

# 华北裂谷盆地南部菏泽—长治 地震测深剖面结果解释

嘉世旭 刘昌铨

(国家地震局地球物理勘探大队, 郑州)

## 摘 要

菏泽—长治地震测深剖面探测研究的目的是为了揭示菏泽地震区、东明拗陷、汤阴地堑、林县微震区、太行山和山西高原南部等构造的地壳结构特征及其与矿产资源、地震活动的关系。该剖面测深资料以往已作过分析处理,取得了一些初步成果<sup>1)</sup>。本文是在原解释分析基础上,进一步收集沿剖面的地质、地球物理资料,采用任意非均匀二维模型设计,运用动力学射线追踪原理编制的“SEIS83”程序进行走时和振幅计算,并对某些波组震相进行了较深入的讨论、计算,取得了一些很有意义的结果。

**关键词** 华北裂谷盆地 菏泽—长治地震测深 测深结果解释 均匀二维模型设计

## 一、剖面位置、地质和地球物理构造

剖面东起山东金乡,经菏泽,穿越河南的濮阳、汤阴、林县,西至山西长治,观测长度360公里,方位角 $293^\circ$ (图1)<sup>2)</sup>。

从地理上分:汤阴以东(400桩号)是平原区,海拔40—100米。汤阴以西至林县(40—435桩号)属太行山东麓的丘陵区,海拔300—400米,林县以西(435—480桩号)是太行山脉,海拔1200—1600米,长治以西是山西高原,海拔1000—1100米,可见,沿剖面接收点间的最大高程差可达1500米,必须在资料处理计算时加以考虑。

剖面自西向东通过了鲁西隆起、东明拗陷、内黄隆起、汤阴地堑、太行隆起等地质构造单元。其中东明拗陷规模较大,仅新生代沉积厚度就达7公里,拗陷东边缘为聊城—兰考断裂,断裂深达10公里以上,拗陷产状呈东陡西缓,汤阴地堑规模较小,新生代沿积厚度近4公里。地堑内的汤阴—汲县断裂深约5公里,地堑的产状较平缓。在平原区及断陷盆地地表覆盖着0.5—2公里的第四系和新第三系的松散沉积物。剖面西段的太行隆起区地表出露的主要是古生代地层,个别地段还出现元古代地层<sup>3)</sup>(图2b)。

1) 菏泽—长治剖面地壳结构特征,国家地震局物探队,祝治平等,1983。

2) 华北新生代裂谷系及其周边地壳结构与地球动力学研究,国家地震局物探队,刘昌铨等,1989。

3) 地质资料,地矿部华北石油地质局,1989年。

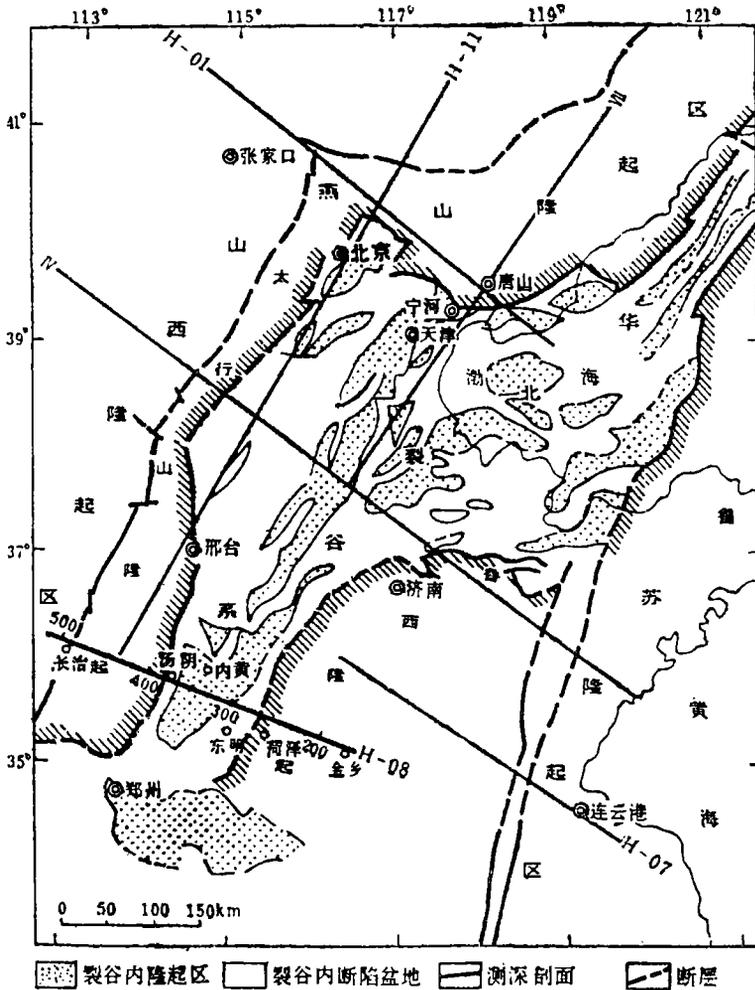


图1 华北裂谷系地质构造图

剖面近垂直穿过了以北北东—北东方向为主的构造线。沿剖面布格重力异常值除了显示由东向西逐渐缓慢下降外，还在各凹陷区出现了局部负异常。太行山重力梯级带从 $-20 \cdot 10^{-6} \text{m/s}^2$ 到 $-100 \cdot 10^{-6} \text{m/s}^2$ 。航磁 $\Delta T$ 化板上延10公里异常等值线在菏泽附近达最大，约 $210 \text{nT}$ ，在东明拗陷和汤阴地堑最低约 $20 \text{nT}$ 和 $5 \text{nT}$ 。菏泽地震发生在东明拗陷东侧的重力局部负异常和 $\Delta T$ 磁异常强烈变化的梯级带上，林县微震区位于太行山前地带，这里地壳结构和重、磁异常都比较复杂（图2a）。

## 二、地震资料分析、模型设计和计算

菏泽—长治360公里的人工地震测深剖面上共进行了八次爆破观测。这次解释处理时

4) 重力资料，河南地矿局物探队，1988年。  
 5) 航磁资料，地质部航空物探大队，1981年。



重点选择了其中记录质量好、信噪比高、覆盖面广的253.78、301.22、371.66和504.94等四个炮点资料，并充分考虑了其他各炮的观测资料。上述四个炮点的资料在通过主要地质构造单元时都进行了三到四次重复观测，构成了比较完整的追逐、相遇观测系统（图3），给资料的处理、解释带来了方便。

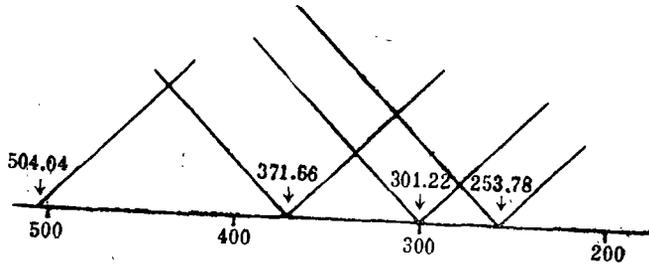


图3 菏泽—长治人工地震测深剖面双测系统图

### 震相分析

该剖面接收到的主要震相有四组，即 $P_g$ 、 $P_{c_1}^{\circ}$ 、 $P_{c_2}^{\circ}$ 和 $P_M$ 震相，各震相局部走时的滞后、超前和振幅的强弱变化受沿剖面各沉积凹陷和断裂的影响。

整个剖面 $P_g$ 震相在初始区出现可连续追踪120公里以上，视速度一般为6.0—6.2 km/s，其中253.78、301.22两炮 $P_g$ 震相可追踪达150公里，为续至区的其它震相所覆盖（图4a）。显示了沿测线的上地壳具有较大的厚度。在东明拗陷和汤阴地堑段 $P_g$ 震相出现了到时强烈滞后，振幅弱和波形紊乱（图5a）。在东明拗陷东侧聊考断裂处（约275桩号）到时差最大为1.5秒，反映了沉积凹陷的深度和深大断裂的主要产状。由东明拗陷到汤阴地堑之间的内黄隆起段内 $P_g$ 震相表现为走时超前，振幅强和频率高等现象。反映了内黄隆起区新生代沉积层薄、基底隆起且速度较高的特征。剖面西端进入太行山、山西高原地段，这里 $P_g$ 震相到时提前，视速度平稳，约为6.1—6.2 km/s。这一带基底埋深浅，基岩直接出露地表。

$P_M$ 震相在整个剖面都表现为强震相，视速度随炮检距加大迅速减小，在150公里以远降为6.5 km/s。反映了下地壳的下部有一强正速度梯度层，即通常说的壳幔过渡带。 $P_M$ 震相的局部走时超前或滞后，也与上地壳沉积凹陷和M面的起伏变化有关，在聊考断裂附近（275桩号）反映尤为明显。

在 $P_g$ 与 $P_M$ 震相之间波形零乱、波组复杂，只是在剖面东段和西段的鲁西隆起、太行、山西隆起比较平稳规则。在整个剖面各炮能进行长距离追踪的有两组震相，即 $P_{c_1}^{\circ}$ 和 $P_{c_2}^{\circ}$ 。这两组震相具有相似的振幅较弱和反射波走时特征。253.78、301.22炮向西接受到约在炮检距160公里后出现 $P_{c_1}^{\circ}$ 、 $P_{c_2}^{\circ}$ 相互干涉迭加现象。反映了内黄隆起和汤阴地堑所对应的中层地壳具有较高速度的特征，504.94炮的 $P_{c_1}^{\circ}$ 、 $P_{c_2}^{\circ}$ 到时差大，体现了山西高原及太行山区域中层地壳较厚特征。

值得特别提出的是253.78、301.22和323.03等炮点的记录截面图中都在430—480桩号接收段有一组波到时超前 $P_g$ 震相在初至区出现，这组震相出现区域虽短，但清晰可靠，视速度约为6.7 km/s，它明显大于在同接受段出现的 $P_M$ 震相的视速度。不难推测，这是来自汤阴地堑下部中地壳内的高速通道波。这里定义它为 $P_c^*$ 震相（图4a）。这组局

部出现的震相在地质和地球物理场上都有着它特殊的意义，它将在本文结果分析中再讨论。

该剖面另一显著特点是：整个剖面各炮在 $P_N$ 震相应以初至出现的区域（150公里以远）几乎都未观测到清晰的 $P_N$ 震相，说明在华北裂谷盆地南部上地幔顶部为一近似均匀的速度层。

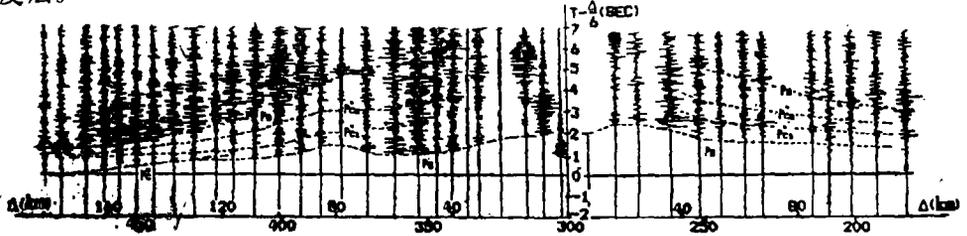


图4a 菏泽-长治剖面图301.22炮点记录截面图

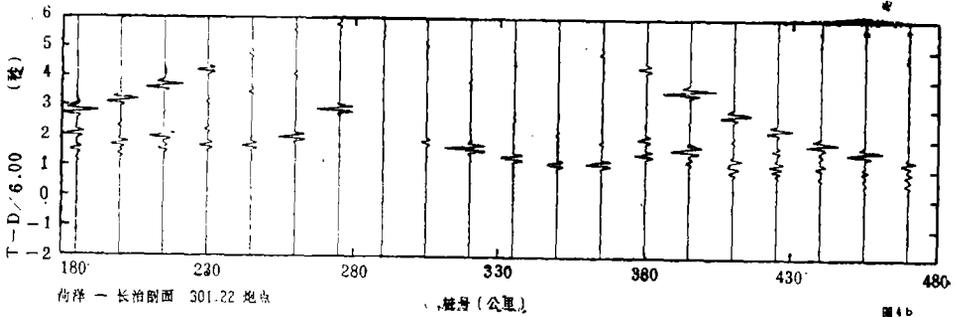
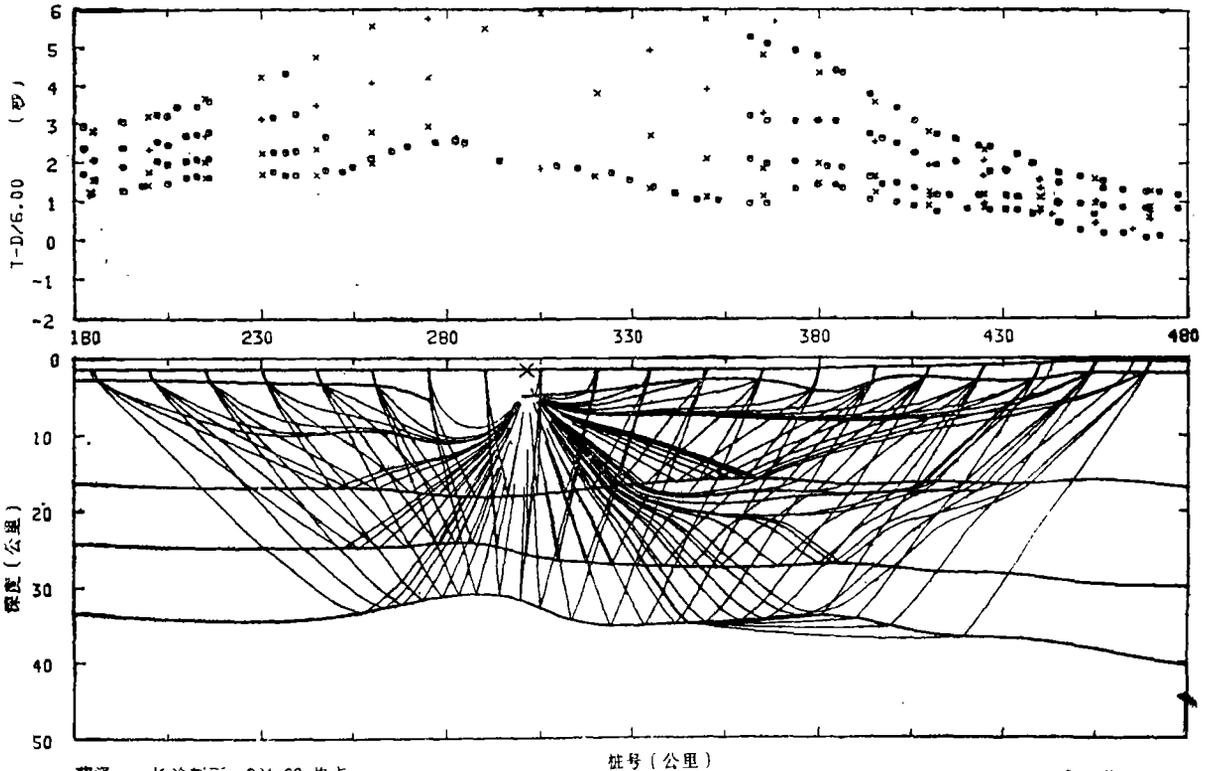


图4b 菏泽-长治剖面301.22炮点理论地震图



菏泽-长治剖面 301.22 炮点

图4c 菏泽-长治剖面301.22炮点射线追踪图

### 模型设计和计算

从震相分析结果可看出该剖面的纵横向非均匀性非常强烈。我们是在详细收集沿剖面地质、地球物理资料和震相分析的基础上建立起起初始二维非均匀速度模型，利用动力学射线追踪原理编制的“SEIS83”程序进行计算处理<sup>(1)</sup>。由于该程序包在模型设计上的高度灵活性，使反映上述地质构造现象的震相得到很好地模拟。在计算中将地表高程直接输入模型参加计算，避免了沿剖面高程不同带来的计算误差。经过反复的震相分析、模型修正和计算对比，使模型的理论计算与实测资料达到了很好的吻合。计算结果见图4b、4c、5b、5c和图6。最后得到菏泽—长治人工地震测深剖面地壳速度结构图（图2c）。

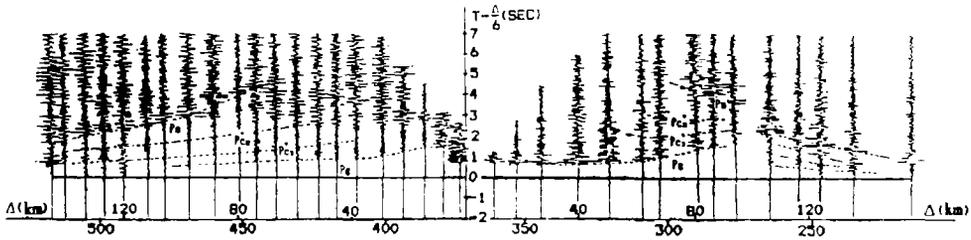


图5a 菏泽-长治剖面371.66炮点记录截面图

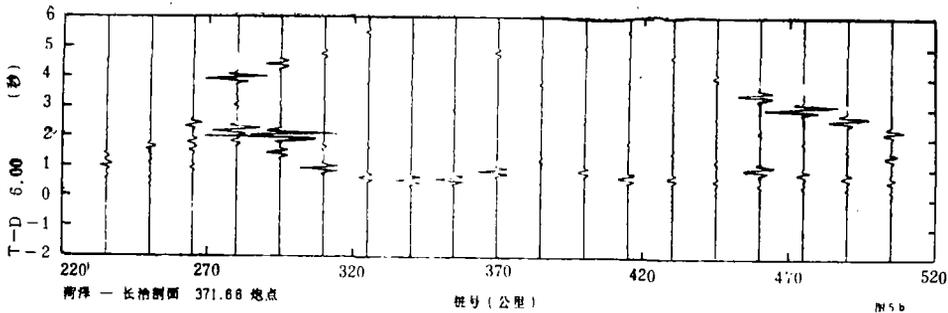


图5b 菏泽-长治剖面371.66炮点理论地震图

### 三、结果讨论

菏泽—长治沿剖面地壳速度结构从纵向上可分为上、中、下三层构造。沿剖面从横向上也可大致地分为三段，东段（170—260桩号）为鲁西隆起；西段（400—520桩号）为太行、山西隆起；中段（260—400桩号）为华北裂谷盆地。主要构造有东明拗陷、内黄隆起和汤阴地堑。为方便起见，我们把沿剖面划分的三层、三段的地壳层厚度( $H_i$ )、层平均速度( $\bar{V}_i$ )、莫氏面埋深( $M_h$ )和地壳平均速度( $\bar{V}$ )等参数列表如下：

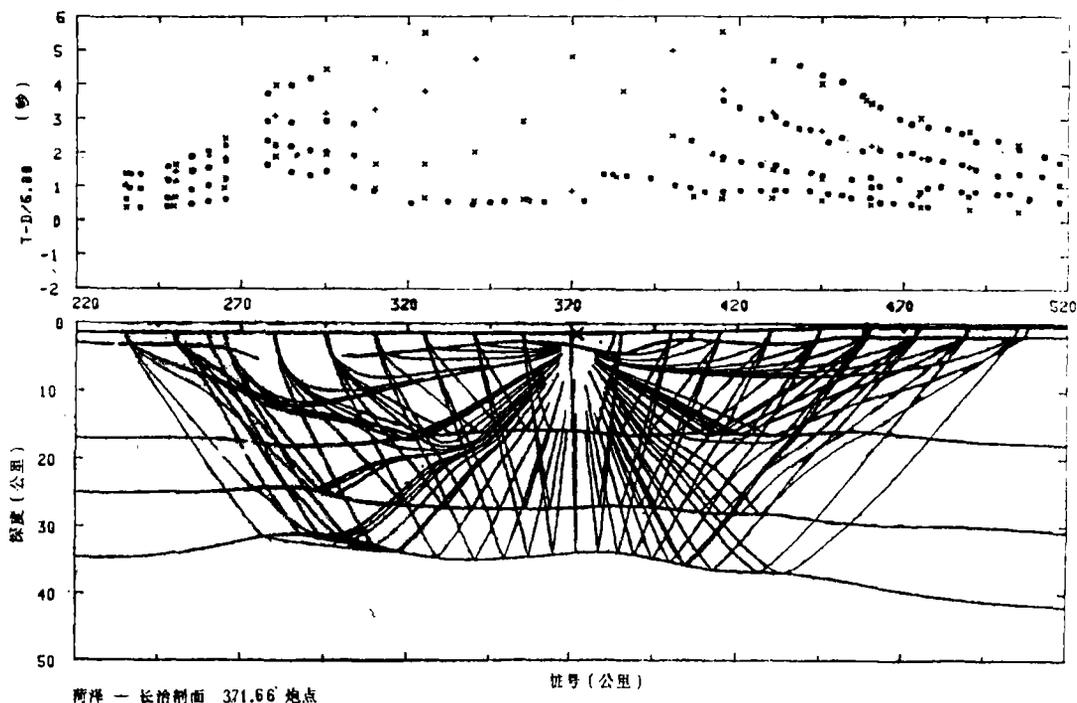


图5c 菏泽-长治剖面371.66炮点射线追踪图

表1

地质构造单元(桩号段)		壳内主要参数 (km, km/s)							
		H上	$\bar{V}$ 上	H中	$\bar{V}$ 中	H下	$\bar{V}$ 下	M下	$\bar{V}$
东段	鲁西隆起 (170—260)	8.5	5.63	15.0	6.19	9.5	6.55	33.0	6.13
	东明拗陷 (260—320)	12.5		11.0	6.15	6.5	6.59	30.0	5.47
中段	内黄隆起 (320—360)	9.5		16.5	6.39	7.0	6.59	33.0	6.24
	汤阴地堑 (360—400)	8.7		17.0	6.36	7.0	6.58	32.0	5.81
西段	太行山西隆起 (400—520)	10.0		20.0	6.22	10.0	6.58	40.0	6.17

由上表和图2c可见各不同地质构造单元特征:

该剖面东西段隆起区(包括中段的内黄隆起)都表现为M面下凹(地壳厚度加大)和壳内平均速度偏高等特点,这里,隆起区地壳厚度加大主要是由于中、下层地壳增厚,速度的偏大主要是由在上、中层地壳速度的增大造成。不同构造区域在下地壳速度几乎相同。从结构形态上看,在隆起区主要表现为较均匀的成层结构特征。

M面构造形态在平原区与上层地壳构造成镜像起伏关系,地壳平均厚度约33公里,东明拗陷和汤阴地堑出现两个局部凸起,地壳厚度分别为30公里和32公里。汤阴以西(400桩号)到长治以东(480桩号)是太行隆起,该段地壳厚度由34公里速度迅速加深到40公里。再往西为山西高原,地壳厚度约42公里。

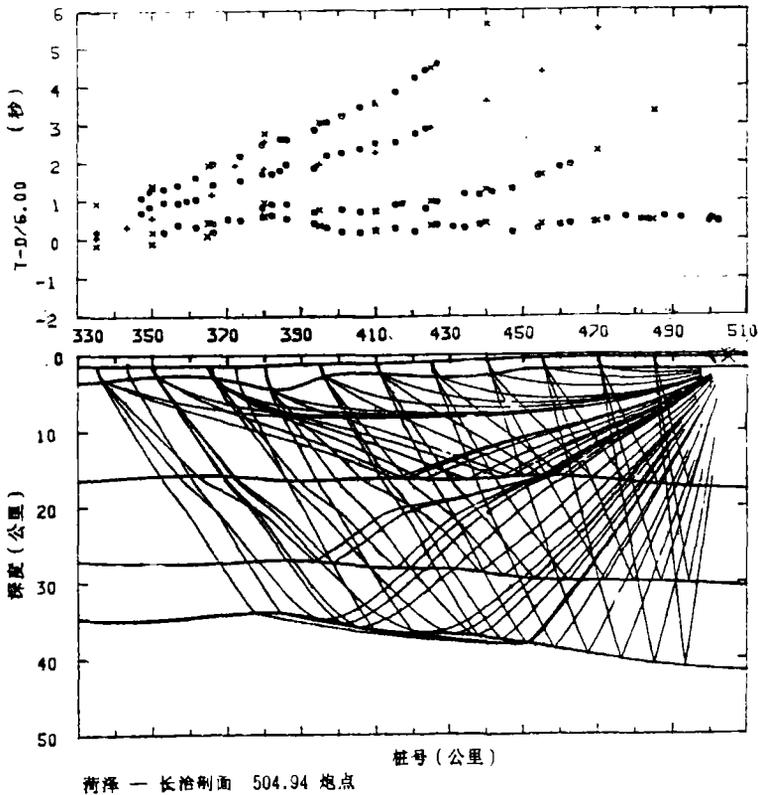


图6 衡泽-长治504.94炮点射线追踪图

下面重点讨论剖面中段构造特征。

剖面中段属华北裂谷盆地南端。在长约140公里区域内结构复杂,纵横向非均匀性十分强烈。该段进一步还可划分为三个不同的地质构造单元,两侧为东明拗陷和汤阴地堑,中间约40公里(320—360桩号)区段为内黄隆起。

计算结果表明(图2c),东明拗陷、汤阴地堑的纵横向尺度分别为深约10公里和4.5公里,宽约60公里和30公里,并在中、下层地壳以及M面的构造形态上有着很好的对应关系。而中间的内黄隆起体现了地壳成层结构明显且速度偏高特征。

东明拗陷、汤阴地堑对应的上、下层地壳都存在着相似的凹陷、凸起构造,只是规模大小的不同,但在中层地壳的速度和规模方面却显示了明显的不同。东明拗陷中层地壳厚度较小(11公里)、介质速度偏低(6.15公里/秒),显示了下地壳强烈隆起,而上地壳张裂下陷的过渡层构造特征。汤阴地堑中地壳界面形态较平缓、层厚度(17公里)和介质速度(6.36公里/秒)明显加大。正如前面震相分析所知,253.78、301.22和323.03三炮点都在430—480桩号段接收到清晰的走时超前Pg波、视速度为6.7公里/秒的震相。计算结果表明,以汤阴地堑为中心,深约20公里处存在一东西延伸约100公里(南北情况不清楚)厚约4公里,速度为6.6—6.8公里/秒的高速异常体。从异常体与周围介质速度差值(约为0.5公里/秒)以及图的形态分布特征看,这高速度异常体很可能源于上地幔,通过隆起的M面裂隙上地幔物质上升迁移至中地壳。有些甚至顺着上地

壳的地堑张性裂隙迁移到地表。据调查，在汤阴地堑附近不断地有零星的金伯利岩发现，河南省地矿厅还为此组织了专门队伍，至今仍在该区工作<sup>6</sup>。这次地堑区深部高速异常体的发现，为在地表找到幔源物质提供了深部构造依据，对当地矿产资源的远景规划有着重要意义。

中原油田位于东明拗陷西侧的濮阳地区，我们可以根据拗陷两侧不同构造产状来分析对油气贮存的有利因素。拗陷区内沉积盖层厚约近万米，仅新生代沉积厚度就达7千米。基底界面不明显，为一速度连续变化的梯度层代替。由速度等值线得出，拗陷区西侧构造产状平缓，基底面以低角度由西向东缓慢倾斜，沉积层厚度由330桩号的3.0公里逐渐加深到300桩号的6.5公里，具有比较稳定的良好贮存油气构造条件。拗陷东侧为聊考断裂控制，该断裂在275桩号处以近垂直的陡角度直插入上地壳底部约12公里处，形成断距约5公里，造成附近约1.5秒的波走时差（图5a）。剧烈变化的构造很不利于油气的贮存。

另一方面，正因为这里构造忽变性强，聊考深断裂成为华北裂谷盆地与鲁西隆起的分界线。东西侧的巨大差异使该区成为地震孕育发生的有利场所。聊考断裂西侧为拗陷区，巨厚的松散沉积不利于地震能的孕集。而东侧是鲁西隆起边缘，具有大地震能量的孕集和发震构造背景，菏泽地区几次约6级的大地震都发生在聊考断裂东侧附近<sup>[2][3]</sup>。

林县微震区位于沿测线华北裂谷盆地与太行隆起交界的西侧、地壳厚度由东向西迅速变大的中间部位。该区构造特征差异主要体现在上地壳上部，林县以东是丘陵区，以西是太行山脉，相对高差区1千米以上。基底形态略微下凹，在中、下层地壳都显示了较均匀的成层构造，反映了该区浅震、小震群的构造特征<sup>4</sup>。

沿剖面 $\Delta G$ 异常变化与地震测深解释结果所反映的地壳结构构造得到了很好的对应，不但在M面的起伏形态上，而且对局部的凹陷构造及其规律上都得到了很好的体现。 $\Delta T$ 航磁消料同样在剖面的东明拗陷和汤阴地堑构造活动区域显示了强烈的负值异常。

经过再次重新解释，进一步了解到剖面通过各地质构造单元的结构和深部构造背景。并发现了在汤阴地堑区内中地壳存在高速异常体，它是地堑区内发现幔源岩石的深部构造依据。还对东明拗陷两侧的不同构造形态分析了油气的贮存以及地震的孕发等因素。这些都为今后矿产资源的远景规划和地震的测防工作提供了重要的基础资料。

（1990年1月10日收到初稿）

6) 河南地矿厅地质十三队，刘鹤壁地区金刚石成矿地质条件的新认识，李怀长，1989年。

## 参 考 文 献

- [1] 翟世旭, 刘昌铨, 动力学射线追踪方法及其在二维非均匀介质理论地震图计算中的应用, 《中国大陆深部构造与进展》, 地质出版社, 1988。
- [2] 刁守中, 赵兴兰, 1983年菏泽5.9级地震的某些地震学异常的研究, 国际地震动态, 10, 1989。
- [3] 谢智, 龚倩, 菏泽5.9级地震前地震活动特征, 华北地震科学, 6, 3, 1988。
- [4] 吕梦麟, 商宏宽, 林县小震活动特征及与邢台地震活动的关系, 华北地震科学, 4, 2, 1983。

INTERPRETATION OF HEZE-CHANGZHI DSS RPO-  
FILE IN SOUTH OF THE BASIN IN NORTH CHINA

*Jia Shixu      Liu Changquan*

(Geophysical Prospecting Brigade, SSB)

**Abstract**

The Heze-Changzhi DSS profile aims at studying the relation of seismic activity and mineral resources to the structural property of crust in Heze earthquake region, Dongming depression area, Tangyin graben, Linxian microearthquake region, Taihang mountain area and the southern part of Shanxi plateau. The data from this profile had been analyzed and some preliminary results were obtained previously. On the basis of the the previous results, we collected further the geological and the geophysical data along the profile and calculated the travel time and amplitude by the program SEIS83 compiled with the dynamic ray trace principle in 2-D inhomogeneous model, we also discussed and calculated deeply some special seismic phases and got some results of great significance.