

首编大别造山带侵入岩地质图(1:50万)及其说明

陈玲^{1,2}, 马昌前^{1,3}, 张金阳⁴, 刘园园¹, 余振兵¹, 张超¹

CHEN Ling^{1,2}, MA Chang-qian^{1,3}, ZHANG Jin-yang⁴,

LIU Yuan-yuan¹, SHE Zhen-bing¹, ZHANG Chao¹

1. 中国地质大学(武汉)地球科学学院, 湖北 武汉 430074;

2. 中国地质调查局中国国土资源航空物探遥感中心, 北京 100083;

3. 中国地质大学/地质过程与矿产资源国家重点实验室, 湖北 武汉 430074;

4. 中国地质大学(武汉)资源学院, 湖北 武汉 430074

1. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China;

2. China Aero Geophysical Survey & Remote Sensing Center for Land and Resources, China Geological Survey, Beijing 100083, China;

3. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources/China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China;

4. Faculty of Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China

摘要:大别造山带侵入岩出露面积占该区总面积的50%左右,不同时代的侵入岩是重塑造山带演化历史的窗口。报道了新编绘的《大别造山带及邻区侵入岩地质图(1:50万)》的编制过程及其意义。该图反映了大别造山带侵入岩的空间分布、侵位时代、岩石类型和地球化学特征。同时,为了方便查阅,对出露的侵入岩体进行了编号。研究表明,大别造山带及邻区的侵入岩侵位时代以早白垩世为主,并有少量晚侏罗世、新元古代和早古生代岩体。新元古代岩体主要呈岩株状产出,分布于南大别和西大别红安地区,北淮阳地区亦有少量分布;早古生代侵入岩类规模较小,主要于奥陶纪—志留纪时期侵位,分别呈带状分布于造山带的南北两侧,形成双岩浆带;晚侏罗世岩体主要分布在大别山以南的长江中下游地区;早白垩世侵入岩类分布广泛,面积约占整个大别造山带的47%。认为晚中生代岩浆活动与太平洋板块同期向北西方向的俯冲和随后的伸展事件密切相关。

关键词:大别造山带;侵入岩;地质图

中图分类号:P588.12; P588.19; P623.7

文献标志码:A

文章编号:1671-2552(2012)01-0013-07

Chen L, Ma C Q, Zhang J Y, Liu Y Y, She Z B, Zhang C. The first geological map of intrusive rocks in Dabie orogenic belt and its adjacent areas and its explanatory notes. *Geological Bulletin of China*, 2012, 31(1): 13-19

Abstract: The exposed intrusive rocks of different ages in the Dabie orogenic belt which possess about 50% of the total surface area of that belt have great significance for understanding the evolution of the Dabie orogenic belt. In order to exchange the basic information obtained from the authors recent researches funded by the National Natural Science Foundation of China with other researchers, this paper presents the first geological map of intrusive rocks in Dabie orogenic belt and its adjacent areas (1:500000). This map is based on previous relevant maps and incorporates the latest data (including geochemical data and geochronological data) in the past two decades and the unpublished data obtained by the authors research group. It displays the spatial distribution, intrusive ages, petrologic features and geochemical features. Also, in order to improve the readability of the map, the authors give serial number to the intrusive bodies.

收稿日期:2011-07-29;修订日期:2011-10-11

资助项目:国家自然科学基金重点项目《大别造山带中生代侵入岩类成因、岩浆动力学与构造体制转换》(批准号:40334037)和湖北省自然科学基金重点项目《鄂北大别山区中生代典型花岗岩体铀的含矿性研究》(编号:2009CDA004)

作者简介:陈玲(1982-),女,博士,从事岩石学、Re-Os同位素地球化学和遥感地质研究。E-mail:chenling010@126.com

通讯作者:马昌前(1958-),男,教授,从事岩石学、花岗岩地质学、岩浆动力学等的教学和科研工作。E-mail:cqma@cug.edu.cn

The research shows that the Early Cretaceous intrusive bodies possess the majority of all the intrusive rocks, while Neoproterozoic and Early Paleozoic bodies are much less. Most of the Neoproterozoic intrusive bodies occur as stocks in southern Dabie, Hong'an area in western Dabie and northern Huaiyang area. The Early Paleozoic intrusive bodies are much smaller, constituting paired magmatic belts in south and north parts of Dabie orogenic belt. The Late Jurassic intrusive bodies are mainly distributed in the lower and middle reaches of the Yangtze River. The Early Cretaceous intrusive bodies are widely spread, covering 47% of the total area of the orogenic belt. The Late Mesozoic magma is probably associated with the northwestward subduction of Paleo-Pacific plate underneath the South China block and subsequent extensional events.

Key words: Dabie orogenic belt; intrusive body; geological map

大别造山带是扬子地块和华北地块在中—晚三叠世碰撞之后受到晚中生代构造岩浆作用改造而定型的复合造山带^[1-3],同时也是世界上最大的超高压变质带,因而受到全球地质学家的广泛关注。近年来,随着各项研究的深入,人们越来越意识到大别造山带广泛出露的侵入岩类(出露面积占整个大别造山带的 50%左右)对研究整个造山带的演化具有重要意义。到目前为止,本区已经完成了 1:20 万区域地质调查和地质填图^[4-7],发表了大量研究论文^[8-44]、专著^[45-49],但仅出版了少量地质图件^{[47](1)},尚无以侵入岩为主题的图件发表。为了全面展示近 20 年来国内外学者对大别造山带及其邻区侵入岩类的研究成果,交流笔者在国家自然科学基金资助下取得的新成果,本文报道了项目组编绘的《大别造山带及其邻区侵入岩类地质图》。

《大别造山带及邻区侵入岩地质图(1:50 万)》的图幅范围为 E112°00'~117°40'、N29°50'~33°08',横跨鄂、豫、赣、皖 4 省,涉及大别造山带、华北地块南缘、扬子地块北缘等构造单元。本文重点研究大别造山带,以侵入岩为主,部分相关火山岩也有涉及。

1 资料收集

本次编图所依据的地质资料截至 2010 年底,资料主要来源如下。

(1)图幅范围内 1:20 万区域地质调查报告及其地质图,相关省的区域地质志及其所附的地质图件^{[4-7](2)-(19)}。

(2)有关大别造山带侵入岩的研究专著《桐柏山—大别山花岗岩类地球化学》^[45]、《秦岭—大别苏鲁地区岩石圈三维化学结构特征》^[46]、《大别山超高压变质作用与碰撞造山动力学》^[47]、《秦岭—大别山花岗岩》^[48]和《大别山及邻区地质构造特征与形成演化——地幔差速环流与形成演化》^[49]。

(3)已出版的相关地质图件及其说明书:大别造山带地质图、大别造山带构造纲要图^[47]。

(4)在相关学术期刊上公开发表的研究论文,主要收集了 1991—2010 年之间的中英文论文。

(5)国家自然科学基金委重点项目《大别造山带中生代侵入岩类成因、岩浆动力学与构造体制转换》(No.40334037)未刊出的资料。

2 资料采用原则

编图资料主要涉及侵入岩体及部分火山岩的空间展布、岩石类型、侵位时代(同位素年龄值)、主要岩性的地球化学资料,将收集好的资料以统一的格式录入数据库中。对于复杂岩体和不同来源的资料主要采用以下原则进行甄别和选用。

(1)侵入岩和火山岩的出露范围主要依据 1:50 万区域地质调查报告中的数据,对其中未列出数据的,则查找 1:20 万区域地质调查报告中的数据,按岩体产状进行估算,补充在图中。

(2)岩体和火山岩的数据尽量收集全面,包括岩石类型、接触关系、各种岩性的地球化学数据、年代学数据、获得各种数据的测试方法、参考文献的出处等。

(3)对于岩体和火山岩的形成时代、微量元素数据主要采用相关专著和研究论文中利用较可信的测试方法获得的数据。例如对于岩体年代学数据来说,如果同一岩体结晶年龄数据先后采用了全岩 K-Ar 法、锆石 U-Pb 稀释法、矿物 Ar-Ar 法、锆石激光剥蚀电感耦合等离子质谱法(LA-ICP-MS)、锆石高分辨率二次离子探针质谱仪法(SHRIMP)获得的年龄,笔者认为利用锆石 SHRIMP 方法和 LA-ICP-MS 方法获取的数据更可信。

(4)对于研究论文和相关专著中仍无数据的岩体,则通过岩性类比,依相邻岩体的属性来确定时代范围。

3 编图流程

首先,以全国1:50万地质图为基础,从中导出大别造山带及邻区的湖北省、河南省、安徽省的相关图幅,并将导出的图幅进行裁剪和拼接,同时参考了全国1:20万地质图,相关省的区域地质志,期刊发表的文章和项目组详细的野外观测资料对区域构造线、岩体边界、岩石类型进行准确而详细的核对和修正。然后对各时代的地层进行梳理,并展示了以榴辉岩为主要特征的超高压变质岩的空间分布状况。最后,对白垩纪—侏罗纪的中酸性侵入岩按侵位时代、岩石类型和地球化学特征,用不同的颜色和花纹对岩体进行充填,同时由于很多早白垩世岩体都是复式岩体,例如天柱山岩体和白鸭山岩体,既有 Sr/Y 比值大于60的花岗岩类,也有 Sr/Y 比值小于60的富碱花岗岩,编图时主要选择了主体的岩性表现在图中。本文的重点研究对象是中酸性侵入岩,对同时代的镁铁质—超镁铁质岩仅按照岩石类型进行了花纹的充填;还兼顾了古生代和新元古代的侵入岩体,并按照时代和岩性对其进行了颜色和花纹的充填;由于本区火山岩以早白垩世的居多,新元古代和古生代火山岩大多已发生变质,晚白垩世玄武岩主要分布于大别造山带南北两侧的断陷盆地内,因此对于火山岩部分仅根据岩性进行了颜色、花纹的充填,并标注了少量可靠的同位素年龄。

4 编图特色

新编的《大别造山带及邻区侵入岩地质图》突显岩体的侵位时代、岩石类型、空间分布和地球化学特征。根据大别造山带及邻区岩体的实际情况,该图将研究区侵入岩按侵位时间分为新元古代(858~611Ma)、早古生代(464~429Ma)、晚中生代(侏罗纪—白垩纪)(152~110Ma)3个阶段,并用不同的颜色相区分。然后根据年代学和地球化学特征,重点对侏罗纪—白垩纪侵入岩进行了详细分类:①年龄介于152~130Ma之间,地球化学具有强烈亏损重稀土元素和 Sr/Y 比值较高(一般大于60)的特点,大多都是二长花岗岩、花岗闪长岩、石英闪长岩等,具有埃达克质岩石的化学组成;②年龄介于152~130Ma之间,重稀土元素亏损不明显, Sr/Y 比值较低(一般小于60),大多都是石英二长岩、二长花岗岩、闪长岩等;③年龄介于130~110Ma之间, Sr/Y 比

值较低(一般小于60),该类岩浆岩主要是富碱长英质岩浆岩和镁铁质岩类,代表了伸展构造体制下的产物。在编图时,适当淡化了地层和构造因素,以使侵入岩的时空分布和地球化学特征的规律性更加明显。

尽管用 Sr/Y 比值划分岩石存在争议,但笔者在编图中是把 Sr/Y 比值与年龄、岩性结合起来考察的。这样的划分主要基于下面的2点考虑:①高 Sr 低 Y 的类埃达克质岩石在中国东部被广泛关注,与成矿关系密切^[50-51],特别是大别造山带和长江中下游发育的高 Sr/Y 比值的花岗岩类,被认为是在地壳加厚条件下形成的埃达克质岩石。该指标对揭示该区的构造演化可能具有重要意义,而且该比值不同的岩石在岩性上有比较明显的差异,例如除镁铁质岩石外,大多数 Sr/Y 比值小于60的长英质岩石都是碱长花岗岩类。②大量资料的整理和分析表明,大别造山带及邻区花岗岩类在130Ma左右岩石成分出现明显变化:老于130Ma的岩石,其 Sr/Y 比值介于180~20之间,且大多数大于60,而130Ma之后基本未出现 Sr/Y 比值大于60的花岗岩类。因此约130Ma可以作为大别造山带从挤压增厚到伸展减薄的转换时间^[44]。

本图的另一个特色就是标注了各类侵入岩体的名称,并且对岩体一一编号,编号的顺序主要依据岩体的地理位置,按纬度从高到低从图幅的西北角开始编号,以便读者阅读和查找。同时,还注明了确定岩体侵位时代所用的同位素年代学方法和具体的年龄数据,如采用高灵敏度高分辨率二次离子质谱法(SHRIMP)确定岩体形成时代为129Ma,在图中简写成SH129。

5 大别造山带侵入岩分布特征

新元古代侵入岩类在本区分布范围有限,主要包括2种岩性,一种为花岗岩类,例如鲁家寨、太阳脑、双峰尖、蕲春、大磊山等岩体,这些岩体主要呈岩株状分布于南大别和西大别红安地区,北淮阳地区亦有少量分布。岩石变形较为强烈,多发生糜棱岩化和出现片麻理,岩体年龄范围在858~740Ma之间,为新元古代中期的产物。

古生代侵入岩类(时代主要为奥陶纪—志留纪)岩体规模较小,在大别造山带呈南北2个带分布。北带主要指分布在北淮阳西部的奥陶纪花岗岩类和闪

长岩类,例如马畈闪长岩体、铁佛寺花岗岩体、桃园二长花岗岩体^[52-53]等;南带为南秦岭随州地区的志留纪碱性花岗岩及辉长岩,例如黄羊山碱性花岗岩体^[24]。

与中央造山带的昆仑山、秦岭和苏鲁地区不同,大别山及邻区缺少晚古生代—早中生代岩浆活动的记录。现有研究证明,华北和扬子板块的碰撞发生在中晚三叠世^[47],因此大别造山带可能是无同碰撞型岩浆活动造山带的实例。

晚中生代侵入岩类是大别造山带及邻区侵入岩类的主体,这一时期的侵入岩类出露面积约占整个大别造山带的 47%^[15]。除了南部—东南部少数岩体的时代属晚侏罗世外,例如长江中下游大冶地区的殷祖岩体和铜陵地区的沙滩角石英二长斑岩体侵位时代为 152Ma^[44,54],其它岩体的侵位时代均为早白垩世(年龄分布在 143~115Ma 之间,峰值年龄为 130Ma)。

6 大别造山带侵入岩研究进展及其地质意义

研究认为,新元古代侵入岩类可能就是大别造山带内广泛出露的花岗质片麻岩原岩的同时代产物^[55],形成于地壳伸展的环境下,可能与 Rodinia 超大陆裂解有关^[56];另一种为镁铁质—超镁铁质侵入岩类,例如柳林、王母观、春秋庙岩体,这些岩体主要呈脉状或岩墙分布在北淮阳地区,岩石遭受了较强的蚀变,年龄范围 635~611Ma^[32-33],这类镁铁质—超镁铁质岩浆活动可能是扬子北缘新元古代晚期的一次陆内裂解事件的产物^[32]。

研究表明,古生代侵入岩类在大别造山带呈南北 2 个带分布。北带发育的奥陶纪岩体均呈北西向展布,岩体面理普遍较发育,其产状与围岩中的区域性面理基本一致,该岩浆弧向西与北秦岭岩浆弧相接^[23]。而南带发育的志留纪碱性岩浆活动反映了非造山过程,与辉长岩一起向西延伸构成南秦岭早古生代晚期的双峰式侵入岩带,是扬子克拉通北缘伸展作用的产物。北淮阳地区与俯冲相关的岩浆岩带和南秦岭—随州地区双峰式岩浆岩带构成双岩浆带(paired magmatic belts)^[57],区域同位素填图和碎屑锆石年龄分布表明北淮阳和北秦岭应属扬子地块。因此,笔者认为双岩浆带分别是古秦岭洋板块在古生代时期向南俯冲和扬子地块

北缘弧后扩张的产物^[24]。

为了进一步阐明该区晚中生代侵入岩的地质意义,本研究将大别造山带晚中生代侵入岩类分为以下 3 类。第 1 类为钙碱性和高钾钙碱性的中酸性岩,年龄在 140~130Ma 之间,岩石化学具有强烈亏损重稀土元素、Sr/Y 比值较高等特征。如大别山核部地区的云峰顶弱片麻状斑状二长花岗岩岩体和鹅公包弱片麻状斑状二长花岗岩岩体,锆石 SHRIMP U-Pb 年龄分别为 143Ma±3Ma 和 142Ma±3Ma^[35],Sr/Y 比值分别为 164 和 112,石鼓尖石英二长岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 133Ma^[36],Sr/Y 比值为 58,舒潭斑状二长花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 133Ma,Sr/Y 比值为 163。这类高钾钙碱性花岗岩类高 Sr 低 HREE 和 Y,无明显的 Eu 负异常,具有埃达克质岩的特点,形成于加厚下地壳的角闪岩或者含金红石的榴辉岩部分熔融^[29,35-36,58]。第 2 类为出现在北大别的镁铁质—超镁铁质岩浆,出露面积相对中酸性岩浆活动较少,规模较小,主要呈小岩株、岩脉、闪长质暗色微粒包体及超镁铁质包体产出。岩体主要有椒子岩、道士冲、祝家铺、任家湾、小河口、沙村等,这些岩体的侵位时代和花岗岩类岩浆活动几乎同时。例如沙村辉长岩和辉石岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 125Ma^[31],北淮阳金寨银沙畈辉长岩脉锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 126Ma^[59]。这些镁铁质—超镁铁质岩石的成因仍是争论的热点,李曙光等^[10]根据岩石具有 Nb、Zr、Ti 的负异常和 Sr、Nd 同位素具有富集地幔的特征,认为这些镁铁质—超镁铁质岩浆源于俯冲陆壳析出流体交代的楔形地幔;Jahn 等^[13]基于镁铁质—超镁铁质岩浆具有轻稀土元素强烈富集和 Sr、Nd 同位素富集的特征,认为镁铁质—超镁铁质岩由俯冲至深处的扬子古老地壳与软流圈地幔物质反应形成的交代地幔的部分熔融形成;Tsai 等^[60]认为镁铁质—超镁铁质岩的形成与岩浆弧、同碰撞无关,而与早白垩世的伸展事件有关;张金阳^[37]认为大别山早白垩世镁铁质—超镁铁质岩是富集地幔部分熔融的产物,并在伸展体制下侵位于中上地壳,暗示了岩石圈强烈的垂向增生和横向伸展。第 3 类主要为富硅富钾的呈岩株、岩脉产出的花岗岩类、正长岩类及基性岩脉。这一类岩浆活动较第 2 类稍晚,通常被认为是伸展构造体制下的产物,其中中酸性岩类的 Sr/Y 较第 2 类低。例如东大别的舒潭花岗斑岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 128Ma,

Sr/Y 比值为 7.6^[36],北大别靠近商麻断裂的白鸭山铝质 A 型花岗岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄为 120Ma, Sr/Y 比值为 2.3^[43]。同时亦发育基性岩脉,年龄均为早白垩世,但反映的地幔属性却存在变化。例如北淮阳金寨银沙畈辉长岩脉锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 126Ma, 属碱性系列, Sr-Nd 同位素显示富集地幔的特点^[59];而最近的研究表明,北大别靠近商麻断裂的白鸭山岩体中辉长岩脉锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 110Ma, Sr-Nd 同位素显示亏损地幔的特点,并且综合整个中国东部的基性岩的研究成果,认为该基性岩浆的侵入可能代表中国东部地幔属性从富集地幔向亏损地幔的转变^[61]。总而言之,第 Ⅰ类岩浆活动被认为是在 130Ma 之后,加厚地壳底部被抽取大量的长英质熔体后发生榴辉岩化作用,促进岩石圈下部塌陷、软流圈上涌,幔源岩浆进一步在地壳内发生内侵,并产生富碱的基性脉状侵入体,即该类岩浆活动是在岩石圈塌陷和地壳伸展阶段侵位的。

从宏观上,燕山期的岩浆活动在时间上具有从沿海向内陆变年轻的趋势,这可能与太平洋板块同期向北西方向的俯冲有关^[41],而不是以往认为的属于陆-陆碰撞后阶段的产物。主要基于以下一些事实:①从时间尺度上看,大别山地区燕山期的岩浆活动的时代介于 143~110Ma 之间,且主要出现在 130Ma 左右,比超高压变质的峰期年龄(例如,锆石 U-Pb, 228Ma±2Ma^[47])所代表的碰撞时间滞后约 100 Ma,而世界上其它造山带从碰撞到造山后伸展延续的时间约为 20~50Ma^[62-63];②从空间尺度上看,尽管大别造山带内外同期岩石成分有一定的差别,但扩展到长江中下游地区,具有一定的规律性,即先出现高 Sr/Y 比值的花岗岩类,后出现富碱的侵入岩类;③在广大区域内钙碱性岩浆活动呈现的由东南向西北的迁移规律,进一步说明大别山及邻区晚中生代的岩浆活动不是华北与扬子地块碰撞后岩浆作用的产物,而是西太平洋构造域中生代构造-岩浆演化的结果^[41]。

致谢:研究工作中得到孙枢、张国伟、钟大赉、李曙光院士和周新民教授的指导,在数据整理过程中王连训、王世明同志给予帮助,在地质图初稿完成后,杨坤光、李建威、廖群安教授审阅相关资料并提出了宝贵的修改意见,在此一并表示衷心的感谢。

参考文献

- [1] Li S G, Xiao Y L, Liou D L, et al. Collision of the North China and Yangtze Blocks and formation of coesite-bearing eclogites: Timing and processes[J]. *Chemical Geology*, 1993, 109(1/4): 89-111.
- [2] Hacker B R, Ratschbacher L, Webb L E, et al. Exhumation of ultrahigh-pressure continental crust in east-central China: Late Triassic-Early Jurassic tectonic unroofing[J]. *Journal of Geophysical Research*, 2000, 105(B6): 13339-13364.
- [3] Zhai M G, Cong B L. Petrotectonics of Sulu-Dabie metamorphic belt, central and east China[J]. *Science in China (Series D)*, 1996, 39(3): 319-328(in Chinese with English abstract).
- [4] 安徽省地质矿产局. 安徽省区域地质志(及附图)[M]. 北京:地质出版社, 1987:1-771.
- [5] 江西省地质矿产局. 江西省区域地质志(及附图)[M]. 北京:地质出版社, 1987:1-921.
- [6] 河南省地质矿产局. 河南省区域地质志(及附图)[M]. 北京:地质出版社, 1989:1-772.
- [7] 湖北省地质矿产局. 湖北省区域地质志(及附图)[M]. 北京:地质出版社, 1990:1-705.
- [8] Ma C Q, Li C A. Continental tectonosphere activation of the east China and asthenolith vibration[C]//Conference on Geology across the Taiwan Strait. 1995: 123-128(in Chinese with English abstract).
- [9] 李曙光, 聂永红, 郑双根, 等. 俯冲陆壳与上地幔的相互作用——大别山同碰撞镁铁-超镁铁岩的主要元素及痕量元素地球化学[J]. *中国科学(D 辑)*, 1997, 27(6): 488-493.
- [10] 李曙光, 聂永红, Hart S R, 等. 俯冲陆壳与上地幔的相互作用——大别山同碰撞镁铁-超镁铁岩的 Sr、Nd 同位素地球化学[J]. *中国科学(D 辑)*, 1998, 28(1): 18-22.
- [11] Hacker B R, Ratschbacher L, Webb L, et al. U-Pb zircon ages constrain the architecture of the ultrahigh-pressure Qinling-Dabie Orogen, China[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1998, 161(1/4): 215-230.
- [12] Ma C Q, Li Z C, Ehlers C, et al. A post-collisional magmatic plumbing system: Mesozoic granitoid plutons from the Dabieshan high-pressure and ultrahigh-pressure metamorphic zone, east-central China[J]. *Lithos*, 1998, 45(1/4): 431-456.
- [13] Jahn B M, Wu F Y, Lo C H, et al. Crust-mantle interaction induced by deep subduction of the continental crust: geochemical and Sr-Nd isotopic evidence from post-collisional mafic-ultramafic intrusions of the northern Dabie complex, central China[J]. *Chemical Geology*, 1999, 157(1/2): 119-146.
- [14] Ma C Q, Ehlers C, Xu C H, et al. The roots of the Dabieshan ultrahigh-pressure metamorphic terrane: constraints from geochemistry and Nd-Sr isotope systematics[J]. *Precambrian Research*, 2000, 102(3/4): 279-301.
- [15] Ratschbacher L, Hacker B R, Webb L E, et al. Exhumation of the ultrahigh-pressure continental crust in east central China: Cretaceous and Cenozoic unroofing and the Tan-Lu fault[J]. *Journal of Geophysical Research*, 2000, 105(B6): 13303-13338.

- [16]王强, 王人镜. 大别造山带核部天堂寨和九资河花岗岩的成岩模拟[J]. 现代地质, 2000, 14(2): 147-152.
- [17]陈道公, 汪相, 李彬贤, 等. 北大别辉石岩成因: 锆石微区年龄和化学组成[J]. 科学通报, 2001, 46(7): 586-590.
- [18]葛宁洁, 李惠玉, 侯振辉, 等. 大别造山带白马尖花岗岩体的钨、铋同位素地球化学研究[J]. 地质论评, 2001, 47(2): 184-187.
- [19]Chen B, Jahn B M, Wei C J. Petrogenesis of Mesozoic granitoids in the Dabie UHP complex, Central China: trace element and Nd-Sr isotope evidence[J]. Lithos, 2002, 60(1/2): 67-88.
- [20]黄方, 李曙光, 周红英, 等. 大别山碰撞后镁铁-超镁铁岩的 U-Pb 同位素地球化学: 壳-幔相互作用及 LOMU 端元[J]. 中国科学(D 辑), 2002, 32(8): 625-634.
- [21]吴元保, 陈道公, 夏群科, 等. 北大别黄土岭麻粒岩锆石 U-Pb 离子探针定年[J]. 岩石学报, 2002, 18(3): 378-382.
- [22]Zhang H F, Gao S, Zhong Z Q, et al. Geochemical and Sr-Nd-Pb isotopic compositions of Cretaceous granitoids: constraints on tectonic framework and crustal structure of the Dabieshan ultra-high-pressure metamorphic belt, China[J]. Chemical Geology, 2002, 186(3/4): 281-299.
- [23]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.
- [24]马昌前, 余振兵, 许聘, 等. 桐柏-大别山南缘的志留纪 A 型花岗岩类: SHRIMP 锆石年代学和地球化学证据[J]. 中国科学(D 辑), 2004, 34(12): 1100-1110.
- [25]吴元保, 郑永飞, 龚冰, 等. 北淮阳庐镇关岩浆岩锆石 U-Pb 年龄和氧同位素组成[J]. 岩石学报, 2004, 20(5): 1007-1024.
- [26]谢智, 郑永飞, 闫峻, 等. 大别山沙村中生代 A 型花岗岩和基性岩的源区演化关系[J]. 岩石学报, 2004, 20(5): 1175-1184.
- [27]Zheng Y F, Wu Y B, Chen F K, et al. Zircon U-Pb and oxygen isotope evidence for a large-scale ^{18}O depletion event in igneous rocks during the Neoproterozoic[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2004, 68(20): 4145-4165.
- [28]徐小军, 赵子福, 郑永飞, 等. 大别造山带天柱山燕山期中酸性岩浆岩元素和同位素地球化学研究[J]. 岩石学报, 2005, 21(3): 607-622.
- [29]续海金. 大别造山带核部晚中生代岩浆侵位序列与构造体制转换[D]. 中国地质大学博士学位论文, 2005: 190.
- [30]Wang Y, Fan W, Peng T, et al. Nature of the Mesozoic lithospheric mantle and tectonic decoupling beneath the Dabie Orogen, Central China: Evidence from $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology, elemental and Sr-Nd-Pb isotopic compositions of Early Cretaceous mafic igneous rocks[J]. Chemical Geology, 2005, 220(3/4): 165-189.
- [31]Zhao Z F, Zheng Y F, Wei C S, et al. Zircon U-Pb age, element and C-O isotope geochemistry of post-collisional mafic-ultramafic rocks from the Dabie orogen in east-central China[J]. Lithos, 2005, 83(1/2): 1-28.
- [32]陈玲, 马昌前, 余振兵, 等. 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, 2006, 31(4): 578-584.
- [33]刘贻灿, 李曙光, 古晓锋, 等. 北淮阳王母观橄辉长岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 科学通报, 2006, 51(18): 2175-2180.
- [34]Huang F, Li S G, Dong F, et al. Recycling of deeply subducted continental crust in the Dabie Mountains, Central China[J]. Lithos, 2007, 96(1/2): 151-169.
- [35]Wang Q, Wyman D A, Xu J, et al. Early Cretaceous adakitic granites in the Northern Dabie Complex, central China: Implications for partial melting and delamination of thickened lower crust [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2007, 71(10): 2609-2636.
- [36]Xu H, Ma C Q, Ye K. Early Cretaceous granitoids and their implications for the collapse of the Dabie orogen, eastern China: SHRIMP zircon U-Pb dating and geochemistry[J]. Chemical Geology, 2007, 240(3/4): 238-259.
- [37]张金阳. 大别山晚中生代基性岩石成因及岩石圈地幔属性[D]. 中国地质大学博士学位论文, 2007: 138.
- [38]Zhao Z F, Zheng Y F, Wei C S, et al. Post-collisional granitoids from the Dabie orogen in China: Zircon U-Pb age, element and O isotope evidence for recycling of subducted continental crust [J]. Lithos, 2007, 93(3/4): 248-272.
- [39]续海金, 叶凯, 马昌前. 北大别早白垩纪花岗岩类的 Sm-Nd 和锆石 Hf 同位素及其构造意义[J]. 岩石学报, 2008, 24(1): 87-103.
- [40]Zhao X F, Zhou M F, Li J W, et al. Association of Neoproterozoic A- and I-type granites in South China: Implications for generation of A-type granites in a subduction-related environment[J]. Chemical Geology, 2008, 257(1/2): 1-15.
- [41]Ma C Q, Zhang C, Liu Y Y, et al. Migrating Magmatic Arc and Lithospheric Extension: Implications for Mesozoic Large-Scale Magmatism in the Dabieshan and Southeastern China[C]//Abstracts for the 2008 Western Pacific Meeting. 2008, Eos Transactions AGU 89(23).
- [42]周红升, 马昌前, 张超, 等. 华北克拉通南缘泌阳春水燕山期铝质 A 型花岗岩类: 年代学、地球化学及其启示[J]. 岩石学报, 2008, 24(1): 49-64.
- [43]Chen L, Ma C Q, She Z B, et al. Petrogenesis and tectonic implications of A-type granites in the Dabie orogenic belt, China: geochronological and geochemical constraints[J]. Geological Magazine, 2009, 146(5): 638-651.
- [44]Li J W, Zhao X F, Zhou M F, et al. Late Mesozoic magmatism from the Daye region, eastern China: U-Pb ages, petrogenesis, and geodynamic implications[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 2009, 157(3): 383-409.
- [45]李石, 王彤. 桐柏山-大别山花岗岩类地球化学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1991: 208.
- [46]路凤香, 张本仁, 韩吟文. 秦岭-大别苏鲁地区岩石圈三维化学结构特征[M]. 北京: 地质出版社, 2006: 238.
- [47]《大别山超高压变质作用与碰撞造山动力学》编写组. 大别山超高压变质作用与碰撞造山动力学(及附图)[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 210.
- [48]李先梓, 严阵, 卢欣祥. 秦岭-大别花岗岩[M]. 北京: 地质出版社, 1993: 218.
- [49]汤加富, 周存亭, 侯明金, 等. 大别山及邻区地质构造特征与形成

- 演化——地幔差速环流与陆内多期造山[M]. 北京:地质出版社, 2003:266.
- [50]张旗, 王元龙, 金惟俊, 等. 晚中生代的中国东部高原:证据、问题和启示[J]. 地质通报, 2008, 27(9): 1404-1430.
- [51]王强, 许继峰, 赵振华, 等. 中国埃达克岩或埃达克质岩及相关金属成矿作用[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2007, 26(4): 336-349.
- [52]张利, 周炼, 王林森, 等. 桐柏北部黄岗侵入杂岩岛弧构造环境的厘定[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2001, 20(4): 245-247.
- [53]张利, 王林森, 周炼. 北秦岭弧后盆地俯冲消减与陆壳物质再循环——桃园岩体和黄岗杂岩体的地球化学证据[J]. 地球科学, 2001, 26(1): 18-24.
- [54]狄永军, 吴淦国, 张达, 等. 铜陵地区小铜官山和沙滩脚岩体锆石 SHRIMP U-Pb 年代学研究及其岩石学意义[J]. 地质学报, 2005, 79(6): 804.
- [55]薛怀民, 刘敦一, 董树文, 等. 湖北蕲春花岗岩类锆石 SHRIMP 年龄:大别山造山带内弱变质—未变质晋宁期花岗岩类的发现[J]. 地质学报, 2004, 78(1): 81-88.
- [56]刘晓春, 董树文, 李三忠, 等. 湖北红安群的时代:变质花岗岩侵入体 U-Pb 定年提供的制约[J]. 中国地质, 2005, 32(1): 75-81.
- [57]马昌前, 余振兵, 张金阳, 等. 地壳根、造山热与岩浆作用[J]. 地学前缘, 2006, 13(2): 130-139.
- [58]Zhang C, Ma C, Holtz F. Origin of high-Mg adakitic magmatic enclaves from the Meichuan pluton, southern Dabie orogen (central China): Implications for delamination of the lower continental crust and melt-mantle interaction[J]. Lithos, 2010, 119(3/4): 467-484.
- [59]王世明, 马昌前, 王琳燕, 等. 大别山早白垩世基性脉岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年、地球化学特征及成因[J]. 地球科学, 2010, 35(4): 572-584.
- [60]Tsai C H, Lo C H, Liou J G, et al. Evidence against subduction-related magmatism for the Jiaoziyan gabbro, northern Dabie Shan, China[J]. Geology, 2000, 28(10): 943-946.
- [61]Chen L, Ma C Q, Zhang J Y, et al. Mafic dykes derived from Early Cretaceous depleted mantle beneath the Dabie orogenic belt: implications for changing lithosphere mantle beneath Eastern China[J]. Geological Journal, 2010: 10.1002/gj.1273.
- [62]Finger F, Roberts M P, Haunschmid B, et al. Variscan granitoids of central Europe: their typology, potential sources and tectonothermal relations[J]. Mineralogy and Petrology, 1997, 61(1/4): 67-96.
- [63]Van Wagoner N A, Leybourne M I, Dadd K A, et al. Late Silurian bimodal volcanism of southwestern New Brunswick, Canada: Products of continental extension[J]. Geological Society of America Bulletin, 2002, 114(4): 400-418.
- (1)湖北省航空物探队大别山综合组. 大别山西南麓地质图(1:20万). 武汉, 1979.
- (2)万义文. 襄樊市幅 I-49-35 1:20 万区域地质调查报告:地质部分. 武汉, 1990.
- (3)柴世钦, 等. 南阳幅 I-49-29 1:20 万调查报告. 郑州, 河南省地质局区测队, 1978.
- (4)张宗恒. 毛集幅 I-49-132-A、固县镇幅 I-49-132-C、平昌关幅 I-49-132-D 1:5 万区域地质调查报告:地质部分. 郑州, 河南省地矿厅第 3 地调队, 1990.
- (5)白国典. 春水幅 I49E018022 1:5 万地质图说明书. 郑州, 河南省地矿局区域地质调查队, 2000.
- (6)林德超, 等. 商城幅 H-50-2 1:20 万区域地质调查报告. 河南省地质局区测队, 1980.
- (7)林德超, 等. 信阳幅 I-50-31 1:20 万区域地质调查报告. 河南省地质局区测队, 1980.
- (8)冯广中, 等. 涩港幅 H-50-1-B 1:5 万地质图及说明. 郑州, 郑州地校区调队, 1993.
- (9)王树桓. 亳县幅 I-50-20、阜阳幅 I-50-26、蒙城幅 I-50-27、固始幅 I-50-32、寿县幅 I-50-33 1:20 万区域地质调查报告. 合肥, 安徽省地质局区调大队, 1979.
- (10)张义芳, 刘成新, 周忠友. 英山县幅 H50E008007 1:5 万区域地质图说明书. 武汉: 湖北地勘局区调所, 1996.
- (11)张淦权. 罗田幅 H-50-8 1:20 万区域地质调查报告. 武汉, 湖北省地质局区域地质测量队, 1974.
- (12)周忠友. 罗田县幅 H50E008006 1:5 万地质图说明书. 武汉, 湖北省区域地质矿产调查所, 1999.
- (13)周存亭, 等. 大别—苏鲁造山带 1:50 万地质图说明书. 北京, 中国地质科学院地质研究所, 2002.
- (14)张淦权. 蕲春幅 H-50-14 1:20 万区域地质调查报告. 武汉, 湖北省地质局区测队, 1976.
- (15)钱存超, 等. 主簿原幅 H50E008009、岳西幅 H50E007010 1:5 万区域地质调查报告. 合肥, 安徽省地质勘察院, 1999.
- (16)周存亭, 等. 安徽省大别山地区片区地质图说明书(1:25 万). 合肥, 安徽省地质调查院, 1999.
- (17)江来利, 等. 太湖县幅 H50C002002 1:25 万区域地质调查报告. 合肥, 安徽省地质调查院, 2002.
- (18)黄恩宇. 蒲圻幅 H-49-24 1:20 万区域地质调查报告. 湖北省区测队, 1976.
- (19)田望学. 通山县幅 H50E015003 1:5 万地质图说明书. 湖北省区域地质矿产调查局, 1999.