

# 云南省通海—石屏地区地震构造

朱成男

(云南省地震局)

## 摘 要

本文采用地貌分析法确定了云南省通海—石屏地区第四纪中的地表垂直构造形变。应用这个形变资料,根据弹性位错理论求得区内几条活动断层的错距,其中曲江断裂的右旋水平错距为5公里。指出本区在第四纪中主要受北北西—南东东方向的压应力作用。

根据地震裂缝、三边测量、定点基线测量和震源机制资料,求得本区现代构造应力场。作者发现它与第四纪构造应力场是相似的。

由曲江断裂的平均5—7毫米/年的水平运动速度去估计,通海7.7级地震平均复发周期为300—400年。作者还指出通海地震前400年内,地震活动形成空区。并利用围空地震资料,求得空区内地震震级 $M$ 与围空地震的断层总面积 $S$ 之间存在经验关系,

$$M = \lg S - 3.8$$

## 一、前 言

本文所述云南省通海—石屏地区包括玉溪、通海、石屏、建水等县城在内的大约15000平方公里的地区。这里地震活跃,有 $6\frac{1}{2}$ —6 $\frac{3}{4}$ 级地震5次,7级以上地震1次,构成了一个强震活动带。本文利用地貌分析法<sup>[1]</sup>给出研究区域的第四纪垂直形变资料。我们在分析了曲江断裂运动所派生的垂直形变效应的基础上,进而用弹性静力学断层位错理论<sup>[2-5]</sup>计算了该断裂的错距。

建立断层运动模式,并使这个模式用于解释本区现代地壳运动和地震活动,使得它在地震工作中发挥作用,是本文的基本出发点。

## 二、第四纪垂直构造形变的确定

本区地质构造的概况如图1所示,这里构造复杂,地层发育比较齐全,断裂构造十分发育,其中三条近乎平行的北西向断裂,即红河断裂、石屏—建水断裂和曲江断裂显得突出,

而且与地震活动关系密切。

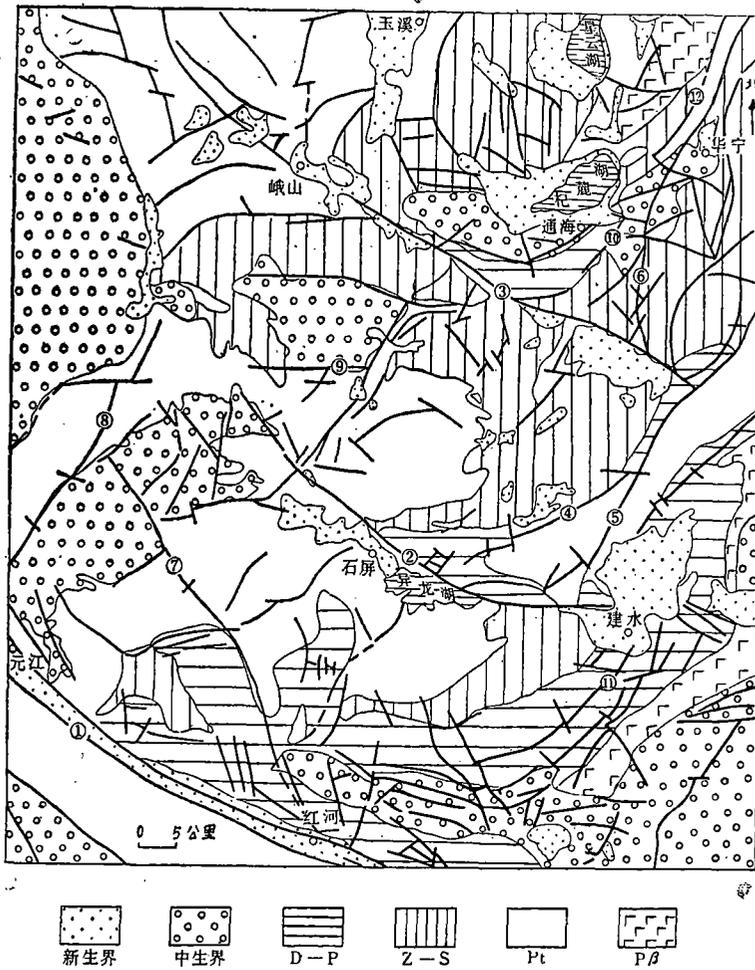


图1 通海—石屏地区地质构造简图

- ①红河断裂 ②石屏—建水断裂 ③曲江断裂 ④甸尾—蚂蚁断裂 ⑤小关—李浩寨—利民断裂  
⑥大荒田断裂 ⑦小河底河断裂 ⑧扬武—青龙厂断层 ⑨阿丕冲—他乌德断层  
⑩通海弧形断层 ⑪建水弧形断层 ⑫大石盆断层

为了确定本区第四纪垂直构造形变，有必要分析一下区内上新统的沉积类型和分布特征。这套地层以湖相沉积为主，砂岩、粉砂岩、泥岩交替成层，并都夹有厚薄不等的煤层。它的厚度因地而异，红河谷地最厚达千米，一般只有数百米。这套地层成岩作用差，与下伏地层呈角度不整合接触。它所覆盖的最年轻地层是下第三系，它又被第四系不整合覆盖。上新统发育之后的沉积间断导致下更新统的普遍缺失，说明了此间区内处于夷平了准平原状态。中更新统的发育反映了在上新世末—更新世初形成的准平原解体。解体时间可认为在中更新统（ $Q_2$ ），约为70—100万年。上新统分布的面积较大，散布区域较广。尤其在石屏—建水一线的东北部地区，上新统星罗棋布。可见那时的地貌景观该是比较平坦的准平原，地面起伏甚小。然而值得注意的是，目前所见上新统顶高变化很大。石屏城北的他腊上新统顶

高为2000米，是现代水系的分水岭部位。其附近的石屏—宝秀盆地内该地层顶高只有1500—1600米。

根据区内上新统顶部高程变化资料，以及地形图上显示的夷平面分布，消除由下第三系揭露的早第三纪夷平面，考虑由上新统形态和其它特征反映的断层控制作用，采用内插法勾绘出全区第四纪垂直构造形变等值线图（图2）。

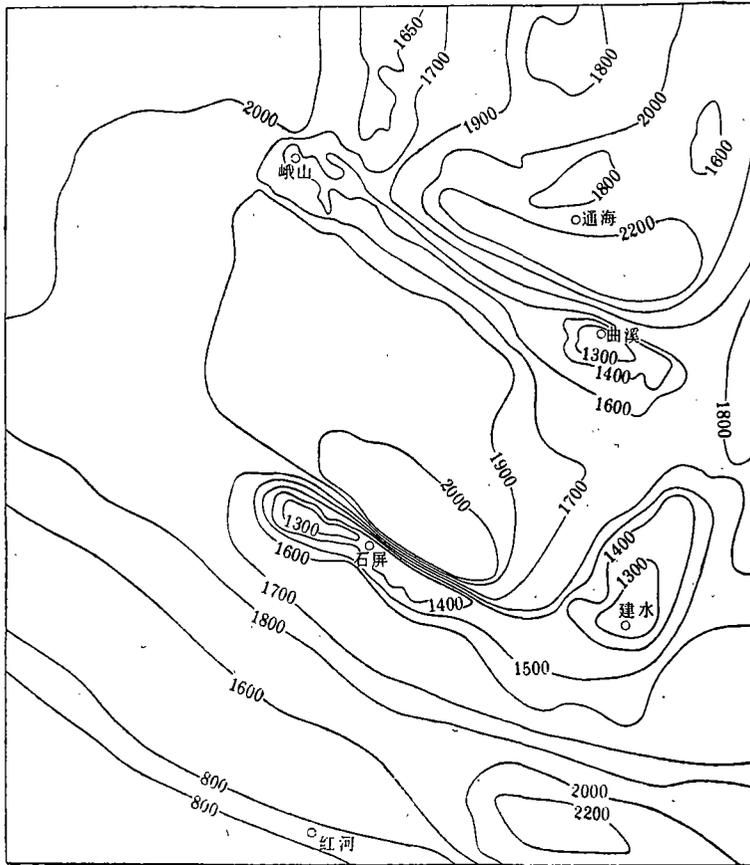


图2 第四纪垂直构造形变等值线图

需要说明的是，我们应用上新统顶高变化勾绘形变线，必然带进一些误差。那些位于上升剥蚀部位的上新统顶部易被侵蚀掉，使得所确定的高度变化小于实际情况。因此所给的等值线图具有形变下限的含义。

### 三、第四纪断层运动模式

在计算本区断层错距之前，以曲江断裂为例说明一下曲江断裂右旋运动与地形发育的关系。

在曲江断裂的东南端的西南盘上有一个曲溪盆地，盆底标高1300米。该断裂西北端（峨

山一带往西北,曲江断裂倾向与东南段相反,故可把峨山作为曲江断裂这一段的西北端)的东北盘上有研和一玉溪盆地,盆底标高约1600米。重力等资料表明这两个盆地为张性盆地。而通海盆地为挤压的山间盆地,盆底标高1800米,位于曲江断裂的东北盘上。断裂端点的两个张性盆地显示了曲江断裂的右旋运动。不难看出这种图象(图3)与弹性静力学位错理论计算的右旋走滑断层垂直形变图案〔2〕十分相似。这就是我们应用垂直构造形变资料进一步计算断层错距所受到的启示。

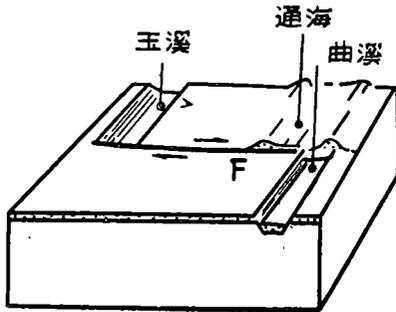


图3 曲江断裂右旋运动  
与端部盆地发育

位错理论〔4〕的复杂数学表达式可简化为,断层错动引起某一点位移( $u$ )是断层中心点所处的位置( $x, y$ ),断层半长度( $L$ ),走向( $\phi$ ),倾向( $\theta$ ),上下界面深度( $d, D$ ),走向滑距( $u_s$ ),倾向滑距( $u_d$ )等九参数的函数:

$$u = f(X, Y, L, \phi, \theta, d, D, u_s, u_d) \quad (1)$$

我们已经测定的垂直形变图给出了断层周围许多点的垂直位移 $u$ 。引起这些点位移的断层已从地质分析中得知,这就是说参数 $X, Y, L, \phi, \theta, d$ 和 $D$ 、在一定意义上说是已知的(或是可以近似给定的),待求的是

$u_s$ 和 $u_d$ 。整个计算工作是利用文献〔4〕的数学表达式编成程序,在djs6机上完成的。给出了如下几条断层的参数为:

曲江断裂,走向 $300^\circ$ ,倾向南西,倾角 $70^\circ$ ,半长度30公里,上界面深为0公里,下界面深为40公里。

石屏—建水断裂,走向 $285^\circ$ ,倾向南西,倾角 $75^\circ$ ,上下界面分别为0和40公里,半长度35公里。

玉溪断裂,走向 $NE15^\circ$ ,倾向南东,倾角 $60^\circ$ ,上下界面分别为0和30公里,半长度为25公里。

小关—李浩寨—利民断层走向北东 $30^\circ$ ,倾向北西,倾角 $60^\circ$ ,半长度20公里,上下界面深度分别0和30公里。

根据这种断层模式计算各种不同错距情况下的理论位移,选择理论位移和实际位移残差平方和最小的那组参数作为所求结果:曲江断裂右旋水平错距5公里,正断距0.6公里;石屏—建水断裂左旋水平错距4公里,正断距0.8公里;玉溪断层左旋水平错距2公里,正断距1.5公里;小关—李浩寨—利民断层左旋水平错距2公里,正断距1公里。

区内资料难以确定红河断裂的错距,但已有资料\*证实其在晚第四纪中的右旋水平错距达4公里。这样,上述给出的断层运动模式类似于Anderson所描述的斜断层(Splay faults)〔9〕,红河断裂是其主断层,曲江断裂和石屏—建水断裂是其次级断层。它们均是在强大的南北向挤压应力作用下发生运动的。

\* 朱成男等,红河断裂的断错水系发育与地幔活动问题。

### 四、现代构造应力场

已经得到的区内第四纪断层运动模式能否代表现代断层运动和能否解释地震现象，可以通过勾绘本区现代构造应力场来证实。

1970年通海7.7级地震，沿曲江断裂发育了一条长约50公里的地震裂缝带。在裂缝带的

不同地点上测得了一些断层要素。包括断层产状，滑动方向或水平和垂直错距等。从而使得我们有可能利用吴尔夫网作图法确定各个测点的应力参数，结果示于图4中。这清楚表明该裂缝带是在北北西—南南东方向、仰角较小的主压应力作用下形成的。其主张应力轴仰角也相当小，而中间应力轴仰角大，属于右旋走滑断层。

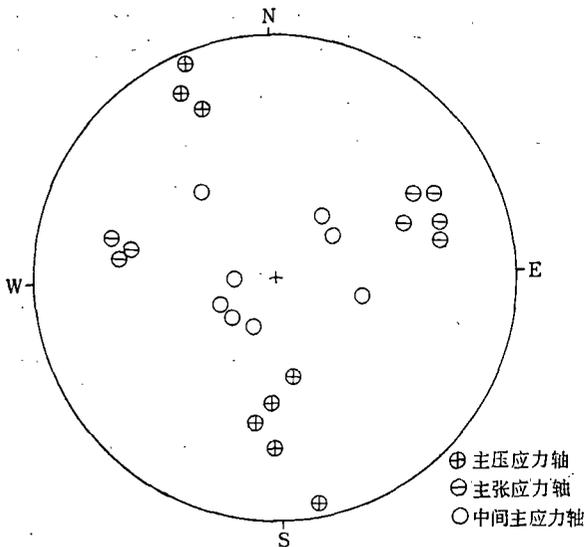


图4 通海地震裂缝带所显示的主应力轴投影图

通海地震前后环绕曲江断裂测量的三角边长资料已由国家地震局地震测量队作了总结〔7〕，作者等〔10〕也曾研究过其应变分布特征。将跨越地震裂缝带的九条测边区和其它测边所在的共五个区域分别计算应变参数，求得结果示于图5中。它说明沿断裂带的主压应变为北北西—南南东向，在平面上主张应变值大于主压应变值，是一种正断右旋走滑断层的应变特征。不只如此，断层两侧的块体内的应变具有明显的象限性，断层前进盘前段以压缩应变为主，断层前进盘后段以拉张应变为主。

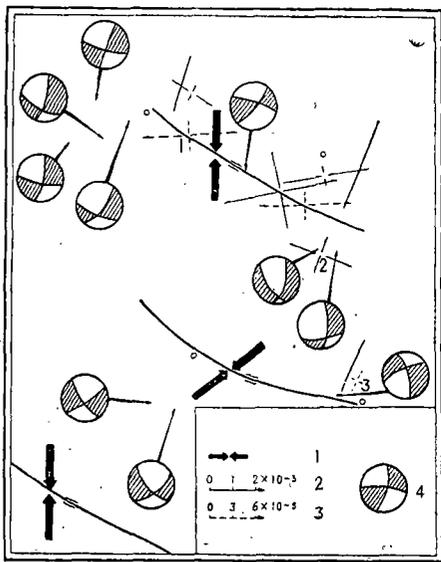


图5 构造应力场图示

1.小海治 2.白村山 3.碗密村 ①第四纪主应力方位  
②三边测量求得的主应变大小和方位 ③定点基线测量求得的主应变大小和方位 ④震源机制图示,影线表示拉张区

云南省地震局地震测量队在峨山的小海治、通海的白村山和建水的瓦窑村设立了三个定点基线测量点。根据这些点上的资料，用累积变化求得白村山和瓦窑村的主应变值及其方位表示于图5中。小海治一号测点反映1976年10月9日峨山5.3级地震，图中给出了地震时的

主应变, 此点因受边坡影响, 其它数据不能说明断层活动。基线点的主应变分布, 同这里第四纪断层运动显示的主应力分布是相近的。

图5中还表示了由阚荣举同志所做的通海地震主震震源机制解和我们做的一些地震P波初动节面解。它基本上代表了本区块断运动的特征。

## 五、地震活动特征

通海7.7级地震发生在曲江断裂上, 是本区有历史地震记载以来最大的一次。如前所述曲江断裂在最近的70—100万年中右旋错动了5公里, 其平均水平运动速度为5—7毫米/年。在断层没有蠕动情况下, 7.7级地震的重复周期为300—400年, 若有蠕动参与, 则实际重复周期更长。本区地震活动主要集中于曲江断裂、石屏-建水断裂、玉溪断裂等第四纪活动断裂上。这些断裂的活动不是孤立的, 而是在区域应力场作用下发生的旋性不同、互相依存、互相制约的块断运动。考察7.7级大震前400年内周围地区地震活动情况, 可以看到大震的真空性及其构造原因。1560年起, 本区地震活动增强, 到1606年建水发生一个九度地震, 这是曲江断裂西南盘边界破裂的表现。1789年通海和华宁之间发生了一次9度地震, 它为曲江断裂东北盘的运动创造了东北部边界让位条件。1799年和1887年石屏—宝秀一带的两次九度地震, 完成了石屏建水断裂错动连通的全过程, 同时为曲江断裂西南盘运动提供了西南边界条件。1913年峨山九度地震发生于通海地震断层的西北端。宏观地震资料表明这个地震具有北东和北西两个方向, 它又为曲江断裂的东北盘运动创造了边界条件。通海大震前的五个九度地震和八个八度地震围成一个空区, 通海7.7级地震正是发生在这个空区内的曲江断裂上。考虑到本区地震活动彼此关联并有共同的块断成因, 它们虽然不是发生在同一条断层上, 我们仍然把它们划归一个地震带, 称之为通海—石屏地震带。

我们可以将某地区某时间内所发生的地震总个数以能级K为单位进行统计。统计的能级K是在i到j的范围内, 这一范围内的地震总个数记为 $\sum_{k=i}^j N_k$ 。根据地震断层总面积 $\Sigma s$ 的含意可以写为,

$$\Sigma S = \sum_{k=i}^j N_k 10^{2k/3} \quad (2)$$

应用通海—石屏地震带的地震资料, 求得通海地震前四百年内所有围空地震的断层总面积与通海地震能级K的关系,

$$K = \frac{3}{2} \lg(0.6S) \quad (3)$$

古登堡和李希特的地震震级M与能量E之间的经验关系可以改写成如下形式,

$$K = 4.8 + \frac{3}{2} M \quad (4)$$

比较(3)和(4)可以得到通海地震震级M与所有围空地震断层总面积S之间的关系,

$$M = \lg S - 3.8 \quad (5)$$

在确定了地震带内的空区和空区外围的所有围空地震后, 用(5)式可以预测空区内地震震级。

(本文1980年8月29日收到)

## 参 考 文 献

- [1] 尼古拉耶夫, H.N., 亚洲的新构造, 苏联的新构造研究译文集, 91—101页, 黄述银译, 1965.
- [2] 陈运泰等, 根据地面形变的观测研究1966年邢台地震的震源过程, 地球物理学报, Vol. 18, № 3, 1975.
- [3] Ando., M., Seismo—tectonics of the 1923 Kanto Earthquake, J.Phys. Earth, Vol.22, №. 2, 1974.
- [4] Mansinha, L. and D.E. Smylie, The Displacement Fields of Inclined Faults, Bull.Seism.Soc.Amer., Vol.22, №. 5, 1971.
- [5] 王椿镛、朱成男等, 用地形变资料测定通海地震的地震断层参数, 地球物理学报, Vol. 21, No. 3, 1978.
- [6] Mckinstry, H.E. Shears of the Second Order, Am.J.Sci., Vol.251, 1953.
- [7] 国家地震局地震测量队, 1970年云南省通海地震的地形变特征, 地球物理学报, Vol. 18, №.14, 1975.
- [8] Jaeger, J.C., Elasticity, Fracture and Flow With Engineering and Geological Applications, London, 1956.
- [9] 朱成男, 滇南地区新生代构造发育, 兼论通海地震地质背景, 地震研究, №. 3, 1978.
- [10] 朱成男, 刘玉权, 云南省通海和东川两次地震的地面应变的象限性分布, 地震学报, №. 3, 1980.

SEISMOTECTONICS IN TONGHAI-SHIPING AREA,  
YUNNAN PROVINCE, CHINA

Zhu Cheng-nan

(The Seismological Bureau of Yunnan Province)

Abstract

The Tonghai-Shiping area is located in South Yunnan province. Many large historical earthquakes occurred in the area. It is important to study seismotectonics here.

In this paper, <sup>Using</sup> the method of geomorphological analyses, the surface vertical tectonic deformation since Pleistocene in the area is obtained, and right lateral displacement 5KM and average movement velocity 5mm/yr are <sup>of Qujiang fault</sup> calculated from the vertical deformation by elastic dislocation theory. The results show that present and quaternary tectonic stress fields are same, their principle compression axes are NNW-SSE direction.

The average interval of earthquakes as large as magnitude 7 along the Qujiang fault is about 400 years. The data of earthquakes in this area show that there had been a gap of the large earthquake along the fault during 400 years before the large Tonghai earthquake.