

# 甘肃地区的震源深度分布

王周元

(国家地震局兰州地震研究所)

## 摘 要

重新定位了甘肃地区1977年1月至1984年7月的3000多个中小地震, 分析对比这些地震的深度分布可以看到:

1. 甘肃地区近年来中小地震主要分布在15公里以上的上部地壳中, 而且这些震源在深度上呈层状分布, 分别在1.5公里, 7.5公里和11公里附近出现三个密集分布层。

2. 震源分层情况, 浅层地震活动水平, 地震活动“源”深度等都显示出同历史强震有关, 而大震多位于地下15公里深处附近, 大震对地壳介质的影响可达40公里深处。

3. 中小地震强度随震源深度变化不明显。

文章最后还论及了定位模型对震源深度测定结果的影响问题。

震源深度是地震最基本的参数之一, 在地震研究和预报中占有重要位置。由于岩石的非均匀性和震源体强度的不同, 震源在各个地区的分布也各异。对于震中的地理分布人们已作了大量的研究工作, 揭示出其极不均匀但有规律可寻的一般特征。但对震源在垂向的分布情况所作研究并不多, 以往手工测定的为数不多的震源深度值其误差估计在10公里左右, 据这些结果人们得出的粗略结果是地震多分布在地下10~20公里深度上。这具有一定的参考意义, 但深入研究十分必要。此外, 随着定位工作的发展, 地壳模型对震源深度测定的影响也日趋突出, 为人重视。本文则是对这两方面工作所作的初步小结。

## 一、资料情况

原始资料取自1977年1月至1984年7月《甘肃台网地震观测报告》(以下简称《观测报告》)。选用P波和S波段初至震相总数不少于5个的地震, 用计算机计算, 重新定位, 程序为自编的用于多层地壳模型的定位程序<sup>1)</sup>。目前甘肃地区可用于测震定位的地壳模型有三种, 即根据天然地震波到时资料反演的四层模型<sup>[1]</sup>, 甘肃地区近震地震波走时表给出的

<sup>1)</sup>王周元, 用于多层地壳模型的机算定位程序。

单层均匀模型〔2〕以及面波资料反演的四层模型〔8〕，分别称为A、B、C模型。经试算分析，模型A效果最佳，因此文中的震源深度资料均为用模型A定位的结果。涉及模型比较选择问题后面还要作些简单介绍。重新定位的地震共3000多个，这些地震的初至P波和S波到时总数多在10个左右，少部分在20个以上，所用台站的最小震中距一般不大于100公里，最大震中距不超过290公里，这些地震的强度多在2.3级（ $M_L$ ）左右，小于1.5和大于3.8级的地震都很少。此外，机算结果中震源深度误差远小于手工定位误差，大多数在3.5公里左右，为了保证有一定质量和一定数量的资料供分析使用，同时也便于同以往的结果进行比较，本文仅用震源深度误差小于10公里的地震，这样的地震共有1600多个。

## 二、震源深度的统计分布

甘肃地区震源深度的频次分布（图1）表明近年来弱震活动在震源深度的分布上也很不均匀。

1.从总的趋势看，中小地震随着震源深度的增加而减少，大约在20公里以下地震频度就很低了，约在38公里以下几乎没有地震发生，就是说这些地震主要分布在20公里以上的上部地壳中。

2.上部地壳内震源分布也表现出明显的疏密相间的分布特征。靠近地表1.5公里附近是震源分布的第一个密集层，3.0~5.9公里为一稀疏层，6.0~8.9公里为震源分布的第二密集层，9.5公里附近为另一稀疏层，10.0~13.9公里为第三个密集分布层。该层内12.5公里附近似乎存在一相对稀疏的震源分布薄层，该层以下震源随深度增加而明显减少，这样上部地壳震源分布似乎可延伸到15公里附近。

上述分层情况只是多种因素影响的综合平均结果，只能把最基本的共同部分突出来，因而仅区分出震源的密集层和稀疏层，而不是有震层和无震层。

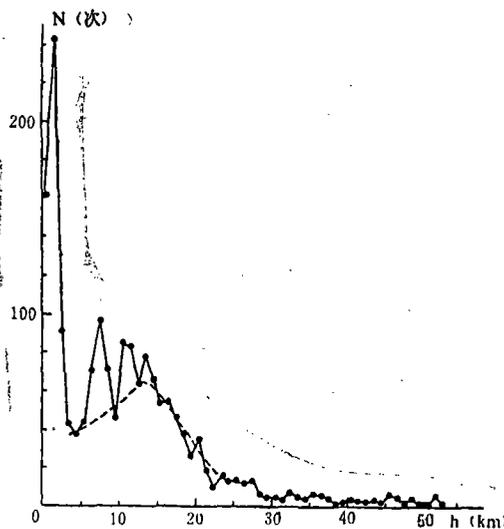


图1 甘肃地区震源深度的统计分布

Fig. 1 The statistics distribution of focal depths in Gansu region

。将这一分层情况与所用的定位模型比较，可以看出，震源的第一个优势分布层正好位于沉积层下界面附近；在(1)中根据速度分布及同其它资料的对比曾指出定位模型中的二、三两层均为花岗岩层，分别称为花岗岩一层和花岗岩二层，这里的第二个震源优势分布层正好位于两个花岗岩层的界面附近，第三个优势层则位于花岗岩二层的上中部。

### 三、各分区的震源深度分布

图2a为所有选用地震的震中分布，按震中相对集中情况可将甘肃及邻近地区大致划为九个分区：河西西部地区，包括嘉峪关、玉门、昌马及其以南地区；河西中部地区，包括山丹、民乐、祁连、肃南、高台、临泽、张掖地区；九条岭~古浪地区；甘肃中部地区，包括兰州、定西、渭源、康乐、临夏地区；景泰、海原、固原、西吉地区；通渭地区；甘谷、礼县、宕井、陇西、武山地区；武都、文县地区和南坪地区。这九个区基本上都在历史大震的极震区内或其附近。

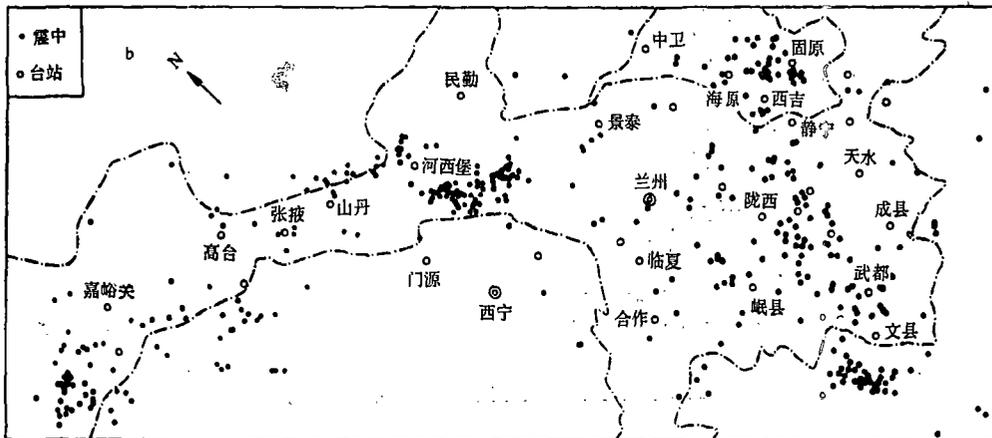
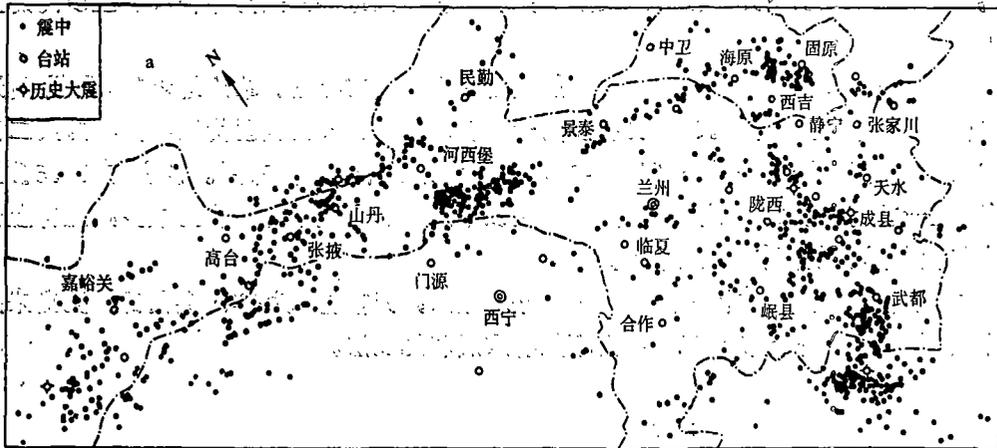


图2a 甘肃及邻近地区震中分布图

图2b 甘肃及邻近地区震中分布图

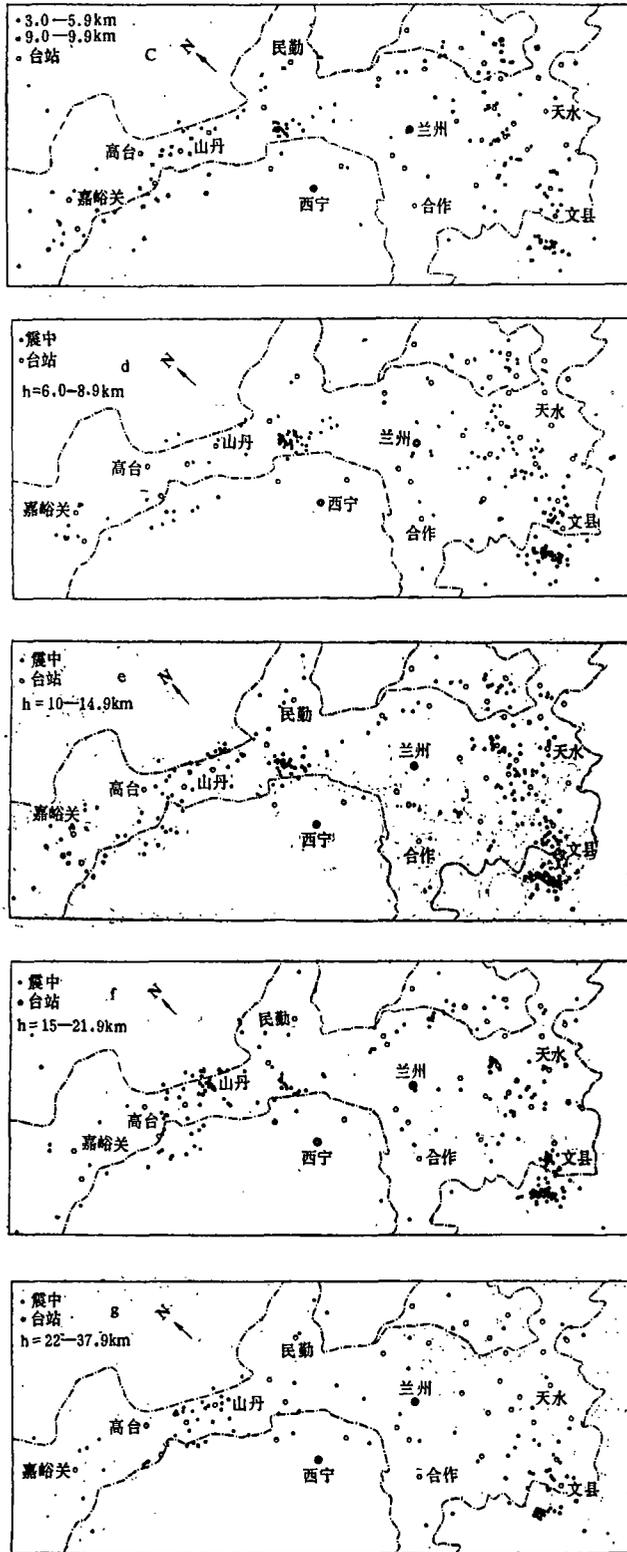


图2 各层的震中分布

Fig. 2 The epicenter distribution of various layers

图2 b~g分别为三个密集层、两个少震层、花岗岩下部和玄武岩上部的震中分布，图3为各分区震源深度的统计分布。从图2和图3可以看出：

1.各分区震源的地理分布几乎都随深度的增大而渐趋集中，一定深度以下就没有地震发生。这在九条岭、南坪、通渭及河西中部等分区反映最突出。表现出浅层和较深层地震活动的差异，较深层的地震活动似起到地震活动“源”的作用。这种地震活动源在近期历史强震区内呈较集中的条带或团块，而且一般位于历史强震破裂带的端部。

2.不同分区震源分布的最大深度明显各异。表1列出了各分区震源的最大深度，其中a~i依次代表前述九个分区，T为历史强震至统计时段之中点1980年的时间间隔。如果认为大震的破裂带是其后震源区内中小地震活动的主要场所，那末随着介质的逐渐胶合、复原，中小地震活动源将向上迁移。根据表1作出了九个分区活动源深度同相应的历史强震间隔时间的关系（图4）。图中的趋势性变化十分明显，用一条直线来拟合可得

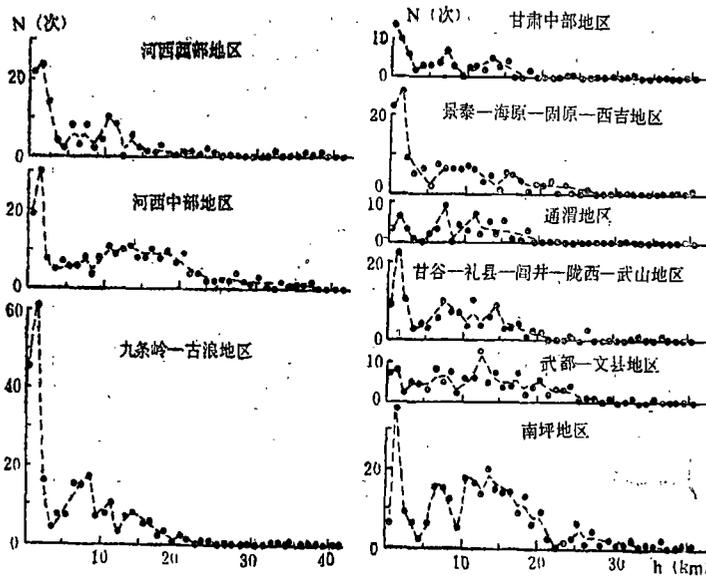


图3 各分区震源深度的统计分布

Fig. 3 The statistics distributions of focus depths in subregions

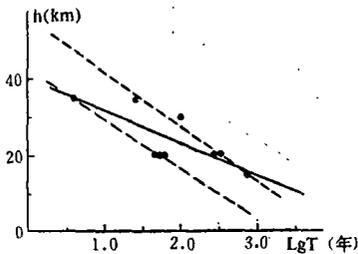


图4 地震活动“源”深度和历史强震的时间关系

Fig. 2 The “Source” depths of seismic activity versus durations of great historical earthquakes

表1

| 区          | a  | b  | c  | d   | e  | f   | g   | h   | i  |
|------------|----|----|----|-----|----|-----|-----|-----|----|
| $h_m$ (km) | 20 | 35 | 20 | 15  | 20 | 20  | 20  | 30  | 35 |
| T(年)       | 48 | 26 | 53 | 855 | 60 | 262 | 326 | 101 | 4  |

$$h_m = 39.7 - 8.4LgT$$

这表明甘肃地区历史大震的影响深度大致在40公里深处，地震之后介质的胶合由深到浅逐渐完成，并且胶合速度越来越慢。若中小地震活动的正常深度为15公里则愈合时间约需900年。显然这种推算是在破碎带同中小地

震活动直接联系的基础上作出的，也只有在这一前提成立的情况下才可能由中小地震的活动深度判定历史大震破碎带的残存深度。图中两条虚线划定了这些点的变化区间。有趣的是近期历史强震，如1932年昌马7½级地震、1927年古浪8级地震、1920年海原8½级地震和1976年南坪7.2级地震多位于下限附近，而历史较远的强震多落在上限附近，有可能表明影响这一现象的因素较复杂，有待深入研究。

3. 各分区震源深度的分布情况差异较大，近地表活动层的弱震活动水平一般都较高，尤其在近期历史大震区更明显，如九条岭、海原和南坪地区；反之近期无大震的兰州、通渭和文县~武都地区弱震活动水平相对较低。此外，近期历史大震区显示出除表层外分层不太明显，且活动层加厚的特点，这可能是强震的破坏使得各活动层贯通的结果，反之长期无大震的地区弱震在深度上的层状分布则较为明显。

综上所述，各分区的震源分布特点与历史大震的关系较为密切。但河西中部和文县~武都地区比较特殊，显示了在玄武岩上层中小地震分布的相对集中，另外，花岗岩上层的分层性极差，特别是河西中部地区，从图2中明显可见中小地震周围较浅，中部较深的凹型分布；这除了历史大震的影响外，应当进一步考虑其它因素的作用。

基于本节的讨论，可以把图1中的分布曲线分成两部分，其一是15公里以上的分层分布，其二为虚线所示的剩余部分。前者可能反映了正常的地震活动分布，后者有可能反映出异常活动部分。该异常活动部分很可能是历史大震参与作用的结果。如果确实如此，则异常活动部分的高值分布所对应的深度应当反映历史强震破坏最重的部位，由此可以推断出甘肃地区历史强震的震源应当在15公里深度上出现优势分布。

#### 四、震源深度同地震强度的关系

松岛昭吾指出，震源深度同地震强度有关，并且用实验证明了大地震应发生在强度较高的10~20公里深处〔4〕，这同本文的推断一致。此外本文也作了中小地震强度同震源深度的关系统计，包括全区各个深度上震级的平均结果、震中高度集中的几个地区地震强度同震源深度的关系以及全区 $M_i \geq 3.0$ 级地震的震级~深度关系。从这些工作中都很难看出地震强度随震源深度的趋势性变化，同文献〔4〕的结果显然不同。这可能因为，象甘肃这样历史强震多且分布很广的地区，地下介质破碎，小震发生的条件很容易满足，因而看不出中小地震的强度随深度有明显变化。但是前已述及，文中所统计的中小地震大多数分布在15公里以上的地壳上部，历史强震多位于15公里深处附近，因此可以认为地震强度同震源深度还是有一定关系的。

#### 五、定位模型对震源深度测定的影响

取1984年1月~7月《观测报告》中的349个地震，用前述A、B、C三个模型机算重新定位。结果表明深度测定误差随模型而异，两个四层模型结果都优于单层；统计分布峰值分别在3.5和5.5公里附近，峰值的分布数及各种误差水平上地震的分布数也相差甚大，模型A明显高于C，约为模型B的2倍；此外不同模型测定震源深度值的统计分布也截然不同，模型A的结果同前述分层特征基本一致；模型B的结果主要显示出在5~35公里范围内基本均

匀分布的特点, 仅在15公里附近有一个不太突出的峰值; 模型C的结果则反映出9~25公里范围内分布明显的特点, 20~25公里出现主峰, 30~35公里深处为次一级峰, 30公里附近为一少震层。

本文还将根据不同模型、不同方法得到的震源深度作了对比, 发现所得结果有明显区别。

可见地壳模型对震源深度测定结果有重要影响, 要得到好的定位结果必须使用尽可能接近实际的地壳模型; 同时也表明在涉及地震深度的研究中, 不能把用不同模型测定的深度值放在一起使用, 尽管这样可以增加深度值的数量, 却影响了测定结果的质量, 由此可以看出开展小区域地壳细微结构研究的重要性。同样资料的机算结果中深度误差优势分布的大小、同一精度水平下可用震源深度数的多少以及震源深度分布图象的合理性似可作为对比定位模型优劣的基本条件。

## 六、小 结

本文用较细的地壳模型机算定位得到了甘肃地区震源深度分布的新特点, 根据测定震源深度误差分布、扩大的数据统计及模型影响的数值分析, 可以认为这种分布特点是可信的, 具有一定的实际意义。地壳上部中小地震的分层特征表明它同震源的地理分布有某些类似之处, 也集中在一定的部位上, 这应当反映出地下介质及应力在深度上的分布也很不均匀, 这对于震源进程的研究具有一定的参考价值, 是个有待研究的问题。本文还指出可将地壳中的中小地震分为两部分——同历史强震震源区介质性质有关的背景活动和浅部的正常活动。正常活动呈明显的层状, 尤其在近地表的密集层中最多。这种区分可能对研究和预报地震都有意义, 但实际中怎样把这两种地震分开却是一个复杂的问题, 尤其是大量正常活动的中小地震接近地表, 其发震机制用粘滑理论解释有一定困难, 而机制的差异则是把它们从背景活动中区分出来的一种可能的指示性标志, 因此对于这些中小地震的发震机应该进一步探讨。

(本文1984年11月17日收到)

## 参 考 文 献

- [ 1 ] 王周元, 甘肃地区分层地壳结构, 西北地震学报, Vol. 6, No. 3, 1984.
- [ 2 ] 张诚等, 甘肃及邻近地区的地壳厚度, 西北地震学报, Vol. 1, No. 2, 1979.
- [ 3 ] 冯锐等, 利用地震面波研究中国地壳结构, 地震学报, Vol. 3, No. 4, 1981.
- [ 4 ] Matsushima, S., On the strength distribution of the earth's crust and the upper mantle, and the distribution of great earthquakes with depth, Journal of Physics of the Earth, No. 1, 1961.

## THE DISTRIBUTION OF FOCUS DEPTH IN GANSU REGION

Wang Zhouyuan

(*Seismological Institute of Lanzhou, State Seismological Bureau, China*)

### Abstract

More than 3000 small earthquakes in Gansu region from Jan. 1977 to July 1984 were relocated with layered crust model. It could be seen that,

1. These events are located commonly in upper crust less than 15 Km deep, concentrating mainly on three layers near 1.5Km, 7.5Km and 11.0 Km deep, respectively,

2. The distribution features of foci, such as layers divided, the active level of upper layer and "source" depth of seismic activity etc., relate to great historical earthquakes, most of which are located about 15Km deep, fracturing the media close to 40Km deep,

3. The magnitude of moderate and small events show no change with the depth of earthquake sources.

Finally, it is discussed the affection of crust model used in location to the result of depth determination.