

一、模型研究的目的、必要性和需求分析

我国从1966年起开展地震监测预报工作，在实践中形成了长中短临渐进式地震预报的科学思路和工作机制。为了使地震长期预测结果更好地指导中短期地震分析预报工作，并使地震长期预测结果直接应用于地震灾害预防、工程抗震等工作中，中国地震局分别于1995年和2005年研究确定了1996~2005年和2006~2020年地震重点危险区。两版10年尺度危险区判定结果在防震减灾工作中发挥了重要作用，比如1996年1月~2005年12月在有监测能力的地区共发生10次地震(东部 M_s 5.7以上、西部 M_s 6.7以上)，其中发生在危险区中有7次；2006~2020年中国大陆地震重点危险区预测结果的实际映震效果同样比较好，2006年1月以来在中国大陆有监测能力地区发生在危险区内及边缘的地震包括2008年汶川8.0级、2008年喀什6.8级、2013年芦山7.0级、2015年阿拉善左旗5.8级、2016年阿克陶6.7级和2017年九寨沟7.0级地震，观测资料少的地区发生在危险区内的地震有2008年西藏改则6.9级、2008年于田7.3级、2010年玉树7.1级和2015年尼泊尔8.1级地震。

在确定未来危险区位置、强度和紧迫程度的方法上，地震活动性定量分析是获取区域和局部地震活动性的量化特征、分析地震活动与区域和局部应力场变化、进而分析与强震/大地震相关前兆信息的重要途径之一。该方向可从以下几个方面提供了判据：①基于沿断裂带的 b 值等地震活动性参数空间扫描识别大地震危险断裂段的地震活动性定量特征；②基于小震精定位结果识别大断裂上的小震稀疏段，为地震重点危险区的地点判定提供依据；③基于时-空ETAS模型开展背景地震和丛集地震分析分离，为强震时间和地点预测提供支持；④小震震源机制一致性参数为地震重点危险区的地点和发震时间预测提供支持。

二、模型预期指标和技术路线

预期指标：①提供南北地震带 M 1.5级以上重新定位目录；②提供各危险区重点段落震源和 b 值剖面；③在各省区年度会商报告和地震大形势报告中应用。

技术路线：震相观测报告→统一观测报告→分区多阶段定位→各区定位结果拼合。

三、模型数据来源和质量分析

震相观测资料来自于南北地震带各省区地震台网。为确保观测质量，我们在地震定位开展之前先对各区观测资料进行和达曲线绘制，并去除超过2.5倍均方差的 P 、 S 震相数据对，使得在尽可能删除离群观测点的同时，保留更多的射线三维走时信息(图1)。

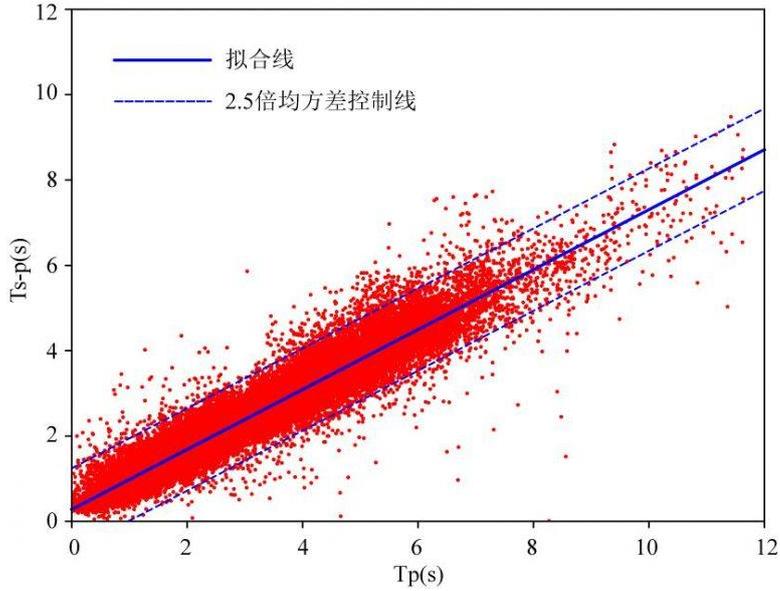


图 1 利用和达曲线挑选震相观测资料示意图

四、模型研制关键技术方法

①南北地震带各省区观测范围重叠严重，部分事件被反复记录（图 2），需要事先合并观测报告。

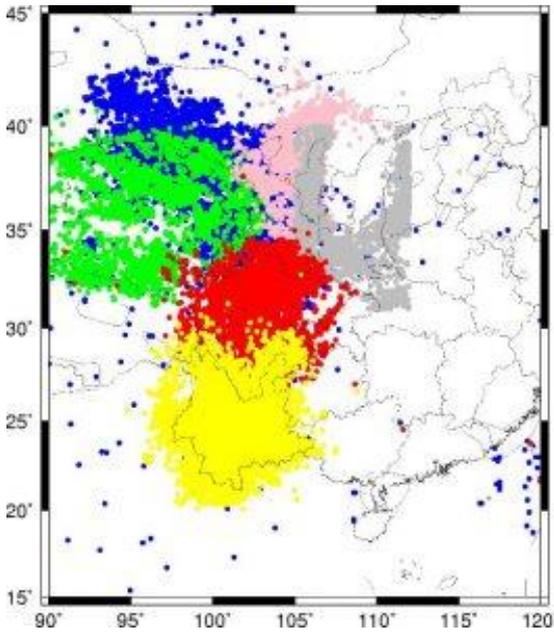


图 2 南北地震带各台网记录事件的震中分布图（不同颜色代表不同台网记录到的事件）

我们采用了联合概率密度分布来合并了不同台网记录到的同一事件，并区分了独立事件。其公式为（龙锋等，2018）：

$$P(T,S,M)=P(T|S,M)P(S|M)P(M)$$

其中 T 、 S 、 M 分别表示不同台网间不同事件在时空强三维空间上的差异分布。以鲁甸地震序列为例的计算结果显示合并效果显著（图 3）。

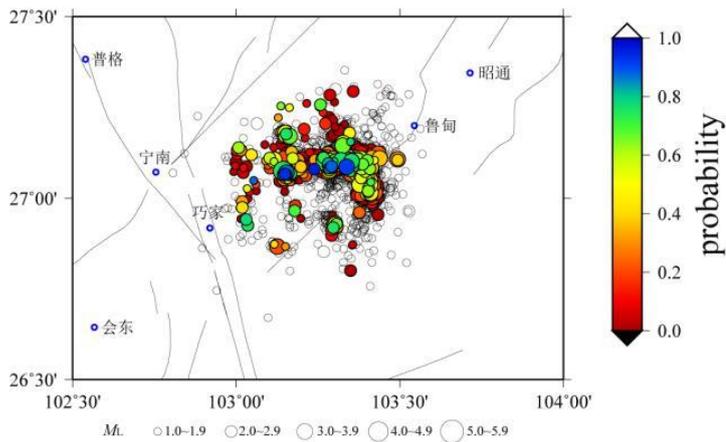


图 3 利用川滇两省台网合并后的鲁甸地震序列

②研究区面积过大不适合总体运算。我们先将南北地震带划分为 $3^{\circ} \times 3^{\circ}$ 的子区，对每个子区采取绝对定位+相对定位/联合反演的多阶段方式获取它们最终的定位结果。

五、模型完成情况与成果

已完成 2009 年 1 月至 2019 年 3 月南北地震带 $M_{L} 1.5$ 级以上 127009 条地震的重新定位(图 4, 5)，其结果已在各类研究中得以应用。

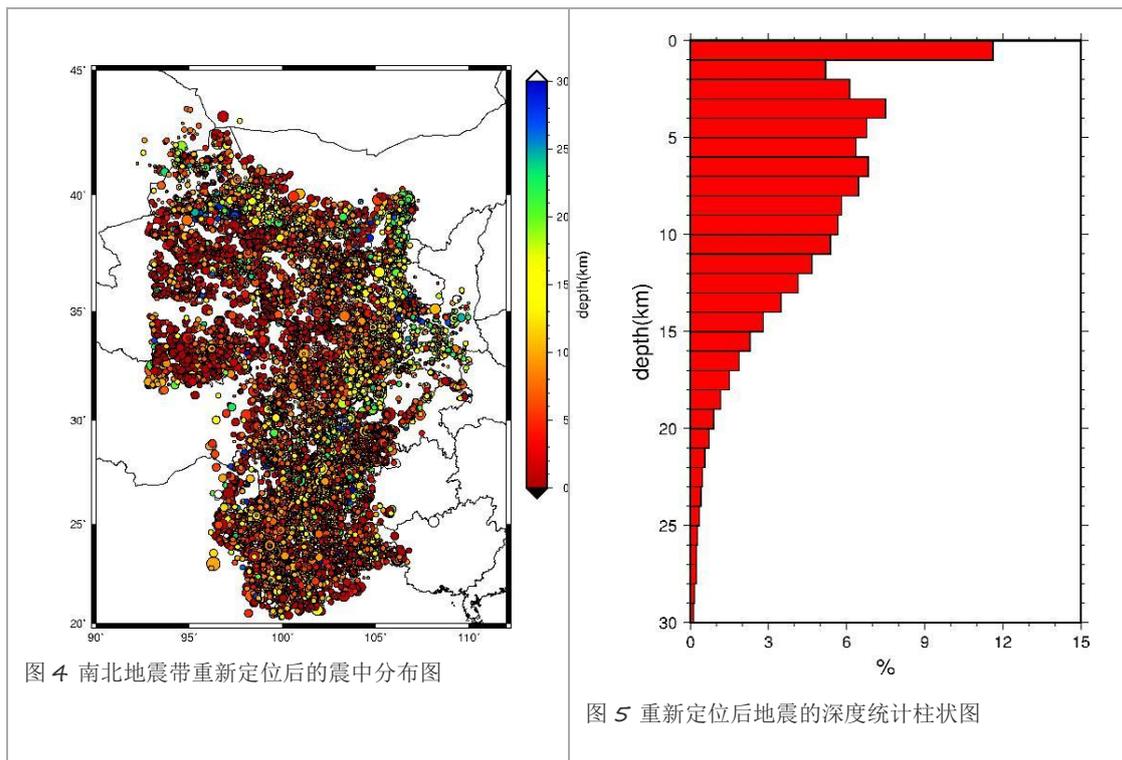


图 4 南北地震带重新定位后的震中分布图

图 5 重新定位后地震的深度统计柱状图

六、模型验证（测试）与精度评价

①模型测试

以汶川序列为例，从序列中南部划分一垂直于长轴的剖面(图 6)，从震源剖面可以看出，余震集中在 20km 深度内，属于脆性上地壳。有两丛地震发生在剖面距离 40~60km 处，其中东侧一丛粗壮，浅部直立，深部倾

向 NW，在深度 20km 处与同样倾向 NW 的西侧一丛相交（图 7）。这一分布形态与已知的龙门山断裂带中央断裂和后山断裂的几何接触关系一致。

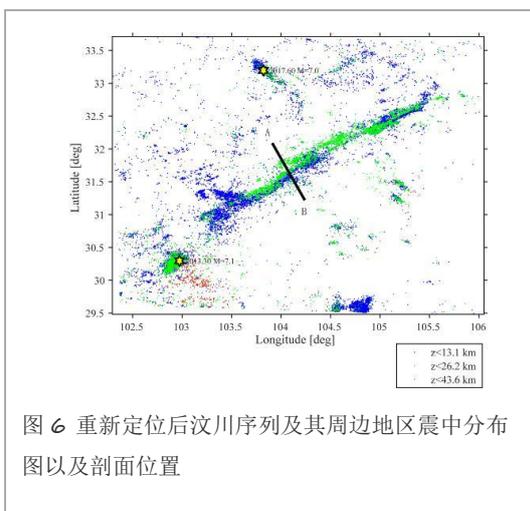


图 6 重新定位后汶川序列及其周边地区震中分布图以及剖面位置

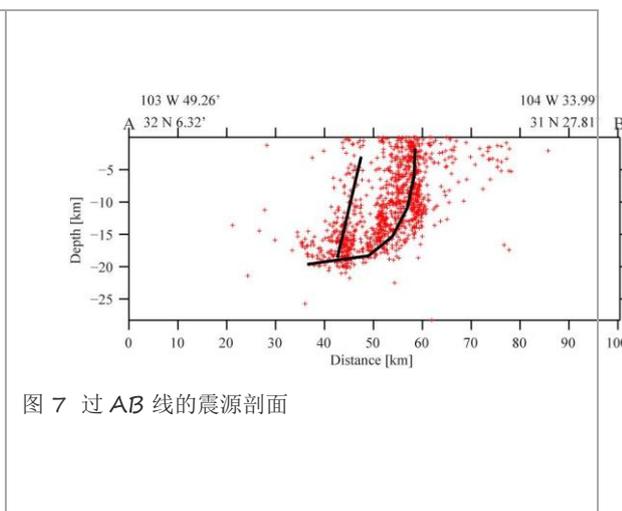


图 7 过 AB 线的震源剖面

②精度评价

计算发现，定位精度是时空强的函数：台网密集地区误差较小；随时间推移，监测能力提高，误差越小；震级较大的地震记录到的台站较多，误差越小。

用绝对定位结果统计了误差的分布状态，结果显示 80% 事件的走时 RMS 限定在 0.3s 以内，80% 的事件的水平误差在 2km 以内，震源深度控制较差，但 80% 的样本的垂直误差在 4km 以内（图 8）。

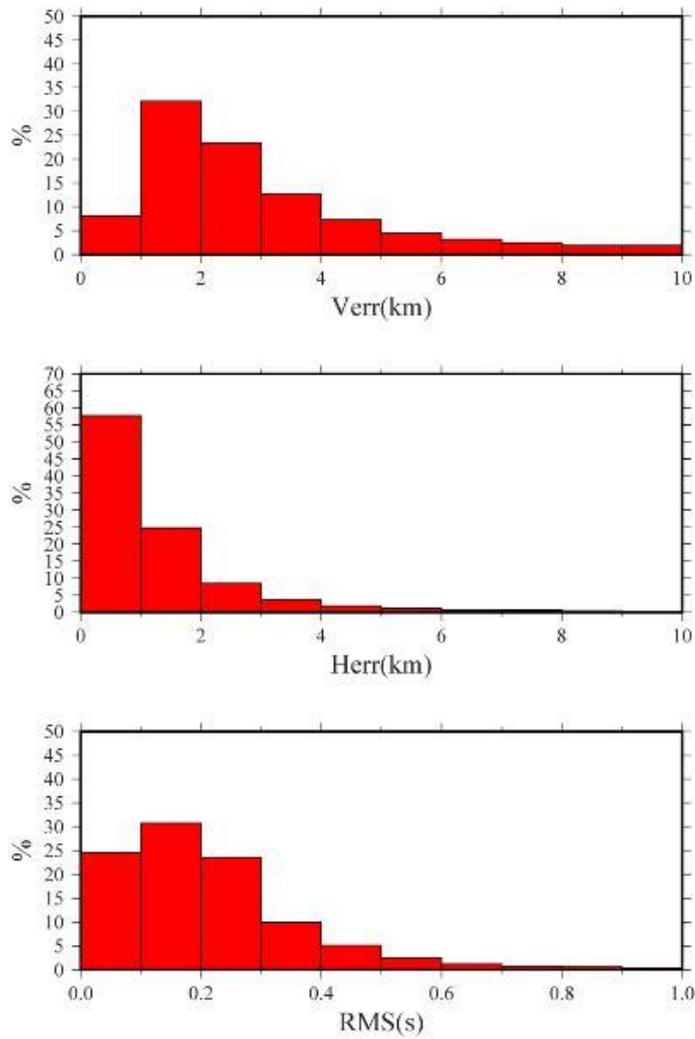


图 8 绝对定位误差统计柱状图

七、模型使用说明

数据文件名为 *cata2019.txt*，文件采用文本字段存储方式，格式为：

年 月 日 时 分 秒 纬度 经度 深度 震级