NORTHWESTERN

SEISMOLOGICAL

JOURNAL

Dec., 1993

兰州—天水地区三维重 力反演及其地质解释

李渭娟 梁桂培 姚政生 (国家地震局兰州地震研究所)

摘要

本文利用重力资料对兰州——天水地区的深部构造进行了研究。在计算中,采 用 Parker-Oldenbarg 三维位场反演方法,反演前对重力资料进行了地形改正和 中新生代沉积层校正。根据反演结果,综合分析了有关资料,认为该区为青藏块 体过渡带,并且提出了陇中盆地为断块型构造盆地的新认识。

关键词:三维重力反演;兰州——天水地区;深部构造

-、兰州—天水地区的区域构造特征

兰州—天水地区的范围是(103°-107°E,33°-37°N)。该区位于不同地质构造 和地貌单元的分界部位,由东向西,从北向南,地形不断升高,形成鄂尔多斯块体西缘、 永登—临复和天水—兰州三条明显的地貌阶梯带,也是不同块体的交接带。

区内构造复杂,各块体之间断裂构造有很大的差异。东部鄂尔多斯块体西缘,断裂构 造走向为北北东或近乎南北向;永登、临夏地貌阶梯带以西,主要构造走向为北西西向、 其次是北北西、北东和北东东向;位于两个地貌阶梯带之间的陇中盆地发育一系列弧顶向 北东突出的弧形构造带;西秦岭地区主要发育东西向构造。新生代时期断裂构造的新活 动、夷平面走向、地震活动等都有显著的差别。块体之间一般都以活动深大断裂为界,它 们是西秦岭北缘断裂带,鄂尔多斯西缘断裂带,海原断裂带以及庄浪河—洮河断裂。

二、资料处理与计算

本文所使用的研究区百万分之一的重力异常图是由国家测绘局编制的,中、新生代沉 积厚度资料和各地质时代的密度资料由甘肃省地矿局提供。我们对重力值进行了地形和沉 积厚度校正。校正了150个实测重力点,发现海拔高程与地形校正值存在明显的镜像关 系,为我们进行线性内插提供了依据,从而得到经地形校正后的重力异常。

(1) 中新生代沉积层及其校正(三迭系除外)

西秦岭地区有大面积古老岩层出露。中新生代地层主要分布于天水—武山—康乐—临 挑一线以北,即鄂尔多斯块体西缘和陇中盆地。另外,西礼和徽成盆地也有中新生代地层 分布。但区内新生代沉积厚度各地不一,相差悬殊。我们只收集到侏罗纪以来的中新生代 沉积厚度资料。由于该区新生代沉积厚度较薄,因此将中新生代沉积厚度合并一起校正。 重力场是深浅地质体的综合反映,中、新生代地层和下伏岩层的密度值差异很大,因 此必须考虑浅部沉积层的影响,我们用无限平板公式消除浅部沉积层的重力效应。其公式 为

$$\triangle g_{rt} = 2\pi f \triangle \rho \triangle H$$

式中 $\triangle \rho$ 是中、新生代地层与下伏岩层的密度差,取 140kg / m³,该值是对各层密度的平均值进行综合分析而确定的。

根据各时代地层的密度资料和天水地区地震测深工作得出的地震波 Vp 资料及 Vp 和密度的关系式^[5]:

$$\rho = \begin{cases} 2.78 + 0.56(V_p - 6.0) & (6.0 \ge V_p \ge 5.5) \\ 3.07 + 0.29(V_p - 7.0) & (7.5 \ge V_p \ge 6.0) \\ 3.22 + 0.20(V_p - 7.5) & (8.5 \ge V_p \ge 7.5) \end{cases}$$

分别求得地壳和地幔的密度,然后求得壳慢之间的密度差为400kg/m³。

(2) 莫氏面计算

Parker-Oldenburg 分别给出了频率域内正反演计算公式^[4]:

$$F[\Delta g(r_0)] = -2\pi G \rho e^{-kz_0} \sum_{n=1}^{n} \frac{K^{n-1}}{n!} F[h^n(\bar{r})] \quad , \tag{1}$$

$$F[h^{n+1}(r)] = \frac{F[\triangle g]}{2\pi G\rho} e^{kz_0} - \sum_{n=2}^{\infty} \frac{K^{n-1}}{n!} F[h^n(\bar{r})] \quad .$$
(2)

式中 Z_0 为地表观测平面, r_0 为观测点的坐标矢量, r 为扰动源坐标 R 在 X-Y 平面的投影, F[]为对括号内相应量的付氏变换, Parker-Oldenburg 公式的特点是结构严谨, 计算速度快, 且反演计算具有较好的收敛性。

莫氏界面反演计算,其过程是先计算出观测重力场(经过地形和中、新生代沉积厚度 • 校正的重力值)与一定模型下的重力场之差,即剩余场,再反演出模型的修正量,进而得 出新的模型,形成迭代。初始模型是根据研究区内人工地震测深剖面、地球物理场及地质 资料综合分析得出。同时,计算中,我们考虑了低通滤波和资料的周边问题。这样,既能 保证计算的稳定性,又能反演出局部构造的特征。

三、兰州—天水地区地壳深部构造

用 Pakrer-Oldenburg 三维正反演方法得到该区深部构造图(图 1)。我们把反演结果 与地震测深结果对比,它与阿末去乎---陇西县(AA′)、门源---渭南(BB′)东西向剖 面^[1]在深度和形态上基本趋于一致(图 2),而与西吉---成县(CC′)南北向剖面^[2]略有 差异,最大误差为 3km。出现误差的原因是,西吉---成县剖面穿越秦安、西礼和徽成盆 地, 卤资料限制,这些盆地中、新生代沉积层未能得到充分的校正。

1. 深部构造轮廓

该区深部构造东薄西厚,东部仅 40km,而西部最深达 62km,是地壳厚度强烈变化的地区,且有二个明显的地壳厚度变异带,它们是:同心、固原、陇县地壳厚度变异带和 永登、临夏、舟曲地壳厚度变异带。

东部地区莫氏面等深线走向为南北向,西部地区为北西向,而中间为莫氏面局部隆起



图 1 兰州---- 天水地区莫氏面等深线与震中分布图 1.莫氏面等深线; 2.人工地展测线; 3.M>8; 4.M=7.0-7.9; 5.M=6.0-6.9

Fig.1 'Epicentral and isobathye line of the Moho



图 2 重力反演与地震反演地壳厚度对比图 1.地程反演结果; 2.重力反演结果.

Fig.2 A comparison between crustal thickness

inversed by gravity data and seismic wave data

与拗陷区,这些隆起和拗区呈北西向排列,从西 向东它们是:兰州、临洮莫氏面隆起带;榆中、 通渭莫氏面拗陷带;靖远、会宁、秦安莫氏面隆 起带;西吉、张家川莫氏面拗陷带。

这些隆起与拗陷带自西向东,由北西向逐渐 转为北北西向,莫氏面变化与地质构造密切有 关。莫霍面埋头深为 45km 以东的地区,与鄂尔 多斯块体相当;52km 以西地区为青藏块体,45 —52km 之间地带莫氏面具有波状起伏的特点, 与东西两侧的深部构造截然不同,应为青藏块体 过渡带。

西秦岭北缘断裂带以南,莫氏面等深线强烈 扭曲,有一些范围较小的局部性隆起与拗陷,这 是青藏块体与秦岭纬向构造共同制约的结果。

2.青藏块体过渡带特征

青藏块体过渡带位于南北向重力梯级带和青 藏块体东北缘重力梯级带之间,这两个梯级带在

ŋ

第15卷

武都—天水一带合并,并继续南延出区外。过渡带内重力场特征与东西两侧有很大的差 异,东部鄂尔多斯块体重力场具有舒张开阔的特征,局部异常多由1—2条等值线组成, 等值线呈北北东或近南北走向,异常幅值大于-200×10⁻⁵m/S²。西部青藏块体东北缘重 力值在-290×10⁻⁵m/S²以下,等值线的走向为北西。过渡带内重力等值线强烈扭曲,重 力值在-200—290×10⁻⁵m/S²之间,总体走向北西向,局部异常发育,由多条圈闭性等 值线组成,因此,局部地段水平梯度值较大。西秦岭北缘断裂带以南地区,等值线的走向 近于南北向,局部异常不发育,是区内水平梯度值最大的地区。

根据莫氏面变化的特点可以将兰州—天水地区分为三个构造区:东部为鄂尔多斯地区 构造区,西部为地壳厚度变异带,而中间具有隆起—拗陷波状起伏的青藏块体过渡带。

地壳均衡状态的研究表明,过渡带由一系列局部性均衡异常组成,异常值在 9—26×10⁻⁵m/S²之间,并与莫氏面呈北西向排列的波状隆起与拗陷相对应。固原、平凉一带 是均衡异常高值区,而区外的武威和临夏一带为均衡异常的负值区,过渡带内地壳均衡状态与东西两侧也有明显的差异。



图 3. 重力剩余异常图 (80×80km) Fig.3 Residual gravity anomaly

阿末去乎——灵台东西向地震测深剖面西段的临潭地区,其上地幔速度为 8.03km/s, 而中寨以东至张家川,其速度为 7.78—7.97km/s; 陇县的固关以东地区上地幔顶部速度 为 8.11km/s。表明剖面中部上地幔顶部纵波速度比其两侧低。

(م

跨越不同地质构造单元的大地电磁测深资料显示:鄂尔多斯块体之下电性分层简单, 横向变化小,上地幔高导层的埋深在 100km 左右。武威、永靖、岷县一线以西,上地幔 高导层的埋深大于 100km,且横向变化大。而青藏块体过渡带内,上地幔第一低阻层埋 深浅,顶面总体走向近南北向,向南西倾斜,与莫氏面总体形态一致。



图 4 兰州——天水地区深部断裂图 Fig.4 Distribution of deep-seated fault in Lanzhou-Tianshui region 该过渡带位于两个地貌阶梯带之间,东 西两侧海拔高程、地形和夷平面等都有显著 的差异。上述资料表明,青藏块体过渡带具 有其独自的特征。我们认为,它是由于印度 板块向北东方向推挤和高原本身的重力作 用,对过渡带产生强大的挤压力,而其东侧 又受到稳定的鄂尔多斯块体的阻挡,致使该 地带与其东西两侧地区不同。

(3) 陇中盆地的断块结构

重力资料含有丰富的构造信息,不同的 断裂形式和产状引起不同的重力场特征。区 域性重力梯级带、重力等值线强烈扭曲和串 珠状重力异常的两侧等都是划分断裂构造的 重要标志。为了更好地确定断裂位置,利用 不同窗口的剩余异常能够突出不同深度及相 应方向上的断裂构造,剩余异常零值线是确 定断裂构造的一条重要标志^[6]。为此,我们

计算了不同窗口的剩余异常(图3)。根据重力场、深部构造及地震地质资料推断主要的 深部断裂共有7条:(1)西秦岭北缘断裂带;(2)鄂尔多斯西缘断裂带;(3)海原断裂



. 图 5 . 兰州——天水地区电性结构图

Fig.5 The electric structure of Lanzhou-Tianzhui region

带;(4) 庄浪河断裂;(5) 靖远—会宁北西向断裂;(6) 西吉—静宁北西向断裂;(7) 兰 州—西吉东西向断裂(图 4)。

西秦岭北缘断裂带、鄂尔多斯西缘断裂带以及海原断裂带的规模大,活动性强,切割 深,可划为超壳断裂,它们与庄浪河断裂构成了陇中盆地的边界断裂。其余三条断裂是研 究区内的主要断裂,永登—平凉电性结构剖面表明(图 5),西吉以西,壳内 30km 处 9Ωm 和 2Ωm 低阻层有规律地交替出现,并与莫氏面的隆起与拗陷相对应,说明这些断裂 有一定深度。上述断裂组成了陇中盆地断块构造的基本格架。

四、结束语

本文广泛地收集了零星的地球物理和地质资料,对重力资料进行了地形和中、新生代 沉积层校正,采用 Parker 位场公式进行正反演计算。根据深部构造特点,得到以下三点 认识:

1.位于青藏高原和鄂尔多斯块体之间的陇中盆地为青藏块体过渡带,它比冯锐提出的 中央过渡带范围要小,与李玉龙提出的构造交织带范围相一致,后者仅从地震地质和新构 造运动划分出构造交织带。本文主要根据深部资料进行论述,全面地论述了青藏块体过渡 带的存在。

2.根据重力场、深部构造和其它地球物理、地质资料,对区内主要断裂作了解释。根据断裂分布的特点,我们认为陇中盆地为一断块型构造盆地。至于陇中盆地的断块构造的 成生及其演化过程还有待于进一步研究。

 3.本文的反演结果表明,三维反演结果比二维反演结果更能突出深部的局部性构造, 可以为深部构造的研究提供更多的信息。

(本文1993年3月4日收到)

after

参考文献

[1]张少泉等,中国西部地区门源一平凉一渭南地混测深剖面资料分析解释,地球物理学报。Vol.28.No5,1985. [2]李涫河等,天水地区深部构造与地震关系的初步探讨,西北地震学报,Vol.13,增刊,1991.

[3]梁桂培等,南北地混带北段深部构造特征,地混学报,Vol.12, No.2, 1990.

[4]Parker, R.L., The rapid calculation of patential anomaly, Geophysical, No.39, 1973.

[5]冯锐,中国地壳厚度及上地幔密度分布 (三维重力反演的结果),地震学报, Vol.7, 1985。

[6]李瑁娟等, 青藏高原北缘均衡异常、剩余异常与地震, 地壳形变与地震, Vol.10, No.4, 1990.

THREE-DIMENSION INVERSION OF GRAVITATIONAL FIELD AND GEOIOGICAL EXPLANATION IN LANZHOU-TIANSHUI REGION

Li Weijuan, Liang Guipei, Yao Zhengsheng (Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB, China)

Abstract

Based on the result of deep seismic sounding and gravitational data,

第4期

makingtopographic correction for gravitational data and Mesozoic-Cenozoic deposition corrections, the deep structure of Lanzhou-Tianshui region (E103 $^{\circ}$ -107 $^{\circ}$, N33.5 $^{\circ}$ -37 $^{\circ}$) was studied by using Parker-Oldenburg's 3-D inversion method of gravitational field. By synthesizing and analysing the geophysical and geological data of the region, it is pointed out that the region is a transitional belt of Qinghai-Xizang block, moreover, we think that that Longzhong basin is a fault block's structure one.

Key Words: Three-Dimension Inversion of Gravitational Field; Lanzhou-Tianshui Area; Deep Structure.

ベベ ベベベベベベベベベベベベベベベベベベベベベベベベベベ ベベ
震源断层盘错动的柯氏力方向讨论

在 1992 年出版的《未来灾害学》中首次对震源断层盘错动引起的柯氏力进行了讨 论,导出了适用于震源座标系统的柯氏力公式,并讨论了柯氏力在强余震和续发性强震预 报中的意义。本短文将进一步讨论其中某些问题。

1.对于断层面铅直的纯走滑断层错动

当断层面铅直且走向为南北方向时,柯氏力在东西方向。如走滑为左旋,则两盘所产 生的柯氏力是对拉的;如走滑为右旋,则两盘所产生的柯氏力是对压的。当断层面铅直且 走向为东西向时,则柯氏力水平分量在南北方向。如走滑为左旋,则两盘所产生的柯氏力 是对拉的,如走滑为右旋,则所产生的柯氏力是对压的。此外,在断层面上,在与错动方 向垂直的方向上有柯氏力造成的两盘相互剪切的后果。

2.对于断层面铅直的上下错动

当断层走向为南北向时,柯氏力在东西方向。如是西盘上升东盘下降,则它们各自产 生的柯氏力是使两盘对拉的;如是西盘下降东盘上升,则它们各自产生的柯氏力是使两盘 对压的。当是断层面向东倾斜的逆断层时,则两盘各自产生的柯氏力是使两盘对压的,如 断层面向西倾斜,则逆断层两盘产生的柯氏力是对拉的。当是断层面向东倾斜的正断层 时,则两盘产生的柯氏力是使两盘对拉的,如是断层面向西倾斜的正断层,则两盘产生的 柯氏力是对压的。当走向为东西方向的垂直断层时,如北盘下降南盘上升,则南盘向西运 动;如北盘上升南盘下降,则南盘向东运动。

3.对于断层面水平的两盘错动

在上盘向北运动的情况,柯氏力使该盘向东错动,下盘则向西错动;如上盘向南错动,则柯氏力使该盘向西错动,下盘则向东错动。如断层上盘向东运动,则柯氏力的水平 分量使该盘向南运动,垂直分量使该盘向上翘起,此时柯氏力总方向与铅直线之间的夹角 是震源所在地的纬度角。

(下转第89页)