

滇西北新构造运动时期构造应力场变化特征的探讨*

冉勇康 李祥根

(国家地震局地质研究所)

摘 要

本文通过对滇西北地区水系分布格局、地质构造及前人研究的地震震源机制解等资料的综合分析对比指出:研究区内,主要是红河断裂带附近及以东地区,新构造时期的应力场经历了由近东西—北西—北北西向的顺时针转变过程。基本上早更新世为北西向;晚更新世中期以前的压应力方向为近东西向;中更新世以来为北北西向。

水系分布格局反映的应力场与地质、地震等方面的资料所反映的应力场有较好的一致性,说明利用水系分布来研究本区的应力场是一种可取的方法。

一、前 言

水系统计分析的前提是假设水系的发育是受地壳剪切构造网络控制的,换言之,它们是沿着三度构造应力场作用下的剪切面发育的^[1]。统计出水系发育方位的两组最优势方向,就等于找出了一对共轭剪切面,它们间锐角所指的方向就是区域主压应力方向。这种假设是基于“水系的分布格局是内外营力相互作用的结果”这一地貌学的基本思想。由此可推断水系在分布上必然表现出受内力作用的特征,即河流的发育往往受构造控制,在流向上显示出规律性。

必须指出,在一些地区,由于构造背景和岩性不同,水系被构造剪切面控制的规律性并不明显,或有些岩性本身就不易产生“剪切面”(具有厚层松散沉积物的广大平原区)。但对地块刚性较好,节理、断层发育的地区,尤其是基岩山区,河流具备主要沿“剪切面”下切的条件^[1、2、8],滇西北地区属于这类地区。

本文试图利用水系统计分析的结果与地质证据相互佐证,既探讨滇西北新构造运动时期的应力特征,又检验水方位统计法在新构造应力场研究中的效果。

*参加野外工作的还有魏顺民、张靖、向宏发、陈铁牛、胡荣卿、张国伟等同志。

二、水系分布反映的构造应力场变化特征

我们统计了滇西北(东经 99° — 101° , 北纬 24.5° — 28°)的1375个河段¹⁾(代表河谷总长度12795公里以上), 作出了它们的极方向玫瑰图(图1、图2)。

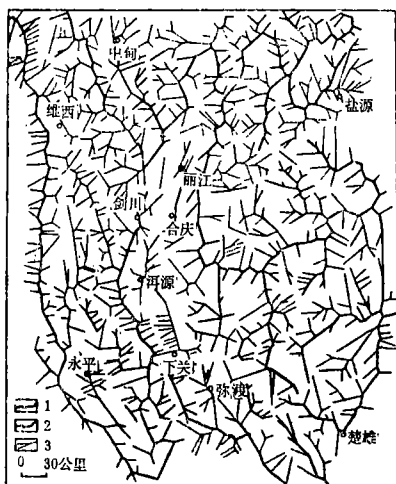


图1 研究区水系折线图*

1.主流河 2.次主流河 3.支流河

Fig.1 The broken-line graph of the drainage systems in the studied area

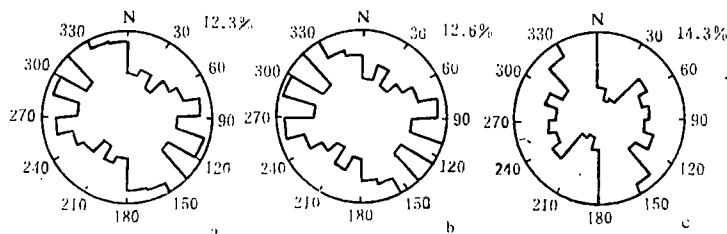


图2 水系极方向玫瑰图*

a.全区图 b.红河断裂以东区 c.红河断裂以西区, 百分数为最大相对频率

Fig.2 Rose diagram of polar direction of the drainage system

图2 a显示全区水系分布的优势方向较离散, 但从研究区位于两个不同的大地构造单元接壤地区考虑, 以红河断裂带为界, 将研究区分为东西两部分统计, 结果显示, 红河断裂带以西(图2 c)水系优势方向显著集中, 反映主压应力方向为北东向。这种水系分布特征与文献〔4〕〔5〕中用震源机制求得的区域现代构造应力场相吻合。但红河断裂以东水系优势方位仍较离散(图2 b), 本文着重讨论红河断裂以东的丽江~弥渡一带的新构造应力场。

*将河流的自由端或干、支流交汇处作为结点, 把结点用直线连接起来(湖泊用长轴表示)即为水系折线图。它的意义是用折线方向来定义曲线方向。把水系走向旋转 90° 即极方向, 这是描述倾斜面的一种通用方法。

1) 将河流的自由端或干、支流交汇处作为结点, 两个结点间的河流称为一个河段。

水系分级的原则是参考构造活动期和河流长度与形成时间的关系等因素来确定的。水系的伸长过程一般以溯源侵蚀方式进行,因此,水系生成的年龄与河流的级别有关,较长的河流一般比次于它的河流形成时间早,即河流越老其长度越大。据区内所取得的一批与河流生成时代有关的 ^{14}C 数据(表1)及前述的河流年龄下限分析,我们把本区小于5个河段的河流视为支流,其长度一般大于5公里,小于50公里,基本上可以认为它们形成在晚更新世以后,与晚更新世以来的构造运动期对应;将大于50公里,小于200公里的河流视为次主干河,类推为中更新世以来形成的河流,与中更新世时期的构造运动相对应;主干河流则与上新世至早更新世初的构造运动期对应。这样,根据三级河流的不同形成时间分别讨论它们反映的构造应力场。

表1 支流水系形成时代的 ^{14}C 数据

采样地点	样品的地貌位置	年龄	样品上游河长 (米)	河流总长 (米)	河流生成的时代
大理蝴蝶泉附近	出露的最老冲洪积扇顶部	6050 ± 90	2200	4000	$Q_3^2 - Q_4^1$
三营煤矿冲沟	阶地	6050 ± 100	2000	8000	$Q_3^2 - Q_4^1$
上末村南	出露的最老冲洪积扇顶部	8090 ± 115	5000	9000	Q_3^2
下关化工厂冲沟*	沟底	18695 ± 285	800	1000	Q_3
下关定西岭*	冲沟底	5365 ± 90	250	450	Q_4

把红河断裂以东的较离散的水系按主干、次主干和支流三级分别统计,作成三个玫瑰图(图3)。从图中可以看出各级河流的优势流向显然比分解前集中得多。根据图3求出了影响各级水系发育的应力场状态(表2)。

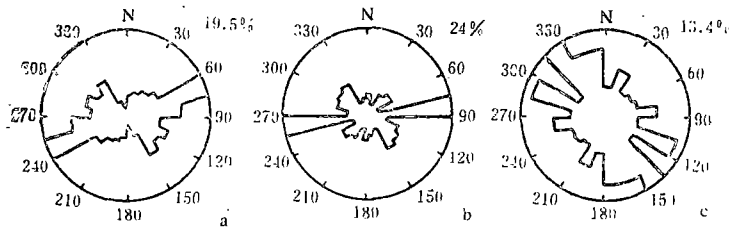


图3 水系分级统计玫瑰图(极方向)

a. 主干水系 b. 次主干水系 c. 支流水系, 百分数为最大相对频率

Fig. 3 Rose diagram of polar direction of the graded drainage system

(1) 主干河流反映的应力场: 图3a显示出主干河流分布的优势方向为 $240^\circ - 270^\circ$ 和 $285^\circ - 330^\circ$, 其它方位优势性差, 根据这两个优势方向求出这一时期主压应力场为近东西向, 代表了上新世末—早更新世早期的应力场。

(2) 次主干河流反映的应力场: 图2b反映出次主干河流分布的两组较优势方向比主

* 干沟, 汇水面积小, 溯源侵蚀速率也小。

表 2

水系反映的应力场特征

地 区	水系极平均方向				水系反映的应力轴						应力时期	
					主要应力场			次要应力场				
	1	2	3	4	夹角	P	T	夹角	P	T		
红河断裂以西	22	69 (249)	293 (113)	341	(2—4) 88	25						N—Q
红河断裂以东主干水系	236	308			(1—2) 72	272						N—Q ₁
红河断裂以东次主干水系	206 (26)	255 (75)	296 (116)	335 (155)	(2—4) 80	295	25	(1—2) 61	50	140		Q ₂
红河断裂以东流水系	26 (206)	253 (73)	293 (113)	335 (155)	(1—3) 93	340		(1—2) 48	48	138		Q _{3—4}

干河流同步顺时针旋转了一个角度 (15°)，并且，次主干河流的分布方向较主干河流离散，多组分布优势的苗头开始出现，水系已表现出不仅仅受一次应力场作用的迹象。据此，我们在这级河流玫瑰图上求出了四个平均优势方向，用两组最优势方向求出压应力方向为 295° ，代表了中更新世的应力作用方向。根据另外的优势分布方向组合所求得的应力轴方位大体是北东向和近东西向等，我们把北东向的视为影响本区的次要应力场，而把近东西向看作前期应力场所造成的构造形迹对后期水系发育的影响。

(3) 支流河反映的应力场：图 3c 反映出支流河的优势分布方向较主干和次主干河离散得多，主干和次主干河流的最优势的分布方向在此已降为次优势，但优势并未完全消失，而原非优势或次优势方向则上升为最优势。支流河分布方向的这种多组性和取代性的特征，也许正是多期应力场作用的必然结果。我们也是先求出四组平均值，然后分别组合求得南西西（近东西）、北西、北北西和北东向等多个压应力轴。显然，这四个应力方向中有三个前面已讨论过了，只有一个是新的应力场方向（北北西）。所以我们把北北西向作为支流河发育时期的主要应力场方向，代表了晚更新世以来的应力作用方向。

总之，水系格局反映了主要区域应力场的主压应力方向，在上述三个地质时期区域应力场经历了由近东西向向北北西方向顺时针转变的过程。并且，次主干河流和支流河除受主应力场控制外还都受到北东向的应力场影响，以及受前期应力场造成的构造形迹的影响。

三、地质资料反映的区域应力场特征

1. 早更新世及其以前的构造应力场

新第三纪到第四纪早期，区内有过两次大的构造活动期。这两次构造活动奠定了全区现今主要地貌轮廓，区内的主干河流开始生成发展。一些事实说明，这一时期区域应力场的方向是近东西向的。

(1) 红河断裂和剑川断裂是区内“康滇菱形块体”的西边界断裂，也是区域主干断裂。晚第四纪以来剑川断裂为左旋压扭断裂，可是在第四纪初及其以前曾有过右旋运动^[8]。红河断裂在更新世早期为左旋运动，晚期才开始转变为右旋运动^[9]。这可能表明，在更新世早期至中期，区域应力场的主压应力方向为近东西向。

(2) 据已知资料初步统计, 剑川粗面岩岩脉有50余条, 侵入于中新世和上新世早期的地层中。经统计, 它们大多数展布方向为 $275^{\circ}\sim 285^{\circ}$ 。

(3) 在剑川龙门邑、仕登南等多处(图4)可见到发育于第三系中的断裂, 明显地反映了受近东西方向的挤压的特征。

(4) 区内晚第三纪地层中的褶皱几乎遍及每一个新第三纪沉积盆地, 轴向大多为北北西或近南北向, 反映了受过南西西—东西方向压应力作用。

2. 早更新世晚期开始的应力场变化

中更新世时期, 区内曾发生过一次较普遍的构造变动, 留下了众多的构造形迹(图5)。

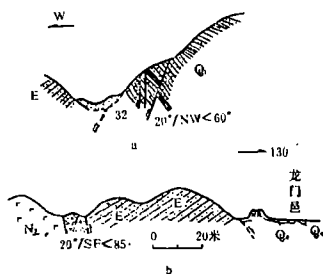


图 4

a. 剑川仕登、黑穗江东岸断层 b. 剑川龙门邑逆断层

Fig. 4 a. Fault on the east bank of Heisui River
b. Thrusts at Longmenyi, Jianchuan

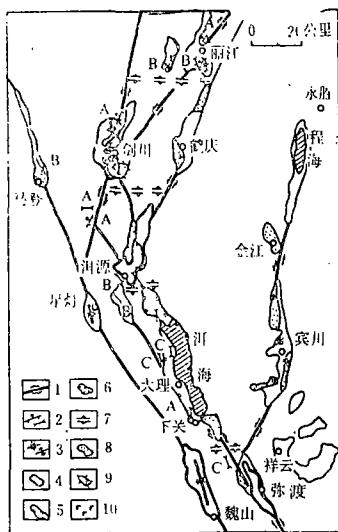


图 5 上新世以来不同应力期的主要构造形迹

1. 主要断裂带及运动方式, 粗线箭头为早更新世晚期以前的断层运动方向, 细线为以后的
2. 上为逆断层剖面点, 下为正断层剖面点, A为 Q_2 以前形成, B为 Q_2 形成, C为 Q_3-Q_4 形成
3. 褶皱轴, 粗线为第三纪地层中的褶皱, 细线为更新统褶皱
4. 粗线为第三纪盆地, 细线为早更新世形成的盆地
5. 早更新世晚期开始形成的盆地
6. 晚更新世形成的盆地
7. 中更新世以来的盆间隆起
8. 中更新世盆内隆起
9. 晚更新世盆内隆起, 加点表示中更新世也曾隆起过
10. 上新世粗面岩

Fig. 5 The main structural form in different stress period since pliocent

如前所述, 红河断裂由左旋转变为右旋扭动, 剑川断裂由右旋转变为左旋扭动, 这一运动方式的变化是应力场变化的有力证据。再则, 区内的早更新世盆地中的下更新统普遍褶皱、隆起和断裂。这个时期的褶皱轴向大多为北北东—北东向, 代表了北西方向的应力场。值得注意的是, 丽江蛇山、拉石坝两处的褶皱地层中都发育有小断层, 据分析, 其中的逆断层生成时期和褶皱生成时期相当, 属同一压应力作用的产物, 而正断层则晚于褶皱时期。对比全区褶皱、逆断层和正断层三者的分布, 发现正断层所显示的应力场的方向较前两者显然有顺时针偏转的趋势(表3)。

另外, 周瑞琦等^[10]通过对节理的测量分析研究了红河断裂带的应力场, 从下关到弥渡的六个数据所显示的应力轴也主要分布在南西西至北西之间。由于这些节理大多是发育在前

表3 新构造运动时期的主要活断层及其显示的趋势应力方向

断层形成的 大体时间	断开的地 层的时代	断裂带名称	断层剖面地点	地貌部位	断层产状	断层性质*	趋势应力 方向
新第三纪 第四纪早期	E/T	丽江断裂	丽永公路拾叁公里	谷地侧面山腰	30°/NW<75°	逆**	东西 北西西
	N ₁ /T	剑川断裂	河北村	山麓	20°/NW<72°	逆	
	N ₂ /E	剑川断裂	龙门邑	山麓台地	20°/SE<85	逆**	
	E	仕登断裂	仕登公路桥	盆边山地	EW<90°	正	
中 更 新 世	Q ₁₋₂	丽江断裂	拉石坝	山麓台地	20°/NW<78°	逆**	北西西 北西
	Q ₁₋₂	丽江断裂	拉石坝	山麓台地	50°/NW<25°	逆	
	Q ₁₋₂	丽江断裂	蛇山	盆内隆起	335°/NE<42°	正	
	Q ₁₋₂	丽江断裂	玉龙门	盆内隆起	320°/NE<72°	正	
	Q ₁₋₂	剑川断裂	江长门	湖岸阶地	5°/NW<83°	正	
	Q ₁₋₂	剑川断裂	仕登南	黑穗江东岸	20°/NW<70°	逆**	
	Q ₁₋₂	黑穗江断裂	马登后甸村	黑穗江西岸	320°/NW<90°	正	
	Q ₁₋₂	洱源断裂	城关西	山麓残积坡	320°/SW<62°	正	
	Q ₁₋₂	洱源断裂	三营	山麓台地	15°/NW<85°	正	
	Q ₁₋₂	洱源断裂	下山口	盆内峡谷	345°/NE<49°	正	
	Q ₁₋₂	红河断裂	凤羽铁甲	山麓坡积	330°/SW<40°	正	
	Q ₁₋₂	红河断裂	凤羽雪黎	湖积阶地	300°/SW<65°	正	
晚更新世 全新世	Q ₃	红河断裂	松毛坡	阶地	330°/SW<70°	正	北西 北北西
	Q ₃	红河断裂	阳天阱	阶地	20°/SE<70°	正	
	Q ₃₋₄	红河断裂	花甸坝	断崖	340°/SW<85°	正	
	Q ₄	红河断裂	蝴蝶泉	断崖	355°/NE<80°	正	
	Q ₄	红河断裂	大理山前	山麓	330°/NE<85°	正	
	Q ₄	红河断裂	下关苗圃	坡积层	70°/SE<85°	逆	
	Q ₄	红河断裂	三哨	山脊冲沟	338°/SW<70°	正	
	Q ₄	红河断裂	定西岭	山脊冲沟	340°/SW<85°	正	

* 压性断裂视为逆断层，张性断层视为正断层，走滑分量不计 ** 以后运动性质有变化

新生界中，不一定仅代表单期应力场的特征，可能反映了应力场由近东西向逐步顺时针向北西偏转的过程。

3. 晚更新世以后的应力场

研究区内的近代构造运动仍然是较强烈的。表3列举了发育在晚更新世和全新世地层中的主要新断层。这些新断层以正断层为主，展布方向上明显地以北北西向为主，较早更新统中的正断层走向顺时针偏转了10—25度。这种分布特点与前人用震源机制解求得的应力场压应力方向〔4，5〕十分吻合，基本反映出现代应力场较前期应力场有所偏转的趋势。

总之，除已叙述的资料外，反映三个时期应力场特征的其余主要构造形迹已列入表3和

图5中,它们大致反映了各时期的应力场特征和区域应力场变化的规律,这和水系反映的应力场变化规律基本一致,从而证实了本区应力场经历了由近东西向向北北西向顺时针偏转的过程。

如果上述应力场的演变过程是成立的,那么,今后这一地区的应力作用还会存在近南北偏转的趋势。尽管这是一种非常缓慢的进程,但对本区的地震危险区划具有重要的参考价值。

四、几点认识

1.根据对水系的统计分析求得的区域构造应力场和地质资料反映的构造应力场具有较好的一致性,表明用水系统计分析方法研究区域应力场是可行的。

2.研究优势方向不显著的离散型水系时,求其反映的应力场要具体问题具体分析,分区分级地探讨。本研究区内分区分级讨论的效果是良好的,它揭露了复杂及多期的应力场对水系发育的影响。在构造运动强烈的地区,离散型水系分布格局很可能意味着区域应力场的复杂性和多期性。

徐煜坚、杨景春、方仲景、李志义、卢演涛等同志提出宝贵意见并给予了帮助,在此深表谢意。

(本文1984年2月6日收到)

参 考 文 献

- [1] 艾南山等,东南沿海水系及新构造应力场,物理学报, Vol.37, No.2, 1982.
- [2] N.-S. Ai, A.E. Scheidegger, Valley trends in Tibet, *Annals of Geomorphology*, B25, 1981.
- [3] N.-S. Ai, Y.-L. Li, A.E. Scheidegger, and S.-Y. Xu, The neotectonic stress field in the regions of Shanxi, Gansu, Ningxia and Qinghai, *Rock Mechanics*, J4, 1981.
- [4] 阙荣举等,我国西南地区现代构造应力场与现代构造活动特征的探讨,地球物理学报, Vol.20, No.2, 1977.
- [5] 阙荣举等,中国西南地区现代构造应力场与板内断块相对运动,地震地质, Vol.5, No.2, 1982.
- [6] 王乃梁,构造地貌,中国自然地理地貌分册, 1980.
- [7] 赵国光,滇西北大理丽江地区新生代地层及构造的初步观察,地质论评, Vol.23, No.5, 1965.
- [8] 何科昭等,云南剑川断裂活动的表现与特点,地球科学(武汉地质学院学报), No.4, 1983.
- [9] 周瑞琦、董必献,通过云南松毛坡盆地地下更新统煤层的趋势面分析讨论红河断裂的活动方式,地壳形变与地震, Vol.6, No.2, 1986.
- [10] 周瑞琦等,红河断裂带应力场的分析,地震研究, Vol.5, No.4, 1982.
- [11] 戴顺民等,云南红河断裂带北段断裂位错与地震重复率初步研究,地震地质, Vol.6, No.1, 1984.

THE EVOLUTION OF THE TECTONIC STRESS FIELD IN NORTHWEST YUNNAN DURING NEOTECTONIC PERIOD

Ran Yongkang and Li Xianggen

(*Institute of Geology, State Seismological Bureau, Beijing, China*)

Abstract

This paper presents a detailed analysis on the pattern of drainage systems and the geological structures along the Red River Faults and its eastern adjacent area. Together with the results about the earthquake mechanism proposed by precursors, it is pointed out that the stress field in the studied area has been changed since the neotectonic period.

Briefly, before the middle time of the early Pleistocene the compressive stress axis was approximately east-west trending, while in the middle Pleistocene it was northwest-southeast trending. After this, it has turned to northwest-southeast trending.

The stress field inferred from the pattern of drainage systems is consistent with the stress field obtained from geological analysis and earthquake mechanism data. This shows that the analysis of drainage systems is a useful approach for this type of research in this particular area.