岩浆与成矿作用有关,前人大多基于同位素地球化学研究成果笼统地认为,成矿与马厂箐富碱侵入岩体有关,个别人提出与花岗斑岩有关(曾普胜等,2006),但很少提出有力的地质学证据。究其原因,主要是该区地表覆盖严重,露头较少,不容易观察到各种类型岩浆岩之间的相互穿插关系。近几年来,大量探矿工程的投入,不但扩大了矿床规模,也揭示了大量的地质现象,为进一步的深入研究创造了条件。

本文就是在这样的背景下,以综合分析野外地质现象为基础,结合前人研究成果,来探讨马厂箐矿区岩浆活动与成矿作用之间的关系,以进一步指导该区的找矿工作。

1 矿床地质特征

马厂箐铜钼(金)多金属矿化带位于云南省祥云、弥渡、大理3市县接壤部位,在大地构造上处于

扬子板块西缘与金沙江-哀牢山深大断裂带东侧的交汇部位、金沙江-哀牢山断裂带与NNE向程海-宾川断裂带所夹的锐角区(毕献武等,1999)。它是滇西特提斯构造-成矿域内一个成矿条件独特的成矿带,属于丽江-鹤庆斑岩型铜钼金多金属矿集区(侯增谦,2004)。该矿化带总体呈NE向展布,在长10 km、宽1.5 km范围内,已发现几十条铜、钼、金、铁、铅锌等矿化(脉)体,从NE向SW依次划分为金厂箐-人头箐、乱硐山、宝兴厂和双马槽4个矿段(图1)。传统上所谓的金厂箐金矿就是指金厂箐-人头箐矿段,马厂箐铜钼矿床即是宝兴厂矿段。

马厂箐岩体是滇西富碱侵入岩带的重要组成部分,也是马厂箐矿区的主要岩体,出露面积约1.36 km²,平面上呈不规则的似圆形,剖面上呈不对称的蘑菇状,为上大下小的形态。该岩体由260多个小岩体组成,具有多期次侵入的特征,主要岩性为正长(斑)岩、二长(斑)岩、花岗斑岩、(似)斑状花岗岩和煌斑岩等,以大面积出露的(似)斑状花岗岩为主。诸类岩石呈岩株、岩脉、岩墙或岩床侵入位于下奥陶统向阳组长石石英砂岩、粉砂岩、碳泥质细砂岩夹条带状灰岩、泥质白云岩透镜体,以及下泥盆统康廊组灰岩中。该岩体具有被动侵位的特点,在岩体与围岩接触带常见斑岩体与围岩犬牙交错穿切围岩的现象。其附近的围岩广泛发育褪色带和侵位角砾岩、碎裂岩带,表明该岩体属于浅成、超浅成侵位,侵位深度为0.8~3 km^①。岩体属中酸性到酸性岩,以酸性岩为主,岩石贫钙而富铝,属铝过饱和系列,具有高钾富碱的显著特征(张玉泉等,1987;曾普胜等,2002;毕献武等,1999;2005),显示出C型钾质埃达克岩的地球化学亲合性(郭晓东等,2009a)。该岩体的侵入时代为喜马拉雅期(毕献武等,1999;张玉泉等,1997;梁华英等,

① 西南冶金地质勘探公司310地质队. 1981. 云南省祥云县马厂箐矿区铜钼矿评价地质报告. 内部资料.

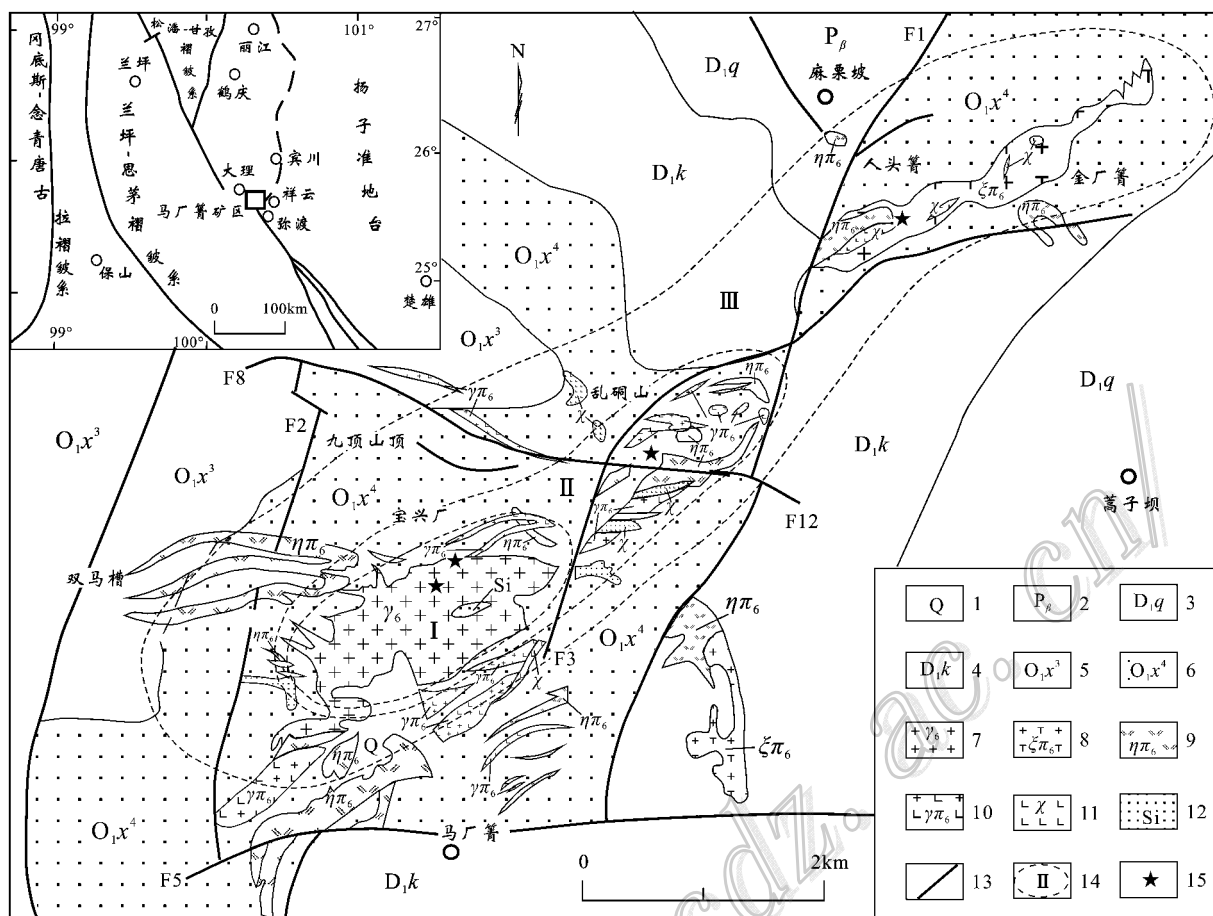


图 1 马厂箐矿区地质简图(据西南冶金地质勘探公司 310 地质队,1981^①修改)

1—第四系;2—二叠系玄武岩;3—下泥盆统青山组灰岩;4—下泥盆统康郎组白云质灰岩、白云岩;5—下奥陶统向阳组三段黑色页岩夹粉砂岩,底部为灰白色石英砂岩;6—长石英砂岩、砾岩夹灰岩透镜体;7—斑状花岗岩;8—正长斑岩;9—二长斑岩;10—花岗斑岩;11—煌斑岩;12—硅化核;13—断层;14—矿化类型分带(I—Mo-W-Cu-Fe-Sn 矿化;II—Cu-Au-Mo-Fe 矿化;III—Au-Ag-PbZn-As-Sb 矿化);15—同位素测年样品的采样位置

Fig. 1 Geological sketch map of Machangqing ore district

(modified after No. 310 Geological Party of Metallurgic Exploration Corporation, Southwest China, 1981)

1—Quaternary;2—Permian basalt;3—Limestone of Lower Devonian Qingshan Formation;4—Dolomitic limestone, dolomite of Lower Devonian Kanglang Formation;5—Black shale intercalated with siltstone, with white quartz sandstone at the bottom of 3rd member in Ordovician Xiangyang Formation;6—Feldspar-quartz sandstone, conglomerate intercalated with limestone lens;7—Porphyritic granite;8—Syenite porphyry;9—Monzonite porphyry;10—Granite porphyry;11—Lamprophyre;12—Silica core;13—Fault;14—Zonation of mineralization types (I—Mo-W-Cu-Fe-Sn mineralization;II—Cu-Au-Mo-Fe mineralization;III—Au-Ag-PbZn-As-Sb mineralization);15—Location of isotope-dated sample

2004 彭建堂等,2005;王登红等,2004;曾普胜等,2006 刘显凡等,2004 何明勤等,2004b)。

关于马厂箐岩体的形成时代,前人开展过大量的研究工作。根据侵入岩(脉)体之间的穿插关系,推测出不同岩(脉)体之间的相对年龄。西南冶金地质勘探公司 310 地质队^①将其岩浆活动分为 3 期:I

期为正长斑岩、(石英)正长斑岩、二长斑岩、(石英)二长斑岩和煌斑岩组合;II 期为斑状花岗岩和花岗斑岩组合;III 期为碱长花岗斑岩和煌斑岩组合。赵淮(1995)将该岩体从早到晚划分为:正(二)长斑岩→石英正(二)长斑岩→斑状二长花岗岩、花岗斑岩→碱长花岗斑岩。彭建堂等(2005)结合前人资料及

① 西南冶金地质勘探公司 310 地质队, 1981. 云南省祥云县马厂箐矿区铜铅矿评价地质报告. 内部资料.

表 1 马厂箐岩体成岩成矿作用的同位素年龄
Table 1 Petrogenesis and mineralization isotope age of Machangqing intrusion

采样地点	样品岩性	测定对象	测试方法	年龄/Ma	资料来源
马厂箐	斑状花岗岩	全岩	K-Ar	48	张玉泉等,1997
马厂箐	斑状花岗岩	钾长石	K-Ar	46.5	西南冶金 310 队 ^①
马厂箐	斑状花岗岩	黑云母	K-Ar	64.8	西南冶金 310 队 ^①
马厂箐	煌斑岩	黑云母	K-Ar	45.7	杨世瑜等 ^②
马厂箐	二长花岗斑岩	黑云母	K-Ar	36.7	张玉泉等,1997
马厂箐	二长花岗斑岩	黑云母	K-Ar	35.1	张玉泉等,1997
马厂箐	花岗斑岩	全岩	Rb-Sr	36	云南省地质科学研究所 ^③
马厂箐			K-Ar	36	张玉泉等,1997
马厂箐	花岗斑岩		Rb-Sr	36.3	胡祥昭等,1997
马厂箐	赋矿斑岩		Rb-Sr	34	傅德明等,1996
马厂箐	角闪正长岩	锆石	SHRIMP	35.6	梁华英等,2004
马厂箐	花岗斑岩	锆石	SHRIMP	35.0	梁华英等,2004
马厂箐	斑状花岗岩	锆石	U-Th-Pb	33.93±0.38	郭晓东等,未发表
马厂箐(MCQ-1)	浅色花岗斑岩	全岩	K-Ar	31.36±0.49	彭建堂等,2005
马厂箐(MCQ-2)	肉红色花岗斑岩	全岩	K-Ar	29.88±0.32	彭建堂等,2005
马厂箐(MCQ-4)	正长斑岩	全岩	K-Ar	35.50±0.40	彭建堂等,2005
马厂箐(MCQ-8)	正长斑岩	全岩	K-Ar	36.50±0.46	彭建堂等,2005
马厂箐(MCQ-22)	正长斑岩	全岩	K-Ar	31.99±0.35	彭建堂等,2005
马厂箐(MCQ-25)	正长斑岩	全岩	K-Ar	30.02±0.38	彭建堂等,2005
马厂箐(MCQ-37)	暗色斑岩	全岩	K-Ar	33.54±0.38	彭建堂等,2005
马厂箐(MCQ-39)	花岗斑岩	全岩	K-Ar	33.65±0.41	彭建堂等,2005
马厂箐	角闪正长岩	钾长石	K-Ar	29	张玉泉等,1997
马厂箐	铜钼矿	辉钼矿	Re-Os	33.9	王登红等,2004
马厂箐	铜钼矿	辉钼矿	Re-Os	35.8±1.6	曾普胜等,2006
马厂箐	铜钼矿	石英	Ar-Ar	34~35	彭建堂等,2005
金厂箐	金矿	石英	Ar-Ar	33.7	彭建堂等,2005
马厂箐	铜钼矿	辉钼矿	Re-Os	35.3±0.7	郭晓东等,2008
乱硐山矿段	砂卡岩型金矿	白云母	Ar-Ar	35.00±0.36	郭晓东等,未发表
人头箐矿段	蚀变岩型金矿	白云母	Ar-Ar	34.44±0.99	郭晓东等,未发表

区域上富碱侵入岩同位素年龄数据,将其岩浆活动分为 4 期:早期为 52 Ma 左右;中期为 42~47 Ma;晚期为 33~37 Ma;末期为 29~32 Ma。郭晓东等(2009b)根据同位素年龄数据(表 1),按照成岩与成矿之间的先后关系,结合前人的分期资料,将马厂箐复式岩体的岩浆活动划分为 3 期:Ⅰ期为(似)斑状花岗岩和(早期)煌斑岩脉组合(成矿前);Ⅱ期为正长(斑)岩脉、二长(斑)岩脉和花岗斑岩脉组合;Ⅲ期为碱长花岗斑岩脉和(晚期)煌斑岩脉组合。

Ⅰ期岩性组合 (似)斑状花岗岩大面积出露,呈岩株状产出,是马厂箐岩体的主要组成部分;具有明显的蚀变分带,硅化核已剥蚀出露。(早期)煌斑岩呈脉状产出,围绕马厂箐岩体分布。在乱硐山矿段、金厂箐矿段,见有含金石英脉切过煌斑岩脉,以及部分煌斑岩本身即为矿石,表明煌斑岩为成矿前或成矿期岩浆活动的产物。该期侵入较早(45.7~48 Ma 左右),是其他岩浆岩侵入时的围岩。

Ⅱ期岩性组合 正长(斑)岩和二长(斑)岩呈岩脉、岩床产出,分布于乱硐山、铁厂、宝兴厂一带。花岗斑岩呈岩脉、岩株状产出,主要分布于马厂箐岩体的北接触带和东接触带,在南接触带和西接触带则数量较少、规模也较小。该期侵入时代为 33~36.7 Ma 左右,正长(斑)岩和二长(斑)岩略早于花岗斑岩。

Ⅲ期岩性组合 碱长花岗斑岩呈岩脉状产出,分布于岩体的北接触带,侵入体规模较小,切穿(似)斑状花岗岩、正长斑岩和花岗斑岩。(晚期)煌斑岩呈岩脉产出,分布于岩体周围。该期煌斑岩明显切

① 西南冶金地质勘探公司 310 地质队. 1981. 云南省祥云县马厂箐矿区铜钼矿评价地质报告. 内部资料.
② 杨世瑜, 江祝伟. 1991. 云南弥渡马厂箐金矿区构造体系控矿特征及成矿预测. 昆明工学院科研报告. 内部资料.
③ 云南省地质科学研究所. 1999. 滇西三江地区和台湾地区喜马拉雅期成矿作用及其对比. 科研报告. 内部资料.

过铜钼矿化花岗斑岩,显示其侵入较晚。该期侵入时代应在 29~32 Ma 以后。

I、II、III 期岩性组合与彭建堂等(2005)所划分的中期(42~47 Ma)、晚期(33~37 Ma)和末期(29~32 Ma)岩浆活动相一致。

铜钼矿体主要位于含矿斑岩体的内外接触带,其形态严格受岩体与围岩接触带形状的控制,多呈透镜体或似层状。几个主要矿体呈半环状沿北及东接触带分布,构成规模较大的矿化地段或似层状矿体(图 2)。南接触带和西接触带的矿化强度及矿体规模均不如北、东接触带。1 号矿体规模最大,由彼此相连的复脉群组成,分布于北接触带,呈似层状、透镜状、囊状及其组合形状,沿走向具有分枝复合、尖灭再现等现象。金矿体主要产在向阳组地层中,受断裂破碎带、层间滑脱带或引张裂隙带的控制,矿体与围岩呈过渡关系。断裂破碎带和层间滑脱带所控制的石英脉和蚀变岩复合型矿化分布于乱硐山矿段和宝兴厂矿段,多呈脉状、似层状、透镜状、囊状等,脉体规模大品位低;金厂箐-人头箐矿段则发育石英脉型矿化,受引张裂隙的控制,多呈脉状、板状、透镜状等,矿化体的上下盘常发育正长斑岩、二长斑岩、辉绿岩、煌斑岩等,规模小但品位高。主要金属矿物为黄铜矿、黄铁矿、辉钼矿、斑铜矿、辉铜矿和磁铁矿等;非金属矿物为石英、方解石、石榴子石、阳起石、透闪石和蛇纹石等。近矿围岩蚀变有硅化、钾

化、绢云母化和绿泥石化等。

马厂箐岩体的蚀变具有明显的分带性,从岩体中心向外依次为:强硅化核(中心)→石英-钾长石化带(中部)→石英-钾长石-绢云母化带(边部),绢云母化较弱。铜、钼矿体主要产于中部的石英-钾长石化带和边部的石英-钾长石-绢云母化带(图 3),而金矿化则与硅化、绢云母化和碳酸盐化关系密切。

2 花岗斑岩成矿证据

2.1 空间关系

马厂箐铜钼矿床的主要矿(化)体均发育在宝兴厂矿段内马厂箐岩体的北、东接触带附近,矿(化)体规模大、矿化强度高,是主要的开采对象。在南、西接触带,仅发现一些零星小矿体,且其规模小、矿化差,目前尚未开采。对比分析北、东接触带与南、西接触带的差异后发现,前者发育有大量的花岗斑岩脉(体),但后者则不甚发育花岗斑岩脉(体),而较为发育碱长花岗斑岩。如果成矿与大面积发育的斑状花岗岩有关,那么,矿化应围绕马厂箐岩体呈环状发育,而不应该表现出北、东接触带矿化好,而南、西接触带矿化差的现象。

马厂箐岩体为一复式岩体,以大面积出露的(似)斑状花岗岩为主。由图 2 可见,铜钼矿化主要发育在 2 300~2 600 m 标高范围内,金、铅锌矿化则

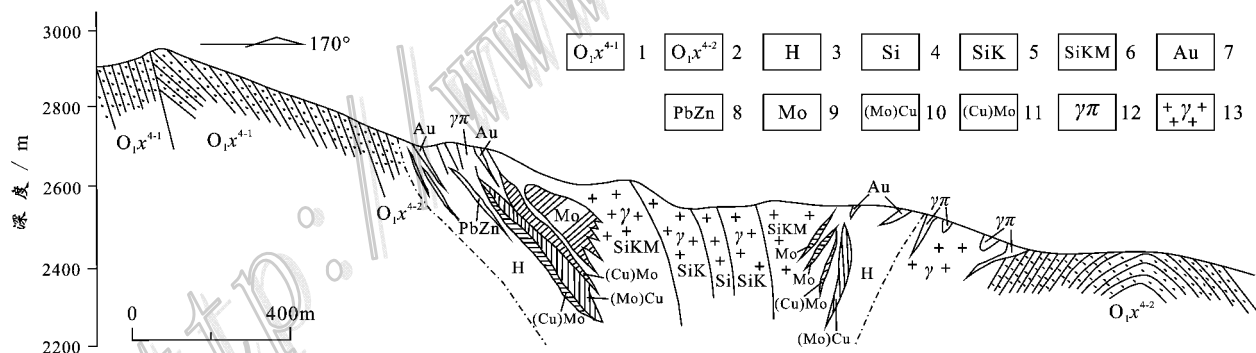


图 2 马厂箐铜钼金矿床水平分带剖面示意图(据俞广钧,1988 修改)

1—下奥陶统向阳组四段下亚段;2—下奥陶统向阳组四段上亚段;3—角岩化;4—硅化核;5—石英钾长石化;6—石英钾长石绢云母化;7—金矿化;8—铅锌矿化;9—钼矿化;10—含钼铜矿体;11—含铜钼矿体;12—花岗斑岩;13—斑状花岗岩

Fig. 2 Geological sketch section of horizontal zonation of Machangqing Cu-Mo-Au deposit (modified after Yu, 1988)

1—Lower 4th member of Lower Ordovician Xiangyang Formation; 2—Upper 4th member of Lower Ordovician Xiangyang Formation;

3—Hornfelsization; 4—Silica core; 5—Quartz-K-feldsparization; 6—Quartz-K-feldspar-sericitization; 7—Gold mineralization;

8—Lead-zinc mineralization; 9—Molybdenum mineralization; 10—Molybdenum-bearing copper orebody; 11—Copper-bearing molybdenum orebody; 12—Granite porphyry; 13—Porphyritic granite

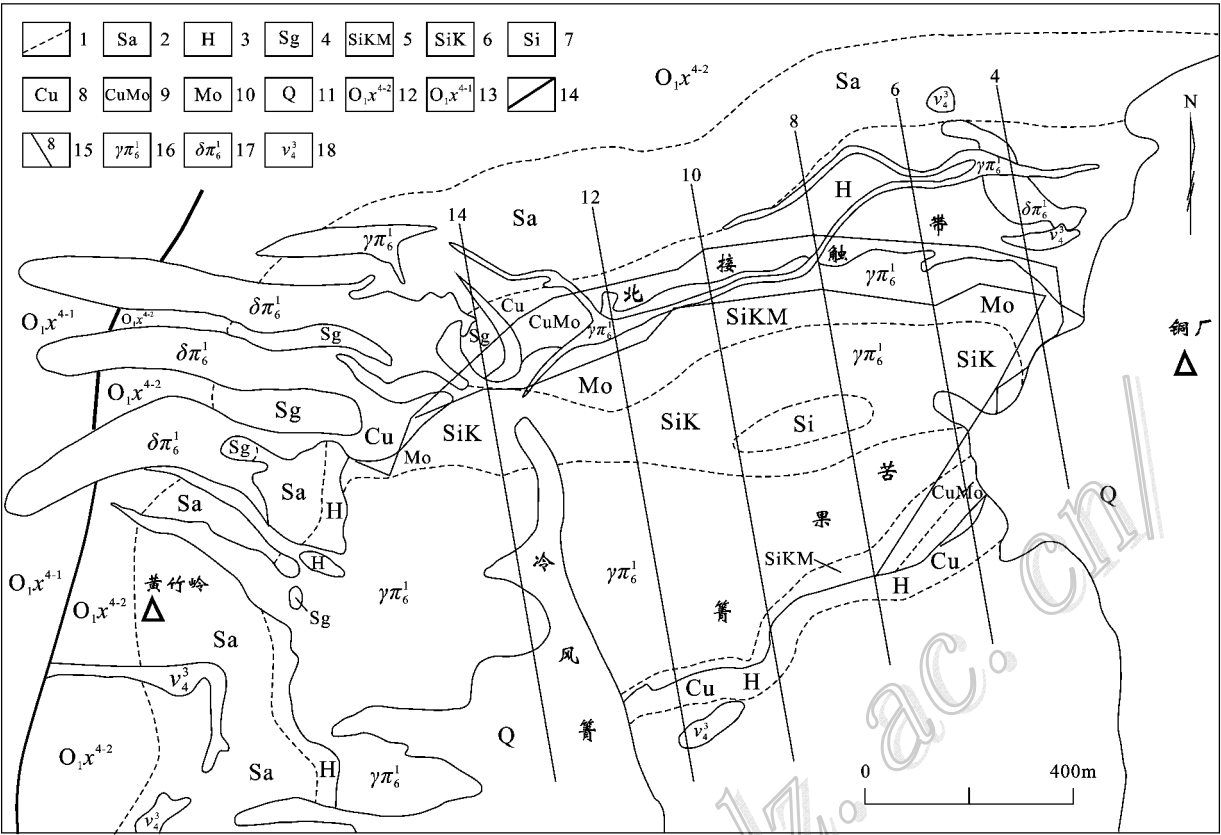


图 3 马厂箐铜钼矿床蚀变分带图(据西南冶金地质勘探公司 310 地质队,1981^①修改)

1—蚀变带界线;2—蚀变砂岩;3—透辉石透闪石角岩;4—石榴子石砂卡岩;5—石英钾长石绢云母化带;6—石英钾长石化带;7—强硅化带;8—铜矿体;9—铜钼矿体;10—钼矿体;11—第四系;12—向阳组四段二亚段;13—向阳组四段一亚段;14—断层;15—勘探线及编号;16—花岗斑岩;17—正长斑岩;18—辉长岩

Fig. 3 Alteration zoning map of Machangqing Cu-Mo deposit
(modified after No. 310 Geological Party of Metallurgic Exploration Corporation, Southwest China, 1981)

1—Alteration zone boundary; 2—Altered sandstone; 3—Diopside tremolite hornfels; 4—Garnet skarn; 5—Quartz K-feldspar sericitization zone; 6—Quartz K-feldspar zone; 7—Strongly silicified zone; 8—Cu ore body; 9—Cu-Mo ore body; 10—Mo ore body; 11—Quaternary; 12—Second subsection of forth segment in Xiangyang Formation; 13—First subsection of forth segment in Xiangyang Formation; 14—Fault; 15—Exploration lines and its serial number; 16—Granite porphyry; 17—Syenite porphyry; 18—Gabbro

主要发育在 2 500~2 700 m 标高范围内,金、铅锌矿化的标高要高于铜钼矿化的标高,显示出正常的从高温向低温的成矿元素系列变化的特征。而(似)斑状花岗岩的强硅化核、石英-钾长石化带、石英-钾长石-绢云母化带已在 2 700 m 标高出露(地表出现少量的石榴子石砂卡岩,并与角砾岩化伴生),如果成矿与(似)斑状花岗岩有关,按照斑岩型矿床的正常分带规律,既然(似)斑状花岗岩的强硅化核已经出露,其所形成的金、铅锌矿化应该已被完全剥蚀,不应该再有金、铅锌矿化的存在。而花岗斑岩发育浸

染状、细脉浸染状铜钼矿化,具有斑岩型矿化的特征(照片 1),说明成矿与这套岩石有关。(似)斑状花岗岩中发育有受构造破碎带控制的石英脉型和破碎蚀变岩型铜钼矿化(照片 2 和 3),说明(似)斑状花岗岩与向阳组一样是赋矿围岩,并有效地阻止了成矿流体的向上运移,只在构造发育的位置形成脉状矿化。按照岩浆演化序列,如果(似)斑状花岗岩与花岗斑岩为同一岩浆系统的产物,那么,花岗岩往往为深成相,花岗斑岩则多为浅成相,花岗斑岩应处于(似)斑状花岗岩之上,而不应该隐伏在(似)斑状花岗岩之

① 西南冶金地质勘探公司 310 地质队. 1981. 云南省祥云县马厂箐矿区铜钼矿评价地质报告. 内部资料.



照片 1 马厂箐矿区花岗斑岩内的浸染状辉钼矿化
Photo 1 Disseminated molybdenite mineralization in granite porphyry from Machangqing ore district



照片 2 马厂箐矿区斑状花岗岩内的脉状辉钼矿化
Photo 2 Veinlike molybdenite mineralization in porphyritic granite from Machangqing ore district



照片 3 马厂箐矿区斑状花岗岩内的脉状辉钼矿化
Photo 3 Veinlike molybdenite mineralization in porphyritic granite from Machangqing ore district

下。可见,(似)斑状花岗岩与花岗斑岩不是同一期岩浆活动的产物,前者的侵入时代应早于后者。(似)斑状花岗岩的剥蚀程度较深,硅化核已经出露地表,而花岗斑岩则沿接触带侵入,伏于(似)斑状花岗岩之下,并导致其上下盘发生围岩蚀变和矿化(图 2)。因此,(似)斑状花岗岩与向阳组一样是赋矿围岩,其形成早于铜钼金的成矿,铜钼金的成矿应与花岗斑岩有关。

地质勘查表明,在沿北接触带侵入的花岗斑岩内,发育细脉状和浸染状辉钼矿化,具有斑岩型矿化的特点。其南侧的(似)斑状花岗岩中,矿化体从细脉状、网脉状辉钼矿化向受构造破碎带控制的石英大脉型辉钼矿化变化,且矿化强度越来越差,直至无矿化的(似)斑状花岗岩。矿化脉体倾向北。而北侧的向阳组围岩中则发育呈近 EW 向展布的金、铜矿化脉体,矿化脉体倾向南,并表现出远离接触带的矿化受构造破碎带的控制,且矿化体的规模越来越小,矿化强度越来越差。由此可见,接触带两侧的铜、钼、金矿化(脉)体总体表现出向接触带附近的花岗斑岩体(脉)倾斜的特点,并且,越靠近接触带的花岗斑岩,其蚀变矿化越强、矿化体的规模越大、出现的频率越高,而远离接触带的花岗斑岩体(脉)则蚀变矿化越弱、矿化体的规模越小、出现的频率越低(图 4)。这暗示出成矿流体是从接触带附近的花岗斑岩中分异出来的可能性。

2.2 时间关系

前人对马厂箐矿区内的主要岩石和矿化进行过多次同位素测年(表 1,取样位置见图 1)。由表 1 可见,在该矿区的宝兴厂矿段,与成矿有关的正长斑

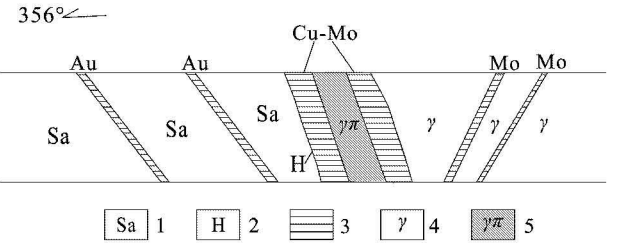


图 4 马厂箐矿区宝兴厂矿段北接触带 2665 坑道示意图
1—蚀变砂岩; 2—角岩化; 3—铜钼矿化体; 4—斑状花岗岩;
5—花岗斑岩

Fig. 4 Sketch map of No. 2665 terrel at northern contact zone of Baoxingchang ore block in Machangqing ore district
1—Altered sandstone; 2—Hornfelsization; 3—Cu-Mo mineralized body; 4—Porphyritic granite; 5—Granite porphyry

岩+二长斑岩+花岗斑岩形成于 34~36.7 Ma 左右(梁华英等,2004;张玉泉等,1997;傅德明,1996)。其斑岩型铜钼矿化辉钼矿的 Re-Os 模式年龄为 (35.3 ± 0.7) Ma(郭晓东等,2008),等时线年龄为 (35.8 ± 1.6) Ma(曾普胜等,2006)。在乱硐山矿段,矽卡岩型铜钼金矿石(白云母)的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 同位素坪年龄为 (35.25 ± 0.36) Ma (2σ),等时线年龄为 (35.0 ± 0.36) Ma (2σ)(郭晓东等,未发表数据)。在人头箐-金厂箐矿段,蚀变岩型金矿石(白云母)的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 同位素坪年龄为 (35.35 ± 0.32) Ma (2σ),等时线年龄为 (34.44 ± 0.99) Ma (2σ)(郭晓东等,未发表数据)。由此可见,上述 3 个矿段内矿化的形成时代较为一致,只是人头箐-金厂箐矿段的金矿化年龄略晚于斑岩型及接触交代型(矽卡岩型)铜钼金矿化的年龄。铜钼金矿化的年龄略晚于正长(斑)岩+二长斑岩+花岗斑岩岩浆组合的成岩年龄,反映出成矿与这套岩浆组合有关,这套岩浆组合为成矿提供了成矿流体、物质和动力。而该矿区内大面积出露的(似)斑状花岗岩的成岩年龄为 46.5~48 Ma^①左右(张玉泉等,1997),与该区的铜钼金矿化年龄相差 10 Ma 以上,说明(似)斑状花岗岩是成矿的围岩。

2.3 成因关系

氢氧同位素研究表明,在马厂箐矿区,斑岩型矿石成矿流体中的水主要为岩浆水,来源于富碱斑岩体接触交代型矿石成矿流体中的水为岩浆水和大气降水的混合水,以岩浆水为主,与斑岩型矿石相比,增加了大气降水成分。围岩中金矿石成矿流体中的水为岩浆水与大气降水的混合水,与接触交代型矿石相比,岩浆水有所减少,大气降水则有所增加,表现为在氢氧同位素组成上更为复杂。赋矿斑岩与金矿石内流体包裹体的氢氧同位素组成相似,反映出两者具有相同的来源,即岩浆水来源于富碱斑岩体。可见,从斑岩型钼矿化→接触交代型铜钼金矿化→热液脉型金矿化,成矿流体中的水从单一岩浆水→岩浆水与大气降水混合,以岩浆水为主→岩浆水与大气降水混合,岩浆水有所减少,大气降水有所增加(郭晓东等,2009b)。岩浆流体富含硫和碳,而大气成因流体则贫这些元素,因此,真正对成矿有意义的是岩浆流体。富含水的岩浆在一定条件下分异出具有重要成矿意义的成矿流体(毕献武等,1999)。可见,马厂箐富碱斑岩体提供了成矿流体,大气降水

通过岩浆流体而参与成矿作用。

含矿石英脉、矿化角砾岩和花岗斑岩中硫化物样品的 $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ 值总体较为均一,为 $-6.8\text{‰} \sim +9.1\text{‰}$,绝大部分集中在 $-1.2\text{‰} \sim +4.0\text{‰}$,均在 0 左右,与陨石硫同位素组成相近,具有上地幔或壳-幔混源的特点,与国内外典型斑岩型铜矿的硫同位素组成相近,说明它们具有相同的硫源,主要来自于岩浆分离体(朱训等,1983),即硫来源于马厂箐富碱斑岩体。

马厂箐矿区富碱斑岩及特征矿物的铅同位素组成比较稳定, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18.205 \sim 18.589$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.470 \sim 15.739$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 38.415 \sim 39.052$ 。在 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图解(图 5A)中,马厂箐岩体、铜钼矿石和金厂箐金矿(岩体斑晶长石、方铅矿和黄铁矿样品)的投影点靠在一起,位于地幔源 Pb 同位素组成范围与地壳源 Pb 同位素组成范围的连线上,且靠近地幔源 Pb 的范围,指示出它们有相似的铅来源,以地幔源铅为主。马厂箐的铅同位素组成比金厂箐的铅更靠近地幔源铅,后者更偏向于地壳源铅,反映出随着成矿流体由马厂箐岩体向外运移,不同程度地混入了地壳或地层铅,并导致铅同位素组成的差异(刘显凡等,2004)。在铅同位素 $\Delta\gamma$ - $\Delta\beta$ 成因分类图(图 5B)中,投影点落入壳-幔混合源铅的范围,向造山作用铅的区域偏移,属于岩浆作用铅范围,反映出马厂箐铜钼矿的铅与金厂箐金矿的铅是在碰撞造山环境下起源于壳-幔过渡带的岩浆作用,即来源于马厂箐岩体。

马厂箐铜钼矿化的碳同位素组成($-6.0\text{‰} \sim -6.8\text{‰}$)与幔源或岩浆源碳同位素组成($-5\text{‰} \sim -8\text{‰}$)(沈渭洲等,1987;Ohmoto,1972)非常一致,具有单一岩浆来源的特点。金厂箐金矿化中白云石的碳同位素组成($-4.9\text{‰} \sim -2.7\text{‰}$)处于岩浆碳($-5\text{‰} \sim -8\text{‰}$)与海相沉积碳($-3\text{‰} \sim +3\text{‰}$)的交叉范围内,为岩浆碳与海相碳酸盐碳混合的结果。何明勤等(2004a,2004b)的研究表明,Cu、Au 在斑状花岗岩、花岗斑岩型矿石和接触交代型矿石中的含量逐步增加;Mo 含量在花岗斑岩型矿石中最高,在接触交代型矿石中次之,在斑状花岗岩中最低。可见,花岗斑岩提供了成矿物质和动力。

经地质调查发现,花岗斑岩中发育浸染状黄铁矿化、黄铜矿化和辉钼矿化(图 6A、B、C、D),反映出成矿与这种花岗斑岩有关。花岗斑岩中含有大量的

① 西南冶金地质勘探公司 310 地质队, 1981. 云南省祥云县马厂箐矿区铜钼矿评价地质报告. 内部资料.

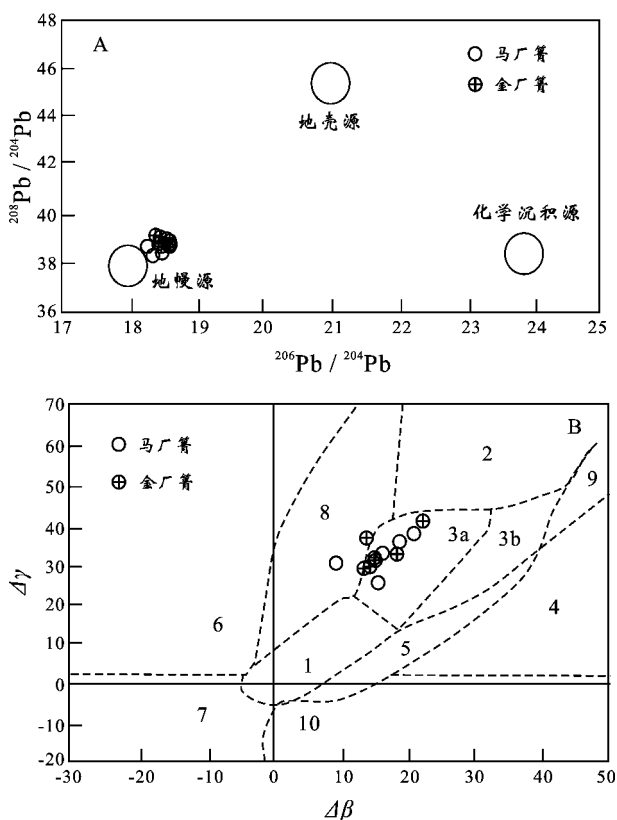


图5 马厂箐岩体、方铅矿、黄铁矿 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图解(A)(据朱炳泉等,2000)和铅同位素 $\Delta\gamma$ - $\Delta\beta$ 图解(B)(据朱炳泉等,1997)

1—地幔源铅;2—上地壳源铅;3—上地壳与地幔混合的俯冲带源铅;3a—岩浆作用;3b—沉积作用;4—化学沉积;5—海底热水作用铅;6—中深变质作用铅;7—变质作用下地壳源铅;8—造山作用铅;9—古老页岩上地壳源铅;10—退变质作用铅

Fig. 5 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ diagram (a) (Zhu et al., 2000) and lead isotope $\Delta\gamma$ - $\Delta\beta$ diagram (b) (Zhu et al., 1997) of Machangqing rock body, galena and pyrite

1—Pb from mantle source; 2—Pb from upper crust; 3—Pb from the subduction zone resulting from the mixture of the upper crust and the mantle; 3a—magmatism; 3b—sedimentation; 4—Chemical deposition; 5—Pb produced by submarine hot water; 6—Pb from middle-deep metamorphism; 7—Metamorphic Pb from the lower crust; 8—Pb from orogeny; 9—Pb from the upper crust on paleo-shales; 10—Pb from retrograde metamorphism

镁铁质暗色微粒包体及浸染状矿化(图6E、F),包体通常呈扁平的平面形态,细粒结构,块状构造,少数包体见有冷凝边,可确认为基性岩浆团固结的产物。含铜包体的核部常呈黄褐色,显示出硫化物被氧化、分解的特征。由包体向寄主岩方向,呈星散状分布有孔雀石、铜蓝和黄铜矿等(图6A)。这种特征说明,包体中富含含铜流体,包体呈液态进入花岗岩岩

浆中,含铜组分在析出过程中具有向外扩散的现象,展示了含铜基性岩浆团的演化过程(罗照华等,2008;2009)。花岗斑岩中大量镁铁质暗色微粒包体的存在反映出花岗斑岩中混入了大量的幔源成分。Sr、Nd、He 同位素显示出,确实存在大量幔源物质的混入(张玉泉等,1997;胡瑞忠等,1997;曾普胜等,2002)。可见,花岗斑岩具有提供成矿物质的基础。

氧化型岩浆对斑岩型铜矿床的形成具有关键作用(Candela, 1992; Blevin, 1992; Hedenquist et al., 1994; Sillito, 1997)。马厂箐岩体具有高钾富碱的特征,属于高钾钙碱性或钾玄岩岩石系列(张玉泉等, 1997; 曾普胜等, 2002; 郭晓东等, 2009a; 2009b)。钾质岩浆熔体的高碱含量使 $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ 值增加,形成高的氧逸度(Wybon, 1994),有利于高氧化性岩浆的形成。图7表明,花岗斑岩的氧逸度高于地幔石英-橄榄岩-磁铁矿出溶线,这至少可以说明,起源于地幔的高钾富碱岩浆在上升过程中,其氧化性不断地增强,这与花岗斑岩含有原生的榍石-磁铁矿-石英组合所指示的原始岩浆具有较高的氧逸度是一致的(毕献武等, 2005)。岩体中锆石的 $\text{Ce}^{4+}/\text{Ce}^{3+}$ 值可以作为岩浆氧化环境比较敏感的指示标志(Cherniak et al., 1997)。梁华英等(2004)的研究认为,马厂箐岩体的角闪正长岩的 $\text{Ce}^{4+}/\text{Ce}^{3+}$ 平均值为102,而花岗斑岩的 $\text{Ce}^{4+}/\text{Ce}^{3+}$ 平均值为264,具有增大的特点,反映出从角闪正长岩到花岗斑岩,岩浆的氧化性在增强。Ballard等(2001)提出,智利斑岩成矿带内含矿岩体的 $\text{Ce}^{4+}/\text{Ce}^{3+}$ 值大于250,而非含矿岩体的 $\text{Ce}^{4+}/\text{Ce}^{3+}$ 值则小于250,并将岩体锆石 $\text{Ce}^{4+}/\text{Ce}^{3+}$ 值作为评价含矿岩体与非含矿岩体的指示参数。马厂箐含矿斑岩的 $\text{Ce}^{4+}/\text{Ce}^{3+}$ 值为264,大于250,也反映其成矿与花岗斑岩有关。该矿区的花岗斑岩中发育大量脉体,说明存在成矿流体的出溶,而斑状花岗岩中则不存在,进一步说明花岗斑岩是成矿流体的主要来源,与成矿关系密切。

3 结论与讨论

综上所述,马厂箐铜钼金矿床在空间上与花岗斑岩紧密相伴,在时间上,其成矿时代与花岗斑岩的成岩时代较为一致,均集中在34~36 Ma左右。在成因上,花岗斑岩中发育有大量的镁铁质暗色微粒包体、浸染状矿化以及大量记录流体出溶的各种脉体,具有提供成矿物质和流体的基础。因此,在马厂箐

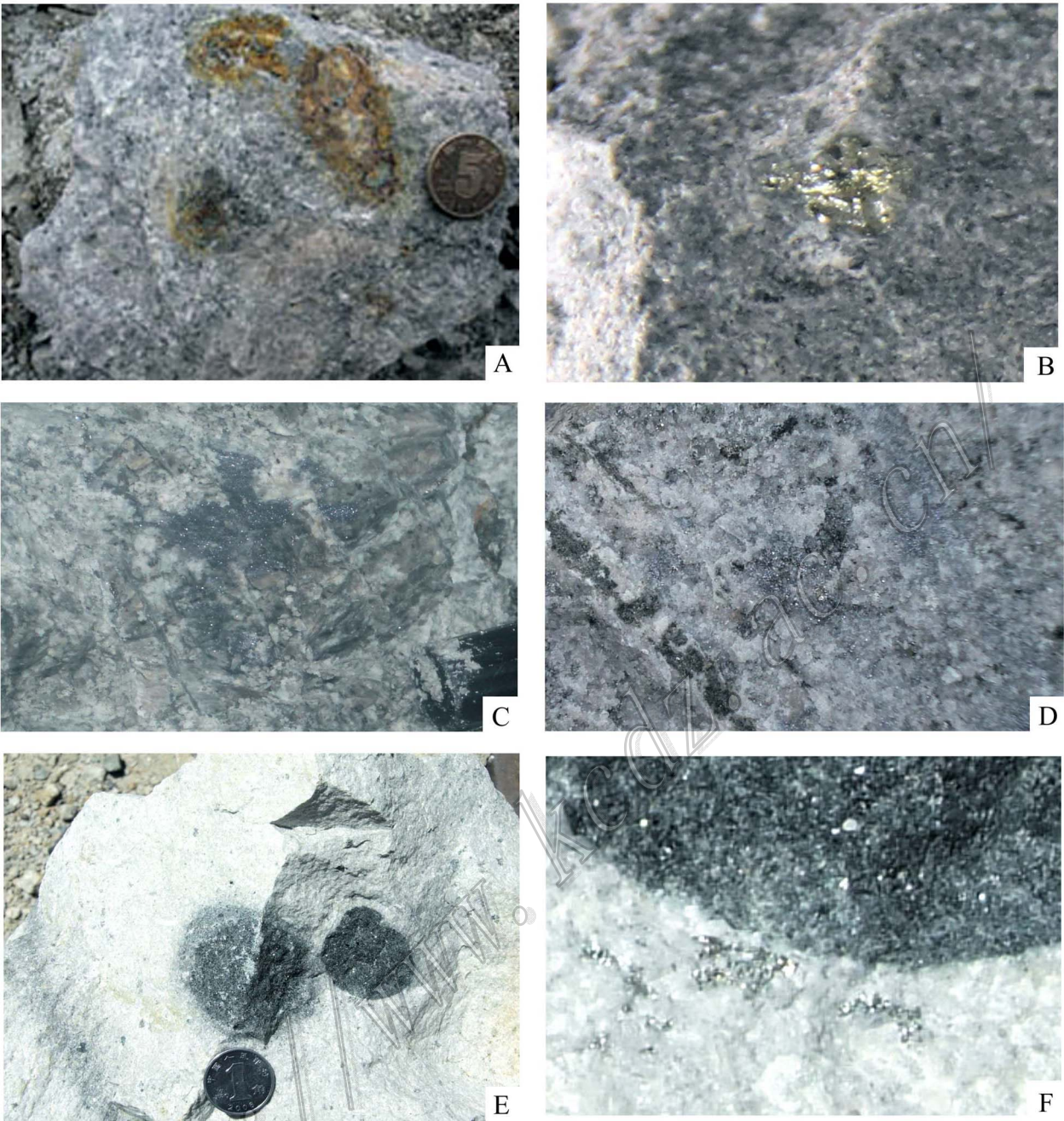


图 6 马厂箐矿区的花岗斑岩中发育的镁铁质包体、浸染状矿化现象

A. 花岗斑岩中发育的浸染状黄铜矿化、孔雀石化；B. 花岗斑岩中发育的浸染状黄铁矿化；C. 花岗斑岩中发育的浸染状辉钼矿化；D. 花岗斑岩中发育的浸染状黄铁矿化、辉钼矿化；E. 花岗斑岩中发育镁铁质暗色微粒包体；F. 花岗斑岩及暗色微粒包体中发育的浸染状黄铁矿化

Fig. 6 Diorite enclaves and disseminated mineralization in granite porphyry from Machangqing ore district

A. Disseminated chalcopyrite and malachite mineralization in granite porphyry; B. Disseminated pyrite mineralization in granite porphyry; C. Disseminated molybdenite mineralization in granite porphyry; D. Disseminated pyrite and molybdenite mineralization in granite porphyry; E. Diorite enclaves in granite porphyry; F. Disseminated pyrite and molybdenite mineralization in granite porphyry and enclaves

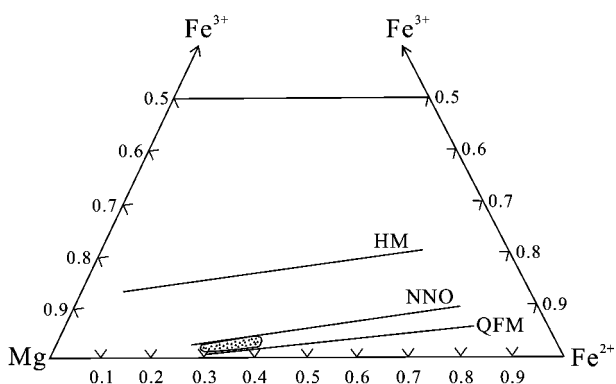


图7 马厂箐花岗斑岩黑云母 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 和 Mg 三端员成分图解(据毕献武等, 2005)

HM—赤铁矿-磁铁矿出溶线; NNO—Ni-NiO 出溶线;
QFM—石英-橄榄岩-磁铁矿出溶线

Fig. 7 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} and Mg plot of biotite from Machangqing granite porphyry (after Bi et al, 2005)

HM—Hematite-magnetite exsolution line; NNO—Ni-NiO exsolution line; QFM—Quartz-peridotite-magnetite exsolution line

复式杂岩体中, 尽管发育了多种类型的岩浆岩, 但铜钼金矿化则与 35~36 Ma 侵入的花岗斑岩有关。

认识到马厂箐矿床的铜钼金成矿与花岗斑岩有关, 对于今后的地质找矿工作具有重要意义。① 马厂箐岩体为一复式岩体, 尤其以大面积出露的(似)斑状花岗岩为主, 认识到铜钼金成矿与花岗斑岩有关, 这有助于分析矿体为何多分布在北接触带和东接触带, 而南接触带和西接触带内矿体较少的现象。其原因是, 北接触带和东接触带内发育有与成矿有关的花岗斑岩脉体, 而在南接触带和西接触带, 花岗斑岩体的规模小且数量也少。② 认识到铜钼金成矿与花岗斑岩有关, 对于评价该区的成矿潜力具有重要意义。花岗斑岩的规模有多大, 能否提供足够的成矿物质、成矿流体和动力, 这些都是制约该区成矿的直接因素。③ 认识到铜钼金成矿与花岗斑岩有关, 可以完善人们的找矿思路, 有助于进一步找矿工作的部署。

志 谢 本文成文过程中, 笔者有幸得到中国地质大学(北京)罗照华教授的指导, 在此深表感谢!

References

- Ballard J R, et al. 2001. Two age of porphyry intrusion resolved for the super-giant Chuquibambilla copper deposit of northern Chile by ELA-ICP-MS and SHRIMP[J]. *Geology*, 29(5): 383-393.

- Bi X W, Hu R Z, Ye Z J and Shao S X. 1999. Research on the relationship between A-type granitoid and Cu metallogenic: Taking Machangqing Cu deposit as an example[J]. *Science in China (Series D)*, 29(6): 489-495 (in Chinese).
- Bi X W, Hu R Z, Peng J T, Wu K X, Su W C and Zhan Z X. 2005. Geochemical characteristics of the Yao'an and Machangqing alkaline-rich intrusions[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 21(1): 113-124 (in Chinese with English abstract).
- Blevin P L, et al. 1992. The role of magma sources, oxidation states and fractionation in determining the granite metallogeny of eastern Australia[J]. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh, Earth Sciences*, 83: 305-315.
- Candela P A. 1992. Controls on ore metal ratios in granite-related ore systems: An experimental and computational approach[J]. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh, Earth Sciences*, 83: 317-27.
- Cherniak D J, et al. 1997. Rare-earth diffusion in zircon[J]. *Chemical Geology*, 134: 289-299.
- Ge L S, Zou Y L, Li Z H, Guo X D, Xing J B and Zhang X H. 2002. Geological features and genesis of Machangqing Cu-Mo-Au deposit related to the alkali-rich magmatic rock, Yunnan Province[J]. *Geology and Prospecting*, 38(5): 11-17 (in Chinese with English abstract).
- Guo X D, Wang Z H and Qu W J. 2008. Re-Os dating of molybdenites from Machangqing porphyry-type Cu-Mo deposit in Yunnan Province, and its geological significance[A]. In: Chen Y C, et al. ed. *Symposium of the 9th National Conference on Mineral Resources of China*[C]. The 9th National Conference on Mineral Resources of China. 2008. Beijing: Geol. Pub. House. 453-454 (in Chinese).
- Guo X D, Hou Z Q, Chen X and Wang Z H. 2009a. Identification of adakitic characteristics of Machangqing alkali-rich porphyry in Yunnan Province and its significance to mineralization research[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 28(4): 375-386 (in Chinese with English abstract).
- Guo X D, Wang Z H, Chen X, Wang X and Wang S X. 2009b. Machangqing porphyry-type Cu-Mo-Au deposit, Yunnan Province: Geological characteristics and its genesis[J]. *Acta Geological Sinica*, 83(12): 1901-1914 (in Chinese with English abstract).
- He M Q, Yang S Y and Liu J J. 2003. The relationship between the organic matter and the gold content of Jingchangqing Au-Cu ore deposits in Xiangyun of Yunnan[J]. *Journal of Kunming University of Science and Technology (Science and Technology Edition)*, 28(1): 4-7 (in Chinese with English abstract).
- He M Q and Yang S Y. 2004a. Geological geochemistry and genesis of Xiaolongtan-Machangqing Cu-Au polymetallic ore deposit in Western Yunnan[M]. Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese).
- He M Q, Yang S Y, Liu J J and Li C Y. 2004b. Characteristics of ore-forming fluids and their origin in Jinchangqing gold (copper) ore deposits in Xiangyun, Yunnan[J]. *Mineral and Rock*, 24(2): 35-40 (in Chinese with English abstract).
- Hedenquist J W and Lowenst J B. 1994. The role of magmas in formation of hydrothermal ore deposits[J]. *Nature*, 370: 519-527.

- Hou Z Q. 2004. Porphyry Cu-Mo-Au deposits: Some new insights and advances[J]. *Earth Science Frontiers*, 11(1): 131-144 (in Chinese with English abstract).
- Hu R Z, Bi X W, Turner G and Burnard P G. 1997. He-Ar isotopic system in pyrite fluid inclusions of Machangqing Cu deposit[J]. *Science in China (Series D)*, 27(6): 503-508 (in Chinese).
- Hu X Z and Huang Z. 1997. The characteristics and genesis of alkali-rich granite-porphyry in west margin of Yangtze Craton, China[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 21(2): 173-180 (in Chinese).
- Liu X F, Liu J D, Zhang C J, Yang Z X, Wu D C and Li Y G. 2004. Isotopic geochemistry of intrusives and ore-veins from alkali-rich porphyry type deposits in western Yunnan, China[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 23(1): 32-39 (in Chinese with English abstract).
- Liang H Y, Xie Y W, Zhang Y Q and Campbell I. 2004. Forming of K-rich alkalescence rock restrict the metallogenic of Cu: Machangqing Cu deposit as an example[J]. *Natural Science Evolution*, 14(1): 116-120(in Chinese).
- Luo Z H, Lu X X, Guo S F, Sun J, Chen B H, Huang F and Yang Z F. 2008. Metallogenic systems on the transmagmatic fluid theory[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24(12): 2669-2678 (in Chinese with English abstract).
- Luo Z H, Lu X X, Chen B H, Li M L, Liang T, Huang F and Yang Z F. 2009. Introduction to the metallogenic theory on the transmagmatic fluids[M]. Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese).
- Ohmoto H. 1972. Systematics of sulfur and carbon isotopes in Hydrothermal ore deposits[J]. *Econ. Geol.*, 67: 551-578.
- Peng J T, Bi X W, Hu R Z, Wu K X and Sang H Q. 2005. Determination of porphyry ore and rock forming time of the Machangqing Cu (Mo) deposit, western Yunnan Province [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 25(1): 69-74 (in Chinese with English abstract).
- Shen W Z, et al. 1987. Stable isotopic geology [M]. Beijing: Atomic Energy Press (in Chinese).
- Sillitoe R H. 1997. Characteristics and controls of the largest porphyry copper-gold and epithermal gold deposits in the circum-Pacific region [J]. *Austr. Jour. Earth Sci.*, 44: 373-388.
- Wang D H, Qu W J, Li Z W, Ying H L and Chen Y H. 2004. The mineralization concentration stage of Jinshajiang-Honghe metallogenic belt porphyry copper, molybdenum deposit [J]. *Science in China (Series D)*, 34(4): 345-349(in Chinese).
- Wybon D. 1994. Sulphur-undersaturated magmatism: A key factor for generating magma-related copper-gold deposits[J]. *AGSO Research Newsletter*, 21: 7-8.
- Yang J K and Tang Z G. 1996. Mineralization characteristics and prospective prediction of the Cenozoic hypabyssal porphyry gold deposit in Yunnan Province[J]. *Beijing Geology*, (3): 27-31 (in Chinese with English abstract).
- Yu G J. 1988. A preliminary study on geological conditions of metallogenesis and genesis of Machangqin gold deposit[J]. *Journal of Kunming Institute of Technology*, 13(1): 1-10 (in Chinese with English abstract).
- Zeng P S, Mo X X and Yu X H. 2002. Nd, Sr and Pb isotopic characteristics of the alkali-rich porphy zone in western Yunnan and its compression strike-slip setting[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 21(3): 231-241 (in Chinese with English abstract).
- Zeng P S, Hou Z Q, Gao Y F and Du A D. 2006. The Himalayan Cu-Au mineralization in the Eastern Indo-Asian collision zone: Constraints from Re-Os dating of molybdenite[J]. *Geological Review*, 52(1): 72-84 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Y Q, Xie Y W and Tu G Z. 1987. Preliminary studies of the alkali-rich intrusive rocks in the Ailaoshan-Jinshajiang belt and their relationship with rift tectonics[J]. *Acta Petrologica Sinica*, (1): 17-25 (in Chinese).
- Zhang Y Q and Xie Y W. 1997. Chronology and Nd-Sr isotopes of the Ailaoshan-Jinshajiang alkali-rich intrusions[J]. *Science in China (Series D)*, 27(4): 289-293 (in Chinese).
- Zhao H. 1995. Metallogenic model of Pb-Cu-Mo-Au deposit related to porphyry of Himalaya period in Zhongdian-Dali-Jinping area [J]. *Yunnan Geology*, 14(4): 333-341(in Chinese).
- Zhu B Q. 1997. The theory and application of the isotopic systematic in the earth science[M]. Beijing: Science Press (in Chinese with English abstract).
- Zhu X, Huang C K, Rui Z Y, Zhou Y H, Zhu X J, Hu Z S and Mei Z K. 1983. Dexing porphyry-type copper deposit, China [M]. Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese).

附中文参考文献

- 毕献武, 胡瑞忠, 叶造军, 邵树勋. 1999. A 型花岗岩类与铜成矿关系研究, 以马厂箐为例[J]. *中国科学(D辑)*, 29(6): 489-495.
- 毕献武, 胡瑞忠, 彭建堂, 吴开兴, 苏文超, 战志新. 2005. 姚安和马厂箐富碱侵入岩体的地球化学特征[J]. *岩石学报*, 21(1): 113-124.
- 葛良胜, 邹依林, 李振华, 郭晓东, 邢俊兵, 张晓辉. 2002. 云南马厂箐(铜、钼)金矿床地质特征及成因研究[J]. *地质与勘探*, 38(5): 11-17.
- 傅德明. 1996. 扬子地台西南缘陆内造山带有色、稀贵金属矿床成矿系列及成矿规律[A]. 见 骆耀南, 主编. 扬子地台西南缘陆内造山带地质与矿产论文集[C]. 成都: 四川科学技术出版社. 120-128.
- 郭晓东, 王治华, 屈文俊. 2008. 云南省马厂箐斑岩型铜、钼矿辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义[A]. 第九届全国矿床会议论文集. 453-454.
- 郭晓东, 侯增谦, 陈 祥, 王治华. 2009a. 云南马厂箐富碱斑岩埃达克岩性质的厘定及其成矿意义[J]. *岩石矿物学杂志*, 28(4): 375-386.
- 郭晓东, 王治华, 陈 祥, 王 欣, 王淑贤. 2009b. 运按马厂箐斑岩型铜钼(金)矿床地质特征与矿床成因[J]. *地质学报*, 83(12): 1901-1914.
- 何明勤, 杨世瑜, 刘家军. 2003. 云南祥云金厂箐金-铜矿床中的有机质及其与金成矿的关系[J]. *昆明理工大学学报(理工版)*, 28(1): 4-7.

- 何明勤,杨世瑜. 2004a. 滇西小龙潭-马厂箐地区铜金多金属矿床地质地球化学及成因研究[M]. 北京:地质出版社.
- 何明勤,杨世瑜,刘家军,李朝阳. 2004b. 云南祥云金厂箐金(铜)矿床的成矿流体特征及流体来源[J]. 矿物岩石,24(2):35-40.
- 侯增谦. 2004. 斑岩 Cu-Mo-Au 矿床:新认识与新进展[J]. 地学前缘,11(1):131-144.
- 胡瑞忠,毕献武,Turner G, Burnard P G. 1997. 马厂箐铜矿床黄铁矿流体包裹体 He-Ar 同位素体系[J]. 中国科学(D 辑),27(6):503-508.
- 胡祥昭,黄震. 1997. 扬子地台西缘富碱花岗岩斑岩特征及成因探讨[J]. 大地构造与成矿学,21(2):173-180.
- 刘显凡,刘家铎,张成江,阳正熙,吴德超,李佑国. 2004. 滇西富碱斑岩型矿床岩体和矿脉同位素地球化学研究[J]. 矿物岩石地球化学通报,23(1):32-39.
- 梁华英,谢应雯,张玉泉, Campbell I. 2004. 富钾碱性岩体形成演化对铜矿成矿制约:以马厂箐铜矿为例[J]. 自然科学进展,14(1):116-120.
- 罗照华,卢欣祥,郭少丰,孙静,陈必河,黄凡,杨宗锋. 2008. 透岩浆流体成矿体系[J]. 岩石学报,24(12):2669-2678.
- 罗照华,卢欣祥,陈必河,李明立,梁涛,黄凡,杨宗锋. 2009. 透岩浆流体成矿作用导论[M]. 北京:地质出版社.
- 彭建堂,毕献武,胡瑞忠,吴开兴,桑海清. 2005. 滇西马厂箐斑岩铜(钼)矿床成岩成矿时限的厘定[J]. 矿物学报,25(1):69-74.
- 沈渭洲,等. 1987. 稳定同位素地质[M]. 北京:原子能出版社.
- 王登红,屈文俊,李志伟,应汉龙,陈毓川. 2004. 金沙江-红河成矿带斑岩铜钼矿的成矿集中期:Re-Os 同位素定年[J]. 中国科学(D 辑),34(4):345-349.
- 杨建琨,唐志国. 1996. 云南省新生代浅成侵入斑岩型金矿成矿特征及找矿预测[J]. 北京地质, (3):27-31.
- 俞广钧. 1988. 马厂箐金矿床成矿地质条件及其成因探讨[J]. 昆明工学院学报,13(1):1-10.
- 曾普胜,莫宣学,喻学惠. 2002. 滇西富碱斑岩带的 Nd、Sr、Pb 同位素特征及其挤压走滑背景[J]. 岩石矿物学杂志,21(3):231-241.
- 曾普胜,侯增谦,高永峰,杜安道. 2006. 印度-亚洲碰撞带东段喜马拉雅期铜-钼-金矿床 Re-Os 年龄及成矿作用[J]. 地质论评,52(1):72-84.
- 张玉泉,谢应雯,涂光炽. 1987. 哀牢山-金沙江富碱侵入岩及其裂谷构造关系初步研究[J]. 岩石学报, (1):17-25.
- 张玉泉,谢应雯. 1997. 哀牢山-金沙江富碱侵入岩年代学和 Nd, Sr 同位素特征[J]. 中国科学(D 辑),27(4):289-293.
- 赵淮. 1995. 中甸-大理-金平地区与喜马拉雅期斑岩有关的铅-铜-钼-金矿床成矿模式[J]. 云南地质,14(4):333-341.
- 朱炳泉. 1997. 地球科学中同位素体系理论与应用[M]. 北京:科学出版社. 216-235.
- 朱炳泉,常向阳,邱华宁,等. 2000. 扬子地块西南缘滇中元古宇特征及赋存超大型矿床的可能性[A]. 见:涂光炽等,主编. 中国超大型矿床[C]. 北京:科学出版社.
- 朱训,黄崇轲,芮宗瑶,周跃华,朱贤甲,胡宗声,梅占魁. 1983. 德兴斑岩铜矿[M]. 北京:地质出版社.