

秦岭造山带北缘的斜向碰撞与汇聚因子

宋传中¹ 张国伟² 牛漫兰¹ 刘国生¹ 霍立新¹

(1. 合肥工业大学资源与环境学院, 安徽 合肥 230009; 2. 西北大学地质系, 陕西 西安 710069)

摘要:秦岭北缘洛南—栾川断裂带是华北板块南缘与秦岭造山带汇聚—拼合带, 具有 SW→NE 向俯冲兼左旋走滑的性质, 并构成叠瓦状构造和双重构造的组合样式。秦岭北缘不同性质的构造组成有规律的图案, 其展布方位和运动学方式与板块汇聚的动力学特征极为吻合。变形分析结果表明, 区内变形岩石主要是中上地壳的产物, 岩石有限应变的三轴比为: X:Y:Z=8.86:4.32:1, 应变椭球体为扁椭球状。汇聚因子是: 在洛南地区板块汇聚方向为 22°, 汇聚方向与板块边界的夹角为 73°; 在栾川地区板块汇聚方向为 31°, 汇聚方向与板块边界的夹角为 82°, 显示出秦岭造山带与华北板块南缘的碰撞和拼合具有典型的斜向汇聚特征。

关键词:秦岭造山带; 斜向汇聚; 汇聚因子; 大陆增生

中图分类号: P542 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3657(2006)01-0048-08

秦岭造山带北缘系指东秦岭内洛南—栾川断裂带及其北侧的构造变形带, 是在华北板块南缘与秦岭造山带拼合后, 又卷入统一造山而形成, 是秦岭造山带的重要组成部分。近 20 年来, 秦岭造山带在其结构、演化和动力学等方面均取得了丰硕的研究成果, 已成为世界各国地质学家关注的热点^[1-10]。但区内精细的构造变形研究尚显不足。

本文从构造物理学研究方法入手, 运用宏观构造与微观构造相结合, 量化秦岭造山带北缘的构造变形强度和板块拼合过程中的汇聚因子, 分析板块汇聚方式和构造物理过程^[11-15], 对探讨大陆垂向和侧向的增生作用和方式, 有较大的科学意义^[16-19]。

1 洛南—栾川构造带的变形特征

1.1 洛南—栾川构造带的基本特征

洛南—栾川构造带是华北板块南缘与秦岭造山带汇聚—拼合带(图 1)。该带的主体是洛南—栾川断裂带, 位于南侧的宽坪岩群, 北侧的陶湾岩群、栾川岩群和少量的熊耳群卷入变形。该带虽然多期变形强烈, 但构造现象清晰。

西段在横涧、磨沟口一带, 发育宽约 500 m 的大型破碎带, 并见脆—韧性剪切带发育, 产状 5°∠50°。构造岩主要为陶湾群黑云母大理岩的强变形, 角砾岩、碎裂岩、碎粉岩均有发育, 破碎理、构造片岩、断层泥的成带分布。断裂带向北倾斜, 局部直立。由北向南的逆冲推覆构造活动明显, 强烈褶皱

的陶湾群大理岩作为飞来峰向南掩盖在宽坪群云母石英片岩之上, 在汤河一带推覆距离大于 10 km。

洛南—栾川构造带的东段位于伏牛山的北麓, 为向南逆冲的剪切带。从陶湾地区向东到庙子镇, 到马市坪北的仓房, 再到南召县的九分垛, 片理化、揉皱、被拉长而细颈化的香肠状石英脉等构造变形逐渐增强, 出现脆性到韧性的过度变形特征。岩石为一套低绿片岩—绿片岩相的浅变质岩, 新生的绿泥石、白云母等矿物和拉长的石英颗粒发育明显。局部出现低角闪岩相的变质岩。

1.2 洛南—栾川构造带的面状构造

洛南—栾川构造带中虽然构造复杂, 多期变形叠加强烈, 但板块汇聚—拼合时期的构造变形和运动学方式十分典型, 与造山带的整体构造十分吻合。

洛南—栾川构造带中不同规模的断层带主要分布在卢氏以西的地段, 而滑劈理带则主要发育在卢氏—栾川之间、拼合带北侧的岩块中。该面理构造密集排列, 产状稳定, 将栾川群的石英岩和陶湾群的大理岩切割成若干个构造岩片, 并以由 NE→SW 逆冲的形式构成叠瓦状构造或双重构造的组合样式, 代表较浅层次的构造变形。

在栾川以东地段的低绿片岩—绿片岩相和部分低角闪岩相的岩石中, 大量的云母定向排列明显, 片麻理、片理产状: 20°∠43°, 与区域上洛南—栾川构造带的产状基本一致。而与区域变质作用形成的近水平产状、层间小褶皱十分发育、

收稿日期: 2005-07-06; 改回日期: 2005-07-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(40372097)资助。

作者简介: 宋传中, 男, 1954 年生, 博士, 教授, 博士生导师, 从事构造地质学教学与研究; E-mail: czs12258@mail.hf.ah.cn。

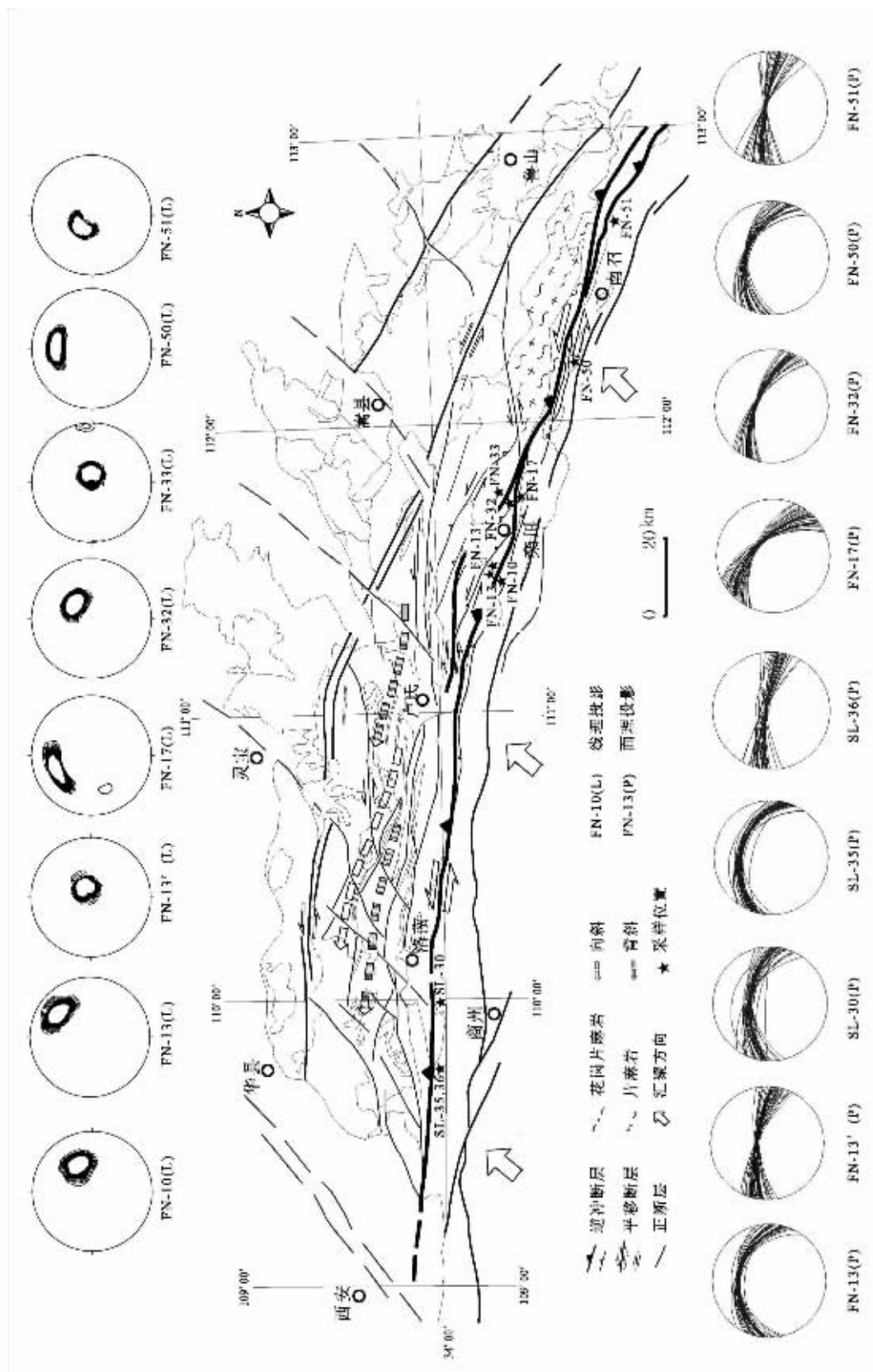


图 1 秦岭北缘构造图
Fig.1 Tectonic map of the northern margin of the Qinling Mountains

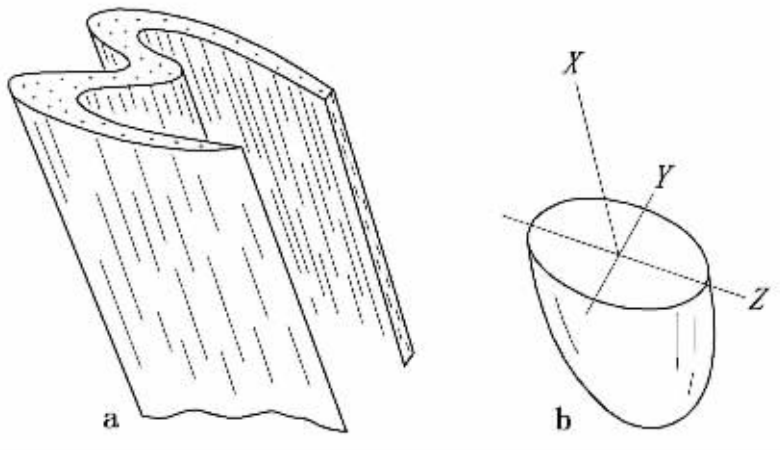


图2 秦岭北缘的A-线理

a—鞘褶皱;b—拉长杏仁体

Fig.2 Lineation A on the northern margin of the Qinling Mountains

a— Sheath fold; b— Stretched amygdale

顺层流变明显的早期面理有明显的差别。宽坪岩群云母石英片岩内的韧性剪切带平行于拼合带延伸。东段较西段变形层次略深。带内白云母定向排列清晰。

1.3 洛南—栾川构造带的线状构造

洛南—栾川构造带中有大量线理发育,主要有矿物生长线理(A型线理)、拉长线理(A型线理)和皱纹线理(B型线理)。

矿物生长线理主要由石英、白云母和白云母构成,线理的倾伏向 $30^{\circ}\sim 56^{\circ}$,倾伏角 $46^{\circ}\sim 53^{\circ}$,矿物结晶规律明显。该构造带中的拉长线理主要由拉长的石英颗粒、石英颗粒集合体、长石残斑和拉长的杏仁体等组成,并有大量的鞘褶皱发育(图2),产状与矿物生长线理一致。

带内皱纹线理主要发育在紧邻洛南—栾川构造带南侧的宽坪群云母石英片岩中,平行排列的皱纹线理大小不一,产状稳定。单个皱纹的波长和波幅均为数米到数毫米不等;长度从数十米到数十毫米。该线理与上述矿物生长线理和拉长线理近垂直分布,有相关的运动学和动力学规律。

2 秦岭北缘的构造组合特征

2.1 秦岭北缘断裂—褶皱构造

秦岭北缘西段的洛南、卢氏一带是大量褶皱、断层发育的地区,具有地壳浅层次构造变形的典型特点。区内规模不等的褶皱和不同性质的断层有规律排列,显示出同一应力作用下由变形分解导致的特殊的构造图案。

(1)秦岭北缘褶皱构造。区内有3个主要的褶皱:西部为桑坪复式背斜,出露的最老岩系为中—晚元古代官道口群的砂岩;中部为冠窑复式向斜,出露的最新岩系为新元古代—

早古生代陶湾群的薄层灰岩;东部为冠云山复式背斜,出露的最老岩系为中元古代熊耳群的中基性变质火山岩。这些褶皱的排列方式为左阶式斜列组合,显示出SW—NE向缩短兼左行平移的运动学特征。区内褶皱的枢纽延伸方向为 290° ,与洛南—栾川构造带存在 15° 的夹角。

(2)秦岭北缘逆冲断层。区内逆冲断层与褶皱相伴发育,其走向与褶皱的枢纽方向基本一致,南部断层发育强、规模大,向北倾斜;而北部的断层倾向南,密度和规模远不及南部发育。秦岭北缘逆冲断层的性质为左行平移逆断层,大多数断层与洛南—栾川构造带有相同的运动学极性。

(3)秦岭北缘平移正断层。秦岭北缘正断层的发育独具特色,仅分布在拼合带北侧的华北板块南缘内,拼合带的南侧未见发育。断层走向主要为NE—SW,可分为两组,其断层性质、展布方向、运动学特征均有所差异,但与板块汇聚的应力作用方式极为吻合。①左旋平移正断层:该断层(如孤山断层、卢氏断层)走向一般 40° ,与洛南—栾川构造带呈 60° 的交角。断层除西盘下降外,大多有左旋平移的断层效应,常把NW—SE向延伸的褶皱和不同岩系左旋错开,水平错距达十余千米,甚至更远。由于后期构造的叠加和影响,在秦岭北缘大多形成北东走向的地堑或半地堑,且西强东弱。②左旋正平移断层:该断层(如马超营断层、车村断层)走向近NW,与洛南—栾川构造带的交角仅为 10° 左右。该正断层紧邻洛南—栾川构造带北侧,且在走向转折的位置发育,并导致大规模双重构造的产生,揭示了一个应力集中与变形分解的典型构造(图1)。

(4)秦岭北缘构造转换带。区内西起陕西省洛南县北部的黄龙,向东经桑坪、河南省卢氏县西部的潘河、栾川县北部

的康山、前河,再向东到鲁山县的月湾、熊背一带,存在一条重要的构造转换带,延伸方向与洛南—栾川构造带的延伸方向基本一致。该带以南断层均向北倾斜,NE→SW 斜向逆冲;该带以北断层均向南倾斜,SW→NE 斜向逆冲,构造转换带两侧的断层虽然倾向不同,但断层性质不变,构成花状构造形式(图 3)。

综合上述,秦岭北缘的褶皱、逆冲断层、左旋平移正断层和左旋正平移断层显然有着相同的成因关系,是秦岭造山带沿洛南—栾川构造带由 SW→NE 方向相对于华北板块南缘斜向俯冲汇聚,在其活动大陆边缘产生应力分解而导致的应变分解的结果(图 4)。

2.2 秦岭北缘双重构造

区内双重构造发育在栾川地区,位于洛南—栾川构造带转折处的外侧。底板断层、顶板断层、辫状断层和断夹块组合完整,发育清晰,断层具有 NE→SW 斜向逆冲的统一的运动学特征和后叠式的发展样式^[5,6],是逆冲兼走滑型的双重构造。

底板断层为著名的洛南—栾川断裂带,具有大型剪切带的性质。在卢氏线的磨沟口、横涧一带为宽约 500 m 的大型破碎带,碎裂岩带倾向 10°,倾角 60°有时直立,原岩为强烈褶皱的陶湾群;在栾川县的庙子一带为宽约 10 m 的脆-韧性剪切带,倾向 23°。带中拉长的石英颗粒和新生的白云母颗粒有规律地定向排列。

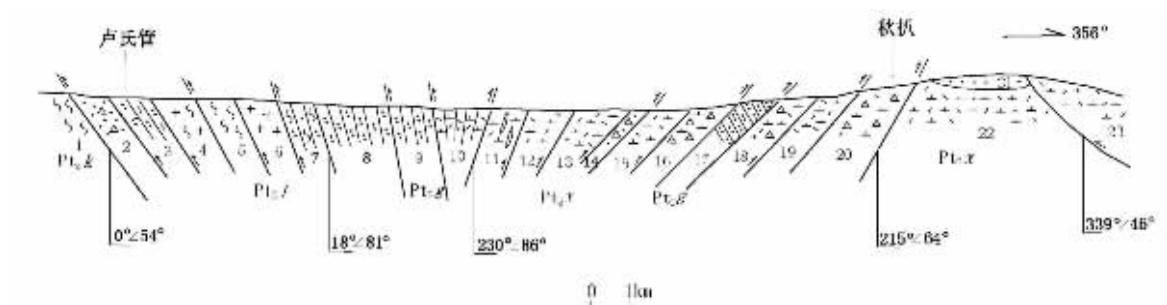


图 3 卢氏管—秋扒构造剖面图

- 1—中元古界宽坪群片麻岩;2—角砾岩带;3—中晚元古界栾川群石英岩;4—花岗岩片麻岩;5—片麻岩;6—花岗岩;7—片理化石英岩;
- 8—栾川群石英岩;9—中元古界官道口群石英岩;10—中元古界熊耳群片理化火山岩;11—含石英脉火山岩;12—熊耳群火山岩;
- 13—含石英脉火山岩;14—角砾岩带;15—含杏仁体火山岩;16—角砾岩带;17—官道口群石英岩;18—角砾岩带;19—熊耳群火山岩;
- 20—角砾岩带;21—白垩系红色砂岩;22—熊耳群火山岩;23—断层—火山岩

Fig.3 Cross section from Lushiguan to Qiuba

- 1-Mesoproterozoic Kuanping Group gneiss;2-Brecciated zone;3-Meso- and Neoproterozoic Luanchuan Group quartzite;4-Granite gneiss;
- 5-Gneiss;6-Granite;7-Schistose quartzite;8-Luanchuan Group quartzite;9-Mesoproterozoic Guandaokou Group quartzite;10-Mesoproterozoic Xiong'er Group schistose volcanic rocks;11-Volcanic rocks with quartz veins;12-Xiong'er Group volcanic rocks;13-Volcanic rocks with quartz veins;14-Brecciated zone;15-Volcanic rocks with amygdales;16-Brecciated zone;17-Guandaokou Group quartzite;18-Brecciated zone;
- 19-Xiong'er Group volcanic rocks;20-Brecciated zone;21-Cretaceous rotten rock;22-Xiong'er Group volcanic rocks;23-Fault volcanic rocks

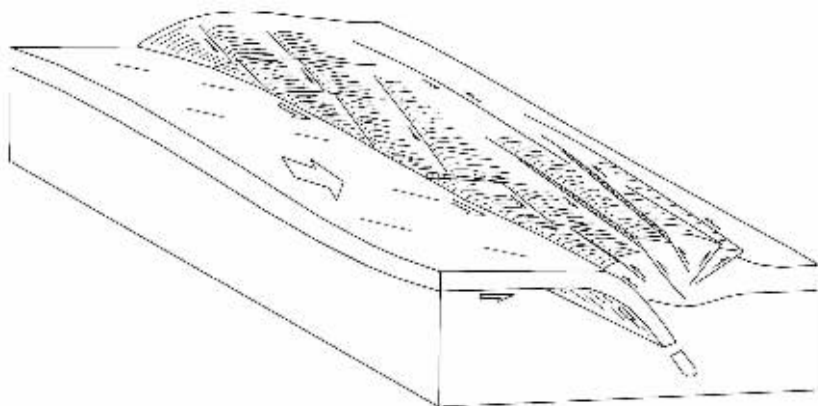


图 4 秦岭北缘的斜向汇聚与变形分解

Fig.4 Oblique convergence and strain partitioning on the northern margin of the Qinling Mountains

顶板断层为竹园沟—祖师庙断裂带,在祖师庙地区韧性剪切带宽约 500 m,片理化强烈,S-C 面理发育;向东在赤土店一带断层倾向 45°,倾角 65°,是官道口群与栾川群的界线;在庙子地区,官道口群向南逆冲在宽坪群之上,断裂带清晰,倾向 30°,缺失栾川群。

断夹块发育在伟家岗、冷水、三川地区,由南向北分别为陶湾群大理岩、龙王童正长岩、栾川群石英岩和官道口群砂岩等不同岩系构成的 4 个主要断夹块,呈左行斜列组合,并

受 3 条发辫状断层的严格控制。发辫状断层和断夹块均呈“Z”形出露,其产状在南、北两端分别与底板的洛南—栾川断裂带和顶板的竹园沟—祖师庙断裂带逐渐协调,直至合二为一,具有双重构造的典型组合形式。

3 秦岭北缘的变形类型分析

笔者重点解析的栾川、石人山地区,总体形态为一近东西向展布的透镜状构造块体(以下称石人山构造体),出露长

表 1 秦岭北缘岩石有限应变测量结果

Table 1 Finite strain measurements of rocks on the northern margin of the Qinling Mountains

编号	位 置			颗 粒 类 型	a	b	付林指数 (K)	应变强度 (r)	轴 比 ($X:Y:Z$)
	N	E	H (m)						
FN-2	33° 29.605'	111° 35.087'	367	长石	1.81	3.89	0.28	4.70	9.35 : 5.00 : 1
FN-3	33° 29.609'	111° 35.095'	378	长石	1.75	2.74	0.43	3.49	6.62 : 3.57 : 1
FN-4'	33° 30.213'	111° 28.807'	410	石英	1.65	1.64	1.02	2.29	3.64 : 1.99 : 1
FN-5	33° 48.867'	111° 06.603'	720	石英					3.28 : ? : 1
FN-6	33° 49.988'	111° 08.555'	839	石英	2.1	5.49	0.24	6.59	14.51 : 6.76 : 1
FN-7	33° 50.580'	111° 09.571'	825	石英	7.02	3.52	2.39	9.54	28.61 : 3.93 : 1
FN-22	33° 52.940'	111° 27.978'	1116	石英	2.68	6.89	0.29	8.57	23.4 : 8.57 : 1
FN-23'	33° 53.803'	111° 28.553'	1265	石英	1.06	3.79	0.02	3.85	5.35 : 5.00 : 1
FN-25	33° 46.585'	111° 42.763'	732	石英					8.09 : ? : 1
FN-27	33° 45.670'	111° 43.734'	743	石英					84.57 : ? : 1
FN-31	33° 58.703'	111° 43.004'	480	杏仁体	1.50	1.60	0.83	2.10	2.75 : 1.75 : 1
FN-32	33° 57.717'	111° 43.138'	513	杏仁体	1.73	7.17	0.12	7.90	15.01 : 8.58 : 1
FN-35	33° 55.060'	111° 45.164'	570	石英					8.92 : ? : 1
FN-38	33° 51.931'	112° 09.708'	629	杏仁体	1.62	2.03	0.60	2.65	4.03 : 2.36 : 1
FN-43	33° 33.139'	112° 15.225'	327	石英					16.66 : ? : 1
FN-43'	33° 33.139'	112° 15.225'	327	石英	2.44	1.30	4.80	2.74	3.90 : 1.40 : 1
FN-44	35° 27.729'	112° 40.770'	237	石英	2.10	2.21	0.91	3.31	6.67 : 2.89 : 1
FN-45	35° 37.438'	112° 47.845'	174	杏仁体	1.61	4.41	0.18	5.02	7.70 : 4.74 : 1
FN-47	35° 38.191'	112° 40.807'	165	杏仁体	3.6	3.32	0.43	5.92	13.54 : 3.66 : 1

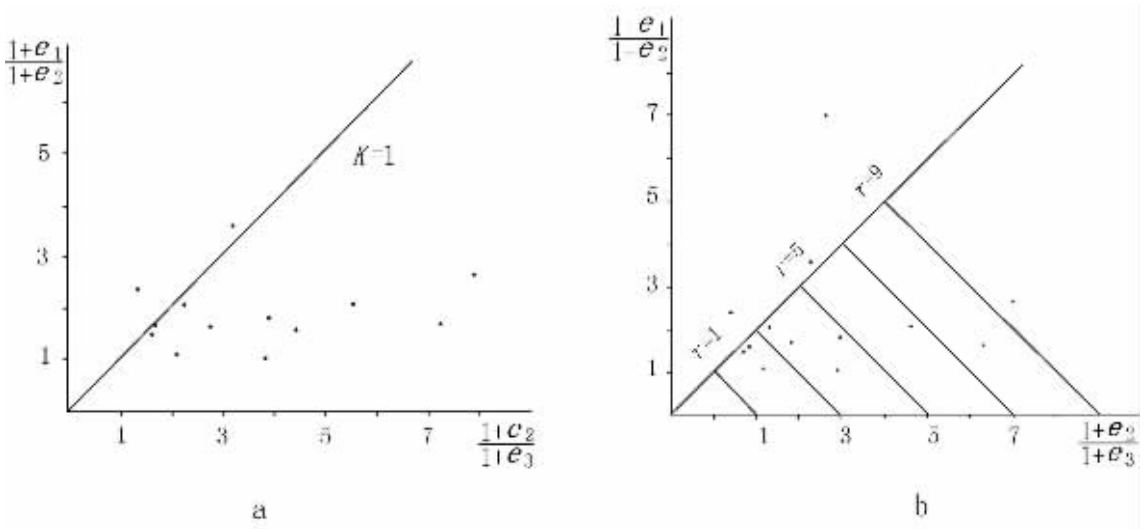


图 5 秦岭北缘岩石有限应变付林图解

a—岩石有限应变付林图;b—岩石变形强度付林图

Fig.5 Flinn diagram of rock finite strain on the northern margin of the Qinling Mountains

a—Flinn diagram of rock finite strain;b—Flinn diagram of rock deformation strength

约 250 km,宽约 40 km。该构造体南界为洛南—栾川断裂带,北界为马超营—下汤断裂带;西端尖灭在卢氏地区,东端尖灭在拐河一带,是秦岭北缘斜向汇聚作用下较深部位变形岩石的出露。

3.1 秦岭北缘变形类型分析

秦岭北缘岩石主要是中上地壳的变形产物(低绿片岩相、绿片岩相、低角闪岩相和角闪岩相)。本文采用长短轴法和心对心法^[20],分别利用 XZ 面、XY 面和 YZ 面,在手标本上和显微镜下,对熊耳群基性火山岩中的变形杏仁体,白云母石英片岩中的石英颗粒和集合体进行了有限应变测量,综合(先优选,再平均)出秦岭北缘岩石有限应变的三轴比率为 X:Y:Z = 8.86:4.32:1(表 1)。

再根据测量结果,作出富林图解(图 5-a)。可见绝大部分付林值为 $0 < k < 1$,说明研究区内岩石变形的应变椭球体主要为三轴扁椭球状。个别发育在强剪切带附近样品的付林值为 $k = 4.8$, $b = 1.30$,应变椭球体的形态接近于雪茄状。

3.2 秦岭北缘变形强度分析

根据 Watterson(1968)的研究方法,对石人山构造体的岩石变形强度作了进一步研究。应变强度等值线付林图解表明(图 5-b);研究区内应变强度(r)范围多集中在 2~5,不存在应变强度小于 2 的区域,说明石人山构造体的岩石变形较为强烈。

4 秦岭北缘斜向碰撞的汇聚因子分析

板块俯冲带中同构造期产生的剪切面,以及该面上的拉伸线理和矿物生长线理(A 线理)极为发育,是板块汇聚方式的真实记录^[21,22]。利用该剪切面和线理产状,根据 Anderson(1951)断层形成机制理论,采用极射赤平投影的方法,可以求出剪切面和线理形成时的最大压应力(σ_1)产状,得出板块汇聚方向,从而分析板块汇聚方向与板块边界的空间关系,尤其是计算斜向汇聚板块的汇聚因子。

洛南—栾川构造带在洛南小河湾(N34°01.710';E110°00.206')一带,脆—韧性剪切带内面理的走向 95°;面上可见定向生长的云母,侧伏角 70°E。极射赤平投影方法求得该段板块汇聚时主压应力(σ_1)的倾伏角度为 14°,汇聚方向为 22°。地表可见板块汇聚方向与板块边界的夹角为 73°,并导致洛南—栾川拼合带的左旋走滑俯冲的性质,为典型的斜向汇聚。

在栾川卢氏管(N33°56.841';E111°45.164')一带,栾川群石英岩和脆—韧性剪切带内面理的走向 113°;在构造面上,白云母生长线理的侧伏角为 80°E。极射赤平投影方法求得该段板块汇聚时主压应力(σ_1)的倾伏角度为 15°,汇聚方向为 31°。板块汇聚方向与板块边界的夹角为 82°,并导致洛南—栾川拼合带的左旋走滑俯冲的性质,为典型的斜向汇聚,与世界上许多著名造山带形成时板块的汇聚方式相似^[23-29]。

由此可见,由于汇聚方向和板块边界形态的局部变化(非平直边界),在不同地段秦岭造山带与华北板块南缘的汇

聚因子有所差异。

5 结 论

(1)洛南—栾川构造带是华北板块南缘与秦岭造山带汇聚—拼合带,在其大型剪切带内,清晰地记录了板块汇聚时期的构造作用和运动学方式,其变质—变形程度具有西弱东强的基本特征。

(2)洛南—栾川构造带中不同类型、产状稳定的面理构造发育,构成叠瓦状构造和双重构造的组合格式;线理构造主要有矿物生长线理、拉长线理和皱纹线理,其产状和类型指示了板块由 SW→NE 的运动学特征和汇聚过程。

(3)秦岭北缘规模不等的褶皱和左行平移逆断层有相同的展布方位和运动学极性,与洛南—栾川构造带小角度斜交;左行平移正断层仅分布在活动板块内,其走向与洛南—栾川构造带大角度斜交。区内不同性质的构造组成有规律的构造图案,与板块汇聚的运动学方式和动力学特征极为吻合。

(4)秦岭北缘岩石主要是中上地壳的变形产物,岩石有限应变的三轴比率为 X:Y:Z = 8.86:4.32:1,应变椭球体主要为三轴扁椭球状,个别近于雪茄状,石人山构造体的变形最为强烈。

(5)秦岭造山带与华北板块南缘的汇聚因子是:在洛南地区板块汇聚方向为 22°,汇聚方向与板块边界的夹角为 73°;在栾川地区板块汇聚方向为 31°,汇聚方向与板块边界的夹角为 82°,该汇聚因子导致洛南—栾川构造带的左旋走滑俯冲的性质,具有典型的斜向汇聚特征。

参考文献 (References):

- [1] 张国伟,郭安林,刘福田,等.秦岭造山带三维结构及其动力学分析[J].中国科学(D辑),1996,26(增刊):1~6.
Zhang Guowei,Guo Anlin,Liu Futian, et al. The present 3-D framework and dynamics of the Qinling orogenic belt [J].Science in China(Series D) 1996,26(supp.):1~6(in Chinese).
- [2] 张国伟,孟庆任,刘少峰,等.华北地块南部巨型陆内俯冲带与秦岭造山带岩石圈现今三维结构[J].高校地质学报,1997,3(2):129~143.
Zhang Guowei,Meng Qingren,Liu Shaofeng, et al.Huge intracontinental subduction zone at south margin of north China block and present 3-D lithospheric framework of the Qinling orogenic belt[J].Geological Journal of China Universities,1997,3 (2):129~143(in Chinese with English abstract).
- [3] 许志琴,姜枚,杨经绥.青藏高原北部的碰撞造山及深部动力学[J].地球学报,2001,22(1):1~10.
Xu Zhiqin, Jiang Mei,Yang Jingsui.Collision-orogeny Qinghai-Tibet plateau and its deep dynamics[J]. Acta Geoscientia Sinica,2001,22(1):1~10(in Chinese with English abstract).
- [4] 许志琴,张泽明,刘福来,等.苏鲁高压—超高压变质带的折返构造及折返机制[J].地质学报,2003,77(4):432~450.
Xu Zhiqin,Zhang Zeming,Liu Fulai,et al. Exhumation structure and

- mechanism of the Sulu ultrahigh pressure metamorphic belt, central China [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2003, 77 (4): 433~450 (in Chinese with English abstract).
- [5] 宋传中, 张国伟. 伏牛山推覆构造特征及其动力学控制[J]. *地质论评*, 1999, 45(5): 492~497.
Song Chuanzhong, Zhang Guowei. The nappe structure of the Funiu mountains and its dynamics[J]. *Geological Review*, 1999, 45(5): 492~497 (in Chinese with English abstract).
- [6] 宋传中. 东秦岭造山带地学断面的结构、流变学分层及动力学分析[M]. 合肥: 中国科技大学出版社, 2000. 9~106.
Song Chuanzhong. Structure, Rheology and Dynamics for the Transection of the Eastern Qinling [M]. Hefei: University of Science and Technology of China Press, 2000. 9~106 (in Chinese with English abstract).
- [7] 路凤香, 王春阳, 郑建平, 等. 秦岭北界岩石圈组成及结构[J]. *中国科学(D辑)*, 2003, 33(1): 1~9.
Lu Fengxiang, Wang Chunyang, Zheng Jianping. Composition and structure of the lithospheric in northern Qinling[J]. *Science in China (series D)*, 2003, 33(1): 1~9 (in Chinese).
- [8] Meng Q-R, Zhang G-W. Geologic framework and tectonic evolution of the Qinling orogen, central China[J]. *Tectonophysics*, 2000, 323: 183~196.
- [9] Wang T, Wang X, Li W. Evaluation of multiple emplacement mechanisms: the Huichizi granite pluton, Qinling orogenic belt, central China[J]. *Journal of Structural Geology*, 2002, 22: 505~518.
- [10] Ratschbacher L, Hacher B R, Calvert A, et al. Tectonics of the Qinling (Central China): tectonostratigraphy, geochronology, and deformation history[J]. *Tectonophysics*, 2003, 366: 1~53.
- [11] Teyssier C, Tikoff B. Fabric stability in oblique convergence and divergence[J]. *Journal of Structural Geology*, 1999, 21: 969~974.
- [12] Allen M B, Ghassemi M R, Shahrabi M, et al. Accommodation of late Cenozoic oblique shortening in the Alborz range, northern Iran [J]. *Journal of Structural Geology*, 2003, 25: 659~672.
- [13] Bertrand G, Rangin C. Tectonics of the western margin of the Shan plateau (central Myanmar): implication for the India-Indochina oblique convergence since the Oligocene[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2003, 21: 1139~1157.
- [14] Acosta J, Lonergan L, Coward M P. Oblique transpression in the western thrust front of the Colombian Eastern Cordillera[J]. *Journal of South American Earth Sciences*, 2004, 17: 181~194.
- [15] Busby C. Continental growth at convergent margins facing large ocean basins: a case study from Mesozoic convergent-margin basins of Baja California, Mexico[J]. *Tectonophysics*, 2004, 392: 241~277.
- [16] 索书田, 钟增球, 周汉文, 等. 大别—苏鲁超高压变质带内变形分解作用对榴辉岩透视镜体群发育的影响[J]. *地质科技情报*, 2001, 20(2): 15~22.
Suo Shutian, Zhong Zengqiu, Zhou Hanwen. Influence of deformation partitioning on the development of eclogite lenses in Dabie-Sulu UHP metamorphic belt [J]. *Geological Science and Technology Information*. 2001, 20(2): 15~22 (in Chinese with English abstract).
- [17] 宋鸿林. 五十年中国小型构造研究的回顾与展望[J]. *地质论评*, 2002, 48(2): 158~167.
Song Honglin. Review of studying of mesoscopic structures in China in recent 50 years[J]. *Geological Review*, 2002, 48(2): 158~167 (in Chinese with English abstract).
- [18] 钟大赉, 丁林, 张进江, 等. 中国造山带研究的回顾和展望[J]. *地质论评*, 2002, 48(2): 147~152.
Zhong Dalai, Ding Lin, Zhang Jinjiang, et al. Study of orogenic belts in China: retrospects and prospects [J]. *Geological Review*. 2002, 48(2): 147~152 (in Chinese with English abstract).
- [19] Bell T H, Ham A P, Kim H S. Partitioning of deformation along an orogen and its effects on porphyroblast growth during orogenesis[J]. *Journal of Structural Geology*, 2004, 26: 825~845.
- [20] 郑亚东, 常志忠. 岩石有限应变测量及韧性剪切带[M]. 北京: 地质出版社, 1985. 1~99.
Zheng Yadong, Chang Zhizhong. Finite Strain Measurement and Ductile Shear Zones [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1985. 1~99 (in Chinese with English abstract).
- [21] Arnaud F, Boullier A M, Burg J P. Shear structures and microstructures in micaschists: the Variscan Cevennes duplex (French Massif Central) [J]. *Journal of Structural Geology*, 2004, 26(8): 855~868.
- [22] Bell T H, Wang Jianqi. Linear indicators of movement direction versus foliation intersection axes in porphyroblasts (FIAs) and their relationship to direction of relative plate motion[J]. *Earth Science Frontiers*, 1999, 6(3): 31~47.
- [23] Northrup C J, Burchfiel B C. Orogen-Parallel transport and vertical partitioning of strain during oblique collision, Eofjorden, north Norway[J]. *Journal of Structural Geology*, 1996, 18(10): 1231~1244.
- [24] Chadwick B, Vasudev V N, Hegde G V. The Dharwar craton, southern India, interpreted as the result of Late Archaean oblique convergence[J]. *Precambrian Research*, 2000, 99: 91~111.
- [25] Claypool A L, Klepeis K A, Dockrill B, et al. Structure and kinematics of oblique continental convergence in northern Fiordland, New Zealand[J]. *Tectonophysics*, 2002, 359: 329~358.
- [26] Chen W-P, Chen C-Y. Seismogenic structures along continental convergent zones: from oblique subduction to mature collision [J]. *Tectonophysics*, 2004, 385: 105~120.
- [27] Delteil J, Stephan J-F, Lepinay B M, et al. Wrench tectonics flip at oblique subduction, a model from New Zealand. C.R. [J]. *Geoscience*, 2003, 335: 743~750.
- [28] Ding G, Chen J, Tian Q, et al. Active faults and magnitudes of left-lateral displacement along the northern margin of the Tibetan Plateau[J]. *Tectonophysics*, 2004, 380: 243~260.
- [29] Doser D I, Lomas R. The transition from strike-slip to oblique subduction in southeastern Alaska from seismological studies [J]. *Tectonophysics*, 2000, 316: 45~65.
- [30] Driaison M, Cobbold P R, Rossello E A, et al. Neogene dextral transpression due to oblique convergence across the Andes of northwestern Patagonia, Argentina [J]. *Journal of South American Earth Sciences*, 1998, 11(6): 519~532.

- [31] Fritz H, Messner M. Intramontane basin formation during oblique convergence in the Eastern Desert of Egypt: magnetically versus tectonically induced subsidence [J]. *Tectonophysics*, 1999, 315: 145~162.
- [32] Lamarche G, Lebrun J-F. Transition from strike-slip faulting to oblique subduction: active tectonics at the Puysegur Margin, South New Zealand [J]. *Tectonophysics*, 2000, 316: 67~89.
- [33] Little T A, Hoccombe R J, Ilg B R. Ductile fabrics in the zone of active oblique convergence near the Alpine Fault, New Zealand: identifying the neotectonic overprint [J]. *Journal of Structural Geology*, 2002, 24: 193~217.
- [34] Little T A, Holcombe R J, Ilg B R. Kinematics of oblique collision and ramping inferred from microstructures and strain in middle crustal rocks, central Southern Alps, New Zealand [J]. *Journal of Structural Geology*, 2002, 24: 219~239.
- [35] Konopasek J, Kroner S, Kitt S L, et al. Oblique collision and evolution of large-scale transcurrent shear zones in the Kaoko belt, NW Namibia [J]. *Precambrian Research*, 2005, 136: 139~157.
- [36] McClay K R, Whitehouse P S, Dooley T, et al. 3D evolution of fold and thrust belts formed by oblique convergence [J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2004, 21: 857~877.
- [37] Melhuish A, Sutherland R, Davey F J, et al. Crustal structure and neotectonics of the Puysegur oblique subduction zone, New Zealand [J]. *Tectonophysics*, 1999, 313: 335~362.
- [38] Solar G S, Brown M. Deformation partitioning during transpression in response to Early Devonian oblique convergence, northern Appalachian orogen, USA [J]. *Journal of Structural Geology*, 2001, 23: 1043~1065.
- [39] Vernant Ph, Nilforoushan E, Chery J, et al. Deciphering oblique shortening of central Alborz in Iran using geodetic data [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2004, 223: 177~185.

Oblique collision and convergence factor on the northern margin of the Qinling orogenic belt

SONG Chuan-zhong¹, ZHANG Guo-wei², NIU Man-lan¹, LIU Guo-sheng¹, HUO li-xin¹

(1. School of Resources and Environment, Hefei University of Technology, Hefei 230009, Anhui, China;

2. Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, Shaanxi, China)

Abstract: The Luonan-Luanchuan fault zone on the northern margin of the Qinling Mountains is a convergence belt between the North China plate and Qinling orogenic belt with the natures of SW-NE-directed subduction and sinistral strike-slip motion. It shows an association style of imbricate structure and duplex structure. The structures of different natures on the northern margin of the Qinling Mountains make up a regular pattern, with their distribution direction and kinematic mode coinciding with the kinematic features of the convergence plate. The results of deformation analysis indicate that the deformed rocks in the area are mainly the product of the middle and upper crust. The triaxial ratio of rock finite strain is $X:Y:Z = 8.86:4.32:1$ and the strain ellipsoid is flat-ellipsoidal. The convergence factors are as follows: in the Luonan area the direction of plate convergence is 22° and the angle between the plate convergence direction and plate boundary is 73° and in the Luanchuan area the direction of plate convergence is 31° and the angle between the plate convergence direction and plate margin is 82° . This shows that the collision and convergence between the Qinling orogenic belt and the southern margin of the North China plate have the typical features of oblique convergence.

Key words: Qinling orogenic belt; oblique convergence; convergence factor; continental accretion

About the first author: SONG Chuan-zhong, male, born in 1954, professor and doctor director, mainly engages in the teaching and study of structural geology; E-mail: czs12258@mial.hf.ah.cn.