

利用计算机测定近震时空参数的 记忆梯度法

陈铁流

(青海省地震局)

摘 要

基于无约束最优化问题的记忆梯度法, 本文设计了测定近震时空参数的计算机程序。仅需三个台站的记录资料即可利用本程序进行测定, 记录中的主要震相 (\bar{P} 、 \bar{S} 、 P_n 、 S_n) 均可参与测定运算。本程序对台网内外近震的参数测定均适用, 对远离台网的地震, 其测定结果的精度不低于交切法。

一、引 言

用计算机测定近震时空参数, 国内外许多学者都曾做了大量的工作。文献[1]较系统地归纳、总结了几种近震时空参数的初定和修定方法。应用这些方法的条件是必须具有4个(或5个)台站记录的直达纵波震相。

对于台网密度小, 且控震范围不大的地区, 由于大量地震发生在台网外, 获得记录的台站往往不足4个, 而且由于震中距较大, 记录中的 \bar{P} 震相常被 P_n 震相所掩盖, 不易准确辨认。因此, 已有的方法在上述地区的近震时空参数测定中具有很大的局限性。如何选择适当的方法, 在现有台站布局的状况下实现近震时空参数测定的计算机化, 以提高各参数的测定精度和速度, 是尚待解决的课题。

本文立足于边远地区台网密度小、控震能力差的现状, 采用无约束最优化问题的记忆梯度法, 设计了测定近震时空参数的计算机程序, 试图解决这些地区近震时空参数测定的计算机化问题。

二、记忆梯度法的基本原理〔2〕

记忆梯度法是求解目标函数 $f(\bar{x})$ 的极小值 $\min f(\bar{x})$ 的无约束最优化问题的有效方法之一。

假定 $f(\bar{x})$ 为凸函数, 给定足够小的正数 ϵ , 若

$$\Delta f(\bar{x}^*) < \epsilon \quad (1)$$

成立, 则可认为 \bar{x}^* 为在 ϵ 的精度水平下满足 $\min f(\bar{x})$ 的近似值。

记忆梯度法的基本思想是以迭代的方法逐步逼近最优化值 \bar{x}^* , 迭代的步骤如下:

给定初始近似值 $\vec{x}^{(0)}$ ，若 $\nabla f(\vec{x}^{(0)}) > \varepsilon$ ，则令第一次近似为：

$$\vec{x}^{(1)} = \vec{x}^{(0)} - S_1^{(1)} \Delta f(\vec{x}^{(0)}) \quad (2)$$

式中 $S_1^{(1)}$ 为迭代步长因子，它应满足

$$\min_{S_1^{(1)}} [x^{(0)} - S_1^{(1)} \nabla f(\vec{x}^{(0)})] \quad (3)$$

一般地，若 $\nabla f(\vec{x}^{(K-1)}) > \varepsilon$ ，则令第 K ($K = 2, 3, \dots$) 次近似为

$$\vec{x}^{(K)} = \vec{x}^{(K-1)} - S_1^{(K)} \nabla f(\vec{x}^{(K-1)}) + S_2^{(K)} \Delta \vec{x}^{(K-2)} \quad (4)$$

式中 $\Delta \vec{x}^{(K-2)} = \vec{x}^{(K-1)} - \vec{x}^{(K-2)}$ 为记忆因子； $S_1^{(K)}$ 、 $S_2^{(K)}$ 均为步长因子，它应满足

$$\min_{S_1^{(K)}, S_2^{(K)}} [x^{(K-1)} - S_1^{(K)} \nabla f(\vec{x}^{(K-1)} + S_2^{(K)} \Delta \vec{x}^{(K-2)})] \quad (5)$$

欲使 (3)、(5) 式成立，可用牛顿法对步长因子进行一维或二维搜索，确定最优步长值。限于篇幅，搜索的具体步骤从略。

这样，在第 K 步 ($K > 1$) 迭代中加入记忆因子 $\Delta \vec{x}^{(K-2)}$ ，并对步长进行一维或二维搜索，构成了记忆梯度法的基本特征。它的这种构成形式，决定了其具有在有限步内收敛的超线性敛速，及对初始近似值 $\vec{x}^{(0)}$ 的选择要求甚低的优点。

三、目标函数的建立

用记忆梯度法进行近震时空参数的测定，首先要选择合适的坐标系，建立目标函数 $f(\vec{x})$ 。为此，本文选用“浮动”的直角坐标系 (x_1, x_2, x_3) 。其原点为震中距最小（亦即初至震相较其他台最先到达）的台站 S_1 所在地， x_1 轴水平向东， x_2 轴向北， x_3 轴竖直向下。

采用单层地壳模型，给定地壳内纵、横波速度 V_1 、 V_2 及莫氏面下纵、横波速度 V_3 、 V_4 ，考虑到观测误差的存在，则对台站 $S_i (X_{1i}, X_{2i}, X_{3i})$ 记录的各震相有

$$f_i = e_i = \begin{cases} D_i/V_1 - P_i + X_4 & (\overline{P}\text{震相}) \\ D_i/V_2 - P_i + X_4 & (\overline{S}\text{震相}) \\ E_i/V_3 - \frac{1}{w_1} [2x_3 - (x_3 - x_{3i})] - p_i + x_4 & (P_s\text{震相}) \\ E_i/V_4 - \frac{1}{w_2} [2x_3 - (x_3 - x_{3i})] - p_i + x_4 & (S_s\text{震相}) \end{cases} \quad (6)$$

式中 D_i 、 E_i 分别为震源距和震中距， P_i 为相应的震相到时， x_1 、 x_2 、 x_3 为震源坐标， x_4 为发震时刻， x_3 为地壳厚度， e_i 为相应震相的观测误差， w_1 、 w_2 分别为 P_s 、 S_s 波的“穿透速度”，

$$w_1 = \frac{V_1 V_3}{\sqrt{V_3^2 - V_1^2}} ; \quad (7)$$

$$w_2 = \frac{V_2 V_4}{\sqrt{V_4^2 - V_2^2}} .$$

若对某次地震 ($M \geq 3$) 选用其 n 个震相到时进行测定运算，则由 (6) 式可得：

$$F(x_1, x_2, x_3, x_4) = \sum_{i=1}^n f_i = \sum_{i=1}^n e_i \quad (8)$$

可以证明，在台站分布并非“死局”的条件下，满足 $\min F(x_1, x_2, x_3, x_4)$ 的一组自

变量值 (x₁^{*}, x₂^{*}, x₃^{*}, x₄^{*}) 即是所求的地震时空参数。F(x₁, x₂, x₃, x₄) 即为有关近震参数测定的最优化问题的目标函数。

在本文所编制的程序中, 考虑到实际测定工作的需要, 根据记录震相数 n 的不同对(8)式作了相应的变化:

当 n = 3 时, 给定一震源深度值 x'₃, 则

$$F = F(x_1, x_2, x_4) = \sum_{i=1}^3 \epsilon_i$$

这样虽然大大降低了测定精度, 但在实际观测资料不足的情况下也不失为一种补救的办法。

当 n ≥ 5 且有衍射波震相参与测定时,

$$F = F(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) = \sum_{i=1}^n \epsilon_i$$

这样将有利于提高震源深度测定的准确度, 减小了人为给定地壳厚度所造成的定位误差。

在最后结果中, 沿用了一般走时标准偏差的方法进行精度评定。

四、计算步骤、流程图及效果检验

根据前面的讨论, 我们可将测定过程大致分为如下步骤: (1) 输入台站名、震相名及到时; (2) 计算各台直角坐标; (3) 给定迭代初始值; (4) 计算 ∇f; (5) 判断 ABS(∇f) < ε 是否成立, 若成立则进行第 9 步; (6) 对 x 进行下一步迭代; (7) 对迭代步长进行搜索, 直到满足 |F^(k+1) - F^(k)| < ε₂ 时为止; (8) 转入第 4 步; (9) 计算走时标准偏差; (10) 将震中的直角坐标换算为地理坐标; (11) 输出测定结果。由上述步骤拟出计算的流程如图 1 所示。

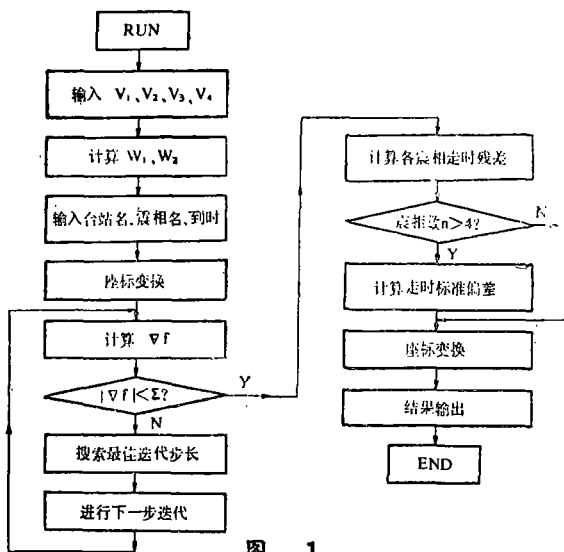


图 1

计算各震相走时残差; (6) 对 x 进行下一步迭代; (7) 对迭代步长进行搜索, 直到满足 |F^(k+1) - F^(k)| < ε₂ 时为止; (8) 转入第 4 步; (9) 计算走时标准偏差; (10) 将震中的直角坐标换算为地理坐标; (11) 输出测定结果。由上述步骤拟出计算的流程如图 1 所示。

为了检验用本程序测定结果的可靠性, 选取了 1986 年青海门源 6.4 级地震的一个余震及 1988 年 11 月 5 日唐古拉山 6.8 级地震进行了实际测定。为了对比, 对门源余震给出了

了用石川法测定的各参数, 对唐古拉山地震, 也列出了《中国地震台临时报告》给出的结果 (表 1、表 2)。

从表 1 和表 2 可以看出, 运用本文给出的程序测定近震时空参数, 其结果是可信的。对于远离台网的地震, 如唐古拉山地震, 其测定结果仍具有较高的可信度。

另外, 在程序的调试及试验中我们发现, 对于台网之外的地震, 适当地选取一至二个台站记录的第二震相 (如 S₁、S₂) 加入运算, 将大大地提高所定地震的时空参数的准确度。因此, 在实际测定时, 对发生在台网之外的地震, 特别是远离台网的地震, 除选取各台的初

至震相外, 建议再选取一至二个台站记录的后续震相加入运算, 以保证测定结果的准确度。

表1 1986年8月31日门源余震的测定结果

参数来源	发震时刻	震中座标		深度	走时残差
		北纬	东经		
本文程序测定	22-58-23.8	37°29'	101°27'	20	0.5S
石川法测定	22-58-25.1	37°36'	101°30'	26	精度2类

表2 1988年11月5日唐古拉地震的测定结果

参数来源	发震时刻	震中座标		深度	走时残差
		北纬	东经		
本文程序测定	10-14-33.0	34°25'	91°58'	15	1.5S
中国地震台临时报告	10-14-30.4	34°25'	91°56'	9	

对于台网密度小、控震能力弱的地区, 如何采用适当的方法实现近震时空参数测定的计算机化, 仍是有待进一步研究的课题。本文所做的工作仅是对这一课题的初步探索。

(本文1989年12月20日收到)

参 考 文 献

- [1] 国家地震局地球物理研究所, 近震分析, 地震出版社, 1978.
 [2] 王德人, 非线性方程组解法与最优化方法, 人民教育出版社, 1979.

MEMORY GRADIENT METHOD FOR DETERMINING NEAR EARTHQUAKE TIME AND SPACE PARAMETERS WITH COMPUTER

Chen Tieliu

(Seismological Bureau of Qinghai Province, Xining, China)

Abstract

In this paper, a computer program for determining near earthquake time and space parameters is designed, on the basis of memory gradient method for unconstrained optimization. As long as the computer gets the recorded data from more than three stations, it can run. The recorded major phases (\bar{P} , \bar{S} , P_n , S_n) all can be used in the program. The program is applicable to determine the parameters of near earthquake in or out of the network of stations. Even if the earthquake is far from the network, the precision of the results determined with this program is not lower than that with the method of intersection.