编号:0258-7106(2011)01-0074-13

新疆肯登高尔铜钼矿地质和 S、Pb、O、H 同位素 组成及 Re-Os 测年^{*}

贾志 u^1 ,薛春纪^{1**} 屈文 b^2 ,赵 强³ 张 权¹

(1 地质过程与矿产资源国家重点实验室,中国地质大学地球科学与资源学院,北京 100083;2 国家地质实验 测试中心,北京 100037;3 新疆地质矿产勘探开发局第七地质大队,新疆 乌苏 833000)

摘 要 肯登高尔是新疆西天山备受关注的一处铜钼矿,它处于博罗霍洛古生代岛弧带。矿体呈板状、不规则 脉状和透镜状产在晚石炭世花岗闪长岩与上石炭统碳酸盐岩外接触带矽卡岩中,矿石中金属矿物以黄铜矿、辉钼矿 为主,脉石矿物以透辉石、钙铁榴石为主,硫化物矿物呈自形晶或他形结构,网脉状、浸染状分布于矽卡岩中。内生 成矿作用明显经历了矽卡岩和石英-硫化物2期。肯登高尔铜钼矿石中辉钼矿、黄铜矿的 δ^{34} S_{V-CDT}值介于 – 0.55‰ ~1.90‰,集中在零值附近;²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb = 17.963~18.256;²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb = 15.549~15.605;²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb = 36.802~ 38.271 成矿物质显示上地幔与下地壳混合来源特点。石英-硫化物铜钼矿石中石英的 δ^{18} O_{H2}((V-SMOW</sub>) = – 2.82‰ ~3.65‰ δ D_{H2}((V-SMOW</sub>) = – 96‰ ~ – 82‰,显示成矿流体为岩浆水并有大气降水的混合。铜钼矿石中辉钼矿的 u(Re)介于11.13~59.72 µg/g,Re-Os等时线测年获得(313.9±2.5)Mac的晚石炭世成矿年龄。铜钼成矿与早石炭 世中期依连哈比尔尕小洋盆向南俯冲有关。

关键词 地球化学 ,铜钼矿 S, Pb, O, H 同位素组成 ;Re-Os 法测年 ,肯登高尔 新疆西天山 中图分类号 : P618.41 ; P618.65 文献标志码 :A

Geology, S, Pb, O and H isotopic compositions and Re-Os chronology of Kendenggaoer Cu-Mo deposit in Xinjiang

JIA ZhiYe¹, XUE ChunJi^{1 * *}, QU WenJun², ZHAO Qiang³ and ZHANG Quan¹

(1 State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources; School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2 National Center of Geoanalysis, Beijing 100037, China; 3 No. 7 Geological Party, Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resources, Wusu 833000, Xinjiang, China)

Abstract

Located in Bolohuoluo palaeozoic arc belt, the Kendenggaoer Cu-Mo deposit has aroused much attention among geologists. The ore bodies, in the tabular, laminated and lenticular forms, occur in the outer contact zone between Late Carboniferous granodiorite and Upper Carboniferous carbonate rocks. Metallic minerals in the ore include mainly chalcopyrite and molybdenite, while gangue minerals are mainly diopside and andradite. Sulfide minerals, existing as euhedral or xenomorphic crystals with stockwork and dissemination structures, are distributed in the skarn rocks. Endogenic ore-forming process has obviously experienced two stages of mineralization i. e., skarn and quartz-sulfide. δ^{34} S_{V-CDT} values of molybdenite and chalcopyrite in the ore vary from

^{*} 本文得到国家科技支撑计划 2006BAB07B01-02) 高等学校学科创新引智计划 B07011) 及长江学者和创新团队计划 IRT0755) 联合资助 第一作者简介 贾志业,男,1984年生,硕士研究生,矿产普查与勘探专业。Email:jiazhiye@126.com

^{**}通讯作者 薛春纪,男,博士,教授,博士生导师,从事矿床学、矿产普查与勘探专业教学和研究。Email:chunji.xue@cugb.edu.cn 收稿日期 2010-06-03;改回日期 2010-10-21。张绮玲编辑。

-0.55% to 1.90%, concentrated around zero. The ratios of ²⁰⁶ Pb/²⁰⁴ Pb, ²⁰⁷ Pb/²⁰⁴ Pb and ²⁰⁸ Pb/²⁰⁴ Pb are from 17.963 to 18.256, 15.549 to 15.605, and 36.802 to 38.271, respectively, suggesting that metallogenic materials are derived from both upper mantle and lower crust. $\delta^{18}O_{H_2O V-SMOW}$ and $\delta D_{H_2O V-SMOW}$ values of quartz as well as the water in the inclusions from the Cu-Mo ores of the quartz-sulfide stage are from -2.82% to 3.65% and from -96% to 82%, respectively, implying that ore-forming fluids were mainly magmatic water, with the mixture of small quantities of precipitate water. Re content of molybdenite in Cu-Mo ores is in the range of $11.13 \sim 59.72 \ \mu g/g$. Isochron dating of Re-Os is (313.9 \pm 2.5) Ma, indicating that the metallogenic age is Late Carboniferous. Therefore, the ore-forming process was related to the southward subduction of the Yilianhabierga oceanic basin in the middle of Early Carboniferous.

Key words: geochemistry, Cu-Mo deposit, S, Pb, O and H isotopic geochemistry, Re-Os isotopic chronology, Kendenggaoer, West Tianshan Moutains

新疆西天山是中国重要贵重、有色金属成矿带 (沙德铭,1998;隗合明等,1999;李华芹等,2004;张 良臣等 2006 赵仁夫等 2006) 构造-岩浆-热液成矿 作用受人关注(李华芹等,2004;2006;王志良等, 2004;2006;陈毓川等,2007),但斑岩型铜钼金找矿 工作面临严峻的挑战,对重要铜钼矿的剖析研究十 分重要。肯登高尔铜钼矿于 1956 年由新疆有色金 属地质 703 队进行 1:5 万路线地质调查时发现,它 位于新疆精河县城南偏东约60km处矿区面积约2 km^2 。受自然条件和交通不便的限制 对这个铜钼矿 的勘查、研究程度都较低。新疆有色金属地质 703 队和新疆地矿局第一区调大队先后在矿区进行了地 形地质草测和平硐等工作 基本查明了矿区地质、矿 体产状及品位变化等特征,求得铜品位平均为 0.56%~1.2% 相品位平均为0.036%~0.31% 铜 资源量约 19 000 t, 相资源量约 1 000 t(新疆地矿局 第一区调大队,1991●)。1960年新疆生产建设兵团 农八师及精河硫酸厂曾在矿区进行过小规模的开 采。刘德权等(1996)和李华芹等(2004)依据矿区所 处区域地质背景,认为该铜钼矿与早石炭世汇聚背 景下花岗岩的侵入有关,成因属矽卡岩型。邓洪涛 (2001)在对博罗科努山北坡金铜矿成因类型分析 时,根据矿体地质特征及矿石结构,认为该铜钼矿成 矿物质来自花岗岩及其期后热液。王志良等(2006) 认为该铜钼矿为海西中期斑岩型矿床,含矿主岩为 花岗闪长岩。本文以区域成矿地质背景和矿床地质 研究为基础,对肯登高尔铜钼矿石中辉钼矿及黄铜 矿的硫和铅同位素组成、石英-硫化物矿石中石英的 氧和氢同位素组成、铜钼矿石中辉钼矿的 Re-Os 同

位素年龄等开展了研究,试图进一步揭示矿床地质 特征,认识成矿金属和成矿流体的性质,测定矿床的 形成时代,探讨铜钼矿的成因类型,为研究区域成矿 规律和寻找与斑岩相关的铜矿提供参考。

75

1 区域地质背景

肯登高尔铜钼矿产于博罗霍洛北坡断裂以北, 哈萨克斯坦-伊犁地块东北缘博罗霍洛古生代岛弧 带内 北侧为伊连哈比尔尕残留海盆地 西北侧为赛 里木地块 南侧是伊宁中央地块和阿吾拉勒晚古生 代裂谷系(图 1B)。矿床所在区域主要出露中泥盆 统拜辛德组、下石炭统大哈拉军山组及上石炭统东 图津河组(图 1A)。拜辛德组为一套类复理石建造, 主要岩性为含放射虫泥质硅质岩、泥质粉砂岩、粉砂 质泥岩 ,与上覆下石炭统大哈拉军山组呈角度不整 合接触;大哈拉军山组为一套陆相中酸性火山岩建 造 岩性主要为流纹斑岩、石英霏细斑岩、熔结凝灰 岩等;东图津河组为一套海相碳酸盐岩-碎屑岩建 造,下部为灰岩夹粉砂岩,上部为变质粉砂岩夹流纹 岩 与大哈拉军山组呈角度不整合接触。区域泥盆 纪、石炭纪岩浆侵入活动强烈,以岩基、岩株、岩墙等 形式沿 NNW 向带状分布,其中以海西期中酸性岩 体最为发育、岩性为二长花岗岩、石英闪长岩和正长 岩,石英闪长岩被二长花岗岩侵入并捕虏,正长岩侵 入二长花岗岩 ;强烈的岩浆活动是本区铜钼成矿有 利的物质和动力条件。区域发育近 EW 向断裂 ,NE 向断裂构造切穿近 EW 向构造 ;区域断裂构造具有 控岩和控矿特点,不同方向断裂交汇部位、断裂引张





图 1 新疆肯登高尔铜钼矿区域地质图(A,据新疆地矿局♥,2005 资料修绘)和西天山大地构造单元示意图 (B 转引自罗小平等 2009)

A:1—第四系沉积物;2—上石炭统东图津河组;3—下石炭统大哈拉军山组;4—中泥盆统拜辛德组;5—二长花岗岩;6—石英闪长岩; 7—正长岩;8—断裂;9—矿点;10—构造单元;11—构造单元边界;12—次级构造单元边界;13—断裂带;14—研究区。B:构造单元: Ⅲ╬—谢米斯台-库兰卡兹干古生代复合岛弧带;Ⅲ╬—唐巴勒-克拉迈里古生代复合沟弧带;Ⅲ╬—准噶尔中央地块;Ⅲ½—伊连哈比尔尕残 留海盆地;Ⅲ3—阿拉套晚古生代陆缘盆地;Ⅲ3—赛里木地块;Ⅲ3—博罗霍洛古生代岛弧带;Ⅲ5—阿吾拉勒晚古生代裂谷系;Ⅲ9—伊宁 中央地块;矿床名称:1—喇嘛苏;2--达巴特;3--冬吐劲;4--3571;5--莱历斯高尔;6--七兴;7---肯登高尔

Fig. 1 Regional geological map of the Kendenggaoer Cu-Mo ore district (A modified after Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resources, 2005) and Diagrammatic map showing geotectonic units of Western Tianshan (B, adapted from Luo et al. 2009)

A : 1—Quaternary sediments ; 2 Upper Carboniferous Dongtujinhe Formation ; 3—Lower Carboniferous Dahalajunshan Formation ; 4—Middle Devonian Baixinde Formation ; 5-Monzogranite ; 6-Quartz diorite ; 7-Svenite ; 8-Fracture ; 9-Ore spot ; 10-Tectonic unit ; 11-Boundary of tectonic unit ; 12—Boundary of secondary tectonic unit ; 13—Fault zone ; 14—Study area. B : Tectonic units : II 3—Xiesitai-kulakazhi Paleozoic composite island arc ; [] 1-Tangbale-Kela maili compound Paleozoic trench-arc zone ; [] 1-Central Junggar block ; [] 1-Yilianhabierga residual sea basin ; 🛮 🖞 – Alatao Late Paleozoic continental margin basins ; 🖉 👌 – Sailimu block ; 🛛 🖞 – Boluohuoluo Paleozoic island arc belt ; 🖉 👌 – Awulale Late Paleozoic rift system ; II 2-Yining central block ; Names of ore deposits : 1-Lamasu ; 2-Dabate ; 3-Dongtujin ; 4-3571 ; 5-Lailisigaoer ;

6-Qixing; 7-Kendenggaoer

扩容部位是区域岩浆及期后热液活动和成矿的良好 场所。区域金属矿产包括莱历斯高尔钼矿、3571铜 矿、哈拉尕提铁铜矿、呼独克达坂铅锌矿、七兴铅锌 多金属矿等 构造-岩浆-热液成矿作用显著。

矿床地质 2

矿区出露地层为上石炭统东图津河组一段,为



图 2 新疆西天山肯登高尔铜钼矿区地质简图(据新疆第 七地质大队[●]资料修绘)

1—第四系冰碛物;2—上石炭统东图津河组一段;3—花岗闪长 岩;4—矿体及编号;5—正断层及其倾角;6—岩层产状

Fig. 2 Simplified geological map of the Kengdenggaoer Cu-Mo deposit , western Tianshan , Xinjiang modified after No.

7 Geological Party of Xinjiang)

1—Quaternary moraine; 2—1st Member of Upper Carboniferous Dongtujinhe Formation; 3—Granodiorite; 4—Ore body and its serial number; 5—Normal fault; 6—Attititue of strata

一套海相碳酸盐岩夹细碎屑岩建造,包括浅灰白色 微晶粒屑灰岩、砂质微晶灰岩、生物碎屑灰岩、大理 岩化灰岩夹细粒岩屑长石砂岩、砂岩、粉砂岩,其中 有细晶岩脉及少量石英脉穿入。矿区中部被第四系 冰水堆积砾石、砂土覆盖(图2)。

矿区侵入岩为侵位于上石炭统东图津河组灰岩 中的晚石炭世浅灰白色花岗闪长岩体(图2) 接触面 向外陡倾 平面形态为不规则的波状弯曲 矿区内共 见有 3 个岩体,出露面积较小,不到 0.1 km²。岩石 呈中细粒花岗结构 ,块状构造 ,主要由钾长石、斜长 石、石英、黑云母等组成。其中钾长石多为他形粒 状 含量 10%~15% 粒度 1~2 mm 斜长石呈自形-半自形柱状、板状,含量40%~55%,粒度0.5~3 mm,可见简单双晶、聚片双晶、卡钠复合双晶,多数 聚片双晶纹细密,环带结构较发育,局部绢云母化; 黑云母,自形-半自形片状,浅黄或深褐色,含量5% ~10% 粒度 0.2~2.5 mm,部分颗粒可见沿解理缝 发生绿泥石化而具墨水蓝的异常干涉色 ;角闪石 ,自 形-半自形柱状 含量 3%~5% 粒度 1~4 mm 局部 发生绿泥石化 ,可见角闪石简单双晶 ;石英呈他形粒 状充填于长石等矿物的粒间,其边界多呈港湾状,具 微弱波状消光,含量20%~30%,粒度0.2~3 mm。 岩石中另见锆石、磁铁矿等副矿物。

77

矿区构造简单,为一由东图津河组构成的单斜, 倾向340°,倾角40~45°。断裂不甚发育,多为一些 断距很小的张性或张扭性小断层,走向北西,大致平 行排列。矿区南部见较明显的正断层,倾向175°,倾 角40℃图2)。这些断裂均为成矿后断裂,个别断层 对矿体有破坏作用。

花岗闪长岩与上石炭统东图津河组一段灰岩接 触带形成透辉石石榴子石矽卡岩、硅灰石透辉石透 闪石矽卡岩、阳起石绿帘石矽卡岩、绿泥石绿帘石矽 卡岩等,矽卡岩及其伴随出现的铜钼矿化主体发生 在外接触带(图2)。铜钼矿体赋存于矽卡岩体内及 其附近,共圈定出5个矿体。I、II、III号为主要矿 体(图2),呈板状和不规则脉状、透镜状,NE或NEE 走向,倾角多变,产状与接触带构造基本一致,膨大、 尖缩现象明显,长20~135 m,厚度变化于2.5~20 m,以铜钼矿化为主,铜品位0.56%~1.2 %,钼品位 0.036%~0.31%。IV、V号矿体矿化弱,呈透镜状 和不规则脉状,NEE 走向,长20~40 m,厚4~20 m,以铜铁矿化为主。

铜钼矿石中主要金属矿物有黄铜矿、辉钼矿、斑 铜矿,次要金属矿物有黄铁矿、磁铁矿、磁黄铁矿、闪 锌矿、方铅矿等,偶见毒砂;表生矿物孔雀石、蓝铜矿



图 3 新疆西天山肯登高尔铜钼矿石标本及显微照片

a. 黄铜矿化、辉钼矿化砂卡岩; b. 黄铜矿量他形充填于石英颗粒之间; c. 石英脉中呈放射状产出的辉钼矿; d. 呈不规则细脉状产于石英和砂卡岩接触带之间的辉钼矿; e. 黄铜矿呈他形粒状交代透明矿物; f. 叶片状辉钼矿; g. 黄铜矿呈乳滴状分布于闪锌矿中; h. 黄铜矿、 闪锌矿交代磁黄铁矿; i. 黄铁矿沿磁黄铁矿边缘交代呈反应边结构

Fig. 3 Specimen and microscopic photos of Cu-Mo ore from the Kendenggaoer deposit, Western Tianshan, Xinjiang a. Skam with chalcopyritization and molybdenitization: b. Xenomorphic chalcopyrite filled in the pores of quartz particles: c. Molybdenite with radial structure in quartz veins: d. Molybdenite existing as fine irregular veins at the contact zone between quartz and skarn: e. Anhedral granunular

chalcopyrite replacing transparent minerals: f. Leafy molybdenite: g. Chalcopyrite in the form of emulsion droplets distributed in sphalerite: h. Pyrrhotite replaced by chalcopyrite and sphalerite: i. Pyrite and sphalerite replaced by pyrrhotite along the edge assuming reaction rim texture

多见。脉石矿物主要有透辉石、钙铁榴石、钙铝榴石、阳起石、绿帘石、石英、硅灰石,次要脉石矿物有透闪石、符山石、绿泥石等。铜钼矿石中黄铜矿、辉钼矿显示斑杂状构造(图 3a)、网脉状构造(图 3b)、团块状构造(图 3c)、不规则细脉状构造(图 3d)、浸染状构造(图 3e)。铜钼矿石中辉钼矿呈放射状晶簇结构(图 3c)和半自形片状结构(图 3f),黄铜矿呈他

形粒状结构(图 3e),黄铜矿常与闪锌矿呈现固溶体 分离结构(图 3g),黄铜矿和闪锌矿交代早期形成的 磁黄铁矿形成交代结构(图 3h),磁黄铁矿可见黄铁 矿的交代反应边结构(图 3i)。矿石中金属矿物生成 顺序大体为毒砂—黄铁矿 1—磁黄铁矿—辉钼矿 1— 黄铜矿—闪锌矿—辉钼矿 2—斑铜矿—黄铁矿 2(邓 洪涛,2001)。根据矿体特征、穿插关系、矿物共生组 合、生成顺序及矿石组构等特征,将内生热液成矿过 程初步划分为2期:即矽卡岩期和石英-硫化物期。 矽卡岩期以形成矽卡岩矿物(石榴子石、辉石、绿帘 石、阳起石等)和少量黄铜矿、辉钼矿等金属矿物为 特征(图 3a);石英-硫化物期为石英和辉钼矿、黄铜 矿、闪锌矿等矿物组合,常交代早期矿物形成交代结 构,为最主要成矿时期(图 3b、3c、3d、3i)。

3 样品及分析方法

3.1 样品采集和处理

本文用于稳定同位素地球化学及 Re-Os 同位素 测年的样品均采自肯登高尔铜钼矿区 III 号矿体中, 样品新鲜无氧化,为黄铜矿辉钼矿矽卡岩和铜钼硫 化物石英脉。用于稳定同位素地球化学研究的样品 经表面清洗、晾干、粉碎后,对 40~60 目样品进行淘 洗和低温烘干,然后在实体显微镜下挑选纯度达 99%以上的辉钼矿、黄铜矿、石英单矿物样品,以备 硫、铅、氧、氢同位素组成分析。用于 Re-Os 同位素 测定的辉钼矿样品先用蒸馏水洗净、晾干,再选择样 品中辉钼矿较富集部位,用单面刀片和细钢针等工 具直接从手标本上分离辉钼矿(粒度<2 mm);然后 按照无其他矿物连晶、晶体无氧化、无污染等要求, 在实体镜下逐粒挑选辉钼矿,纯度大于 99.9 %,通 过不断的粉碎和混合使颗粒细化均一。

3.2 分析方法

铜钼矿石中辉钼矿、黄铜矿的硫同位素分析工 作在地质过程与矿产资源国家重点实验室完成,所 用仪器为 MAT-251 质谱仪。以氧化铜和五氧化二 钒作为混合氧化剂,在高温真空条件下与样品反应, 将 S 氧化成 SO₂。相对标准采用 V-CDT,分析精度 为±0.2 ‰。

矿石中辉钼矿、黄铜矿的铅同位素分析工作在 核工业北京地质研究院分析测试中心完成,所用仪 器为 ISOPROBE-T 热电离质谱仪,1 μg 的²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁶Pb测量精度≪0.005 %。同位素测量精度以 2σ 计,详细的分析流程见李科等(2009)。

铜钼硫化物石英脉矿石中石英的氧、氢同位素 组成分析工作在中国地质科学院矿产资源研究所同 位素实验室完成,所用仪器为 MAT-251 质谱仪。石 英的氧同位素分析用 BrF₅ 法 (Clayton et al.,1963), 首先将纯净的石英样品分别与 BrF₅ 反应 15 h,萃取 氧,分离出的氧进入 CO₂ 转化系统,温度为 700℃, 时间为 12 min ,最后收集 CO₂ 进行氧同位素质谱分 析。石英中流体包裹体的氢同位素组成分析时 ,先 用爆裂法在 100[°] 真空条件下去气 4 h 以上 ,除去矿 物中吸附水和次生流体包裹体 ;在 200~350[°] 下加 热 ,使其中原生流体包裹体爆破 ,释放挥发分 ,提取 原生流体包裹体中的 H₂O ,并在 400[°] 条件下与 Zn 反应 30 min 制取 H₂ ,再用液氮冷冻后 ,收集到有活 性炭的样品瓶中(Coleman et al. ,1982)供氢同位素 质谱分析。氧、氢同位素组成以 V-SMOW 为标准 , 氧、氢同位素分析精度均为 \pm 0.2‰。

铜钼矿石中辉钼矿 Re-Os 同位素组成分析在国 家地质实验测试中心完成,所用仪器为美国 TJA 公 司生产的电感耦合等离子体质谱仪 TJA X-series ICP-MS。样品化学前处理及测试方法参见杜安道 等(1994), Shirey 等(1995)和屈文俊等(2003)。普 Os 是根据原子量表(Wieser ,2006)和同位素丰度表 (Bohlkea et al., 2005)通过¹⁹²Os/¹⁹⁰Os测量比计算 得出。Re、Os含量的不确定度包括样品和稀释剂的 称量误差、稀释剂的标定误差、质谱测量的分馏校正 误差、待分析样品同位素比值测量误差。 置信水平 95%。模式年龄的不确定度还包括衰变常数的不确 定度(1.02%),置信水平 95%。实验采用国家标准 物质 GBW04435 (HLP)为标样 ,以监控化学流程和 分析数据的可靠性。本次实验全流程空白 Re 为 0.1061~0.1145 ng ,普 Os 为 0.0002 ng ,¹⁸⁷ Os 为 0.0002~0.0004 ng 远远小于所测样品中 RevOs 含 量 因此不会明显影响实验中 Re. Os 含量的测定。

3.3 分析结果

分析结果表明,肯登高尔铜钼矿石 10 件硫化物 样品的 δ^{34} S_{V-CDT}变化于 – 0.55‰ ~ 1.90 ‰,极差为 2.45 ‰,平均值为 1.14‰(表 1),变化范围较窄且接 近零值,与陈岳龙等(2005)总结的矽卡岩型铜钼矿 硫同位素组成特征相似,显示矿床硫化物硫的组成 比较稳定,均一化程度较高。其中 5 件辉钼矿的 δ^{34} S_{V-CDT}值变化范围为 – 0.55 ‰ ~ 1.36 ‰,平均值 为 0.69 ‰,5 件黄铜矿 δ^{34} S_{V-CDT}值变化范围为 1.21 ‰ ~ 1.90 ‰,平均值为 1.53 ‰。

肯登高尔铜钼矿石 10 件硫化物样品的铅同位 素组成²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb=17.963~18.256、²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb= 15.549~15.605、²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb=36.802~38.271(表 2)。其中 辉钼矿的²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb=18.178~18.256、 ²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb=15.554~15.605、²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb=36.802 ~ 37.992,黄铜矿的²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb=17.963~18.205、

 Table 1
 S isotopic compositions of ore sulfides in the Kendenggaoer Cu-Mo deposit, Xiniiang

	88	9 8
样品号	测定矿物	$\delta^{34}S_{V-CDT}$ /‰
K5	黄铜矿	1.21
K15	辉钼矿	1.28
K16	辉钼矿	1.36
K18	辉钼矿	1.11
K26	黄铜矿	1.90
K27	黄铜矿	1.90
k32	黄铜矿	1.39
k36	黄铜矿	1.57
k38	辉钼矿	-0.55
K39	辉钼矿	0.22

²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb=15.549~15.604、²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb=38.085 ~38.271。不同矿物铅同位素组成变化范围不大, 表明铅同位素组成较均一,铅有着大体相同的来源 和演化历史。利用 H-H 阶段铅演化模式,计算得到 肯登高尔铜钼矿矿石铅同位素组成的相关参数(见 表 2)。其中,μ值介于 9.40~9.49,均值为 9.46, ω值的均值为 35.26,Th/U 比值介于 3.12~3.89, 均值 3.61。

肯登高尔铜钼硫化物-石英脉矿石中石英及其

中流体包裹体的氧和氢同位素组成测试结果见表 3。 5件石英样品的 δ^{18} O_{V-SMOW} 值集中于 13.2‰ ~ 16.8‰ 极差为 3.6‰,平均为 15.2‰;依据 1 000ln $\alpha_{\overline{ад \xi.x}} = 4.48 \times 10^{6}/T^{2} - 4.77 \times 10^{3}/T + 1.71$ (郑永 飞等 2000)计算(*t* 取所测流体包裹体均一温度)石 英平衡热液流体中水的 δ^{18} O_{H2}((V-SMOW</sub>) 值介于 -2.82~3.65‰ 极差为 6.47‰,平均值为 0.71‰。 5件石英样品中流体包裹体的 δ D_{H2}((V-SMOW</sub>) 值变化 于 -96‰ ~ -82‰ 极差为 14‰,平均为 -91.6‰。

肯登高尔铜钼矿床辉钼矿 Re-Os 同位素测试结 果见表 4。辉钼矿中 w(Re)变化于 11.13~59.72 μg/g,平均 40.83 μg/g;w(音 Os)变化于 0.0036~ 0.3484 ng/g,含量较低;w(¹⁸⁷Re)变化于 6.994~ 37.53 μg/g; α(¹⁸⁷Os)变化于 37.15~197.2 ng/g。 模式年龄为(312.9±4.5)~(318.0±4.4) Ma,加权 平均值为(315.4±1.8) Ma(图 4)。样品中除 K39 为辉钼矿化石英脉外,其余均为辉钼矿化矽卡岩,模 式年龄数据显示,石英-硫化物阶段的矿化年龄比矽 卡岩阶段稍晚,这一特征与矽卡岩矿床的特征相吻 合。利用 ISOPLOT 软件将 7 件样品的结果进行等 时线加权拟合,得到一条相关性较好的等时线

表 2 肯登高尔铜钼矿矿石铅同位素组成及相关参数

Table 2	Pb-isotopic compositions and	charcateristic	parameters of	ore sulfides	in the	Kendenggaoer	Cu-Mo	deposit
---------	------------------------------	----------------	---------------	--------------	--------	--------------	-------	---------

样品号	测定矿物	$^{206}\mathrm{Pb}/^{204}\mathrm{Pb}$	²⁰⁷ Pb / ²⁰⁴ Pb	$^{208}\mathrm{Pb}/^{204}\mathrm{Pb}$	t∕Ma	μ	ω	Th/U	$ riangle_{\alpha}$	$\bigtriangleup \beta$	$ riangle \gamma$
K5	黄铜矿	17.963	0 15.549	38.271	429	9.41	37.87	3.89	58.78	15.4	34.99
K15	辉钼矿	18.178	15.554	37.992	279	9.40	35.51	3.66	71.46	15.73	27.44
K16	辉钼矿	18.256	15.605	36.802	285	9.49	30.59	3.12	76.05	19.06	-4.74
K18	辉钼矿	18.181	15.588	37.671	319	9.47	34.46	3.52	71.63	17.95	18.76
K26	黄铜矿	18.186	15.574	38.085	298	9.44	36.04	3.69	71.93	17.03	29.96
K27	黄铜矿	18,205	15.604	38.183	321	9.49	36.63	3.74	73.05	18.99	32.61
k32	黄铜矿	18.198	15.598	38.164	318	9.48	36.53	3.73	72.64	18.6	32.09
k36	黄铜矿	18.192	15.598	38.159	323	9.48	36.54	3.73	72.28	18.6	31.96
k38	辉钼矿	18.229	15.605	37.633	305	9.49	34.20	3.49	74.46	19.06	17.73
K39	辉钼矿	18.232	15.589	37.681	283	9.46	34.24	3.50	74.64	18.01	19.03

注:相关参数由路远发研发的 Geokit 软件计算得到。

表 3 肯登高尔铜钼矿氧、氢同位素组成

Tabel 3 Oxygen and hydrogen isotopic composition of quartz from the Kendenggaoer Cu-Mo deposit

样品号	测试矿物	$\delta^{18}O_{V-SMOW}$ /‰	$\delta^{18}O_{H_2(V-SMOW)}$	$\delta D_{H_2(1 \text{ V-SMOW})} / \%$	t /℃
К3	石英	15.4	-2.82	- 96	123
K5	石英	15	3.04	- 93	195
K26	石英	15.5	0.49	- 93	155
K27	石英	16.8	3.65	- 94	178
K36	石英	13.2	-0.80	-82	167



图 4 肯登高尔铜钼矿中辉钼矿 Re-Os 模式年龄加权 平均值





图 5 肯登高尔铜钼矿中辉钼矿 Re-Os 同位素等时线图

Fig. 5 Re-Os isotope isochron diagram of molybdenite in the Kengdenggaoer Cu-Mo deposit

表 4 新疆肯登高尔铜钼矿石中辉钼矿的 Re-Os 同位素测年结果

Table 4 Re-Os isotopic analytical results of molybdenite from the Kendenggaoer Cu-Mo deposit

样号 <i>m</i> /g	w(Re)(μg/g)		ư(普Os)(ng/g)		ա(¹⁸⁷ Re)(µg/g)		w(¹⁸⁷ Os)(ng/g)		模式年龄/Ma		
	<i>m1</i> g	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度
K14	0.08026	36.83	0.32	0.1262	0.0219	23.15	0.20	121.7	1.1	314.8	4.7
K15	0.08048	47.70	0.44	0.0036	0.0244	29.98	0.28	159.1	1.3	317.7	4.7
K16	0.08002	59.72	0.79	0.0748	0.0126 0	37.53	0.50	197.2	1.7	314.5	5.6
K18	0.08054	53.39	0.54	0.0915	0.0502	33.55	0.34	176.6	1.6	315.1	5.0
K22	0.08018	11.13	0.09	0.0834	0.0126	6.994	0.054	37.15	0.31	318.0	4.4
K38	0.08048	36.84	0.33	0.3484	0.0255	23.16	0.21	121.7	1.0	314.6	4.7
K39	0.08045	40.21	0.30	0.0173	0.0267	25.27	0.19	132.1	1.2	312.9	4.5

(图 5),等时线年龄为(313.9±2.5) Ma,MSWD= 0.73,初始¹⁸⁷Os值为(0.46±0.60) ng/g,接近于0,表 明辉钼矿形成时几乎不含Os辉钼矿中的Os可看作 完全由 Re衰变而成符合 Re-Os同位素体系模式年龄 的计算条件(蒋少涌等2000),说明所获得的模式年龄 是有效的。一般认为模式年龄代表同位素与母体分 离的时间,而等时线年龄则是同位素体系最后均一化 的时间因此,上述等时线年龄代表了成矿年龄。

4 讨 论

4.1 成矿物质来源

关于热液矿床中硫来源的讨论,必须依据源区物质 ∂³⁴S 值和含硫物质在热液中迁移沉淀时的物理化学条件(Hoefs,1997)。肯登高尔铜钼矿矿石中 含硫矿物主要为辉钼矿、黄铜矿、黄铁矿和少量磁黄 铁矿、方铅矿等硫化物,不含重晶石等硫酸盐矿物, 且石英流体包裹体激光拉曼实验中出现 CO_2 和 CH_4 峰(贾志业等,2010),显示成矿背景为低氧逸度、还 原环境,因此硫化物的 $\delta^{34}S$ 平均值可近似代表热液 的总 $\delta^{34}S$ 值(Ohmoto et al.,1979),为 1.14‰,非常接 近原始地幔硫(0 ± 3 ‰, Chaussidon et al.,1990),根据 硫化物产于与花岗闪长岩体关系密切的矽卡岩中, 可以推断硫主要来自花岗闪长岩岩浆。

铅同位素演化特征对研究成矿金属元素来源具 有重要意义,因而铅同位素被用于追溯成矿物质的 来源(朱炳泉,1998)。通常认为,铅同位素源区特征 值的变化能反映铅的来源。肯登高尔铜钼矿 μ 值介 于9.40~9.49,高于地幔原始铅 μ 值范围,但低于 9.58 ω 值低于地壳平均值 36.84,Th/U 比值变化 于 3.12~3.89,接近地幔值 3.45,表明矿石铅可能 来自上地幔,且矿床在形成过程中有岩浆热液参与





Fig. 6 Plumbotectonics model diagram for the Kendenggaoer Cu-Mo deposit (after Zartman et al. , 1981) A. Mantle ; B. Orogeny ; C. Upper crust ; D. Lower Crust



1—地幔源铅;2—上地壳铅;3—上地壳与地幔混合的俯冲带铅 (3a—岩浆作用;3b—沉积作用);4—化学沉积型铅;5—海底热 水作用铅;6—中深变质作用铅;7—深变质下地壳铅;8—造山带 铅;9—古老页岩上地壳铅;10—退变质铅

Fig. 7 Genetic classification of $\triangle\beta$ - $\triangle\gamma$ diagram of lead isotopes from the Kendenggaoer Cu-Mo deposit (after Zhu , 1998)

1—Mantle-derived lead; 2—Upper crust-derived lead; 3—Lead from the subduction zone characterized by the mixture of the mantle and upper crust(3a—Magmatism; 3b—Sedimentation); 4—Lead from chemical precipitation; 5—Lead from thermal water in sea floor; 6— Lead from medium and high grade metamorphism; 7—Lead from high-grade metamorphic lower crust; 8—Lead from orogeny; 9— Lead from old shale in the upper crust; 10—Lead from retrogressive metamorphism (吴开兴等,2002;Zartman et al.,1981)。为了进一 步探讨肯登高尔铜钼矿矿石铅的来源,将铅同位素 组成数据投影到铅同位素构造模式图解(图6)中,数 据点主要落在造山带演化线附近,反映成矿物质具 壳幔混合特点。朱炳泉(1998)通过△β-△γ成因分 类图解来追踪矿石铅的源区,由于削除了时间因素 的影响,因而具有更好的示踪意义。将数据点投到 △β-△γ成因分类图解中(图7),基本落入与岩浆作 用有关的上地壳与地幔混合的俯冲带铅范围内,只 有一个样品点(K16)落入退变质铅中。这一特征反 映成矿物质来源与岩浆作用有关,与地质特征相吻 合。因此,成矿物质来源具壳幔混合特点,且与岩浆 活动有关。

Re-Os 同位素体系不仅可以精确确定硫化物矿 床形成的时间,而且还可以示踪成矿物质来源以及 提示成矿过程中不同来源物质混入的程度(Foster et al. 1996)。Re 是不相容的亲铜、亲铁元素,在熔融 液相中富集,且 Re 的地球化学行为与 Mo 相似,在 辉钼矿中能达到最大的富集程度,因此一般用辉钼 矿中 Re 元素的含量示踪相关矿床的物质来源。前 人在综合分析、对比了各种类型钼矿床中辉钼矿的 Re 含量后认为,成矿物质以幔源为主的钼矿,其辉 钼矿 α (Re)基本为 100~1 000 μ g/g ;成矿物质具壳 幔混合源的钼矿床,其辉钼矿中 α (Re)大多在十几 ~几十 μ g/g ;成矿物质完全来自壳源的矿床,其辉钼 矿 α (Re)为 1~n μ g/g 或更低,因此,辉钼矿的 Re 含量可以指示成矿物质的来源(Mao et al., 1999; Stein et al., 1997 运祥金等,2007)。本研究获得的 肯登高尔铜钼矿中辉钼矿的 w(Re)为 11.13~ 59.72 μ g/g,平均 40.83 μ g/g,相当于壳幔源岩浆矿 床辉钼矿的含量,表明成矿物质可能来自壳幔混合 作用。

以上 S, Pb 同位素组成及辉钼矿 Re 含量均显示, 肯登高尔铜钼矿的成矿物质可能主要来源于幔源或 下地壳,在俯冲过程中发生壳幔混合作用而显示壳 幔混合源特点,与花岗闪长岩岩浆活动关系密切。

4.2 成矿流体来源

不同来源的流体具有不同的氢、氧同位素组成 特征(张理刚,1985),因而可根据热液矿物流体中水 的氢氧同位素组成有效地判别成矿热液来源(郑永 飞等 2000)。赵一鸣等(1990)通过对中国矽卡岩型 矿床的研究表明,成矿流体中水的 $\delta D_{H_2O} = -90.3\%$ ~ -48.3‰ $\delta^{18}O_{H_2O} = 3.35\% ~ 9.59\%$,氢、氧同位 素组成基本落于岩浆水或接近岩浆水范围,成矿流 体中岩浆水占据主要地位,大气降水的混合很少。 本文 5 件铜钼矿石的脉石矿物石英样品中 $\delta D_{H_2O}(v-SMOW)$ 值介于 -96‰~ -82‰,平均为-91.6‰; $\delta^{18}O_{H_2O}(v-SMOW)$ 值介于 -2.82~ 3.65‰,平均值为 0.71‰ 明显偏离正常岩浆水范围($\delta D_{H_2O} = -80\%$ ~ -40‰, $\delta^{18}O_{H_2O} = 5.5\% ~ 9.0\%$; Taylor,1974)。在 $\delta D_{H_2O} = \delta^{18}O_{H_2O}$





种变化趋势表明成矿热液为岩浆水,并与大气降水 混合。结合地质特征分析,热液的这种特征可能是 由于来自深部的岩浆热液在上升过程中与围岩地层 中的大气降水混合,发生了某种同位素交换反应,使 得含矿热液中的 8D 和 8¹⁸0发生了明显漂移所致。

4.3 成矿时代

近年来西天山已经积累了丰富的斑岩-矽卡岩 矿床的成矿年代学资料,达巴特斑岩型铜钼矿中辉 钼矿 Re-Os 等时线显示(301 ± 20) Ma 的成矿年龄 (张作衡等 2006);莱历斯高尔 - 3571 斑岩型铜钼矿 床中辉钼矿的 Re-Os 等时线年龄为(359.2 ± 7.8) Ma(李华芹等,2006);喇嘛苏铜矿中含铜石英脉石 英流体包裹体的 Rb-Sr 等时线年龄为(328±16) Ma (李华芹等,2004)。本文所测肯登高尔铜钼矿7件 辉钼矿样品模式年龄平均值为(315.4±1.8) Ma,等 时线年龄为(313.9±2.5) Ma,吻合较好,与花岗闪 长岩体成岩年龄一致〔锆石 SHRIMP U-Pb 年龄 (313±4)Ma,另文发表〕表明肯登高尔铜钼矿成岩 成矿时代为晚石炭世。以上年龄数据显示,包括肯 登高尔铜钼矿在内的这些斑岩-矽卡岩型铜(钼)矿 的成矿时代接近 集中在晚泥盆世—晚石炭世 这一 时期西天山构造运动强烈 ,地壳拉张、聚合交替出 现 岩浆活动频繁发生 ,为斑岩-矽卡岩型矿床的形 成提供了条件。

4.4 成矿过程或成矿动力学背景

区域构造演化表明,西天山是古生代古中亚洋 经过复杂的扩张-闭合过程形成的造山带。博罗霍 洛古生代岛弧带经历了中元古代末古克拉通形成, 震旦纪——寒武纪稳定盖层沉积,在中晚寒武世——奥 陶纪期间 准噶尔板块和伊犁板块发生分离 形成古 准噶尔洋(程松林等,2009;张东阳等,2009)。 奥陶 纪—志留纪 准噶尔洋板块向南俯冲到伊犁地块之 下 在西天山形成早古生代岛弧带(张良臣等,1985; 肖序常等 ,1992 ;王志良等 ,2004)。中泥盆世—早石 炭世初,在依连哈比尔尕一带形成依连哈比尔尕小 洋盆、早石炭世中期依连哈比尔尕小洋盆向南俯冲, 至晚石炭世形成了一个完整的沟-弧-盆体系(王志良 等 2004 ;张作衡等 ,2006 ;张良臣等 ,2006) ,该阶段 是新疆天山斑岩-矽卡岩铜钼矿最主要的成矿时期 (刘德权等,2001;张洪涛等,2004)。晚石炭世—二 叠纪 ,伊犁地块南北两侧逐渐隆起 ,中、新生代进入 稳定陆壳阶段。

结合区域地质特征和矿床地质特征,推测肯登

高尔铜钼矿成矿机制与石炭纪依连哈比尔尕小洋盆 聚合、向南俯冲相关,洋壳构造残片被挤压推覆定位 于微板块缝合带中,在此过程中岩石遭受到剧烈的 构造作用,使之变形、变质,随之持续俯冲,随着温 度、压力升高,物质熔融后形成花岗闪长岩浆上升侵 位到博罗科努古生代复合岛弧带,伴随岩浆侵入,在 花岗闪长岩与东图津河组一段灰岩接触带附近,形 成矽卡岩,并伴有少量矿化。在矽卡岩化晚阶段和 之后,含矿的岩浆热液沿外接触带运移,并由于温 度、压力降低、水岩交换反应和循环大气降水的混 入,导致了含矿热液中络合物分解,大量铜、钼和铅 锌沉淀富集,形成板状、不规则脉状和透镜状铜钼矿 体。

5 结 论

新疆肯登高尔铜钼矿位于哈萨克斯坦-伊犁地 块北部博罗霍洛古生代岛弧带,矿体呈板状、不规则 脉状和透镜状产于晚石炭世花岗闪长岩与上石炭统 碳酸盐岩外接触带矽卡岩中,受接触带构造控制,铜 钼硫化物内生热液成矿经历了矽卡岩期和石英-硫 化物期,属矽卡岩型铜钼矿。

矿石 δ^{34} S_{V-CDT} 值为 $-0.55\% \sim 1.90\%$, 矿石铅 同位素组成²⁰⁶ Pb/²⁰⁴ Pb = 17.963 ~ 18.256 , ²⁰⁷ Pb/²⁰⁴ Pb = 15.549 ~ 15.605 , ²⁰⁸ Pb/²⁰⁴ Pb = 36.802 \sim 38.271 辉钼矿 w(Re)为 11.13 $\sim 59.72 \mu$ g/g,反映 肯登高尔铜钼矿成矿物质来源于上地幔和下地壳, 与洋壳俯冲过程中壳幔相互作用引起的中酸性岩浆 活动关系密切。

矿石中石英指示铜钼成矿流体的 $\delta^{18}O_{H_2(V-SMOW)}$ 为 $- 2.82\% \sim 3.65\%$, $\delta D_{H_2(V-SMOW)}$ 为 $- 96\% \sim - 82\%$ 属岩浆水,并受到大气降水的某种混合。

矿石中辉钼矿 Re-Os 同位素精确定年得到模式 年龄为(315.4±1.8) Ma,等时线年龄为(313.9± 2.5) Ma,铜钼成矿发生在晚石炭世,与早石炭世中 期依连哈比尔尕小洋盆向南俯冲有关。

志 谢 野外工作得到了新疆地矿局第七地质 大队大力的支持和帮助,样品测试过程中得到中国 地质科学院矿产资源研究所李延河、罗续荣、万德芳 等老师及核工业北京地质研究院刘牧老师的帮助, 成文中曾与段士刚博士、薛伟硕士、李志丹硕士、石 海岗硕士进行过有益的探讨,在此一并志谢!

References

- Bohlkea J K , Laeter J R and Bievre P D. 2005. Isotopic Compositions of the Elements J J. Phys. Chem. Ref. Data , 34(1):57-67.
- Chaussidon M and Lorand J P. 1990. Sulphur isotope composition of orogenic spinel lherzolite massifs from Ariege(North-eastern Pyrenees, France): An ion microprobe study[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 54:2835-2846.
- Chen Y C , Liu D Q , Tang Y L , Wang D H , Zhou R H , Wang J L , Li H Q and Wang X D. 2007. The research of strategic solid ore deposits gathered zone in Xinjiang , China[M]. Beijing : Geol. Pub. House. 1-467 (in Chinese).
- Chen Y L , Yang Z F and Zhao Z D. 2005. Isotopic geochronology and geochemistry [M]. Beijing : Geol. Pub. House. 262-276(in Chinese).
- Cheng S L , Feng J , Tu Q J , Xue C J , Wang X G , Zhang B and Wan Y. 2009. Geolocial characteristics and prospecting potential of coppermolybdenum mineralization in Lalisgar , Xinjiang J J. Xinjiang Geology , 27(3):236-240 (in Chinese with English abstract).
- Clayton R N and Mayeda T K. 1963. The use of bromine pentafluoride in the extraction of oxygen from oxides and silicates for isotopic analysis [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta , 27:43-52.
- Coleman M L , Sheppard T J , Durham J J , Rouse J E and Moore G R. 1982. Reduction of water with zinc for hydrogen isotope analysis [J]. Analytical Chemistry , 54 : 993-995.
- Deng H T. 2001. Genesis type discussion of Au-Cu deposit alone northern frrthill of Boluokenu mountain[J]. Xinjiang Geology , 27(3): 123-127 (in Chinese with English abstract).
- Du A D , He H L ,Yin N W ,Zou X Q , Sun Y L ,Sun D Z ,Chen S Z and Qu W J. 1994. A study on the rhenium-osmium geochronometry of molybdenites J]. Acta Geologica Sinica , 68(4): 339-347 (in Chinese with English abstract).
- Foster J G J.Lambert D D J.Frick L R and Maas R. 1996. Re-Os isotopic evidence for genesis of Archaean nickel ores from uncontaminated komatiites J J. Nature , 382 : 703-706.
- Hoefs J. 1997. Stable isotope geochemistry (the forth edition) [M]. Berlin : Springer-Verlag. 119-120.
- Jia Z Y and Xue C J. 2010. Ore-forming fluid characteristics and genesis of Kendenggaoer Cu-Mo deposit, Xinjiang, Western Tianshar[J]. Mineral Deposits, 29(Supp.): 581-582 (in Chinese).
- Jiang S Y , Yang J H Zhao K D and Yu J M. 2000. Re-Os isotope tracer and dating methods in ore deposits research [J]. Journal of Nanjing University (Natural Sciences), 36(6): 669-677((in Chinese with English abstract).
- Kui H M , Wu W K and Xue C J. 1999. Metal logenic Serieses and their formation and evolution in Western Tianshan , Xinjiang[J]. Acta Geological Sinica , 73(3):29-40(in Chinese with English abstract).
- Li H Q, Wang D H, Wan Q, Qu W J, Zhang B, Lu Y F, Mei Y P and Zou S L. 2006. Isotopic geochronology study and its significance of the Lailisigao 'er Mo deposit, Xinjiang J J. Acta Petrologica Sinica,

22(10): 2437-2443 (in Chinese with English abstract)

- Li H Q and Chen F W. 2004. Isotopic geochronology of regional mineralization in Xinjiang, China[M]. Beijing : Geol. Pub. House. 169-205(in Chinese with English abstract).
- Li K , Gu X X and Dong S Y. 2009. Isotopic geochemistry of Yinan Au-Cu-Fe deposit in Shandong Province J]. Mineral Deposits , 28(1): 93-103(in Chinese with English abstract).
- Liu D Q ,Tang Y L and Zhou R H. 1996. Minerogenic series in Xinjiang , China M J. Beijing : Geol. Pub. House. 117-126(in Chinese with English abstract).
- Liu D Q ,Tang Y L ,and Zhou R H. 2001. The metallogenic environment and potential of the porphyry copper in Xinjiang J]. Xinjiang Geology , 19(1):42-48(in Chinese with English abstrac).
- Luo X P , Xue C J ,Li H X , Feng J and Zhang B. 2009. Geology , mode of occurrence of gold and geochemistry of the Chahansala gold deposit , in western Tianshan , Xinjiang J]. Mineral Deposits , 28(5): 558-568 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W , hang Z C , Zhang Z H and Du A D. 1999. Re-Os isotopic dating of molybdenites in the Xiaoliugou W(Mo) deposit in the northern Qilain mountains and its geological significance[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta , 63(11-12):1815-1818.
- Meng X J Hou Z Q Dong G Y Liu J G Qu W J Yang Z S Zuo L Y , Wan L J and Xiao M Z. 2007. The geological characteristics and Re-Os isotope age of molybdenite of the xiongjiashan molybdenum deposit , Jiangxi Province J]. Acta Geologica Sinica , 81(7):946-950 (in Chinese with English abstract).
- Ohmoto H and Rye R O. 1979. Isotopes of sulfur and carbor [A] In : Barnes H L , ed. Geochemistry of hydrothermal ore deposit [M]. New York : Wiley-Interscience. 509-567.
- Qu W J and Du A D. 2003. Highly precise Re-Os dating of Molybdenite by Icp-Ms with carius tube sample digestion J J. Rock and Mineral Analysis, 22(4):254-257 (in Chinese with English abstract).
- Sha D M. 1998. The fluid inclusion of Axi gold deposit in West Tianshan mountains J]. Journal of Precious Metallic Geology, 7(3): 180~188(in Chinese with English abstract).
- Shirey S B and Walker R J. 1995. Carius tube digestion for low-blank rheniumosmium analysis [J]. Anal. Chem. , 67:2136-2141.
- Stein H J , Markey R J , Morgan J W , Du A D and Sun Y. 1997. Hiahly precise and accurate Re-Os ages for molybdenite from the East Qinling molybdenum belt , Shaanxi Province , China[J]. Econ. Geol. , 92:827-835.
- Taylor H P. 1974. The application of oxyen and hydrogen isotope studies to problems of hydrothermal alteration and ore deposition [J]. Econ. Geol., 69(6):843-883.
- Wang Z L, Mao J W, Zhang Z H, Zuo G Z and Wang L S. 2004. Types, characteristics and metallogenic evolution of the Paleozoic polymetallic copper-gold deposits in the western Tianshan Mountains [J]. Acta Geologica Sinica, 78(6):836-847(in Chinese with English abstract).
- Wang Z L , Mao J W , Zhang Z H , Zuo G Z and Wang L S. 2006. Geology ,

- time-space distribution and metallogenic geodynamic evolution of porphyry copper (molybdenum) deposits in the Tianshan Mountains [J]. Acta Geologica Sinica , 80(7):943-955(in Chinese with English abstract).
- Wieser M E. 2006. Atomic weights of the elements 2005 (iupac technical report J J]. Pure Appl. Chem. , 78 (11): 2051-2066.
- Wu K X , Hu R Z , Bi X W , Peng J T and Tang Q L. 2002. Ore lead isotopes as a trace for ore-forming material sources : A review J J. Geology-Geochemistry , 30 (3): 73-81 (in Chinese with English abstract).
- Xiao X C ,Tang Y Q ,Feng Y M ,Zhu B Q ,Li J Z and Zhao M. 1992. Tectionic evolution of northern Xinjiang and its adjacent regions [M]. Bejing : Geol. Pub. House. 1-169(in Chinese with English abstract).
- Zartman R E and Doe B R. 1981. Plumbotectonics-the model[J]. Tectonophysics, 75(1-2):135-162.
- Zhang D Y, Zhang Z C, Ai Y and Sun H M. 2009. Geochronology, geochenistry of the ores-Bearing porphyries in the Lailisigaoer region ,western tianshan: Implications for their tectonic setting and mineralizatior[J]. Acta Petrologica Sinica , 25(6): 1319-1331(in Chinese with English abstract).
- Zhang H T , Chen R Y and Han F L. 2004. Reunderstanding of metallogenic geological conditions of porphyry copper deposits in China J J. Mineral Deposits , 23(2): 150-163(in Chinese with English abstract)
- Zhang L G. 1985. Geological applicance for the stable isotope M J. Xi ' an : Shaanxi Science and Technology Publishing House. 23-151 (in Chinese).
- Zhang L C and Wu N Y. 1985. The geotectonics and its evolution of Tianshar[J]. Xinjiang Geology, 3(3):1-14(in Chinese with English abstract).
- Zhang L C and Liu D Q. 2006. The ore-forming regularity of predominant metal deposits in Xinjiang , China[M]. Bejing : Geol. Pub. House. 116-150(in Chinese with English abstract).
- Zhang Z H , Mao J W , Wang Z L , Du A D , Zuo L C , Wang L S , Wang J W and Qu W J. 2006. Geology and metallogenetic epoch of the Dabate porphyry copper deposit in west Tianshan mountains , Xinjiang J]. Geological Review , 52(5): 683-689 (in Chinese with English abstract).
- Zhao R F , Cheng X H , Wang Q M , Liu T , Bai H H , Yuan Y J , Yao W G and Li C A. 2006. New discoveries and prospecting potential in western-southwestern Tianshan metallogenic[J]. Northwestern Geology , 39(2): 35-56 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Y L , Lin W W , Bi C S , Li D X and Jiang C J. 1990. Skarn deposits of Chind M J. Bejing : Geol. Pub. House. 123-136(in Chinese with English abstract).
- Zheng Y F , Xu B L and Zhou G T. 2000. Geochemical studies of stable isotopes in minerals[J]. Earth Science Frontiers , 7(2):299-320(in Chinese with English abstract).
- Zhu B Q. 1998. Application of isotopic system in earth sciences [M]. Beijing : Science Press. 216-235(in Chinese).

附中文参考文献

- 陈毓川,刘德权,唐延龄,王登红,周汝洪,王金良,李华芹,王晓 地.2007.中国新疆战略性固体矿产大型矿集区研究[M].北 京:地质出版社.1-467.
- 陈岳龙,杨忠芳,赵志丹.2005.同位素地质年代学与地球化学[M]. 北京:地质出版社.262-276.
- 程松林,冯 京,涂其军,薛春纪,王晓刚,张 兵,万 阈.2009. 新疆莱历斯高尔铜钼矿地质特征及找矿前景[]].新疆地质,27 (3):236-240.
- 邓洪涛. 2001. 博罗科努山北坡金铜矿成因类型探讨[J]. 新疆地质, 19(2):123-127.
- 杜安道,何红蓼,殷宁万,邹晓秋,孙亚利,孙德忠,陈少珍,屈文 俊.1994.辉钼矿的铼-锇同位素地质年龄测定方法研究[J].地 质学报,68(4):339-347.
- 贾志业,薛春纪. 2010. 新疆西天山肯登高尔铜钼矿成矿流体特征及 成因[J]. 矿床地质, 29(增刊):581-582.
- 蒋少涌,杨竞红,赵葵东,于际民.2000.金属矿床 Re-Os 同位素示 踪与定年研究J].南京大学学报(自然科学),36(6):669-677.
- 隗合明,吴文奎,薛春纪. 1999. 新疆西天山金属矿床成矿系列和形 成演化规律[J]. 地质学报,73(3):29-40.
- 李华芹,陈富文.2004.中国新疆区域成矿作用年代学[M].北京: 地质出版社.169-205.
- 李华芹,王登红,万 阙,屈文俊,张 兵,路远发,梅玉萍,邹绍 利.2006.新疆莱历斯高尔铜钼矿的同位素年代学研究[J].岩 石学报,22(10):2437-2443
- 李 科,顾学祥,董树义. 2009. 山东沂南金铜铁矿床同位素地球化 学研究 J]. 矿床地质, 28(1):93-103.
- 刘德权,唐延龄,周汝洪.1996.中国新疆矿床成矿系列[M]北京: 地质出版社.117-126.
- 刘德权,唐延龄,周汝洪.2001.新疆斑岩铜矿的成矿条件和远景 [J].新疆地质,19(1):42-48.
- 罗小平,薛春纪,李怀祥,冯 京,张 兵. 2009.新疆西天山查汗 萨拉金矿地质、金赋存状态及同位素地球化学研究[J]. 矿床地 质,28(5):558-568.
- 孟祥金,侯增谦,董光裕,刘建光,屈文俊,杨竹森,左力艳,万禄 进,肖茂章.2007. 江西金溪熊家山钼矿床特征及其 Re-Os 年龄

- [J]. 地质学报, 81(7): 946-950.
- 屈文俊,杜安道.2003. 高温密闭溶样电感耦合等离子体质谱准确测 定辉钼矿铼-锇地质年龄[J].岩矿测试,22(4):254-262.
- 沙德铭. 1998. 西天山阿希金矿流体包裹体研究 J]. 贵金属地质,7 (3):180~188.
- 王志良,毛景文,张作衡,左国朝,王龙生.2004.西天山古生代铜 金多金属矿床类型、特征及其成矿地球动力学深化[J].地质学 报,7%(6):836-847.
- 王志良,毛景文,张作衡,左国朝,王龙生.2006.新疆天山斑岩铜 钼矿地质特征、时空分布及其成矿地球动力学演化[J].地质学报,80(7):943-955.
- 吴开兴,胡瑞忠,毕献武,彭建堂,唐群力.2002.矿石铅同位素示 踪成矿物质来源综达[]].地质地球化学,30(3):73-81.
- 肖序常,汤耀庆,冯益民,朱宝清,李锦轶,赵 民. 1992.新疆北 部及其邻区大地构造[M].北京:地质出版社. 1-169.
- 张东阳,张招崇,艾羽,苏慧敏. 2009. 西天山莱历斯高尔一带铜 (钼)矿成矿斑岩年代学、地球化学及其意义[J]. 岩石学报,25 (6):1319-1331.
- 张洪涛,陈仁义,韩芳林. 2004. 重新认识中国斑岩铜矿的成矿地质 条件[J]. 矿床地质, 23(2):150-163.
- 张理刚. 1985. 稳定同位素在地质科学中的应用[M]. 西安:陕西科 学技术出版社. 23-151.
- 张良臣,刘德权. 2006. 中国新疆优势金属矿产成矿规律[M]. 北 京:地质出版社. 116~150.
- 张良臣,吴乃元. 1985. 天山地质构造及演化史[J]. 新疆地质,3 (3):1-14.
- 张作衡,毛景文,王志良,杜安道,左国朝,王龙生,王见蓶,屈文 俊.2006.新疆西天山达巴特铜矿床地质特征和成矿时代研究 [J].地质论评,5次5):683-689.
- 赵仁夫,程晓红,王庆明,刘 拓,白洪海,袁永江,姚文光,李长 安.2006.西天山-西南天山成矿带勘查新发现及找矿远景[J]. 西北地质,39(2):35-56.
- 赵一鸣,林文蔚,毕承思,李大新,蒋崇俊.1990.中国砂卡岩矿床 [M].北京:地质出版社.123-136.
- 郑永飞,徐宝龙,周根陶.2000.矿物稳定同位素地球化学研究J]. 地学前缘,7(2):299-320.
- 朱炳泉. 1998. 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.