应用布格重力异常研究太行山地区地壳密度结构

唐新功¹,陈永顺²,严良俊¹,王 璟³

(1. 油气资源和勘探技术教育部重点实验室(长江大学),湖北 荆州 434023;

2. 北京大学地球物理系,北京 100871; 3. 中国地质大学,北京 100083)

摘 要:在深地震测深(DSS)资料约束下,使用做过地形校正的重力资料对太行山山前地区的深部 构造进行研究。在4条测线上通过分层剥离的方法分别得到沉积层和莫霍面的空间图像以及深部 密度界面的形态分布特征。研究结果表明,在太行山山前断裂带两侧地壳结构明显不同,西面高原 地区沉积层较薄,平均在4 km 以下;东侧华北平原地区多数在5 km 以上,且起伏剧烈,对应于华北 平原地区一系列次级的凹陷与隆起构造。莫霍面和康氏面在两侧均相对平缓,康氏面从东部的大 约 18 km 增加到西北部山区的 28 km 左右;莫霍面深度从东南侧平原地区的大约 34 km 左右向西 北侧埋深陡然增加到 42~43 km。太行山断裂带表现为太行山重力梯级带,并在太行山山前地壳 内各界面均发生错断,莫霍面和康氏面错断距离达4~5 km,这还证明太行山山前断裂带的确是深 大断裂。

关键词:太行山;重力梯级带;莫霍面;布格重力异常;地震 中图分类号: P313.2 文献标识码: A 文章编号: 1000 - 0844(2008)04 - 0305 - 05

Research on Crustal Density Structure in the Piedmont Fault Zone of Taihang Mountain Area Using the Bouguer Gravity Data

TANG Xin-gong¹, CHEN Yong-shun², YAN Liang-jun¹, WANG Jing³

(1. Key Laboratory of Exploration Technologies for Oil and Gas Resources of Ministry of Education, Yangtze University,
 Hubei Jingzhou 434020, China; 2. Institute of Theoretical and Applied Geophysics (ITAG), Peking University, Beijing 100871, China;
 3. Geoscience University of China (Beijing), Beijing 100083, China)

Abstract: Using the Bouguer gravity anomaly data with topographic correction, the investigation of deep structure in the piedmont fault zone of Taihang Mountain area is done. Based on the Geosoft software processing platform, we use the GM-SYS gravity inversion module for gravity inversion with the constraint of Deep Seismic Sounding (DSS) profile results which completed in the last two decades. From the four lines of gravity measurement in Taihang Mountain region, the crustal density structure in the piedmont fault zone is gotten and the three-dimensional gravity profiles are drawn by interpolation method. The gravity inversion shows that the Conrad and Moho discontinuities increase northwestward gradually from 18 km and 34 km in the eastern coast plain to 28 km and 43 km in the northwest Taihang Mountain, respectively. Both discontinuities deepens abruptly when crossing NNE-trending Taihang zone, indicating that the piedmont thrust fault of Taihang Mountain could extend deep cutting through the Moho. The sediment thickness is generally less than 3 km in mountainous region, but is much thicker ($3 \sim 10 \text{ km}$) over North China rift basins with variations on a series of second – order NNE depression and upheaval structures. The results are basically concordance with the previous studies in this area.

收稿日期:2008-06-18

基金项目:湖北省教育厅科学技术研究项目(C20081206);国家自然科学基金项目(40774074)

作者简介:唐新功(1968-),男(汉族),副教授,主要从事地球电磁学、重力学和地球动力学的教学与研究.

Key words: Taihang Mountains; Gravity gradient zone; Moho discontinuity; Bouguer gravity Anomalies; Earthquake

0 引言

本文研究的太行山地区位于河北省与山西省交 界地区,向南延伸至河南与山西交界地区(33°~40° E,109°~119°N),是中国东部华北地区重要的地 貌和构造分界线。山脉北起北京西山,南达豫北黄 河北崖,西接山西高原,东临华北平原,总体 NE – NNE 向展布,全长约 620 km。此断裂带不仅是地形 地貌分区的界线,而且也是区域地质构造和地球物 理场中一条重要的边界,历史上很多大震如 1966 年 河北邢台7.2 级地震就发生在这里。过去已有人对 太行山重力梯级带的重力场特征及深部构造做过一 些研究^[1-2],但对这条构造带的密度结构的形成机制 问题尚缺少细致的研究^[3]。一些研究者认为它属 深大断裂带^[1-9],一些人认为它是一条活动断裂带和 地震构造带^[10-12],也有学者认为它不是深大断裂, 只存在切穿上地壳的断裂带^[13-14]。

自1966年邢台大地震以来,为了研究地壳的细 结构,我国在华北地区开展了大量的地球物理深部 探测工作,在华北地区一共实施了深地震测深 (Deep Seismic Sounding, DSS) 剖面 40 多条,长度 3 万多公里,发表了一系列研究成果[15-16]。太行山山 前断裂带和近东西向西安 - 郑州 - 徐州构造带在华 北地区的构造演化中曾起过重要作用,均是华北地 区重要的边界构造带之一^[17]。太行山前断裂带由 一系列 NE、NNE 走向的断裂组成,是一条规模巨大 的综合地理物理异常带。重力及地震测深资料的研 究结果指出,该断裂带位于太行山重力梯级带或太 行山地壳厚度陡变带之上,是一个切穿莫霍面的深 大断裂带^[2,8]。新生代以来该断裂带东西两侧地质 块体发生逆转运动, 西侧隆起, 东侧陷落, 以此为界 形成了运动性质不同的华北平原断块和山西断块。 如何将这些地壳变形与板块运动和作用方式联系在 一起一直是中国大陆动力学争议的焦点和前沿问题 之一。

过去一些学者使用不同的地球物理学方法得到 了该地区的莫霍面深度,但是他们的结果在深度与 形态上也存在一定的差异^[18-21]。

为了深入了解太行山地区的壳内各圈层的耦合 关系和密度结构,本文将在深地震测深(DSS)资料 的约束下,使用布格重力资料研究太行山断裂带中 段的地下构造。

1 重力资料

本文使用的地面实测布格重力资料来自国家基 础地理信息中心数据库,重力点间距不等,平均约为 10 km 左右。采用美国成熟的 Geosoft 商业软件中 的 GM - SYS 模块进行重力反演^[22]。GM - SYS 使 用的算法是基于 Talwani 等(1959)的计算二维重磁 场的迭代算法,并且利用了 Won 和 Bevis(1987)提 出的改进算法,使计算速度提高了一个数量级。我 们选择了4条跨过太行山地区中段的重力测线(图 1),横切了太行山地区中段的4个不同部位,从东 向西分别跨越华北平原、太行山重力梯级带、山西地 堑系和鄂尔多斯地块,其中前3条分别与华北地区 深地震测深测线 H-22 线(文安-察右中旗),Ⅳ线 (诸城 - 托克托), H - 19 线(泰安 - 隆尧 - 忻县) (国家地震局地球物理勘探中心,1995)基本一致。 这四条测线走向均为 SE - NW, 从上至下依次为1 号线至4号线。计算中沿太行山地区分别向两侧延 伸了 50~100 km,以减小边界效应。



Fig. 1 Gravity survey lines and faults in Taihang mountain area.

据 80 年代的地震和重力资料^[12],华北板块的

地壳结构主要是四层结构,各层密度分别为:沉积层 2.30 g/cm³,上地壳 2.67 g/cm³,中地壳 2.80 g/cm³,下地壳 2.90 g/cm³,上地幔 3.30 g/cm³。本 文将以此为分层原则,并且对各层密度采用上述文 献给出的资料。在此初始模型基础上通过反复修改 地质模型实现与观测重力异常值的拟合,来获得测 点处地壳构造的最佳密度分布特征。

2 重力结果及分析

各地层密度的取值见四条测线的模拟结果如图 2 所示。各图中上半部分的黑色实线为模型计算得 到的重力异常值,黑点为实测点的重力异常值,下半部分为密度模型。4 条测线的方向大体一致,从左 到右为 SE - NW 方位。计算的重力值与实测异常 值吻合较好,拟合误差很小,均小于 0.6 mGal,平均 在 0.3 mGal 以内,四条线的拟合误差见表 1。

1 号线选取了过太行山断裂带长约 600 km 的 一段重力测线进行研究(图1)。在深地震测深资料 的约束下,反演得到了断裂及周围地区的重力剖面 界面深度分布图(图2(a))。可以看出,该段测线 在太行山断裂带东西两侧区域布格重力异常场差异





表1 沿四条重力测线的拟合标准误差

线号	拟合标准差	平均拟合标准差
1号线	0. 523 99	0.281 335
2 号线	0.177 327	
3 号线	0.280 887	
4 号线	0.143 132	

相当明显,东南侧重力异常在±20 mGal 左右,而进 人西北侧则大幅下降到-120 mGal 左右。从反演 结果来看,华北平原地区沉积层较厚,最厚地区超过 10 km;进入西北部山区后沉积层厚度明显减小,很 多地区基岩出露,沉积层最厚仅3 km 左右。基底面 起伏剧烈,反映了断裂带两侧复杂的基底面变化特 征。莫霍面埋深在太行山断裂带两侧起伏不大,但 在跨过太行山断裂带时有明显错断,变化范围从东 南部的 35 km 左右到西北部的 42 km 左右。

2号线长约 850 km,其反演结果如图 2(b)所示。看出,异常值从西北到东南大体上逐渐增大。 沉积层在 0.2~7 km 之间变化,在山西地堑处沉积 层相对较厚;莫霍面变化深度在 35~42 km 之间,在 山西地堑有略微抬升到 40 km 左右。

3 号线长约 960 km,反演结果如图 2(c)所示。 看出,沉积层在 0.5~7 km 之间变化,在山西地堑沉 积层较厚,过了山西地堑后厚度减薄;莫霍面深度在 35~44 km 之间变化,从东南到西北大体上递减,在 山西地堑有稍许抬升。

4 号线反演结果如图 2(d) 所示。可以看出重 力异常值从西北到东南大体上逐渐增大。在西北沉 积层较浅,最浅处为 0.1 km,山西地堑处沉积层明 显增厚,最厚达 7 km;莫霍面深度在 34 ~ 43 km 之 间,在华北平原地区莫霍面变化较平稳。4 号线的 沉积层、莫霍面与康拉德面的变化均较前 3 条线大, 该线西北边沉积层明显变厚,莫霍面与康拉德面明 显抬升,这与该线西北边经过山西地堑进入山区有 关。

根据太行山地区的二维重力剖面,采用差值方 法分别得到了该地区的三维布格重力、沉积层厚度 和莫霍面的平面图(图3)。从图3(a)中可以看出 布格重力异常值在跨越太行山两侧变化非常明显, 东部盆地区布格重力异常值为 ± 20 mGal 左右, 西 北部山区快速下降为-120 mCal 左右。东南部华 北平原地区沉积层普遍较厚,一般在5 km 以上,而 西北部山区较浅,一般在3 km 以下(图3(b))。虽 然华北平原地表比较平坦,但是基底面的起伏却相 当剧烈,这些起伏与华北平原一系列次级的隆起和 凹陷构造一致;莫霍面的深度则在东南部平原地区 较浅,大约为36 km 左右,西北部山区较深,达到大 约42 km 左右。过去发表的成果显示该地区的莫霍 面在太行山东侧多为线性变化的基本特征^[21,23]。 本文研究区域较小,线距较大,太行山东部地区莫霍 面的变化特征没有全部反映出来,但总体特征基本 与前人结果一致。而太行山地区则是一个明显的重 力梯度带,体现出太行山山前地区存在断裂带的特 点(图3(c))。





(c) depth of Moho discontinuity.

3 结论与讨论

使用实测重力资料对太行山山前地区进行了重 力学研究,得到了研究地区沉积层和莫霍面的深部 分布图像,综合上述四条测线的反演结果,可以看出 太行山地区的地壳结构具有以下特点:

布格重力异常在4条测线上稍有不同,但是其

变化规律基本是相同的,即断裂带东侧为重力高区, 而西侧为重力低区,太行山断裂带则处于这两个区 域之间重力变化过渡带上。重力异常值变化幅度达 100 mGal,平均重力梯度在1 mGal 以上,反映了太 行山重力梯度带是中国东部地区一条延伸范围大、 变化剧烈的重力梯度带。不同级别的断裂往往是不 同级别构造单元的分界线,在地球物理场上往往表 现为不同异常区的分界线或者线性的异常,布格重 力异常图上线性重力高与重力低之间的过渡带的特 征可以作为深部断裂的识别标志^[24]。

在一定距离内莫霍面埋深的急剧变化预示着莫 霍界面并非完整连续的,并且存在切穿地壳的深大 断裂。地壳厚度的突然变化和岩石圈的横向不均匀 性、地幔热物质的上涌,都会对地震的发生产生一定 的诱发因素。地震多发生在莫霍面隆起的两侧边 缘,而很少发生在莫霍面隆起或凹陷的中心。莫霍 面起伏变化剧烈的地区往往是地震的多发地带。通 过对华北地区的深地震测深、密度结构、电性结构、 热结构等方面的研究,许多作者认为,强震和大震多 发生在重力梯度带上或者莫霍面埋深的突变部 位^[25-28]。从块体的角度看,华北地区被一系列 NNE 向和 NEE 向的断裂分为了若干子一级块体,它们的 边界是脆弱带,而地震就正好发生在这些块体的边 界上。中国大陆几乎所有的8级和近90%的7级 以上的大震都发生在活动地块边界上,表明地块间 的差异运动是大陆强震孕育和发生的直接控制因 素^[29-30]。因此,华北平原地震带的地震活动有其特 殊的深部构造背景。虽然它第四纪活动性不强,但 断裂带特殊的地壳结构以及华北地区所处的特殊的 应力场环境,不排除其继续活动的可能性,因此对太 行山山前断裂带的研究具有一定的参考价值,该区 仍具有地震发生的潜在性。

[参考文献]

- 李安然,成福元,古成志,等.中国东部重力梯级带的地震地质 分析[J].地震地质,1984,6(2):53-61.
- [2] 刘占坡,殷秀华,刘铁胜,利用重力资料研究临汾及其周围地 区地壳上地幔结构特征[A]//马宗晋主编.山西临汾地震研 究与系统减灾[G].北京;地震出版社,1993.
- [3] 刘占坡,高祥林,黎益仕.太行山重力梯级带的密度结构及其 地质解释[J].地震地质,2003,25(2):265-271.
- [4] 黄汲清,中国大地构造及其演化(1:400万中国大地构造图说 明书)[M].北京;科学出版社,1980.
- [5] 张文佑,张抗,赵永贵,等.华北断块区中、新生代地质构造特 征及岩石圈动力学模型[J].地质学报,1983,57(1):33-41.
- [6] 商宏宽, 吕梦林. 晋冀鲁豫交界地区地震地质条件[J]. 华北地 震科学, 1985, 3(3):1-15.
- [7] 河北省地质矿产局.河北省、北京市、天津市区域地质志[M]. 北京:地质出版社,1989.
- [8] 张先康,祝治平,张成科,等.张家口一渤海地震带及其两侧地 壳上地幔构造与速度结构研究[A]//国家地震局地质研究所 编.活动断裂研究(6)[C].北京:地震出版社,1998.
- [9] 赵国泽,刘国栋, 詹艳, 等. 张北 尚义地震区及其邻区地壳上

地幔结构[J]. 地震地质, 1998, 20(2): 155-163.

- [10] 李绍炳,刘德林,许建恩,等.华北几个地震带内强震迁移活动与断块掀斜运动[J].华北地震科学,1984,2(4):15-24.
- [11] 江娃利,聂宗笙.太行山山前断裂带活动特征及地震危险性 讨论[J].华北地震科学,1984,2(3):21-27.
- [12] 冯锐,郑书真,黄桂芳,等.华北地区重力场预沉积层构造[J].地球物理学报,1989,32 (4):385-398.
- [13] 王椿镛,张先康,吴庆举,等.华北盆地滑脱构造的地震证据
 [J].地球物理学报,1994,37(5):613-619.
- [14] 徐杰、高战武、宋长青,等.太行山山前断裂带的构造特征[J].地震地质,2000,22(2):111-122.
- [15] 国家地震局《深部物探成果》编写组.中国地壳上地幔地球物 理探测成果[M].北京:地震出版社,1986.
- [16] 张先康,王椿镛,刘国栋,等.延庆-怀来地区地壳细结构-利用深地震反射剖面[J].地球物理学报,1996,39(3):356-364.
- [17] Zhang Y Q, Vergely P, Mercier J L, et al. Active faulting in and the Qinling Range (China) inferred from SPOT imagery analysis and extrusion tectonics of south China [J]. Tectonophysics, 1995,243: 69-95.
- [18] 刘元龙,王谦身,赵建华.根据重力资料探讨北京 天津及其 附近的地壳构造[J].地球物理学报,1978,21(1):9-17.
- [19] 魏梦华,史志宏,殷秀华,等.根据重力资料分析华北地区地 壳结构的基本形态及其与地震的关系[J].地震地质,1980,2
 (2):55-60.
- [20] 岳华峰,宋占龙.从石家庄一喀喇沁旗人工地震测深结果看 燕山山区与华北平原区地壳深部结构的差异[A]//中国大 陆深部构造的研究与进展[G].北京:地质出版社,1988.
- [21] 滕吉文,曾融生,闫雅芬,等.中国大陆及周边海域 Moho 界面 深度分布和基本构造格局[J].中国科学(D 辑),2002,32
 (2):89-100.
- [22] 唐新功,陈永顺,唐哲.应用布格重力异常研究郯庐断裂构造[J]. 地震学报,2006,28(6):603-610.
- [23] 曾融生,孙为国,毛桐恩,等.中国大陆莫霍界面深度图[J].
 地震学报,1995,17(3): 322-327.
- [24] 史丽艳,朱传庆,杨书江,等. 新疆乌什地震带断裂研究的综 合地球物理方法[J]. 西北地震学报,2007,29(2):156-160.
- [25] 殷秀华,史志宏,刘占坡,等.中国大陆区域重力场的基本特征[J].地震地质,1980,2(4):69-75.
- [26] 曾融生,朱露培,何正勤,等.华北盆地强震的震源模型兼论 强震和盆地的成因[J].地球物理学报,1991,34(3):288-301.
- [27] 刘昌铨,刘明军,嘉世旭.利用华:北北部深部地球物理资料数 值模拟地壳应力场[J].地震学报,1998,20(3):240-249.
- [28] 刘明清,祝治平,方盛明,等.山西中南部地区地壳深部地球 物理场异常与地震[J].地震学报,1999,21(3):305-312.
- [29] 张培震,邓起东,张国民,等.中国大陆的强震活动与活动地 块[J].中国科学(D辑),2003,33(增刊):12-20.
- [30] Han Zhujun, Xu J, Ran Y K, et al. Active blocks and strong seismic activity in North China region [J]. Science in China (Series D), 2003, 46 (Supp.): 153-167.