

基于布格重力异常小波多尺度分析方法 研究首都圈地区构造特征

姜文亮¹⁾, 张景发¹⁾, 焦孟梅²⁾, 路静¹⁾

1) 中国地震局地壳应力研究所, 北京, 100085;

2) 北京勘察技术工程有限公司, 北京, 100085

内容提要:首都圈地区是中国大陆东部构造极为复杂的地区之一。本文利用首都圈地区布格重力资料, 采用小波多尺度分析方法对布格重力异常信息进行了局部场分离, 对场源在横向及纵向上所产生的异常现象进行了多层次的分析, 将这些现象与地质构造环境建立起联系, 对其产生原因给予了地质上的充分解释。重点对小波变换细节图中存在的规模较大、特征较为明显的两条 NE 向及一条 NW 向布格重力异常带进行了深入分析, 对异常所揭示的构造现象在地壳不同深度的展布特性等进行了研究。研究发现, 3 条布格重力异常分别反映了华北地区的 3 条构造带, 分别为太行山前构造带、沧县构造带以及张家口-渤海构造带, 每个构造带分别由次级隆起、凹陷以及断裂构造单元组成。研究认为太行山山前断裂带为深大断裂, 构成了华北裂谷盆地与太行山隆起的地球物理分界, 沧县构造带与张家口-渤海构造带新生代以来仍具有一定的活动性。其中在两条 NE 向构造带与 NW 向构造带的交汇区域, 地壳结构最为复杂, 形成了两条非常重要的地震带, 在今后的工作中需要重点关注。通过研究, 对首都圈地区构造体系及地壳结构有了深入认识, 为进一步研究华北地区壳幔结构提供了参考。

关键词:首都圈地区; 布格重力异常; 小波多尺度分析; 活动构造

首都圈位于华北亚板块地块的北部, 是中国大陆东部构造极其复杂的地区之一。该区及周围地震频繁发生, 历史上曾发生过多次中强级地震, 是地震工作的重点地区。利用重力方法对华北地区的地壳结构已开展了不少工作(冯锐等, 1989; 方盛明等, 2002; 张季生等, 2005), 但是至今尚没有利用重力资料对首都圈及周边地区的活动构造在地壳深部的发育情况开展过深入研究。利用重力资料深入研究该区构造发育情况, 特别是活动断裂带在地壳深部空间的展布格局非常具有现实意义。

作为研究地质构造和岩石圈结构的有效方法之一, 重力方法即可以体现出地质体的纵向分层, 也可以体现出地壳介质的横向密度的非均匀性, 因此, 该方法可以直观地反映出地质体分布、断裂构造的展布以及深部构造特性等信息, 同时还包含了深度较大、分布较广的场源信息。然而, 由于重力异常是不同深度、不同密度、不同规模及不同形态地质体所产生重力场的叠加, 高频信号主要反映浅部密度异常信息, 低频信号主要反映深部大规模密度异常信息,

因此需要采用合适有效的数据处理方法, 进行重力场异常信息的分离, 提取出与研究对象相关的信息部分, 进而对场源所引起的局部场异常进行分析研究, 这是利用重力资料进行地质体反演和解释的关键步骤(曾华霖, 2005; 刁博等, 2007)。

近年来发展起来的小波分析方法, 已经广泛地应用于地球物理信号处理领域。在重力异常的处理中, 前人已做过很多有意义的探索和研究, 侯遵泽等(1997)最初利用小波多尺度分析对中国大陆布格重力异常进行了解析, 并取得了较好效果; 杨文采等(2001)将小波分析应用于重力异常的分离和处理, 为重力异常的分离提出了新的途径。该方法能将信号分解成交织在一起的多种尺度成分, 并采用相应大小的空间域取样步长, 获得研究对象的不同细节, 从而达到场分离的目的。

因此, 本文利用小波多尺度分析方法, 通过分析各阶细节所包含的布格重力异常信息, 来揭示该地区断裂构造在不同深度的结构特征。研究利用了首都圈地区 1: 20 万的地面重力数据, 范围为 112. 5°~

注: 本文为中国地震局地壳应力研究所中央级公益性科研院所基本科研业务专项(编号 ZDJ2007-1)资助的成果。

收稿日期: 2009-05-22; 改回日期: 2009-12-29; 责任编辑: 周键。

作者简介: 姜文亮, 男, 1982 年生。硕士, 主要从事遥感、重磁多源信息地学应用技术研究。Email: jiang_wenliang@163.com。

119.5°E、38°~41.5°N,数据采样网格间距为2 km。

1 区域地质构造概况

研究区东临渤海,北部是近东西向的燕山褶皱

带,西部是北北东向的太行山脉。中生代以来,受块体多期次挤压及伸展作用的影响,特别是燕山运动,该区发生剧烈的构造变动,形成一系列的北北东向为主、部分北西向的断裂构造和断陷盆地,表现为北

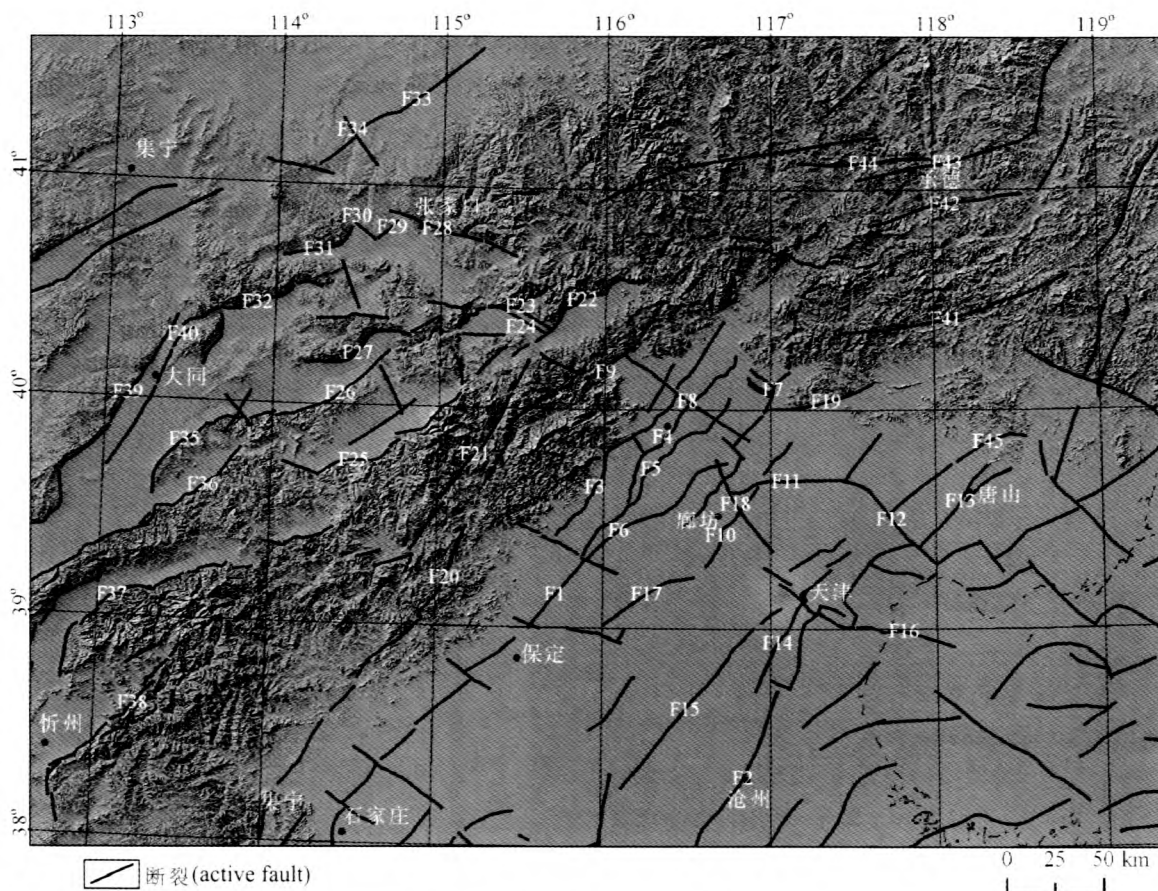


图 1 首都圈地区活动断裂分布图(据邓起东等,2007)

Fig. 1 Distribution of active fault in the capital area (after Deng Qidong et al., 2007)

F1—保定-石家庄断裂;F2—沧东断裂;F3—黄庄-高丽营断裂;F4—顺义-良乡断裂;F5—南苑-通县断裂;F6—大兴断裂;F7—夏垫断裂;F8—南口-孙河断裂;F9—南口山前断裂;F10—河西务断裂;F11—宝坻断裂;F12—蓟运河断裂;F13—唐山断裂;F14—天津北断裂;F15—天津南断裂;F16—海河断裂;F17—牛驼镇凸起南缘断裂;F18—廊坊盆地东缘断裂;F19—蓟县山前断裂;F20—紫荆关断裂;F21—孙庄子-乌龙沟断裂;F22—延矾盆地北缘断裂;F23—怀涿盆地北缘断裂;F24—新保安-沙城断裂;F25—蔚广盆地南缘断裂;F26—阳原盆地南缘断裂;F27—阳原盆地北缘断裂;F28—张家口断裂;F29—新开口断裂;F30—洗马林断裂;F31—怀安盆地北缘断裂;F32—天镇-阳高盆地北缘断裂;F33—大满-前黑沙土断裂;F34—庙东营-大营滩断裂;F35—六棱山山前断裂;F36—恒山北麓断裂;F37—五台北麓断裂;F38—系舟山北麓断裂;F39—口泉断裂;F40—采凉山西断裂;F41—兴隆-建平断裂;F42—东河套-平泉断裂;F43—丰宁-隆化断裂;F44—西庙-大庙断裂;F45—榛子镇断裂

F1—Baoding-Shijiazhuang fault; F2—Cangdong fault; F3—Huangzhuang-gaoliying fault; F4—Shunyi-Liangxiang fault; F5—Nanyuan-Tongxian fault; F6—Daxing fault; F7—Xiadian fault; F8—Nankou-Sunhe fault; F9—Nankou Shanqian fault; F10—Hexiwu fault; F11—Baodi fault; F12—Jiyunhe fault; F13—Tangshan fault; F14—Tianjin northern fault; F15—Tianjin southern fault; F16—Haihe fault; F17—Niutuozen southern fault; F18—Langfang basin eastern fault; F19—Jixian fault; F20—Zijinguang fault; F21—Sunzhuangzi-Wulonggou fault; F22—Yanfan basin northern fault; F23—Huaizuo basin northern fault; F24—Xinbaoan-Shacheng fault; F25—Weiguang basin southern fault; F26—Yangyuan basin southern fault; F27—Yangyuan basin northern fault; F28—Zhangjiakou fault; F29—Xinkaikou fault; F30—Ximalin fault; F31—Huai'an basin northern fault; F32—Tianzhen-Yanggao basin northern fault; F33—Daman-Qianheishatu fault; F34—Miaodongying-Dayingtang fault; F35—Liulengshan fault; F36—Hengshan northern fault; F37—Wutaishan northern fault; F38—Jizhou Shan northern fault; F39—Kouquan fault; F40—Cailiangshan western fault; F41—Xinglong-Jianping fault; F42—Pingquan fault; F43—Fengning-Longhua fault; F44—Ximiao-Damiao fault; F45—Zhenzi fault

京及周边地区 NNE、NE 及 NW 向断裂(图 1),以及断陷盆地及隆起构造,这构成了现今首都圈地区地质构造的基本格局。

2 小波多尺度处理及总体特征分析

2.1 布格重力数据小波多尺度处理

小波变换及多尺度分析方法的原理,在侯遵泽等(1997)的文章中已有详细介绍。本文对布格重力数据的处理选择 1~4 阶小波多尺度分解,进行场的分离,因此可以得到 1~4 阶小波变换逼近图(图 2~5)与小波变换细节图(图 6~9)。其中,小波变换逼近图是对区域场布格重力异常信息的反映,主要体现了深部场源所引起的较大规模的低频异常信息;而小波变换细节图是对局部场布格重力异常信息的反映,主要体现了浅部场源体引起的较小规模的高频异常信息。在图 2~9 中,可以清晰地发现由场源所引起的区域场及局部场所产生的布格重力异常现象。通过对各变换图像功率谱的分析,可以得知各阶小波变换逼近及小波变换细节分析图所对应的场源深度(表 1),也就是说各阶分析图反映的就是该深度场源所产生的布格重力异常信息。本文将重点基于 1~4 阶小波变换细节图像,对该地区构造体在不同场源深度所产生的布格重力异常现象进行分析,对其在地壳深部展布情况进行分析,进而研究首都圈地区地壳在横向及纵向上的结构特征。

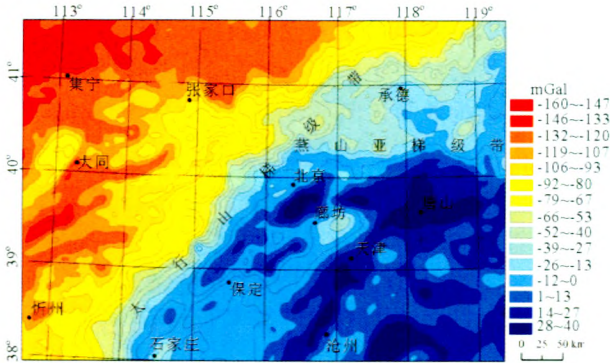


图 2 布格重力异常 1 阶小波变换逼近图

Fig. 2 The approximation of 1st order wavelet transform

表 1 各阶小波变换所反映的场源深度

Table 1 Depth reflected by each of wavelet transform

阶次	场源深度(km)	阶次	场源深度(km)
1 阶逼近	7~8	1 阶细节	3~4
2 阶逼近	15~16	2 阶细节	7~8
3 阶逼近	24~27	3 阶细节	15~16
4 阶逼近	30~35	4 阶细节	20~25

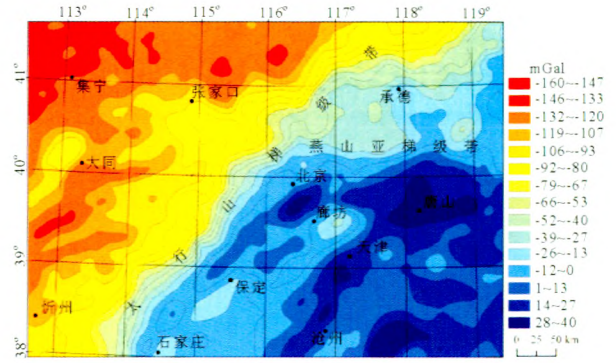


图 3 布格重力异常 2 阶小波变换逼近图

Fig. 3 The approximation of 2th order wavelet transform

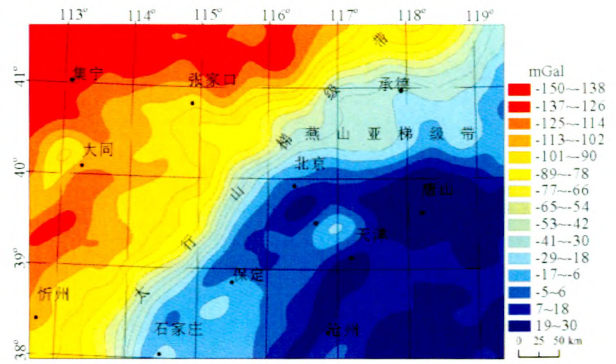


图 4 布格重力异常 3 阶小波变换逼近图

Fig. 4 The approximation of 3th order wavelet transform

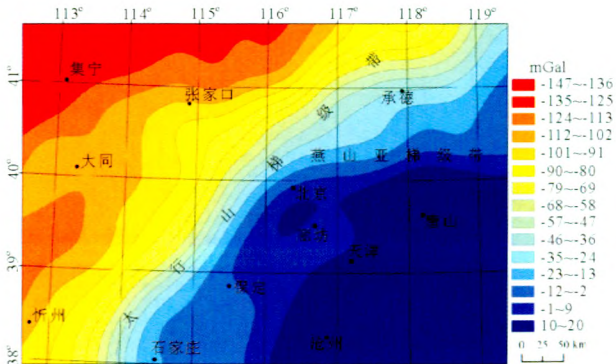


图 5 布格重力异常 4 阶小波变换逼近图

Fig. 5 The approximation of 4th order wavelet transform

2.2 布格重力异常总体特征

在首都圈地区布格重力异常一阶小波变换逼近图中(图 2),存在一条 NE 方向的重力梯级带沿太行山脉展布,经燕山山脉后,梯级带走向由 NE 转为 NEE,而后继续向北东向延伸。该梯级带是中国东部大陆一条重要重力梯级带的一部分,即大兴安岭—太行山—武陵山重力高梯级带(殷秀华等,1980;刘光鼎,2002;马宗晋等,2006),文中将其在华

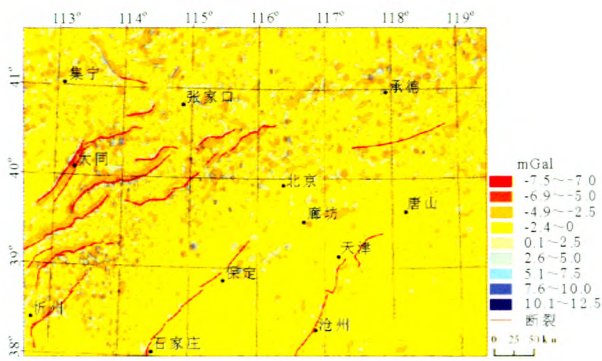


图 6 1阶小波变换细节图

Fig. 6 The first order-wavelet transform detail of the Bouguer gravity anomalies

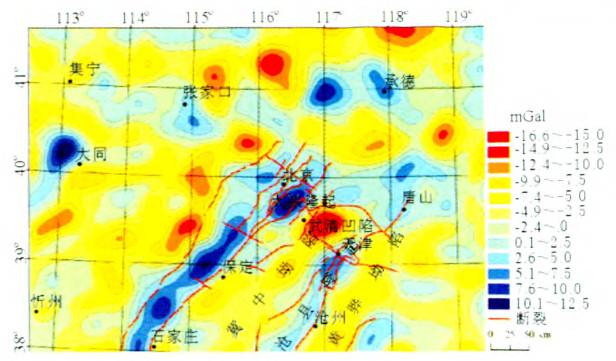


图 9 4阶小波变换细节图

Fig. 9 The fourth order-wavelet transform detail of the Bouguer gravity anomalies

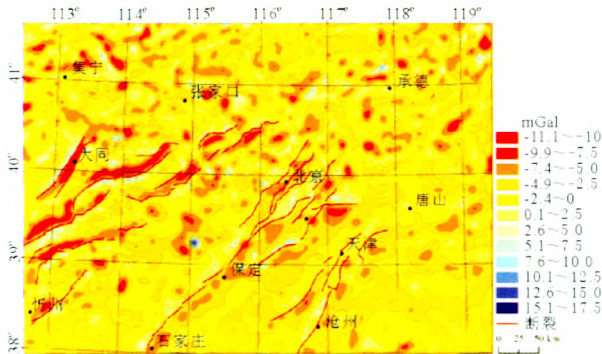


图 7 2阶小波变换细节图

Fig. 7 The second order-wavelet transform detail of the Bouguer gravity anomalies

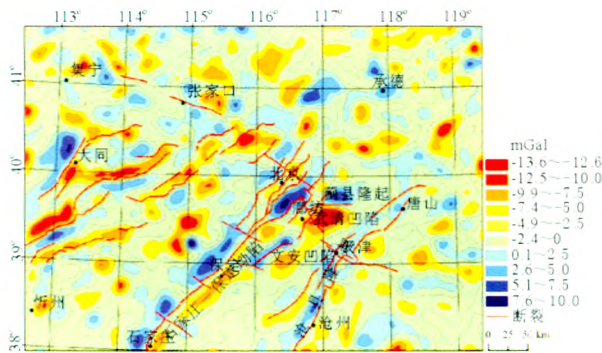


图 8 3阶小波变换细节图

Fig. 8 The third order-wavelet transform detail of the Bouguer gravity anomalies

重力异常,布格重力值上升至 50 mGal,重力异常变化相对平缓,重力梯度值明显低于西区。根据深部重力异常反演的地壳厚度在太行山区亦发生急剧变化,从东边的 35 km 向西增厚至 40~42 km,呈现为地壳厚度陡变带或地壳厚度变异带(李安然等,1984),因此形成重力异常的陡变梯度带。在华北平原北部向燕山隆起区过渡地带,存在着一条近 EW 走向的重力梯级带,平行于燕山山脉,称其为燕山亚梯级带。它将华北平原和北部燕山褶皱带分割开,亚梯级带北侧重力值大约在 -10~-40 mGal 之间,并逐渐向西部低重力区过渡。在 2 阶及 3 阶小波变换逼近图中,太行山梯级带及燕山亚梯级带现象更加明显,而局部异常信息将逐渐得到压抑。对首都圈附近地区布格重力异常格局的划分,也是对该区构造格局的一个总体反映,太行山梯级带及燕山亚梯级带构成了该区重要的两条地球物理界线。

3 布格重力异常小波变换细节分析

3.1 一阶小波细节分析

一阶小波变换细节分析所揭示的场源深度大约在上地壳 3~4 km 处。在 1 阶细节图中(图 6)可以发现,平原区布格重力异常不是特别明显,等值线变化比较平缓,反映了在该深度位置,平原区地壳密度在横向上的差异变化不大。平原区北部的燕山褶皱带和太行山以西,布格重力异常现象明显加剧,布格重力圈闭表现为狭长条带状或串珠状,多处为高梯度重力梯级带,反映了该深度位置地壳密度在横向上变化十分剧烈,密度分界面横向分布支离破碎,地壳结构复杂程度高于平原区。

在平原区,由于全新统沉积层覆盖较厚,因此重力异常现象不是特别明显。然而,在重力变化整体

北部分称为太行山重力梯级带。太行山梯级带将华北地区分割为两部分,西侧为太行山隆起区,表现为巨大的负重力异常,布格重力值由 -20 mGal 向西逐渐降低至山西断陷带地区的 -120 mGal 左右,重力异常变化比较剧烈,重力梯度值比较高,最大梯度值超过 1 mGal/km;东侧为华北平原区,表现为正

比较宽缓的背景中仍存在着局部等轴状及短条带状重力高,这些重力高特征规律不是特别明显。主要分布有3条NE方向的串珠状重力圈闭,其中一条沿获鹿、新乐县、满城、涑水一线分布,该条带共有数十个圆形重力圈闭断续延伸,最大直径10 km,最小直径约2 km,圈闭中心呈重力高。该异常位于太行山与平原的中间过渡地带,在一定程度上反映了该区存在一条近NE方向的密度分界面。该异常条带在高阶小波细节图中表现的更加醒目,在3阶细节图中,重力梯级带骤然变密,梯级带NW侧表现为正重力高,南东侧表现为负重力低。在雄县至永清县之间,存在另一条NE走向的条带状重力高,其长轴方向长约50 km,短轴宽约6 km,呈中心重力高于两侧,反映该区存在质量过剩,该重力高对应了牛驼镇凸起。最后一条NE向串珠状重力高圈闭沿泊头、沧州到天津,后进入宁河、丰南,到唐山地带,所经过地带,皆有断裂及隆起、拗陷发育。

在布格重力异常比较密集的研究区西部及中北部,异常沿盆地及隆起区域发育,表现为狭长条带状圈闭,形态上与这些构造单元轮廓极其相似。盆地内部重力异常表现为重力低,呈狭长条带状,延伸比较长,两侧隆起区表现为重力高,亦呈狭长条带状延伸,重力低与重力高异常区之间过渡带形成重力异常的梯级带,等值线较两侧明显变密,无论是重力高还是重力低异常区,都出现了重力异常的圈闭现象,形成串珠状圈闭异常,圈闭的长轴方向与盆地边缘断裂的走向基本一致,由于一阶小波细节变换反映了地表浅层结构的岩性密度变化情况,因此梯级带是盆地边缘断裂在上地壳上部的发育位置,反映了断裂两侧的岩性密度差异及密度分界面的存在。布格重力异常表现比较明显的有延怀盆地、大同盆地、阳原-蔚县盆地、宣化盆地、尚义-商都山西地堑系的西北部盆地。

3.2 二阶小波细节分析

对比一阶与二阶小波变换细节图(图6、图7)可以发现,二阶小波细节图中重力异常圈闭进一步扩大,布格重力异常特征更加明显,对上地壳结构特征的反映也更加直观,尤其是对拗陷及隆起构造单元的揭示意义更大。

平原区布格重力异常现象表现为条带状或串珠状圈闭。其中前面所提到的3条NE向条带状重力高特征更加清晰,圈闭扩大,轴向也更加突出。其中太行山山前的石家庄—新城重力高,表现为4个长轴沿NE方向断续延伸的圈闭,累计长度约210

km,与该重力高平行发育条带状重力低圈闭,为石家庄—保定断陷盆地,重力高与重力低之间存在重力梯级带,该梯级带位于太行山重力梯级带的东部边缘,是对该区上地壳密度分界面存在的最直观反映,亦即裂谷盆地与太行山隆起的接触面,为太行山山前断裂的中北段,即保定—石家庄断裂,保定—石家庄断裂控制了石家庄—保定断陷盆地的西部边界。沿该梯级带向NE方向延伸,在大兴、通县直至三河、平谷地区,存在走向一致的长条带状重力高,平行于此重力高的西部北京至顺义地区,存在一负重力低,表现为两个长条状圈闭,长轴方向走向NE,重力高与重力低分别为大兴隆起及北京凹陷,两者之间的重力梯级过渡带发育通县—南苑断裂带,该断裂为一隐伏断裂。北京拗陷大兴隆起的东南侧梯级带为大兴隆起东缘断裂,向北东方向追踪至大厂自治县附近,NE向夏垫断裂在图中产生了一比较明显的重力梯级带。在北京地区,沿NW方向可以发现上面所提到的NE向长条状重力圈闭发生同步扭曲现象,且在昌平市的两侧形成一条NW向的重力高低过渡带,扭曲与过渡带在同一直线、同一方向上分布,这是受NW向南口—孙河断裂影响所致。在宝坻还可以发现两个圆形圈闭,分别对应了宝坻隆起和冀中拗陷。这些重力高低现象反映了北京及周边地区上地壳结构在纵向及横向上的复杂性,拗陷与隆起之间断裂接触,形成了数条NE与NW向相互切割的隐伏断裂。

在二阶小波细节图中,与石家庄—新城重力高近平行的雄县—永清重力高以及泊头—天津—唐山重力高,圈闭也进一步扩大,特征也更加明显。在大兴隆起与牛驼镇隆起之间的重力低为固安拗陷,牛驼镇南部的重力低为文安拗陷,圈闭的轴向NE。

在张家口—渤海构造带西北部的盆地及山西断陷带区域,盆地深部的重力场特征也再次得到了清晰体现,在盆地及两侧隆起区形成由负重力低及重力高过渡的梯级带,反映了密度分界面沿盆地边缘向地壳深部的继续延伸。包括NE向的延庆盆地北缘断裂、蔚广盆地南缘断裂、六棱山北麓断裂、阳原盆地南缘断裂,NEE向的怀来—涿鹿盆地北缘断裂、天镇—阳高盆地北缘断裂、宣化盆地南缘断裂,NW向尚义—商都断裂。

3.3 三阶小波变换细节分析

三阶小波变换细节图(图8)中布格重力异常圈闭现象更加明显,圈闭空间逐渐扩大,由于三阶细节所反映的场源深度约15~16 km,因此,这也说明中

地壳岩性密度差异现象将更加显著,其中布格重力异常特征最为明显的是平原区。

在三阶细节图中,平原区重力高与重力低现象密集发育,并且带状展布特性也逐渐明显。其中,NE及NW向重力异常现象比较发育,说明在该地壳深度处构造现象更加发育,包括重力高所揭示的隆起,重力低所揭示的拗陷,以及重力高与重力低之间梯级带所揭示的断裂带,这些现象是该区曾经发生过的强烈挤压及拉张作用的构造产物。该区域规模最大的两条NE向条带状圈闭重力高沿石家庄—新城及泊头—天津分布。在石家庄—新城重力高的右侧,石家庄—保定拗陷所产生的条带状重力低现象更加明显,反映了该深度处石家庄—保定断裂两侧的岩性密度存在明显差异。在3阶图中,石家庄—新城重力高的NE方向出现了一系列的重力高及重力低圈闭,也比低阶细节图中特征更加明显,分别为固安拗陷重力低、大兴隆起重力高、武清凹陷重力低、北京拗陷重力低、京西隆起重力高、宝坻凸起重力高,其中大兴隆起与武清凹陷规模最大,长轴方向超过60 km,几个圈闭的长轴方向都成NE—NEE方向,近平行排列,高低异常之间的梯级带十分密集,反映了北京地区下地壳深处所存在的一系列的密度分界面,这与该地区所发育的NE向断裂相对应。由东向西分别为武清凹陷与大兴隆起之间的夏垫断裂,大兴隆起与北京拗陷之间的南苑—通县断裂,北京拗陷内部的顺义—良乡断裂,北京拗陷及京西隆起之间的黄庄—高丽营断裂以及京西隆起等。此外,在武清凹陷与宝坻凸起之间的重力梯级带也十分密集,走向近EW,该密度分界面是宝坻断裂存在的直接证据,构成了武清凹陷与宝坻凸起的分界,也是冀中拗陷与燕山隆起的构造分界线。

另一条特征比较明显的泊头—天津重力高表现为比较宽缓的条带状圈闭,并向宁河方向延伸,长轴总体走向近NNE。该重力高圈闭对应了沧县隆起,其两侧的重力低分别为冀中拗陷及黄骅拗陷所产生。重力高圈闭的西侧梯级带历史地震比较集中,为唐山—河间—磁县地震构造带。该地震带地震频繁发生,是北华北盆地最为活跃的区域,由数条NNE方向的断裂构成,这些断裂多数为新近纪以来发育形成,构成了冀中拗陷中数个次级凹陷及隆起的边界,且切割了NW向断裂,构成了新近纪和第四纪活动的NE向断裂构造带,是一条新生的地震构造带(徐杰等,1996)。NNE向断裂与NW向断裂相交沧县隆起重力高东侧梯级带为沧东断裂,控制了

黄骅拗陷的分布,沿该断裂带历史地震分布较少。在天津附近受NW向海河断裂的影响,圈闭突然变宽,这是因为NE向沧东断裂在天津附近被NW向海河断裂切断。沿梯级带过宁河到丰满、唐山地区,仍然存在NE向条带状重力圈闭。

在3阶细节图中,沿唐山、宝坻、北京、昌平、延庆、宣化、张家口、张北直至尚义一带,所存在的一系列的重力高及重力低圈闭,连续起来表现为一条NW向延伸的串珠状展布异常条带,这些圈闭表现为等轴异常,在盆地内部,NNW向重力异常带与NE向重力异常带在不同部位相交,交汇处地壳结构比较复杂,表现为NE向与NW及NNW向断裂的相互作用,这也正是北京及周边地区地壳结构极其复杂的主要原因。

3.4 四阶小波变换细节分析

四阶细节图所反映场源深度为下地壳位置,图9中仅保留了场源较深、规模较大地质体所产生的布格重力异常现象。

在四阶细节图中,平原区表现为大范围条带状重力高及重力低现象,重力高与重力低之间的重力梯级带特征也更加显著。保定—石家庄断裂所产生的NE向获鹿—涑水重力高呈连续条带状延伸230 km,反映了断裂两侧岩性密度的巨大差异,这是保定—石家庄断裂在下地壳继续存在的证据,高密度幔源物质沿断裂向下地壳上侵,使得岩层密度偏高(刘占坡等,2003),因而产生了沿断裂带发育的获鹿—涑水条带状重力高异常区,由此可说明太行山山前断裂为区域性深大断裂带(唐新功等,2008),而非许多学者研究认为的大型拆离滑脱断裂(王椿镛等,1994;汪泽成等,1998;徐杰等,2000),该断裂控制了冀中拗陷西部边界的发育(徐杰等,2001),构成了华北裂谷盆地与西部太行山隆起的重要地球物理界线。

在获鹿—涑水重力高的NE延伸方向,一大一小两个重力圈闭沿NW方向排列,分别为大兴隆起及京西隆起所产生,两者所引起的重力圈闭空间进一步扩大,并在一定程度上开始合拢,而两者之间的北京拗陷所产生的重力低现象消失,这些现象表明在下地壳,沿太行山山前分布的数条NE向断裂最终归一为同一构造带,而在上地壳,这些NE向断裂具有明显的分段现象,表现为涑水以南以保定—石家庄断裂主体的NE向深大断裂,而在涑水以北呈“帚”型向两侧散开近平行排列的NE向断裂体系,包括黄庄—高丽营断裂、南口断裂、良乡—顺义断裂、南苑—通县断裂以及大兴断裂等,这些断裂同属太行

山断裂带构造体系,其形成年代及活动性质又各有差异。

四阶细节图中,由沧县隆起产生的重力高呈条带状沿 NNE 方向延伸,但在天津北附近中断,空间范围上较三阶细节图中减小。沧县隆起两侧分别为冀中拗陷与黄骅拗陷所引起的重力低现象。图中可以清晰地发现,冀中拗陷西部以大兴断裂及保定-石家庄断裂为边界,北以宝坻断裂为界与燕山褶皱带毗邻,内部包括了武清凹陷、石家庄-保定凹陷、文安凹陷、河间凹陷等次级构造单元(孙冬胜等,2004;张文朝等,2008),其中特征最明显的为武清凹陷,最小布格重力异常值为 -16 mGal 。位于沧县隆起东侧的黄骅拗陷主要是在中生代发生和发展起来的一个裂谷盆地(汪泽成等,1998),其东南为北东转为近东西走向的埋宁隆起,受周边构造单元的影响,黄骅拗陷呈现向西南收敛、向北东散开的态势,单元走向发生明显的转折,其发育过程受到了周边及内部断裂构造的严格控制(何书等,1998;杨萍等,2006)。

除上述提到的几条 NNE—NE 向布格重力异常带之外,沿张家口-渤海构造带方向的 NWW 向布格重力异常也更加显著,该异常带从张北、尚义附近向 SE 方向延伸,经张家口、北京,到达唐山附近,随后进入渤海湾,主要表现为条带状重力高及小范围重力低现象,全长超过 500 km,这比三阶细节图中现象更加突出。在构造上,该异常带位于华北裂谷盆地与北部燕山褶皱带的接触带上。该构造带由 20 余条 NE 及 NW 向断裂组成,断裂性质不一,且大部分为新生代以来发育形成,被认为是一条新生代构造带(方颖等,2008),是对首都圈地区最有影响的构造带。北京地区位于张渤带与太行山山前断裂带的交汇部位,NW 向与 NE 向断裂密集发育,小震也多有发生,其中历史上三河 $M_s 8.0$ 地震就发生在该地段。唐山—宁河地段是另一处 NE 及 NW 向断裂相互作用的地段,为唐山-河间地震构造带的北端,曾发生唐山 $M_s 7.6$ 级地震。

太行山重力梯级带西部除局部重力高外,总体表现为比较宽阔的 NNE 向重力低现象,这是因为在太行山新生代以来强烈隆升,受重力均衡的调整作用,使得太行-五台块体的莫霍面下倾,在横向上太行-五台块体下地壳及上地幔岩层密度低于华北裂谷盆地,处于质量亏损状态(刘占坡等,2003)。

4 结论与讨论

重力与地质体密度相关,能够反映地质体密度

分界面的分布状况,因而可以利用重力异常对由构造原因引起的岩性密度差异现象进行分析,来研究地壳的结构特征。本文正是基于该原理,利用小波多尺度分解方法对首都圈布格重力信息进行了场分离,得到 1~4 阶小波变换逼近图及小波变换细节图。小波变换逼近图是对区域场布格重力异常信息的反映,小波变换细节图是对局部场布格重力异常信息的反映。根据所揭示的地壳在横向及纵向上的布格重力异常现象,对首都圈地区的地壳结构进行深入分析,获得了较好效果。

通过对小波变换逼近图的分析发现,首都圈地区存在着两个比较大规模的重力梯级带,其中 NE 向的为太行山重力梯级带,将该区分为东西两部分,东部为相对重力高,西部为相对重力低,太行山重力梯级带是我国东部大陆大兴安岭—太行山—武陵山重力梯级带的重要组成部分。其中在东部仍存在走向近 EW 向的燕山亚重力梯级带,将华北平原与燕山隆起区分开,太行山重力梯级带及燕山亚重力梯级带构成了首都圈地区两条重要的地球物理分界线。

太行山重力梯级带西部布格重力异常在 1~3 阶小波变换细节图中表现为沿盆地分布的狭长条带,条带形状与盆地轮廓相似,盆地内部呈重力低,盆地两侧台地呈重力高,盆地与台地之间的过渡带表现为高梯度的梯级带,这些梯级带是盆地边缘断裂存在的最直观证据,在 1 阶与 2 阶细节图中表现最为清晰。具有此现象的盆地包括延怀盆地、宣化盆地、阳原-蔚县盆地、大同盆地及忻定盆地等。随着场源深的增加,这种由盆地表现出来的局部异常现象逐渐消失,转而表现为区域性总体的重力低现象,反映了太行山隆起过程中由于重力均衡调整作用使得该区下地壳处于质量亏损状态。

首都圈地区平坦的华北平原掩盖了地壳崎岖不平、复杂多样的结构,包括各种规模的隆起、拗陷以及断裂构造,这些构造现象共同构成了该地区复杂的地壳结构体系,这在各阶小波变换细节图中均有不同程度的体现。表现为重力高的大兴隆起、京西隆起、沧县隆起等,重力低包括北京拗陷、武清凹陷、固安凹陷以及黄骅拗陷等,密集的梯级带反映了隆起与拗陷之间存在的断裂构造。

在细节图中现象最明显的 NWW 与两条 NE 向布格重力异常,体现了首都圈地区最为重要的 3 条构造带,分别为张家口-渤海构造带、太行山山前构造带以及沧县构造带。NNW 的张家口-渤海构

造带表现为一系列的重力高与重力低圈闭密集发育,构成华北裂谷盆地与北部燕山褶皱带的接触带,是对首都圈地区影响最严重的构造带。太行山山前构造带位于太行山重力梯级带的东侧边缘,表现为条带状重力高及与重力低之间的重力梯级带,通过对该构造带布格重力异常特征的解析,认为太行山山前构造带为划分华北裂谷盆地与太行山隆起的深大断裂。位于涑水以北的北京地区,为张渤带与太行山山前构造带的交汇地段,数条NE向断裂在上地壳近平行发育,呈“帚”型撒开;而在下地壳,其产生的布格重力异常与石家庄-保定断裂带所产生的布格重力异常归一为一条重力异常带,同属太行山山前构造体系。另一条NE向沧县构造带也表现为条带状重力高和重力低以及梯级带的共同发育,其中沧县隆起西部为冀中拗陷,两者之间断裂带新生代以来活动强烈,构成了唐山-河间地震带的中北段,沧县隆起东部为黄骅拗陷,两者之间的断裂构造活动性较西部明显减弱。NWW向张渤带与两条NE向构造带的交汇部位,是首都圈地区地壳结构最复杂的区域,NE与NW向断裂密集发育,未来一段时间内需要重点开展工作。

参 考 文 献

- 邓起东,冉勇康,杨晓平,等. 2007. 中国活动构造图. 北京:地震出版社.
- 刁博,王家林,程顺有. 2007. 重力异常小波多分辨分析分解阶次的确定. 地球科学—中国地质大学学报, 32(4): 564~568.
- 方盛明,张先康,嘉世旭,等. 2002. 华北地区布格重力异常的多尺度分解特征与地震活动性. 大地测量与地球动力学, 22(1): 34~39.
- 方颖,江在森,张晶,等. 2008. 张家口-渤海断裂带现今运动状态分析. 大地测量与地球动力学, 28(1): 11~15.
- 冯锐,郑书真,黄桂芳,等. 1989. 华北地区重力场与沉积构造. 地球物理学报, 32(4): 385~398.
- 何书,杨桥,漆家福,等. 2008. 黄骅拗陷中区新生代断裂系统及其成因分析. 地质评论, 43(3): 533~545.
- 侯遵泽,杨文采. 1997. 中国重力异常的小波变换与多尺度分析. 地球物理学报, 40(1): 85~95.
- 李安然,成福元,古成志,等. 1984. 中国东部重力梯级带的地震地质分析. 地震地质, 6(2): 53~61.
- 刘光鼎. 2002. 中国海地球物理场特征. 地球物理学进展, 17(1): 1~12.
- 刘占坡,高祥林,黎益仕. 2003. 太行山重力梯级带的密度结构及其地质解释. 地震地质, 25(2): 266~273.
- 马宗晋,高祥林,宋正范. 2006. 中国布格重力异常水平梯度图的判读和构造解释. 地球物理学报, 49(1): 106~114.
- 孙冬胜,刘池阳,杨明,等. 2004. 渤海湾盆地冀中拗陷中区新生代复合伸展构造. 地质论评, 50(5): 484~491.
- 唐新功,陈永顺,严良俊,等. 2008. 应用布格重力异常研究太行山地区地壳密度结构. 西北地震学报, 30(4): 306~309.
- 汪泽成,刘和甫,段周芳,等. 1998. 黄骅拗陷中新生代构造负反转分析. 地球科学—中国地质大学学报, 23(3): 289~293.
- 王椿镛,张先康,吴庆举,等. 1994. 华北盆地滑脱构造的地震证据. 地球物理学报, 37(5): 613~619.
- 徐杰,牛变芳,王春华,等. 1996. 唐山—河间—磁县新生地震构造带. 地震地质, 18(3): 193~198.
- 徐杰,高战武,宋长青,等. 2000. 太行山山前断裂带的构造特征. 地震地质, 22(2): 111~122.
- 徐杰,高战武,孙建宝,宋长青. 2001. 区域伸展体制下盆-山构造耦合关系的探讨. 地质学报, 75(2): 165~174.
- 杨萍,杜远生,徐亚军. 2006. 黄骅拗陷古近纪地震事件沉积研究. 地质学报, 80(11): 1711~1714.
- 杨文采,施志群,侯遵泽,等. 2001. 离散小波变换与重力异常多重分解. 地球物理学报, 44(4): 534~541.
- 殷秀华,史志宏,刘占坡,等. 1980. 中国大陆区域重力场的基本特征. 地震地质, 2(4): 69~75.
- 曾华霖. 2005. 重力场与重力勘探. 北京:地质出版社.
- 张季生,王海燕. 2005. 燕山地区重、磁场特征分析与构造分区. 地球学报, 26(4): 349~35.
- 张文朝,杨德相,陈彦均,等. 2008. 冀中拗陷古近系沉积构造特征与油气分布规律. 地质学报, 82(8): 1103~1112.

Structural Characteristics in the Capital Area Using Wavelet Multi-Scale Method of Bouguer Gravity Anomaly

JIANG Wenliang¹⁾, ZHANG Jingfa¹⁾, JIAO Mengmei²⁾, LU Jing¹⁾

1) *Institute of Crustal Dynamics, China Earthquake Administration (CEA), Beijing, 100085;*

2) *Beijing Explo-Tech Engineering Co., LTD, Beijing, 100085*

Abstract

Tectonic setting of the capital area is extremely complex in east China. The study separated local Bouguer gravity anomaly information of the capital area using the method of wavelet multi-scale; analyzed and explained the sources of Bouguer gravity anomaly in terms of horizontal and vertical aspects; tried to establish the relations between these phenomena and geological structures; and finally explained their geological mechanism. With an emphasis on two large and distinct Bouguer gravity anomaly zones present in the figures plotted by wavelet multi-scale, we studied the distribution features of the structural phenomenon revealed by the anomalies. Research also indicates that three Bouguer gravity anomaly zones reflect the three structural zones in North China region, Taihang Mountain Tectonic Zone, Cangxian Tectonic Zone and Zhangjiakou-Bohai Tectonic Zone, each of which contains secondary uplifting, depression and faulting units. It is suggested by this study that foreland fault zone of Taihanshan Mts belongs to deep-seated faulting and constitutes the geophysical boundary between North China rifting basin and Taihanshan rising. Cangxian structural zone and Zhangjiakou—Bohai structural zone have been active since Cenozoic. Crustal structure is very complicated especially at the convergence of NE-trending and NNW-trending structural zones, forming two important seismic zones, on which our future exploration should focus. Our research has led a thorough understanding of the tectonic system and crustal structure in the capital area, and provides the guidance for further study on the mantle-crustal structure of North China.

Key words: capital area; Bouguer gravity anomaly; wavelet multi-scale analysis; active fault