

文章编号: 1009-3850(2000) 01-0052-08

南迦巴瓦构造结的楔入及其地质效应

刘宇平, 潘桂棠, 耿全如, 郑来林, 刘朝基

(成都地质矿产研究所, 四川 成都 610082)

摘要: 南迦巴瓦构造结由其核部的喜马拉雅构造单元和周边的冈底斯构造单元、雅鲁藏布构造单元组成。喜马拉雅构造单元为构造楔入体, 两侧发育有右旋和左旋走滑断层系, 构成南迦巴瓦楔入构造。由于南迦巴瓦构造结的楔入作用, 使雅鲁藏布缝合线横推错位, 形成滇藏涡旋构造, 并为雅鲁藏布大峡谷的形成奠定了基础。南迦巴瓦楔入构造的形成与印度板块连续的向北汇聚推挤作用发生反时针旋转有关, 并可分为点碰撞(45 Ma 前)、碰撞楔入(45 ~ 7 Ma)和旋转抬升(7 Ma 以来)三个阶段。

关键词: 南迦巴瓦构造结; 楔入; 滇藏涡旋构造; 雅鲁藏布大峡谷

中图分类号: P542

文献标识码: A

The wedging of the Namjagbarwa syntaxis in southeastern Xizang and its geological effects

LIU Yu-ping, PAN Gui-tang, GENG Quan-ru, ZHENG Lai-lin, LIU Chao-ji

Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610082, China

Abstract: The Namjagbarwa syntaxis consists of three tectonic units: the central Himalayan tectonic unit, and marginal Gangdise and Yarlung Zangbo tectonic units. The Namjagbarwa wedge structures are represented by the Himalayan tectonic unit as a structural wedge, and its surrounding right- and left-dextral strike-slip faults systems. The wedging of the Namjagbarwa syntaxis, in turn, has permitted the transcurrent dislocation of the Yarlung Zangbo suture zone and the formation of the Yunnan-Xizang whirl structures, from which the Yarlung Zangbo Grand Canyon resulted as the most magnificent canyon in the world. The genesis of the Namjagbarwa wedge structures is interpreted to be related to the continuous northward compression and counterclockwise rotation generated during the northward shift of the Indian plate.

The wedging processes include three stages of point collision ($> 45\text{ Ma}$), collisional wedging ($45-7\text{ Ma}$) and rotational uplift ($< 7\text{ Ma}$).

Key words: Namjagbarwa syntaxis; wedging; Yunnan-Xizang whirl structure; Yarlung Zangbo Grand Canyon

由于印度板块与欧亚板块的碰撞形成了青藏高原及喜马拉雅山脉,并在喜马拉雅山脉的东、西两端形成了东喜马拉雅构造结和西喜马拉雅构造结(帕米尔)。由于两个构造结的特征不同,因而所产生的地质效应也不尽相同。东喜马拉雅构造结即南迦巴瓦-阿萨姆“犄角”由南迦巴瓦构造结和阿萨姆(Assam)构造结构成。南迦巴瓦作为楔入构造,所产生的地质效应较为特殊。

1 南迦巴瓦构造结的构成

南迦巴瓦构造结由三个构造单元构成(图1),其核部为喜马拉雅构造单元,周边为冈底斯构造单元和雅鲁藏布构造单元,各构造单元之间以剪切带或断裂带为界。

喜马拉雅构造单元属于印度板块,相当于喜马拉雅中段的高喜马拉雅带,它构成了印度

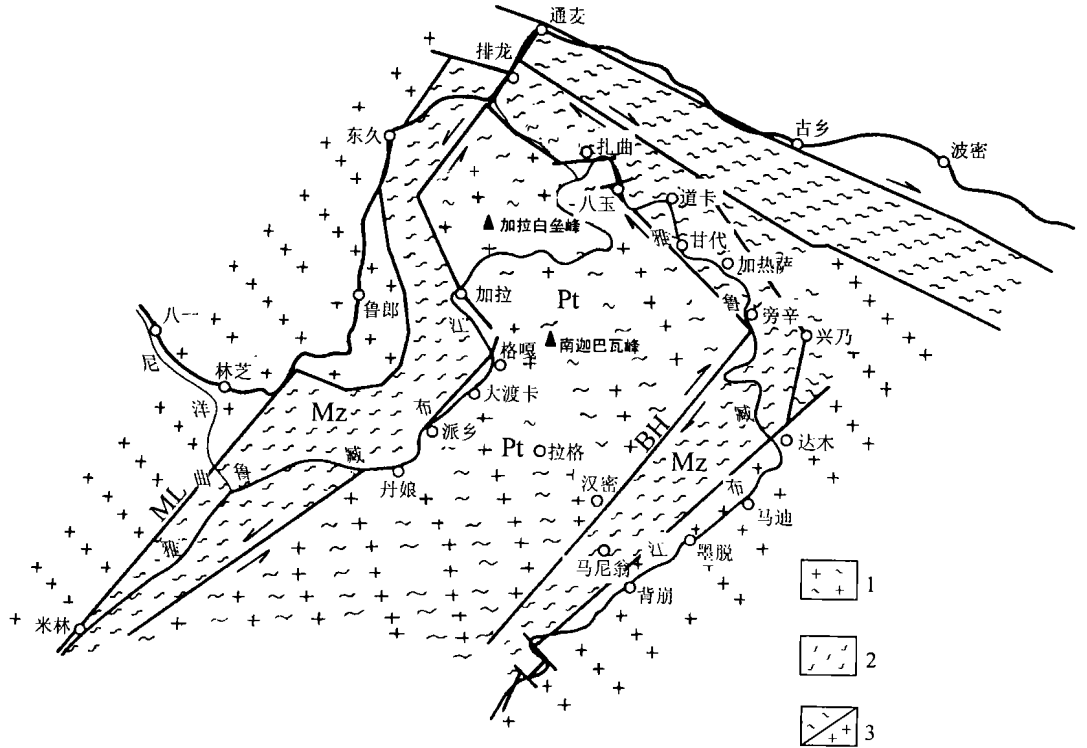


图1 南迦巴瓦地区地质构造单元示意图

1. 喜马拉雅构造单元; 2. 雅鲁藏布构造单元; 3. 冈底斯构造单元。ML. 米林-鲁朗剪切带; BH. 旁辛-汗密剪切带

Fig. 1 Division of the tectonic units in the Namjagbarwa area, southeastern Xizang

1= Himalayan tectonic unit; 2= Yarlung Zangbo tectonic unit; 3= Gangdise tectonic unit; ML= Mainling-Lunang shear zone; BH= Pangxing-Hanmi shear zone

板块的基底,其岩石单元称之为元古宇南迦巴瓦群,主要由高级变质岩和黑云角闪斜长片麻岩、蓝晶石-夕线石-石榴子石斜长片麻岩、斜长角闪岩和角闪岩组成,其中有石榴角闪岩(榴闪岩)和石榴单斜辉石岩呈透镜状产出,并有高压麻粒岩的残留体产出^[1,2]。岩石经历了多相变质和变形作用,发育麻粒岩相-低角闪岩相,变质岩的 K-Ar 平均年龄值为 26.73Ma,属于喜马拉雅期变质的产物,发育与西喜马拉雅构造结高压榴辉岩相相似的高压麻粒岩相,从早期的高压麻粒岩相变质(M_1)到中期的中压麻粒岩角闪岩相(M_2)变质作用,至最后的退变质作用(M_3)。估算 M_1 变质的压力 $p=1.4\sim 1.7\text{GPa}$,相当于 50~60km 厚的地壳部位形成^[2],随后退变成中压变质,这与西喜马拉雅构造结十分相似,也曾经历了早期的高压变质作用,所不同的是西喜马拉雅构造结发生有榴辉岩相的高压变质作用。

冈底斯构造单元是冈底斯岛弧的东延,主要为燕山-喜马拉雅期花岗岩、基底变质岩系和古生代的沉积岩系。

雅鲁藏布构造单元介于喜马拉雅单元和冈底斯单元之间,主要为绿片岩相-低角闪岩相变质的阳起石片岩、石英片岩、角闪片岩、斜长角闪片岩和长英质糜棱片岩,并有变质的超基性岩、基性岩和似蛇绿岩及混杂堆积体。该单元是雅鲁藏布缝合带的东延,但由于强烈的变形位移,现仅保存了部分残片。

2 南迦巴瓦楔入构造

南迦巴瓦楔入构造由楔入体和走滑断层系组成(图 1)。

楔入体由前寒武纪的喜马拉雅构造单元构成,它是印度板块的基底,呈北东向延伸数百公里,宽约数十公里,通过线理、片麻理及面理褶皱分析,致少可识别出三次构造变形,第一次自北向南逆冲,喜马拉雅构造单元中形成 EW 走向、北倾并向南逆冲的断层系及其与共存的东西向褶皱;第二次以 NE 向的走滑剪切、向南逆冲和向北的伸展为特征,NE 向的走滑发生在喜马拉雅构造单元的东西两侧,东侧为旁辛-汗密右旋走滑剪切带,西侧为米林-鲁郎左旋走滑剪切带,喜马拉雅构造单元的内部以向南的逆冲为特征;第三次以抬升和走滑变形为特征,抬升主要发生在构造结的核部,旋转走滑产生于构造结的外部。

走滑断层系在楔入体东、西两侧分别发育有右旋走滑和左旋走滑的剪切作用,北东侧以伸展和右旋走滑为特征。在楔入体的西侧为米林-鲁郎左旋走滑剪切带,走向呈北东向,它斜切西藏特提斯岩系和雅鲁藏布缝合线,与藏南折离系(STDS)相交或属于藏南折离系的延伸。楔入体的东界为旁辛-汗密(阿尼桥)右旋走滑剪切带,楔入体的前沿为北西向的排龙-旁辛剪切带,其剪切带内塑性变形强烈,经历早期向南(西)的逆冲,后期向北东伸展和右旋走滑剪切,东西两侧被米林-鲁郎左旋走滑剪切带和汗密-旁辛剪切带所截。

南迦巴瓦构造楔入体的北侧是嘉黎右旋走滑剪切带。

楔入作用始于印度板块与欧亚板块的碰撞,最活动时期为中新世,楔入体东界的右旋走滑剪切带的 K-Ar 同位素测龄结果显示其剪切活动高峰时间为 26.7Ma^[3]。7Ma 以后,以构造结为中心,主要表现为隆升,这从现代的温泉及雅鲁藏布大峡谷可得到证明。

3 南迦巴瓦楔入构造所产生的地质效应

3.1 雅鲁藏布缝合线被横推错位

印度河-雅鲁藏布缝合线是印度板块与欧亚板块的碰撞界线,自西向东沿雅鲁藏布江的

方向延伸约 2500 余公里,朗县以东、墨脱(江波)以西地区雅鲁藏布缝合线的延伸走向不太清楚,而在墨脱(江波)以东地区缝合线又再次出现,最后进入印度洋。这是由于南迦巴瓦楔入构造使雅鲁藏布缝合线横推错位的结果。

大峡谷地区缝合线位置相当于雅鲁藏布构造单元的位置,由东、西和北东三段组成,西段沿米林—派区—大渡卡—格嘎—直白—迦拉—排龙分布,大致呈 NE 向。该段的剪切作用强烈,构造混杂堆积清楚,有零星的超基性岩(橄榄辉石岩、辉石岩)分布;北东段大致沿排龙—扎曲—八玉—甘代—加热萨—旁辛—一线分布,段内岩石组合以强变形、弱变质的绿帘阳起片岩、绿帘青铝闪石片岩(基性火山岩变质)以及长英质糜棱岩为主,夹有少量透镜状的大理岩、辉石岩、橄榄岩和角闪石岩。在加热萨、旁辛之间有蛇绿混杂岩发育。段内以北西向的构造为特征,塑性变形强烈,经历了多期复杂的构造变形,早期表现为向南(西)逆冲,后期表现为向北(东)伸展和右行走滑剪切。东段以旁辛—汗密—希让韧性剪切带及喜马拉雅构造单元为界,发育变形石英(片)岩夹角闪质岩石和榴闪岩以及辉石岩,其构造为北东走向陡倾韧性剪切带,剪切方向为右旋走滑和右旋走滑+上盘向南东下滑的韧性剪切带,其应力性质为北东向的剪切作用。

东、西段是在南迦巴瓦楔入体向北楔入的过程中,缝合线受到横推错位的剪切变形的残余,北东段具有缝合线的特征,是横推错位了的雅鲁藏布缝合线,但受到强烈的剪切变形,也只是部分残余,该段的原始位置可能在郎县—江波—一线,大约向北东横推约 180km。

3.2 滇藏涡旋构造

由于南迦巴瓦—阿萨姆“犄角”的楔入作用,形成了以东喜马拉雅构造结为核心的顺时针旋转构造——滇藏涡旋构造。滇藏涡旋构造由核部和外旋两部分组成。南迦巴瓦—阿萨姆构造结构成其核部,呈北东向延伸,构造结周边的藏东—川西—云南的地质体构成涡旋构造的外旋部分,其构造线走向从藏东的东西向逐渐到三江及滇西转为南北走向。由于旋转的差异性,从旋转的核心向外分别出现右旋走滑、共轭剪切和左旋走滑;靠近核心以右旋走滑为特征,如帕隆—嘉黎右旋走滑剪切带、高黎贡山右旋走滑剪切;外侧出现有鲜水河—小江左旋走滑剪切带,而在两剪切带之间可左旋与右旋共轭出现。

通过青藏高原东部及邻区的 GPS 测量,不仅可以证实涡旋构造的存在,而且所获得其旋转速度(图 2)^[4]。高精度的 GPS 测量可获得青藏高原东部的地壳运动速度变化在 0.34 ~ 17.49mm/a 之间,其特征为鲜水河—小江断裂以西地区,地壳运动表现为非均匀性,速度变动在 1.57 ~ 17.49mm/a 之间,总体上自西北向南东呈减弱的趋势,其速度矢量方向则从 E-NE-SSW 变化,尤其川滇块体东南角的 KFZ2(个旧)速度变小,指示川滇块体相对于成都没有向南东挤出或逃逸现象,速度场同时指示红河断裂在现代地壳运动中不具有分区界线的意义,川滇地块及其以西地区的地壳运动场存在顺时针转动的涡旋总趋势,旋转的中心恰好位于东喜马拉雅构造结。

若设定八宿(BMZ)、中甸(TAC)、丽江(BHC)、兰坪(SZS)、腾冲(OLZ)为涡旋的内圈,雅江(HKZ)、西昌(THZ)、楚雄(DLH)等为涡旋的外圈,昆明(XSX)、通海(LSC)、个旧(KFZ)为涡旋的外围,则各圈的测站速度比较接近,内圈速度为 8.38 ~ 17.49mm/a,外圈速度为 7.7 ~ 8.61mm/a,外围速度为 1.57 ~ 5.64mm/a。鲜水河—小江断裂以东的川青地块及扬子地块,各测站的速度小,方向分散。

Holt 等(1991)^[5]用天然地震(1966 ~ 1988)震源机制对东喜马拉雅构造及邻区的运动

学和变形应力场进行了分析,得出川西、藏东及云南运动速度相对于华南是右旋剪切并具有顺时针的旋转,其旋转速率可达 $1.7^{\circ}/\text{Ma}$,并得出喜马拉雅以 $(38 \pm 12) \text{ mm/a}$ 向北楔入,在构造结的周围其 P 轴大致平行地形梯度,藏东其 P 轴近 NNW 定向,与汇聚和俯冲方向一致,而在构造结的北东-南东区则由 NNW 变为 NNE。

天然地震的层析成像研究启示南迦巴瓦-阿萨姆“犄角”的俯冲板片从北北东方向的插入,形成下地壳和上地幔中的高速体异常,产生新的深部过程,即在深部的高速体与低速体之间发生物质的塑性涡流,在深部物质塑流的推动下,上部地壳中会产生相应的旋卷构造,在深度 300km 以上形成北北东方向的“犄角”,由北深入或影响到北纬 35° 以上。滇藏涡旋可能是俯冲板片驱动下的发生围绕东喜马拉雅构造结的物质流动,为高速(高密度)区向低速(低密度)区的流变构造。

3.3 雅鲁藏布大峡谷的形成

大峡谷的拐弯总体上是由于东喜马拉雅构造结的向北楔入作用,使雅鲁藏布江向北推移形成,但局部的弯段则由断裂、面理构造和岩性控制的结果,作为涡旋构造核部的南迦巴瓦地区旋转快速抬升,在河流快速下切剥蚀作用下,从而形成雅鲁藏布大拐弯和世界第一大峡谷。

4 南迦巴瓦楔入构造的地球动力学过程

印度板块与欧亚板块的碰撞和向北的汇聚推挤,与扬子(华南)地块之间会产生范围广阔右旋剪切,构造应力的转输可以通过地壳上部的刚性转播,也可通过深部的塑性流变进行转输,由下而上推动地壳变形,其中包括已有构造要素的复活或新生。当印度板块在向北推

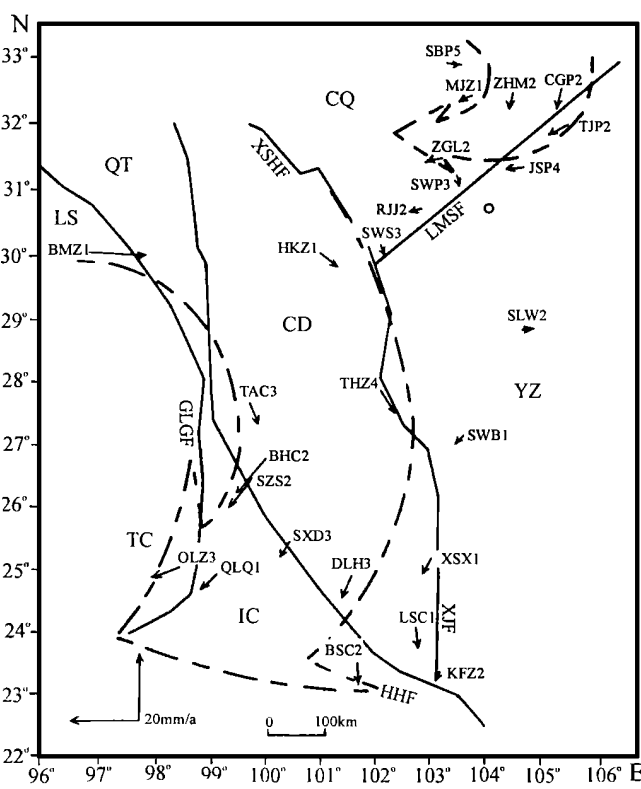


图2 中国西南地区现代地壳运动速度场示意图
CD—川滇地块;CQ—川青地块;IC—印支地块;LS—拉萨地块;TC—腾冲地块;QT—羌塘地块;YZ—扬子地块;GLGF—高黎贡山断裂;LMSF—龙门山断裂;HHF—红河断裂;XJF—小江断裂;XSHF—鲜水河断裂;XSX1—观测站(昆明)。(实线为断裂带,虚线为主要流变范围)
Fig. 2 Schematic diagram of the velocity fields showing the modern crustal motion in southwestern China
CD= Sichuan-Yunnan block; CQ= Sichuan-Qinghai block; IC= Indosinian block; LS= Lhasa block; TC= Tengchong block; QT= Qiangtang block; YZ= Yangtze block; GLGF= Gaoligongshan fault; LMSF= Longmenshan fault; HHF= Honghe fault; XJF= Xiaojiang fault; XSHF= Xianshuihe fault; XSX1= observation station in Kunming, Yunnan. The solid lines refer to the faults, and the dashed lines refer to the rheological range

移过程中逆时针的旋转作用, 促使南迦巴瓦-阿萨姆“犄角”的楔入。在楔入作用下, 上部地壳浅部表现为楔入构造, 而在深部产生新的物质塑性涡流。在深部塑性涡流的推动下, 上部地壳中会产生相应的旋卷构造。

南迦巴瓦构造结的楔入与印度板块向北持续的挤压作用和向北推移过程中产生的反时针旋转有关(图 3), 其过程十分复杂, 可分为三个主要阶段:

第一个阶段为点碰撞阶段 从古地磁异常研究和地质资料(Patzelt 等, 1996)^[6]证实, 印度板块与欧亚板块之间的最初的碰撞始于白垩纪末—第三纪初(65~60Ma), 在晚古新世

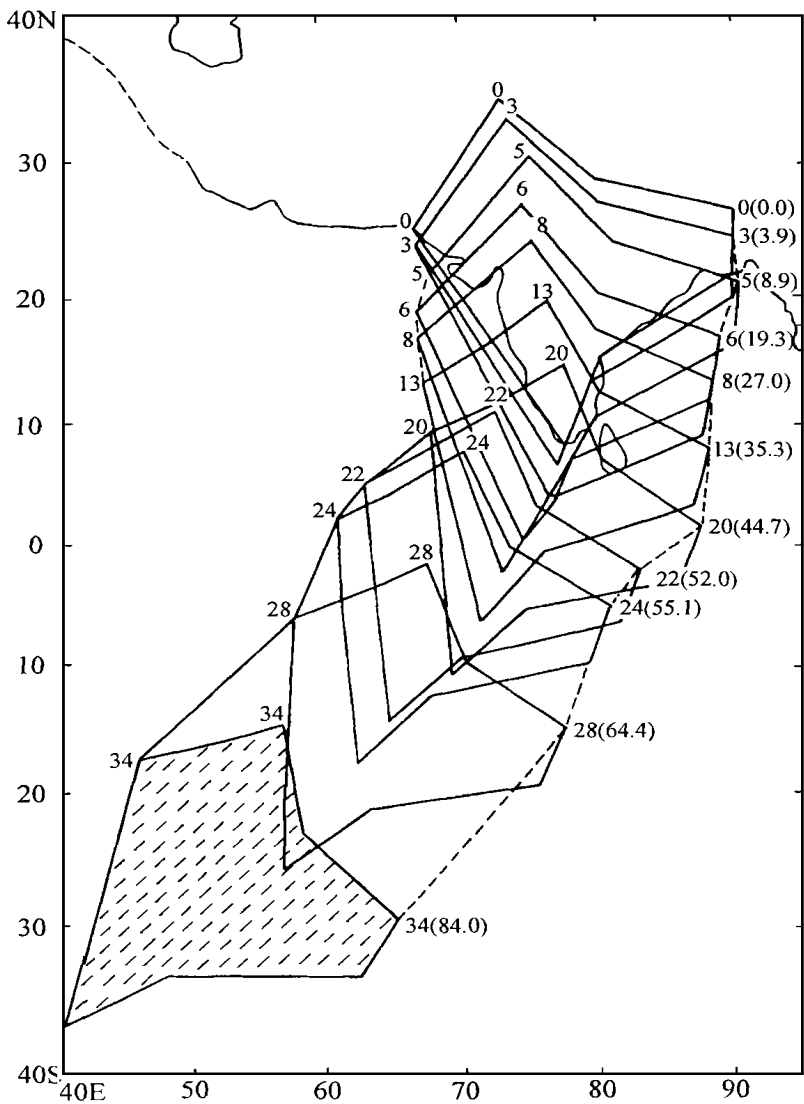


图 3 印度板块相对欧亚板块向北连续位移图
(引自 Dewey et al., 1989)

Fig. 3 Diagram showing the continuous northward shift of the Indian plate relative to the Eurasian plate (after Dewey et al., 1989)

—早始新世(60~55Ma)新特提斯洋完成缝合作用,最早的碰撞点是印度板块的西北角,大致靠近南迦巴爾特的西北角,从49Ma变质的高压榴辉岩的产出得到证实。从印度洋磁异常可以看出在84~45Ma期间,印度板块大致沿北东方向以约100mm/a的速度移动,从45Ma到现代,印度板块变成以约50mm/a的速度向北移动,将45Ma时印度板块在运动方向和速度上的改变作为印度板块与欧亚板块的主碰撞时间,即主碰撞发生在大约45Ma前的早中始新世(Dewey等,1989;Le Pichon等,1992)^[7,8]。东喜马拉雅构造结地区,印度板块与欧亚板块的碰撞时间虽然没有确定的数据限定,但至少也在45Ma前。

第二阶段为碰撞楔入阶段 在45Ma时,印度板块平均以50mm/a的速度与欧亚板块全线发生碰撞。相对于欧亚板块,在45Ma以来的印度板块的东、西两角向北推移速度分别为64mm/a和55mm/a,由于东、西两角位移的速度差和西角被锁,使印度板块在位移过程中产生反时针旋转并缩短变形,即西部角相对不动,以挤压变形为特征,中部以旋转压缩变形为特征,表现出近南北向的向南逆冲推覆构造,东部角向北东方向楔入,造成南迦巴瓦-阿萨姆“犄角”的南迦巴瓦块体楔入,将其喜马拉雅构造单元向北楔入到冈底斯构造带中,并将雅鲁藏布缝合线向北推移,开始形成南迦巴瓦构造结。随着印度板块向北的推移和南迦巴瓦-阿萨姆“犄角”的楔入,使深部物质产生新的流变,在上部地壳中产生相应的构造变形,形成以东喜马拉雅构造结为核心的顺时针涡旋(旋转)构造,构造结的周边则开始形成或从已有构造转变成相应的构造,在其转换时间上,涡旋的内圈早于外圈,如嘉黎断层在23~21Ma从左旋转变为右旋走滑,红河-哀牢山断裂在20~17Ma从左旋剪切转变为右旋剪切(Leloup等,1993)^[9],而鲜水河断裂在中新世中期开始从挤压兼右旋走滑转变为左旋走滑,晚更新世以来左旋走滑速率达5~15mm/a。红河断裂以南的汪高断裂(Wanggao Fault)在30Ma时从左旋转变成右旋剪切,实皆断裂(Sagaing fault)、高黎贡山断裂的右旋走滑也开始表现出来,藏南折离系在构造结转变为左旋走滑的米林-鲁朗剪切带,前者大致发生于中新世。在藏东地区(芒康)的古地磁资料证实了顺时针旋转构造的存在,第二阶段的时期大至在45~7Ma之间。

第三阶段为旋转抬升阶段 在此阶段形成以南迦巴瓦构造结为抬升中心。南迦巴瓦构造的快速抬升与整个青藏高原的抬升是一致的。裂变径迹证实自上新世以来(3Ma)构造结快速抬升。构造结核部的锆石和磷灰石的裂变径迹年龄值小于3Ma(Burg等,1997)^[10],2.6Ma以来的平均抬升速率为1.73~2.30mm/a,1.1Ma以来的平均抬升速率为2.38~3.18mm/a。构造结东北侧的察隅及波密地区,在花岗岩中的锆石和磷灰石的裂变径迹年龄值结果^[11]指示自印度板块与欧亚板块碰撞以来,南迦巴瓦构造结经历了三阶段的抬升,即25~17Ma、13~8Ma、3Ma至今三个阶段,主要年龄值集中在3Ma以后,具有向南迦巴瓦峰地区变新的趋势,指示南迦巴瓦峰地区是南迦巴瓦构造结的隆起中心。3Ma以前,抬升速率较低,一般均小于1mm/a,而自3Ma左右开始,抬升速率呈明显加快的趋势,3Ma时抬升速率为1.0mm/a,3~1Ma的抬升速率在1~2mm/a,1Ma以来抬升速率明显加快,可达3~10mm/a。由于抬升速率加快,加之河流的下蚀作用,因此,在南迦巴瓦地区,雅鲁藏布江便形成了大拐弯和世界第一大峡谷。

涡旋的旋转部分继续顺时针旋转,显示了现代地壳的活动性,如鲜水河断裂、三江地区的旋转等。

5 结论

印度板块在向北推移过程中所产生的反时针旋转,使南迦巴瓦-阿萨姆“犄角”向北东楔入,形成了南迦巴瓦楔入构造,造成了雅鲁藏布缝合线在南迦巴瓦地区的横推错位,形成以东喜马拉雅构造结为核心的顺时针滇藏涡旋构造,由于楔入作用、旋转作用和河流下蚀作用,形成了奇特的雅鲁藏布大拐弯和世界第一的雅鲁藏布大峡谷。

参考文献:

- [1] 钟大赉, 丁 林. 西藏南迦巴瓦地区发现高压麻粒岩[J]. 科学通报, 1995, 40(14).
- [2] 刘 焰, 钟大赉. 东喜马拉雅地区高压麻粒岩石学研究及构造意义[J]. 地质科学, 1998, 33(3).
- [3] 钟大赉, 丁 林. 青藏高原的隆升过程及机制探讨[J]. 中国科学(D辑), 1996, 26(4).
- [4] 陈智梁, 刘宇平等. 全球定位系统测量与青藏高原东部的流普构造[J]. 第四纪研究, 1998, 3.
- [5] HOLT W E, NI J F, WALLACE T C et al. The active tectonics of the Eastern Himalayan Syntaxis and surrounding regions[J]. J. Geophys. Res, 1991, 96(B9): 14595—14632.
- [6] PATZELT A, HUANG EI LI, JUNDA WANG et al. Paleomagnetism of Cretaceous to Tertiary sediments from southern Tibet: evidences for the extent of the northern margin of India prior to the collision with Eurasia[J]. Tectonophysics, 1996, 259(4): 259—284.
- [7] DEWEY J F, CANDE S and PITMAN W C. Tectonic evolution of the India-Eurasia collision zone[J]. Eclogae Geol. Helv., 1989, 82(3): 717—734.
- [8] PICHON X L, FOURNIER M and JOLIVERT L. Kinematics, topography, shortening, and extrusion in the India-Eurasia collision[J]. Tectonics, 1992, 11(6): 1085—1098.
- [9] LELOUP P H, HARRISON T M et al. Structural, petrological and thermal evolution of a Tertiary ductile strike-slip shear zone, Diancang Shan, Yunnan[J]. J. Geophys. Res, 1993, 98(B4): 6715—6743.
- [10] JEAN-PIERRE B, PHILLIPE D et al. Exhumation during crustal folding in the Namche Barwa syntaxis[J]. Terra Nova, 1997, 9(2): 53—56.
- [11] 丁 林, 钟大赉等. 东喜马拉雅构造结上新世以来快速升的裂变径迹证据[J]. 科学通报, 1995, 40(16).