

初始震源深度对双差地震定位深度的影响分析<sup>\* 1</sup>闫俊岗<sup>1,2)</sup> 王利兵<sup>3)</sup> 谭 青<sup>1,2)</sup>

(1) 中国科学技术大学, 合肥 230022  
(2) 河北省地震局邯郸中心地震台, 邯郸 056001  
(3) 河北省地震局红山地震台, 邢台 054000

**摘 要** 利用随机生成的理论地震走时数据, 取 2、5、10、15 km 作初始深度, 对用双差定位法给出的定位深度结果进行分析。通过模拟计算, 认为初始深度误差对双差定位法的空间位置影响较小, 但对深度结果有一定影响。

**关键词** 双差定位算法; 震源深度; 理论走时; 误差分析; 相对定位

**中图分类号**: P315.7

**文献标识码**: A

## INITIAL FOCAL DEPTH IMPACT ON DEPTH OF DOUBLE DIFFERENCE EARTHQUAKE RELOCATION

Yan Jungang<sup>1,2)</sup>, Wang Libing<sup>3)</sup> and Tan Qing<sup>1,2)</sup>

(1) University of Science and Technology of China, Hefei 230022  
(2) Handan Seismostation of Hebei Prince, Handan 056001  
(3) Hongshan Seismostation of Hebei Prince, Xintai 054000

**Abstract** Using randomly generated seismic travel time data, taking 2, 5, 10 and 15 km as the initial positioning depths, the relocation positioning depths which are deduced by the double-difference algorithm inversion are analyzed. The results show that the error of the initial depth has little effect on the relocation position which is deduced by the double-differential algorithm, but has certain influence on the depth.

**Key words**: double-differential relocation algorithm; focal depth; theoretical travel time; error analysis; relative positioning

## 1 引言

震源深度是描述震源的最基本参数之一, 它给出了地震发生在地球内部的具体位置, 对了解地震孕育、发生和发展, 以及地震能量集结、释放的活动构造背景都有重要的意义。但在现代地震目录中, 震源深度的精度是个棘手的问题, 它几乎已经成为最不准确的参数之一<sup>[1]</sup>。

双差地震定位算法 (Double-Difference)<sup>[2]</sup> 是一

种比绝对定位方法精度高的相对定位方法, 由于其独特的优势, 自 Waldhauser 于 2000 年在 BSSA 上发表双差地震定位算法的文章以来, 双差地震定位方法在国内外得到了广泛应用, 并取得了很好的效果<sup>[2-10]</sup>。

关于双差定位的使用, Waldhauser 等<sup>[2]</sup> 认为双差算法使用无误差的数据能够完全校正绝对位置的误差, 但它的敏感性受到真实数据本身误差的限制。

\* 收稿日期: 2013-01-23

基金项目: 河北省地震局 2012 重点课题

作者简介: 闫俊岗, 男, 1979 年生, 工程师, 在读硕士研究生, 现主要从事数字地震资料分析处理及应用研究. E-mail: cola88@126.com

郑钰等<sup>[9]</sup>针对双差定位程序的应用,对定位中相关参数进行了详细的讨论,并对速度模型的影响进行了分析。但对于初始震源深度对定位深度的影响分析还鲜有报道。笔者在日常地震数据分析处理中发现,不同的定位软件,得到的定位深度相差还是比较大的。因此有必要对双差定位中初始深度的影响进行分析。

2 数据准备

假设一组地震和台站的分布如图 1 所示,采用  $2^{\circ} \times 2^{\circ}$  的范围,编写程序自动生成 9 个台站数据,并在 9 个台站包围的范围内随机生成 300 个地震事件,采用一维单层地壳模型生成 300 个地震事件的 P、S 波走时数据,模拟生成用于双差定位的输入准备文件。本文同样应用文献[2]中提到的关于 P、S 波权重的参考值,P 波的权重设为 1,S 波的权重取为 0.5。

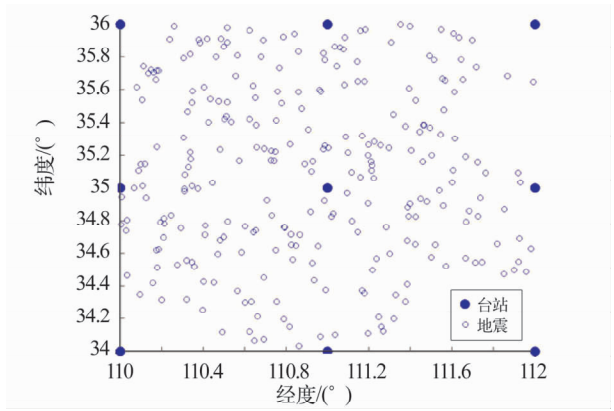


图 1 研究采用的地震数据和台站分布  
Fig. 1 Distribution of earthquake data and stations for study

在实际计算中,采用共轭梯度法求解方程,得到阻尼最小二乘法解。第 1 轮的 5 次迭代由地震的初置先验权重开始;第 2~4 轮的 5 次迭代,采用标准偏差的 5 倍作为截断值。经过 20 次迭代,舍去残差大于截断值的震相数据,并用上一次迭代的结果更新震源位置、残差和偏导数矩阵,每次迭代到的残差大小作为下一轮迭代的加权函数,直到得到稳定的解。

3 结果分析

3.1 以目录数据作为初始位置

利用双差定位对 300 个地震事件进行重新定位,深度为 2 km 时,得到 68 个事件;深度为 5、10、15 km 时,得到 64 个事件,其定位的方位残差见表 1。形成的地震事件分布见图 2,可以看出,4 种情况下重新获取的事件位置,在初始震源深度不同的情况下影响不大。

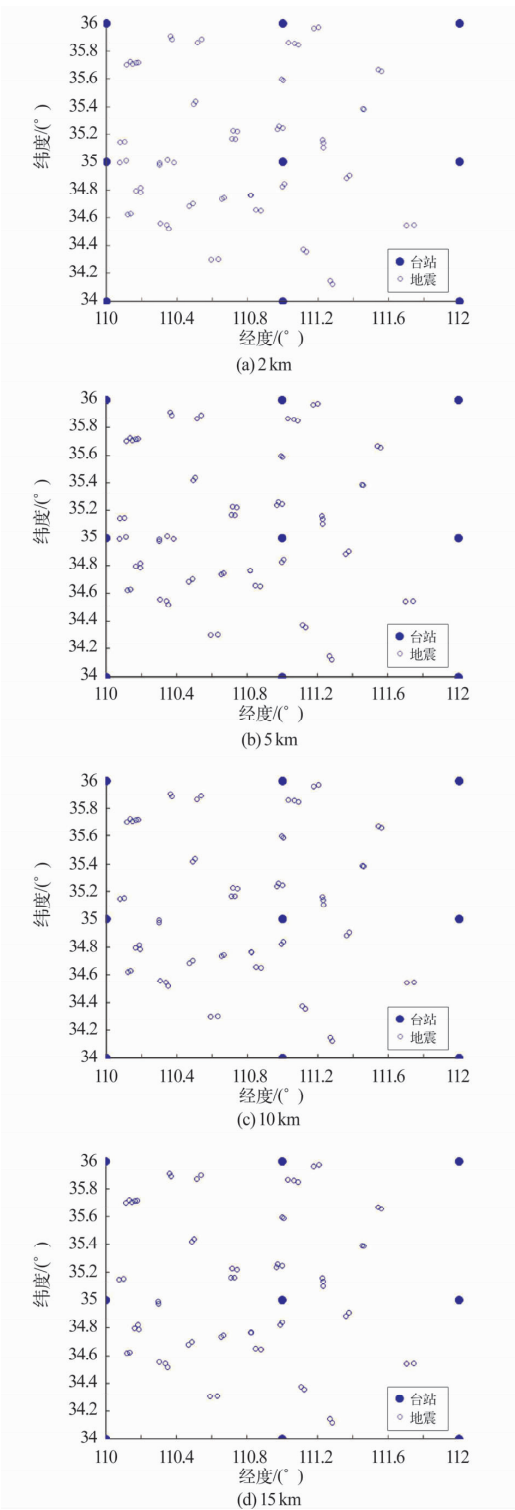


图 2 利用双差定位得到的地震分布  
Fig. 2 Earthquake distribution derived by double difference relocation

表 1 双差定位结果残差分析(单位:km)

| Tab. 1 | Residual analysis of double difference relocation (unit: km) |     |     |     |
|--------|--|-----|-----|-----|
| 初始深度   | 2  | 5   | 10  | 15  |
| $ex$   | 0.7  | 0.6 | 0.5 | 0.5 |
| $ey$   | 0.4  | 0.4 | 0.4 | 0.4 |
| $dz$   | 0.4  | 0.6 | 0.6 | 0.5 |

本次模拟事件共采用初始震源深度分别为 2、5、10、15 km 四种情况进行反演重新定位,其他参数采用相同的设置。通过重新定位后发现,初始深度在 2 km 时,双差定位法给出的深度为 1.6 ~ 2.4 km,变化幅度约 50%;初始深度在 5 km 时,双差定位法给出的深度为 4 ~ 6.5 km,变化幅度在 50%;同样,10 km 时也是 50%,但到了 15 km 时变化幅度减少到了 30% 左右(图 3)。将全部反演得到的双差法结果深度数据绘于图 4,可以看出得到的震源深度是在一定的范围内跳跃,四种结果有很好的一致性,因此认为结果是可靠的。

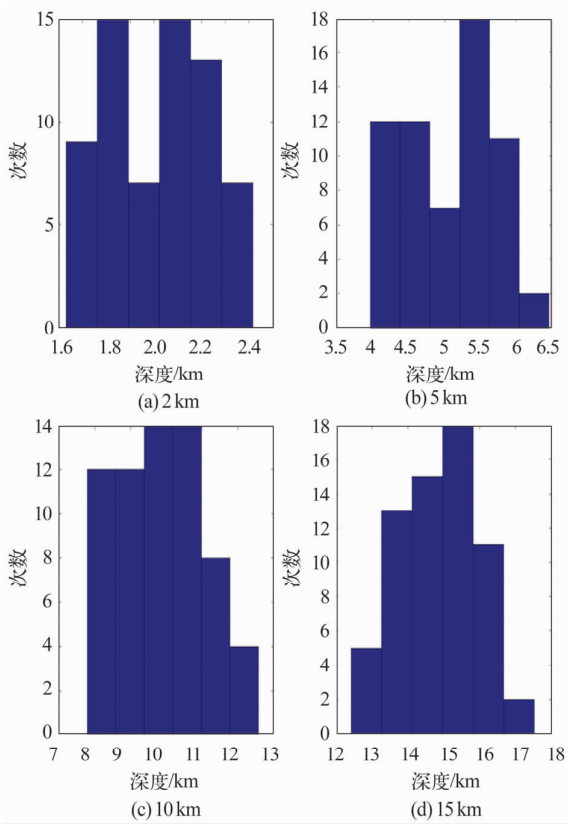


图 3 双差定位的深度分布

Fig. 3 Depth distribution of double difference relocation

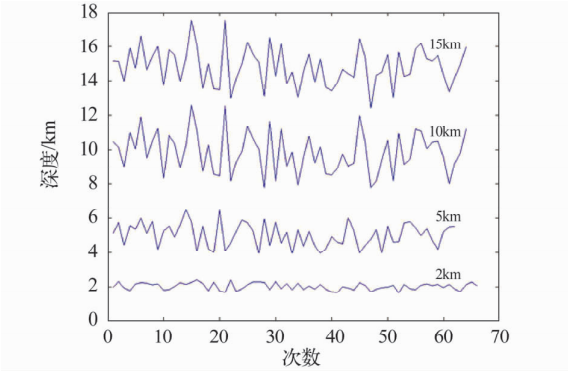


图 4 双差定位后的归一化深度分布

Fig. 4 Normalized depth distribution after double difference relocation

3.2 以地震事件中心为初始参考位置

以所有地震事件的中心为参考初始位置,利用双差定位法对 300 个地震事件进行重新定位,深度为 2 km 时,得到 117 个事件;深度为 5、10、15 km 时,分别得到 111、91、88 个事件,这次定位后的地震事件数明显增多,其定位的方位残差见表 2。

可以看到,采用以地震事件中心为参考位置时,所有的地震事件集中到了中心位置(图 5),形成的地震事件也比以目录为中心的多,虽然看着好像比

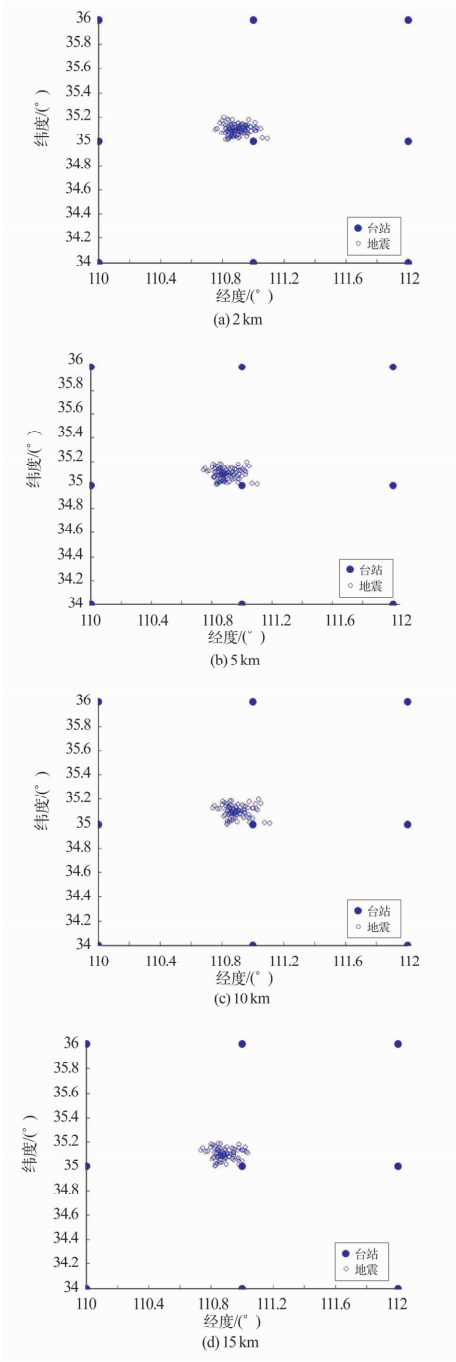


图 5 双差定位后的震中分布

Fig. 5 Distribution of focal depth of double difference relocation

较理想,得到了集中的目的,但本文认为这种方式是一种误导。对得到深度结果分析发现,其显示出较大的跳跃(图6),应该是误差较大。

表 2 双差定位结果残差分析(单位:km)

Tab. 2 Residual analysis of double difference relocation (unit: km)

| 初始深度  | 2   | 5   | 10  | 15  |
|-------|-----|-----|-----|-----|
| $E_x$ | 3.6 | 2.7 | 2.8 | 2.8 |
| $E_y$ | 3.6 | 2.8 | 2.6 | 2.5 |
| $D_z$ | 2.2 | 2.6 | 3.8 | 3.5 |

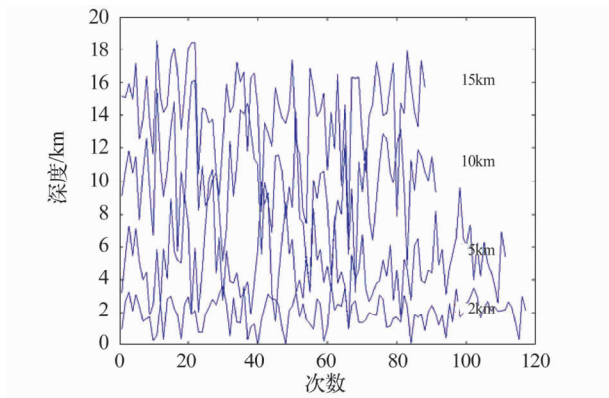


图 6 双差定位后的归一化深度分布

Fig. 6 Normalized depth distribution after double difference relocation

4 结论

震源深度是地震学中最难准确测定的参数之一,各种方法对于震源深度的估计都具相当程度的不确定性<sup>[1]</sup>。从对双差定位中初始深度对定位的影响分析来看,在选用合理的参数情况下,初始深度误差对空间位置影响较小,但对深度结果的影响不可忽视。

建议在进行双差相对定位前,应该采用一种相对成熟的定位方法(比如盖革法、Hypo2000 等),对初始定位结果进行定位,以期得到更为准确的初始结果,避免初始结果的不确定性对最终结果的影响。并在讨论震源深度问题时,采用其他深度震相或波形反演等更有效的方法去处理,避免得到错误的结论。

参 考 文 献

1 高原,等. 测定震源深度的意义的初步讨论[J]. 中国地震,1997,13(4): 321 – 329.

2 Waldhauser F and Ellsworth W L. A double-difference earthquake location algorithm: method and application to the Northern Hayward fault California [J]. Bul1 Seism Soc Amer. , 2000,90:1 353 – 1 368.

3 黄媛,等. 2003 年新疆巴楚-伽师地震序列的双差法重新定位研究[J]. 地球物理学报,2006,49(1):162 – 169.

4 杨智娟,等. 双差地震定位法在我国中西部地区地震精确定位中的应用[J]. 中国科学(D 辑),2003,33(S1):129 – 134.

5 李志海,等. 2005 年新疆乌什 6.2 级地震序列研究[J]. 大地测量与地球动力学,2006,(增刊):96 – 99.

6 朱艾澜,等. 川西地区小震重新定位及其活动构造意义[J]. 地球物理学报,2005,48(3):629 – 636.

7 张天中,等. 近台资料对近震相对定位算法的影响[J]. 地球物理学报,2007,50(4):1 123 – 1 130.

8 刘劲松,等. 双差定位法在地震丛集精确定位中的应用[J]. 地球物理学进展,2007,22(1):137 – 141.

9 郑钰,杨建思. 双差算法的剖析及参数对定位的影响[J]. 地震地磁观测与研究,2008,29(3):85 – 93.

10 姚运生,等. 双差地震定位程序的改进[J]. 大地测量与地球动力学,2007,(3):76 – 79.