

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

陈玲¹, 马昌前^{1,2}, 余振兵¹, 张金阳¹, 周红升³, 王琳燕¹

1. 中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074

2. 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

3. 信阳师范学院城市与环境科学系, 河南信阳 464000

摘要: 大别山北坡北淮阳构造带的柳林一定远—王母观一线, 断续分布着带状产出的辉长岩体, 构成一条NWW向的基性岩带, 以往被认为是形成于海西期的造山后伸展环境。对该带西缘鸡公山北坡柳林辉长岩进行了锆石SHRIMP U-Pb定年和辉石、斜长石的矿物化学研究。辉长岩中的岩浆锆石SHRIMP U-Pb年龄为 (611 ± 13) Ma, 代表岩体结晶时代, 这一年龄远远老于其围岩上奥陶统定远组的时代。岩体主要矿物辉石属普通辉石, Na_2O 、 FeO 和 MnO 较高, 长石属中长石, 低 CaO , 这些特征明显区别于岛弧或活动大陆边缘环境中的同类矿物, 而与板内伸展环境中形成的辉长岩的矿物特征相似。研究表明, 大别山北部新元古代晚期(610 Ma左右)发育了一次陆内裂解事件。

关键词: 辉长岩; 锆石SHRIMP U-Pb定年; 新元古代裂解事件; 大别造山带。

中图分类号: P588.12

文章编号: 1000-2383(2006)04-0578-07

收稿日期: 2005-12-26

Liulin Gabbro in the Beihuaiyang Tectonic Belt of the Dabie Orogen: A Witness of the Late Neoproterozoic Rifting Event

CHEN Ling¹, MA Changqian^{1,2}, SHE Zhenbing¹, ZHANG Jinyang¹,
ZHOU Hongsheng³, WANG Linyan¹

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

2. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

3. Department of City and Environmental Science, Xinyang Normal University, Xinyang 464000, China

Abstract: A number of gabbroic plutons discontinuously crop out along the Liulin-Dingyuan-Wangmuguan region in the Beihuaiyang tectonic belt of north Dabie. They were previously considered to have been developed in a post-orogenic extensional setting. In this paper we present new data of zircon SHRIMP dating and EPMA chemical analysis results of pyroxenes and plagioclases from the Liulin gabbro at the northern foot of Jigongshan Mountain. SHRIMP U-Pb dating on magmatic zircons yielded an age of (611 ± 13) Ma, which is interpreted as the crystallization time of the Liulin gabbro. The date is significantly older than the immediately adjacent Upper Ordovician Dingyuan Formation, revising the contact relationship between the gabbro body and its wall rock. Pyroxene is exclusively augite with high Na_2O , FeO and MnO contents, and plagioclase is low CaO andesine, which share characteristics with their counterparts from gabbros formed in an intra plate setting and are largely different from those from gabbros associated with island arc or active continental margin. The results indicate that there may have been a continental rifting event in the north of the Dabie orogen during the late Neoproterozoic period.

Key words: gabbro; zircon SHRIMP U-Pb dating; Neoproterozoic rifting event; Dabie orogen.

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(No. 40334037)。

作者简介: 陈玲(1982—), 女, 矿物学岩石学专业硕士研究生; 通讯作者: 马昌前, E-mail: cqma@cug.edu.cn

大量年代学研究表明,大别山新元古代岩浆活动非常发育(谢智等,2002;郑永飞等,2004; Li *et al.*, 2004; 吴元保等,2005),相关岩体主要分布在大别山北部超高压变质地区,少数分布在北淮阳构造带,强烈的岩浆活动的时代集中在新元古代中期(800~700 Ma)。新元古代晚期,华北板块南缘及扬子板块内部广泛发育冰碛岩系,这些冰碛岩的形成可能与当时的超大陆裂解有关(张文治等,2001; 佟彦明等,2002; Dobrzinski *et al.*, 2003),然而该时期裂解事件的直接证据如基性岩浆活动此前还没有报道过。对大别山北淮阳构造带鸡公山北坡柳林辉长岩的 SHRIMP U-Pb 年代学和矿物化学进行了研究,结果表明其结晶年龄为(611±13)Ma,形成于板内伸展环境,这一发现为大别山新元古代晚期的地质演化提供了新资料和新思路。

1 地质背景

夹持于华北克拉通和扬子克拉通之间的大别造山带,由北向南可以划分为 3 个以断层围限、岩石组合和变形变质为特征有明显区别的构造单元(图 1 内插图),分别为北淮阳构造带、中央隆起带、随(州)一应(山)构造带(马昌前等,2004; Ma *et al.*, 2005)。其中北淮阳构造带北、南两侧分别以信阳—舒城断裂和桐柏—磨子潭断裂为界,主要由中、新元古代庐镇关正片麻岩和古生代佛子岭群变质碎屑岩组成,其变质达绿片岩相。柳林地区属于北淮阳构造带,由南向北主要出露了三套岩石地层组合(图 1):(1)汴湾组,属原苏家河群的底部岩组,分布于桐柏—商城断裂以南,为一套片岩、片麻岩夹大理岩,时代属早奥陶世(张仁杰和陈孝红,1998)。(2)定远组,属原苏家河群的顶部岩组,分布于桐柏—商城断裂以南、汴湾组以

北,为基性火山岩和酸性火山岩组成的双峰式火山岩系,时代属晚奥陶世(Li *et al.*, 1998),是柳林辉长岩体的主要围岩,岩石受后期韧性剪切作用产生了片理化并形成了片岩(叶伯丹等,1993)。(3)南湾组,属原信阳群的顶部岩组,分布于桐柏—商城断裂以北,为一套浅变质岩系,原岩为具鲍马层序的细粒浊积岩,时代属泥盆纪(王世锋等,2002)。

在北淮阳构造带,从信阳市谭家河向东经柳林、定远、王母观至新县浒湾出露有一条呈 NWW 向断续分布的基性岩带,长约 100 km,与桐柏—商城断裂带重叠,由 10 余个长轴与区域构造线走向一致的岩体组成(图 1),岩性以辉长岩为主。柳林辉长岩体属该辉长岩带的一部分,位于该岩带的西部—河南省信阳市鸡公山北坡、柳林车站北约 5 km 处,由二十几个长条状或透镜状侵入体组成,出露总面积约 3 km²,岩石普遍片理化,岩性单一,主要为辉长岩,局部见少量变辉石岩包体。岩体与围岩均发生韧性剪切变形,属构造接触关系。

2 岩相学及矿物学特征

柳林辉长岩呈暗绿色,中粒变余辉长结构,主要矿物组合为:辉石 25%~35%,角闪石 35%~45%,斜长石 35%~60%,石英仅少量。岩石部分发生了角闪岩相变质,部分辉石纤闪石化,呈纤柱状或纤维状集合体,大小 0.5 mm×2 mm~2.5 mm×2 mm,部分辉石可见角闪石反应边。斜长石呈半自形板柱状,粒度 0.5 mm×2 mm~4 mm×2.5 mm,部分发生钠黝帘石化变质,未见环带结构。由于受到变质和变形作用影响,辉长结构遭受破坏,原生辉石晶体较少。

岩石样品制成标准电子探针薄片,表面镀碳,然后在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家

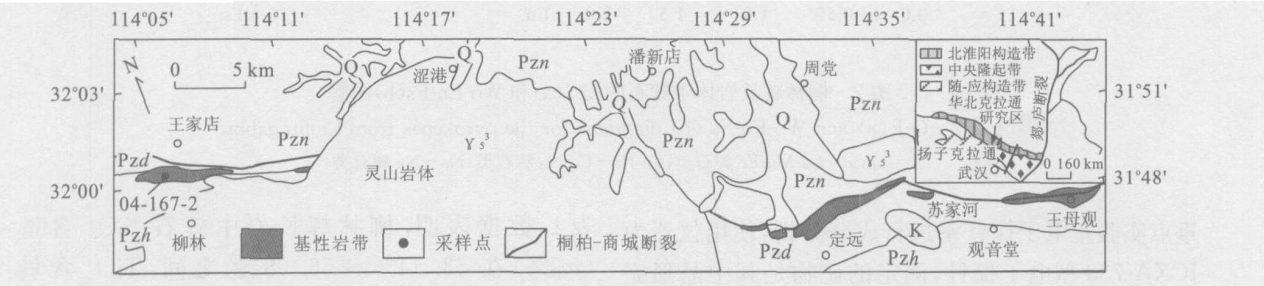


图 1 大别山北淮阳构造带基性侵入岩分布地质简图

Fig. 1 Geological sketch map of mafic intrusive rocks in the Beihuaiyang tectonic belt, Dabie orogen

Pzn: 古生代南湾组; Pzd: 古生代定远组; Pzh: 古生代汴湾组; γ_5^3 : 燕山期花岗岩; K: 白垩系; Q: 第四系

表 1 柳林辉长岩辉石和斜长石电子探针化学成分

Table 1 EPMA chemical compositions of the pyroxenes and plagioclases from Liulin gabbro							
成分(%)	辉石					斜长石	
	1	2	3	4	5	1	2
Si O ₂	55.21	56.08	53.15	53.14	53.59	57.02	60.34
Ti O ₂	0.13	0.05	0.24	0.21	0.24	0.00	0.02
Al ₂ O ₃	2.55	1.72	5.26	4.51	5.23	25.59	25.65
Fe O *	10.29	9.94	11.60	11.59	12.26	0.05	0.24
Mn O	0.47	0.57	0.38	0.42	0.46	0.00	0.00
Mg O	17.64	18.33	15.98	16.71	16.02	0.00	0.00
Ca O	12.19	12.00	12.25	12.06	12.02	7.59	7.42
Na ₂ O	0.27	0.18	0.55	0.35	0.56	6.78	6.59
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00
Total	98.74	98.87	99.40	98.99	100.38	100.61	97.07
Si	2.02	2.05	1.95	1.96	1.95	2.62	2.67
Ti	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
Al	0.11	0.07	0.23	0.19	0.23	1.39	1.34
Fe	0.31	0.30	0.35	0.35	0.37	0.00	0.01
Mn	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
Mg	0.96	1.00	0.87	0.91	0.87	0.00	0.00
Ca	0.48	0.47	0.48	0.47	0.47	0.37	0.35
Na	0.02	0.01	0.04	0.02	0.04	0.60	0.60
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Wo	27.02	26.25	27.95	27.00	27.95		
En	54.38	55.79	50.72	52.02	50.72		
Fs	18.60	17.96	21.33	20.99	21.33		
Mg #	0.72	0.73	0.70	0.71	0.70		
An						38.14	37.00
Ab						61.68	63.00
Or						0.18	0.00

Fe O * 代表全铁含量;Mg # =Mg / (Mg +Fe) .

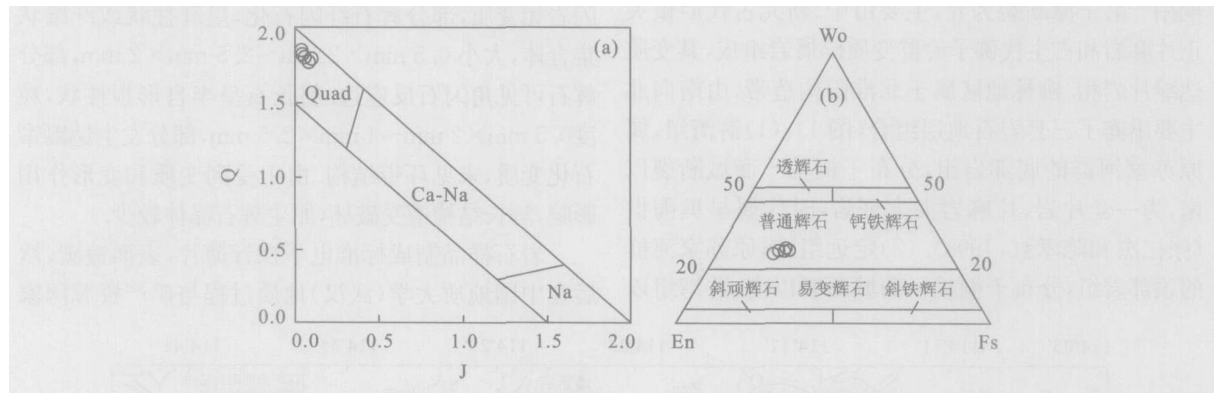


图 2 柳林辉长岩体中辉石的 Q J (a)和 Wo -En -Fs (b)图解

Fig .2 Q J (a) and Wo -En -Fs (b) diagrams for the pyroxenes from Liulin gabbro
Quad -Ca -Mg -Fe 辉石类;Ca -Na -Ca -Na 辉石类;Na -Na 辉石类

重点实验室电子探针室进行成分分析,使用仪器为 J C X A -733 型电子探针,测定的矿物是其中晶形完整未变质的辉石和斜长石(0.2 μA ,15k V),其分析结果以及以 6 个氧为基础计算的辉石阳离子系数和以 8 个氧为基础计算的斜长石阳离子系数列于

表 1. 数据表明,柳林辉长岩中辉石 Si O₂ 含量 (w_B %) 在 53. 14 % ~ 56. 08 % 之间,Ti O₂ 含量 (w_B %) 较低,变化在 0. 05 % ~ 0. 24 % 之间,Al₂O₃ 含量 (w_B %) 在 1. 72 % ~ 5. 26 % 之间,Mg O 含量 (w_B %) 在 15. 98 % ~ 18. 33 % 之间,Na₂O 含量为

表 2 柳林辉长岩锆石SHRIMP U-Pb 定年结果
Table 2 Zircon SHRIMP U-Pb data of Liulin gabbro

测定点	²⁰⁶ Pb _c (%)	U (μg/g)	Th (μg/g)	²³² Th/ ²³⁸ U	²⁰⁶ Pb* (μg/g)	²⁰⁷ Pb*/ ²⁰⁶ Pb*	误差 (%)	²⁰⁷ Pb*/ ²³⁵ U	误差 (%)	²⁰⁶ Pb*/ ²³⁸ U	误差 (%)	²⁰⁶ Pb*/ ²³⁸ U 年龄/Ma	±1σ
1.1	0.00	193	202	1.08	17.1	0.042 4	15.0	0.591	15.0	0.101 2	3.2	622	±19
2.1	0.00	157	190	1.24	13.0	0.043 5	10.0	0.574	11.0	0.095 6	3.2	588	±18
3.1	0.00	170	208	1.26	14.4	0.052 1	15.0	0.700	15.0	0.098 1	3.4	603	±19
4.1	0.08	304	400	1.36	26.8	0.051 1	9.2	0.713	9.7	0.101 3	3.2	622	±19
5.1	0.20	965	1 718	1.84	86.4	0.060 9	1.6	0.874	3.5	0.104 0	3.1	638	±19
6.1	0.40	261	385	1.53	22.3	0.053 1	6.6	0.719	7.3	0.098 2	3.2	604	±19
7.1	0.00	354	665	1.94	30.0	0.053 9	2.9	0.731	4.3	0.098 3	3.2	605	±18
8.1	0.93	244	256	1.08	20.9	0.062 0	3.3	0.846	4.6	0.099 0	3.2	609	±19

表内误差为 1σ;Pb_c 和 Pb* 分别代表普通铅和放射性成因铅。

0.27%~0.56%, MnO 含量($w_B\%$)较高,变化范围为 0.38%~0.57%, FeO* 含量($w_B\%$)亦较高,变化范围为 9.94%~12.26%。根据国际矿物学会辉石小组的分类方法(Morimoto, 1988)对辉石的种属进行确认,首先采用 QJ 图($Q=Ca+Mg+Fe^{2+}$, $J=2Na$)(图 2a)对辉石进行初步分类,样品均落入辉石四角边区 Quad(Ca-Mg-Fe 辉石组),然后将样品投影到 Wo-En-Fs 图(图 2b)中进一步分类,柳林变辉长岩的辉石都落入普通辉石区。斜长石 Al_2O_3 和 CaO 含量($w_B\%$)分别在 25.59%~25.65%和 7.42%~7.59%之间变化, Na_2O 含量($w_B\%$)较高,变化于 6.95%~6.78%之间。计算表明,斜长石 An 介于 37~38 之间,属于中长石。

3 锆石SHRIMP U-Pb 年龄

测年样品(04-167-2)采自河南省信阳市鸡公山北坡柳林镇李家寨火车站旁,经纬度为 114°05.525'E, 31°57.566'N。将岩石样品粉碎至 60 目左右,通过淘洗和重磁分选分离出锆石,在双目镜下精选出相对纯净、晶形较好的锆石制靶,制靶程序参见宋彪等(2002)。对锆石样品进行反射光、透射光和阴极发光照相后,将其表面镀金膜以待测试。锆石年龄测试在北京离子探针中心的SHRIMP II型离子探针上采用标准测定程序进行,测试过程中一次离子流 O^{2+} 强度为 9 nA,一次离子流束斑直径为 30 μm 左右,每个数据点测定由 5 次扫描构成。采用标样 SL13(年龄 572 Ma, U 含量 238 μg/g)标定 U 和 Th 的含量,标样 TEM(年龄 417 Ma)用于校正年龄,每 5 次样品分析后进行一次 TEM 标样分析。数据处理采用 SQUID 和 ISOPLOT 程序。应用实测 ^{204}Pb 校正锆石中的普通铅,采用 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄进行加权平均。

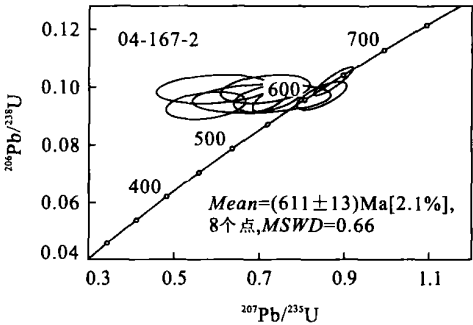


图 3 柳林辉长岩(04-167-2)锆石SHRIMP U-Pb 年龄谐和图
Fig. 3 Zircon SHRIMP U-Pb concordia diagram for Liulin gabbro (04-167-2)

详细的分析流程和原理参见文献 Williams (1998)和万渝生等(2004)。

样品共测定 8 个锆石颗粒、8 个数据点,测试结果列于表 2, U、Th 含量及 Th/U 比值分别为 157~965 μg/g, 190~1 718 μg/g 和 1.08~1.94。锆石虽然多数破碎但仍保留了部分较好的晶面和晶形,都具有高的 Th/U 比值(均>1.0),且显示较宽的振荡环带,这些特征均说明所测锆石是典型的基性岩中的岩浆锆石,所得年龄代表了岩体的形成年龄。8 个数据点 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄分布较为集中(图 3),加权平均年龄为 $(611 \pm 13) Ma$ ($MSWD=0.66$),该数据很好地限定了柳林辉长岩结晶于新元古代晚期。

4 讨论

4.1 岩体形成时代

大别山北淮阳构造带柳林一定远一汴湾基性岩带研究资料较少,主要研究成果集中在东部,如王母观辉长岩体 Sm-Nd 等时线年龄为 $(261 \pm 8) Ma$ (吐伯

丹等,1993),西部定远—柳林一带岩体结晶年龄研究还属空白.由于Sm-Nd 等时线同位素定年一般情况下很难同时满足同源、同时以及体系封闭这3个条件,Sm-Nd 等时线年龄可能不能代表岩浆结晶年龄.考虑到整个基性岩带产出于同一构造带上,岩石组合基本相似(叶伯丹等,1993;张旗等,1995;匡少平和张本仁,2002),它们应有相同的形成年龄,本次柳林辉长岩锆石SHRIMP U-Pb 定年结果表明,该基性岩带形成于新元古代晚期.前人研究认为岩体与围岩呈侵入接触关系(叶伯丹等,1993;张旗,1995),由于岩体围岩定远组形成时代为晚奥陶世(Li *et al.* , 1998),二者都遭受了变形改造,结合岩体形成时代为新元古代晚期,因此可以确定岩体与围岩呈构造接触.

4.2 岩体形成的构造环境

Le Bas (1962)提出运用辉石的SiO₂—Al₂O₃ 图解(图4a)可以将岩石类型划分为亚碱性岩、碱性岩和过碱性岩.柳林辉长岩辉石SiO₂ 含量较高,最高可达56.08%,Al₂O₃ 成分变化较宽(1.72%~5.26%),在SiO₂—Al₂O₃ 图解上落入亚碱性岩区域,指示柳林辉长岩可能与板内拉斑玄武岩、洋底玄武岩或火山弧玄武岩等环境有关(Krawinkel *et al.* , 1999).

Nisbet and Pearce (1977)的研究表明板内拉斑玄武岩以其相对较高的SiO₂、FeO*、MnO、Na₂O 含量区别于洋底玄武岩和火山弧玄武岩,以其相对较低的TiO₂、Na₂O 和较高的SiO₂ 而区别于板块内碱性玄武岩,通过对大量数据的统计分析建立了一系

列基于辉石化学成分的玄武岩构造环境判别图解,

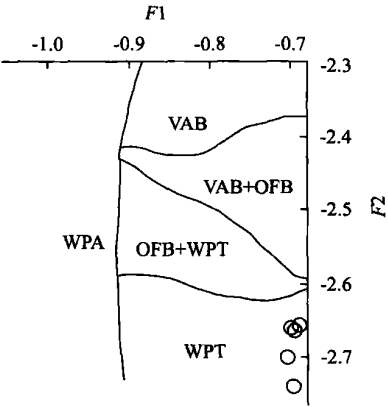


图5 柳林辉长岩单斜辉石F1-F2图解(Nisbet and Pearce , 1977)

Fig. 5 F1 versus F2 diagram of clinopyroxenes from Liulin gabbro

WPT·板块内部拉斑玄武岩;WPA·板块内部碱性玄武岩;VAB·火山弧玄武岩;OFB·洋底玄武岩

如单斜辉石TiO₂—SiO₂ 图解,F1-F2图解,这些经典的研究成果被广泛地应用(孙传敏,1994;倪志耀,1994;白志民,2000;周长勇等,2005).柳林辉长岩中单斜辉石SiO₂、FeO*、MnO、Na₂O 含量均较高(表1),SiO₂ 平均含量为54.23%,FeO* 平均含量为11.14%,MnO 平均含量为0.46%,Na₂O 平均含量为0.38%,而TiO₂ 平均含量仅为0.17%.在TiO₂—SiO₂ 图解上(图4b),大部分样品点远离洋底玄武岩和火山弧玄武岩区域,表明柳林辉长岩的形成与火山弧和洋壳环境无关,在F1-F2图解上集中落在板块内部拉斑玄武岩区域(图5),进一步证实岩体形成于板内环境.

柳林辉长岩中的斜长石主要氧化物的含量十分集中,具低Al₂O₃(平均含量为25.62%)、CaO(平均含量为7.51%)和高Na₂O(平均含量为6.87%)的特征,斜长石An 介于37~38 之间,属于中长石.这种低钙斜长石不同于岛弧或活动大陆边缘辉长岩中的斜长石(周新民等,1994),而类似于拉张环境辉长岩中的斜长石(张旗等,1995).

柳林辉长岩的矿物特征反映其形成于板内伸展的构造环境,与王母观岩体构造环境一致,根据它们的相似性,可以推测定远和王母观地区的基性岩带很可能也具有相近的年龄,这一基性岩带的确定表明新元古代晚期在大别山地区发生了一次重要的裂解事件,它很可能是Rodinia 超大陆裂解的延续.在新元古代晚期,华北板块南缘及扬子板块广泛发育

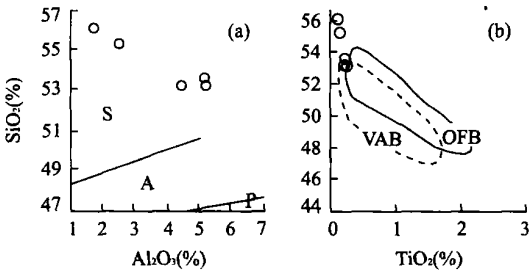


图4 柳林辉长岩单斜辉石SiO₂—Al₂O₃ 和SiO₂—TiO₂ 图解

Fig. 4 SiO₂ versus Al₂O₃ and SiO₂ versus TiO₂ diagrams of clinopyroxenes from Liulin gabbro

a.单斜辉石SiO₂—Al₂O₃ 图解(Le Bas , 1962);b.单斜辉石SiO₂—TiO₂ 图解(Nisbet and Pearce , 1977;倪志耀,1994);S·亚碱性岩;A·碱性岩;P·过碱性岩;OFB·洋底玄武岩;VAB·火山弧玄武岩

冰碛岩系,这些冰碛岩的形成时代为 663~621 Ma (Zhang *et al.*, 2005),与柳林辉长岩的年龄 (611±13)Ma 在误差范围内是一致的,进一步揭示了超大陆裂解与大陆冰川事件之间可能存在某种成因联系.对这一基性岩带进一步开展系统的矿物学、地球化学和年代学研究,对于了解大别山乃至华南新元古代晚期的地质演化具有重要的意义.

5 结论

(1)锆石 SHRIMP U-Pb 定年确定柳林辉长岩的结晶年龄为 (611±13)Ma,形成于新元古代晚期.
(2)柳林辉长岩中辉石和斜长石的矿物化学特征反映岩体形成于板内伸展的构造环境,结合岩体定年结果,表明新元古代晚期发育一次裂解事件.对这一基性岩带进一步系统的岩相学、地球化学和年代学研究将了解新元古代裂解事件和新元古代大别山地质演化提供新的线索.

致谢:锆石 SHRIMP 年代学测试得到了北京离子探针中心万渝生研究员、陶华工程师的指导和帮助,地质过程与矿产资源国家重点实验室电子探针室刘慧芳老师给予了帮助,在此一并表示衷心的感谢!

References

- Bai, Z. M., 2000. Mineral chemistry and genetic significance of clinopyroxenes from the Mesozoic volcanic rocks in Western Hills of Beijing. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 19(2): 174—184 (in Chinese with English abstract).
- Dobrzinski, N., Bahlburg, H., Strauss, H., 2003. Geochemistry of Sinian tillites from Hunan Province, South China. *Progress in Natural Science*, 13(11): 867—874.
- Dong, Y. M., Guo, C. X., Wei, Y. N., 2002. Sinian event deposits in the eastern part of the Yangtze Gorge. *Journal of Palaeogeography*, 4(2): 38—45 (in Chinese with English abstract).
- Krawinkel, H., Wozazek, S., Krawinkel, J., et al., 1999. Heavy mineral analysis and clinopyroxene geochemistry applied to provenance analysis of lithic sandstones from the Azuero Sona complex (NW Panama). *Sedimentary Geology*, 124: 149—168.
- Kuang, S. P., Zhang, B. R., 2002. Determination for two kinds of basic magmatism in Sujiahe region of the northern Dabie orogenic belt, central China: Evidence from geochemistry. *Geochimica*, 31(6): 557—563 (in Chinese with English abstract).
- Le Bas, M. J., 1962. The role of aluminium in igneous clinopyroxenes with relation to their parentage. *American Journal of Science*, 260, 267—288.
- Li, S. G., Han, W. L., Huang, F., et al., 1998. Sm-Nd and Rb-Sr ages and geochemistry of volcanics from the Dingyuan Formation in Dabie mountains, central China: Evidence to the Paleozoic magmatic arc. *Scientia Geologica Sinica*, 7(4): 461—470.
- Liu, X. C., Jahn, B. M., Liu, D. Y., et al., 2004. SHRIMP U-Pb zircon dating of a metagabbro and eclogites from western Dabieshan (Hong'an block), China and its tectonic implications. *Tectonophysics*, 394: 171—192.
- Ma, C. Q., She, Z. B., Xu, P., et al., 2005. Silurian A-type granitoids in the southern margin of the Tongbai-Dabieshan: Evidence from SHRIMP zircon geochronology and geochemistry. *Science in China (Series D)*, 48(8): 1134—1145.
- Morimoto, N., 1988. Nomenclature of pyroxenes. *Mineralogical Magazine*, 52: 535—550.
- Nisbet, E. G., Pearce, J. A., 1977. Clinopyroxenes composition in mafic lavas from different tectonic settings. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 63(2): 149—160.
- Ni, Z. Y., 1994. Chemical composition of pyroxenes from the Huangshandong mafic-ultramafic complex in Hami, Xinjiang. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 13(1): 55—56 (in Chinese with English abstract).
- Song, B., Zhang, Y. H., Wan, Y. S., et al., 2002. Mount making and procedure of the SHRIMP dating. *Geological Review*, 48(Suppl.): 26—30 (in Chinese with English abstract).
- Sun, C. M., 1994. Genetic mineralogy of pyroxenes from the Yanbian Proterozoic ophiolites (Sichuan, China) and its geotectonic implications. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 14(3): 1—15 (in Chinese with English abstract).
- Wan, Y. S., Liu, D. Y., Jian, P., 2004. Comparison between monazite dating and zircon dating. *Chinese Science Bulletin*, 49(12): 1185—1190 (in Chinese).
- Wang, F., Wang, C. Y., Zhang, D. N., 1999. Numerical simulation of the tectonic evolution in Dabie orogenic belt. *Acta Seismologica Sinica*, 21(5): 478—486.
- Wang, S. F., Huang, S. Y., Xu, B., et al., 2002. Geochemical characteristic and tectonic setting of the Nanwan Formation in Xinyang district, Henan Province. *Geoscience*, 16(3): 243—248 (in Chinese with English abstract).
- Williams I. S., 1998. U-Th-Pb geochronology by ion microprobe. In: McKibben, M. A., Shanks, W. C., Ridley, W. I., eds., *Applications of microanalytical techniques to understanding mineralizing processes. Reviews in Economic Geology*, 7: 1—35.

- Wu, Y. B., Zheng, Y. F., Gong, B., et al., 2005. Zircon U-Pb ages and oxygen isotope compositions for granite at Xinkailing in the Beihuaiyang zone and their significance. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 30(6): 659–672 (in Chinese with English abstract).
- Xie, Z., Chen, J. F., Zhang, X., et al., 2002. Geochronology of Neoproterozoic mafic intrusions in north Huaiyang area. *Acta Geoscientia Sinica*, 23(6): 517–520 (in Chinese with English abstract).
- Ye, B. D., Jian, P., Xu, W. J., et al., 1993. The Sujiahe terrane collage belt and its constitution and evolution along the north hillslope of the Tongbai-Dabie orogenic belt. China University of Geosciences Press, Wuhan, 1–4, 52–54 (in Chinese).
- Zhang, Q., Ma, W. P., Jin, W. J., et al., 1995. Geochemistry and tectonic significance of post tectonic gabbro from Wangmuguan of Xinxian County, Henan Province. *Geochimica*, 24(4): 341–350 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, R. J., Chen, X. H., 1998. The discovery of Early Ordovician microfossils from the Sujiahe Group of Tongbai-Dabie orogenic belt and its significances. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 15(2): 125–133.
- Zhang, S. H., Jiang, G. Q., Zhang, J. M., et al., 2005. U-Pb sensitive high resolution ion microprobe ages from the Doushantuo Formation in South China: Constraints on Late Neoproterozoic glaciations. *Geology*, 33: 473–476.
- Zhang, W. Z., Li, H. K., Wang, G. F., et al., 2001. Palaeomagnetic study of Neoproterozoic glaciation, eastern China and implication of geology. *Progress in Precambrian Research*, 24(1): 35–57 (in Chinese with English abstract).
- Zheng, Y. F., Wu, Y. B., Zhao, Z. F., et al., 2004. Discovery of the low ^{18}O Neoproterozoic magmatic rocks in the north of Dabie mountains. *Chinese Science Bulletin*, 49(14): 1468–1470 (in Chinese).
- Zhou, C. Y., Ge, W. C., Wu, F. Y., et al., 2005. Petrological characteristics and tectonic implications of the Tahe gabbro in the northern part of the Great Xing'an range. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 35(2): 143–149 (in Chinese with English abstract).
- Zhou, X. M., Xu, X. S., Dong, W. C., et al., 1994. The mineral feature of the active continental margin in the southeast of China: Anorthitic plagioclase. *Chinese Science Bulletin*, 39(11): 1011–1014 (in Chinese).

附中文参考文献

- 白志民, 2000. 北京西山中生代火山岩中单斜辉石矿物化学及成因意义. 岩石矿物学杂志, 19(2): 174–184.
- 佟彦明, 郭成贤, 危宇宇, 2002. 长江三峡东部地区震旦纪事件沉积. 古地理学报, 4(2): 38–45.
- 匡少平, 张本仁, 2002. 大别造山带北麓苏家河地区两种不同基性岩浆作用的识别. 地球化学, 31(6): 557–563.
- 倪志耀, 1994. 黄山东镁铁超镁铁杂岩中的辉石化学成分研究. 岩石矿物学杂志, 13(1): 55–66.
- 宋彪, 张玉海, 万渝生, 等, 2002. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论. 地质论评, 48(增刊): 26–30.
- 孙传敏, 1994. 四川盐边元古代蛇绿岩中辉石的成因矿物学及其大地构造意义. 矿物岩石, 14(3): 1–15.
- 万渝生, 刘敦一, 简平, 2004. 独居石和锆石 SHRIMP U-Pb 定年对比. 科学通报, 49(12): 1185–1190.
- 王世锋, 黄少英, 徐备, 等, 2002. 河南信阳地区南湾组地球化学特征及其构造背景. 现代地质, 16(3): 243–248.
- 吴元保, 郑永飞, 龚冰, 等, 2005. 北淮阳新开岭地区花岗岩锆石 U-Pb 年龄和氧同位素组成. 地球科学——中国地质大学学报, 30(6): 659–672.
- 谢智, 陈江峰, 张巽, 等, 2002. 北淮阳新元古代基性侵入岩年代学初步研究. 地球学报, 23(6): 517–520.
- 叶伯丹, 简平, 许文俊, 等, 1993. 桐柏—大别山造山带北坡苏家河地体拼接带及其构成和演化. 武汉: 中国地质大学出版社, 1–4, 52–54.
- 张旗, 马文璞, 金唯俊, 等, 1995. 一个造山后的辉长岩——河南新县王母观岩体的地球化学特征. 地球化学, 24(4): 341–350.
- 张仁杰, 陈孝红, 1998. 桐柏—大别造山带苏家河群早奥陶世微体化石及其意义. 微体古生物学报, 15(2): 125–133.
- 张文治, 李怀坤, 王官福, 等, 2001. 中国东部晚元古冰成岩的古地磁及地质意义. 前寒武纪研究进展, 24(1): 35–57.
- 郑永飞, 吴元保, 赵子福, 等, 2004. 大别山北麓发现新元古代低 ^{18}O 岩浆岩. 科学通报, 49(14): 1468–1470.
- 周长勇, 葛文春, 吴福元, 等, 2005. 大兴安岭北段塔河辉长岩的岩石学特征及其构造意义. 吉林大学学报(地球科学版), 35(2): 143–149.
- 周新民, 徐夕生, 董传万, 等, 1994. 中国东南活动大陆边缘的矿物标志: 钙长石质斜长石. 科学通报, 39(11): 1011–1014.