· 综　述 ·

矿物岩石地球化学通报
Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry
Vol. 31 No. 2, Mar. 2012

中国东部中生代钼矿成岩-成矿时差

杜保峰[1,2], 李艳军[1], 燕长海[2], 陈　冲[1], 罗　雪[2], 王明志[3], 张戈红[2]

1. 中国地质大学 资源学院, 武汉 430074; 2. 河南省地质调查院, 郑州 450007; 3. 陕西省地质调查院, 西安 710065

摘　要: 与岩浆成因相关的钼矿床成岩-成矿时差是确定矿床与岩浆岩成因关系的重要基础。本文根据收集的中国东部中生代典型钼矿床的成矿及相关岩体的同位素测年数据，详细讨论并定量厘定了钼矿的成岩-成矿时差分布特征。结果表明，钼矿成矿同步或略滞后于同源岩浆活动，中国东部整个钼矿成矿高峰的两个阶段时差介于 0～10.0 Ma 和 0～15.0 Ma；对于单个钼矿床，其成岩-成矿时差集中在 0～14.0 Ma，均值为 3.9 Ma；从斑岩型钼矿床→斑岩-矽卡岩型钼矿床→矽卡岩型钼矿床→石英脉型钼矿床，成岩-成矿时差呈逐渐增加趋势，这与岩浆热液成矿过程的地质事实吻合。

关　键　词: 钼矿; 成岩-成矿时差; 中国东部; 中生代

中图分类号: P611　　**文献标识码**: A　　**文章编号**: 1007-2802(2012)02-0165-12

A Study of the Time Gap between Diagenesis-Mineralization of Mesozoic Molybdenum Deposits in East China

DU Bao-feng[1,2], LI Yan-jun[1], YAN Chang-hai[2], CHEN Chong[1], LUO Xue[2], WANG Ming-zhi[3], ZHANG Ge-hong[2]

1. *Faculty of Earth Resourses, China University of Geosciences, Wuhan* 430074, *China*; 2. *Henan Institute of Geological Survey, Zhengzhou* 450007, *China*; 3. *Shanxi Institute of Geological Survey, Xi'an* 710065, *China*

Abstract: The time gap of diagenesis-mineralization, a hotspot in Mo deposits study, is an important basis to confirm the genetic relationship between Mo deposits and their cognatemagmatites. According to isotopic dating of mineralization and associated rock of some typical Mesozoic Mo deposits in East China, we detailly discusse and quantitatively determinate the time gap of diagenesis-mineralization for Mo deposits. Mo mineralization occurred synchronously or slightly behind the comagmatic activity. Two peak stages of diagenesis- mineralization time gap of Mo mineralization are within the scope of 0-10.0 Ma and 0-15.0 Ma; For a single Mo deposit, the time gap concentrated in 0-14.0Ma with a mean of 3.9 Ma. From the porphyry-type Mo deposits to porphyry-skarn complex Mo deposits to skarn-type Mo deposits and to quartz vein-type Mo deposits, the time gap of diagenesis and mineralization increases graduallywhich is consistent with the objective geological facts of the magmatic hydrothermal ore-forming process.

Key words: Mo deposits; time gap of diagenesis and mineralization; East China; Mesozoic

中国的钼矿储量位居世界第二，主要集中在中国东部，仅东秦岭的钼矿储量就约占全国总储量的 43.5%。钼矿床有斑岩型、斑岩-矽卡岩复合型、矽卡岩型、石英脉型、爆破角砾岩型、碳酸岩脉型、沉积型和伟晶岩脉型等类型，以斑岩型、斑岩-矽卡岩复合型最重要，其次为矽卡岩型和石英脉型，这四种类型钼矿床成矿都与岩浆活动密切相关[1,2]。从钼矿形成时代来看，除少数钼矿床形成于元古宙、晚古生代和新生代之外，绝大多数都形成于中生代[2~4]。

钼矿成岩-成矿时差，是研究矿床成因、指导找矿以及建立区域成矿模式的重要基础，然而目前这方面的研究还比较少。研究整个钼矿成矿阶段及单个矿床和与其有成因关系的岩浆岩的成岩-成矿时差，对确定岩浆演化与成矿的关系不仅具有理论意义，更具有指导找矿的实践意义。

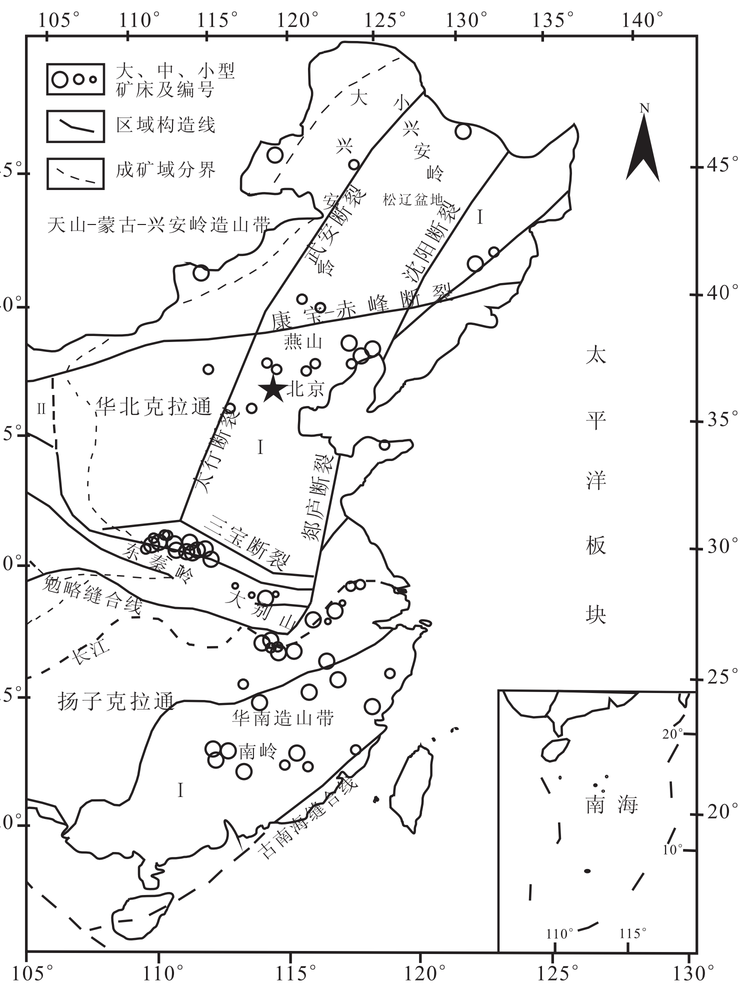
近几年我国东部地区钼矿研究出现了新一轮高

收稿日期: 2010-04-09 收到, 2011-04-11 改回
基金项目: 教育部创新团队发展计划项目(IRT0755); 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室基金资助项目
第一作者简介: 杜保峰(1985—), 男, 硕士, 专业方向: 矿床地球化学及成矿规律与成矿预测. E-mail: dubaofeng517@163.com.

潮，找矿勘查有了新发现和新进展，高精度同位素技术精确厘定成岩-成矿时代，为从时差角度研究钼矿成因提供了重要素材。本文根据收集的近十几年来中国东部典型钼矿床的成矿年龄及同源岩体成岩年龄数据，讨论了钼矿床的成岩-成矿时差特征。

1　钼矿成矿背景

中国东部大地构造演化大致经历了太古宙—古元古代原始地壳克拉通化阶段，中、新元古代—早古生代大陆边缘或陆内盆地演化阶段，晚古生代欧亚板块拼合，古欧亚大陆形成阶段和中、新生代受太平洋板块和印度板块俯冲产生的叠加构造阶段，构成了滨太平洋成矿域[5,6,7]。从三叠纪开始，古太平洋板块与初始欧亚板块逐渐发生挤压碰撞与俯冲作用[8]，燕山期时中国东部处于大陆边缘活动带，俯冲作用引起了地壳内部及壳—幔物质交换，同时形成了交代型富集地幔[9]，演化晚期产生了与壳幔同熔型-地壳重熔型酸性-中酸性岩浆岩有关的中生代钼矿成矿带，如东秦岭地区、燕辽地区、长江中下游地区和南岭地区等(图 1)。从钼矿形成时代来看，主要在 190.0～110.0 Ma(图 2)，为中生代燕山期构造岩浆活动的产物。



Ⅰ-滨太平洋成矿域；Ⅱ-古亚洲成矿域

Ⅰ-the Marginal Pacific metallogenic domain；Ⅱ-Pal-Asia metallogenic domain

图 1　中国东部钼矿床分布图

Fig. 1　The distribution map of Mo deposits in the eastern China

2　钼矿成岩-成矿时差

2.1　数据收集

本文钼矿床成岩-成矿年龄数据主要为与岩浆活动密切相关的斑岩型、斑岩-矽卡岩型、矽卡岩型和石英脉型等钼矿床。由于 Re-Os 同位素体系封闭性好，受后期改造微弱[10]，被广泛应用于同位素地质年代学、矿床成因等研究中，尤其对钼矿床测年，国内外将辉钼矿 Re-Os 法作为最主要的成矿测试方法。文中数据除了个别矿床采用石英流体包裹体 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 法，绝大部分为该方法测得(40 个/43 个)。对与成矿有关的花岗质岩石年龄，采用 SHRIMP 锆石 U-Pb 法、单颗粒锆石 U-Pb 法(27 个/43 个)和 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 法及其它方法(见表 1)。

2.2　数据筛选

与钼矿床成矿有关的同源岩体有两种情况：一是通过岩浆期后分异作用提供成矿流体和成矿物质的花岗质岩类；二是与成矿流体和成矿物质均来自深部的同一岩浆区的花岗质岩类[73]。

首先选取典型矿床，并对其成岩-成矿的关系进行判断是否同源。如：卢欣祥等[74]、黄典豪等[75]、朱赖民等[37]通过对东秦岭金堆城超大型钼矿床的岩矿石微量元素和稀土元素分布特征以及 Pb、S、Sr、O 等同位素组成对比研究，结合成岩-成矿年代，认为钼成矿与花岗斑岩侵入直接相关；研究吉林大黑山超大型钼矿床岩矿石稀土配分曲线、S 同位素、Re 含量和成岩-成矿年龄发现，钼成矿与花岗闪长斑岩密切相关[14～15,76]；孟良义等[77]、黄恩邦等[78]、罗建安等[79]相继根据岩体与矿体的接触关系和空间产状、成矿元素的分布特征、黄铁矿的 Co/Ni 和 S/Se、Sr、Pb 及 S、H、O、C 等稳定同位素对比，均认为城门山钼矿床的成矿物质和成矿流体均来源于岩浆岩，成岩与成矿物质具有同源性。

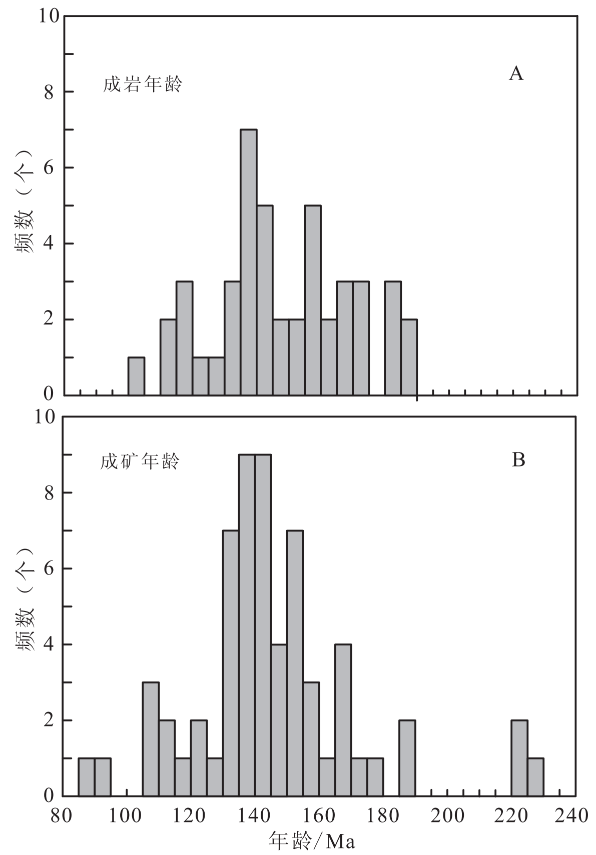


图 2 中国东部中生代钼矿床成岩年龄(A)、成矿年龄 (B)分布直方图

Fig. 2 Histogram of isotopic ages of diagenesis (A)and mineralization (B) for Mesozoic Mo deposits in East China

其次，数据收集时也考虑了成矿时间的可比性、不同测年方法的精确性和区域成矿背景，选择研究较深入且被公认可靠性较高的年龄值。如辽西兰家沟大型钼矿床全岩 Rb-Sr 法测得成岩年龄 154 Ma[79]，而锆石 SHRIMP U-Pb 法测得成岩年龄 188.9 Ma[22]，辉钼矿 Re-Os 法测得成矿年龄 186.5 Ma[3]，由于成岩年龄更接近成矿年龄，因此认为其成岩年龄为 188.9 Ma。同样豫西雷门沟超大型钼矿床，K-Ar 法获得成岩年龄为 99.3～88.4 Ma[81]；锆石 SHRIMP U-Pb 法测得成岩年龄为 136.2 Ma，辉钼矿 Re-Os 法测得成矿年龄为 132.4 Ma[32]，东秦岭钼矿大规模成矿于晚侏罗世和早白垩世之交的地质背景一致，采用 136.2 Ma 更加符合事实。

另外考虑到个别钼矿床时差太大，不符合地质事实，如内蒙古乌奴格吐山斑岩铜钼矿床(28 Ma)，河北寿王坟铜(钼)矿床(－18 Ma)，应预先剔除。

2.3 数据统计

图 2 可知，中国东部中生代与钼成矿相关的成岩年龄集中在 160～155 Ma 和 145～135 Ma，相应成矿年龄集中在 155～150 Ma 和 145～130 Ma，反映出中国东部钼矿成矿具有两次高峰期。第一阶段成岩-成矿的总体时差为 0～10 Ma，第二阶段成岩-成矿的总体时差为 0～15 Ma。

单个钼矿床的成岩-成矿时差数据表明(表 1)，钼矿床的成矿时间同步或略滞后于同源岩浆活动，平均时差介于零到十几个百万年。另外，部分钼矿床的成岩-成矿时差为负值(即成矿早于成岩)，如：东秦岭东沟钼矿床(－4 Ma)、内蒙古乌兰德勒钼铜多金属矿床(－2.7 Ma)，不具实际地质意义，可能由测量方法、测试误差或测试对象的同位素封闭程度导致。由图 3 可见，钼矿床成岩-成矿时差一般不超过 16 Ma，集中在 0～14 Ma。由图 4 也可见单个钼矿床与同源岩体的时差集中于 0～14 Ma，时差平均值为 3.9 Ma，具有正态分布变量的成因特征，符合统计意义。

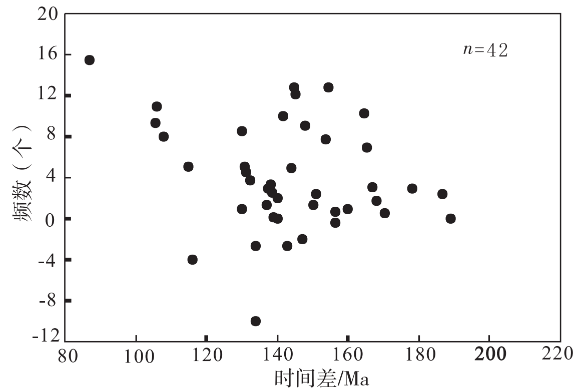


图 3 钼矿床成岩成矿时差(数据来自表 1)

Fig. 3 Diagram of diagenesis-mineralization time gap and mineralization ages for comagmatic Mo deposits (Data from Table 1)

笔者还针对不同类型的钼矿床成岩-成矿时差进行了初步统计(表 1)，时差平均值明显不同。斑岩型钼矿床时差平均值为 2.6 Ma；斑岩-矽卡岩型(或矽卡岩-斑岩型)钼矿床时差平均值为 3.8 Ma；矽卡岩型钼矿床时差平均值为 6.6 Ma；石英脉型钼矿床时差平均值为 8.6 Ma。

2.4 时差讨论

根据以上统计，中国东部钼矿成矿高峰的两个阶段成岩-成矿时差介于 0～10.0 Ma 和 0～15.0 Ma。对于单个钼矿床，则将与岩浆密切相关的钼矿床成岩-成矿时差限定在 0～14.0 Ma，平均约为 3.9 Ma。尽管也有学者认为，单一侵入体所引起的热液活动最长时间小于 1.0 Ma[82]。在目前的定年测试条件下，笔者认为，成岩-成矿年龄要精确到 1.0 Ma 还是很困难的，而且在地质问题的讨论上也没有太大的实际意义。

表 1　中国东部中生代钼矿床及其同源岩浆岩同位素年龄

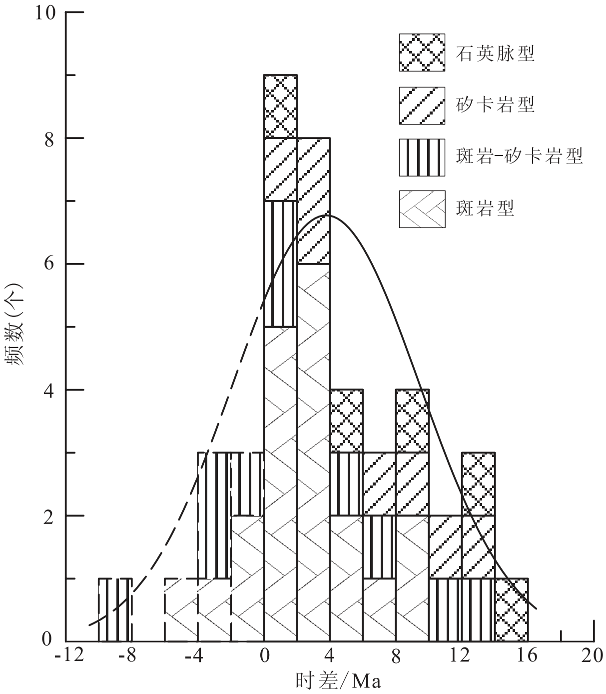
Table 1　Isotope ages of Mesozoic Mo deposits and related comagmatic magmatites in East China

编号	矿床名称	矿床类型	同源岩浆岩				矿床			资料来源	时差/Ma
			岩性	测定对象	测定方法	年龄/Ma	测定对象	测定方法	年龄/Ma		
1	内蒙古太平沟钼矿床	斑岩型	花岗斑岩	锆石	SHRIMP U-Pb	131.1±0.9	辉钼矿	Re-Os	130.1±1.3	文献[11]	1
2	内蒙古乌奴格吐山铜钼矿床	斑岩型	二长花岗斑岩	锆石	U-Pb	183±0.6	辉钼矿	Re-Os	155±17	文献[12]、[13]	28
3	吉林大黑山钼矿床	斑岩型	花岗闪长斑岩	锆石	SHRIMP U-Pb	170±3	辉钼矿	Re-Os	168.2±3.2	文献[14]、[15]	1.8
4	吉林福安堡钼矿床	斑岩型	似斑状二长花岗岩	全岩	Rb-Sr	170	辉钼矿	Re-Os	166.9±6.7	文献[16]、[17]	3.1
5	内蒙古碾子沟钼矿床	石英脉型	黑云母二长花岗岩	全岩	Rb-Sr	167.1±1.5	辉钼矿	Re-Os	154.3±3.6	文献[18]、[19]	12.8
6	内蒙古乌兰德勒钼铜矿床	斑岩型	细粒二长花岗岩	锆石	SHRIMP U-Pb	131.3±1.6	辉钼矿	Re-Os	134.0±4.2	文献[20]	−2.7
7	辽西杨家杖子钼矿床	斑岩-矽卡岩型	细粒花岗岩	锆石	U-Pb	189±4	辉钼矿	Re-Os	189	文献[21]、[3]	0
8	辽宁兰家沟钼矿床	斑岩型	似斑状细粒花岗岩	锆石	SHRIMP U-Pb	188.9±1.2	辉钼矿	Re-Os	186.5±0.7	文献[22]、[3]	2.4
9	辽西新台门钼矿床	斑岩型	花岗斑岩	锆石	LA-ICP-MS U-Pb	181±2	辉钼矿	Re-Os	178±5	文献[23]	3
10	河北小寺沟钼(铜)矿床	斑岩-矽卡岩型	花岗闪长斑岩	全岩	Rb-Sr	124±1.9	辉钼矿	Re-Os	134±3	文献[24]、[3]	−10
11	河北大草坪钼矿床	斑岩型	花岗闪长岩	锆石	U-Pb	140.0±1.5	辉钼矿	Re-Os	140.0±2.3	文献[25]	0
12	河北寿王坟铜(钼)矿床	矽卡岩型	花岗闪长岩	全岩	Rb-Sr	130	辉钼矿	Re-Os	148±4	文献[26]、[3]	−18
13	河南南泥湖钼矿床	斑岩型	斑状二长花岗岩	锆石	SHRIMP U-Pb	157.1±2.9	辉钼矿	Re-Os	148±10	文献[27]、[28]	9.1
14	河南秋树湾铜钼矿床	斑岩-矽卡岩型	花岗闪长斑岩	黑云母	K-Ar	145	辉钼矿	Re-Os	147±4	文献[29]、[30]	−2
15	河南三道庄钼矿床	矽卡岩型	斑状二长花岗岩	锆石	SHRIMP U-Pb	157.1±2.9	辉钼矿	Re-Os	145.0±2.2	文献[27]、[31]	12.1
16	河南上房沟钼矿床	斑岩-矽卡岩型	花岗斑岩	锆石	SHRIMP U-Pb	157.6±2.7	辉钼矿	Re-Os	144.8±2.1	文献[27]、[31]	12.8
17	河南雷门沟钼矿床	斑岩型	花岗斑岩	锆石	SHRIMP U-Pb	136.2±1.5	辉钼矿	Re-Os	132.4±2.0	文献[32]	3.8
18	河南鱼池岭钼矿床	斑岩型	似斑状二长花岗岩	黑云母	Ar-Ar	135.7±1.3(l)	辉钼矿	Re-Os	131.2±1.4	文献[33]、[34]	4.5
19	河南泉家峪钼金矿床	石英脉型	花岗岩	锆石	SHRIMP U-Pb	138.4±2.5	辉钼矿	Re-Os	129.9±1.6	文献[27]、[35]	8.5
20	河南东沟钼矿床	斑岩型	花岗斑岩	锆石	SHRIMP U-Pb	112±1	辉钼矿	Re-Os	116±1.7	文献[36]	−4
21	陕西金堆城钼矿床	斑岩型	花岗斑岩	锆石	LA-ICP-MS U-Pb	141.0±0.5	辉钼矿	Re-Os	138.4±0.5	文献[37]、[38]	2.6
22	陕西八里坡钼矿床	斑岩型	花岗斑岩	锆石	U-Pb	155.9±2.3	辉钼矿	Re-Os	156.3±2.2	文献[39]	−0.4

续表 1

编号	矿床名称	矿床类型	同源岩浆岩				矿床			资料来源	时差/Ma
			岩性	测定对象	测定方法	年龄/Ma	测定对象	测定方法	年龄/Ma		
23	陕西石家湾钼矿床	斑岩型	钾长花岗斑岩	锆石	LA-ICP-MS U-Pb	141.4±0.6	辉钼矿	Re-Os	138	文献[40]、[28]	3.4
24	河南汤家坪钼矿床	斑岩型	花岗斑岩	锆石	U-Pb	120±3	辉钼矿	Re-Os	114.9±2.7	文献[41]、[42]	5.1
25	湖北丰山洞铜钼矿床	矽卡岩-斑岩型	花岗闪长斑岩	黑云母	K-Ar	149	辉钼矿	Re-Os	144.0±2.1	文献[43]、[44]	5
26	湖北铜绿山铜钼矿床	矽卡岩型	花岗闪长岩	锆石	SHRIMP U-Pb	140.3±1.8	辉钼矿	Re-Os	137.3±2.4	文献[45]	3
27	湖北铜山口铜钼矿床	矽卡岩-斑岩型	花岗闪长斑岩	锆石	SHRIMP U-Pb	140.2±2.4	辉钼矿	Re-Os	142.9±1.8	文献[46]、[44]	−2.7
28	安徽铜牛井铜钼矿床	石英脉型	闪长岩	角闪石	Ar-Ar	136±1.8 (p)	石英	Ar-Ar	130.9±0.8(l)	文献[47]、[48]	5.1
29	安徽铜陵沙滩角铜钼矿床	矽卡岩型	石英二长斑岩	锆石	SHRIMP U-Pb	151.8±2.6	辉钼矿	Re-Os	141.8±1.6	文献[49]、[27]	10
30	安徽大团山铜钼矿床	矽卡岩型	石英二长闪长岩	锆石	SHRIMP U-Pb	139.3±1.2	辉钼矿	Re-Os	139.1±2.7	文献[50]、[51]	0.2
31	江苏安基山铜钼矿床	矽卡岩-斑岩型	花岗闪长斑岩	黑云母	K-Ar	116	辉钼矿	Re-Os	108±2	文献[52]	8
32	江苏铜山铜钼矿床	矽卡岩型	石英闪长玢岩	黑云母	K-Ar	117	辉钼矿	Re-Os	106±3	文献[52]	11
33	江西德兴铜钼矿床	斑岩型	花岗闪长斑岩	锆石	SHRIMP U-Pb	171±3	辉钼矿	Re-Os	170.4±1.8	文献[53]、[54]	0.6
34	江西城门山铜钼矿床	矽卡岩-斑岩型	石英斑岩	黑云母	K-Ar	142	辉钼矿	Re-Os	140±2	文献[55]	2
35	江西阳储岭钼矿床	斑岩型	二长花岗斑岩	全岩	Rb-Sr	138.4±3.4	白云母	K-Ar	137.1±3.4	文献[56]	1.3
36	江西浒坑钨钼矿床	石英脉型	白云母花岗岩	锆石	LA-ICP-MS U-Pb	151.6±2.6	辉钼矿	Re-Os	150.2±2.2	文献[57]、[58]	1.4
37	湖南宝山铜钼多金属矿床	矽卡岩-斑岩型	花岗闪长斑岩	锆石	SHRIMP U-Pb	161±3	辉钼矿	Re-Os	160±2	文献[59]、[60]	1
38	湖南黄沙坪铅锌钨钼矿床	矽卡岩型	花岗斑岩	锆石	LA-ICP-MS U-Pb	161.6±1.1	辉钼矿	Re-Os	153.8±4.8	文献[61]、[62]	7.8
39	湖南柿竹园钨锡钼铋矿床	矽卡岩型	中粗粒钾长花岗岩	黑云母	Ar-Ar	153.4±0.2	辉钼矿	Re-Os	151±3.5	文献[63]、[64]	2.4
40	浙江石平川钼矿床	石英脉型	钾长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS U-Pb	102.5±1.2	石英	Rb-Sr	87±1	文献[65]、[66]	15.5
41	福建行洛坑钨钼矿床	斑岩型	花岗岩	全岩	Rb-Sr	157±3	辉钼矿	Re-Os	156.3±4.8	文献[67]、[68]	0.7
42	福建福安赤路钼矿床	斑岩型	似斑状花岗岩	全岩	Rb-Sr	115±4	辉钼矿	Re-Os	105.6±0.6	文献[69]、[70]	9.4
43	福建永定山口钼矿床	斑岩型	中细粒二长花岗岩	全岩	Rb-Sr	172.3±5.6	辉钼矿	Re-Os	165.3±3.5	文献[71]	7
44	广东大宝山铜钼矿床	斑岩-矽卡岩型	花岗闪长斑岩	锆石	LA-ICP-MS U-Pb	175.0±1.7	辉钼矿	Re-Os	164.7±3	文献[72]、[63]	10.3

注：表中部分数据按有效数字规范进行了取舍(保留一位小数)，部分年龄未标出误差；对于同一成岩或成矿年龄的不同测试方法采用更新更精确的方法；p、l 分别为 Ar-Ar 法中坪年龄和等时线年龄。



虚线部分为负值,无地质意义

The dotted line has no geological significance

图 4 钼矿床成岩成矿时差直方图(数据来自表 1)

Fig. 4 Histogram of diagenesis-mineralization time gap for comagmatic molybdenum deposits (Data from Table 1)

另外,考虑到钼矿化一般与花岗岩类小岩株有关,对于一个 30 km^2 的隐伏岩体(埋深在 1～2 km 以下),从 800℃的岩浆冷却到岩体中心为 600℃时,冷凝时间通常仅需 7.2～10.0 Ma[83,84];同时一个大型、超大型钼矿床的形成,往往具有多期次成矿特征,即在上部小岩株侵位、冷凝、收缩产生裂隙的同时,由于构造-脉动作用使之与下部岩浆联系一直未中断,岩浆房继续分异,同时岩体与围岩接触带构造断裂加剧,从而成为含钼热流体源源不断上升的通道,促成大型、超大型钼矿床各阶段各类矿化的发展、叠加、富集。如东秦岭的南泥湖和上房沟两个超大型钼矿床的成岩成矿时差较大(9～14 Ma),笔者认为有两种可能,一是一个超大型钼矿床的形成需要多期次多阶段的岩浆活动,持续时间较长;二是从测试的辉钼矿采样位置看,南泥湖为条带状角岩,上房沟为接触带外侧[32],都应是岩浆热液运移后期作用形成的辉钼矿,测年反映的时间会偏晚些。

钼矿化温度(240～450℃)低于花岗岩类冷凝封闭温度(一般大于 600℃),说明钼矿床中同源岩体与矿床形成的年龄差是客观存在的。它的形成受控于岩浆侵位的深度、岩体大小、岩浆成分、地热梯度、构造、围岩性质等,是许多随机因素综合作用的结果,因此时差获取的关键还是成岩-成矿年龄的准确测定及对矿床成因的正确把握。文中收集的成矿年龄绝大多数是通过辉钼矿 Re-Os 法测得,成岩年龄多采用锆石 U-Pb 法以及 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 法,运用这些方法得到的就是直接的成岩-成矿年龄,二者差值反映更接近于矿床的真时差。另外笔者还综合考虑了岩体与成矿的同源性、区域地质背景和成矿时间的可比性及单个矿床年代学数据的可靠性,从多方面来厘定同源岩浆成因钼矿床的时差。

大型超大型同源岩浆钼矿床的成岩-成矿时差可能达到 14.0 Ma。在同一构造背景条件下,若成岩与成矿存在着小于等于 14.0 Ma 时差,就应该重视二者之间的联系(岩浆期后热液成矿与深部同源成矿均有可能),并需要结合微量元素和同位素示踪进一步揭示其成因关系;而当成岩与成矿存在着大于 14.0 Ma 时差时,就可以排除矿床与岩体的直接成因联系,只能将岩体作为容矿围岩,但其也可能提供部分成矿物质。

谭俊等[73]曾测得金矿床成岩-成矿时差平均值,为 7.4 Ma,而此次获得的钼矿床成岩-成矿时差平均值为 3.9 Ma,很可能是钼矿化温度一般属于高温和中高温,且在岩体内部或接触带,而金矿化温度属于中低温,且多在岩体外侧或围岩裂隙中,成矿热液冷却沉淀成矿的时间不同所造成的,当然不排除现今采用了更为先进的测年手段和文中选用的精确数据较多的因素影响。

本文对不同类型钼矿床成岩-成矿时差进行的初步统计显示,斑岩型、斑岩-矽卡岩型、矽卡岩型、石英脉型钼矿床时差平均值依次为 2.6 Ma、3.8 Ma、6.6 Ma、8.6 Ma,表明从斑岩型钼矿床→斑岩-矽卡岩复合型钼矿床→矽卡岩型钼矿床→石英脉型钼矿床,成岩-成矿时差呈逐渐增加趋势,这恰与岩浆热液从岩体内部→岩体与围岩接触带→围岩裂隙的迁移富集成矿过程的客观地质事实相吻合。因此从不同类型钼矿床总结出的时差规律有望作为钼矿床类型的一个重要参考指标,并对于确定钼矿床成因及指导进一步找矿勘查亦具有重要的指示意义。然而至今各类型钼矿床的同位素数据还不够充分,这个规律还有待进一步验证。当然,随着同位素地质年代学的进一步完善,钼矿床研究的深入及更多高精度数据的出现,有关钼矿床成岩-成矿时差的厘定将会更加具体,从而确定出更为符合客观事实的时差规律,这将对相关矿床的成因探讨,诸如年代学和地球化学数据的解释等均有指导作用。

3 结　论

(1)钼成矿同步或略滞后于同源岩浆活动，中国东部整个钼矿成矿高峰的两个阶段成岩-成矿时差为 0～10.0 Ma 和 0～15.0 Ma;单个钼矿床成岩-成矿时差集中在 0～14.0 Ma,平均 3.9 Ma;

(2)从斑岩型钼矿床→斑岩-矽卡岩型钼矿床→矽卡岩型钼矿床→石英脉型钼矿床,成岩-成矿时差呈逐渐增加趋势,这恰与岩浆热液成矿过程的客观地质事实相吻合。

致　谢:数据收集和撰写过程得到了中国地质大学(武汉)资源学院的付乐兵、肖广玲、王磊等的支持和帮助,审稿专家在修改文章中也提出了宝贵的意见,在此表示衷心感谢。

参考文献(References):

[1] 李永峰，毛景文，胡华斌，郭保健，白凤军. 东秦岭钼矿类型、特征、成矿时代及其地球动力学背景[J]. 矿床地质，2005，24(3)：292－301.
Li Yongfeng，Mao Jingwen，Hu Huabin，Guo Baojian，Bai Fengjun. Geology, distribution，types and tectonic settings of Mesozoic molybdenum deposits in east Qinling area[J]. Mineral Deposits，2005，24 (3)：292－304.(in Chinese with English abstract)

[2] 孙红杰. 东秦岭钼矿的主要类型和成矿时代浅析[J]. 中国钼业，2009，33(4)：28－33.
Sun Hongjie. Analys is of the main types and mineralogenetic epoch of eastern Qinling molybdenum deposits[J]. China Molybdenum Industry，2009，33(4)：28－33.(in Chinese with English abstract)

[3] 黄典豪，杜安道，吴澄宇，刘兰笙，孙亚莉，邹晓秋. 华北地台钼(铜)矿床成矿年代学研究——辉钼矿铼-锇年龄及其地质意义[J]. 矿床地质，1996，15(4)：365－373.
Huang Dianhao，Du Andao，Wu Chengyu，Liu Lansheng，Sun Yali，Zou Xiaoqiu. Metallochronology of molybdenum (copper) deposits in the north China platform:Re-Os age of molybdenite and its geological significance[J]. Mineral Deposits，1996,15(4)：365－373.(in Chinese with English abstract)

[4] 代军治，毛景文，杨富全，叶会寿，赵财胜，谢桂青，张长青. 华北地台北缘燕辽钼(铜)成矿带矿床地质特征及动力学背景[J]. 矿床地质，2006，25(5)：598－612.
Dai Junzhi，Mao Jingwen，Yang Fuquan，Ye Huishou，Zhao Caisheng，Xie Guiqing，Zhang Changqing. Geological characteristics and geodynamic background of molybdenum (copper) deposits along Yanshan-Liaoning metallogenic belt on northern margin of north China block[J]. Mineral Deposits，2006，25(5)：598－612.(in Chinese with English abstract)

[5] 郭文魁，刘梦庚，王永勤，刘兰笙. 中国内生金属成矿图说明书[M]. 北京：地图出版社，1987:1－72.
Guo Wenkui，Liu Menggeng，Wang Yongqin，Liu Lansheng. Instructions of metallogenic map of endogenous metallic ore deposits in China[M]. Beijing：Cartographic Publishing House，1987：1－72.(in Chinese)

[6] 胡受奚，赵亿英，胡志红，郭继春，徐兵. 中国东部中-新生代活动大陆边缘构造-岩浆作用演化和发展[J]. 岩石学报，1994，10(4):370－381.
Hu Shouxi，Zhao Yiying，Hu Zhihong，Guo Jichun，Xu Bing. Evolution and development of tectonics and magmatism at the active continental margin of the east China during Mesozoic and Cenozoic[J]. Acta Petrologica Sinica，1994,10(4)：370－381.(in Chinese with English abstract)

[7] 徐志刚，陈毓川，王登红，陈郑辉，李厚民. 中国成矿区带划分方案[M]. 北京:地质出版社，2008:45－47.
Xu Zhigang，Chen Yuchuan，Wang Denghong，Chen Zhenhui，Li Houmin. The scheme of the classification of the minerogenetic units in China[M]. Beijing：Geological Publishing House，2008：45－47.(in Chinese)

[8] 胡受奚，叶瑛，赵彭英，刘红缨. 华北地台中生代热液成矿的构造环境[J]. 高校地质学报，1995，1(2)：58－66.
Hu Shouxi，Ye Ying，Zhao Pengying，Liu Hongying. The Mesozoic tectonic setting of north China platform and its relation to hydrothermal metallogenesis[J]. Geological Journal of Universities，1995,1(2)：58－66.(in Chinese with English abstract)

[9] 胡受奚，孙景贵，凌洪飞，叶瑛，翟建平，方长泉. 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[J]. 岩石学报，2001，17(3):425－435.
Hu Shouxi，Sun Jinggui，Ling Hongfei，Ye Ying，Zhai Jianping，Fang Changquan. Genetic relationship between eclogite，lamprophyre，golddeposit and enriched mantle of Su-Lu active continental margin in the Mesozoic，China[J]. Acta Petrologica Sinica，2001,17 (3) ：425－435.(in Chinese with English abstract)

[10] Stein H J，Markey R J，Morgan J W，Hannah J L，Schersten A. The remarkable Re-Os chronometer in molybdenite：How and why it works? [J]. Terra Nova，2001，13 (6)：479－486.

[11] 翟德高，刘家军，王建平，彭润民，王守光，李玉玺，常忠耀. 内蒙古太平沟斑岩型钼矿床 Re-Os 等时线年龄及其地质意义[J]. 现代地质，2009，23(2)：262－268.
Zhai Degao，Liu Jiajun，Wang Jianping，Peng Runmin，Wang Shouguang，Li Yuxi，Chang Zhongyao. Re-Os isotopic chronology of molybdenite from the Taipinggou porphyry-type molybdenum deposit in Inner Mongolia and its geological significance[J]. Geoscience，2009，23(2)：262－268.(in Chinese with English abstract)

[12] 秦克章，李惠民，李伟实，Ishihara Shunso. 内蒙古乌奴格吐山斑岩铜钼矿床的成岩、成矿时代[J]. 地质论评，1999，45(2)：180－185.
Qin Kezhang，Li Huimin，Li Weishi，Ishihara Shunso. Intrusion and mineralization ages of the Wunugetushan porphyry Cu-Mo deposit，Inner Mongolia，northwestern China[J].

Geological Review, 1999, 45(2): 180－185.(in Chinese with English abstract)

[13] 赵一鸣，毕承思，邹晓秋，孙亚莉，杜安道，赵玉明. 黑龙江多宝山、铜山大型斑岩铜(钼)矿床中辉钼矿的铼-锇同位素年龄[J]. 地球学报，1997，18(1):61－67.
Zhao Yiming, Bi Chengsi, Zou Xiaoqiu, Sun Yali, Du Andao, Zhao Yuming. The Re-Os isotopic age of molybdenite from Duobaoshan and Tongshan porphyry copper (molybdenum) deposits[J]. Acta Geoscientia Sinica, 1997, 18 (1): 61－67.(in Chinese with English abstract)

[14] Ge W C, Wu F Y, Zhou C Y, Zhang J H. Porphyry Cu-Mo deposits in the eastern Xing'an-Mongolian orogenic belt: Mineralization ages and their geodynamic implications[J]. Chinese Science Bulletin, 2007, 52 (24): 3416－3427.

[15] 王成辉，松权衡，王登红，李立兴，于城，汪志刚，屈文俊，杜安道，应立娟. 吉林大黑山超大型钼矿辉钼矿铼-锇同位素定年及其地质意义[J]. 岩矿测试，2009，28(3)：269－273.
Wang Chenghui, Song Quanheng, Wang Denghong, Li Lixing, Yu Cheng, Wang Zhigang, Qu Wenjun, Du Andao, Ying Lijuan. Re-Os isotopic dating of molybdenite from the Daheishan molybdenum deposit of Jilin Province and its geological significance[J]. Rock and Mineral Analysis, 2009, 28 (3): 269－273.(in Chinese with English abstract)

[16] 金艳峰，张传乐，寇秀峰. 延边中西部地区钼矿成矿地质特征[J]. 吉林地质，2004，23(3):53－59.
Jin Yanfeng, Zhang Chuanle, Kou Xiufeng. The Mo ore-forming and geological features in the middle west, Yanbian Area[J]. Jilin Geology, 2004, 23(3): 53－59.(in Chinese with English abstract)

[17] 李立兴，松权衡，王登红，王成辉，屈文俊，汪志刚，毕守业，于城. 吉林福安堡钼矿中辉钼矿 Re-Os 同位素年龄及成矿作用探讨[J]. 岩矿测试，2009，28(3)：283－287.
Li Lixing, Song Quanheng, Wang Denghong, Wang Chenghui, Qu Wenjun, Wang Zhigang, Bi Shouye, Yu Cheng. Re-Os isotopic dating of molybdenite from the Fu'anpu molybdenum deposit of Jilin Province and discussion on its metallogenesis[J]. Rock and Mineral Analysis, 2009, 28 (3): 283－287.(in Chinese with English abstract)

[18] 陈志广，张连昌，吴华英，万博，曾庆栋. 内蒙古西拉木伦成矿带碾子沟钼矿区 A 型花岗岩地球化学和构造环境[J]. 岩石学报，2008，24(4)：879－889.
Chen Zhiguang, Zhang Lianchang, Wu Huaying, Wan Bo, Zeng Qingdong. Geochemistry study and tectonic background of A style host granite in Nianzigou molybdenum deposit in Xilamulun molybdenum metallogenic belt, Inner Mongolia [J]. Acta Petrologica Sinica, 2008, 24(4): 879－889.(in Chinese with English abstract)

[19] 张作伦，曾庆栋，屈文俊，刘建明，孙兴国，张瑞斌，陈伟军，覃锋. 内蒙古碾子沟矿床辉钼矿 Re-Os 同位素年龄及其地质意义[J]. 岩石学报，2009，25(1)：212－218.
Zhang Zuolun, Zeng Qingdong, Qu Wenjun, Liu Jianming, Sun Xingguo, Zhang Ruibin, Chen Weijun, Qin Feng. The molybdenite Re-Os dating from the Nianzigou Mo deposit, Inner Mongolia and its geological significance[J]. Acta Petrologica Sinica, 2009,25(1):212－218.(in Chinese with English abstract)

[20] 陶继雄，王弢，陈郑辉，罗忠泽，许立权，郝先义，崔来旺. 内蒙古苏尼特左旗乌兰德勒钼铜多金属矿床辉钼矿铼-锇同位素定年及其地质特征[J]. 岩矿测试，2009，28(3)：249－253.
Tao Jixiong, Wang Tao, Chen Zhenghui, Luo Zhongze, Xu Liquan, Hao Xianyi, Cui Laiwang. The Re-Os isotopic dating of molybdenite from the Wulandele molybdenum-copper polymetallic deposit in Sonid Zuoqi of Inner Mongolia and its geological significance[J]. Rock and Mineral Analysis, 2009, 28(3): 249－253.(in Chinese with English abstract)

[21] 吴福元，杨进辉，张艳斌，柳小明. 辽西东南部中生代花岗岩[J]. 岩石学报，2006，22(2)：315－325.
Wu Fuyuan, Yang Jinhui, Zhang Yanbin, Liu Xiaoming. Emplacement ages of the Mesozoic granites in southeastern part of the western Liaoning Province[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(2):315－325.(in Chinese with English abstract)

[22] 代军治，毛景文，赵财胜，李福让，王瑞廷，谢桂青，杨富全. 辽西兰家沟钼矿床花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及岩石化学特征[J]. 地质学报，2008，82(11)：1555－1564.
Dai Junzhi, Mao Jingwen, Zhao Caisheng, Li Furang, Wang Ruiting, Xie Guiqing, Yang Fuquan. Zircon SHRIMP U-Pb age and petrogeochemical features of the Lanjiaguo Gronite in Western Liaoning Province[J]. Acta Geologica Sinica, 2008, 82(11): 1555－1564.(in Chinese with English abstract)

[23] 张遵忠，吴昌志，顾连兴，冯慧，郑远川，黄建华，李晶，孙亚莉. 燕辽成矿带东段新台门钼矿床的 Re-Os 同位素年龄及其地质意义[J]. 矿床地质，2009，28(3)：313－320.
Zhang Zunzhong, Wu Changzhi, Gu Lianxing, Feng Hui, Zheng Yuanchuan, Huang JianHua, Li Jing, Sun Yali. Molybdenite Re-Os dating of Xintaimen molybdenum deposit in Yanshan-Liaoning metallogenic belt, North China[J]. Mineral Deposits, 2009,28 (3): 313－320.(in Chinese with English abstract)

[24] 黄标，刘孝善. 河北小寺沟斑岩相铜矿床稳定同位素研究[J]. 地质找矿论丛，1989，4(4)：55－61.
Huang Biao, Liu Xiaoshan. Stable isotope studies of the Xiaoshigou porphyry-type molybdenum (copper) ore deposit, Pingquan County, Hebei Province[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 1989, 4(4): 55－61.(in Chinese with English abstract)

[25] 段焕春，秦正永，林晓辉，张宝华，刘学武，张晓，郭鹏志，韩芳，秦磊，代军治. 河北丰宁县大草坪钼矿区岩体锆石 U-Pb 年龄研究[J]. 矿床地质，2007，26(2)：634－642.
Duan Huanchun, Qin Zhengyong, Lin Xiaohui, Zhang Baohua, Liu Xuewu, Zhang Xiao, Guo Pengzhi, Han Fang, Qin Lei, Dai Junzhi. Zircon U-Pb ages of intrusive bodies in Dacaoping molybdenum ore district, Fengning County, Hebei Province[J]. Mineral Deposits, 2007, 26(2): 634－642.(in Chinese with English abstract)

[26] 张德全，孙桂英. 中国东部花岗岩[M]. 武汉：中国地质大学出版社，1988：15.
Zhang Dequan，Sun Guiying. Granites in eastern China[M]. Wuhan：China Univeristy of Geosciences Press，1988：15. (in Chinese)

[27] 毛景文，谢桂青，张作衡，李晓峰，王义天，张长青，李永峰. 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[J]. 岩石学报，2005，21(1)：169－188.
Mao Jingwen，Xie Guiqing，Zhang Zuoheng，Li Xiaofeng，Wang Yitian，Zhang Changqing，Li Yongfeng. Mesozoic large scale metallogenic pulses in North China and corresponding geodynamic settings[J]. Acta Petrologica Sinica，2005，21(1)：169－188. (in Chinese with English abstract)

[28] 黄典豪，吴澄宇，杜安道，何红琴. 东秦岭地区钼矿床的铼-锇年龄及其地质意义[J]. 矿床地质，1994，13(3)：376－381.
Huang Dianhao，Wu Chengyu，Du Andao，He Hongqin. Re-Os ages of molybdenum deposits in East Qinling and their significance[J]. Mineral Deposits，1994，13(3)：376－381. (in Chinese with English abstract)

[29] 卢欣祥. 一个典型的同熔花岗岩型矿床－秋树湾斑岩铜(钼)矿床基本特征[J]. 矿物岩石，1984，4：33－42.
Lu Xinxiang. The basic geological features of the porphyry copper(molybdenum) deposit in Qiushuwan：A typical syntectic granite deposit[J]. Journal of Mineralogy and Petrology，1984，4：33－42. (in Chinese with English abstract)

[30] 郭保健，毛景文，李厚民，屈文俊，仇建军，叶会寿，李孟文，竹学丽. 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.
Guo Baojian，Mao Jingwen，Li Houmin，Qu Wenjun，Qiu Jianjun，Ye Huishou，Li Mengwen，Zhu Xueli. Re-Os dating of the molybdenite from the Qiushuwan Cu-Mo deposit in the east Qinling and its geological significance[J]. Acta Petrologica Sinica，2006，22(9)：2341－2348. (in Chinese with English abstract)

[31] Li Y F，Mao J W，Guo B J，Shao Y J，Fei H G，Hu H B. Re-Os isotopic dating of molybdenites in the Nannihu Mo (W) orefield in the eastern Qinling and its geodynamic process[J]. Acta Geologica Sinica，2004，78(2)：463－470.

[32] 李永峰，毛景文，刘敦一，王彦斌，王志良，王义天，李晓峰，张作衡，郭保健. 豫西雷门沟斑岩钼矿 SHRIMP 锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 测年及其地质意义[J]. 地质论评，2006，56(1)：122－131.
Li Yongfeng，Mao Jingwen，Liu Dunyi，Wang Yanbin，Wang Zhiliang，Wang Yitian，Li Xiaofeng，Zhang Zuoheng，Guo Baojian. SHRIMP zircon U-Pb and molybdenite Re-Os dating for the Leimengou porphyry molybdenum deposit，West Henan and its geological implication[J]. Geological Review，2006，56(1)：122－131. (in Chinese with English abstract)

[33] 张宗清，张国伟，刘敦一，王宗起，唐索寒，王进辉. 秦岭造山带蛇绿岩、花岗岩和碎屑沉积岩同位素年代学和地球化学[M]. 北京：地质出版社，2006：178－180.
Zhang Zongqing，Zhang Guowei，Liu Dunyi，Wang Zongqi，Tang Suohan，Wang Jinhui. Isotopic geochronology and geochemistry of ophiolites，granites and clastic sedimentary rocks in the Qinling orogenic belt[M]. Beijing：Geological Publishing House，2006：178－180. (in Chinese)

[34] 周珂，叶会寿，毛景文，屈文俊，周树峰，孟芳，高亚龙. 豫西鱼池岭斑岩型钼矿床地质特征及其辉钼矿铼-锇同位素年龄[J]. 矿床地质，2009，28(2)：170－184.
Zhou Ke，Ye Huishou，Mao Jingwen，Qu Wenjun，Zhou Shufeng，Meng Fang，Gao Yalong. Geological characteristics and molybdenite Re-Os isotopic dating of Yuchiling porphyry Mo deposit in western Henan Province[J]. Mineral Deposits，2009，28(2)：170－184. (in Chinese with English abstract)

[35] 李厚民，叶会寿，毛景文，王登红，陈毓川，屈文俊，杜安道. 小秦岭金(钼)矿床辉钼矿铼-锇定年及其地质意义[J]. 矿床地质，2007，26(4)：417－424.
Li Houmin，Ye Huishou，Mao JingWen，Wang Denghong，Chen Yuchuan，Qu Wenjun，Du Andao. Re-Os dating of molybdenites from Au (Mo) deposits in Xiaoqinling gold ore district and its geological significance[J]. Mineral Deposits，2007，26(4)：417－424. (in Chinese with English abstract)

[36] 叶会寿，毛景文，李永峰，郭保健，张长青，刘珺，闫全人，刘国印. 东秦岭东沟超大型斑岩钼矿 SHRIM P 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.
Ye Huishou，Mao Jingwen，Li Yongfeng，Guo Baojian，Zhang Changqing，Liu Kun，Yan Quanren，Liu Guoyin. SHRIMP zircon U-Pb and molybdenite Re-Os dating for the superlarge Donggou porphyry Mo deposit in East Qinling，China and its geological implication[J]. Acta Geologica Sinica，2006，80(7)：1078－1088. (in Chinese with English abstract)

[37] 朱赖民，张国伟，郭波，李犇. 东秦岭金堆城大型斑岩钼矿床 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及成矿动力学背景[J]. 地质学报，2008，82(2)：204－220.
Zhu Laimin，Zhang Guowei，Guo Bo，Li Ben. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating for the large Jinduicheng porphyry Mo deposit in the East Qinling，China，and its metallogenetic geodynamical setting[J]. Acta Geologica Sinica，2008，82(2)：204－220. (in Chinese with English abstract)

[38] Stein H J，Markey R J，Morgan J W，Du A，Sun Y. Highly precise and accurate Re-Os ages for molybdenite from t he East Qinling molybdenum belt，Shanxi Province，China[J]. Economic Geology，1997，92(3)：827－835.

[39] 焦建刚，袁海潮，何克，孙涛，徐刚，刘瑞平. 陕西华县八里坡钼矿床锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义[J]. 地质学报，2009，83(8)：1159－1166.
Jiao Jiangang，Yuan Haichao，He Ke，Sun Tao，Xu Gang，Liu Ruiping. Zircon U-Pb and molybdenite Re-Os dating for the Balipo porphyry Mo deposit in East Qinling，China，and its geological implication[J]. Acta Geologica Sinica，2009，83(8)：1159－1166. (in Chinese with English abstract)

[40] 赵海杰，毛景文，叶会寿，侯可军，梁慧山. 陕西洛南县石家湾钼矿相关花岗斑岩的年代学及岩石成因：锆石 U-Pb 年龄

及 Hf 同位素制约[J]. 矿床地质，2010，29(1)：143－157.
Zhao Haijie, Mao Jingwen, Ye Huishou, Hou Kejun, Liang Huishan. Chronology and petrogenesis of Shijiawan granite porphyry in Shannxi Province: Constrains from zircon U-Pb geochronology and Hf isotopic compositions[J]. Mineral Deposits, 2010, 29(1): 143－157. (in Chinese with English abstract)

[41] 罗铭玖，张辅民，董群英，许永仁，黎世美，李昆华. 中国钼矿床[M]. 郑州：河南科学技术出版社，1991：1－452.
Luo Mingjiu, Zhang Fumin, Dong Qunying, Xu Yongren, Li Shimei, Li Kunhua. Mo Deposits in China[M]. Zhengzhou: Henan Scientific and Technical Publishing House, 1991: 1－452. (in Chinese)

[42] 杨泽强. 河南商城县汤家坪钼矿辉钼矿铼-锇同位素年龄及地质意义[J]. 矿床地质，2007，26(3)：289－295.
Yang Zeqiang. Re-Os isotopic ages of Tangjiaping molybdenum deposit in Shangcheng county, Henan Province and their geological significance[J]. Mineral Deposits, 2007, 26 (3): 289－295. (in Chinese with English abstract)

[43] Pan Yuanming, Dong Ping. The Lower Changjiang (Yangzi / Yangtze River) metallogenic belt, East China: Intrusion and wall rock- hosted Cu- Fe-Au, Mo, Zn, Pb, Ag deposits[J]. Ore Geology Reviews, 1999, 15(4): 177－242.

[44] 谢桂青，毛景文，李瑞玲，张祖送，赵维超，屈文俊，赵财胜，魏世昆. 鄂东南地区 Cu-Au-Mo-(W) 矿床的成矿时代及其成矿地球动力学背景探讨：辉钼矿 Re-Os 同位素年龄[J]. 矿床地质，2006，25(2)：43－52.
Xie Guiqing, Mao Jingwen, Li Ruiling, Zhang Zusong, Zhao Weichao, Qu Wenjun, Zhao Caisheng, Wei Shikun. Timing of mineralization and geodynamic framework of Cu-Au-Mo-(W) deposits from southeastern Hubei province, China: constraints from Re-Os molybdenite [J]. Mineral Deposits, 2006, 25(2): 43－52. (in Chinese with English abstract)

[45] 谢桂青，赵海杰，赵财胜，李向前，侯可军，潘怀军. 鄂东南铜绿山矿田矽卡岩型铜铁金矿床的辉钼矿 Re-Os 同位素年龄及其地质意义[J]. 矿床地质，2009，28(3)：227－239.
Xie Guiqing, Zhao Haijie, Zhao Caisheng, Li Xiangqian, Hou Kejun, Pan Huaijun. Re-Os dating of molybdenite from Tonglvshan ore district in southeastern Hubei Province, Middle-Lower Yangtze River belt and its geological significance [J]. Mineral Deposits, 2009, 28(3): 227－239. (in Chinese with English abstract)

[46] 舒全安，陈培良，程建荣. 鄂东铁铜矿产地质[M]. 北京：冶金工业出版社，1992：1－532.
Shu Quan'an, Chen Peiliang, Cheng Jianrong. Geology of iron-copper deposits in eastern Hubei Province, China[M]. Beijing: Metallurgic Industry Press, 1992: 1－532. (in Chinese)

[47] 陈江峰，李学明，周太禧，Foland K A. 安徽月山岩体的 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 及与其有关的成矿时代估计[J]. 现代地质，1991，5(1)：91－99.
Chen Jiangfeng, Li Xueming, Zhou Taixi, Foland K A. $^{40}Ar/^{39}Ar$ dating for the Yueshan diorite, Anhui Province and the estimated formation time of the association ore deposit[J]. Geoscience, 1991, 5 (1): 91 － 99. (in Chinese with English abstract)

[48] 周涛发，袁峰，张鑫，岳书仓. 安庆铜牛井热液脉型铜、钼、金矿床石英的 ^{40}Ar-^{39}Ar 快中子活化年龄[J]. 地质论评，2003，49(2)：212－216.
Zhou Taofa, Yuan Feng, Zhang Xin, Yue Shucang. ^{40}Ar-^{39}Ar fast neutron activation dating of quartz from the Tongniujing vein-type Cu-Mo-Au deposit, Anqing, Anhui Province [J]. Geological Review, 2003, 49(2): 212－216. (in Chinese with English abstract)

[49] Wu G G, Zhang D, Di Y J, Zang W S, Zhang X X, Song B, Zhang Z Y. SHRIMP zircon U-Pb dating of the intrusives in the Tongling metallogenic cluster and its dynamic setting[J]. Science in China (series D) (*English Edition*), 2008, 51(7): 911－928.

[50] 吴才来，董树文，国和平，郭祥炎，高前明，刘良根，陈其龙，雷敏，Wooden J L, Mazadab F K, Mattinson C. 铜陵狮子山地区中酸性侵入岩定年及岩浆作用的深部过程[J]. 岩石学报，2008，24(8)：1801－1812.
Wu Cailai, Dong Shuwen, Guo Heping, Guo XiangYan, Gao Qianming, Liu Lianggen, Chen Qilong, Lei Min, Wooden J L, Mazadab F K, Mattinson C. SHRIMP zircon U-Pb dating of intermediate-acid intrusive rocks from Shizishan, Tongling and the deep processes of magmatism[J]. Acta Petrologica Sinica, 2008, 24(8): 1801－1812. (in Chinese with English abstract)

[51] 梅燕雄，毛景文，李进文，杜安道. 安徽铜陵大团山铜矿床层状矽卡岩矿体中辉钼矿 Re-Os 年龄测定及其地质意义[J]. 地球学报，2005，26(4)：327－331.
Mei Yanxiong, Mao Jingwen, Li Jinwen, Du Andao. Re-Os dating of molybdenite from stratiform skarn orebodies in the Datuanshan copper deposit, Tongling, Anhui Province, and its geological significance [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2005, 26 (4): 327－331. (in Chinese with English abstract)

[52] 王立本，季克俭，陈东. 安基山和铜山铜(钼)矿床中辉钼矿的铼-锇同位素年龄及其意义[J]. 岩石矿物杂志，1997，16(2)：154－159.
Wang Liben, Ji Kejian, Chen Dong. Re-Os isotope ages of molybdenite from the Anjishan copper deposit and the Tongsshan Cu-Mo deposit and their implications[J]. Acta Petrologica Et Mineralogica, 1997, 16(2): 154－159. (in Chinese with English abstract)

[53] 王强，赵振华，简平，许继峰，包志伟，马金龙. 德兴花岗闪长斑岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学和 Nd-Sr 同位素地球化学[J]. 岩石学报，2004，20(2)：315－324.
Wang Qiang, Zhao Zhenhua, Jian Ping, Xu Jifeng, Bao Zhiwei, Ma Jinlong. SHRIMP zircon geochronology and Nd-Sr isotopic geochemistry of the Dexing granodiorite porphyries [J]. Acta Petrologica Sinica, 2004, 20 (2): 315 － 324. (in Chinese with English abstract)

[54] Lu J J, Hua R M, Yao C L. Re-Os age for molybdenite from the Dexing porphyry Cu-Au deposits in Jiangxi Province, Chi-

na[J]. Geochim. Cosmochim. Acta, 2005, 69(suppl. A): 882.

[55] 吴良士，邹晓秋. 江西城门山铜钼矿床 Re-Os 同位素年龄研究[J]. 矿床地质，1997，16(4)：376－381.
Wu Liangshi, Zou Xiaoqiu. Re-Os isotopic age study of the Chengmenshan copper deposit, Jiangxi Province[J]. Mineral Deposits, 1997, 16(4): 376－381. (in Chinese with English abstract)

[56] 满发胜，王小松. 阳储岭斑岩型钨钼矿床同位素地质年代学研究[J]. 矿产与地质，1988，2(3)：61－67.
Man Fasheng, Wang Xiaosong. Study on the isotope geochronology of Yangchuling porphyry type of tungsten and molybdenum deposit[J]. Mineral Resources and Geology, 1988, 2(3): 61－67. (in Chinese with English abstract)

[57] 刘珺，毛景文，叶会寿，杨国强，章伟. 江西省武功山地区浒坑花岗岩的锆石 U-Pb 定年及元素地球化学特征[J]. 岩石学报，2008，24(8)：1819－1822.
Liu Jun, Mao Jingwen, Ye Huishou, Yang Guoqiang, Zhang Wei. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of Hukeng granite in Wugongshan area, Jiangxi Province and its geochemical characteristics[J]. Acta Petrologica Sinica, 2008, 24(8): 1819－1822. (in Chinese with English abstract)

[58] 刘珺，叶会寿，谢桂青，杨国强，章伟. 江西省武功山地区浒坑钨矿床辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义[J]. 地质学报，2008，82(11)：1572－1579.
Liu Jun, Ye Huishou, Xie Guiqing, Yang Guoqiang, Zhang Wei. Re-Os dating of molybdenite from the Hukeng tungsten deposit in the Wugongshan area, Jiangxi Province, and its geological implications[J]. Acta Geologica Sinica, 2008, 82(11): 1572－1579. (in Chinese with English abstract)

[59] 伍光英，马铁球，柏道远，李金冬，车勤建，王先辉. 湖南宝山花岗闪长质隐爆角砾岩的岩石学、地球化学特征及锆石 SHRIMP 定年[J]. 现代地质，2005，19(2)：198－204.
Wu Guangying, Ma Tieqiu, Bai Daoyuan, Li Jindong, Che Qinjian, Wang Xianhui. Petrological and geochemical characteristics of granodioritic cryptoexplosion breccia and zircon SHRIMP dating in the Baoshan area, Hunan Province[J]. Geoscience, 2005, 19(2): 198－204. (in Chinese with English abstract)

[60] 路远发，马丽艳，屈文俊，梅玉萍，陈希清. 湖南宝山铜-钼多金属矿床成岩成矿的 U-Pb 和 Re-Os 同位素定年研究[J]. 岩石学报，2006，22(10)：2483－2492.
Lu Yuanfa, Ma Liyan, Qu Wenjun, Mei Yuping, Chen Xiqing. U-Pb and Re-Os isotope geochronology of Baoshan Cu-Mo polymetallic ore deposit in Hunan Province[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(10): 2483－2492. (in Chinese with English abstract)

[61] 姚军明，华仁民，林锦富. 湘东南黄沙坪花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及岩石地球化学特征[J]. 岩石学报，2005，21(3)：688－696.
Yao Junming, Hua Renmin, Lin Jinfu. Zircon LA-ICPMS U-Pb dating and geochemical characteristics of Huangshaping granite in southeast Hunan Province, China[J]. Acta Petrologica Sinica, 2005, 21(3): 688－696. (in Chinese with English abstract)

[62] 马丽艳，路远发，屈文俊，付建明. 湖南黄沙坪铅锌多金属矿床的 Re-Os 同位素等时线年龄及其地质意义[J]. 矿床地质，2007，26(4)：425－431.
Ma Liyan, Lu Yuanfa, Qu Wenjun, Fu Jianming. Re-Os isotopic chronology of molybdenites in Huangshaping lead-zinc deposit, southeast Hunan, and its geological implications[J]. Mineral Deposits, 2007, 26(4): 425－431. (in Chinese with English abstract)

[63] 毛景文，谢桂青，李晓峰，张长青，梅燕雄. 华南地区中生代大规模成矿作用与岩石圈多阶段伸展[J]. 地学前缘，2004，11(1)：45－55.
Mao Jingwen, Xie Guiqing, Li Xiaofeng, Zhang Changqing, Mei Yanxiong. Mesozoic large scale mineralization and multiple lithospheric extension in South China[J]. Earth Science Frontiers, 2004, 11(1): 45－55. (in Chinese with English abstract)

[64] 李红艳，毛景文，孙亚利，邹晓秋，何红蓼，杜安道. 柿竹园钨多金属矿床的 Re-Os 同位素等时线年龄研究[J]. 地质论评，1996，42(3)：261－267.
Li Hongyan, Mao Jingwen, Sun Yali, Zou Xiaoqiu, He Hongnie, Du Andao. Re-Os isotopic chronology of molybdenites in the Shizhuyuan polymetallic tungsten deposit[J]. Geological Review, 1996, 42(3): 261－267. (in Chinese with English abstract)

[65] 李艳军，魏俊浩，姚春亮，鄢云飞，谭俊，付乐兵，潘锦勃，李伟. 浙东南石平川花岗岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学及构造意义[J]. 地质论评，2009，55(5)：673－684.
Li Yanjun, Wei Junhao, Yao Chunliang, Yan Yunfei, Tan Jun, Fu Lebing, Pan Jinbo, Li Wei. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating and tectonic significance of the Shipingchuan granite in Southeastern Zhejiang Province, SE China[J]. Geological Review, 2009, 55(5): 673－684. (in Chinese with English abstract)

[66] 肖广玲，孙晓雁，李艳军，潘锦勃. 浙东南石平川钼矿床地质特征、成矿时代及成因[J]. 地质科技情报，2010，29(1)：74－79.
Xiao Guangling, Sun Xiaoyan, Li Yanjun, Pan Jinbo. Geology and genesis of the Shipingchuan Molybdenum Deposit, Southeastern Zhejiang Province[J]. Geological Science and Technology Information, 2010, 29(1): 74－79. (in Chinese with English abstract)

[67] 刘文章. 福建行洛坑钨钼矿床成矿地质特征[A]. 余鸿彰，主编. 钨矿地质讨论会论文集[C]. 北京：地质出版社，1984：105－114.
Liu Wenzhang. Geologic characteristics of Xingluokeng Mo deposit, Fujian Province[A]. Yu Hongzhang, ed. Proceedings of symposium on tungsten geology[C]. Beijing: Geological Publishing House, 1984: 105－114. (in Chinese)

[68] 张家菁，陈郑辉，王登红，陈振宇，刘善宝，王成辉. 福建行洛坑大型钨矿的地质特征、成矿时代及其找矿意义[J]. 大地构造与成矿学，2008，32(1)：92－97.

Zhang Jiajing, Chen Zhenghui, Wang Denghong, Chen Zhenyu, Liu Shanbao, Wang Chenghui. Geological characteristics and metallogenic epoch of the Xingluokeng tungsten deposit, Fujian Province[J]. Geotectonica Et Metallogenia, 2008, 32(1): 92—97.(in Chinese with English abstract)

[69] 周鸿年，何耀基. 赤路斑岩钼矿床同位素地质特征及其物质来源探讨[J]. 福建地质，1983,2:1—12.
Zhou Hongnian, He Yaoji. Discussion on the characteristics of isotope geology of porphyry molybdenum at Chilu and its source of ore material[J]. Geology of Fujian, 1983,2:1—12.(in Chinese with English abstract)

[70] 张克尧，王建平，杜安道，林仟同，黄金明，胡荣华，黄庆敏. 福建福安赤路钼矿床辉钼矿 Re-Os 同位素年龄及其地质意义[J]. 中国地质，2009，36(1)：147—155.
Zhang Keyao, Wang Jianping, Du Andao, Lin Qiantong, Huang Jinming, Hu Ronghua, Huang Qingming. Re-Os isotopic dating of molybdenite from the Chilu molybdenum deposit in Fu'an,Fujian Province[J]. Geology in China, 2009, 36(1): 147—155.(in Chinese with English abstract)

[71] 罗锦昌，陈郑辉，屈文俊. 福建省永定山口钼矿辉钼矿铼-锇同位素定年及其地质特征[J]. 岩矿测试，2009，28(3)：254—258.
Luo Jinchang, Chen Zhenghui, Qu Wenjun. Re-Os isotopic dating of molybdenite from the Shankou molybdenum deposit in Yongding County of Fujian Province and its geological significance[J]. Rock and Mineral Analysis, 2009, 28(3): 254—258.(in Chinese with English abstract)

[72] 王磊，胡明安，杨振，陈开旭，夏金龙. 粤北大宝山矿区花岗闪长斑岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 地球科学，2010，35(2)：175—185.
Wang Lei, Hu Ming'an, Yang Zhen, Chen Kaixu, Xia Jinlong. LA-ICP-MS zircon U-Pb Dating of the granodiorite porphyries in Dabaoshan deposit,North Guangdong, and its geological significance[J]. Earth Science, 2010, 35(2): 175—185.(in Chinese with English abstract)

[73] 谭俊，魏俊浩，谭文娟，郭大招. 同源岩浆成因金矿成岩成矿时差的统计研究[J]. 地质论评，2006，52(1)：54—62.
Tan Jun, Wei Junhao, Tan Wenjuan, Guo Dazhao. Statistic study of diagenesis—Mineralization time gap for comagmatic gold deposits[J]. Geological Review, 2006, 52(1): 54—62.(in Chinese with English abstract)

[74] 卢欣祥，于在平，冯有利，王义天，马维峰，崔海峰. 东秦岭深源浅成型花岗岩的成矿作用及地质构造背景[J]. 矿床地质，2002，21(2)：168—178.
Lu Xinxiang, Yu Zaiping, Feng Youli, Wang Yitian, Ma Weifen, Cui Haifeng. Mineralization and tectonic setting of deep- hypabyssal granites in East Qinling Mountain[J]. Mineral Deposits, 2002, 21(2): 168—178.(in Chinese with English abstract)

[75] 黄典豪，聂凤军，王义昌，江秀杰. 东秦岭钼矿床铅同位素组成特征及成矿物质来源初探[J]. 矿床地质，1984,3(4)：20—28.
Huang Dianhao, Nie Fengjun, Wang Yichang, Jiang Xiujie. Lead isotope compositions of molybdenum deposits in East Qinling as applied to the problem of ore sources[J]. Mineral Deposits, 1984, 3(4): 20—28.(in Chinese with English abstract)

[76] 张兆昆. 吉林省有色金属矿床类型及其典型矿床的地质特征[J]. 吉林地质，1988，7(2)：102—114.
Zhang Zhaokun. Nonferrous metal deposit types in Jilin Province and the geological features of typical deposits[J]. Jilin Geology, 1988, 2: 102—114.(in Chinese with English abstract)

[77] 孟良义，黄恩邦. 城门山铜、钼矿床的稳定同位素地质[J]. 吉林大学学报(地球科学版)，1988，18(3)：269—276.
Meng Liangyi, Huang Enbang. The stable isotopic geology of copper, molybdenum ore deposits in Chengmenshan Jiangxi[J]. Journal of Jiling University (*Earth Science Edition*), 1988, 18(3): 269—276.(in Chinese with English abstract)

[78] 黄恩邦，张乃堂，罗剑生. 城门山、武山铜矿成因[J]. 矿床地质，1990，9(4)：291—300.
Huang Enbang, Zhang Naitang, Luo Jiansheng. The genesis of the Chengmenshan and Wushan copper deposits[J]. Mineral Deposits, 1990, 9(4): 291—300.(in Chinese with English abstract)

[79] 罗建安，杨国才. 江西城门山铜矿地质特征及矿床成因[J]. 矿产与地质，2007，21(3)：284—288.
Luo Jian'an, Yang Guocai. Geological characteristics of Chengmenshan copper deposit, Jiangxi and its ore genesis [J]. Mineral Resources and Geology, 2007, 21(3): 284—288.(in Chinese with English abstract)

[80] 申永治. 兰家沟钼矿床同位素年代学研究[J]. 辽宁地质，1989，4：312—320.
Shen Yongzhi. Studies on chronology of isotopes in molybdenum deposit of Lanjiagou[J]. Liaoning Geology, 1989, 4: 312—320.(in Chinese with English abstract)

[81] 胡受奚，林潜龙，陈泽铭. 华北与华南古板块拼合带地质和成矿[M]. 南京：南京大学出版社，1988：442—488.
Hu Shouxi, Lin Qianlong, Chen Zeming. Geology and mineralization of North and South China blocks suture[M]. Nanjing: Nanjing University Press, 1988: 442—488.(in Chinese)

[82] Cathles L M, Erendi A H, Barrie T. How long can a hydrothermal system be sustained by a single intrusive event? [J]. Economic Geology, 1997, 92: 766—771.

[83] 沈福农. 花岗岩与热液成矿关系剖析——三论深源热液成矿模式[M]. 北京：地质出版社，1993：7—8.
Shen Funong. Analysis of the relationship between granites and hydrothermal mineralization: Three discussions on the deep-source model of hydrothermal mineralization[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993:7—8.(in Chinese)

[84] 马昌前，杨坤光，唐仲华. 花岗岩类岩浆动力学[M]. 武汉：中国地质大学出版社，1994：97—99.
Ma Changqian, Yang Kunguang, Tang Zhonghua. Granitoid magma dynamics[M]. Wuhan: China Univeristy of Geosciences Press, 1994: 97—99.(in Chinese)