

doi:10.3799/dqkx.2014.064

内蒙古红岭铅锌多金属矿床辉钼矿 Re-Os 同位素年龄及其意义

万多¹,李剑锋¹,王一存¹,王可勇^{1*},王志高¹,魏良民²

1. 吉林大学地球科学学院, 吉林长春 130061
2. 内蒙古赤峰红岭有色金属矿业有限责任公司, 内蒙古赤峰 025420

摘要: 红岭铅锌多金属矿床为大兴安岭南段多金属成矿带的代表性矿床之一。区内发育斑岩型和矽卡岩型2种钼矿化,前者为产于花岗斑岩内呈斑点—浸染状产出的辉钼矿,后者为薄膜状辉钼矿。为确定红岭铅锌多金属矿床的成矿时代,对矿区2种类型的钼矿化进行系统研究和成矿年代测定。5件斑点状辉钼矿样品 Re-Os 模式年龄介于 139.9 ± 2.3 Ma~ 141.5 ± 3.2 Ma 之间,Re-Os 等时线年龄为 140.3 ± 3.4 Ma(MSWD=0.082),模式年龄加权平均值为 140.10 ± 1.80 Ma,两者在同一误差范围完全一致,代表了该红岭矿区斑岩型钼矿化时代为晚侏罗世。1件薄膜状辉钼矿样品模式年龄为 143.7 ± 3.6 Ma,应为铅锌矿化阶段的成矿年代上限;其 Re、¹⁸⁷Os 含量较其他样品高出1个数量级,揭示着2种类型钼矿化具有不同的成因,证实区内存在2期钼成矿作用。6件辉钼矿样品的 Re 含量特征指示其成矿物质的浅源性,应以壳源为主;极低的 Re 含量可能与其母岩和共生矿物组合有关。结合前人的研究成果,得出红岭铅锌多金属矿床的成岩、成矿物质均来源于增生地壳,成矿动力学背景为蒙古—鄂霍茨克造山带碰撞造山后陆壳伸展环境的认识。

关键词: 同位素;成矿年代;辉钼矿;红岭铅锌多金属矿床。

中图分类号: P736.4 文章编号: 1000—2383(2014)06—0687—09 收稿日期: 2013—12—09

Re-Os Radiometric Dating of Molybdenite in Hongling Lead-Zinc Polymetallic Deposit, Inner Mongolia, and Its Significance

Wan Duo¹, Li Jianfeng¹, Wang Yicun¹, Wang Keyong^{1*}, Wang Zhigao¹, Wei Liangmin²

1. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China
2. Chifeng Hongling Nonferrous Metal Mining Co., Ltd., Chifeng 025420, China

Abstract: Hongling lead-zinc polymetallic deposit share many similarities with others from the southern Daxinganling polymetallic metallogenic belt. There are two types of molybdenum mineralization in the mining area, including porphyry and skarn. The former, displaying spot-disseminated feature, occurs in granite porphyry, whereas the latter, displaying film like feature, occurs in quartz. The metallogenic age of Hongling deposit can be constrained from Re-Os isotopic dating of the two kinds of molybdenite. Five samples of spot-disseminated molybdenite yield model ages varying from 139.9 ± 2.3 Ma to 141.5 ± 3.2 Ma, with an isochron age of 140.3 ± 3.4 Ma (MSWD=0.082), and a weighted average of 140.10 ± 1.80 Ma. The isochron age and weighted average model age are consistent with one another, implying that molybdenum mineralization in Hongling deposit occurred in Late Jurassic. A film-like molybdenite sample yielded a model age of 143.7 ± 3.6 Ma, representing the initial stage of lead-zinc mineralization. The Re-¹⁸⁷Os contents of the film-like molybdenite are higher than that of spot-disseminated molybdenite by one order of magnitude, which hints that they have different origins and there are two phases of molybdenum mineralization. The characteristics of Re content of the 6 molybdenite samples suggest that the ore-forming elements had a shallow source, and was mainly derived from the crust. The extremely low content of Re might be due to the low Re content within its parent magma as well as its paragenetic mineral assemblage. Combined with the results of previous study, it is concluded

基金项目: 中国地质调查局项目(No. 1212011120156).
作者简介: 万多(1984—),男,博士研究生,主要从事矿产勘查方面的研究工作. E-mail: wanduo_vip@163.com
* 通讯作者: 王可勇, E-mail: wangky@jlu.edu.cn

that (a) both rock- and ore-forming materials of Hongling deposit came from hyperplasia crust; and (b) the deposit formed in a dynamical environment of continental crust extension post Mongolia-Okhotsk collisional orogeny.

Key words: isotopes; metallogenic chronology; molybdenite; Hongling lead-zinc polymetallic deposit.

0 引言

红岭矽卡岩型铅锌多金属矿床是大兴安岭南段黄岗梁—甘珠尔庙锡—铅—锌—铜多金属成矿带内一大型代表性矿床。前人对该矿床地质特征、稳定同位素地球化学、成矿过程和成矿作用等多方面进行了较深入地研究(张德全和赵一鸣,1993;白大明和刘光海,1996;赵一鸣和张德全,1997;王莉娟等,2004;邵济安等,2005;白大明等,2011;要梅娟等,2012)。这些研究成果对红岭矿区的基础地质研究起到一定的促进作用;但在成矿年代学方面研究比较薄弱,仅有张德全和赵一鸣(1993)通过对乌兰坝岩体采用全岩 Rb-Sr 等时线法取得了 132 Ma 的间接数据。然而,矿床的精确测年是建立矿床模型和反演成矿地球动力学背景的重要基础资料(谢桂青等,2009)。近年来,随着测试技术的不断改进及测试精度的提高,辉钼矿 Re-Os 年龄的精确性已被广泛认可。近期赤峰山金红岭有色金属有限公司在外围探矿权勘查工作中获得突破,ZK3 钻孔在深度 189.72~236.21 m,断续出现钼矿化;笔者在详细的巷道地质观测过程中发现呈薄膜状产出的辉钼矿。钼矿化的发现,为矿床的精确测年提供可能。本文在详细的野外地质工作基础上,利用辉钼矿 Re-Os 同位素法对研究区辉钼矿进行了测定,获得了精确的成矿年龄,结合以往的研究成果,从区域成矿学的角度,探讨其产出环境及成矿机理。

1 矿床地质特征

1.1 矿区地质

红岭铅锌多金属矿床地处大兴安岭南段,大地构造归属大兴安岭南段晚古生代增生造山带(刘建明等,2004),行政区划隶属于内蒙古赤峰市巴林左旗(图 1a)。

矿区主要出露地层为中二叠统大石寨组 and 上侏罗统满克头鄂博组。大石寨组在区内出露面积约 18 km²,厚度约 1 788 m,呈 50°~60°方向展布,倾向北西 320°~340°,为倒转背斜的南东翼;主要岩性有泥质、粉砂质板岩夹大理岩、变质砂岩、变安山岩,玄武安山岩、变质凝灰岩及变质火山角砾熔岩等。满克

头鄂博组由一套火山喷发的酸性熔岩、酸性碎屑熔岩组成,岩性变化大,层次不清,岩性间界线均为渐变关系;该套地层厚度约 1 955 m,在矿区内由 NE 到 SW 有碎屑物逐渐增多的趋势;主要岩性有流纹质凝灰角砾熔岩、流纹质含角砾凝灰熔岩、酸性熔岩、以及流纹质晶屑凝灰岩等,呈角度不整合于二叠系地层之上,大面积分布于研究区的南部。对满克头鄂博组火山岩测得最新锆石 U-Pb 年龄为 150~160 Ma(张吉衡,2009;杨扬等,2012),为晚侏罗世。

受古生代西伯利亚古板块与中朝古板块的碰撞造山以及中生代以来滨太平洋构造域构造活动叠加改造作用的影响,区内褶皱及断裂构造十分发育,它们对本区铅—锌多金属成矿起了重要的控制作用。区内古生代地层经历了强烈的褶皱作用,黄岗—甘珠尔庙复式背斜呈 NE-SW 向贯穿本区;该复背斜轴线南西起乌兰坝十队、北东至乌兰坝浑堤,全长大于 20 km,宽 3~7 km,背斜的两翼因受侵入岩体的破坏已残缺不全,仅核部保存完整。矿区断裂构造分为 SN 向、EW 向、NE 向及 NW 向 4 组;其中 EW 向、NE 向断裂控制了区内不同时代侵入体的空间产出与分布,是区内重要的控岩断裂;SN、NE 向断裂是该区主要的控矿构造;NW 向断裂由于穿切破坏了矿脉,为成矿后期构造(图 1b)。

区内岩浆活动强烈,花岗质侵入体分布广泛,主要为研究区北侧的乌兰楚鲁特岩体和东侧的乌兰坝岩体;前者的主要组成岩性为肉红色花岗斑岩,出露面积约 30 km²;而后者组成岩性为肉红色中粗粒花岗岩,出露面积约为 25 km²。笔者对取自乌兰楚鲁特岩体和乌兰坝岩体采用 LA-ICP-MS 测得锆石 U-Pb 年龄分别为 141.9±1.2 Ma 和 144.1±1.5 Ma(待刊),表明岩体侵位时代为燕山期,晚于满克头鄂博组火山岩的年龄。矿区还发育细粒闪长岩、石英闪长玢岩及煌斑岩等脉岩,尤以前两者为主。这些脉岩长一般几十米至百余米,宽几米,沿近南北、北西向断裂产出。

1.2 矿化特征

1.2.1 铅锌矿化特征 红岭铅锌多金属矿床产于乌兰坝岩体与二叠系大石寨组的外接触带上,为典型矽卡岩矿床。

矿带在矿区内呈北东 60°方向展布,倾向 NW,倾角较陡;矿体呈层状、似层状产出,沿地层中的大

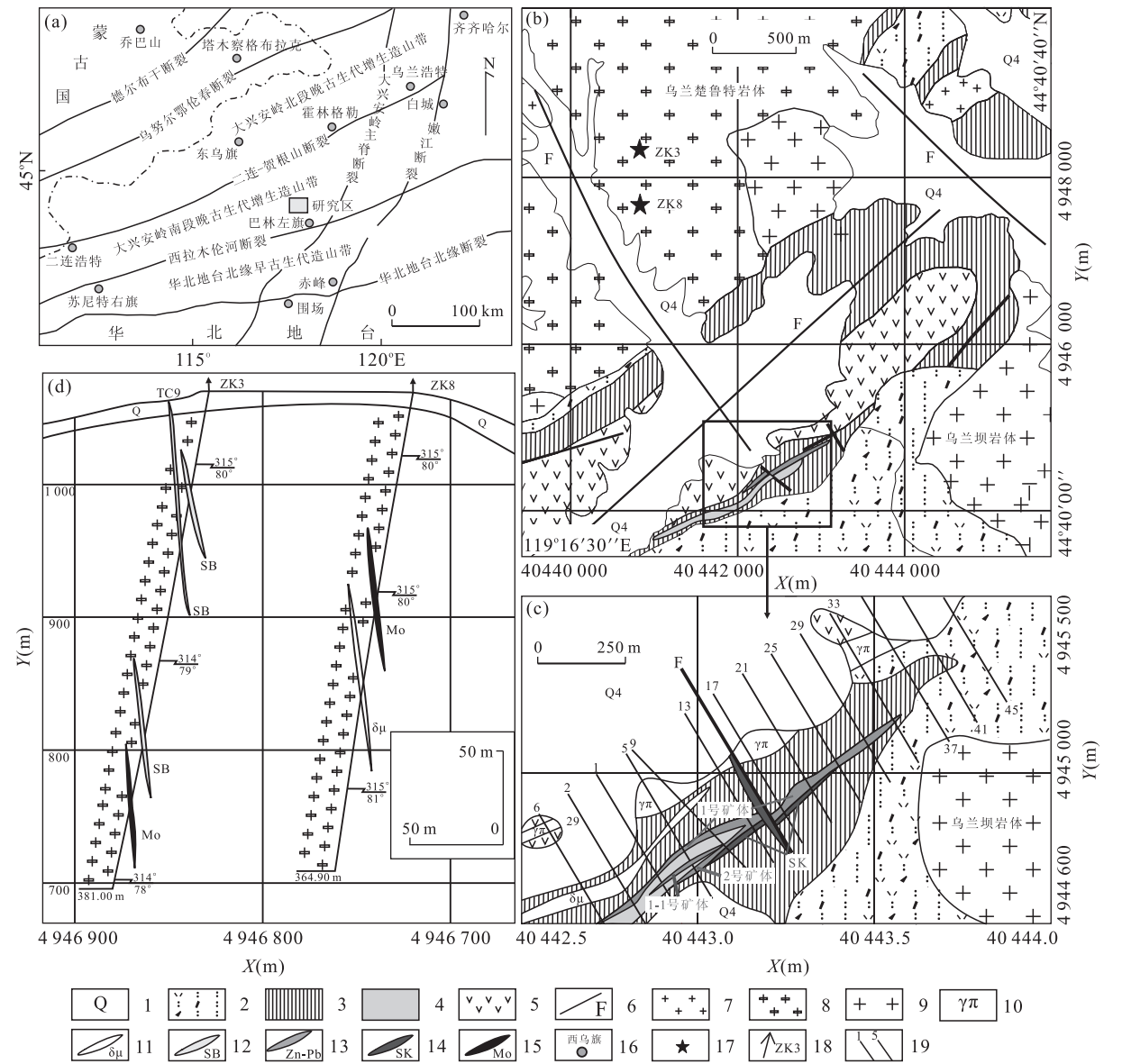


图 1 红岭铅锌多金属矿区地质简图及 ZK-3 钻孔剖面地质图

Fig. 1 Geological sketch map of Hongling lead-zinc polymetallic deposit and Drilling section geological map
1. 第四系; 2. 满克头鄂博组; 3. 大石寨组砂岩、粉砂岩、板岩等; 4. 大石寨组大理岩; 5. 大石寨组安山岩; 6. 断层; 7. 中细粒花岗岩; 8. 肉红色花岗岩斑岩; 9. 中粗粒花岗岩; 10. 花岗斑岩脉; 11. 闪长玢岩脉; 12. 蚀变带; 13. 铅锌矿体; 14. 砂卡岩; 15. 钼矿体; 16. 地名; 17. 见矿矿化钻孔位置; 18. 钻孔; 19. 勘探线

理岩层位分布,大理岩层的上、下底板岩性均为粉砂质板岩.大理岩的厚度不稳定,地表 13 线,深部在 17、21 线以东因大理岩较薄,被完全交代,形成一条矿体;以西因大理岩厚度增加,故热液沿其顶、底板及层间断裂充填、交代;其顶板矿体、底板矿体及层间矿体依次为 1 号、2 号和 1-1 号矿体(图 1c).矿区成矿元素具有明显的水平和垂直分带,由北东(近花岗岩)向南西(远离花岗岩),元素分带依次为 Sn-Fe、Sn-Cu-Fe、Zn-Zn、Pb-Pb-Pb、Ag,自上而下为 Pb、Ag-Pb、Zn-Fe、Zn-Cu(白大明等,2011).

矿石中主要金属矿物有闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、磁铁矿、磁黄铁矿、锡石,次要金属矿物为黄铁矿、赤铁矿,此外还有少量毒砂、自然铋、辉铋铅矿、黝铜矿、砷黝铜矿、辉银矿、及菱铁矿等;脉石矿物有钙铝榴石、钙铁榴石、钙铁辉石、锰钙铁辉石、透辉石、透闪石、黑柱石及方解石等;表生矿物有铜兰、孔雀石、斑铜矿、铅矾等.常见的矿石结构有半自形—他形粒状结构、交代溶蚀结构、交代残余结构、交代残骸结构、固溶体分离结构、填隙结构、碎裂结构等;常见的矿石构造有块状构造、脉状构造、条带状构

造、角砾状构造、梳状构造等。

矽卡岩化为矿区内最重要的蚀变类型，多数矿体产于矽卡岩中，局部见矿体直接交代充填于大理岩中。矽卡岩类型主要有石榴石矽卡岩、石榴石辉石矽卡岩、辉石榴石矽卡岩及辉石矽卡岩，沿矿带走向和垂向具良好分带性；沿矿带走向从 NE 到 SW，矽卡岩中石榴石含量逐渐减少，辉石含量逐渐增多；由浅至深矽卡岩中石榴石逐渐增多，辉石逐渐减少（白大明和刘光海，1996）。此外，还见有绢云母化、绿泥石化、钾长石化、云英岩化，绿泥石—碳酸盐化等蚀变。

1.2.2 钼矿化特征 ZK3 钻孔位于红岭铅锌多金属矿床 NW335°，直线距离约 4 km。钻孔在深度 189.7 ~ 236.2 m，断续出现钼矿化，厚度达 46.49 m，中心部位 2 m 左右钼含量为 0.20% ~ 0.50%，达到工业开采品位；在深度 12.9 ~ 18.8 m、37.0 ~ 41.8 m 还分别见到了铜矿化带（图 1d）。由于钼矿化规模相对较小，且矿化不均匀，目前尚未开采，但对于指导找矿勘探工作无疑具有重要的指导意义。

辉钼矿呈斑点状、浸染状分布于肉红色花岗斑岩之中（图 2a）。镜下观察表明，肉红色花岗斑岩具有斑状结构、块状构造，斑晶含量约为 15%，基质含量约为 85%。斑晶多为单晶，少数为多个晶粒的聚斑；由碱性长石、斜长石、石英、角闪石和黑云母组成，它们在斑晶中的含量分别为 55%、10%、25%、5%和 5%。斑晶碱性长石斑晶具他形板状结构，粒径一般为 2.5 ~ 3.5 mm，具弱高岭土化。斜长石斑晶为半自形板状结构，长轴长度一般为 0.5 ~ 1.0 mm；长宽比一般为 2 ~ 3；具弱绢云母化。石英斑晶呈他形粒状结构，粒径一般为 1.0 ~ 1.5 mm，具明显熔蚀现象，多被溶蚀为浑圆状。角闪石斑晶多为半自形柱状，长轴长度一般为 0.5 ~ 1.0 mm，长宽比一般为 1 ~ 3；发育强褐铁矿化，常见微小铁质矿物析出，局部具强黑云母化蚀变。黑云母斑晶半自形—他形片状结构，长轴长度一般为 0.3 ~ 0.6 mm，具轻微褐铁矿化和绿泥石化。基质具微粒结构，主要由长石、石英、角闪石和黑云母微晶组成，它们在基质中的含量分别为 65%、25%、5%和 5%。基质中的长英质微晶他形粒状结构，长度一般为 0.10 ~ 0.15 mm，具强高

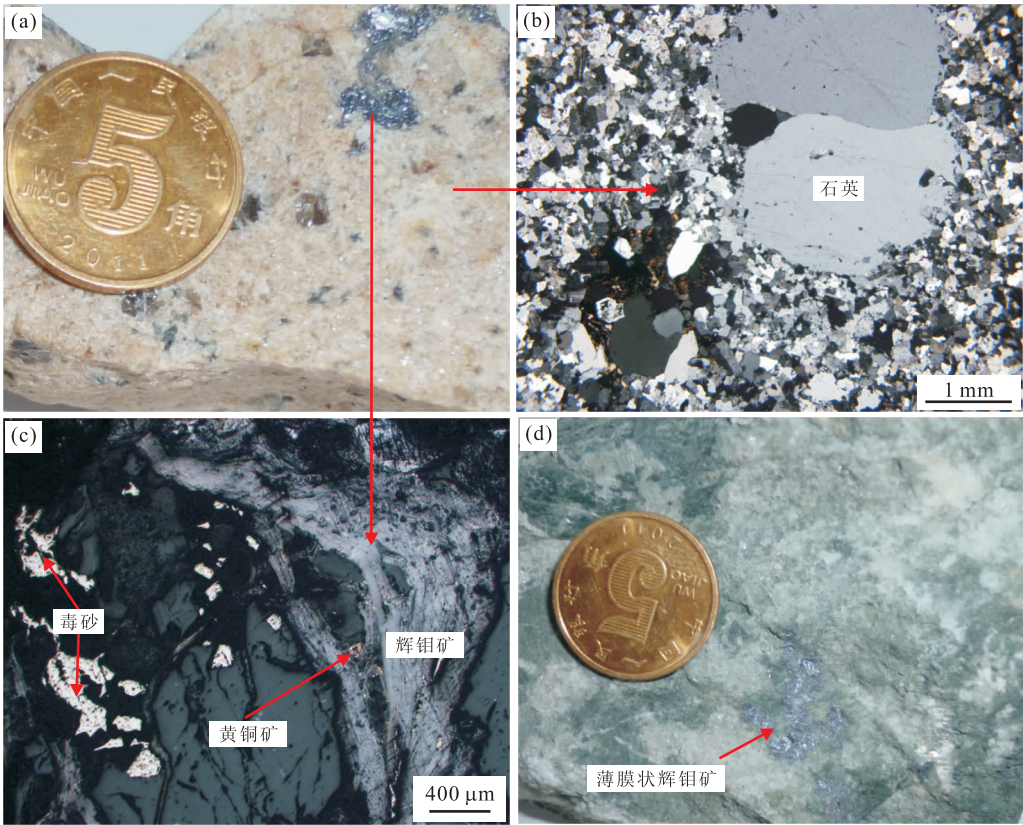


图 2 红岭矿区钼矿化及其显微图片

Fig. 2 Microphotograph showing intergrowth of molybdenite Mineralization, bulk of lead-zinc ore from Hongling
a. 斑点状辉钼矿；b. 斑状花岗岩；c. 自形结构的辉钼矿集合体；d. 薄膜状辉钼矿

表 1 红岭矿区辉钼矿 Re、Os 含量及 Re-Os 模式年龄

Table 1 Re and Os contents and Re-Os model ages of molybdenite within Hongling molybdenum-tungsten deposit

样号	样重(g)	Re(10^{-9})	Os 普(10^{-9})	^{187}Re (10^{-9})	^{187}Os (10^{-9})	模式年龄(Ma)
HLZ-1	0.0579 1	224.32±0.68	0.012 5±0.000 8	140.99±0.43	0.329 2±0.002 6	140.0±1.8
HLZ-2	0.0541 2	241.77±0.73	0.013 4±0.000 8	151.96±0.46	0.354 8±0.002 8	140.0±1.8
HLZ-3	0.0722 2	94.98±0.33	0.003 5±0.001 9	59.68±0.21	0.139 2±0.001 7	139.9±1.8
HLZ-4	0.0511 2	235.56±0.70	0.002 2±0.000 4	148.06±0.44	0.349 4±0.007 0	141.5±3.2
HLZ-5	0.0566 9	121.12±0.39	0.004 5±0.002 4	76.07±0.24	0.177 4±0.002 2	139.9±2.3
HLX-1	0.0509 2	4 722.89±15.87	0.103 4±0.000 7	2 968.43±9.97	7.113 5±0.031 8	143.7±3.6

岭土化和绢云母化;铁镁矿物微晶柱状结构,粒度与斜长石基本相同,具弱褐铁矿化和绿泥石化(图 2b).

矿相学研究表明,浸染状钼矿石的矿物组成简单,金属矿物以辉钼矿为主,次要矿物为毒砂和黄铜矿(图 2c).金属矿物含量为 15%~25%;辉钼矿沿花岗斑岩的微细裂隙形成浸染状构造,在裂隙交汇区域辉钼矿形成团块状集合体,最大团块超过1 cm;少量辉钼矿呈他形晶粒状结构,粒径较小,以 1~2 mm为主,与脉石英为镶嵌结构.毒砂多呈半自形一他形晶浸染状分布于矿石矿物中,粒径较小,以 0.5~2.0 mm 居多,常见碎裂结构;少量毒砂呈交代残余结构分布于辉钼矿团块之中.黄铜矿呈交代残余结构产出辉钼矿团块之中.钼矿石发育半自形一他形晶状结构、交代残余结构,主要为斑点状、浸染状构造.矿物之间的交生关系表明,辉钼矿形成时代晚于毒砂和黄铜矿.

此外,笔者在巷道地质观测过程中发现在锌多金属矿体内有呈薄膜状产出的辉钼矿一石英细脉,辉钼矿充填于早期形成的矽卡岩微细裂隙之中(图 2d),系矽卡岩型矿床成矿过程中氧化物阶段晚期一早期硫化物阶段的产物(姚凤良和孙丰月,2006).

2 辉钼矿 Re-Os 同位素定年研究

钼矿化的发现为矿床的精确测年提供可能,且研究区内 2 种产状迥异的辉钼矿的年代学、成因及其与铅锌矿化之间的关系都是值得思考的问题.为确定红岭铅锌多金属矿区辉钼矿的准确年龄,本文共挑取 6 件辉钼矿样品进行 Re-Os 同位素定年研究;其中 5 件样品取自 ZK3 钻孔的不同深度,1 件样品取自红岭铅锌矿区巷道内呈薄膜状产的辉钼矿.样品经分离、挑选后,辉钼矿纯度达 99%,其 Re、Os 同位素的化学分离和测试由中国地质科学院国家地质实验测试中心 Re-Os 同位素实验室应用负离子

热表面电离质谱法(NTIMS)进行同位素测定,样品的化学处理流程和质谱测定技术参考杜安道等(1994, 2001).

辉钼矿中非放射性成因的 ^{187}Os 含量往往很低(Stein *et al.*, 2001),几乎所有的 ^{187}Os 都是由 ^{187}Re 衰变而成(Luck and Allegre, 1982),因此,可以通过辉钼矿中的 ^{187}Re 、 ^{187}Os 含量直接计算模式年龄(李红艳等,1996).取自红岭矿区钼矿化的 6 件辉钼矿样品的 Re-Os 同位素测试结果列于表 1,6 件样品得到接近一致的年龄,模式年龄变化范围为 139.9±2.3 Ma~143.7±3.6 Ma;其中样品 HLX-6 的 Re、 ^{187}Os 含量较其他样品高出 1 个数量级,加权平均年龄及等时线作图时,未包含.采用 ISPOLOT 软件(Ludwig, 2003)对 HLZ-1~HLZ-5 数据进行等时线计算,得到等时线年龄为 140.3±3.4 Ma,MSWD=0.082;5 件样品加权平均年龄为140.10±1.80 Ma(图 3).

3 讨论

3.1 成矿时代讨论

本文测得 5 件斑点状辉钼矿样品 Re-Os 年龄分布范围为 139.9±2.3 Ma~141.5±3.2 Ma 之间,加权平均年龄为 140.10±1.80 Ma、等时线年龄为 140.3±3.4 Ma(MSWD=0.082),两者在同一误差范围完全一致.如前所述,矿区内斑点状钼矿化与肉红色花岗斑岩时空关系密切;且它们的形成时代非常接近,代表了斑岩型钼矿化的成矿时代为晚侏罗世,是中国东部燕山期大规模成矿作用的组成部分.

在国内有众多学者对矽卡岩型贱金属矿床进行辉钼矿 Re-Os 同位素年龄研究,并取得了令人信服的成矿年代学数据(李红艳等,1996;姚军明等,2007;谢桂青等,2009;周振华等,2010).此次分析 1 件薄膜状辉钼矿样品的 Re-Os 模式年龄为

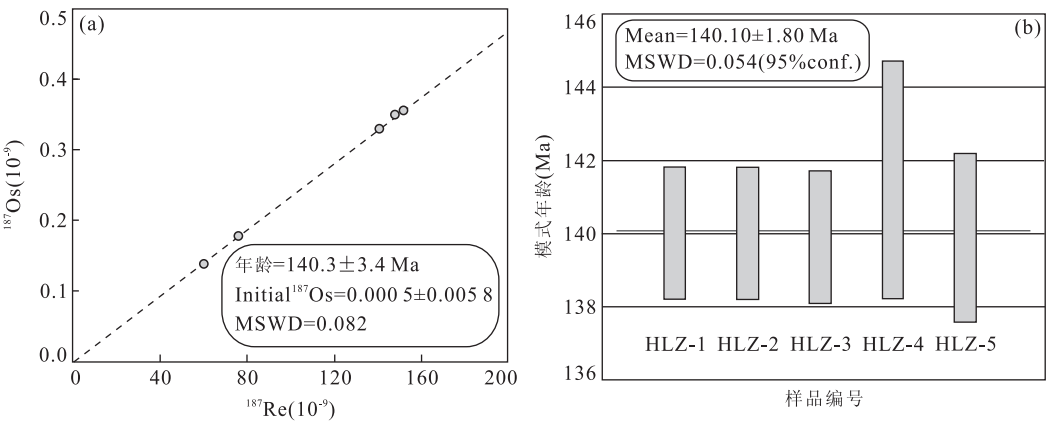


图 3 红岭矿区辉钼矿 Re-Os 等时线年龄(a)和加权平均年龄图(b)

Fig. 3 Re-Os weighed average model ages (a) and isochron age (b) of molybdenite from the Hongling lead-zinc polymetallic deposit

143.7 ± 3.6 Ma, 尽管其形成一般早于铅、锌硫化物, 应为铅锌矿化阶段的成矿年代上限, 但大体上可以代表红岭矿区铅锌成矿年代。

杨宗锋等(2011)系统地总结 744 个辉钼矿 Re-Os 同位素测年数据并进行研究发现, Re 含量与岩性和共生矿物种类存在密切关系, 同时指出辉钼矿 Re 含量的级数变化可能与其产出状态(岩性和共生矿物种类)密切相关。岩相学和矿相学研究表明, 斑岩型钼矿中辉钼矿伴生的矿物主要有毒砂、黄铜矿等; 极低的 Re 含量可能与高度分异的花岗斑岩岩体有关及矿物共生组合有关。薄膜状辉钼矿样品的 Re、 ^{187}Os 含量较斑点状辉钼矿样品高出 1 个数量级, 说明 2 种类型钼矿化虽然成矿年代接近, 却具有不同的成因。

3.2 成矿物质来源

目前, 多数学者认为 Re-Os 同位素体系能够指示成矿物质来源及成矿过程中不同物质混入情况(Mao *et al.*, 1999, 2003a, 2003b, 2006; Stein *et al.*, 2001; 姚军明等, 2007)。Mao *et al.* (1999) 对比了中国各类钼矿床中辉钼矿的 Re 含量, 发现从地幔来源到壳幔混合来源再到地壳来源, 矿石中辉钼矿的 Re 含量逐次呈数量级降低; 从与幔源—I 型花岗岩—S 型花岗岩有关的钼矿床, Re 含量从 $n \times 10^{-4} - n \times 10^{-5} - n \times 10^{-6}$ 变化。此次分析的辉钼矿样品 Re 含量均很低, HLZ-1~HLZ-5 的 Re 含量为 $0.95 \times 10^{-7} \sim 2.36 \times 10^{-7}$, HLX-1 的 Re 含量为 4.72×10^{-6} ; 由此推断, 红岭矿区 2 种钼矿化的成矿物质来源均主要为壳源。

硫、铅同位素分析表明, 研究区成矿物质来源于深源岩浆, 深源岩浆携带的成矿物质主要来源于古生代造山作用产生的增生地壳物质, 成岩与成矿具

同源性(邵济安等, 2005; 要梅娟等, 2012)。内蒙古第三地质队通过对研究区硫化物和钾长石进行铅同位素分析表明(据内蒙古——五地质队浩布高多金属矿详查地质报告, 1992), 方铅矿 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 这 3 个值的变化范围分别为 $18.2482 \sim 18.4790$ 、 $15.5108 \sim 15.6340$ 和 $37.9270 \sim 38.4360$; 钾长石 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 这 3 个值的变化范围分别集中在 $18.2151 \sim 18.5632$ 、 $15.4920 \sim 15.6059$ 和 $13.1258 \sim 38.5014$; 在 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ – $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 和 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ – $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 构造环境判别图解及 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ – $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 增长曲线中, 所有样品均落入造山带区域内。综上所述, 红岭铅锌多金属矿床的成岩与成矿物质均源于地壳。

3.3 成矿动力学背景讨论

目前对大兴安岭南段多金属成矿带的研究程度相对较高, 以其广泛发育内生有色金属矿床(点)倍受地质学家的关注(张德全和赵一鸣, 1993; 马星华等, 2009; 翟德高等, 2009; 周振华等, 2010; 闫聪等, 2011)。红岭矿区的钼矿化并不是偶然事件, 在该区域上普遍存在一期燕山期“钼矿化事件”, 如黄冈锡铁矿床, 其钼矿化年龄为 135.3 ± 0.9 Ma(周振华等, 2010); 太平沟斑岩型钼矿, 其成矿年龄为 130.1 ± 1.3 Ma(翟德高等, 2009); 半拉山钼矿床, 其成矿年龄为 136.1 ± 6.6 Ma(闫聪等, 2011); 敖伦花钼矿, 其成矿年龄为 132 ± 1 Ma(马星华等, 2009)等。周振华等(2010)统计了大兴安岭地区中生代矿床共计 35 个矿床成岩成矿时代数据, 指出大兴安岭地区存在 $140 \sim 130$ Ma 左右、 $180 \sim 160$ Ma 左右的 2 次主要的成矿爆发期。地球化学研究表明, 大兴安岭南段与钼矿化关系密切的岩浆岩多形成于

岩石圈伸展的环境(马星华等, 2009; 周振华等, 2010; 闫聪等, 2011)。岩石圈的伸展致使软流圈地幔上涌, 直至岩石圈地幔完全消失, 软流圈地幔与下地壳直接接触(张旗等, 2009); 软流圈对地壳的直接加热导致其形成深熔的花岗质岩浆, 并引发了大规模成矿作用。一般岩浆弧距离俯冲带 < 300 km (Chen *et al.*, 2007), 而大兴安岭南段多金属成矿带距离日本岛东岸的中生代缝合带达 2 000 km, 且自东向西间隔着日本海、松辽盆地、太行山—嫩江断裂等重要构造带, 远非岩浆弧的宽度所能到达(闫聪等, 2011), 这足以证明该区域“钼矿化事件”与太平洋板块的俯冲作用无直接联系。综合研究表明, 红岭铅锌多金属矿床的成矿动力学背景为蒙古—鄂霍茨克造山带碰撞造山后陆壳伸展环境。

4 结论

(1) 辉钼矿 Re-Os 同位素定年结果表明, 5 件浸染状辉钼矿样品的 Re-Os 等时线年龄为 140.10 ± 1.80 Ma (MSWD=0.082), 模式年龄加权平均值为 139.93 ± 0.15 Ma, 两者在同一误差范围完全一致, 代表了斑岩型钼矿化时代为晚侏罗世。1 件薄膜状辉钼矿样品模式年龄为 143.7 ± 3.6 Ma, 其 Re、 ^{187}Os 含量较其他样品高出 1 个数量级, 说明两者具有不同的成因。

(2) 6 件辉钼矿样品的 Re 含量特征指示其成矿物质的浅源性, 应以壳源为主; 极低的 Re 含量可能与其母岩和共生矿物组合有关。

(3) 红岭铅锌多金属矿床的成矿动力学背景为蒙古—鄂霍茨克造山带碰撞造山后陆壳伸展环境。

References

- Bai, D. M., Fu, G. L., Nie, F. J., et al., 2011. Integrated Ore Prospecting Model for the Skarn Polymetallic Deposit in Southeastern Inner Mongolia. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 41(6): 1968—1976 (in Chinese with English abstract).
- Bai, D. M., Liu, G. H., 1996. Application of Geologic, Geo-physical, Geochemical Prospecting Method in the Haobugao Pb-Zn-Sn-Cu Polymetallic Deposit. *Geological Exploration for Non-Ferrous Metals*, 5(6): 361—367 (in Chinese with English abstract).
- Chen, Y. J., Chen, H. Y., Zaw, K., et al., 2007. Geodynamic Settings and Tectonic Model of Skarn Gold Deposits in China: An Overview. *Ore Geology Reviews*, 31(1—4): 139—169. doi:10.1016/j.oregeorev.2005.01.001
- Du, A. D., He, H. L., Yin, N. W., et al., 1994. A Study on the Rhenium-Osmium Geochronometry of Molybdenites. *Acta Geologica Sinica*, 68(4): 339—347 (in Chinese with English abstract).
- Du, A. D., Zhao, D. M., Wang, S. X., et al., 2001. Precise Re-Os Dating for Molybdenite by ID-NTIMS with Carius Tube Sample Preparation. *Rock and Mineral Analysis*, 20(4): 247—252 (in Chinese with English abstract).
- Li, H. Y., Mao, J. W., Sun, Y. L., et al., 1996. Re-Os Isotopic Chronology of Molybdenites in the Shizhuyuan Polymetallic Tungsten Deposit, Southern Hunan. *Geological Review*, 42(3): 261—267 (in Chinese with English abstract).
- Liu, J. M., Zhang, R., Zhang, Q. Z., 2004. The Regional Metallogeny of Da Hinggan Ling, China. *Earth Science Frontiers*, 11(1): 269—277 (in Chinese with English abstract).
- Luck, J. M., Allegre, C. J., 1982. The Study of Molybdenites through the ^{187}Re - ^{187}Os Chronometer. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 61: 291—296.
- Ludwig, K., 2003. Isoplot/Ex3.0: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center, Berkeley.
- Ma, X. H., Chen, B., Lai, Y., et al., 2009. Petrogenesis and Mineralization Chronology Study on the Aolunhua Porphyry Mo Deposit, Inner Mongolia, and Its Geological Implications. *Acta Petrologica Sinica*, 25(11): 2939—2950 (in Chinese with English abstract).
- Mao, J. W., Du, A. D., Seltmann, R., et al., 2003a. Re-Os Ages for the Shameika Porphyry Mo Deposit and the Lipovy Lograre Metal Pegmatite, Central Urals, Russia. *Mineralium Deposita*, 38(2): 251—257. doi:10.1007/s00126-002-0331-2
- Mao, J. W., Wang, Y. T., Lehmann, B., et al., 2006. Molybdenite Re-Os and Albite $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Dating of Cu-Au-Mo and Magnetite Porphyry Systems in the Yangtze River Valley and Metallogenic Implications. *Ore Geology Reviews*, 29(3—4): 307—324. doi:10.1016/j.oregeorev.2005.11.001
- Mao, J. W., Wang, Y. T., Zhang, Z. H., et al., 2003b. Geodynamic Setting of Mesozoic Large-Scale Mineralization in North China and Adjacent Areas: Implication from the Highly Precise and Accurate Ages of Metal Deposits. *Science in China (Series D)*, 46(8): 838—851. doi:10.3969/j.issn.1674-7313.2003.08.008
- Mao, J. W., Zhang, Z. C., Zhang, Z. H., et al., 1999. Re-Os

- Isotopic Dating of Molybdenites in the Xiaoliugou W (Mo) Deposit in the Northern Qilian Mountains and Its Geological Significance. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 63(11—12): 1815—1818. doi:10.1016/S0016—7037(99)00165—9
- Shao, J. A., Zhang, L. Q., Xiao, Q. H., et al., 2005. Rising of Da Hinggan Mts in Mesozoic: A Possible Mechanism of Intracontinental Orogeny. *Acta Petrologica Sinica*, 21(3): 789—794 (in Chinese with English Abstract).
- Stein, H. J., Markey, R. J., Morgan, J. W., et al., 2001. The Remar Kable Re-Os Chronometer in Molybdenite: How and Why It Works. *Terra Nova*, 13(6): 479—486. doi:10.1046/j.1365—3121.2001.00395.x
- Wang, L. J., Wang, J. B., Wang, Y. W., et al., 2004. Eastern Inner Mongolia and Oxygen Isotope Characteristics of Granite Related to the Skarn Type Deposit—Take Haobugao Deposit as an Example. *Geological Review*, 50(5): 513, 560 (in Chinese).
- Xie, G. Q., Zhao, H. J., Zhao, C. S., et al., 2009. Re-Os Dating of Molybdenite from Tonglūshan Ore District in Southeastern Hubei Province, Middle-Lower Yangtze River Belt and Its Geological Significance. *Mineral Deposits*, 28(3): 227—239 (in Chinese with English abstract).
- Yan, C., Sun, Y., Lai, Y., et al., 2011. LA-ICP-MS Zircon U-Pb and Molybdenite Re-Os Isotope Ages and Metallogenic Geodynamic Setting of Banlashan Mo Deposit, Inner Mongolia. *Mineral Deposits*, 30(4): 616—634 (in Chinese with English abstract).
- Yang, Y., Gao, F. H., Chen, J. S., et al., 2012. Zircon U-Pb Ages of Mesozoic Volcanic Rocks in Chifeng Area. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 42(Suppl. 2): 257—268 (in Chinese with English abstract).
- Yang, Z. F., Luo, Z. H., Lu, X. X., et al., 2011. Discussion on Significance of Re Content of Molybdenite in Tracing Source of Metallogenic Materials. *Mineral Deposits*, 30(4): 654—674 (in Chinese with English abstract).
- Yao, F. L., Sun, F. Y., 2006. Mineral Deposits. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese with English abstract).
- Yao, J. M., Hua, R. M., Qu, W. J., et al., 2007. Re-Os Isotope Dating of Molybdenites in the Huangshaping Pb-Zn-W-Mo Polymetallic Deposit, Hunan Province, South China and Its Geological Significance. *Science in China (Ser. D)*, 37(4): 471—477 (in Chinese).
- Yao, M. J., Liu, J. J., Zhai, D. G., et al., 2012. Sulfur and Lead Isotopic Compositions of the Polymetallic Deposits in the Southern Daxing'anling: Implications for Metal Sources. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 42(2): 362—373 (in Chinese with English abstract).
- Zhai, D. G., Liu, J. J., Wang, J. P., et al., 2009. Re-Os Isotopic Chronology of Molybdenite from the Taipinggou Porphyry-Type Molybdenum Deposit in Inner Mongolia and Its Geological Significance. *Geoscience*, 23(2): 262—268 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, D. Q., Zhao, Y. M., 1993. Proceeding of Copper-Polymetallic Deposits in the Da Xinggan Mountains and Its Adjacent Areas. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese with English abstract).
- Zhang, J. H., 2009. Geochronology and Geochemistry of the Mesozoic Volcanic Rocks in the Great Xing'an Range, Northeastern China (Dissertation). China University of Geoscience, Wuhan, 1—63 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Q., Jin, W. J., Li, C. D., et al., 2009. Yanshanian Large-Scale Magmatism and Lithosphere Thinning in Eastern China: Relation to Large Igneous Province. *Earth Science Frontiers*, 16(2): 21—51 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, Y. M., Zhang, D. Q., 1997. Metallogenic Regularity and Prospective Evaluation of the Copper-Polymetallic Deposits in Daxinganling and Adjacent Areas. Seismological Press, Beijing (in Chinese).
- Zhou, Z. H., Lü, L. S., Feng, J. R., et al., 2010. Molybdenite Re-Os Ages of Huanggang Skarn Sn-Fe Deposit and Their Geological Significance, Inner Mongolia. *Acta Petrologica Sinica*, 26(3): 667—679 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 白大明, 付国立, 聂风军, 等, 2011. 内蒙古东南部矽卡岩型金属矿床的综合找矿模式. 吉林大学学报(地球科学版), 41(6): 1968—1976.
- 白大明, 刘光海, 1996. 浩布高铅锌铜锡矿床地物化综合找矿模式探讨. 有色金属矿产与勘查, 5(6): 361—367.
- 杜安道, 何红蓼, 殷宁万, 等, 1994. 辉钼矿的铼—钨同位素地质年龄测定方法研究. 地质学报, 68(4): 339—347.
- 杜安道, 赵敦敏, 王淑贤, 等, 2001. Carius 管溶样—负离子热表面电离质谱准确测定辉钼矿铼—钨同位素地质年龄. 岩矿测试, 20(4): 247—252.
- 李红艳, 毛景文, 孙亚利, 等, 1996. 柿竹园钨多金属矿床的 Re-Os 同位素等时线年龄研究. 地质论评, 42(3): 261—267.
- 刘建明, 张锐, 张庆洲, 2004. 大兴安岭地区的区域成矿特征.

地学前缘,11(1): 269—277.

马星华,陈斌,赖勇,等,2009. 内蒙古敖伦花斑岩钼矿床成岩成矿年代学及地质意义. 岩石学报, 25 (11): 2939—2950.

邵济安,张履桥,肖庆辉,等,2005. 中生代大兴安岭的隆起——一种可能的陆内造山机制. 岩石学报, 21 (3): 789—794.

王莉娟,王京彬,王玉往,等,2004. 内蒙古东部与矽卡岩型矿床有关的花岗岩氧同位素特征——以浩布高矿床为例. 地质评论, 50(5): 513,560.

谢桂青,赵海杰,赵财胜,等,2009. 鄂东南铜绿山矿田矽卡岩型铜铁金矿床的辉钼矿 Re-Os 同位素年龄及其地质意义. 矿床地质, 28(3): 227—239.

闫聪,孙艺,赖勇,等,2011. 内蒙古半拉山钼矿 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 与辉钼 Re-Os 年龄及其成矿动力学背景. 矿床地质, 30(4): 616—634.

杨扬,高福红,陈井胜,等,2012. 赤峰地区中生代火山岩锆石 U-Pb 年代学证据. 吉林大学学报(地球科学版), 42(增刊 2): 257—268.

杨宗锋,罗照华,卢欣祥,等,2011. 关于辉钼矿中 Re 含量示踪来源的讨论. 矿床地质, 30(4): 654—674.

姚凤良,孙丰月,2006. 矿床学教程. 北京:地质出版社.

姚军明,华仁民,屈文俊,等,2007. 湘南黄沙坪铅锌钨钼多金属矿床辉钼矿的 Re-Os 同位素定年及其意义. 中国科学(D辑), 37(4): 471—477.

要梅娟,刘家军,翟德高,等,2012. 大兴安岭南段多金属成矿带硫、铅同位素组成及其地质意义. 吉林大学学报(地球科学版), 42(2): 362—373.

翟德高,刘家军,王建平,等,2009. 内蒙古太平沟斑岩型钼矿床 Re-Os 等时线年龄及其地质意义. 现代地质, 23(2): 262—268.

张德全,赵一鸣,1993. 大兴安岭及邻区铜多金属矿床论文集. 北京:地质出版社.

张吉衡,2009. 大兴安岭中生代火山岩年代学及地球化学研究(博士学位论文). 武汉:中国地质大学,1—63.

张旗,金惟俊,李承东,等,2009. 中国东部燕山期大规模岩浆活动与岩石圈减薄:与大火成岩省的关系. 地学前缘, 16(2): 21—51.

赵一鸣,张德全,1997. 大兴安岭及其邻区铜多金属矿床成矿规律与远景评价. 北京:地震出版社.

周振华,吕林素,冯佳睿,等,2010. 内蒙古黄岗夕卡岩型锡铁矿床辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义. 岩石学报, 26 (3): 667—679.

《地球科学——中国地质大学学报》
2014 年 7 月 第 39 卷 第 7 期 要目预告

内蒙古林西地区晚二叠世—早三叠世孢粉组合及三叠系的发现	杨 兵等
太平洋海山富钴结壳钙质超微化石生物地层学及生长过程	赵 军等
滇西腾冲地块新生代火山岩中高温麻粒岩包体的发现及成因	林木森等
低勘探程度盆地成藏动力学过程研究:以西湖凹陷中部地区为例.....	雷 闯等
页岩油富集可采主控因素分析:以泌阳凹陷为例.....	李吉君等
地应力对碳酸盐岩溶解和岩溶发育的影响研究	钱海涛等
中国东部表层土壤磁化率特征及其指示意义	邱世藩等
从富硒石煤回收制备粗硒的新工艺	田 欢等