

综 述

地震层析成像软件

张元生¹, 李清河², 刘耀炜¹, 周民都¹

(1. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000; 2. 江苏省地震局, 江苏 南京 210014)

摘要: GABWIT 是应用地震体波走时资料、遗传算法反演地壳三维速度结构的软件。本文介绍了该地震层析成像软件的主要功能以及技术特点。软件界面友好, 功能齐全, 适用性强, 易于推广。

关键词: 地震波走时; 层析成像; 软件

中图分类号: P613.4⁺43 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2003)02-0170-05

0 引言

“地震体波走时资料反演地壳上地幔三维速度结构方法和软件的研制”是“数字地震观测系统应用软件研制课题”(95-01-01-11)的一个专题, 后者又是中国地震局“九五”重点项目“中国数字地震观测系统建设”(95-01-01)的重要组成部分。在反演方法研究过程中选择了遗传算法作为该软件的反演方法^[1], 软件名称为 GABWIT (Genetic Algorithms in Body Wave Inversion of Traveltime), 由中国地震局监测预报司监制。

GABWIT 软件将观测数据管理、模型管理、反演计算及反演结果数据成像等功能模块有机地结合在一起, 形成了一套地震体波走时成像软件。利用地震体波走时资料研究地下三维速度结构是近二十年才发展起来的, 研究思路和研究方法上已逐步成熟, 且形成了几种较好的反演方法。利用这几种反演方法, 地震学家获得了许多有价值的地下三维速度结构结果, 对地震体波走时层析成像研究做出了重要的贡献^[46]。在前人研究的基础上, 我们吸收当今层析成像的最新研究成果, 研制出了这套技术先进、功能齐全、适用性强的地震层析成像软件, 最大限度地满足了用户的需求。

经过近三年的推广应用, 在不同地区获得了具有利用价值的层析成像结果^[7, 8], 为地震定位提供了精度较高的速度结构模型, 并得到了广大用户的高度评价。

1 软件的主要技术特点

1.1 三维分块模型速度随机分布逐次迭代射线追踪方法

该方法的优点: ① 在二维速度随机分布中, 该方法比打靶法的计算速度快 1 倍以上^[9]; 在三维速度随机分布中, 该方法比打靶法的计算速度快 4 到 6 倍; ② 在存在高速异常体和存在低速异常体的介质模型中, 利用打靶法有时追踪不到射线路径, 而用逐次迭代法则可以追踪到时间最短路径。③ 具有计算速度快, 精度高以及可以克服射线追踪的路径非唯一性等特点。

1.2 主要技术措施

为了提高解的精度和对地下构造的分辨, 缩短反演计算时间, 弱化计算机硬件对图形处理的限制, 本软件采取了以下主要技术措施。

收稿日期: 2002-12-12

基金项目: 中国地震局“九五”重点课题 95-01-01-11 专题资助; 中国地震局兰州地震研究所论著编号: LC200317

作者简介: 张元生(1965-), 男(汉族), 贵州湄潭人, 副研究员, 现主要从事地震波理论与应用研究和地震预报工作。

1.2.1 约束反演

地球物理反演问题解的不唯一性是由于信息不足及“噪声存在”引起的.要减少不唯一性,首先要补充信息,即把经验的(或先验的)及由其它手段提供的资料加入到反演计算中来,对反演模型参数起到约束的作用,称之为约束反演.根据模型参数的约束程度可分为完全约束和非完全约束两种.完全约束是指利用可信度很高的人工地震测深的解释结果资料来对模型参数进行约束,在反演迭代过程中,被约束的模型参数是不变的,对反演解的不唯一性问题改善的程度与资料的丰富程度有关.非完全约束是指利用精度较差的资料(如前人取得的地震CT研究结果)来对模型参数的变化范围进行限制,在一定程度上也改善了反演解的不唯一性.

根据反演理论,增加约束是减少解的不唯一性的有效办法.人们已用了除P波之外的其它波,如S波直达波、反射波及折射波.联合使用增加了新的物理量,可以使多解性得到一定改善,但是增加了新的不同源震相,又带来了界面变化、速度不均匀等待定因素,故其约束能力有限.本软件使用资料的选择可提高原始资料的精度,如使用S-P走时差资料可以避免发震时刻的不准确性和时钟存在的误差,还可以减少待求参量的数目,从而改善了解的不唯一性.

1.2.2 坐标旋转

采用坐标旋转是为了使模型的网格线平行或垂直于构造的走向,其目的是提高反演解对地质构造的分辨率.在三维网格模型反演中,每一个网格是独立的单元,它的参数是横向均匀的,即参数值代表的是整个单元的平均值.如果网格的划分不恰当,这些构造信息有可能被综合掉.在以前的地球物理反演中,对这些因素考虑得不够完善.在GABWIT软件中采用了坐标旋转技术,对地质构造有较好的分辨能力.

1.2.3 缩短反演计算时间

在利用遗传算法进行反演计算时,需要对模型进行编码和解码处理,需要花费大量的时间.本软件采用数值编码方法,避免了编码和解码两个过程,极大地缩短了反演的计算时间.

1.2.4 图形处理技术

在图形处理过程中,必须考虑到计算机的硬件设备条件.一台中高档显示器的分辨率有多种,如 640×480 , 720×480 , 800×600 , 1024×768 , 1280×1024 等等,实际上选择任何一种都不能满足所有用户的要求.在这种情况下,可以采用图形显示与硬件无关的技术来满足用户的要求,但是需要足够大的内存(至少32M).本软件在反演结果数据成像过程中,并不是把图像直接地写到屏幕上,而是在内存中开辟一块空间,然后把生成的图像数据写入预先开辟的内存中,为图像存盘和显示作好了准备.如果图形过大可滚屏显示或分页显示.采取这种技术,大大地增强了软件的实用性.

2 软件的主要功能

GABWIT软件的工作平台为Windows;程序用VC++语言编写;目的是利用区域台网的地震走时资料来研究地下结构,地震发生的深部条件、环境及孕震过程,并综合预测未来大震发生的可能性.软件通过实用工具接口与后台大型数据库及前台数据库相连接.软件主要由数据管理、模型管理、反演计算、数据成像、图像管理等五大功能组成.采用了模块化结构的程序设计方法,将功能模块分解成一系列相对独立的功能函数,通过子模块和过程的调用,自顶向下实现公用模块资源共享.软件功能结构如图1所示.

模块是数据说明、可执行语句等程序对象的集合,它是单独命名的而且可以通过名字来访问.例如,过程、函数、子程序、宏等等都可作为模块.模块化就是把程序分成若干个模块,每个模块完成一个子功能.再把这些模块集中起来,组成一个整体,就可以完成指定的功能.

GABWIT软件由5大功能模块组成,每个模块中包含多个子模块.下面就这5大功能模块作一简要的介绍.

2.1 数据管理模块

该程序模块的功能包括数据资料录入,数据校对,文件编辑.

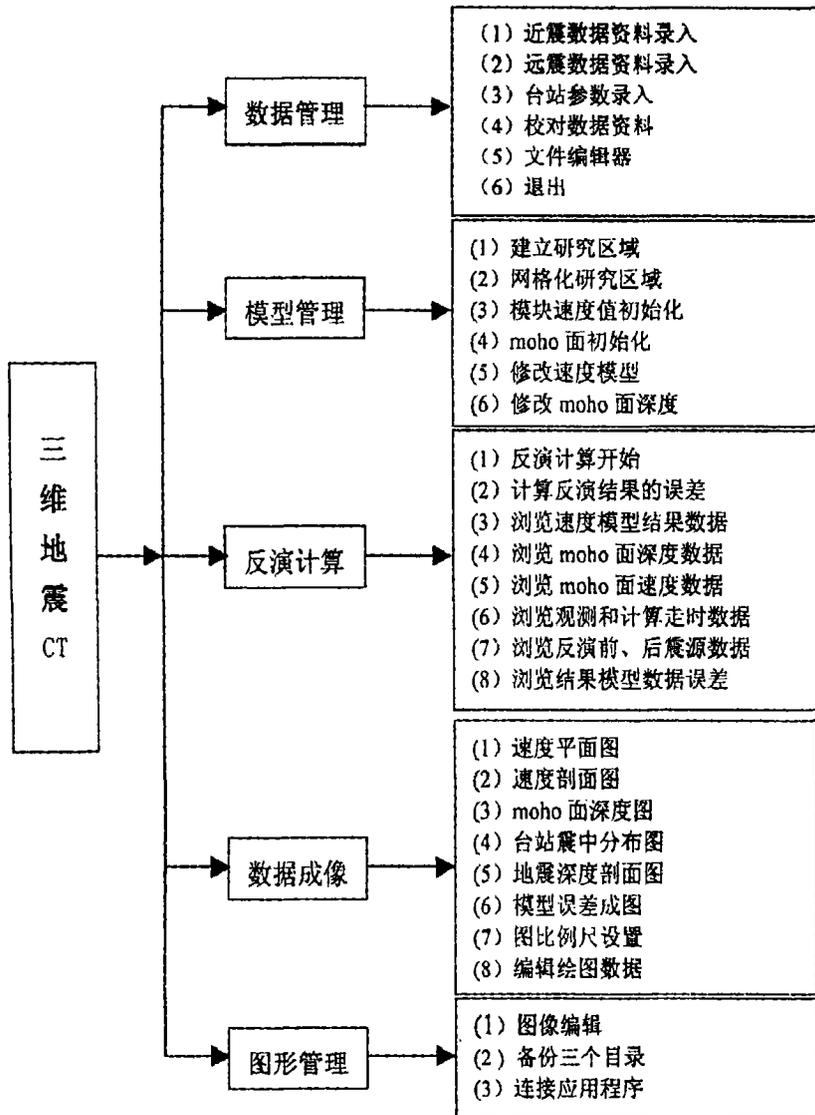


图 1 GABWIT 软件功能结构框图

Fig. 1 Block diagram of functional structure in GABWIT software.

数据资料录入: GABWIT 软件是一个脱离 VC⁺⁺ 系统独立运行的软件. 使用 WINDOWS 系统中的文件编辑器来进行数据录入、数据修改等.

数据校对: 用于地震走时层析成像的数据, 可能的错误来自于: ① 人为的数据录入错误; ② 在地震波震相的识别过程中分析人员把震相识别错. 因此进行反演之前, 提高原始数据的可信度是非常有必要的.

2.2 模型管理模块

此程序模块的功能包括建立反演初始模型和修改初始模型参数.

建立初始模型: 在地球物理反演中, 一种是根据某种法则修改初始模型, 使修改的模型满足某种失拟函数的规定精度; 另一种是通过某法则在整个模型空间中挑出最优解的模型. 二者都要根据先验知识, 建立合适的初始模型. 模型的建立主要包括建立研究区域、网格化研究区域、对网格模型参数初始化. 研究区域是根据课题的要求和实际地震资料覆盖程度来确定的, 同时还可以根据地质构造资料, 对研究区(矩形区域)进行坐标旋转, 这样做的目的是对地质构造有更好的分辨. 网格划分可先粗略划分, 再根据前次反演

结果中射线穿过各网格的次数来进一步划分.至少在锥形域内,每个网格中都满足有多条射线穿过.反演的空间分辨率与射线穿过的次数有密切的关系.

修改模型参数:在网格模型参数初始化时,在同一层中所有网格的参数值都是相同的,但实际参数有可能不同,因此可以根据其它资料,如人工地震资料解释结果以及其它可用资料,来修改初始化模型.如果资料的可信度很高,就可以利用这些资料对反演模型参数进行完全约束.在中国大陆的各个地区基本上有一条或多条人工地震测深剖面,这些地震剖面资料有很大的利用价值,利用其解释结果对天然地震走时反演进行约束,可以减少反演解的待定参数个数,提高反演结果的可信度.在某些地区已作过天然地震的CT研究,这些研究结果也有一定利用价值,可作为不完全约束,同样可以提高反演结果的可信度.

2.3 反演计算模块

反演计算程序模块主要包括:反演计算、计算误差以及浏览反演结果等功能,是GABWIT软件的核心部分.它是利用数据管理模块整理好的原始数据和利用模型管理模块建立好的初始模型进行反演迭代,找出最优的解模型.由于遗传算法是完全非线性方法,只能计算出拟合差和间接反映模型参数的分辨率,而无法对各模型参数进行方差估计,故在该程序块中增加了一个计算方差的功能.

2.4 数据成像模块

成像模块的功能是把反演结果数据以图像的形式表现出来,以BMP位图格式文件存盘和打印图象.该模块包括的子模块有:速度切面成图、速度剖面成图、moho面深度成图、台站和震中分布成图、地震深度剖面成图、模型误差成图、图比例尺设置和编辑绘图数据.

2.5 图形管理模块

图形管理模块包括图像编辑、备份三个目录和连接应用程序等3个功能子模块.在图像编辑子模块中外挂了PHOTOSHOP图形处理软件.备份三个目录子模块的功能是拷贝GABWIT根目录下的3个子目录,即原始数据目录(\GABWIT\DATA*.*)、模型数据目录(\GABWIT\MODEL*.*)以及结果数据目录(\GABWIT\RESULT*.*).连接应用程序子模块的功能是连接WINDOWS系统中浏览器和PHOTOSHOP图形处理软件.

3 结束语

GABWIT软件所采用的反演方法是遗传算法,遗传算法是阻尼最小二乘法与蒙特卡罗法的折衷,具有全局搜索机制和收敛快等特点.GABWIT是应用地震体波走时资料反演地壳上地幔三维速度结构的一套软件,界面友好,功能齐全,适用性强,易于推广.

[参考文献]

- [1] 杨文采.地球物理反演的理论与方法[M].北京:地质出版社,1997.
- [2] 李清河,等.祁连山—河西走廊地壳速度结构及速度与电性的联合解释[J].地球物理学报,1998,41(2):197—209.
- [3] 张元生,李清河,徐果明,等.联合利用走时与波形反演技术研究地壳三维速度结构(I)——理论与方法[J].西北地震学报,1998,20(2):8—15.
- [4] Koch M.Simultaneous inversion for 3-D crustal structure and hypocentres including direct, refracted and reflected phases—I. Evloppment, validation and optimal regularization of the method[J].Geophys. J. Int., 1993, 112: 385—412.
- [5] Koch M.Simultaneous inversion for 3-D crustal structure and hypocentres including direct, refracted and reflected phases—II. Application to the northern Rhine Graben/ Rhanish Massif Region, Gemany[J]. Geophys. J. Int., 1993, 112: 413—428.
- [6] Koch M.Simultaneous inversion for 3-D crustal structure and hypocentres including direct, refracted and reflected phases—III. Application to the southern Rhine Graben, Gemany[J], Geophys. J. Int., 1993, 112: 429—447.
- [7] 张元生,等.辽宁地区地壳三维速度结构研究[J].地震工程与工程振动,2001,21(2):217—224.
- [8] 李清河,等.多震相走时和波形三维地震成象方法及在祁连山地壳结构研究中的应用[J].CT理论与应用研究,1999,8(3):1—9.
- [9] 高尔根,等.二维速度随机分布逐步迭代射线追踪方法[J].地球物理学报,1996,39(增刊):302—308.

THE SEISMIC TOMOGRAPHY SOFTWARE

ZHANG Yuan-sheng¹, LI Qing-he², LIU Yao-wei¹, ZHOU Min-du¹

(1. *Lanzhou Institute of Seismology, CSB, Gansu Lanzhou 730000, China;*

2. *Seismological Bureau of Jiangsu, Jiangsu Nanjing 210014, China*)

Abstract: GABWIT is a software of inversion for 3D crustal velocity structure using seismic body travel time data and genetic algorithms. The main function and technological character of the seismic tomography software are introduced. GABWIT has a good desktop, perfect function, and is easy for operation and popularity.

Key words: Seismic wave travel time; Tomography; Software

(上接 169 页)

RELATIONSHIP BETWEEN THE DYNAMIC EVOLUTION CHARACTER OF STRESS FIELD AND SEISMICITY IN NORTH PART OF CHINESE NORTH-SOUTH SEISMIC BELT

CHEN Yao, ZHANG Fu-fang

(1. *Lanzhou Institute of Seismology, CSB, Gansu Lanzhou 730000, China;*

2. *Seismological Bureau of Tianzhu County, Gansu Tianzhu 733200, China*)

Abstract: The character of dynamic variation of stress field in north part of Chinese north-south seismic belt is analysed, and comparing with data of some earthquake precursor observations, the relationship between the variation of stress field and seismicity is studied. At last the mechanism of the variation and the possibility of using it to protect earthquake are discussed.

Key words: Stress field; Dynamic variation; Earthquake prediction