

doi: 10.12029/gc20160524

李瑞玲, 段超, 陈志宽, 等. 太行山北段赤瓦屋铜钨矿化区花岗质岩石的锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 中国地质, 2016, 43(5): 1761-1770.  
Li Ruiling, Duan Chao, Chen Zhikuan, et al. Zircon U-Pb age of granitoid from the Chiwawu Cu-W occurrence in Northern Taihang Mountain and its implications[J]. Geology in China, 2016, 43(5): 1761-1770(in Chinese with English abstract).

## 太行山北段赤瓦屋铜钨矿化区花岗质岩石的锆石 U-Pb 年龄及其地质意义

李瑞玲<sup>1</sup> 段超<sup>2</sup> 陈志宽<sup>3</sup> 李伟<sup>2</sup> 张志远<sup>2</sup>

(1. 中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037; 2. 中国地质科学院矿产资源研究所/国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037; 3. 河北省保定地质工程勘察院, 河北 保定 071051)

**摘要:** 太行山北段位于华北克拉通中部, 以发育中生代中酸性岩浆岩及多个大中型斑岩-矽卡岩铜钨矿床和金矿床为主要特征, 最近在南部赤瓦屋岩体内部发现新类型铜钨矿体。文章选择赤瓦屋岩体为对象, 开展不同岩相详细的野外地质和锆石 U-Pb 测年工作, 确定赤瓦屋岩体不同岩性的成岩时代, 探讨其地质意义。研究表明, 赤瓦屋岩体有边缘相石英闪长岩、边缘相花岗闪长岩和中心相斑状花岗闪长岩及晚期中酸性岩脉, 其中铜钨矿化主要发育于中心相斑状花岗闪长岩。石英闪长岩、花岗闪长岩、斑状花岗闪长岩和花岗闪长斑岩脉的锆石 U-Pb 谐和年龄分别为  $(134 \pm 1)$  Ma、 $(133 \pm 1)$  Ma、 $(131 \pm 2)$  Ma 和  $(128 \pm 1)$  Ma, 表明赤瓦屋岩体不同岩相体形成于早白垩世(134~131 Ma)。结合区域年代学资料, 提出太行山北段晚中生代至少存在两期岩浆-成矿事件。

**关键词:** 太行山北段; 赤瓦屋岩体; 铜钨矿; 锆石 U-Pb 年龄

中图分类号: P597.3; P585; P581 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2016)05-1761-10

## Zircon U-Pb age of granitoid from the Chiwawu Cu-W occurrence Northern Taihang Mountain and its implications

LI Rui-ling<sup>1</sup>, DUAN Chao<sup>2</sup>, CHEN Zhi-kuan<sup>3</sup>, LI Wei<sup>2</sup>, ZHANG Zhi-yuan<sup>2</sup>

(1. Development and Research Center, China Geological Survey, Beijing 100037, China; 2. Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Ministry of Land and Resources, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 3. Baoding Institute of Geological Engineering and Exploration of Hebei Province, Baoding 071051, Hebei, China)

**Abstract:** The Northern Taihang Mountain is located in the central part of North China Craton, characterized by Mesozoic intermediate-acid magmatic rocks and plenty of important porphyry-skarn Cu-Mo deposits and hydrothermal gold deposits. A new Cu-W orebody within the Chiwawu granitoid was recently discovered in the southernmost part. The authors conducted field survey and zircon U-Pb dating of different granitic petrofacies from the Chiwawu Cu-W ore district, and then used the data obtained to

收稿日期: 2016-06-01; 改回日期: 2016-07-01

基金项目: 中国地质调查局地质调查工作项目(12120113093600)资助。

作者简介: 李瑞玲, 女, 1975年生, 副研究员, 地球化学专业; E-mail: lrlgz@sohu.com。

constrain the timing and origin of granitic rocks. The Chiwawu pluton shows obviously textural and compositional variation from the inner part to the outer part, ranging from porphyritic granodiorite at the inner part, granodiorite at the transition part to quartz diorite at the periphery and several porphyry dykes. These new zircon LA-ICPMS U-Pb analyses of quartz diorite, granodiorite, porphyritic granodiorite and granodiorite porphyry dyke yielded excellent concordant ages of  $134 \pm 1$  Ma,  $133 \pm 1$  Ma,  $131 \pm 2$  Ma and  $128 \pm 1$  Ma, respectively, indicating that the Chiwawu pluton was formed during the Early Cretaceous period (134–131 Ma). Combined with available chronologic data, the authors recognized two regional magmatic-metallogenic events during the Mesozoic time in Northern Taihang Mountain.

**Key words:** Northern Taihang Mountain; Chiwawu pluton; Cu-W occurrence; zircon U-Pb dating

**About the first author:** LI Rui-ling, female, born in 1975, associate researcher, majors in the study of geochemistry; E-mail: lrlgz@sohu.com.

**Fund support:** Supported by China Geological Survey Program (No. 12120113093600).

## 1 前 言

太行山存在重力梯度带是华北克拉通最显著的地质特征之一,该梯度带两侧的地貌、大地热流值、地壳厚度和岩石圈厚度存在明显的差异,造成这种差异的原因是华北岩石圈减薄存在时空不均一性<sup>[1]</sup>。沿该重力梯度带北东向发育大量的晚中生代侵入—火山岩带,特别是在太行山北段。前人对这些侵入岩开展了大量的年代学和地球化学研究<sup>[2-3]</sup>,取得了重要进展。同时在太行山中北段探明存在多个中小型矽卡岩铜多金属矿<sup>[4-5]</sup>和石湖大型金矿床<sup>[6]</sup>。近几年在该地区新探明了木吉村大型斑岩型铜(钼)矿<sup>[7]</sup>和安妥岭大型斑岩型钼矿<sup>[8]</sup>,暗示太行山北段具有很大的找矿潜力。区域地质工作显示,赤瓦屋岩体是太行山北段南部典型的杂岩体<sup>[9]</sup>,前人虽然对该岩体开展过一些锆石测年工作,但多限于岩体边缘相石英闪长岩的研究<sup>[10-13]</sup>,最近的找矿工作新类型铜钼矿体主要集中于岩体中心相斑状花岗闪长岩。因此,本文对赤瓦屋岩体不同岩相开展详细的锆石U-Pb测年工作,结合区域含矿岩体的年代学资料,以期对太行山北段中生代金属矿床的成矿规律有更明确的认识。

## 2 区域地质

研究表明,太行山北段的构造演化大致经历了3个主要阶段,分别为太古宙变质基底形成阶段、元古宙至古生代稳定发展阶段和中生代活化阶段<sup>[14]</sup>。阜平杂岩是华北克拉通太古宙变质结晶基底的一部分,现今表现为NE向展布的穹隆状构造,主要岩性为黑云斜长片麻岩、角闪斜长片麻岩、浅粒岩夹

斜长角闪岩,该套岩石地层单元普遍遭受强烈区域变质及混合岩化作用<sup>[15]</sup>。除了阜平杂岩以外,还发育一系列元古宙—侏罗纪沉积地层。岩浆岩是太行山北段中生代活化阶段的产物,沿太行山重力梯度带呈NNE向展布(图1-a),其分布受东、西两侧分布的NNE向紫荆关断裂和乌龙沟断裂带控制<sup>[5]</sup>,由NNE向分布的多个岩基(体)和髻髻山组火山岩组成,由北向南依次发育大河南、王安镇岩基和麻棚、赤瓦屋岩体(图1-b),这些岩体为中性高钾钙碱性花岗质岩石<sup>[2]</sup>。其中王安镇岩基周缘探明了多个斑岩—矽卡岩型多金属矿床,新发现的木吉村大型斑岩铜钼矿和安妥岭大型斑岩型钼矿分别位于该岩基的南缘和北缘;在麻棚岩体西侧1~4 km探明了太行山地区最大的金矿——石湖金矿(图1-b)。

赤瓦屋岩体位于太行山北段北东向岩浆带的南端,该岩体平面上呈近圆状,直径约5 km,面积约63 km<sup>2</sup>。根据前人资料和本次野外地质考察,该岩体由不同岩相组成(图2),自岩体中部向外呈同心圆状展布:中心相为斑状花岗闪长岩,中粗粒斑状结构,向外过渡为细中粒花岗闪长岩;边缘相为细粒石英闪长岩(图3)。不同岩相的黑云母和角闪石含量不同<sup>[9]</sup>,边缘相的黑云母和角闪石含量分别为15%和10%,过渡相分别为10%和5%~10%,中心相角闪石少见,黑云母含量为5%,由边部向内部暗色矿物逐渐减少,暗示岩浆演化程度越来越高。除此以外,还发育大量的南北向花岗闪长斑岩脉。

此次野外观察可见,大小为2~10 m的黑色闪长质包体呈椭圆体和透镜状普遍发育于花岗闪长岩中,与寄主岩体边缘清楚。前人对太行山北段岩体开展过成矿潜力评价,赤瓦屋岩体的岩浆分异指数

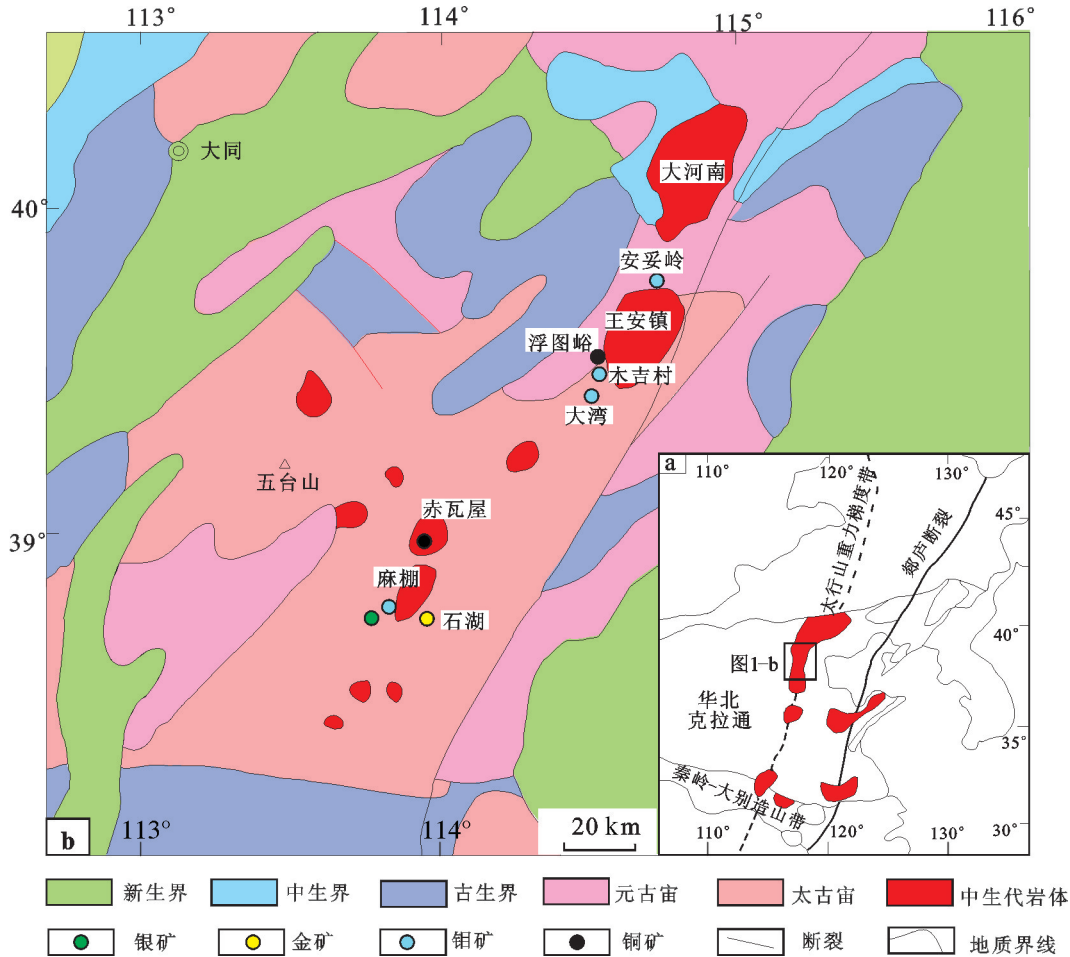


图1 太行山北段地质简图(显示主要岩体和重要矿床分布,据文献[3, 6]修改)

Fig.1 Sketch geological map of Northern Taihang Mountain, showing the distribution of major plutons and deposits (modified after references [3, 6])

(DI)为75.04,轻重稀土元素比值(LREE/HREE)均较高,为20.2,黑云母MgO为12.80%~14.28%,石英Ti含量为 $17 \times 10^{-6}$ ,全岩的氧同位素为8.89%,暗示赤瓦屋岩体具有较大的成矿潜力<sup>[9]</sup>。早期资料显示该岩体有铜矿化,最近地勘队发现中心相斑状花岗闪长岩中发育铜钨多金属矿化,可见早阶段NE向石英黄铁矿白钨矿脉和晚阶段SN向黄铜矿脉,辉钼矿呈细脉浸染状产于岩体中,多与黄铜矿、黄铁矿共生。

### 3 样品采集与测试方法

本次测年工作采集4个不同岩性的样品,分别为石英闪长岩(CWW14)、花岗闪长岩(CWW2)、斑状花岗闪长岩(CWW12)和花岗闪长斑岩脉(CWW1),具体采样位置见图2。将测年样品破碎

后,经常规重力和磁选方法分选出锆石,在双目镜下挑纯。将待测锆石颗粒置于环氧树脂中制靶,然后磨至一半用于后期测试。锆石阴极发光在中国地质科学院地质研究所离子探针室HITACHI S3000-N型扫描电子显微镜上完成。在透射光、反射光显微镜观察及阴极发光研究的基础上,选择合适的锆石颗粒进行锆石U-Pb定年测试。

LA-MC-ICPMS锆石U-Pb定年测试分析在中国地质科学院矿产资源研究所MC-ICP-MS实验室完成,定年分析所用仪器为Finnigan Neptune型MC-ICPMS及与之配套的Newwave UP 213激光剥蚀系统。所用激光剥蚀斑束直径为25 μm,频率为10 Hz,能量密度约为2.5 J/cm<sup>2</sup>,以He为载气。信号较小的<sup>207</sup>Pb、<sup>206</sup>Pb、<sup>204</sup>Pb(+<sup>204</sup>Hg)、<sup>202</sup>Hg用离子计数器(multi-ion-counters)接收,<sup>208</sup>Pb、<sup>232</sup>Th、<sup>238</sup>U信号用法

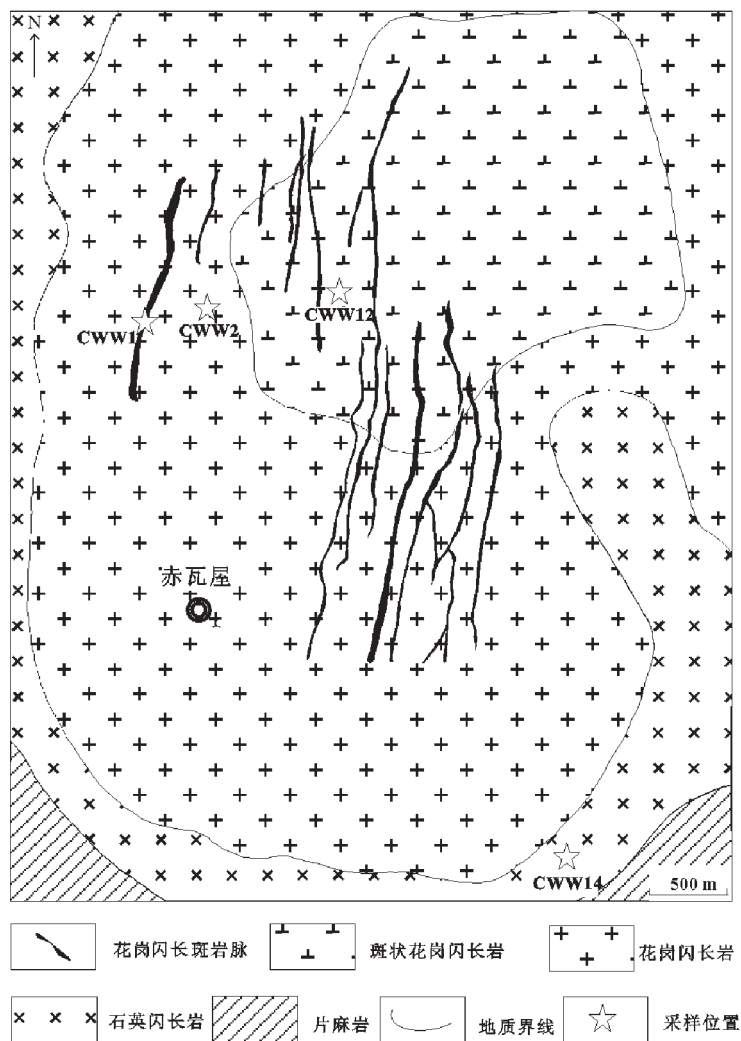
图2 太行山北段赤瓦屋地区地质简图<sup>①</sup>

Fig.2 Sketch geological map of Chiwawu area in Northern Taihang Mountain

拉第杯接收,实现了所有目标同位素信号的同时接收,并且不同质量数的峰基本上都是平坦的,可以获得高精度的数据。均匀锆石颗粒 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 、 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 的测试精度( $2\sigma$ )均为2%左右,对锆石标准样品的定年精度和准确度在1%( $2\sigma$ )左右。LA-MC-ICPMS激光剥蚀采样采用单点剥蚀的方式,数据分析前用锆石GJ-1调试仪器,使之达到最优状态,锆石U-Pb定年以锆石GJ-1为外标,U、Th含量以锆石M257(U:  $923 \times 10^{-6}$ ; Th:  $439 \times 10^{-6}$ ; Th/U: 0.475)<sup>[6]</sup>为外标进行校正。测试过程中每测定5~7个样品前后重复测定2个锆石标准样品,对样品进行校正,并测量一个锆石标准Plesovice,观察仪器的状态以保证测试精确度。数据处理采用

ICPMSDataCal程序,测量过程中绝大多数分析点 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} > 1000$ ,未进行普通铅校正, $^{204}\text{Pb}$ 由离子计数器检测, $^{204}\text{Pb}$ 含量异常高的分析点可能受包体等普通Pb的影响,在计算时予以剔除,锆石年龄谐和图用Isoplot 3.0程序获得。样品分析过程中,Plesovice标样作为未知样品的分析结果为( $337.3 \pm 1.1$ )Ma ( $n=5, 2\sigma$ ),对应的年龄推荐值为( $337.13 \pm 0.37$ )Ma ( $2\sigma$ )<sup>[7]</sup>,两者在误差范围内完全一致,测试数据精度较好。

#### 4 分析结果

赤瓦屋不同岩相花岗质岩石的锆石U-Pb分析测试结果见表1,锆石U-Pb谐和图见图4。由图4

<sup>①</sup>河北省保定地质工程勘察院. 河北省阜平县赤瓦屋铜多金属矿区地形地质图. 2013.



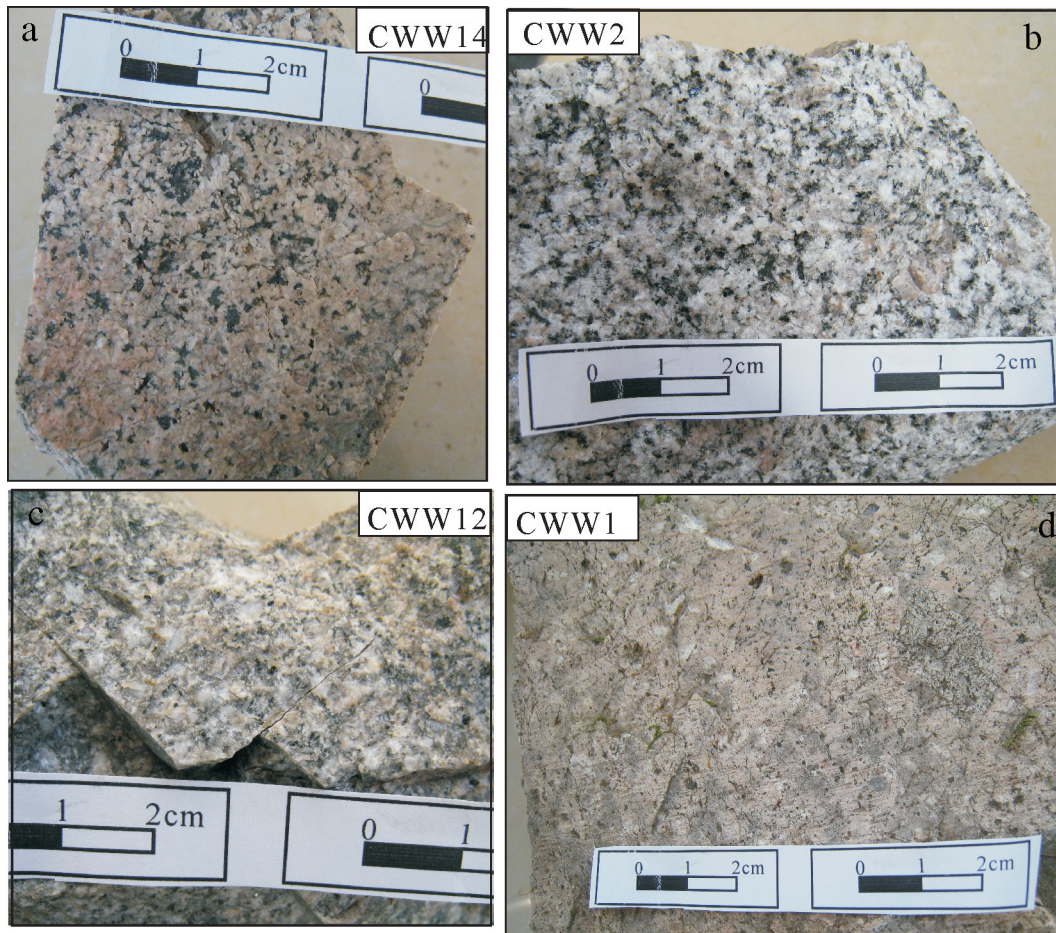


图3 太行山北段赤瓦屋地区4种不同岩性的手标本照片

Fig.3 Photo for four different petrologic characters of granitoids in Chiawu area of Northern Taihang Mountain

可知,石英闪长岩样品CWW14锆石多呈长柱状,长为80~250  $\mu\text{m}$ ,宽为40~120  $\mu\text{m}$ 。本文对石英闪长岩中15颗锆石进行年代学测试,Th和U含量分别为 $100 \times 10^{-6}$ ~ $306 \times 10^{-6}$ 和 $150 \times 10^{-6}$ ~ $347 \times 10^{-6}$ ,其Th/U为0.4~1.5(表1),谐和年龄为(134 $\pm$ 1) Ma,MSWD=3.4;加权平均年龄为(134 $\pm$ 2) Ma,MSWD=0.62(图4-a)。

花岗闪长岩样品CWW2锆石多呈长柱状,锆石长20~320  $\mu\text{m}$ ,宽40~120  $\mu\text{m}$ 。本文分析了花岗闪长岩中23颗锆石,Th和U含量分别为 $59.2 \times 10^{-6}$ ~ $197 \times 10^{-6}$ 和 $105 \times 10^{-6}$ ~ $289 \times 10^{-6}$ ,其Th/U为0.4~1.0(表1),谐和年龄为(133 $\pm$ 1) Ma,MSWD=2.3;加权平均年龄为(133 $\pm$ 2) Ma,MSWD=0.37(图4-b)。

斑状花岗闪长岩样品CWW12锆石多呈长柱状,锆石长120~500  $\mu\text{m}$ ,宽80~100  $\mu\text{m}$ 。本文分析了斑

状花岗长岩中12粒锆石,Th和U含量分别为 $88.6 \times 10^{-6}$ ~ $492 \times 10^{-6}$ 和 $227 \times 10^{-6}$ ~ $596 \times 10^{-6}$ ,其Th/U为0.3~0.8(表1),谐和年龄为(131 $\pm$ 2) Ma,MSWD=2.6;加权平均年龄为(132 $\pm$ 4) Ma,MSWD=0.68(图4-c)。

花岗闪长斑岩脉样品CWW1锆石多呈长柱状,锆石长200~360  $\mu\text{m}$ ,宽10~100  $\mu\text{m}$ 。本文分析了斑状花岗长岩中28粒锆石,Th和U含量分别为 $45.6 \times 10^{-6}$ ~ $1303 \times 10^{-6}$ 和 $83.1 \times 10^{-6}$ ~ $775 \times 10^{-6}$ ,其Th/U比值为0.4~1.7(表1),谐和年龄为(128 $\pm$ 1) Ma,MSWD=6.2;加权平均年龄为(128 $\pm$ 1) Ma,MSWD=2.4(图4-d)。

## 5 讨论

### 5.1 赤瓦屋岩体时代

赤瓦屋岩体位于太行山北段中生代岩浆带的南部(图1-b),其形成时代受到高度关注。喻学惠

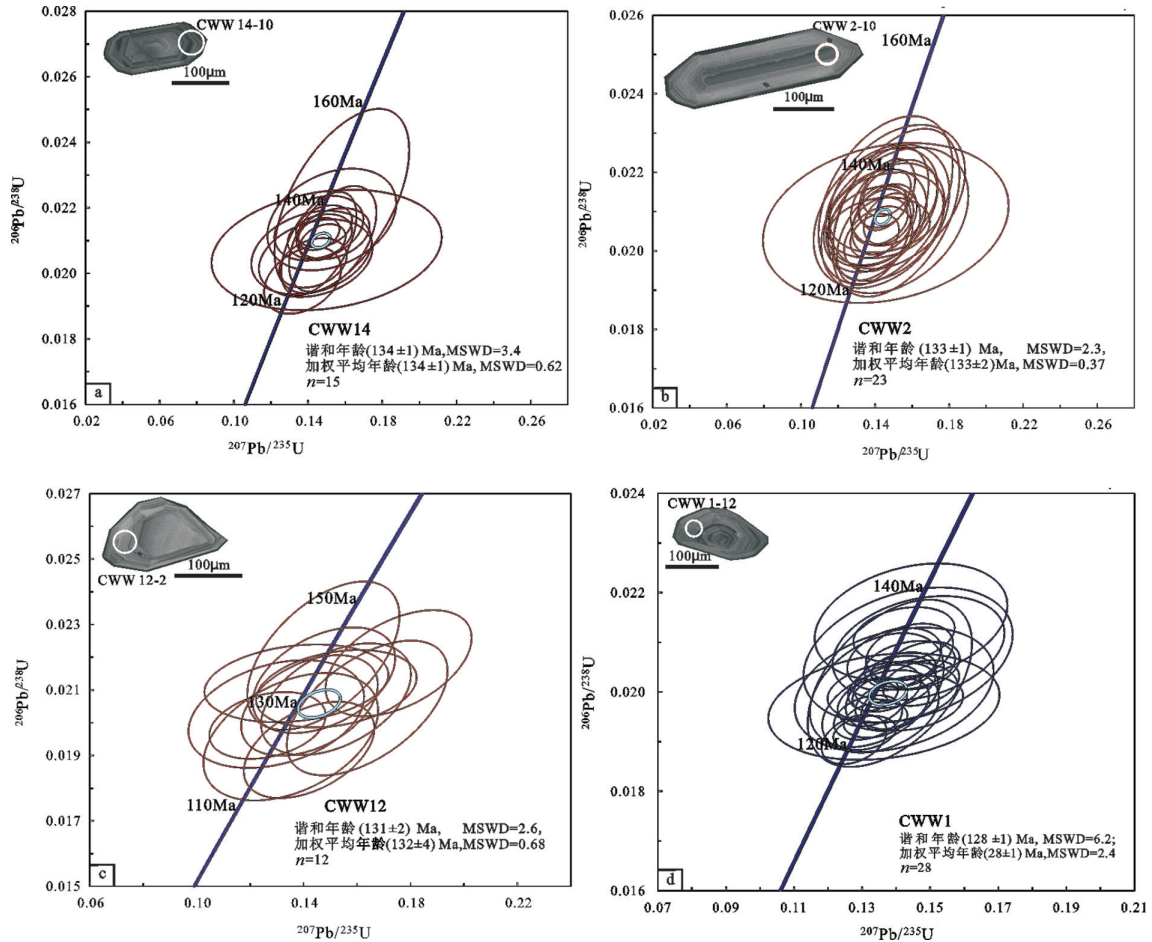


图4 太行山北段赤瓦屋地区不同岩相花岗岩体锆石U-Pb谐和图

Fig.4 Zircon LA-ICPMS U-Pb concordia diagrams for different petrofacies of granitoids in the Chiawawu area of Northern Taihang Mountain

等<sup>[5]</sup>提出该岩体由同心环状的不同岩相带(石英闪长岩、花岗闪长岩和斑状花岗闪长岩)组成,全岩Rb-Sr等时线年龄为135.2 Ma;刘阳等<sup>[10]</sup>利用SHRIMP测年获得该岩体北部和西部边缘相石英闪长岩的锆石U-Pb年龄分别为(134.0±5.3) Ma和(139.8±3.1) Ma;李林林等<sup>[12]</sup>获得该岩体西部边缘相石英闪长岩的LA-ICPMS锆石U-Pb年龄为(126.4±2.4) Ma。该岩体北部边缘相花岗闪长岩和闪长岩包体的LA-ICPMS锆石U-Pb年龄分别为(130±1.0) Ma和(128.2±1.5) Ma<sup>[13]</sup>。

如前文所述,赤瓦屋岩体除边缘相石英闪长岩外,还存在过渡相花岗闪长岩、中心相斑状花岗闪长岩和后期酸性岩脉,已有的锆石U-Pb测年工作主要集中于边缘相<sup>[10,12-13]</sup>。本文获得赤瓦屋岩体边缘相石英闪长岩、边缘相花岗闪长岩、中心相斑状

花岗闪长岩和后期花岗闪长岩岩脉的锆石LA-ICPMS谐和年龄分别为(134±1) Ma、(133±1) Ma、(131±2) Ma和(128±1) Ma,其中本次边缘相的锆石U-Pb年龄与前人获得的锆石U-Pb年龄在误差范围内基本一致,表明本次测年数据是可靠的。本文测年数据表明,赤瓦屋岩体不同岩相体形成时代(134~131 Ma)在误差范围内基本一致,暗示岩浆经历了快速侵位、快速冷却结晶的地质过程,类似于邻区的麻棚岩体<sup>[12]</sup>。据野外实地观察,赤瓦屋岩体形成时代(134~131 Ma)略早于花岗闪长斑岩脉(128 Ma),这些与地质穿插关系观察一致。因此,赤瓦屋杂岩体形成于早白垩世,与太行山北段岩基和岩体的时代基本一致(见下文讨论)。

## 5.2 两期岩浆-成矿事件

由图1-a可知,NE向太行山北段岩浆带位于重



表1 太行山北段赤瓦屋铜钨矿区不同岩相的花岗质岩石的锆石U-Pb年龄测年结果

Table 1 LA-ICPMS zircon U-Pb data of different petrofacies of granitoids in Chiwawu area, Northern Taihang Mountain

分析样点	Th/ $10^{-6}$	U/ $10^{-6}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}/\text{Ma}$	$1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}/\text{Ma}$	$1\sigma$
CWW14-1	122	272	0.1418	0.0214	0.0206	0.0008	0.4	135	19	132	5
CWW14-2	270	180	0.1455	0.0192	0.0213	0.0013	1.5	138	17	136	8
CWW14-3	193	252	0.1528	0.0229	0.0216	0.0010	0.8	144	20	138	6
CWW14-4	111	280	0.1532	0.0156	0.0211	0.0011	0.4	145	14	134	7
CWW14-5	213	347	0.1500	0.0410	0.0207	0.0012	0.6	142	36	132	8
CWW14-6	107	230	0.1458	0.0134	0.0209	0.0010	0.5	138	12	133	7
CWW14-7	121	184	0.1486	0.0100	0.0214	0.0004	0.7	141	9	137	3
CWW14-8	109	172	0.1534	0.0130	0.0212	0.0005	0.6	145	11	135	3
CWW14-9	306	223	0.1463	0.0115	0.0211	0.0004	1.4	139	10	135	3
CWW14-10	105	256	0.1478	0.0082	0.0210	0.0004	0.4	140	7	134	2
CWW14-11	100	150	0.1426	0.0120	0.0203	0.0005	0.7	135	11	130	3
CWW14-12	118	200	0.1441	0.0202	0.0205	0.0008	0.6	137	18	131	5
CWW14-13	107	171	0.1370	0.0137	0.0198	0.0007	0.6	130	12	126	4
CWW14-14	162	255	0.1458	0.0073	0.0212	0.0003	0.6	138	6	135	2
CWW14-15	106	158	0.1458	0.0158	0.0214	0.0007	0.7	138	14	136	4
CWW2-1	79.4	105	0.1435	0.0242	0.0209	0.0012	0.8	136	21	133	8
CWW2-2	85.2	114	0.1513	0.0226	0.0210	0.0014	0.7	143	20	134	9
CWW2-3	120	162	0.1502	0.0154	0.0212	0.0007	0.7	142	14	135	5
CWW2-4	70.4	120	0.1401	0.0183	0.0208	0.0009	0.6	133	16	133	5
CWW2-5	89.4	133	0.1458	0.0438	0.0207	0.0013	0.7	138	39	132	8
CWW2-6	59.2	146	0.1432	0.0170	0.0210	0.0011	0.4	136	15	134	7
CWW2-7	122	192	0.1507	0.0262	0.0208	0.0012	0.6	142	23	133	8
CWW2-8	96.9	159	0.1518	0.0243	0.0214	0.0012	0.6	143	21	136	8
CWW2-9	123	159	0.1390	0.0168	0.0206	0.0007	0.8	132	15	132	4
CWW2-10	115	177	0.1473	0.0089	0.0208	0.0004	0.7	140	8	133	3
CWW2-11	128	183	0.1398	0.0087	0.0204	0.0004	0.7	133	8	130	2
CWW2-12	84.9	188	0.1450	0.0116	0.0208	0.0006	0.5	138	10	133	4
CWW2-13	101	155	0.1464	0.0085	0.0215	0.0004	0.7	139	8	137	2
CWW2-14	189	235	0.1428	0.0098	0.0208	0.0004	0.8	136	9	132	2
CWW2-15	143	289	0.1394	0.0132	0.0204	0.0008	0.5	132	12	130	5
CWW2-16	115	157	0.1436	0.0200	0.0211	0.0010	0.7	136	18	135	6
CWW2-17	94.2	166	0.1457	0.0239	0.0213	0.0014	0.6	138	21	136	9
CWW2-18	197	182	0.1460	0.0208	0.0207	0.0010	1.1	138	18	132	6
CWW2-19	148	280	0.1440	0.0088	0.0211	0.0004	0.5	137	8	135	2
CWW2-20	142	231	0.1461	0.0204	0.0210	0.0007	0.6	138	18	134	4
CWW2-21	108	251	0.1424	0.0180	0.0206	0.0005	0.4	135	16	131	3
CWW2-22	100	171	0.1465	0.0099	0.0214	0.0006	0.6	139	9	137	4
CWW2-23	90.1	140	0.1418	0.0122	0.0203	0.0005	0.6	135	11	130	3
CWW12-1	113	234	0.1298	0.0217	0.0203	0.0011	0.5	124	19	129	7
CWW12-2	89.7	237	0.1422	0.0169	0.0205	0.0010	0.4	135	15	131	6
CWW12-3	120	227	0.1421	0.0161	0.0192	0.0010	0.5	135	14	122	6
CWW12-4	117	292	0.1265	0.0144	0.0199	0.0007	0.4	121	13	127	4
CWW12-5	104	247	0.1353	0.0216	0.0196	0.0013	0.4	129	19	125	8
CWW12-6	88.6	286	0.1523	0.0198	0.0210	0.0008	0.3	144	17	134	5
CWW12-7	492	596	0.1374	0.0227	0.0212	0.0008	0.8	131	20	135	5
CWW12-8	151	287	0.1522	0.0185	0.0207	0.0011	0.5	144	16	132	7
CWW12-9	127	319	0.1477	0.0176	0.0213	0.0011	0.4	140	16	136	7
CWW12-10	114	244	0.1638	0.0198	0.0205	0.0014	0.5	154	17	131	9
CWW12-11	108	276	0.1756	0.0180	0.0218	0.0011	0.4	164	16	139	7
CWW12-12	112	284	0.1474	0.0188	0.0221	0.0015	0.4	140	17	141	9
CWW1-1	110	231	0.1354	0.0113	0.0196	0.0005	0.5	129	10	125	3
CWW1-2	134	326	0.1388	0.0090	0.0199	0.0004	0.4	132	8	127	3
CWW1-3	150	324	0.1277	0.0063	0.0190	0.0003	0.5	122	6	122	2
CWW1-4	563	490	0.1307	0.0061	0.0192	0.0002	1.1	125	5	122	1
CWW1-5	182	289	0.1466	0.0167	0.0209	0.0007	0.6	139	15	133	4
CWW1-6	71.4	159	0.1435	0.0203	0.0207	0.0009	0.5	136	18	132	6
CWW1-7	91.2	236	0.1394	0.0091	0.0207	0.0004	0.4	133	8	132	3
CWW1-8	116	221	0.1439	0.0084	0.0208	0.0004	0.5	137	7	133	2
CWW1-9	80.6	155	0.1390	0.0126	0.0200	0.0004	0.5	132	11	128	3
CWW1-10	89.5	210	0.1423	0.0098	0.0212	0.0004	0.4	135	9	135	2
CWW1-11	139	249	0.1440	0.0088	0.0205	0.0003	0.6	137	8	131	2
CWW1-12	1303	775	0.1339	0.0044	0.0200	0.0002	1.7	128	4	127	1
CWW1-13	147	315	0.1318	0.0066	0.0195	0.0003	0.5	126	6	124	2
CWW1-14	217	347	0.1422	0.0062	0.0204	0.0002	0.6	135	6	130	1
CWW1-15	64.7	146	0.1394	0.0193	0.0200	0.0008	0.4	133	17	128	5
CWW1-16	94.5	249	0.1364	0.0224	0.0197	0.0007	0.4	130	20	126	4
CWW1-17	261	274	0.1476	0.0073	0.0205	0.0003	1.0	140	6	131	2
CWW1-18	143	295	0.1474	0.0074	0.0202	0.0003	0.5	140	7	129	2
CWW1-19	92.2	165	0.1439	0.0105	0.0198	0.0004	0.6	136	9	126	2
CWW1-20	282	364	0.1340	0.0062	0.0194	0.0002	0.8	128	6	124	2
CWW1-21	112	265	0.1330	0.0067	0.0198	0.0003	0.4	127	6	126	2
CWW1-22	45.6	83.1	0.1382	0.0159	0.0202	0.0011	0.5	131	14	129	7
CWW1-23	234	252	0.1397	0.0066	0.0197	0.0003	0.9	133	6	126	2
CWW1-24	132	302	0.1366	0.0071	0.0201	0.0003	0.4	130	6	128	2
CWW1-25	362	399	0.1444	0.0187	0.0214	0.0008	0.9	137	17	137	5
CWW1-26	90.8	198	0.1397	0.0079	0.0202	0.0003	0.5	133	7	129	2
CWW1-27	75.2	183	0.1343	0.0130	0.0200	0.0008	0.4	128	12	128	5

表2 太行山北段晚中生代侵入岩的锆石U-Pb年龄

Table 2 Compilation of isotopic ages for important Late Mesozoic intrusions in Northern Taihang Mountain

岩体矿区	岩性	样号	测试方法	年龄/Ma	数据来源
大河南岩体	石英二长岩	DH-9	SHRIMP	126.7±2.7	[18]
王安镇岩体	辉石闪长岩	WA-3	SHRIMP	138±2	[18]
	石英二长岩	WA-14	SHRIMP	132±2	[18]
	二长岩	XZ-6	SHRIMP	129±2.6	[18]
	基性包体	CW-15	SHRIMP	126.1±2.5	[19]
	闪长质包体	CW-5	SHRIMP	127.9±2.1	[3]
	闪长质包体	CW-9	SHRIMP	128.7±2.1	[3]
赤瓦屋岩体	边缘相石英闪长岩	CWW14	LA-ICPMS	134±1	本文
	过渡相花岗闪长岩	CWW2	LA-ICPMS	133±1	本文
	中心相斑状花岗闪长岩	CWW12	LA-ICPMS	131±2	本文
	晚期花岗闪长斑岩脉	CWW1	LA-ICPMS	128±1	本文
	边缘相石英闪长岩	7120	SHRIMP	134.0±5.3	[10]
	边缘相石英闪长岩	7121	SHRIMP	139.8±3.1	[10]
	边缘相石英闪长岩		LA-ICPMS	126.4±2.4	[12]
	边缘相花岗闪长石	CW1-1	LA-ICPMS	130±1.0	[13]
	边缘相闪长岩包体	CW3-1	LA-ICPMS	128.2±1.5	[13]
	麻棚岩体	过渡相花岗闪长岩	SH003	LA-ICPMS	131±2
中心相斑状二长花岗岩		SH008	LA-ICPMS	131±2	[6]
过渡相花岗闪长岩		7119TW1	SHRIMP	125±3	[11]
过渡相花岗闪长岩		08MP04	LA-ICPMS	125.4±2.0	[12]
中心相似斑状花岗岩		08MP06	LA-ICPMS	126.2±2.0	[12]
中心相花岗岩		YJG16	LA-ICPMS	128.3±1.6	[20]
过渡相闪长岩		YJG1	LA-ICPMS	118.5±1.2	[20]
过渡相闪长岩		YJG-2	LA-ICPMS	125.1±1.1	[20]
过渡相基性包体		YJG-2D	LA-ICPMS	124.3±1.3	[20]
木吉村铜钼矿区		闪长玢岩	MJ1005	LA-ICPMS	144.1±1.2
	闪长玢岩	MJC-3	LA-ICPMS	144.7±1.6	[7]
石湖金矿区	石英闪长岩脉	SH15	LA-ICPMS	130±1	[6]
	石英闪长岩脉	SH300	LA-ICPMS	131±2	[6]

力梯度带附近,其侵入岩的年龄一直受到高度关注,该带已有的晚中生代岩浆岩锆石U-Pb年龄数据见表2。由表2可知,太行山北段大河南岩基的石英二长岩的锆石U-Pb年龄为127 Ma<sup>[18]</sup>;王安镇岩基中酸性岩浆和包体形成于132~126 Ma,东南部辉石闪长岩的锆石U-Pb年龄为138 Ma<sup>[3,18-19]</sup>;赤瓦屋岩体中酸性岩和包体形成于132~126 Ma<sup>[10,12-13]</sup>;麻棚中酸性岩体和包体形成于131~124 Ma<sup>[6,10,12,20]</sup>。除此之外,木吉村斑岩铜矿含矿岩体-闪长玢岩的锆石U-Pb年龄为144.7 Ma<sup>[7]</sup>和144.1 Ma<sup>[21]</sup>,石湖金矿区石英闪长岩脉的锆石U-Pb年龄为130 Ma<sup>[6]</sup>。由此可见,太行山北段晚中生代侵入岩存在2期岩浆事件,分别为144~138 Ma和132~124 Ma,其中以第二期岩浆事件形成大面积的中酸性岩基和岩体为

显著特征,而第一期岩浆事件形成的侵入岩规模相对较小,主要有集中分布于王安镇岩基东南部的辉石闪长岩和木吉村与斑岩铜矿成矿密切相关的闪长玢岩。最近研究表明:木吉村斑岩铜矿区的闪长玢岩是髻髻山火山旋回晚阶段次火山岩相的产物<sup>[7]</sup>,最新测年资料显示,太行山北段和燕山东部北东向发育的髻髻山组火山岩形成于晚侏罗世一早白垩世(151~131 Ma)<sup>[22]</sup>,这些火山岩可能是太行山北段第一期岩浆事件的产物。

太行山北段与晚中生代岩浆事件密切相关的成矿作用存在2期矿化事件,第一期主要为与髻髻山组火山作用相关的斑岩铜钼多金属矿床,如木吉村大型斑岩铜钼矿(图1-b),其辉钼矿Re-Os模式年龄为(138.5±1.9)~(142.7±2.0) Ma<sup>[21]</sup>,5个辉钼矿



Re-Os 样品等时线年龄为  $(142.5 \pm 1.4) \text{ Ma}^{[7]}$ ; 在其南侧 10 km 处的中型大湾斑岩型钼矿(图 1-b)的辉钼矿 Re-Os 模式年龄为  $(144.4 \pm 7.4) \text{ Ma}^{[23]}$ 。位于大河南与王安镇岩基之间大型安妥岭斑岩钼矿(图 1-b)的 5 个辉钼矿 Re-Os 样品等时线年龄为  $(147.3 \pm 3.7) \text{ Ma}^{[8]}$  或  $(147.8 \pm 0.95) \text{ Ma}^{[24]}$ 。

在第二期王安镇岩基周围发现了多个铜金矿床,如在木吉村矿区北侧的浮图峪矿田发现 60 余处铜矿床(或矿点)(图 1-b),金矿床和矿点更是星罗棋布,遍及全区<sup>[5]</sup>,这些铜矿多为矽卡岩铜铁矿<sup>[4]</sup>。目前还缺少对这些中小型矽卡岩铜矿成矿时代的精确测年数据,根据含矿岩体的年龄推测,它们可能为第二期的产物。本次野外实地观察发现,赤瓦屋地区早阶段钨矿和晚阶段铜矿呈脉状产于岩体内部相的斑状花岗闪长岩中  $(131 \pm 2) \text{ Ma}$ ,暗示钨铜矿化形成时代不早于 131 Ma,赤瓦屋铜钨矿化是第二期成矿事件的产物。另外,在麻棚岩体南缘探明了与岩体密切相关的石英脉状金矿(石湖大型金矿)、隐爆角砾岩型银矿和斑岩钼矿<sup>[20]</sup>,石湖金矿区石英闪长岩脉的锆石 U-Pb 年龄为 130 Ma,石湖金矿热液钾长石 K-Ar 年龄为 132~120 Ma<sup>[6]</sup>,麻棚岩体周缘金银钼矿是第二期成矿事件的产物。由此可见,太行山北段晚中生代至少存在两期岩浆-成矿事件,具有较大的找矿潜力。与第一期斑岩型铜钼矿床相比,第二期成矿事件具有成矿类型多样性,晚中生代两期成矿事件特征类似于华南地区<sup>[25]</sup>。

## 6 结 论

(1) 赤瓦屋岩体边缘相石英闪长岩、过渡相花岗闪长岩、中心相斑状花岗闪长岩和后期花岗闪长岩岩脉形成时代分别为  $(134 \pm 1) \text{ Ma}$ 、 $(133 \pm 1) \text{ Ma}$ 、 $(131 \pm 2) \text{ Ma}$  和  $(128 \pm 1) \text{ Ma}$ , 这些数据表明该岩体形成于早白垩世。

(2) 太行山北段晚中生代存在两期岩浆-成矿事件,具有较大的找矿潜力。

### 参考文献(References):

- [1] 徐义刚. 太行山重力梯度带的形成与华北岩石圈减薄的时空差异性有关[J]. 地球科学, 2006, 31:14-22.  
Xu Yigang. Formation of the Taihangshan gravity lineament by the diachronous lithospheric thinning of the North China Craton [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2006, 31(1):14-22 (in Chinese with English Abstract).
- [2] 陈斌, 翟明国, 邵济安. 太行山北段中生代岩基的成因和意义: 主要和微量元素地球化学证据[J]. 中国科学(D 辑), 2002, 32(11): 896-907.  
Chen Bin, Zhai Mingguo, Shao Jian. Origin of the Mesozoic batholiths from the Northern Taihang Orogen and its implication: major and trace elemental constraints [J]. Science in China (Series D), 2002, 32(11): 896-907(in Chinese).
- [3] Chen B, Chen Z C, Jahn B M. Origin of mafic enclaves from the Taihang Mesozoic orogen, north China Craton [J]. Lithos, 2009, 110:343-358.
- [4] 冯钟燕, 于方, 魏绮英. 太行山北段接触交代铜矿的特征、矿液性质和起源[J]. 地质学报, 1984, (2): 143-152.  
Feng Zhongyan, Yu Fang, Wei Qiyang. The geological characteristics of the contact metasomatic copper deposits in Northern Taihang Mountains, China and the properties and origin of their ore-forming solution[J]. Acta Geologica Sinica, 1984, (2): 143-152 (in Chinese with English Abstract).
- [5] 喻学惠, 任建业, 张俊霞. 太行山中段铜-金成矿条件及找矿方向[M]. 北京:地质出版社, 1996: 1-120.  
Yu Xuehui, Ren Jianye, Zhang Junxia. Ore-Forming Condition and Prospect Direction of the copper-Gold Deposits in the Central Taihang Mountains [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996:1-120(in Chinese).
- [6] Li S R, Santosh M, Zhang H F, et al. Inhomogeneous lithospheric thinning in the central North China Craton: Zircon U-Pb and Sr-He-Ar isotopic record from magmatism and metallogeny in the Taihang Mountains [J]. Gondwana Research, 2013, 23:141-160.
- [7] 高永丰, 魏瑞华, 侯增谦, 等. 木吉村斑岩铜矿成矿作用: 华北克拉通中生代岩石圈减薄的响应[J]. 矿床地质, 2011, 30:890-902.  
Gao Yongfeng, Wei Ruihua, Hou Zengqian, et al. Mujicun porphyry copper mineralization: response to Mesozoic thinning of lithosphere in North China Craton[J]. Mineral Deposits, 2011, 30: 890-902 (in Chinese with English Abstract).
- [8] 者萌, 胡建中, 周伟, 等. 河北省安妥岭钼矿床地质特征及辉钼矿 Re-Os 同位素年龄[J]. 现代地质, 2014, 28: 339-347.  
Zhe Meng, Hu Jianzhong, Zhou Wei, et al. Geological characteristics and molybdenite Re-Os isotopic dating of Antuoling molybdenum deposit in Hebei Province[J]. Geoscience, 2014, 28: 339-347 (in Chinese with English abstract).
- [9] 杨殿范, 李高山. 含矿岩体的评价标志——以太行山北段四个岩体为例[J]. 吉林地质, 1994, 13(2): 22-28.  
Yang Dianfan, Li Gaoshan. A Preliminary study on evaluation criteria of ore-bearing intrusive bodies: taking four intrusive bodies in the northern part of the Taihang Mountain as an example [J]. Jilin Geology, 1994, 13(2): 22-28(in Chinese with English Abstract).
- [10] 刘阳, 李程明, 穆一青, 等. 太行山北段赤瓦屋岩体锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其意义[J]. 地质与勘探, 2010, 46(3):

- 442-447.  
Liu Yang, Li Chengming, Mu Yiqing, et al. Zircon SHRIMP U-Pb age of Chiwawu granite complex and its implication in the Northern Taihang Mountain [J]. *Geology and Exploration*, 2010, 46(3): 441-447(in Chinese with English Abstract).
- [11] 刘阳, 李程明, 郑杰, 等. 太行山北段麻棚岩体锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其意义[J]. *地质与勘探*. 2010, 46: 622-627.  
Liu Yang, Li Chengming, Zheng Jie, et al. Zircon SHRIMP U-Pb age of Mapeng granite complex in the Northern Taihang Mountains and its implications [J]. *Geology and Exploration*, 2010, 46: 441-447(in Chinese with English Abstract).
- [12] 李林林, 韩宝福, 苗国均, 等. 太行山阜平杂岩中麻棚赤瓦屋岩体的时代、侵位深度及构造意义[J]. *岩石矿物学杂志*, 2012, 31(3): 289-306.  
Li Linlin, Han Baofu, Miao Guojun, et al. Geochronology, emplacement depth and tectonic implications of the Mapeng-Chiwawu granitic pluton in Fuping Complex of the Taihang Mountains [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2012, 31(3): 289-306(in Chinese with English Abstract).
- [13] He X F, Santosh M. Crustal recycling through intraplate magmatism: Evidence from the Trans-North China Orogen[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2014, 95: 147-163.
- [14] 邓晋福, 莫宣学, 赵海玲, 等. 中国东部岩石圈根/去根作用与大陆“活化”——东亚型大陆动力学模式研究计划[J]. *现代地质*, 1994, 8(3): 349-356.  
Deng Jinfu, Mo Xuanxue, Zhao Hailing, et al. Lithosphere root/de-rooting and activation of the east China Continent[J]. *Journal of China University of Geosciences*, 1994, 8(3): 349-356(in Chinese with English Abstract).
- [15] 河北省地质矿产局. 河北省北京市天津市区域地质志[M]. 北京: 地质出版社. 1989: 1-654.  
Bureau of Geology and Mineral Resources of Hebei Province. Regional Geology of Hebei Province, Beijing and Tianjin City[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1989: 1-654(in Chinese with English Abstract).
- [16] Nasdala L, Hofmeister W, Norberg N, et al. Zircon M257— a homogeneous natural reference material for the ion microprobe U-Pb analysis of zircon [J]. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 2008, 32: 247-265.
- [17] Sláma J, Kosler J, Condon D J, et al. Plesovice zircon — A new natural reference material for U-Pb and Hf isotopic microanalysis[J]. *Chemical Geology*, 2008, 249: 1-35.
- [18] 陈斌, 田伟, 翟明国, 等. 太行山和华北其它地区中生代岩浆作用的锆石 U-Pb 年代学和地球化学特征及其岩浆成因和地球动力学意义[J]. *岩石学报*, 2005, 21(1): 13-24.  
Chen Bin, Tian Wei, Zhai Mingguo, et al. Zircon U-Pb geochronology and geochemistry of the Mesozoic magmatism in the Taihang Mountains and other places of the North China craton with implications for petrogenesis and geodynamic setting[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2005, 21(1): 13-24(in Chinese with English Abstract).
- [19] 陈智超, 陈斌, 田伟. 太行山北段中生代岩基及其包体锆石 U-Pb 年代学和 Hf 同位素性质及其地质意义[J]. *岩石学报*, 2007, 23(2): 295-306.  
Chen Zhichao, Chen Bin, Tian Wei. Zircon U-Pb ages, Hf isotopic compositions and geological significance: a case study of Mesozoic batholiths and mafic enclaves in North Taihang [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2007, 23(2): 295-306 (in Chinese with English Abstract).
- [20] Li Q, Santosh M, Li S R, et al. The formation and rejuvenation of continental crust in the central North China Craton: Evidence from zircon U-Pb geochronology and Hf isotope [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2014, 95: 17-32
- [21] Dong G C, Santosh M, Li S R, et al. Mesozoic magmatism and metallogenesis associated with the destruction of the North China Craton: Evidence from U-Pb geochronology and stable isotope geochemistry of the Mujicun porphyry Cu-Mo deposit [J]. *Ore Geology Reviews*, 2013, 53: 434-445.
- [22] 段超, 毛景文, 谢桂青, 等. 太行山北段木吉村髻髻山组安山岩锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素特征及其对区域成岩成矿规律的指示[J]. *地质学报*, 2016, 90: 250-266  
Duan Chao, Mao Jingwen, Xie Guiqing, et al. Zircon U-Pb Geochronological and Hf isotope study on Tiaojishan volcanic Formation, Mujicun, North Taihang Mountain and implications for regional metallogeny and magmatism[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2016, 90: 250-266(in Chinese with English Abstract).
- [23] 黄典豪, 杜安道, 吴澄宇, 等. 华北地台(桐)矿床成矿年代学研究——辉钼矿-钼-钨年龄及其地质意义[J]. *矿床地质*, 1996, 15(4): 365-372.  
Hunag Dianhao, Du Andao, Wu Chengyu, et al. 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): 365-372(in Chinese with English Abstract).
- [24] 梁涛, 肖成东, 罗照华, 等. 北太行安妥岭斑岩钼矿的辉钼矿 Re-Os 同位素定年[J]. *矿床地质*, 2010, S1: 470-471  
Liang Tao, Xiao Chengdong, Luo Zhaohua, et al. Re-Os isotope dating of molybdenite from Antuoling porphyry Mo deposit in the North Taihang Mountain[J]. *Mineral Deposits*, 2010, S1: 470-471 (in Chinese).
- [25] 毛景文, 谢桂青, 郭春丽, 等. 华南地区中生代主要金属矿床时空分布规律和成矿环境[J]. *高校地质学报*, 2008, 14(4): 510-526.  
Mao Jingwen, Xie Guiqing, Guo Chunli, et al. Spatial-temporal distribution of Mesozoic ore deposits in South China and their metallogenic settings [J]. *Geological Journal of China Universities*, 2008, 14(4): 510-526(in Chinese with English Abstract).