

# 河南商城地区岩墙的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义

王团华, 毛景文, 谢桂青

中国地质科学院 矿产资源研究所, 北京 100037

**摘要:**对侵位于河南省商城县白垩纪商城花岗岩体中的岩墙进行的锆石 SHRIMP U-Pb 法年代学研究表明, 单颗粒锆石的年龄数据反映出中-新太古代(2843 Ma)、中元古代(1886 Ma、1829 Ma)、新元古代(768.4 ~ 535.1 Ma)、古生代(353.7 Ma、262.2 Ma)和中生代(234.2 ~ 117.8 Ma)的年龄, 与区域构造事件和地质演化历史有很好的对应性。结合前人对大别造山带各类岩石年代学研究的结果, 笔者认为岩墙锆石测年给出的谐和年龄  $751.3 \pm 39.9$  Ma 代表大别造山带中元古代晋宁期一期重要且强度很高的变质作用年代。根据前人对大别造山带大地构造演化历史的认识, 结合本文岩墙年代学研究结果, 笔者认为岩墙锆石测年结果可能印证了秦岭-大别造山带中生代以来的、以岩石圈基底拆沉作用为基本特征的强烈壳幔相互作用。

**关键词:**岩墙; SHRIMP U-Pb 年代学; 大别造山带; 岩石圈基底拆沉作用; 河南商城

**中图分类号:** P597<sup>+</sup>.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2802(2008)04-0369-09

## Zircon SHRIMP U-Pb Dating and Its Geological Significance of Dikes in Shangcheng Area, Henan Province, Central China

WANG Tuan-hua, MAO Jing-wen, XIE Gui-qing

*Institute of mineral resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037*

**Abstract:** The SHRIMP U-Pb age data of zircon in the intruding dyke in the Cretaceous granite rocks at Shangcheng, Henan showed that the ages of individual zircons reflected the ages of Meso-neoarchean (2843 Ma), Meso-proterozoic (1886 Ma, 1829 Ma), Neoproterozoic (768.4 - 535.1 Ma), Paleozoic (353.7 Ma, 262.2 Ma) and Mesozoic (234.2 - 117.8 Ma), and these zircon ages were well correlated with regional tectonic and geological evolution events. Compared with literature chronology results of various types of rocks in Dabie orogenic belts, the author proposed that the harmonic age of  $751.3 \text{ Ma} \pm 39.9 \text{ Ma}$  represented an important and metamorphic process intensive period in Dabie orogenic area. Combined previous studies of tectonic evolution in Dabie orogenic area with the age data of zircon in the dyke of this study, the author believed that the age data obtained in this study could have confirmed that the interaction between crust and mantle in the Qinling and Dabie orogenic area since Mesozoic time can be essentially categorized as lithosphere basement delamination.

**Key words:** dyke; SHRIMP U-Pb age; Dabie orogenic belts; lithosphere basement delamination; Shangcheng

大别造山带是我国重要的高压-超高压变质岩出露区之一, 对区内各种构造岩石的研究, 特别是各类岩石(地质体)的年代学研究, 对深入认识扬子陆块与华北陆块之间的裂谷演化、碰撞造山作用以及造山期后的俯冲板片折返和岩石圈伸展等一系列大陆动力学演化过程有重要意义。前人对秦岭-大别

造山带内各类岩石(体)进行过大量的年代学研究<sup>[1-14]</sup>, 重塑了秦岭-大别造山带演化过程或地质作用的历史<sup>[15-20]</sup>。商城地区位于大别造山带北缘, 中生代以来, 形成了以岩石圈拉张伸展为特征的岩浆喷发和侵位活动, 发育燕山期大规模花岗岩体和少量中基性岩墙, 本文对侵位于商城花岗岩体中的岩

收稿日期: 2008-08-10 收到, 09-23 改回

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(40434011); 中国地质科学院矿产资源研究所科研业务专项基金项目(K0734)

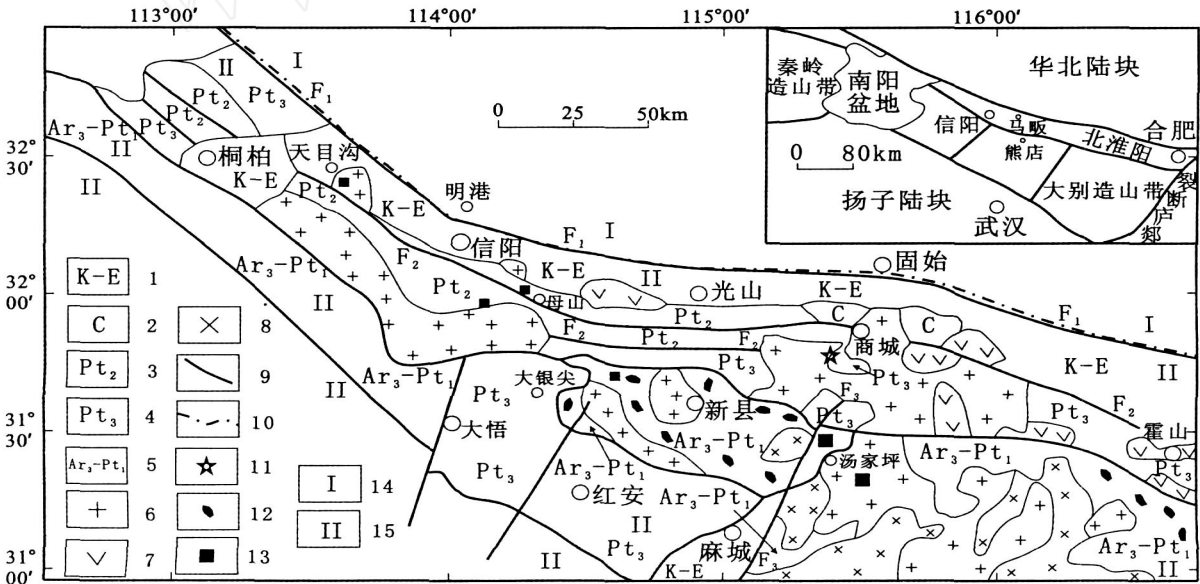
作者简介: 王团华(1973—), 男, 博士, 专业方向: 矿床学、地球化学。E-mail: wangtuanhua@hotmail.com

墙开展了锆石 SHRIMP U-Pb 定年和岩石化学研究,讨论了岩墙形成和侵位的大地构造环境,希望能起到抛砖引玉的作用,促进对构造演化和区域成矿背景的深入探讨。

1 区域地质概况

河南商城地区位于秦岭-大别造山带东延之桐柏-大别构造亚带东段,属大别造山带范畴。秦岭-大别造山带经历了长期的板块边缘(华北南缘和扬子北缘)裂谷开合和微小板块拼贴作用,由若干个具岛弧、洋岛特征的微小地体经多次聚合拼贴演化形成的复式造山带<sup>[1,2,8,10,21~27]</sup>。商城地区出露地层主要有晚太古代大别群、下元古界天台山群、上元古界苏家河群、以及少量古生代石炭系、新生代沉积物等。区内岩石主要为遭受中-深区域变质的片麻岩、斜长角闪岩、斜长角闪片麻岩和不同程度混合岩化作用形成的多种混合岩<sup>[28,29]</sup>,在大别造山带变质

杂岩区还零星出露小规模的榴辉岩(图1)。区内构造以北西西-近东西向分布的长期活动性深大断裂和形态复杂的线性褶皱为特征,以北西向桐城-商城深大断裂为界,北侧为北淮阳构造带,南侧为桐柏-大别变质杂岩隆起带,主要断裂有北西西向的桐柏-商城-桐城、龟山-梅山断裂,北东向的商城-麻城断裂等<sup>[29]</sup>。区内岩浆活动十分频繁,以燕山期最为强烈。表现为大量陆相火山岩、中酸性花岗岩和少量基性-超镁铁质岩密切伴生,构成喷发-侵入系列<sup>[28~30]</sup>。早白垩世花岗质侵入岩规模较大,分布广泛,沿断裂分布,形成新县、商城等花岗岩体<sup>[29~31]</sup>。同期还有众多中酸性花岗斑岩、花岗闪长斑岩等小岩体侵位活动。这些小岩体明显受网格状断裂体系控制,具成群成带、等间距分布的特征,与斑岩型钼-铜矿床关系密切<sup>[28,29]</sup>。近年来商城县汤家坪斑岩型钼矿的发现是豫南大别山区找矿的重大突破,该区位于东秦岭-大别铜-钼成矿带的东部<sup>[29]</sup>。



F<sub>1</sub>. 龟山-梅山断裂;F<sub>2</sub>. 桐柏-商城-桐城断裂;F<sub>3</sub>. 商城-麻城断裂;1. 中、新生代地层;2. 石炭系地层;  
3. 晚元古代秦岭群、二郎坪群地层 (Pt<sub>3</sub>-Pz);4. 中元古代龟山岩组 (Pt<sub>2</sub>g);5. 晚古生代-古太古代桐柏-大别变质杂岩;  
6. 燕山期花岗岩;7. 白垩纪火山岩;8. 晋宁期花岗岩;9. 深大断裂带;10. 大别造山带边界;  
11. 岩墙采样位置;12. 榴辉岩;13. 钼矿床;14. 华北地块;15. 大别造山带;据文献[29]和[36]修改  
1. Mesozoic-Cenozoic strata;2. Carboniferous system strata;3. paleo-Proterozoic Qinling, Erlangping Group (Pt<sub>3</sub>-Pz);  
4. Meso-Proterozoic Guishanyan Formation (Pt<sub>2</sub>g);5. Late-Archean-paleo-Proterozoic Tongbai-Dabie metamorphic complex (Ar<sub>3</sub>-Pt<sub>1</sub>);  
6. granite of Yanshan epoch;7. volcanic rocks of Cretaceous period;8. Granite of Jinning epoch;  
9. deep-fracture zone;10. geological boundary of Dabie orogenic belt;11. site of dikes samples;  
12. Eclogite;13. Molybdenum deposit;14. North China craton;15. Dabie orogenic belt;Modified after ref. [29]and [36]

图1 商城地区区域地质简图  
Fig. 1 Geological sketch map of the Shangcheng area

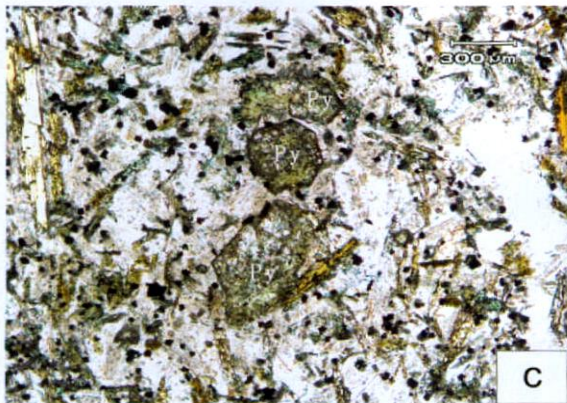
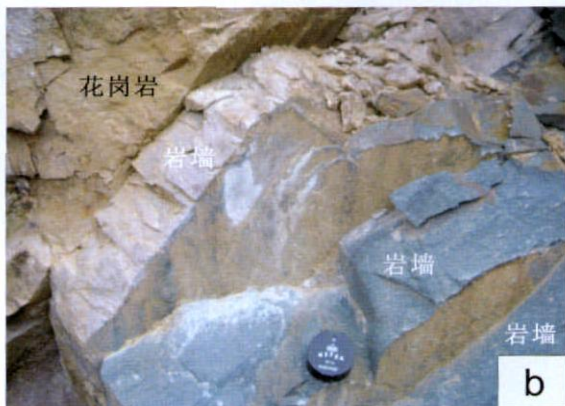
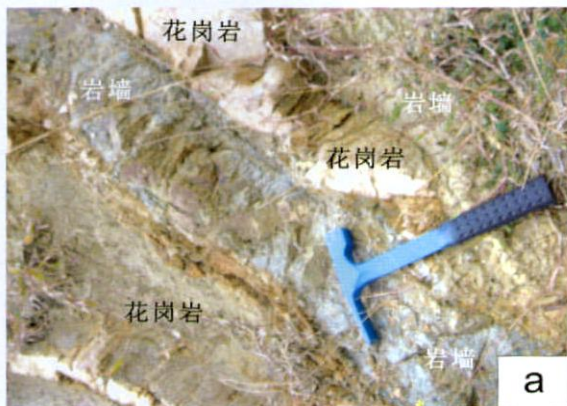
## 2 区域岩石年代学研究概况

秦岭-大别造山带是在众多微小地体基础上经历了多期地质作用而成;因而各类地质体(岩石)经历了复杂的演化过程<sup>[21~23,27]</sup>。总结前人研究大别造山带各种类型岩石(体)测年结果数据(SHRIMP U-Pb 法)可以发现:1)同类型岩石(地质体)年龄变化范围很宽。测年数据较为集中的时期为:新元古代晋宁期(787~716 Ma)<sup>[4,5,8~10,32]</sup>、晚古生代(240~220 Ma)<sup>[2,5,7,33]</sup>和燕山期<sup>[4~6,9,10,24,31]</sup>,以及一些古生代时期年龄<sup>[1,5,34~36]</sup>。2)不同地点、相同类型的岩石,年龄不完全相同,表明多期构造、岩浆、变质作用可以形成相同类型的岩石。如大别山西部湖北红安蓝闪榴辉岩原岩形成年代为中晚太古代(2872~2647 Ma);晋宁期发生高压低温变质事件的年代为1138~1127 Ma<sup>[8]</sup>;安徽岳西碧溪岭深色榴辉岩核部主体形成年代为757±7 Ma<sup>[5]</sup>,大陆科学钻探主孔超高压变质岩中榴辉岩原岩年龄为765~730 Ma<sup>[33]</sup>;大别山西部河南罗山熊店榴辉岩峰期变质年龄为424~480 Ma<sup>[34]</sup>。

## 3 样品和分析方法

岩墙样品 SC217 侵位于商城花岗岩体内(采样地点:115°24.44'E;31°46.45'N)。岩墙走向近东西向,倾向北,76°,宽约5.0 m,有分枝复合现象。岩石呈灰绿色、灰黑色,斑状结构,块状构造,节理面发育,易裂。矿物发生一定程度的蚀变(图2)。主要矿物组成为辉石+黑云母+斜长石+钾长石,副矿物为钛铁矿、磁铁矿、磷灰石和很少量锆石。定名为辉绿岩<sup>[37]</sup>。商城花岗岩体作为商城辉绿岩墙的围岩,其侵位年代为早白垩世,黑云母<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 年龄为133.03 Ma、130.48 Ma 和128.04 Ma,为燕山期岩浆侵入活动的产物<sup>[28,31]</sup>。

经摇床、淘洗、电磁分选及重液分选后分离出锆石,镜下再手选。将待测的锆石颗粒制成环氧树脂样品靶,磨至锆石颗粒中心部位后抛光。锆石样品靶经显微镜下透、反射光观察和照相,再经阴极发光(CL)显微结构观察,选择合适的锆石颗粒和/或区域进行U-Pb 年龄测定。





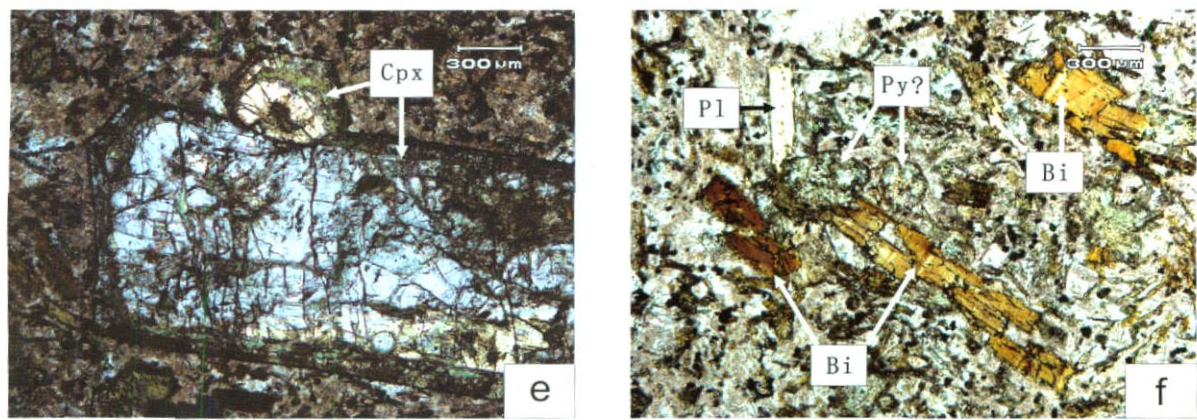
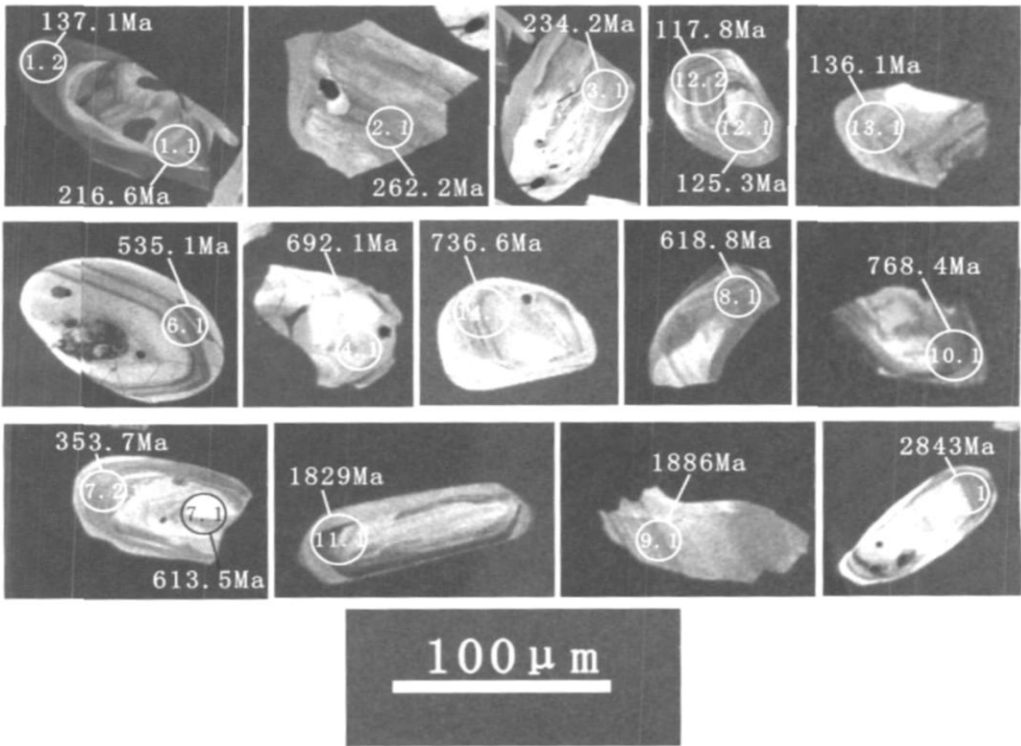


图2 商城岩墙的野外照片和岩石矿物组成及结构特征

Fig. 2 Field photos of the dyke 's, mineral compositions and structure properties of the rocks

锆石的内部结构:CL 图像清晰地显示了多数锆石的内部结构(图3)。锆石主要有三类:1)由核部和壳部组成,核部颜色较深(深灰色或黑色),壳部颜色较浅(多为浅灰或灰白色),也有部分锆石在中心和壳之间发育幔(如图3中5.1,7.1,7.2;11.1),是经历过高级变质作用锆石最常见的结构<sup>[7,38]</sup>。2)核部颜色较深,边部颜色较浅,具典型的增生边(图3中1.1,1.2)。3)呈现韵律的环带结构,具岩浆锆石的结构特征(图3中12.1,12.2)。



图中所示年龄值的误差见表1

图3 商城岩墙锆石颗粒的 CL 图像及测年数据

Fig. 3 CL images of zircon particles in the dyke and its age data (the error of age data shown in table 1)

测点的选择以在显微镜反射光、透射光和阴极发光下的结构特征为依据,选择颗粒较大、晶形较好、表面光洁、无裂隙和微小包裹体的锆石颗粒,如果颗粒普遍有裂隙,测试时应尽量避开裂隙部位。测点尽量选择颗粒壳部,对部分核部和壳部 CL 特征明显不同的颗粒,对核部和壳部应同时测年。U-

Pb 年龄在北京离子探针实验室 SHRIMP 上测定。测定方法参照文献[38]和[39]。应用标准锆石 SL13(572 Ma, 238 μg/g) 标定 TEM 和样品的 U、Th、Pb 含量, 每测定四五 个样品点后, 测定一个标准锆石 TEM(417 Ma) 点, 以进行不同元素间同位素分馏校正。利用实测的<sup>204</sup>Pb 含量进行普通 Pb 校正。系统给出的单个数据点误差均为 1。从测年数据结果分析, 年代小于 1000 Ma 数据的 <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 年龄和 <sup>208</sup>Pb/<sup>232</sup>Th 年龄一般较接近, 而年代大于 1000 Ma 的数据, <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 年龄和 <sup>208</sup>Pb/

<sup>232</sup>Th 年龄相差较大, 因此笔者对前者用 <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 年龄, 后者则用 <sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb 年龄。数据处理采用 Ludwig<sup>[40]</sup> 的 ISOPLOT 程序, 样品年龄加权平均值的误差为 2, 加权平均年龄具有 95 % 的置信度。

3 分析结果

锆石测年分析结果见表 1, 锆石颗粒的 CL 结构图像及其测年数据结果见图 3, 锆石测年数据的一致曲线图见图 4。

表 1 商城岩墙样品锆石 U-Pb 测年数据分析结果  
Table 1 The results of U-Pb dating for the dyke samples in Shangcheng area

Spot Name	comm <sup>206</sup> Pb (%)	U /μg.g <sup>-1</sup>	Th /μg.g <sup>-1</sup>	<sup>232</sup> Th / <sup>238</sup> U	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U <sup>204</sup> Pbcorr Age	Err (1)	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb <sup>204</sup> Pbcorr Age	Err (1)	<sup>208</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th <sup>204</sup> Pbcorr Age	Err (1)
SC217-1.1	2.38	279	27	0.10	216.6	8.0	215	261	356	91
SC217-1.2	0.48	524	30	0.06	137.1	5.0	429	119	220	48
SC217-2.1	0.89	415	157	0.39	262.2	9.4	361	96	360	18
SC217-3.1	0.57	391	123	0.33	234.2	8.5	429	64	314	14
SC217-4.1	0.51	328	32	0.10	692.1	24.9	720	60	680	95
SC217-5.1	0.27	127	118	0.96	2686.7	80.9	2843	14	2672	102
SC217-6.1	0.32	321	156	0.50	535.1	19.6	716	45	558	25
SC217-7.1	0.28	217	22	0.10	353.7	12.7	762	55	986	49
SC217-7.2	2.39	69	79	1.19	613.5	24.1	805	240	644	43
SC217-8.1	0.21	206	311	1.56	618.8	23.2	757	44	722	38
SC217-9.1	0.36	93	68	0.75	1776.0	58.1	1886	28	1762	72
SC217-10.1	0.41	437	227	0.54	768.4	26.4	772	44	765	32
SC217-11.1	0.05	781	91	0.12	1633.9	55.2	1829	13	1523	88
SC217-12.1	1.71	370	348	0.97	125.3	4.8	221	288	120	8
SC217-12.2	1.50	320	169	0.54	117.8	4.7	659	189	119	10
SC217-13.1	2.60	225	34	0.16	136.1	6.0	558	201	245	37
SC217-14.1	0.28	109	122	1.16	736.6	26.5	908	64	735	33

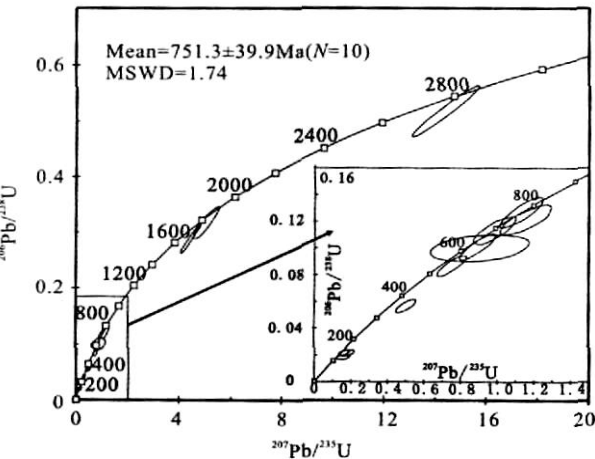


图 4 商城岩墙锆石的<sup>207</sup>Pb/<sup>235</sup>U-<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 谐和图  
Fig. 4 The <sup>207</sup>Pb/<sup>235</sup>U-<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U Concordia curve of the dyke in Shangcheng area

由表 1 可见, 岩墙中锆石颗粒的<sup>232</sup>Th/<sup>238</sup>U 值变化范围较大(0.06 ~ 1.56), 表明可能经历了多种地质作用和复杂的演化过程。锆石颗粒<sup>232</sup>Th/<sup>238</sup>U 值与相应的年龄值间没有明显的规律性。

锆石测年数据具以下特征:

(1) 从老到新, 锆石颗粒分别记录了中 - 新太古代(2843 Ma)、中元古代(1886 Ma、1829 Ma)、新元古代(768.4 ~ 535.1 Ma)、古生代(353.7 Ma、262.2 Ma)和中生代(234.2 ~ 117.8 Ma)时期的年龄(表 1)。

(2) 测年数据点(图 4)基本上在 U-Pb 一致曲线上或略低于一致曲线, 表明数据基本可靠。

(3) ISOPLOT 程序给出的数据统计学结果为 751.3 ± 39.9 Ma, 印证了 750 Ma 左右大别造山带一次极为重要的、强度很高的地质事件。

(4) 多个燕山期 (137.1 ~ 117.8 Ma) 年龄与商城花岗岩体侵位年龄<sup>[31]</sup>在误差范围内接近,与地质接触关系(岩墙侵位于商城花岗岩体)基本一致,可以佐证岩墙测年结果的合理性。

(5) 锆石核部和边部测年数据显示,岩墙中有两类锆石。一类具继承性,是在原有锆石的基础上围绕其核部向外围生长,如图 3 中 7.1、7.2,锆石核部年龄为 613.5 Ma,是新元古代时期的锆石,边部年龄为 353.7 Ma,记录了古生代的一次地质作用。另一类为原生锆石,其核部和边部年龄值较接近,如图 3 中的 12.1 和 12.2,核部年龄为 125.3 Ma,边部年龄为 117.8 Ma,锆石具有典型的岩浆成因环带结构,为燕山期火山活动的产物。图 3 中的 1.1 和 1.2,核部年龄为 216.6 Ma,边部具非常好的生长边,年龄为 137.1 Ma。此类锆石忠实地记录了区域大地构造演化过程中的造山和造山期后伸展地质事件。

## 4 讨 论

以上测年结果虽然范围较大,但是与前人测年结果对应很好。岩墙中锆石的 2843 Ma 与蓝闪榴辉岩原岩<sup>[8]</sup>年龄接近;751 Ma 左右的谐和年龄与前人的大量 750 Ma 左右的年龄<sup>[4,5,8~10]</sup>结果一致,代表大别造山带新元古代一次强烈的变质作用事件<sup>[33]</sup>;所获得的中生代年龄 (234.2 ~ 117.8 Ma) 忠实地记录了区域碰撞造山事件和造山期后岩石圈伸展作用事件的年代<sup>[4,6,9,10]</sup>。本文获得的中元古代的锆石年龄 (1886 Ma、1829 Ma) 未见于前人测年结果,但与华北南缘熊耳群火山喷发事件 (1800 Ma)<sup>[19]</sup>年龄接近,可能是区域上相当于熊耳群火山喷发事件年代的记录。

合肥盆地侏罗纪防虎山组下部层位砂岩中碎屑锆石测年结果显示<sup>[35]</sup>,年龄范围分为 4 段,从老到新分别为:2500 ~ 2000 Ma、799 ~ 721 Ma、481 ~ 378 Ma 和 234 ~ 200 Ma。本文岩墙测年结果与之类似,除了反映最新的白垩纪岩浆作用年龄外,其他时期的年龄与砂岩锆石年龄对应极好。如果防虎山组碎屑锆石是造山带演化过程中各时期形成的地质体剥蚀、堆积、成岩作用的产物,或者为造山带基底物质快速抬升并被剥蚀、成岩而成,商城岩墙则是由地幔层位物质的岩浆上升侵位而形成<sup>[32]</sup>,那么砂岩碎屑锆石和岩墙锆石测年结果的相似性就证实了大别造山带演化过程中存在以岩石圈基底拆沉作用为基本特征的强烈壳幔相互作用。岩墙锆石测年数据反映

的继承性锆石年龄较多,燕山期岩浆锆石很少,表明岩墙中的锆石主要来自陆壳基底的拆沉作用,而不是来自岩墙岩浆上升过程中同化混染的围岩。

岩墙中的两类锆石(原生岩浆锆石和继承性锆石)以继承性锆石居多,一方面反映了基性岩浆体系不利于锆石结晶生长,另一方面可能是由于原生岩浆锆石颗粒很小,而继承性锆石颗粒相对较大,分选中挑选出来的主要是继承性锆石。

## 5 结 论

(1) 侵位于白垩纪商城花岗岩体的岩墙锆石测年结果给出的年龄范围很宽,分别记录了中-新太古代 (2843 Ma)、中元古代 (1886 Ma、1829 Ma)、新元古代 (768.4 ~ 535.1 Ma)、古生代 (353.7 Ma、262.2 Ma) 和中生代 (234.2 ~ 117.8 Ma) 时期的年龄。

(2) 岩墙锆石测年给出的谐和年龄 751.3 ± 39.9 Ma,代表中元古代晋宁时期一期重要且强度很高的变质作用年代。

(3) 岩墙锆石测年结果可能印证了秦岭-大别造山带中生代以来以岩石圈基底拆沉作用为基本特征的强烈壳-幔相互作用。

**致 谢:**野外工作期间曾得到河南地矿局姚新年高工的帮助,锆石测年过程中得到刘锋博士、左力艳博士、李建康博士和简伟硕的的帮助,在此深表谢忱!

## 参考文献 (References):

- [1] 杨经绥, 刘福来, 吴才来, 万渝生, 张建新, 史仁灯, 陈松永. 中央碰撞造山带中两期超高压变质作用: 来自含柯石英锆石的定年证据[J]. 地质学报, 2003, 77(4): 463 - 477.  
Yang Jingsui, Liu Fulai, Wu Cailai, Wan Yusheng, Zhang Jianxin, Shi Rendeng, Chen Songyong. Two ultrahigh pressure metamorphic events recognized in the central orogenic belt of China: evidence from the U-Pb dating of coesite-bearing zircons[J]. Acta Geologica Sinica, 2003, 77(4): 463 - 477. (in Chinese with English abstract)
- [2] 郑建平, 孙敏, Griffin W L, 钟增球, 汤华云, 张志海. 大别造山带碧溪岭橄榄岩中锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素研究[J]. 岩石学报, 2007, 23(2): 343 - 350.  
Zheng Jianping, Sun Min, Griffin W L, Zhong Zengqiu, Tang Huayun, Zhang Zhihai. Study on U-Pb age and Hf isotope of zircon in the Bixiling peridotites, the Dabie ultrahigh-pressure metamorphic belt [J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23(2): 343 - 350. (in Chinese with English abstract)
- [3] 郑永飞, 陈仁旭, 张少兵, 唐俊, 赵子福, 吴元保. 大别山超高压榴辉岩和花岗片麻岩中锆石 Lu-Hf 同位素研究[J]. 岩石学

- 报, 2007, 23(2): 317 - 330.
- Zheng Yongfei, Chen Renxu, Zhang Shaobing, Tang Jun, Zhao Zifu, Wu Yuanbao. Zircon Lu-Hf isotope study of ultrahigh-pressure eclogite and granitic gneiss in the Dabie orogen [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2007, 23(2): 317 - 330. (in Chinese with English abstract)
- [4] 吴元保, 唐俊, 张少兵, 赵子福. 北大别两期混合岩化作用: SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄证据[J]. 科学通报, 2007, 52(8): 939 - 944.
- Wu Yuanbao, Tang Jun, Zhang Shaobing, Zhao Zifu. Two migmatization in North Dabie orogenic belt, central China: Evidence from zircon U-Pb dating by SHRIMP [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2007, 52(8): 939 - 944. (in Chinese with English abstract)
- [5] 程裕淇, 刘敦一, Williams I S, 简平, 庄育勋, 高天山. 大别山碧溪岭深色榴辉岩和片麻状花岗岩锆石 SHRIMP 分析——晋宁期高压-超高压变质作用的同位素年代学依据[J]. 地质学报, 2000, 74(3): 193 - 205.
- Cheng Yuqi, Liu Dunyi, Williams I S, Jian Ping, Zhuang Yuxun, Gao Tianshan. SHRIMP U-Pb dating of zircon of a dark-coloured eclogite and a garnet-bearing gneissic-granitic rock from Bixiling, eastern Dabie area—Isotope chronological evidence of Neoproterozoic HP-UHP metamorphism [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2006, 74(3): 193 - 205. (in Chinese with English abstract)
- [6] 薛怀民, 董树文, 简平. 大别山造山带前陆阳新二长质侵入体的矿物化学、地球化学与锆石 SHRIMP 定年[J]. 中国科学(D 辑), 2006, 36(2): 133 - 142.
- Xue Huaimin, Dong Shuwen, Jian Ping. The study on mineral chemistry, geochemistry and zircon SHRIMP dating of monzonitic intrusive rock in foreland belt of Dabie Mountains Orogen [J]. *Science in China (series D)*, 2006, 36(2): 133 - 142. (in Chinese)
- [7] 刘敦一, 简平. 大别山双河硬玉石英岩的超高压变质与退变质事件——SHRIMP 测年的证据[J]. 地质学报, 2004, 78(2): 211 - 217.
- Liu Dunyi, Jian Ping. 243Ma UHP and 228 Ma retrograde events of the Shuanghe jadeite Quartzite, eastern Dabie mountains—SHRIMP dating, mineral inclusions and zircon REE patterns [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2004, 78(2): 211 - 217. (in Chinese with English abstract)
- [8] 简平, 杨巍然. 大别山西部蓝闪榴辉岩 U-Pb 测年[J]. 岩石矿物学杂志, 1999, 18(1): 8 - 13.
- Jian Ping, Yang Weiran. U-Pb zircon dating of glaucophane eclogites from western Dabie mountain [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 1999, 18(1): 8 - 13. (in Chinese with English abstract)
- [9] 侯振辉, 李曙光, 陈能松, 李秋立, 柳小明. 大别造山带惠兰山镁铁质麻粒岩 Sm-Nd 和锆石 SHRIMP U-Pb 年代学及锆石微量元素地球化学[J]. 中国科学(D 辑), 2005, 35(12): 1103 - 1111.
- Hou Zhenhui, Li Shuguang, Chen Nengsong, Li Qiuli, Liu Xiaoming. The chronology of Sm-Nd and zircon SHRIMP U-Pb for mafic granulite and trace element geochemistry of zircon in Huilanshan area, Dabie Mountains, central China [J]. *Science in China (series D)*, 2005, 35(12): 1103 - 1111. (in Chinese)
- [10] 谢智, 高天山, 陈江峰. 北大别片麻岩的多阶段演化: 锆石 U-Pb 年代学证据[J]. 科学通报, 2004, 49(16): 1653 - 1659.
- Xie Zhi, Gao Tianshan, Chen Jiangfeng. Multi-stage evolution of gneiss in the north Dabie orogen: The chronology evidence from zircon U-Pb dating [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2004, 49(16): 1653 - 1659. (in Chinese)
- [11] Xu Z Q. Etude tectonique et microtectonique de la chaîne paléozoïque et triasique des qinlings(China), academie de Montpellier Université des sciences et techniques du Languedoc [J]. 1987.
- [12] 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 [J]. *Geology*, 1993, 21: 339 - 342.
- [13] Hacker B R, Ratschbacher L, Webb L, Ireland T, Walker D, Dong S. U/Pb zircon ages constrain the architecture of the ultrahigh-pressure Qinling-Dabie orogen, China [J]. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1998, 161: 215 - 230.
- [14] Jahn B M. Geochemical and isotopic characteristics of UHP eclogites of the Dabie orogen: Implications for continental subduction and collisional tectonics [A]. Hacker B, Liou J G. When continents collide: Geodynamics and geochemistry of ultrahigh-pressure rocks [M]. Dordrecht, Kluwer Academy Publ., 1998: 203 - 240.
- [15] 刘若新, 樊祺诚, 李惠民. 大别山碧溪岭石榴石橄榄岩-榴辉岩高压变质作用的年代学研究[J]. 科学通报, 1995, 40(14): 1034 - 1037.
- Liu Ruoxin, Fan Qicheng, Li Huimin. The study for chronology for high pressure metamorphic of garnet-olivine-eclogite in Dabie Bixiling [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1995, 40(14): 1034 - 1037. (in Chinese with English abstract)
- [16] Li S G, Hart S R, Zheng S G, Liu D L, Zhang G W, Guo A L. Timing of collision between north and south China blocks—The Sm-Nd isotopic age evidence [J]. *Science in China (series D)*, 1989, 32: 1393 - 1400.
- [17] 毛景文, 王义天, 张作衡, 余金杰, 牛宝贵. 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[J]. 中国科学(D 辑), 2003, 33(4): 289 - 300.
- Mao Jingwen, Wang Yitian, Zhang Zuoheng, Yu Jinjie, Niu Baogui. Geodynamics setting of Mesozoic large-scale mineralization in the north China and adjacent area: Implication from the highly precise and accurate ages of metal deposits [J]. *Science in China (series D)*, 2003, 33(4): 289 - 300. (in Chinese with English abstract)
- [18] 李永峰, 王春秋, 白凤军, 宋艳玲. 东秦岭钼矿 Re-Os 同位素年龄及其成矿动力学背景[J]. 矿产与地质, 2004, 18(6): 571 - 578.

- Li Yongfeng, Wang Chunqiu, Bai Fengjun, Song Yanling. Re-Os isotopic ages of Mo deposits in east Qinling and their geodynamic settings [J]. Mineral Resources and Geology, 2004, 18(6): 571 - 578. (in Chinese with English abstract)
- [19] 赵太平, 徐勇航, 翟明国. 华北陆块南部元古宙熊耳群火山岩的成因与构造环境: 事实与争议[J]. 高校地质学报, 2007, 13(2): 191 - 206.
- Zhao Taiping, Xu Yonghang, Zhai Mingguo. Petrogenesis and tectonic setting of the Paleoproterozoic Xiong'er group in the southern part of the north China craton: A Review[J]. Geological Journal of China Universities, 2007, 13(2): 191 - 206. (in Chinese with English abstract)
- [20] 高山, 张本仁, 金振民, Kern H. 秦岭-大别造山带下地壳拆沉作用[J]. 中国科学(D 辑), 1999, 26(9): 532 - 541.
- Gao Shan, Zhang Benren, Jin Zhenmin, Kern H. Delamination of the lower Crustal in Qinling-Dabie orogenic belts[J]. Science in China (series D), 1999, 26(9): 532 - 541. (in Chinese with English abstract)
- [21] 大别山超高压变质作用与碰撞造山带动力学编写组. 大别山超高压变质作用与碰撞造山带动力学[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- The Preparation Group of UHPM Metamorphism and Collision Orogen of Dynamics in the Dabie Mountains. Dynamics of UHPM metamorphic process and collision Orogen in the Dabie Mountains [M]. Beijing: Science Press, 2005. (in Chinese)
- [22] 张本仁, 张宏飞, 赵志丹, 凌文黎. 东秦岭及邻区壳、幔地球化学分区和演化及其大地构造意义[J]. 中国科学(D 辑), 1996, 26(3): 201 - 208.
- Zhang Benren, Zhang Hongfei, Zhao Zhidan, Ling Wenli. The geochemistry district and evolution of crust - mantle in Eastern Qinling with neighboring area and its tectonic significance[J]. Science in China (series D), 1996, 26(3): 201 - 208. (in Chinese with English abstract)
- [23] 张国伟, 张宗清, 董云鹏. 秦岭造山带主要构造岩石地层单元的构造性质及其大地构造意义[J]. 岩石学报, 1995, 11(2): 101 - 114.
- Zhang Guowei, Zhang Zongqing, Dong Yunpeng. Nature of main tectono-lithostratigraphic units of the Qinling Orogen: Implications for the tectonic evolution[J]. Acta Petrologica Sinica, 1995, 11(2): 101 - 114. (in Chinese with English abstract)
- [24] 马昌前, 明厚利, 杨坤光. 大别山北麓的奥陶纪岩浆弧: 侵入岩年代学和地球化学证据[J]. 岩石学报, 2004, 20(3): 393 - 402.
- Ma Changqian, Ming Houli, Yang Kunguang. An Ordovician magmatic arc at the northern foot of Dabie mountains: Evidence from geochronology and geochemistry of intrusive rocks [J]. Acta Petrologica Sinica, 2004, 20(3): 393 - 402. (in Chinese with English abstract)
- [25] 李曙光, 李秋立, 侯振辉, 杨蔚, 王莹. 大别山超高压变质岩的冷却史及折返机制[J]. 岩石学报, 2005, 21(4): 1117 - 1124.
- Li Shuguang, Li Qiuli, Hou Zhenhui, Yang Wei, Wang Ying. Cooling history and exhumation mechanism of the ultrahigh-pressure metamorphic rocks in the Dabie mountains, central China[J]. Acta Petrologica Sinica, 2005, 21(4): 1117 - 1124. (in Chinese with English abstract)
- [26] 滕吉文, 闫雅芬, 王光杰, 熊熊. 大别造山带与郯庐断裂带壳、幔结构和陆内“俯冲”的耦合效应[J]. 地球物理学报, 2006, 49(2): 449 - 457.
- Teng Jiwen, Yan Yafen, Wang Guangjie, Xiong Xiong. Structure of Earth's crust and upper mantle, inland subduction and its coupling effects on the Dabie orogenic belt and the Tancheng-Lujiang fault zone [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2006, 49(2): 449 - 457. (in Chinese with English abstract)
- [27] 马昌前, 余振兵, 张金阳, 张超. 地壳根、造山热与岩浆作用[J]. 地学前缘, 2006, 13(2): 130 - 139.
- Ma Changqian, She Zhenbing, Zhang Jinyang, Zhang Chao. Crustal roots, orogenic heat and magmatism[J]. Earth Science Frontiers, 2006, 13(2): 130 - 139. (in Chinese with English abstract)
- [28] 河南省地矿厅区调队. 中华人民共和国区域地质调查报告: 1:5万, 商城幅, 达权店幅, 1994.
- Department of Geology and Resource, the Geological District Survey Team of Henan Province. Regional geological survey report at Shangcheng site, Daquandian site, 1:50,000, 1994, People's Republic of China.
- [29] 杨泽强. 河南商城县汤家坪钼矿辉钼矿-钼同位素年龄及地质意义[J]. 矿床地质, 2007, 26(3): 289 - 295.
- Yang Zeqiang. Re-Os ages of Tangjiaping molybdenum deposit in Shangcheng county, Henan and their geological significance [J]. Mineral Deposits, 2007, 26(3): 189 - 295. (in Chinese with English abstract)
- [30] 胡静波, 高光明, 成静亮. 河南商城县木厂河银多金属矿区成矿地质特征及成矿规律[J]. 资源环境与工程, 2006, 20(6): 746 - 750.
- Hu Jingbo, Gao Guangming, Cheng Jingliang. Metallogenic geological characteristics and metallogenic laws of Muchanghe Ag-polymetallic mining area, Shangcheng county, Henan province [J]. Resources Environment and Engineering, 2006, 20(6): 746 - 750. (in Chinese with English abstract)
- [31] 刘文斌, 刘振宏, 张世佼. 河南商城岩体地质地球化学特征及成因意义[J]. 华南地质与矿产, 2003, 4: 17 - 23.
- Liu Wenbin, Liu Zhenhong, Zhang Shijiao. Geological and geochemical features of Shangcheng granite body and its genetic implication, Henan [J]. Geology and Mineral Resources of South China, 2003, 4: 17 - 23. (in Chinese with English abstract)
- [32] 陈玲, 马昌前, 余振兵, 张金阳, 周红升, 王琳燕. 大别山北淮阳构造带柳林辉长岩: 新元古代晚期裂解事件的记录[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2006, 31(4): 578 - 584.
- Chen Ling, Ma Changqian, She Zhenbing, Zhang Jinyang,



- Zhou Hongsheng, Wang Linyan. Gabbro in the Beihuaiyang tectonic belt of the Dabie orogen: A Witness of the late Neoproterozoic rifting event[J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 2006, 31(4): 578 - 584. (in Chinese with English abstract)
- [33] 许志琴, 刘福来, 戚学祥, 张泽明, 杨经绥, 曾令森, 梁凤华. 南苏鲁超高压变质地体中罗迪尼亚超大陆裂解事件的记录[J]. *岩石学报*, 2006, 22(7): 1745 - 1760.
- Xu Zhiqin, Liu Fulai, Qi Xuexiang, Zhang Zeming, Yang Jingsui, Zeng Lingsen, Liang Fenghua. Record for Rodinia supercontinent breakup event in the south Sulu ultra-high pressure metamorphic terrane[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2006, 22(7): 1745 - 1760. (in Chinese with English abstract)
- [34] 简平, 刘敦一, 杨巍然, Williams I S. 大别山西部熊店加里东期榴辉岩锆石离子探针测年[J]. *科学通报*, 2000, 45(19): 2090 - 2093. (in Chinese)
- Jian Ping, Liu Dunyi, Yang Weiran, Williams I S. The Caledonian eclogite zircon ion probe dating of the Xiongdi, west Dabie Mountains, China [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2000, 45(19): 2090 - 2093. (in Chinese)
- [35] 李任伟, 万渝生, 陈振宇, 周剑雄, 许荣华, 李忠, 江茂生. 根据 SHRIMP U-Pb 测年恢复早侏罗世大别造山带源区特征[J]. *中国科学(D 辑)*, 2004, 34(3): 320 - 328.
- Li Renwei, Wan Yusheng, Chen Zhenyu, Zhou Jianxiong, Xu Ronghua, Li Zhong, Jiang Maosheng. Reconstruction the characteristics of orogenic source rock in Dabie mountain in paleo-Cretaceous period, evidence from zircon SHRIMP U-Pb dating[J]. *Science in China (series D)*, 2004, 34(3): 320 - 328. (in Chinese with English abstract)
- [36] 张金阳, 马昌前, 余振兵, 张祥国, 周红升. 大别造山带北部铁佛寺早古生代同碰撞型花岗岩: 地球化学和年代学证据[J]. *中国科学(D 辑)*, 2007, 37(1): 1 - 9.
- Zhang Jinyang, Ma Changqian, She Zhenbing, Zhang Xiangguo, Zhou Hongsheng. The early Paleozoic synchronous granite with collision of Tiefushi in northern of Dabie orogenic belts: The evidence of geochemistry and chronology [J]. *Science in China (series D)*, 2007, 37(1): 1 - 9. (in Chinese)
- [37] 王团华, 毛景文, 谢桂青, 叶安旺, 李宗彦. 小秦岭、熊耳山金矿区中基性岩墙的岩石化学研究[J]. *地学前缘*, 2008, 15(1): 250 - 266.
- Wang Tuanhua, Mao Jingwen, Xie Guiqing, Ye Anwang, Li Zongyan. Petrochemical research on intermediate-basic dyke rocks in Xiaoqinling, Xiong ershan goldfield, Henan province, central China [J]. *Earth Science Frontiers*, 2008, 15(1): 250 - 266. (in Chinese with English abstract)
- [38] Williams I S, Claesson S. Isotope evidence for the Precambrian province and Caledonian metamorphism of high grade paragneisses from the Seve Nappes, Scandinavian Caledonides: Iron microprobe zircon U-Th-Pb [J]. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 1987, 97: 205 - 217.
- [39] Compston W, Williams I S, Kirschvink J L, *et al.* Zircon U-Pb ages for the early Cambrian time-scale[J]. *Journal of Geology Society*, 1992, 149: 171 - 184.
- [40] Ludwig K R. Users manual for Isoplot/ Ex (rev. 2.49): A geochronological toolkit for Microsoft Excel [M]. Berkeley Geochronology Center, Special Publication, 2001: 1 - 19.