

# 中国北方中生代大规模成矿作用的期次及其地球动力学背景<sup>\*</sup>

毛景文<sup>1,2</sup> 谢桂青<sup>1,2</sup> 张作衡<sup>2</sup> 李晓峰<sup>2</sup> 王义天<sup>2</sup> 张长青<sup>1</sup> 李永峰<sup>1</sup>

MAO JingWen<sup>1,2</sup>, XIE GuiQing<sup>1,2</sup>, ZHANG ZuoHeng<sup>2</sup>, LI XiaoFeng<sup>2</sup>, WANG YiTian<sup>2</sup>, ZHANG ChangQing<sup>1</sup> and LI YongFeng<sup>1</sup>

1. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083

2. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037

1. Faculty of Earth Sciences and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

2. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China

2004-07-14 收稿, 2005-01-17 改回.

Mao JW, Xie GQ, Zhang ZH, Li XF, Wang YT, Zhang CQ and Li YF. 2005. Mesozoic large-scale metallogenic pulses in North China and corresponding geodynamic settings. *Acta Petrologica Sinica*, 21(1):169–188

**Abstract** We describe the temporal-spatial distribution of the main Mesozoic metallogenic belts and regions in North China, comprising the Middle Lower Yangtze River valley, the Xiaolinling-Xiong'er-shan (eastern Qinling) and western Qinling, North margin of the North China craton, and southern part of the Daxing'anling as well as the eastern Shandong peninsular and Wulugutu-Jiawula (Manzhuli). After collecting and documenting the precise radiometric age data of the ore deposits there appear three metallogenic pulses, i.e. 190 ~ 160 Ma, ca. 140 Ma, and ca. 120 Ma. Almost all the gold only deposits in eastern Shandong peninsular formed at time of ca. 120 Ma. It is obvious there are two pulses of mineralization at ca. 140 Ma and ca. 120 Ma in the Middle Lower Yangtze River valley, and Xiaolinling-Xiong'er-shan region, where the porphyry-skarn-manto Cu-Au-Mo-Fe and Mo-(W) deposits occurred at the age of ca. 140 Ma whereas the gold deposits and terrestrial volcanic rock related iron deposits appeared at age of ca. 120 Ma. The Mesozoic mineralization in the northern margin of the North China craton developed in three pulses and their ages are getting older from the eastern margin of the Euroasian continent inward. The gold deposits in the western Qinling are dated to be an age range of 190 ~ 160 Ma. In southern part of the Daxing'anling the granite-related Cu-Ag and Pb-Zn-Cu deposits are ca. 160 ~ 177 Ma, granite-related Sn-Cu-Pb-Zn and Sn deposits are ca. 140 Ma, and Nb-Y-Zr deposit is 127 Ma. Based on the study of Mesozoic tectonic evolution, we propose these three pulses of large-scale mineralization are the consequences of the postcollisional process of the Triassic convergence between the northern China craton and the Yangtze craton, late stage of the tectonic regime changing its main stress from NS-trending to EW-trending, and lithosphere thinning process, respectively. The gold deposits associated with S-type granite of 200 ~ 160Ma develop in the extension setting of postcollisional stage. At ca. 140 Ma a great amount of I-type granite porphyry derived from the upper mantle and lower crust emplaced at the shallow crust and are accompanied by porphyry-skarn-(manto) Cu-Mo-Fe-Au and Mo-W mineralization. Due to lithosphere rapid thinning at ca. 120 Ma the asthenosphere got into the crust, which gave up to the mixed fluids from the mantle, metamorphic process, and crust to leach the metallic elements so as to form the gold ore-forming system as well as the iron deposit association related to terrestrial volcanic activity.

**Key words** Large-scale metallogeny, Mesozoic, Three pulses of mineralization, Geodynamic settings, North China

**摘 要** 本文论述了中国北方(包括华北、东北及长江中下游地区)金属矿床的空间分布特点,分析和讨论了主要成矿区带(长江中下游、小秦岭-熊耳山、西秦岭、华北克拉通北缘和大兴安岭南段)及一些大型矿集区(胶东、鲁西和乌奴格吐-甲乌拉)中矿化组合和成矿期次以及地球动力学背景。提出中国北方大规模成矿作用出现在 200 ~ 160Ma, 140Ma 左右和 120Ma 左右三个峰期。通过对中生代地球动力学演化的分析研究,认为三大成矿事件所对应的地球动力学背景分别为后碰撞造山

<sup>\*</sup> 本文为国家重点基础研究发展规划项目(编号:G1999043211 和 G1999043216)、地质调查项目(K1.4)和国家自然科学基金委员会重点基金项目(编号:40434011)的成果。

第一作者简介:毛景文,男,1956年生,教授,从事金属矿床和地球化学研究, E-mail:jingwenmao@263.net

过程、构造体制大转折晚期和岩石圈大规模快速减薄。在 200~160Ma 时期主要表现为大厚度岩石圈局部伸展有关的岩浆-热成矿,在 140Ma 左右时期成矿表现为与深源花岗岩质岩石有关的斑岩-夕卡岩矿床,而 120Ma 左右时期的成矿是在岩石圈快速减薄过程有大量地幔流体参与成矿作用。

**关键词** 大规模成矿作用;中生代;三大成矿期次;地球动力学背景;中国北方

**中图法分类号** P618.2; P534.5

## 1 引言

最近几年对于中国东部金属成矿作用进行了新一轮研究,尤其是自从 1999 年国家重点基础发展规划项目执行以来,取得了大量成果。我们曾经撰文(2003)对华北克拉通及其周缘的中生代金属矿床成矿的时空结构进行了探讨,并初步提出了地球动力学模型。但是,当时的研究存在两个问题,其一是精确年龄数据比较少,统计时按照测年数据个数进行。有些矿床数据比较多,出现一个矿床多次统计,因而代表性不强。其二是没有考虑东北这样一个重要部分,事实上,在三叠纪晚期华北与东北已经连接在一起,两者具有类似或相同的地球动力学演化与成矿的历史。

本次研究仍然从成矿年龄入手,尽量精选相对准确的成矿和成岩年龄数据,探讨中生代构造-岩浆-热和成矿事件。目前,国内外将辉钼矿的 Re-Os 和富钾矿物的  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  测定作为最主要的成矿测试方法。尽管石英流体包裹体  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  方法在国际上不断遭到质疑,但国内使用比较普遍,况且与前两种方法可对比性较好。对于成矿有关的花岗质岩石的测年,我们以 SHRIMP 锆石 U-Pb 方法和单颗粒锆石方法为主,也选择可靠的全岩 Rb-Sr 等时线方法。尤其是对于大兴安岭南段成矿区,缺少更加精确的成岩成矿资料,这些等时线资料显得更加可贵。对于 Rb-Sr 等时线数据可靠性判断的主要依据为对分析流程和可信度检查以及对比该数据与同一地区相类似矿床 Ar-Ar 方法测年数据和成矿有关岩体的 SHRIMP 锆石 U-Pb 数据。

由于各地工作程度不一,一些矿床拥有几个年龄数据,而另一些却只有一个数据。在资料整理时,我们将一个矿床作为一个单位进行统计,以便准确反映整体成矿特点。尽管大多数大中型金、铜、钼、银铅锌矿床有比较可靠的数据,个别矿床仍然是空白。本次研究根据现有的资料进行总结研究,在此基础上,结合岩石学和构造学等方面研究的进展,进一步探讨中国北方中生代大规模成矿的地球动力学背景和回答为什么在某一时刻发生了大爆发成矿作用。

## 2 中国北方中生代成矿作用的特点

在中国北方大多数金属矿床主要分布在三条近东西向的造山带和一个北东向造山带中(图 1),它们是华北克拉通南缘的小秦岭-熊耳山成矿带和西秦岭成矿区、华北克拉通北缘成矿带、长江中下游成矿带、大兴安岭南段北北东向成

矿带以及到鲁西矿集区和胶东金矿矿集区。正如以前所述及(毛景文等, 2002, 2004a, 2004b), 尽管长江中下游成矿带位于扬子克拉通北缘,但其成矿特点和地球动力学演化与中国北方相同(Li and Yang, 2003)。我们将测定和收集到的年龄资料列于表 1。然后,再将这些数据以单位矿床为基数制成直方图(图 2)。在图中可以看出中国北方 Au-Cu-Mo-W-Fe 大规模成矿作用主要集中 140Ma 左右和 120 Ma 左右两个时间段(图 2)。在 200~160Ma 也有不少矿床的形成,鉴于目前对该时期矿床测年的数据比较少,往往在一个大型矿集区只有极个别矿床有测年数据,因此,这里仍然根据现有的发现矿床数量称之为另一个重要成矿时间段。此外,在已知年龄的矿床中小秦岭地区的黄龙铺碳酸岩型钼矿是一个例外,它的辉钼矿 Re-Os 同位素模式年龄在 231~220Ma 之间(黄典豪, 1994),表明为印支末期的产物。Stein *et al.* (1997) 使用高精度 NTIMS 方法对同一组样品进行重测,获得年龄数据为 221.1~222.0Ma, 平均 221.5Ma。黄龙铺钼矿成矿物质来源于地幔(黄典豪等, 1985; 喻学惠等, 1992),是一个幔源物质成矿的典例,很可能为造山晚期地幔蠕动或脱气过程的一种成矿响应。

### 2.1 小秦岭-熊耳山钼钨金矿带

小秦岭-熊耳山地区位于华北克拉通南缘,在其中发育有两种类型矿床(图 3),即斑岩型-夕卡岩型钼(钨)矿和金矿。斑岩型-夕卡岩型钼(钨)矿包括金堆城钼矿、石家湾钼矿、南泥湖钼矿、木龙沟钼矿、上房钼钨矿、三道庄钼钨矿和雷门沟钼矿。这些矿床构成我国最大的钼矿带,也是北方最大的钨矿带。我们对三道庄、南泥湖、上房沟和雷门沟四个矿床中的辉钼矿进行 Re-Os 同位素测年,获得  $144.5 \pm 2.2\text{Ma}$ ,  $141.8 \pm 2.1\text{Ma}$ ,  $143.8 \pm 2.1 \sim 145.8 \pm 2.1\text{Ma}$  和  $131.6 \pm 2.0 \sim 133.1 \pm 1.9\text{Ma}$  数据。黄典豪等(1994)曾测定金堆城钼矿的辉钼矿 Re-Os 年龄为  $129 \pm 7 \sim 139 \pm 3\text{Ma}$ 。这组年龄数据说明小秦岭-熊耳山地区的钼钨矿主要形成于 140Ma 左右,金堆城和雷门沟形成时代相对其它三者比较晚一些。小秦岭-熊耳山是我国仅次于胶东的第二大金矿带(Mao *et al.*, 2002),金矿类型以石英脉型为主,还有蚀变岩型(李永峰等, 2004)和浅成低温热液型(邵克忠等, 1989)。对于这些矿床已经进行了大量的研究工作,但是精确年龄资料却比较少,王义天等(2001)测得祁雨沟浅成低温热液金矿床两阶段钾长石的  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  坪年龄分别为  $122 \pm 0.4\text{Ma}$  和  $125 \pm 3\text{Ma}$ 。在小秦岭穿山大剖面中采含金石英脉边侧的黑云母进行测年,得到  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  坪年龄 126~128Ma(王义天

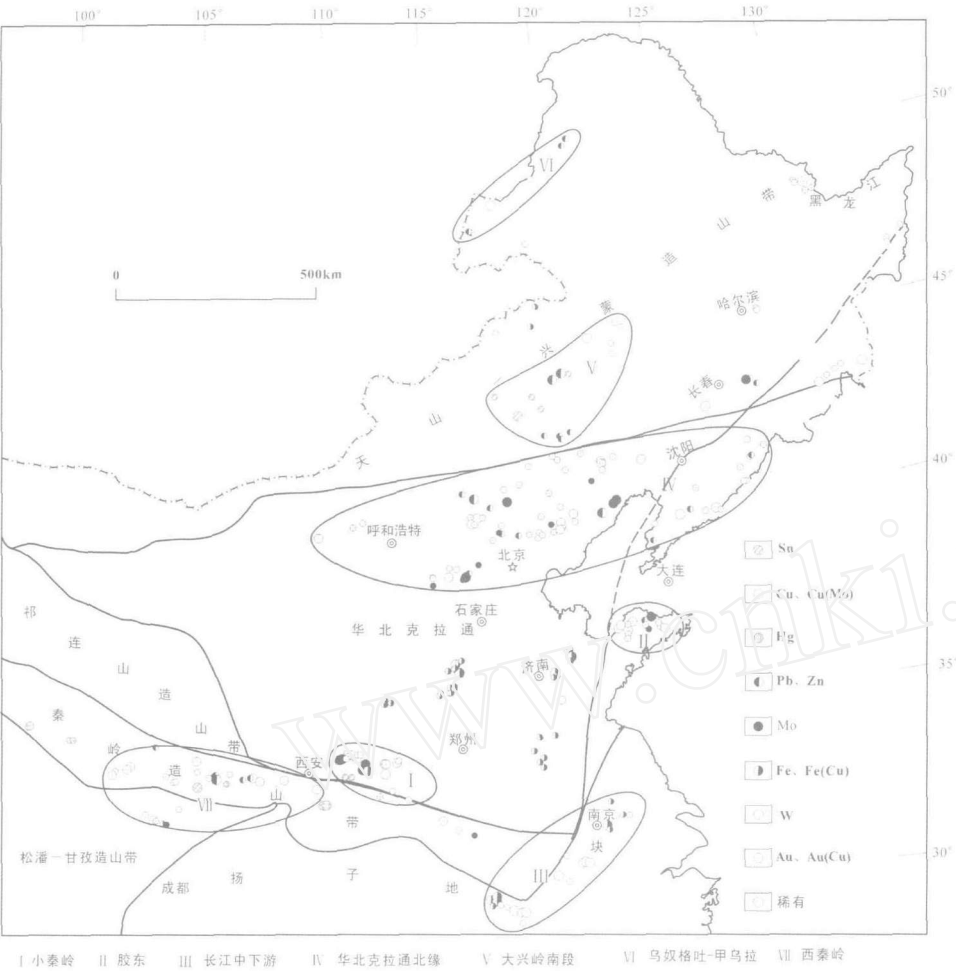


图1 中国北方主要金属矿床分布图  
Fig. 1 The map showing the distribution of the ore deposits in the North China

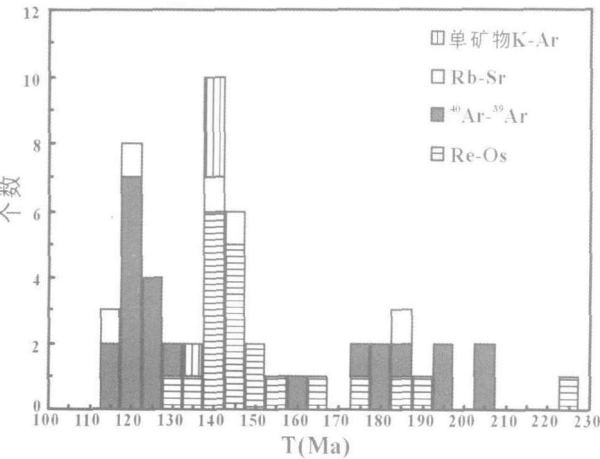


图2 中国北方主要金属矿床同位素年龄分布直方图  
图中明显反映出140Ma左右和120Ma左右两个成矿爆发期  
Fig. 2 Distribution of the geochronological data of the major ore deposits in North China  
The ca. 140 and ca. 120 represent the two pulses of Mesozoic mineralizations in North China

等, 2002)。尽管关于190~160Ma成矿事件在该区也有一些报道(李华芹等, 1993; 卢欣祥等, 1998; 任富根等, 1998; 2001), 但仍然缺少可靠数据。由于空间上关系密切, 通常认为这些金矿床与文峪、娘娘山、花山、五丈山和合峪等偏铝质黑云母花岗岩具有成因联系。但是, 最近的花岗岩的SHRIMP锆石U-Pb测年表明这些岩体形成时代明显大于金矿, 其中文峪岩体为 $138.4 \pm 2.5$  Ma, 娘娘山岩体 $141.7 \pm 2.5$  Ma, 花山 $130.7 \pm 1.4$  Ma, 五丈山 $156.8 \pm 1.2$  Ma和合峪 $127.2 \pm 1.4$  Ma(见表2)。目前正在执行的地质大调查发现中生代的脉状铅锌矿的找矿远景看好, 确切成矿时代尚不清楚

2.2 胶东大型金矿集区

胶东是我国最大的金矿集区, 累计探明黄金储量已经超过900吨(Zhou *et al.*, 2002), 目前年生产黄金约28吨。在胶东地区金矿床可以分为三种类型, 即石英脉型、破碎蚀变岩型和胶莱盆地北缘拆离带中的角砾岩型。最近

表1 中国北方多金属矿床放射性同位素年龄精测数据(Ma)

Table 1 Precise age data of the ore deposits in North China (Ma)

矿床名称	Re-Os 模式年龄	Re-Os 等 时线年龄	$^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 坪年龄	$^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 等时线年龄	Rb-Sr 等时线年龄	测试矿物 或岩石	参考文献
230~200Ma 成矿事件							
黄龙铺钼矿床	222 $\pm$ 8 227 $\pm$ 7 231 $\pm$ 7 220 $\pm$ 5 230 $\pm$ 7	221				辉钼矿 辉钼矿 辉钼矿 辉钼矿 辉钼矿	黄典豪, 1994
200~160Ma 成矿事件							
兰家沟斑岩钼矿床	188 $\pm$ 5 186 $\pm$ 5 188 $\pm$ 5 192 $\pm$ 5 185 $\pm$ 4	186.5				辉钼矿 辉钼矿 辉钼矿 辉钼矿 辉钼矿	黄典豪等, 1996
杨家杖子夕卡岩钼矿床	190 $\pm$ 6 191 $\pm$ 6					辉钼矿 辉钼矿	黄典豪等, 1996
四平银(金)矿					157 $\pm$ 4	石英	梁华英等, 2001
牛心山金矿			175.8 $\pm$ 3.1			石英	胡达壤, 1996
八家子金矿				204.0 $\pm$ 0.5		绢云母	罗镇宽等, 2002
白云金矿			203 $\pm$ 2 197 $\pm$ 2			石英 石英	刘国平等, 2000
乌奴格吐铜钼矿	155 $\pm$ 17					辉钼矿	赵一鸣等, 1997
北岔沟门铅锌矿		152 $\pm$ 3				辉钼矿	毛德宝等, 2000
东坪金矿			187 $\pm$ 0.3 188 $\pm$ 0.4 187 $\pm$ 0.3 177.4 $\pm$ 5				江思宏等 2000 黄金部队, 1996
后沟金矿			172.9 $\pm$ 5			钾长石	王蓉嵘, 1992
北沟金矿			177.6 $\pm$ 0.2			石英	胡达壤等, 1994
孟恩陶勒盖银铅锌矿			179.0 $\pm$ 2			白云母	张炯飞等, 2003
小佟家堡子金矿			167.0 $\pm$ 2	167.0 $\pm$ 4		绢云母	刘国平等, 2002
尚家沟金矿			161.6 $\pm$ 1	160.0 $\pm$ 1		石英	邵世才等, 2001
小里沟金矿			197.5 $\pm$ 1	193.2 $\pm$ 1		石英	邵世才等, 2001
140Ma 左右成矿年龄							
三道庄钼钨矿	144.5 $\pm$ 2.2Ma 145.0 $\pm$ 2.2Ma 145.4 $\pm$ 2.0					辉钼矿 辉钼矿 辉钼矿	本文
金堆城钼矿	129 $\pm$ 7 131 $\pm$ 4 139 $\pm$ 3					辉钼矿 辉钼矿 辉钼矿	黄典豪等, 1994
南泥湖钼矿	141.8 $\pm$ 2.1Ma					辉钼矿	本文
上房沟钼矿	143.8 $\pm$ 2.1Ma 145.8 $\pm$ 2.1Ma					辉钼矿 辉钼矿	本文
雷门沟钼矿	131.6 $\pm$ 2.0Ma 133.1 $\pm$ 1.9Ma					辉钼矿 辉钼矿	本文
大庄科钼矿	147 $\pm$ 7 145 $\pm$ 11 146 $\pm$ 6					辉钼矿 辉钼矿 辉钼矿	黄典豪等, 1996
小寺沟铜(钼)矿	134 $\pm$ 3					辉钼矿	黄典豪等, 1996
寿王坟铜(钼)矿	148 $\pm$ 4					辉钼矿	黄典豪等, 1996
大湾铜(钼)矿	144 $\pm$ 7					辉钼矿	黄典豪等, 1996
城门山铜矿	144 $\pm$ 2 139 $\pm$ 3 140 $\pm$ 2 139 $\pm$ 3					辉钼矿 辉钼矿 辉钼矿 辉钼矿	吴良士等, 1997

矿床名称	Re-Os 模式年龄	Re-Os 等 时线年龄	<sup>40</sup> Ar- <sup>39</sup> Ar 坪年龄	<sup>40</sup> Ar- <sup>39</sup> Ar 等时线年龄	Rb-Sr 等时线年龄	测试矿物 或岩石	参考文献
城门山铜矿	142.3 ± 2.3					辉钼矿	本文
安庆铜矿	137.9 ± 1.5 142.6 ± 1.7					辉钼矿 辉钼矿	本文
铜矿里铜钼矿	141.1 ± 1.6 143.7 ± 1.6					辉钼矿 辉钼矿	本文
沙滩角铜钼矿	140.7 ± 1.6 142.8 ± 1.6					辉钼矿 辉钼矿	本文
南阳山铜矿	140.5 ± 1.6 139.3 ± 1.6 140.7 ± 1.5					辉钼矿 辉钼矿 辉钼矿	本文
大团山铜矿		139.1 ± 2.7				辉钼矿	本文
龙虎山铜矿	139.0 ± 0.3					辉钼矿	Sun <i>et al.</i> , 2003
月山铜矿		138.0 ± 2.5 (Os-Os)				辉钼矿	Sun <i>et al.</i> , 2003
老鸭岭铜矿	139.0 ± 0.3					辉钼矿	谢智等, 2002
金口岭铜矿	137.0 ± 1.7					辉钼矿	蒙义峰等, 2004
堡子湾金矿			142.9 ± 0.5 142.5 ± 0.5			石 英 石 英	韩金良等, 2002 牛翠伊等, 2002
二道沟金矿			140.6 ± 2.8			绢云母	庞奖励等, 1997
黄岗锡铁矿				137 ± 3 (K-Ar)		钾长石	Ishiyama <i>et al.</i> , 2001
大井锡多金属矿			138.3			绢云母	Ai and Feng, 1996
宝盖沟锡矿				138.6 (K-Ar)		云 母	Wang <i>et al.</i> , 2001
120Ma 左右成矿事件							
祁雨沟金矿			122 ± 0.4 115 ± 2	125 ± 3 114 ± 4		钾长石 钾长石	王义天等, 2001
仓上金矿			121.3 ± 0.2			绢云母	Zhang <i>et al.</i> , 2002
焦家金矿			120.5 ± 0.6 120.1 ± 0.2 120.2 ± 0.2			绢云母 绢云母 绢云母	Li <i>et al.</i> , 2003
望儿山金矿			119.8 ± 0.2 120.2 ± 0.2 119.9 ± 0.4 120.6 ± 0.7 120.2 ± 0.2 120.4 ± 0.3			绢云母 绢云母 绢云母 绢云母 绢云母 绢云母	Li <i>et al.</i> , 2003
新城金矿			120.2 ± 0.3 120.9 ± 0.3 120.7 ± 0.2			绢云母 绢云母 绢云母	Li <i>et al.</i> , 2003
玲珑金矿					122 ± 11 123 ± 3 123 ± 4	黄铁矿流体包裹体	Yang and Zhou, 2001
邓格庄金矿			117.5				赵伦山等, 1993
东季金矿			116.1 ± 0.3 115.2 ± 0.2			钾长石 石 英	李厚民等, 2003
蓬家岭			118.4 ± 0.3 120.5 ± 0.5 117.5 ± 0.3 117.4 ± 0.6			石 英 石 英 黑云母	张连昌等, 2002
大庄子						石 英	张连昌等, 2002
乳山金矿					118 ± 0.6	绢英岩	张德全等, 1995
小秦岭金矿			128.5 ± 0.2 126.7 ± 0.2	128.3 ± 0.3 126.9 ± 0.3		黑云母	王义天等, 2002
五龙金矿					120 ± 3, 112 ± 1	石 英	魏俊浩等, 2001
排山楼金矿			124.2 ± 0.4			黑云母	骆辉等, 1997
梅山铁矿			122.9 ± 0.2			钠长石	余金杰等, 2002
桃村铁矿			124.9 ± 0.3			钠长石	余金杰等, 2002

表2 中国北方与金属矿床有关岩体的成岩时代 (Ma)

Table 2 Precise age data of the Mesozoic ore deposits-related granites in North China (Ma)

测试岩体	相关矿床	SHRIMP 锆石	单颗粒锆石	$^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$	Rb-Sr 等时线	测试矿物	资料来源
花岗岩	崮耳崖金矿	175.1 ± 1 ~ 174 ± 3				锆石	关康等, 2001
二长斑岩	归来庄金矿	175.7 ± 3.8		188 ± 2, 190 ± 0.2		角闪石	林景仟等, 1997 胡华斌等, 2004
闪长岩		175.7 ± 3.8				锆石	胡华斌等, 2004
青山口花岗岩体	金厂峪金矿	199 ± 2				锆石	罗镇宽等, 2001a
牛心山花岗岩体	牛心山金矿	172 ± 2				锆石	罗镇宽等, 2001c
花岗闪长斑岩	白音诺尔铅锌矿				171	全岩	张德全等, 1990
花岗斑岩	台布呆铜矿				177.4	全岩	盛继福等, 1999
闪长玢岩	闹牛山铜矿				161.8	全岩	盛继福等, 1999
闪长玢岩	莲花山铜矿		161.8			锆石	盛继福等, 1999
花岗斑岩	敖脑达巴锡铜矿				148.4	全岩	赵一鸣等, 1994
二长斑岩	乌奴格吐铜铅矿				142	全岩	Qin <i>et al.</i> , 1995
石英二长斑岩	甲乌拉铅锌矿		139.2			锆石	盛继福等, 1999
正长花岗岩	黄岗锡矿				140.3	全岩	赵一鸣等, 1994
正长花岗岩	浩布高铅锌矿				131.2	全岩	盛继福等, 1999
花岗斑岩	毛登锡矿				149	全岩	盛继福等, 1999
石英二长闪长岩	新桥硫铜矿	140.4 ± 2				锆石	王彦斌等, 2003
小铜官山二长岩	铜官山铜矿	142.0 ± 1.8				锆石	藏文栓, 2004
凤凰山花岗闪长岩	凤凰山铜矿	151.8 ± 2.6				锆石	藏文栓, 2004
沙滩角花岗闪长斑岩	沙滩角铜矿	151.8 ± 2.6				锆石	藏文栓, 2004
冬瓜山辉石二长岩	冬瓜山铜矿	148.2 ± 3.1				锆石	藏文栓, 2004
文峪花岗岩	小秦岭金矿	138.4 ± 2.5				锆石	本文
娘娘山花岗岩	小秦岭金矿	141.7 ± 2.5				锆石	本文
雷门沟花岗斑岩	雷门沟铜矿	136.2 ± 1.5				锆石	本文
南泥湖花岗斑岩	南泥湖铜矿	158.2 ± 3.1				锆石	本文
上房沟花岗斑岩	上房沟铜矿	157.6 ± 2.7				锆石	本文
五丈山花岗岩	熊耳山金矿	156.8 ± 1.2				锆石	本文
花岗岩及闪长玢岩	排山楼金矿	124 ± 2 ~ 126 ± 2				锆石	罗镇宽等, 2001b
花山花岗岩	熊耳山金矿	130.7 ± 1.4				锆石	本文
合峪花岗岩	熊耳山金矿	127.2 ± 1.4				锆石	本文
石英斑岩	蔡家营铅锌矿		119.1			锆石	黄典豪等, 1992
碱性花岗岩	巴尔哲稀有稀土矿				127	全岩	赵一鸣等, 1994
郭家岭式花岗闪长岩	胶东金矿	126 ± 2 128 ± 2 129 ± 3 129 ± 6 130 ± 3				锆石	Wang <i>et al.</i> , 1998

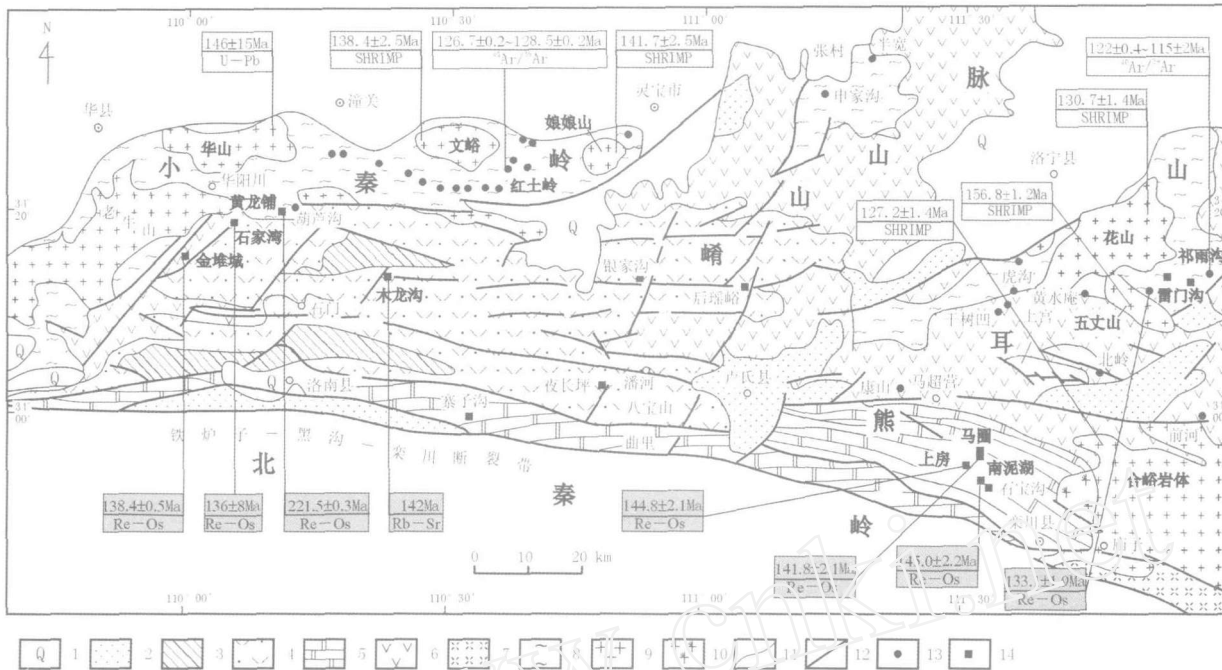


图3 小秦岭-熊耳山地区地质和成岩成矿年龄分布图(底图取自罗铭玖等,2000)

1. 第四系, 2. 第三系, 3. 寒武系, 4. 新元古界官道口群, 5. 新元古界柴川群, 6. 中元古界熊耳群, 7. 中元古界宽坪群, 8. 太古界太华群, 9. 燕山期花岗岩, 10. 碱性花岗岩, 11. 地质界线, 12. 断层, 13. 金矿, 14. 钼矿

Fig. 3 The map showing the geology and Mesozoic major ore deposits with their corresponding ages in the Xiaoqinling-Xinongershan region, East Qinling (The simplified map is modified from Luo *et al.*, 2000)

1. Quaternary sediments, 2. Tertiary sedimentary rocks, 3. Cambrian sedimentary rocks, 4. Neoproterozoic Guandaokou Group, 5. Neoproterozoic Luanchuan Group, 6. Mesoproterozoic Xiong'ershan Group, 7. Mesoproterozoic Kuaping Group, 8. Achaean Taihua Group, 9. Yanshanian granite, 10. Alkali granite, 11. Geological boundary, 12. Fault, 13. Gold deposits, 14. Molybdenum deposits

几年,使用 $^{39}\text{Ar}-^{40}\text{Ar}$ 方法对矿石中的云母、钾长石和石英进行了年龄精测,获得的数据为121~114 Ma。其中胶莱盆地北缘的滑脱带中的蓬家乔金矿的年龄为117.3~118.4 Ma,大庄子金矿117.4 Ma(张连昌等,2002)。在胶北隆起中,张德全等(1995)测得乳山金矿年龄 $118\pm0.6$  Ma,赵伦山等(1993)获得邓格庄金矿年龄117.5 Ma,李厚民等(2003)测得东季金矿成矿时代为 $114.4\pm0.2\sim116.3\pm0.8$  Ma, Zhang *et al.* (2002)测得仓上金矿年龄 $121.3\pm0.2$  Ma, Li *et al.* (2003)对焦家、新城和望儿山三个金矿中的绢云母进行了 $^{30}\text{Ar}-^{40}\text{Ar}$ 方法的测年,分别获得 $120.1\pm0.2\sim120.5\pm0.6$  Ma,  $120.2\pm0.3\sim120.9\pm0.3$  Ma和 $119.8\pm0.2\sim120.6\pm0.7$  Ma数据。Yang *et al.* (2001)利用玲珑矿区金矿石中的黄铁矿进行了Rb-Sr等时线测年。尽管这是一个探索性的实验方法,但得到年龄为 $123\pm3\sim123\pm4$ ,与其它方法所获得数据相吻合。这些测年数据一并示于图4,由此可以看出三种类型金矿化在一个很短的时期成矿。

总体来看,胶东地区金矿成矿作用明显晚于玲珑(160~150 Ma)、昆嵛山和漆家河黑云母花岗岩的成岩时代,相差29~46 Ma的时间间隔排除了它们之间的成因联系。以郭家岭为代表的花岗闪长岩出露面积较小,较少与矿化在空间上分布在一起(图4)。由于测定花岗闪长岩的SHRIMP锆石U-Pb年龄为130~126 Ma(Wang *et al.*, 1998)和黑云

母 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄为 $124.5\pm0.4\sim124.0\pm0.4$  Ma(Li *et al.*, 2003),因而近几年大家总是将它与成矿联系在一起。但是,花岗闪长岩的成岩时代比成矿时代也早出16~3 Ma,而且与之有关的钠长石化与矿化有关的钾长石化(钾长石化和黄铁绢英岩化)相左,其氢同位素特征与矿石的氢同位素特征的差距明显,因而基本上排除了它与成矿作用的成因联系。相比之下,成矿作用与岩墙在时间上和空间上具有一致性。煌斑岩墙和中基性岩墙广泛出现于几乎各个金矿区,成岩时代103~123 Ma与金矿成矿时代基本吻合。

### 2.3 长江中下游地区铜钼金铁成矿带

长江中下游是我国东部一个重要的铜金铁成矿带,其中矿床以矿集区形式沿江呈近东西-北东向弧形展布。从西向东有鄂东南、九瑞、安庆-贵池、铜陵和宁芜-宁镇等几个大中型矿集区(图5)。在长江中下游地区发育有两大矿化类型,即斑岩-夕卡岩-层控Cu-Au-Mo-(Fe)矿床和与陆相火山岩有关的玢岩铁矿床。尽管长江中下游地区矿化密集发育,但绝大部分仅仅出现于几个矿集区,其中,鄂东南、九瑞、安庆-贵池、铜陵、宁镇发育Cu-Au-Mo-(Fe)矿集区,庐枞和宁芜为玢岩铁矿矿集区。近几年通过对这两套矿床进行系统同位素测年,证明它们分别形成于140 Ma左右和120 Ma左右。其中对主要矿床的辉钼矿进行Re-Os同位素测年,得到

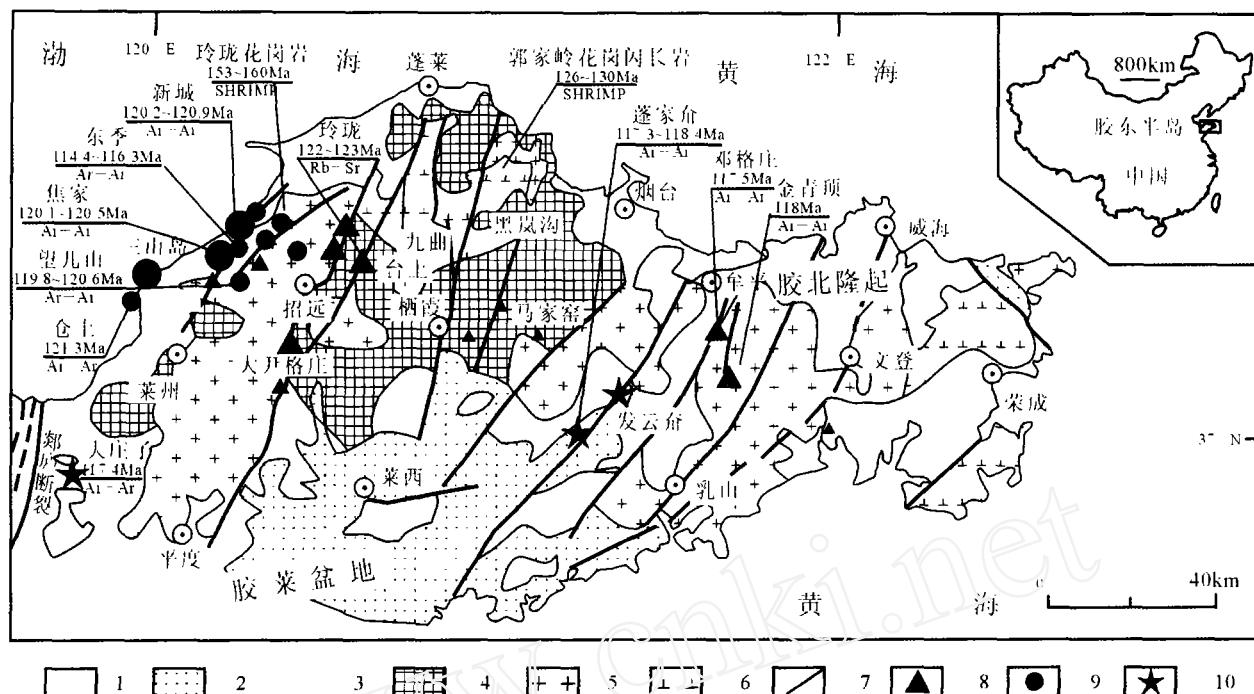


图4 胶东地区地质和成岩成矿年龄分布图 (根据杨敏之等, 1998; 李厚民等, 2003; Fan *et al.*, 2003 综合而成)

图中展现三种类型金矿床的分布特点以及成矿年龄和花岗质岩石的成岩年龄, 这些成岩成矿年龄数据来源见表1

Fig. 4 Simplified geological map with the ages of the Mesozoic granite and gold deposits in the East Shandong peninsular (Modified from Yang *et al.*, 1998; Li *et al.*, 2003, and Fan *et al.*, 2003)

数据为: 大团山铜矿  $139.1 \pm 2.7$  Ma, 安庆铜矿  $137.9 \pm 1.5 \sim 142.6 \pm 1.7$  Ma, 铜矿里钼矿  $141.1 \pm 1.6$  Ma  $\sim 143.7 \pm 1.6$  Ma, 沙滩角铜钼矿  $140.7 \pm 1.6 \sim 142.8 \pm 1.6$  Ma, 南阳山铜矿  $139.3 \pm 1.6 \sim 140.7 \pm 1.5$  Ma (毛景文等, 2004a), 城门山铜矿  $139 \pm 3 \sim 144 \pm 2$  Ma (吴良士等, 1997) 和  $142.3 \pm 2.3$  Ma (毛景文等, 2004a), 龙虎山铜矿  $139.0 \pm 0.3$  Ma 和 月山  $138.0 \pm 2.5$  Ma (Sun *et al.*, 2003), 铜官山金口岭铜矿  $137.0 \pm 1.7$  Ma (蒙义峰等, 2004) 和 狮子山老鸦岭  $139.0 \pm 0.3$  Ma (谢智等, 2002)。这些年龄与王彦斌等 (2004a; 2004b) 测定新桥硫铁矿区和朝山的石英闪长岩和辉石闪长岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄  $140.4 \pm 2 \sim 142.9 \pm 1.1$  Ma 相吻合。

余金杰等 (2002) 通过对宁芜玢岩铁矿中的钠长石的  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  法测定, 获得  $122.9 \pm 0.2 \sim 124.9 \pm 0.3$  Ma 数据, 表明产于宁芜-庐枞断陷火山盆地中的玢岩铁矿的时代晚于铜钼金矿。张旗等 (2003) 利用 SHRIMP 锆石 U-Pb 方法测得大王山组火山岩年龄为  $127 \pm 3$  Ma, 龙王山组火山岩年龄  $131 \pm 4$  Ma, 说明了与玢岩铁矿成因有密切关系的火山岩在形成时代上略早于成矿的发生, 但晚于铜钼金成矿作用和相关的花岗岩侵位。

#### 2.4 西秦岭金成矿区

西秦岭是一个重要的侏罗纪金矿大型矿集区, 按成矿环境和成矿基本特点划分的脉状金矿和卡林型金矿。脉状金矿主要包括礼坝、双王、八卦庙和马鞍桥, 受近东西向的

正断层或扩容型剪切断裂的控制, 主要分布于中秦岭造山带或礼-凤-太古生代盆地。八卦庙金矿赋存在隐爆角砾岩带中 (石准立等, 1993)。最西部的大水金矿以高品位而著称, 具有明显的浅成热液的特点, 但是来自美国卡林金矿 Placer Dome 公司的 Steve Garwin 认为雷同美国西部的卡林型金矿 (Mao *et al.*, 2002)。而另一类卡林型金矿则密集分布于南秦岭和松潘-甘孜造山带的东北部, 代表性矿床有东北寨、马脑壳、煎茶岭和阳山。虽然这两大类金矿的产出形态有一定差别, 赋矿围岩分别为泥盆纪和三叠纪复理式建造浊积岩系, 但共同特点是矿化与侏罗纪早中期偏铝质花岗岩体或小岩株在空间上相伴随。到目前为止, 西秦岭地区的金矿和相关的花岗岩都缺少精确的年龄数据, 仅有邵世才等 (2001) 使用  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  方法测定尚家沟石英脉型金矿床成矿时代  $160 \pm 1$  Ma, 小里沟剪切带型金矿床成矿年龄  $193.2 \pm 1 \sim 197.5 \pm 1$  Ma。现有的大多数年龄数据显示出金矿床主要形成于  $210 \sim 170$  Ma。其中 Rb-Sr 等时线法获得的李坝金矿床的年龄为  $176$  Ma (柳森, 1994); 双王金矿床中钾长石  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  法年龄为  $202 \sim 198.3$  Ma (石准立等, 1993)。王平安 (1998) 报道甘肃大水金矿区花岗岩墙的成岩时代为  $190 \sim 190.6$  Ma。

#### 2.5 华北克拉通北缘金钼铜铅锌矿带

与前几个成矿区带相比较, 华北克拉通北缘金钼铜铅锌矿带成矿作用比较复杂。该矿带东西向延伸  $1800$  km

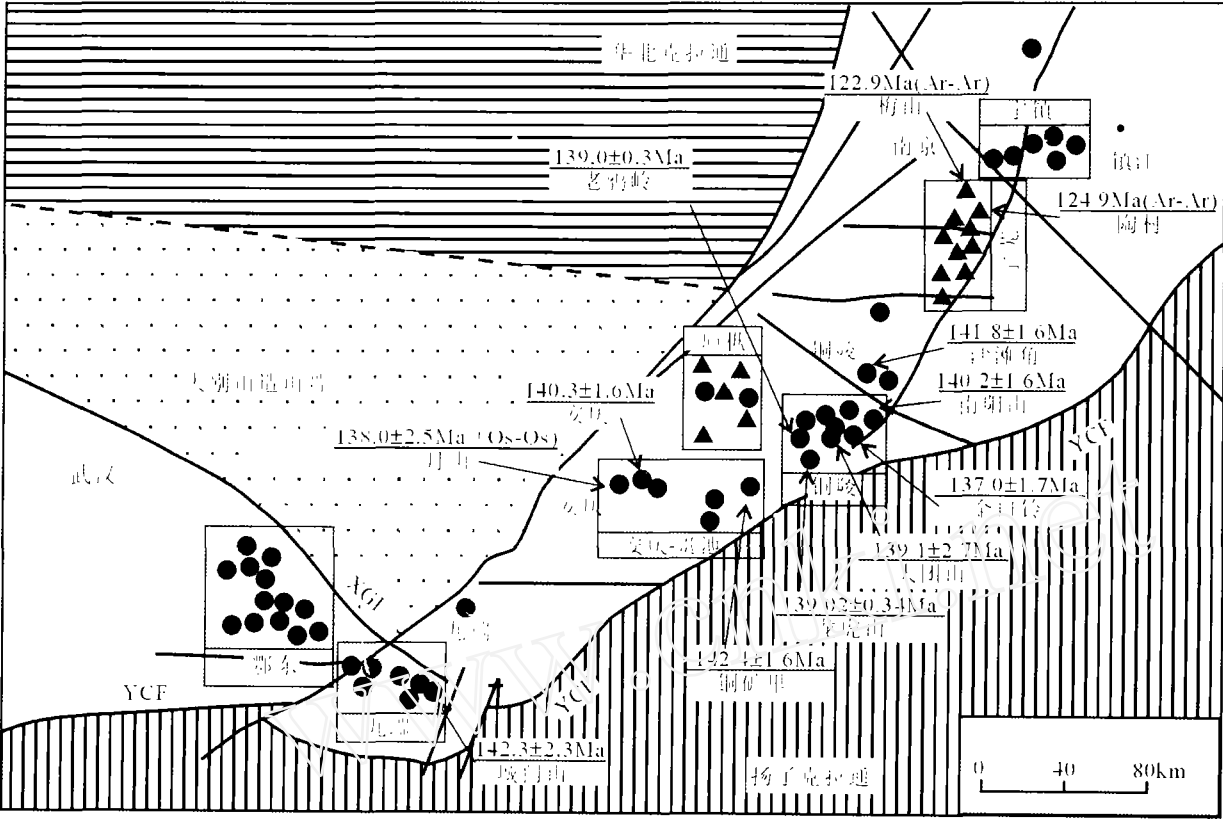


图5 长江中下游地区地质和成岩成矿年龄分布图 (据毛景文等,2004a 原图进行修改)  
圆图代表斑岩-夕卡岩-层控 Cu-Au-Mo 矿床、三角代表矽岩铁矿  
Fig.5 Simplified geological map with the ages of Cu-Au-Mo-Fe deposits and related granites in the Middle-Lower reaches of the Yangtze river valley (modified from Mao *et al.* , 2004a)  
Circle; porphyry-skarn-stratabound Cu-Au-Mo deposits; Triangle; terrestrial subvolcanic rock-related iron deposits

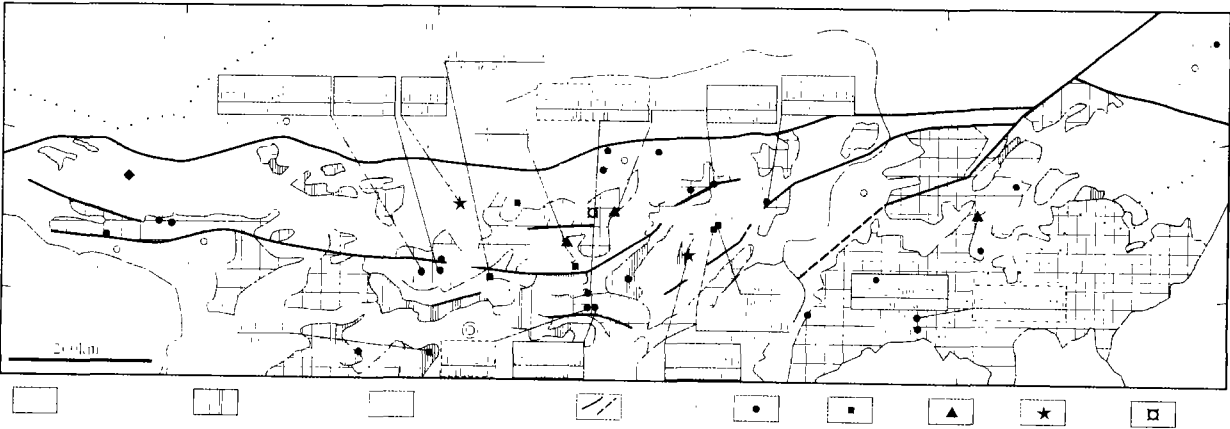


图6 华北克拉通北缘地质和成岩成矿年龄分布图  
Fig.6 Simplified geological map with the ages of the Mesozoic ore deposits and related granites in the northern margin of the North China craton

(图6), 中生代形成的矿种有金矿、钼矿、铅锌矿和少量铜矿和银矿(芮宗瑶等, 1994; 裴荣富等, 1998, 2003), 三个时代成矿在这里都有很好的显示

在辽西地区, 黄典豪等(1996)用 Re-Os 同位素测年方法测得兰家沟-杨家杖子斑岩-夕卡岩型钼矿的辉钼矿年龄为  $185 \pm 4 \sim 191 \pm 6$  Ma(表1) 近几年, 在辽南青城子 Pb-Zn 矿

外围发现了小佟家堡子大型剪切带型金矿, 刘国平等(2002)测得矿石中绢云母的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 坪年龄为 $167 \pm 2\text{Ma}$ , 辽宁白云金矿 $209 \pm 2 \sim 197 \pm 2\text{Ma}$ (刘国平等, 2000)。吉林四平银(金)矿时代为 $187 \pm 4\text{Ma}$ (梁华英等, 2001), 八家子金矿年龄为 $204.0 \pm 0.5\text{Ma}$ (罗镇宽等, 2000)。对于冀东大型金矿集区中的花岗岩进行了精确的年龄测定, 与金厂峪金矿有关的青山口花岗岩体的锆石 SHRIMP 年龄测定为 $199 \pm 2\text{Ma}$ (罗镇宽等, 2001a), 峪耳崖金矿区的峪耳崖花岗岩体的时代为 $175.1 \pm 1 \sim 174 \pm 3\text{Ma}$ (关康等, 2001), 牛心山金矿区的牛心山花岗岩体的年龄为 $172 \pm 2\text{Ma}$ (罗镇宽等, 2001c)。这些数据与以往使用 K-Ar, Rb-Sr 等时线方法测定蚀变岩或矿物获得的成矿年龄相一致。例如, 金厂峪年龄为 $197.0 \sim 169.8\text{Ma}$ (陈宗兴, 1986; 林尔为等, 1984), 鱼耳崖金矿 $189.0 \sim 163.8\text{Ma}$ (刘连登等, 1994; 吴珍汉, 1988), 牛心山金矿 $190 \sim 175.8 \pm 3.1\text{Ma}$ (胡达骧, 1994), 倒流水金矿 $155.0\text{Ma}$ 和偏道沟金矿 $161.0\text{Ma}$ (梅燕雄, 1997)。冀西北的张宣金矿集区中的金矿床大多沿水泉沟碱性杂岩体分布, 以东坪和后沟等碲化物金矿床为特征, Hart 等(2002)定义这些矿床为一种浅成低温热液矿床。过去十几年中, 对东坪金矿及相关的岩体进行了大量的测年研究, 由于方法本身的局限性, 所得到年龄从元古宙到燕山晚期。近几年所获得 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 坪年龄 $173 \pm 5 \sim 188 \pm 0.4$ (王蓉嵘, 1992; 武警黄金指挥部, 1996; 江思宏等, 2000)可能比较准确地反映了其成矿时代。最近, 徐兴旺等(2001)首次使用激光探针方法对后沟矿区钾长石进行 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 测年, 得到 $176.7 \sim 202.6\text{Ma}$ 数据, 与胡达骧等(1994)用石英 Ar-Ar 法对北沟金矿测定的年龄数据 $177.6 \pm 0.2\text{Ma}$ 一致, 说明后沟、北沟与东坪成矿时代基本同时。但是, 这些成矿时代明显晚于碱性杂岩的成岩时代, 后者为 $304.5 \pm 0.5 \sim 305.9 \pm 0.5\text{Ma}$ (江思宏等, 2000)。

在华北克拉通北缘, 北京大科庄爆破角砾岩型钼矿的辉钼矿 Re-Os 同位素模式年龄为 $145 \pm 11 \sim 147 \pm 3\text{Ma}$ , 小寺沟斑岩-夕卡岩型铜钼矿的辉钼矿 Re-Os 模式年龄为 $134 \pm 3\text{Ma}$ , 河北寿王坟夕卡岩型铜矿的辉钼矿 Re-Os 模式年龄为 $148 \pm 4\text{Ma}$ 和大湾斑岩-夕卡岩型钼矿中辉钼矿 Re-Os 模式年龄为 $144 \pm 2\text{Ma}$ (黄典豪等, 1996)。除了钼矿外, 山西堡子湾金矿的时代测定为 $142.5 \pm 0.5$ (韩金良等, 2002)和 $142.5 \pm 0.5$ (牛翠伊等, 2002), 吉林南部二道沟金矿 $140.6 \pm 2.8\text{Ma}$ (庞奖励等, 1997)。

在华北克拉通北缘, 五龙和排山楼为两个规模较大的剪切带型金矿床, 前者 Rb-Sr 等时线年龄为 $120 \pm 3 \sim 112 \pm 1\text{Ma}$ (魏俊浩等, 2001), 后者的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄则为 $124.2 \pm 0.2\text{Ma}$ (骆辉等, 1997)。这与排山楼矿区花岗岩及闪长玢岩的锆石 SHRIMP 测年数据 $124 \pm 1 \sim 126 \pm 2\text{Ma}$ 相吻合(罗镇宽等, 2001b)。冀西北的蔡家营铅锌矿是我国华北最大铅

锌矿床, 也是全国最大的脉状铅锌矿, 在成因上与一组石英斑岩脉相伴产出, 后者的单颗粒锆石 U-Pb 年龄为 $119.1\text{Ma}$ (黄典豪等, 1992)。李永刚等(2003)对内蒙赤峰地区安家营子金矿脉成矿前容矿的花岗岩和成矿后的流纹斑岩岩墙中的锆石进行 U-Pb 测年, 获得年龄分别为 $132\text{Ma}$ 和 $126\text{Ma}$ , 由此限定其成矿时代在两者之间。

## 2.6 大兴安岭南段银铅锌锡成矿带

大兴安岭南段(通常称为黄岗-甘珠尔庙-乌兰浩特成矿带)是中亚构造-成矿域天山-兴蒙海西期造山带的一部分, 但中生代以来由于濒太平洋构造-岩浆-成矿事件的强烈叠加和改造, 更多显示出后者的痕迹。该区是我国东北迄今已经探明金属矿床最集中地区, 包括一批大型矿床, 例如, 黄岗锡矿、大井银铜锡矿床、莲花山铜矿、浩布高铅锌矿、白音诺铅锌矿、巴尔哲稀有矿(图7)。这些矿床均受 NNE 向与东西向断裂控制, 成矿围岩为二叠纪滨海相碎屑岩, 中基性火山岩, 碳酸盐岩以及泻湖相和湖相碎屑岩, 泥岩夹火山岩。进入中生代以来, 构造活动频繁, 挤压-推覆, 拉伸-断陷, 沿断裂出现闪长玢岩, 花岗闪长岩及安山玢岩, 英安玢岩等中酸性火山-侵入小杂岩体, 最晚期出现碱性岩组合。几乎所有矿床都产出在岩体的内外接触带。中酸性岩体与铜银铅锌矿有关, 酸性岩与锡多金属矿有关, 碱性岩与稀有矿化有关。在空间上, 沿东侧的嫩江深大断裂向西依次出现铜、锡铅锌到稀有稀土矿(赵一鸣等, 1997a)。在大兴安岭南段精确测年资料很少, 一般认为成矿大致时间顺序为铜、铅、锡、锡多金属到稀有稀土矿。张炯飞等(2003)使用 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 方法测得孟恩陶勒盖铅锌矿成矿时代为 $179.0 \pm 2\text{Ma}$ , 毛德宝等(2002)对在大兴安岭南段与华北克拉通北缘交汇部位新发现的北岔门沟大型铅锌矿进行测年, 获得辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为 $152 \pm 3\text{Ma}$ ; 大井锡多金属矿年龄为 $138.3\text{Ma}$ (Wang et al., 2001), Ishihama et al. (2001)和 Wang et al. (2001)最近利用 K-Ar 方法对钾长石和云母进行测年, 得到黄岗锡铁矿和宝盖沟锡矿的年龄分别为 $137 \pm 3\text{Ma}$ 和 $138.6\text{Ma}$ 。在上世纪 90 年代, 赵一鸣等(1997)和盛继福(1999)对成矿有关的花岗质岩体进行了系统的测年, 使用方法主要为全岩 Rb-Sr 等时线和锆石 U-Pb 法, 结果为白音诺尔铅锌矿区花岗闪长斑岩 $171\text{Ma}$ , 台布呆铜矿区花岗斑岩 $177.4\text{Ma}$ , 闹牛山铜矿和莲花山铜矿有关的闪长玢岩皆为 $161.8\text{Ma}$ ; 敖脑达巴锡铜矿区的花岗斑岩 $148.4\text{Ma}$ , 甲乌拉铅锌矿区的石英二长斑岩 $139.2\text{Ma}$ , 黄岗锡矿正长花岗岩 $140.3\text{Ma}$ , 毛登锡矿花岗斑岩 $148\text{Ma}$ ; 与巴尔哲稀有稀土矿的碱性花岗岩为 $127\text{Ma}$ 。总的来看, 在大兴安岭南段多次成矿,  $160 \sim 180\text{Ma}$ 为铜铅锌银矿,  $140\text{Ma}$ 左右为锡多金属矿,  $120\text{Ma}$ 左右为稀有矿(图7)。

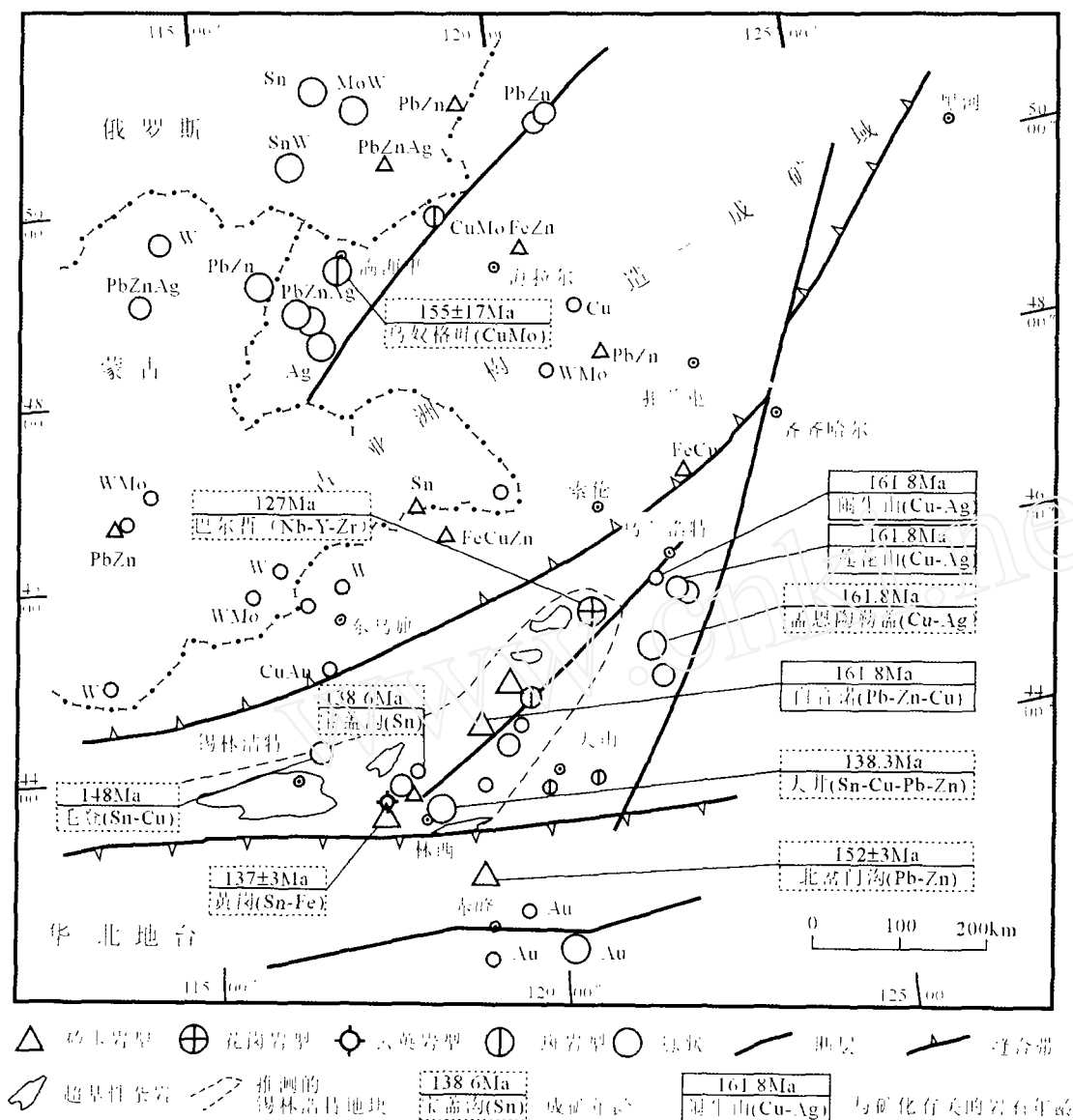


图7 大兴安岭南段及乌奴格吐-甲乌拉矿集区金属矿床及其年龄分布图(底图来自 Wang *et al.*, 2001)

Fig. 7 The map showing the distribution of the ore deposits and their corresponding ages in the southern part of the Daxing'anling Mt. and Wulugetu-Jiawula area in Northeast China (modified after Wang *et al.*, 2001)

此外,在鲁西地区发育有与碱性杂岩有关的金矿集区,除了归来庄大型金矿外,还有磨坊沟、梨坊沟等几个小型金矿床。虽然作为一种与碱性杂岩有关的浅成低温热液矿床倍受关注和引起大家的兴趣(林景仁等,1997),但是很难找到可以进行精确测年的矿物和岩石。由于这套矿床与铜石碱性杂岩(包括中细粒闪长玢岩和含辉石或角闪二长斑岩)在时空分布上与矿化密切,胡华斌等(2004)测得中细粒闪长玢岩的SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为  $175.7 \pm 3.8\text{Ma}$ 。在长白山地区由于植被覆盖,探明的矿床较少,其中最引人注目的是黑龙江团结沟斑岩金矿。团结沟金矿产于斜长花岗斑岩隆起部位及其与基岩变质岩的接触带,受 NWW 向构造破碎带控制。其成矿年龄大约 144Ma(刘连登等,1999)。位于得尔布干深大断裂西侧的乌奴格吐-甲乌拉铜银多金属矿带

包括乌奴格吐大型斑岩型铜钼矿、额仁陶勒盖大型银矿和甲乌拉-查干布拉根大型次火山热液型银多金属矿床(芮宗瑶等,1994)。赵一鸣等(1997b)对乌奴格吐斑岩铜钼矿中的辉钼矿进行 Re-Os 同位素测年,获得  $155 \pm 17\text{Ma}$  数据。这一年龄误差比较大,但基本上可以与有关的花岗斑岩的全岩 Rb-Sr 等时线年龄 142Ma(Qin *et al.*, 1995)相吻合。

从以上叙述可以看出,中国北方中生代成矿作用表现为非均一性,在一些成矿区带出现 1~3 次大规模成矿作用,例如,在华北克拉通北缘和大兴安岭南段出现了 200~160Ma、140Ma 左右和 120Ma 左右三大期次;而在长江中下游成矿带和小秦岭-熊耳山成矿带则有后两次;胶东大型矿集区以 120Ma 左右成矿为显著特色,西秦岭和鲁西成矿作用只发生在 200~160Ma 期间。总的趋势为从西向东,成矿

时代变新, 120Ma 左右的成矿作用一般在大兴安岭和太行山以东地区。从成矿强度分析, 140Ma 左右和 120Ma 左右是两次最重要的成矿事件(图 2)。另外, 对与成矿作用有关花岗岩年龄数据的统计(表 2, 图 8), 反映出 180 ~ 160Ma 和 130 ~ 140Ma 是两次花岗岩侵位的高峰期, 这与前两期大规模成矿相对应。饶有趣味的是在 120Ma 左右的大规模成矿期间并没有出现强烈的花岗岩侵位事件。

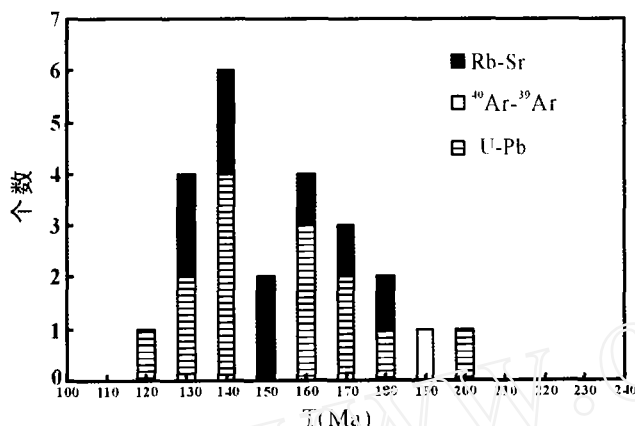


图 8 中国北方与金属矿床有关花岗岩岩石的年龄直方图  
Fig. 8 Distribution of geochronological ages of the Mesozoic ore deposits-related granitic rocks in North China

### 3 北方中生代大规模成矿的地球动力学背景探讨

大规模成矿或大爆发式成矿是在一定特殊地球动力学环境中的产物(毛景文等, 1999; 华仁民等, 1999)。自中生代以来, 中国东部及其邻区经历了几次重大地质事件, 它们是几个陆块先后碰撞对接(任纪舜等, 1992)和接踵而至的燕山运动。Wong (翁文灏, 1927)提出的燕山运动是对中国东部侏罗纪-白垩纪重大地质事件的概述, 但不同学者对其引发的地球动力学环境有不同的认识, 例如, 太平洋板块的俯冲及伴生的弧后伸展或俯冲带后退模型(周新民等, 1994; 李武显等, 1999), 陆-陆碰撞模型(任纪舜等, 1990)和岩石圈减薄模型(邓晋福等, 1992, 1996a, 1996b; 郑建平, 1999; 吴福元等, 2000, 2003)。目前, 大家越来越趋向于燕山运动包括地球动力学主应力场方向的大调整和岩石圈大减薄(赵越, 1994; 毛景文等, 2002; 2004a; 2004b)。

#### 3.1 200 ~ 160Ma 成矿事件与后碰撞造山过程

自上世纪 90 年代以来, 大别-苏鲁榴辉岩岩石学及形成过程受到极大关注和深入研究, 大量放射性同位素测年数据表明这条超高压变质带形成于 238 ~ 218Ma 之间(李曙光等, 1989, 1997; Ames *et al.*, 1993, 1996; Chen *et al.*, 1995; Chavagnot and Jahn, 1996; Rowley *et al.*, 1997), 表

明在这一时期华北与扬子克拉通完全对接。这与前陆盆地-长江中下游地区的沉积岩系研究结果相同, 碰撞造山发育于中三叠世(李锦轶, 2001)。最近研究还表明, 华南地块与印支板块沿松马(Song Ma, 位于越南北部)在同一时期碰撞对接, 整个中国东部大陆连成一体, 处于整体隆升状态, 岩石圈厚度进一步加大(陈培荣等, 2004)。卢欣祥等(1999)测定秦岭地区具环斑结构花岗岩的成岩时代为 217 ~ 210Ma, 可能反映出造山晚期出现局部伸展环境。对大别山榴辉岩中白云母进行 Rb-Sr 等时线测年, 获得  $191 \pm 10$ Ma 数据(简平, 2001), 反映了这一时期的热事件和流体活动。自印支末期到早中燕山期造山阶段, 位于西伯利亚克拉通与华北克拉通之间的蒙古-兴安造山带和位于华北与扬子克拉通之间的秦岭造山带都发生了强烈的逆掩-叠覆作用, 形成逆掩断层、飞来峰和叠瓦构造。标志着华北与扬子克拉通、西伯利亚克拉通与华北克拉通之间的大陆岩石圈进一步缩短(任纪舜, 1992)。自印支晚期到侏罗纪中期, 中国北方仍然处于内陆碰撞造山阶段。赵越等(2002)认为于 160Ma 最终闭合的蒙古-鄂霍茨克大洋的向南北两侧的俯冲是北方内陆造山的主要动力来源(李锦轶个人交流, 2004)。因此, 自印支晚期到侏罗纪早中期, 北方在一定程度上仍然处于碰撞造山阶段。在碰撞造山过程的伸展期, 大量花岗岩浆多次经过重熔及同熔作用生成及上侵定位, 构成了中国北方乃至整个中国东部最为宏大的一次花岗岩浆侵位事件, 范围大, 面积广。本次花岗岩基本上以地壳重熔型岩浆为主, 其特点以多硅过铝富碱为特征,  $I_{\text{sr}} > 0.7080$ , 绝大部分大于 0.7100。通常在西秦岭走滑剪切带中形成了脉状金矿, 在断陷盆地边缘的伸展或剪切断裂系统发育富 As、Sb、Hg 和 W 的卡林型金矿(Mao *et al.*, 2002), 而在华北克拉通北缘出现与花岗岩活动有关的金矿床, 例如, 峪耳崖和牛心山等。在北缘也有比较少见的由壳幔同熔形成的深源花岗岩, 例如与杨家杖子斑岩-夕卡岩钼矿有关的花岗斑岩体, 其铯初始值( $I_{\text{sr}}$ )小于 0.7060。鲁西地区的金矿与碱性杂岩有关, 形成于伸展环境。大兴安岭南段是一个比较特殊的地区, 可能是由于海西晚期大规模的壳幔分异和地壳增生的缘故(洪大卫等, 2000), 自从侏罗纪到白垩纪, 所形成的花岗岩一直都显示出大量地幔物质参与成岩过程, 也就是花岗岩表现为壳幔同熔的产物。在 180 ~ 150Ma 期间形成的铜和铜铅锌矿床及其满洲里(乌奴格吐-乌拉矿集区)乌奴格吐斑岩铜钼矿有关的岩石的铯初始值( $I_{\text{sr}}$ )为 0.7046 ~ 0.7077, LREE/HREE 为 3.46 ~ 7.17,  $\delta\text{Eu} = 0.48 \sim 0.8$ (芮宗瑶等, 1994; Qin *et al.*, 1995)。在 140Ma 左右形成的锡多金属矿床有关花岗岩明显富钾,  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} = 1.14 \sim 1.88$ , 而且花岗岩经历了充分的分异演化, 其分异指数  $\text{DI} > 90$ , 但是铯初始值( $I_{\text{sr}}$ )为 0.7028 ~ 0.7096。在 120Ma 形成碱性岩有关矿床无疑与地幔活动关系更加密切。在图 4-9a 我们用卡通图划划 200 ~ 160Ma 期间后碰撞造山过程和大规模成矿作用的模型。

### 3.2 140Ma 左右成矿事件与构造体制大转换

自印支末期以来,中国东部在持续遭受南北向挤压的同时,又出现特提斯-古太平洋板块在印支晚期向古亚洲大陆下消减,于燕山期中国东部及邻区环太平洋的构造作用愈演愈烈,以至于中国东部的构造发展逐步成为环太平洋构造的一部分,形成了中国东部的 NE-NNE 向的构造系统,并铸造了亚洲东缘宏伟的燕山褶皱带(任纪舜等,1992;2000)。任纪舜等(1998)在冀北和内蒙南部编图发现 EW 向中晚侏罗世髫髻山组(或海方沟组)火山岩和土城子组(或后城组)红色地层被 NE-NNE 向分布的张家口组火山岩和义县组火山岩覆盖,表明侏罗纪和白垩纪之间为地球动力学调整的时间段。由于在东北和北山地区的一些 EW 向剪切带和核变质杂岩中绢云母的 $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  测年数据表明为 175 ~ 166Ma(Zhang *et al.*, 1996),后来,牛宝贵等(2003)测定侏罗纪髫髻山组火山岩顶部 SHRIMP 锆石年龄为  $163.2 \pm 5.9$  Ma。因此,地球动力学开始转换的时间应晚于 163Ma。牛宝贵等(2003)对张家口组底部流纹岩中 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年,获得  $135.8 \pm 3.1$  Ma 和  $136.3 \pm 3.4$  Ma,可能代表了地球动力学调整完成的时间上限。在 163Ma 至 136Ma 期间,可能是地球动力学调整的整个过程。正如李忠等(2003)对燕山地区盆地演化研究指出,从晚侏罗世髫髻山组和土城子组开始,其盆地的主体构造的主体方向在东西向基底构造上已经受到北东向新生构造的显著影响,显示出单个盆地北东向展布与盆地群东西向展布的特征,并延续至早白垩世。这至少说明在表壳层次上晚侏罗世燕山地区已经发生了明显的构造转折。但是,霍明国等(2003)根据构造体制、火山喷发和花岗岩类以及爆发成矿,推测华北东部构造机制转折的峰期时限始于 150 ~ 140Ma,结束于 110 ~ 100Ma,峰值为 120Ma。我们对成矿年龄统计(图 2)已经清楚反映出 140Ma 左右与 125 ~ 110Ma 是不连续的两个成矿期次。140Ma 左右的矿产主要为与 I 型或壳幔混源型花岗岩有关的斑岩-夕卡岩型铜矿、钼矿(或钼钨矿),总体分布在华北克拉通北缘、南缘和长江中下游地区。无论是华北克拉通南北缘和南缘的斑岩-夕卡岩钼(钨、铜)成矿系统和有关的花岗岩,还是长江中下游地区的斑岩-夕卡岩-层状交代铜矿成矿系统和有关花岗岩,均不受棋盘格子式(李四光,1999)或行-列-汇(裴荣富等,1999)构造系统的控制。尽管这三条成矿带宏观上表现为 EW 向,但控矿主断裂为 NNE 向。在得尔布干大断裂西侧的乌奴格吐-甲乌拉铜银多金属矿带尽管呈 NNE 向分布,也同样遵守上述规律。位于大兴安岭南段的锡多金属矿床也是在这一时间段形成,同样显示出大量地幔物质参与到成矿系统。该成矿系统与地壳来源的成矿系统,例如华南地区的锡矿床完全不同(Mao *et al.*, 1995)。与这些矿床成矿有关的岩体来自深部,属于比较典型的同熔型(徐克勤等,1982)或磁铁矿系列(Ishihara, 1977)花岗岩。这些成矿的花岗质岩浆不仅经历了强烈的分

异演化,而且是高侵位但未发生喷发作用,使挥发组分和成矿元素得以保存,构成区内第二期大规模成矿作用(图 4-9b)。这一期大规模成矿作用的控矿构造,相关的深源花岗岩体和盆地演化一致表明它们形成于构造转折的晚期,受伸展构造应力场的制约。对华北克拉通北缘基性岩墙测年表明 140 ~ 146Ma 相当集中,指示出岩石圈呈现出伸展特点(邵济安等,2002;Shao *et al.*, 2004)。但是,163Ma ~ 145Ma 期间是构造活动是什么状态,仍然有待于探索,有人推测可能由于古太平洋板块向西俯冲,造成大陆边缘隆升。

### 3.3 120Ma 左右成矿事件与岩石圈减薄过程

华北克拉通古生代金伯利岩研究表明当时岩石圈厚度达 200 公里(池际尚等,1996),东部曾经是一个高原。张旗等(2001)通过对华北克拉通内部埃达克质岩石或类埃达克岩的初步研究,进一步证实中国东部高原在中生代的存在。长江中下游和华北地块北缘为当时高原的南北缘。中国东部在中生代岩石圈快速减薄到不足 80 公里(邓晋福等,1996b;Fan and Hooper, 1991;Menzies *et al.*, 1993;Fan and Menzies, 1992)。对于这种巨变事件的动力学机制正在探讨之中,地幔柱活动(牛树银等,2001)引起的岩石圈拆沉(Gao *et al.*, 1998)或岩石圈去根(邓晋福等,1996b)可能是其主因。这种大幅度减薄的开始时限限制在白垩纪中晚期,尽管新生代仍然在持续。Gao *et al.* (2002)对汉诺坝二辉橄榄岩包体获得了 1.9 ~ 2.0Ga 的 Re-Os 同位素等时线年龄,表明现今保存在那里的地幔主要是早元古代时形成的,未明显受到中生代岩石圈地幔减薄作用的影响。因此中生代的岩石圈地幔减薄作用主要发生在汉诺坝以东地区。对山东栖霞橄榄岩包体的 Re-Os 同位素研究,表明它们具有与现代对流地幔相同的 Os 同位素组成,证明年龄很新。结合其它地质证据,说明克拉通东部的太古宙地幔减薄作用主要发生在中生代。郭锋等(2001)的研究表明火山喷发从环渤海沉降盆地向鲁西隆起区迁移。在环渤海盆地的济阳、黄骅、冀中、下辽河玄武质粗安岩-安山岩的成岩时代为 135 ~ 136Ma,而在鲁西南隆起区包括济南、邹平基性-中基性杂岩的时代为 115 ~ 120Ma,蒙阴和邹平的橄榄安粗岩为 120 ~ 130Ma。邱检生等(2001)对鲁西富钾火山岩和煌斑岩的 $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  定年,也获得 124.3 ~ 114.7Ma 和 119.6Ma 数据。邵济安等(2002, 2004)测定燕山地区的辉绿岩墙和煌斑岩墙形成时代为 114 ~ 128Ma。Yang *et al.* (2004)测定胶东地区的基性岩墙成岩时代为 120 ~ 110Ma。这些数据在一定程度上表明上述岩石形成于岩石圈伸展-减薄而不是板块俯冲或地体聚合环境。长江中下游地区与斑岩铁矿有关的火山岩也无疑在 110 ~ 120Ma 期间喷发(毛建仁等,1990)。大别山地区的麻粒岩相片麻岩中的白云母-全岩的 Rb-Sr 等时线年龄为  $127 \pm 9$  Ma,显示出老变质岩受到此期大规模深熔作用及岩浆事件的影响(简平,2001)。总体来讲,在岩石圈快速减薄的大环境,一部分矿床形成与岩浆活动有关,例如,

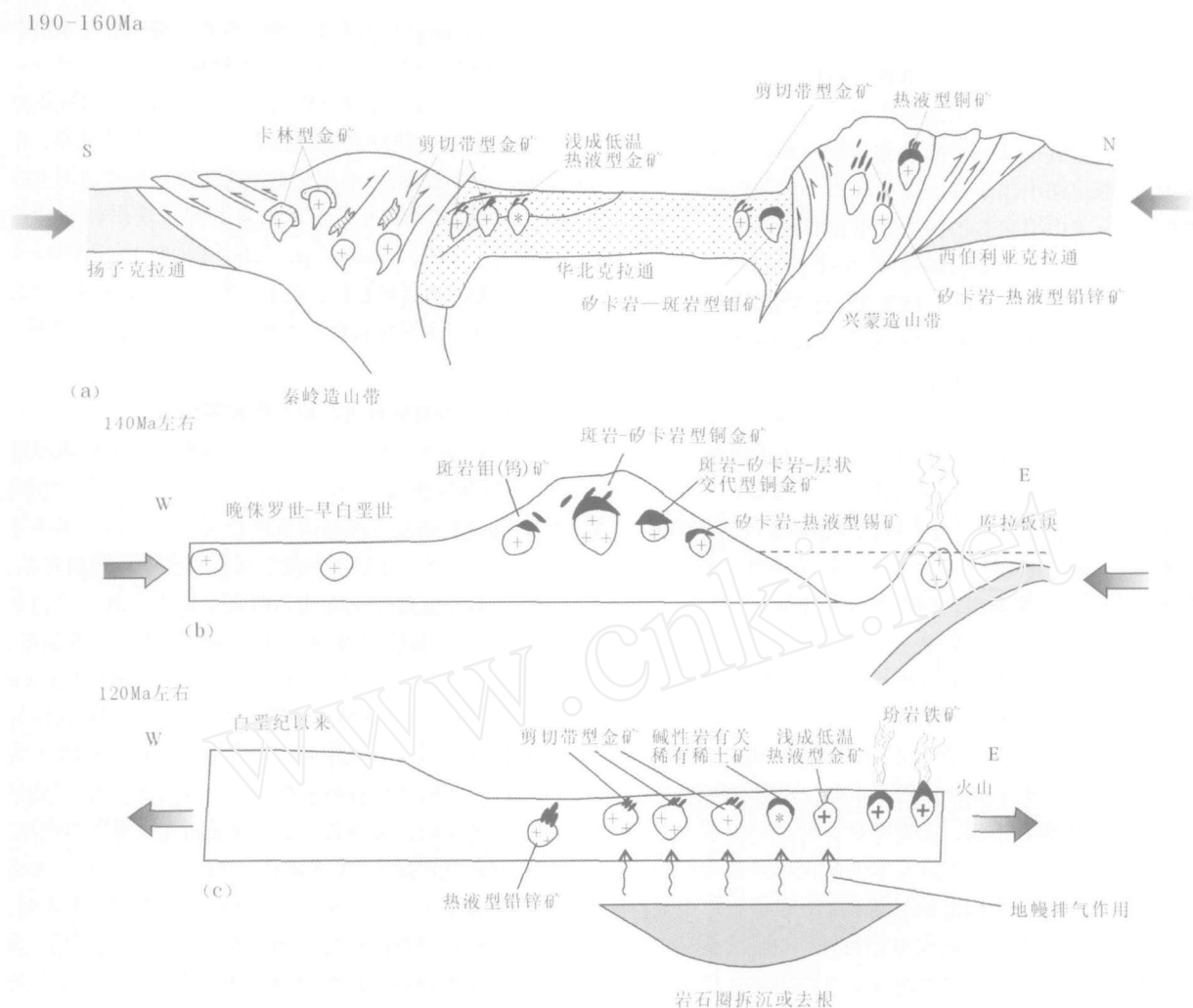


图9 中国北方中生代地球动力学演化与成矿模式图(在毛景文等, 2003 基础上修改)

Fig. 9 Model diagram showing the Mesozoic geodynamic evolution and metallogeny in North China

上述与陆相火山热液有关的玢岩铁矿, 蔡家营 Pb-Zn 矿区的花岗闪长岩的单颗粒锆石年龄为 119Ma (黄典豪等, 1992) 也可能说明两者的关系。但更多矿床, 尤其是金矿床的形成与深变质作用、壳幔相互作用有关的深部流体活动以及地幔排气具有密切的关系。例如, 在胶东地区玲珑式花岗岩形成于 160 ~ 150Ma, 郭家岭式花岗闪长岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 126 ~ 130Ma (Wang *et al.*, 1998), 而成矿时代为 123 ~ 114Ma, 与煌斑岩墙形成时代相一致。在小秦岭-熊耳山地区, 金矿形成于 125 ~ 128Ma (王义天等, 2001, 2002), 成矿主岩花岗质岩石的成岩时代为 135 ~ 156Ma。在很多矿床展现出成矿物质组合、稳定同位素和惰性气体同位素都清楚显示出地幔流体积极参与了成矿过程(图 9c)。

自中元古代到古生代末, 华北克拉通处于相对稳定时期(翟明国等, 2001)。在中生代, 华北岩石圈演化十分活跃, 经历了碰撞造山、构造体制大转折和岩石圈大规模拆沉三大地球动力学事件, 相应出现了三次高强度成矿作用及金属元素巨量堆积, 构成了我国东部规模宏大成矿事件。

## References

- Ames L, Tilton G R, Zhou G. 1993. Timing of collision of the Sino-Korean and Yangtze cratons: U-Pb zircon dating of coesite-bearing eclogites. *Geology*, 21: 339 - 342
- Ames L, Zhou G, Xiong B. 1996. Geochronology and isotopic character of ultrahigh-pressure metamorphism with implications for collision of the Sino-Korean cratons, central China. *Tectonics*, 15: 472 - 489
- Chavagnat N O, Jahn B M. 1996. Coesite-bearing eclogites from the Bixiling complex, Dabie mountains, China: Sm-Nd ages, geochemical characteristics and tectonic implication. *Chemical Geology*, 133: 29 - 51
- Chen J, Xie Z, Liu S, Li X, Foland K A. 1995. Cooling age of Dabie orogen, China, determined by  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  and fission track techniques. *Science in China (B)*, 38: 749 - 757
- Chen P R. 2004. Geodynamic setting of Mesozoic magmatism and its relationship to uranium metallogenesis in southeastern China. *Uranium Geology*, 20: 266 - 270 (in Chinese with English abstract)
- Chi J S, Lu F X. 1996. The kimberlite in the North China craton and characteristics of the Paleozoic lithosphere mantle. Beijing: Science Press, 1 - 292 (in Chinese)
- Deng J F, Liu H X, Zhao H L, Luo Z H, Guo Z F, Li Y W. 1996a.

- Yanshanian igneous rocks and orogeny model in Yanshan-Liaoning area. *Geoscience*, 10 (2): 137 - 148 (in Chinese with English abstract)
- Deng J F, Ye D L, Zhao H L, Tian D P. 1992. Volcanism, deep internal processes and basin formation in the lower reaches of the Yangtze River. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1 - 184 (in Chinese with English abstract)
- Deng J F, Zhao H L, Mo X X. 1996b. The root-plume tectonics of China continental: key to the continental dynamics. Beijing: Geological Publishing House, 1 - 110 (in Chinese with English abstract)
- Fa H R, Zhai M G, Xie Y H. 2003. Ore-forming fluids associated with granite-hosted gold mineralization at the Sanshandao deposit, Jiaodong gold province, China. *Mineralium Deposita*, 38 (6): 739 - 750
- Fan Q C, Hooper P R. 1991. The Cenozoic basaltic rocks of Eastern China: petrology and chemical composition. *Journal of Petrology*, 32: 765 - 810
- Fan W M, Menzies M A. 1992. Destruction of lower lithosphere mantle beneath eastern China. *Geotectonica et Metallogenia*, 16: 171 - 179
- Gao S, Zhang B R, Jin Z M, Kern H, Luo T C, Zhao Z D. 1998. How mafic is the lower continental crust? *Earth and Planetary Science Letters*, 106: 101 - 117
- Gao S, Rudnick R L, Carlson R W, McDonough W F, Liu Y S. 2002. Re-Os evidence for replacement of ancient mantle lithosphere beneath the North China Craton. *Earth and Planetary Science Letters*, 198: 307 - 322
- Guan K, Qiu Y M, Luo Z K, Miao L C, Neal M, David G. 2001. Geochronology studies and their significance of the granite related to gold deposits in east Heilbei Province. Chen YC (eds.), Paper Collection of the Chinese Delegation for the 31st International Geological Congress, Beijing: Geological Publishing House, 119 - 123 (in Chinese)
- Guo F, Fan W M, Wang Y J. 2001. Intra-plate basic magmatism in Mesozoic in North China and its constraint on the lithosphere shortening. In: Cong B L, Zhai M G, Guo J H, Liu J M (eds.), Proceedings of Symposium on the Continental Subduction, Detachment and Shortening, 92 - 94 (in Chinese)
- Hang Z L, Zhang B L, Wei G Q, Ding R F, Zhao H Z, Wang J. 2002. Study on genesis and ore-forming epoch of Puziwan gold deposit, Shanxi province. *Mineral Deposits*, 21 (supp): 598 - 601 (in Chinese)
- Hart C J R, Goldfarb R J, Qiu Y, Snee L, Miller L D, Miller M L. 2002. Gold deposits of the northern margin of the North China Craton: multiple late Paleozoic-Mesozoic mineralizing events. *Mineralium Deposita*, 37: 326 - 351
- Hong D W, Wang S G, Xie X L, Zhang J S. 2000. Genesis of positive  $\epsilon$  (Nd, t) granitoids in the Da Hinggan Mts. — Mongolia orogenic belt and growth continental crust. *Earth Science Frontiers*, 7 (2): 441 - 456 (in Chinese with English abstract)
- Hu D X, Luo G L. 1994.  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  age of gold-bearing quartz veins and their geological significance in typical gold deposits of Zhangjiakou-Xuanhuo gold field, Hebei province. *Scientia Geologica Sinica*, 29 (2): 151 - 158 (in Chinese with English abstract)
- Hu H B, Mao J W, Liu D Y, Niu S Y, Wang T, Li Y F, Shi Y R. 2004. The SHRIMP age of zircon from Tongshi magmatic complex in western Shandong and its geological implication. *Earth Science Frontiers*, 11 (2): 453 - 459 (in Chinese with English abstract)
- Hua R M, Mao J W. 1999. A preliminary discussion on the Mesozoic metallogenic explosion in east China. *Mineral Deposits*, 18 (4): 300 - 308 (in Chinese with English abstract)
- Huang D H, Ding X S, Wu C Y, Zhang C J. 1992. Caijiaying Pb-Zn-Ag deposit, Beijing: Geological Publishing House, 15 - 17 (in Chinese)
- Huang D H, Du A D, Wu C Y. 1996. Re-Os ages and their geological significance of the Mo (Cu) deposits in the North China platform. *Mineral Deposits*, 15: 289 - 297 (in Chinese with English abstract)
- Huang D H, Wang Y C, Nie F J, Jiang X J. 1985. A new type of molybdenum deposit - geological characteristics and metallogenic mechanism of the Huanglongpu carbonite vein type of molybdenum (lead) deposit, Shaanxi. *Acta Geologica Sinica*, 59 (3): 241 - 257 (in Chinese with English abstract)
- Huang D H. 1994. Re-Os ages and their geological significance of the Mo deposits in eastern Qinling area. *Mineral Deposits*, 13 (3): 376 - 381 (in Chinese with English abstract)
- Ishihara S. 1977. The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks. *Mining Geology*, 27 (5): 293 - 305
- Ishihara D, Mizuta T, Ishikawa Y, Wang J B, Wang Y W, Wang L J. 2001. Geochemical characteristics of igneous rocks and tin-copper mineralization. Project Final Report of Chinese Research Center for Mineral Resources Exploration, 4 - 115 ~ 4 - 138
- Jian P. 2001. Rb-Sr mica dating of high-grade metamorphic rocks from the Dabie mountains and its geological significance. *Acta Geoscientia Sinica*, 22 (5): 409 - 412 (in Chinese with English abstract)
- Jiang S H, Nie F J. 2000.  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  geochronology of the Shuiwangou alkaline complex and related gold deposit, Northwestern Hebei. *Geological Review*, 46: 621 - 627 (in Chinese with English abstract)
- Li H M, Mao J W, Shen Y C, Liu T B, Zhang L C. 2003. Ar-Ar ages of K-feldspar and quartz from Dongji gold deposit, northwest Jiaodong, and their significance. *Mineral Deposits*, 22 (1): 72 - 78
- Li J W, Vasconcelos P M, Zhang J. 2003.  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  constraints on a temporal link between gold mineralization, magmatism, and continental margin transients in the Jiaodong gold province. *Journal of Geology*, 111: 741 - 751
- Li J Y. 2001. Timing and pattern of collision of the Sino-Korean and Yangtze cratons: the evolution of the Sinian-Jurassic sedimentary environment in the Middle-Lower Reaches of Yangtze River. *Acta Geologica Sinica*, 75 (1): 25 - 34 (in Chinese)
- Li S G, Ge N J, Liu D L. 1989. Sm-Nd isotopic ages of the C-type eclogite from the Dabie group in the north Dabieshan area and its tectonic significance. *Chinese Science Bulletin*, 34 (7): 522 - 525 (in Chinese)
- Li S G, Li H M, Chen Y Z. 1997. Chronology of the ultrahigh-pressure metamorphic rocks in the Dabieshan-Sulu area; II. Zircon U-Pb isotope systematic. *Science in China (D)*, 27 (3): 310 - 322 (in Chinese)
- Li S G, Yang W. 2003. Decoupling of surface and subsurface sutures in the Dabie orogen and a continent-collisional lithospheric-wedging model: Sr-Nd-Pb isotopic evidences of Mesozoic igneous rocks in eastern China. *Chinese Science Bulletin*, 48: 831 - 838
- Li S G. 1999. Outline of the Geomechanics (2nd edition). Beijing: Geological Publishing House, 1 - 228 (in Chinese)
- Li W X, Zhou X M. 1999. Late Mesozoic subduction zone of southeastern China. *Geological Journal of China Universities*, 5: 164 - 168 (in Chinese with English abstract)
- Li Y F, Mao J W, Guo B J, Hu H B, Bai F J. 2004. Geology, geochemistry and genesis of Gongyu altered tectonite type gold deposit in western Henan province. *Mineral Deposits*, 23 (1): 61 - 66 (in Chinese with English abstract)
- Li Z, Liu S F, Zhang J F, Wang Q C. 2003. Typical basin-fill sequences and basin migration in Yanshan, North China: response to Mesozoic tectonic transition. *Science in China (D)*, 33 (10): 931 - 940 (in Chinese)
- Liang H Y, Wang X Z, Cheng J P. 2001. Rb-Sr isotope age and the time scale of hydrothermal activities for the siping Ag (Au) deposit, Jilin province. *Geotectonica et Metallogenia*, 25 (2): 194 - 198 (in Chinese with English abstract)
- Lin J Q, T D J, Yu X F. 1997. Genesis of Guilaizhuang gold deposit in western Shandong. Jinan: Shandong Science and Technology Publishing House, 1 - 160 (in Chinese with English abstract)
- Liu B G, He Z Z, Sun B, Shen J. 2003. SHRIMP dating of Zhangjiakou Formation volcanic rock and its importance significance. *Geological Bulletin of China*, 22 (2): 140 - 141 (in Chinese)
- Liu D Y, Wu J S, Shen Q H. 1992. Remnants of  $\geq 3800$  Ma crust in the Chinese part of the Sino-Korean craton. *Geology*, 20 (4): 339 - 342
- Liu G P, Ai Y F. 2002. Discussion on the metallogenic time of the Xiaotongjiapuzi gold deposit in Liaoning Province. *Mineral Deposits*,

- 21(1): 53–57 (in Chinese with English abstract)
- Liu G P, Ai Y F. 2000. Studies on the mineralization age of Baiyun gold deposit in Liaoning. *Acta Petrologica Sinica*, 16(4): 627–632 (in Chinese with English abstract)
- Liu L D, Li Y, Lan Y. 1999. On breccia-stockwork/porphyry type gold deposits. *Mineral Deposits*, 18(1): 29–36 (in Chinese with English abstract)
- Liu L D, Zhu Y Z, Dai S B. 1994. Gold deposit and ductile shear zone or superimpose structure. *China Precambrian Deposit and Structure*. Beijing: Seismological Press (in Chinese)
- Liu Y G, Zhai M G, Yang J H, Miao L C, Gang H. 2003. Gold mineralization age of the Anjiayingzi gold deposit in Chifeng county, Inner Mongolia: implications for Mesozoic metallogenic explosion in North China. *Science in China (D)*, 33(10): 960–966 (in Chinese)
- Lu X X, Wei X D, Xiao Q H, Zhang Z Q, Li H M, Wang W. 1999. Geochronological studies of Rapakivi granites in Qingling and its geological implications. *Geological Journal of China University*, 5: 372–377 (in Chinese with English abstract)
- Luo H, Zhao Y Q. 1997. Geology and mineralization of Paishanlou gold deposit in Fuxin, Liaoning province. *Progress in Precambrian Research*, 20(4): 13–24 (in Chinese with English abstract)
- Luo M J, Li S M, Lu X X. 2000. Metallogenesis and deposit series of main mineral resources of Henan province. Beijing: Geological Publishing House, 1–355 (in Chinese)
- Luo Z K, Guan K, Qiu Y S. 2001a. Zircon SHRIMP dating and their significance of the Jinchangta albite dike and the Qingshaikou granite in east Hebei Province. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 16(4): 226–231 (in Chinese with English abstract)
- Luo Z K, Miao L C, Guan K. 2001b. Magmatite zircon SHRIMP dating and their significance of the Paishanlou gold deposit in Fuxin, Liaoning province. *Geochimica*, 30(5): 483–488 (in Chinese with English abstract)
- Luo Z K, Qiu Y S, Guan K, Liao L C, Qiu Y M, McNaughton N J, Groves D I. 2001c. SHRIMPS zircon U-Pb dating for Yuerya and Niuxinshan granitic intrusions in eastern Hebei, China. *Bulletins of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 20(4): 278–285 (in Chinese with English abstract)
- Luo Z K, Guang K, Miao L C. 2002. Age of the dykes and altered sericite in Jiapiou gold ore belt, Jilin province and its gold ore forming age. *Geosciences*, 16(1): 19–26 (in Chinese with English abstract)
- Mao J R, Su Y X, Chen S Y. 1990. Intermediate-acid intrusion in the Middle-Lower reaches of Yangtze River and relevant mineralization, Beijing: Geological Publishing House, 1–191 (in Chinese)
- Mao J W, He Y, Ding T P. 2002. C, O, H isotope evidences for the mantle fluids evolved in the metallogenic process in the Jiaodong gold deposits. *Mineral Deposits*, 21(2): 121–128 (in Chinese with English abstract)
- Mao J W, Hua R M, Li X B. 1999. A preliminary study of large-scale metallogenic and large clusters of mineral deposits. *Mineral Deposits*, 18: 291–299 (in Chinese with English abstract)
- Mao J W, Stein H, Du A D. 2004a. Re-Os dating of Cu, Au (Mo) deposit and its implications for mineralization in Middle-Lower Reaches of Yangtze River. *Acta Geologica Sinica*, 78(1): 121–131
- Mao J W, Wang Y T, Zhang Z H, Yu J J, Niu B G. 2003. Geodynamic settings of Mesozoic large-scale mineralization in the North China and adjacent areas: implication from the highly precise and accurate ages of metal deposits. *Sciences in China (D)*, 33: 838–851 (in Chinese)
- Mao J W, Wang Z. 2000. A preliminary study on time limits and geodynamic setting of large-scale metallogeny in East China. *Mineral Deposits*, 19(4): 289–296 (in Chinese with English abstract)
- Mao J W, Xie G Q, Li X F, Zhang C Q, Mei Y X. 2004. Mesozoic large scale mineralization and multiple lithospheric extension in South China. *Earth Science Frontiers*, 11(1): 45–56 (in Chinese with English abstract)
- Mao J W. 1995. Geology of tin deposits in China. *Scientia Geologica Sinica*, 4(2): 121–177
- Mao J, Qiu Y, Goldfarb R J, Zhang Z Z, Garwin S, Ren F. 2002. Geology, distribution of gold deposits in the western Qinling belt, central China. *Mineralium Deposita*, 37(3): 352–377
- Mao D B, Chen Z H, Zhong C T, Li Z Y, Zou X Y. 2000. The Re-Os isotopic age of molybdenite from Beichagoumen Pb-Zn deposit in the North China platform. *Geochimica*, 29(3): 132–135 (in Chinese with English abstract)
- Mei Y X, Zhu Y S, Ye J H. 1997. Statistical characteristics of superlarge ore deposits in China. *Acta Geoscientia Sinica*, 18(4): 358–366 (in Chinese with English abstract)
- Meng Y F, Yang Z S, Zeng P S, Xu W, Y Wang X C. 2004. Tentative temporal constraints of ore-forming fluid systems in Tongling metallogenic province. *Mineral Deposits*, 23: 271–280
- Menzies M A, Fan W M, Zhang M. 1993. Paleozoic and Cenozoic lithoprobes and the loss of >120 km of Archean lithosphere, Sino-Korean craton, China. In: Prichard H M, *et al.* (eds.). *Magmatic Process and Plate Tectonics*. Geological Society Special Publication, 76: 71–81
- Miao L C, Luo Z K, Wang J Z, Guang K, Qiu Y. M, McNaughton N J, Groves D I. 1997. Zircon sensitive high resolution ion microprobe (SHRIMP) study of granitoid intrusions in Zhaoye gold belt of Shandong province and its implication. *Science in China (D)*, 27(3): 207–213 (in Chinese)
- Miao L C, Qiu Y M, Guan K, McNaughton N, Qiu Y S. 2000. SHRIMP chronology study of the granitoids and mineralization in the Hadamengou gold deposit, Inner Mongolia. *Mineral Deposits*, 19(2): 182–190 (in Chinese with English abstract)
- Niu C Y, Liao Y G, Qing M, Han X. 2002. Discussion on metallogenic epoch of Puziwan gold deposit, Shanxi. *Gold Geology*, 8(1): 17–20 (in Chinese with English abstract)
- Niu S Y, Sun A Q, Shao Z G. 2001. The multiple evolution of mantle plume and its mineralization. Beijing: Seismology Press, 1–223 (in Chinese with English abstract)
- Pan Y M, Dong P. 1999. The lower Changjiang (Yangzi/Yangtze River) metallogenic belt, east central China: intrusion- and rock-hosted Cu-Fe-Au, Mo, Zn, Pb, Ag deposits. *Ore Geology Reviews*, 15: 177–242
- Pang J L, Qiu Y Z. 1997.  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  age of sericite in Erdaogou deposit and its geological significance. *Acta Mineralogica Sinica*, 17(4): 442–447 (in Chinese with English abstract)
- Pei R F, Lu F X, Fan J Z. 1998. Metallogenic series and prospecting of the metal deposits in north margin of the North China craton. Beijing: Geological Publishing House, 1–237 (in Chinese)
- Pei R F, Xiong Q Y. 1999. Metallogenic provinciality and metalotectonvergence of unique ore deposits in China. *Mineral Deposits*, 18(1): 37–46 (in Chinese with English abstract)
- Pei R F, Mei Y X. 2003. The evolution of the metallogenic provinces and ore-forming chronology: a case study of the metallogenic province in the northern margin of the north platform and its north side. Beijing: Geological Publishing House, 1–199 (in Chinese with English abstract)
- Qin K Z, Wang Z T, Pan L J. 1995. Magmatism and metallogenic systematics of the Southern Ergun Mo, Cu, Pb, Zn and Ag belt, Inner Mongolia, China. *Resource Geology, Special Issue*, (18): 159–169
- Qiu J S, Xu X S, Luo Q H. 2001.  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  dating and source tracing of the potassium-rich volcanic rocks and lamprophyre in west Shandong Province. *Chinese Science Bulletin*, 46(8): 1500–1508 (in Chinese)
- Ren F G, Li S B, Ding S Y. 1998. Indosinian mineralization in the Xiong'er faulting basin and its significance. *Mineral Deposits*, 17 (supp): 55–58 (in Chinese)
- Ren F G, Yin Y J, Li S B. 2001. Couple of the Indosinian isotopic ages in the Xiong'er faulting basin. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 20(4): 286–288 (in Chinese with English abstract)

- Ren J S, Chen T Y, Niu B G. 1992. Tectonic evolution of the continental lithosphere of the east China and adjacent area and relevant mineralization. Beijing: Science Press, 1992, 1-230 (in Chinese with English abstract)
- Ren J S, Niu B G, He Z J. 1998. Tectonic framework and geodynamic evolution of eastern China. In: Ren J S, Yang W Y (eds.). Composition, Structure, Evolution and Environment of Continental Lithosphere of China. Beijing: Atomic Energy Press, 1-12 (in Chinese with English abstract)
- Ren J S, Wang Z X, Chen B W. 2000. View on China tectonics from the globe: brief introduction of the tectonic map of China and adjacent area. Beijing: Geological Publishing House, 1-50 (in Chinese with English abstract)
- Rowley D B, Xue F, Turker R D, Peng Z X, Baker J, Davis A. 1997. Age of ultrahigh pressure metamorphism and protolith of orthogneisses from the eastern Dabie Shan: U/Pb zircon geochemistry. Earth and Planetary Science Letters, 151: 191-203
- Rui Z Y, Shi L D, Fang R H. 1994. Geology of nonferrous metallic deposits in the northern margin of the north China landmass and its adjacent area. Beijing: Geological Publishing House, 314-363 (in Chinese with English abstract)
- Shao J A, Zhang L Q. 2002. Mesozoic dyke swarms in the northern margin of North China. Acta Petrologica Sinica, 18(3): 321-328 (in Chinese with English abstract)
- Shao J A, Zhai M G, Li D M. 2004. Identification of five stages of dike swarms in the Shanxi-Hebei-Inner Mongolia border area and its implication. Acta Geologica Sinica, 78(1): 320-330
- Shao K Z, Luan W L. 1989. Bi-sulfosalt and Bi-tellurides: the genesis and prospecting criteria of explosive-collapsed breccia type gold deposits in Qiyugou. Journal of Hebei College of Geology, 12(3): 299-305 (in Chinese with English abstract)
- Shao S C, Wang D P. 2001.  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  Ar ages and their geological significance of three typical gold deposits in south Qinling area. Acta Geologica Sinica, 75(1): 106-110
- Shen J F, Fu X Z. 1999. Metallogenic setting and geological characteristics of copper polymetallic deposits in the Da Hinggan Mountains. Beijing: Seismological Press, 1-215 (in Chinese)
- Shi Z L, Liu J X, Jin Q H. 1993. A study of the Shuangwang gold deposit related to alkali-carbonatite. Qinling and Daba mountains Scientific Research Project Office, Ministry of Geology and Mineral Resources (eds.). Contributions to Gold Deposits of the Qinling and Daba Mountains. Beijing: Geological Publishing House, 133-146 (in Chinese)
- Stein H J, Markey R J, Morgan J W, Du A, Sun Y. 1997. Highly precise and accurate Re-Os ages for molybdenite from the East Qinling molybdenum belt, Shaanxi Province, China. Economic Geology, 92: 827-835
- The Gold Headquarter of the Military Police of China. 1996. Gold geology of the Dongping Alkali Complex in Hebei Province. Beijing: Seismology Press, 1-181 (in Chinese with English abstract)
- Wang J B, Wang Y Y, Wang L J, Uemoto T. 2001. Tin-polymetallic mineralization in the southern part of the Da Hinggan mountains, China. Resource Geology, 51(4): 283-291
- Wang L G, Qiu Y M, McNaughton N J, Groves D L, Luo Z K, Huang J Z, Miao L C, Liu Y K. 1998. Constraints on crustal evolution and gold metallogeny in the Northwestern Jiaodong Peninsula, China, from SHRIMP U-Pb zircon studies of granitoids. Ore Geology Reviews, 13: 275-291
- Wang P A, Xu G, Xu X C. 1998. Hydrothermal deposit controlled by arc structure in south belt in the Qinling area. Mineral Deposits, 17 (supp): 19-22 (in Chinese)
- Wang R R. 1992. Characteristics and genesis of the felsic alkali rocks in Jinjiazhuang area, Hebei Province. Journal of Guilin College of Geology, (1): 12-19 (in Chinese with English abstract)
- Wang Y, Liu D, Meny Y F, Zheng P, Yang Z, Tian S. 2004a. SHRIMP U-Pb geochronology of the Xinqiao Cu-S-Fe-Au deposit in the Tongling ore district, Anhui. Geology in China, 31(2): 169-173 (in Chinese with English abstract)
- Wang Y, Liu D, Zheng P, Yang Z, Tian S. 2004b. SHRIMP U-Pb geochronology of pyroxene diorite in the Chaoshan gold deposit and its geological significance. Acta Geoscientia Sinica, 31(2): 169-173 (in Chinese with English abstract)
- Wang Y T, Mao J W, Lu X X. 2001.  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  Ar dating and geochronological constraints on the ore-forming epoch of the Qiyugou gold deposit in Songxian county, Henan province. Geological Review, 47(5): 551-555 (in Chinese with English abstract)
- Wang Y T, Mao J W, Lu X X. 2002.  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  Ar dating and geological implication of the auriferous altered rocks from the middle-deep section of the Q875 gold-quartz vein in the Xiaoqinling area, Henan, China. Chinese Science Bulletin, 47(20): 1750-1755 (in Chinese)
- Wei J H, Liu C Q, Zhao Y X. 2001. Duration of the main metallogenic stage of the Wulong gold deposit in Liaoning Province. Geological Review, 47(4): 433-437 (in Chinese with English abstract)
- Wong W H. 1927. Crustal movements and igneous activities in eastern China since Mesozoic time. Bull. Geol. Soc. China, 6: 9-37
- Wu F Y, Ge W C, Sun D Y. 2003. Discussion on the lithospheric thinning in eastern China. Earth Science Frontiers, 10(3): 51-60 (in Chinese with English abstract)
- Wu F Y, Sun D Y, Sun G L. 2000. Deep geodynamics of Yanshan movement. Geological Journal of China Universities, 6: 379-388 (in Chinese with English abstract)
- Wu L S, Zou X Q. 1997. Re-Os isotopic age study on the Chengmenshan Cu deposit in Jiangxi Province. Mineral Deposits, 16: 376-381 (in Chinese with English abstract)
- Wu Z H. 1991. Gold (silver) metallogenic epoch and evolution in Yanshan area. Geological Science and Technology Information, 10(3): 49-54 (in Chinese with English abstract)
- Xie Z, Sun W D, Chai Z F, Chen J F, Du A D, Li C S, Mao X Y. 2002. Comparison of Os-Os dating results of molybdenites. Nuclear Techniques, 25(12): 1013-1018 (in Chinese with English abstract)
- Xu K Q, Sun N. 1982. Genesis of the granite in South China and relevant mineralization. Nanjing: Nanjing University Publishing House, 1-41 (in Chinese with English abstract)
- Xu X W, Cai X P, Liu Y L. 2001. Laser probe  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  ages of the metasomatic K-feldspar from the Hougou gold deposit, northwestern Hebei Province, China. Science in China (D), 31(6): 496-500 (in Chinese with English abstract)
- Xue M X, Ye S Q, Liu Z M, Yang Z W, Guo J H, Su R K, Chen H M. 2002. The geology and geochemistry of the Dongan gold deposit in Heilongjiang province. Gold, 23(7): 1-3 (in Chinese with English abstract)
- Yang J H, Zhou X. H. 2001. Rb-Sr, Sm-Nd, and Pb isotope systematics of pyrite: Implications for the age and genesis of lode gold deposits. Geology, 29: 711-714
- Yang J H, Chung S L, Zhai M G and Zhou X H. 2004. Geochemical and Sr-Nd-Pb isotopic compositions of mafic dikes from the Jiaodong Peninsula, China: evidence for vein-plus-peridotite melting in the lithospheric mantle. Lithos, 73(3-4): 145-160
- Yu J J, Mao J W. 2002. Albite- $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  Ar dating and its significance of the Ningwu porphyry Fe deposit. Progress in Natural Science, 12(10): 1059-1063 (in Chinese)
- Yu X H. 1992. Geology and petrology of the Huayangchuan carbonatite in Shaanxi and its genesis. Earth Science, 17(2): 151-158 (in Chinese with English abstract)
- Zhai M G, Yang J H, Liu W J. 2001. Large clusters of gold deposits and large-scale metallogenesis in the Jiaodong Peninsula, eastern China. Science in China (D), 44(8): 758-766 (in Chinese)
- Zhai M G, Zhu R X, Liu J M. 2003. Time-range of Mesozoic tectonic regime inversion in eastern north China block. Science in China (D), 33(10): 913-920 (in Chinese)
- Zang W S. 2004. Research on chronology of intrusive rocks and related tectonic-laying mineralization in Tongling cluster. Beijing: China University of Geosciences, 1-78 (in Chinese with English abstract)
- Zhang D Q, Xu H L, Sun G Y. 1995. The time and their significance of

- the Denggezhuang gold deposit and Kunyushan granite in Shandong Province. *Geological Review*, 41(5): 415–425 (in Chinese with English abstract)
- Zhang D Q, Bao X W. 1990. A study of petrology, geochemistry and genesis of the Bayen Nur intermediate – acidic volcano-plutonic complex in eastern Inner Mongolia. *Geological Review*, 36(4): 289–297 (in Chinese with English abstract)
- Zhang J F, Pang Q B, Zhu Q, Jing C Z. 2003. Mengentaolegai Ag-Pb-Zn deposit in Inner Mongolia: Ar-Ar age of muscovite and its significance. *Mineral Deposits*, 22(3): 253–256 (in Chinese with English abstract)
- Zhang J F, Zhu Q, Wu G, Shao J, Zhu H C, Jing C Z. 2002. On metallogenetic epoch of hydrothermal deposits in Da Hinggan area. *Mineral Deposits*, 21 (supp): 309–311 in Chinese)
- Zhang L C, Shen Y C, Liu T B. 2002. Ar-Ar and Rb-Sr isochron ages and the metallogenetic time of the gold deposits in northern margin of Jiaolai basin in Jiaodong Peninsula. *Science in China (D)*, 32(9): 727–734 (in Chinese)
- Zhang Q, Jian P, Liu D Y. 2003. SHRIMP dating of volcanic rocks from Ningwu area and its geological implications. *Science in China (D)*, 46(8): 830–837 (in Chinese)
- Zhang Q, Wang Y, Qian Q, Yang J H, Wang Y L, Zhao T P and Guo G J. 2001. The characteristics and tectonic-metallogenetic significances of the adakites in Yanshan period from eastern China. *Acta Petrologica Sinica*, 17(2): 236–244 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Q, Qian Q, Wang E Q. 2003. “The east China plateau” in middle-late Yanshanian: enlightenment of the adakite. *Scientia Geologica Sinica*, 36(2): 248–255 (in Chinese with English abstract)
- Zhang X, Cawood P A, Wilde S A. 2003. Geology and timing of mineralization at the Cangshang gold deposit, north-western Jiaodong Peninsula, China. *Mineralium Deposita*, 38(2): 141–153
- Zhang Y, Zhang Q, Wang Y. 1996. Great Jurassic thrust sheets in Beishan (North Mountains) Gobi areas of China and southern Mongolia. *Journal of Structural Geology*, 18(9): 1111–1126
- Zhao L C, Xu J K, Wu Y B. 1993. Regional crust evolution and gold mineralization process in east Shandong province. *Geosciences*, 7 (supp): 16–24 (in Chinese)
- Zhao Y M, Wang D W, Zhang D Q, Fu X Z, Bao X P, Li H L, Ai Y F. 1994. Geological condition and exploration model of copper-poly-metallic deposit in southeast Mongolia. Beijing: Seismological Press, 1–234 (in Chinese)
- Zhao Y M, Zhang D Q. 1997a. Metallogeny and prospective evaluation of copper poly-metallic deposits in the Da Hinggan Mountains and its adjacent regions. Beijing: Seismological Press, 1–156
- Zhao Y M, Bi C S, Zou X Q, Sun Y L, Du A D. 1997b. The Re-Os isotopic age of molybdenite from Duobaoshan and Tongshan porphyry copper (Molybdenum) deposits. *Acta Geoscientia Sinica*, 18(1): 61–67 (in Chinese with English abstract)
- Zhao Y, Yang Z Y, Ma X H. 1994. Geotectonic transition from paleoasian system and paleotethyan system to paleopacific continental margin in eastern Asian. *Scientia Geologica Sinica*, 29(2): 105–119 (in Chinese with English abstract)
- Zhao Y, Cui S Q, Guo T, Xu G. 2002. Evolution of a Jurassic basin of the Western Hills, Beijing, North China and its tectonic implications. *Geological Bulletin of China*, 21(4-5): 211–217 (in Chinese with English abstract)
- Zheng J P. 1999. Mesozoic-Cenozoic mantle replacement and lithospheric thinning, East China. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1–126 (in Chinese with English abstract)
- Zhou T, Goldfarb R J, Phillips N G. 2002. Tectonics and distribution of gold deposits in China – an overview. *Mineralium Deposita*, 37(3-4): 249–282
- Zhou X M, Xu X X, Dong C W, Li H M. 1994. Mineralogical indicator of the active continental margin of southeastern China: anorthitic plagioclase. *Chinese Science Bulletin*, 39: 1011–1014 (in Chinese)
- 附中文参考文献
- 藏文栓. 2004. 铜陵矿集区侵入岩年代学及构造分层成矿作用. 中国地质大学博士学位论文, 1–78
- 陈培荣. 2004. 华南东部中生代岩浆作用的动力学背景及其与铀成矿关系. *铀矿地质*, 20: 266–270
- 池际尚, 路凤香. 1996. 华北地台金伯利岩及古生代岩石圈地幔特征. 北京: 科学出版社, 1–292
- 邓晋福, 刘厚祥, 赵海玲, 罗照华, 郭正符, 李玉文. 1996a. 燕辽地区燕山期火成岩与造山模型. *现代地质*, 10(2): 137–148
- 邓晋福, 叶德隆, 赵海玲, 汤德平. 1992. 下扬子地区火山作用深部过程与盆地形成. 武汉: 中国地质大学出版社, 1–184
- 邓晋福, 赵海玲, 莫宣学. 1996b. 中国大陆根-柱构造: 大陆动力学的钥匙. 北京: 地质出版社, 1–110
- 关康, 邱玉民, 罗镇宽, 苗来成, 裴有守, Neil M, David G. 2001. 冀东地区与金矿床有关的花岗岩年代学研究及其意义. 陈毓川主编, 第三十一届国际地质大会中国代表团学术论文集, 北京: 地质出版社, 119–123
- 郭峰, 范蔚茗, 王岳军, 李晓勇, 林舸. 2001. 华北中生代板内基性岩浆作用及其对岩石圈减薄作用的约束. 见丛柏林, 翟明国, 郭敬辉, 刘建明主编: 大陆的俯冲拆离和减薄作用学术研讨会论文摘要集, 92–94 (内部出版)
- 韩金良, 张宝林, 魏广庆等. 2002. 山西堡子湾金矿的矿床成因与成矿时代探讨. *矿床地质*, 21(增刊): 598–601
- 洪大卫, 王式光, 谢锡林等. 2000. 兴蒙造山带正ε(Nd,t)值花岗岩的成因和大陆地壳生长. *地质前缘*, 7(2): 441–456
- 胡达骥, 罗桂玲. 1994. 河北张-宣金矿区含金石英英脉<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar年龄. *地质科学*, 29(2): 151–158
- 胡华斌, 毛景文, 刘敦一, 牛树银, 王涛, 李永峰, 石玉岩. 2004. 鲁西铜石岩体的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义. *地质前缘*, 11(2): 453–459
- 华仁民, 毛景文. 1999. 试论中国东部中生代成矿大爆发. *矿床地质*, 18(4): 291–299
- 黄典豪, 丁孝石, 吴澄宇, 张长江. 1992. 蔡家营铅-锌-银矿床. 北京: 地质出版社, 15–17
- 黄典豪, 王义昌, 聂凤军, 江秀杰. 1985. 一种新的钼矿床类型——陕西黄龙铺碳酸岩脉型钼(铅)矿床地质特. *地质学报*, 59(3): 241–257
- 黄典豪, 杜安道, 吴澄宇, 刘兰笙, 孙亚莉, 邹晓秋. 1996. 华北地台钼(铜)矿床-钼年龄及其地质意义. *矿床地质*, 15: 289–297
- 黄典豪. 1994. 东秦岭地区钼矿床的钼-钼年龄及其地质意义. *矿床地质*, 13: 376–381
- 简平. 2001. 大别山高级变质岩云母 Rb-Sr 等时线年龄测定及其地质意义. *地球学报*, 22(5): 409–412
- 江思宏, 聂凤军. 2000. 冀西北水泉沟杂岩及与有关金矿床的<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar同位素年代学研究. *地质论评*, 46: 621–627
- 李厚民, 毛景文, 沈远超, 刘铁兵, 张连昌. 2003. 胶西北东季金矿床钾长石和石英的 Ar-Ar 年龄及其意义. *矿床地质*, 22(1): 72–78
- 李锦轶. 2001. 中朝地块与扬子地块碰撞的时限与方式—长江中下游地区震旦纪-侏罗纪沉积环境的演变. *地质学报*, 75(1): 25

-34

- 李曙光, 葛宁洁, 刘德良, 张宗清, 叶笑江, 郑双根, 彭长权. 1989. 大别山北翼大别群中 C 型榴辉岩的 Sm-Nd 同位素年龄及其构造意义. 科学通报, 34(7): 522-525
- 李曙光, 李惠民, 陈移之等. 1997. 大别山-苏鲁地区超高压变质年代学-II 锆石 U-Pb 同位素体系. 中国科学(D 辑), 27: 310-322
- 李四光. 1999. 地质力学概论(第二版). 北京: 地质出版社, 1-228
- 李武显, 周新民. 1999. 中国东南部晚中生代俯冲带探索. 高校地质学报, 5: 164-168
- 李永峰, 毛景文, 郭保健, 胡华斌, 白凤军. 2004. 豫西公峪金矿床地质地球化学特征及成因探讨. 矿床地质, 23(1): 61-66
- 李永刚, 翟明国, 杨进辉, 苗来成, 关鸿. 2003. 内蒙古赤峰安家营子金矿成矿时代以及对华北中生代爆发成矿的意义. 中国科学(D), 33(10): 960-966
- 李忠, 刘少峰, 张金芳, 王清晨. 2003. 燕山典型盆地充填序列及迁移特征: 对中国东部构造转折的响应. 中国科学(D 辑), 33(10): 931-940
- 梁华英, 王秀璋, 程景平. 2001. 吉林四平银(金)矿床 Rb-Sr 定年及热液活动的时间跨度. 大地构造与成矿学, 25(2): 194-198
- 林景任, 谭东娟, 于学峰, 李秉仁, 李璞, 许文良. 1997. 鲁西归来庄金矿成因. 济南: 山东科学技术出版社, 1-160
- 刘国平, 艾永富. 2000. 辽宁白云金矿床成矿时代探讨. 岩石学报, 16(4): 627-632
- 刘国平, 艾永富. 2002. 辽宁小佟家堡子金矿床成矿时代探讨. 矿床地质, 21(1): 53-57
- 刘连登, 李颖, 兰祥. 1999. 论角砾/网脉-斑岩型金矿. 矿床地质, 18(1): 29-36
- 刘连登, 朱永正, 戴仕炳等. 1994. 金矿与韧性剪切带及叠加构造. 见: 中国前寒武纪矿床和构造. 北京: 地震出版社
- 卢欣祥, 尉向东, 肖庆辉等. 1999. 秦岭环斑花岗岩的年代学研究及其意义. 高校地质学报, 5: 372-377
- 罗铭钦, 黎世美, 卢欣祥, 郑德琼, 苏振邦. 2000. 河南省主要矿产的成矿作用及矿床成矿系列. 北京: 地质出版社, 1-355
- 罗镇宽, 关康, 裴有守, 苗来成, Qiu Y M, McNaughton N J, Groves D I. 2001a. 冀东金厂峪钠长岩脉及青山口花岗岩体 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年及其意义. 地质找矿论丛, 16(4): 226-231
- 罗镇宽, 裴有守, 关康, 苗来成, Qiu Y M, McNaughton N J, Groves D I. 2001c. 冀东峪耳崖和牛心山花岗岩体 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年及其意义. 矿物岩石地球化学通报, 20(4): 278-285
- 罗镇宽, 关康, 苗来成. 2002. 吉林夹皮沟金矿带岩脉和蚀变绢云母定年及金矿成矿时代. 现代地质, 16(1): 19-26
- 罗镇宽, 苗来成, 关康, 裴有守. 2001b. 辽宁阜新排山楼金矿岩脉锆石 SHRIMP 定年及其意义. 地球化学, 30(5): 483-488
- 骆辉, 赵运起. 1997. 辽宁排山楼金矿地质和成矿作用. 前寒武纪研究进展, 20(4): 13-24
- 毛德宝, 陈志宏, 钟长汀等. 2000. 冀北北岔沟门铅锌矿床中辉钼矿的铼-钼同位素年龄. 地球化学, 29(3): 132-135
- 毛建仁, 苏郁香, 陈三元. 1990. 长江中下游中酸性侵入岩与成矿. 北京: 地质出版社, 1-191
- 毛景文, 赫英, 丁梯平. 2002. 胶东金矿形成期间地幔流体参与成矿过程的碳氧氮同位素证据. 矿床地质, 21(2): 121-128
- 毛景文, Stein H, 杜安道等. 2004a. 长江中下游地区铜金矿 Re-Os 年龄精测及其对成矿作用的指示. 地质学报, 78(1): 121-131
- 毛景文, 华仁民, 李晓波. 1999. 浅议大规模成矿作用与大型矿集区. 矿床地质, 18(4): 316-322
- 毛景文, 王志良. 2000. 中国东部大规模成矿时限及其动力学背景的初步探讨. 矿床地质, 19(4): 289-297
- 毛景文, 谢桂青, 李晓峰, 张长青, 梅燕雄. 2004b. 华南地区中生代大规模成矿作用与岩石圈多阶段伸展. 地学前缘, 11(1): 45-56
- 毛景文, 张作衡, 余金杰等. 2003. 华北中生代大规模成矿的地球动力学背景: 从金属矿床年龄精测得到启示. 中国科学(D 辑), 33(4): 289-300
- 梅燕雄, 朱裕生, 叶锦华. 1997. 中国超大型矿床的若干统计特征. 地球学报, 18(4): 358-366
- 蒙义峰, 杨竹森, 曾普胜, 徐文艺, 王训成. 2004. 铜陵矿集区矿流体系统时限的初步厘定. 矿床地质, 23: 271-280
- 苗来成, Yunmin Qiu, 关康等. 2000. 哈达门沟金矿床成岩成矿时代的定年研究. 矿床地质, 19(2): 182-190
- 苗来成, 罗镇宽, 黄佳展, 关康, Qiu Y. M, McNaughton N J, Groves D I. 1997. 山东招掖金矿带内花岗岩类侵入体锆石 SHRIMP 研究及意义. 中国科学(D), 27(3): 207-213
- 牛宝贵, 和政军, 宋彪, 任纪舜. 2003. 张家口群火山岩 SHRIMP 定年及其重大意义. 地质通报, 22(2): 140-141
- 牛树银, 孙爱群, 邵振国, 王宝德, 赵明合, 王立峰, 蒋威, 许传诗. 2001. 地幔热柱多级演化及其成矿作用——以华北矿集区为例. 北京: 地震出版社, 1-223
- 庞奖励, 裴榆卓. 1997. 二道沟矿床绢云母的<sup>39</sup>Ar-<sup>40</sup>Ar 年龄及其地质意义. 矿物学报, 17(4): 442-447
- 裴荣富, 梅燕雄. 2003. 金属成矿省演化与成矿年代学——以华北地台北缘及其北侧金属成矿省为例. 北京: 地质出版社, 1-199
- 裴荣富, 吕凤翔, 范继璋, 方如恒, 齐朝顺. 1998. 华北地台北缘及其北侧金属矿床成矿系列与勘查. 北京: 地质出版社, 1-237
- 裴荣富, 熊群尧. 1999. 中国特大型金属矿床成矿偏在性与成矿构造聚敛(场). 矿床地质, 18(1): 37-46
- 邱检生, 徐夕生, 罗清华. 2001. 鲁西富钾火山岩和煌斑岩的<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 定年及源区示踪. 科学通报, 46(8): 1500-1508
- 任富根, 李双保, 丁上应等. 1998. 熊耳裂陷印支期成矿作用及其意义. 矿床地质, 17(增刊): 55-58
- 任富根, 殷艳杰, 李双保, 赵家农. 2001. 熊耳裂陷印支期同位素年龄耦合性. 矿物岩石地球化学通报, 20(4): 286-288
- 任纪舜, 陈廷愚, 牛宝贵, 刘志刚, 刘凤仁. 1992. 中国东部及邻区大陆岩石圈的构造演化与成矿. 北京: 科学出版社, 1-203
- 任纪舜, 牛宝贵, 和政军等. 1998. 中国东部的构造格局和动力演化. 见: 任纪舜, 杨巍然主编: 中国东部岩石圈结构与构造岩浆演化. 北京: 原子能出版社, 1-12
- 任纪舜, 王作勋, 陈炳蔚, 姜春发, 牛宝贵, 李锦轶, 谢广连, 和政军, 刘志刚. 2000. 从全球看中国大地构造——中国及邻区大地构造图简要说明. 北京: 地质出版社, 1-50
- 芮宗瑶, 施林道, 方如恒. 1994. 华北陆块北缘及邻区有色金属矿床地质. 北京: 地质出版社, 314-363
- 邵济安, 张履桥. 2002. 华北北部中生代岩墙群. 岩石学报, 18(3):

- 312-318
- 邵克忠, 栾文楼. 1989. Bi-硫盐、Bi-碲化物——祁雨沟爆发坍塌角砾岩型金矿床成因及找矿标志. 河北地质学院学报, 12(3): 299-305
- 邵世才, 汪东波. 2001. 南秦岭三个典型金矿床 Ar-Ar 年代及其地质意义. 地质学报, 75(1): 106-110
- 盛继福, 傅先政等著. 1999. 大兴安岭中段成矿环境与铜多金属矿床地质特征. 北京: 地震出版社. 1-215
- 石准立, 刘瑾璇, 金勤海. 1993. 与碱性碳酸盐有关的双王金矿床. 见: 秦巴金矿论文集. 地质出版社, 133-146
- 王平安, 徐刚, 刘晓春等. 1998. 西秦岭南亚热带弧形构造对热液矿床的控制. 矿床地质, 17(增刊): 19-22
- 王蓉嵘. 1992. 河北金家庄地区长英质碱性岩的特征及成因. 桂林地质学院学报, (1): 12-19
- 王彦斌, 蒙义峰, 曾普胜, 杨竹森, 田世洪. 2004a. 安徽铜陵新桥铜-硫-铁-金矿床中石英闪长岩和辉绿岩锆石 SHRIMP 年代学及其意义. 地质通报, 31(2): 169-173
- 王彦斌, 刘敦一, 曾普胜, 杨竹森, 田世洪. 2004b. 安徽铜陵地区幔源岩浆底侵作用的年代——朝山辉石闪长岩锆石 SHRIMP 定年. 地球学报, 31(2): 169-173
- 王义天, 毛景文, 卢欣祥, 叶安旺. 2002. 河南小秦岭金矿区 Q875 脉深部蚀变岩的  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  年龄及其意义. 科学通报, 47(20): 1750-1755
- 王义天, 毛景文, 卢欣祥. 2001. 嵩县祁雨沟金矿成矿时代的  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  年代学证据. 地质论评, 47(5): 551-555
- 魏俊浩, 刘从强, 赵永鑫, 李志德. 2001. 辽宁五龙金矿主成矿阶段成矿持续时间. 地质论评, 47(4): 433-437
- 吴福元, 葛文春, 孙德有, 郭春丽. 2003. 中国东部岩石圈减薄研究中的几个问题. 地学前缘, 10(3): 51-60
- 吴福元, 孙德有, 张广良, 任向文. 2000. 论燕山运动的深部地球动力学本质. 高校地质学报, 6(3): 379-388
- 吴良士, 邹晓秋. 1997. 江西城门山铜矿床 Re-Os 同位素年龄研究. 矿床地质, 16: 376-381
- 吴珍汉. 1991. 燕山地区金银成矿期与成矿演化. 地质科技情报, 10(3): 49-54
- 谢智, 孙卫东, 柴之芳, 陈江峰, 杜安道, 李春生, 毛雪瑛. 2002. 辉钼矿的 Os-Os 法与 Re-Os 法定年及结果比较. 核技术, 25(12): 1013-1018
- 徐克勤, 孙翥. 1982. 华南花岗岩成因与成矿. 南京: 南京大学出版社, 1-41
- 徐兴旺, 蔡新平, 刘玉林, 张宝林. 2001. 冀西北后沟金矿床交代钾长石激光探针  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  年龄. 中国科学(D 辑), 31(6): 496-500
- 薛明轩, 叶松青, 刘智明等. 2002. 黑龙江东安金矿床地质地球化学特征初探. 黄金, 23(7): 1-3
- 余金杰, 毛景文. 2002. 宁芜玢岩铁矿钠长石  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  定年及其意义. 自然科学进展, 12(10): 1059-1063
- 喻学惠. 1992. 陕西华阳川碳酸岩地质学和岩石学特征及其成因初探. 地球科学, 17(2): 151-158
- 翟明国, 杨进辉, 刘文军. 2001. 胶东大型矿集区及大规模成矿作用. 中国科学(D 辑), 31(7): 545-552
- 翟明国, 朱日祥, 刘建明等. 2003. 华北东部中生代构造体制转折的关键时限. 中国科学(D 辑), 33(10): 913-920
- 张德全, 鲍修坡. 1990. 内蒙古白音诺中酸性火山-深成杂岩体的岩石学, 地球化学与成因研究. 地质论评, 36(4): 289-297
- 张德全, 徐洪林, 孙桂英. 1995. 山东邓格庄金矿与崑崙山花岗岩的定位时代及其地质意义. 地质论评, 41(5): 415-425
- 张炯飞, 庞庆邦, 朱群, 金成洙. 2003. 内蒙古孟恩陶勒盖银铅锌矿床白云母 Ar-Ar 年龄及其意义. 矿床地质, 22(3): 253-256
- 张炯飞, 朱群, 武广, 邵军, 祝宏巨, 金成洙. 2002. 大兴安岭热液矿床成矿时代. 矿床地质, 21(增刊): 309-311
- 张连昌, 沈远超, 刘铁兵, 曾庆栋, 李光明, 李厚民. 2002. 山东胶莱盆地北缘金矿 Ar-Ar 法和 Rb-Sr 等时线年龄与成矿时代. 中国科学(D 辑), 32(9): 727-734
- 张旗, 王焰, 钱青, 杨进辉, 王元龙, 赵太平, 郭光军. 2001. 中国东部燕山期埃达克岩的特征及其构造-成矿意义. 岩石学报, 17(2): 236-244
- 张旗, 钱青, 王二七等. 2001. 燕山中晚期的“中国东部高原”: 埃达克岩的启示. 地质科学, 36(2): 248-255
- 张旗, 简平, 刘敦一, 王元龙, 钱青, 王焰, 薛怀民. 2003. 宁芜火山岩的锆石 SHRIMPS 定年及其意义. 中国科学(D 辑), 33(4): 309-314
- 赵伦山, 徐景奎, 吴悦斌. 1993. 试论胶东区域地壳演化与金矿成矿作用关系. 现代地质, 7(增刊): 16-24
- 赵一鸣, 张德全等. 1997a. 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: 地质出版社, 1-156
- 赵一鸣, 毕承思, 邹晓秋等. 1997b. 黑龙江多宝山、铜山大型斑岩铜(钼)矿床中辉钼矿的铼-钼同位素年龄. 地球学报, 18(1): 61-67
- 赵一鸣, 王大畏, 张德全, 傅先政, 鲍修坡, 李鹤年, 艾永富. 1994. 内蒙古东南部地质条件及找矿模式. 北京: 地震出版社, 1-234
- 赵越, 崔盛芹, 郭涛, 徐刚. 2002. 北京西山侏罗纪盆地演化及其构造意义. 地质通报, 21(4-5): 211-217
- 赵越, 杨振宇, 马醒华. 1994. 东亚大地构造发展的重要转折. 地质科学, 29(2): 105-119
- 郑建平. 1999. 中国东部地幔置换作用与中生代岩石圈减薄. 武汉: 中国地质大学出版社, 1-126
- 中国人民武装部队黄金指挥部. 1996. 河北省东坪石碱性杂岩金矿. 地质: 北京地震出版社, 1-181
- 周新民, 徐夕生, 董传万, 李惠民. 1994. 中国东南活动大陆边缘的矿物标志: 钙长石质斜长石. 科学通报, 39: 1011-1014
- 牛翠伊, 廖永骨, 卿敏, 韩旭. 2002. 山西堡子湾金矿成矿时代探讨. 黄金地质, 8(1): 17-20