

大别山地震波速度剖面的 重力拟合及花岗岩带

袁惟正¹ 徐新忠² 雷江锁² 袁学诚³

(1. 中国国土资源航空物探遥感中心, 北京 100083; 2. 陕西省地质勘查开发局第二综合物探大队, 陕西 西安 710000;
3. 中国地质调查局发展研究中心, 北京 100083)

摘要:笔者对穿越大别山造山带的六安—大冶宽角反射地震剖面进行了重力拟合。拟合结果表明严格按宽角反射地震速度换算成的密度剖面所产生的是一个重力高,它反映出大别山是一个穹隆,与实测大别山重力低大相径庭。只有将位于大别山山根上,南北大别之间设置一个从地表直达莫霍界面的巨大低密度体,重力曲线才能得到很好的拟合。这个低密度体应为近北西走向的花岗岩带。它与反射地震剖面上石镇透明反射地震带位置吻合,但宽度远较反射地震透明带为大。重力曲线的拟合进一步说明,在华北陆块与扬子陆块碰撞后的白垩纪时,大别山出现一个伸展期,在这个时期,大别山穹隆形成,并伴随有大规模花岗岩的侵入,超高压变质岩从地壳中下部折返到地表。研究说明,联合应用反射地震、宽角反射地震和重力,进行综合解释是必要的,可以得到更令人信服的地质结论。

关键词:大别山构造带;宽角反射地震;重力异常

中图分类号:P315.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1000—3657(2003)03—0235—05

1 概述

大别山造山带位于中国东部,是华北陆块和扬子陆块的碰撞造山带。它的东界是郯庐断裂,西邻桐柏造山带。区内构造复杂,大面积出露高压、超高压变质岩及中生代花岗岩和火山岩。

在大别山造山带东部,国家地震局与中国地质科学院合作已完成一条宽角反射地震剖面^[1]。剖面北起安徽庄墓,南至张公渡,共设置 8 个炮点,剖面走向北北东,全长 400 km (图 1)。获得了大别山地壳详细的二维速度剖面。结果显示:在大别山超高压带下方深 3 km 以下为 6.2~6.3 km/s 的相对高速异常区。但在深 3 km 以内的基底具有大陆地壳构造中正常的结晶基底速度(6.0 km/s 左右)。上地幔顶部速度为 7.9~8.1 km/s。地壳厚度从扬子克拉通的 36 km 向北增大,到晓天—磨子潭断层处为 41.5 km。晓天—磨子潭断层以北地壳厚度从 37 km 减少到 35 km。在晓天—磨子潭断裂下,地壳不

对称增厚,有约 5 km 的山根,并且莫霍面错断,断距约 4.5 km。

在大别山东部,从潜山到横冲,穿过郯庐断裂,中国地质科学院与德国合作,完成了一条长约 60 km 的反射地震剖面。剖面结果显示,整条剖面上莫霍界面深度一般约为 11 秒 TWT。中下地壳内,反射段向东倾,上地壳内反射段向西倾。此外,还可以探测到侧向延长 1~5 km 的清晰反射。在郯庐断裂以东,整个地壳几乎没有反射段。显示郯庐断裂是一条一直延深到莫霍界面的近于垂直的断裂^[2]。

1997 年,国家自然科学基金委员会启动“九五”大别山重大项目“超高压变质作用与碰撞造山动力学”。其中,要求地球物理完成一条横穿大别山造山带,以反射地震和宽角反射地震为主的综合地球物理剖面,进行地热流、氩同位素和物性工作,收集重力和航磁资料,结合深部探测资料对地壳细结构进行详细的分析研究。

综合地球物理剖面位置选择从安徽六安,经霍山、英山、浠水到湖北黄石,全长 244 km。宽角反射地震在上述剖面

收稿日期:2003-04-10;改回日期:2003-05-16

基金项目:国家自然科学基金“九五”重大项目(49794044)资助。

作者简介:袁惟正,男,1963 年生,工程师,主要从事重磁资料处理解释。

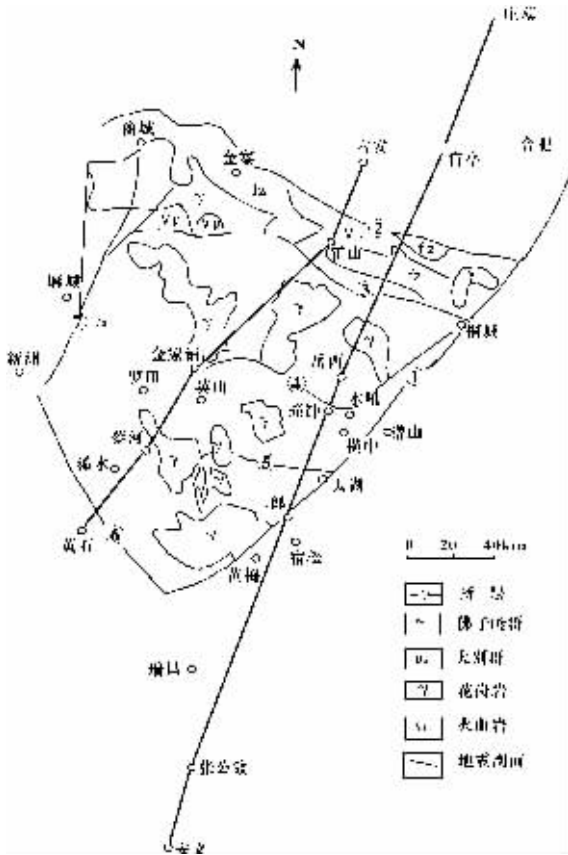


图 1 大别山地震测线位置图

Fig. 1 Layout of seismic profiles in the Dabie area

的北部延长到六安以北,在南部向南延长到大冶,全长300 km。

在六安—黄石近垂直反射地震剖面上获得了大别山造山带的详细地壳结构。在近垂直反射地震剖面上,莫霍界面有强烈反射,从剖面南端约 10.5 秒处开始,莫霍界面向北缓慢加深,到晓天—磨子潭断裂的下方,深度约 14 秒处,莫霍界面突然错断。在它以北,莫霍界面深度变浅,约为 11.5~12 秒(深度约 37~38 km)。中上地壳的反射具补丁状,存在陡倾反射面。在晓天—磨子潭断裂和莫霍界面错断处之北,深度从 5~

20 km 处,中地壳反射段向南倾斜,它是北淮阳推覆体的底界面。在晓天—磨子潭断裂两侧,形成一个双向仰冲构造。在晓天—磨子潭断裂襄樊—广济断裂之间为一地壳规模的穹隆^[3]。

在布格重力异常图上,大别山表现为重力低。重力低的范围几乎与大别山造山带的范围相吻合,大别山重力低极小点位于石镇,正好被六安—黄石宽角反射地震剖面穿过。极小值幅度达到 $86 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ ^[4]。虽然大别山重力异常如此明显,但不论是从庄墓—张公渡宽角反射地震解释剖面上,还是六安—黄石宽角反射地震解释剖面上,都没能找到产生重力低的地质体是什么这一重要的地球物理问题的答案。由于地质体的波速与密度有着函数关系,通常可用重力拟合来验证和修正宽角反射地震解释的正确性。笔者试图用重力拟合六安—大冶宽角反射地震剖面,揭示引起大别山重力低的原因,从而进一步阐明它们对大别造山带的地质意义。

2 六安—大冶宽角反射地震

六安—大冶宽角反射地震剖面由原地质矿产部第二综合物探大队负责。宽角反射地震野外数据收录采用相遇与追逐相结合的观测系统。剖面上设 4 个炮点,分别位于六安、霍山、英山及黄石附近。布置测点 79 个,平均点距 4 km。

将大别山地壳按速度结构分成上地壳与下地壳。上地壳速度 $V_1=4.0\sim 6.4 \text{ km/s}$,厚度 $h_1=18\sim 25 \text{ km}$,由北向南增厚。上地壳底部存在低速层。低速层有可识别的震相,并且 Pg 波追踪距离明显缩短,深度 12~24 km,厚度 3~13 km。由北向南低速层厚度增大。霍山至英山之间的上地壳,深度 8~15 km 处存在厚度约 7 km、速度 6.2~6.3 km/s 的相对高速区。下地壳埋深 18~44 km,速度 $V_2=6.74\sim 7.10 \text{ km/s}$,厚度 $h_2=9\sim 21 \text{ km}$ 。

在横向结构上大别山地壳的北、中、南等 3 段有明显差别。北段从霍山到六安,上地壳最薄,底部低速层也较薄,下地壳较厚,莫霍面较浅。中段从霍山到英山炮之间,上地壳厚度中等,底部低速层变厚。上地壳中部存在相对高速区,厚约 7 km,长数十千米。下地壳厚度较大,达到 21 km,莫霍面最深。南段从英山到黄石,上地壳最厚,底部低速层最厚。下地壳最薄,莫霍面最浅(图 2)。

大别山造山带地壳厚度的起伏变化,显示在大别山中

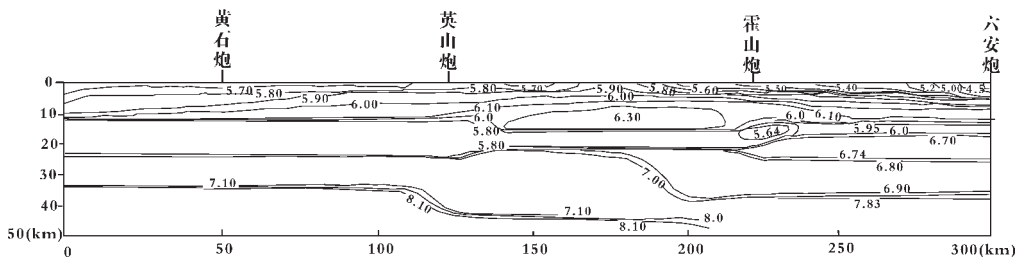


图 2 六安—大冶宽角反射地震地壳速度结构图

等值线数字为地震波速度(km/s)

Fig. 2 Crustal velocity structure from the Liu'an-Daye wide-angle seismic reflection profiling

Numerals at the isopleths are the seismic wave velocity (km/s)

部英山与霍山之间有一个厚约 6~8 km 的山根。

3 宽角反射地震速度剖面的重力拟合

大冶—六安重力剖面从新编 1:50 万桐柏—大别山布格重力异常图^①上截取。沿重力剖面每 5 km 间隔读取重力值,共取点 68 个,总长 335 km。

剖面的密度模型根据宽角反射地震速度剖面换算得到(图 3)。模型体位置严格按照宽角反射地震地壳速度结构等值线确定,共划分出 16 个密度不同的块体,霍山—六安及英山—黄石近地表深度小于 5 km 的部分密度块体进行了合并。

速度转换为密度计算采用 Nafe—Drake 公式:

$$\begin{aligned} \delta &= 2.78 + 0.27(V_p - 6.0) & V_p &\leq 7.0 \\ \delta &= 3.05 + 0.33(V_p - 7.0) & 7.0 < V_p &\leq 7.8 \\ \delta &= 3.05 + 0.33(V_p - 7.0) - 0.1 & V_p &> 7.8 \end{aligned}$$

在密度剖面图上,深度约为 20 km 的上地壳底部存在低密度层。它与反射地震剖面上的地壳中部的密集反射层相对应。在低密度层以上,有一个范围包括整个大别山的穹状构造。穹状构造的核部密度值为 2.78 g/cm³,根据沿剖面宽角反射地震爆破孔内物性研究结果,这一层密度相当于深变质岩。覆盖在其上的一层速度横向有变化。在英山以南为 2.73 g/cm³,系深变质岩,往北在地表相当于北大别处为 2.65 g/cm³ 和 2.62 g/cm³,与片麻岩的密度相当。在这一大层上部,英山以南,

覆盖一层 2.70 g/cm³ 的地层,从其密度值推断应为绿片岩。在霍山以北,覆盖一层密度为 2.54 g/cm³ 的地层,为未变质沉积岩。

在上地壳底部低速层以下的下地壳,北部密度略低,南部略高,应为麻粒岩相变质岩。

密度剖面的中部莫霍界面凹陷,出现山根。

选取地壳平均速度 $V_p=6.4$ km/s 为参考速度,相当于参考密度值为 $\delta_0=2.87$ g/cm³。计算剩余密度值 $\Delta\delta=\delta-\delta_0$,组成剩余密度剖面,用以计算密度剖面所引起的重力曲线。

计算理论重力曲线如图 3。与实测重力曲线相比,两者有很大差别。在实测曲线上大别山与重力低相对应,但在理论曲线上,大别山呈现为一重力高。无疑,它正反映出大别造山带是一个穹隆。

那么,是什么原因使实测重力曲线与理论重力曲线之间会产生如此巨大的差别呢?常有人提到,大别山重力低可能是由山根引起的。但在密度模型中,已经包含有山根,为什么理论重力异常仍然是重力高?大别山的山根厚度 6~8 km。宽度约 110 km,剩余密度差 0.3 g/cm³。将山根作成独立模型,计算出山根重力异常曲线如图 4。计算结果表明山根只能产生极不明显的、近于直线的重力低异常,与大别山范围近于一致的巨大重力低不可能是由山根所引起。

如在英山附近距剖面南端 120~170 km 处加入深达莫霍

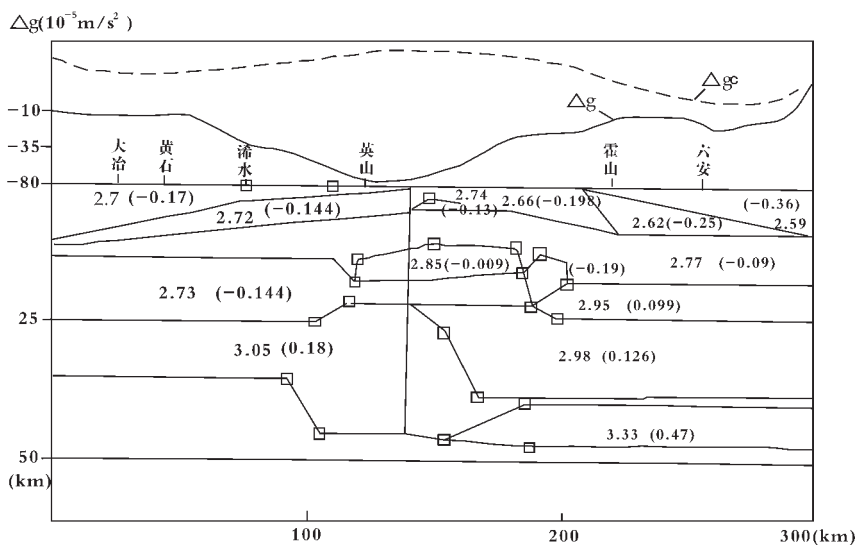


图 3 根据宽角反射地震速度剖面得到的重力曲线

实线:野外实际测量重力曲线;虚线:根据密度模型计算的理论重力曲线。图中数字为从速度换算得到的密度值(g/cm³),括号内数字为剩余密度值(g/cm³)

Fig. 3 Gravity curves obtained from the wide-angle seismic reflection velocity profile

Solid line: gravity anomaly measured in the field; dashed line: gravity anomaly calculated according to the density model. Numerals in the figure are the density values (g/cm³) calculated by conversion from the velocity; numerals in parentheses are the residual density

① 尹伊仁,等.桐柏—大别山布格重力异常图(1:50 万),1992.

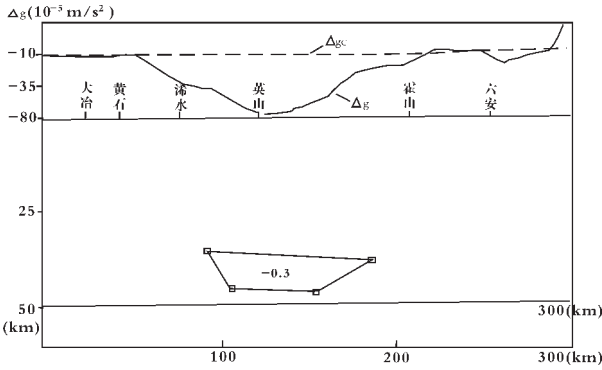


图 4 山根重力异常贡献图

Fig.4 Gravity anomaly produced by mountain root

面密度值为 $\delta=2.57\text{g/cm}^3$ 的低密度体 (相当岩体速度值为 5.0km/s), 重力低异常得到了很好的拟合(图 5)。在大别山地区密度值约为 2.57g/cm^3 的地质体只能是花岗质岩石。因而推定, 在大别山的山根处, 存在巨大的花岗岩带。

将拟合结果与反射地震剖面相对比, 这个低密度柱体与反射地震剖面上石镇处的反射透明带相吻合。但是低密度体的宽度要比反射地震透明带的宽度大。原因可能是综合地球物理剖面在花岗岩分布最窄的部位通过, 剖面通过的地方, 花岗岩很少出露。但紧挨着剖面, 出露大范围花岗岩。在它的西部是天堂寨花岗岩, 在剖面东部是白帽、店前花岗岩。剖面正好通过两花岗岩之间, 在剖面两侧花岗岩产生的重力场的旁侧效应使测线上重力低异常加强加宽。花岗岩带在宽

角反射地震的记录中没有明显反映, 除了上述的同样原因外, 看来宽角反射地震对直立岩体的分辨率较差, 是另一个重要的原因。

4 大别山中部花岗岩带的地质意义

宽角反射地震速度剖面的重力拟合, 帮助反射地震剖面对石镇透明带的性质作出解释, 应解释为花岗岩带。花岗岩带的年龄根据与其相邻的出露花岗岩体锆石 (U-Th)/He 方法测定结果^[9], 天堂寨花岗岩为 107Ma , 店前花岗岩为 105Ma 。这说明, 在大别微陆块与扬子陆块的碰撞后的白垩纪时, 大别山出现一个伸展期, 在这个时期, 大别山穹隆形成, 并伴随有大规模花岗岩的侵入, 超高压变质岩从地壳中下部折返到地表。

5 结论

1) 将穿过大别山超高压变质带的六安—黄石宽角反射地震剖面换算成密度剖面, 计算得到的重力曲线, 大别山是一个重力高, 反映了大别山是一个由核杂岩隆升造成的穹隆。只有将在位于大别山山根上, 南北大别之间设置一个从地表直达莫霍界面的巨大低密度体, 重力曲线才能得到很好的拟合。这个低密度体应为近东西走向的花岗岩岩柱。它与反射地震剖面上透明反射地震带位置吻合, 但宽度远较反射地震透明带为大。

2) 大别山地区的地球物理解释中认为: 宽角反射地震必需与重力进行联合解释, 否则, 容易发生解释中的重大错

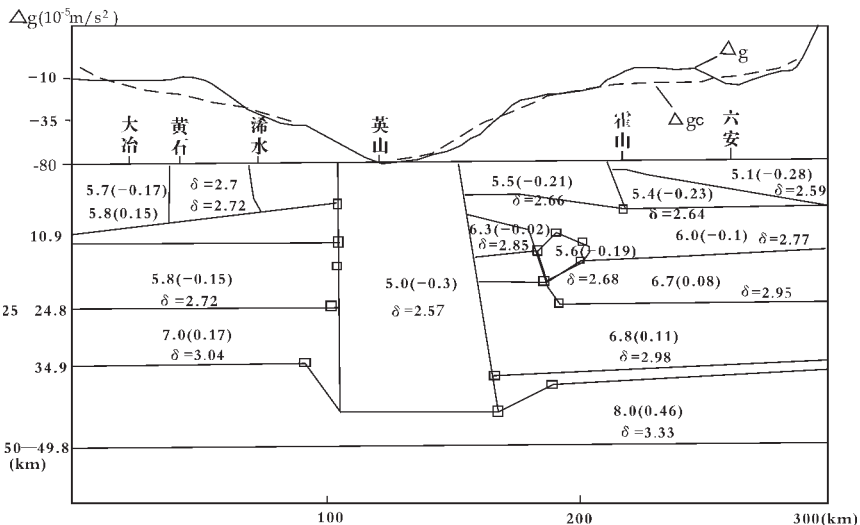


图 5 大冶—六安宽角反射地震剖面重力拟合图

实线:野外实际测量重力曲线;虚线:根据密度模型计算的理论重力曲线。图中数字为速度值(单位:km/s);
 δ 为换算密度值(单位:g/cm³);括号内数字为剩余密度值

Fig. 5 Simulation of gravity anomaly from the velocity profile obtained by wide-angle seismic reflection profiling
 Solid line: gravity anomaly measured in the field; dashed line: calculated gravity anomaly. Numerals in the figure are the velocity (km/s);
 δ is the density value (g/cm³) obtained by conversion; numerals in parentheses are the residual density

误。在反射地震剖面上存在一个透明带,对它的性质一直难于作出肯定的解释。由于有爆破地震剖面 and 重力曲线的联合解释,已可比较确定地得到解释。它们应是巨大的花岗岩岩柱。由此可见,联合应用反射地震、宽角反射地震和重力,进行综合解释,可以得到更令人信服的地质结论。

参考文献 (References):

- [1] 王椿镛,张先康,陈步云,等. 大别造山带的地壳结构研究[J]. 中国科学(D辑),1997,27(3): 221~226.
Wang Chunyong, Zhang Xiankang, Chen Buyun, et al. The study of crustal structure of Dabie Orogen[J]. Science in China(Series D), 1997, 27(3): 221~226(in Chinese).
- [2] Schulze A, Jiang M, Ryberg T, et al. Survey yields data on unique metamorphic rock complex in China[J]. AGU, EOS, 1998, 81: 431

- [3] Yuan Xuecheng, Klemperer S, Wenbang T, et al. Crustal structure and exhumation of the Dabie Shan ultrahigh-pressure orogen, eastern China, from seismic reflection profiling [J]. Geology, 2003, 31(5): 435~438.
- [4] 袁惟正,刘寿彭,袁学诚. 秦岭—大别山地区重力场的分解与立交桥构造[J]. 中国科学(D辑), 1996, 26(增刊): 7~12.
Yuan Weizhen, Liu Shoupeng, Yuan Xuecheng. Decomposition of gravity field and grade separation structure in Qinling-Dabie area [J]. Science in China(Series D), 1996, 39(supp.): 10~16(in Chinese).
- [5] 许长海,周祖翼,马昌前,等. 大别造山带 140—85Ma 热隆伸展作用——年代学约束[J]. 中国科学(D辑), 2001, 31(11): 925~937.
Xu Changhai, Zhou Zuyi, Ma Changqian, et al. The heat doming and extension of the Dabie Orogen in 140-85Ma—— chronology constraints [J]. Science in China(Series D), 2001, 31(11): 925~937(in Chinese).

Simulation of gravity anomaly of the velocity profile from wide-angle reflection seismic profiling and the granite belt in the Dabie Mountains

YUAN Wei-zheng¹, XU Xin-zhong², LEI Jiang-suo², YUAN Xue-cheng³

(1. China Aerogeophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083, China;

2. The 2nd Geophysical Exploration Party, Shaanxi Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Xian 710000, Shaanxi, China;

3. Center of Research and Development, China Geological Survey, Beijing 100083, China)

Abstract: Simulation of gravity anomaly at the Liu'an-Daye wide-angle reflection profile transecting the Dabie orogenic belt shows that the gravity anomaly produced by the density profile obtained by conversion of the seismic velocity from wide-angle reflections is a gravity high, which reflects that the Dabie Mountains area is a dome. This result is quite different from a gravity low determined by the field gravity measurements. The gravity anomaly can be well simulated only by placing a huge low-density body from the surface to the Moho at the boundary between the North and the South Dabie Mountains, at the root of the Dabie Mountains. This low-density should be a nearly NW-trending granite belt. Its location is in good agreement with that of the Shizhen transparent seismic reflection belt but it is far wider than the latter. The fitting of the gravity curve further suggests that after collision between the North China block and Yangtze block an extensional period occurred in the Dabie area during the Cretaceous, and meanwhile, the Dabie dome formed, accompanied by extensive intrusion of granite, and ultrahigh-pressure metamorphic rocks were exhumed to the surface. This study shows that it is necessary to combine seismic reflection profiling, wide-angle seismic reflection profiling and gravity survey to make an integrated interpretation.

Key words: Dabie tectonic belt; wide-angle seismic reflection profiling; gravity anomaly