

# Analysis of Crustal Velocity Imaging in Ningxia

Xiaochuan Bai, Hao Tang, Qingmei Li\*

Earthquake Administration of Ningxia Hui Autonomous Region, Yinchuan Ningxia  
Email: \*gydztb@163.com

Received: Jul. 10<sup>th</sup>, 2020; accepted: Jul. 24<sup>th</sup>, 2020; published: Jul. 31<sup>st</sup>, 2020

## Abstract

Strong earthquakes and large earthquakes often occur in the relatively high stress accumulation area or in the blocking segment of the active fault zone. In this paper, the method of active tectonics is used to identify the active behavior of faults and the segmentation of faults. By using the improved multi-phase seismic travel-time imaging method, the three-dimensional velocity structure imaging of Ningxia and its adjacent areas is carried out, and the sections of some active fault zones where strong earthquakes or large earthquakes may occur in the future are determined, expanding the train of thought for earthquake prediction and prediction.

## Keywords

Seismic Phase Travel-Time Imaging, Possible Earthquake Segments, Ideas for Earthquake Prediction and Prediction

# 宁夏地区地壳速度成像分析

白晓川, 唐浩, 李青梅\*

宁夏回族自治区地震局, 宁夏 银川  
Email: \*gydztb@163.com

收稿日期: 2020年7月10日; 录用日期: 2020年7月24日; 发布日期: 2020年7月31日

## 摘要

强震与大地震往往发生在活动断裂带上的相对高应力积累区或闭锁段落上, 本文以活动构造学方法为主鉴别断裂活动习性与破裂分段, 采用改进后的多震相地震走时成像方法, 进行宁夏及邻区三维速度结构成像, 确定某些活动断裂带未来可能发生强震或大地震的段落, 为地震预测预报拓展思路。

## 关键词

地震震相走时成像, 可能发生地震段落, 地震预测预报思路

\*通讯作者。

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

强震与大地震往往发生在活动断裂带上的相对高应力积累区或闭锁段落上(Aki, 1984) [1] [2]。因此,以活动构造学方法为主的断裂活动习性鉴别与破裂分段,一直是活动断裂研究的重要方面[3]。其目的是确定某些活动断裂带未来可能发生强震或大地震的段落。

刘福田等(1986) [4]研究表明,华北地区的P波速度存在明显的横向不均匀性,该地区的大地震几乎都发生在P波的高速区与低速区的过渡带上。黄金莉等(2001) [5]通过对川滇活动构造区进行地震层析成像研究,结果表明部分强震多发生其下部存在低速层或由低速带到高速带过渡的边界上。一般情况,在速度对比强烈的部位既是应力集中的地方,又是介质相对比较脆弱的地方。这样的环境具备了积累大量应变能的介质条件,又是容易发生破裂、易于释放应力的场所,因而容易引发大的地震[6] [7]。自从Dines和Lytle首次于1979年把成像技术应用于地球物理学中以来,成像技术在地球物理学中得到了广泛应用,在这十几年里,国外有不少科学家做了大量的研究工作,该方法得到了不断改进和更新。目前为止,利用地震波波形来研究地球内部结构还远不如利用地震波走时来研究地球内部结构那么普遍。但是利用波形资料来研究地球内部结构方面也取得了很大的成就,尤其是近几年来,这方面的研究有了很大的进展。在80年代,主要是利用折射波波形来建立一维速度模型。在全波理论的应用方面有了很大的发展,但是对地方震资料的利用还很少。尽管如此,随着地震观测技术与观测精度的不断提高,理论上的不断完善,使用各种波形资料对横向不均匀性的研究将成为可能波形反演中主要存在两个问题:震源机制解或震源机制解的误差问题和介质的吸收问题。由于这两个问题的存在,要把波形拟合得非常好就有相当的难度,所以在本文中只强调波形在形状上的拟合程度,而不重视波形振幅的绝对大小[8] [9] [10] [11]。

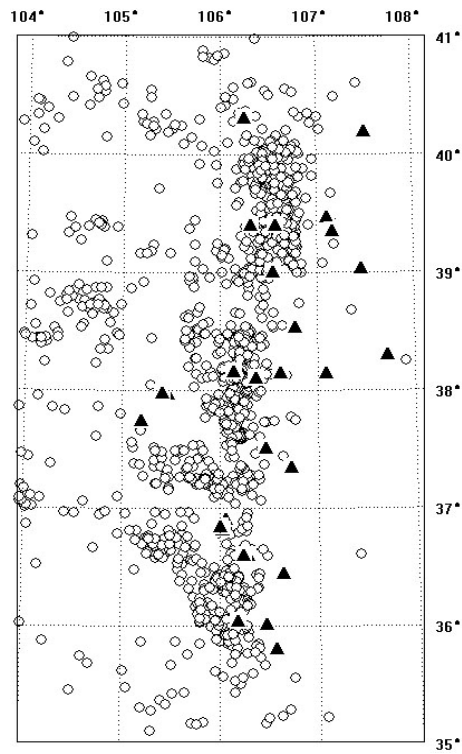
本研究拟利用1990~2008年的区域台网地震资料,采用张元生等(2004)改进后的多震相地震走时成像方法,分析宁夏及邻区速度层析成像结果,判断研究区主要断裂带的强震潜在区域。

## 2. 数据选取

资料收集了1990~2008年研究区(34°~41°N, 104°~108°E)内,每个地震事件,均被6个以上台站记录,且S-P能够参加反演计算的地震1397个,包含参与22320条反演计算的震相数据,拟有30个地震台(图1)。初步模式参阅周民都等(2006)计算的层析成像研究成果,经不断反复计算,最终将模型网格数确定为 $6 \times 8 \times 4$ ,不同网格形式等,排除周围边界外,设定 $50 \text{ km} \times 70 \text{ km}$ 网格平面。本文分析研究的方向,关于地壳P波速度模型,借鉴了前人的研究成果,深度方向界面依次为3 km、21 km、34 km和moho面。全面反演计算区域的射线分布见图2,分析研究区域的四周,通过的地震波射线较少,分辨率偏低。对于研究区内部而言,总体分辨较好。

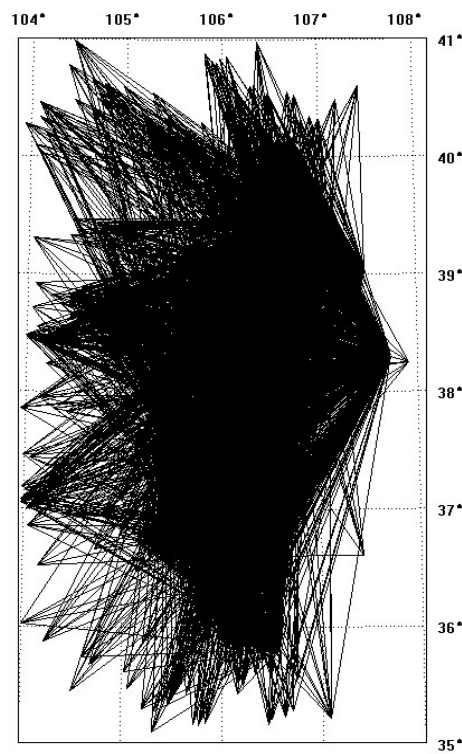
## 3. 研究方法

本文采用改进后的多震相地震走时成像方法(张元生等, 2004)即模型的参数化和三维射线追踪、阻尼最小二乘法、地震波波形反演的遗传算法,进行宁夏及邻区三维速度结构成像。该方法的主要特点:能够联合利用多震相,采用三维射线追踪方法,遗传算法分别进行正演走时计算和反演计算。该方法在多个地区的地壳结构研究得到较好地应用(李清河等, 2007; 莘海亮等, 2011, 2014)。



**Figure 1.** Stations and epicentral distribution in the study area

**图 1.** 研究区内的台站及震中分布图



**Figure 2.** Ray distribution of seismic waves

**图 2.** 地震波射线分布图

### 4. 速度成像结果分析

本文通过分析研究层析成像结果，给出了沿深度方向 4 层 P 波速度分布(图 3~6)，得出结果表明，沿深度方向 4 层 P 波速度分布存在明显的横向不均匀性。

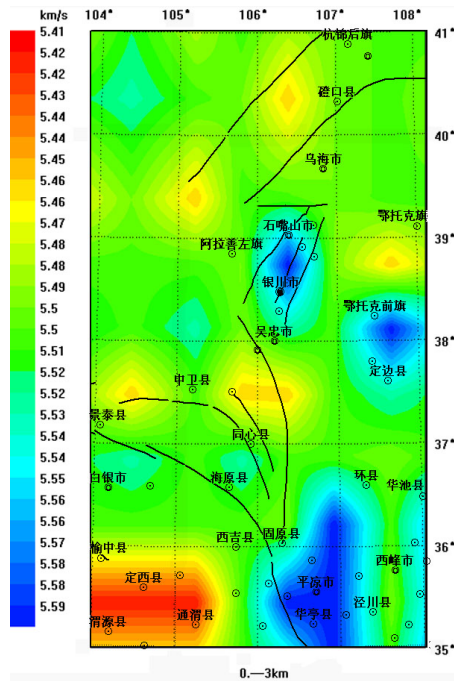


Figure 3. 0-3 km Velocity plane distribution  
图 3. 0~3 km 速度平面分布图

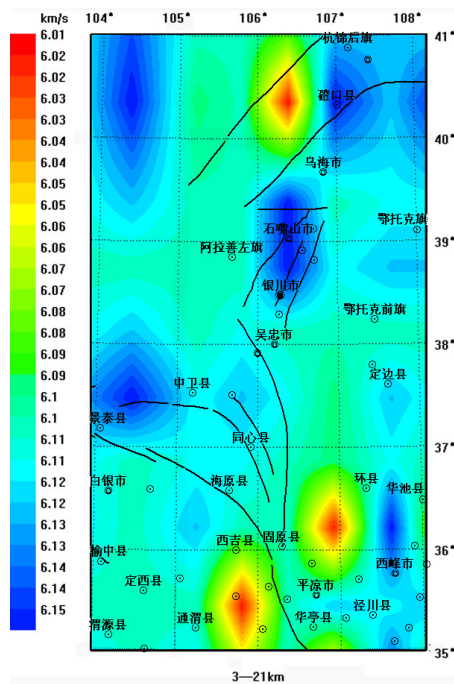


Figure 4. 3-21 km Velocity profile  
图 4. 3~21 km 速度平面分布图

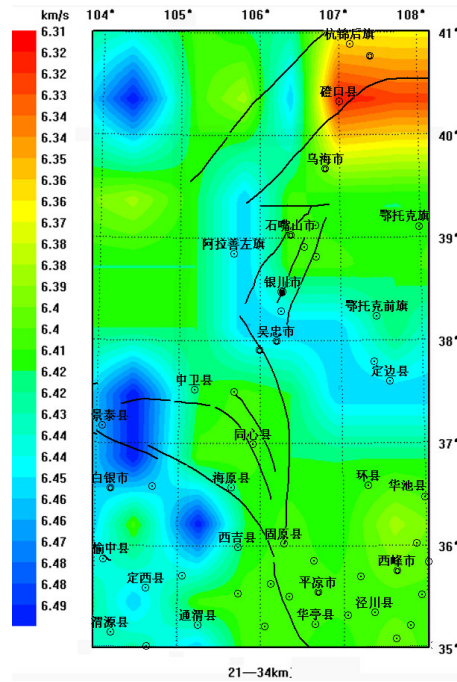


Figure 5. 21 - 34 km Velocity plane distribution  
图 5. 21~34 km 速度平面分布图

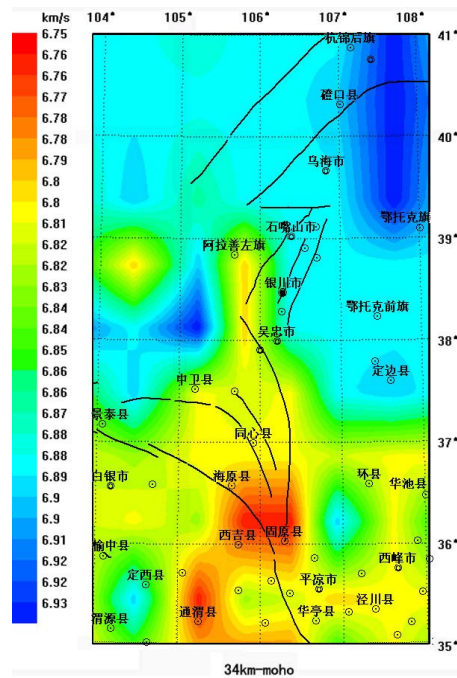


Figure 6. 34 km-moho Surface velocity plane distribution  
图 6. 34 km-moho 面速度平面分布图

1) 在深度范围 0~3 km 内：基本上反映了浅部沉积层的速度结构。该层 P 波速度为 5.40~5.60 km/s。另外图像结果显示，定西西南地区速度偏低，而在磴口西至阿拉善西北一带地区、景泰北、同心北等区域为低速区；石嘴山市至吴忠地区、鄂托克前旗至定边县地区、平凉地区周围为高速区。

2) 在深度范围 3~21 km 内, 速度分布基本上反应了本区上地壳速度的横向变化特征, 与本区的地表构造也有着一定的关系。该层 P 波速度为 6.0~6.17 km/s。结果显示磴口以西、固原东与通渭东为低速区; 石嘴山市至吴忠地区为高速区外, 整体速度在 6.10 km/s 以上。在磴口-本井断裂、狼山断裂西段和六盘山断裂南段处于 P 波低速区到高速区的过渡带, 易于释放应力, 存在发生大地震的危险性。

3) 在深度范围 21~34 km 内, 层速度分布基本上反映了本区中地壳的速度特征, 结果显示大部分区域速度处于 6.38~6.45 km/s。高速区相对于上一层减少, 出现在景泰至白银一带; 磴口及其西北地区为低速区范围。磴口-本井断裂东段和鄂尔多斯北缘断裂西段位于低速区, 可能为未来强震发生危险区。

4) 在深度范围 34 km-moho 面内, 深度层速度分布基本上反映了本区下地壳的速度特征, 以 38 度为界, 北部地区为相对高速区, 南部地区则为相对低速区。西吉、固原以及通渭地区呈现低速现象, 磴口至鄂托克旗地区表现为相对的高速区。虽然宁夏南部地区为相对低速区, 但该深度层发生地震的可能性较小, 可以把宁夏南部地区列为值得注意地区。

综上所述, 在 3~21 km 深度上, 磴口-本井断裂、狼山断裂西段和六盘山断裂南段处于 P 波低速区到高速区的过渡带, 易于释放应力, 存在发生大震的危险性; 在 21~34 km 深度上, 磴口-本井断裂东段和鄂尔多斯北缘断裂西段位于低速区, 可能为未来强震发生危险区; 在 34 km-moho 面深度上, 宁夏南部地区为相对低速区, 结合宁夏地区发震深度较浅, 该深度层发生地震的可能性相对较小。

## 5. 结论

通过层析成像分析, 给出了沿深度方向 4 层 P 波速度分布结果, 在 3~21 km 深度上, 磴口-本井断裂、狼山断裂西段和六盘山断裂南段处于 P 波低速区到高速区的过渡带, 易于释放应力, 存在发生大震的危险性; 在 21~34 km 深度上, 磴口-本井断裂东段和鄂尔多斯北缘断裂西段位于低速区, 可能为未来强震发生危险区; 在 34 km-moho 面深度上, 宁夏南部地区为相对低速区, 结合宁夏地区发震深度较浅, 该深度层发生地震的可能性相对较小。

由于受台站布局限制, 迭代计算后得到的走时均方差为 2 s, 依旧比较大。本部分给出的反演计算结果仅是研究初探, 还需要进行更细致的反演计算和更深入的分析讨论。

## 致 谢

甘肃省地震局张元生研究员提供了计算程序, 中国地震局地球物理勘探中心莘海亮高工提供了帮助, 在此一并表示感谢。

## 参考文献

- [1] 丁国瑜, 田勤俭, 孔凡臣, 等. 活断层分段一原则、方法及应用[M]. 北京: 地震出版社, 1993: 1-143.
- [2] 黄金莉, 赵大鹏, 郑斯华. 川滇活动构造区地震层析成像[J]. 地球物理学报, 2001, 44(z1): 127-135.
- [3] 李清河, 张元生, Kim, S.G. 朝鲜半岛南部三维地壳速度结构成像[J]. 地球物理学报, 2007, 50(4): 1073-1081.
- [4] 李善邦. 中国地震[M]. 北京: 地震出版社, 1981.
- [5] 刘福田, 曲克信, 吴华, 等. 华北地区的地震层面成像[J]. 地球物理学报, 1986, 29(5): 442-449.
- [6] 全国 7 级地震与地震形势跟踪组. 中国大陆地震大形势跟踪与趋势预测研究报告(讨论稿) [R]. 2009.
- [7] 苏有锦, 李永莉, 李忠华, 等. 川滇地区区域地震目录完整性最小震级分析[J]. 地震研究, 2003, 26(z1): 10-16.
- [8] 莘海亮, 方盛明, 张元生, 等. 安阳及邻区三维地壳速度结构研究[J]. 地球物理学进展, 2011, 26(5): 1535-1543.
- [9] 莘海亮, 刘明军, 张元生, 等. 新乡及邻区三维地壳速度结构[J]. 地球物理学进展, 2014, 29(4): 1581-1587.
- [10] 张元生, 周民都, 荣代潞, 等. 祁连山中东段地区三维速度结构研究[J]. 地震学报, 2004, 26(3): 247-255.
- [11] 周民都, 张元生, 石雅臻, 等. 青藏高原东北缘地壳三维速度结构[J]. 地球物理学进展, 2006, 21(1): 127-134.