

从北淮阳构造带的多期变形透视大别山构造演化*

林 伟^{①②**} 王清晨^① M. Faure^③ N. Arnaud^④

(①LTE, 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029; ②Department of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science, Nagoya University, Japan; ③ISTO, UMR CNRS 6113, Bâtiment Géosciences, Orléans Université d'Orléans, 45067 Orléans Cedex 2, France; ④UMR 6524 "Magmas et Volcans", 5 Rue Kessler, 63000 Clermont-Ferrand)

摘要 大别山北部的北淮阳构造带主体由佛子岭群和庐镇关群构成。北淮阳构造带没有经历超高压变质作用, 但却具有与大别山其他地区相同的构造变形形式。通过几何学、运动学及多期构造变形的研究, 论证了北淮阳构造带具有与其他地质单元相同的动力学背景。同大别山中部的穹隆及南部超高压变质地体相比, 由于北淮阳构造带的俯冲深度较浅, 从而保留了超高压变质作用之前的构造变形痕迹。结合同位素年代学的测量结果, 把北淮阳构造带的岩石变形划分为五期, 分别代表了早期板块会聚的变形痕迹(D1), 早期的构造折返(D2), 表示主变形期的晚三叠世的伸展作用(D3), 晚三叠世的重力滑脱伸展作用(D4)和白垩纪的伸展作用(D5)。结合大别山的岩石变形, 可以认为华南与华北板块碰撞造山过程大致经历了陆壳俯冲阶段, 同俯冲期的折返作用, 穹隆及其边缘的重力滑脱变形和混合岩化及岩浆侵入作用。

关键词 北淮阳构造带 几何学 运动学 多期构造变形 大别山构造演化

大别山为扬子与华北板块在晚三叠世的碰撞造山带, 是秦岭造山带的东延部分。自从超高压变质岩被发现以来^[1~3], 大别山的研究在岩石学上取得了许多重要的进展^[4], 从岩石学的角度提出了超高压岩石从 100 km 甚至更深处隆升或折返的证据^[5~7]。位于大别山北缘的北淮阳构造带由于没有遭受超高压的变质作用, 表明其从未经历像大别山超高压变质地体那样的深俯冲作用。正因为如此, 北淮阳构造带得以保存了超高压变质之前的构造形迹; 同时, 在较浅俯

冲深度条件下所形成的相对独特的构造演化历程, 使其构造变形特征不但有别于大别山中部的混合岩穹隆及南部的超高压变质带, 而且使其成为深入了解大别山构造演化的关键部位之一。以往的工作大多集中于与超高压变质作用相关地区的构造学研究^[8~12], 相比之下, 北淮阳构造带有些被“冷落”。针对这一情况, 本文对北淮阳构造带的构造几何学和变形特征进行了研究, 以期对大别山构造演化史提供新的知识与认识。

2003-07-09 收稿, 2004-07-08 收修改稿

* 国家重点基础研究发展规划(G1999043303)和国家自然科学基金(批准号: 40202021)资助项目

** E-mail: linwei@mail.jgcas.ac.cn

由于研究方法和手段的不同,不同的地质学家从各自的研究视角对大别山的大地构造背景和构造演化提出各自不同的看法. 由于把大别山中部的变质杂岩认为是岩浆岛弧,徐树桐等^[13,14]把大别山划分为五个构造单元,北淮阳构造带被视为弧前复理石推覆体;王清晨等^[15,16]则曾把大别山划分为四个岩石构造单元,北淮阳构造带则被作为北淮阳弧后复理石带. Okay等^[8]则认为佛子岭复理石是扬子大陆被动边缘的石炭纪沉积物. 周建波等^[17]发展了Okay的看法,把北淮阳构造带作为扬子陆块俯冲过程中被刮削下来的构造加积楔,认为其未卷入大陆深俯冲.

1 大地构造位置及构造单元组成

根据我们对大别山的地质考察,并结合前人的研究结果,把大别山分为三个构造单元:南部,中部和北部. 大别山南部为一套原地堆叠系统;中部为一个混合岩穹隆,其为经历了超高压变质作用的地体叠加了混合岩化的结果;作为北淮阳构造带东部主体的佛子岭群和庐镇关群构成了大别山的北部构造单元^[10,12].

大别山北部的北淮阳构造带主要由佛子岭群浅变质的砂岩、板岩、千枚岩、云母片岩夹石英岩、大理岩、片麻岩及庐镇关群的正片麻岩、斜长角闪岩组成. 研究区大部分岩石经历了绿片岩相-低角闪岩相的变质作用,出露于庐镇关附近的一些正片麻岩经历了绿帘角闪岩相变质作用. 由于从未发现过高压变质作用的痕迹,因此我们认为该构造单元没有经历象大别山中部及南部那样的高压-超高压变质作用.

研究区南部的晓天-磨子潭断裂带作为边界断裂将其与大别山中部的混合岩穹隆分离(图 1).

2 北淮阳构造带的构造几何特征及变形分析

大别山北部的北淮阳构造带总体上由两部分组成:南缘的晓天-磨子潭断裂带和构成其主体的北淮阳构造带(由佛子岭杂岩和庐镇关杂岩构成). 它们的构造几何形态及变形特点既有相似性,又各具特点.

2.1 晓天-磨子潭断裂带的构造几何特征及变形分析

晓天-磨子潭断裂作为大别山区域上一条非常重要的断裂,分隔了大别山中部的混合岩穹隆和北淮阳构造带(图 1). 断裂的总体走向为NW-SE方向,断层面倾向NE,倾角 50°~80°,局部近直立. 一些地质学家认为该断裂为华北板块和扬子板块的缝合线^[13,14]. 事实上,晓天-磨子潭断裂的野外表现为北东盘(上盘)下落的正断层,同时它具有多期变形的特点. 在晓天-磨子潭断裂以南的正片麻岩和片麻岩化的混合岩中可以观察到一个韧性剪切带,它具有向N-NE倾的面理,面理的赤平投影结果体现了其拆离正断层的几何特征(图 1 及其剖面)^[10,12,19]. 在面理上发育有NW-SE向的矿物拉伸线理(称之为L3,参见表 1, Ln, Fn同样参见表 1)(图 1),通常组成矿物为角闪石和黑云母,有时还可以观察到绿帘石^[9~14]. 这个韧性剪切带的变形特点可以同大别山中部及南部的韧性剪切变形特点相对比^[9~12]. 从几何位置上,晓天-磨子潭断裂可以分为深部的韧性断裂和浅部的脆性断

表 1 北淮阳构造带与大别山中部和南部的动力学演化特征对比

北淮阳构造带	大别山中部和南部	动力学解释
D1: 近 N-S 向的拉伸线理(L1), 上部指南的剪切变形, 向南的逆冲推覆作用	被后期变形掩盖而很难识别	陆壳俯冲阶段
D2: 近 N-S 向的拉伸线理(L2)和同斜褶皱(F2), 上部向北的剪切变形, 早期近 N-S 向的伸展作用	微弱, 很难观察到	同俯冲期折返
D3: NW-SE 向拉伸线理(L3)和同斜褶皱(F3), 上部向 NW 的剪切变形, 稍晚一期的 NW-SE 向的伸展作用	NW-SE 向矿物拉伸线理及上部向 NW 的剪切变形, NW-SE 向的构造伸展作用	
D4: 垂向压缩的重力滑脱褶皱及擦痕指示了上部向 N 或 NE 的滑脱变形, 平行于构造走向(NW-SE 或近 E-W 向)的褶皱轴(F4)	近水平的褶皱轴面和背对大别山中部穹隆的重力滑脱变形, 既有韧性变形特点又有脆性变形特征	重力滑脱伸展作用
D5: 晓天-磨子潭断裂带所表现为北东盘(上盘)下落的正断层, 深部为韧性断裂浅部为脆性断裂	伴随白垩纪混合岩化和花岗岩侵入和半地堑盆地边缘的伸展性的正断层	东亚地区白垩纪广泛的伸展作用

表 2 北淮阳构造带激光⁴⁰Ar/³⁹Ar同位素年代学分析结果

温度/°C	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	³⁸ Ar/ ³⁹ Ar	³⁷ Ar/ ³⁹ Ar	³⁶ Ar/ ³⁹ Ar (10 ⁻³)	³⁹ Ar (10 ⁻¹⁴ 摩尔)	F ³⁹ Ar 释放量	% ⁴⁰ Ar*	⁴⁰ Ar*/ ³⁹ Ar	年龄 /Ma	± 1s /Ma
DB 205		白云母	J 值 = 0.0089360						Ma	Ma
700	18.570	0.040	0.002	2.598	2.82	7.48	95.67	17.79	266.10	1.75
800	17.949	0.012	0.000	0.744	10.17	34.51	98.59	17.70	264.93	1.14
900	17.978	0.012	0.000	0.440	13.12	69.35	99.09	17.82	266.57	1.06
974	17.562	0.012	0.000	0.506	4.55	81.42	98.90	17.38	260.51	1.63
1000	17.789	0.012	0.000	0.343	2.40	87.79	99.11	17.66	264.33	1.79
1050	17.341	0.012	0.000	0.376	2.95	95.62	99.05	17.20	257.95	1.15
1100	17.220	0.012	0.000	0.122	0.97	98.18	99.15	17.15	257.29	1.36
1200	19.295	0.013	0.000	4.189	0.42	99.30	92.58	18.05	269.76	1.29
1400	22.687	0.020	0.000	24.882	0.26	100.00	66.92	15.44	233.17	2.08
								总年龄	264.1	5.0
DB 205		黑云母	J 值 = 0.0089360							
700	33.636	0.019	0.000	10.011	3.23	4.30	91.28	30.70	437.38	1.17
800	16.916	0.015	0.005	1.034	9.32	16.68	98.05	16.59	249.33	0.52
900	12.900	0.013	0.010	0.079	3.75	21.66	99.59	12.85	196.05	0.77
950	13.011	0.012	0.009	0.000	2.76	25.32	99.76	12.98	197.99	0.93
1000	13.167	0.013	0.007	0.123	3.77	30.33	99.50	13.10	199.73	1.21
1050	13.996	0.013	0.004	0.047	7.44	40.22	99.68	13.95	211.96	0.80
1100	15.949	0.015	0.004	19.004	9.74	53.16	65.25	10.41	160.43	1.04
1200	17.778	0.016	0.003	5.317	23.70	84.67	91.15	16.21	243.99	2.51
1400	26.029	0.022	0.008	34.284	11.54	100.00	61.68	16.06	241.87	2.72
								总年龄	237.6	4.1
DB 275		白云母	J 值 = 0.0089360							
700	11.978	0.072	0.038	19.894	0.51	0.83	51.60	6.18	96.98	1.18
800	8.334	0.013	0.037	2.394	5.71	10.05	91.33	7.61	118.72	0.64
900	8.247	0.012	0.003	0.540	39.63	74.04	97.73	8.06	125.46	0.72
950	7.967	0.012	0.007	0.292	12.31	93.91	98.55	7.85	122.34	0.29
1000	8.260	0.012	0.025	0.417	3.10	98.92	98.18	8.11	126.22	0.80
1050	9.838	0.015	0.106	5.712	0.49	99.71	82.91	8.16	126.93	0.60
1100	20.862	0.026	0.201	38.729	0.16	99.97	46.07	9.61	148.67	2.10
1200	36.883	0.110	0.415	1282.226	0.02	100.00	-908.19	-335.08	-	-
1400	-	-	-	-	-	100.00	-	-	-	-
								总年龄	123.6	0.90

裂. 在浅部的晚侏罗世火山凝灰岩和沉积岩、早白垩世花岗岩及变质岩中, 晓天~磨子潭断裂表现为脆性变形(图 2(a), (b)). 脆性变形可以分为两组: 一组沿断裂发育羽状节理及其他脆性变形特征指示断裂具有左行剪切的特点, 这组变形特征在东部的姚河地区也有明显的体现^[20]; 另一组脆性变形表现为: 北倾的破裂面及指示上盘向N-NE滑脱的擦痕, 表明了晓天-磨子潭断裂的脆性变形同时具有伸展性的正断层特点, 这组变形有时作为边界断裂控制了晚侏罗世火山岩的沉积^[20,21]. 晓天-磨子潭断裂深部同时具有韧性变形的特点, 表现为沿断裂一些位置上出露的早白垩世花岗岩发生了片理化和糜棱岩化. 在霍山的南部(张冲桥附近), 早白垩世花岗岩已经片理化, 具明显的S-C构造(图 2(c)); 沿着NW-SE向的拉伸线理

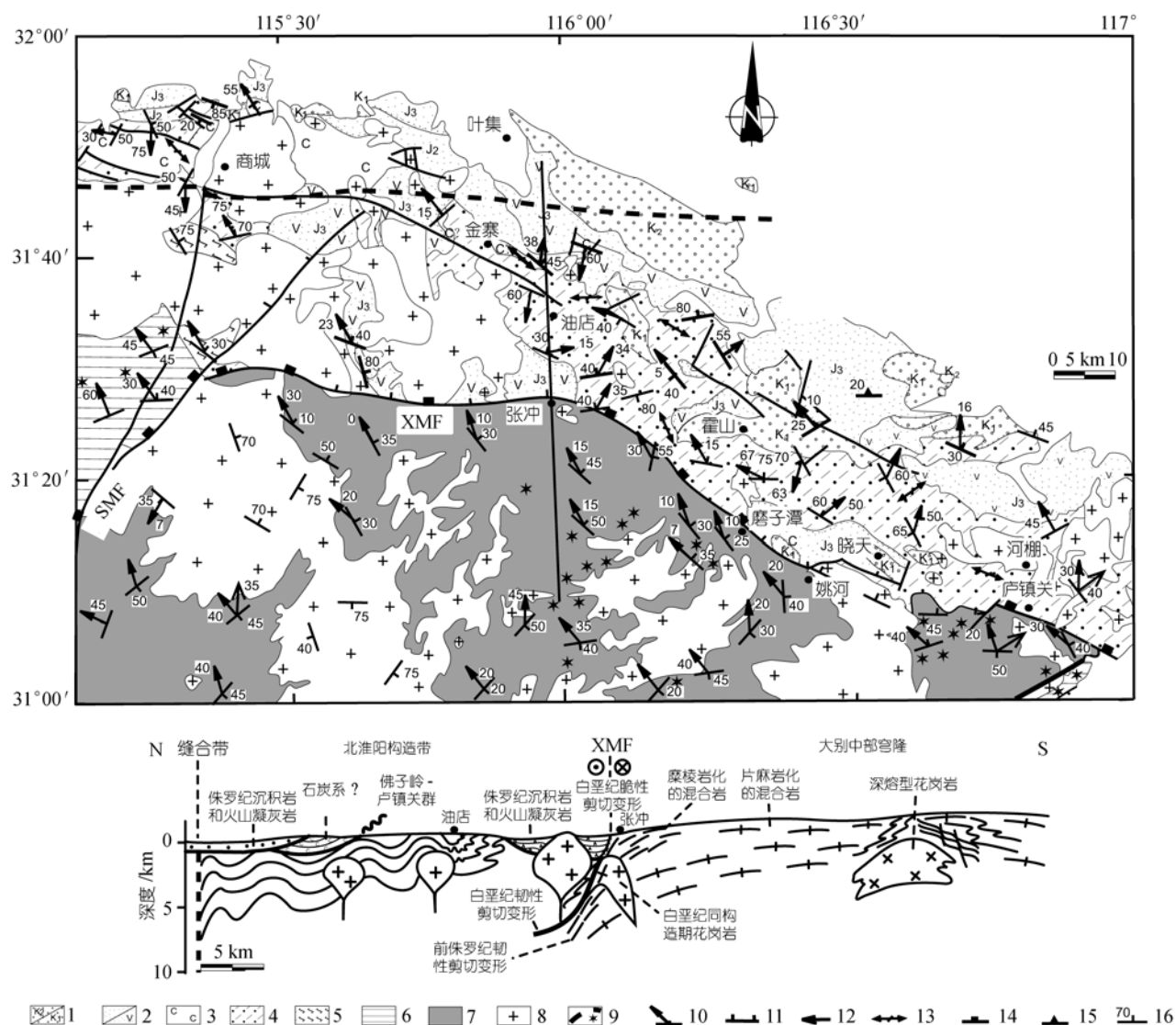


图 1 北淮阳构造带构造地质及剖面图

1~16 分别为: 早、晚白垩纪红色沉积岩, 侏罗纪沉积岩和火山岩, 大别山北部石炭纪沉积岩, 佛子岭群和庐镇关群, 高压变质岩系, 超高压榴辉岩单元, 片麻岩或糜棱岩化的混合岩, 白垩纪花岗岩, 推测的缝合带位置和榴辉岩产出位置, 面理和拉伸线理的产状及其剪切指向, 脆性正断层, 高角度的韧性正断层, 冷线理, 地层产状, 褶皱轴向, 面理及其产状. XMF, 晓天-磨子潭断裂带; SMF, 商麻断裂; 榴辉岩位置据文献[18]

(赤平投影的极值点位于NW320°附近)(图 3(a)), 展示了上部向NW的剪切变形. 根据杨坤光等人的研究, 东部的姚河岩体也具有相似的变形特点^[20]. 沿着晓天-磨子潭断裂带, 我们还观察到佛子岭群的云母片岩发生了褶皱, 褶皱轴(F4)平行于区域构造走向(NW-SE), 轴面向N或NE缓倾(图 2(d)). 具有体现重力滑脱性质的牵引褶皱(drag fold)的特点(图 1 剖面),

这种褶皱使早期变形的线理和同斜褶皱轴发生了改变(图 2(e)).

2.2 北淮阳构造带的构造几何特征及变形分析

总体上大别山北部北淮阳构造带的几何形态为复式向斜(图 1): 中部为规模较小的背斜, 两侧各具向斜, 向斜-背斜的总体走向与区域构造线方向一致(图 1). 由于多期构造叠加的结果, 在研究区统计的

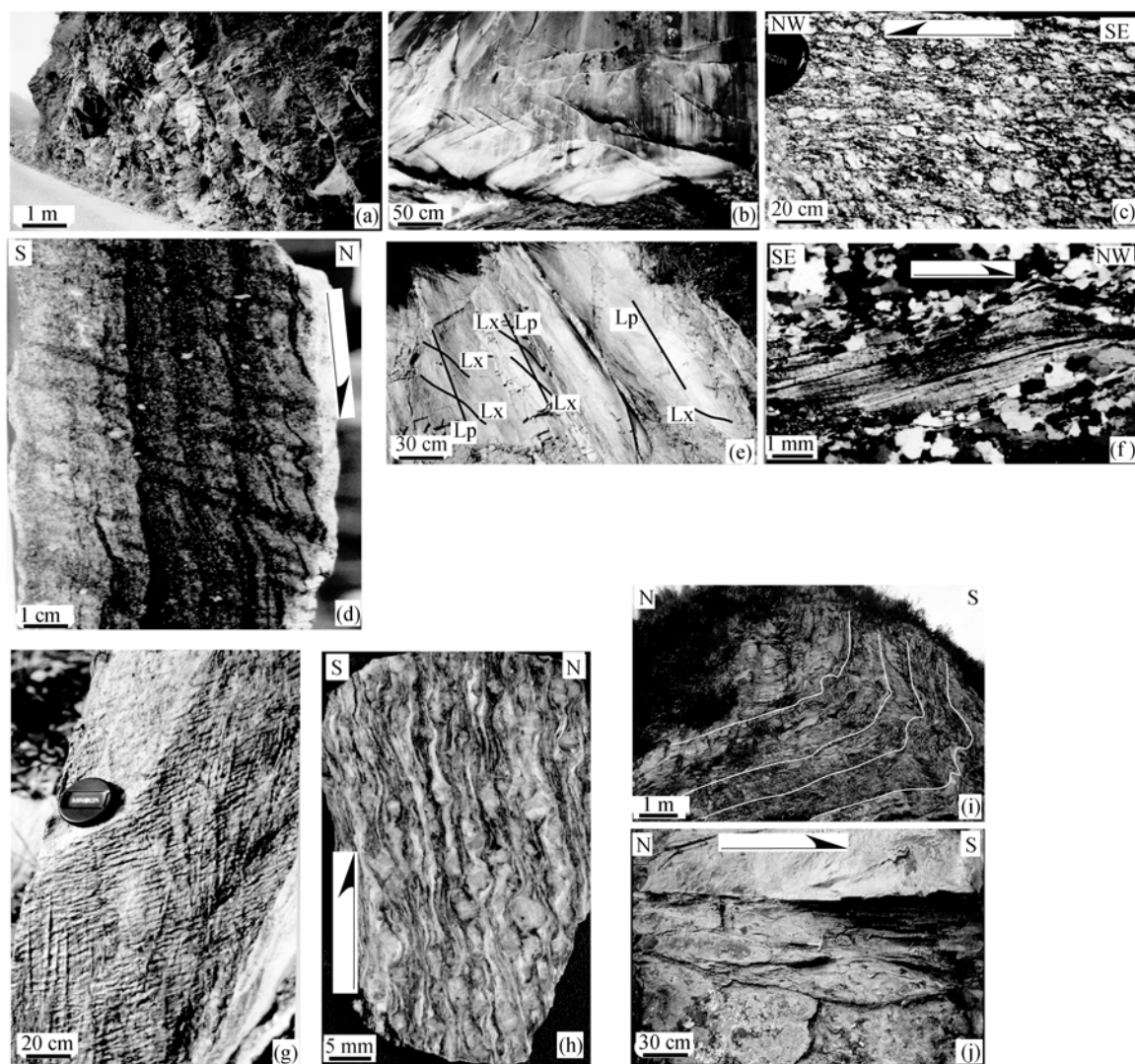


图2 北淮阳构造带的变形特征

(a) 被晓天-磨子潭脆性断裂所改造的晚侏罗世火山岩(姚河西); (b) 早白垩世的花岗岩被晓天-磨子潭脆性断裂所改造(姚河西); (c) 位于张冲桥边的白垩纪花岗岩被晓天-磨子潭韧性断裂所改造(张冲); (d) 晓天-磨子潭附近云母片岩中北倾的褶皱轴面指示了上部向 N 或 NE 的重力滑脱(晓天镇南); (e) 重力牵引褶皱使主变形期的线理和同斜褶皱轴发生了褶皱(Lx: 线理, Lp: 褶皱轴(霍山南)); (f) 具有上部指向 NW 的剪切运动学特征的“云母鱼”(商城); (g) 佛子岭群的千枚岩中代表两期变形的细褶皱互相叠加(霍山东); (h) 代表早期折返的眼球状片麻岩(DB275~舒城县河棚); (i) 佛子岭群中发育的重力滑脱褶皱(霍山西); (j) 弱变质的粉砂岩中的劈理指示向南的剪切作用(商城北)

92 个面理测量数据的赤平投影结果较为分散(图 3(b)), 但仍然能够反映整体复式向斜的几何形态。晚侏罗~早白垩世火山岩及以后的沉积盖层不整合地覆盖着强烈褶皱的佛子岭群浅变质岩系(图 1)。

对 93 个线性构造元素(线理, 褶皱轴, 冷线理)的野外观察及室内分析发现, 尽管北淮阳构造带的线

理分布较为分散(图 3(b)), 但经过赤平投影后, 这些线理在延伸方向上总体可以分为两组, 一组为优势线理, 具有 NW-SE 方向和上部指向 NW 的剪切运动学特征(L3)(图 2(f), 图 4(a), (b)), 同大别山其他构造单元一样, 这期变形构成了北淮阳构造带的主体, 被认为是主变形期的变形产物^[12]; 同斜褶皱轴(F3)也平

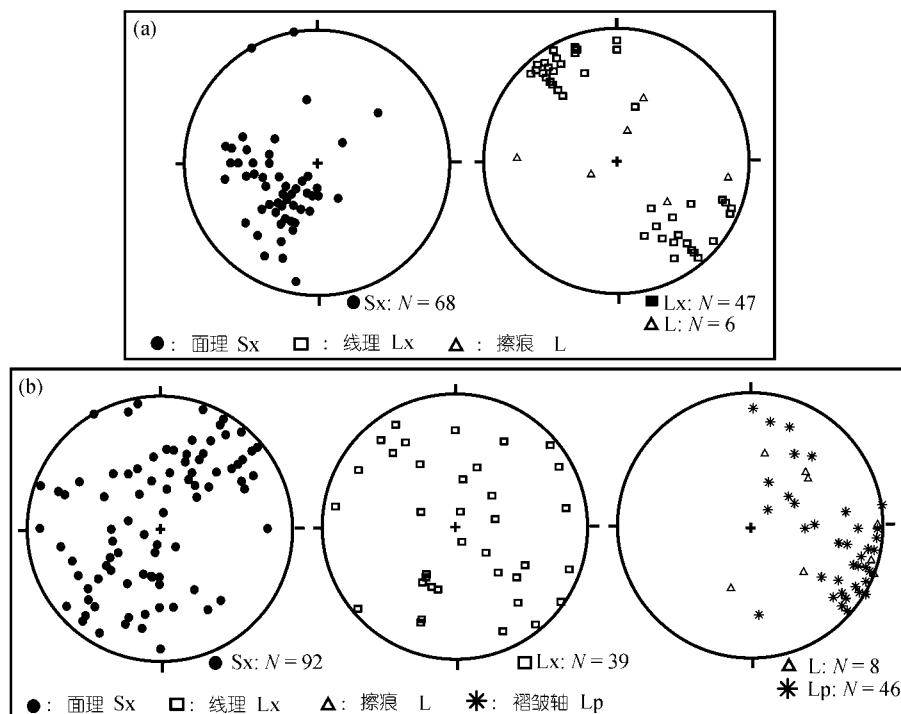


图 3 北淮阳构造带构造要素图解

(a) 晓天-磨子潭断裂带; (b) 北淮阳构造带

行于此延伸方向(图 3(b)). 第二组线理优选方位近 N-S 向或 NE-SW 向(L1 和 L2), 同斜褶皱的枢纽($N0^{\circ}-40^{\circ}$)也沿这个方向展布(F1~2)(在赤平投影图中大于 $N40^{\circ}E$ 的线理投影我们认为其可能是 NW-SE 向线理经后期褶皱反转的结果)(图 3(b)). 在霍山东部, 我们观察到代表这两期变形的细褶皱互相交叠的情形(图 2(g)). 在卢镇关附近, 向北陡倾或近直立的超糜棱岩面理和眼球状片麻岩的片麻理上具有 N-S 向的线理, 其运动学指向具有上部向北的剪切特征(图 2(h)), 定向排列的石英晶格也指示相同的剪切变形特征(L2)(图 4(c)).

同样是近 N-S 向的拉伸线理, 在霍山附近的云母片岩中, 石英的晶格定向指示上部向南的剪切变形(L1)(图 4(d)). 为了避免人为的误差, 经重新仔细选择择样后, 使用法国奥尔良大学地球科学系的 Goniometer 仪对石英($10\bar{1}4$)轴(近似于 C 轴, 但有 17° 的差异)和($10\bar{2}0$)轴(近似于 A 轴)进行了测量; 测定也给出了相同的结果(图 4(e)). 这个上部向南的剪切

变形的确定及结合对大别山总体构造演化过程的理解, 我们推断它代表了早期挤压阶段(或板块会聚阶段)变形作用.

研究区的构造几何图解(图 5)从总体上解释和说明了晓天-磨子潭断裂带和北淮阳褶皱带的构造几何关系及变形特点.

3 同位素年代学及变形期次的划分

3.1 同位素年代学分析结果

本次工作我们精选了一组能够代表构造变形期次的标本进行 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素定年工作. 样品处理和测定在法国 Clement-Ferrand 大学的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素年代学实验室完成. 全岩经破碎、分选并在双目镜对颗粒进行挑选, 尽可能剔除风化等干扰因素的影响, 挑选了黑云母、白云母和角闪石颗粒进行年代学的测量. 所有颗粒均在 Michigan 大学的 Ford 核反应器 L67 位置上经历了单颗粒照射. J 因子通过使用与 Fish Canyon 完全相同的标准年龄为 $27.55 \pm 0.08 \text{ Ma}$ 相

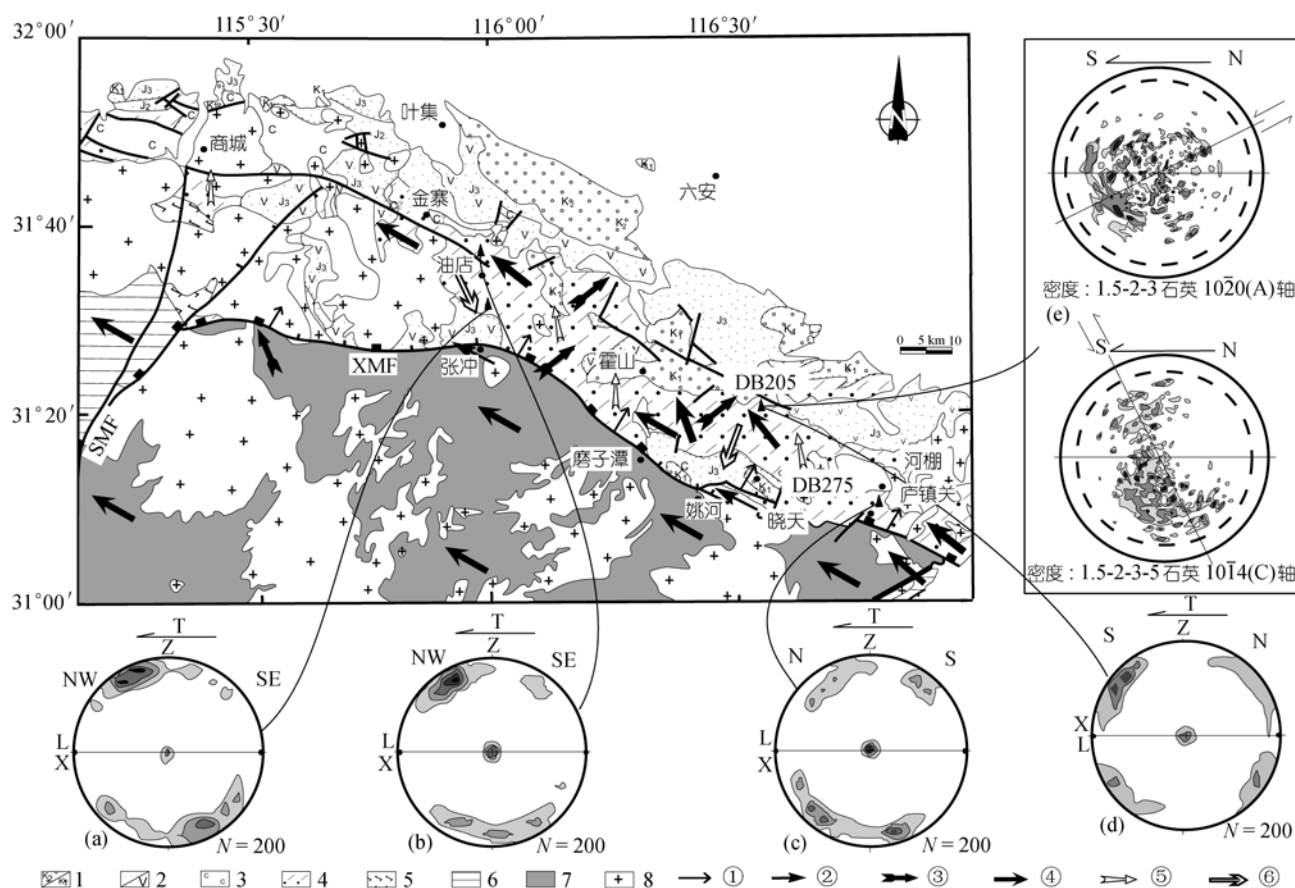


图4 北淮阳构造带不同构造事件的运动学图解及石英组构的优选方位测量结果

1~8同图1说明。箭头指向代表上部的剪切作用(所有的构造图解均为施密特网下半球投影)。①晚白垩世脆性正断层;②早白垩世发育在同构造期花岗岩边缘的韧性变形;③穹隆边缘的重力滑脱变形;④主变形期变形:沿NW-SE向拉伸线理具有上部指向N的韧性剪切变形;⑤早期沿N-S向折返具有上部指向NW的韧性剪切变形;⑥代表早期板块汇聚作用具有上部指向S的韧性剪切变形。(a)~(e)为北淮阳构造带中不同采样地点所测得的石英足够优选方位,其中(e)为X荧光测角仪测量的结果(Goniometer),图中实心三角形代表采样位置

对标准误差1%为0.008936的透长石进行估算^[22]。K和Ca的核照射是通过以纯盐为标准来计算的。样品的加热从700~1400°C,并在1400°C全熔。每一个阶步为20 min。具体的分析细节请参照Sobel^[23]。除了角闪石由于风化的原因没有得到好的结果外,通过校正,其他标本给出一个较为理想的年龄坪。通过以 $^{36}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 和 $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 为坐标计算等时年龄(年代学测量的数据见表2,采样位置参见图4)。

3.2 变形期次的划分

主变形期的识别对一个研究区构造期次的划分具有相当重要的作用。大别山地区的主变形期即为UHP地体沿着拆离正断层拆离折返时所产生的变形,

由于其在大别山的变形中所起的主导作用,所以称之为主变形期。其特点是具有NW-SE走向($130^{\circ}\sim 160^{\circ}$)的拉伸线理及稳定的上部NW向剪切变形,它广泛分布于各个构造单元中,构成了大别山韧性变形的主体,同时也构成了大别山北部北淮阳构造带变形的主体(图3(b))。在晓天-磨子潭断裂南部正片麻岩和片麻岩化的混合岩中的韧性剪切带的几何学、运动学特征使我们认识到其具有拆离正断层的特点(图3(a)和图4),代表了主变形期的变形,超高压变质岩就是沿着这个拆离断层面折返至地表(图1和5)^[8,10,12]。同位素年代学所揭示的变形时间为晚三叠世^[6,9,19,24]。

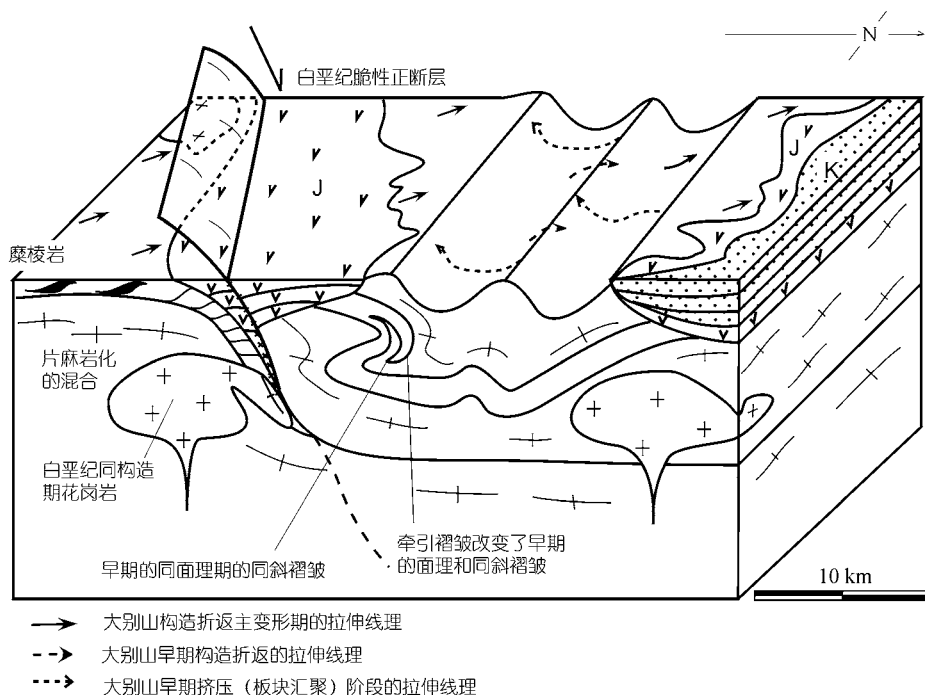


图 5 北淮阳构造带和晓天-磨子潭断裂带变形特征的构造几何图解模型

沿晓天-磨子潭断裂带和北淮阳构造带, 佛子岭群的云母片岩均被褶皱作用所改造, 近N-S向的拉伸线理(L1 或L2)和同斜褶皱轴(F2)及主变形期NW-SE向的拉伸线理(L3)和同斜褶皱轴(F3)被后期近E-W向的褶皱(F4)所改造(图 2(e)和图 5)。这些褶皱轴面北倾, 指示了上部向N或NE的重力滑脱, 体现了垂向缩短的构造特点(图 2(d))。在霍山东部石英片岩中所见到的平行于早期线理(L1 或L2)、轴向为N20°~30°的细褶皱(F2)被轴向为 80°的晚期褶皱所改造(F4), 这种变形同我们在晓天-磨子潭断裂下盘所见到的重力牵引褶皱十分相似^[10,12]。我们认为它们具有相似的动力学机制: 大别山中部和南部的超高压变质岩在折返-隆升过程中形成穹隆构造, 这个过程造成了物质积累, 进而在穹隆边缘发生重力滑动而形成牵引褶皱, 它改造了大别山北部早期线理和同斜褶皱轴。这种构造景观广泛发育于北淮阳构造带(图 2(i))。对于研究区浅部的脆性变形-冷线理的分布和运动学的观察也反映该期构造的特点(图 3)。由于在侏罗纪的地层中没有发现相同性质的褶皱作用, 因而这期变形作用发生在侏罗纪地层沉积以前(参见表 1), 体现了

大别山中部同造山期伸展穹隆形成时在其边缘形成的重力滑脱作用。

晓天-磨子潭断裂浅部的脆性正断层由于晚侏罗世的火山岩和早白垩世花岗岩的卷入, 因此其为造山后期变形的产物(图 2(a) (b))。深部的韧性断裂虽然具有与大别山其他地区相似的变形特征(图 4), 但由于附近晚侏罗世的沉积岩和火山岩并未卷入该期变形, 所以我们仍然不能将其归入大别山的主变形期之中^[12]。因此我们认为它们是晓天-磨子潭断裂在不同层次上的不同表现(图 5)。

正如前面所述, 在研究区还具有非常特殊的变形形式, 即近N-S向拉伸线理和上部向北的剪切特征, 这期变形在河棚镇的西北部表现尤其明显(图 1)。该变形在大别山其他地区并不多见, 相关的运动学特征(指上部分别向N和NE), 使我们认为其动力学背景: 代表了主变形期之前较早一期的伸展变形, 即沿N-S向的折返过程。这期变形在许多地方被稍后的主变形期变形所掩盖。我们对代表这期变形特征的DB275-眼球状的糜棱岩(图 2(h))所选出的白云母和角闪石进行⁴⁰Ar/³⁹Ar年代学的测定, 但遗憾的是角闪

石没有给出稳定的年代学结果,白云母给出了坪年龄为 127 ± 1 Ma 的白垩纪年龄(图 6 和表 1)。结果并未证实我们的假设。对于这个年龄的解释存在两种可能性:一是 DB275 代表白垩纪的伸展变形,因为姚河附近的白垩纪花岗岩也存在韧性剪切变形^[20];再就是早白垩世花岗岩侵入体破坏了矿物 K-Ar 的同位素温度的封闭体系,置换了早期的年龄,使我们无法得到早期构造事件的精确时间。如果后一种假设成立,那么 127 ± 1 Ma 的年龄可能代表与白垩纪岩浆热事件相关的 K-Ar 同位素年龄体系冷却过程中封闭的时间。这期热事件破坏了早期的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素封闭体系,使样品的年龄发生了重置现象^[5,25,26]。结合构造分析,我们倾向于后者,因为具有上部指北剪切特征的 N-S 向拉伸线理被主变形期的拉伸线理和稍后重力滑脱褶皱所改造,其变形势必早于主变形期。我们在研究大别山南部约 30 km 的庐山地区也遇到了类似的情况^[27]。一致性较差的 123 ± 1.6 Ma $^{36}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 等时年龄和角闪石未得到有效结果也反映了这一特点(图 6)。

在霍山县的东部,同样是 N-S 向拉伸线理,但相应的运动学特征却是上部指南剪切变形。截然相反的运动学方向使我们认为其代表早期板块聚合时的挤压变形-即构成北淮阳构造带的变质杂岩体向南逆冲和推覆体的堆叠作用(图 4 和 5)。这期变形大部分被后期代表主变形期的折返变形所改造,在野外很难识别。商城北部的石炭系弱变质粉砂岩由于没有卷入主变形期,使得这期变形表现相对明显;岩石中发育的劈理指示了这期变形的影响(图 2(j))。经仔细分析,我们选择了能够代表这期变形典型特征的 DB205 进行测年实验。从中所挑选出的白云母分别给出 259 ± 5 和 262 ± 5 Ma 的坪年龄和等时年龄,它们反映了这期变形的时间。因而我们认为测年结果指示了早期板块聚合的年龄(图 6)。相同样品分离出来的黑云母给出了相当分散的数据,分析后认为它们可能是由于风化的影响而不是后期的热干扰的结果。最后两个阶段 46% 的 Ar 的释放量给出了 242.9 ± 2.6 Ma 的坪年龄,与白云母的测试结果相比偏低,年龄值的差异可能是黑云母 Ar 的封闭温度较低和风化的因素所致(图 6 和表 1)。与其他的研究者不同,由于 NW-SE 向的拉伸线理及 N-S 向具有上部指北剪切特

征变形的存在,指示了北淮阳构造带已经卷入了大别造山带的俯冲作用,只不过俯冲的深度较浅而未发生高压-超高压变质作用,但是它同大别造山带其他构造单元一样经历了相同构造拆离-折返作用。

4 多期构造变形解析

北淮阳构造带由于处于造山带的前缘部分及其没有参与超高压的变质作用,而从未经历象大别山超高压变质地体那样的深俯冲,从而保留了超高压变质变形之前的一系列构造变形形迹,使我们可以识别出早期变形的特征及动力学含义。同时由于它处于大别山中部混合岩穹隆的边缘,叠加了后期的重力滑脱作用,使其具有比大别山其他地区更为复杂的构造变形,对于分析大别山的演化更有代表意义。从构造几何学上,北淮阳构造带总体构成了扬子板块北缘近东~西向延伸的复式向斜(图 1 和 5)。同时东部和西部有一定的差异,变质程度也不同,东部的庐镇关群变质较深,而且受大别山构造变形影响较大,代表大别山主变形期的 NW 向的伸展作用在这里表现的较为突出。西部的形态相对较为简单,但也叠加了后期的挤压变形及白垩纪花岗岩的侵入作用,使原本较为宽缓的向斜向西趋于紧闭。在北淮阳构造带的构造几何学研究基础上结合各个期次变形的运动学特点,总体上我们将构造变形分为 5 期:

4.1 早期板块会聚的变形痕迹(D1)

正如我们前面分析的那样,北淮阳构造带保留了早期构造变形的痕迹:近 N-S 向的拉伸线理和上部指南的剪切变形特征,即沿着该拉伸线理的方向(图 1)具有向南的逆冲推覆作用(图 2(j), 图 4(d), (e))。在佛子岭群发育向南逆冲的云母片岩所给出的 259 ± 5 和 262 ± 5 Ma 的结果代表了这期变形的时间;就象前面所讨论的那样,我们认为它们代表了早期板块聚合的年龄(图 6)。

4.2 早期的构造折返(D2)

在庐镇关北部的正片麻岩中同样具有近 N-S 向的拉伸线理(图 4),沿线理具有上部向北的剪切变形(图 2(h)),虽然稍后主变形期的 NW-SE 向拉伸线理和

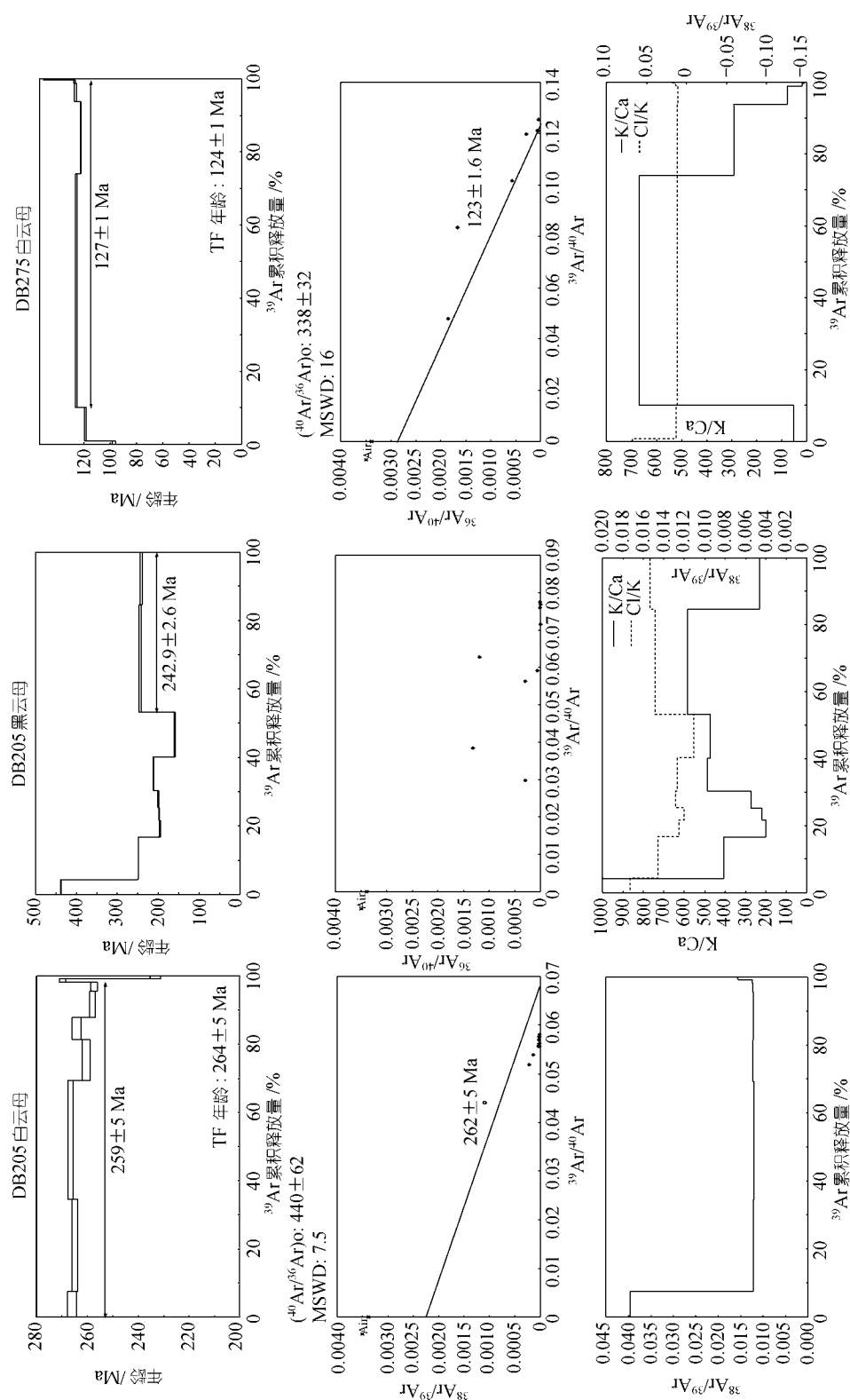


图 6 北淮阳构造带石英片岩和片麻岩中所记录变形的同位素年代学测试结果

重力滑脱褶皱对其有一些改造及掩饰,但是我们在野外还是经常能够观测得到。我们认为它代表了主变形期之前更早一期的构造折返,在北淮阳地区对应着角闪岩相变质作用,是大别山超高压变质岩石的初期折返。在大别山中部和南部,这期折返变形由于混合岩化作用和主变形期变形的强烈叠加而很难被识别出来。北淮阳构造带由于较浅的俯冲深度及未叠加混合岩化作用而保留的这些早期折返证据是对大别山中部和南部构造的一个重要补充。从其早于主变形期的变形并晚于板块汇聚期的变形推测,其变形年龄大致位于 220~260 Ma 之间^[5,9]。

4.3 主变形期: 晚三叠世的伸展作用(D3)

主变形期的构造形迹在野外最为显著, NW-SE 向 (120°~160°) 的拉伸线理无论是在变质砂岩、板岩、大理岩、千枚岩还是在片麻岩中均可观察到。该期变形所产生区域发育的面理构成了研究区变质地体几何形态的主体。沿着拉伸线理, 剪切条带(shear band)、石英透镜体、不对称的压力影、“σ”和“δ”状的旋转残斑系等等, 几乎其所有的运动学特征均指示了上部向NW的剪切变形(图 2(f))。这期变形不仅在北淮阳构造带作为主体, 在整个大别山地区均为构造变形的主体, 因此称其为主变形期构造。结合大别山的构造演化过程, 这期变形的动力学背景是大别山变质地体和北淮阳构造带折返时所形成的, 晓天-磨子潭断裂为拆离正断层。对于主变形期的绝对年龄我们认为: 由于北淮阳构造带与大别山南部榴辉岩中拉伸线理的方向及运动学特点相同, 因而具有相同的动力学背景; 而南部榴辉岩地质单元中同位素年代学所给出的变形年龄为晚三叠纪的年龄 (218~224 Ma)^[6,9,19,25], 推断该年龄为主变形期的时间。

4.4 晚三叠世的重力滑脱伸展作用(D4)

在北淮阳构造带, 大部分区域分布的主变形期形成面理均发生了褶皱。如果我们除去与拉伸线理平行的同斜褶皱, 我们会发现, 这些褶皱均为垂向压缩的重力滑脱褶皱。其特点是在露头尺度上轴面近水平或背向大别山中部穹隆的核部向北或北东倾斜,

指示了上部向 N 或 NE 的重力滑脱(图 1, 图 2(d)和图 5)。这期构造变形的动力学背景是由于大别山变质地体的折返-隆升作用形成的重力势的积累, 进而造成重力滑脱而形成的。但由于在侏罗纪的地层中没有发现相同性质的褶皱作用, 所以我们认为这期变形作用发生在侏罗纪以前与前述的白垩纪伸展作用无关。所以这期重力滑脱伸展作用发生的时间应介于主变形期之后和侏罗纪沉积之前。

4.5 白垩纪的伸展作用(D5)

正如在我国东部地区所经常见到的一样, 大量的早白垩世同构造期花岗岩展示了区域性伸展作用的特点^[5,9,28]。在晓天-磨子潭断裂带附近所发育的韧性正断层使附近的早白垩纪花岗岩糜棱岩化及半地堑拉张盆地的存在, 提示我们研究区在白垩纪早期发生了大规模伸展作用(图 5)。

5 讨论与结论

通过对北淮阳构造带的构造几何学、运动学的分析, 同时结合同位素年代学及对比大别山总体的构造学研究可以得到北淮阳构造带为代表的大别山地区动力学演化的 5 个阶段(表 1)。

5.1 陆壳俯冲阶段

古地磁和生物古地理的研究表明, 二叠纪时华南和华北有较大相对距离, 其生物组成也完全不一致^[29-31], 并认为华北同扬子板块碰撞始于二叠纪末期, 真正的陆陆碰撞则发生在三叠纪^[32]。大约在晚三叠世, 强大的会聚作用使华南的陆壳开始向华北俯冲, 并使华南的陆壳俯冲深度可以深达 100~200 km^[2,24]。当下部地壳继续俯冲作用进行时, 一部分陆壳可以沿着俯冲带发生向南的逆冲折返作用(图 7(a))。

5.2 同俯冲期的折返作用

在这一时期, 扬子板块的俯冲作用依然进行, 大别山南部的 UHP 和 HP 单元从这个阶段开始向地表折返, 表现为向南逆冲作用; 位于晓天-磨子潭断裂上盘的北淮阳构造带表现出向北或北东的拆离。这样, 作为早期逆冲断层的晓天~磨子潭断裂此时转换

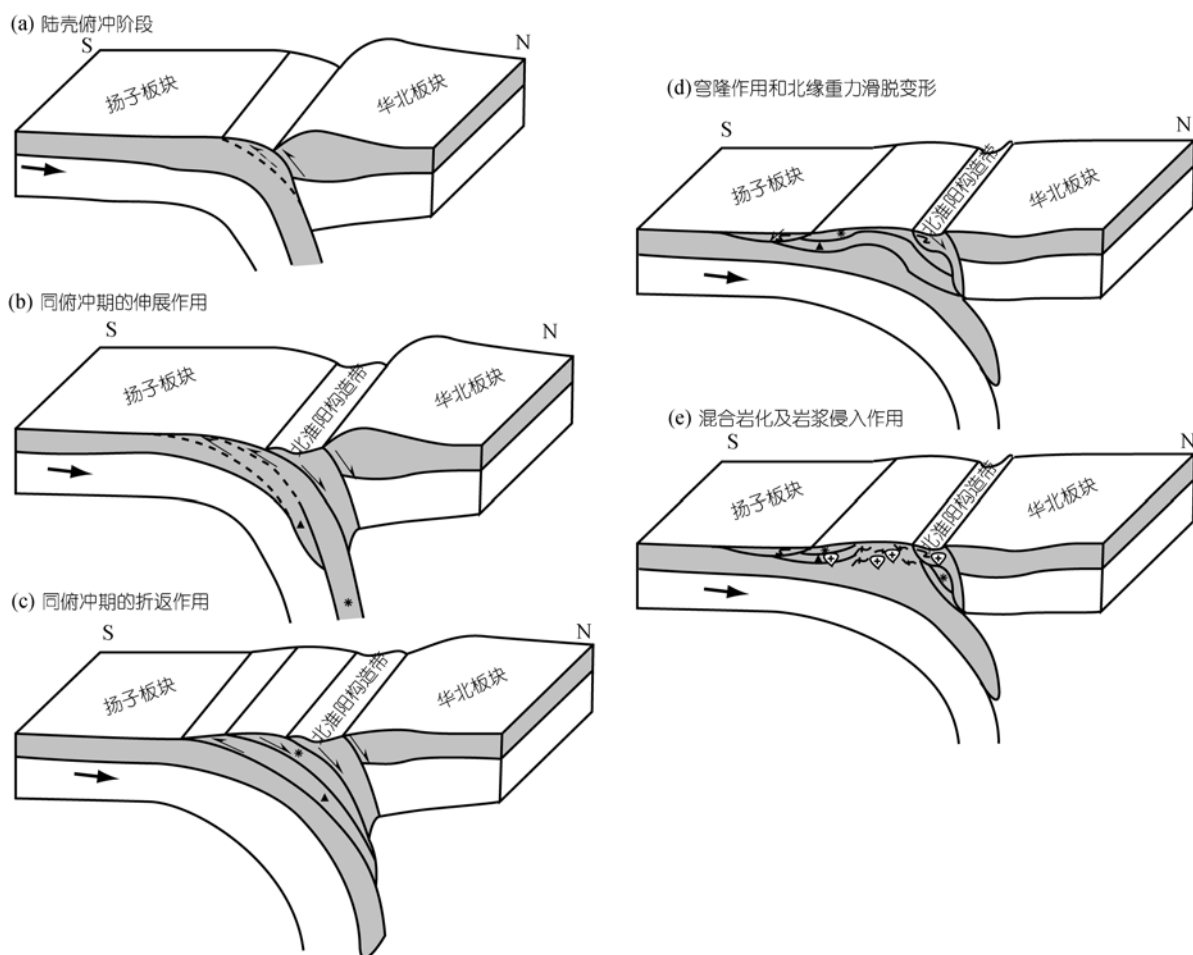


图 7 根据北淮阳构造带及其南缘的大别山穹窿建立的大别山及华南北缘的动力学演化模型

图中的实心三角及星号代表俯冲过程中同一几何位置在构造演化过程中的变化

成为拆离正断层,表现出伸展构造特征(图 7(b)). 这种伸展是一种同俯冲期的伸展作用. 榴辉岩地体此时经历了第一次退变质作用.

随着俯冲作用的继续, UHP和HP单元的边界断层依次由向南的逆冲折返断层转变为向北滑脱的拆离正断层(图 7(c)). 这是一期非常强的变形期,掩盖了早期的绝大多数变形形迹,这期变形在研究区表现为主变形期变形, 140° 左右的拉伸线理和上部指向NW向的剪切运动可以在大别山的任何一个构造单元观察到. 由N-S向线理向NW-SE向线理的变化可能反映了扬子板块与华北板块间的顺时针旋转^[33].

5.3 穹窿作用和边缘的重力滑脱变形

如图 7(d)所示, 由于 UHP-HP 单元的拆离折返作

用, 在大别山的中部开始形成一个原始的穹窿形态, 在穹窿的边缘, 上部岩石单元受重力的作用而产生的分别向南和北的滑脱而产生相应的牵引褶皱.

5.4 混合岩化和岩浆侵入作用

在早白垩世, 欧亚大陆的东部存在一个非常大规模的伸展作用. 大量的岩浆岩侵入到早期的变质岩地质单元体中, 使后者经历了局部的热改造并发生了混合岩化作用(图 7(e)). 这期大量的岩浆侵入作用的构造背景还不很清楚, 但显而易见的是这期侵入作用带来了大量的热, 从而破坏了原来变质矿物的封闭温度, 使同位素计时器发生了重置现象. 这就是我们对大别山的变质岩进行同位素测年时所经常得到的早白垩世的年龄的原因.

参 考 文 献

- 1 Xu Z. Etude tectonique et microtectonique de la chine paleozoique et triasique des Qintings (Chine). Thesis de doctorate Univ Sci Tech Languedoc. Montpellier, 1987, 327
- 2 Okay A I, XU S, Sengor A M C. Coesite from the Dabie Shan eclogites, central China. *Eur Jour Mineral*, 1989, 1: 595~598
- 3 Wang X, Liou J G, Mao H K. Coesite-bearing eclogites from the Dabie Mountains in central China. *Geology*, 1989, 17: 1085~1088[DOI]
- 4 从柏林, 王清晨. 大别山-苏鲁超高压变质带研究的最新进展. *科学通报*, 1999, 44(11): 1127~1141
- 5 Hacker B R, Wang Q. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of ultrahigh-pressure metamorphism in central China. *Tectonics*, 1995, 14: 994~1006[DOI]
- 6 Cong Bolin (ed). *Ultrahigh-pressure Metamorphic Rocks in the Dabieshan-Sulu Region of China*. Science Pres, Beijing, China, Kluwer Academic Publishers, 1996. 224
- 7 Wang X D, Neubauer F, Genser J, et al. The Dabie UHP unit, central China: A Cretaceous extensional allochthon superposed on a Triassic orogen. *Terra Nova*, 1998, 10: 260~267[DOI]
- 8 Okay A I, Sengor A M C, Satir M. Tectonics of an ultrahigh-pressure metamorphic terrane: The Dabie Shan/Tongbie shan orogen, China. *Tectonics*, 1993, 12: 1320~1334
- 9 Hacker B, Ratschbacher L, Ireland L, et al. U/Pb zircon ages constrain the architecture of the ultrahigh-pressure Qinling-Dabie Orogen, China. *Earth Planet Sci Lett*, 1998, 161: 215~230[DOI]
- 10 Faure M, Lin W, Shu L, et al. Tectonics of the Dabieshan (eastern China) and possible exhumation mechanism of ultra high-pressure rocks. *Terra Nova*, 1999, 11(6): 251~258[DOI]
- 11 索书田, 钟增球, 游振东. 大别地块超高压变质期后伸展变形及超高压变质岩石折返过程. *中国科学, D辑*, 2000, 30(1): 9~17[PDF]
- 12 林伟, 王清晨, Michel Faure, 等. 大别山的构造变形期次和超高压岩石折返的动力学. *地质学报*, 2003, 77(1): 44~54
- 13 徐树桐, 江来利, 刘贻灿, 等. 大别山区(安徽部分)的构造格局和演化过程. *地质学报*, 1992, 66(1): 1~14
- 14 徐树桐, 刘贻灿, 江来利, 等. 大别山的构造格局和演化. 北京: 科学出版社, 1994. 175
- 15 Wang Q, Liu X, Maruyama S, et al. Top Boundary of the Dabie UHPM rocks, Central China. *J SE Asia Geol*, 1995, 11: 295~300
- 16 王清晨, 从柏林. 大别山超高压变质带的大地构造框架. *岩石学报*, 1998, 14(4): 481~492
- 17 周建波, 郑永飞, 李龙, 等. 扬子大陆陆块俯冲的构造加积楔. *地质学报*, 2001, 75(3): 338~352
- 18 刘贻灿, 徐树桐, 李曙光, 等. 大别山北部榴辉岩的大地构造属性及冷却史. *地球科学*, 2003, 28(1): 11~16
- 19 Webb L E, Hacker B R, Ratschbacher L, et al. Thermo-chronologic constrains on deformation and cooling history of high-and ultrahigh-pressure rocks in the Qinling-Dabie orogen, eastern China. *Tectonics*, 1999, 18(4): 621~638[DOI]
- 20 杨坤光, 马昌前, 许长海, 等. 东大别山北缘姚河岩体与边部糜棱岩带的研究及其地质意义. *地震地质*, 1998, 20(4): 305~311
- 21 徐磊, 吴永生. 磨子潭-晓天断裂(晓天-佛子岭间)的构造分析. *地震地质*, 1984, 6(4): 45~53
- 22 Lanphere M A, Baadsgaard H. The Fish canyon tuff: A standard for geochronology. AGU Spring Metting, 1997
- 23 Sobel E R, Arnaud N. Cretaceous-Paleogene basaltic rocks of the Tuyon basin, NW China and the Kyrgyz Tian Shan: The trace of a small plume. *Lithos*, 2000, 50: 191~215[DOI]
- 24 Li S, Jagoutz E, Chen Y, et al. Sm-Nd and Rb-Sr isotopic chronology and cooling history of ultrahigh pressure metamorphic rocks and their country rocks at Shuanghe in the Dabie Mountain, central China. *Geochim Cosmochim Acta*, 2000, 64(6): 1077~1093[DOI]
- 25 Mattauer M, Matte P, Maluski H, et al. Paleozoic and Triassic plate boundary between North and South China: new structural and radiometric data on the Dabie-shan, eastern China. *C R Acad Sci Ser II*, 1991, 312: 1227~1233
- 26 Eide E A, McWilliams M O, Liou J G. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology and exhumation of high-pressure to ultrahigh-pressure metamorphic rocks in east-central China. *Geology*, 1994, 22: 601~604[DOI]
- 27 Lin W, Faure M, Monié P, et al. Tectonic of SE China, new insights from the Lushan massif (Jiangxi province). *Tectonics*, 2000, 19(5): 852~871[DOI]
- 28 Faure M, Sun Y, Shu L, et al. Extensional tectonics within a subduction-type orogen. The case study of the Wugongshan dome (Jiangxi Province, SE China). *Tectonophysics*, 1996, 263: 77~108[DOI]
- 29 金玉玕主编. *中国地层典-二叠纪*. 北京: 地质出版社, 2000. 149
- 30 Lin J L, Fuller M, Zhang W Y. Preliminary Phanerozoic polar wander paths for the North and South China Blocks. *Nature*, 1985, 313: 444~449[DOI]
- 31 Enkin R, Yang Z Y, Chen Y, et al. The Paleomagnetic constraints on the geodynamic histroy of the major blocks of China for the Permian to the present. *Journal of Geophysical Research*, 1992, 97: 13, 953~13, 989
- 32 Gilder S, Courtillot V. Timing of the North-South China collision from new middle to late Mesozoic Paleomagnetic data from the North China Block. *Journal of Geophysical Research*, 1997, 102: 17, 713~17, 727[DOI]
- 33 Wang Q, Cong B, Zhu R. Geodynamics of UHP-rock-bearing continental collision zone in Central China. In: Flower M F J, Chung S-L, Lo C-H, et al. eds. *Mantle Dynamics and Plate Interactions in East Asia*. Washington D C: AGU, 1998. 259~268