

李春风, 柳振江, 宓奎峰, 等. 内蒙古八大关斑岩型铜钼矿床形成时代与成因分析[J]. 中国地质, 2014, 41(4): 1253-1269.

Li Chunfeng, Liu Zhenjiang, Mi Kuifeng, et al. Metallogenic age and ore genesis of the Badaguan porphyry copper-molybdenum deposit in Inner Mongolia[J]. Geology in China, 2014, 41(4): 1253-1269(in Chinese with English abstract).

内蒙古八大关斑岩型铜钼矿床形成时代与成因分析

李春风 柳振江 宓奎峰 王建平 刘瑞斌 邹君宇 王忠宝

(中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083)

摘要:八大关铜钼矿床是内蒙古德尔布干成矿带中段的一个典型斑岩型矿床, 绢英岩化、青磐岩化等蚀变分带明显, 矿体呈条带状赋存于印支期石英闪长岩中。笔者通过运用 Re-Os 同位素年代学、元素地球化学以及硫同位素等测试手段, 初步分析了该矿床的成矿过程。辉钼矿 Re-Os 同位素加权平均模式年龄为 (226.7 ± 2.4) Ma, 表明该矿床形成于晚三叠世早期; 元素地球化学分析显示含矿岩体属于中钾含量的钙碱性岩石系列, 为 I 型花岗岩, 产于火山弧构造环境, 具有活动板块边缘的特征, 矿化过程中, 成矿母岩的稀土元素总量逐渐降低, 轻重稀土发生明显分异; 金属硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值介于 $+0.5\text{‰}$ ~ $+4.8\text{‰}$, 具有幔源硫的特征。综合分析认为八大关铜钼矿床形成于晚三叠世, 蒙古-鄂霍茨克洋向南俯冲过程中, 深部岩浆活动带来了大量成矿物质, 洋壳部分熔融侵位到额尔古纳地块之上, 随热液流体迁移的 Cu、Mo 等元素与源自地幔的硫相结合, 最终富集成矿。

关键词:八大关铜钼矿; 辉钼矿 Re-Os 同位素定年; 元素地球化学; 硫同位素; 矿床成因

中图分类号: P587.3; P618.41; P618.65 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2014)04-1253-17

八大关铜钼矿位于内蒙古自治区呼伦贝尔市陈巴尔虎右旗境内, 是大兴安岭西北部德尔布干成矿带中段的一座中型斑岩型铜钼矿床(图 1)。德尔布干成矿带位于中亚造山带东部古亚洲洋成矿域和滨西太平洋成矿域的叠加部位^[1,2], 多年来一直是中国北部矿产资源战略性找矿评价的重要区带^[3,4], 该成矿带上分布有砂宝斯、二十一站等金矿床, 乌努格吐山、太平川、八大关、八八一铜钼矿床, 以及得耳布尔、二道河子、特格乌拉、额仁陶勒盖、甲乌拉、查干布拉根等铅锌银矿床^[5-9]。目前德尔布干成矿带南段的乌努格吐山和北段的太平川铜钼矿床研究程度相对较高, 而作为德尔布干成矿带中段规

模较大的典型斑岩型矿床^[10-12], 八大关铜钼矿床的研究程度还相当薄弱。自 1956 年该矿床被发现以来, 前人对矿区内的岩性、蚀变分带等基本地质特征等做了初步勘查^[13], 并开展了一些流体包裹体、硫同位素^[13,14]、含矿岩体元素地球化学以及锆石 U-Pb 定年^[10]等方面的研究, 认为该矿床是赋存于印支期斑岩体中的中高温斑岩型矿床。

尽管如此, 仍有一些重要的问题尚未解决, 例如钼形成时代的确定, 成矿过程中元素的迁移富集规律、成矿物质来源等。本文在大量野外和室内工作的基础上, 针对八大关铜钼矿各成矿阶段的矿石及围岩开展元素地球化学、硫同位素以及辉钼矿

收稿日期: 2013-12-10; 改回日期: 2014-06-16

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目(2012CB416600)、中国地质调查局地质矿产资源调查评价专项项目(1212011220923)、国家自然科学基金项目(41272106)联合资助。

作者简介: 李春风, 男, 1991 年生, 硕士生, 研究方向为矿床地球化学; E-mail: licf_cugb@163.com。

通讯作者: 柳振江, 男, 1983 年生, 博士, 讲师, 从事矿床学与教学工作; E-mail: lzj@cugb.edu.cn。

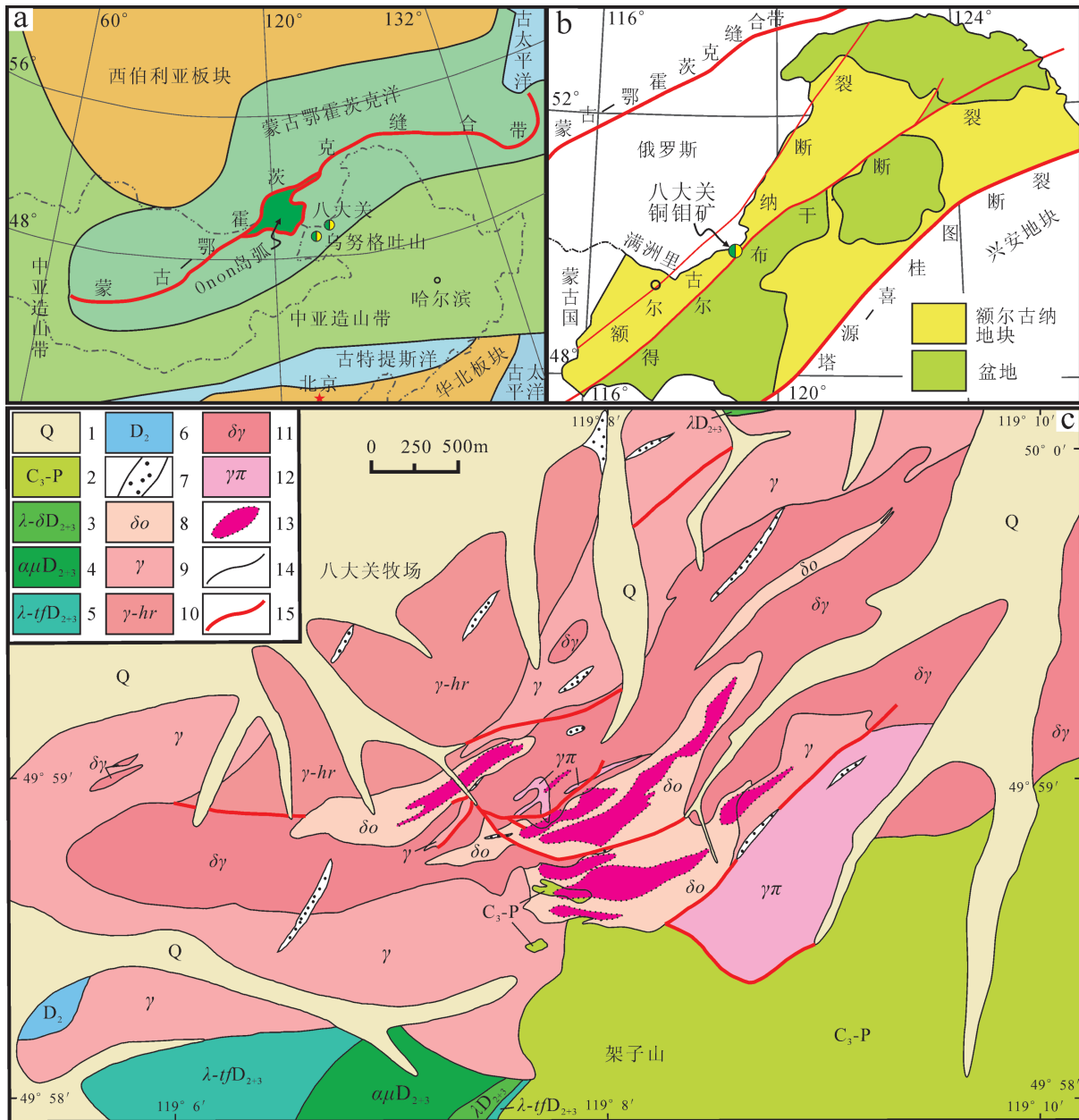


图1 内蒙古八大关铜钼矿床大地构造位置和矿区地质图

a—据文献[17,18]修编;b—据文献[15,19]修编;c—据文献[13]修编

1—Q第四系沉积物;2—中酸性火山岩;3—酸性火山岩;4—安山玢岩;

5—流纹质凝灰岩;6—斜长角闪片岩;7—脉岩;8—石英闪长岩;9—花岗岩、碎裂花岗岩;

10—片麻状花岗岩;11—花岗闪长岩;12—花岗斑岩;13—主要含矿体蚀变带;14—地质界线;15—断层

Fig. 1 Geotectonic position and geological map of the Badaguan copper-molybdenum deposit in Inner Mongolia

a—modified after References [17,18]; b—modified after References [15,19]; c—modified after Reference [13]

1—Quaternary sediments; 2—Intermediate-acidic volcanic lava; 3—Acidic volcanic lava; 4—Andesitic porphyrite; 5—Rhyolitic tuff; 6—Plagioclase-amphibolite schist; 7—Dike; 8—Quartz diorite; 9—Granite, shattered granite; 10—Granitic contaminated rock; 11—Granodiorite; 12—Granite porphyry;

13—Main alteration zone containing orebodies; 14—Geological boundary; 15—Fault

Re-Os 同位素年代学等研究工作,结合大地构造演化及区域成矿过程,分析八大关铜铅矿的成矿元素迁移过程、成矿物质来源以及成矿时代。这对于进一步解释八大关铜铅矿床的成矿机制乃至认识德尔布干成矿带的成矿规律有着重要的研究意义,同时也会对区域找矿勘查工作提供理论指导。

1 区域地质背景

八大关铜铅矿床在大地构造位置上位于西伯利亚板块南缘的蒙古—鄂霍茨克缝合带以南的外贝加尔褶皱系和大兴安岭褶皱系衔接带处(图1-a),处于额尔古纳地块的西北部(图1-b)。额尔古纳地块位于大兴安岭北部,是中亚造山带东部的重要组成部分^[15],塔源—喜桂图断裂和蒙古—鄂霍茨克缝合带分别为其东南和西北边界。该区在中生代之前属古亚洲洋构造域,中生代以来逐渐转变为滨太平洋构造域,经历了多期的碰撞拼合过程^[16]。区内地层发育较完全,断裂构造复杂,岩浆活动频繁,经历了多期成矿作用^[10,16]。

1.1 地层

区域内地层主要出露上古生界、中生界和新生界(图1-c)。上古生界地层有中上泥盆统(D₂₊₃)大民山组,岩性为斜长角闪片岩、安山玢岩和酸性火山岩,主要分布于矿区西南部,在矿区北部也有零星出露;石炭—二叠系(C-P)主要为中酸性火山岩,与下伏地层呈不整合接触,主要分布于矿区东南部,岩石普遍遭受区域变质、接触变质和热液蚀变等,片理化和青磐岩化较为明显,与这一时代强烈的岩浆活动密切相关。中生界主要由火山岩系组成,岩性组合主要为火山角砾岩、英安岩夹凝灰岩和流纹岩、流纹斑岩组成,但在矿区范围内未见出露。新生界主要为古近—新近纪的风成砂和第四纪冲积物和坡积物,第四纪沉积物广泛分布于矿区西部、北部和东部。

1.2 岩浆岩

区内岩浆活动在海西中晚期、印支期和燕山期均有发育,岩体侵入到上古生界和中生界中,其中以海西期和印支期侵入岩分布最为广泛^[10]。

海西中晚期的中酸性岩浆岩大量侵入到上古生界的中泥盆统和石炭—二叠系中,岩性主要为中酸性岩浆岩^[13],包括花岗斑岩、片麻状花岗岩、花岗

质混合岩、花岗岩等,其中超浅成花岗斑岩侵位最早,后期的变质变形现象强烈。

印支期侵入岩有花岗闪长岩、花岗斑岩、石英闪长斑岩以及后期的闪长玢岩等脉岩,侵入到中生界中。其中石英闪长斑岩形成较晚,大量侵入到早期的花岗斑岩和花岗闪长岩中,之后形成了石英脉、闪长玢岩等一系列脉岩。矿区内脉岩主要呈NNE、NE和近EW向分布,与区内构造线方向相一致。石英闪长斑岩与八大关铜铅矿的形成关系密切,自变质和热液蚀变现象十分发育,主要位于矿区中部,呈NE向的条带状展布(图1-c)。

1.3 构造

额尔古纳地块在中亚造山带的形成过程中经历了复杂的构造演化。八大关地区也经历了多期构造作用的叠加,构造格局相对复杂。在早中生代以前主要受西伯利亚板块和华北板块南北向挤压的影响,中生代以后受太平洋板块向欧亚大陆东部俯冲作用而形成了一系列NE、NNE向和NW向的格子状断裂^[20],并伴有褶皱形成。

褶皱方向主要为NE向,由于燕山构造活化作用的影响而受到不同程度的改造和破坏,局部褶皱轴方向转变为近NW向^[9]。区内断裂构造极为发育,以NE和近EW向为主^[19],主要为德尔布干深大断裂和额尔古纳断裂(图1-b),以及位于北部的哈尼沟和南部木哈尔NW向的张扭性断裂带。额尔古纳断裂经呼伦湖西缘向北沿额尔古纳河延伸,总体呈NNE向展布,来自地层^[15,21,22]、锆石U-Pb测年^[23]的证据表明该断裂可能形成于侏罗纪,对八大关铜铅矿起到一定的后期改造作用。德尔布干深大断裂是蒙古境内中蒙古深断裂向东延伸的断裂,经呼伦湖东缘向北东延伸至盘古镇一带^[24,25],该断裂呈NE向展布、SE向倾斜,切割深度为下地壳^[26]。

2 矿床地质特征

八大关斑岩型铜铅矿床具有绢英岩化、青磐岩化等典型斑岩型矿床的蚀变特征,但地质特征相对复杂,后期岩浆—构造活动较为强烈,矿体形态和矿石结构均受到不同程度的改造。

2.1 矿体特征

八大关铜铅矿的矿体形态简单,主要为条带状,与条带状蚀变带关系密切,主要分布于石英—绢

云母化带中(图1-c)^[13]。矿体走向NEE,主要倾向NWW,受NE向断裂控制明显,规模中等。矿体分为伴生钼矿的铜矿体和伴生铜矿的钼矿体,两种矿体主要产于印支期的石英闪长岩和围岩的内接触带中。上部矿体比下部矿体铜矿化程度高,而钼矿化程度较低^[13]。该矿床矿化特征主要为细脉浸染状,此外还有稠密浸染状、块状、条带状、星点状矿化。矿体多受后期的岩脉或断裂切割,连续性较差。

2.2 矿石特征

矿石的矿物组成相对简单,其中矿石矿物主要为:黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿(图2)、辉铜矿,还含有少量的方铅矿、闪锌矿及磁铁矿等,次生矿物有褐铁矿、孔雀石、蓝铜矿及黝铜矿等。脉石矿物主要为石英、斜长石、钾长石、黑云母、方解石及萤石等,还含有少量的磷灰石和锆石等。

矿石中矿石矿物的结构主要为中细粒结构,矿物颗粒大小0.1~4 mm,一般为0.5~2 mm,可见晶粒状结构、交代残余结构、碎裂结构、挠曲结构等,脉石矿物结构多为中细粒半自形-他形结构,个别长石可为粗粒结构,云母的挠曲变形结构明显。矿石构造主要为细脉浸染状、浸染状、细脉状构造,部分为星点状、稠密浸染状、块状构造(图2)。此外还可见强烈的变形构造(图2-e、f),反映了成矿后复杂的构造作用。

2.3 围岩蚀变和成矿期次划分

八大关铜钼矿床的围岩蚀变分带较为明显,包括石英绢云母化带、千枚状石英绢云母化带、过渡带、青磐岩化带等4个蚀变带。其中,石英绢云母化带是主要的赋矿带,矿体多分布于此蚀变带中,岩性主要为绢云母石英岩,绢云母为该蚀变带的标型蚀变矿物。千枚状石英绢云母化带主要由石英绢云母片岩组成,赋存有少量的矿体,主要蚀变矿物为绢云母和石英、黑云母、绿帘石等。青磐岩化带主要蚀变矿物为绿泥石,还有一部分绿帘石、方解石等,该蚀变带中未见矿体^[13],过渡带是介于千枚状石英绢云母化带和青磐岩化带之间的蚀变带。

根据八大关铜钼矿床中矿物的共生组合、矿石组构以及脉体相互穿插关系,可以将成矿过程分为岩浆热液期和表生期。岩浆热液期可以初步划分为早、中、晚3个阶段,成矿早阶段为岩体侵入后的

热液活动初期,成矿温度较高,形成的矿石矿物为磁铁矿、少量的黄铁矿,以及石英等脉石矿物;中段形成了大量的黄铜矿和辉钼矿,此外还有一些黄铁矿、石英等;成矿晚阶段形成了闪锌矿、方解石及萤石等低温矿物。表生期主要为表生氧化阶段,主要是成矿后在外界风化淋滤条件下,形成了一系列氧化矿物,如褐铁矿、孔雀石、蓝铜矿及黝铜矿等。

3 样品测试与结果分析

为了全面了解八大关铜钼矿床的地球化学特征,本次研究在野外和室内详细观察的基础上,对该矿床中10件含矿岩体和矿石样品做元素地球化学的测试分析,其中12-BDG-2、12-BDG-3、12-BDG-6、12-BDG-10为含矿岩体,12-BDG-1、12-BDG-14为蚀变的岩体,12-BDG-4、12-BDG-5、12-BDG-8、12-BDG-12为黄铁矿化的矿石样品。另外对4件黄铁矿单矿物样品做了硫同位素组成分析,对2件辉钼矿样品进行了Re-Os同位素定年等测试。

3.1 主微量元素

含矿岩体的主微量元素的测试分析在澳实分析检测(广州)有限公司澳实矿物实验室完成。结合样品的不同特点,12-BDG-6、12-BDG-10、12-BDG-14 3件样品的全岩主量元素分析采用使用硼酸锂/偏硼酸锂熔融,X射线-荧光光谱法(方法代码:ME-XRF06),报告13种构岩元素及烧失量(LOI),检测元素并换算成氧化物,实验室使用QC样控制每个元素的数据质量,氧化物的检测限为1%~100%,结果中Fe₂O₃指全铁含量,FeO单独分析,使用酸消解、重铬酸钾滴定测量;微量元素分析采用硼酸锂熔融、等离子质谱定量(方法代码:ME-MS82)和四酸消解,质谱/光谱仪综合分析(方法代码:ME-MS61)方法。其余7件样品的主、微量元素采用偏硼酸锂-焦硼酸锂-硝酸钠熔融,X荧光光谱定量法(方法代码:ME-XRF15bg)和硼酸锂熔融、等离子质谱定量法(方法代码:ME-MS81)分析。

主量元素分析结果见表1。从中可以看出,除12-BDG-6岩石样品外,含矿斑岩整体上具有较高SiO₂(67.15%~71.91%)、Al₂O₃(13.28%~17.07%)和低MgO(0.51%~0.92%)的特征,FeO⁺和CaO含量分别为2.44%~3.94%和0.36%~2.78%,而K₂O和Na₂O的

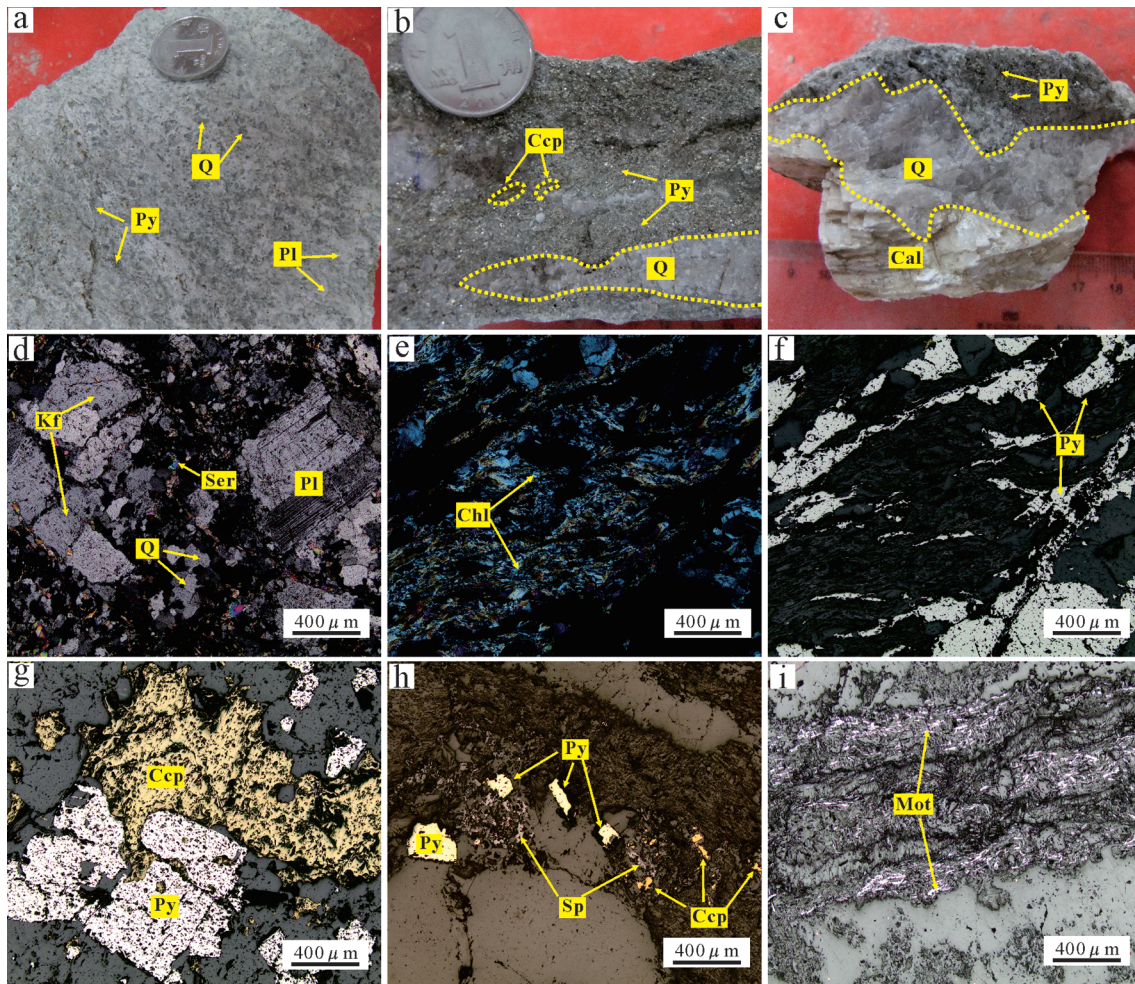


图2 八大关铜钼矿床中矿石手标本和镜下照片

a—蚀变石英闪长岩;b—黄铁矿、黄铜矿矿石;c—成矿后期含石英、方解石的黄铁矿矿石;d—石英闪长岩(正交偏光);e—剪切变形的绿泥石呈书斜状分布(正交偏光);f—剪切变形的绿泥石中夹有定向拉长的黄铁矿;g—黄铜矿穿插早期黄铁矿;h—一条带状分布的黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿;i—挠曲变形的辉钼矿细脉

Q—石英;Pl—斜长石;Cal—方解石;Kf—钾长石;Ser—绢云母;Chl—绿泥石;Py—黄铁矿;Ccp—黄铜矿;Sp—闪锌矿;Mot—辉钼矿

Fig.2 Hand specimen and microscopic photos of ores from the Badaguan copper-molybdenum deposit

a—Altered quartz diorite; b—Pyrite, chalcopyrite ores; c—Ore-containing quartz, calcite and pyrite formed at the late mineralization stage; d—Quartz diorite (crossed nicols); e—Shear deformed chlorite distributed diagonally like books (crossed nicols); f—Elongated pyrite distributed directionally among the shear deformed chlorite; g—Chalcopyrite cutting early pyrite; h—Banded pyrite, sphalerite, chalcopyrite; i—Flexural deformation of molybdenite vein

Q—Quartz; Pl—Plagioclase; Cal—Calcite; Kf—Potash feldspar; Ser—Sericite; Chl—Chlorite; Py—Pyrite; Ccp—Chalcopyrite; Sp—Sphalerite; Mot—Molybdenite

含量变化较大。里特曼指数均小于3。在ANOR-Q图解上(图3),大多数含矿岩石样品落在花岗闪长岩区域内,并有向英云闪长岩过渡的趋势,2个矿化蚀变较强的样品(12-BDG-10、12-BDG-14)落在二长花岗岩区域及其外部。含矿岩体整体上属于中钾含量的钙碱性岩石系列,又称为正常太平洋

型,个别岩体钾含量较高,属于高钾钙碱性系列或橄榄粗玄系列(图4)。

八大关各类岩石、矿石样品的稀土元素和微量元素分析结果见表2。从本文的测试结果来看,样品中稀土元素(REE)的组成均具有相对富集轻稀土(LREE)而亏损重稀土(HREE)的特点(图5-a),

表1 八大关铜钼矿主量元素分析结果(%)

Table 1 Major element (%) analyses of rocks from the Badaguan porphyry ore deposit

样品号	12-BDG-6	12-BDG-10	12-BDG-14	09BDG-1*	09BDG-2*	09BDG-3*	09BDG-4*
SiO ₂	57.79	71.91	67.15	69.36	68.58	68.18	68.45
Al ₂ O ₃	14.31	13.28	17.07	15.13	15.41	15.68	15.6
Fe ₂ O ₃	5.19	4.02	2.67	2.26	2.59	2.45	2.34
FeO	3.12	0.32	0.38	0.41	0.49	0.58	0.52
CaO	6.47	0.36	1.53	2.55	2.44	2.36	2.78
MgO	2.28	0.51	0.73	0.82	0.87	0.61	0.92
K ₂ O	1.7	4.2	5.2	1.58	2.15	1.52	1.49
Na ₂ O	2.94	0.19	0.33	5.01	4.16	5.34	4.87
TiO ₂	1.51	0.33	0.47	0.36	0.39	0.37	0.41
P ₂ O ₅	0.503	0.146	0.185	0.14	0.17	0.15	0.13
MnO	0.16	<0.01	0.04	0.04	0.04	0.08	0.05
LOI	3.02	4.15	4.1	2.06	2.62	2.32	2.33
Total	98.99	99.42	99.86	99.72	99.9	99.63	99.91
DI	54.67	81.11	76.44	80.8	79.35	81.11	78.83
SI	15.21	5.67	7.97	8.23	8.6	5.88	9.18
AR	1.57	1.95	1.85	2.19	2.09	2.23	2.06
σ43	1.42	0.66	1.25	1.62	1.53	1.84	1.56

注：*所标示数据自文献[10]；DI—分异指数；SI—固结指数；AR—碱度率；σ43—里特曼指数。

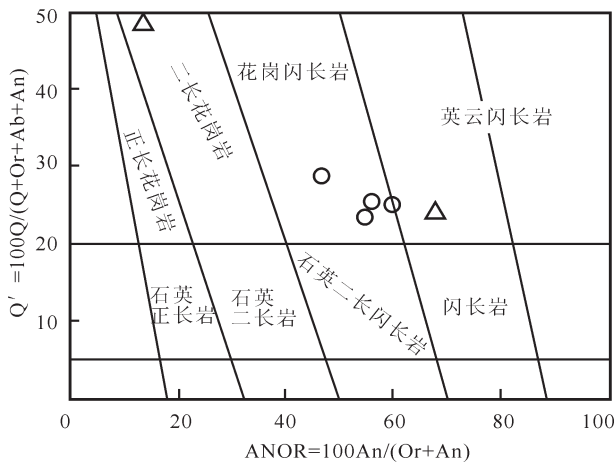


图3 八大关铜钼矿床侵入岩 ANOR-Q'图解
(数据自表1,三角数据为本文所测,圆点数据自文献[10],下同;底图据文献[27])

Fig.3 ANOR-Q' diagram of intrusives in the Badaguan copper-molybdenum deposit

(data from Table 2, triangle data from this paper, and dot data from Reference [10], the same hereinafter; base map after Reference [27])

LREE 值介于 $20.18 \times 10^{-6} \sim 209.20 \times 10^{-6}$, 平均值为 87.50×10^{-6} , HREE 值介于 $1.00 \times 10^{-6} \sim 28.50 \times 10^{-6}$, 平均值为 8.26×10^{-6} , LREE/HREE 值介于 $5.12 \times 10^{-6} \sim 22.06 \times 10^{-6}$, 平均值 13.29×10^{-6} , La/Sm 介于 4.69~10.00, La_N/Yb_N 介于 6.52~46.69, 反映了 LREE 较为富集而 HREE 亏损的特征, 轻重稀土分异明显, 并且在矿化过程中有逐渐增加的趋势, $\delta \text{Eu} = 0.70 \sim 1.14$ (平均 0.94), $\delta \text{Ce} = 0.96 \sim 1.03$ (平均 1.01)。石英闪长岩除 1 件蚀变强烈的样品外, 均具有较高的稀土

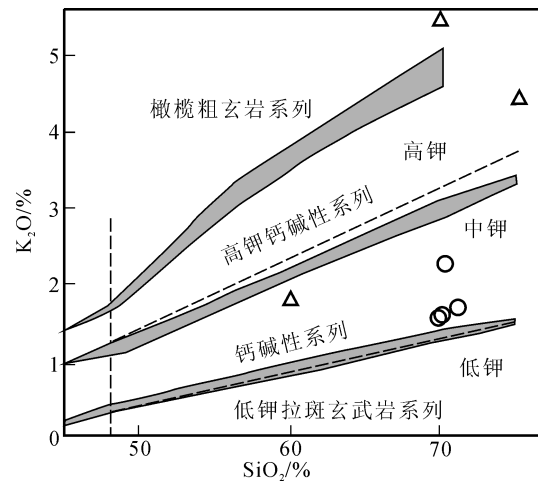


图4 八大关铜钼矿床侵入岩 SiO₂-K₂O 图解
(底图据文献[28])

Fig. 4 SiO₂-K₂O diagram of intrusives in the Badaguan copper-molybdenum deposit
(Base map after Reference [28])

总量 ($\Sigma \text{REE}: 38.20 \times 10^{-6} \sim 237.70 \times 10^{-6}$, 平均值为 121.57×10^{-6}), 蚀变岩体中稀土元素总量稍有降低 ($\Sigma \text{REE}: 81.13 \times 10^{-6} \sim 113.50 \times 10^{-6}$, 平均值为 97.32×10^{-6}), 黄铁矿化的矿石中稀土元素含量最少 ($\Sigma \text{REE}: 21.18 \times 10^{-6} \sim 144.36 \times 10^{-6}$, 平均值为 69.19×10^{-6})。微量元素蛛网图(图 5-b)曲线形态的“峰”、“槽”特征相似, 随着矿化的进行, Pb、Hf、Sm 和易迁移的大离子亲石元素 (Ba、K、Sr) 逐渐富集, 而 U、Eu 和性质稳定的高场强元素 (Nb、Zr、Th) 逐渐亏损。

3.2 硫同位素

八大关铜钼矿床中的黄铁矿样品的硫同位素

表2 八大关矿床稀土、微量元素分析结果(10^{-6})
Table 2 Chemical analytical data and characteristic ratios of trace and rare earth elements (10^{-6}) of various kinds of rocks from the Badaguan porphyry ore deposit

分析项目	含铜斑岩													
	12-BDG-4	12-BDG-5	12-BDG-8	12-BDG-12	12-BDG-6	12-BDG-10	12-BDG-14	12-BDG-1	12-BDG-2	12-BDG-3	09BDG-1*	09BDG-2*	09BDG-3*	09BDG-3*
La	12.90	9.20	35.80	5.50	43.90	19.90	24.10	18.70	54.30	17.60	31.50	20.60	21.00	
Ce	26.10	18.30	68.40	9.80	95.90	39.90	48.90	36.80	57.50	17.60	61.10	39.90	42.10	
Pr	2.88	1.91	6.48	0.96	11.20	4.40	5.40	3.69	5.36	1.72	7.25	4.97	5.22	
Nd	11.50	7.30	22.40	3.20	46.70	16.70	20.70	13.30	19.40	6.20	25.40	18.20	19.10	
Sm	2.75	1.51	3.80	0.55	9.20	3.00	4.00	2.53	3.62	1.14	4.64	3.62	3.78	
Eu	1.10	0.51	1.22	0.17	2.30	0.90	1.00	0.64	0.75	0.23	1.03	0.99	0.97	
Gd	3.16	1.31	2.54	0.32	8.60	2.30	3.20	1.83	2.72	0.73	3.46	2.90	2.93	
Tb	0.55	0.21	0.34	0.06	1.30	0.30	0.50	0.27	0.37	0.11	0.47	0.42	0.42	
Dy	3.20	1.10	1.65	0.23	7.50	1.60	2.23	1.39	2.09	0.49	2.22	2.23	2.18	
Ho	0.63	0.23	0.30	0.05	1.50	0.30	0.50	0.27	0.43	0.11	0.42	0.41	0.42	
Er	1.77	0.61	0.70	0.15	4.30	0.80	1.20	0.77	1.18	0.29	1.08	1.13	1.12	
Tm	0.24	0.09	0.10	0.03	0.60	0.10	0.20	0.13	0.18	0.05	0.17	0.17	0.17	
Yb	1.42	0.47	0.55	0.14	4.10	0.80	1.20	0.69	1.18	0.29	1.12	1.11	1.16	
Lu	0.20	0.07	0.08	0.02	0.60	0.10	0.20	0.12	0.19	0.04	0.17	0.18	0.18	
Y	19.00	7.00	9.50	2.00	40.50	8.60	13.00	8.50	13.00	3.70	11.50	11.80	12.10	
ΣREE	68.40	42.82	144.36	21.18	237.70	91.10	113.50	81.13	119.27	38.20	140.03	96.82	100.75	
LREE	57.23	38.73	138.10	20.18	209.20	84.80	104.10	75.66	110.93	36.09	130.92	88.28	92.17	
HREE	11.17	4.09	6.26	1.00	28.50	6.30	9.40	5.47	8.34	2.11	9.11	8.54	8.58	
LREE/HREE	5.12	9.47	22.06	20.18	7.34	13.46	11.07	13.83	13.30	17.10	14.37	10.34	10.74	
La _n /Yb _n	6.52	14.04	46.69	28.18	7.68	17.84	14.41	19.44	16.72	22.76	20.17	13.31	12.99	
δEu	1.04	1.08	1.13	1.14	0.78	1.01	0.83	0.87	0.70	0.72	0.75	0.90	0.86	
δCe	1.01	1.01	1.02	0.96	1.03	1.00	1.01	1.02	1.03	1.01	0.95	0.94	0.96	
Ba	116.50	116.50	64.70	23.10	240.00	470.00	820.00	637.00	601.00	230.00	339.00	442.00	300.00	
Co	100.00	100.00	100.00	100.00	23.70	4.90	4.50	<100.00	<100.00	<100.00	—	—	—	
Cr	10.00	<10.00	<10.00	<10.00	19.00	1.00	2.00	10.00	10.00	<10.00	—	—	—	
Cs	0.80	0.57	0.29	0.19	8.21	2.48	3.22	2.34	3.17	1.06	—	—	—	
Ga	9.90	4.80	3.40	4.80	21.00	19.00	24.30	11.80	17.60	6.60	16.60	18.80	25.70	
Hf	1.00	0.60	0.30	0.20	1.40	0.60	0.80	3.00	3.90	1.40	4.07	4.83	4.08	
Nb	2.10	1.00	2.00	1.20	14.20	4.90	7.50	5.40	6.50	3.80	6.70	7.60	8.00	
Ni	10.00	50.00	40.00	80.00	13.00	1.00	1.00	20.00	40.00	50.00	—	—	—	
Pb	60.00	320.00	80.00	160.00	21.00	9.00	14.00	<50.00	60.00	130.00	13.00	14.00	16.00	
Rb	24.40	16.40	11.00	5.70	51.90	96.90	124.00	62.70	86.80	32.40	46.60	60.70	37.20	
Sb	50.00	<50.00	<50.00	80.00	3.21	0.95	0.80	60.00	<50.00	<50.00	—	—	—	
Sc	—	—	—	—	19.40	3.70	5.00	—	—	—	—	—	—	
Se	—	—	—	—	4.00	3.00	2.00	—	—	—	—	—	—	
Sn	17.00	10.00	4.00	9.00	3.00	8.00	4.00	3.00	7.00	4.00	—	—	—	
Sr	45.60	65.50	91.30	195.50	739.00	52.80	147.00	335.00	246.00	46.20	621.00	550.00	1378.00	
Ta	0.10	<0.10	<0.10	<0.10	0.75	0.30	0.44	0.30	0.40	2.20	0.46	0.55	0.70	
Th	1.50	0.70	0.68	0.61	3.91	3.90	5.00	3.44	4.90	1.73	5.82	4.70	5.76	
Tl	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	0.50	0.64	0.81	<0.50	<0.50	<0.50	—	—	—	
U	2.06	0.81	3.45	2.08	2.80	1.51	1.82	0.77	1.38	0.42	—	2.16	2.00	
V	41.00	23.00	34.00	17.00	100.00	31.00	35.00	40.00	78.00	41.00	—	—	—	
W	11.00	5.00	28.00	73.00	1.50	14.80	8.00	10.00	15.00	33.00	—	—	—	
Zr	32.00	20.00	11.00	7.00	60.00	15.00	18.00	103.00	132.00	51.00	141.00	169.00	141.00	
Hf/Sm	0.36	0.40	0.08	0.36	0.15	0.20	0.20	1.19	1.08	1.23	0.88	1.33	1.08	
Nb/La	0.16	0.11	0.06	0.22	0.32	0.25	0.31	0.29	0.24	0.41	0.21	0.37	0.38	
Th/La	0.12	0.08	0.02	0.11	0.09	0.20	0.21	0.18	0.18	0.19	0.18	0.23	0.27	

注:带*的样品数据自文献[10],其余样品均为本次测试;“—”表示未检出,计算中低于检出限的数值取最大值。

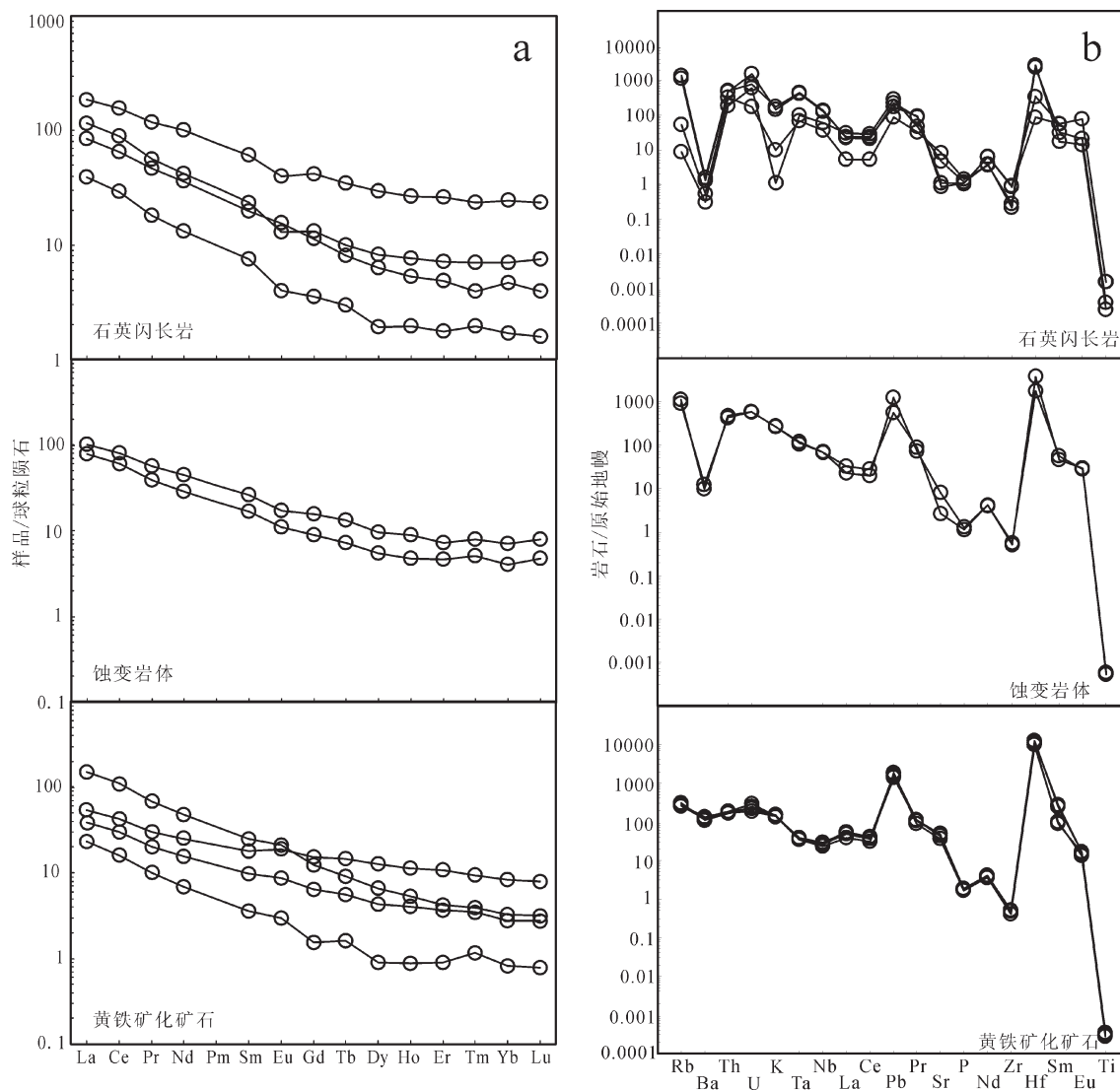


图5 八大关铜钼矿床中岩体、黄铁矿化矿石稀土元素球粒陨石标准化配分图(a)和微量元素原始地幔标准化蛛网图(b)
(球粒陨石标准化值和原始地幔标准化值据文献[29])

Fig. 5 Chondrite-normalized REE patterns (a) and preliminary mantle-normalized trace element patterns (b) of rocks and pyritized ores from the Badaguan copper-molybdenite deposit
(chondrite values and primitive mantle values after Reference [29])

测试在核工业北京地质研究院分析测试研究中心完成,采用仪器 Delta v plus, 仪器编号 10056, 测试方法参照相关行业标准^①, 测量结果以 CDT 为标准, 记为 $\delta^{34}\text{S}$, 分析精度优于 $\pm 0.2\text{‰}$ 。

硫是成矿热液中最主要的矿化剂, 是矿床成因和成矿物理化学条件的指示剂^[30]。本次测试的 4 件黄铁矿硫同位素组成见表 3, 可以看出, 这 4 件样品

的 $\delta^{34}\text{S}$ 值比较集中, 介于 $+2.3\text{‰} \sim +3\text{‰}$, 平均值为 $+2.65\text{‰}$ 。这与前人^[13,14]测得数据范围一致, 综合前人的黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿等多种金属硫化物的测试数据来看, 八大关矿床的硫同位素 ($\delta^{34}\text{S}$) 相对集中, 为 $+0.5\text{‰} \sim +4.8\text{‰}$, 在频率分布直方图上基本呈塔式分布(图 6), 主要集中于 $+1\text{‰} \sim +3\text{‰}$, 具有幔源硫^[31-33]的特征。

① DZ/T 0184.14-1997 《硫化物中硫同位素组成的测定》[S].

表3 八大关铜钼矿硫同位素组成
Table 3 Sulfur isotopic compositions of the Badaguan copper-molybdenite deposit

序号	样品号	样品数/个	矿物	$\delta^{34}\text{S}/\text{‰}$
1	12-BDG-1	1	黄铁矿	2.3
2	12-BDG-4	1	黄铁矿	2.6
3	12-BDG-8	1	黄铁矿	2.7
4	12-BDG-12	1	黄铁矿	3
5	关 7S2	1	黄铁矿	2.6
6	关 7S3	1	黄铁矿	0.5
7	关 7S4	1	黄铁矿	1.9
8	关 7S5	1	黄铁矿	1.9
9	关 7S6	1	黄铁矿	1.2
10	关 7S7	1	黄铁矿	2.2
11	关 7S8	1	黄铁矿	1.6
12	关 7S13	1	黄铁矿	1.1
13	关 7S14	1	黄铁矿	2.6
14	关 15S15	1	黄铁矿	2.6
15	关 15S16	1	黄铁矿	3
16	关 15S17	1	黄铁矿	1.6
17	关 15S18	1	黄铁矿	1.9
18	关 15S19	1	黄铁矿	1.8
19	关 15S20	1	黄铁矿	1.9
20	关 7S9-1	1	黄铁矿	1.5
21	关 7S9-3	1	黄铁矿	1.1
22	关 7S9-2	1	辉钼矿	2.6
23	关 7S10-2	1	黄铜矿	2.7
24		13	黄铁矿	+0.5~+4.8
25		1	黄铜矿	1.1
26		1	辉钼矿	1.5

注:序号 1~4 为本文测试数据;5~23 数据自文献[13];24~26 数据自文献[14]。

3.3 辉钼矿 Re-Os 同位素测年

辉钼矿的铼锇同位素测年在国家地质实验测试中心完成,采用美国 TJA 公司生产的电感耦合等离子体质谱仪 TJA X-series ICP-MS 测定同位素比值。对于 Re-Os 含量很低的样品采用美国热电公司(Thermo Fisher Scientific)生产的高分辨电感耦合等离子体质谱仪 HR-ICP-MS Element 2 进行测量。具体测试方法参照文献[34-36]。

辉钼矿的 Re-Os 同位素分析表明,八大关铜钼

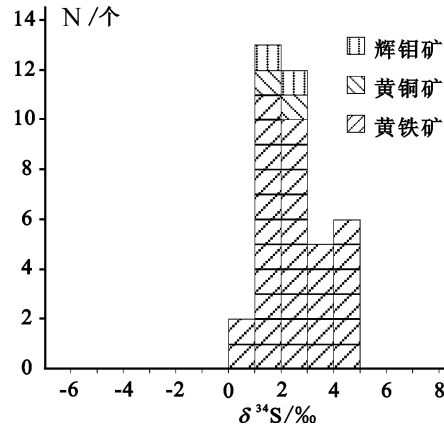


图6 八大关铜钼矿床中硫同位素频率分布直方图
Fig. 6 Histogram of sulfur isotope frequency distribution of the Badaguan porphyry deposit

矿床的 2 件辉钼矿样品的模式年龄为(226.8±3.9) Ma 和(226.6±3.2) Ma(表 4), 两者的加权平均模式年龄为(226.7±2.4) Ma(图 7)(置信区间 95%)。本文所测 2 件辉钼矿样品均采自未见强烈变形或后期热液蚀变矿化叠加的部位,辉钼矿呈片状、放射状集合体产出,故该辉钼矿 Re-Os 加权平均模式年龄((226.7±2.4) Ma)可以代表八大关矿床的成矿年龄,即该矿床形成于晚三叠世初期。

4 成矿机制讨论

4.1 成矿时代和构造背景

从元素地球化学特征来看,八大关铜钼矿床的含矿岩体属于 I 型花岗岩(图 8-a), 与前人的结论一致^[37], 具有俯冲消减板块边缘花岗岩的特征(图 8-b) 并有向同碰撞花岗岩和幔源花岗岩过渡的趋势。另外 Rb-(Y+Nb) 和 Rb-(Yb+Ta) 判别图解(图 8-c、d) 反映其主要为火山弧环境下的花岗岩。较高的 Re 含量也反映了板块边界洋壳俯冲的背景^[38]。来自成矿斑岩 Sr-Nd 同位素数据和微量元素地球化学特征表明其可能为陆缘弧环境下,俯冲洋

表4 内蒙八大关钼矿床中辉钼矿 Re-Os 同位素数据
Table 4 Analytical result of Re-Os isotopes of molybdenite from the Badaguan porphyry deposit

样品编号	样重/g	Re/10 ⁻⁶		普 Os/10 ⁻⁹		¹⁸⁷ Re/10 ⁻⁶		¹⁸⁷ Os/10 ⁻⁹		模式年龄/Ma	
		测定值	2σ	测定值	2σ	测定值	2σ	测定值	2σ	测定值	2σ
12-BDG-1	0.00355	355.2	4.7	0.0764	0.0857	223.3	2.9	845.2	6.7	226.8	3.9
12-BDG-2	0.00303	211.3	1.6	0.0885	0.1984	132.8	1.0	502.2	4.5	226.6	3.2

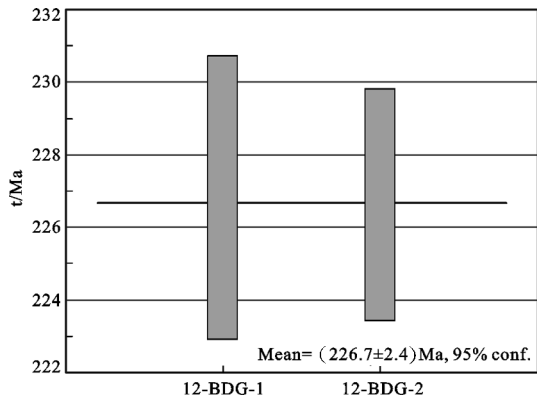


图7 八大关铜钼矿床辉钼矿 Re-Os 模式年龄加权平均值
Fig.7 Re-Os weighted mean age of molybdenite from the Badagan copper-molybdenite deposit

壳部分熔融并夹带俯冲洋壳上沉积物而形成的埃达克岩^[10]。

八大关铜钼矿床的含矿岩体形成于晚三叠世 ((229.6±2.0) Ma)^[10], 与八大关铜钼矿的形成年龄 ((226.7±2.4) Ma) 相近, 矿化作用发生于岩浆侵位稍后的时期。赵一鸣和张德全^[11]测得该石英闪长岩的 K-Ar 年龄 (166 Ma) 和李廷栋^[42]测得更早侵位的花岗岩的绝对年龄 (95~105 Ma) 均小于八大关铜钼矿的形成时代, 这可能与石英闪长岩遭受后期构造、热液蚀变作用有关, 代表了后期某一次的热变质事件的年龄, 不能真实反映石英闪长岩的侵位年龄。

故八大关铜钼矿的形成时间应为 (226.7±2.4) Ma, 这一时期区域上的构造背景是蒙古-鄂霍次克洋的俯冲和闭合。早中生代是蒙古-鄂霍次克洋俯冲、消减, 最终碰撞闭合并向太平洋构造域转换的关键时期^[43], 在三叠纪以及其后蒙古-鄂霍次克洋存在向中-蒙联合板块方向的俯冲^[44-48]。此时该

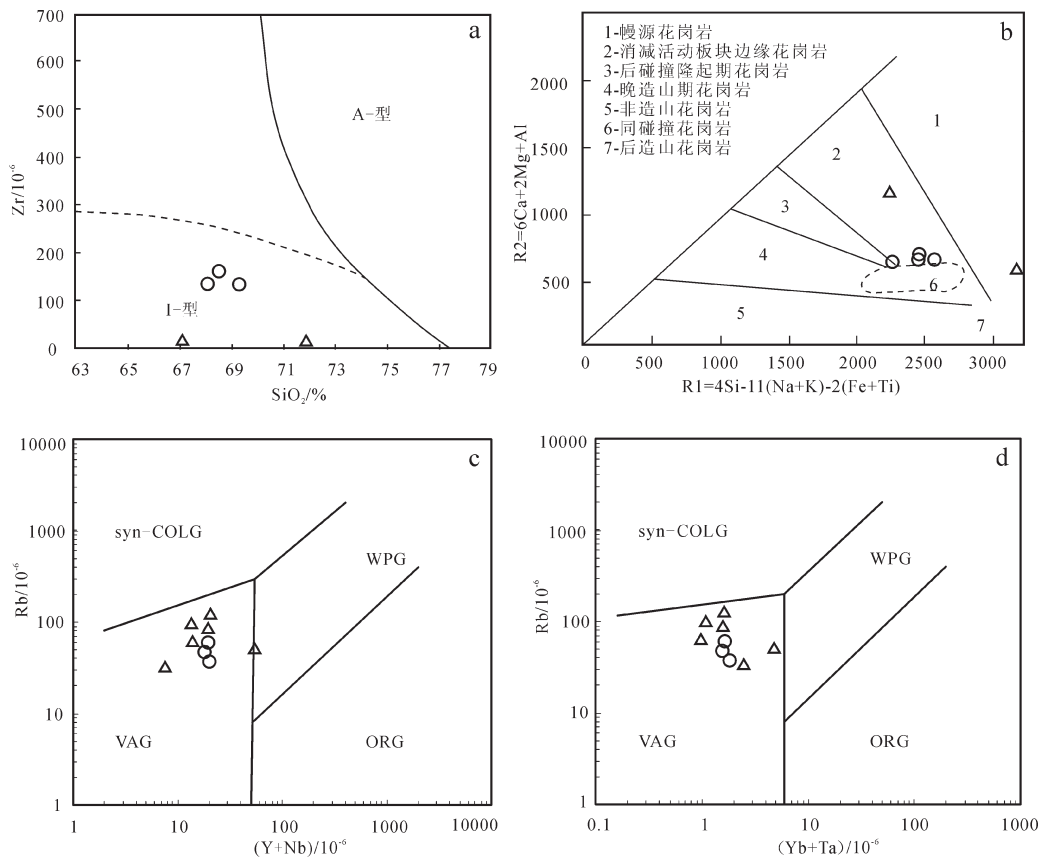


图8 A型与I型花岗岩的SiO₂-Zr判别图解(a, 底图据文献[39]); R1-R2构造判别图解(b, 底图据文献[40]); 花岗岩的(Y+Nb)-Rb构造判别图解(c, 底图据文献[41]); 花岗岩的(Yb+Ta)-Rb判别图解(d, 底图据文献[41])

Fig. 8 Zr-SiO₂ discrimination diagrams of A-type and I-type granites (a, base map after Reference [39]); R1-R2 tectonic discrimination diagrams (b, base map after Reference [40]); Rb-(Y+Nb) tectonic discrimination diagrams of granite (c, base map after Reference [41]); Rb-(Yb+Ta) discrimination diagram of granite (d, base map after Reference [41])

矿床所处的额尔古纳地块属于活动陆缘^[49],与早期的含矿花岗岩的火山岛弧型构造环境相协调。从成岩年代和元素组成特征来看,八大关铜钼矿的石英闪长岩等含矿斑岩应该是晚三叠早期((229±2.0) Ma)蒙古—鄂霍次克洋由北向南俯冲过程中,在额尔古纳地块上的岛弧环境下形成的。

八大关铜钼矿的主要控矿和导矿构造应为德尔布干断裂或其次级断裂。关于德尔布干断裂的形成时间前人有诸多争论^[24,42,50-52],但总体认为在前中生代(该矿床形成之前)已经形成。前人通过断裂带中的Ar-Ar年龄或未变形的侵入岩中锆石年龄等^[53],认为形成年代为J—K。但由于Ar-Ar测年结果不能准确反映变形温度高于所测矿物封闭温度时的年龄,并且德尔布干断裂具有继承性和长期活动的特征^[24],较年轻的年龄可能仅反映了该断裂近期的一次活动的时间,故其应于前中生代形成。

德尔布干断裂在中生代又强烈活动,控制了这一时期的火山喷发、岩浆侵入和铜多金属成矿作用^[9],在蒙古鄂霍次克洋板块的俯冲过程中,该断裂为八大关地区岩浆侵入和成矿流体的活动提供了

重要通道,八大关铜钼矿和同样位于德尔布干成矿带上的太平川斑岩型钼矿((202.4±5.7) Ma^[10])、乌努格吐山铜钼矿((178±10) Ma^[54])等(表5)于这一时期先后形成。早中生代是德尔布干成矿带铜钼矿的成矿高峰期,与这一时期的板块俯冲及其伴随的强烈岩浆作用有关。

4.2 元素迁移规律和成矿物质来源

随着成矿作用的进行,岩石中元素的含量会在成矿流体等因素的作用下发生迁移和变化。通过分析八大关矿床中不同样品的主量元素的组成特征发现,随着蚀变作用的进行,岩体中的Ca、Mg、Na等元素含量明显下降,FeO含量有所减少,而K₂O和SiO₂含量有所升高,热液流体相对富K、Si而贫Ca、Mg、Na(表1)。在热液蚀变过程中,稀土元素活化迁移,在不同环境中其分布模式发生相应的改变^[64]。八大关成矿斑岩、蚀变岩体和矿石中稀土元素含量具有逐步降低的特征,这与稀土元素的亲石性有关,矿化蚀变造成了REE明显的活化和迁移,其含量逐渐降低的同时金属元素不断富集。样品中的Ce未见有明显异常,石英闪长岩和蚀变岩体中

表5 区内矿床、岩体形成年龄统计
Table 5 The formation age of deposits and rocks in the area

矿床类型	矿床/点	测年数据/Ma	测试矿物或岩石	测试方法	数据来源
金矿	砂宝斯	135.6~150.9	花岗岩体	未知	[19]
	二十一站	146~155	花岗闪长岩	K-Ar	[25]
	小伊诺盖沟	165	花岗斑岩	K-Ar	[22]
钼铜矿	乌努格吐山	183.5±1.7	蚀变绢云母	K-Ar	[55]
		183.9±1	全岩	Rb-Sr	[55]
		188.3±0.6	二长花岗斑岩	锆石 U-Pb	[55]
		178±10	辉钼矿	Re-Os	[54]
		196.2±4.1	矿化斑岩	锆石 U-Pb	[16]
		178±9.2	二长花岗斑岩	Rb-Sr	[56]
	太平川	187±11	流纹斑岩	锆石 U-Pb	[10]
		202±5.7	花岗闪长岩	锆石 U-Pb	[10]
		203.6±4.6	辉钼矿	Re-Os	[10]
	八大关	226.7±2.4	辉钼矿	Re-Os	本文
		229.6±2.0	石英闪长岩	锆石 U-Pb	[10]
		95~105	花岗岩	未知	[42]
		166	花岗岩	K-Ar	[1]
八八一	143~166	含矿石英闪长岩	K-Ar	[1]	
	141	花岗闪长岩	K-Ar	[57]	
铅锌银矿	二道河子	164.2±2.3	塔木兰沟组火山岩	锆石 U-Pb	[16]
		120	石英斑岩	Rb-Sr	[58]
	额仁陶勒盖	155.5	黑云母	K-Ar	[59]
		225.4±7.9	花岗闪长岩	Rb-Sr	[60]
		178.4	花岗闪长岩	K-Ar	[61]
	查干布拉根	109.9~144.0	成矿斑岩体	K-Ar	[62]
		259.8±2.2	花岗岩	锆石 U-Pb	[16]
		131.6~172	成矿岩体	K-Ar	[61,63]

出现Eu的弱负异常(图5),而黄铁矿化矿石中稀土元素Eu含量出现弱正异常,反映成岩成矿过程中氧逸度的变化可能不是很显著。在矿石中LREE相对富集而亏损高场强元素(HFSE),Hf/Sm、Nb/La和Th/La值均小于1,反映了成矿流体中可能富含Cl⁻[65],成矿元素以Cl络合物形式迁移,但此推测尚需进一步的研究。

矿石中Co/Ni介于1.25~10,指示成矿物质来源可能来自岩浆或火山热液[66]。八大关铜钼矿床金属硫化物的硫同位素具有幔源硫的特征,显示了成矿流体中硫的深源性。黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 变化范围相对较大,而黄铜矿和辉钼矿具有相对较窄的变化区间,黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值较高与其易富集³⁴S有关,较低的 $\delta^{34}\text{S}$ 值反映后期可能有其他流体的混入。Re-Os同位素的组成可以指示成矿物质来源,反映成矿过程中不同来源物质的混合程度[67,68]。前人经统计发现,从幔源、壳幔混合源到壳源的矿床中辉钼矿Re含量大致为 $n \times 10^{-4} \rightarrow n \times 10^{-5} \rightarrow n \times 10^{-6}$,即呈依次降低一个数量级的趋势变化[38,69-70]。该矿床中的辉钼矿单矿物中Re含量为 $211.3 \times 10^{-6} \sim 355.2 \times 10^{-6}$ (表4),远高于壳源和壳幔混合源的矿床中Re含量,而与幔源类型矿床的Re含量相近,暗示了八大关铜钼矿床的成矿物质具有地幔源区的特征。

4.3 矿床成因

八大关铜钼矿床的含矿斑岩体主要在火山弧的构造环境中形成,是深部岩浆作用的结果。根据前文的分析,推测在晚三叠世初蒙古-鄂霍次克洋板块由NW向SE俯冲到额尔古纳地块之下,俯冲洋壳部分熔融并向上侵位,伴有部分俯冲洋壳之上的沉积物,在额尔古纳地块边部形成陆缘弧,并在强烈的岩浆活动过程中发育了多期具有埃达克岩特征的浅成、超浅成斑岩体。

辉钼矿的Re-Os同位素加权平均模式年龄((226.7±2.4) Ma)指示矿床形成于晚三叠世早期,成矿作用发生于成矿母岩((229.6±2.0) Ma)侵位之后,在母岩侵位结晶的后期,岩浆热液和挥发分逐渐富集,形成了成矿流体。成矿流体沿裂隙活动并运移了来自岩浆或火山作用的成矿物质,在成矿作用过程中可能混入了其他流体。在矿化过程中稀土元素活化迁移而含量降低,轻重稀土分异程度逐渐加大。成矿流体中金属元素逐渐迁移富集,并与来自

深部地幔的硫相结合。随着温度的逐渐降低,先后生成了黄铁矿-黄铜矿-辉钼矿-闪锌矿等矿物,最终沉淀成矿,并发育了石英绢云母化等典型斑岩型的热液蚀变。

5 结 论

通过分析该矿床的地质特征、矿物组合和含矿岩体的主、微量元素、硫同位素组成特征以及辉钼矿的Re-Os测年结果,并结合前人已有数据,本文对八大关铜钼矿床的成矿时代、成矿物质来源及成矿过程取得了以下认识。

(1)辉钼矿Re-Os同位素年龄指示八大关铜钼矿床形成于晚三叠世早期(226 Ma),左右,矿化作用稍晚于含矿岩体(229 Ma)侵入时间。

(2)成矿母岩的元素地球化学数据表明其属于中钾含量的钙碱性岩石系列,为I型花岗岩,产于火山弧构造环境,具有活动板块边缘的特征,是在蒙古-鄂霍茨克洋向南俯冲过程中,洋壳板块部分熔融侵位到额尔古纳地块之上的产物。

(3)矿石中硫同位素分布于1‰~3‰,辉钼矿中Re含量为 $211.3 \times 10^{-6} \sim 355.2 \times 10^{-6}$,二者均具有幔源特征,反映成矿物质主要源于地幔,与深部岩浆活动有关。成矿过程中稀土元素含量逐渐降低,轻重稀土发生明显分异。

(4)八大关铜钼矿在中生代额尔古纳地块西北部的火山弧岩浆活动后形成,在岩浆侵位后的流体作用下,发育了多种热液蚀变,Cu、Mo等元素与来自地幔的硫相结合而沉淀,各成矿阶段的矿物随着流体温度的降低依次形成,最终富集成矿。

致谢:野外工作中得到了八大关铜钼矿领导们的协助,中国地质大学(北京)薛玉山硕士在数据分析和解释方面给予了热情帮助,李坡硕士和侯德华硕士在论文图件绘制方面提供过建议,匿名审稿专家及编辑杨艳博士悉心审阅了本文并给予了诸多意见,在此一并表示衷心的感谢!

参考文献(References):

- [1] 赵一鸣,张德全.大兴安岭及其邻区铜多金属矿床成矿规律与远景评价[M].北京:地震出版社,1997:5-13.
Zhao Yiming, Zhang Dequan. Daxin角度 and Its Adjacent Area Copper Polymetallic Metallogenic Regularity and Prospective Evaluation[M]. Beijing: Seismological Press, 1997: 5-13(in

- Chinese).
- [2] 陈衍景, 张成, 李诺, 等. 中国东北钼矿床地质[J]. 吉林大学学报, 2012, 42(5): 1221-1268.
Chen Yanjing, Zhang Cheng, Li Nuo, et al. Geology of the Mo deposits in northeast China[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2012, 42(5): 1221-1268(in Chinese with English abstract).
- [3] 陈志广, 张连昌, 万博. 大兴安岭得尔布干多金属成矿带地质背景与成矿预测[J]. 矿床地质, 2006, 25: 11-14.
Chen Zhiguang, Zhang Lianchang, Wan Bo. Geological setting and metallogenic prognosis of the De'erbugan polymetallic belt in the Da Hinggan Mountains[J]. Mineral Deposits, 2006, 25: 11-14(in Chinese with English abstract).
- [4] 毛景文, 周振华, 武广, 等. 内蒙古及邻区矿床成矿规律与成矿系列[J]. 矿床地质, 2013, 32(4): 715-729.
Mao Jingwen, Zhou Zhenhua, Wu Guang, et al. Metallogenic regularity and minerogenetic series of ore deposits in Inner Mongolia and adjacent areas[J]. Mineral Deposits, 2013, 32(4): 715-729(in Chinese with English abstract).
- [5] 权恒, 张炯飞, 武广, 等. 得尔布干有色-贵金属成矿区-带划分[J]. 地质与资源, 2002, 11(1): 38-42.
Quan Heng, Zhang Jiongfei, Wu Guang, et al. Division of Derbugan metallogenic provinces and belts of nonferrous and precious metals[J]. Geology and Resources, 2002, 11(1): 38-42(in Chinese with English abstract).
- [6] 聂凤军, 孙振江, 刘翼飞, 等. 大兴安岭岔路口矿区中生代多期岩浆活动与钼成矿作用[J]. 中国地质, 2013, 40(1): 273-286.
Nie Fengjun, Sun Zhenjiang, Liu Yifei, et al. Mesozoic multiple magmatic activities and molybdenum mineralization in the Chalukou ore district, Da Hinggan Mountains[J]. Geology in China, 2013, 40(1): 273-286(in Chinese with English abstract).
- [7] 赵明玉, 王大平, 田世良, 等. 得尔布干成矿带中段八大关-新峰山成矿地质条件分析[J]. 矿产与地质, 2002, 16(2): 70-73.
Zhao Mingyu, Wang Daping, Tian Shiliang, et al. Metallogeny of Badaguan- Xinfengshan in the middle section of Derbugan metallogenic zone[J]. Mineral Resource and Geology, 2002, 16(2): 70-73(in Chinese with English abstract).
- [8] 李进文, 张德全, 赵士宝, 等. 得尔布干成矿带西南段金属成矿规律及找矿方向[J]. 矿床地质, 2006, 25: 19-22.
Li Jinwen, Zhang Dequan, Zhao Shibao, et al. Metallogenic regularity and prospecting targets in the southwest part of the Derbugan metallogenic belt[J]. Mineral Deposits, 2006, 25: 19-22 (in Chinese with English abstract).
- [9] 李德胜, 王志峰. 得尔布干成矿带南段矿床地质特征及找矿方向的探讨[J]. 矿产与地质, 2007, 21(3): 293-297.
Li Desheng, Wang Zhifeng. Geological characteristics of the deposit at south part of De'erbugan ore belt and its prospecting orientation[J]. Mineral Resources and Geology, 2007, 21(3): 293-297(in Chinese with English abstract).
- [10] 陈志广. 中国东北得尔布干成矿带中生代构造-岩浆成矿作用及其地球动力学背景[D]. 北京: 中国科学院地质与地球物理研究所, 2010: 78-112.
Chen Zhiguang. Mesozoic Tectonic & Magmatic mineralization of Derbugan Metallogenic Belt in NE China, and Its Geodynamic Setting[D]. Beijing: Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, 2010: 78-112(in Chinese with English abstract).
- [11] 贾盼盼, 魏俊浩, 巩庆伟, 等. 大兴安岭地区铜钼矿床成矿区带背景及找矿前景分析[J]. 地质与勘探, 2011, 47(2): 151-162.
Jia Panpan, Wei Junhao, Gong Qingwei, et al. Analysis of geological background and ore searching prospect for the copper-molybdenum deposits in the Da Hingan Ling area[J]. Geology and Exploration, 2011, 47(2): 151-162(in Chinese with English abstract).
- [12] 白令安, 孙景贵, 张勇, 等. 大兴安岭地区内生铜钼矿床的成因类型、成矿时代与成矿动力学背景[J]. 岩石学报, 2012, 28(2): 468-482.
Bai Ling'an, Sun Jinggui, Zhang Yong, et al. Genetic type, mineralization epoch and geodynamical setting of endogenous copper deposits in the Great Xing'an Range[J]. Acta Petrologica Sinica, 2012, 28(2): 468-482(in Chinese with English abstract).
- [13] 黑龙江省有色金属地质勘察队706队. 内蒙古自治区陈巴尔虎旗八大关矿区铜钼矿资源储量核实报告[R]. 内蒙古: 呼伦贝尔市国土资源局, 2005.
Heilongjiang Nonferrous Metal Geological Prospecting Team 706. The Inner Mongolia Autonomous Region Chenba'erhuqi Badaguan Mine Copper Molybdenum Ore Reserves Verification Report[R]. Inner Mongolia: Land Resources Bureau of Hulun Buir City, 2005(in Chinese).
- [14] 杨亮红. 内蒙额尔古纳-呼伦多金属成矿带的稳定同位素研究[J]. 矿产与勘查, 1991, 3: 50-56.
Yang Jinghong. Stable isotope study of Inner Mongolia Ergun-Hulun polymetallic metallogenic belt[J]. Mineral and Exploration, 1991, 3: 50-56(in Chinese).
- [15] 田景雄. 额尔古纳断裂构造特征及其构造背景[D]. 吉林: 吉林大学地球科学学院, 2013.
Tian Jingxiong. The Structural Features and Tectonic Setting of Erguna Fault[D]. Jilin: College of Earth Sciences, Jilin University, 2013(in Chinese with English abstract).
- [16] 余宏全, 李进文, 向安平, 等. 大兴安岭中北段原岩锆石U-Pb测年与区域构造演化关系[J]. 岩石学报, 2012, 28(2): 571-594.
She Hongquan, Li Jinwen, Xiang Anping, et al. U-Pb ages of the zircons from primary rocks in middle-northern Daxinganling and its implications to geotectonic evolution[J]. Acta Petrologica Sinica, 2012, 28(2): 571-594(in Chinese with English abstract).
- [17] Tomurtogoo O, Windley B F, Kröner A, et al. Zircon age and occurrence of the Adaatsag ophiolite and Muron shear zone, central Mongolia: constraints on the evolution of the Mongol-

- Okhotsk ocean, suture and orogen[J]. *Journal of the Geological Society*, 2005, 162(1): 125–134.
- [18] Safonova I Y. Intraplate magmatism and oceanic plate stratigraphy of the Paleo-Asian and Paleo-Pacific Oceans from 600 to 140 Ma[J]. *Ore Geology Reviews*, 2009, 35(2): 137–154.
- [19] 武广. 大兴安岭北部区域成矿背景与有色、贵金属矿床成矿作用[D]. 吉林: 吉林大学地球科学学院, 2006.
- Wu Guang. Metallogenic Setting and Metallogenesis of Nonferrous-precious Metals in Northern Da Hinggan Mountain[D]. Jilin: College of Earth Sciences, Jilin University, 2006(in Chinese with English abstract).
- [20] 刘军, 武广, 王峰, 等. 黑龙江省岔路口斑岩钼矿床流体包裹体和稳定同位素特征[J]. *中国地质*, 2013, 40(4): 1231–1251.
- Liu jun, Wu guang, Wang Feng, et al. Fluid inclusions and stable isotope characteristics of the Chalukou porphyry Mo deposit in Heilongjiang Province[J]. *Geology in China*, 2013, 40(4): 1231–1251(in Chinese with English abstract).
- [21] 王英德. 额尔古纳韧性剪切带与嵯岗构造片麻岩带构造特征及研究意义[D]. 吉林: 吉林大学地球科学学院, 2010.
- Wang Yingde. The Structural Features and Significances of Argun Ductile Shear Zone and Cuo Gang Tectonic Gneiss Zone[D]. Jilin: College of Earth Sciences, Jilin University, 2010(in Chinese with English abstract).
- [22] 张炯飞, 权恒, 祝洪臣. 小伊诺盖沟金矿成矿特征[J]. *贵金属地质*, 1999, 8(3): 129–135.
- Zhang Jiongfei, Quan Heng, Zhu Hongchen. Geological characteristics of Xiaoyinuogai gold deposit in Inner Mongolia[J]. *Journal of Precious Metallic Geology*, 1999, 8(3): 129–135(in Chinese with English abstract).
- [23] 李萍萍, 葛文春, 张彦龙. 海拉尔盆地西北部火山岩地层划分的锆石 U-Pb 年代学证据[J]. *岩石学报*, 2010, 26(8): 2482–2494.
- Li Pingping, Ge Wenchun, Zhang Yanlong. Division of volcanic strata in the northwestern part of Hailar basin: Evidence from zircon U-Pb dating[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 26(8): 2482–2494 (in Chinese with English abstract).
- [24] 内蒙古自治区地质矿产局. 内蒙古自治区区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1991.
- Inner Mongolia Bureau of Geology and Mineral Resources. Regional Geology of Inner Mongolia Autonomous[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1991(in Chinese with English abstract).
- [25] 黑龙江省地质矿产局. 黑龙江省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1993.
- Heilongjiang Bureau of Geology and Mineral Resources. Regional Geology of Heilongjiang Province[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993(in Chinese with English abstract).
- [26] 孙晓猛, 刘财, 朱德丰, 等. 大兴安岭西坡德尔布干断裂地球物理特征与构造属性[J]. *地球物理学报*, 2011, 54(2): 433–440.
- Sun Xiaomeng, Liu Cai, Zhu Defeng, et al. Geophysical features and tectonic attribute of the Derbugan fault in the western slope of Da Hinggan Ling Mountains[J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2011, 54(2): 433–440(in Chinese with English abstract).
- [27] Streckeisen A, Le Maitre R W. A chemical approximation to the modal QAPF classification of the igneous rocks[J]. *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Abhandlungen*, 1979, 136: 169–206.
- [28] Le Maitre R W, Bateman P, Dudek A, et al. A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms[M]. Oxford: Blackwell, 1989.
- [29] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes[C]//Saunders A D, Norry M J (eds.). *Magmatism in the Ocean Basins*. Geological Society, London, Special Publications, 1989, 42: 313–345.
- [30] 冯建忠, 汪东波, 王学明, 等. 西秦岭三个典型金矿床稳定同位素地球化学特征[J]. *中国地质*, 2004, 31(1): 78–84.
- Feng Jianzhong, Wang Dongbo, Wang Xueming, et al. Stable isotope geochemistry of three typical gold deposits in the West Qinling[J]. *Geology in China*, 2004, 31(1): 78–84(in Chinese with English abstract).
- [31] Ohmoto H. Stable isotope geochemistry of ore deposits[J]. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 1986, 16(1): 491–559.
- [32] Ripley E M. Application of Stable Isotopic Studies to Problems of Magmatic Sulfide Ore Genesis with Special Reference to the Duluth Complex, Minnesota[M]. *Geology and Metallogeny of Copper Deposits*. Springer Berlin Heidelberg, 1986: 25–42.
- [33] Ohmoto H, Goldhaber M B. Sulfur and carbon isotopes[J]. *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*, 1997, 3: 517–612.
- [34] Shirey S B, Walker R J. Carius tube digestion for low-blank rhenium-osmium analysis[J]. *Analytical Chemistry*, 1995, 67(13): 2136–2141.
- [35] Du A, Wu S, Sun D, et al. Preparation and certification of Re-Os dating reference materials: Molybdenites HLP and JDC[J]. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 2004, 28(1): 41–52.
- [36] 代军治, 谢桂青, 王瑞廷, 等. 内蒙古赤峰鸭鸡山钼(铜)矿床辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义[J]. *中国地质*, 2012, 39(6): 1614–1621.
- Dai Junzhi, Xie Guiqing, Wang Ruiting, et al. Re-Os isotope dating of molybdenite separates from the Yajishan Mo(Cu) deposit, Inner Mongolia, and its geological significance[J]. *Geology in China*, 2012, 39(6): 1614–1621(in Chinese with English abstract).
- [37] 张连昌, 陈志广, 吴华英, 等. 蒙古-鄂霍茨克造山带得尔布干多金属成矿带构造-岩浆成矿作用及动力学背景[J]. *矿床地质*, 2010, 29: 125–126.
- Zhang Lianchang, Chen Zhiguang, Wu Huaying, et al. Mongol-Okhotsk orogenic Derbugan polymetallic metallogenic belt tectonic-magmatic mineralization and geodynamic[J].

- Mineral Deposits, 2010, 29, 125–126(in Chinese with English abstract).
- [38] Stein H J, Markey R J, Morgan J W, et al. The remarkable Re–Os chronometer in molybdenite: How and why it works[J]. Terra Nova, 2001, 13(6): 479–486.
- [39] Collins W J, Beams S D, White A J R, et al. Nature and origin of A– type granites with particular reference to southeastern Australia[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1982, 80 (2): 189–200.
- [40] Civetta L, Massimo D A, Orsi G, et al. The geochemistry of volcanic rocks from Pantelleria Island, Sicily Channel: Petrogenesis and characteristics of the mantle source region[J]. Journal of Petrology, 1998, 39(8): 1453–1491.
- [41] Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks[J]. Journal of Petrology, 1984, 25(4): 956–983.
- [42] 李廷栋. 大兴安岭北部大地构造特征及其多旋迴发展过程[J]. 地质学报, 1963, 43(4): 345–360.
Li Tingdong. Tectonic features and multi– cycle development process of Northern Da Hinggan Mountains[J]. Acta Geologica Sinica, 1963, 43(4): 345–360(in Chinese with English abstract).
- [43] 余宏全, 梁玉伟, 李进文, 等. 内蒙古莫尔道嘎地区早中生代岩浆作用及其地球动力学意义[J]. 吉林大学学报, 2011, 41(6): 1831–1864.
She Hongquan, Liang Yuwei, Li Jinwen, et al. The early Mesozoic magmatic activity at Moerdaoga district in Inner Mongolia and its geodynamic implication[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 2011, 41(6): 1831– 1864(in Chinese with English abstract).
- [44] Şengör A M C, Natal'in B A. Paleotectonics of Asia: Fragments of a Synthesis[C]//Yin A and Harrison M(eds.). The Tectonic Evolution of Asia, Cambridge, Cambridge University Press, 1996, 486–640.
- [45] Badarch G, Dickson Cunningham W, Windley B F. A new terrane subdivision for Mongolia: Implications for the Phanerozoic crustal growth of Central Asia[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2002, 21(1): 87–110.
- [46] Kelty T K, Yin A, Dash B, et al. Detrital–zircon geochronology of Paleozoic sedimentary rocks in the Hangay–Hentey basin, north–central Mongolia: Implications for the tectonic evolution of the Mongol–Okhotsk Ocean in central Asia[J]. Tectonophysics, 2008, 451(1): 290–311.
- [47] Badarch G, Dickson Cunningham W, Windley B F. A new terrane subdivision for Mongolia: Implications for the Phanerozoic crustal growth of Central Asia[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2002, 21(1): 87–110.
- [48] Sun D Y, Gou J, Wang T H, et al. Geochronological and geochemical constraints on the Erguna massif basement, NE China—Subduction history of the Mongol– Okhotsk oceanic crust[J]. International Geology Review, 2013, 55(14): 1801–1816.
- [49] 李锦轶, 张进, 杨天南, 等. 北亚造山区南部及其毗邻地区地壳构造分区与构造演化[J]. 吉林大学学报, 2009, 39(4): 584–605.
Li Jinyi, Zhang Jin, Yang Tiannan, et al. Crustal tectonic division and evolution of the southern part of the north Asian orogenic region and its adjacent areas[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 2009, 39(4): 584–605(in Chinese with English abstract).
- [50] 李春昱. 中国板块构造轮廓[J]. 中国科学院院报, 1980, 2(1): 11–22.
Li Chunyu. A preliminary study of plate tectonics of China[J]. Acta Geoscientia Sinica(in Chinese), 1980, 2(1): 11– 22(in Chinese with English abstract).
- [51] 曹生儒. 对内蒙古板块构造轮廓的认识[J]. 中国区域地质, 1993, 3: 211–215.
Cao Shengru. The framework of plate tectonics of Inner Mongolia[J]. Regional Geology of China, 1993, 3: 211–215(in Chinese with English abstract).
- [52] 王鸿祯, 何国琦, 张世红. 中国与蒙古之地质[J]. 地学前缘, 2006, 13(6): 1–13.
Wang Hongzhen, He Guoqi, Zhang Shihong, et al. The geology of China and Mongolia[J]. Earth Science Frontiers, 2006, 13(6): 1–13(in Chinese with English abstract).
- [53] 郑常青, 周建波, 金巍, 等. 大兴安岭地区德尔布干断裂带北段构造年代学研究[J]. 岩石学报, 2009, 25(8): 1989–2000.
Zheng Changqing, Zhou Jianbo, Jin Wei, et al. Geochronology in the north segment of the Derbugan fault zone, Great Xing'an Range, NE China[J]. Acta Petrologica Sinica, 25(8): 1989–2000 (in Chinese with English abstract).
- [54] 李诺, 孙亚莉, 李晶, 等. 内蒙古乌努格吐山斑岩铜钼矿床辉钼矿铼钨等时线年龄及其成矿地球动力学背景[J]. 岩石学报, 2007, 23(11): 2881–2888.
Li Nuo, Sun Yali, Li Jing, et al. Molybdenite Re/Os isochron age of the Wunugetu Shan porphyry Cu/Mo deposit, Inner Mongolia and its implication for metallogenic geodynamics[J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23(11): 2881– 2888(in Chinese with English abstract).
- [55] 秦克章, 李惠民, 李伟实, 等. 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, 1999, 45(2): 180–185.
Qin Kezhang, Li Huimin, Li Weishi, et al. Intrusion and mineralization ages of the Wunugetushan porphyry Cu– Mo Deposit, Inner Mongolia, Northwestern China[J]. Geological Review, 1999, 45(2): 180–185(in Chinese with English abstract).
- [56] 陈志广, 张连昌, 万博, 等. 内蒙古乌奴格吐山斑岩铜钼矿床低Sr–Yb型成矿斑岩地球化学特征及地质意义[J]. 岩石学报, 2008, 24(1): 115–128.
Chen Zhiguang, Zhang Lianchang, Wan Bo, et al. Geochemistry and geological significances of ore–forming porphyry with low Sr and Yb value in Wunugetushan copper– molybdenum deposit,

- Inner Mongolia[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2008, 24(1): 115–128 (in Chinese with English abstract).
- [57] 李朝阳. 中国铜矿主要类型特征及其成矿远景[M]. 北京: 地质出版社, 1999: 14–16.
- Li Zhaoyang. The Main Types, Characteristics and Metallogenic Prospect of Copper Deposits in China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1999: 14–16(in Chinese).
- [58] 李鹤年, 段国正, 郝立波, 等. 中国大兴安岭银矿床[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 1994: 1–238.
- Li Henian, Duan Guozheng, Hao Libo, et al. The Silver Deposit of Xing'anling Mountain in China[M]. Changchun: Jilin Science & Technology Publishing House, 1994: 1–238(in Chinese).
- [59] 顾巧根, 季绍新. 得尔布干成矿带的火山-侵入杂岩及成矿作用[J]. 中国地质科学院南京地质矿产研究所所刊, 1996, 1: 58–65.
- Gu Qiaogen, Ji Shaoxin. The volcanic-intrusive complex and mineralization of Deerbagan metallogenic belt[J]. *The Journal of Nanjing Geology and Mineral Resources Research Institute, Chinese Academy of Geological Sciences*, 1996, 1: 58–65(in Chinese).
- [60] 秦克章, 田中亮吏, 李伟实, 等. 满洲里地区印支期花岗岩Rb-Sr等时线年代学证据[J]. 岩石矿物学杂志, 1998, 17(3): 235–240.
- Qin Kezhang, Ryoji Tanaka, Li Weishi, et al. The discovery of Indo-Sinian granites in Manzhouli area: Evidence from Rb-Sr isochrones[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 1998, 17(3): 235–240(in Chinese with English abstract).
- [61] 潘龙驹, 孙恩守. 内蒙古甲乌拉银铅锌矿床地质特征[J]. 矿床地质, 1992, 11(1): 45–53.
- Pan Longju, Sun Enshou. The geological characteristics of Jiawula Ag-Pb-Zn deposit, Inner Mongolia[J]. *Mineral Deposits*, 1992, 11(1): 45–53(in Chinese with English abstract).
- [62] 杨亮红, 董毅, 陈石山, 等. 内蒙甲乌拉矿床稳定同位素组成及其成因意义[J]. 矿产与勘查, 1989, 4: 37–41.
- Yang Jinghong, Dong Yi, Chen Shishan, et al. The stable isotope composition and genetic significance of Jiawula deposit, Inner Mongolia[J]. *Mineral and Exploration*, 1989, 4: 37–41(in Chinese).
- [63] 潘龙驹, 孙恩守. 内蒙查干布拉根银铅锌矿床地质特征[J]. 矿产与勘查, 1990, 5: 1–9.
- Pan Longju, Sun Enshou. The geological characteristics of Chaganbulagen Ag-Pb-Zn deposit, Inner Mongolia[J]. *Mineral and Exploration*, 1990, 5: 1–9(in Chinese).
- [64] 包志伟, 赵振华. 东坪金矿床成矿过程中稀土元素活动性[J]. 地球化学, 1998, 27(1): 81–90.
- Bao Zhiwei, Zhao Zhenhua. Rare-earth element mobility during ore-forming process of Dongping gold deposit[J]. *Geochimica*, 1998, 27(1): 81–90(in Chinese with English abstract).
- [65] 毕献武, 胡瑞忠, 彭建堂, 等. 黄铁矿微量元素地球化学特征及其对成矿流体性质的指示[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2004, 23(1): 1–4.
- Bi Xianwu, Hu Ruizhong, Peng Jiantang, et al. REE and HFSE geochemical characteristics of pyrites in Yao'an gold deposit: Tracing ore forming fluid signatures[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2004, 23(1): 1–4(in Chinese with English abstract).
- [66] 中国科学院矿床地球化学开放研究实验室. 矿床地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 1997: 92–93.
- Open Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences. *Geochemistry of Ore Deposit*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1997: 92–93(in Chinese).
- [67] Stein H J, Sundblad K, Markey R J, et al. Re-Os ages for Archean molybdenite and pyrite, Kuittila-Kivisuo, Finland and Proterozoic molybdenite, Kabeliai, Lithuania: Testing the chronometer in a metamorphic and metasomatic setting[J]. *Mineralium Deposita*, 1998, 33(4): 329–345.
- [68] Lambert D D, Foster J G, Frick L R, et al. Re-Os isotopic systematics of the Voisey's Bay Ni-Cu-Co magmatic ore system, Labrador, Canada[J]. *Lithos*, 1999, 47(1): 69–88.
- [69] Mao J W, Zhang Z C, Zhang Z H, et al. Re-Os isotopic dating of molybdenites in the Xiaoliugou W (Mo) deposit in the northern Qilian mountains and its geological significance[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1999, 63(11): 1815–1818.
- [70] Stein H, Scherstén A, Hannah J, et al. Subgrain-scale decoupling of Re and ¹⁸⁷Os and assessment of laser ablation ICP-MS spot dating in molybdenite[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2003, 67(19): 3673–3686.

Metallogenic age and ore genesis of the Badaguan porphyry copper-molybdenum deposit in Inner Mongolia

LI Chun-feng, LIU Zhen-jiang, MI Kui-feng, WANG Jian-ping,
LIU Rui-bin, ZOU Jun-yu, WANG Zhong-bao

(School of Earth Sciences and Resources, China University of Geology, Beijing 100083, China)

Abstract: Located in the middle of Derbugan metallogenic belt in Inner Mongolia, the Badaguan copper-molybdenum deposit is a typical porphyry deposit with obvious phyllic and propylitic alteration zones. The banded orebodies occur in Triassic quartz diorite. By such means as Re-Os isotope geochronology, element geochemistry and sulfur isotope geochemistry, the authors preliminarily analyzed the ore-forming process of the deposit. Re-Os dating of molybdenite gave a weighted average model age of (226.7 ± 2.4) Ma, implying that the deposit was formed in the early Late Triassic. Element geochemical analysis shows that the ore-bearing rocks were I-type granites and belonged to calc-alkaline rock series with moderate content of potassium, which were produced in a volcanic arc environment with characteristic active plate edges. During the ore-forming process, Σ REE in ore-bearing rock gradually decreased, and the ratio of LREE to HREE became higher. The $\delta^{34}\text{S}$ values of metallic sulfides range from $+0.5\%$ to $+4.8\%$, suggesting mantle sulfur origin. Based on a comprehensive analysis, the authors hold that the Badaguan copper-molybdenum deposit was formed in the Late Triassic. During the southward subduction of Mongolia-Okhotsk Ocean plate, magmatic activity at the depth brought lots of ore-forming materials, and partially melted oceanic plate was emplaced above Ergun block. Cu, Mo and other elements migrated with the hydrothermal fluids and combined with sulfur from the mantle, eventually resulting in enrichment and mineralization.

Key words: Badaguan copper-molybdenite deposit; Re-Os isotopic age; element geochemistry; sulfur isotope

About the first author: LI Chun-feng, male, born in 1991, master candidate, mainly engages in the study of mineral deposits and geochemistry; E-mail: licf_cugb@163.com.

About the corresponding author: LIU Zhen-jiang, male, born in 1983, doctor, lecturer, engages in teaching and study of mineral deposits; E-mail: lzj@cugb.edu.cn.