

综合评述

地震定位的研究

在地震参数的测定中,对于震中经纬度和震源深度的测定,简称地震定位。地震定位的研究,是现代地震学研究的基本问题之一。随着应用数学和电子计算机的发展及其在地震学领域的应用,以及地震学本身观测系统的改进,才使得地震定位的研究有了很大的发展。同时,地壳和上地幔的研究成果也逐步用于改进地震定位的方法,这对提高地震定位的精确度是可以起到一定的作用的。

为地震定量研究和地震预报的需要以及其他有关工作进一步的开展,逐步改善和提高地震定位的精度,是十分必要的。

1. 影响地震定位精度的因素

(1)、地震观测台站的相对分布,台站数量与位置的适当搭配是影响地震定位精度的主要因素。依据地震波到时测定具有限定深度的地震事件,需要有分布在不同象限内的三个以上的台站,在这些相应象限内应有三个以上的其他台站,以便提高参数精度,并防止由于读数错误造成的定位错误。1967年 K. cardwell 和 L. Isacks 用联合震中测定法修定震中^[1]采用了七个均匀分布在震中周围方位较好的台站的资料,都很好的处于置信椭圆之内,有90%的置信椭圆接近于圆形。1978年 N.V. Kondorskaya 等人的研究表明^[2],当震中距离 Δ 大于 20° 时,分布在震中周围适当位置的观测台网所测定的震中位置的精度是相当高的(在几公里以内)。通过使用震中周围分布较好的远距离台站($\Delta > 20^\circ$)可以获得可靠的震中位置,而少数近距离台站对精确测定震源深度起不到作用。由于区域构造特性的影响,近距离台站资料有时与远距离台站不一致,而且一部分数据在求最小值的过程中被自动抛弃了,因此作为一个结果,这个解可能是不确定的,因而震源深度也是不正确的。由于在远距离台上第一个到时受震源深度的影响比受震中距离的影响小,因此,一些国家的观测系统通常通过深度震相 $_pP$ 和 $_sP$ 的到时和 P 波到时差($_pP-P$, $_sP-P$)来估算震源深度。

在利用区域地震台网测定地方震和近震方面, Andrzej kijko (1977) 利用一个已知速度—深度剖面,在地震烈度分布的给定区域,将四至十个台站组成的七种最优台网进行了比较,分析定位精度与地震台站数目的关系,结果表明^[3],当以五个或六个台组成的台网取代四个台组成的台网时,地震定位的精度可迅速改善,但在台站数目继续增加时,地震定位误差将不会显著减少。

(2)、台站记录地震波到时读数的精确度是影响地震定位精度最直接的因素。地震定位

和震中修定关键的因素是P波到时读数的质量。用走时残差(即观测走时减去计算走时)作为微量定位精度的一个标志,而观测走时又为P波到时减去发震时刻,所以P波到时读数的精确度直接影响地震定位精度。目前在国际地震资料的交换中,第一流的台站记录P波到时的误差为0.1—0.2秒,一般台站P波到时误差在0.3—0.5秒左右,某些地震台阵所报出的P波到时误差可降低到 ± 0.1 秒或以下。

(3)、地区性地震波走时表和地壳速度模式与实际情况的符合程度也是影响地震定位精度的因素。由于地球是不均匀的弹性体,所以需要进行地震波走时的台站校正和地区校正。分区求出地球不均匀性的走时改正值,可以提高地震定位的精确度。特别是当震中距离 $\Delta < 20^\circ$ 的台站,必须考虑走时的地区差异。或者制作分区的地震波走时表,或者对某一种走时表进行专门的地区校正。现有的观测资料表明,地球的不均匀性可以使得 $\Delta < 20^\circ$ 范围内的台站P波走时产生1—3秒的偏差。1978年N.V.Kondorskaya等人^[2],用地方的和区域的走时曲线对亚州中部地区进行了分析:震源深度限定在0.5—30公里,并根据亚州中部地壳和上地幔的区域构造对J—B表进行校正,利用 $\Delta = 0^\circ - 100^\circ$ 区间完整的观测系统的资料计算震中位置(ϕ 、 λ);通过考虑走时校正 σt 的最小台站残差的方法,分析近距离台站($0^\circ - 1^\circ$)上的初至到时,选择一个最佳震源深度。通过对具体地震的处理,最佳震源深度与远距离台站上深度相, P 和 sP 的观测结果符合得很好。

2. 提高地震定位的精度的计算机程序的设计

由于地震台站大幅度的增加,电子计算机日益普及,当前大多数地震机构均用计算机进行地震定位,现有的计算机定位程序大体上可以分为如下类型:

(1)、在地震定位程序中输入当地的地壳和上地幔速度结构,例如美国加利福尼亚州圣安德烈斯断层两侧的速度结构是完全不同的,程序设计同时容纳并在定位运算时对位于两侧的台站分别采用相应的速度结构。在有线传输地震台网内的地震定位精度,可以达到 $\pm 2 \sim 3$ 公里,其精度与台网密度和地震波到时观测精度很有关。随着对地壳和上地幔结构研究的深入,地震定位的精度也随之提高。

(2)、在地震定位程序中,设计使其综合利用近台和远台的观测资料,采用某种地震波走时表以计算走时的台站校正。如果该地区地震甚多,观测数据丰富,则可以同时校正分区的地震走时表,进行反复迭代。“联合震中测定法(Joint Epicenter Determination, 简称JED)”即属这一类。当台站在震中周围分布比较均匀,P波到时误差在 ± 0.3 秒以内,定位台数在50个以上时,用这种方法测定的震中位置的标准误差约为 $\pm 5 - 10$ 公里,震源深度的误差则要大一些。

(3)、与上述联合震中测定法相似,但要求在某地区有几个可以精确测定发震时刻、震中座标的核爆炸或者利用密集的地方性地震台网准确测定几次地震的发震时刻 T_0 ,震源座标 ϕ_0 、 λ_0 、 h ,作为该地区的“比较标准”。将该地区其他地震事件的观测走时校正到与那些标准事件一致,这样获得的地震定位可以达到较高的准确度。这种方法要求使用历史上该地区的地震观测资料,将这一地区所有地震台上的地震观测数据在计算机上进行综合处理,能校正震源附近和地震台附近由局部地质条件影响所致的偏差,以获得更高的地震定位精确度。从而要求计算机的外部设备,包括磁带、磁盘要有大容量和高精度。

(4)、在上述几种方法的观测条件和计算机外部设备的基础上,程序设计采用各种新的最优化的计算方法,以提高地震定位的精度。除通常广泛使用的盖革(L. Geiger)最小二

乘法修定震源参数的方法外,近年来各国地震机构均有新的发展和改进,诸如:

在盖革最小二乘法修定法基础上,采用加权最小二乘法。如果地壳内的P波资料不足以测定震源深度或者出现负深度时,可以利用一定任意合适值或深度相差来测定^[4]。国际地震中心(ISC)就是这样处理和提供结果的。

分析盖革法对四个参数求解的条件,提出相应的判别方法,选用不同台站的组合方式,以避免出现病态组合,以提高测定震源深度的精确度^[5]。

修定震源参数的阻尼最小二乘法。这种方法是用最优化的方法修定震源参数,使目标函数的走时残差的平方和为极小,以求得参数的最佳值。为了避免正规方程组求解失效,采用附加阻尼因子的办法,使得每次迭代运算的残差不断趋于减小,并使目标函数均匀收敛于极小值^[6]。

震源参数修定的鲍威尔(Powell)法。这个方法实质上是共轭向量法的改进,它通过试探法逐步寻找目标函数的极小点,它是求解较为直接的方法,不像阻尼最小二乘法那样要计算目标函数的导数^[6]。

以上这些按最优化的要求所改进的计算程序,均要求计算机性能要有大容量、稳定、快速和一定的外部设备,才能实现和提高震源参数测定的精确度。

3. 地震观测台网的布局及其定位能力

地震学是一门观测性很强的学科,要求建立相当数量的台站以获得足够的资料,包括进行地震定位所需要的震源参数的测定,以及研究其他信息的记录数据,以便进行地震预报与地震学的一切基础研究。台网的布局是很重要的,不仅决定其地震定位的能力,而且关系到其他信息的获得和有关研究的开展,因此世界各国普遍重视台网的群设。美国在六十年代就建立了一个分布在世界各地、由125个台站组成的世界标准台网(WWSSN),1975年起已陆续建立了地震研究观象台(SRO),目前又建立了数字记录的世界标准地震台网DWWSSN和一个高增益长周期地震台,5个简易地震研究观象台,13个地震研究观象台,17个数字记录世界标准地震台组成的全球数字地震台网(GDSN);法国布设了一个由28个台站组成的大孔径无线传输短周期地震台网;西德在其南部布设了一个由13个台站组成的有线传输宽频带地震台网;日本在全国范围内布设了一个对3级以上地震进行常规观测和由118个台站组成的全国地震台网。其他国家如苏联、加拿大、瑞典、芬兰、瑞士、新西兰等国家均各有台网在运转着。

中国地震观测台网自1966年邢台地震之后有了很大的发展,目前现有专业测震台站四百多个,其中基准台站24个。为了监测京津唐张地区的地震活动,北京拥有一组由21个无人管理有线遥测地震台组成的台网,实现由实线传输单分向短周期地震信号,信号传至记录中心后进行可见记录和磁带能发记录,人机联合数据处理。

考察某一组台网的定位能力,往往把这些台站所能测定的最小地震震级的下限绘成等值线图,以直观和形象地看出该台网所测定的地震在哪些震级范围内可能出现歪曲地震活动图象的情况。图1是美国所控制的世界标准地震台网(WWSSN)监测地震能力分布图^[7]。WWSSN在每个台装配有十万倍级的短周期地震仪,从图可看出,在美国附近定位能力最好, $m_b = 4.0$ 级地震即可测定震中,在南极附近地区定位能力最差, $m_b = 5.0$ 级地震才能测定震中。类似于图1的监测地震能力分布图,各国各地区地震台网均有编制。

有的图还给出了测定震中参数的误差曲线。了解地震台网的布局和地震定位能力及其图

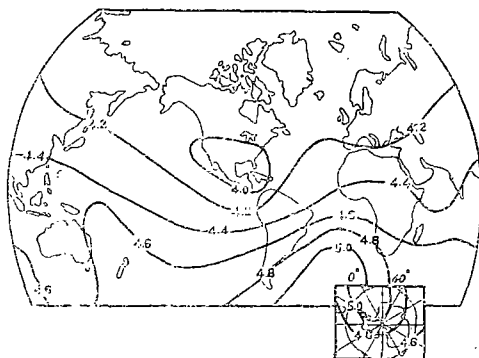


图1 世界标准地震台网(WWSSN)监测地震能力分布图
 图中等值线上所对应的数目字表示体波震级 m_b ,当地震的震级超过这个数值时,
 在WWSSN中至少有四个台站能同时记录到P波,即可测定震中位置
 (自引B.A.Bolt, Nuclear Explosions and Earthquakes, 1976.)

件,对于定量研究地震活动图象,提高地震定位的精度和开展有关课题研究,无疑是有参考价值的。

(国家地震局地球物理研究所 郭履灿 阎志德 本文1981年11月16日收到)

参 考 文 献

- [1] K. Cardwell and L. Isacks, Investigation of 1966 Earthquake Series in China Using JED Method, B.S.S.A., Vol.66, No. 6, pp1965—1982, 1976.
- [2] N.V. Kondorskaya, Refinement of the Principal Parameters of Earthquake Sources in Seismological Practice, Tectonophysics, Vol.49, pp 227—235, 1978.
- [3] Andrzej Kijko, An Algorithm for the Optimum Distribution of a Regional Seismic Network—II, Pure and Applied Geophysics, Vol. 115, No. 4, pp1011—1021, 1977.
- [4] Bulletin of the International Seismological Centre, 1979.
- [5] Cinna Lomnitz, On the Overparameterization of Earthquake Location Algorithms, B.S.S.A., Vol.70, No. 6, 1980.
- [6] 朱介寿、阎志德,一个测定近震震源参数的计算机程序,地震研究,Vol. 4, No. 2, 1981.
- [7] B.A.Bolt, Nuclear Explosions and Earthquakes, pp149, 1976.

ON THE RESEARCH OF EARTHQUAKE LOCATION

Guo Lu—can Yan Zhi—de

(Institute of Geophysics, State Seismological Bureau)