



## 内蒙古额济纳旗少斜沟钨铜钼矿成矿特征

岳林浩, 杨建军, 张宇峰

内蒙古自治区岩浆活动成矿与找矿重点实验室/内蒙古自治区地质调查研究院, 内蒙古 呼和浩特 010020

**摘要:** 额济纳旗少斜沟钨铜钼矿赋存于石炭纪—二叠纪花岗岩类岩体与下石炭统绿条山组的接触带附近及岩体内。矿化蚀变分带总体呈环状, 最外带为碳酸盐化、绿帘石化、绿泥石化; 次外带为夕卡岩化、角岩化、白钨矿化; 中带为硅化、云英岩化、辉钼矿化; 内带为硅化、孔雀石化、黄铜矿化。由外向内成矿元素从高温到低温富集, 形成钨矿→钼矿→铜矿。另外, 结合矿体特征、含矿岩体的矿石地球化学特征和锆石 U-Pb 测年资料等讨论了矿床的成因类型和成矿时代, 认为该矿床成因类型为斑岩型, 成矿时间为 305.1±1.9 Ma, 为晚石炭世。

**关键词:** 成矿特征; 钨铜钼矿; 晚石炭世; 内蒙古

## METALLOGENIC CHARACTERISTICS OF SHAOXIEGOU TUNGSTEN-COPPER-MOLYBDENUM DEPOSIT IN EJINA QI, INNER MONGOLIA

YUE Lin-hao, YANG Jian-jun, ZHANG Yu-feng

Inner Mongolia Key Laboratory of Magmatic Mineralization and Ore-Prospecting/ Geological Survey Institute of Inner Mongolia, Hohhot 010020, China

**Abstract:** The Shaoxieyou tungsten-copper-molybdenum deposit in Ejina Qi is occurred in the contact zone between the Carboniferous-Permian granitoid body and Lower Carboniferous Lyutiaoshan Formation, and in the nearby rock mass as well. The mineralized alteration zonation is generally annular, with the outermost zone of carbonatization, epidotization and chloritization, the secondary outer zone of skarnization, hornfelsization and scheelite mineralization, the middle zone of silicification, greisenization and molybdenite mineralization, and the inner zone of silicification, malachitization and chalcopyrite mineralization. From outside to inside, metallogenic elements are enriched from high temperature to low, forming tungsten deposit → molybdenum deposit → copper deposit. The paper also discusses the genetic type and metallogenic age of the deposit combined with the orebody characteristics, geochemical characteristics of ore-bearing rock mass and zircon U-Pb dating data. It is considered that the deposit is genetically of porphyry type, with the metallogenic time of 305.1±1.9 Ma, which was formed in Late Carboniferous.

**Key words:** metallogenic characteristic; tungsten-copper-molybdenum deposit; Late Carboniferous; Inner Mongolia

### 0 引言

少斜沟钨铜钼矿位于内蒙古自治区阿拉善盟额济

纳旗黑鹰山镇, 距额济纳旗政府所在地达来呼布镇约 360 km。该矿床为 2009—2012 年内蒙古自治区地质

收稿日期: 2022-04-10; 修回日期: 2022-05-11。编辑: 李兰英。

基金项目: 内蒙古自治区地质勘查基金项目“内蒙古自治区额济纳旗大红山地区金铜多金属矿集中勘查”(12-2-KC35)。

作者简介: 岳林浩(1964—), 男, 高级工程师, 从事地质矿产勘查及管理工作, 通信地址 内蒙古自治区呼和浩特市金桥开发区包头大街 内蒙古自治区地质调查研究院, E-mail//3097563406@qq.com

调查研究院在该区开展“内蒙古自治区额济纳旗青山等五幅 1:5 万区域矿产地质调查<sup>①</sup>”时发现,2012 年以来相继实施了槽探、钻探等工程对该矿床进行了整体评价。

少斜沟钨铜钼矿位于天山成矿省,额勒根-乌珠尔嘎顺铜、钼(铜)和稀有金属成矿带。在该成矿带及其延伸部位相继发现了额勒根铜钼矿<sup>[1-3]</sup>、流沙山钼金矿<sup>[4-5]</sup>、小狐狸山钼矿<sup>[6-8]</sup>、欧玉陶勒盖铜金矿<sup>[9-10]</sup>、查干苏布尔加铜钼矿<sup>[11-12]</sup>、卡拉塔格铜矿<sup>[13]</sup>、东戈壁钼矿<sup>[14]</sup>、延东铜矿<sup>[15-16]</sup>等斑岩型钼多金属矿床,说明该成矿带具有寻找斑岩型矿床的潜力。

笔者通过分析少斜沟钨铜钼矿的矿区地质特征、矿体特征、含矿岩体的矿石地球化学特征和围岩蚀变特征等,结合铀 U-Pb 测年资料讨论矿床类型和形成时代,以期为提高本区钨铜钼矿床理论研究水平和扩大找矿远景工作提供科学依据。

## 1 区域地质概况

少斜沟钨铜钼矿区大地构造处置位于哈萨克斯坦板块东南陆缘增生带(I<sub>1</sub>)<sup>[17]</sup>。出露的区域赋矿地层主要为泥盆系雀儿山群(DQ)和下石炭统绿条山组(C<sub>1</sub>l)。侵入岩主要为石炭纪一二叠纪岩体,岩石类型有二长花岗岩、正长花岗岩、花岗闪长岩和石英闪长岩等,岩体均呈岩基或岩株状产出。区内总体构造线方向为近东西向,近东西向断裂构造控制着区域地层和岩体的展布方向。

## 2 矿区地质特征

### 2.1 地层

矿区内出露的地层为下石炭统绿条山组(C<sub>1</sub>l)(见图 1)。绿条山组岩性主要为粉砂质板岩、变质长石石英砂岩、绿帘石石榴石大理岩等。石炭纪中细粒花岗闪长岩、中细粒二长花岗岩及二叠纪中细粒二长花岗岩侵入使该地层不同程度地遭受接触变质和热力变质,由接触带向外产生有夕卡岩及角岩,组成了含矿夕卡岩。矿床主要赋存在夕卡岩及其附近岩体中。

### 2.2 构造

矿区内主要构造为近东西向断裂,次为北西向断裂。近东西向断裂不仅控制了石炭统绿条山组和石

炭纪一二叠纪岩体的展布形态,还为岩浆热液、成矿组分的运移提供了通道,在有利地段形成夕卡岩带,是钨矿体的容矿构造。北西向断裂使岩浆活动、成矿组分再次运移,成矿元素进一步富集,成为铜钼矿体的容矿构造。

### 2.3 侵入岩

矿区内侵入岩分布较广,侵入时代为石炭纪一二叠纪,主要为早石炭世中细粒花岗闪长岩(C<sub>1</sub>γδ<sup>α</sup>)、中细粒黑云母二长花岗岩(C<sub>1</sub>ηγ<sup>α</sup>)、晚石炭世中细粒正长花岗岩(C<sub>2</sub>ξγ<sup>α</sup>)、中二叠世中粗粒黑云母二长花岗岩(Pηγ<sup>α</sup>)和中细粒黑云母二长花岗岩(Pηγ<sup>α</sup>)。其中石炭纪中细粒黑云母二长花岗岩和中细粒正长花岗岩与少斜沟钨铜钼矿体有关。

根据“内蒙古自治区额济纳旗青山等五幅 1:5 万区域矿产地质调查”资料,石炭纪中细粒黑云母二长花岗岩 SiO<sub>2</sub> 含量为 73.11%~74.14%, ANCK 值为 0.97~1.07,属铝过饱和类型。K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O 为 7.77%~8.21%,里特曼指数为 1.90~2.21,属钙碱性系列岩石。稀土元素 ΣREE=86.65×10<sup>-6</sup>~129.24×10<sup>-6</sup>, ΣLREE/ΣHREE =5.12~8.49, (La/Yb)<sub>N</sub>=4.01~8.15, δEu=0.52~0.61, δCe=0.98~1.04,稀土配分型式为一向右倾斜且左陡右平的曲线,反映该岩体轻稀土较富集、重稀土亏损,轻稀土分馏较强、重稀土分馏很弱, Eu、Ce 为弱负异常。微量元素分析结果显示大离子亲石元素和高场强元素 Rb、Sr、Ba、Nb、Th、Zr 含量均较低,而 Bi、As、V、Zn 等成矿元素含量则较高,微量元素蛛网曲线为右斜型, Rb、Th、Zr、La、Ce、Gd 等元素相对富集, Ba、Nb、Sr、Ti 等元素相对亏损, Rb/Sr=0.18~0.42, Sr/Ba=0.53~0.95, K/Rb=241~344,在 Rb-(Y+Nb)图解中样点均落入火山弧花岗岩区,构造环境相当于陆缘岛弧环境。

### 2.4 围岩蚀变

钨铜钼矿体围岩蚀变整体呈面状分布,矿化蚀变带分带性明显,由外到内依次表现为碳酸盐化、绿帘石化、绿泥石化→夕卡岩化、角岩化、白钨矿化→硅化、云英岩化、辉钼矿化→硅化、孔雀石化、黄铜矿化,整体呈椭圆环带状分布。

## 3 矿床地质特征

### 3.1 矿体特征

矿区内圈出 19 条钼矿体,7 条钨矿(化)体和 4 条

①内蒙古自治区地质调查研究院. 内蒙古自治区额济纳旗青山等五幅 1:5 万区域矿产地质调查报告. 2012.

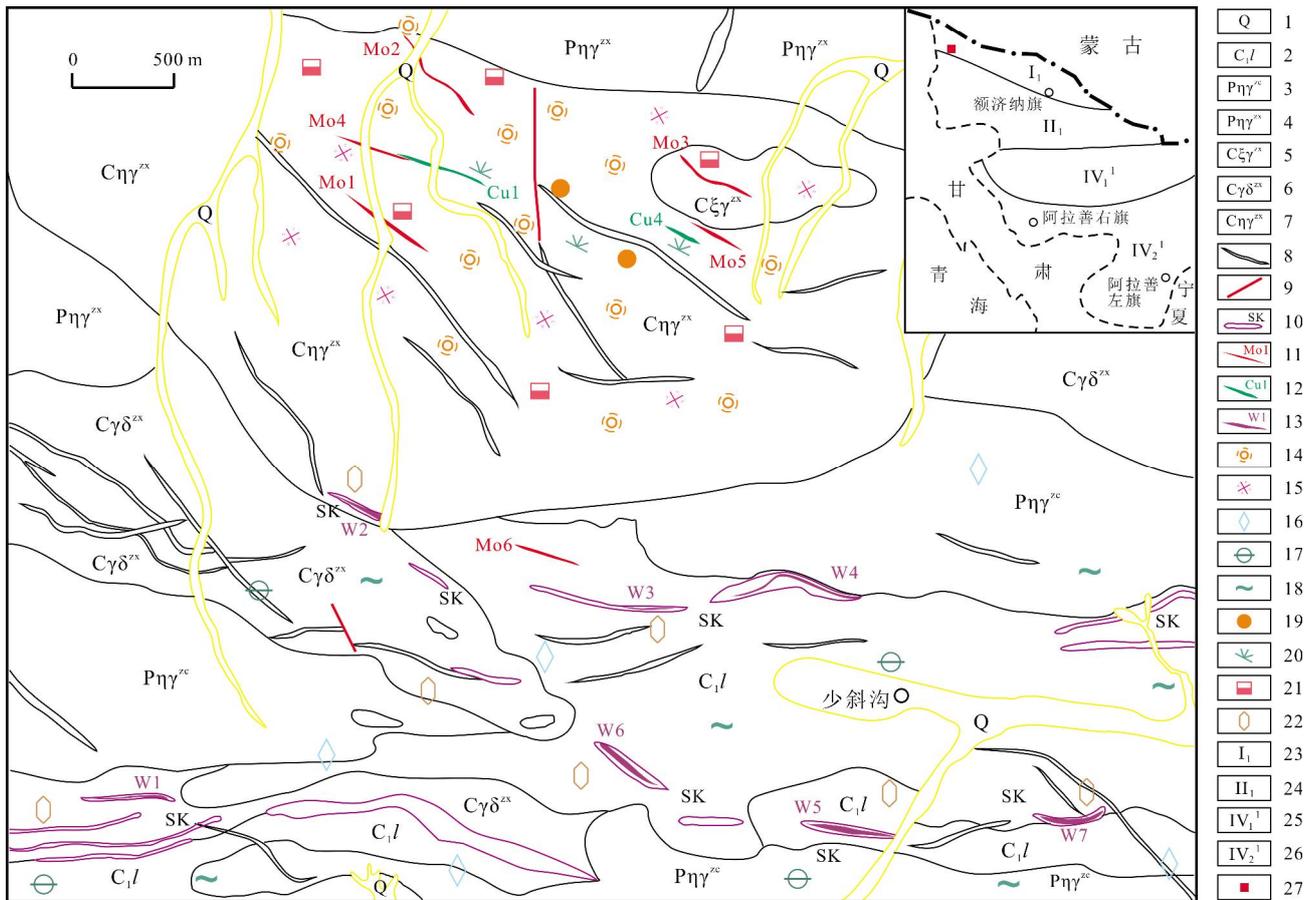


图 1 少斜沟钨铜钼矿地质简图

Fig. 1 Geological sketch map of Shaoxieyou W-Cu-Mo deposit

1—第四系全新统 (Quaternary Holocene); 2—下石炭统绿条山组 (Lower Carboniferous Lyutiaoshan fm.); 3—中二叠世中粗粒黑云母二长花岗岩 (Middle Permian medium-coarse-grained biotite monzogranite); 4—中二叠世中细粒黑云母二长花岗岩 (Middle Permian fine-medium-grained biotite monzogranite); 5—晚石炭世中细粒正长花岗岩 (Late Carboniferous fine-medium-grained syenogranite); 6—早石炭世中细粒花岗闪长岩 (Early Carboniferous fine-medium-grained granodiorite); 7—早石炭世中细粒黑云母二长花岗岩 (Early Carboniferous fine-medium-grained biotite monzogranite); 8—脉岩(dike); 9—断层(fault); 10—夕卡岩(skarn); 11—钼矿体及编号(Mo orebody and number); 12—铜矿体及编号(Cu orebody and number); 13—钨矿体及编号(Worebody and number); 14—硅化(silicification); 15—云英岩化(greisenization); 16—碳酸盐化(carbonatization); 17—绿帘石化(epidotization); 18—绿泥石化(chloritization); 19—黄铜矿化(chalcopyritization); 20—孔雀石化(malachitization); 21—辉钼矿化(molybdenite mineralization); 22—白钨矿化(scheelite mineralization); 23—哈萨克斯坦板块东南陆缘增生带 (southeast continental-margin accretionary belt of Kazakhstan Plate); 24—塔里木板块东南陆缘增生带(southeast continental-margin accretionary belt of Tarim Plate); 25—宝音图-锡林浩特火山型被动陆缘(Baoyintu-Xilinhot volcanic passive continental margin); 26—阴山隆起(Yinshan uplift); 27—研究区(study area)

铜矿(化)体,矿体特征见表 1.

铜矿(化)体分布于硅化、孔雀石化、黄铜矿化带,钼矿体分布于硅化、云英岩化、辉钼矿化带,赋矿围岩均为石炭纪中细粒黑云母二长花岗岩和正长花岗岩,矿体呈凸弧状,轴线向北西向延伸,南西翼倾角较缓,产状  $210^\circ \angle (8\sim 29^\circ)$ ,北东翼倾角较陡,产状  $30^\circ \angle (20\sim 45^\circ)$ . 矿体呈现分叉、复合、尖灭、再现现象,由翼部向核部钼矿体逐渐向铜矿(化)体转化. 钼矿体平均厚度

0.72~4.11 m, Mo 平均品位 0.031%~0.205%;铜矿(化)体平均厚度 1.40~3.91 m, Cu 平均品位 0.104%~0.299%.

垂向上,钼矿体分布于下部,铜矿(化)体分布于上部. 由深到浅矿体总体增多,由稀疏变稠密,两翼倾角相对变缓(见图 2). 核部由深到浅辉钼矿化、云英岩化逐渐减弱,黄铜矿化、孔雀石化逐渐增强.

钨矿(化)体分布于夕卡岩化、角岩化、白钨矿化

表 1 少斜沟矿区矿体特征表  
Table 1 Orebody characteristics of Shaoxieyou orefield

矿体编号	长度/m	厚度/m	品位/%	产状	形态
Mo1	330	Mo: 0.45~1.00/0.72	Mo: 0.037~0.149/0.114	南西翼 210°∠20°	凸弧状
Mo2	350	Mo: 0.72~2.17/1.44	Mo: 0.073~0.166/0.143	北东翼 30°∠40°	凸弧状
Mo3	280	Mo: 0.80~0.71/0.75	Mo: 0.106~0.160/0.135	北东翼 30°∠45°	凸弧状
Mo4	200	Mo: 0.53~0.93/0.73	Mo: 0.030~0.066/0.048	北东翼 30°∠(20~40°)	凸弧状
Mo4-1	120	Mo: 0.94	Mo: 0.135	210°∠20°	细脉状
Mo4-2	120	Mo: 1.23	Mo: 0.120	210°∠20°	细脉状
Mo5	240	Mo: 0.94~1.05/1.00	Mo: 0.041~0.292/0.159	北东翼 30°∠40°	凸弧状
Mo6	100	Mo: 1.00	Mo: 0.032	51°∠63°	细脉状
Mo7	120	Mo: 1.22~11.04/4.11	Mo: 0.034~0.119/0.065	南西翼 210°∠10°,北东翼 30°∠40°	凸弧状
Mo8	120	Mo: 0.93~1.00/0.96	Mo: 0.058~0.194/0.110	南西翼 210°∠20°,北东翼 30°∠40°	凸弧状
Mo9	120	Mo: 0.93~0.95/0.94	Mo: 0.034~0.075/0.054	南西翼 210°∠20°,北东翼 30°∠40°	凸弧状
Mo10	120	Mo: 0.90~0.95/0.92	Mo: 0.050~0.135/0.094	南西翼 210°∠20°,北东翼 30°∠26°	凸弧状
Mo11	120	Mo: 1.00~1.14/1.07	Mo: 0.020~0.271/0.154	南西翼 210°∠20°,北东翼 30°∠26°	凸弧状
Mo12	120	Mo: 1.73~7.00/3.51 Cu2: 3.00 Cu3: 2.17~6.35/3.91	Mo: 0.011~0.058/0.031 Cu2: 0.101~0.133/0.104 Cu3: 0.106~0.119/0.109	南西翼 210°∠8°,北东翼 30°∠30°	凸弧状
Mo13	120	Mo: 0.94~1.78/1.29	Mo: 0.057~0.408/0.205	南西翼 210°∠18°,北东翼 30°∠26°	凸弧状
Mo14	120	Mo: 1.37~2.78/2.07	Mo: 0.050~0.070/0.060	南西翼 210°∠18°,北东翼 30°∠26°	凸弧状
Mo15	120	Mo: 1.74~3.82/2.58	Mo: 0.062~0.128/0.031	南西翼 210°∠(27~29°),北东翼 30°∠26°	凸弧状
Mo16	120	Mo: 0.88~3.67/1.82	Mo: 0.075~0.354/0.160	南西翼 210°∠20°,北东翼 30°∠26°	凸弧状
Mo17	120	Mo: 1.31	Mo: 0.119	210°∠26	细脉状
Cu1	50	Cu: 1.50	Cu: 0.12~0.15/0.13	北东翼 20°∠40°	凸弧状
Cu4	50	Cu: 1.40	Cu: 0.299	北东翼 30°∠35°	凸弧状
W1	100	WO <sub>3</sub> : 0.40~4.55/2.47	WO <sub>3</sub> : 0.064~0.091/0.366	350°∠45°	脉状
W2	260	WO <sub>3</sub> : 0.90	WO <sub>3</sub> : 0.048	50°∠78°	脉状
W3	280	WO <sub>3</sub> : 1.00	WO <sub>3</sub> : 0.077	11°∠69°	脉状
W4	650	WO <sub>3</sub> : 0.40~4.95/2.41	WO <sub>3</sub> : 0.064~0.407/0.112	0°∠(45~50°)	脉状
W5	330	WO <sub>3</sub> : 1.40	WO <sub>3</sub> : 0.066	330°∠78°	脉状
W6	150	WO <sub>3</sub> : 1.60	WO <sub>3</sub> : 0.039~0.109/0.065	355°∠53°	脉状
W7	430	WO <sub>3</sub> : 0.7~1.00/0.85	WO <sub>3</sub> : 0.092~0.218/0.166	0°∠(44~72°)	脉状

注:厚度、品位表示为“最小值~最大值/平均值”。

带,赋矿围岩为夕卡岩,矿体呈脉状,走向与夕卡岩带走向一致,总体北倾,倾向 330~50°,倾角 44~78°。垂向特征不明显。

### 3.2 矿石特征

铜钼矿石矿物主要有辉钼矿、黄铜矿、闪锌矿、黄铁矿、磁铁矿、褐铁矿,脉石矿物主要有石英、钾长石、

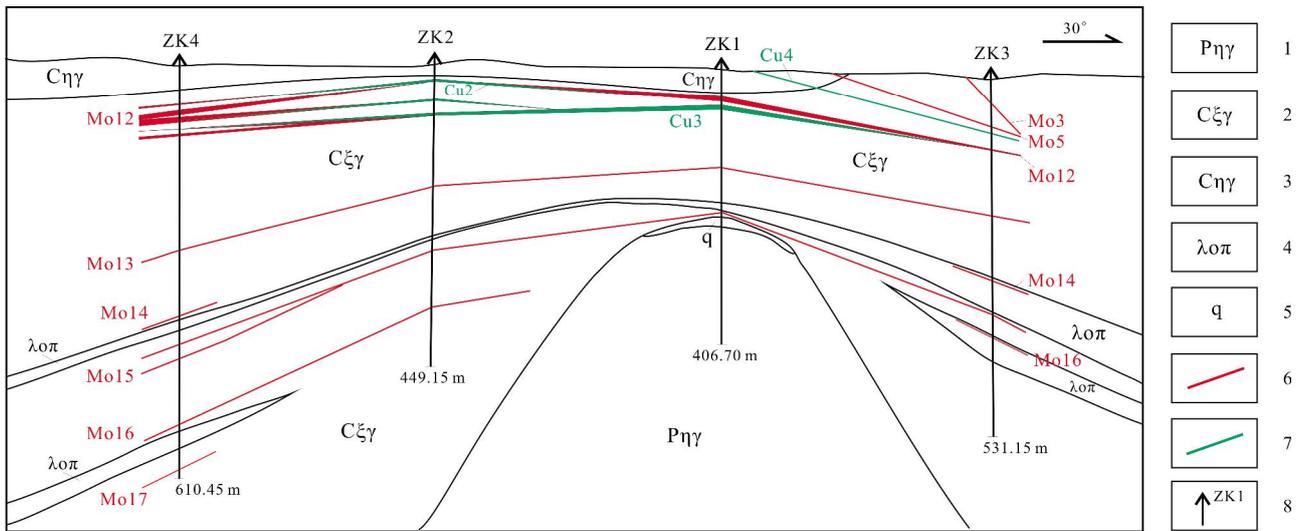


图 2 少斜沟矿区 0 勘探线剖面图

Fig. 2 Profile of Shaoxieyou orefield along No. 0 exploratory line

1—中二叠世中细粒黑云母二长花岗岩(Middle Permian fine-medium-grained biotite monzogranite); 2—晚石炭世中细粒正长花岗岩(Late Carboniferous fine-medium-grained syenogranite); 3—早石炭世中细粒黑云母二长花岗岩(Early Carboniferous fine-medium-grained biotite monzogranite); 4—石英斑岩脉(quartz porphyry dike); 5—石英脉(quartz vein); 6—钼矿体(Mo orebody); 7—铜矿体(Cu orebody); 8—钻孔及编号(borehole and number)

斜长石、黑云母、白云母。钨矿石矿物主要有白钨矿、黑钨矿、泡铋矿、黄铜矿、黄铁矿、赤铁矿、磁铁矿、褐铁矿,脉石矿物主要有石英、斜长石、角闪石、榍石、绿帘石、石榴子石、磷灰石。

铜钼矿石呈微粒半自形—自形粒状结构和交代残余结构,多呈脉状、稀疏浸染状构造。钨矿石呈细粒半自形—自形双锥状结构,呈稀疏浸染状构造。

铜钼矿床主要有用元素为 Mo, Mo 含量为 0.03%~0.40%,矿床平均品位 0.092%, Cu 元素伴生富集,含量一般为 0.05%~0.31%。有害元素主要为 As, 含量一般为  $0.76 \times 10^{-6}$ ~ $7.19 \times 10^{-6}$ , 含量不超标。其他元素 W、Ni、Zn、Bi、Ag、Sb、Pb、Hg、Au 等含量一般较低,不具综合利用价值。

钨矿床主要有用元素为 W,  $WO_3$  含量为 0.064%~0.366%,矿床平均品位 0.203%,其他元素 Ni、Zn、Bi、Ag、Sb、Pb、Hg、Au 等含量一般较低,不具综合利用价值。

#### 4 矿床类型及成矿时代探讨

斑岩型矿床的特点是矿床规模大,埋藏浅,品位较低,矿化分布均匀且矿石成分简单、易选可供综合利用,其矿化和围岩蚀变在纵向和横向上具有很好的分

带性和规律性<sup>[18-23]</sup>。

少斜沟矿区矿化蚀变带长 4 km,宽 1.5 km,具有强烈的围岩蚀变,且分带性明显。在横向上,从矿体中心向外依次为硅化、孔雀石化、黄铜矿化→硅化、云英岩化、辉钼矿化→夕卡岩化、角岩化、白钨矿化→碳酸盐化、绿帘石化、绿泥石化。在垂向上,表现出明显的“上铜下钼”分带特征。从矿体特征分析,矿体多呈脉状、稀疏浸染状产出,浅部矿体分布多且稠密,深部矿体分布少且稀疏,矿石成分简单,品位偏低。铜钼矿(化)体几乎全部位于石炭纪中细粒黑云母二长花岗岩和中细粒正长花岗岩体之中,与岩体关系非常密切,含矿岩体地球化学特征表现为酸性铝过饱和的钙碱性系列花岗岩,轻稀土富集、重稀土亏损,在 Rb-(Y+Nb)图解中落入火山弧花岗岩区,构造环境为陆缘岛弧环境。上述特征与斑岩型矿床的特征基本相符,故认为少斜沟钨铜钼矿床的成因类型为斑岩型。

内蒙古自治区地质调查研究院在研究区开展矿产勘查工作时,针对含矿岩体——石炭纪中细粒黑云母二长花岗岩和中细粒正长花岗岩各采取了 1 件单颗粒锆石 U-Pb 年龄样品,样品采自含矿岩体中未受构造影响、蚀变最弱的新鲜岩石。样品测试工作由中国地质调查局天津地质调查中心完成,采用颗粒锆石 U-Pb

同位素稀释法测定. 所获得中细粒黑云母二长花岗岩的 U-Pb 同位素等时线年龄值为  $334.6 \pm 1.9$  Ma, 中细粒正长花岗岩的 U-Pb 同位素等时线年龄值为  $305.1 \pm 1.9$  Ma.

该矿床所在成矿带上已发现的额勒根铜钼矿等多处斑岩型矿床<sup>[1-16]</sup>表明成矿年龄与成岩年龄相当或略晚于成岩年龄, 故认为少斜沟钨铜钼矿床的成矿年龄与中细粒正长花岗岩的成岩年龄一致, 晚于中细粒黑云母二长花岗岩的成岩年龄, 形成于晚石炭世.

## 5 结论

(1) 少斜沟钨铜钼矿床具有明显的分带性. 矿化蚀变总体呈环带状分布, 最外带为碳酸盐化、绿帘石化、绿泥石化带, 次外带为夕卡岩化、角岩化、白钨矿化带, 中带为硅化、云英岩化、辉钼矿化带, 内带为硅化、孔雀石化、黄铜矿化带, 由外向内从高温到低温元素相继富集, 依次形成钨矿体、钼矿体和铜矿体, 基本符合斑岩型矿床的特征.

(2) 通过分析成矿带上已发现的斑岩型矿床的成矿年龄和成岩年龄, 确定少斜沟钨铜钼矿的成矿年龄与晚石炭世中细粒正长花岗岩的成岩年龄一致, 为  $305.1 \pm 1.9$  Ma.

## 参考文献(References):

- [1] 聂凤军, 屈文俊, 刘妍, 等. 内蒙古额勒根斑岩型钼(铜)矿化区辉钼矿铼-钨同位素年龄及地质意义[J]. 矿床地质, 2005, 24(6): 638-646.  
Nie F J, Qu W J, Liu Y, et al. Re-Os isotopic age dating of molybdenite separates from Elegen porphyry Mo (Cu) mineralized area, northwestern Alxa, western Inner Mongolia[J]. Mineral Deposits, 2005, 24(6): 638-646.
- [2] 杨岳清, 赵金花, 孟贵祥, 等. 内蒙古北山地区斑岩型钼矿的成矿时代和形成环境探讨[J]. 地球学报, 2013, 34(4): 401-412.  
Yang Y Q, Zhao J H, Meng G X, et al. Rock-forming and ore-forming ages as well as formation environments of porphyry molybdenum deposits in Beishan area, Inner Mongolia[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2013, 34(4): 401-412.
- [3] 聂凤军, 江思宏, 张义, 等. 中蒙边境中东段金属矿床成矿规律和找矿方向[M]. 北京: 地质出版社, 2007: 139-156.  
Nie F J, Jiang S H, Zhang Y, et al. Metallogenic studies and prospecting orientation in central and eastern segments along China-Mongolia border[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2007: 139-156.
- [4] 聂凤军, 江思宏, 赵省民, 等. 内蒙古流沙山金(钼)矿床地质特征及矿床类型的划分[J]. 地质地球化学, 2002, 30(1): 1-7.  
Nie F J, Jiang S H, Zhao X M, et al. Geological features and metallogenic type of the Liushashan gold(molybdenum)deposit in Ejin Qi (prefecture), western Inner Mongolia[J]. Geology-Geochemistry, 2002, 30(1): 1-7.
- [5] 侯万荣, 聂凤军, 徐斌, 等. 内蒙古中西部钼多金属矿床地质特征及其动力学背景[J]. 地质与勘探, 2010, 46(5): 751-764.  
Hou W R, Nie F J, Xu B, et al. Geological features and geodynamic background of the molybdenum polymetallic deposits in central-western Inner Mongolia[J]. Geology and Exploration, 2010, 46(5): 751-764.
- [6] 彭振安, 李红红, 屈文俊, 等. 内蒙古北山地区小狐狸山钼矿床辉钼矿 Re-Os 同位素年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 2010, 29(3): 510-516.  
Peng Z A, Li H H, Qu W J, et al. Molybdenite Re-Os age of Xiaohulishan molybdenum deposit in Beishan area, Inner Mongolia[J]. Mineral Deposits, 2010, 29(3): 510-516.
- [7] 张雨莲, 许荣科, 陕亮, 等. 内蒙古北山地区小狐狸山钼矿辉钼矿 Re-Os 年龄和 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄[J]. 地质通报, 2012, 31(2/3): 469-475.  
Zhang Y L, Xu R K, Shan L, et al. Rock-forming and ore-forming ages of the Xiaohulishan molybdenum deposit in Beishan area, Inner Mongolia[J]. Geological Bulletin of China, 2012, 31(2/3): 469-475.
- [8] 杨帅师, 王守光, 沈存利, 等. 内蒙古小狐狸山钼多金属矿床成岩成矿年龄及其地质意义[J]. 现代地质, 2012, 26(2): 261-268.  
Yang S S, Wang S G, Shen C L, et al. Rock-forming and ore-forming ages of Xiaohulishan molybdenum-polymetallic deposit in Inner Mongolia and its geological significance[J]. Geoscience, 2012, 26(2): 261-268.
- [9] 刘益康, 徐叶兵. 蒙古 Oyu Tolgoi 斑岩铜金矿的勘查[J]. 地质与勘探, 2003, 39(1): 1-4.  
Liu Y K, Xu Y B. The prospecting and main features of Oyu Tolgoi porphyry Cu-Au deposit in Mongolia[J]. Geology and Prospecting, 2003, 39(1): 1-4.
- [10] 张义, 聂凤军, 江思宏, 等. 中蒙边境欧玉陶勒盖大型铜-金矿床的发现及对找矿勘查工作的启示[J]. 地质通报, 2003, 22(9): 708-712.  
Zhang Y, Nie F J, Jiang S H, et al. Discovery of the Oyu Tolgoi copper-gold deposit in the Sino-Mongolia border region and its significance for mineral exploration[J]. Geological Bulletin of China, 2003, 22(9): 708-712.
- [11] 侯万荣, 聂凤军, 江思宏, 等. 蒙古国查干苏布尔加大型铜-钼矿床地质特征及成因[J]. 地球学报, 2010, 31(3): 307-320.  
Hou W R, Nie F J, Jiang S H, et al. The geology and ore-forming mechanism of the Tsagaan Suurga large-size Cu-Mo porphyry deposit in Mongolia[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2010, 31(3): 307-320.
- [12] Watanabe Y, Stein H J. Re-Os ages for the Erdenet and Tsagaan

- Suvarga porphyry Cu-Mo deposits, Mongolia, and tectonic implications [J]. *Economic Geology*, 2000, 95(7): 1537-1542.
- [13] 杨合群, 李英, 杨建国, 等. 北山造山带的基本成矿特征[J]. *西北地质*, 2006, 39(2): 78-95.
- Yang H Q, Li Y, Yang J G. Main metallogenic characteristics in the Beishan orogen[J]. *Northwestern Geology*, 2006, 39(2): 78-95.
- [14] 黄超勇, 吴邦友, 瓮纪昌, 等. 东天山东戈壁特大型钼矿床的发现及意义[J]. *地质调查与研究*, 2011, 34(4): 280-289.
- Huang C Y, Wu B Y, Weng J C, et al. Discovery of the eastern Gobi hugesize molybdenum ore deposit and its prospecting significance in Eastern Tianshan[J]. *Geological Survey and Research*, 2011, 34(4): 280-289.
- [15] 芮宗瑶, 刘玉琳, 王龙生, 等. 新疆东天山斑岩型铜矿带及其大地构造格局[J]. *地质学报*, 2002, 76(1): 83-94.
- Rui Z Y, Liu Y L, Wang L S, et al. The Eastern Tianshan porphyry copper belt in Xinjiang and its tectonic framework[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2002, 76(1): 83-94.
- [16] Shen P, Pan H D, Dong L H. Yandong porphyry Cu deposit, Xinjiang, China: Geology, geochemistry and SIMS U-Pb zircon geochronology of host porphyries and associated alteration and mineralization [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2014, 80: 197-217.
- [17] 邵积东, 王惠, 张梅, 等. 内蒙古大地构造单元划分及其地质特征[J]. *西部资源*, 2011, 8(3): 51-56.
- Shao J D, Wang H, Zhang M, et al. Repartition of geotectonic element and geological characteristics in Inner Mongolia[J]. *Western Resources*, 2011, 8(3): 51-56.
- [18] 彭振安, 李红红, 张诗启, 等. 内蒙古北山地区小狐狸山钼矿成矿岩体地球化学特征研究[J]. *地质与勘探*, 2010, 46(2): 291-298.
- Peng Z A, Li H H, Zhang S Q, et al. Geochemical characteristics of Mo-mineralized granite in the Xiaohulishan deposit, Beishan area, Inner Mongolia [J]. *Geology and Exploration*, 2010, 46(2): 291-298.
- [19] 沈存利, 张梅, 于玺卿, 等. 内蒙古钼矿找矿新进展及成矿远景分析[J]. *地质与勘探*, 2010, 46(4): 561-575.
- Shen C L, Zhang M, Yu X Q, et al. New progresses in exploration of molybdenum deposits and analysis of mineralization prospect in Inner Mongolia[J]. *Geology and Exploration*, 2010, 46(4): 561-575.
- [20] 聂凤军, 江思宏, 张义, 等. 中蒙边境及邻区斑岩型铜矿床地质特征及成因[J]. *矿床地质*, 2004, 23(2): 176-189.
- Nie F J, Jiang S H, Zhang Y, et al. Geological features and origin of porphyry copper deposits in China-Mongolia border region and its neighboring areas[J]. *Mineral Deposits*, 2004, 23(2): 176-189.
- [21] 王之田, 秦克章. 中国大型铜矿床类型、成矿环境与成矿集中区的潜力[J]. *矿床地质*, 1991, 10(2): 119-130.
- Wang Z T, Qin K Z. Types, Metallogenic environments and potentialities of metallogenic provinces of large copper deposits in China[J]. *Mineral Deposits*, 1991, 10(2): 119-130.
- [22] 朱明帅, Munkhtsengel B, 苗来成, 等. 戈壁天山-北山-天山斑岩型铜(金钼)矿床地质特征与成矿时代对比分析及意义[J]. *中国地质*, 2014, 41(4): 1059-1079.
- Zhu M S, Munkhtsengel B, Miao L C, et al. A comparative analysis of geological characteristics and mineralization epochs of porphyry-type Cu (Au-Mo) deposits in Mongolian Gebi-Tianshan and Chinese Beishan-Tianshan and its significance[J]. *Geology in China*, 2014, 41(4): 1059-1079.
- [23] 刘军, 黄波, 杨涛, 等. 全球超大型斑岩铜矿浅析[J]. *地质与资源*, 2019, 28(4): 345-349, 400.
- Liu J, Huang B, Yang T, et al. Analysis on the super-large porphyry copper deposits in the world[J]. *Geology and Resources*, 2019, 28(4): 345-349, 400.