

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

问题
讨论

变质核杂岩的旋扭成因

——滇东南老君山变质核杂岩的构造解析

李东旭¹⁾ 许顺山²⁾

1) 中国地质大学, 北京, 100083

2) 中国地质科学院地质力学研究所, 北京, 100081

内容提要 通过滇东南老君山变质核杂岩特征及周围构造环境的力学分析及历史分析认为, 该变质核杂岩实质上是旋扭构造的砥柱, 而旋扭构造又源于文山—麻栗坡断裂的走滑运动, 拆离伸展构造晚于旋扭构造。因此提出了变质核杂岩旋扭成因的新看法, 并认为越北古陆的形成是由于印度板块与扬子板块的碰撞导致红河断裂和文山—麻栗坡断裂的走滑运动进而引起的旋扭隆升。后期叠加伸展拆离作用。

关键词 变质核杂岩 旋扭构造 走滑断裂 构造解析 滇东南

变质核杂岩概念是由研究片麻岩变质穹隆逐步发展起来的。后来美国地质学家 Davis 等 (1979, 1983) 正式提出变质核杂岩一词, 并由 Coney (1980) 限定了其使用范围。从此变质核杂岩概念被广泛应用。在变质核杂岩成因方面争论最大的要算低角度正断层 (Amstrong, 1972; Profett, 1977; Wernicke, 1981; Davis, 1988, Davis et al., 1988; Lister et al., 1989; Bartley et al., 1990; Hill et al., 1992) 及杂岩中心岩浆岩的形成机制 (Meyer et al., 1991; Davis et al., 1993; Leeman et al., 1993; Wenrich et al., 1995; Hill et al., 1995)。在低角度正断层方面, Davis (1983) 提出的剪切带模式是到目前为止最经典的成因模式。而在岩浆岩与变质核杂岩的关系方面, 多数学者主张岩浆上隆引起伸展拆离, 少数学者认为伸展拆离作用导致岩浆上升侵位。

我国学者也相继发现了许多变质核杂岩 (郑亚东等, 1993; 宋鸿林, 1996; 孔华等, 1996; 刘树文等, 1998; 张进江等, 1998; Zhang et al., 1999)。但对变质核杂岩的力学成因解释大都采用 Lister 和 Davis 建立的伸展构造模式, 其基本思想是伸展导致地壳减薄和地幔上隆, 从而使中下地壳剥露 (Crittenden, 1980)。但根据地壳均衡原则, 在地幔上隆的同时, 上地壳下陷并接受沉积, 这一过程只能使变质核杂岩接近地表, 并不能使变质核杂岩出露地表 (颜丹平, 1997)。从变质核杂岩的分布来看, 除典型的造山带构造环境外, 板块内部也发现不少变质核杂岩, 它们多分布于大型走滑断裂的旁侧。造山带的侧向挤出可使与造山带平行的断裂发生走滑, 因此有些学者注意到变质核杂岩或地块隆升与断裂的走滑运动有关 (Wang et al., 1988; 赵越等, 1996), 但未做深入的成因机制探讨。李东旭曾就断层走滑及旋卷构造与变质核杂岩的关系进行过初步论述 (Li et al., 1996)^①。本文通过滇东南老君山变质核杂岩特征及周围构造环境的力学分析及历史分析提出, 该变质核杂岩实质上是旋扭构造的砥柱的概念, 是地块旋转运动的结

注: 本文为原地质矿产部地质行业发展基金和地质力学开放实验室资助项目。

①李东旭, 1994. 云南老君山变质核杂岩与旋卷构造. 第五届全国地质力学讨论会摘要汇编。

本文 1999 年 3 月收到, 11 月改回, 任希飞编辑。

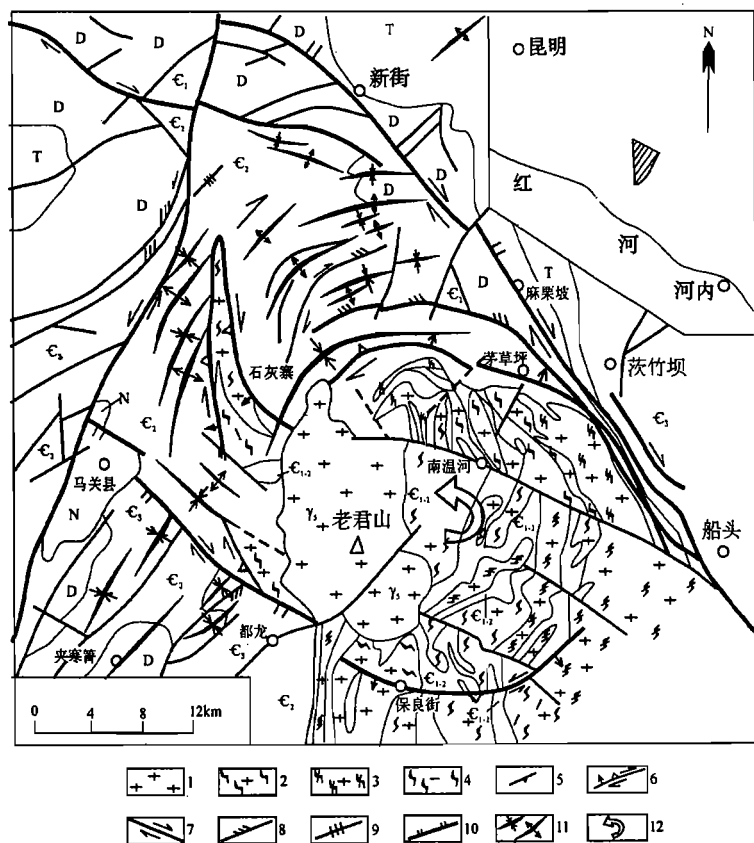


图 1 老君山地区变质核杂岩和旋转构造图

(据云南省区调队 1:20 万地质图改编)

Fig. 1 Structural map of Laojunshan area (after unpublished data of Yunnan Regional Geological Survey) showing metamorphic core complex and vortex structure

1—老君山花岗岩;2—花岗质糜棱岩及片麻岩;3—眼球状糜棱化混合岩;4—条痕状糜棱化混合岩;5—糜棱面理;6—拆离断层;7—走滑断层;8—压扭断层;9—压性断裂;10—张性断裂;11—背斜或向斜;12—旋转方向

1—Laojunshan granite;2—granite, mylonite and gneiss;3—augen mylonite and gneiss;4—streaky mylonite and gneiss;5—mylonite foliation;6—detachment fault;7—strike-slip fault;8—compressive-shear fault;9—compressive fracture;10—tensile fracture;11—anticline or syncline;12—rotational direction

产局,1990)^①(图 1),断块西北和西南角是由中寒武统龙哈组上部未变质或浅变质的沉积地层组成,周边有少量泥盆纪地层不整合在中寒武统之上,在这个三角形的断块内缺失奥陶纪至志留纪地层,总体看来为一隆起伸展地块。早在 70 年代云南省区调队在这里填制 1:20 万地质图曾发现未变质的沉积盖层中发育一系列弧形褶皱与断裂,从而提出该区为一旋卷构造,旋卷构造的砥柱为老君山二云母花岗岩体^①。现在看来它也是一典型的变质核杂岩构造,因为其组成的双层结构和几何形态都符合变质核杂岩的定义,只是在成因上还有明显的旋扭特征。

果,而旋扭运动的动力又起因于文山—麻栗坡断裂走滑运动,伸展拆离构造变质核杂岩是后期隆升的结果。

1 地质构造概况

研究区位于滇东南麻栗坡、马关之间,毗邻中越边界(图 1 右上角),构造单元划分属滇东南褶皱带(云南省地质矿产局,1990),本区南部混合岩系属越北古陆泸江带齐江花岗质深成岩体北端。Staritskiy 等(1973)称其为齐江岩块。研究区的东北边界为走向 NW 的文山—麻栗坡断裂,西部边界为走向 NNE 的马关走滑断裂,南部边界为中越国界线。

在这一三角形断块中的东南为一由下、中寒武统的大寨组、冲庄组、田蓬组为基质,海西期南温河花岗岩为脉体(342 Ma)的混合岩及燕山早期老君山花岗岩(168~186.2 Ma)组成的变质核杂岩穹隆(云南省地质矿产局,1990)

① 张长华. 1979. 一个旋卷构造的厘定及其意义. 滇东南地质, (7): 14~21.

2 变质核杂岩及旋扭构造

2.1 变质核杂岩

变质核杂岩构造作为一种构造型式的主要特征是:形态呈穹隆状,但其核部必须由强烈变形的变质岩(或混合岩)及时代较新的花岗质深成岩组成;其上覆盖有远比核部岩石变形变质程度为轻的沉积盖层;两者之间为拆离断层所分隔,伴随拆离面发育程度不等的糜棱岩。

老君山变质核杂岩的核部与周围沉积盖层为断层接触,平面形状呈浑圆形,南北直径约25 km,东西直径约28 km,其东南部与越南齐江岩块相连,西部伸出一牛角状花岗片麻岩插入寒武纪沉积地层中,从而使该变质杂岩核的形状酷似变质岩中的 σ 形旋转斑晶。该变质杂岩核的东半部为强变形变质混合花岗岩,称为南温河花岗岩;西半部为老君山二云母花岗岩复式岩体,该岩体可进一步划分为3个单元或3期脉动侵入:中粗粒至斑状二云母花岗岩、细一中粒二云母花岗岩及花岗斑岩。

2.2 深成韧性旋卷构造

笔者通过野外和显微镜下观察,发现南温河正负变质相间的混合岩大多有不同程度的糜棱岩化,糜棱叶理可见S-C组构(图版I-1),石英和长石多有塑性变形,经历了动态重结晶,呈现缢带构造,石英、长石拉长呈细长条状(图版I-2、3),黑云母变斑晶呈鱼形(图版I-4)。变质程度至少已达低角闪岩相。因此南温河花岗岩或混合岩的岩石命名都应冠以糜棱岩化,如眼球状糜棱岩化混合岩、条痕状糜棱岩化混合岩等。从而构成典型的深层流变型韧性旋卷构造。

近年来研究表明,花岗岩体侵位过程应存在着一个从牛顿流体到非牛顿流体到固体作用的连续物态变化过程,可将其称之为岩浆流、亚岩浆流、高温固态流、低温固态流。花岗岩浆的流变行为还依赖于花岗岩产生的构造背景和类型。南温河岩体自身特征已清楚表明其地质演化历史,即南温河花岗岩的上升侵位是在低温固态流状态和地块旋转条件下,非牛顿流体的岩浆体的螺旋上升侵位,岩体侵位之后仍有旋转剪切断续作用。这些变形变质带的弧形展布向东南撒开、向北西收敛的特点又表明动力作用方式是反时针旋扭状态。

2.3 盖层旋卷构造

变质核杂岩的北部和西部的沉积盖层主要分布中寒武统龙哈组和田蓬组的白云岩、白云质灰岩和粉砂质页岩。靠近文山—麻栗坡断裂有中、下泥盆统泥岩、细砂岩、泥灰岩等不整合在龙哈组之上。马关—都龙NW向断裂之南出露上寒武统泥质条带灰岩。这些沉积盖层遭受轻微变质成板岩、千枚岩、变质砂岩,属低绿片岩相。

沉积盖层的旋扭构造仅局限于变质核杂岩的西北部。中寒武统龙哈组和田蓬组构成弧形褶皱和压扭形弧形断裂。北部的褶皱轴线和断层向西收敛、向东撒开、向北凸出。弧形断裂面上的擦线及分支构造一致表明,内旋层向西南扭动,外旋层顺时针扭动。值得注意的是这套旋转构造为浅层变形变质相,而核杂岩内部的糜棱岩化混合岩组成的旋转构造属深层变形变质相。

2.4 弧形拆离断层

从前述可看出变形变质核杂岩与沉积盖层变质程度差异明显。二者由两条弧形拆离断层分隔,一条断裂是从石灰寨经茅草坪直到船头,即文山—麻栗坡断层之西;另一条是西部牛角形花岗片麻岩之西侧与沉积盖层的接触面,这条拆离断层向东延伸与保良街弧型断裂相连。这两条拆离断层倾角都偏陡,向沉积盖层倾斜,下盘为糜棱岩化眼球状、条痕状混合岩或糜棱岩

化花岗片麻岩。值得注意的是有些地段断面上可见两组擦痕线,一组近水平,倾伏角 20° 左右;另一组近直立倾伏角在 55° 以上(图2)。表明拆离断层至少有两次活动,早期为近水平的弧形剪切,晚期为沿倾向的伸展剪切。此外,在由中寒武统和下、中泥盆统构成的沉积盖层中普遍发育顺层拆离滑脱现象(图3),伴随变形变质常见白云质灰岩顺层糜棱岩化现象,沿泥质碎屑岩层层面云母集中,反映出伸展减薄。

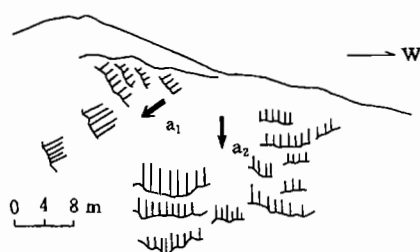


图2 南温河—弧形断层面的两套擦痕

Fig. 2 Two sets of striation on an arcuate fault plane in Nanwenhe

a_1 —倾向东 20° ; a_2 —倾向北 55°

a_1 —Dip E pitch 20° ; a_2 —dip N pitch 55°

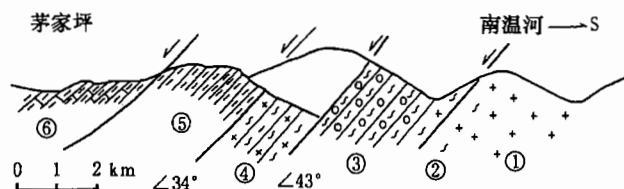


图3 茅草坪拆离断层

Fig. 3 Detachment faults in Maocaoping

①—花岗岩; ②—糜棱岩化花岗片麻岩; ③—眼球片麻状糜棱岩;

④—花岗质糜棱岩化片麻岩; ⑤—片状糜棱岩; ⑥—片状泥岩

①—Granite; ②—mylonitized granite-gneiss; ③—augen mylonite;

④—granitic-mylonitized gneiss; ⑤—schist mylonite; ⑥—schist mudstone

3 走滑断裂及隆升地块

3.1 走滑断裂

区域上存在两条主要走滑断裂,其一为NW向文山—麻栗坡右行走滑断裂,根据两侧地层记录,这条断裂属长期多次活动的断裂。早在早古生代就有显示,从加里东期、海西期、印支期、燕山期直到喜马拉雅期都有活动。总体效果为右行压扭走滑性质,它不仅控制断层两侧的地层沉积,且控制岩浆活动。从更大区域背景来看,这条断裂与红河断裂平行、且性质一致,反映了这条断裂活动与印度板块和扬子板块有关(Tapponier, 1986, 1990; 杨振宇等, 1998; 张进江等, 1999),也是导致旋转构造和变质核杂岩形成的主要动力来源。

另一条为NNE向马关左行走滑断裂,这条断层切割NW向断层,并控制晚第三纪马关盆地。规模虽然不大,但其性质与中国东部新华夏系主干断裂和伴生断裂的性质完全一致(王嘉荫等, 1974; 谭忠福等, 1983),同属左行扭压走滑或斜冲性质。这条断裂的西侧可见上寒武统、奥陶系、二叠系—三叠系,而断层之东则缺失。

3.2 隆升地块

地层分布表明,夹持于文山—麻栗坡断裂和马关断裂之间的三角型地块有明显隆升现象,地块内部缺失晚奥陶世、志留纪以及泥盆纪以上的晚古生代和中生代地层。详细观察表明马关到都龙还有一条与文麻断裂平行的NW向断裂,这条断裂的规模虽然不大,但对地层控制也非常明显。断层之南分布有晚寒武世和泥盆纪地层,断层之北则缺失,表明本区的隆升早在加里东期就有表现,现在隆起的最高点是变质核杂岩中的老君山花岗岩,海拔高度达2579 m。

4 构造演化和动力学分析

综上所述不难看出老君山变质核杂岩的形成不是一次简单的伸展拆离作用或一次简单的旋扭作用的结果,而是经历了一个比较复杂的演化过程。通过综合分析可将老君山变质核杂岩

的形成过程分为5个阶段(图4)。

(1)加里东期开始出现幔隆,并导致中下地壳局部熔融形成深层岩浆房。从区内泥盆纪地层不整合于寒武纪地层之上,可得到证明。此阶段可引起局部伸展。

(2)海西期文山—麻栗坡断裂的右行走滑引起南温河花岗岩岩浆螺旋上升—混合岩化—糜棱岩化,变质杂岩初步形成。

(3)伴随文山—麻栗坡断裂的进一步剪切走滑,摩擦生热导致中地壳再次重熔,形成二云母花岗岩浆,在地壳浅部由于右旋扭动引起断块内部东西向的拉张,从而造成老君山岩体呈南北向侵位。

(4)燕山晚期在文山麻栗坡断裂的右行走滑的带动下,本区地块再次旋转,从而形成盖层旋卷构造及变质核杂岩。

(5)喜马拉雅期伴随杂岩核的隆升,沉积盖层再次局部伸展。

5 结论和讨论

(1)本区变质核杂岩的岩性组成和几何形态完全符合变质核杂岩定义(Coney, 1980)。但从地层层位看,杂岩核内部的糜棱岩化混合岩中的负变质基体为早、中寒武世地层,而覆盖其上的浅变质上寒武统不存在远距离滑移,因此本区的变质核杂岩相当Segfert的I型。

(2)从周围构造环境考察,围限本区核杂岩的断裂都属压扭走滑性质断裂,不存在大范围的伸展构造现象。

(3)两套不同构造层次的旋转构造是本区变质核杂岩的突出特点。核杂岩内部的糜棱岩化混合岩带是一种典型的深层旋转构造,其形成时代是在海西期南温河花岗岩侵

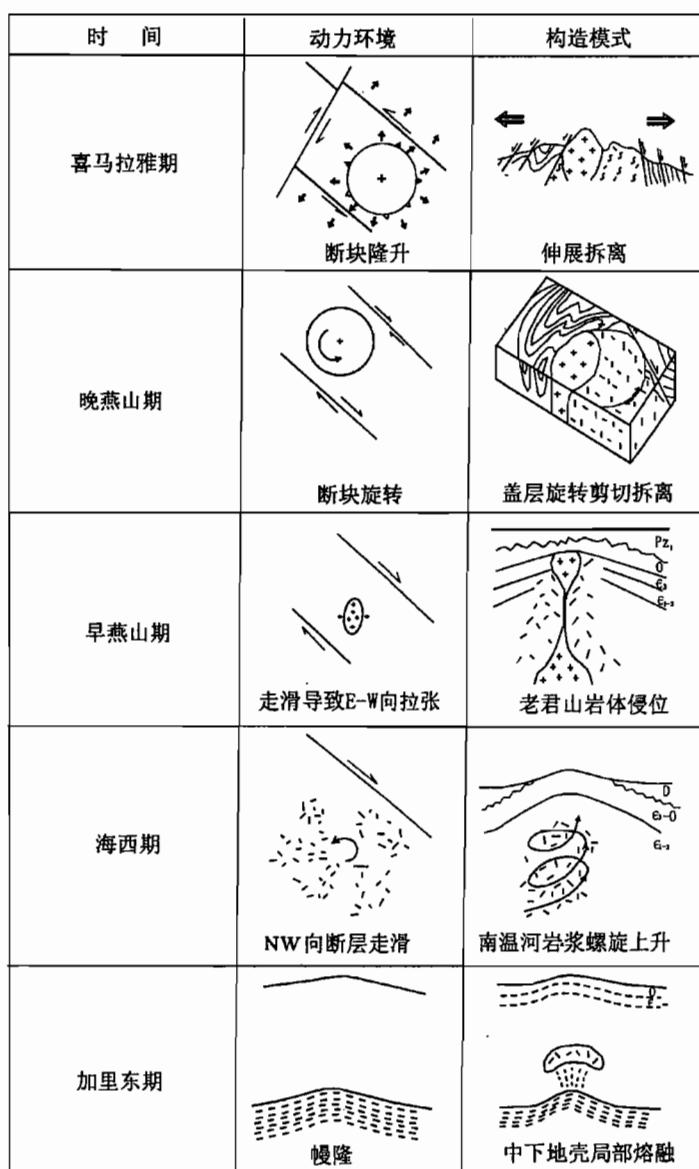


图4 老君山变质核杂岩的构造演化

Fig. 4 Tectonic evolution and the formation of the Laojunshan metamorphic core complex

人之后,可能属印支运动的产物。沉积盖层中的旋转构造属浅层的旋转构造,形成于燕山早期老君山花岗岩侵入之后。早期旋转构造形似一巨型旋转斑晶构成晚期旋转构造的砥柱。

(4)变质核杂岩的形成主要由旋卷构造所控制,后期叠加伸展拆离作用强化了隆升效应。

(5)本区变质核杂岩的构造解析可进一步推广到对“越北古陆”的认识,“越北古陆”在区域地质研究中一直是个难解的课题。早期研究者曾将其定为元古宙变质结晶地块,后来有人将其列为加里东褶皱带沪江带。现在看来很可能是红河大断裂和文山—麻栗坡断裂之间走滑扭动形成的规模更大的旋转构造和变质核杂岩。

(6)有关旋扭成因的变质核杂岩,在我国其他地区诸如江西庐山、安徽董岭、贵州梵净山等地也可能由于走滑断裂导致的旋扭作用的结果,有待进一步研究。

参 考 文 献

- 孔华,段嘉瑞,何绍勋. 1996. 金沙江变质核杂岩的岩石学特征及其地质意义. 中南工业大学学报, (6): 642~646.
- 刘树文,张进江,郑亚东. 1998. 小秦岭变质核杂岩同变形期的 $P-T$ 路径. 科学通报, 43(3): 312~318.
- 宋鸿林. 1996. 北京房山变质核杂岩的基本特征及成因探讨. 现代地质, 10(2): 149~158.
- 谭忠福,张启富. 1983. 中国东部新华夏系的演化规律及其成因机制的初步探讨. 地质学报, 57(1): 43~50.
- 王嘉荫, 玄孝千. 1974. 北石城新华夏系断裂带的初步研究. 地质学报, 48(1): 23~35.
- 颜丹平. 1997. 变质核杂岩研究的新进展. 地质科技情报, 16(3): 13~19.
- 杨振宇, Besse J, 孙知明等. 1998. 印度支那地块第三纪构造滑移与青藏高原岩石圈构造演化. 地质学报, 72(2): 112~125.
- 云南省地质矿产局. 1990. 云南省区域地质志. 北京: 地质出版社.
- 赵越, 徐守礼, 杨振宇. 1996. 沿大型走滑断裂系的隆升. 地质科学, 31(1): 1~14.
- 张进江, 郑亚东. 1998. 变质核杂岩与岩浆作用成因关系综述. 地质科技情报, 17(1): 19~25.
- 张进江, 钟大赉, 周勇. 1999. 东南亚及哀牢山红河构造带构造演化的讨论. 地质论评, 45(4): 337~344.
- 郑亚东, 张青. 1993. 内蒙古亚干变质核杂岩与伸展拆离断层. 地质学报, 67(2): 301~309.
- Armstrong R L. 1972. Low-angle fault, hinterland of the sevier belt, Eastern Nevada and Western Utah. Geol. Soc. Am. Bull., 83: 1729~1754.
- Bartley J M, Fletcher J M, Glazner A F. 1990. Tertiary extension and contraction of lower-pate rocks in the central Mojave metamorphic core complexes, Southern California. Tectonics, 9: 521~534.
- Coney P J. 1980. Cordilleran metamorphic core complexes: an overview. Geological Society of America Memoir, 153: 7~31.
- Crittenden M D. 1980. Metamorphic core complexes of the North American Cordillera: Summary. Geol. Soc. Am. Mem., 153: 485~490.
- Davis G A, Lister G S. 1988. Detachment faulting in continental extension: perspectives from the southwestern U. S. Cordillera. John Rodgers Symposium Volume, Spec. Pap. Geol. Soc. Am. 218: 133~159.
- Davis G A. 1988. Rapid upward transport of mid-crustal mylonitic gneisses in the footwall of a Miocene detachment fault, Whipple Mountain, Southeastern California. Geol. Rundsch., 77: 191~209.
- Davis G H. 1979. Geological development of the Cordilleran metamorphic core complexes. Geology, 7: 120~124.
- Davis G H. 1983. Shear-zone model for the origin of metamorphic core complex. Geology, 11: 343~347.
- Davis J, Hawkesworth C J. 1993. The petrogenesis of 20~30 Ma basic and intermediate volcanics from the Moollon-Datil volcanic field, New Mexico, USA. Contrib. Mineral. Petro., 115: 165~183.
- Hill H J, Baldwin S L, Lister G S. 1992. Unroofing of metamorphic core complexes in the D'Extrecaetanx Islands, Papur New Guinea. Geology, 20: 907~910.
- Hill H J, Baldwin S L, Lister G S. 1995. Magmatism as an essential driving force for formation of active metamorphic core complexes in Easten Papur, New Guinea. J. Geophys. Res., 100: 10453~10476.
- Leeman W P, Harry D L. 1993. A binary source model for extension-related magmatism in the Great Basin, West North America. Science, 1550~1554.
- Li Dongxu, Deng Jun. 1996. Metamorphic core complex and Vortex structure in Laojunshan, southeaster Yunnan Province. Scientia Geologica Sinica, 5(1): 1~9.
- Lister G S, Davis G A. 1989. The origin of metamorphic core complexes and detachment faults formed during Tertiary continental extension in the north Colorado river region, USA. J. Struct. Geol., 11(1/2): 65~94.

- Meyer J, Foland K A. 1991. Magmatic-tectonic interaction during early Rio Grande rift extension at Questa, New Mexico. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 103:993~1006.
- Profett J M Jr. 1977. Cenozoic geology of the Yerington district, Nevada, and implications for the nature and origin of Basin and Range faulting. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 88:247~266.
- Staritskiy Yu G, et al. 1973. Tectonic development of North Vietnam. *International Geology Review*, 15(12): 1381~1390.
- Wang X, Neubauer F. 1988. Orogen-parallel strike-slip faults bordering metamorphic core complex; the Salzach-Enns fault zone in the eastern Alps, Austria. *Journal of Structural Geology*, (6):799~818.
- Wenrich K J, Billingsley G H, Nealey L D, et al. 1995. Spatial migration and compositional changes of Miocene-Quaternary magmatism in the western Grand Canyon. *J. Geophys. Res.*, 100:10381~10402.
- Wernicke B. 1981. Low-angle normal faults in the Basin and Range Province; nappe tectonics in an extending orogen. *Nature*, 291:645~647.
- Zhang J, Zheng Y. 1999. Multistage extension and age dating of the Xiaolinling metamorphic core complex, central China. *Acta Geologica Sinica*, 73(2):139~147.

图 版 说 明

1. 糜棱岩化条痕状混合岩露头,可见 S—C 面理结构(南温河)。
2. 糜棱片岩中石英条带晶体粗大(马鹿塘)。4×10,正交。
3. 糜棱岩化条痕状混合岩中微斜长石拉成细条状(南温河)。4×10,正交。
4. 角闪岩相糜棱岩退变质黑云母变斑晶(马鹿塘)。4×10,正交。

Rotation-shearing Genesis of Metamorphic Core Complex

——Structural Analysis of Metamorphic Core Complex in Laojunshan, Southeastern Yunnan Province

Li Dongxu¹⁾ Xu Shunshan²⁾

1) *China University of Geoscience, Beijing*, 100083; 2) *Institute of Geomechanics, CAGS, Beijing*, 100081

Abstract

The paper gives a mechanical and history analysis on the characteristic of Laojunshan metamorphic core complex in southeastern Yunnan and its structural environment, and considers that metamorphic core complex is actually a nuclear column of a vortex structure, which was caused by the Wenshan—Malipo strike-slip fault. Later extensional detachment strengthened uprising of the metamorphic core complex. The significance lies in that the paper puts forward the rotation-shearing genesis of metamorphic core complex, which can rationally interpret that the formation of Viet Bac old landmass is due to the collision between Indo plate and Yangtzi plate and the rotation-shearing uplift due to the strike-slip movement of the Red River fault and Wenshan—Malipo fault.

Key words: metamorphic core complex; rotation-shearing structure; strike-slip fault; structural analysis; southeastern Yunnan Province

作 者 简 介

李东旭,男,1933年生。教授,博士生导师,主要从事构造地质研究工作。通讯地址:100083,北京市学院路29号,中国地质大学。

