

# 胶东半岛烟台地区邢家山钨钼矿床地质特征 及其辉钼矿 Re-Os 同位素测年

刘善宝<sup>1</sup>, 王登红<sup>1</sup>, 陈毓川<sup>2</sup>, 周会青<sup>3</sup>, 屈文俊<sup>4</sup>, 王成辉<sup>1</sup>

LIU Shan-bao<sup>1</sup>, WANG Deng-hong<sup>1</sup>, CHEN Yu-chuan<sup>2</sup>,

ZHOU Hui-qing<sup>3</sup>, QU Wen-jun<sup>4</sup>, WANG Cheng-hui<sup>1</sup>

1. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2. 中国地质科学院, 北京 100037;

3. 山东省第三地质矿产勘查院, 山东 烟台 264000; 4. 国家地质实验测试中心, 北京 100037

1. *Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;*

2. *Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;*

3. *No. 3 Institute of Geological and Mineral Resources Survey of Shandong Province, Yantai 264000, Shandong, China;*

4. *National Research Center of Geoanalysis, Beijing 100037, China*

**摘要:**邢家山钨钼矿床是山东省唯一的大型钼矿床, 其中伴生钨达到中型规模。辉钼矿 Re-Os 同位素测年结果表明, 5 件辉钼矿的  $^{187}\text{Re}-^{187}\text{Os}$  等时线年龄为  $157.6\text{Ma} \pm 3.9\text{Ma}$ ,  $\text{MSWD}=0.24$ ; 加权平均模式年龄为  $161\text{Ma} \pm 1.0\text{Ma}$ ,  $\text{MSWD}=0.7$ 。胶东金矿省金矿的主成矿期为  $110\sim 130\text{Ma}$ , 钨钼矿床的成矿时代比金矿早  $30\sim 50\text{Ma}$ , 表明胶东半岛在中生代至少存在 2 期成矿作用, 早期以钼成矿为主, 晚期以金成矿为主。结合区域成矿年代学数据, 邢家山钨钼矿床成矿时代与南岭成矿带东段钨钼矿床主成矿期是一致的, 表明  $150\sim 160\text{Ma}$  是中国东部一个重要的成矿作用时期, 为构筑中国东部成矿域的精细成矿年代学结构提供了依据。

**关键词:**邢家山钨钼矿床; 成矿时代; 胶东半岛

中图分类号: P618.67; P618.65; P597\*.3

文献标志码: A

文章编号: 1671-2552(2011)08-1294-09

Liu S B, Wang D H, Chen Y C, Zhou H Q, Qu W J, Wang C H. Geological characteristics and molybdenite Re-Os age of the Xingjiashan W-Mo deposit in Yantai area, Jiaodong Peninsula, Shandong Province. *Geological Bulletin of China*, 2011, 30(8): 1294-1302

**Abstract:** Located in the Jiaodong metallogenic province, the Xinjiashan ore deposit is the only large-size molybdenum deposit in Shandong Province, and the associated tungsten resources in this ore deposit have already reached middle-scale reserves. This study provides the first high-precision dating of the mineralization age of this ore deposit. Re-Os dating of five molybdenite separates from ores has yielded an isochron age of  $157.6 \pm 3.9\text{Ma}$  ( $\text{MSWD}=0.24$ ), and a weighted mean age of  $161\text{Ma} \pm 1.0\text{Ma}$  ( $\text{MSWD}=0.7$ ). The main metallogenic epoch of Jiaodong metallogenic province is  $110\sim 130\text{Ma}$ , which means the metallogenic age of W and Mo mineralization in this area is earlier than that of Au. It is indicated that there existed at least two ore-forming periods in Jiaodong, with the former being W, Mo, and the latter being Au. In association with the isotope data obtained from East Nanling, the authors hold that the W metallogenic epochs of the two areas are consistent with each other. This study suggests that there existed an important mineralization epoch during  $150\sim 160\text{Ma}$  in eastern China.

**Key words:** Xingjiashan W-Mo deposit; ore-forming age; Jiaodong Peninsula

收稿日期: 2010-06-17; 修订日期: 2011-06-16

资助项目: 中国地质科学院矿产资源研究所基本业务费专项资金项目《南岭东段—赣南地区钨矿与铀矿的成因联系研究》(编号: K0906)、财政部、科技部深部探测技术与实验研究专项《南岭成矿带地壳岩浆系统结构探测实验研究》课题(编号: SinoProbe-03-01)和国土资源部危机矿山专项《桂东—粤西地区铅锌金等矿床成矿规律总结研究》项目(编号: 20089946)

作者简介: 刘善宝(1970-), 男, 博士, 副研究员, 矿物学、岩石学、矿床学专业。E-mail: liubaoshan7002@163.com

山东省境内已查明资源储量的钼矿产地6处,其中大型矿床1处,中型矿床1处,小型矿床4处,矿点及矿化点16处;钨矿产地2处,一处为福山区邢家山大型钼矿的伴生钨矿床(中型),另一处为牟平区八甲硫铁矿的伴生矿。上述钨、钼矿床主要分布在胶东金成矿省内的福山、牟平、栖霞、荣成等地<sup>[1]</sup>。邢家山钨、钼矿床作为胶东金成矿省乃至山东省钨、钼矿床的典型代表,其研究程度较低。孔庆友等<sup>[1]</sup>根据该矿床与幸福山岩体的密切成因关系,将其成矿时代划归为晚白垩世,主要依据是:①矿体赋存在幸福山斑状花岗闪长岩外接触带中;②成矿物质来源于斑状花岗闪长岩,其 Mo、W、Cu、Pb、Zn 等元素丰度较高;③幸福山花岗闪长岩体的K-Ar 法同位素年龄值为 124.27~163.24Ma。综合上述可知,邢家山钨钼矿床的成矿年龄是模糊的,一是成矿岩浆岩的成岩年龄,并不能代表与其有关矿床的成矿年龄,只能间接地限制与其有关矿床成矿时代;二是矿物 K-Ar 同位素定年不能精确地确定岩体的成岩年龄。由于邢家山钨钼矿床成矿时代的不确定性,就无

法探讨其成矿地质构造背景及其深部的成矿动力过程。本文以其成矿同位素年代学研究为切入点,结合已有的区域年代学数据,与南岭东段的钨、钼矿床年龄进行了对比分析,探讨中国东部中生代钨、钼矿床的成矿地质构造环境。

## 1 区域研究概况

胶东金矿集区位于华北克拉通东缘,是中国最重要的金矿集中区,产有玲珑、焦家、新城、三山岛等著名的世界级超大型金矿床,其储量占全国的 25% 左右<sup>[2]</sup>。胶东金矿省西界为郯庐断裂,东界为青岛-荣成断裂,主要由北北东向3条成矿带组成,自西向东分别是招远-掖县成矿带、蓬莱-栖霞成矿带和牟平-乳山成矿带(图1)。区内出露的地层主要由前寒武纪的变质基底(太古宙的胶东群和古元古代的荆山群、粉子山群)和中生代盖层(侏罗纪的沉积岩)组成,岩浆岩由中生代的辉长岩、花岗岩类及白垩纪的火山岩组成,另有少量的新生代玄武岩。胶东群、荆山群和中生代的花岗岩类是金矿的主要赋矿围岩。

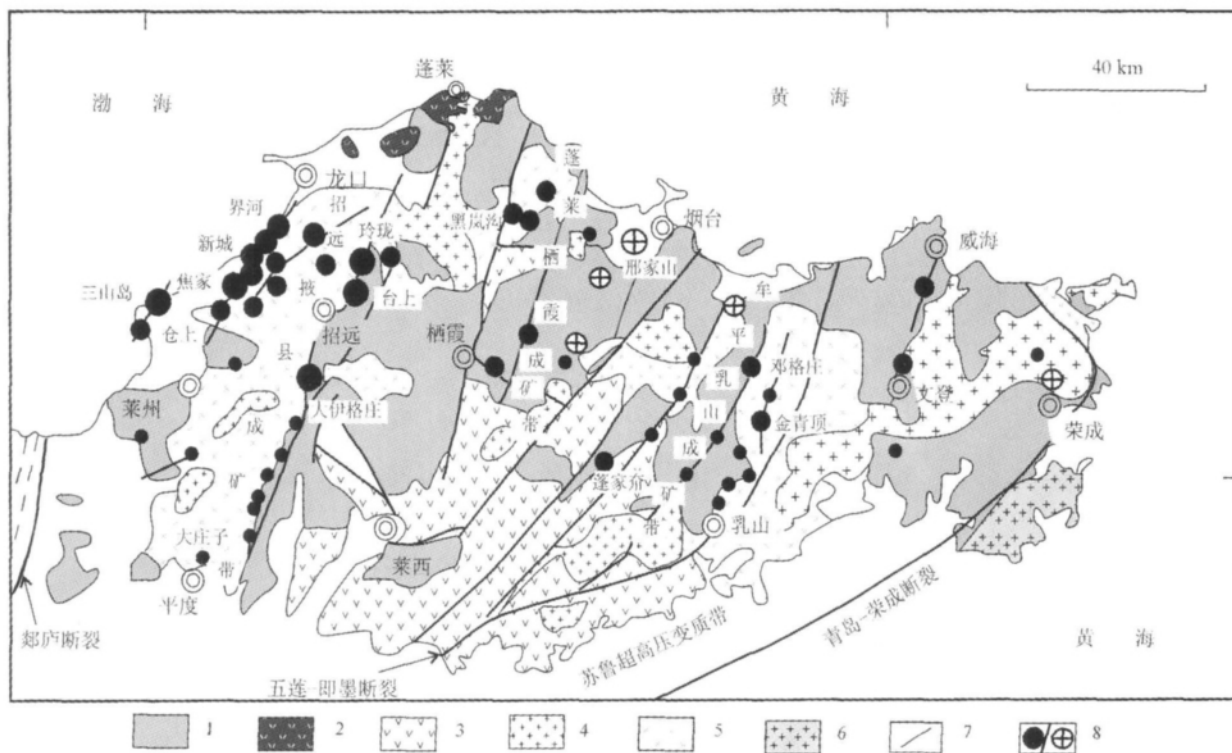


图1 胶东半岛主要金矿床和钼矿床分布地质简图(据参考文献①修改)

Fig. 1 Simplified geological map showing the distribution of gold/molybdenum deposits in Jiaodong Peninsula, Shandong Province

1—前寒武纪基底;2—新生代玄武岩;3—白垩纪火山岩;4—白垩纪花岗岩;5—侏罗纪花岗岩;  
6—晚三叠世花岗岩;7—重要断裂;8—金矿/钼矿

中生代以来,胶东金矿省经历了 2 期显著的构造—岩浆热事件,分别是扬子与华北克拉通碰撞造山作用和古太平洋板块向欧亚大陆板块俯冲及其相关的地质作用。

关于胶东金矿的成矿年龄,前人进行了系统的研究,积累了丰富的地质资料,归纳起来主要有 3 种观点。①前寒武纪成矿<sup>[3-4]</sup>;②多期成矿,主要包括早侏罗世、早白垩世 2 期成矿观点<sup>[5]</sup>和 3 期成矿作用<sup>[6]</sup>;③胶东金矿省的主成矿期集中在 110~130Ma 之间<sup>[7-11]</sup>。关于胶东金矿省的成矿构造背景也众说纷纭,如中生代陆陆碰撞造山过程的挤压向伸展转变体制<sup>[6,12-19]</sup>,古太平洋板块俯冲及其远距离效应<sup>[10,20-21]</sup>,与地幔柱活动有关的地质作用<sup>[7,22-24]</sup>等。

综上所述,笔者认为胶东金矿的成矿作用至少有 3 期,即太古宙的初步富集期、侏罗纪的迁移富集期和白垩纪的叠加改造期或定位期。从金矿的空间分布上,由西向东,金矿的数量逐渐减少,规模也相应地变小。由图 1 可见,胶西北地区的金矿分布密度大,是大型、超大型金矿床的主要产区,如新城、焦家、玲珑、三山岛等超大型金矿床均分布在该区;而东部的牟平—乳山成矿带仅有金青顶和邓各庄 2 个大型金矿床产出,再向东的威海、荣成地区仅有零星的小型金矿床或矿点产出。金矿的分布特征恰好与含较多基性火山岩成分的胶东群的分布是对应的,即胶东群主要分布在胶西北地区,而富含沉积成分的荆山群主要分布在东部。因此,太古宙的胶东群对该区金矿的控制作用是不容忽视的。中生代侵入岩主要由三叠纪的橄榄安粗岩系列(约 210Ma)、侏罗纪的钙碱系列(160~140Ma)和白垩纪的高钾钙碱系列(约 110Ma)侵入体组成<sup>[25]</sup>。其中侏罗纪钙碱系列花岗岩主要为地壳重熔型花岗岩,如招远—掖县成矿带上的玲珑岩体和牟平—乳山成矿带上的昆崙山岩体均属于此系列,该时期的岩浆活动促使古老基底岩石内 Au 元素进一步迁移、富集成矿,并在空间上严格控制了金矿床的分布。如胶东金矿省内大、中型金矿床主要分布在系列岩体的内外接触带附近,如焦家、新城等大型金矿床分布在玲珑型岩体(150~160Ma)<sup>[26]</sup>的西部边缘接触带上,玲珑、台上等大型金矿床分布在该类型岩体的东部接触带附近,东部地区邓各庄、金青顶等大型金矿床也分布在昆崙山岩体(144~160Ma)<sup>[25,27]</sup>的西部接触带附近(图 1)。为此,将该时期的成矿作用称为迁移富集成矿期。白垩纪

高钾系列岩浆活动对该区的金矿床具有叠加改造的作用,尤其该时期的煌斑岩脉不仅与金矿床具有同源、同时、同构造空间的“三同关系”,而且还具有密切的成因关系<sup>[26,28-30]</sup>。目前,还没有金矿的直接同位素定年方法,主要运用绢云母 Ar—Ar、黄铁矿 Rb—Sr、热液锆石 SHRIMP U—Pb 等间接方法来限制金矿的成矿时代。由于早期成矿作用形成的矿物同位素体系受到晚期成矿作用的强烈破坏,所测得的同位素年龄只能代表金矿床最终定位的时代,这可能是该区域金矿床的成矿(130~110Ma)与白垩纪的高钾钙碱系列(约 110Ma)岩浆岩成岩年龄基本同步的主要原因。

在区域上,胶东半岛、秦岭东段、长江中下游、南岭、吉黑等地区均为中国重要的矿产地。中生代以来,上述地区先后经历了扬子与华北克拉通碰撞造山作用和古太平洋板块向欧亚大陆板块俯冲及其相关的地质作用。其中位于华北克拉通南缘的东秦岭钼矿带的成矿时代主要集中在 140Ma<sup>[31-34]</sup>和 130~110Ma<sup>[33,35-38]</sup>之间;位于扬子克拉通北缘的长江中下游成矿带的成矿作用有 2 期,即斑岩—矽卡岩型矿床(144~135Ma)和磷灰石—磁铁矿型矿床(125~123Ma)<sup>[39-40]</sup>;南岭成矿带钨、锡、钼矿床的成矿作用有 3 期,即约 230Ma、160~150Ma 和 135~100Ma<sup>[41-43]</sup>;吉黑地区钼矿床的成矿期集中在 166Ma 左右<sup>[46-47]</sup>。纵观整个华北、华南地区乃至东北地区,虽然不同地区、不同时期的成矿作用强度及其矿产、矿床类型不尽相同,但中生代的 3 期成矿作用是明显的,即晚三叠世、中晚侏罗世、白垩纪早中期。胶东半岛金矿的成矿时代集中在 130~110Ma 之间,邢家山钨钼矿床作为区内最大规模的有色金属矿床,是与区内的金矿床同时期形成的,还是区内存在另外一期成矿作用?对其开展同位素年代学的研究,确定其成矿时代,可为划分成矿系列、开展区域成矿预测提供重要的理论依据。

## 2 邢家山钨钼矿床地质特征及其成矿时代

### 2.1 矿区地质特征

烟台市邢家山钨钼矿床位于烟台市福山区城西约 2km 处,1975 年山东省地质局第三地质队发现,于 1984 年提交了《山东省福山县邢家山钼矿区详细普查地质报告》,共查明资源储量:钼金属量 74.31t、三氧化钨 4.65t<sup>②</sup>,是山东省境内目前发现的唯一的



一处大型矽卡岩型钨钼伴生矿床。在构造位置上,该矿床处于胶北隆起的北缘,西靠蓬莱-栖霞金矿带,东邻牟平-乳山金矿带(图 2)。

矿区内出露的基岩地层为古元古代粉子山群,自下而上分别为诸家芥组、张格庄组、巨屯组。其中张格庄组为赋矿层位,自下而上划分为 3 段:一段是白云质大理岩;二段是透闪岩、透闪透辉岩夹大理岩;三段是白云石大理岩。二段和三段是主要的赋矿围岩(图 2)。

矿区内主要构造为近 EW 向的吴阳泉断裂( $F_1$ ),具有控岩控矿的作用,另有 NE 向的钟家庄断裂( $F_2$ )和邢家山断裂( $F_3$ )(图 2)。区内岩浆岩主要为燕山期的斑状花岗闪长岩、石英闪长岩、闪长岩、煌斑岩等,其中分布在矿区东部的幸福山斑状花岗闪长岩是钨钼矿床的控矿岩体(图 2),其云母的 K-Ar 年龄为 124.27~163.24Ma,岩体的成矿元素丰度值高,其中 W 丰度值为  $21.44 \times 10^{-6}$ ,Mo 为  $21.51 \times 10^{-6}$ ,均超出中国花岗闪长岩丰度值的 10 倍以上<sup>③</sup>。该岩体呈卧龟状出露,走向(NW—SE)长度为 2700m,最宽为 1100m,面积约为 1.3km<sup>2</sup>,岩体向南东方向侧伏,北西方向超覆,在其北西端外接触带处普遍发育有强烈的矽卡岩化、硅化等蚀变,并发育有钼矿化。因此,将该矿床归属为斑岩型与接触交代(矽卡岩)型钨钼矿床,成矿时代为晚白垩世<sup>[1]</sup>。

## 2.2 矿体特征

邢家山钨钼矿化蚀变带北起邢家山断裂( $F_3$ ),东南至吴阳泉断裂( $F_1$ ),面积约为 13km<sup>2</sup>;工业矿体主要集中分布在幸福山岩体前峰接触带的矽卡岩和矽卡岩化蚀变岩中,并以钟家庄断裂( $F_2$ )为界分为南东、北西 2 个区段(图 2)。全区共圈定 107 个钼矿体,其中北西区段 63 个,南东区段 44 个,集中分布在海拔 0~400m 标高之间,主要在-200m 海拔标高以上。矿体多呈似层状、透镜状产出,其产状与地层产状基本一致,部分矿体切割地层。各个矿体大致平行排列,间距在 10m 左

右。矿体多而大小差异悬殊:走向长度变化在 200~2200m 之间,宽度变化在 75~1750m 之间,垂直厚度变化在 1.17~185.47m 之间,其中以北区段产于透闪透辉岩与大理岩之间的 9 号矿体规模最大,长 2200m,宽 1750m,平均垂直厚度 66.20m。

矿区内圈定钨矿体 48 个,矿体走向长度变化在 190~1465m 之间,宽度变化在 55~740m 之间,垂直厚度变化在 1.0~13.3m 之间,其中北区段的 18 号矿体规模最大,走向长度约为 1465m,宽为 740m,平均厚度为 2.77m。

## 2.3 矿石的组分和类型

矿石的矿物成分比较复杂。金属矿物主要为辉钼矿、白钨矿、磁黄铁矿,次为黄铁矿、黄铜矿、赤铁矿、褐铁矿,微量的有斜方辉铅铋矿、闪锌矿、白铁

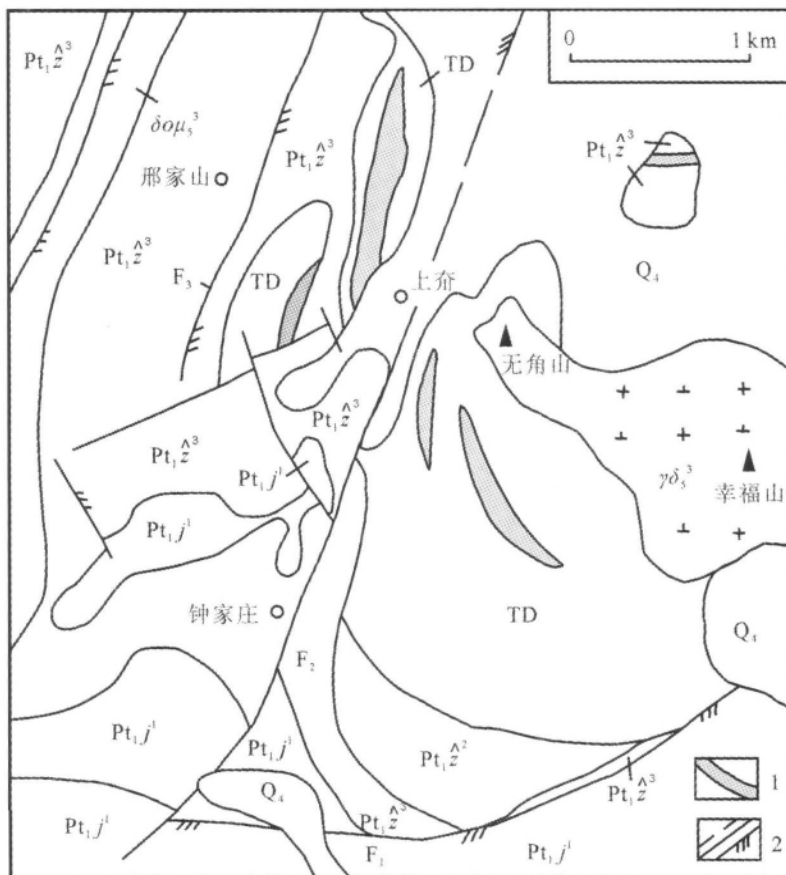


图 2 胶东半岛邢家山钨钼矿区地质图(据文献[1]修改)

Fig. 2 Geological map of the Xingjiashan W-Mo ore district in Jiaodong Peninsula, Shandong Province

Q<sub>4</sub>—第四系全新统;Pt<sub>1j</sub><sup>1</sup>—古元古代粉子群巨屯组;Pt<sub>1z</sub><sup>3</sup>—古元古代粉子群张格庄组三段;Pt<sub>1z</sub><sup>2</sup>—张格庄组二段;δoμ<sub>3</sub><sup>3</sup>—燕山期石英闪长岩;γδ<sub>3</sub><sup>3</sup>—燕山期斑状花岗闪长岩;TD—透闪透辉岩;1—石榴透辉矽卡岩;2—断裂;F<sub>1</sub>—吴阳泉断裂,F<sub>2</sub>—钟家庄断裂,F<sub>3</sub>—邢家山断裂

矿、毒砂、方铅矿等。脉石矿物主要为透辉石、石英、方解石、钾长石、白云母,次为石榴子石、符山石、绿泥石、黝帘石、绢云母等。

矿石的主要有益组分:Mo 含量多在 0.03%~0.3%之间,最高为 1.51%,矿区平均为 0.08%; $\text{WO}_3$  含量一般在 0.2%~0.4%之间,最高为 1.875%,矿区平均为 0.234%。此外,矿石中伴生 Cu 的含量为 0.009%,Sn 为 0.003%,Bi 为 0.06%<sup>[1]</sup>。

按含矿岩石类型可分为透闪石透辉岩型、石榴透辉矽卡岩型、大理岩型、二云片岩型、斑状花岗闪长岩型等,其中以透闪石透辉岩型和石榴透辉矽卡岩型为主,约占全区矿石总量的 90%。按金属矿物组分又可分为钼矿石(辉钼矿+闪锌矿+黄铁矿)、钨矿石(白钨矿+辉钼矿+磁黄铁矿)、钨钼矿石(辉钼矿+白钨矿+磁黄铁矿)。

#### 2.4 成矿时代

由于无法采集到坑道内的样品,本次年龄测试样品采自邢家山钨钼矿床北区段的地表矿石堆,共计 10 件样品,主要为透闪石透辉岩型和石榴透辉矽卡岩型钼矿石。辉钼矿呈铅灰色,金属光泽,硬度小,污手,薄片有挠性,具油脂感,多呈鳞片状集合体或细小颗粒状分布,挑选了其中的 6 件样品进行辉钼矿的 Re-Os 同位素测试。

年龄测试在中国地质科学院国家地质实验测试中心 Re-Os 同位素实验室完成,分析流程和有关测试方法详见文献[48-49]。测试结果列于表 1。

除样品 XJS-8 中普通 Os 的含量较高外,其它样品中普通 Os 含量都很低,表明几乎所有的  $^{187}\text{Os}$  都来自于  $^{187}\text{Re}$  的  $\beta$ -衰变,可以通过辉钼矿中的  $^{187}\text{Re}$  和  $^{187}\text{Os}$  含量计算模式年龄。6 个样品的模式年

龄变化在 160.2~184.7Ma 之间,扣除 XJS-8 样品外,其它 5 件样品的  $^{187}\text{Re}$ - $^{187}\text{Os}$  等时线拟和(图 3-a),获得的等时线年龄为  $(157.6\pm 3.9)\text{Ma}$ ,MSWD=0.24,5 件样品的模式年龄加权平均值为  $(161\pm 1.0)\text{Ma}$ (图 3-b),MSWD=0.70。由图 3-a 可知,等时线年龄图的 XJS-3 和 XJS-6 样品基本重合,导致等时线年龄相对较小;而 5 件样品的模式年龄(图 3-b)分布集中,变化在 160.2~162.8Ma 之间,代表了邢家山钨钼矿床的成矿年龄,即中侏罗世,而非晚白垩世<sup>[1]</sup>。

在区域上,胶东半岛栖霞市家尚庄斑岩型钼矿床的 K-Ar 同为素年龄为 166.2Ma<sup>[1]</sup>,与邢家山钨钼矿床是同时期形成的,表明胶东半岛在燕山早期有一期钼矿的成矿作用。

### 3 讨 论

#### 3.1 胶东半岛中生代的 2 期成矿作用

近年来,很多研究者采用与金矿脉体伴生的蚀变矿物绢云母、白云母、钾长石 Ar-Ar 法,含金石英脉流体包裹体 Ar-Ar 法,载金矿物黄铁矿 Rb-Sr 法,含金石英脉中的热液锆石 SHRIMP U-Pb 法等同位素手段,对胶东地区的金矿进行了精确定年(表 2)。胶东半岛不同类型金矿床和不同矿物同位素方法的数据表现出了惊人的一致性,即集中分布在 110~130Ma 范围内,与该区域的白垩纪高钾钙碱性岩浆岩的成岩时代(约 110Ma)<sup>[25]</sup>是同步的,表明该时期的成矿作用与白垩纪高钾钙碱性岩浆岩有密切的成因联系,并且与白垩纪煌斑岩具有同源、同时、同构造空间的“三同关系”<sup>[26,28-30]</sup>。邢家山矽卡岩型钨钼矿床的成矿年龄为  $161\text{Ma}\pm 1\text{Ma}$ ,比该区域的金矿床同位素年龄早约 40Ma,是明显的 2 期成矿作用的

表 1 胶东邢家山钨钼矿床的辉钼矿 Re-Os 同位素测试结果

Table 1 Re-Os isotope analytical results of the Xingjiashan W-Mo deposit in Jiaodong Peninsula

样号	样重/g	Re/ ng·g <sup>-1</sup>	Os #/ ng·g <sup>-1</sup>	$^{187}\text{Re}$ / ng·g <sup>-1</sup>	$^{187}\text{Os}$ / ng·g <sup>-1</sup>	t/Ma
XJS-3	0.05178	4361±40	0.0878 ±0.0236	2741±25	7.380±0.071	161.4±2.5
XJS-2	0.10342	4639±39	0.0014 ±0.0048	2916±24	7.794±0.064	160.2±2.3
XJS-4	0.10358	2940±23	0.0015 ±0.0033	1848±14	5.019±0.040	162.8±2.2
XJS-8	0.10032	4989±42	2.8580 ±0.0274	3136±26	9.665±0.098	184.7±2.9
XJS-1	0.08508	4988±37	0.0065 ±0.0017	3135±23	8.418±0.067	160.9±2.2
XJS-6	0.08383	4333±35	0.0337 ±0.0068	2723±22	7.323±0.064	161.2±2.3

注:由国家地质实验测试中心屈文俊研究员等测试

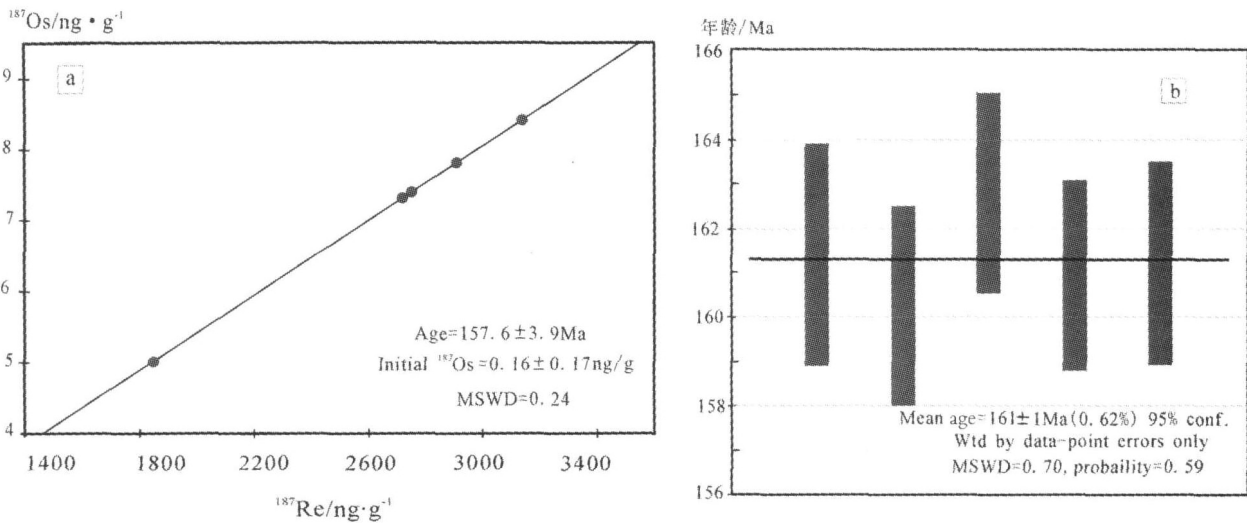


图 3 邢家山矿床辉钼矿 Re-Os 等时线年龄(a)和加权平均模式年龄(b)  
Fig. 3 Re-Os isochron diagram (a) and mode age diagram (b) of molybdenite in the Xingjiashan ore deposit

表 2 胶东地区主要金矿床同位素年龄  
Table 2 Isotopic ages obtained for gold deposits in Jiaodong area

矿床/类型	测试矿物	方法	年龄/Ma	参考文献
仓上/蚀变岩型	绢云母	Ar-Ar	121.3±0.2	[50]
玲珑/石英脉型	黄铁矿	Rb-Sr	122.7±3.3~123±4.2	[8]
焦家/蚀变岩型	绢云母-白云母	Ar-Ar	119.2±0.2~120.5±0.6	
新城/蚀变岩型	绢云母-白云母	Ar-Ar	120.2±0.3~120.7±0.2	[51]
望儿山/蚀变岩型	绢云母-白云母	Ar-Ar	119.4±0.2~121±0.4	
东季/蚀变岩型	钾长石、石英	Ar-Ar	114.4±0.2~116.3±0.8	[52]
大庄子/蚀变岩型	石英	Ar-Ar	115.6±1	
蓬家夼/蚀变岩型	石英、黑云母	Ar-Ar	117.5±0.3~118.4±0.3	[53]
发云夼/蚀变岩型	黄铁矿	Rb-Sr	128.2	7
金青顶/石英脉型	热液锆石	SHRIMP U-Pb	117	3
金青顶/石英脉型	绢云母	Ar-Ar	128.8	0.1
				[54]

结果, 而与该区域的侏罗纪钙碱性岩浆岩的成岩时代一致<sup>[7,25-27]</sup>, 表明邢家山钨钼矿床可能与侏罗纪钙碱性花岗岩具有成因联系, 揭示了胶东半岛地区的钨钼矿床和金矿床形成的构造背景可能是不同的, 前者可能主要受苏鲁-大别造山晚期作用的影响,

后者可能更多地受古太平洋构造域的影响。  
中生代以来, 胶东半岛经历了扬子与华北克拉通碰撞造山作用和古太平洋板块向欧亚大陆板块俯冲及其相关的地质作用, 导致了晚三叠世橄榄安粗岩系列(约 210Ma)、侏罗纪钙碱系列(160~140Ma)

和白垩纪高钾钙碱系列(约 110Ma)侵入体 3 期岩浆岩的形成<sup>[25]</sup>。其中与后 2 者岩浆岩有关的矿产分别为钨钼矿床(邢家山, 161Ma)和金矿床(130~110)Ma<sup>[7-11]</sup>。胶东半岛是否存在三叠纪的矿产,还有待于进一步研究。

### 3.2 南岭成矿带与胶东半岛的成矿时代对比

近几年来, 诸多学者应用 Re-Os、Ar-Ar、SHRIMP 锆石 U-Pb 等方法对南岭地区的主要钨锡矿床及相关的花岗岩进行了精确测试, 比较清晰地勾画出了该区成矿作用的年龄结构。本文结合已有的同位素年代学数据, 将该期成矿作用划分为 3 个成矿阶段, 即 170~160Ma、160~150Ma 和 150~145Ma 三个阶段<sup>[45]</sup>。其中于 170~160Ma 期间形成的矿床主要为独立的钼矿床, 其矿物组成明显不同于南岭成矿带的钨锡矿床, 成矿时代比南岭成矿带钨锡矿床的主成矿期 155Ma 早 10~5Ma。如闽西南永定山口钼矿的辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为 168Ma<sup>[55]</sup>、赣南广昌新安钼矿的成矿年龄 165Ma<sup>[56]</sup>、安远园岭寨钼矿的成矿年龄为 160Ma<sup>[45]</sup>。160~150Ma 是南岭成矿带的成矿集中期, 并且主要集中在 155Ma 左右<sup>[41, 57-59]</sup>。

燕山晚期形成的矿床是中国白垩纪大陆成矿体系的重要组成部分<sup>[60]</sup>。在南岭成矿带上, 该时期的矿床主要分布在其东段和西段, 根据已有的年代学数据, 可将该成矿作用划分为 2 个阶段, 即 139~123Ma 和 105~90Ma。139~123Ma 期间形成的矿床仅分布在南岭成矿带东段, 如赣南的岩背锡矿床(125Ma)<sup>[61]</sup>、寻乌的铜坑嶂钼矿(134Ma)<sup>[43]</sup>等, 向北延伸到武夷山北坡, 如金竹坪钼矿(135Ma)<sup>[62]</sup>; 105~90Ma 期间形成的矿床分布范围较大, 主要分布在南岭成矿带的东段和西段, 如成矿带西段著名的大厂锡矿床(95~98)Ma<sup>[63]</sup>、界牌岭钨矿床(91Ma)<sup>[58]</sup>, 南岭成矿带东段的紫金山铜金矿床(102Ma)<sup>[64]</sup>等。

相对于南岭成矿带, 胶东地区中生代的成矿作用期次及其矿产类型是比较简单的。燕山早期的成矿作用主要形成了以邢家山钨钼矿床为代表的矿床(约 160Ma), 燕山晚期的成矿作用形成了该区的玲珑、焦家、新城、三山岛、金青顶、蓬家夼等主要金矿床(110~130Ma)。胶东地区中生代也存在 3 期岩浆活动事件, 即晚三叠世橄榄安粗岩系列(约 210Ma)、侏罗纪钙碱系列(160~140Ma)和白垩纪高钾钙碱系列(约 110Ma)侵入体<sup>[25]</sup>, 与之有关的成矿作用仅为

2 期, 缺少印支期的成矿作用。尽管 2 个地区的矿产种类及其矿化类型不尽相同, 但是燕山早期和燕山晚期的成矿作用是一致的, 揭示上述地区矿床的形成具有相同的深部动力学过程, 即燕山早期的矿床可能主要受苏鲁-大别造山晚期作用的影响, 燕山晚期的矿床可能更多地受古太平洋构造域的影响。

## 4 结 论

(1) 邢家山钨钼矿床辉钼矿的 Re-Os 同位素测试结果显示, 5 件辉钼矿的  $^{187}\text{Re}-^{187}\text{Os}$  等时线年龄为  $(157.6 \pm 3.9)\text{Ma}$ ,  $\text{MSWD}=0.24$ , 其加权平均年龄为  $(161 \pm 1.0)\text{Ma}$ ,  $\text{MSWD}=0.7$ , 表明其形成于燕山早期。

(2) 在中生代, 胶东地区存在 2 期成矿作用, 燕山早期的成矿作用形成了以邢家山钨钼矿床为代表的矿床, 燕山晚期的成矿作用形成的主要为金矿床, 二者的成矿构造背景是不同的, 即前者可能主要受苏鲁-大别造山晚期作用的影响, 后者可能更多地受古太平洋构造域的影响。

## 参考文献

- [1] 孔庆友, 张天祯, 于学峰, 等. 山东矿床[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 2006: 351-390.
- [2] Zhou T H, Lu G X. Tectonics, granitoids and Mesozoic gold deposits in East Shandong, China[J]. Ore Geol. Rev., 2000, 16: 71-90.
- [3] 沈保丰, 骆辉, 李双保, 等. 华北陆台太古宙绿岩带地质及成矿[M]. 北京: 地质出版社, 1994: 1-202.
- [4] 王义文. 中国金矿成矿时代[M]//张贻侠, 寸圭, 刘连登. 中国金矿进展与思考. 北京: 地质出版社, 1996: 137-153.
- [5] 张振海, 张景鑫, 叶素芝. 胶东金矿同位素年龄的厘定[M]. 北京: 地震出版社, 1994: 56.
- [6] Mao J W, Wang Y T, Zhang Z H, et al. Geodynamic setting of Mesozoic large-scale mineralization in North China and adjacent areas: implication from the highly precise and accurate ages of metal deposits[J]. Sci. China Ser. D, 2003, 46: 838-851.
- [7] Wang L G, Qiu Y M, McNaughton N J, et al. Constraints on crustal evolution and gold metallogeny in the northwestern Jiaodong peninsula, China, from SHRIMP U-Pb zircon studies of granitoids[J]. Ore Geology Review, 1998, 13: 275-291.
- [8] 陈毓川, 王登红, 徐志刚, 等. 中国成矿体系与区域成矿评价[M]. 北京: 地质出版社, 2007: 465-622.
- [9] Yang J H, Zhou X H. Rb-Sr, Sm-Nd and Pb isotope systematics of pyrite: implications for the age and genesis of lode gold deposits[J]. Geology, 2009, 37: 711-714.
- [10] Qiu Y M, Groves D I, McNaughton N J et al. Nature, age and tec-



- tonic setting of granitoid-hosted, orogenic gold deposits of the Jiaodong Peninsula, eastern North China craton, China[J]. Miner. Dep., 2002, 37: 283-305.
- [11] 陈衍景. 造山型矿床、成矿模式及找矿潜力[J]. 中国地质, 2006, 33(6): 1181-1195.
- [12] 陈衍景. 富士谷-豫西金矿成矿规律[M]. 北京: 地震出版社, 1992: 234.
- [13] 陈衍景. 中国绿岩带型金矿[M]//中国金矿研究新进展第1卷上册. 北京: 地震出版社, 1994: 4-29.
- [14] 胡受奚, 赵懿英, 徐金芳, 等. 华北地台金矿地质[M]. 北京: 科学出版社, 1997: 220.
- [15] 王德兹, 任启江, 邱检生. 中国东部与中生代陆相火山岩作用及其有关金矿成矿的地质学和地球化学[M]//胡受奚, 王鹤年, 王德兹, 等. 中国东部金矿地质学及地球化学. 北京: 科学出版社, 1998: 267-338.
- [16] Zhai M G, Yang J H, Fan H R, et al. A large-scale cluster of gold deposits and metallogenesis in the eastern China craton[J]. International Geol. Rev., 2002, 44: 458-476.
- [17] Zhai M G, Yang J H, Liu W J. Large clusters of gold deposits and large-scale metallogenesis in the Jiaodong Peninsula, eastern China[J]. Sci. China Ser. D, 2001, 44: 758-768.
- [18] Yang J H, Wu F Y, Wilde S A. A review of the geodynamic setting of large-scale Late Mesozoic gold mineralization in the North China Craton: an association with lithospheric thinning[J]. Ore Geol. Rev., 2003, 23: 123-152.
- [19] 陈衍景, Frano PIRAJNO, 赖勇, 等. 胶东矿集区大规模成矿事件和构造环境[J]. 岩石学报, 2004, 20(4): 907-922.
- [20] 陈衍景. 板块敛合远距效应类型的类型和实例[C]//南京大学地质系建系60周年研究生论文集[J]. 南京: 南京大学出版社, 1986: 12-15.
- [21] Sillitoe R H. Gold deposits in western Pacific island arcs: the magmatic connection[J]. Econ. Geol. Monograph, 1989, 6: 274-291.
- [22] Xu J W, Zhu C, Tong W X, et al. Formation and evolution of the Tancheng-Lujiang wrench fault system: a major shear system to the northwest of the Pacific Ocean[J]. Tectonophysics, 1987, 134: 273-310.
- [23] 杜乐天. 烃流体地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1996: 552.
- [24] 孙景贵, 胡受奚, 姚凤良, 等. 初论胶东地区金矿成矿模式[J]. 矿床地质, 2000, 19: 26-36.
- [25] 郭敬辉, 陈福坤, 张晓曼, 等. 苏鲁超高压带北部中生代岩浆侵入活动与碰撞-碰撞后构造过程: 锆石 U-Pb 年代学[J]. 岩石学报, 2005, 21(4): 1281-1301.
- [26] 苗来成, 罗真宽, 黄佳展, 等. 山东招掖金矿带内花岗岩类侵入岩体锆石 SHRIMP 研究及其意义[J]. 中国科学(D 辑), 1997, 27(3): 207-213.
- [27] Hu F F, Fan H R, Yang J H, et al. Mineralization age of the Rushan lode gold deposit in the Jiaodong Peninsula: SHRIMP U-Pb dating on hydrothermal zircon[J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 49(15): 1629-1636.
- [28] 刘连登, 姚凤良, 孔庆存, 等. 岩脉在热液矿床成因中的意义——以胶东西北部金矿为例[J]. 长春地质学院院报, 1984, (4): 13-24.
- [29] 应汉龙. 胶东邓各庄和金青顶金矿煌斑岩脉特征及其与金矿成矿关系[J]. 岩石矿物学杂志, 1996, 15(3): 221-227.
- [30] 罗镇宽, 关康, 苗来成. 胶东玲珑金矿田煌斑岩脉与成矿关系的讨论[J]. 黄金地质, 2001, (4): 15-21.
- [31] 毛景文, 华仁民, 李晓峰. 浅议大规模成矿作用与大规模矿集区[J]. 矿床地质, 1999, 18(4): 291-299.
- [32] 毛景文, 李晓峰, 余金杰, 等. 华北及邻区中生代大规模成矿的地区动力学背景: 从金属矿床年龄测试得到启示[J]. 中国科学(D 辑), 2003, 33(4): 289-299.
- [33] 毛景文, 李晓峰, 张荣华, 等. 深部流体成矿系统[M]. 北京: 中国大地出版社, 2005, 65-135.
- [34] Li Yongfeng, Mao Jingwen, Guo Baojian, et al. Re-Os isotopic dating of molbdenities in the Nannihu Mo (W) ore field in the east Qinling and its geodynamic processes[J]. Acta Geologica Sinica, 2004, 78(2): 463-470.
- [35] 叶会寿, 毛景文, 李永峰, 等. 东秦岭东沟大型斑岩钼矿 SHRIMP 锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义[J]. 地质学报, 2006, 80(7): 1078-1088.
- [36] 郭保健, 毛景文, 李厚民, 等. 秦岭造山带秋树湾铜钼矿床辉钼矿 Re-Os 定年及其地质意义[J]. 岩石学报, 2006, 22(9): 2341-2348.
- [37] 杨泽强. 河南商城县汤家坪钼矿辉钼矿铼-钨同位素年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 2007, 26(3): 289-295.
- [38] 苏捷, 张宝林, 孙大亥, 等. 东秦岭东段新发现的沙坡岭细脉浸染型钼矿地质特征、Re-Os 同位素年龄及其地质意义[J]. 地质学报, 2009, 83(10): 1490-1496.
- [39] 余金杰, 毛景文. 宁芜玢岩铁矿钠长石  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  定年及意义[J]. 自然科学进展, 2002, 12(10): 1059-1063.
- [40] Mao J W, Wang Y T, Lehmann B, et al. 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 implication[J]. Ore Geology Reviews, 2006, 29: 307-324.
- [41] 刘善宝, 王登红, 陈毓川, 等. 南岭东段赣南地区天门山花岗岩及其花岗斑岩脉的 SHRIMP 定年及其意义[J]. 地质学报, 2007, 81(7): 972-978.
- [42] 刘善宝, 王登红, 陈毓川, 等. 赣南崇义-大余-上犹矿集区不同类型含矿石英岩中白云母  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  年龄及其地质意义[J]. 地质学报, 2008, 82(7): 932-939.
- [43] 许建祥, 曾载淋, 李雪琴, 等. 江西寻乌铜坑钨矿床地质特征及其成矿时代[J]. 地质学报, 2007, 81(7): 924-928.
- [44] 毛景文, 谢桂青, 郭春丽, 等. 华南地区中生代主要金属矿床时空分布规律和成矿环境[J]. 高校地质学报, 2008, 14(4): 510-526.
- [45] 刘善宝, 陈毓川, 范世祥, 等. 南岭成矿带中、东段的第二找矿空间——来自同位素年代学的证据[J]. 中国地质, 2010, 37(4): 1034-1049.
- [46] 王成辉, 松权衡, 王登红, 等. 吉林大黑山超大型钼矿铼-钨同位素定年及其地质意义[J]. 岩矿测试, 2009, 28(3): 269-273.
- [47] 李立兴, 松权衡, 王登红, 等. 吉林福安堡钼矿铼-钨同位素定年及成矿作用探讨[J]. 岩矿测试, 2009, 28(3): 283-287.
- [48] 杜安道, 何红蓼, 殷宁万, 等. 辉钼矿的铼-钨同位素地质年龄测定方法研究[J]. 地质学报, 1994, 68(4): 339-347.
- [49] 屈文俊, 杜安道. 高温密闭溶样电感耦合等离子体质谱准确测定



- 辉钼矿铼-锶地质年龄[J]. 岩矿测试, 2003,22(4): 254-257.
- [50] Zhang X O, Cawood P A, Wilde S A, et al. Geology and timing of mineralization at the Cangshang gold deposit, northwestern Jiaodong Peninsula, China[J]. Mineralium Deposita, 2003, 38:114-153.
- [51] Li J W, Vasconcelos P M, Zhang J, et al.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  constraints on a temporal link between gold mineralization, magmatism, and continental margin transtension in the Jiaodong gold province, eastern China[J]. Journal of Geology, 2003,111:741-751.
- [52] 李厚民, 毛景文, 沈远超, 等. 胶东北季东金矿钾长石和石英的 Ar-Ar 年龄及其意义[J]. 矿床地质, 2003,22(1): 72-77.
- [53] Zhang L C, Shen Y C, Liu T B, et al.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  and Rb-Sr isochron dating of the gold deposits on northern margin of the Jiaolai Basin, Shandong province, East China[J]. Science in China(Series D), 2002, 32:727-734.
- [54] 胡芳芳, 范宏瑞, 杨进辉, 等. 胶东乳山金矿蚀变岩中绢云母  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  年龄及其对金成矿事件的制约[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2006,25(2): 109-114.
- [55] 罗锦昌, 陈郑辉, 屈文俊. 福建省永定山口钼矿辉钼矿铼-锶同位素定年及其地质特征[J]. 岩矿测试, 2009,28(3):254-258.
- [56] 曾载淋, 刘善宝, 邓茂春, 等. 江西广昌新安钼矿床地质特征及其铼-锶测年[J]. 岩矿测试, 2011,30(2):144-149.
- [57] 毛景文, 谢桂青, 李晓峰, 等. 华南地区中生代大规模成矿作用域岩石圈多阶段伸展[J]. 地学前缘, 2004,11:45-55.
- [58] 华仁民, 陈培荣, 张文兰, 等. 论华南地区中生代 3 次大规模成矿作用[J]. 矿床地质, 2005,24:99-107.
- [59] 毛景文, 谢桂青, 郭春丽, 等. 南岭地区大规模钨锡多金属成矿作用: 成矿时限及地球动力学背景[J]. 岩石学报, 2007,23(10): 2329-2338.
- [60] 王登红, 陈毓川, 徐志刚. 中国白垩纪大陆成矿体系的初步研究及找矿前景浅析[J]. 地学前缘, 2005,12(2): 231-239.
- [61] 梅玉萍, 李华芹, 王登红, 等. 江西岩背斑岩锡矿的成岩成矿时代及其地质意义[J]. 地球学报, 2007,28(5): 456-461.
- [62] 张家菁, 吴木森, 陈郑辉, 等. 江西省上饶县金竹坪钼多金属矿床成矿年代学研究[J]. 岩矿测试, 2009,28(3): 228-232.
- [63] 王登红, 陈毓川, 陈文, 等. 广西南丹大厂大型锡多金属矿床成矿时代[J]. 地质学报, 2004,78(1): 132-139.
- [64] 张德全, 丰成友, 李大新, 等. 紫金山地区斑岩-浅成热液成矿系统的成矿流体演化[J]. 地球学报, 2005,26(2): 127-136.
- ① 刘善宝. 山东乳山金青顶金矿田成矿规律及其成矿远景. 长安大学硕士学位论文, 2005.
- ② 山东省国土资源厅. 山东省资源储量见表(截止 2002 年底). 2003.
- ③ 山东省地矿局. 山东省区域矿产总结. 1989.

## 《地质通报》第 30 卷第 9 期要目预告

内蒙古东北部额尔古纳地区上护林-向阳盆地中生代火山岩 LA-ICP-MS

锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及其地质意义 .....	徐美君等
藏南昂仁县桑桑地区林子宗群火山岩的形成时代和地球化学特征 .....	谢克家等
柴达木地块北缘全吉地块钾长石浅粒岩碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年——对达肯大坂岩群时代的约束 .....	黄婉等
浙西开化地区桐村花岗斑岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义 .....	邱骏挺等
西昆仑山北缘晚新生代西域组中上部泥石流沉积的发现及其意义 .....	黎敦朋等
甘肃天祝地区乌鞘岭一带双峰式火山岩的发现及其构造环境 .....	黄增保等
渤海湾全新世贝壳堤: 时空分布和海面变化标志点 .....	苏盛伟等
渤海湾全新世牡蛎礁: 时空分布和海面变化标志点 .....	王海峰等
渤海湾全新世贝壳堤与牡蛎礁: 古气候与海面变化 .....	王宏等
皖南庐江-枞阳多金属矿集区反射地震剖面的速度结构 .....	卢占武等
胶东大磨曲家金矿床岩石磁组构、构造变形与金矿化 .....	江少卿等
广西中部大明山钨矿白云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年及其地质意义 .....	杨锋等
浙东沿海某地区大气干湿沉降对土壤重金属元素含量的影响 .....	黄春雷等
北京市泉水的水化学、同位素特征及其指示作用 .....	翟远征等
中国地质标准物质文献(1980~2010)综述 .....	王毅民等
中国地质调查信息网格平台构建和地质图数据服务的实现 .....	吕霞等
中国地质调查局国际互联网门户网站现状与加强建设的思考 .....	吕小婷等