

编号: 0258-7106 (2011) 04-759-06

岔路口特大型钼多金属矿床的发现及其意义*

刘翼飞¹, 聂凤军¹, 孙振江², 吕克鹏², 张可³, 刘勇³

(1 中国地质科学院矿产资源研究所 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037; 2 黑龙江省有色金属地质勘查 706 队, 黑龙江 齐齐哈尔 161006; 3 北京科技大学土木与环境工程学院, 北京 100083)

摘要 黑龙江岔路口矿床是近年来在大兴安岭地区北部找到的一处特大型斑岩钼多金属矿床, 其产出规模已居中国北方钼多金属矿床之首。钼多金属矿化大部分在侏罗系火山-沉积岩中, 呈细脉状、细脉浸染状产出, 并与晚侏罗世石英斑岩、花岗斑岩和隐爆角砾岩具有密切的时空分布关系。初步研究表明, 该矿床无论是在产出环境、地质特征上, 还是在含矿侵入岩岩石学、热液蚀变上, 均与美国克莱麦克斯斑岩型钼矿床具有一定的相似性, 属于华北板块-蒙古块体与西伯利亚板块碰撞对接后伸展构造环境中岩浆活动的产物。

关键词 地质学, 斑岩钼矿床, 地质特征, 产出环境, 燕山期, 岔路口, 大兴安岭

中图分类号: P618.65

文献标志码: A

Discovery of Chalukou super large scale molybdenum polymetallic deposit, Northern Daxing'anlin Mountain, China, and its significance

LIU YiFei¹, NIE FengJun¹, SUN ZhenJiang², LÜ KePeng², ZHANG Ke³ and LIU Yong³

(1 MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China;

2 No. 706 Geological Party, Heilongjiang NonFerrous Metal Geological Exploration Bureau, Qiqihaer 161006, Heilongjiang, China;

3 School of Civil and Environmental Engineering, Beijing University of Science and Technology, Beijing 100083, China)

Abstract

The Chalukou molybdenum polymetallic deposit, located in North Daxinganling District, is a super large scale porphyry deposit with resource of 1.34 Mt molybdenum, 370 kt zinc + lead and nearly 4 200 t silver. The resource has exceeded that of Jinduicheng molybdenum deposit and make it the largest scale molybdenum deposit in northern China. The molybdenum mineralization occurs in the Jurassic volcanic-sedimentary rocks as veinlet, veins and stockwork. The quartz porphyry, granite porphyry and explosive breccia show close space-time relationship with the molybdenum mineralization. Preliminary result shows that geological setting, geological feature, petrological characteristics and hydrothermal alteration of Chalukou molybdenum deposit are similar to Climax molybdenum in West America, which is the product of extensional environment after collage of North China-Mongolia Block and Siberia Block in Late Mesozoic.

Keywords: geology, porphyry molybdenum deposit, geological feature, geological setting, Yanshanian, Chalukou, Daxinganling

* 本文为国家重点自然科学基金项目(编号: 41030421)、地质调查项目(编号: 1212010911029)和基本业务费项目(K1012)的成果
第一作者简介 刘翼飞, 男, 1981 年生, 在读博士生, 主要从事金属矿床地质研究。Tel: 010-68999049; Email: lyfsky@126.com
收稿日期 2011-07-20; 改回日期 2011-07-30。张绮玲编辑。

岔路口矿床位于黑龙江省大兴安岭地区松岭区境内^①,在距松岭区政府所在地小扬气镇 64 km 处,中心地理坐标为东经 123°53′00″,北纬 51°10′00″。岔路口矿床及外围的区域地质调查和找矿勘查工作始于 20 世纪 50 年代末期。迄今为止,该区 1:50 万水系沉积物测量、1:20 万区域地质调查和 1:5 万航空磁测已经完成。关键地区的 1:5 万矿产地质调查和局部地段物化探工作取得的成效,导致一系列铜矿床和银多金属矿床的发现,如岔路口矿床东南方向的多宝山、铜山和小多宝山铜矿床和西南方向的乌奴格吐山、八大关、八八一铜矿床以及三河、二道河子和环宇铅锌矿床。黑龙江有色金属地质勘查 706 队于 2005~2006 年间在岔路口地区发现了一系列钼水系沉积物化探异常,并对其进行了初步的检查,进而发现钼矿(化)体;2007~2010 年间,采用地质钻探和坑探等手段,求得钼金属量 134 万吨(332+333),铅-锌金属量 37 万吨,伴生银金属量 4 200 吨,矿石中钼、锌、铅和银的平均品位 [w(B)] 分别为 0.076%、1.05%、0.22% 和 2.2×10^{-6} ,矿床达特大型规模^②。作者通过详细的野外地质调查和钻孔岩芯观察编录,根据矿床的地质特征,对岔路口矿床的成因进行了初步的总结。

1 成矿地质环境

从大地构造环境上看,该区位于兴蒙造山带的东段,德尔布干构造-岩浆带的东北段。该区前中生代期间受到西伯利亚板块与华北板块俯冲碰撞拼接构造体系的控制,其后受到蒙古-鄂霍茨克构造体系和环太平洋构造体系的改造,并在中生代晚期经历了明显的由挤压构造体系向伸展构造体系的转换过程(Xiao et al., 2003; Meng, 2003)。在该构造演化历史之下,区域内构造岩浆活动强烈,金属成矿作用发育(赵一鸣等, 1997a)。

区域内出露的地层主要有古元古界和新元古界—下寒武统变质岩、石炭系沉积岩和侏罗系火山-沉积岩。其中,古元古界和新元古界变质岩主要为片麻岩类、混合岩类及大理岩、变质砂岩及变质中基性火山岩。石炭系岩性主要为生物碎屑灰岩、砂岩、页岩和板岩。侏罗系主要为流纹岩、凝灰熔岩和英安

岩。区内的侵入岩分布广泛,代表性岩体有海西晚期石英闪长岩株、燕山早期黑云母二长花岗岩基和燕山晚期浅成酸性侵入体。区域内断裂构造发育,并明显受区域大地构造格局控制。其中主要断裂呈北东向,控制主要岩体的展布方向,而后期叠加的次级断裂主要呈北西-北东东及北北东向,为钼多金属矿床提供了良好的赋矿空间。

2 矿区地质

岔路口矿区主要由河东和河西 2 处工作区构成,整个矿化区东西长 8 km,南北宽 5 km,出露面积 40 km²。由于这 2 处工作区工作程度相差较大,而且钼矿化主要集中在河东区,因此这里仅对河东区进行介绍。

矿区内主要出露新元古界—下寒武统倭勒根群大网子组变质岩和侏罗系火山-沉积岩(原定名为白垩系光华组,但该层位发生的钼矿化年龄为晚侏罗世)。大网子组变质岩为一套浅变质沉积岩及变质海相中基性火山岩,岩性主要为变质砂岩、泥质粉砂岩、夹薄层硅质大理岩等;侏罗系火山-沉积岩主要岩性有流纹岩、流纹质凝灰熔岩、英安岩和安山岩。它所受多期次岩浆侵入作用的影响,遭受到强烈的热液蚀变作用,构成矿床含矿围岩(吕克鹏等 2010)。

矿区内侵入岩体分布广泛,岩性主要有海西晚期石英闪长岩、燕山早期黑云母二长花岗岩和燕山晚期石英斑岩、花岗斑岩、粗安质浅成侵入岩及闪长玢岩。其中,燕山晚期石英斑岩呈岩枝和岩脉状侵入于侏罗系火山岩中,主要分布于地表以下 400 m 至 800 m 区间内,部分地段出露于地表,并与隐爆角砾岩相伴产出。燕山晚期花岗斑岩主要呈岩株状产于地表以下 600 m 至 800 m 区间内,未出露地表,岩株长、宽分别可达 800 m 和 600 m,上部有脉状及岩枝状花岗斑岩产出。石英斑岩和花岗斑岩与成矿作用具有密切的时空分布关系,并常常与隐爆角砾岩相伴产出,岩石具明显的硅化、钾化、萤石化、高岭土化、绿泥石化、绿帘石化及碳酸盐化等。燕山晚期粗安质浅成侵入岩呈岩株状和岩脉状侵入于矿区的北东部,并在地表出露,对矿体具有破坏作用。另外,矿区内还发育有规模不大的闪长玢岩脉,受后

① 地理位置上隶属内蒙古自治区;行政区划上隶属黑龙江省。

② 黑龙江省有色金属地质勘查 706 队 2011. 黑龙江省大兴安岭松岭区岔路口铅锌多金属矿详查报告. 1-45.

期构造的控制,侵入于早期石英斑岩、花岗斑岩及矿体之中(图 1、图 2)。

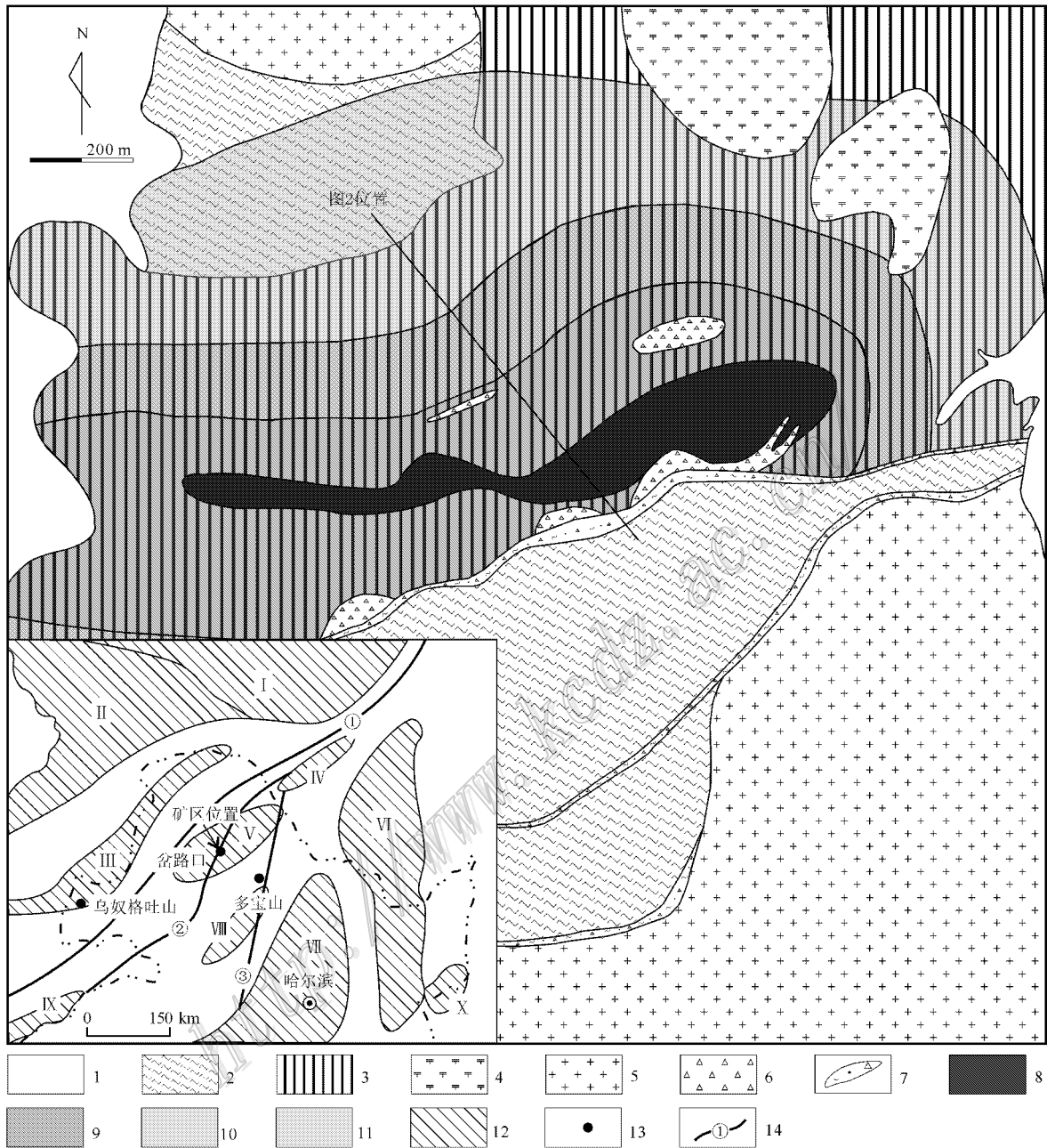


图 1 岔路口钼矿床地质简图^①

1—第四系；2—新元古界-寒武系变质岩；3—侏罗系火山-沉积岩；4—燕山早期黑云母二长花岗岩；5—侏罗纪粗安质浅成侵入岩；6—隐爆角砾岩；7—构造破碎带；8—矿化带；9—石英绢云母化带；10—泥化带；11—青磐岩化带；12—斑岩矿床；13—深大断裂：① 得尔布干深断裂；② 鄂伦春断裂；③ 嫩江断裂；14—古陆块体：I—西伯利亚板块；II—亚布洛诺夫块体；III—阿依拉格块体；IV—结雅块体；V—鄂伦春块体；VI—布列亚-佳木斯块体；VII—松花江块体；VIII—扎兰屯块体；IX—达里甘嘎块体；X—兴凯块体

Fig. 1 Simplified geological map of Chalukou Molybdenum deposit

1—Quaternary；2—Neoproterozoic-Cambrian metamorphic rock；3—Jurassic volcanic-sedimentary rock；4—Jurassic biotite adamellite；5—Jurassic trachyandesite；6—Explosive breccia；7—Structural fracture zone；8—Mineralization zone；9—silicic-sericitic zone；10—Argillic zone；11—Propylitic zone；12—Porphyry deposit；13—Deep fault：① Derbugan Deep Fault；② Oroqen Fault；③ Nenjiang deep fault；14—Paleo block：I—Siberia block；II—Yablonov block；III—Ayrag block；IV—Zeya block；V—Oroqen block；VI—Bareya-Jiamusi block；VII—Songhuajiang block；VIII—Zalanun block；IX—Dariganga block；X—Xing Kai block

① 据黑龙江省有色金属地质勘查 706 队. 2011. 黑龙江省大兴安岭松岭区岔路口铅锌多金属矿详查报告, 地形地质图修改.

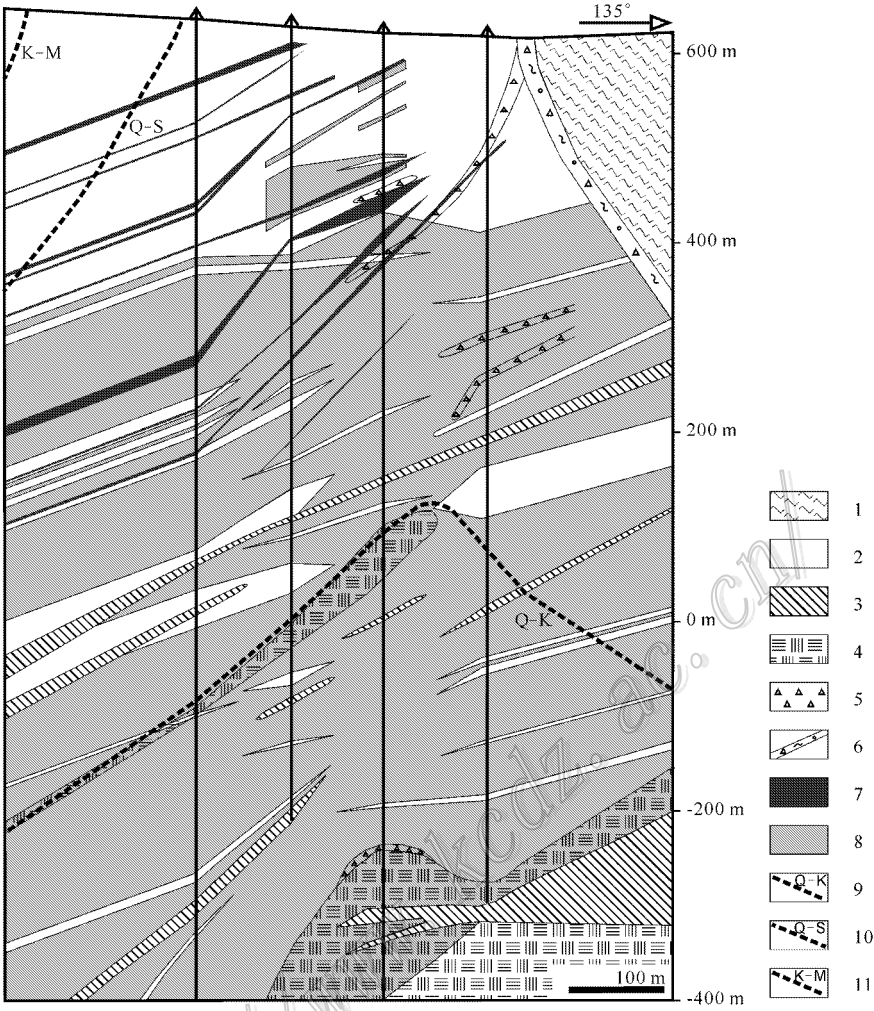


图 2 岔路口钼矿床 10 线剖面图^①

1—新元古界—寒武系变质岩；2—侏罗系凝灰熔岩-流纹岩；3—闪长玢岩；4—花岗斑岩；5—隐爆角砾岩；6—破碎带；7—铅锌矿体；8—钼矿体；9—石英钾长石化带；10—石英绢云母化带；10—泥化带

Fig. 2 Geological section along No. 10 exploration line of Chalukou deposit

1—Neoproterozoic-Cambrian metamorphic rock；2—Jurassic tufflava；3—Diorite porphyrite；4—Granite porphyry；5—Explosive breccia；6—Fracture zone；7—Pb-Zn-Ag veins；8—Molybdenum ore bodies；9—Silicic-potassic zone；10—Silicic-sericitic zone；11—Argillic zone

矿区内断裂构造及环状的火山机构较为发育。断裂主要呈北东向、南东向和近南北向，为深大断裂的次级断裂系统。矿区附近 1029 高地为一侏罗纪的火山穹窿，呈环状，放射状断裂发育。矿区内与浅成侵入作用相关的隐爆角砾岩非常发育。隐爆角砾岩主要分布于矿化带内及其南北两侧，呈岩筒状、透镜状和脉状产出。总体上可以将角砾岩分为 2 期：① 成矿前期与石英斑岩有关的隐爆角砾岩，角砾成分主要为石英斑岩，角砾大小不均，变化于 1~10 cm 之间，胶结物为流纹质，胶结物中常有黄铁矿和辉钼矿；② 成矿期隐爆角砾岩，角砾成分为中粒二长花

岗岩、花岗斑岩，胶结物为热液成因硅质，并具有黄铁矿化、萤石化和辉钼矿化。

3 矿体地质特征

矿区内的金属矿化以钼矿化为主，伴生铅、锌、银矿化。钼矿体总体呈穹窿状产于侏罗系中酸性火山岩、石英斑岩、花岗斑岩和隐爆角砾岩中，以全岩矿化为特征，长度大于 1 800 m，宽 200~1 000 m，延深大于 800 m，钻孔揭示工业矿体厚度累计可达 600 m（图 2），钼的平均品位 $\alpha(\text{Mo})$ 为 0.076%。矿体主

① 据黑龙江省有色金属地质勘查 706 队，2011. 黑龙江省大兴安岭松岭区岔路口铅锌多金属矿详查报告，地形地质图修改。

要呈隐伏体,仅部分出露地表。矿体形态可以分为3种类型,高品位厚层状矿体、高低品位互层状矿体及薄层状矿体,由下向上依次产出。铅锌银矿体主要呈脉状,与钼矿体相伴产出于矿床的上部,矿区内共圈出20余条矿脉。矿体走向 $30^{\circ}\sim 50^{\circ}$,倾向北西,倾角 $30^{\circ}\sim 40^{\circ}$,控制长度在 $100\sim 1\,700\text{ m}$,厚 $1.3\sim 6.3\text{ m}$,锌、铅、银平均品位 $[\omega(\text{B})]$ 分别为 $0.88\%\sim 1.76\%$ 、 $0.01\%\sim 0.54\%$ 、 $2.92\times 10^{-6}\sim 24.67\times 10^{-6}$ 。矿床的矿化分带较为明显,由矿化中心向外,由深部到浅部,表现为钼矿化带向含铅锌银钼矿化带和铅锌银矿化带过渡,同时,钼矿体由连续富厚矿体过渡至高、低品位互层透镜状矿体并最后过渡到低品位薄层状矿体。

矿区内蚀变作用强烈,蚀变分带明显,总体上从矿化中心向外,由高温向低温,主要表现为石英-钾长石化带、石英-绢云母化带、泥化带和青磐岩化带,矿化带之间呈过渡关系,没有截然的界限(图1)。蚀变带总体呈近东西向产出,发育面积约 8 km^2 ,河东区地表蚀变带长 $1\,800\text{ m}$,宽 $400\sim 800\text{ m}$ 。蚀变类型主要有钾化、硅化、萤石化、绢云母化、碳酸盐化、高岭石化、蒙脱石化、绿泥石化、绿帘石化、硬石膏化等。其中,钾化、硅化、萤石化与钼矿化具有明显的共生关系,含辉钼矿石英细脉常与萤石共生产出,其外侧常具强硅化蚀变。

钼矿石主要呈网脉状、细脉状、细脉浸染状产于围岩中的裂隙和角砾岩的胶结物中,细脉、网脉的类型可据矿物组合划分为辉钼矿-石英脉、辉钼矿-萤石-石英脉和辉钼矿-黄铁矿-萤石-石英脉。铅锌银矿石主要呈团块状、脉状、细脉状产出。原生金属矿物主要为黄铁矿、辉钼矿、磁黄铁矿、闪锌矿和方铅矿,局部可见少量黄铜矿。脉石矿物主要为石英、斜长石、钾长石,其次为萤石、绢云母、方解石、绿泥石和绿帘石。

4 几点认识

笔者通过对钻孔岩芯和地表露头的仔细观察,结合现有地质资料并与其他斑岩钼矿床进行对比,发现岔路口矿床的矿化特征及成因有以下几个重要特点:

(1)岩浆作用强烈,岩浆活动期次繁多。矿区燕山期岩浆作用强烈,岩浆岩从中深成相到浅成相、

潜火山相以及喷发相,岩性包含黑云母二长花岗岩、石英斑岩、花岗斑岩、凝灰熔岩、流纹岩、粗安质浅成侵入岩及闪长玢岩等。成矿作用与石英斑岩和花岗斑岩具有密切的时空分布关系。这些多期次侵入的各种岩相和岩性的岩石构成了一个复式岩体,这样一种复杂的岩浆活动历史体现了深部岩浆房的强烈分异作用,为钼多金属的大量富集提供了充足的保证。

(2)隐爆作用发育,隐爆角砾岩分布广泛。从岩芯的详细观察可以看出,角砾岩的期次至少存在2期,第一期以流纹质为胶结物的隐爆角砾岩,第二期以热液成因硅质为胶结物的隐爆角砾岩。前者为成矿前期的产物,后者与钼矿化具有密切的成因联系。热液成因硅质胶结物中常富含辉钼矿、黄铁矿等金属矿物,构成矿体的高品位部分。矿区内强烈的隐爆作用显示含矿热液从水饱和岩浆中的大量出溶和分离。流纹质胶结物角砾岩可能为岩浆期末所形成,为隐爆作用的初期阶段,温度较高,流体出溶较为有限。热液成因硅质胶结物的角砾岩则是含矿热液大量出溶后向外扩张过程中,由静岩压力向静水压力过渡减压条件下所形成,该阶段大量水岩分离及气液相分离成为矿化发生的重要条件。

(3)蚀变规模巨大,蚀变分带明显。矿区主体的热液蚀变带呈北东向,长 $1\,800\text{ m}$,宽 $400\sim 800\text{ m}$,钼多金属矿化体呈长条状产于蚀变带的中心,蚀变自中心向外由钾硅化带逐渐过渡至绢英岩化带、硅化泥化带和青磐岩化带。钾硅化带未出露于地表,与主要钼矿体的产出范围大体相同。深部含矿石英细脉的两侧常见热液蚀变晕,通常也具有一定的分带性,含矿石英脉向外过渡为强(黄铁矿)硅化带和弱硅化带,辉钼矿主要呈薄层状产于石英脉与硅化蚀变岩的接触部位。浅部钼矿化则通常表现为辉钼矿直接充填于裂隙内,裂隙外侧的蚀变晕较弱。

(4)矿化规模巨大,成矿潜力良好。2010年对岔路口钼矿床的勘查结果显示,在没有钻透主矿体的情况下,钼金属量已经达到134万吨,已超过金堆城钼矿床(品位 $>0.06\%$,钼金属量101万吨^①),成为中国北方第一大钼矿床,并有望成为与美国 Climax 斑岩钼矿床(179 Mt 钼金属量, Ludington et al., 2009)相比肩的特大型斑岩型钼矿床。同时,该矿床还伴生有37万吨的铅锌和4200 t 银,经济价值巨大。

① 陕西地质局金堆城队. 1959. 陕西华县金堆城钼矿最终地质勘探报告. 1-150.

(5) 矿床初步显示为高氟型斑岩钼矿床。钼矿化与萤石具有密切的成因联系,含石英细脉及隐爆角砾岩中有大量的萤石产出,初步显示岔路口矿床可能是与 Climax 钼矿床及 Henderson 钼矿床类似的高氟型斑岩钼矿床(Hall et al., 1974; Ludington et al., 2009)。

(6) 矿床形成于伸展环境。岔路口矿床 Re-Os 同位素测年的初步结果显示,成矿时代为 $(146.96 \pm 0.79) \text{ Ma}$ (8 个样品等时线年龄, MSWD = 1.2, 聂凤军未发表数据), 为晚侏罗世。其所在的大兴安岭北段地区, 斑岩型矿床较为发育, 如早古生代形成的多宝山-铜山斑岩型铜钼矿床(崔根等, 2008; 赵一鸣等, 1997b), 早侏罗世形成的乌奴格吐山斑岩铜钼矿床(秦克章等, 1999) 以及新近发现的岔路口斑岩型钼多金属矿床。结合国内外最新的认识, 斑岩钼矿床可以划分为高 F 型及低 F 型, 其中高 F 型矿床的典型代表为美国的 Climax 斑岩钼矿床(Mutschler et al., 1981; Westra et al., 1981) 及 Henderson 斑岩钼矿床(Geraghty et al., 1988), 低 F 型斑岩钼矿床的典型代表为加拿大 Endako 斑岩型钼矿床(Ludington et al., 2009; Villeneuve et al., 2001), 其形成环境分别代表伸展构造环境及俯冲构造环境。将岔路口矿床与多宝山-铜山矿床和乌奴格吐山铜矿相比, 可以发现它们的矿化特点具有明显的差别, 后者以铜矿化为主, 岔路口矿床则以钼矿化为主, 而且可能是与 Climax 钼矿床及 Henderson 钼矿床类似的高 F 型斑岩钼矿床。矿床的形成和时空分布作为地球动力学演化过程的结果, 也可以反映矿床形成时的构造环境(Groves et al., 2007)。该区众多不同形成时代和矿化类型斑岩型(铜→钼)矿床的集中产出, 是该区成矿背景由挤压构造环境逐渐向伸展构造环境转换的指示, 同时也显示出该区具有寻找斑岩型钼矿床的巨大潜力。

志 谢 在野外工作期间, 黑龙江省有色金属地质勘查 706 队的地质同行给予了大量的协助与支持, 在此深表感谢!

References

- Cui G, Wang J Y, Zhang J X and Cui G. 2008. U-Pb SHRIMP dating of zircons from Duobaoshan granodiorite in Heilongjiang and its geological significance[J]. *Global Geology*, 27(14): 387-394 (in Chinese with English abstract).
- Geraghty E P, Carten R B and Walker B M. 1988. Tilting of Urad-Henderson and Climax porphyry molybdenum systems, central Colorado, as related to northern Rio Grande rift[J]. *Tectonics*, 100(11): 1780-1786.
- Groves D G and Bierlein F P. 2007. Geodynamic settings of mineral deposit systems[J]. *Journal of the geological society*, 164: 19-30.
- Hall W, Friedman I and Nash T. 1974. Fluid Inclusion and Light Stable Isotope Study of the Climax Molybdenum Deposits, Colorado[J]. *Econ. Geol.*, 69(6): 884-901.
- Ludington S, Hammarstrom J and Piatek N. 2009. Low-fluorine stockwork molybdenite deposits[R]. *Geological Survey Open-file Report* 2009-1211. 9p.
- Ludington S and Plumlee S. 2009. Climax-type porphyry molybdenum deposits[R]. *Geological Survey Open-file Report* 2009-1215, 16p.
- Lv K, Hang L and Zhang J N. 2010. Geological features and prospecting marks of Chalukou porphyry deposit[J]. *Heilongjiang Science and Technology Information*, 21: 31-31 (in Chinese).
- Meng Q R. 2003. What drove late Mesozoic extension of the northern China-Mongolia tract[J]? *Tectonophysics*, 369: 155-174.
- Mutschler F, Wright E, Ludington S and Abbott J. 1981. Granite molybdenite systems[J]. *Econ. Geol.*, 76(4): 874-897.
- Qin K Z, Li H M and Li W S. 1999. Intrusion and mineralization ages of Wunugetushan porphyry Cu-Mo deposit, Inner Mongolia, North-eastern China[J]. *Geological Review*, 45(2): 180-185 (in Chinese with English abstract).
- Villeneuve M, Whalen J B, Anderson R G and Struik L C. 2001. The Endako Batholith: Episodic Plutonism culminating in Formation of the Endako porphyry molybdenite deposit, North-Central British Columbia[J]. *Econ. Geol.*, 96(1): 171-196.
- Westra G and Keith S. 1981. Classification and genesis of stockwork molybdenum deposits[J]. *Econ. Geol.*, 76(4): 844-873.
- Xiao W J, Windley B F, Hao J and Zhai M G. 2003. Accretion leading to collision and the Permian Solonker suture, Inner Mongolia, China: Termination of the central Asian orogenic belt[J]. *Tectonic*, 22: 1484-1505.
- Zhao Y M, Bi C S, Zou X Q, Sun Y L, Du A D and Zhao Y M. 1997a. The Re-Os isotopic age of molybdenite from Duobaoshan and Tongshan porphyry copper (molybdenum) deposits[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 18(1): 61-67 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Y M and Zhang D Q. 1997b. Metallogeny and prospective evaluation of copper-polymetallic deposits in the Da Hinggan Mountains and its adjacent regions[M]. Beijing: Seismological Press. 1-318 (in Chinese with English abstract).
- 崔 根, 王金益, 张景仙, 崔 革. 2008. 黑龙江多宝山花岗岩闪长岩的锆石 SHRIMP-Pb 年钲及其地质意义[J]. *世界地质*, 27(14): 387-394.
- 吕克鹏, 韩 龙, 张佳南. 2010. 岔路口钼矿床地质特征及找矿标识浅析[J]. *黑龙江科技信息*, 21: 31-31.
- 秦克章, 李惠民, 李伟实, Ishihara S. 1999. 内蒙古乌奴格吐山斑岩铜钼矿床的成岩、成矿时代[J]. *地质论评*, 45(2): 180-185.
- 赵一鸣, 毕承思, 邹晓秋, 孙亚莉, 杜安道, 赵玉明. 1997a. 黑龙江多宝山-铜山大型斑岩铜-钼矿床中辉钼矿的铼-钼同位素年龄[J]. *地球学报*, 18(1): 61-67.
- 赵一鸣, 张德全, 等. 1997b. 大兴安岭及其邻区铜多金属矿床成矿贵了与远景评价[M]. 北京: 地震出版社. 1-318.