

河南省北部地区的地震波走时特性研究^{* 1}

陈睿 闫楷 孙杰 李源 万娜 黄灿

(河南省地震局,郑州 450016)

摘要 以河南省北部地区地震波走时特征为研究对象,选取河南台网及邻省部分台站的地震观测资料,运用线性拟合的方法计算得出地壳速度模型。检验结果表明,利用该速度模型计算发震时刻、制作理论走时曲线的精度,比河南省台网使用的华南走时表速度模型有明显提高。

关键词 河南省北部地区;地震波;走时;莫霍面;地壳结构

中图分类号:P315.3

文献标识码:A

TRAVEL TIME CHARACTERISTICS OF SEISMIC WAVE IN NORTHERN HENAN PROVINCE

Chen Rui, Yan Kai, Sun Jie, Li Yuan, Wan Na and Huang Can

(Earthquake Administration of Henan Province, Zhengzhou 450016)

Abstract We focus on the travel time characteristics of seismic wave in the northern Henan province. Based on the seismic observation data from Henan seismic station, the crustal velocity model was calculated by linear fitting approach. The test results show that the accuracy of earthquake's origin time and theoretical time improved obviously compared with the time table of South China currently used in Henan province.

Key words: north area of Henan province; seismic wave; travel time; moho surface; crustal structure

1 引言

地震走时表为探讨地壳结构、研究地震波速提供了依据,地震走时表的使用直接影响着地震观测中各项参数的测定和震相识别^[1]。

2008年河南省“十五”数字化改造完成以后,测震台网一直使用MSDP地震速报软件自带的华南地震走时表。华南地震走时表是以广东、广西、福建、江西、湖南等地区速度模型为基础建立的,该表适于华南区域范围的地震观测,而对于地质结构复杂、地层分层及介质不均匀的区域,该表测定的各项参数值有很大差异。

河南省北部地区西临太行山,东部为冲积平原,

濮阳、范县地区位于聊兰断裂附近,地震活动异常活跃是地震重点监视防御区。该地区被第四纪地层广泛覆盖,最大覆盖厚度达220 m^[2],受此影响,该区域地震波速也与其他地区有明显的不同。

2 资料选取

选取2008-01—2012-07月发生在河南省北部的19个地震事件(图1),震级范围为M_{2.0}~4.2。

该区域内的地震能够记录到的主要震相包括:Pg、Sg、PmP、SmS、Pn、Sn,在部分区域可以记录到康氏界面上的反射波Pc、Sc和康氏界面上的绕射波P_b。

1) 直达波Pg、Sg

绝大多数地区M_L≥1.5地震的直达波都有清

* 收稿日期:2012-03-12

基金项目:河南省地震局青年科研基金

作者简介:陈睿,男,1979年生,工程师,主要从事地震监测工作。E-mail: chr8860@126.com

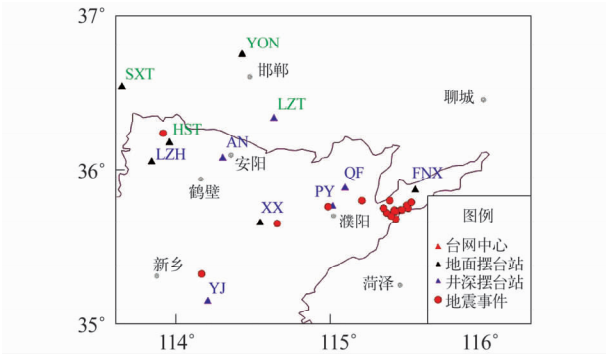


图 1 台站及震中分布
Fig.1 Distribution of the stations and epicenters

晰的记录,在震中距 600 km 以内的记录丰富可靠, Pg 的速度为 5.91 km/s, Sg 的速度为 3.48 km/s。

2) 莫霍面上的反射波 PmP、SmS

在震源深度 10 km、震中距 42 ~ 130 km 的范围内都能记录到清晰的 PmP 波,震中距 60 ~ 90 km 的台站处于全反射的距离, PmP、SmS 波的能量非常强,在 Pg、Sg 波后出现,振幅最大可达直达波振幅的 2 倍以上,随着震中距的增大, SmS 与 Sg 之间的走时差越来越小,几乎同时到达,两种震相很难分辨。

3) 莫霍面上的首波 Pn、Sn

在震源深度 10 km,震中距 160 km 左右, Pn 波开始成为首波,波速为 7.37 km/s, Sn 由于受到纵波群的干扰数据较少,速度为 3.96 km/s。

4) 地壳模型

考虑到该地区地壳莫霍面厚度的分布特征和部 分康氏界面的不连续性^[3],采用莫霍面厚度为 33 km 的单层均匀地壳模型进行计算。

3 走时表制作方法

3.1 测定基本参数

在网内地震事件中,选取震相清晰、震中距小于首波干扰距离的直达波,用和达法、高桥法等方法精确的测定震源的位置和发震时刻,得到精确的震中距、走时和震源深度^[4]。利用球面三角计算公式计算震中距离,或用 arcGIS 软件进行精确的交互和定位,获取震中距。

3.2 高程、深度校正

由于地震台站分布于不同的海拔高度上,形成了不同台站的走时偏差,因此需要对台站高程差进行走时改正^[1],选取水平面为标准面,设台站对标准面的高差为 δH ,标准面以上为正值,标准面以下去负值,根据张诚^[4]在制作甘肃地震走时表时采用的改正公式,计算出高差走时误差 δt_H 。同时,将不同深度的地震走时归算到面源,使用单层地壳模型的深度改正公式计算出深度走时误差 δt_h 。

经过两次校正后的观测走时为

$$T = T + \delta t_H + \delta t_h$$

3.3 建立线性回归方程

将震中距和地震波走时 (Δ, t) 的值代入走时方程,将方程线性化,该线性方程的系数与地壳的介质有关^[5]。以直达波为例:

将直达波的走时方程: $t = \frac{1}{v} [(\Delta^2 + h^2)^{\frac{1}{2}}]$ 线性

化为: $y = bx + a$, 则 $x = \Delta^2, y = t^2, a = \frac{h^2}{v^2}, b = \frac{1}{v^2}$, 用最小二乘法确定该线性方程的系数 a, b , 求出 V, h 。

3.4 编制走时表

利用已知的速度模型,根据直达波、反射波和首波的走时方程,建立 $\Delta = f(t_i, h)$ (计算发震时刻)、 $t_i - t_2 = (f(\Delta), h)$ (计算震中距离及分析对比各种波)的各种表值^[5]。

4 速度模型及时距曲线

4.1 速度模型

采用单层地壳模型计算的直达波、反射波及莫霍面绕射波的速度见表 1。

表 1 直达波、反射波及绕射波波速

Tab.1 Velocity of direct path wave, reflection wave and diffraction wave

区域	V_{Pg} (km/s)	V_{Sg} (km/s)	V_{PmP} (km/s)	V_{SmS} (km/s)	V_{Pn} (km/s)	V_{Sn} (km/s)	H (km)	k
豫北	5.91	3.48	5.74	3.54	7.37	3.96	33	1.70

4.2 时距曲线

时距曲线可以清楚显示各种波在不同距离上的出现次序,以及起始、交叉的震中距离,它们随着地壳的增厚而增加,随震源深度的增大而减小。各种波有不同的动力学特征,能量强的波总是干扰能量弱的波^[5] (图 2)。

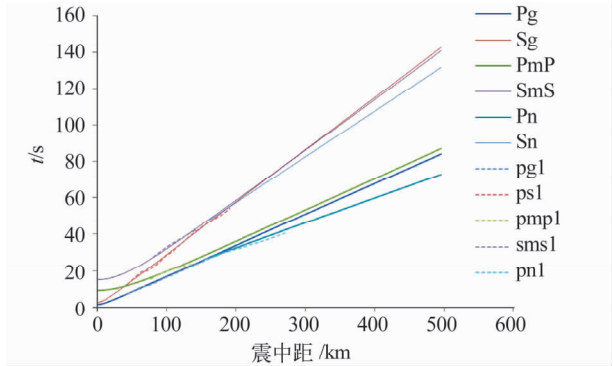


图 2 豫北观测走时与理论走时曲线 ($h = 10$ km)

Fig.2 Observed travel time and theoretical travel time in the north of Henan province ($h = 10$ km)

5 模型检验

5.1 发震时刻误差

选取 2009—2011 年记录的 $M3.0$ 以上的地震事件和 2012 年记录的 $M2.0$ 以上的 9 个地震事件,利用和达法求出发震时刻,然后用华南表的速度模型和河南省北部的速度模型分别计算这些地震的发震时刻^[6]。从表 2 可见,华南表的误差范围在 -0.1

~ 1.34 s,平均误差为 0.684 s;河南省北部的误差范围在 $-1.09 \sim 0.073$ s,平均误差为 0.024 s。另外,将两组误差按升序重新排序,横轴为误差值,纵轴为折合地震序列,绘制误差分布图 3、4,可以发现利用华南表速度模型计算发震时刻存在一定的系统偏差,而使用河南省北部的速度模型计算发震时刻的误差呈正态分布。

表 2 发震时刻误差表
Tab. 2 Error of earthquake origin time

序号	地震时间 (年-月-日)	和达法(s)	华南表(s)	误差(s)	河南省北部(s)	误差(s)	震中位置
1	2010-01-15	17-16-41.30	17-16-42.6	1.34	171 642.27	0.97	河南范县与濮阳县交界
2	2010-03-25	04-21-15.11	04-21-15.1	-0.01	042 114.02	-1.09	河南范县
3	2012-01-02	18-45-04.70	18-45-05.7	0.96	184 505.11	0.41	河南安阳
4	2012-01-17	04-52-31.85	04-52-33.0	1.15	045 232.55	0.70	河南范县
5	2012-01-17	05-24-37.77	05-24-38.3	0.53	052 436.82	-0.95	河南范县
6	2012-03-17	08-21-54.60	08-21-54.5	-0.10	082 154.12	-0.48	河南林州
7	2012-04-12	15-07-08.90	15-07-10.0	1.14	150 708.90	0.00	河南清丰
8	2012-05-06	16-04-34.70	16-04-35.9	1.19	160 435.43	0.73	河南焦作
9	2012-07-22	10-10-44.10	10-10-44.1	-0.04	101 044.03	-0.07	河南延津
平均误差				0.684		0.024	

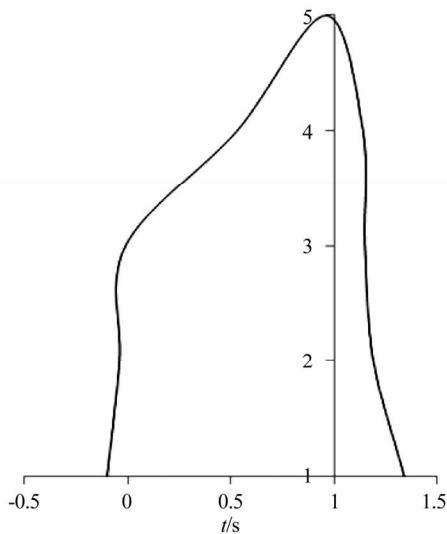


图 3 华南表计算结果的误差分布

Fig. 3 Error distribution of South China's table

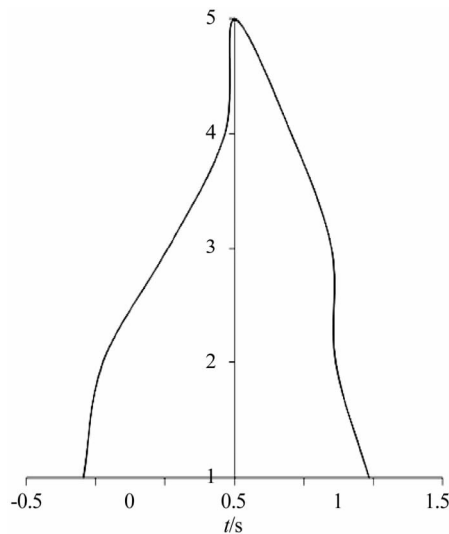


图 4 河南省北部速度模型计算结果的误差分布

Fig. 4 Error distribution of velocity model of the northern Henan province

5.2 理论走时与实际走时比较

选取地区到时震相丰富的地震事件,将理论震相 P_g 、 S_g 、 PmP 、 SmS 、 Pn 、 Sn 波的走时曲线与观测震相 $Pg1$ 、 $Sg1$ 、 $PmP1$ 、 $SmS1$ 、 $Pn1$ 、 $Sn1$ 走时曲线进行比较(图 2),发现两组走时曲线非常吻合。

6 讨论与结论

华南表的模型为:壳厚 32.4 km,上部地壳厚

21.4 km, $V_p = 6.01$ km/s, $V_s = 3.55$ km/s;下部地壳厚 11.0 km, $V_p = 6.88$ km/s, $V_s = 3.93$ km/s; $V_{pn} = 7.98$ km/s, $V_{sn} = 4.58$ km/s。虽然该表使用双层地壳速度模型,但其直达波和首波波速与该地区的实际速度模型存在很大差异,使用华南表确定河南省北部地区的地震参数,其结果误差较大。通过比较两个模型计算的发震时刻误差,检验走时曲线吻合度,发现河南省北部的速度模型更适合该地区,定位

精度更高。

致谢 感谢中国地震台网中心赵勇研究员的指导与帮助!

参 考 文 献

1 张诚.地震分析.[M].北京:地震出版社,1980.
2 河南省地质矿产局水文地质一队.河南平原第四纪地质研究报告[M].郑州:中州出版社,1982.

3 邹雪雁,李进先.河南省地壳结构和深断裂简述[J].河南地质,1995,(2):126-131.
4 张诚,高世奎,邵世勤.甘青区域地震波走时表[J].西北地震学报,1989,(1):12-15.
5 国家地震局科技监测司.中国分区地震波走时表的编制[M].北京:地震出版社,1989.
6 范玉兰,等.华南地区近震走时表的研制[J].华南地震,1990,(2):1-16.

(上接第 63 页)

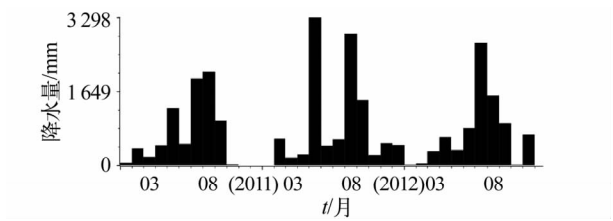


图4 沂水地震台降水量
Fig.4 Rainfall of Yishui seismostation

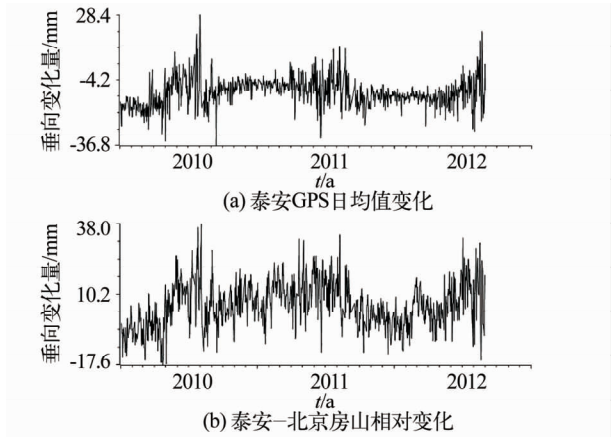


图5 泰安 GPS 基准站垂向变化
Fig.5 Vertical variation of Taian GPS fiducial station

场存在反向的变化,变化幅度相近,可能是季节性因素影响较大,只有消除季节性因素影响,才有利于提取地震引起的重力场变化信息。

影响重力场变化的主要因素有潮汐变化、气压、水储量变化(包括地表水和地下水)以及各种误差,

而在流动重力测量的计算过程中作了固体潮的改正,大大削弱了潮汐变化因素的影响,同时作了气压、一次项、仪器高等改正,也减少了气压、模型和测量过程中的误差。沂水地震台的降水量分布与重力场的季节性变化有一定的相关性,降水的渗透作用可能导致地表抬升,从而使重力场减小,反映出近地表水环境的变化是影响重力场的重要因素之一。

致谢 感谢山东省地震局李杰研究员对本文提出的有益意见和建议!

参 考 文 献

1 燕乃玲,等.沂沭带形变、重磁场时空变化特征与地震活动[J].地震研究,2001,24(2):126-130.
2 王志才,晁洪太.1995年山东苍山5.2级地震的发震构造[J].地震地质,1999,21(2):115-120.
3 祝意青,等.沂沭断裂带重力场时空动态演化特征[J].大地测量与地球动力学,2008,(6):61-66.
4 王若柏,等.沂沭断裂带地壳垂直形变的演化及其构造含义[J].中国地震,1995,11(2):174-180.
5 徐建桥,等.武汉台重力长期变化特征研究[J].科学通报,2008,53(5):583-588.
6 周红伟,等.影响武汉台重力和垂直位移观测的环境因素[J].大地测量与地球动力学,2009,(3):55-59.
7 徐伟民,等.中国大陆重力场非潮汐时空变化特征的初步分析[J].地球物理学进展,2012,27(3):861-871.
8 韦进,等.弹簧式连续重力观测非线性漂移影响因素分析[J].大地测量与地球动力学,2012,(5):137-142.