

华北及邻区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*

毛景文^{①②**} 张作衡^② 余金杰^② 王义天^② 牛宝贵^③

(^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;

^③ 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037)

摘要 基于对华北地区(包括长江中下游地区)金属矿床辉钼矿 Re-Os 模式年龄数据, 云母、钾长石和石英 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄数据, 个别高精度矿物和岩石 Rb-Sr 等时线测年数据以及成矿相关花岗质岩石的 SHRIMP 锆石 U-Pb 和单颗粒锆石 U-Pb 测年数据的收集、可行性分析和总结, 提出中国东部大规模成矿作用出现在 200 ~ 160 Ma, 140 Ma 左右和 130 ~ 110 Ma 3 个时期. 通过对中生代地球动力学演化的分析研究, 认为 3 大成矿期所对应的地球动力学背景分别为碰撞造山过程、构造体制大转折和岩石圈大规模拆沉作用.

关键词 大规模成矿作用 时限 3 期成矿事件 三大地球动力学过程

在华北克拉通及其周边, 尽管有不同时代的矿化, 包括太古宙 IBF 铁矿和元古宙 SEDEX 型 Pb-Zn 矿和 Cu 矿, 但是大规模多金属成矿作用出现在中生代. 中生代爆发式成矿作用为一期还是几期的复合叠加, 仍然不清楚. 准确刻画大规模成矿作用时限是探讨中生代华北克拉通地球动力学演化特点和成矿过程的基础. 陈衍景等^[1]初步总结了华北克拉通绿岩地体中中生代金矿床的时空分布, 认为它们为板块碰撞体制中的产物. 胡受奚等^[2]提出华北克拉通中生代金矿的大规模形成环境为太平洋板块向西俯冲的远程效应. 毛景文和王志良^[3]及翟明国等^[4]归纳和研究了我国中生代大规模成矿的大致时限, 初步厘定中国东部成矿爆发期基本上在 160~110 Ma, 同时指出在秦岭地区于 210~170 Ma 为另一个重要成矿期. 前者出现于岩石圈拆沉-伸展环境, 后者为碰撞后的伸展环境.

近 10 年运用辉钼矿 Re-Os 模式年龄和等时线测年方法和矿体及其蚀变岩中含钾矿物的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 坪年龄和等时线测年方法, 对不少金属矿床进行了测年, 获得一批高精度数据. 一些金属矿物和脉石矿物的流体包裹体 Rb-Sr 和 Sm-Nd 等时线数据也显示出比较高的精度. 此外, 罗镇宽科研集体与西澳大利亚大学同行合作, 利用 SHRIMP 锆石 U-Pb 方法精测了华北克拉通内一批与金矿有关花岗岩的成岩年龄^[5~8]. 本文通过收集近期已经发表及待刊的有关资料, 通过可靠性论证, 进一步讨论了华北克拉通 Au-Cu-Mo-W-Fe 矿床大规模成矿的时限和多期性. 以此为基础, 尝试比较准确地刻画中生代以来大规模成矿的特点和探讨其地球动力学背景.

1 华北克拉通中生代以来的三大成矿事件

将华北克拉通及其周缘地区精度比较高的金属矿床测年数据列入表 1, 结合其他个别参

2002-08-20 收稿, 2002-11-02 收修改稿

* 国家重点基础研究规划发展项目(编号: G1999043211)和国土资源部大调查项目(编号: K14)共同资助

** E-mail: jingwenmao@263.net

考数据一并示于图 1.

表 1 华北克拉通及其周缘多金属矿床放射性同位素年龄精测数据/Ma

成矿事件	矿床名称	Re-Os 模式 年龄/Ma	$^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 坪年龄/Ma	$^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 等时线 年龄/Ma	Rb-Sr 等 时线年龄/Ma	测试矿物 或岩石	资料 来源	
230~200 Ma	黄龙铺钼矿床	222 ± 8				辉钼矿	[9]	
		227 ± 7				辉钼矿		
		231 ± 7				辉钼矿		
		220 ± 5				辉钼矿		
200~160 Ma	兰家沟-杨家杖子夕卡岩-斑岩钼矿床	188 ± 5				辉钼矿	[10]	
		186 ± 5				辉钼矿		
		188 ± 5				辉钼矿		
		185 ± 4				辉钼矿		
		190 ± 6				辉钼矿		
		187 ± 2				辉钼矿		
	191 ± 6				辉钼矿			
	东坪金矿			187 ± 0.3				[11]
				188 ± 0.4				
				187 ± 0.3				
			177 ± 5					
			173 ± 5					
后沟金矿			176.7~202.6 (激光探针法)			钾长石	[14]	
小佟家堡子金矿			167 ± 2	167 ± 4		绢云母	[15]	
尚家沟金矿			161.6 ± 1	160.0 ± 1		石英	[16]	
小里沟金矿			197.5 ± 1	193.2 ± 1		石英		
140Ma 左右	三道庄斑岩-夕卡岩型钼钨矿	146 ± 5				辉钼矿	[9]	
		156 ± 8				辉钼矿		
		148 ± 10				辉钼矿		
		147 ± 6				辉钼矿		
	金堆城斑岩钼矿		129 ± 7				辉钼矿	[10]
			131 ± 4				辉钼矿	
			139 ± 3				辉钼矿	
			147 ± 7				辉钼矿	
			145 ± 11				辉钼矿	
	大科庄爆破角砾岩型钼矿		146 ± 6				辉钼矿	[10]
			134 ± 3				辉钼矿	
			148 ± 4				辉钼矿	
			144 ± 7				辉钼矿	
小寺沟斑岩-夕卡岩型铜(钼)矿		144 ± 2				辉钼矿	[17]	
		139 ± 3				辉钼矿		
		140 ± 2				辉钼矿		
城门山斑岩型铜矿		139 ± 3				辉钼矿	[17]	
		140 ± 2				辉钼矿		
130~110Ma	祁雨沟浅成低温热液型金矿		122 ± 0.4	125 ± 3		钾长石	[18]	
			115 ± 2	114 ± 4		钾长石		
	玲珑金矿					122 ± 11	黄铁矿	[19]
						123 ± 3	黄铁矿	
						123 ± 4	黄铁矿	
	乳山金矿					118 ± 0.6	绢英岩	[20]
	小秦岭金矿			126~128	127~128		钾长石	[21]
	五龙金矿					120 ± 3		[22]
						112 ± 1		
	排山楼金矿			124.2 ± 0.4				[23]
	梅山铁矿			122.9 ± 0.2			钠长石	[24]
	桃村铁矿			124.9 ± 0.3			钠长石	

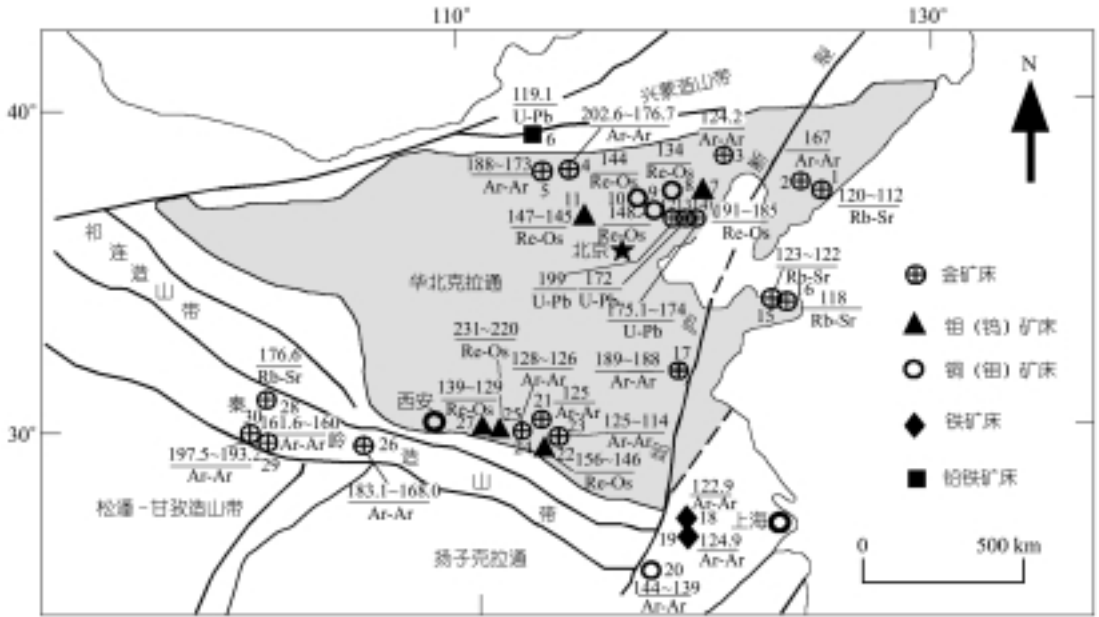


图 1 华北克拉通周缘主要金属矿床分布及精确测年

1. 五龙金矿^[22]; 2. 小佟家堡子金矿^[15]; 3. 排山楼金矿^[23]; 4. 后沟金矿^[14]; 5. 东坪金矿^[11-13]; 6. 蔡家营铅锌矿^[25]; 7. 兰家沟-杨家杖子夕卡岩-斑岩铜矿床^[10]; 8. 小寺沟斑岩-夕卡岩型铜(钼)矿^[10]; 9. 寿王坟夕卡岩铜(钼)矿^[10]; 10. 大竹斑岩-夕卡岩型铜(钼)矿^[10]; 11. 大科庄爆破角砾岩型铜矿^[10]; 12. 金厂峪金矿^[6]; 13. 牛心山金矿^[8]; 14. 峪耳崖金矿^[26]; 15. 玲珑金矿^[19]; 16. 乳山金矿^[20]; 17. 归来庄金矿^[27]; 18. 梅山铁矿^[24]; 19. 桃村铁矿^[24]; 20. 城门山斑岩型铜矿^[17]; 21. 崂山金矿^[28]; 22. 三道庄斑岩-夕卡岩型铜钼矿^[9]; 23. 祁雨沟浅成低温热液型金矿^[18]; 24. 小秦岭金矿^[21]; 25. 黄龙铺铜矿床^[9]; 26. 双王金矿^[29]; 27. 金堆城斑岩铜矿^[9]; 28. 李坝金矿^[30]; 29. 尚家沟金矿^[16]; 30. 小里沟金矿^[16]. 测年数据采用精度比较高的铼钨同位素(Re-Os), 氩氩(Ar-Ar)和铷锶等时线(Rb-Sr)方法. 个别矿床缺少精确年龄资料, 用相关花岗岩代之

从表 1 中可以明显地看出, Au-Cu-Mo-W-Fe 大规模成矿主要集中在 200~160 Ma, 140 Ma 左右和 130~110 Ma 3 个时间段(图 2). 黄龙铺碳酸岩型铜矿是仅有的一个例外, 其辉钼矿 Re-Os 同位素模式年龄在 231~220 Ma 之间^[9], 表明为印支中期的产物. Stein 等^[31]使用高精度 NTIMS (负离子热表面电离质谱) 方法对同一样品进行了重测, 获得年龄数据为 222.0~221.1 Ma, 平均 221.5 Ma. 黄龙铺铜矿成矿物质来源于地幔^[32,33], 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. 为了进行对比, 将与金属矿床有关的岩体的精确测年数据列于表 2. 这些数据主要集中在 200~160 Ma 和 130~110 Ma 成岩成矿事件.

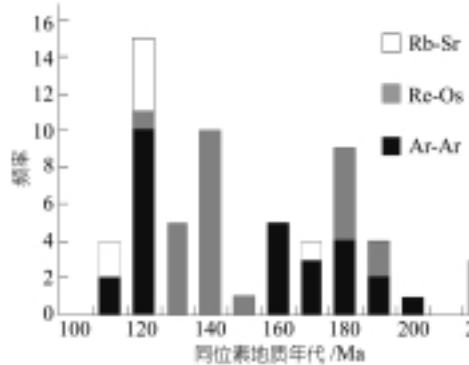


图 2 华北克拉通周缘主要金属矿床同位素年龄分布直方图
资料来源同表 1

表 2 与金属矿床有关岩体的成岩时代/Ma

对应成岩成矿事件	测试岩体	相关矿床	SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄/Ma	单颗粒锆石 U-Pb 年龄/Ma	$^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 坪年龄/Ma	测试矿物	资料来源
200~160 Ma	花岗岩	峪耳崖金矿	175.1 ± 1 ~174 ± 3			锆石	[26]
	二长斑岩	归来庄金矿			188 ± 2~ 190 ± 0.2	角闪石	[27]
	青山口花岗岩体	金厂峪金矿	199 ± 2			锆石	[6]
	牛心山花岗岩体	牛心山金矿	172 ± 2			锆石	[8]
130~110 Ma	花岗岩及闪长玢岩	排山楼金矿	124 ± 2~ 126 ± 2			锆石	[7]
	石英斑岩	蔡家营铅锌矿		119.1		锆石	[35]
			126 ± 2				
	郭家岭花岗岩	胶东金矿	128 ± 2			锆石	[5,34]
	闪长岩		129 ± 3				
			129 ± 6 130 ± 3				

1.1 200~160 Ma 成矿事件

在华北克拉通, 侏罗纪早中期(200~160 Ma)出现了一次重要成矿事件, 由于受到白垩纪大规模成矿作用的改造和叠加, 此次成矿事件曾较少被关注. 最近, 这期成矿事件由越来越多的成矿年龄和相关岩石成岩年龄数据得到证实. 在辽西地区, 黄典豪等^[10]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(191 ± 6~185 ± 4)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, 刘国平和艾永富^[15]测得矿石中绢云母的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 坪年龄为(167 ± 2)Ma. 对于冀东的金厂峪大型金矿, 虽然目前尚未获得确切的成矿时代, 但是与之有关的青山口花岗岩体的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄测定为(199 ± 2) Ma^[6]. 在同一矿集区, 峪耳崖金矿区的峪耳崖花岗岩体的时代为(174 ± 3~175.1 ± 1) Ma^[26], 牛心山金矿区的牛心山花岗岩体的年龄为(172 ± 2)Ma^[8]. 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^[35]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(188 ± 0.4~173 ± 5)Ma^[11~13]可能比较准确地反映了其成矿时代. 最近, 徐兴旺等^[14]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 202.6~176.7 Ma 数据, 说明东坪与后沟成矿时代基本同时, 但是, 这些成矿时代明显晚于碱性杂岩的成岩时代, 后者为(305.9 ± 0.5~304.5 ± 0.5)Ma^[11].

在华北克拉通西南缘外侧的西秦岭大型金矿集区存在几十个金矿床, 分为造山型和卡林型两种^[36]. 在绝大多数矿区发育侏罗纪早中期的花岗岩体或小岩株. 初步统计, 成矿时代为 206~164 Ma^[36]. 邵世才等^[16]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(161.6 ± 1~160.0 ± 1) Ma, 小里沟剪切带型金矿床成矿年龄(197.5 ± 1~193.2 ± 1)Ma. 迄今, 大部分矿床仍然缺少高精度测年资料.

在华北克拉通南缘的东秦岭地区, 关于 200~160 Ma 成矿事件也有不少信息^[37~39], 但缺少可靠数据. 因此, 有待于进一步研究来厘定.

在华北克拉通东缘的胶东地块未见有关 200~160 Ma 成矿事件的报道, 但在郯庐大断裂以西的鲁西归来庄金矿区, 测得与金矿化有关的二长斑岩中角闪石的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 坪年龄为 $(189.8 \pm 0.2 \sim 188.4 \pm 1.6)\text{Ma}$ ^[27].

1.2 140 Ma 左右成矿事件

在 140 Ma 左右成矿期间形成的矿床绝大多数为与小岩体有关的钼矿、钨钼矿和铜(钼)矿. 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 $(147 \pm 7 \sim 145 \pm 11)\text{Ma}$, 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 $(148 \pm 4)\text{Ma}$ 和大竹斑岩-夕卡岩型钼矿中辉钼矿 Re-Os 模式年龄为 $(144 \pm 7)\text{Ma}$ ^[10].

在华北克拉通南缘的东秦岭地区, 两个世界级钼(钨)矿床, 即河南三道庄斑岩-夕卡岩型钼钨矿和陕西金堆城斑岩钼矿的辉钼矿 Re-Os 成矿年龄分别为 $(156 \pm 8 \sim 146 \pm 5)\text{Ma}$ 和 $(139 \pm 3 \sim 129 \pm 7)\text{Ma}$ ^[9].

长江中下游铜铁金走廊是华北克拉通与扬子克拉通的接合地带, 其内发育有一系列夕卡岩-斑岩型铜矿、夕卡岩-斑岩-层状交代(Manto)型矿床^[40,41]. 城门山斑岩-夕卡岩型铜矿的辉钼矿 Re-Os 模式年龄为 $(144 \pm 2 \sim 139 \pm 3)\text{Ma}$ ^[17].

1.3 130~110 Ma 成矿事件

在这一成矿事件中, 以金巨量聚集为特征, 还有个别铅锌矿和陆相火山岩型铁矿. 胶东是我国最大的金矿集区, 其内发育有几十个金矿床, 可分为石英脉——蚀变岩型和滑脱破碎带角砾岩类型, 两者的形成过程和成矿流体来源有一定差别^[42], 但形成的时代却一致. 玲珑金矿黄铁矿 Rb-Sr 等时线年龄为 $(122 \pm 11)\text{Ma}$, $(123 \pm 3)\text{Ma}$ 和 $(123 \pm 4)\text{Ma}$ ^[19], 焦家式的马桩金矿的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄在 $(125 \sim 115)\text{Ma}$ 之间^[43], 乳山金矿脉边侧绢英蚀变岩的 Rb-Sr 等时线年龄为 $(118 \pm 0.6)\text{Ma}$ ^[20]. 以蓬家夙、发云夙和大庄子为代表的滑脱破碎带角砾岩型金矿中云母的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄在 $(125 \sim 115)\text{Ma}$ 之间^[44]. 这些年龄略晚郭家岭花岗闪长岩体 $(130 \pm 3 \sim 126 \pm 2)\text{Ma}$ ^[5], 后者被认为与金矿时空和成因关系密切.

小秦岭——熊耳山金矿集区内金矿成矿年龄数据积累多, 但差异大, 可信度低. 直到最近王义天等^[18]测得祁雨沟浅成低温热液金矿床两阶段钾长石的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 坪年龄分别为 $(122 \pm 0.4)\text{Ma}$ 和 $(125 \pm 3)\text{Ma}$, 等时线年龄为 $(115 \pm 2)\text{Ma}$ 和 $(114 \pm 4)\text{Ma}$. 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}Ar - ^{39}Ar 坪年龄 $128 \sim 126\text{Ma}$ 和等时线年龄 $128 \sim 127\text{Ma}$ ^[21].

在华北克拉通北缘, 五龙和排山楼为两个规模较大的造山型金矿床, 前者 Rb-Sr 等时线年龄为 $(120 \pm 3 \sim 112 \pm 1)\text{Ma}$ ^[22], 后者的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄则为 $(124.2 \pm 0.4)\text{Ma}$ ^[23]. 这与排山楼矿区花岗岩及闪长玢岩的锆石 SHRIMP-U-Pb 测年数据 $(126 \pm 2 \sim 124 \pm 1)\text{Ma}$ 相吻合^[7]. 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 119.1Ma ^[25].

长江下游的宁芜玢岩式铁矿是一组典型与陆相火山岩有关矿床, 在上世纪 70~80 年代曾经过详细地研究^[44]. 最近, 余金杰等^[24]利用矿石中广泛发育的钠长石进行 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄精确测,

获得($124.9 \pm 0.3 \sim 122.9 \pm 0.2$)Ma 数据, 表明东部的玢岩铁矿晚于西部的斑岩-夕卡岩-层状交代型铜和铜金矿床. 事实上, 宁芜-庐枞盆地中的火山岩及相关的玢岩型铁矿覆盖或叠置在斑岩-夕卡岩-层状交代型铜和铜金矿床成矿系统及其有关花岗岩体之上. 因此, 陈毓川、常印佛和 Shunso Ishihara 等¹⁾反复强调推测在宁芜-庐枞盆地之下可能存在铜陵式的铜金大型矿集区.

2 三大成矿事件的地球动力学背景和成矿模型

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^[46,47]. 华北克拉通在中生代以来出现了 3 次成矿大事件, 必然存在着与之相对应的 3 个特殊的地球动力学过程. 近几年来, 随着大地构造学、岩石学和地球化学的深入研究, 成矿地球动力学背景初步显现出大致轮廓.

2.1 200~160 Ma 成矿事件与碰撞造山过程

自 20 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 238~218 Ma 之间^[48-54], 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^[55]. 卢欣祥等^[56]测定秦岭地区具环斑结构花岗岩的成岩时代为 217~210 Ma, 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 ± 10) Ma 数据^[57], 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^[58]. 最近, 任纪舜的研究进一步指出此时位于俄罗斯远东地区与阿拉斯加之间的 Anyuy 大洋板块也正在由北向南俯冲. 因此, 自三叠纪晚期到侏罗纪中期, 华北克拉通在一定程度上仍然处于碰撞造山阶段. 在碰撞造山过程中的松弛阶段, 大量花岗岩浆经过同熔或重熔作用生成及上侵定位. 在此过程中, 尽管也有象与杨家杖子斑岩-夕卡岩钼矿有关岩体, 来自深源, 锶初始值(I_{Sr})小于 0.7060, 但大部分花岗岩显示为以地壳重熔为主体的岩浆, 其特点以多硅过铝富碱为特征, $I_{Sr} > 0.7080$. 通常在造山带中走滑剪切带中形成造山型金矿, 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^[36], 图 3 为 200~160 Ma 期间碰撞造山过程和大规模成矿作用的模型图.

2.2 140 Ma 左右成矿事件与构造体制大转换(即主应力场由近南北向转换到近东西向)

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, 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^[58,59]. 近年牛宝贵对冀北承德地区的野外考察和研究进一步证明中国东部由 EW 向构造向 NE-NNE 向构造彻底转换的时代发生在晚侏罗世土城子组沉积之后, 晚侏罗世-早白垩世张家口组火山喷发前, 其时限大约为(140 ± 5) Ma. 在此期间, 岩石圈构造体制调整不仅导致火山喷发, 而且加剧壳幔相互作用, 导致深熔作用形成的花岗质岩浆沿 NNE 向与原 EW 向断裂交汇处侵位. 无论是华北克拉通南北缘的斑

1) 会议讲话和个人之间学术交谈

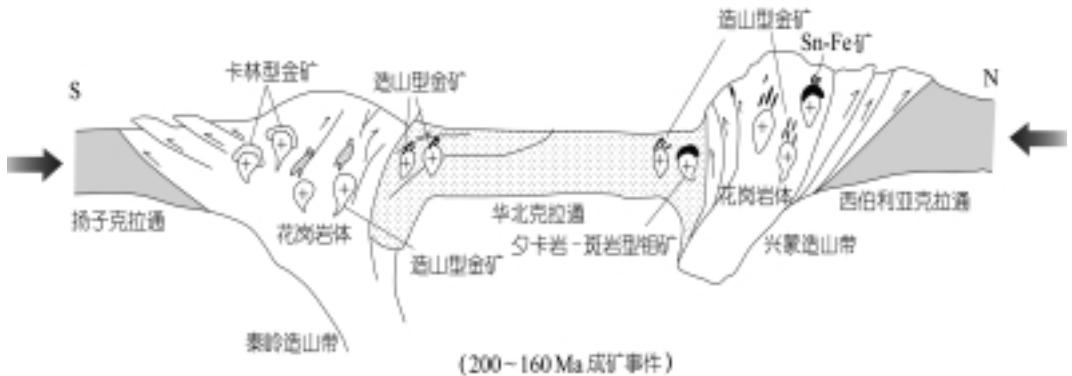


图 3 碰撞造山与 200~160 Ma 成矿事件的地球动力学模型图

岩-夕卡岩钼(钨、铜)成矿系统有关的花岗岩, 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有关花岗岩, 无不受棋盘格子式^[60]或行-列-汇^[61]构造系统的控制。尽管这 3 条成矿带宏观上表现为 EW 向, 但控矿主断裂为 NNE 向。与成矿有关岩体来自深部, 属于比较典型的同熔型^[62]或磁铁矿系列^[63]花岗岩。部分岩石可能属于埃达克岩, 例如与安徽沙溪斑岩铜矿有关的富钠质花岗闪长岩^[64]。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, 其成矿过程的模式示于图 4(a)。

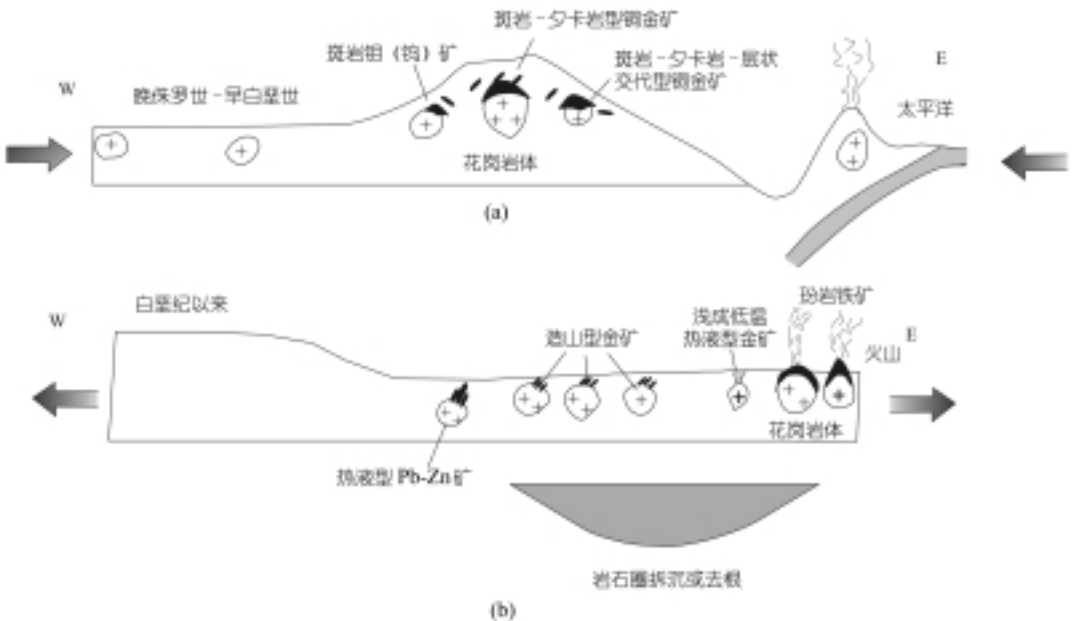


图 4 构造体制大转换与 140 Ma 左右成矿事件(a)以及岩石圈减薄与 130~110 Ma 成矿事件(b)模式图

2.3 130~110 Ma 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 km^[65], 东部曾经是一个与现今青藏地区相媲美的高原。最近, 张旗等^[66]通过对华北克拉通内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.长江中下游和华北克拉通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 km^[67~70].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^[71]引起的岩石圈拆沉^[72]或岩石圈去根^[67]可能是其主因.这种大幅度减薄的时限限制在白垩纪中晚期,尽管新生代仍然在持续.Gao 等^[73]对汉诺坝二辉橄榄岩包体获得了 2.0~1.9 Ga 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置换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^[1]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 136~135 Ma,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 120~115 Ma,蒙阴和邹平的橄榄安粗岩为 130~120 Ma.邱检生等^[74]对鲁西富钾火山岩和煌斑岩的 ⁴⁰Ar-³⁹Ar 定年,也获得 114.7~124.3 Ma 和 119.6 Ma 数据.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.长江中下游地区与玢岩铁矿有关的火山岩多被认为在 120~110 Ma 期间喷发^[75].最近,张旗等^[76]利用 SHRIMP 锆石 U-Pb 方法测得大王山组火山岩年龄为(127±3)Ma,龙王山组火山岩年龄(131±4)Ma.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±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^[57].在此期间,不仅火山活动强烈和变质作用发生,而且有大规模的岩浆侵入活动.与成矿有关的花岗岩类在 130~110 Ma 期间侵位,例如,胶东地区与成矿有关的郭家岭式花岗闪长岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 130~126 Ma,成矿之后花岗斑岩的年龄为 120 Ma^[5](表 2).排山楼金矿区的花岗岩和闪长玢岩的时代为 129~124 Ma^[7](表 2),蔡家营 Pb-Zn 矿区的花岗闪长岩的单颗粒锆石 U-Pb 年龄为 119 Ma^[35](表 2).因此,深变质作用、壳幔深熔和地壳重熔、岩浆侵位和火山喷发,伴随着中生代最大规模的成矿作用(图 4(b)).

自中元古代到古生代末,华北克拉通处于相对稳定时期^[4].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减薄三大地球动力学事件,相应出现了 3 次高强度成矿作用及金属元素巨量堆积,构成了区内规模宏大成矿作用事件.

致谢 本文在撰写期间,充分收集了前人资料,也是在前人认识的基础上的进一步总结、归纳、集成和提高.在成文过程中,得到任纪舜院士、陈毓川院士和裴荣富院士的指导,并与高山教授、王登红研究员、李晓波研究员等进行了有益的讨论,对本文的深化起到了重要作用.笔者值此一并致以热忱谢意.

参 考 文 献

- 1 陈衍景,郭光辉,李欣.华北克拉通花岗绿岩地体中生代金矿床的成矿地球动力学背景.中国科学, D 辑, 1998, 28(1): 35~40

1) 郭锋,范蔚茗,王岳军,等.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,等主编.大陆的俯冲拆离和减薄作用学术研讨会论文摘要集. 2001, 92~94 (内部出版)

- 2 胡受奚, 孙景贵, 凌洪飞, 等. 中生代苏鲁活动大陆边缘榴辉岩、煌斑岩、金矿及富集地幔间的成因联系. 岩石学报, 2001, 17(3): 425~435
- 3 毛景文, 王志良. 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, 2000, 19(4): 289~297
- 4 翟明国, 杨进辉, 刘文军. 胶东大型矿集区及大规模成矿作用. 中国科学, D 辑, 2001, 31(7): 545~552
- 5 苗来成, 罗镇宽, 黄佳展, 等. 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 辑, 1997, 27(3): 207~213
- 6 罗镇宽, 关康, 裘有守, 等. 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, 2001, 16(4): 226~231
- 7 罗镇宽, 苗来成, 关康, 等. 辽宁阜新排山楼金矿岩浆岩锆石 SHRIMP 定年及其意义. 地球化学, 2001, 30(5): 483~488
- 8 罗镇宽, 裘有守, 关康, 等. 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, 2001, 20(4): 278~285
- 9 黄典豪. 东秦岭地区钼矿床的铼-钨年龄及其地质意义. 矿床地质, 1994, 13(3): 376~381
- 10 黄典豪, 杜安道, 吴澄宇, 等. 华北地台钼(铜)矿床-钨年龄及其地质意义. 矿床地质, 1996, 15: 289~297
- 11 江思宏, 聂凤军. 冀西北水泉沟杂岩及与有关金矿床的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 同位素年代学研究. 地质论评, 2000, 46: 621~627
- 12 中国人民武装警察部队黄金指挥部. 河北省东坪碱性杂岩金矿地质. 北京: 地震出版社, 1996. 1~181
- 13 王蓉嵘. 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, 1992, (1): 12~19
- 14 徐兴旺, 蔡新平, 刘玉林, 等. 冀西北后沟金矿床交代钾长石激光探针 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄. 中国科学, D 辑, 2001, 31(6): 496~500
- 15 刘国平, 艾永富. 辽宁小佟家堡子金矿床成矿时代探讨. 矿床地质, 2002, 21(1): 53~57
- 16 邵世才, 汪东波. 南秦岭三个典型金矿床 Ar-Ar 年代及其地质意义. 地质学报, 2001, 75(1): 106~110
- 17 吴良士, 邹晓秋. 江西城门山铜矿床 Re-Os 同位素年龄研究. 矿床地质, 1997, 16: 376~381
- 18 王义天, 毛景文, 卢欣祥. 嵩县祁雨沟金矿成矿时代的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年代学证据. 地质论评, 2001, 47(5): 551~555
- 19 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. *Geology*, 2001, 29: 711~714
- 20 张德全, 徐洪林, 孙桂英. 山东邓格庄金矿与昆崙山花岗岩的定位时代及其地质意义. 地质论评, 1995, 41(5): 415~425
- 21 王义天, 毛景文, 卢欣祥, 等. 河南小秦岭金矿区 Q875 脉深部蚀变岩的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄及其意义. 科学通报, 2002, 47(20): 1750~1755
- 22 魏俊浩, 刘丛强, 赵永鑫, 等. 辽宁五龙金矿主成矿阶段成矿持续时限. 地质论评, 2001, 47(4): 433~437
- 23 骆辉, 赵运起. 辽宁排山楼金矿地质和成矿作用. 前寒武纪研究进展, 1997, 20(4): 13~24
- 24 余金杰, 毛景文. 宁夏玢岩铁矿钠长石 ^{40}Ar - ^{39}Ar 定年及其意义. 自然科学进展, 2002, 12(10): 1059~1063
- 25 黄典豪, 丁孝石, 吴澄宇, 等. 蔡家营铅-锌-银矿床. 北京: 地质出版社, 1992. 15~17
- 26 关康, 邱玉民, 罗镇宽, 等. 冀东地区与金矿床有关的花岗岩年代学研究及其意义. 见: 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, 2001. 119~123
- 27 林景任, 谭东娟, 于学峰, 等. 鲁西归来庄金矿成因. 济南: 山东科学技术出版社, 1997. 1~160
- 28 朱嘉伟, 张天义, 薛良伟. 豫西崑山地区金矿成矿年龄的测定及其意义. 地质论评, 1999, 45(4): 418~422
- 29 石准立, 刘瑾璇, 金勤海. 与碱性碳酸盐有关的双王金矿床. 见: 秦巴金矿论文集. 北京: 地质出版社, 1993. 133~146
- 30 柳森. 李坝金矿床地质特征. 见: 刘东升主编. 中国卡林型(微细浸染型)金矿. 南京: 南京大学出版社, 1994. 160~202
- 31 Stein H J, Markey R J, Morgan J W, et al. Highly precise and accurate Re-Os ages for molybdenite from the East Qinling molybdenum belt, Shaanxi Province, China. *Economic Geology*, 1997, 92: 827~835
- 32 黄典豪, 王义昌, 聂凤军, 等. 一种新的钼矿床类型——陕西黄龙铺碳酸岩脉型钼(铅)矿床地质特征. 地质学报, 1985, 59(3): 241~257
- 33 喻学惠. 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, 1992, 17(2): 151~158
- 34 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. *Ore Geology Reviews*, 1998, 13: 275~291
- 35 Hart C R, Goldfarb R J, Qiu Y M, et al. Gold deposits of the northern margin of the North China Craton: multiple late Paleozoic-Mesozoic mineralizing events. *Mineralium Deposita*, 2002, 37(3): 326~351
- 36 Mao J W, Qiu Y M, Goldfarb R J, et al. Geology, distribution of gold deposits in the western Qinling belt, central China: *Mineralium Deposita*, 2002, 37(3): 352~377
- 37 卢欣祥, 尉向东, 董 有, 等. 小秦岭-熊耳山地区金矿时代. *矿床地质*, 1998, 17(增刊): 765~768
- 38 任富根, 李双保, 丁士应, 等. 熊耳裂陷印支期成矿作用及其意义. *矿床地质*, 1998, 17(增刊): 55~58.
- 39 任富根, 殷艳杰, 李双保, 等. 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*, 2001, 20(4): 286~288
- 40 常印佛, 董树文. 论中-下扬子“一盖多底”格局与演化. *火山地质与矿产*, 1996, 17(1): 1~15
- 41 Pan Y M, Dong P. 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*, 1999, 15: 177~242
- 42 毛景文, 赫 英, 丁梯平. 胶东金矿形成期间地幔流体参与成矿过程的碳氧氢同位素证据. *矿床地质*, 2002, 21(2): 121~128
- 43 李厚民, 毛景文, 沈远超, 等. 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*, 2003, 22(1): 72~77
- 44 张连昌, 沈远超, 刘铁兵, 等. 山东胶莱盆地北缘金矿 Ar-Ar 和 Rb-Sr 等时线年龄与成矿时代. *中国科学, D 辑*, 2002, 32(9): 727~734
- 45 宁芜玢岩铁矿编写组. 宁芜玢岩铁矿. 北京: 地质出版社, 1978. 1~196
- 46 毛景文, 华仁民, 李晓波. 浅议大规模成矿作用与大型矿集区. *矿床地质*, 1999, 18(4): 316~322
- 47 华仁民, 毛景文. 试论中国东部中生代成矿大爆发. *矿床地质*, 1999, 18(4): 291~299
- 48 李曙光, 葛宁洁, 刘德良, 等. 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*, 1989, 34(7): 522~525
- 49 李曙光, 李惠民, 陈移之, 等. 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*, 1997, 27: 310~322
- 50 Ames L, Tilton G R, Zhou G. Timing of collision of the Sino-Korean and Yangtze cratons: U-Pb zircon dating of coesite-bearing eclogites. *Geology*, 1993, 21: 339~342
- 51 Ames L, Zhou G, Xiong B. Geochronology and isotopic character of ultrahigh-pressure metamorphism with implications for collision of the Sino-Korean cratons, central China. *Tectonics*, 1996, 15: 472~489
- 52 陈江峰, 谢 智, 刘顺生, 等. 大别造山带冷却年龄的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 和裂变径迹年龄测定. *中国科学, B 辑*, 1995, 25(10): 1086~1092
- 53 Chavagnat N O, Jahn B. Coesite-bearing eclogites from the Bixiling complex, Dabie mountains, China: Sm-Nd ages, geochemical characteristics and tectonics implication. *Chemical Geology*, 1996, 133: 29~51
- 54 Rowley D B, Xue F, Turker R D, et al. Age of ultrahigh pressure metamorphism and protolith of orthogneisses from the eastern Dabie Shan: U/Pb zircon geochemistry. *Earth and Planetary Science Letters*, 1997, 151: 191~203
- 55 李锦轶. 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*, 2001, 75(1): 25~34
- 56 卢欣祥, 尉向东, 肖庆辉, 等. 秦岭环斑花岗岩的年代学研究及其意义. *高校地质学报*, 1999, 5: 372~377
- 57 简 平. 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*, 2001, 22(5): 409~412
- 58 任纪舜, 陈廷愚, 牛宝贵, 等. 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, 1992. 1~230
- 59 任纪舜, 王作勋, 陈炳蔚, 等. 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, 2000. 1~50
- 60 李四光. 地质力学概论(第二版). 北京: 地质出版社, 1999. 1~228
- 61 裴荣富, 吕凤翔, 范继璋, 等. 华北地块北缘及其北侧金属矿床成矿系列与勘查. 北京: 地质出版社, 1998. 1~237
- 62 徐克勤, 孙 甬. 华南花岗岩成因与成矿. 南京: 南京大学出版社, 1982. 1~41
- 63 Ishihara S. The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks. *Mining Geology*, 1977, 27(5): 293~305

- 64 王 强, 赵振华, 熊小林, 等. 底侵玄武质下地壳的熔融: 来自安徽沙溪 adakite 质富钠石英闪长玢岩的证据. *地球化学*, 2001, 30(4): 353~362
- 65 池际尚, 路凤香. 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, 1996. 1~292
- 66 张 旗, 钱 青, 王二七, 等. 燕山中晚期的“中国东部高原”; 埃达克岩的启示. *地质科学*, 2001, 36(2):248~255
- 67 邓晋福, 赵海玲, 莫宣学. 中国大陆根-柱构造: 大陆动力学的钥匙. 北京: 地质出版社, 1996. 1~110
- 68 Fan Q C, Hooper P R. The Cenozoic basaltic rocks of Eastern China: petrology and chemical composition. *Journal of Petrology*, 1991, 32:765~810
- 69 Menzies M A, Fan W M, Zhang M. 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, 1993, 76:71~81
- 70 Fan W M, Menzies M A. Destruction of lower lithosphere mantle beneath eastern China. *Geotectonica et Metallogenia*, 1992, 16:171~179
- 71 牛树银, 孙爱群, 邵振国, 等. 地幔热柱多级演化及其成矿作用-以华北矿聚区为例. 北京: 地震出版社, 2001. 1~223
- 72 Gao S, Zhang B R, Jin Z M, et al. How mafic is the lower continental crust? *Earth and Planetary Science Letters*, 1998, 162(1~4): 101~117.
- 73 Gao S, Rudnick R L, Carlson R W, et al. Re-Os evidence for replacement of ancient mantle lithosphere beneath the North China Craton. *Earth and Planetary Science Letters*, 2002,198(3~4): 307~322
- 74 邱检生, 徐夕生, 罗清华. 鲁西富钾火山岩和煌斑岩的 $^{40}\text{Ar} - ^{39}\text{Ar}$ 定年及源区示踪. *科学通报*, 2001, 46(8): 1500~1508
- 75 毛建仁, 苏郁香, 陈三元. 长江中下游中酸性侵入岩与成矿. 北京: 地质出版社, 1990. 1~191
- 76 张 旗, 简 平, 刘敦一, 等. 宁芜火山岩的锆石 SHRIMP 定年及其意义. *中国科学, D 辑*, 2003, 33(4): 309~314