

桐柏造山带几何学、运动学和演化*

黄少英 徐 备** 王长秋 湛 胜 邓荣敬

(北京大学地球与空间科学学院教育部造山带与地壳演化重点实验室, 北京 100871)

摘要 桐柏造山带由 6 个次级构造单元组成, 由南到北依次为桐柏片麻岩隆起带(TGR)、鸿仪河-罗庄榴辉岩带(HLE)、毛坡-胡家寨火山岩单元(MHI)、周家湾复理石单元(ZFB)、杨庄绿片岩单元(YGB)和董家庄大理岩单元(DMB). 桐柏造山带的几何学和运动学图像包括: 由后期隆升过程形成的穹隆构造、超高压岩石折返形成的顶部向北(top-to-north)的韧性剪切构造、与南北向挤压有关的顶部向南(top-to-south)的韧性剪切构造、左行平移剪切构造以及地壳较浅层次的东西向褶皱构造等几部分. 根据桐柏-大别地区已有的和本次获得的构造年代学数据, 可将研究区变形构造划归 4 个变形阶段. 从多期俯冲-碰撞造山带的观点出发, 根据各构造单元的岩石学特征及其展布, 结合几何学、运动学和构造年代学特征, 桐柏造山带构造演化可分为 4 个阶段即: 约 400~300 Ma 的洋壳俯冲阶段、270~250 Ma 的大陆碰撞阶段、250~205 Ma 的大陆深俯冲和折返阶段以及 200~185 Ma 的隆升阶段.

关键词 桐柏地区 几何学 运动学 构造单元 造山带演化

1 引言

秦岭-大别造山带以极其复杂、丰富的地质特征而举世瞩目, 成为国际地质科学研究的热点^[1], 20 年来已获得大量研究成果. 在构造格局和构造演化方面, 秦岭造山带已建立了华北板块、秦岭微板块、扬子板块和商丹缝合带及勉略缝合带构成的基本框架, 提出秦岭造山带经历了古生代俯冲造山和中生代碰撞造山过程, 分别由商丹带和勉略带代表^[2,3]. 东大

别地区已划分出北淮阳带、北大别带、南大别带和宿松带等构造单元^[4]. 西大别地区从北向南可分为 9 个构造单元, 尤以北部的划分较为详细^[5,6]. 秦岭与大别造山带的构造单元对比是广泛关注的重要问题^[7], 在两者结合部位开展专门研究是解决该问题的关键所在. 为此本研究选择秦岭和大别造山带邻接的桐柏地区, 开展几何学和运动学分析, 划分造山带构造单元, 追索其横向延伸及构造边界, 建立造山带结构剖面, 并通过构造年代学的讨论, 推断该区造山带演

收稿日期: 2005-04-16; 接受日期: 2005-11-23

* 国家自然科学基金项目(批准号: 40272098)、国家重点基础研究发展规划项目(批准号: G1999075511)及教育部高等学校博士学科点专项科研基金(批准号: 20020001055)资助

** 联系人, E-mail: bxu@pku.edu.cn

化过程. 在此基础上, 讨论桐柏造山带与东秦岭和大别造山带的对比和连接问题.

2 构造单元划分及其几何学特征

前人对桐柏地区构造单元划分已有部分工作. 例如Kröner等^[8]曾划分出桐柏纳布构造带、固庙韧性剪切带和彭家寨岛弧带; 李曙光等^[9]将桐柏-大别地区统一划为 6 个构造-岩性单元, Hacker等^[10]及Webb等^[11]在桐柏-西大别地区划分了若干岩石-构造单元. 索书田^[12]、钟增球等^[13]在桐柏地区确定了与折返过程有关的构造格局并发现多处榴辉岩. 上述工作主要从岩石学方面提供了大尺度的构造单元划分, 但具体到对桐柏地区的构造单元划分则较为粗略. 为了详细研究桐柏地区构造演化过程及其对比, 必须提供更为精细的构造单元划分和对比材料. 因此需要在查明构造地质学特征的基础上, 结合岩石学和构造年代学特征, 进一步详细划分研究区的构造单元. 为此笔者在河南桐柏县以西、南阳盆地以东、新城县以北及好汉坡以南的桐柏地区开展了详细的野外构造地质学研究, 根据变形和岩性特征划分出 6 个

构造单元(图 1). 从南向北依次为: (1) 桐柏片麻岩隆起带(TGR); (2) 鸿仪河-罗庄榴辉岩带(HLE); (3) 毛坡-胡家寨火山岩带(MHI); (4) 周家湾复理石带(ZFB); (5) 杨庄绿片岩带(YGB); (6) 董家庄大理岩带(DMB). 现将各单元特征分述如下:

2.1 桐柏片麻岩隆起带(TGR)

以桐柏山为主体呈北西西-南东东向, 延伸达 20 km 以上, 南北宽约 7 km. 南以尚家湾-王店断层为界, 北以固庙断层为界, 向西止于南阳盆地, 向东延伸到湖北应山县境内, 相当于索书田等^[12]的桐柏核部杂岩. 构成隆起带的岩石主要是花岗片麻岩、夹黑色铁镁质包裹体和大理岩透镜体. 片麻理产状总体为隆起带北部向北缓倾斜, 南部向南缓倾, 构成枢纽为北西西-南东东向的背形构造. 在横跨隆起带的东部固庙-太白顶剖面和西部程湾-新城剖面, 糜棱片理的产状在南段向南西倾, 倾角一般在 40°以下; 在北段向北东倾, 倾角 20°~30°之间, 形成平缓的背形形态, 而在中段则分别向南东及北西倾斜, 反映沿枢纽方向的起伏形态(图 2A, C).

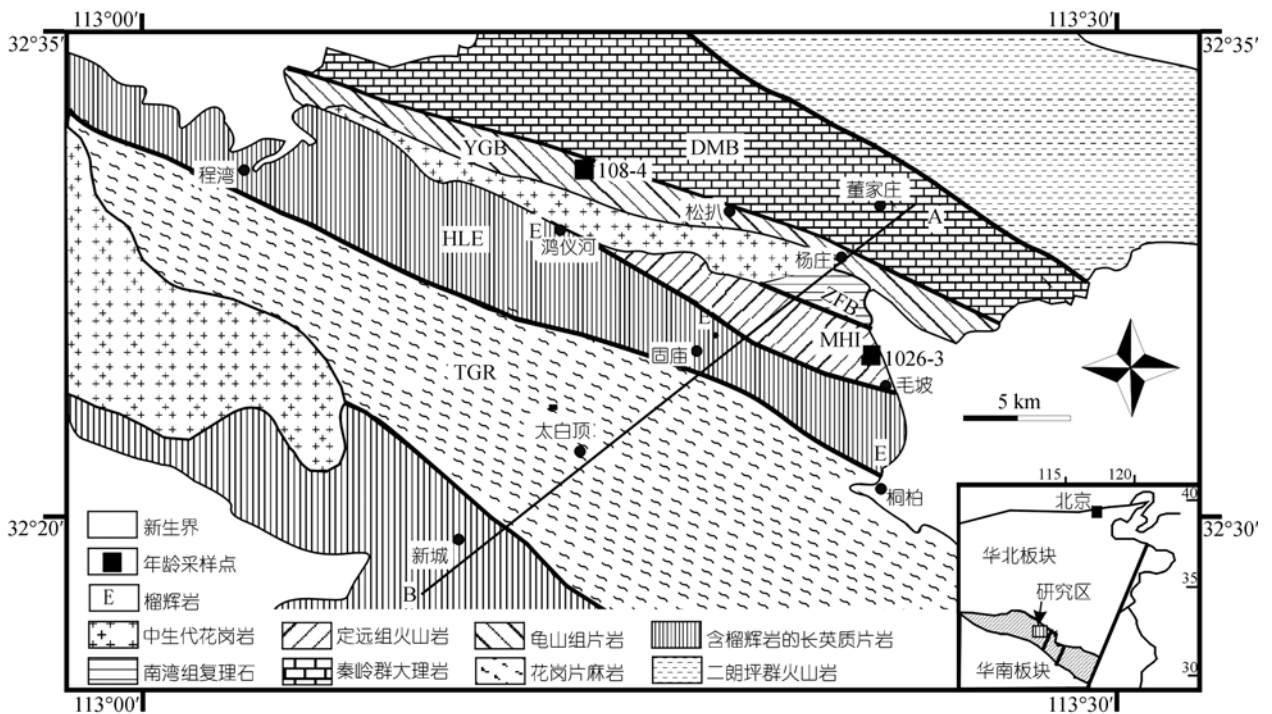


图 1 桐柏地区地质图

2.2 鸿仪河-罗庄榴辉岩带(HLE)

该带为含榴辉岩的高压单元, 其南界与桐柏片麻岩隆起带(TGR)相接, 北界以正断层与毛坡-胡家寨火山岩带(MHI)相邻. 南北宽约 3~5 km, 东西延伸达 45 km. 该带以长英质片岩、片麻岩为主, 含少量大理岩透镜体和斜长角闪岩夹层. 在古井庄-毛坡剖面, 糜棱片理产状总体向南倾, 倾角大都在 60° 以上. 在鸿仪河-太子庙剖面, 片理总体向北东倾, 倾角约 $50^\circ\sim 70^\circ$ 左右(图 2E). 在固庙-罗庄-娘娘庙剖面, 片理产状北倾或南倾, 但其倾角都在 70° 以上(图 2G). 在本构造单元内的罗庄、鸿仪河和娘娘庙等地, 有大量榴辉岩或榴闪岩出露, 呈数十厘米到约 1 m 的脉状、

透镜状或层状.

2.3 毛坡-胡家寨火山岩带(MHI)

该带南部在毛坡-娘娘庙一线以正断层与鸿仪河-罗庄榴辉岩带(HLE)相接触, 北部以正断层与周家湾复理石带(ZFB)相邻. 南北宽约 2.5 km, 东西长约 15 km, 西部被中生代花岗岩所侵入. 带内岩石为定远组火山岩, 受到低绿片岩相变质. 火山岩发育强烈的片理化, 片理总体倾向北, 倾角大于 70° (图 2I). 在两大别地区, Li 等^[14]确认定远组为岛弧环境并获 $444\pm 31\text{Ma}$ (Rb-Sr) 和 $446\pm 23\text{Ma}$ (Sm-Nd) 的等时线年龄, 因此本区毛坡-胡家寨火山岩带可能属于古生代岛弧火山岩.

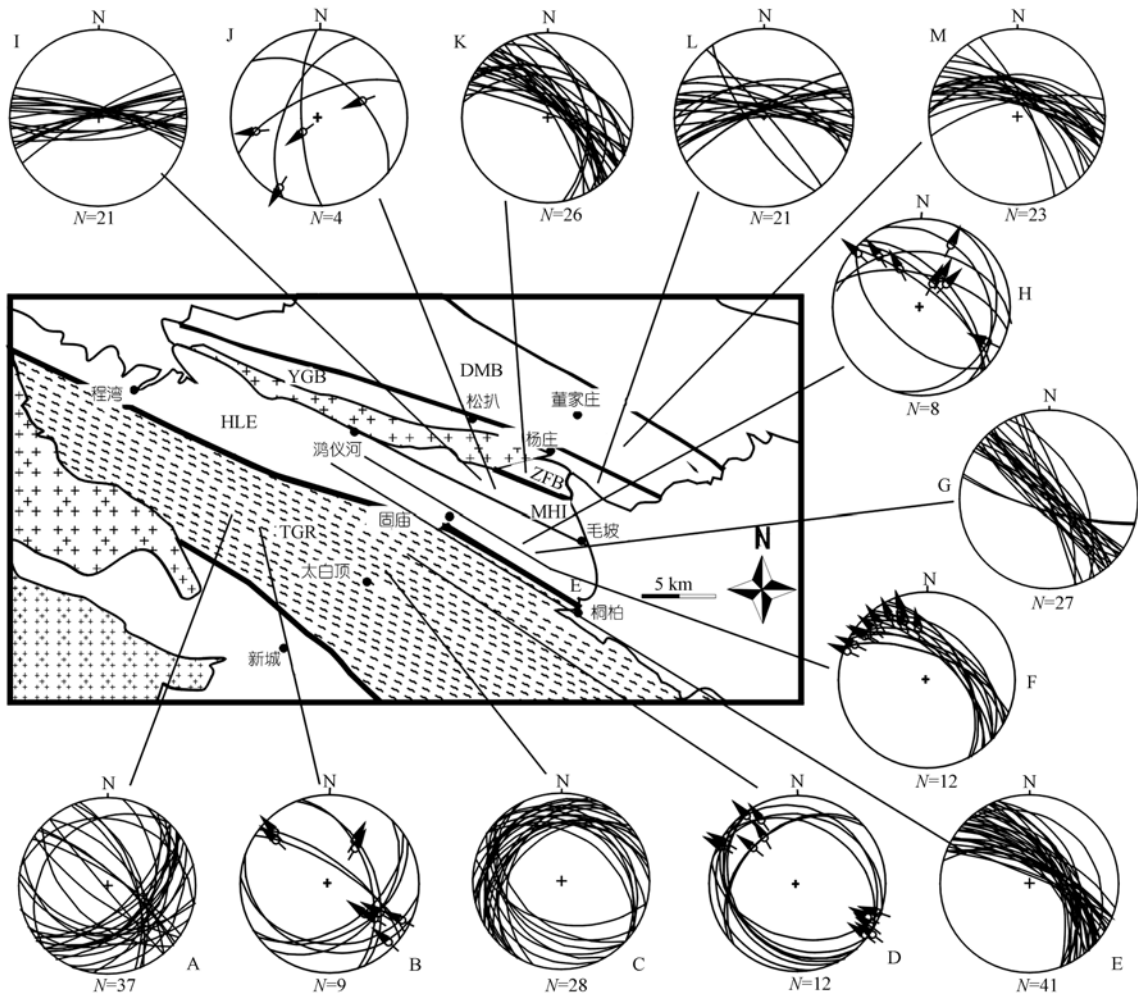


图 2 桐柏造山带片理和线理数据的赤平投影
等面积下半球投影, 大圆环带示面理, 箭头示线理

2.4 周家湾复理石带(ZFB)

该单元南与毛坡-胡家寨火山岩带(MHI)相邻,北接杨庄绿片岩带(YGB),西部被大面积花岗岩侵入,东部为第三纪沉积砾岩覆盖.南北宽约2 km,东西长约5 km.地层主要为古生代南湾组变质砂岩、变质粉砂岩或千枚岩,野外观察可见残余复理石韵律结构.尽管岩石受构造变形作用产生弱片理化,但原始层理(S₀)仍可辨认,产状总体为高角度倾向北东(图2K).根据地层的正常和倒转产状可推断该带存在轴面直立的紧闭褶皱.

2.5 杨庄绿片岩带(YGB)

该带沿杨庄-蒋庄一线呈NWW-SEE向展布,东西延伸约40 km,南北宽约1.5~3 km.其南界除少部分与周家湾复理石带呈断层接触外,其余大部分被中生代花岗岩所掩盖.该带北界为松扒韧性剪切带,并与董家庄大理岩单元(DMB)相连.带内岩石称为龟山组,由长英质片岩夹斜长角闪片岩组成,其形成年代为中元古代^[15].在胡家寨-董家岔一线,片理总体北倾,倾角均在50°~70°之间(图2L).作为该带北界的松扒剪切带呈NWW-SEE向展布,延伸达40 km,宽约0.5~1 km,以高角度南倾或北倾的糜棱片理为特征.

2.6 董家庄大理岩带(DMB)

位于松扒韧性剪切带(SSB)以北,沿董家庄-蔡家凹-老龙泉寨一线呈NWW-SEE向展布,南北宽5~8 km,东西可延伸达30 km.带内地层以厚层大理岩为主,夹斜长角闪岩,属秦岭群.岩层发生强烈褶皱,其轴面片理产状总体北或北北东倾,倾角约60°~80°,局部地区产状近直立(图2M).这些地层原被认为全部属华北板块基底,但近年来在蔡家凹等地发现高肌虫^[16]和放射虫^[17],表明该单元包含了部分古生代以来的盖层.

3 运动学分析

通过对6条剖面的野外观察,结合室内定向薄片的观测,初步查明了各主要构造单元的几何学和运动学特征.通过区分不同的几何学和运动学图像,建

立了该区造山带结构剖面.

3.1 桐柏片麻岩隆起带(TGR)

隆起带南、北两侧由石英、长石等形成的线理(图3(c))都反映出向北西方向的运动学特征.例如在固庙-太白顶一带,拉伸线理向305°方向倾伏,倾角小于15°(图2D);而在程湾一带,大部分线理也集中在相似方向(图2B),并与S-C组构(图3(b))和小型褶皱(图3(a))所指示的运动方向完全一致.这种运动学方向的统一性暗示存在着早于隆起带形成的区域性顶部向北的(top-to-north)剪切作用,而隆起带两侧片麻理的对称状分布是在后期隆升过程中形成的.

3.2 鸿仪河-罗庄榴辉岩带(HLE)

野外可观察到各类韧性变形现象,例如在东北倾片理带中发育石英脉的多米诺构造(图3(d)),S-C构造和云母鱼(图3(e)),均指示从南向北的剪切作用.野外线理指示的运动方向主要为北西向,即向280°~340°方向倾伏,倾角15°~30°(图2F,H).本带内线理指示的运动学方向与桐柏片麻岩隆起带的早期构造方向相似,表明两者可能为同一次构造运动的产物,即共同经历了区域性顶部向北的(top-to-north)剪切作用.

3.3 毛坡-胡家寨火山岩带(MHI)

带内片理化火山岩中有各种韧性剪切变形标志,如石英脉剪切拉长、多米诺构造及黄铁矿不对称压力影(图3(f)),其不对称性指示向210°方向的逆冲.带内拉伸线理向约190°~250°方向倾伏(图2J),这些运动学标志均反映了总体向南的推覆作用.值得注意的是,本带与上述两个构造单元相比,尽管片理也向北倾,但运动学方向完全不同,即指示出顶部向南的(top-to-south)的逆冲作用,这表明它们可能不是同一次构造变形的结果.

3.4 周家湾复理石带(ZFB)

以保存弱片理化的变质砂岩、变质粉砂岩或千枚岩的原始层理为特征,根据岩层的正常和倒转产状所推断的紧闭褶皱显然与地壳较浅层次的挤压作用有关,而不同于前述各个构造单元的韧性变形构造.

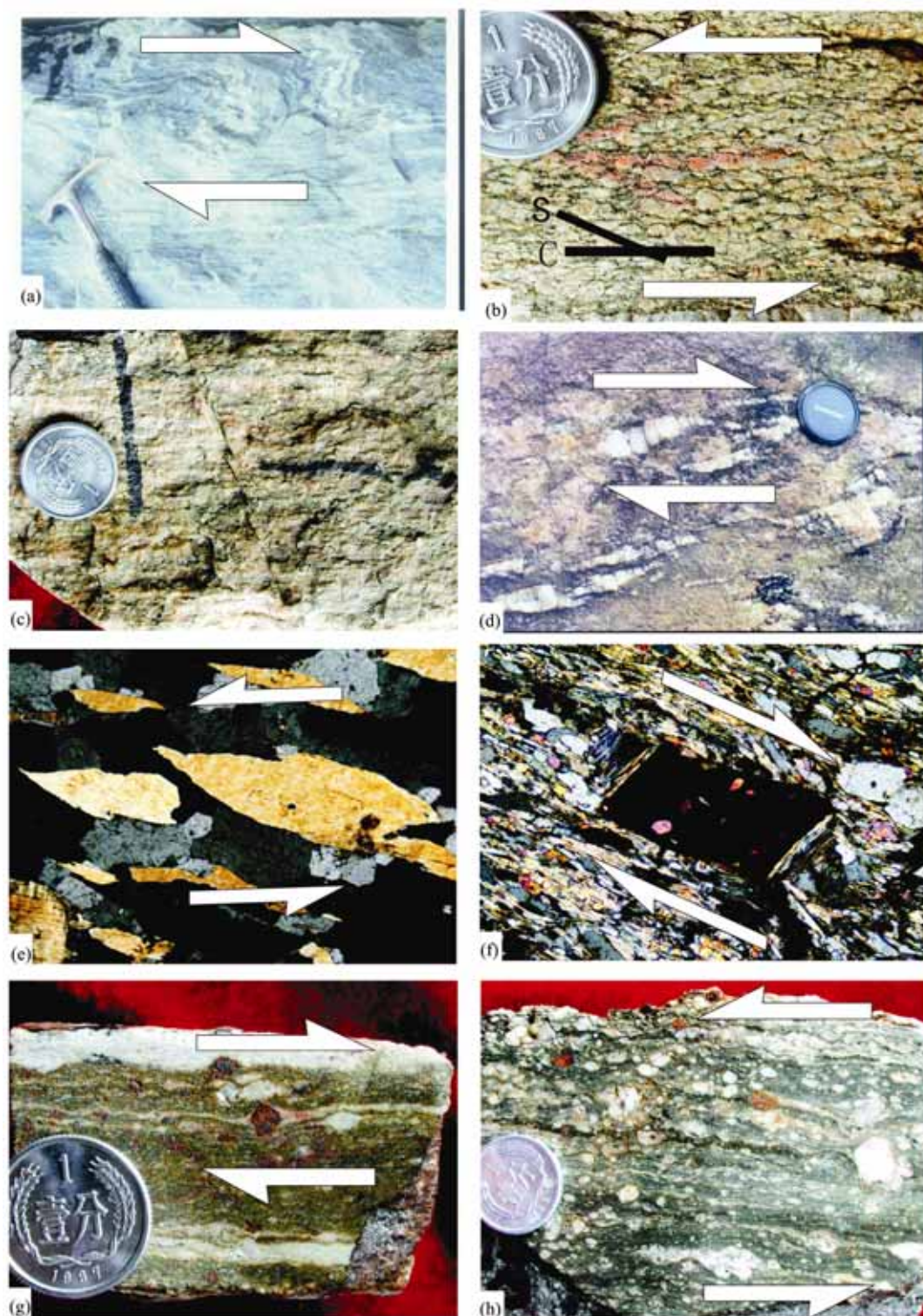


图 3 桐柏造山带各单元的运动学标志

(a) 花岗片麻岩中的小型褶皱; (b) 花岗片麻岩中的 S-C 构造; (c) 花岗片麻岩中的线理; (d) 石英脉的多米诺构造; (e) 云母鱼构造; (f) 黄铁矿变形及压力影; (g) 石英和石榴石的拖尾构造(仰视); (h) 石英及其集合体的拖尾构造(俯视)

3.5 杨庄绿片岩带(YGB)

本带北部松扒剪切带内发育高角度南倾或北倾的糜棱片理, 其内可观察到由石英、白云母等组成的线理. 这些线理大致平行走向, 倾伏向 $260^{\circ}\sim 290^{\circ}$, 倾角 $5^{\circ}\sim 15^{\circ}$. 平行线理的石英、石榴石不对称变形(图 3(g))和石英及其集合体的拖尾构造(图 3(h))表明北盘向西的剪切, 证明松扒剪切带具有左行平移剪切的性质.

上述几何学和运动学观察表明, 桐柏造山带的几何学和运动学图像由几部分组成: (1) 后期隆升过程形成的背形构造, 见于 TGR; (2) 超高压岩石折返形成的顶部向北的韧性剪切构造, 见于 TGR 和 HLE; (3) 与南北向挤压有关的几类构造, 包括: MHI 内顶部向南的韧性推覆剪切构造、YGB 内的后期左行平移剪切构造以及 ZFB 内的东西向褶皱构造. 据此建立了从董家庄到新城的造山带结构剖面(图 4).

4 构造变形阶段

根据桐柏-大别地区内已有的和本次获得的新数据, 可将研究区变形构造划归 4 个变形阶段.

第一阶段(约 400~300 Ma): 据前人研究, 本区 YGB 单元具有古生代以来多期变形的历史, 其中古生代变形的证据是从糜棱片理中获得角闪石 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄为 402 ± 4 Ma^[15]; 在 DMB 和 ZFB 所属的秦岭群和信阳群中也获得了 404 ± 4 , 316 ± 1 和 304 ± 14 Ma 的角闪石 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄^[18]. 这些样品都有很好的测试精度和并产自片理带内, 有明确的构造意义, 可以证明约 400~300 Ma 发生过普遍的构造事件. 因此有理由推测 YGB, ZFB 和 DMB 等由古生界或更老地层组成的构造单元中, 反映南北向水平挤压的糜棱片理或轴面片理与 400~300 Ma 的构造事件有关.

第二阶段(270~250 Ma): 在本区以东的信阳地区

和更向东的北淮阳带内, 已获 261 ± 1 , 267 ± 1 和 262 ± 5 Ma 的白云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄, 这些样品都产自韧性变形带内并有很好的测试精度, 反映了韧性推覆剪切变形^[15,19]. 为验证桐柏地区是否存在同期变形, 我们对 MHI 中的上部向南的韧性变形片理带和 YGB 的平移剪切片理带上的白云母进行了 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄测定. 其分析流程简述如下(详细流程见 Xu 等^[20]): 岩石标本被破碎并分选出 $250\ \mu\text{m}\sim 400\ \mu\text{m}$ 的白云母样品, 这些样品在美国 Michigan 大学 Ford 反应堆的 67 号位置照射 45 h, 然后在加州大学洛杉矶分校(UCLA)地球与空间科学系 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄实验室对样品进行多阶段加热, 用 VG1200S 质谱仪测定 Ar 同位素比值, 并计算年龄值. 计算采用的黑云母标样年龄为 27.8 Ma, 据此得到的参数 $J=0.003500(1026-3)$ 和 $J=0.003511(108-4)$. 分析结果见表 1 和图 5. 样品 1026-3 是取自毛坡—胡家寨火山岩带(MHI)中顶部向南韧性剪切片理面上的白云母(采样位置为 $32^{\circ}25'21''$ 和 $113^{\circ}21'26''$), 所获坪年龄为 256 ± 1 Ma(图 5(a)). 由于这些白云母是韧性变形的产物, 故该年龄代表了 MHI 单元中顶部向南的韧性剪切运动发生的时间. 样品 108-4 为白云母, 取自杨庄绿片岩带内的松扒剪切带(采样位置为 $32^{\circ}29'9''$ 和 $113^{\circ}14'17''$), 所获坪年龄为 268 ± 1 Ma(图 5(b)). 由于采样处的云母片岩显示左旋剪切(图 3(h)), 因此该年龄可以解释为左旋剪切作用发生的年龄. 综上所述, 在 270~250 Ma 时期, 本区 MHI 和 YGB 中被迭加了韧性推覆和平移剪切变形. 如果考虑前述信阳地区和北淮阳带所获的同时期年龄, 则该阶段发生构造变形的范围是相当广泛的. 由于这类变形属于韧性变形且分布广泛, 其时代又早于榴辉岩的峰期变质时代, 因此很可能反映华北与华南两个刚性陆块开始碰撞时, 广泛发生于中下地壳的应力积累和传播过程, 是大陆深俯冲的前奏, 故

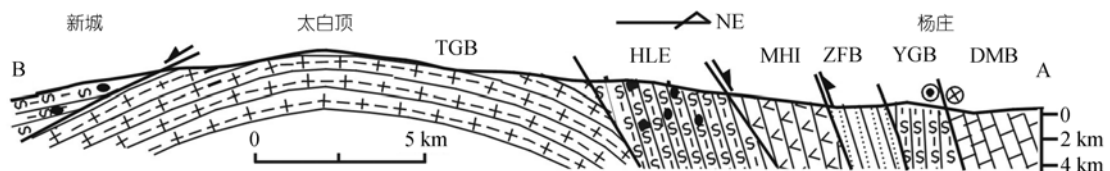
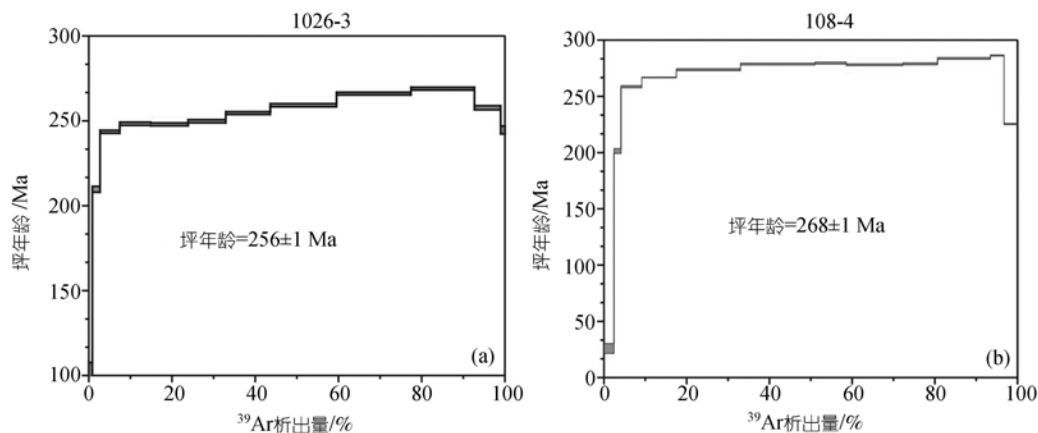


图 4 桐柏造山带结构剖面(相当于图 1 的 A-B 线)

表 1 毛坡-胡家寨火山岩和杨庄绿片岩中白云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 数据表

阶段	T/°C	t/min	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$^{38}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$^{39}\text{Ar}/\text{mol}$	$\Sigma^{39}\text{Ar}$	$^{40}\text{Ar}^*\%$	$^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}_K$	$\pm\sigma_{40/39}$	年龄/Ma	$\pm\sigma$ 年龄
108-4 白云母													
1	500	13	32.06	0.1052078	0.1918159	0.094531	1.27E-14	2.43	12.79	4.11	0.70	25.8	4.38
2	600	13	40.56	2.92E-02	3.86E-02	2.33E-02	8.83E-15	4.12	82.83	33.65	0.39	201.4	2.20
3	700	13	46.08	0.0157704	1.51E-02	7.24E-03	2.62E-14	9.14	95.22	43.91	0.19	258.6	1.03
4	770	12	46.57	0.0135366	0.0041244	3.86E-03	4.38E-14	17.51	97.41	45.40	0.06	266.8	0.31
5	840	13	47.67	1.34E-02	2.97E-03	3.30E-03	8.11E-14	33.02	97.83	46.67	0.16	273.7	0.86
6	880	13	48.58	1.33E-02	1.71E-03	3.24E-03	9.42E-14	51.03	97.92	47.59	0.16	278.7	0.85
7	920	13	48.71	1.33E-02	1.61E-03	3.15E-03	3.95E-14	58.58	97.95	47.74	0.17	279.6	0.91
8	960	14	48.52	1.31E-02	1.22E-03	3.41E-03	7.15E-14	72.26	97.80	47.48	0.17	278.1	0.90
9	1000	13	49.12	1.36E-02	9.25E-04	4.97E-03	4.40E-14	80.67	96.88	47.62	0.15	278.9	0.82
10	1070	13	50.24	0.0136639	0.0007492	0.005765	6.68E-14	93.45	96.48	48.50	0.16	283.7	0.85
11	1150	12	50.16	0.0133083	0.0007969	0.003858	1.72E-14	96.75	97.60	48.99	0.09	286.3	0.51
12	1350	13	38.85	0.0141784	0.0109733	0.003044	1.7E-14	99.99	97.52	37.91	0.11	225.4	0.60
1026-3 白云母													
1	500	13	27.12	0.0284773	0.0746528	0.034456	4.05E-15	0.86	61.78	16.92	0.66	103.8	3.93
2	600	15	40.31	1.91E-02	5.32E-02	1.71E-02	8.63E-15	2.70	87.10	35.21	0.31	209.7	1.77
3	700	13	43.47	0.0160459	3.86E-02	7.26E-03	2.22E-14	7.43	94.90	41.30	0.16	243.6	0.89
4	770	13	43.33	0.0148	0.0188422	3.88E-03	3.51E-14	14.90	97.18	42.15	0.18	248.3	0.97
5	840	13	42.95	1.48E-02	1.47E-02	2.79E-03	4.21E-14	23.86	97.87	42.09	0.16	248.0	0.87
6	880	13	43.20	1.52E-02	1.36E-02	2.53E-03	4.25E-14	32.91	98.06	42.42	0.18	249.8	0.98
7	920	13	44.04	1.53E-02	2.84E-02	2.43E-03	5.03E-14	43.61	98.19	43.30	0.15	254.6	0.84
8	960	13	44.94	1.61E-02	5.05E-02	2.59E-03	7.48E-14	59.54	98.12	44.15	0.17	259.2	0.93
9	1000	13	46.05	1.65E-02	1.61E-01	2.16E-03	8.40E-14	77.43	98.47	45.39	0.15	266.0	0.83
10	1070	13	46.52	0.0162077	0.109333	0.001928	7.16E-14	92.68	98.61	45.93	0.16	268.9	0.85
11	1150	13	45.40	0.01687	0.6611517	0.00534	2.96E-14	98.98	96.39	43.87	0.23	257.7	1.24
12	1350	13	45.95	0.023945	2.915437	0.016097	4.8E-15	99.99	89.68	41.49	0.43	244.6	2.36

图 5 毛坡-胡家寨火山岩和杨庄绿片岩中白云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄图

可把 270~250 Ma 厘定为大陆碰撞阶段.

第三阶段(250~205 Ma): 大别地区高压-超高压榴辉岩的峰期变质时代为 235~225 Ma^[10,21,22], 如果俯冲时间是 20 百万年, 则大陆深俯冲发生于 250~225 Ma. 事实上目前能够观测到仅是与超高压岩石折返有关的的韧性变形, 它们主要发育在浒湾剪切带、北大别带和红安地块, 表现为顶部向北的剪切构造, 其时代为 225~205 Ma^[10,11,20]. 该年代限定超高压岩石折返的时间为 225~205 Ma, 因此可推定大陆深俯冲和折返过程发生于 250~205 Ma. 由于HLE和TGR的岩性、几何学和运动学特征基本与浒湾剪切带和红安地块相同, 并且与之相连, 故可推断它们记录了桐柏地区大陆深俯冲和折返的过程.

第四阶段(200~185 Ma): 在西大别红安地区的新县、大悟和卡房穹隆已获得 195.2 ± 0.2, 195 ± 2, 196 ± 2, 198 ± 2 和 187 ± 1 Ma 的白云母 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄^[11,20,23], 它们被解释为穹隆作用的形成时间. 由于

研究区内TGR与这些穹隆的岩性和构造样式基本一致且构造位置相连^[12], 因此尽管TGR本身未获年代数据, 但仍可以用 200~185 Ma 限定其形成时代, 并据此识别出桐柏造山带的隆升变形阶段.

5 构造演化

从多期俯冲—碰撞造山带的观点出发, 根据各构造单元的岩石学特征及其展布, 以及几何学、运动学和构造年代学特征, 桐柏地区造山带构造演化可分为 4 个阶段即: 约 400~300 Ma 的洋壳俯冲阶段、270~250 Ma 的大陆碰撞阶段、250~205 Ma 的大陆深俯冲和折返阶段和 200~185 Ma 的隆升阶段.

约 400~300 Ma 时期(图 6(a)), 由于扬子板块洋壳的俯冲, 导致定远组火山岛弧(MHI)与华北板块发生弧-陆碰撞, 造成在弧后盆地复理石(ZFB)和华北板块陆缘(YGB 和 DMB)的挤压褶皱变形和韧性变形, 形成糜棱片理或轴面片理. 270~250 Ma 时期(图 6(b)),

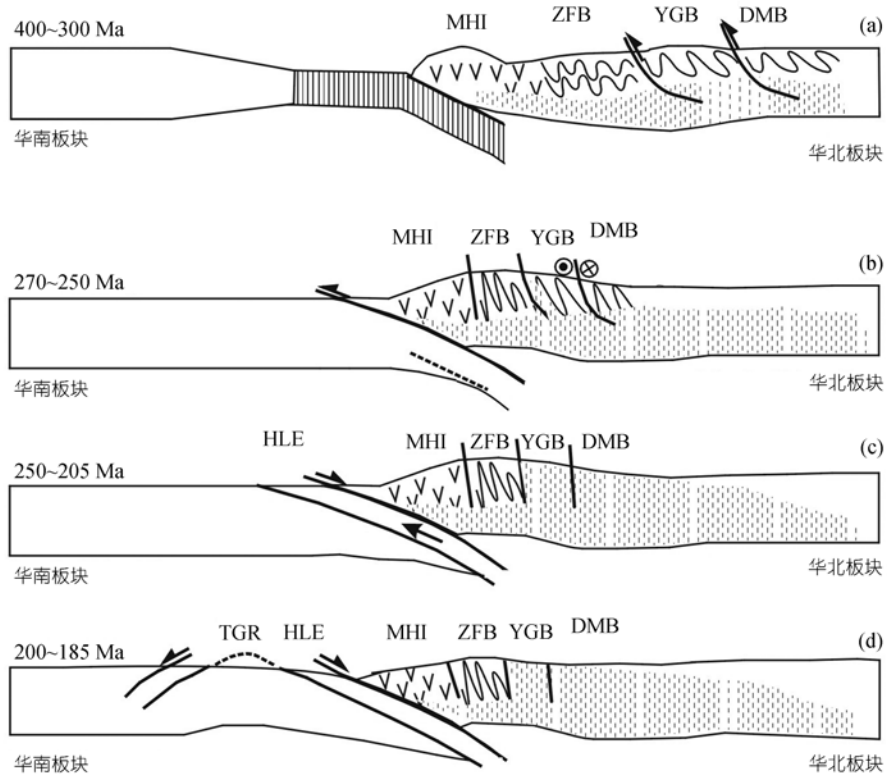


图 6 桐柏地区造山带构造演化示意图
虚线区示韧性变形

扬子板块与华北板块开始发生陆-陆碰撞, 广泛的挤压力传播到 MHI、YGB 及 DMB, 产生了 MHI 中的顶部向南的韧性剪切构造和迭加在 YGB 和 DMB 糜棱片理或轴面片理上的平移剪切变形. 250~205 Ma(图 6(c))是大陆深俯冲和折返阶段, 深部发生高压-超高压变质作用, 形成鸿仪河-罗庄榴辉岩带(HLE). 在折返阶段, 伴随着顶部向北的韧性变形, HLE 到达地壳中部, 而其他单元已开始隆升剥蚀. 200~185 Ma 阶段(图 6(d)), 区域性的隆升作用形成桐柏片麻岩穹隆(TGR). 其他各单元则继续遭受不同程度的隆升剥蚀. 至此, 桐柏造山带的构造格局已基本形成.

6 讨论

本文研究结果表明桐柏地区造山带的结构与大别造山带是可以对比的. 例如桐柏地区的松扒剪切带分割了其北董家庄大理岩带(DMB)和其南杨庄绿片岩(YGB), 而在西大别, 凉亭剪切带分割了其北的马畷褶皱带与其南的牢山褶皱带. 董家庄大理岩带和马畷褶皱带、杨庄绿片岩和牢山褶皱带在岩性和变形特征方面完全可以对比^[20], 而凉亭剪切带可能是松扒韧性剪切带的东延部分. 更向南, 桐柏和大别地区都有古生代复理石单元、古生代火山岩单元、超高压单元和片麻岩穹隆的依次出现. 在运动学特征方面, 西大别的熊店-汭湾剪切带和桐柏地区鸿仪河-罗庄榴辉岩带内出现的顶部向北的韧性剪切完全可以对比. 因此桐柏与大别具有相似的古生代和中生代造山带结构.

由于秦岭地区有南秦岭板块的存在, 因此其造山带结构不能完全与桐柏和西大别对比. 一个重要的差别是中生代秦岭造山带的最终形成是通过商丹和勉略两大缝合带的同时闭合而完成的^[3], 而桐柏和西大别与中生代造山有关的构造变形仅集中于高压变质带以北地区. 但秦岭和桐柏、大别地区共同存在一些古生代造山带的构造单元, 如桐柏、西大别的定远组火山岩单元可与秦岭的古生代岛弧火山岩对比^[14,24], 以信阳睡仙桥地区为代表的混杂岩带^[25]很可能与商丹带相连, 构成古生代缝合带. 因此秦岭和桐柏、大别地区的古生代造山带结构是相似的, 但中

生代造山带的格局有较大差别.

7 结论

(1) 桐柏造山带由 6 个次级构造单元组成, 由南到北依次为桐柏片麻岩隆起带(TGR)、鸿仪河-罗庄榴辉岩带(HLE)、毛坡-胡家寨火山岩单元(MHI)、周家湾复理石单元(ZFB)、杨庄绿片岩单元(YGB)和董家庄大理岩单元(DMB).

(2) 桐柏造山带的几何学和运动学图像包括: 由后期隆升过程形成的穹隆构造、超高压岩石折返形成的顶部向北(top-to-north)的韧性剪切构造、与南北向挤压有关的顶部向南(top-to-south)的韧性推覆剪切构造、左行平移剪切构造以及地壳较浅层次的东西向褶皱构造等几部分.

(3) 桐柏造山带构造演化可分为 4 个阶段即: 约 400~300 Ma 的洋壳俯冲、270~250 Ma 的大陆碰撞阶段、250~205 Ma 的大陆深俯冲和折返阶段以及 200~185 Ma 的隆升阶段.

致谢 美国加州大学洛杉矶分校(UCLA)地球与空间科学系 An Yin, Haibo Zou, Alex Robinson 和 Grove Marty 协助进行 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄分析, 北京大学郑亚东协助确定典型标本的运动学方向, 笔者深表谢意.

参 考 文 献

- Mattauer M, Matte P, Malavieille J, et al. Tectonics of the Qinling belt: build-up and evolution of eastern Asia. *Nature*, 1985, 317: 496~500[DOI]
- 张国伟, 孟庆任, 于在平, 等. 秦岭造山带的造山过程及其动力学特征. *中国科学, D 辑*, 1996, 26(3): 193~200
- 张国伟, 张本仁, 袁学诚, 等. 秦岭造山带与大陆动力学. 北京, 科学出版社, 2001. 421~722
- 王清晨, 丛柏林. 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
- 徐备, 王长秋. 大别造山带西段构造单元. *高校地质学报*, 2000, 3: 389~395
- 黄少英, 王志民, 徐备. 大别造山带西段南部构造几何学和运动学初步分析. *大地构造与成矿学*, 2002, 26(3): 240~246
- Ratschbacher L, Hacker B R, Calvert A, et al. Tectonics of the Qinling (Central China): tectonostratigraphy, geochronology, and deformation history. *Tectonophysics*, 2003, 366: 1~53[DOI]
- Kröner A, Zhang G W, Sun Y. Granulites in the Tongbai area, Qinling belt, China: geochemistry, petrology, single zircon geochronology, and implications for the tectonic evolution of eastern Asia. *Tectonics*, 1993, 12: 245~255

- 9 Li S G, Huang F, Nie Y H, et al. Geochemical and geochronological constraints on the suture location between the north and south China Blocks in the Dabie orogen, central China. *Phys Chem Earth (A)*, 2001, 26: 655~672
- 10 Hacker B R, Ratschbacher L, Webb L, et al. Exhumation of the ultrahigh-pressure continental crust in east-central China: Late Triassic-Early Jurassic extension. *JGR*, 2000, 105: 13339~13364[DOI]
- 11 Webb L E, Hacker B R, Ratschbacher L, et al. Thermochronologic constraints 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]
- 12 索书田, 钟增球, 张宏飞, 等. 桐柏山高压变质带及其区域构造型式. *地球科学*, 2001, 26(6): 551~559
- 13 钟增球, 索书田, 张宏飞, 等. 桐柏-大别碰撞造山带的基本组成与结构. *地球科学*, 2001, 26(6): 560~567
- 14 Li S G, Han W, Huang F. 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*, 1998, 7 (4): 461~470
- 15 刘志刚, 富云莲, 牛宝贵, 等. 大别山北坡苏家河群及原信阳群龟山组变基性杂岩 Ar/Ar 测年及其地质意义. *科学通报*, 1993, 38(13): 1214~1218
- 16 张仁杰, 舒德干, 蒋志文, 等. 桐柏蔡家凹岩片内寒武纪高肌虫的发现及其地质意义. *地质论评*, 2000, 46(3): 225~231
- 17 冯庆来, 杜远生, 张宗恒, 等. 河南桐柏地区三叠纪早期放射虫动物群及其地质意义. *地球科学*, 1994, 19(6): 787~794
- 18 Zhai X, Day H W, Hacher B R, et al. Paleozoic metamorphism in the Qinling orogen, Tongbai Mountains, central China. *Geology*, 1998, 26: 371~374[DOI]
- 19 Faure M, Lin W, Schärer U, et al. Continental subduction and exhumation of UHP rocks. Structural and geochronological insights from the Dabieshan (East China). *Lithos*, 2003, 70: 213~241[DOI]
- 20 Xu B, Marty G, Wang C Q, et al. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ thermochronology from the northwestern Dabie Shan: constraints on the evolution of Qinling-Dabie orogenic belt, east-central China, *Tectonophysics*, 2000, 322: 279~301[DOI]
- 21 李曙光, Hart S R, 郑双根, 等. 中国华北、华南陆块碰撞时代的钐-钕同位素年龄证据. *中国科学, B 辑*, 1989, (3): 312~319
- 22 Ye K, Cong B L, Ye D N. The possible subduction of continental material to depths greater than 200 km. *Nature*, 2000, 407(12): 734~736[DOI]
- 23 Eide E A, McWilliams M O, Liou J G. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ method geochronology and exhumation of high-pressure to ultrahigh-pressure metamorphic rocks in east-central China. *Geology*, 1994, 22: 601~604[DOI]
- 24 Lerch M F, Xue F, Kröner A, et al. A middle Silurian-early Devonian magmatic arc in the Qinling mountains of central China. *J Geology*, 1995, 103: 437~449
- 25 石铨曾, 牟用吉, 张恩惠, 等. 河南信阳古消减杂岩. *地震地质*, 1982, 4(1): 11~21