

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

郯庐断裂带早白垩世走滑运动中的 构造、岩浆、沉积事件

朱光 牛漫兰 刘国生 王道轩 宋传中

合肥工业大学资源与环境工程学院, 230009

内容提要 郯庐断裂带内一系列走滑糜棱岩类的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 测年表明, 郯庐断裂早白垩世发生了左旋走滑运动。这一大规模的走滑运动, 造成了两类走滑构造, 一类为变质岩中低绿片岩相左旋韧性剪切带, 另一类为中生代火成岩、沉积岩中的脆性、脆-韧性左行平移断层。这反映断裂带的走滑运动从早白垩世初期持续到早白垩世后期。断裂带的走滑运动诱发了大规模的、以富钾、中酸性为主的岩浆活动。地球化学分析显示, 这些岩浆岩既有壳源的信息, 也有幔源的贡献, 反映是断裂减压、壳-幔相互作用下形成的岩浆活动, 也暗示断裂带在走滑期切入壳-幔边界。该断裂带走滑运动中, 除了在莱阳盆地形成了拉分盆地外, 还在合肥盆地东部造成了走滑挠曲盆地, 控制下白垩统朱巷组的沉积。郯庐断裂带早白垩世走滑运动中的构造、岩浆、沉积事件, 是西太平洋伊泽纳崎板块高速斜向俯冲的结果, 属于滨太平洋构造。

关键词 郯庐断裂带 走滑运动 岩浆活动 走滑盆地 早白垩世

巨型走滑断裂带活动中, 由于其切割深度大、影响区域广及复杂、多变的地质条件, 往往在大规模的断裂变形同时, 伴随着岩浆活动和沉积作用(Furlong et al., 1989; Venture et al., 1989; Miyata, 1990; Bozkurt et al., 1996; Stewart et al., 1999; Barnes et al., 2001)。这些走滑运动中所出现的构造、岩浆、沉积事件, 记录了走滑断裂带的活动特征、性质及动力学过程, 从而成为研究走滑断裂带的重要对象。

中国东部最大的郯庐断裂带, 南起长江北岸的黄梅, 经安徽庐江、山东郯城, 过渤海湾后在沈阳分为西支的依兰—伊通断裂带和东支的抚顺—密山断裂带, 总体以NNE走向在中国境内延伸达2400km。这一巨型断裂带的起源是否与华北、华南板块的碰撞同时, 以及是何种同碰撞模式, 仍然存在着很大的认识上分歧(Yin et al., 1993; Li, 1994; Xu et al., 1994; 万天丰等, 1996; Zhang, 1997; 王小凤等, 1998; Gilder et al., 1999)。笔者等近年来对郯庐断裂带的构造、岩浆、沉积作用及同位素年代学的综合研究, 证实了其在早白垩世发生了大规模的左旋走滑运动, 并且伴生强烈的岩浆活动及局部走滑盆地的形成。这对认识该巨型断裂带的活动规律、演化历史及中国东部滨太平洋构造具有重要的意义。

1 早白垩世走滑运动的同位素年代学证据

郯庐断裂带走滑时代以往一直缺乏可靠的同位素年龄证据, 从而长期争论不休。为了解决此问题, 笔者等近年来选择断裂带内走滑糜棱岩进行了 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学研究。

郯庐断裂带南段(即安徽段)左旋走滑韧性剪切带中大量出露了糜棱岩类, 如糜棱岩、超糜棱岩、千糜岩等。其中糜棱面理走向NE-NNE, 矿物拉伸线理近水平。露头上各种小构造(如C-S组构、剪切弯曲、碎斑的拖尾等)皆指示为左行平移成因。它们分别叠加在太古宙—古元古代高级变质基底之上(大别群、肥东群、五河群等)。根据显微镜下观察, 这些糜棱岩皆属于低温糜棱岩, 同变形期的低绿片岩相变质普遍出现, 前期的角闪石、黑云母等暗色矿物广泛为绿泥石所交代。由于较广泛的绿泥石化、强烈的细粒化作用及同变形期矿物(如白云母)非常细小, 很难分选出理想的含钾测年矿物。为此, 笔者除了用一个糜棱岩中白云母单矿物样外, 其余皆选用超糜棱岩、千糜岩、糜棱岩全岩进行 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法测年。低绿片岩相糜棱岩的形成温度(400℃左右)一般达到

注: 本文为国家自然科学基金项目(编号49872074)资助的成果。

收稿日期: 2002-03-17; 改回日期: 2002-06-10; 责任编辑: 郝梓国。

作者简介: 朱光, 男, 1959年生。现为合肥工业大学资源与环境工程学院教授、博士生导师, 主要从事中国东部构造研究。通讯地址: 230009, 安徽省合肥市, 合肥工业大学资源与环境工程学院; 电话: 0551-2901524(O); 传真: 0551-2904517; Email: zhuguang@mail.hf.ah.cn。

或超过了 K-Ar 体系的封闭温度(如白云母为 350℃),因而谨慎选择的糜棱岩全岩可以用于 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法测年,国际上已有许多成功的报道(Arita et al., 1997; Dallmeyer et al., 1998; 1999)。

测年样品的具体采样位置见图1。笔者曾报道了郯庐断裂带安徽段6个糜棱岩类全岩的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 测年结果(样品 No13-2、D-1、No8-12、No8-3-2、No3-2、No12-1)(朱光等, 2001)。最近又分别获得了该断裂带张八岭隆起南段超糜棱岩全岩(No4-2)和大别山东缘糜棱岩中白云母(GCH-1) $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄。这

些数据都是在中国科学院地质与地球物理所测试的,测试方法与仪器工作条件见王志洪等(1997)的文章。

张八岭隆起南段新获得的超糜棱岩全岩 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄为 $118.75 \pm 0.45\text{Ma}$,与该段曾获得的千糜岩全岩(No13-2: $120.96 \pm 0.66\text{Ma}$)和糜棱岩全岩 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄(D-1: $120.48 \pm 0.75\text{Ma}$)在误差范围内基本吻合(图2),皆属早白垩世。这3个数据可以相互验证,指示分析结果是可靠的。笔者解释它们反映了该段郯庐断裂走滑变形的冷却年龄。

大别山东缘原先获得的5个全岩年龄为125~132Ma(图2),也皆属早白垩世。新获得的糜棱岩中白云母年龄为 $127.62 \pm 0.19\text{Ma}$,与它们基本上吻合。特别值得指出的是,来自同一采场的白云母(GCH-1)、超糜棱岩全岩(No8-12)和糜棱岩全岩(No8-3-2)(图1)分别给出了误差范围内相互吻合的3个 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄: $127.62 \pm 0.19\text{Ma}$ 、 $128.35 \pm 0.64\text{Ma}$ 、 $130.61 \pm 0.88\text{Ma}$,完全验证了所分析数据是可靠的,反映糜棱岩化期间 K-Ar 同位素体系达到了重新平衡,并且没有受到后期热事件的扰动。笔者认为128Ma 的白云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄应最真实地记录了该段走滑变形的冷却年龄。郯庐断裂带西侧大别山东缘与东侧张八岭隆起段冷却年龄相差8Ma,可能是由于前者走滑期间或期后较快抬升的反映。上述糜棱岩类样品的采样点,数千米范围内都没有燕山期以来的侵入岩或火山岩(图1),因而它们的年龄值不应有岩浆活动的影响。

由图2可见,所获得的全岩坪谱皆呈 U 型,反映有过剩氩影响。然而,正、反等时线年龄检验(相差都不超过3Ma)、 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 初始值(介于 $300.9 \pm 4.69 \sim 308.0 \pm 6.44$ 之间)都指示所利用的中间坪年龄受到的过剩氩影响可忽略不计(朱光等, 2001)。所获得的同一段落断裂带上一系列不同样品年龄的相互一致,特别是白云母年龄与全岩年龄的相吻合,也有有力地说明了所获得的中间坪年龄是可靠的。

上述一系列的 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 测年结果表明,在郯庐断裂带南段地表所见这些大规模低温走滑糜棱岩是早白垩世初形成的,估计发生在135Ma 左右。由此证明了郯庐断裂带在早白垩世发生了大规模的左旋走滑运动。这一走滑时间要比华北、扬子板块印支期沿大别—苏鲁造山带的陆-陆碰撞时间(李曙光等, 1989; Hacker et al., 2000)晚1亿年左右,显然是碰撞之后的构造,与造山带没有成因上的联系。

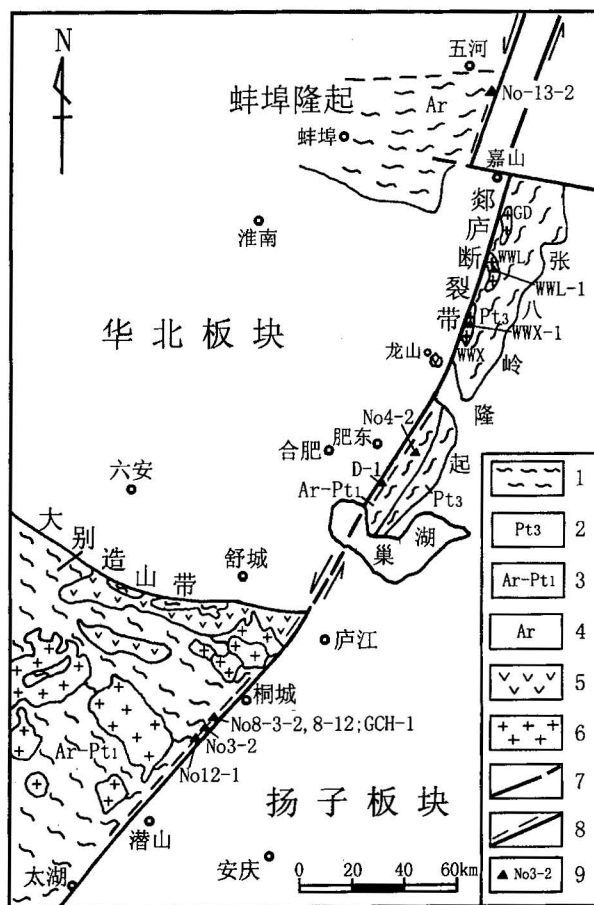
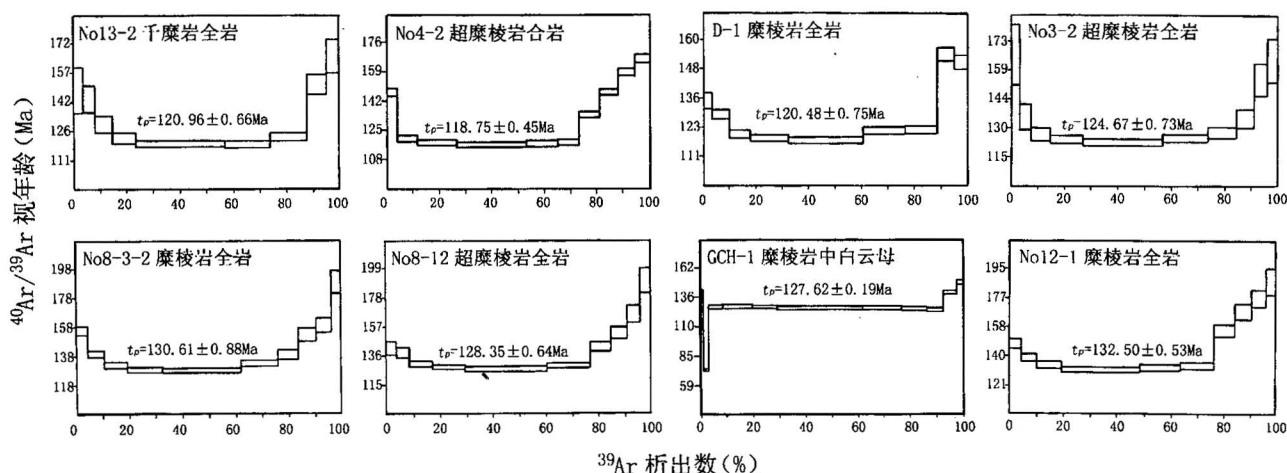


图1 郯庐断裂带南段测年样品采样位置图

Fig. 1 Sampling localities for dated samples from the southern part of the Tan-Lu fault belt

1—基底变质岩;2—新元古代;3—太古宙至古元古代;4—太古宙;5—中生代火山岩;6—燕山期岩体;7—断裂;8—糜棱岩带;9—采样点及编号;GD—管店岩体;WWL—瓦屋刘岩体;WWX—瓦屋薛岩体

1—Metamorphic basement rocks; 2—Neo-Proterozoic; 3—Archean to Paleo-Proterozoic; 4—Archean; 5—Mesozoic volcanic rocks; 6—Yanshanian intrusion; 7—fault; 8—mylonite belt; 9—sampling localities and their numbers; GD—Guadian rock body; WWL—Wawuliu rock body; WWX—Wawuxie rock body

图2 郯庐断裂带安徽段糜棱岩类 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄谱Fig. 2 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age spectra of mylonites from the Anhui part of the Tan-Lu fault belt

2 早白垩世走滑构造

关于郯庐断裂带的走滑构造前人曾进行过大量的研究和总结(国家地震局地质研究所, 1987; Xu, 1993; Xu et al., 1994; 万天丰等, 1996; Wan et al., 1996; Zhu et al., 1997; 王小凤等, 1998, 2000)。这些走滑构造既出现在大别、苏鲁造山带之间, 也广泛出现在苏鲁造山带以北的山东沂沭断裂带和东北地区的依兰—伊通、抚顺—密山断裂带上, 显然主体应是华北、华南板块碰撞造山之后、于早白垩世形成的。

根据近年来的研究, 郯庐断裂带上早白垩世的走滑构造有两种类型。一类为变质基底中 NE-NNE 向左旋走滑韧性剪切带内的低绿片岩相糜棱岩类, 包括粗糜棱岩、糜棱岩、超糜棱岩和千糜岩。这些韧性剪切带在断裂带内呈多条剪切带相间出现, 表现为组合型韧性剪切带形式。前文的同位素年代学研究已证实这些低温走滑糜棱岩是早白垩世形成的。

另一类走滑构造为出现在中生代火成岩、沉积岩中的 NE-NNE 向脆性、脆-韧性左行平移断层。近年来的野外工作发现, 无论是山东段还是安徽段的郯庐断裂带上, 早白垩世(年龄见后文)火山岩(山东青山组、安徽毛坦厂组)和侵入岩中都常出现以脆性为主、局部岩体中呈脆-韧性的左行平移断层。如山东沂水道托花沟、北展、安丘南流镇、李家小戈、夏坡牟家庄、莒县浮来山等地的青山组火山岩, 安徽肥东龙山、庐江金牛、长岗、柯坦一带的毛坦厂组火山岩, 都发现其中有 NE-NNE 向的左行平移断层。在安徽段北部张八岭隆起上的早白垩世管店、瓦屋刘、瓦屋薛岩体及庐江一带的许多正长斑岩岩脉中, 也常见

NE 向的脆性、脆-韧性左行平移断层。瓦屋刘岩体内这些左行平移断层中局部已出现了金矿点。庐江长岗早白垩世火山岩中的左行平移断层中形成有萤石矿脉。这说明早白垩世火成岩中的左行平移断裂形成在岩浆活动过程中或之后不久, 也应在早白垩世, 因为岩浆活动产生的热液又利用了这些断裂成矿。在合肥盆地西缘的早白垩世朱巷组中(如肥东古城)及莱阳盆地东缘的早白垩世莱阳群中, 野外工作中也发现了脆性左行平移断层的切割。郯庐断裂带上这些早白垩世的火成岩、沉积岩的定位、分布明显受到断裂带的控制(详见后), 表明它们形成前断裂活动已经发生。另一方面这些岩石形成之后又被左旋走滑运动的构造切割, 这反映郯庐断裂带的走滑运动从早白垩世初期持续到早白垩世后期, 当然其间可能有间断。

3 早白垩世的岩浆活动

郯庐断裂带早白垩世走滑时间的确定, 使人们必须重新认识该断裂带上大规模的早白垩世岩浆活动事件的成因。断裂带上的早白垩世岩浆岩在中、南段具有较好的保存。沂沭断裂带控制形成了大规模的青山组火山岩(图3)。这些火山岩的一系列全岩 K-Ar 年龄为 100.7~125Ma(苏尚国等, 1999), 而 Rb-Sr 年龄为 111.4~119.6Ma(邱检生等, 1996), 皆指示为早白垩世。沂沭断裂带沂水南铜井一带的一系列火山-侵入杂岩体, 也形成于早白垩世, 其中明生、铜井、朝阳闪长岩的 K-Ar 年龄分别为 105.4 Ma、121.6Ma、112.5Ma(王锡亮, 1992)。

郯庐断裂带张八岭隆起北段西缘, 有规律地出

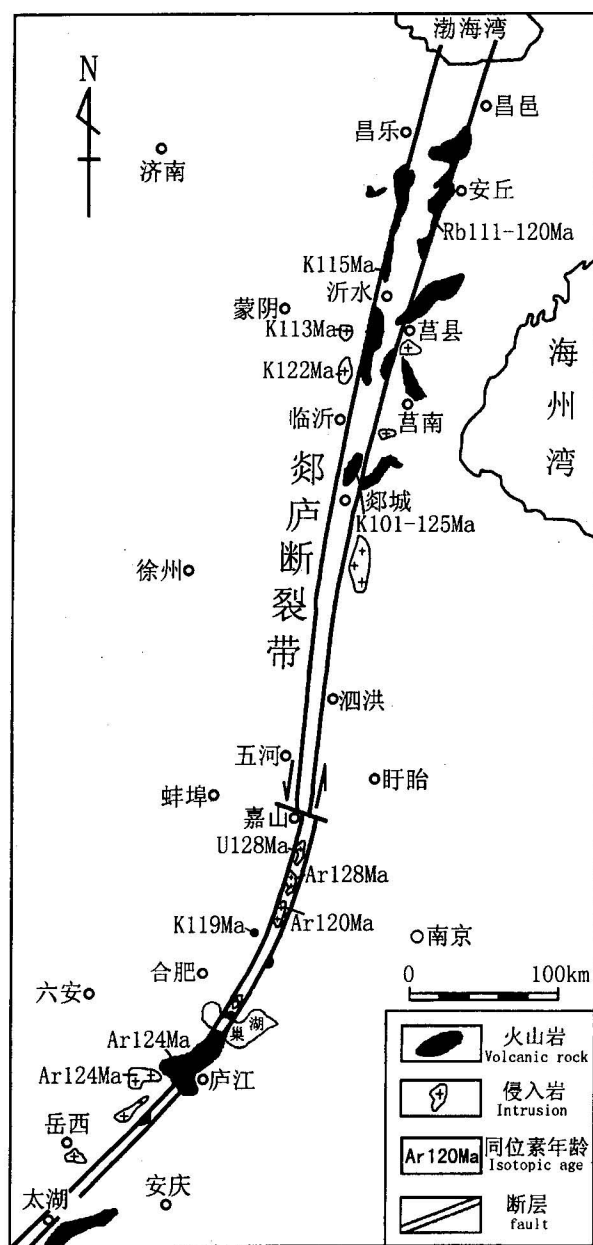


图3 郯庐断裂带中、南段早白垩世火成岩分布简图

Fig. 3 Distribution of Early Cretaceous igneous rocks along the middle-southern segments of the Tan-Lu fault belt

现了3个长形、NNE向排列的花岗岩体(图3),自北向南依次为管店、瓦屋刘石英二长岩体、瓦屋薛花岗岩体。岩体的这种排列现象明显指示岩体侵位受断裂带控制。笔者从瓦屋刘、瓦屋薛岩体中分别获得的黑云母 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 年龄为 $127.87 \pm 0.46\text{Ma}$ 和 $120 \pm 0.5\text{Ma}$ (图4)。李学明等(1985)从管店岩体中获得了锆石 U-Pb 年龄为 $128 \pm 1\text{Ma}$ 。因而,它们都为早白垩世侵入的岩体。笔者等还从该带西缘肥东龙山毛坦厂组安山岩中获得了 $119.2 \pm 2.3\text{Ma}$ 的 K-Ar 全

岩年龄(牛漫兰等,2002)^①,也为早白垩世,而不是过去认为的晚侏罗世。大别山边缘的毛坦厂组火山岩中黑云母的 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 年龄为 $124.1 \pm 0.7\text{Ma}$ (周泰禧等,1992),也为早白垩世。这一系列数据都指示郯庐断裂带上强烈的中生代岩浆活动皆发生在早白垩世,与断裂带的走滑运动同期。前已述及,郯庐断裂带上这些早白垩世岩浆岩,不但其分布明显受着断裂带的控制,而且其本身又常被 NNE 向左行平移断层所切割,明显指示它们形成于断裂带的走滑运动背景下。

郯庐断裂带中、南段早白垩世火成岩的岩石化学分析显示(李学明等,1985;金隆裕,1994;邱检生等,1996;牛漫兰等,2000;2002^①)无论是侵入岩还是火山岩均以富钾、中酸性为特征,属于高钾钙碱性岩系和钾玄质系列岩系,指示具有类似的岩浆源和形成背景。沂沭断裂带内火山岩与带外鲁东、鲁西同期中酸性、钙碱性火山岩相比,碱性显著增高,具有大型断裂控制下的岩浆活动特点。

工作中对中、南段火成岩的稀土元素分析表明[图5,详细数据见文献(牛漫兰等,2002)^①,后文也如此],它们普遍呈轻稀土富集型,轻、重稀土分馏强。沂沭断裂带内早白垩世火山岩的稀土元素配分曲线的斜率及形态基本平行一致(图5b),也与金隆裕(1994)获得的结果十分相似,反映了来自同一源区的特征。张八岭隆起带上的3个早白垩世岩体和相邻的龙山火山岩,稀土配分曲线也十分相似,也反映了来自同一源区。

微量元素分析显示,过渡元素标准化后的分配型式均为“W”型,表现出地幔岩衍生物过渡族元素的分布特点。它们相对于原始地幔,Cr、Ni 明显亏损,Ti 较富集,而其他元素的分馏均不甚显著。不相容元素的丰度(图6)比原始地幔高数倍至数百倍,其中以 Rb、Ba、Th 等强不相容元素的富集尤为显著,而 Nb 的富集则不明显,这种特征与明显富集 Nb 的裂谷环境岩石有所区别。岩石的 $(\text{Rb}/\text{Yb})_N$ 比值变化于 $28.66 \sim 111.45$,暗示地幔源区在岩浆生成前经历了非常强的地幔交代作用,使亲石元素,尤其是强不相容元素的亲石元素富集。中南段这套富钾的火成岩的 $K^* [= 2K_N / (\text{Nb}_N + \text{La}_N)]$ (邱家骧等,1991)值变化范围为 $1.36 \sim 6.94$,平均为 4.45 ,明显大于 1 ,

^① 牛漫兰,朱光,刘国生,王道轩,宋传中. 2002. 郯庐断裂带中南段中生代岩浆活动的构造背景与深部过程. 地质科学,37(4)(印刷中).

指示本区岩浆受到过富钾地幔的作用。而 $Nb^* [= 2Nb_N / (K_N + La_N)]$ (邱家骧等, 1991) 值介于 0.083~0.238, 平均为 0.135, 明显小于 1, 显示了岩浆中又有地壳信息的存在。这些特征反映了郯庐断裂带中南段侵入岩和火山岩的成因既有地幔富集事件的信息, 同时又有地壳物质的参与。

从 Sr-Nd 关系图上可看出 (图 7), 郯庐断裂带中南段火山岩、侵入岩投影在壳-幔两端元之间的过渡区。其 $\epsilon_{Nd} < 0$, 且明显偏低, 反映源区是下地壳或富集地幔。由于在断裂带内山东郯城一带青山组钾质火山岩中已经发现了幔源捕虏体及捕虏晶 (邱检

生等, 1996), 同时该套火山岩中存在着一些橄榄粗面玄武岩、辉石粗面玄武岩, 均说明带内中生代岩浆源区有幔源物质的贡献。由此可见, 断裂带内中生代岩浆活动既具有明显的幔源信息, 也有壳源贡献, 反映走滑期沟通岩浆侵入和喷发的郯庐断裂带已切穿了整个地壳, 深达壳幔边界。这首次为郯庐断裂带走滑期的切割深度提供了重要的信息。

笔者认为, 早白垩世在郯庐断裂带大规模的走滑运动中, 由于其切入壳-幔边界的减压作用的影响, 加之上升的地幔流体在壳-幔过渡带诱发了部分熔融, 从而出现了同走滑期大规模的岩浆活动。

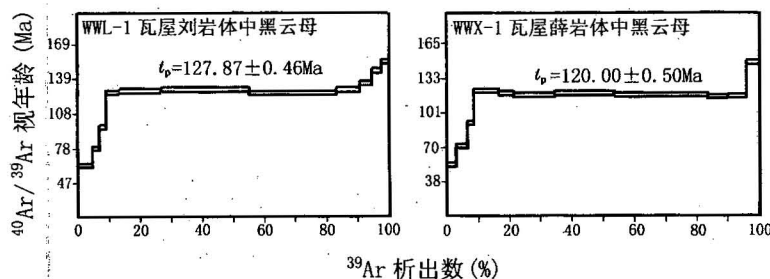


图4 郯庐断裂带张八岭隆起段瓦屋刘、瓦屋薛岩体黑云母⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄谱

Fig. 4 Biotite ⁴⁰Ar/³⁹Ar spectra of Wawuliu and Wawuxue intrusions in the Zhangbaling uplift segment of the Tan-Lu fault belt

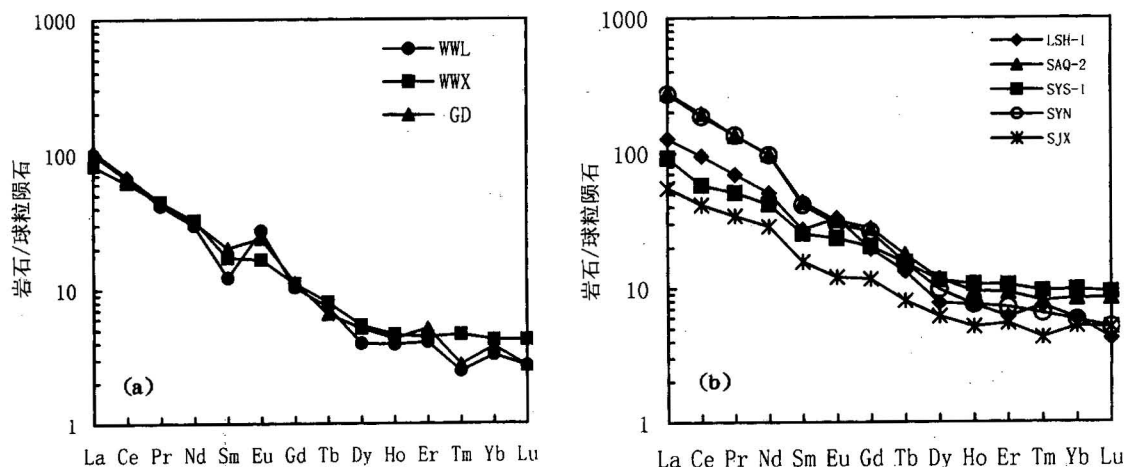


图5 郯庐断裂带中南段早白垩世岩浆岩球粒陨石标准化稀土元素配分型式

Fig. 5 Chondrite-normalized REE patterns of Mesozoic magmatite from the middle-southern segment of the Tan-Lu fault belt

(a) — 侵入岩岩体: WWL—瓦屋刘, WWX—瓦屋薛, GD—管店; (b) — 火山岩: LSH-1—肥东—龙山 K₁ 辉石安山岩, SAQ-2—山东安丘凌河 K₁ 安山岩, SYS-1—山东沂水道托 K₁ 粗面岩, SYN—山东沂南葛沟 K₁ 安山岩, SJX—山东莒县浮莱山 K₁ 粗面岩

(a) — Intrusive rock bodies: WWL—Wawuliu, WWX—Wawuxue, GD—Guandian; (b) — volcanic rocks: LSH-1—K₁ pyroxene andesite, Feidong—Longshan, Anhui; SAQ-2—K₁ andesite, Linghe, Shandong; SYS-1—K₁ trachyte, Daotuo, Yishui, Shandong; SYN—K₁ andesite, Gegou, Yinan, Shandong; SJX—K₁ trachyte, Fulaishan, Juxian, Shandong

4 早白垩世的沉积事件

巨型走滑断裂带,由于其结构、走向的波动或一侧的走滑隆升,往往会在某些段落上形成走滑盆地(Furlong et al., 1989; Venture et al., 1989; Bozkurt

et al., 1996; Miyata, 1990; Barnes et al., 2001)。郯庐断裂带北段,由于后期大规模伸展盆地的覆盖,对其走滑期的沉积事件现今难以定论。近年来的研究发现,该断裂带中、南段出现了走滑盆地及相应的沉积响应。

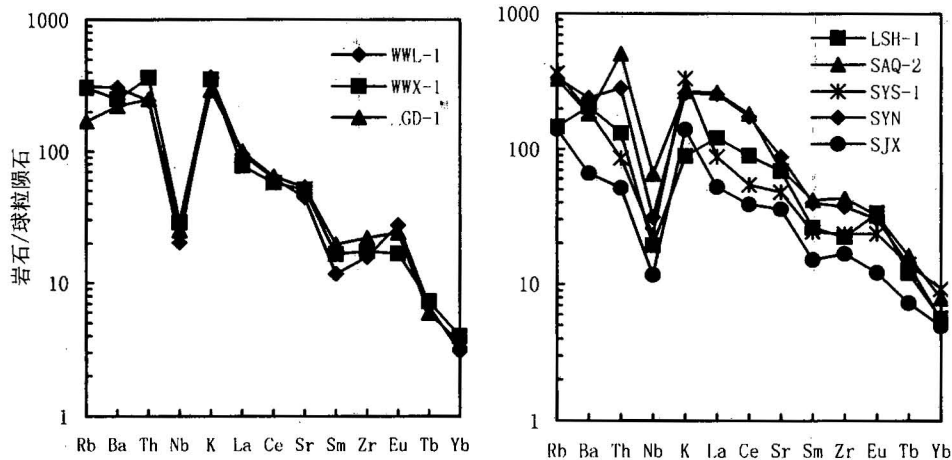


图6 郯庐断裂带中南段中生代岩浆岩球粒陨石标准化不相容元素配分图

Fig. 6 Primordial chondrite-normalized fractional diagrams of incompatible elements in Mesozoic magmatite from the middle-southern segment of the Tan-Lu fault belt

图中代号同图5

Symbols in the figure 6 same as the Fig. 5

位于沂沭断裂带以东、五莲—青岛断裂以北的莱阳盆地,沉积了白垩统的莱阳群、青山组火山岩

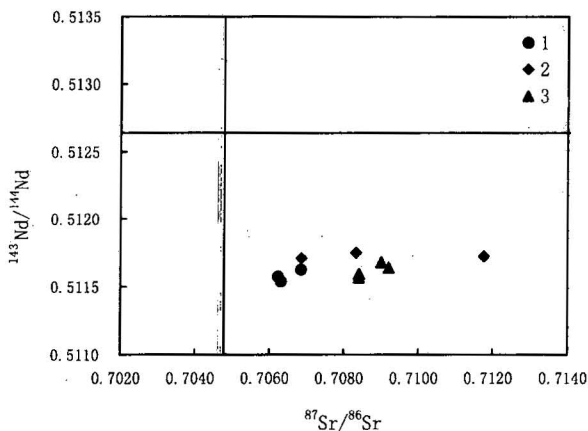


图7 郯庐断裂带中南段中生代岩浆岩 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ - $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 关系

Fig. 7 The relation between $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ of Mesozoic magmatite from the middle-south segment of the Tan-Lu fault belt

1—侵入岩;2—火山岩;3—据文献(邱检生等, 1996)

1—Intrusive rocks; 2—volcanic rocks;

3—references(Qiu Jiansheng et al., 1996)

及上白垩统王氏组红层。莱阳群所夹火山岩的 K-Ar 年龄为 $119.3 \pm 1.8\text{Ma}$ (周建波等, 1999), 指示为下白垩统。盆地内青山组火山岩的一系列同位素年龄(金隆裕, 1994; 邱检生等, 1996; 苏尚国等, 1999)也指示其时代为早白垩世, 上覆于莱阳群之上。陆克政等(1994)最早提出莱阳盆地内的下白垩统莱阳群沉积, 受控于沂沭断裂带与北东东向五莲—青岛断裂带平移中形成的拉分盆地。周建波等(1999)具体研究发现, 沂沭断裂带与五莲—青岛断裂带的左行平移, 在所夹持的莱阳盆地西南部分, 控制形成了石场—中楼拉分盆地及其中下白垩统莱阳群的沉积。该拉分盆地内的莱阳群具有与走滑运动协调的沉积迁移现象及火山喷发。

石油部门近年来在合肥盆地进行了大规模的油气勘探, 为揭示盆地内的地层分布规律及成因提供了大量的基础资料。合肥盆地内的侏罗系主要受控于大别造山带的隆升与前陆变形, 呈东西向分布。随后的沉积地层为朱巷组(又称新庄组), 一系列古生物资料已证实其为早白垩世沉积(王开发等, 1985; 安徽省地质局, 1987)。前述的合肥盆地东缘肥东龙山火山岩就是夹于朱巷组之中, 火山岩早白垩世的同位素年龄也证明了朱巷组为下白垩统。朱巷组沉

积区位于郯庐断裂带西侧的合肥盆地东部(即大桥凹陷和肥东凹陷),总体呈 NNE 走向,长约110km,宽为70~30km左右,北宽南窄。据钻孔与地震剖面资料,朱巷组地层最大残留厚度达1500m,盆地中心靠近郯庐断裂带一侧呈 NNE 走向延伸,以半深湖—深湖相沉积为代表。朱巷组沉积区东侧边界为郯庐断裂带,盆缘出现了连续的、平行断裂带的扇三角洲沉积(图8),反映郯庐断裂带上的张八岭隆起为主要物源区;而西侧边界是渐薄超覆的边界。因而早白垩世的盆地总体上呈 NNE 向延伸、东深西浅的状况,其分布与沉积明显受到郯庐断裂带的控制。如前

所述,合肥盆地东侧、郯庐断裂带张八岭隆起段上的左行平移、岩浆活动都是发生在早白垩世,加之合肥盆地下白垩统朱巷组的分布与沉积都受着断裂带的控制,从而表明朱巷组沉积区为一走滑盆地。根据该盆地原型及其与郯庐断裂带的关系,笔者认为这一早白垩世的盆地为走滑挠曲盆地(图9)。其形成于张八岭隆起段走滑隆升旁侧的压扭性挠曲拗陷的背景下,与一般的张扭性拉分盆地有所不同。这种走滑挠曲盆地的成因类似于北美板块南缘的 Gibao 走滑挠曲盆地(Erikson et al., 1998)。

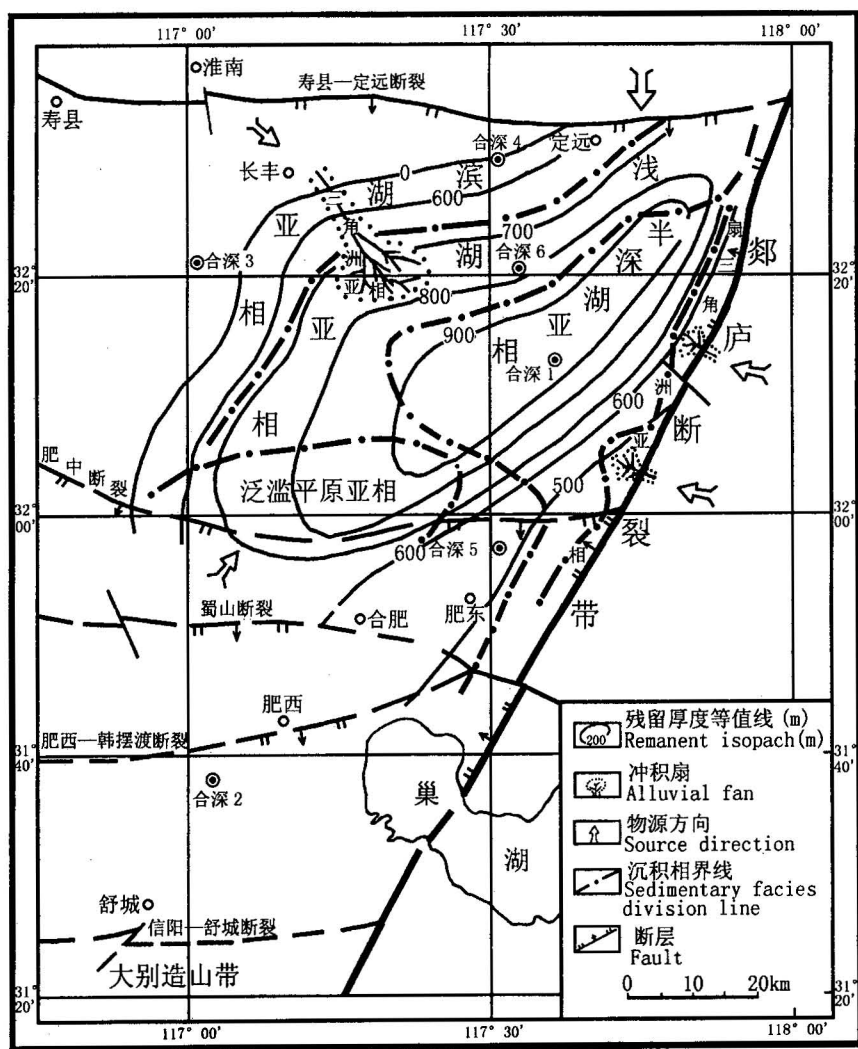


图8 合肥盆地下白垩统朱巷组沉积相图

Fig. 8 Map showing sedimentary facies of the Lower Cretaceous Zhuxiang Formation in the Hefei basin

5 结语

郯庐断裂带内走滑糜棱岩的一系列 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$

年代学研究表明,其在早白垩世时发生了走滑运动。该断裂带在大规模左旋走滑变形的同时,诱发了强烈的岩浆活动。岩浆岩的地球化学研究反映,断裂带在走滑期已切入了壳-幔边界,并且在断裂减压与壳

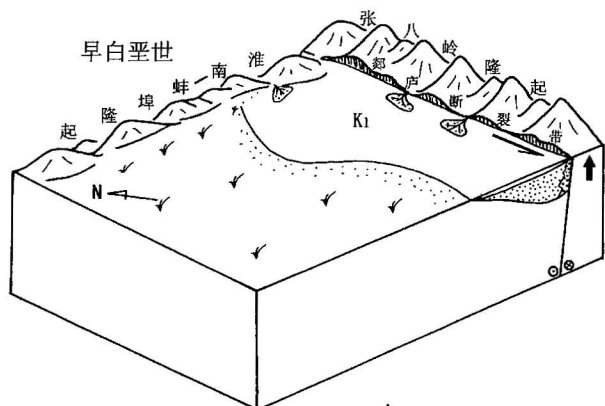


图9 合肥盆地东部早白垩世走滑挠曲
盆地原型立体示意图

Fig. 9 Block diagram showing proto-type of Early
Cretaceous strike-slip flexural basin
in the east of the Hefei basin

-幔相互作用下于壳-幔过渡带发生了部分熔融。断裂带走滑运动中,在一些部位出现了走滑盆地,控制沉积了下白垩统陆相地层。因而,该断裂带早白垩世的走滑运动,不仅仅是简单的断裂变形与变位,同时也是中国东部强烈的岩浆活动带和盆地发育区。而断裂带上早白垩世强烈的岩浆活动和走滑盆地的形成,反过来也进一步证明了它在早白垩世确实发生了大规模走滑运动,并且为其走滑运动的几何学与运动学特征提供了丰富的信息。然而,关于郯庐断裂带早白垩世左行平移的幅度,仍需做进一步的研究工作。

伴随着郯庐断裂带的形成,中国东部同期还形成了一系列 NE-NNE 向的左行平移断裂及大规模的早白垩世以中酸性、钙碱性为主的岩浆活动(王锡亮,1992;周泰禧等,1992;Xu,1993;Xu et al.,1994;邱检生等,1996;王志洪等,1997;Zhou et al.,2000)。因而,巨型郯庐断裂带在早白垩世的构造、岩浆、沉积事件是中国东部同期动力学演化的缩影。它们叠加在印支期南北板块汇聚而形成的古特提斯东西向构造之上,应该是西太平洋区大洋板块强烈活动的产物。根据 Engbretson 等(1985)和 Maruyama 等(1997)的研究,从早白垩世初期(140Ma)开始,西太平洋伊泽纳崎板块突然改变了运动方向和速度,以30cm/a 的高速向正北斜向俯冲于东亚大陆之下(俯冲带走向北东)。至早白垩世中期(120Ma),仍然保持着高速俯冲(20.7cm/a),运动方向逐渐变成 NNW。笔者认为正是由于早白垩世伊泽纳崎板块高

速斜向俯冲于东亚大陆之下,使中国东部呈现左旋压扭及活动大陆边缘的岩浆弧环境,从而发生了郯庐断裂带及旁侧断裂系的大规模左行平移、同期的岩浆活动及局部走滑盆地的形成。

参考文献

- 安徽省地质局. 1987. 安徽省区域地质志, 北京:地质出版社. 166~167.
- 国家地震局地质研究所. 1987. 郯庐断裂. 北京:地震出版社, 83~141.
- 金隆裕. 1994. 沂沭裂谷及其邻区下白垩世火山熔岩地球化学特征. 山东地质, 10(1):40~51.
- 李曙光, Hart S K, 郑双根. 1989. 中国华北、华南陆块碰撞时代的 Sm-Nd 同位素年龄证据. 中国科学(B辑), (3):312~319.
- 李学明, 李彬贤, 张翼, 周泰禧. 1985. 安徽管店岩体的同位素地质年龄和郯庐断裂的动力变质作用. 中国科技大学学报, (增刊): 254~261.
- 陆克政, 戴俊生. 1994. 胶莱盆地的形成和演化. 东营:石油大学出版社, 109~111.
- 牛漫兰, 朱光, 宋传中, 王道轩. 2000. 郯庐断裂带火山活动与深部过程的新认识. 地质科技情报, 19(3): 21~26.
- 邱家骧, 王人镜, 李昌年. 1991. 五大连池—二克山富钾火山岩. 武汉:中国地质大学出版社, 85~95.
- 邱检生, 王德滋, 周金城, 曾家湖. 1996. 山东中生代橄榄安粗岩系火山岩的地质、地球化学特征及岩石成因. 地球科学—中国地质大学学报, 21(5):546~552.
- 苏尚国, 周王旬若, 顾德林. 1999. 山东沂水郯庐断裂带中段中生代火山岩特征及演化. 地质论评, 45(增刊):565~571.
- 万天丰, 朱鸿. 1996. 郯庐断裂带的最大左行走滑断距及其形成时期. 高校地质学报, 2(1):14~27.
- 王开发, 张玉兰, 王永元, 王家文, 王蓉. 1985. 合肥盆地朱巷组孢粉组合及其地质时代和古植被古气候. 地质科学, 20(4):401~407.
- 王锡亮. 1992. 论山东地区燕山期地壳运动及其岩浆岩的形成时代. 山东地质情报, (3):1~6.
- 王小凤, 李中坚, 陈柏林, 张青, 陈宣华, 邢历生, 陈正乐, 董树文, 郭华梅. 1998. 郯庐走滑断裂系的形成演化及其地质意义. 见:郑亚东等主编. 第30届国际地质大会论文集. 北京:地质出版社. 14: 176~196.
- 王小凤, 李中坚, 陈柏林, 陈宣华, 董树文, 张青. 2000. 郯庐断裂带. 北京:地质出版社.
- 王志洪, 卢华复. 1997. 长乐—南澳韧性剪切带 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 热年代学研究. 中国科学(D辑), 27(4):294~299.
- 周建波, 胡克, 申宁华, 赵达, 宫田隆夫. 1999. 郯庐断裂中段石场—中楼拉分盆地的确定. 地质科学, 34(1):18~28.
- 周泰禧, 陈江峰, 季学明, 彭子成. 1992. 安徽中生代中酸性火山岩的时代归属. 安徽地质科技, (2):28~29.
- 朱光, 宋传中, 王道轩, 刘国生, 徐嘉伟. 2001. 郯庐断裂带走滑时代的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学研究及其构造意义. 中国科学(D辑), 31(3):250~256.

References

- Arita K, Dallmeyer R D, Takasu A. 1997. Tectonothermal evolution of the Lesser Himalaya, Nepal: Constraints from $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages from the Kathmandu Nappe. *The Island Arc*, 6:372~385.
- Barnes P M, Sutherland R, Davy B, Delteil J. 2001. Rapid creation and destruction of sedimentary basins on mature strike-slip faults: an example from the offshore Alpine Fault, New Zealand. *Journal of Structural Geology*, 23(11): 1727~1739.
- Bozkurt E, Kocyioit A. 1996. The Kazova basin; an active negative flower structure on the Almus fault zone, a splay fault system of the North Anatolian fault zone, Turkey. *Tectonophysics*, 265: 239~254.
- Bureau of geology and mineral resources of Anhui province. 1987. *Regional Geology of Anhui Province*. Beijing: Geological Publishing House, 166~167. (in Chinese with English abstract)
- Dallmeyer R D, Neubauer F, Fritz H, Mocanu V. 1998. Variscan vs. Alpine tectonothermal evolution of the Southern Carpathian orogen: constraints from $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages. *Tectonophysics*, 29:111~135.
- Dallmeyer R D, Pana D I, Neubauer F et al. 1999. Tectonothermal evolution of the Apuseni Mountains, Romania: Resolution of Variscan versus Alpine events with $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages. *The Journal of Geology*, 107:329~352.
- Engelbreton D C, Cox A, Gordon R G. 1985. Relative motions between oceanic and continental plates in the Pacific basin. *The Geological Society of America, Special Paper* 206, 1~59.
- Erikson J P, Pindel J L, Karner G D, Sonder L J, Fuller E, Dent L. 1998. Neogene sedimentation and Tectonics in the Gibao Basin and northern Hispaniola: An example of basin evolution near a strike-slip-dominated plate boundary. *The Journal of Geology*, 106(4): 473~494.
- Furlong K P, Hugo W D, Zandt G. 1989. Geometry and evolution of the San Andreas Fault Zone in northern California. *Journal of Geophysics Research*, 94:3100~3110.
- Gilder S A, Leloup P H, Courtillot V, Chen, Y, Coe R S, Zhao X, Xiao W, Halim N, Cogne J P, Zhu R. 1999. Tectonic evolution of the Tancheng-Lujiang (Tan-Lu) fault via Middle Triassic to Early Cenozoic paleomagnetic data. *Journal of Geophysical Research*, 104 (B7):15365~15390.
- Hacker B R, Ratschbach L, Webb L E, et al. 2000. Exhumation of ultrahigh-pressure continental crust in east central China: Late Triassic-Early Jurassic tectonic unroofing. *Journal of Geophysical Research*, 105(B6):13339~13364.
- Institute of Geology, State Seismological Bureau. 1987. *The Tan-Lu fault zone*. Beijing: Seismic Publishing House, 83~141. (in Chinese)
- Jin L Y. 1994. Petrology and geochemical characteristics of the lower Cretaceous volcanic rocks in the Yishu rift zone and adjacent area. *Geology of Shandong*, 10(1):40~51. (in Chinese)
- Li Z X. 1994. Collision between the north and south blocks: A crust-detachment model for suturing in the region east of the Tan-Lu fault. *Geology*, 22:739~742.
- Li S G, Hart S K, Zheng S G. 1989. Sm-Nd isotopic age constraint on collision time of North and South blocks. *Science In China (series B)*, (3):312~319.
- Li X M, Li B X, Zhang X, Zhou T X. 1985. Isotopic ages of the Guandian intrusion in Anhui and dynamic metamorphism of the Tan-Lu fault zone. *Journal of China University and Technology*, (supplement):254~261. (in Chinese with English abstract)
- Lu K Z, Dai J S. 1994. *Formation and evolution of the Jiaolai Basin*. Dongying: Publishing House of Petroleum University, 109~111. (in Chinese with English abstract)
- Maruyama S, Isozaki Y, Kimura G, Terabayashi M. 1997. Paleogeographic maps of the Japanese Islands: plate tectonic synthesis from 750 Ma to the present. *Island Arc*, 6:121~142.
- Miyata T. 1990. Slimp indicative of paleoslope in Cretaceous Izumi sedimentary basin along Median Tectonic Line, southwest Japan. *Geology*, 18:392~394.
- Niu M L, Zhu G, Liu G S, Wang D X, Song C Z. 2002. Tectonic setting and deep processes of Mesozoic magmatic activity in the middle-southern part of the Tan-Lu fault zone. *Scientia Geologica Sinica*, 37(4) (in press).
- Niu M L, Zhu G, Song C Z, Wang D X, Liu G S. 2000. Volcanic activities and deep geological processes in the Tan-Lu fault zone. *Geological Science and Technology Information*, 19(3):21~26.
- Qiu J S, Wang D Z, Zhou J C, Zheng J H. 1996. Geological and geochemical characteristics and petrological genesis of Mesozoic shoshonite series in Shandong. *Earth Science*, 21(5):546~552.
- Qiu J X, Wang R J, Li C N, Liao Q A. 1991. K-rich volcanic rocks of the Wudalianchi-Keluo-Erkeshan area. Wuhan: Publishing House of China university of Geosciences, 85~95.
- Stewart M, Strachan R A. 1999. Structure and early kinematic history of the Great Glen Fault Zone, Scotland. *Tectonics*, 18(2):326~342.
- Su S G, Zhou X R, Gu D L. 1999. Characteristics and evolution of Mesozoic volcanic rocks in the middle segment of the Tan-Lu fault zone at Yishui, Shandong. *Geological Review*, 45 (supplement): 565~571.
- Venture G, Vilardo G, Milano G, Pino N A. 1989. Relationships among crustal structure, volcanism and strike-slip tectonics in the Lipari-Vulcano volcanic complex (Aeolian Islands, southern Tyrrhenian Sea, Italy). *Physics of The Earth and Planetary Interiors*, 116(1~4): 31~52.
- Wan T F, Zhu H. 1996. The maximum sinistral strike-slip displacement and formation time of the Tan-Lu fault zone. *Geological Journal of China Universities*, 2(1):14~27. (in Chinese with English abstract)
- Wan T F. 1996. *Formation and evolution of the Tancheng-Lujiang Fault Zone*. Wuhan: China University of Geosciences Press.
- Wang K F, Zhang Y L, Wang Y Y, Wang J W, Wang R. 1985. Palynological assemblages of Zhuxiang Formation in Heifei basin and its Geological ages, paleovegetation and paleoclimate. *Scientia Geologica Sinica*, 20(4):401~407. (in Chinese with English abstract)

- Wang X F, Li Z J, Chen B L, Chen X H, Dong S W, Zhang Q. 2000. On Tan-Lu Fault Zone. Beijing: Geological Publishing House. (in Chinese with English abstract)
- Wang X F, Li Z J, Chen B L, Zhang Q, Chen X H, Xin L S, Chen Z L, Dong S W, Wu H J. 1998. Formation and evolution of the Tan-Lu strike-slip fault system and its geological significance. In: Zheng Y D ed. Proceedings of 30th International Geological Congress, Beijing: Geological Publishing House, 14:176~196. (in Chinese with English abstract)
- Wang X L. 1992. Yanshanian movement and formation time of igneous rocks in Shandong region. Geological information of Shandong, (3):1~6.
- Wang Z H, Lu H F. 1997. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ thermochronological studies on the Changle-Nanao ductile shear zone. Science in China (Series B), 27(4):294~299.
- Xu J W. 1993. The Tancheng-Lujiang Wrench Fault System. Chichester(UK): John Wiley & Sons Ltd.
- Xu J W, Zhu G. 1994. Tectonic models of the Tan-Lu fault zone, eastern China. International Geology Review, 36, 771~784.
- Yin A, Nie S Y. 1993. An indentation model for the North and South China collision and the development of the Tan-Lu and Honam fault system, eastern Asia. Tectonics, 12(4):801~813.
- Zhang K J. 1997. North and South China collision along the eastern and southern North China margins. Tectonophysics, 270:145~156.
- Zhou J B, Hu K, Shen N H, Zhao D, Takao Miyata. 1999. Determination on Shichang-Zhonglou pull-apart basin in the middle segment of the Tan-Lu fault zone. Scientia Geologica Sinica, 34(1):18~28.
- Zhou X M, Li X W. 2000. Origin of late Mesozoic igneous rocks in Southeastern China: implications for lithosphere subduction and underplating of mafic magmas. Tectonophysics, 326: 269~287.
- Zhou T X, Chen J F, Ji X M, Peng Z C. 1992. Timing of Mesozoic intermediate volcanic rocks in Anhui. Geological Science and Technology of Anhui, (2):28~29. (in Chinese)
- Zhu G, Song C Z, Wang D X, Liu G S, Xu J W. 2001. Studies on $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ thermochronology of strike-slip time of the Tan-Lu fault zone and their tectonic implications. Science in China (Series D), 44(11):1002~1009. (in Chinese)
- Zhu G, Xu J W. 1997. Displacement, timing and tectonic model of the Tan-Lu fault zone. Proceedings of 30th International Geological Congress, VSP, Holland, 14:217~228.

Structural, Magmatic and Sedimentary Events of the Tan-Lu Fault Belt During its Early Cretaceous Strike-Slip Movement

ZHU Guang, NIU Manlan, LIU Guosheng, WANG Daoxuan, SONG Chuanzhong

College of Resources and Environmental Engineering, Hefei University of Technology, Hefei, 230009

Abstract

The $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ values of the mylonite series from the Tan-Lu fault belt demonstrate that the fault belt has experienced sinistral strike-slip movement in the Early Cretaceous. The large-scale strike-slip movement caused two types of strike-slip structures. One is sinistral ductile shear belts with low greenschist facies in metamorphic rocks. The other is brittle or brittle-ductile sinistral wrench faults in Mesozoic igneous and sedimentary rocks. These suggest that the strike-slip movement lasted from the earliest to the latest Early Cretaceous. The strike-slip movement triggered large-scale magmatism characterized by K-rich and intermediate rocks. Geochemical analyses of the igneous rocks show that the rocks contain both crust-derived and mantle-derived information. It is proposed therefore that the magmatism occurred in the conditions of faulting depression and crust-mantle interaction and that the fault cut into crust-mantle boundary during the strike-slip period. In addition to the Early Cretaceous pull-apart basin in the Laiyang basin, a strike-slip flexural basin with deposition of the Lower Cretaceous Zhuxiang Formation was developed in the east of the Hefei Basin during strike-slip movement of the fault belt. The structures, magmatism and sedimentation of the Tan-Lu fault belt during its Early Cretaceous strike-slip movement are caused by high-speed, oblique subduction of the Izawa Nosaki plate in West Pacific, and are parts of the circum-Pacific tectonics.

Key words: Tan-Lu fault belt; strike-slip movement; magmatism; strike-slip basin; early Cretaceous