

梁学堂, 毛新武, 曾春芳, 等. 秦岭—大别造山带(湖北段)重力场特征与造山带构造[J]. 中国地质, 2016, 43(2): 446–457.

Liang Xuetang, Mao Xinwu, Zeng Chunfang, et al. Gravity field characteristics and orogenic belt structure of the Qinling–Dabie orogenic belt (Hubei section)[J]. *Geology in China*, 2016, 43(2): 446–457(in Chinese with English abstract).

秦岭—大别造山带(湖北段)重力场特征 与造山带构造

梁学堂¹ 毛新武² 曾春芳³ 胡正祥² 杨延安⁴ 余文杰¹

(1.湖北省地质局地球物理勘探大队,湖北 武汉 430056;2.湖北省地质调查院,湖北 武汉 430034;3.武汉地质调查中心,湖北 武汉 430205;4.湖北省地质局第二地质大队,湖北 恩施 445000)

摘要:利用区域重力资料,通过位场分离、转换技术,揭示了造山带深部构造特征。正的线状重磁异常带及各阶小波细节,清晰地反映了桐柏—大别及东秦岭造山带南缘缝合带的位置,特别是重力异常小波四阶逼近,深部构造特征更加醒目。在鄂西北地区岩石圈所呈现出的“立交桥式”双层结构中,自由空间、均衡重力、剩余重力异常及小波各阶细节明显地反映出相对浅部的造山带近东西向延伸的构造特征;各阶逼近结果则反映了相对深部的地壳—岩石圈地幔南北向伸展的构造特征。应用地球物理资料来研究地球岩石圈结构、构造,除深层地震外,区域重力也是最有效方法手段之一。特别是近年来二维小波变换技术日趋成熟,为应用区域重力资料解决诸如造山带深部构造等疑难问题提供了新的手段和工作思路。

关键词:秦岭—大别造山带;重力场特征;小波多尺度分析;勉略缝合带;立交桥式构造

中图分类号:P312.1;P548 文献标志码:A 文章编号:1000-3657(2016)02-0446-12

Gravity field characteristics and orogenic belt structure of the Qinling–Dabie orogenic belt (Hubei section)

LIANG Xue-tang¹, MAO Xin-wu², ZENG Chun-fang³, HU Zheng-xiang²,
YANG Ting-an⁴, YU Wen-jie¹

(1. *Geophysical Exploration Party, Hubei Bureau of Geology and Mineral Exploration, Wuhan 430056, Hubei, China*;
2. *Hubei Institute of Geological Survey, Wuhan 430034, Hubei, China*; 3. *Wuhan Center of Geological Survey, Wuhan 430205, Hubei, China*; 4. *No. 2 Geological Party, Hubei Bureau of Geology and Mineral Exploration, Enshi 445000, Hubei, China*)

Abstract: On the basis of regional gravity data and through gravity anomaly separation and potential field transformation, the authors revealed the deep structural features of the orogenic belt. In this study, the authors found that the positive linear gravity and magnetic anomaly belt and the details of each order wavelet can clearly reflect the location of the suture belt at the southern edge of

收稿日期:2015-03-12;改回日期:2015-05-20

基金项目:中国地质调查局项目(12120113012800)资助。

作者简介:梁学堂,男,1964年生,教授级高级工程师,应用地球物理专业,长期从事区域重力调查、矿产物探、重磁勘探数据处理与研究工作;E-mail:lxt19641025@163.com。

the Tongbai-Dabie and East Qinling orogenic belt. The fourth order approximation of the gravity anomaly wavelet can especially obviously reveal the deep structural features. In the "overpass style" two-tier structure displayed in the lithosphere in northwest Hubei, the free space gravity, the isostatic gravity, the residual gravity anomaly and the wavelet details of each order can reflect the nearly EW-extending structural features of the relatively shallow orogenic belts clearly. Each order approximation result reflects the north-south stretching structural features of the relatively deep crust-lithosphere mantle. The analysis and study of the gravity field space form of the orogen belt are of important scientific and practical significance for the study of tectonic deformation of the central orogenic processes, the reconstruction of ancient suture position, the detection of the tectonic framework of the central orogenic belt and the recovery of the flatten process of the North China and South China Plates.

Key words: Qinling-Dabie orogenic belt; gravity anomaly characteristics; wavelet multiscale analysis; Mianxian-Lueyang suture zone; overpass-type structure

About the first author: LIANG Xue-tang, born in 1964, male, senior engineer, engages in the regional gravity survey, mineral exploration, data processing and gravity, magnetic and electrical exploration; E-mail: lxt19641025@163.com.

Fund support: Supported by China Geological Survey Program (No. 12120113012800).

秦岭—桐柏—大别造山带,是印支碰撞造山运动的产物,扬子板块与中朝板块对接拼合,形成了近东西向雄伟壮观的中央造山带。但自喜马拉雅运动以来,经后期运动改造,大多地段造山期构造形迹已“面目全非”,特别是处于秦岭—桐柏—大别造山带南缘的勉略缝合带,除略阳—勉县局部地段出露典型的蛇绿构造混杂带^[1-3]外,在其以东至湖北襄樊之间的地段,未见与其相适应的地质记录,地表不论从物质组成及构造形迹来看,皆难见踪迹,更缺少深部地球物理资料的佐证。目前,国内外学术期刊发表的与勉略古板块缝合带有关的研究论文^[4-8]颇丰,但对缝合带东段的准确位置一直难下定论。另外,近年来有关学者把南北向大兴安岭—太行山—武陵深部构造变异带与东西向中央造山带(东秦岭)垂直相交的构造特征形象地称为“立交桥式”^[9,10]构造,但“立交桥”的交“点”在哪里?其深部构造特征如何?以上这些问题都需要地球物理资料去求证。本文尝试采用区域重力资料,经过必要的数据处理及位场转换方法技术,用重力场的空间分布形态来刻画造山带主体及缝合带的构造特征,对分析造山过程中的构造变形组合特征、重构勉略缝合带位置、探索中央造山带的构造格局、复原华北板块与华南板块之间的拼合过程等,具有重要的科研及现实意义。

1 造山带地球物理概念模型

板块碰撞是岩石圈形成演化的宏大地质事件,

在地质、地球物理和地球化学等各方面都会留下丰富的信息。一般来说对应造山带主体位置,因板块挤压、地壳增生增厚、岩浆侵位、变形变质,造山带地壳内物质将会严重“亏损”。因此,低缓的布格重力异常、负的自由空间重力异常及负的均衡重力异常带的存在,是造山带主体位置判断的依据。在板块结合处的缝合带内,因消减混入的含有玄武质洋壳及火山岩、基性、超基性岩墙及榴辉岩等高密度高磁性物质,正的线状重磁异常带的存在可作为板块碰撞缝合带的间接标志之一^[10,11]。当然,由于后期地质作用改造,这种地球物理场特征有时候也会变得模糊不清。但总的来说,造山带内与板块边缘物质因物性差异显著,会形成明显的岩性突变带,这为应用重磁资料解决造山带深部构造问题提供了有利的地球物理前提。

2 东秦岭—桐柏—大别造山带重力场特征及造山带构造

2.1 造山带主体重力场特征

东秦岭—桐柏—大别造山带,位于湖北省北部边界位置,从西向东,分别与陕西、河南、安徽接壤。从布格重力异常特征来看(图1),对应造山带位置,布格重力异常总体呈沿北西向展布的低值带,这是碰撞造山致地壳增厚、莫霍面(图2)下凹所具有的重力场特征。在襄樊以西对应东秦岭地区,布格重力异常反映的造山带特征与东部桐柏—大别地区相比表现要弱些。东秦岭造山带重力场和

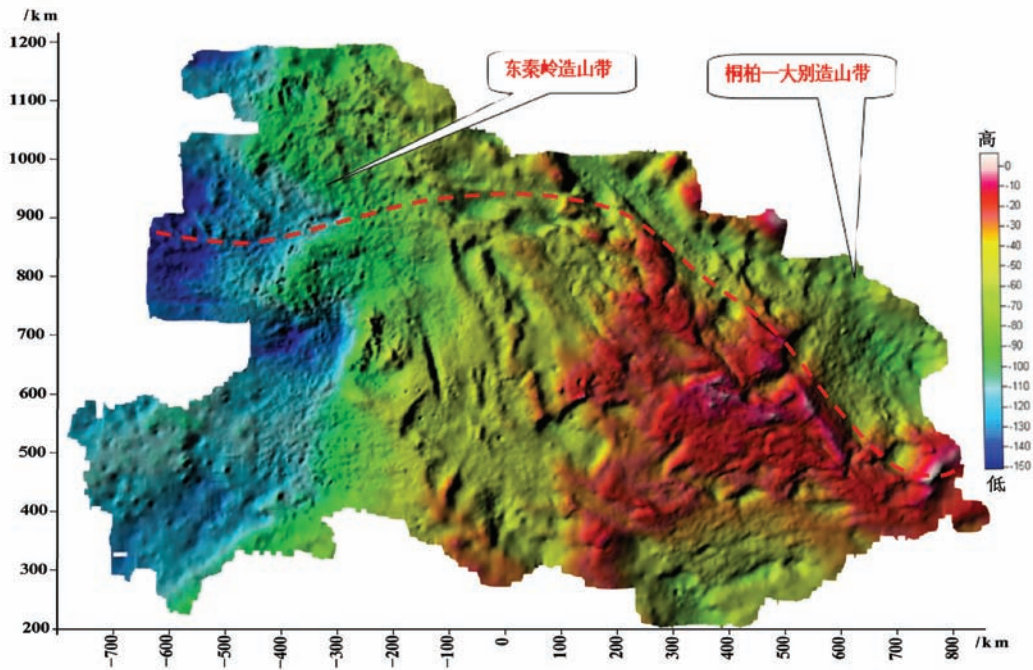


图1 湖北省布格重力异常渲染图
Fig.1 Bouguer gravity anomaly map of Hubei Province

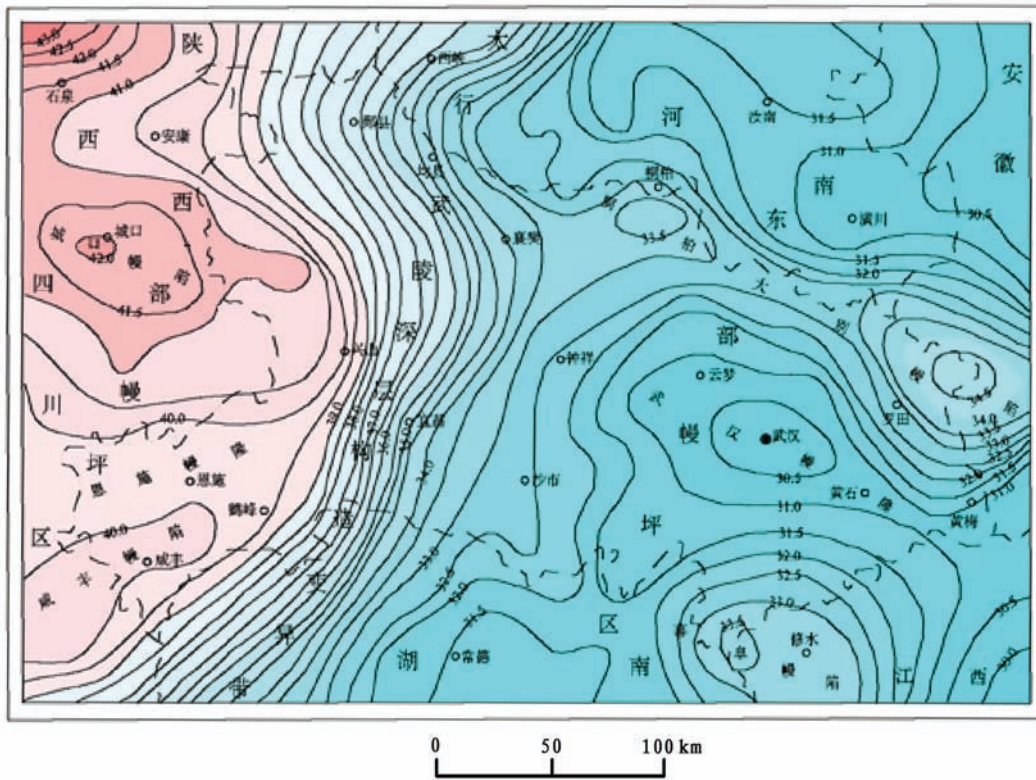


图2 湖北省及周边地区莫霍面等深图
Fig.2 Moho bathymetric map of Hubei Province and surrounding areas

扬子板块北缘区形成的重力场没有明显的分界线;但对应桐柏—大别地区,造山带与扬子北缘有明显重力梯度带分隔。这种重力场差异一方面反映了东秦岭(湖北段)地区和桐柏—大别地区相比,碰撞造山的强度相对要弱些^[12],这就是为什么在桐柏—大别造山带发现超高压变质带^[13,14],而东秦岭造山带不存在超高压变质现象的原因;另一方面也反映了东秦岭地区因位于大兴安岭—太行—武陵深部构造变异带上,经造山后期改造,原有的面貌特征已变得有些模糊不清。

东秦岭—桐柏—大别造山带所具有的地球物理场特征,不但在布格重力异常图上表现抢眼,在自由空间重力异常图(图3)、均衡重力异常图(图4)上均呈沿造山带展布的负值异常带。这主要是因为造山带内上地壳为低密度变质岩^[15]和中上地壳存在中酸性岩浆侵入^[16-18],造成了物质亏损。从经过造山带内的地震剖面^[19,20]知道,不论是东秦岭还是桐柏—大别地区,在中、上地壳之间皆存在多层低速高导层^[9],这就是形成低重力异常的原因之一。

2.2 勉略缝合带地球物理场特征及判识

图5为勉略缝合带位置示意图,为地质工作者

新近揭示出来的重要构造带,是消亡了的晚古生代—中生代初勉略有限洋盆的遗迹或缝合线。研究^[1]表明缝合带西起东昆仑阿尼玛卿山,向东经南坪、康县、勉略、高川后,被巴山弧巨型推覆构造掩盖,在巴山弧以东沿襄广断裂一线展布,直至大别山南缘。

勉略缝合带是中国大陆构造中划分南北、连接东西的重要构造带,同时还是秦岭—大别造山带中除商丹缝合带外另一条板块缝合带^[1]。秦岭—大别造山带被公认为是华北板块、秦岭微板块和扬子板块多期次碰撞而成的复合造山带。但关于扬子板块与秦岭微板块之间的勉略古缝合带的位置,因地表缺失相应的物质组分及构造形迹(推断处于隐伏状态),同时又缺少深部地球物理探测成果的佐证,缝合带准确位置的划分一直没有定论。

本文根据湖北省区域重力及航磁资料,结合中央造山带南缘的物质组成^[17,21-23]、构造形迹及其他地球物理特征,对缝合带的位置进行了判定、划分。从东向西划分为桐柏—大别南缘缝合带和东秦岭缝合带。桐柏—大别南缘缝合带西起襄樊东部枣阳县,向东经过随县—红安—浠水,东端终于郟庐

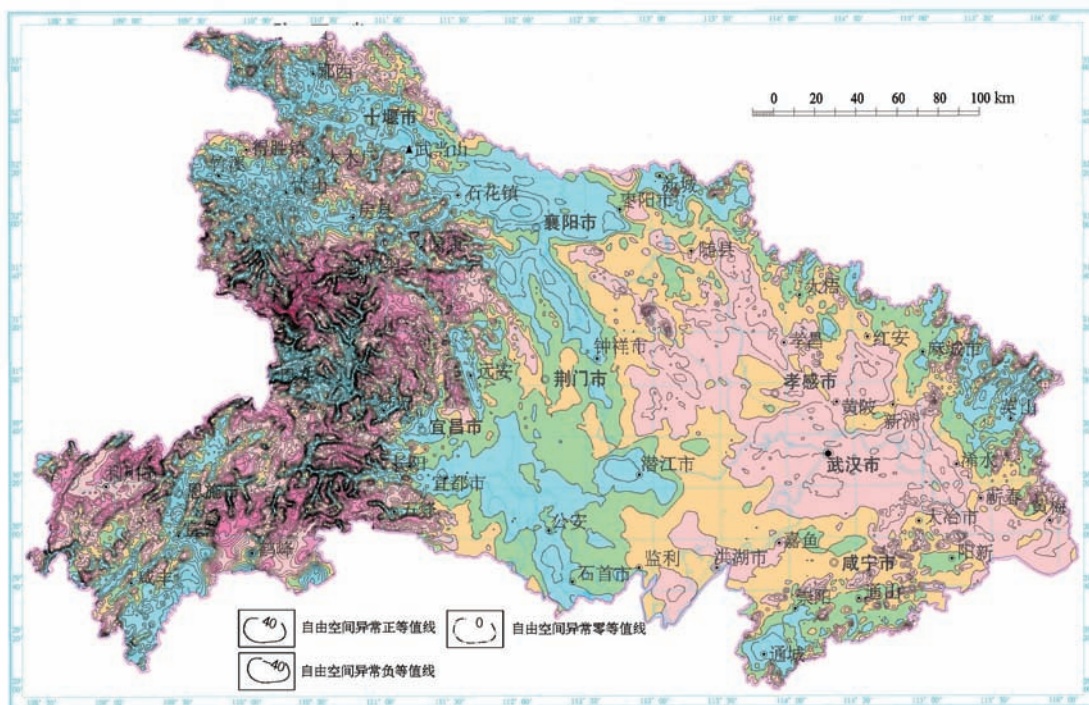


图3 湖北省自由空间重力异常图

Fig.3 Free-space gravity anomaly map of Hubei Province

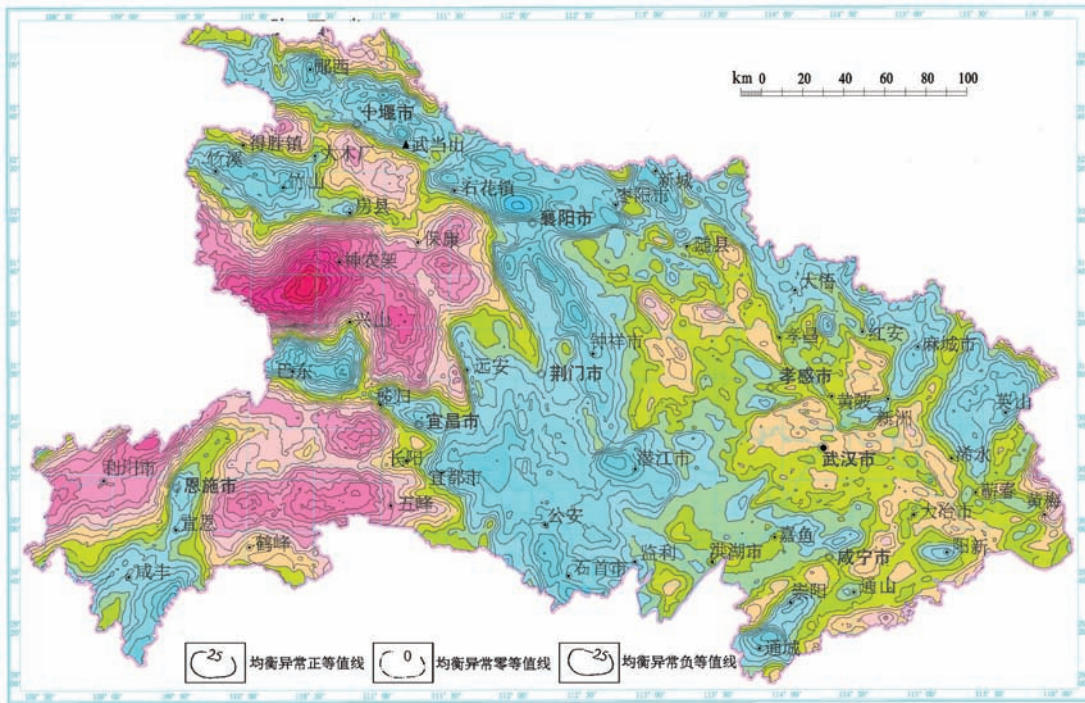


图4 湖北省均衡重力异常图
Fig.4 Isostatic gravity anomaly map of Hubei Province

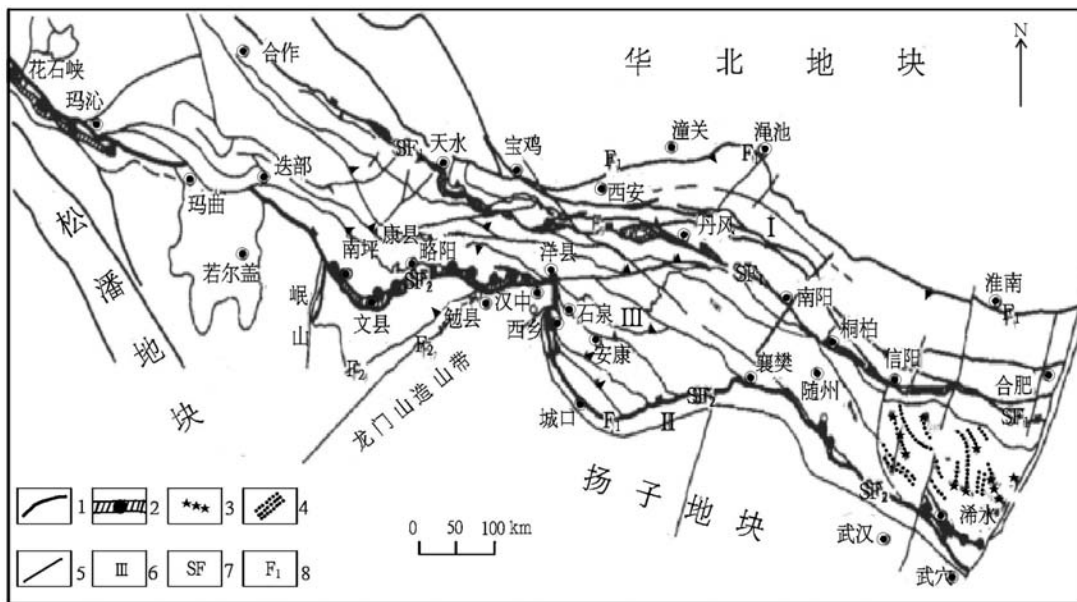


图5 秦岭—大别南缘勉略缝合带位置示意图(据文献[12]修改)
1—勉略构造带;2—蛇绿岩及相关火山岩;3—UHP岩石剥露区;4—韧性剪切带;5—断层;6— I—华北地块南缘与北秦岭, II—扬子地块北缘, III—南秦岭;7—秦岭—大别造山带商丹缝合带(SF₁)、秦岭勉略缝合带(SF₂);8—秦岭—大别北缘边界断裂(F₁)和南缘边界断裂(F₂)

Fig. 5 Suture position map of southern margin of the Qinling–Dabie belt (modified after reference [12])
1–Mianlue tectonic belt; 2–Ophiolites and related volcanic rocks; 3–UHP rock exhumation area; 4–Ductile shear zone; 5–Fault;
6– I–Southern margin of North China block and North Qinling; II–Northern margin of the Yangtze massif; III–South Qinling;
7–Shangdan suture of Qinling–Dabie orogenic belt (SF₁), Qinling– Mianlue suture (SF₂);
8–Boundary fault of northern margin (F₁) and boundary fault of southern margin of Qinling–Dabie belt (F₂)

断裂;东秦岭缝合带从枣阳县始,向西经襄樊—石花镇—大木厂—得胜镇延伸至陕西境内。两段缝合带总体来看是连接在一起的,是勉略缝合带的组成部分。但二者的重磁场特征有别,故本文分开论述之。

2.2.1 桐柏—大别缝合带地球物理场特征及判识

关于桐柏—大别地块与扬子板块碰撞缝合带,在20世纪80年代,地质工作者认为,襄樊—广济断裂是扬子板块与造山带缝合位置^[24];此后湖北省物探队在完成了全省区域重力、航磁编图工作之后,又根据区域重力、航磁异常特征,对缝合带位置进行了修正,认为新城—黄陂断裂是缝合带位置。本次笔者根据最新编制的全省区域重力异常图和航磁异常图,经过对比分析、结合该区地震剖面^[20]研究认为,桐柏—大别与扬子板块碰撞缝合带应向北位移,基本对应随县—红安—浠水一线。从布格重力异常图(图1)上可以看出,对应随县—红安—浠水一线,布格重力异常呈窄束线状的梯度带。梯度带以南,为扬子陆块形成的重力异常高值区,以北则为造山带形成的重力异常低值区。同样,自由空间重力异常(图3)、均衡重力异常(图4)也以此带为

界,西南侧为高值区,东北侧为低值区;莫霍面等深图上,该重力异常梯度带是莫霍面的斜坡位置。笔者对布格重力异常进行小波变换,2~4阶细节结果均显示(图6),沿重力梯度带南侧,北西向呈串珠状分布多个局部重力高异常,似乎沿造山带南缘存在有板块拼合过程中形成的高密度基性岩片体群(解释为俯冲消减杂岩带中的洋壳残片);2~4阶逼近结果采用线性增强处理后,对应梯度带位置线性构造更加明显(图7)。

化磁极后的航磁异常图(图8)上,沿随县—红安—浠水一线展布的磁异常带与重力梯度带基本上重合。以梯度带为界,南北呈不同的航磁异常特征。以南呈平静、规整的地台型磁场特征;以北则为强度大、零乱的造山带型磁异常群。

以上诸多证据,符合陆—陆碰撞缝合带的地球物理判识准则^[11,25]。这就说明桐柏—大别与扬子陆块碰撞缝合带的位置应该在随县—红安—浠水一线,而襄樊—广济断裂及新城—黄陂断裂只是从北而南形成的上、下2大推覆构造面,二者在深部收敛、汇聚,最终向北与碰撞缝合带交汇。挟持在襄

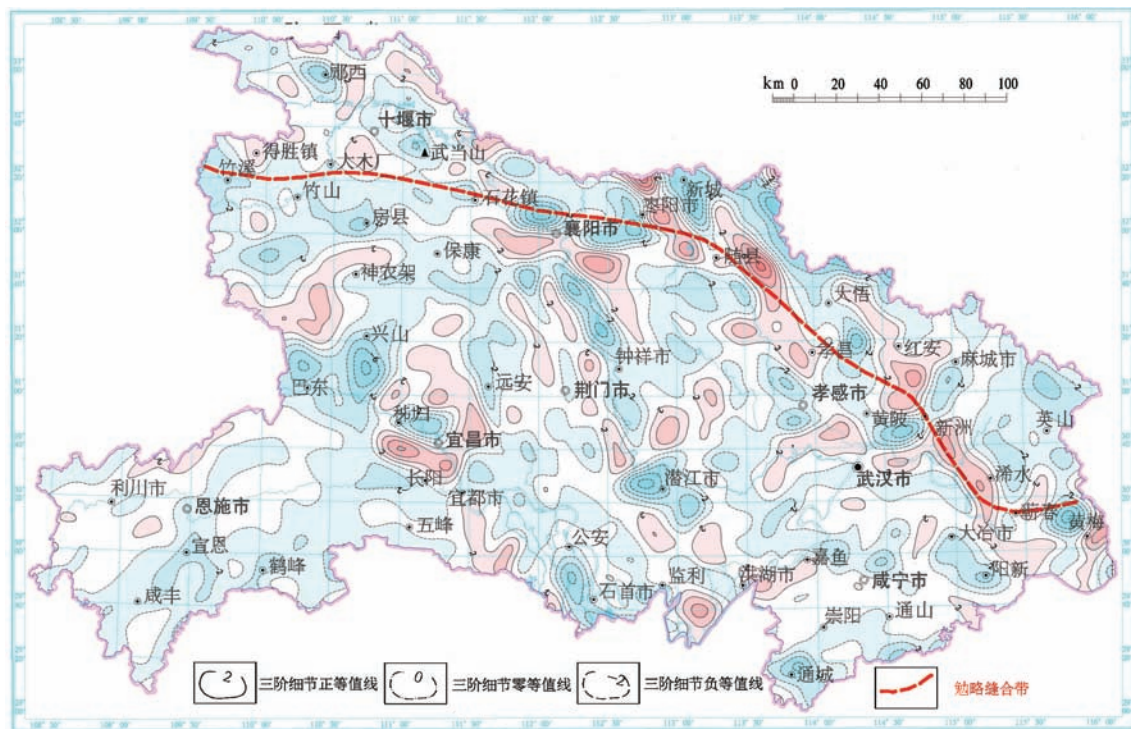


图6 布格重力异常三阶小波细节图

Fig. 6 Detailed plan view of Bouguer gravity anomaly third-order wavelet

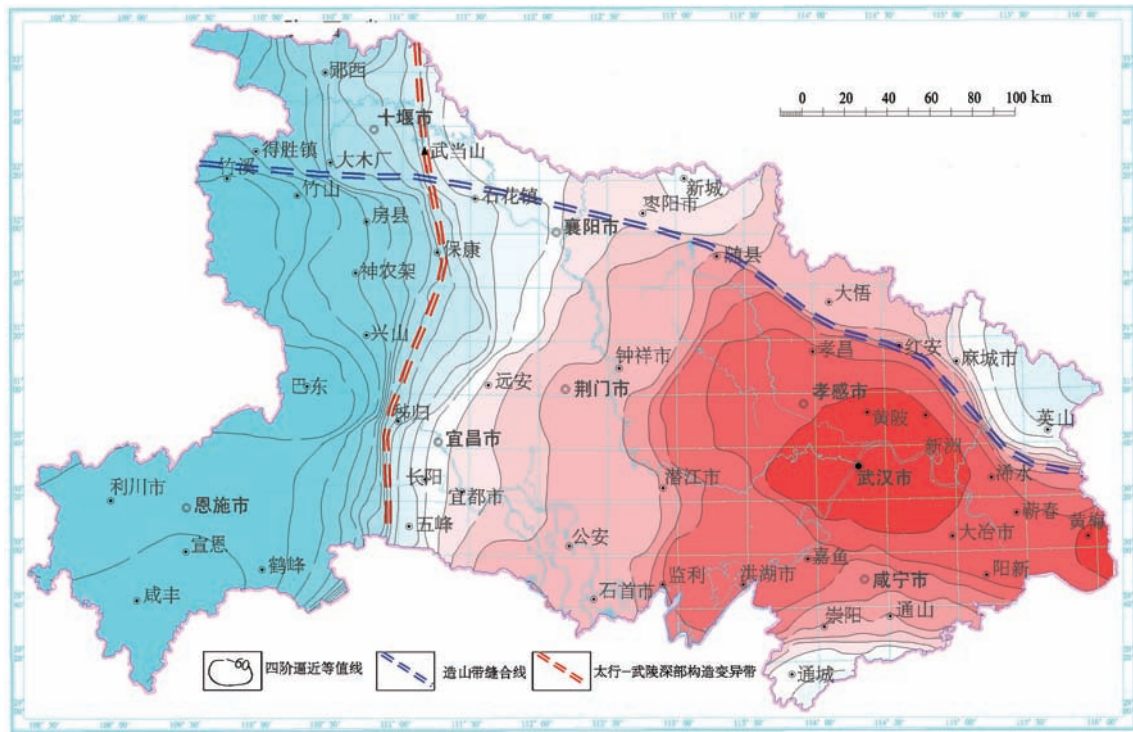


图7 湖北省布格重力异常四阶小波逼近图

Fig. 7 Bouguer gravity anomaly fourth-order wavelet approximation map of Hubei Province

广断裂、新城—黄陂断裂及桐柏—新洲—浠水断裂之间的地质块体,与3条断裂共同组成了南大别大型犁式推覆构造^[26]。

2.2.2 东秦岭缝合带地球物理场特征及认识

湖北省布格重力异常4阶小波逼近图(图7)上显示,在襄樊市西部的谷城县石花镇以西地区,即大兴安岭—太行—武陵重力梯度带经过的位置,本来近南北向延伸的重力梯度带,沿石花镇—大木厂—得胜镇一线突然向西发生了拐凸,并形成了近东西向次级梯度带,这说明了该区深部构造方向及物质组成发生了重大变化。经过对布格重力异常分离求得的剩余重力异常(图9)沿襄樊凹陷北界—石花镇—大木厂—得胜镇一线,形成了近东西向串珠状分布重力高值异常带。可以反映不同尺度空间地质体的重力异常各阶细节^[27](图6)与剩余重力异常结果相似。剩余重力异常与小波细节特征表明了沿东西向梯度带内存在因南北板块碰撞形成的高密度岩墙,这个结论还可以从南北向通过十堰市的洛阳—巴东大地电磁剖面(QB-1剖面)探测成果^[28]得到证实(图10)。在房县—十堰之间,从地表下15 km直至60~70 km,出现电阻率为1000 $\Omega \cdot \text{M}$

北陡倾斜的高阻块体。剩余重力异常和小波细节所显示的高密度岩墙在十堰市南侧与高阻体的位置相对应。有关学者推断该高阻体的北缘在地表的投影位置,可能代表了被后期推覆构造所掩埋的勉略带遗迹^[9,29]。为了进一步确认勉略缝合带深部隐伏位置,对布格重力异常4阶小波逼近(图7)结果采用线性增强处理,结果发现在对应襄樊—石花镇—大木厂—得胜镇一线,深部线性构造特征非常醒目,图7中清晰地反映出了缝合带的位置,并且在缝合带两侧重力场发生了陡变。在襄樊以东,缝合带两侧重力场呈南高北低特征;在襄樊以西,重力场则呈南低北高特征。这种现象主要是因为,在太行—武陵深部构造变异带以西及缝合带以南的鄂西山地,地壳突然变厚,上地壳物质严重亏损,形成了比造山带还要低的重力异常低值区。这种独特的重力场特征,真实反映出了鄂西北地区所谓“立交桥”式的构造特征。总之,重力各种数据处理结果均表明,在襄樊—石花镇—大木厂—得胜镇方向,从浅部到深部,存在一条岩性突变带,应是古勉略缝合带深部隐伏位置。

另外,从航磁异常图(图8)上也可以看出,对应

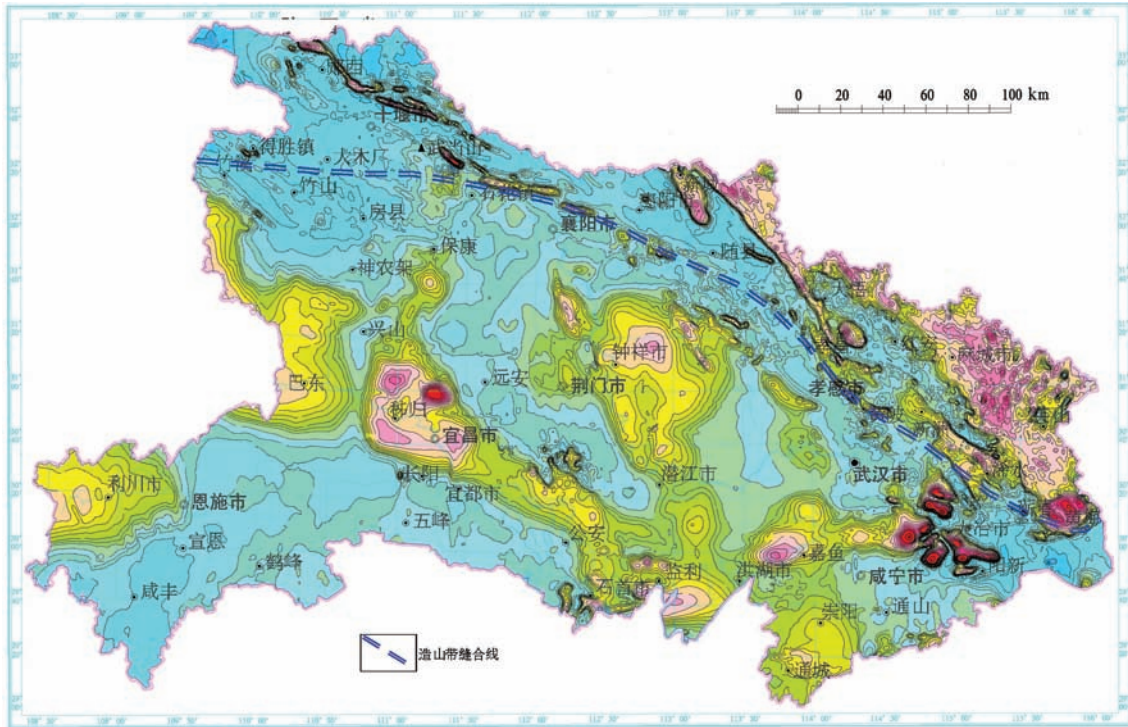


图8 湖北航磁异常(化磁极)图

Fig. 8 Aeromagnetic anomaly (reduction to the pole) map of Hubei Province

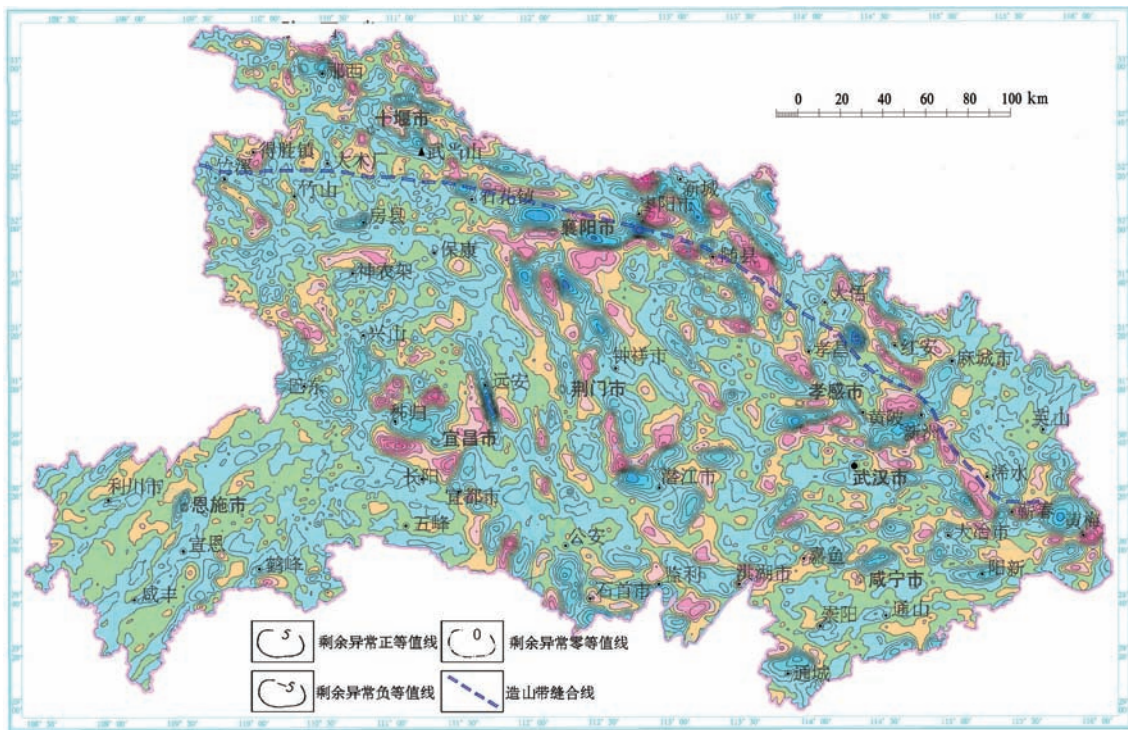


图9 湖北省剩余重力异常平面图

Fig. 9 Residual gravity anomaly plan view of Hubei Province

重力梯度带位置,也呈不太明显的弱磁异常带特征,虽然不十分清晰,但也可以分辨(缝合带一般应有磁异常带与之对应,但也可能基性的地质块体因埋藏太深航磁异常幅值衰减或高温区消磁等影响造成磁异常带不明显)。弱磁异常带处于武当群变质地层内,背景磁场为相对平静的负值区。在其北部,为北西向线状分布的、由耀岭河群变基性火山岩引起的强磁场。该弱磁异常带的存在,同样是板块缝合带存在的有利证据。

关于东秦岭勉略缝合带的位置,一些学者^[3,30]认为是沿襄樊—房县—城口—高川—线展布(即巴山弧)。但通过以上对东秦岭湖北段区域重力及航磁异常空间分布特征进行分析、研究后认为,前人确定的勉略缝合带,只是碰撞造山后期形成的大型推覆构造面(或推覆构造前峰断裂),并非真正意义上的缝合带位置,只是地表浅部所表现出来的一种“假象”。勉略古缝合带在陕西高川—湖北襄樊之间的位置,应向北移至襄樊—石花镇—大木厂—得胜镇—平利—高川—线,然后向西与勉县—略阳连接成近东西向的直线。因此,不宜把巴山弧推覆构造与扬子地台北缘接触部位定义为勉略缝合带的位置。

巴山弧巨型推覆构造可划分为差异明显的两个构造区^[30-32]:一是北大巴山前陆褶冲区,由南秦岭中新元古界、下古生界浅变质地层组成的线状褶皱与逆冲断层配套的褶断构造样式,应是该造山过程中形成的前陆褶冲带;二是武当—安康推覆构造区,南是以青峰—紫阳红椿坝断裂为界,在洪石—平利一带,主要由下古生界浅变质地层构成推覆岩片与逆掩断层构成岩片叠瓦状构造组合,平利—十堰之间,则表现为中新元古界变质地层构成的穹隆构造样式,代表了推覆体后缘根部。从该地区的地质记录来看,是无法确定缝合带的位置的。因此,只有通过地球物理场特征进行分析、判断,才能进一步厘定勉略古缝合带深度隐伏的位置。

总结襄樊以西附近地区的地球物理场特征,以襄樊—石花镇—大木厂—得胜镇为界,南北两侧重磁电场从浅部到深部的差异是非常明显的。以上诸多深部地球物理证据,符合陆—陆碰撞缝合带的地球物理判识准则^[11]。因此,可以推断处于鄂西北东秦岭地区的勉略古缝合带的位置就对应着襄樊—石花镇—大木厂—得胜镇—线。只不过因造山

后期改造,扬子板块与秦岭微板块碰撞形成的缝合带被掩盖于推覆构造区的下部,处于深度隐伏状态,缝合带在地表投影位置两侧地表构造形迹及物质组成并没有明显的变化,所以不宜被发现。本次依据地球物理场关于勉略古缝合带位置的推断结论,与张国伟等(1996)^[12]所划定的秦岭造山带深部岩石圈边界基本一致。

3 鄂西北地壳“立交桥”双层结构地球物理场特征及判识

在鄂西北十堰市附近地区,是南北向大兴安岭—太行山—武陵深部构造变异带(图2)与东西向中央造山带(东秦岭)垂直相交的一个“点”。因此,在鄂西北十堰附近地区的重力场特征,一定是不同深度、不同方向地质体形成的重力场叠加的结果,它一方面反映了深部近南北向的构造特征,另一方面又反映了相对较浅部的秦岭造山带近东西向的构造痕迹。众所周知,大兴安岭—太行山—武陵深部构造变异带,是自喜马拉雅——特别是新构造运动以来,以地壳均衡调整为主形成的深部构造^[25]。变异带以东为大陆—海洋过渡型岩石圈,岩石圈平均厚度约80 km左右;变异带以西为大陆型岩石圈,岩石圈平均厚度约100 km以上^[25]。而中央造山带是印支期扬子板块与中朝板块发生碰撞形成的近东西向地壳变形构造,是扬子板块上中下地壳与秦岭微板块不同深度构造层相互穿插、叠置的结果。前者发生在后期,构造变形影响的尺度空间达地幔岩石圈,在地形、地貌上表现为中国大陆第三阶梯的西部边界;又因后期构造运动对前期构造形迹的改造,因此相比较而言,作为喜马拉雅运动以来才形成的大兴安岭—太行山—武陵深部构造变异带在十堰附近地区虽然受到造山带的干扰、叠加,但总体上来看构造痕迹要比造山带更为明显些。但无论如何,不同尺度空间和不同延伸方向的两大巨型构造,虽然受到后期运动改造、叠加,在接近垂向交汇处,必然会形成重力异常可识别的所谓“立交桥式”的构造特征。

前以述及,从反映浅部构造特征比较明显的自由空间重力异常图、均衡重力异常图和剩余重力异常图上可以看出,在东秦岭造山带内,自由空间重力异常、均衡重力异常沿北西向西条带状正负间隔

排列,剩余重力异常图中局部重力高和局部重力低异常基本上也呈北西西向线性分布。以上各类重力异常的排列方向与造山带内地质构造线完全一致。但以反映深部构造特征为主的纵贯中国大陆东部的大兴安岭—太行山—武陵山巨型重力梯级带则是以近南北方向通过该区域。湖北省莫霍面等深图在十堰附近地区也是呈南北向延伸,与造山带构造线垂直。

布格重力异常各阶细节反映了造山带近东西向延伸的构造特征;各阶逼近结果则反映出了地壳—岩石圈地幔南北向伸展的构造特征。其中2~3阶逼近结果以反映中下地壳构造特征为主,4阶逼近结果以反映岩石圈地幔构造特征为主。特别是4阶逼近结果采用线性增强处理后,该地区“立交桥”式构造特征历历在目(图7)。

另外,根据李立等(1998)所提出的东秦岭岩石圈的地电模型^[9],对秦岭巴山及周边地区216个大地电磁测深点的资料,经分析研究后认为:秦岭造山带地区30 km和90 km深度的电阻率异常轴向(不论高阻或低阻)以近东西向为主,与秦岭造山带地表地质构造走向基本一致;在90 km深度上已出现了少量北东—南西向或南北向的异常,低阻异常可能与熔融的地幔物质有关;150 km深度的异常轴向以近南北向为主,说明岩石圈以下的构造带大多数呈近南北向,并逐步向上扩展,致使90 km深度也出现一些近南北向的异常。秦岭造山带上部(浅部)

以东西向构造为主,其深部以近南北向调整状态为主。这就是区域地壳呈“立交桥”的双层结构,与重力场二维小波变换得出的结论相同。

4 结 论

(1)对应秦岭—大别造山带主体位置,带状负的均衡重力异常是古老山根残留的痕迹;负的自由空间和剩余重力异常反映了造山带内岩浆侵位、地层经受高压变质,造成了上地壳内物质的“亏损”。

(2)在造山带南缘,正的串珠状剩余重力异常、正的小波细节局部异常、正的强弱不等的磁异常带,皆反映了板块缝合带存在的位置;同时也说明了在板块缝合带内,含有玄武质洋壳及火山岩、基性、超基性岩墙及榴辉岩等高密度高磁性物质。

(3)布格重力异常4阶小波逼近结果经过线性增强处理后,重力异常突变带能清晰地反映出古勉略缝合带的准确位置,即便是陕西省洋县至湖北省襄樊之间被巴山弧推覆体深埋的地段,也能被揭示出来。

(4)桐柏—大别南缘缝合带位置,从西向东经枣阳—随县—红安—浠水,终于郟庐断裂;东秦岭南缘缝合带位置,从东向西经枣阳—襄樊—石花镇—大木厂—得胜镇,向西至陕西平利—高川与勉县—略阳连接。

(5)在鄂西北地区岩石圈所呈现出的“立交桥”式双层结构中,不同深度不同走向的地质体引起

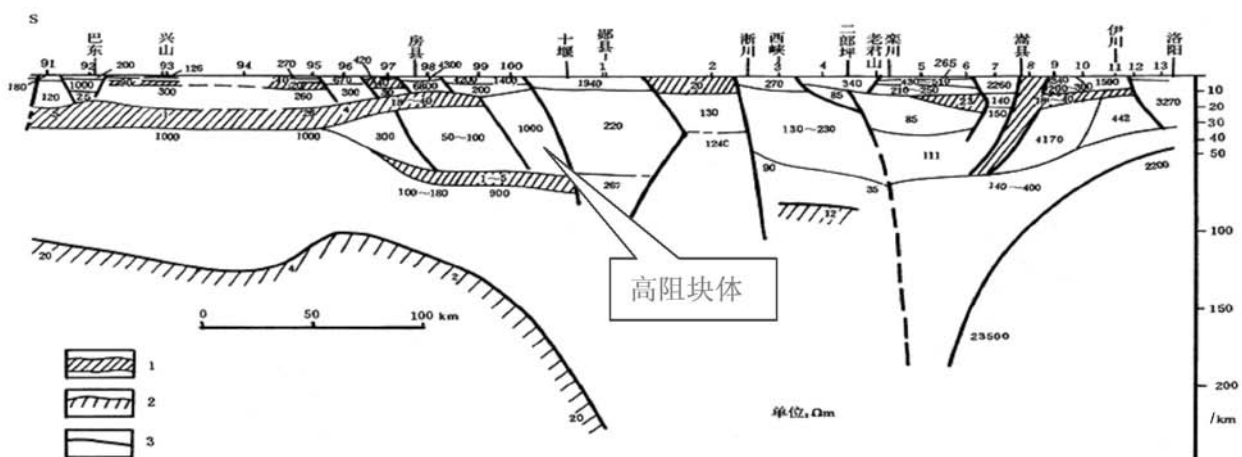


图10 巴东—洛阳大地电磁测深剖面(据文献[28]修改)

1—低阻体;2—岩石圈底界面;3—推测断裂

Fig. 10 Badong—Luoyang magnetotelluric sounding profile (modified after reference [28])

1—Low resistivity body; 2—Lithospheric bottom interface; 3—Inferred fracture

的叠加重力场,经过分离、提取后,各阶细节明显地反映出相对浅部的造山带近东西向延伸的构造特征;各阶逼近结果(4阶逼近效果突出)则反映出相对深部的地壳-岩石圈地幔南北向伸展的构造特征。

(6)应用地球物理资料来研究地球岩石圈结构、构造,除深层地震外,区域重力也是最有效方法手段之一。特别是近年来二维小波变换技术日趋成熟,不同尺度空间地质体形成的叠加重力场,可以便利地实现分离和提取。总之,应用区域重力资料解决诸如造山带深部构造等疑难问题是可行的,也是有效的,这为我们今后解决基础地质问题提供了新的手段和工作思路。

参考文献(References):

- [1] 许志琴,杨经绥,陈方远,等.阿尼玛卿缝合带及“俯冲-碰撞”动力学[C]/张旗主编.蛇绿岩与地球动力学研究.北京:地质出版社,1996:185-189.
Xu Zhiqin, Yang Jingshui, Cheng Fangyuan, et al. The A'nyemaqen suture zone and the dynamics in subduction and collision[C]/Zhang Qi (ed.). Study on Ophiolites and Geodynamics. Beijing: Geological Publishing House, 1996: 185-189(in Chinese with English abstract).
- [2] 张宗清,张国伟,唐索寒,等.武当群变质岩年龄[J].中国地质,2002,29(2):117-125.
Zhang Zongqing, Zhang Guowei, Tang Suohan, et al. The age of metamorphic rocks of the Wudang Group[J]. Geology in China, 2002, 29(2): 117-125(in Chinese with English abstract).
- [3] 李亚林,李三忠,张国伟,等.秦岭勉略缝合带组成与古洋盆演化[J].中国地质,2002,29(2):129-134.
Li Yalin, Li Sanzhong, Zhang Guowei. Composition of the Mianlue suture zone and its relation with the evolution of the old oceanic basin[J]. Geology in China, 2002, 29(2): 129-134(in Chinese with English abstract).
- [4] 杨文采.中央造山带东段岩石圈的构造格架[J].中国地质,2005,32(2):299-309.
Yang Wencai. Tectonic framework of the eastern segment of the Central orogenic belt of China[J]. Geology in China, 2005, 32(2): 299-309(in Chinese with English abstract).
- [5] 李廷栋.中国岩石圈三维结构专项研究主要进展和成果[J].中国地质,2006,33(4):689-699.
Li Tingdong. Main advances and achievements in the special-subject study of the 3D lithospheric structure of China[J]. Geology in China, 2006, 33(4): 689-699(in Chinese with English abstract).
- [6] 李廷栋.中国岩石圈构造单元[J].中国地质,2006,33(4):700-710.
Li Tingdong. Lithospheric tectonic units of China[J]. Geology in China, 2006, 33(4): 700-710(in Chinese with English abstract).
- [7] 袁学诚,李善芳,华九如.秦岭陆内造山带岩石圈结构[J].中国地质,2008,35(1):1-17.
Yuan Xuecheng, Li Shanfang, Hua Jiuru. Lithospheric structure of the Qinling intracontinental orogen[J]. Geology in China, 2008, 35(1): 1-17(in Chinese with English abstract).
- [8] 杨经绥,许志琴,马昌前,等.复合造山作用和中国中央造山带的科学问题[J].中国地质,2010,37(1):1-11.
Yang Jingsui, Xu Zhiqin, Ma Changqian, et al. Compound orogeny and scientific problems concerning the Central Orogenic Belt of China[J]. Geology in China, 2010, 37(1): 1-11(in Chinese with English abstract).
- [9] 李立,杨辟元,段波,等.东秦岭岩石圈的地电模型[J].地球物理学报,1998,41(2):189-195.
Li Li, Yang Piuyuan, Duan Bo, et al. Geoelectric model of the lithosphere of East Qinling[J]. Journal of Geophysics, 1998, 41(2): 189-195(in Chinese with English abstract).
- [10] 袁学诚,李廷栋.中国岩石圈三维结构雏型[J].中国地质,2009,36(1):29-52.
Yuan Xuecheng, Li Tingdong. A preliminary 3D model of lithospheric structure in China[J]. Geology in China, 2009, 36(1): 29-52(in Chinese with English abstract).
- [11] 杨文采,徐纪人,程振炎,等.苏鲁大别造山带地球物理与壳幔作用[M].北京:地质出版社,2005.
Yang Wencai, Xu Jiren, Cheng Zhenyan, et al. Sulu Dabie Orogenic Belt Geophysics and Crust and Mantle Effects[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2005(in Chinese).
- [12] 张国伟,郭安林,刘福田,等.秦岭造山带三维结构及其动力学分析[J].中国科学(D辑),1996,26(SI期):1-6
Zhang Guowei, Guo Anlin, Liu Futian, et al. Qinling orogenic belt three-dimensional structure and dynamics analysis[J]. Chinese Science (Series D), 1996, 26(SI period): 1-6(in Chinese).
- [13] 徐纪人,赵志新.苏鲁一大别超高压变质带地壳速度结构及其俯冲、折返机制[J].中国地质,2005,32(2):310-319.
Xu Jiren, Zhao Zhixin. Crustal P-wave velocity structure of the Dabie-Sulu ultrahigh-pressure metamorphic belt and mechanisms of its subduction and exhumation[J]. Geology in China, 2005, 32(2): 310-319(in Chinese with English abstract).
- [14] 袁学诚,李善芳.大别造山带岩石圈结构与超高压变质岩折返的另类模型[J].中国地质,2008,35(4):565-576.
Yuan Xuecheng, Li Shanfang. Lithospheric structure under the Dabie orogen and another model of exhumation of UHP rocks[J]. Geology in China, 2008, 35(4): 565-576(in Chinese with English abstract).
- [15] 高天山,李惠民,汤加富,等.大别造山带南缘浅粒岩的锆石U-Pb年龄及其地质意义[J].中国地质,2002,30(3):301-304.
Gao Tianshan, Li Huimin, Tang Jiafu, et al. Zircon U-Pb ages of leucoplexite on the southern margin of the Dabie Mountains and their geological implications[J]. Geology in China, 2002, 30(3): 301-304(in Chinese with English abstract).
- [16] 戴圣潜,邓晋福,吴宗絮,等.大别造山带燕山期造山作用的岩浆岩石学证据[J].中国地质,2003,30(2):159-165.
Dai Shengqian, Deng Jinfu, Wu Zongxu, et al. Evidence of

- magmatic petrology for the Yanshanian orogeny in the Dabie orogen[J]. *Geology in China*, 2003, 30(2): 159–165(in Chinese with English abstract).
- [17] 钱存超, 路玉林, 刘丽利, 等. 大别山超高压变质带燕山期花岗岩地球化学特征及成因探讨[J]. *中国地质*, 2004, 31(2): 147–154.
Qian Cunchao, Lu Yulin, Liu Lili. Geochemical characteristics and genesis of Yanshanian granite in the Dabie ultrahigh–pressure (UHP) metamorphic belt[J]. *Geology in China*, 2004, 31(2): 147–154(in Chinese with English abstract).
- [18] 陈衍景. 秦岭印支期构造背景、岩浆活动及成矿作用[J]. *中国地质*, 2010, 37(4): 854–865.
Chen YanJing. Indosinian tectonic setting, magmatism and metallogenesis in Qinling Orogen, central China[J]. *Geology in China*, 2010, 37(4): 854–865(in Chinese with English abstract).
- [19] 袁学诚, 任纪舜, 徐明才, 等. 东秦岭邓县—南漳反射地震剖面及其构造意义[J]. *中国地质*, 2002, 29(1):14–19.
Yuan Xuecheng, Ren Jishun, Xu Mingcai, et al. Reflection seismic profile from Dengxian to Nanzhang, eastern Qinling and its tectonic implication[J].*Geology in China*, 2002, 29(1): 14–19 (in Chinese with English abstract).
- [20] 袁惟正, 徐新忠, 雷江锁, 等. 大别山地震波速度剖面的重力拟合及花岗岩带[J]. *中国地质*, 2003, 30(3): 235–239.
Yuan Weizheng, Xu Xinzhong, Lei Jiangsuo, et al. Simulation of gravity anomaly of the velocity profile from wide– angle reflection seismic profiling and the granite belt in the Dabie Mountains[J]. *Geology in China*, 2003, 30(3): 235–239(in Chinese with English abstract).
- [21] 张宗清, 宋彪, 唐索寒, 等. 秦岭佛坪变质结晶岩系年龄和物质组成特征——SHRIMP 锆英石 U–Pb 年代学和全岩 Sm–Nd 年代学数据[J]. *中国地质*, 2004, 31(2): 161–168.
Zhang Zongqing, Song Biao, Tang Suohan, et al. Age and material composition of the Foping metamorphic crystalline complex in the Qinling Mountains: SHRIMP zircon U–Pb and whole–rock Sm–Nd geochronology[J]. *Geology in China*, 2004, 31(2): 161–168(in Chinese with English abstract).
- [22] 张宗清, 刘敦一, 宋彪, 等. 秦岭造山带中部存在太古宙岩块——陕西省商南县湘河地区楼房沟斜长角闪岩—浅粒岩锆石 SHRIMP U–Pb 年龄及其意义[J]. *中国地质*, 2005, 32(4): 579–587.
Zhang Zongqing, Liu Dunyi, Song Biao, et al. An Archean block in the Central Qinling orogenic belt: zircon SHRIMP U–Pb ages of the Loufanggou amphibolite– leucogranulite (leptite) in the Xianghe area Sannan, Shaanxi, and their implications[J]. *Geology in China*, 2005, 32(4): 579–587(in Chinese with English abstract).
- [23] 汪晓伟, 裴先治, 李瑞保, 等. 南秦岭勉略构造带中堂沟火山岩地球化学特征及其地质意义[J]. *中国地质*, 2014, 41(2): 361–377.
Wang Xiaowei, Pei Xianzhi, Li Ruibao, et al. Geochemical characteristics of the volcanic rocks from Zhongtanggou area of Mianlue suture zone in South Qinling Mountains and their geological significance[J]. *Geology in China*, 2014, 41(2): 361–377(in Chinese with English abstract).
- [24] 黄建勋, 金经纬, 张金权, 等. 湖北省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1990.
Huang Jiangyun, Jin Jingwei, Zhang Jinqian et al. *Regional Geology Hubei*[M]. Beijing: Geological Publishing House,1990 (in Chinese).
- [25] 万天丰. 中国大地构造学纲要[M]. 北京: 地质出版社, 2004.
Wan Tianfeng. *Chinese Tectonics Platform*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2004(in Chinese).
- [26] 梁学堂. 鄂北地区推覆构造重磁异常特征[J]. *物探与化探*, 2007, 31(5): 424–429.
Liang Xuetang. North of Hubei Province nappe structure gravity and magnetic anomalies[J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*,2007,31(5):424–429(in Chinese with English abstract).
- [27] 张明华, 乔计花, 黄金明, 等. 重磁电数据处理解释软件 RGIS[M]. 北京: 地质出版社, 2011.
Zhang Minghua, Qiao Jihua, Huang Jingming, et al. *Heavy Magnetic Data Processing and Interpretation Software RGIS*[M]. Beijing: Geological Publishing House,2011(in Chinese).
- [28] 李慎和, 李进先, 尚永宽, 等. 秦巴地区伊川—秭归(QB–1)剖面地质、地球物理资料综合研究报告[R]. 河南省地矿厅地球物理勘查大队,1993.
Li Shenhe, Li Jinxian, Shang Yongkuan, et al. Qinba area Yichuan– Zigui (QB– 1) cross– section of geological and geophysical data synthesis research report [R]. Geophysical Prospecting Brigade of Henan Geology and Mineral Hall, 1993(in Chinese).
- [29] 邹先武, 段其发, 汤朝阳, 等. 北大巴山镇坪地区辉绿岩锆石 SHRIMP U–Pb 定年和岩石地球化学特征[J]. *中国地质*, 2011, 38(2): 282–291.
Zou Xianwu, Duan Qifa, Tang Chaoyang, et al. SHRIMP zircon U–Pb dating and lithochemical characteristics of diabase from Zhenping area in North Daba Mountain[J]. *Geology in China*, 2011, 38(2): 282–291(in Chinese with English abstract).
- [30] 杨志华, 郭俊锋, 苏生瑞, 等. 秦岭造山带基础地质研究新进展[J]. *中国地质*, 2002, 29(3): 246–256.
Yang Zhihua, Guo Junfeng, Su Shengrui, et al. New advances in the geological study of the Qinling orogen[J]. *Geology in China*, 2002, 29(3): 246–256(in Chinese with English abstract).
- [31] 毛新武, 刘早学, 何仁亮, 等. 1:25 万十堰市幅、襄樊市幅区域地质调查报告[R]. 湖北省地质调查院,2008.
Mao Xinwu, Liu Zaoxue, He Rengliang, et al. 1:250000 Geological Survey Report of Shiyan, Xiangfan City Region [R]. Hubei Provincial Institute of Geological Survey, 2008(in Chinese).
- [32] 路凤香, 王春阳, 胡宝群, 等. 南秦岭下地壳组成及岩石圈的剥离俯冲作用[J]. *中国地质*, 2003, 30(2): 113–119.
Lu Fengxiang, Wang Chunyang, Hu Baoqun, et al. Structure of the lower crust and detachment and subduction of the lithosphere of the South Qinling[J]. *Geology in China*, 2003, 30(2): 113–119 (in Chinese with English abstract).