第十五卷第三期　　物探与化探　　Vol. 15, No. 3
1991年6月　　GEOPHYSICAL & GEOCHEMICAL EXPLORATION　　Jun., 1991

地学大断面对区域重力资料解释的意义

姜枚　　袁学诚
（中国地质科学院）　　（中国地质勘查技术院）

摘　要

为了深化区域重力资料的解释，需要充分利用深地震测深等方法所提供的地壳及其深部资料。近几年我国完成的若干条地学大断面提供了这种可能。我们认为依据它为基础设计的较符合实际情况的重力密度模型，才会得到较为有效的解释结果；如果仅使用少量深地震测深点的资料去换算重力莫霍面是极不可靠的，由此作出的成矿预测也是不会正确的。新的重力模型应该包括地壳的多层结构、断块构造、变密度特征、莫霍面密度不均匀性和起伏不大、断裂产状在深部可能是平缓的剪切带等。而两层结构模型忽视了这些基本特征，解释结果没有实际意义。

概　述

1986—1990年期间，我国的深部地质地球物理调查取得了很大的进展，若干条地学大断面的完成对地质学许多领域均有深远的意义。它不仅标志着我国岩石圈研究已迈入了全球研究的行列，显示了较高的研究水平，而且，将直接促进地学许多方面研究的深入发展，重力调查正是其中的一个方面。毫无疑问，重力资料解释水平的提高与计算技术、重力测量理论的发展有直接关系。但是，当我们对地壳深部情况所知甚少的情况下，解释理论和方法得不到用武之地，就很难作出深入和正确的解释。过去一些年，人们曾利用重力资料计算过莫霍面深度，编绘出多种莫霍面深度图，而且用于资源预测，总结出某些矿产与莫霍面起伏关系的规律。现在看来多数是缺乏足够依据的。其根本原因是我们缺少深部资料，只是以一个简单化的二层地壳结构模型来表示实际上很复杂的地壳，把许多不均匀性因素统统归于莫霍面的起伏，其结果不可能是正确的。论文〔1〕等中提出了这个问题，然而，当时我国深地震测深资料还不多，国外发表的地学断面和深部资料又不便直接引用，所以，在80年代我国有不少研究工作都是使用这类方法用重力值换算莫霍面深度，并且将它们用于探讨成矿规律。我们认为，这是需要尽快改变的状况。

苏联在1972年已编绘出东欧地区的莫霍面图。在利用重力资料的同时，依据了较多的深地震测深的资料，而且配合了地貌资料作了计算。可是，事实证明，这种图件的精度仍然不高，一般地讲误差可达±5—6km，在构造变化大的地区，误差更大些。因此，用于分析成矿规律的意义不大。故从70年代中期，苏联在东欧又重新开始了详细的深地震测深，按1:20万

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

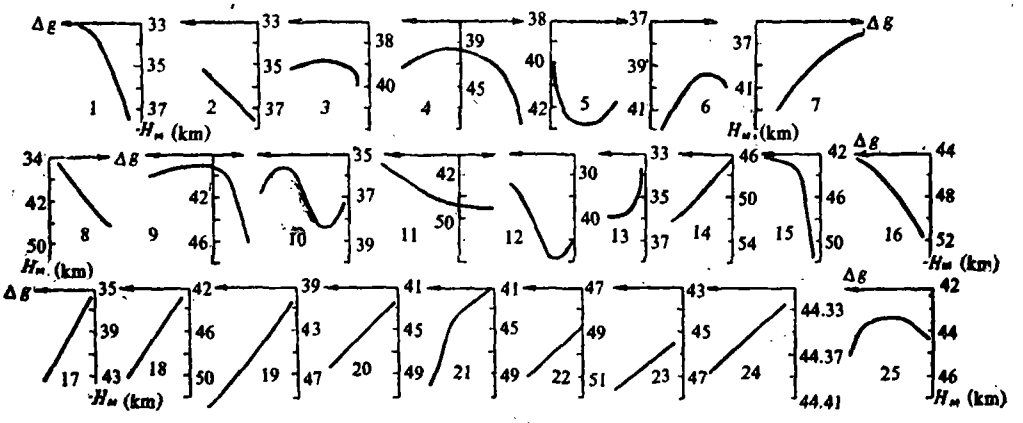

图 1 沿哈萨克斯坦25条深地震测深剖面H_M和Δg的迴归线

表 1 25条测线上莫氏面深度(H_M)与重力Δg关系解释式[2]（顺序同图1）

1	$H_M=65.20+3.30\Delta g+0.1\Delta g^2+0.001\Delta g^3$	13	$H_M=597.24+56.61\Delta g+1.88\Delta g^2+0.02\Delta g^3$
2	$H_M=37.96e^{0.003}\Delta g$	14	$H_M=42.771+0.61\Delta g+0.032\Delta g^2+0.0003\Delta g^3$
3	$H_M=49.11+\frac{306.8}{\Delta g}+\frac{2408}{\Delta g^2}$	15	$H_M=41.56-\frac{21.36}{\Delta g}-\frac{5.22}{\Delta g^2}$
4	$H_M=39.75+0.17\Delta g+0.009\Delta g^2-0.00009\Delta g^3$	16	$H_M=41.41-\frac{305.5}{\Delta g}-\frac{2352}{\Delta g^2}$
5	$H_M=33.11+\frac{253.9}{\Delta g}-\frac{1655}{\Delta g^2}$	17	$H_M=30.04e^{0.00006}\Delta g^2$
6	$H_M=43.02+20.41\Delta g-1.6\Delta g^2+0.04\Delta g^3$	18	$H_M=43.12+0.101\Delta g+0.002\Delta g^2+0.000005\Delta g^3$
7	$H_M=100.69-22.42\Delta g+2.8\Delta g^2-0.1\Delta g^3$	19	$H_M=22.13+0.228\Delta g-0.0015\Delta g^2-0.000004\Delta g^3$
8	$H_M=200.44-24.04\Delta g+1.1\Delta g^2-0.02\Delta g^3$	20	$H_M=37.68+0.053\Delta g+0.0003\Delta g^2-0.000002\Delta g^3$
9	$H_M=39.46+0.79\Delta g+0.32\Delta g^2+0.03\Delta g^3$	21	$H_M=69.38-2.83\Delta g-0.024\Delta g^2-0.00007\Delta g^3$
10	$H_M=29.31-2.74\Delta g-0.25\Delta g^2-0.007\Delta g^3$	22	$H_M=40.20-0.13\Delta g-0.0005\Delta g^2-0.0000007\Delta g^3$
11	$H_M=51.80+0.22\Delta g-0.03\Delta g^2-0.0004\Delta g^3$	23	$H_M=3.30+0.057\Delta g+0.0003\Delta g^2$
12	$H_M=163.61-22.14\Delta g-0.73\Delta g^2-0.007\Delta g^3$	24	$H_M=\frac{89.0}{1+e^{0.03+0.00014\Delta g}}$
		25	$H_M=114.84-0.15\Delta g-0.049\Delta g^2-0.00047\Delta g^3$

和1:10万比例尺作地震剖面。采用了大量工业爆破的地震观测、点测深、天然地震（转换波）及对比折射等资料，编出了较详细的地壳结构图，一些构造单元划分得比以前更清晰，而且划分出过去不曾划分出的一些构造单元，如中俄罗斯隆起等。在上述大量地震工作的基础上再进行重力计算，确定东欧地区莫霍面深度变化达30—55km，地壳具有很复杂的断块结构，是一个多层结构的地壳。这样提供的资料才能够较好地用于划分构造单元，探讨莫霍面与基底面的关系，查明矿产分布与壳层结构、厚度，以及大断裂的关系[2]。

重力资料解释的深化在很大程度上有赖于其它方面的资料，特别是深地震测深资料和深部地质研究所建立的地壳模型。但是以两层结构简单模型为基础的任何计算方法得出的结果都是粗糙的。以往许多地区仅依靠少数测深点的资料算重力Δg值与莫霍面深度的相关关系，作为推算未知区的基本公式，其准确程度是甚低的，尤其是利用远距离处的地震测深资料作出

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

的解释式，在大范围内没有实际意义，这一点在苏联哈萨克斯坦的工作已经充分地予以证实。

B.И.戈尔德斯密特曾在哈萨克斯坦的深地震测深和反射法剖面的357个点上计算了莫氏面与Δg值的关系，证实了莫氏面深度与Δg值之间存在着不同的非线性关系[2]。图1就是其中25条测线上莫氏面深度与重力Δg值的迴归线。可以看出，它们基本上符合抛物线型关系，仅有一部分属于线性关系，而且这里有正关系，也有反关系，反关系甚至占36%以上。上述抛物性型曲线的解释式列于表1。显然，在不同剖面上相关关系不同，而这些剖面相距并不大。由此可以肯定，任何一种关系式均不能在较大的不同地段里使用，尤其不能使用同一个公式。两层结构的地壳模型忽略了各种密度不均匀性，这决定了它不可能在远离深地震测深剖面处去换算莫霍面深度。为此，需要有更反映实际地质情况的新的重力密度模型。

地壳重力模型的基本特征

80年代以来国内完成了数条地学大断面，为建立新的重力密度模型和提高重力解释水平提供了新的依据。尽管国内深地震剖面探测的平均公里数还远远低于发达国家的水平，可是，这些深部地质地球物理资料已经为我国地壳结构绘出了较为精确的轮廓，我们认为新一轮的重力资料解释工作可以依此为基础进行。以华南地区的台湾—黑水地学大断面的研究结果为例，可以明确以下内容作为新模型的依据：

1．地壳是多层结构的，而两层结构的模型与实际情况相距甚远。图2是华南地壳的分

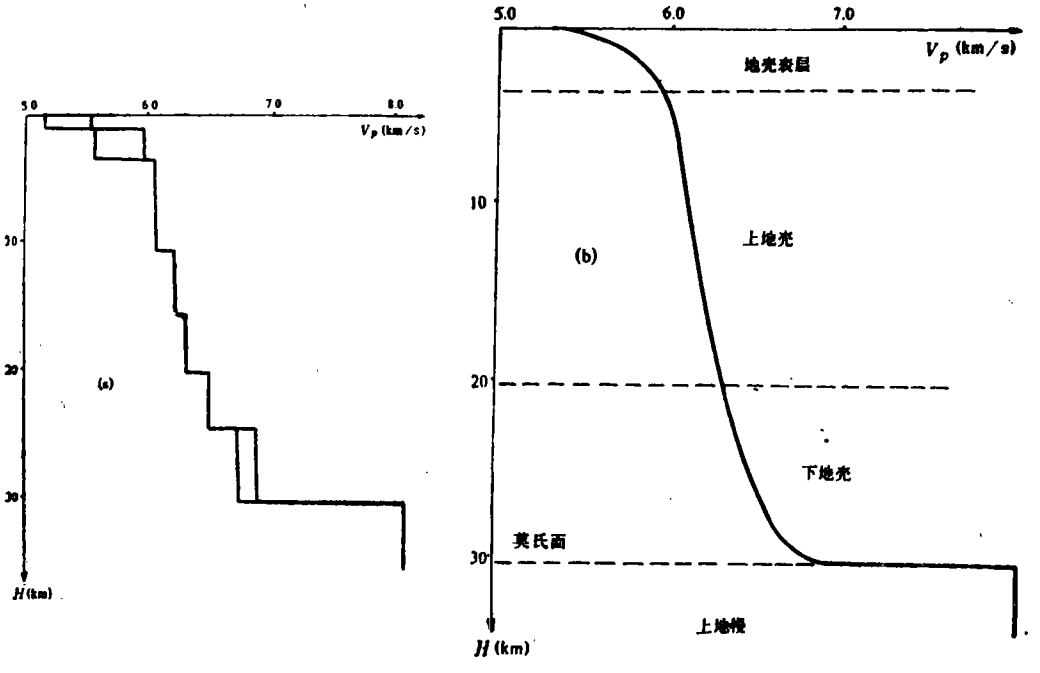

图 2　华南地区分层速度模型（a）和地壳速度模型（b）

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

层速度和地壳速度模型示意图。深地震测深资料所绘出的这一结果说明了客观上存在的地壳不均匀性和多层结构，实际上，可能还有更多的薄层未完全标出来。在一定条件下，弹性波在岩石中的传播速度与岩石的密度成正相关关系，由此可以由弹性波速度推算出岩石的密度特征。由图2的资料肯定表明了地壳密度的多层性。图3是综合各种地质、地球物理和地球化学资料后作出的华南东部（华南褶皱带）岩石圈柱状图。该模型清晰地将岩石圈分为五层：

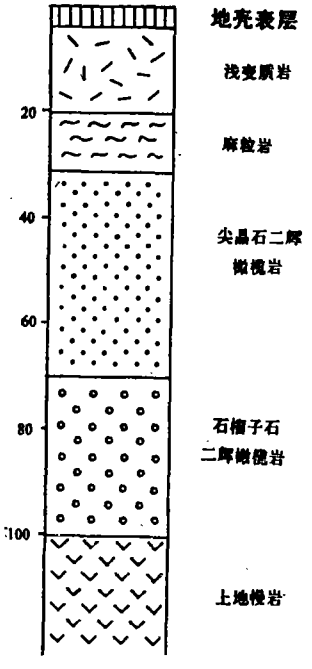

图 3 华南岩石圈分层模型

第一层为地壳表层，主要由碎屑沉积岩组成，厚约4km；

第二层为上地壳，厚度近17km，主要由中上元古界浅变质岩组成，构成褶皱基底；

第三层为下壳层，主要由成份近似花岗岩或闪长岩的麻粒岩组成，构成结晶基底，厚度约为10km；

第四层为尖晶石二辉橄榄岩，厚度约为40km；

第五层为石榴子石二辉橄榄岩，厚约30km。

上述五层中后两层应属上地幔；作为地壳的三层很显然有着密度（速度）的差异，当然不能混作一个层对待，何况实际上还可作出更加详细的划分。

2．岩石圈的各层主要是速度梯度层，自然，也是密度的梯度层。从图2的速度分层剖面可以看出，上壳层是速度相对稳定的层位，但也包含两个速度层，从深度3.6km到20.3km的16.7km厚度内，速度从5.98km/s线性增加到6.39km/s。该层为基底变质岩层，岩性以长英质为主。在此深度内岩层已相当密，速度随压力增大而增大的情况变得缓慢，同时，由于深度增大而温度增加又使速度降低，压力和温度两者效应的相互抵消，使速度变得相对稳定；而其它各层则有较明显速度变化。因此，整体上看，必定要重视速度（或密度）随深度的变化。通常所说的岩层密度仅只是平均密度，所谓的密度界面正是从这种平均密度的角度来划分的。因此，图2上的各层界面实际上是不同速度梯度层的界面，从密度值来看，界面上下层的密度值随深度变化大小不一样，然而在界面附近，密度值没有明显的跳跃（当然有例外），甚至常常是连续的。

3．莫霍面本身并非起伏很大的密度界面，在不大的范围内不可能有很大的变化，从台湾—黑水的地学断面上可以看到，深地震测深划分出的莫霍面近于稳定，大致深度在30km左右。莫霍面有间断，这可能是断裂造成的。

4．地壳具有横向的不均匀性，并形成不同构造的断块，各断块之间也存在明显的构造差异。从台湾—黑水地学剖面可看出，华南的地壳横向可划分成八个带：自西向东为：松潘甘孜、川中、川东、湘西、湘中、罗霄山、赣闽和海峡台湾等，各个断块地壳结构的差异主要不是表现在莫霍面深度上的不同，而是地壳各层的成份、厚度等方面的不同，以致表现在地球物理场上不同的特征，例如，各断块内岩层的弹性波传播速度、速度梯度、低速度层、高导层、密度热流等各方面均有差异。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

5．上地幔同样具有密度不均匀性，不能够认定一个固定的密度值来表示不均匀的上地幔。以华南为例，上地幔速度结构近似于一个三层结构：第一层速度约8.1km/s，深度达150km；第二层从150km到800—900km，速度从8.1km/s直线增大到11.2—11.4km/s；第三层速度增长缓慢。这就是说，上地幔在水平和垂直方向上均有变化。上地幔的密度不均匀性决定于岩石的矿物、岩类和化学成分，还有矿物的相与集合状态、晶格型式等因素及其变化，这些因素必定影响到地壳各层的特征。因此，可以肯定，重力 Δg 值的大小是由地壳、地幔各种不均匀性的整体作用的结果，不能认为仅仅与莫氏面起伏有关。

地壳结构的上述特征已为地学大断面进行的深地震测深、电磁测深和热流测量工作予以证实了。对地壳的认识还在不断深入，依据这些新资料所建立的重力模型无疑是更接近实际情况。在此基础上研制和完善各种计算方法与程序才能正确地发挥出计算技术的真正作用，从而改进和提高重力资料的解释水平。

对深化重力解释工作的意见

毫无疑问，提高和深化重力资料的解释工作不是一个单纯的提高观测资料精度与改进计算方法的问题。既然重力测量工作的主要任务是解决深部地质构造和矿产预测方面的问题，那么我们就不能离开其它方法所确定的岩石圈的基本资料。上节提到的五个方面的基本特征并不是完善的，然而，是当前至少应该考虑到的。为了提高重力资料的解释水平，必须不断地吸取地质学、构造地质学、矿床学及其它地球物理学科和地球化学的新成就，使用新资料和新概念，为重力的深化解释工作提供新的依据和佐证，只有在不断完善的初始重力模型的基础上才能使重力解释工作不断深入下去。

目前全国范围的1:400万和1:250万比例尺的重力布格异常图已编绘出来了，这些修订过的图件和原有的1:100万比例尺的全国重力图为整体地研究区域和深部构造创造了有利条件。在部分地区还完成了1:20万和1:50万的重力测量工作，这都是进行资源预测的良好基础。新一轮重力调查的主要任务应该是进行与资源预测有关的深部填图，需要彻底摆脱仅仅重视莫霍面起伏的观念，要求整体地分析从地壳上层直至上地幔各层的密度不均匀性及其相互关系。我们认为具体考虑下述几点意见可能是有益的：

1．重视研究地壳内各层密度的不均匀性。包括浅部岩体分布在内的壳层不均匀性与矿产资源有更为密切的关系，而且，壳内的已知资料相对多些，使解释工作有更多的依据。通常，地壳厚度的变化与地壳中玄武岩的厚度有密切关系。将玄武岩层的厚度与地壳厚度的比值称之为基性度，可以看到，基性度高的断块中近地表附近发育着较多的基性和超基性侵入体；在基性度低的地块里，自然是发育着较多的酸性侵入体。不同性质的侵入体的生成环境肯定不同，而且与更深部的因素有关，从而决定了不同的成矿专属性。这方面的差异在重力场中必然会有所反映。如果在其它地质地球物理资料的基础上，再利用重力资料，有可能作出更详细的划分。

为了较好地识别壳层内的密度不均匀性，应该尽可能地减少深部不均匀性的影响，但目前已有的重力校正方法还不够完善。苏联Ю.А.Зорин提出的去补偿法，试图进一步消除深

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

部不均匀性影响，以便更突出壳层内的不均匀性[3]。这种方法在苏联的许多地区里应用过，被认为是可行的。地矿部第二物探大队在处理北疆资料时也使用过该方法，与已知资料对比结果较好。我们认为该方法还应在已知资料较多的地区多作些对比工作。

2．不能忽视上地幔密度的不均匀性，为了整体地研究地壳结构，不能首先假定莫霍面以下是均匀的。研究上地幔的不均匀性是困难的，肯定需要深地震测深等方面的资料；重力工作是在掌握浅部较多已知资料的情况下才能研究深部。这似乎与上面提到的问题相矛盾，实际上也是如此，要整体地研究地壳结构，解释的不确定性也增大了。现实可行的办法只能是充分利用地学大断面的已知资料，在有条件的地区作详细的重力计算。重力解释工作已经脱离了解决单个形体引起的单个异常的状况，而在用于解决更复杂的问题的时候，需要研制更加有效的多层复杂组合体模型的正反演方法。近几年计算技术有了很大发展，提供了有利的条件。逐步改进各种重力改正的计算方法，提高定量计算的自动化程度，更充分地使用先验的地质信息是个长期的工作，随着资料的逐步积累，才会达到正确解释的目的。

3．利用重力资料识别和划分断裂构造应该充分考虑地学断面已经提供的新资料。近些年地质学对地壳断裂构造的认识已取得了突破性的进展，建立了新的断裂构造模式。在地学断面上反映出的韧性剪切断裂带具有特殊的意义，大的韧性剪切带在深部产状平缓，只是浅部具有较陡的产状，通常还表现为摩棱岩带，常常是多期活动和不同类型断裂叠加复合的断裂带，总体上是一种线性带状分布的强应变带，而且与矿产有重要关系。它们在重力图上有一定反映。那些有一定宽度和延伸的重力梯度带往往与此类断裂带有关，但有时岩石发生强烈塑性形变，虽使断裂带两侧岩石、岩层发生不同大小的位移错动形变，却又无明显的不连续面，这样在重力图上又往往表现不出较明显的特征，因此，必须结合深地震测深等方面的资料进行分析。

毫无疑问，重力调查作为构造研究和矿产预测的基础资料有着积极作用。在当前已经具有一定数量深地震测深资料和其它深部资料的基础上，重力解释水平将会有更快的提高，发挥更大的作用。

参 考 文 献

〔1〕 姜枚、欧阳又康、黎都：变密度组合体重力模型及其应用。物探与化探，1986，No. 2。

〔2〕 В. И. 戈尔德斯密特：区域地球物理调查及其定量解释方法，地质出版社，1984。

〔3〕 Ю. А. Зорин, Б. М. Письменный, М. Р. Новосельва: Декомпенсационные аномалии силы тяжести, Геол. и геофиз., 1985, No. 8.

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

THE SIGNIFICANCE OF GEOSCIENTIFIC GLOBAL TRANSECT IN THE INTERPRETATION OF REGIONAL GRAVITY DATA

Jiang Mei

(Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences)

Yuan Xuecheng

(Chinese Academy of Geoexploration)

Abstract

For the purpose of deepening the interpretation of regional gravity data it is necessary to utilize data on the crust and the deeper part provided by deep seismic sounding. Several geoscientific global transects completed in China in the past few years have furnished such possibility. We hold that only on the basis of the gravity density model which is designed according to these transects and agrees with the reality can effective interpretation result be obtained. The conversion of data obtained at a few deep seismic sounding stations into gravity Moho is extremely unreliable, and the metallogenic prognosis made on such a basis will not be correct. The new gravity model should include multi-layered structure of the crust, faulted block, varying density character, density ununiformity and not great undulation of Moho as well as the possibility that fractures are gentle shear zones at depth. The two-layer structural model neglects these basic characteristics and therefore its interpretation has no practical significance.

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net