

# 昆明活断层探测工作区中小地震重定位研究<sup>\*</sup>

虎雄林, 李正光, 卢吉高, 杨润海, 谢英情

(云南省地震局, 昆明 650224)

摘要: 运用双差精确定位法对 1999~2003 年间发生在昆明活断层探测工程工作区的中小地震进行重新定位, 并分析精确定位结果与地质构造的关系。结果显示, 汤郎—易门断裂、小江断裂的西支和玉川断裂的地震活动性相对于其它断裂而言较强, 并且地震易发生在断裂交汇处或断裂交汇处的断层活动性较强。

关键词: 昆明盆地; 双差定位; 中小地震

中图分类号: P315.5 文献标志码: A 文章编号: 1000-0666(2008)增刊-0585-05

## 1 工作区地震地质构造环境

昆明活断层探测与地震危险性评价工作区大地构造上位于扬子准地台内川滇台背斜与滇东台褶带的武定—石屏隆断束与昆明台褶束和曲靖台褶束, 扬子板块内的康滇古隆起与滇东拗褶带块体内。工作区内出露有元古界、古生界、中生界及新生界地层。其中元古界、古生界和中生界分布广泛, 新生界只有零星分布。区内断裂线以南北走向为主, 此外还有北西、北东及东西向断裂。第四纪沉积物类型主要有: 红土层、河流相冲积层、洪积相沉积层、湖沼相沉积层、河湖相堆积、冰川沉积层、冰水堆积层、山谷堵流相堆积、重力堆积。工作区新构造运动上位于滇东—滇东南稳定抬升区和滇中断块式抬升区, 新构造运动主要为垂直掀斜隆升差异运动和断裂的新活动。

工作区区域断裂构造包括小江断裂带、普渡河断裂带、汤郎(罗茨)—易门断裂、玉川断裂、大春河—一朵云断裂、则邑断裂、呈贡—富民断裂、黑龙潭—官渡断裂、马厂—县街断裂; 第四纪断层有: 白邑—横冲断裂、蛇山断裂、禄表—温泉—宗鲁箐断裂、梨花海断裂、蟒蛇河断裂、白龙潭—安化断裂、马过河—团街断裂、小仓—银场箐断裂、三斗乌—达茂断裂、龙测村—大缉麻断裂、草铺—鸣矣河断裂。工作区的重力、航磁、深部构造、地壳结构特征以及地球物理异常梯度带与活动断裂、地震活动性有密切关系。地

球物理异常多呈带状展布, 以南北向为主, 次为北西及北东向。地壳速度结构分为 3 层, 地壳平均速度  $6.34 \text{ km/s}$ , 地壳厚度  $42 \sim 45 \text{ km}$ , 莫霍面埋深具有西北深东南浅的特征。

## 2 双差定位及数据处理

### 2.1 双差定位

Waldhauser 等 (2000) 提出的双差定位算法是一种精度比绝对定位方法高的相对定位方法, 它适用于比空间跨度主事件法大的地震事件群体, 该算法要求两个地震事件间的走时差远小于震中和台站间的距离。在这种情况下, 对于同一台站记录到的两个地震事件的走时差就和射线路径上的速度不均匀性无关。双差算法使同一台站记录到的一对地震事件间的走时残差最小化。有两种方法可用来最小化走时残差, 一种是奇异值分解法 (SVD); 一种是最小二乘梯度变换 (LSQR)。

### 2.2 数据处理

采用 Waldhauser (2001) 根据双差定位算法得到的 HYPODD 程序对 1999~2003 年间云南测震台网记录到的昆明活断层探测工程工作区内的中小地震进行重定位。HYPODD 程序精定位的基本思路是对能组成地震对的地震进行识别, 然后对每个地震对所对应的台站进行识别, 以便较为精确地计算走时, 最终, 对于组成 1 地震丛的 1 组地震运用最小二乘法完成对它们的精定位。用 HYPODD 程序进行精定位时包含如下步骤。

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2008-10-20.

基金项目: 中国地震局十五项目昆明活断层探测与地震危险性评价和中国地震局地震科学联合基金 (G05014) 联合资助.

2.2.1 读取地震到时

为了提高定位精度，并尽量减小到时的读取误差，首先对云南测震台网记录到的在昆明活断层探测工程工作区（ $24.3^{\circ}\sim 26^{\circ}\text{N}$   $102.1^{\circ}\sim 103.4^{\circ}\text{E}$ ）内  $M\geq 1.0$  的中小地震重新读取 P波和 S波到时，共得到 520个具有清晰 P波和 S波到时的数据。

2.2.2 组成地震对

地震对指的是同一台站记录到的震中距离小于给定数值的两个地震。程序 Ph2d 对地震对的处理是把它和一定数量的“邻居”联系在一起形成地震对链，从而形成地震丛。对“邻居”的定义是：一个地震对落在以另一地震对为中心、MAXSEP为半径的圆内，并且记录到的该地震对的震相数最少要是 MNLNK。Ph2d 在每一地震对和它的“邻居”间建立关联，以便最终形成地震丛并进行定位。

在定义邻居时还要有一些其他必需的参数。当数据量很大时有可能组成数据量同样很大的地震对，从而超过计算机的内存限制和允许计算时间，所以 Ph2d 给出了一些控制参数以便顺利运行 HYP0DD 程序。其中一些重要的参数是：地震对和台站间的最远的距离（MAXDIST）；每一地震对所允许的最多邻居数（MAXNGH）；每一地震对最多被 MAXOBS 个台站记录到；每组地震时间最大间隔（WDCT）。得到较为精细的到时数据后，通过程序 Ph2d 把 520 个地震组对。所需控制参数见表 1。

表 1 Ph2d 程序所需控制参数值

参数	输入数值
MAXDIST	200
MAXSEP	10
MAXNGH	100
MNLNK	4
MNOBS	2
MAXOBS	50

通过给定参数控制对 520 个地震组对后，得到进行 HYP0DD 所需要的数据（dttc 文件）。dttc 文件中给出了所组地震对的各地震的序号和所使用的到时数据、震相、记录台站及权重值。

2.2.3 组成地震丛并进行双差定位

利用 HYP0DD 程序可以把地震对组成非常大的地震丛，也可以组成只有几个地震对的地震丛，

这一切都依赖于预先给定的参数，如 MAXSEP 和 WDCT（图 1）。HYP0DD 能够重定位所有的地震丛或只重定位一部分。

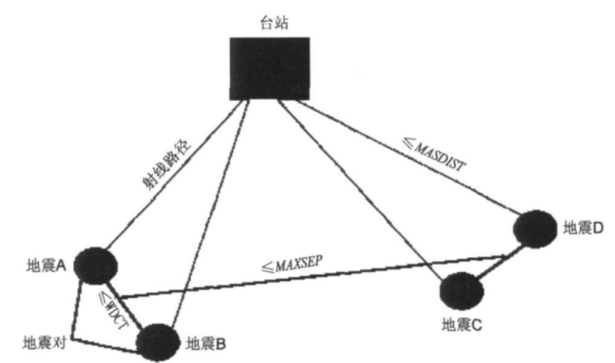


图 1 运用 HYP0DD 程序时所需参数

通过 Ph2d 程序对昆明活断层探测工程工作区的中小地震组对后就可利用 HYP0DD 程序进行重定位。此时，所有的重定位都基于一个半空间速度模型，我们采用的速度结构是胡鸿翔等（1986）对云南地区速度结构的探测结果。参考有关资料，我们把研究区的地壳分为 5 层，各层的速度结构见表 2。

表 2 云南昆明地区速度结构

P波速度 / km s <sup>-1</sup>	地层上界与地面距离 / km
5.11	0.0
5.92	3.2
6.23	18.7
7.15	28.00
7.6	41.9

在运用 HYP0DD 程序进行重定位时，除需要昆明地区的速度结构外，还必须给定一些参数以便在对地震对组丛时进行限制，从而得到较为理想的定位结果（表 3）。

表 3 HYP0DD 程序所需控制参数

参数	输入值
数据类型	Catalog
震相类型	P波和 S波
DIST	200
OBSCT	8
反演方法	LSQR
P波权重	1.0
S波权重	0.5
阻尼值	20

### 3 重定位结果

由图 2 可知，工作区内的中小地震在西北部主要位于汤郎—易门断裂，中部主要位于普渡河断裂与呈贡富民断裂交汇处，西南部主要位于汤郎—易门断裂、中普贝—夕阳断裂与马厂—县街断裂所围区域及普渡河断裂与玉川断裂的交汇处，东南部主要位于抚仙湖附近的小江断裂处。重定位前后的震中分布变化不大，只是重定位后的震中分布略微集中。

由图 3 可知，双差定位前震中较分散，但分布

均匀，定位以后震中分布更集中靠近断裂，因此定位后的震中分布图像更能证明汤郎—易门断裂的活动性较强。

图 4 的西南部是汤郎—易门断裂、中普贝—夕阳断裂与马厂—县街断裂所围区域和普渡河断裂与玉川断裂的交汇处，地震定位前后震中分布相对更靠近汤郎—易门断裂，说明此处地震的发生与该断裂的相关性更大。图 4 下部是玉川断裂，定位前大多数地震都分布在断裂附近，定位后的地震分布相对集中，并且沿断裂向东南方向移动，说明玉川断裂活动性较强。

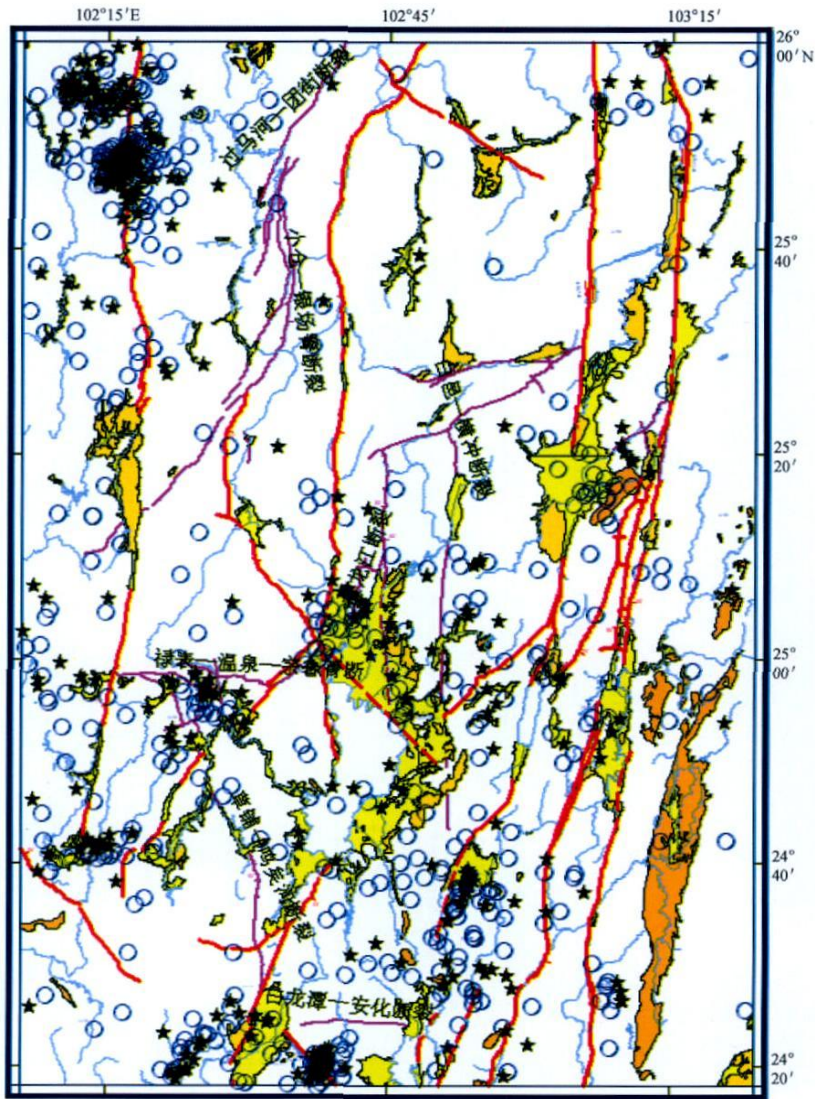


图 2 昆明活断层探测工程工作区中小地震双差定位前后震中分布图



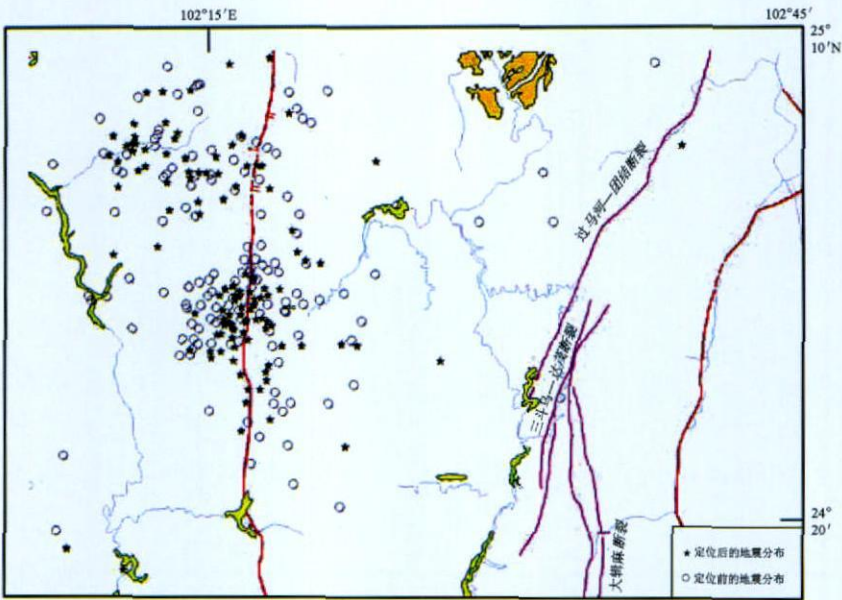


图3 汤郎—易门断裂附近中小地震双差定位前后震中分布图

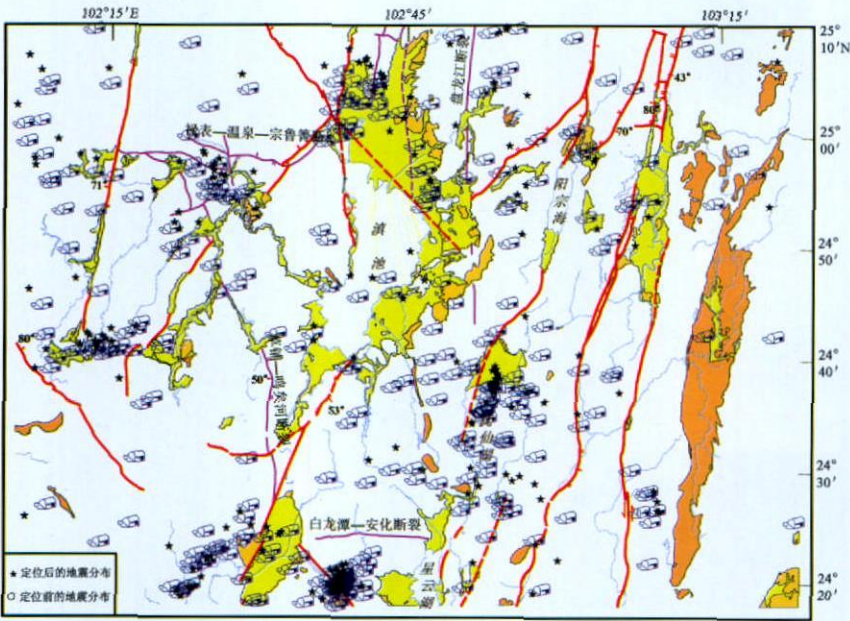


图4 工作区西南部中小地震双差定位前后震中分布图

4 结论与讨论

运用双差定位法对云南测震台网所记录到的1999~2003年昆明活断层探测工程工作区(24.3°~26°N, 102.1°~103.4°E)的 $M \geq 1.0$ 中小地震进行了重新定位。处理了520个能同时读取P波和S波到时的地震,经双差定位法重新定位后,得到了350个地震的精定位结果,即只有大约67%的

地震得到了精定位结果。  
重定位结果显示在汤郎—易门断裂附近存在一条明显聚集的活动地震带,与定位前结果比较,定位后的地震活动带聚集性更好,这揭示出地震活动与这条断裂在空间分布上具有一致性,这也表明重新定位后的结果在震源空间位置上得到了明显改善。  
地震主要分布在几条断裂的交汇处,第一处在禄表—温泉—宗鲁箐断裂、马厂—县街断裂与

草铺—鸣矣河断裂的交汇处，第二处在呈贡—富民断裂、蛇山断裂、普渡河断裂、马厂—县街断裂与黑龙潭—官渡断裂的交汇处，定位前后的变化不大，地震缺失较严重，这也可能是地震成丛性较差导致，但从地震的分布可说明地震易发生在断裂交汇处，或断裂交汇处的断层活动性较强。

参考文献:

胡鸿翔, 陆涵行, 王椿镛, 等. 1986. 滇西地区地壳结构的爆破地震研究 [J]. 地球物理学报, 29 (2): 133—144.

Féchet J 1985. Simples et doubles signaux [D]. Thèse d'Etat Université Scientifique et Médicale de Grenoble  
Geiger L. 1910. Herdbestimmung bei Erdbeben aus den Ankunftszeiten [J]. K. Ges. Wiss. Göt. 4: 331—349.  
Wadhauser F, Ellsworth W L. 2000. A Double Difference Earthquake Location Algorithm: Method and Application to the Northern Hayward Fault, California [J]. BSSA, 90: 1353—1368.  
Wadhauser F 2001. HYPODD—A program to compute double difference hypocenter locations [R]. U. S. Geologic Survey Open-File Report.

Relocation of Mid-small Earthquakes in the Survey Area  
of Active Faults in Kunming

HU Xiong-lin, LI Zheng-guang, LIU Ji-gao, YANG Run-hai, XIE Ying-qing  
(Earthquake Administration of Yunnan Province, Kunming 650224, Yunnan, China)

Abstract

We use double difference location method to relocate the mid-small earthquakes occurred in 1999-2003 in the survey area of active faults in Kunming, and analyze the relationship between relocation result and geologic structure. We find that the seismicities of the Tanglang-Yimen fault, the west branch of the Xijiaojiang fault and the Yuchuan fault are stronger than those of other faults, and the earthquake occurs in the intersection area easily, which means the fault in the intersection area is active comparatively.

Key words: Kunming Basin, double-difference location, mid-small earthquake