

利用重力异常研究亚东— 格尔木地壳构造

INTERPRETATION OF THE CRUSTAL STRUCTURE IN YADONG—GOLMUD AREA USING GRAVITY ANOMALIES

孟令顺¹⁾ 高 锐²⁾ 周富祥¹⁾ 李 莉²⁾ 王华啸²⁾

内容提要 作为亚东—格尔木地学断面研究项目的一个重要组成部分, 于1987年完成了亚东—格尔木及东拉—尼木的重力补点测量(1:50万)工作, 共布设了226个测点, 全长1670km。在这些测量数据的基础上, 计算了研究域内的莫霍深度和均衡异常, 分析了地壳和上地幔的均衡信息。利用布格异常与测点高程的相关分析, 划分出了9个地体和13个较大断裂, 给出了高原隆起及板块碰撞的模式。我们认为高原隆起的直接作用来自板块的碰撞, 由冰川消融引起的均衡回升是非常微弱和不重要的, 要把这种作用与构造运动引起的快速隆升区分开来是相当困难的。

早在19世纪中叶, 普拉特与艾礼根据喜马拉雅南坡的大地测量结果创立了地壳均衡假说。至此以后, 青藏高原的重力资料一直是研究探索地壳构造、均衡作用及隆升机制的重要依据。因此, 重力测量在地学理论研究中占有重要地位。

本次工作共完成了格尔木—拉萨、尼木—东拉二条重力剖面的野外测量。特别是尼木—东拉剖面, 垂直雅鲁藏布江构造走向, 为进一步研究雅鲁藏布江构造带的性质, 提供了可靠的重力数据。

一、野外工作, 资料整理及精度评价

格尔木—亚东重力剖面共布设202个测点, 除了本次工作对原测点分布较稀的格尔木—拉萨段按1:50万比例尺补测125个测点外, 拉萨—江孜段40个点为1982年中法青藏高原地质研究队实测; 其余各点都是收集国家测绘局105队的工作成果。测点精度由分布在纳赤台、沱沱河、温泉、黑河及羊八井等5个国家Ⅱ级重力基点控制。尼木—东拉段由贡嘎机场Ⅰ级重力基点及由它引测的支基点Ⅰ_支共同控制。重力工作路线及基、测点分布见图1。

本次工作利用两台国产大测程、高精度重力仪(ZSM-6型及4型各一台)。测点为自由网分布, 单次观测。全区共检查33个点, 占总观测点22%, 经计算总观测精度达到了 $\pm 0.317 \cdot 10^{-5} \text{m/s}^2$ 。在补测的125个测点中, 有76个点是与国测嘎拉Ⅰ等水准点重合的, 这些点高程误差最大不超过0.5m; 其余各点布设在1:10万地形图的典型地物上, 其中

1) 长春地质学院应用地球物理系。
2) 中国地质科学院岩石圈研究中心。

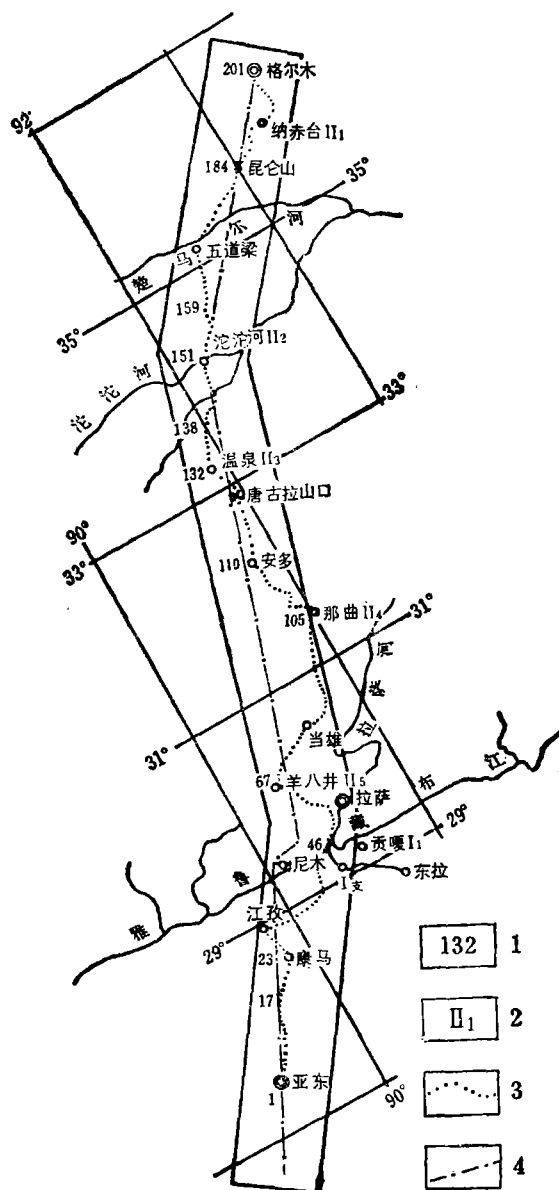


图 1 工作路线与基、测点分布图

Fig. 1 Map of the working route and the distribution of base points and observation points

1—测点号；2—基点号；3—测点位置；4—地质解释剖面

有32个点是在布设在标有高程的典型地物上，这些点的高程误差不超过2m，点位误差不超过10m。余下17个点只能利用等高线内插，按1/3等高距计算，高程误差也能达到6m，点位误差不超过50m。尼木—东拉段的25个测点全部用1:5万地形图定点，点位与高程误差分别不超过50m与6m。在评价布格改正精度时，选用最低指标即高程误差为6m，点位误差为50m。

资料整理依据国内区域重力测量手则为准。采用波茨坦系统,地形改正到166.7km,均衡改正到全球,其中内环带利用普拉特均衡理论把地形与均衡改正分开进行,外环带(即海福特分环)二项改正合并,数据从海斯卡宁($T=30\text{km}$)地形均衡补偿图上内插得出。正常场改正采用1930年卡西尼国际重力公式,采用1956年北京坐标系,1954年黄海高程系统。最后布格异常总精度达到了 $\pm 1.25 \times 10^{-5}\text{m/s}^2$,比原设计精度提高 $\pm 0.25 \times 10^{-5}\text{m/s}^2$ 。各项精度评价见表格1。

表 1 各项精度评价表

Table 1 Precision evaluation of every item

均方差 $\cdot 10^{-5}\text{m/s}^2$	布格异常总均方差	测点观测总均方差	布格改正均方差	地形改正均方差	正常改正均方差
原设计	1.50	0.40	1.20	0.60	0.20
实际达到	1.25	0.317	1.18	0.25	0.037

二、重力异常分析

1. 布格异常

图2^[1]为走廊域 $1^\circ \times 1^\circ$ 布格重力异常。从中可知,该区经过喜马拉雅与昆仑二条巨大重力梯度带,在构造上它们是青藏高原南北边界大断裂的显示。重力场表现为两侧高、中间低。数值从北端的 $-400 \times 10^{-5}\text{m/s}^2$ 逐渐降低到高原中部的 $-550 \times 10^{-5}\text{m/s}^2$ 。往南过雅鲁藏布江又抬升到亚东一带的 $-270 \times 10^{-5}\text{m/s}^2$ 。这种区域性异常起伏形态反映了莫霍面

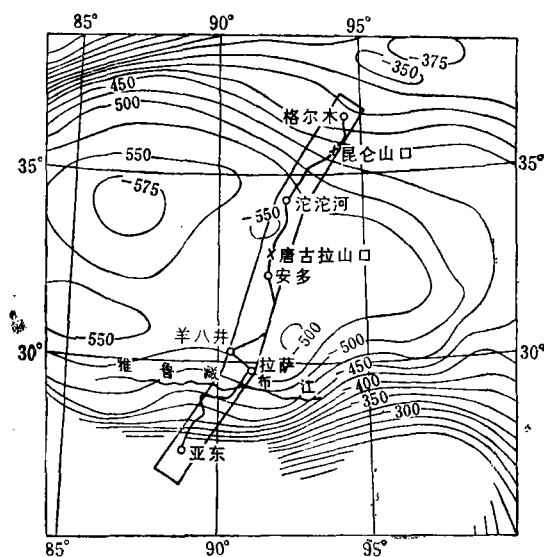


图 2 亚东—格尔木走廊域(折框区) $1^\circ \times 1^\circ$ 布格异常
异常值单位: $\times 10^{-5}\text{m/s}^2$

Fig. 2 The $1^\circ \times 1^\circ$ Bouguer anomalies of corridor domain(frame region) along Yaden—Golmud

的总体变化,即两头浅、中间较深。图3示格尔木—亚东剖面重力异常,它是由公路铺设的201个测点异常值投影到解释剖面(见图1)后得到的,图中横坐标的点是经等间距内插后的,即本文讨论所用的点号。

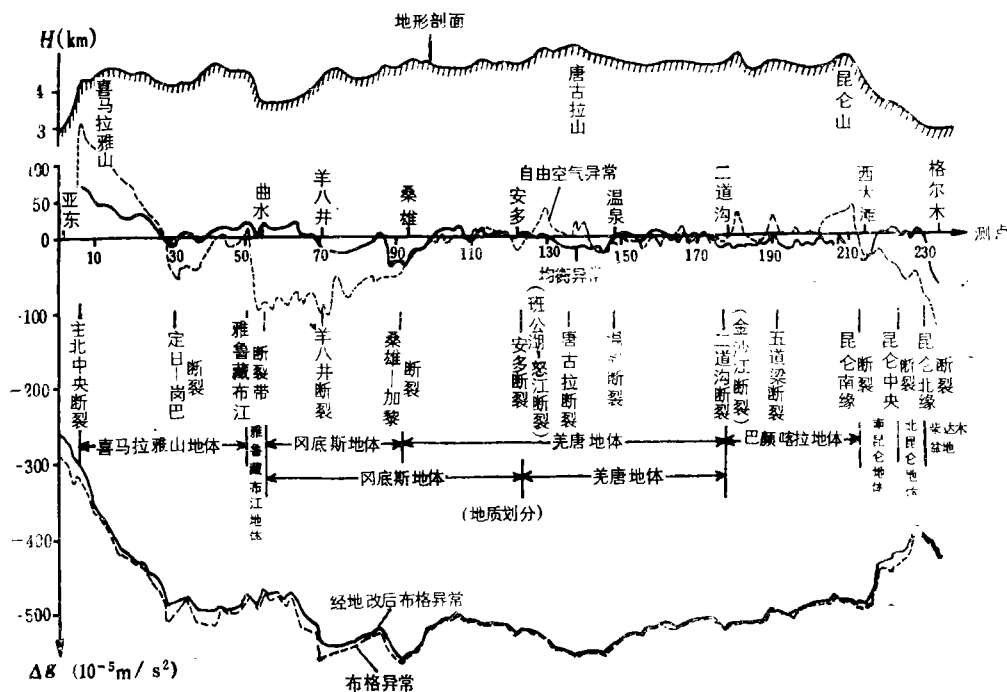


图3 亚东—格尔木剖面重力异常与地体划分

Fig. 3 The gravity anomalies and terrance division along the profile of Yadong—Golmud

从图3经地形改正后的布格异常可知,全区平均地改值为 $5 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$,个别地形起伏较大的山区,最大可达 $35 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ (5号点附近)。高原内部地形相对平缓,改正值亦较小且平缓,一般保持在 $(2-5) \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 左右。另外从图3中的布格异常形态可看出,工区内断裂发育,从南往北较大的断裂依次有:①主北中央断裂(4—7点);②定日—岗巴断裂(30点附近);以上两个断裂以较大倾角、向北倾斜且分别位于喜马拉雅的两侧;③雅鲁藏布江断裂(48—55点),由于该段工作路线与构造走向平行,所以剖面异常反映不明显,详细讨论见第五部分;④羊八井(65—71点)及⑤桑雄—加黎断裂(88—93点),前者表现近似直立略向北倾,后者以较大角度向南倾斜,二者异常形态都存在很大落差,分别为 $120 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 和 $80 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$,说明断距较大,如利用 $\Delta H = \frac{24}{\sigma} \Delta g_{\max}$ 公式进行

概略计算,当密度差 σ 取0.4时,得出④号断裂的断距可达7.2km,⑤号为4.8km;⑥安多断裂(121—122点),它对应于班公湖—怒江深大断裂,由于工作路线沿构造走向分布,所以异常反映不明显;⑦唐古拉断裂(135点),几乎近似直立,规模较小;⑧二道沟断裂(175—179点),又称金沙江断裂,向北倾但倾角不大,异常落差达 $30 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$,用上述公式估算断距近2km;⑩五道梁断裂(190点),规模较小,略向南倾;⑪昆仑南缘断裂

(214点), 异常落差近 $60 \cdot 10^{-5} \text{m/s}^2$, 断距可达3.6km, 向南倾; ⑫昆仑中央断裂(纳赤台北222点附近), 向北倾斜; ⑬昆仑北缘断裂, 落差较大, 断层面面向南倾斜。

综观以上断裂, 大致以唐古拉山为界, 以南多数向北倾斜, 以北多数向南倾斜, 这在大地构造上为青藏高原受南北挤压、俯冲的模式提供了一定的依据

2. 均衡异常

地壳均衡理论是基于流体静力平衡原理的一种假说。均衡异常对地壳运动和地壳构造的研究都有很大的意义, 有时还成为解释许多地质现象的基本依据。本次工作利用普拉特均衡假说(补偿深度取113.7km, 地表至补偿面的平均密度取 2.77g/cm^3)计算了剖面均衡异常, 结果见图3。从中可知, 青藏高原除南部喜马拉雅地区(4—15点)、北部西大滩(215点)及格尔木地区伴有正、负均衡异常外, 其它地区异常最大不超过 $\pm 20 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 。这说明高原本身是均衡的, 局部地区出现的小异常是由沉积厚度及岩体本身的密度差异造成的。西大滩地区出现的 $-34.8 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 负均衡异常, 可解释为由沉积加厚造成质量亏损引起的。据地震资料证实, 该区沉积厚达2km, 如沉积密度比均衡改正密度小 0.35g/cm^3 , 用无限大平板公式计算, 便可得到 $-29 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 的异常, 加上这一改正数, 该区负均衡异常便可消失。喜马拉雅地区存在 $69.3 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 的正均衡异常, 说明该处地壳下面区域山根补偿不足, 有剩余质量存在。

有关喜马拉雅地壳下面剩余质量的存在, 许多资料都有论述。如施克拉基^[2](1967)根据卫星资料构制的密度异常表明, 在印度次大陆及中亚等地均有大型低密度中心存在, 但在喜马拉雅的低密度中心上面却叠加有一个高密度区。他认为这是由于地幔物质向地壳移动产生的。有的学者认为^[3], 地壳均衡理论不能解释喜马拉雅的构造特点, 根据重力资料该区处于均衡补偿不足状态, 即地壳厚度还未达到均衡补偿所需要的厚度。按均衡理论, 在这种情况下地壳运动本应下沉, 然而正相反, 目前喜马拉雅正以大致11—50mm/a的速度上升。本文作者认为, 根据均衡理论, 地球上某一不平衡地区都存在由不平衡向均衡过渡的几个阶段, 即①由于某种外力作用, 使地壳不断上升, 均衡补偿不足状态逐渐加强的同时也伴随正均衡异常的不断加大; ②外力作用停止或者上升力与地壳本身重量所形成的向下压力相等时, 地壳上升运动停止; ③上升停止, 但由于流体静力平衡作用使地壳开始下降, 山根逐渐增厚, 此过程即由不平衡过渡阶段, 山根不断增加, 地壳不断下降直到均衡异常等于零为止。根据以上分析, 可以认为喜马拉雅目前正处于第一阶段, 在这个阶段, 正均衡异常区均衡调整力应使地壳下降, 山根也会增厚, 但该区板块碰撞的构造运动仍在不断进行, 构造力大于调整力, 所以总趋势表现为地壳上升, 同时造成地下质量过剩出现正均衡异常。

对柴达木盆地边缘出现的最大可达 $-64.9 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 的均衡异常, 可理解为类似海沟情况。由于挤压作用使昆仑褶皱带沿高原北部边界大断层发生仰冲。仰冲过程的不断进行, 致使盆地块体逐渐下降, 沉积加厚(目前已达4km)并插入地幔层, 造成该区质量亏损, 出现负均衡异常。根据均衡理论, 该区受均衡调整力作用应上升, 但由于构造力大于调整力, 挤压与调整的上升运动不占主导地位, 所以目前仍下降形式为主。

3. 自由空气异常

该异常可为大地构造、板块构造与运动、地下物质分布等研究提供重要依据, 还可把

它看作是补偿深度为零的均衡异常。它的主要缺点是唯地形变化,并受浅部密度不均匀体影响较大。图3给出了工区内的自由空气异常。从中看出,它随地形同步变化的特点,可变相看作地形剖面图。此外在整体反映出工区内的均衡信息。如喜马拉雅地区正异常与高程变化的比例远远大于其它地区,说明存在正均衡异常。柴达木盆地的边缘的负异常也是如此。

工区内的自由空气异常还为断裂的划分提供了依据。图3中清楚表明,异常变化较大的转折点处,即为断裂位置。这一趋势在均衡异常上也有一定的表现。此外该异常还与大地构造分区有一定联系。例如喜马拉雅构造区,异常表现为正的高背景值,冈底斯为负低背景值;而藏北与羌塘是以低缓背景值出现的。总之,不同构造区,自由空气异常的变化特点也是有区别的。

三、利用布格异常与高程的相关统计进行地体的划分

全球布格重力异常与高程间存在一种负相关的关系,这种关系的存在说明大地水准面以上多余物质将由地球内部相对于某一地球模型的质量亏损来补偿(符合艾礼均衡补偿模式),由于这种亏损与地形的起伏(即高程)是反相关的,所以导致重力异常与高程呈负相关关系。负相关越紧密,说明补偿越完善。

此外,由于不同地质构造区的补偿特点(即地壳乃至上地幔的物质成分、密度结构

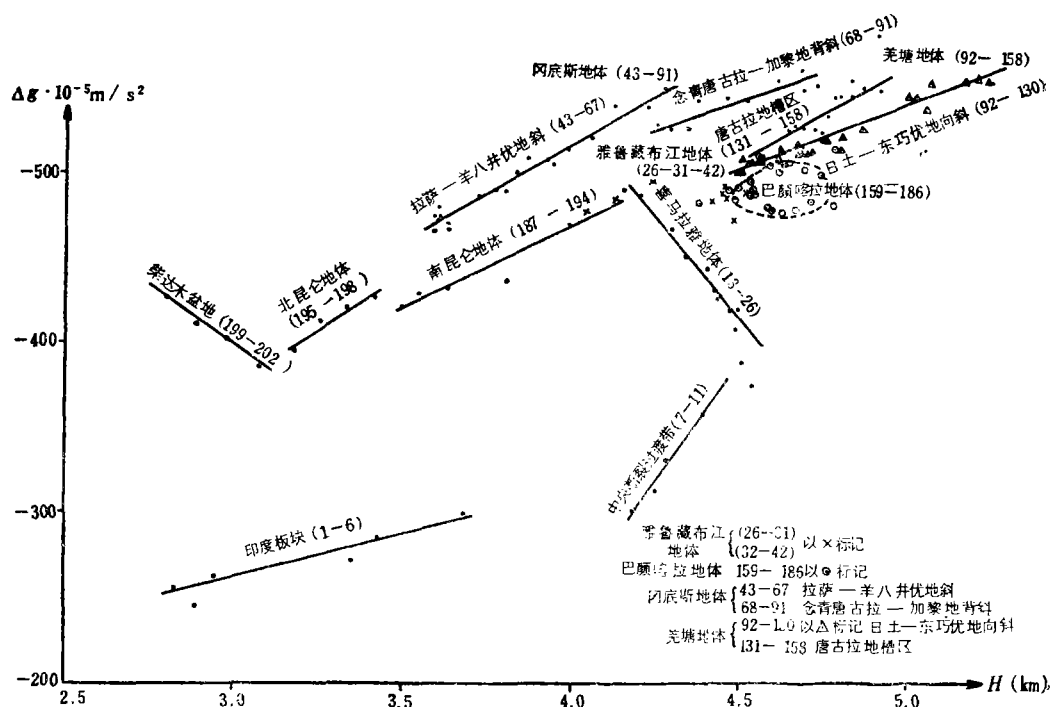


图4 重力布格异常与高程的相关统计

Fig. 4 Correlation statistical chart between the Bouguer anomalies and heights

表 2 相关统计法划分的地体
Table 2 Dividing terrane with correlative statistics method

点号与地名	地 体 名 称	地体边界断层	备 注
1—6 亚东—帕里	印度板块	-----	① 7—12点为中央断裂过渡带。 ② 雅鲁藏布江断裂在统计点上二小片(26—31, 32—42), 说明经过二次构造运动。 ③ 冈底斯地体又可细分为: 43—67 间称拉萨—羊八井优地斜, 68—91 称念青唐古拉—加黎地背斜, 中间为羊八井断裂。 ④ 羌塘地体又可细分为: 92—130 之间为日土—东巧 优地向斜, 131—158 为唐古拉地槽区。
13—26 堆那—康马北	喜马拉雅地体 (HT)	主北中央断裂	
26—42 康马北—雅鲁藏布江	雅鲁藏布江地体 (YT)	定日—洛扎断裂	
43—91 曲水—桑雄	冈底斯地体 (GT)	雅鲁藏布江断裂	
92—158 桑雄—二道沟兵站	羌塘地体 (QT)	申扎—桑雄—加黎断裂	
159—186 二道沟兵站—昆仑山口	巴颜喀拉地体 (BT)	西金乌拉—金沙江断裂	
187—194 昆仑山口—昆仑桥	南昆仑地体 (SKT)	昆仑南缘断裂	
195—198 昆仑桥—水泥厂	北昆仑地体 (NKT)	昆仑中央断裂	
199—201 水泥厂—格尔木	柴达木盆地	昆仑北缘断裂	

等)存在着差异,所以它们之间的统计曲线也不同。显然,如果构成地形物质的密度越小,则相应补偿的亏损质量也越少,导致重力异常与高程呈弱相关。所以不同的相关特征反映出不同的地壳密度结构^[4]。

地体作为一个独立的构造单元有着自己的形成历史。在地层、岩性及物质密度分布上它们各有不同的特点,而且若干相邻地体在以上几个方面差别甚大,并在横向上具有明显的不连续性。各地体间均为深大断裂接触。由于重力异常与高程的相关统计对不同的构造单元及物质密度分布有不同的反映,而不同地体间在这两方面也有不同的特点,所以利用这种统计相关特征,能给地体的划分提供一定依据。

图4为本工区201个测点的布格异常与高程的相关统计图。图中表明,不同地区表现出不同的相关关系,而且均衡区为负相关,不均衡区为正相关。根据这一关系,可将工区内由南向北划分出如下地体,见表2。表中各地体的划分,基本与地质情况相符合,特别在高原南北两侧的构造活动带上,几乎完全一致。这说明活动构造带上,均衡调整还在进行,大地水准面以上的物质在地下还没有完全补偿掉。这种相关统计对活动构造带及其周围划分地体更为适合。而在高原内部个别地体界限用此方法划分与地质上所确定的界限有些差别,如羌塘与冈底斯地体间界限,相关统计结果反映的界限应在申扎—桑雄—加黎断

裂带上,而地质上则确定为班公湖—怒江断裂带上。图3中部示为统计关系划分的地体及界限与地质上划分的比较。

四、重力异常与地壳构造

青藏高原由于构造运动的复杂性、特殊性,使其在地球表面上显示出一个特殊的地质构造单元,而地下构造也是如此。近20年来,许多科学工作者围绕青藏高原用各种不同的方法、手段对它进行探测研究。在地壳构造划分上,主要以人工地震与大地电磁测深为主。根据前人的工作成果^[5-7]对本区的沉积盖层,低速带及过渡带进行划分(见图5)。图中各层 V_p 值由地震结果直接给出、密度 σ 值采用伍拉德(1975) P 波速度与密度转换图表而得。以下各层在地表引起的重力异常利用Parkcr-Oldenburg^[8,9]法直接正演计算,结果见图5中的上部曲线(1')—(4')。经二阶七点圆滑后的布格异常减掉以上各层引起异常的剩余部分则认为是由莫霍面引起的异常,即曲线b,再利用Parker-Oldenburg反演公式对b异常进行反演,便得到莫霍面深度——界面(5)。反演时,莫霍面平均深度取65km,相应异常取 $-350 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 。图中a线是莫霍面正演异常;c是经二阶七点圆滑后的布格异常;d是(1)——(5)界面的正演异常之和。从a、c及d曲线的拟合情况,可看出对地壳构造、莫霍面的计算,整体上是较为理想的。

青藏高原莫霍面深度的计算,前人已作过一些工作。综合高原内部现有的部分资料可

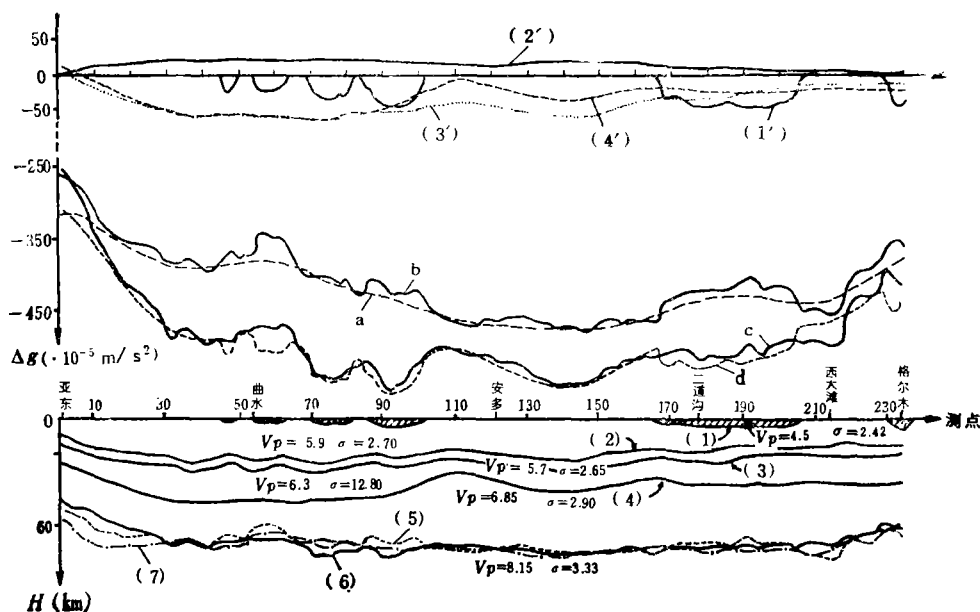


图5 地下界面与重力异常

Fig. 5 Underground boundary surfaces and gravity anomalies

(1)及(1')是沉积盖层及其正演异常;(2)及(2')是低速层上界面及其正演异常;(3)及(3')是低速层

下界面及其正演异常;(4)及(4')是上、下地壳分界面及其正演异常

注:图中速度 V_p 单位为km/s

看出莫霍面深度与布格异常间存在一定的相关关系。它们之间的相关统计公式^[10]为:

$$H_M = 16.17306 - 0.10501g_B \text{ (km)} \quad (1)$$

利用公式(1)对经圆滑的布格异常C进行计算,结果见曲线(6)。

最后用伍拉德(1969)以艾礼均衡模式为依据的地壳测深公式:

$$H_M = 33.2 + 8.5H \text{ (km)} \quad (2)$$

计算了该区均衡时的莫霍面深度。式中H为测点海拔高程。结果见曲线(7)。

用以上三公式的计算结果,在青藏高原中部吻合很好,说明莫霍面计算的可靠性,同时也反映该区处于均衡状态。在南北两侧出现偏差,曲线(6)与(7)的偏差为不均衡的显示,表现出喜马拉雅地区的地壳厚度比均衡时小15—20km。而柴达木盆地下面的偏差却不明显,说明该区负均衡异常主要是沉积加厚造成的,与山根的形态关系不大。

另外,根据前人资料^[5,6]与本次计算成果相对比,看出统计公式得出的深度总体上是准确的。而依据地震与大地电磁测深勾划的地壳构造原则上不应有大的出入,所以用剥皮法得到的莫霍面异常反演出的莫霍面深度也应是准确的。造成曲线(5)、(6)在喜马拉雅和昆仑山地区出现的偏差,只能归结为异常地幔物质引起的。因在进行地壳内部构造划分时,没有考虑这一层物质的影响。有关青藏高原存在异常地幔(宜称壳—幔过渡带)的讨论,很多文章^[6,11,12]都有介绍。这里认为,喜马拉雅与昆仑山地区目前存在这一层物质,是由于该处特殊构造运动的结果:板块碰撞、挤压,使地下物质过剩,密度逐渐加大,形成一特殊的异常质量,其密度值介于下地壳与上地幔平均密度之间。如在这两处加上一定厚度的异常地幔物质,曲线(5),(6)的拟合情况就会更好。

全区莫霍面深度如以(6)线为准,可知,中间深,两头浅。最深处位于羊八井、桑雄一带,以及唐古拉山附近,达75km。最浅处位于亚东只有47km。全区平均深度为70km左右。喜马拉雅下面莫霍面呈一个从南向北大致以20°下伏倾角逐渐加深的大梯度带。而在工区西部的聂拉木—定日一带莫霍面深度的变化趋势是一致的,但下伏倾角只有8°^[10]。焦荣昌^[13]计算了珠穆朗玛峰三号营地—定日—雅鲁藏布江剖面,得出莫霍面下伏倾角为11°。莫霍面下伏倾角从西往东逐渐加大,设想主要原因是在海底扩张强大挤压力的推动下,印度板块从南、而太平洋板块从东向亚洲板块方向移动、碰撞、俯冲。由于板块运动碰撞过程中,各处阻力不同,造成下伏倾角也不同。倾角小的阻力小,反之阻力大。这样必然导致在前进过程中有快有慢、有错动和挤压甚至抬升,造就出现今青藏高原的特殊地壳结构。

五、雅鲁藏布江断裂的讨论

在研究青藏高原构造、板块界限等问题上,雅鲁藏布江深大断裂一直处于举足轻重的地位。特别在该断裂的接触关系、断距以及是否为冈瓦纳古陆与欧亚板块分界限等问题上,更是众说纷纭,争论不休。

以往重力测量多沿中尼公路进行,而这一段公路又与雅鲁藏布江构造的走向近似平行,所以所获资料对研究该断裂的性质、接触关系很不理想。为进一步探讨以上问题,本次工作沿东拉—尼木(横穿雅鲁藏布江与曲水大山)间的崎岖山路开展了1:50万重力测

量,共布设25个测点,所得结果见图6。图中看出,地形改正值在南北两侧较小、雅鲁藏布江段较大,最大可达 $43 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 。地形改正前后布格异常总趋势都表现出二个形态类似的台阶异常和较大密度差。以此推断,雅鲁藏布江断裂经历过二次大的构造运动并导致二个断裂的存在,从而构成一个较宽的断裂带。这一推断在图4中也得到进一步证实,图4中看出雅鲁藏布江断裂带上面的统计点呈两小片分布且相距较远,同样说明以上观点。由于该部位经过长时间的均衡调整,基本达到了平衡状态,所以均衡异常很小,保持在 $0-15 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 范围内变化。

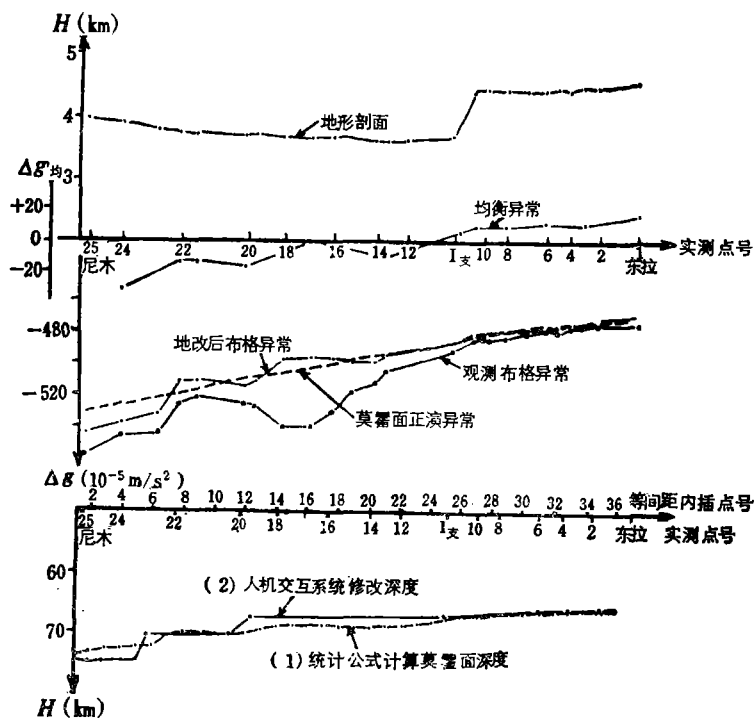


图6 尼木—东拉重力异常与莫霍面深度

Fig. 6 Gravity anomalies and Moho depth along the line of Nimu—Dunzha

利用公式(1)对经地改的布格异常进行计算,结果见图6曲线(1),再以(1)线结果做为人机交互系统的初始模式,利用人机对话形式,在计算机上反复修改与计算,最后得出雅鲁藏布江断裂带的模式曲线(2)。(2)线给出了雅鲁藏布江断裂带的2个断层,断距分别为5和3km,断层面向北倾斜,但倾角不大。所以雅鲁藏布江断裂带总断距近8km。莫霍面深度在尼木段为75km,东拉段为65km,平均70km左右。

六、青藏高原隆起机制

1. 板块碰撞与高原隆起

喜马拉雅运动是地质历史上最近时期的一次强烈地壳运动。它不但造就了喜马拉雅山和青藏高原,而且亚洲东部广大地区都受到了它的影响。许多证据表明,该运动还没有停止,青藏高原的强烈隆起主要发生在第四纪^[14]。它经历了喜马拉雅运动的俯冲期、碰撞期及上升期^[15]。从第四纪以来,积累上升达3—4km^[16]。高原抬升隆起的直接动力为印度板块的北移,高原北缘古亚洲板块向南的阻力属派生应力,但对高原的形成却是必不可少的。当然自中生代以来,一直受到世界规模的太平洋板块自东而西的应力作用,在康滇一线强烈向西挤压,这种高原形成的辅助动力也是不可低估的。

2. 青藏高原隆起机制的不同观点

有关青藏高原隆起和喜马拉雅造山形成机制除上面观点外,还有一种截然不同的看法,即认为是由深部构造过程的垂直运动造成的。奎里夏希^[2]根据印度提供的重力资料认为:喜马拉雅中段的大型正均衡异常和地壳的加厚是由于地壳下面玄武岩层的加厚引起的;苏联B. B. 别洛乌索夫认为^[17],喜马拉雅和中亚山系的形成主要与这一地区深部软流圈的形成有关。总之,有关该区地壳运动的机制众说纷纭,但随着资料的丰富及研究程度的加深,板块运动的机制越来越占主导地位。

3. 青藏高原的隆起与冰川均衡作用

欧洲、北美大陆冰盖地区冰川引起的地壳均衡运动是众所周知的。现在的斯堪的纳维亚陆地表面大约以1cm/a的速度上升。原因是由于最近的冰期期间,该地承载厚的冰帽(大约2.5km厚)已经沉入地幔0.6—0.7km。自从冰川融化以来(大约1万年以前),由于流体要达到静力平衡,使该地开始上升。此外,阿尔卑斯山和天山均有冰川消失后地表上升引起断裂的现象。

根据有关资料^[18]阐述,整个青藏高原各地经过冰期次数是不同的。最多的经过4次,如喜马拉雅的某些高峰,大多数山区经过3次。西藏东南部地区只经过2次。就高原整体而言,还没有证据说明受过整个冰帽的覆盖。随着各次冰期冰川的融化,覆盖在不同地区的巨大冰盖负载也逐渐减小,同样道理,也将促使青藏高原开始上升。但是,对于由构造力而促使青藏高原快速隆起来说,这种冰川融化引起的均衡上升运动是非常微弱,而是从属的。所以要把冰川均衡运动从总的地壳运动中区分出来是非常困难的。

根据重力异常的分析,由于冰川均衡作用引起的上升区应存在一定量级的负均衡异常(后期除外)。原因是由于冰期时代向边缘移动的地壳下物质没有来得及移动回来(由于地幔物质的高粘度),所以在中心下面物质亏损,出现负的均衡异常。区内除柴达木盆地南部出现一点小的负均衡异常外,其它均无所见。所以得出冰川均衡作用引起的上升如在本区内存在也是很微弱的,并属后期阶段。

七、结 论

1. 青藏高原内部处于均衡平衡状态,喜马拉雅地区有正均衡异常存在,柴达木盆地存在负均衡异常。

2. 区内莫霍面深度总趋势为两头浅,中间深。平均为70km,最深处位于羊八井和桑雄南以及唐古拉山附近,可达75km;亚东最浅只有47km。莫霍面在喜马拉雅山下呈现出

从一个南向北大致以 20° 下伏倾角逐渐加深的大梯度带。

3. 雅鲁藏布江断裂经过二次大的构造运动, 相应形成二个较大断层, 构成一个很宽的缝合带。总断距8km, 断层面近似直立略向北倾。

4. 根据布格异常的形态以及它与高程的相关统计, 可在断面内划分出9个地体、13条较大断裂。

5. 推断在目前构造运动较为强烈的喜马拉雅山与昆仑山下面应存在异常地幔。它是由于板块碰撞、挤压使地下物质温度升高, 其密度值介于上地幔与下地壳密度之间的一种高温变质物质。

6. 高原隆起的主要因素为板块碰撞, 冰川融化引起的均衡上升运动是非常微弱并居从属地位。所以要把冰川均衡引起的上升运动从构造运动引起的快速隆起中分辨出来是非常困难的。

主 要 参 考 文 献

- [1] 殷秀华、史宏志等, 1980, 中国大陆区域重力场的基本特征。地震地质, 第2卷, 第4期。
- [2] Qureshy, M. N., 1971, Geophysical Investigations in the Himalaya. Himalaya Geology. Vol. 1.
- [3] Warsi, W. E. X., 1977, Gravity anomalies and plate tectonic in the Himalaya. Himalaya Sciences de La, Terre.
- [4] 彭聪、闵志, 1985, 重力异常与高程关系的统计分析。物探与化探, 第9卷, 第5期。
- [5] 卢德源、陈纪平等, 1984, 青藏高原北部沱沱河—格尔木地区地壳和上地幔的结构模型和速度分布特征。喜马拉雅地质科学国际讨论会论文摘要。
- [6] 滕吉文、熊绍柏等, 1983, 喜马拉雅北部地区的地壳结构模型和速度分布特征。地球物理学报, 第26卷, 第4期。
- [7] Hirn, H. et al., 1984, Crust structure and variability of the Himalaya border of Tibet. Reprinted from Nature, Vol. 307, No. 5946.
- [8] Oldenburg, D. W., 1974, The inversion and interpretation of gravity anomalies. Geophysics, Vol. 39, No. 4.
- [9] Parker, R. L., 1973, The rapid calculation of potential anomalies. Geophys. J. R. Astr. Soc., Vol. 31.
- [10] 孟令顺等, 1984, 西藏羊八井—聂拉木地区重力工作及其初步解释。石油物探, 第23卷, 第2期。
- [11] 崔作舟, 1987, 青藏高原深部地质特征及其形成机制探讨。中国地质科学院院报, 第17号。
- [12] 熊绍柏等, 1985, 青藏高原地区的地壳厚度和莫霍面的起伏。地球物理学报, 第28卷, 增刊1。
- [13] 焦荣昌, 1982, 喜马拉雅—雅鲁藏布江中段地球物理场特征及其初步分析。青藏高原地质文集(1), 地质出版社。
- [14] 周云生、张旗等, 1982, 西藏白垩纪以来岩浆活动和变质作用的迁移与演化。青藏高原地质论文专辑, 地质出版社。
- [15] 常承法、潘裕生等, 1982, 青藏高原地质构造。科学出版社。
- [16] 李吉均等, 1981, 青藏高原隆起的过程。青藏高原科学讨论会文集(英文), 科学出版社。
- [17] Белоусов, В. В., 1979, Строение литосферы по профилю глубинного сейсмического зондирования Тянь—Памир—Каракорум—Тималай, Сов. Геол., No. 1.
- [18] 郑本兴等, 1981, 青藏高原第四纪冰川演化与高原隆起问题, 青藏高原隆起的时代、幅度和形式问题。科学出版社。

程

INTERPRETATION OF THE CRUSTAL STRUCTURE IN YADONG—GOLMUD AREA USING GRAVITY ANOMALIES

Meng Lingshun¹⁾, Gao Rui²⁾, Zhou Fuxiang¹⁾,
Li Li²⁾, and Wang Huaxiao²⁾

Abstract

As an important part of the plan of Chinese Committee on Lithosphere, an 1:500,000 gravity survey was conducted for supplementary stations in the Golmud (Qinghai)—Yadong (Xizang) and Dung La—Nimu (Xizang) in 1987 by the Changchun College of Geology and Lithosphere Research Center, CAGS. 202 stations were laid out along the profile, which is about 1670km. Based on the measurements, the Moho depth and isostatic anomalies according to Pratt's Hypothesis were computed in the study area. The isostatic information of the earth's crust and the upper mantle were analysed.

Based on the correlation analysis between Bouguer anomalies and station elevations, nine terrains and thirteen large faults were recognized. Finally, from the gravity standpoint, we present a model of plateau bulge and plate collision, and point out that the direct force of plateau bulge is collision of the plates. The isostatic rise movement caused by glacier melt in the plateau is very weak and thought to be subordinate, which can hardly be distinguished from the rapid rise caused by the tectonic movement.

1) Changchun College of Geology.

2) Lithosphere Research Centre, CAGS.