解决西藏羌塘地区重力异常与高程相关问题的尝试

陈 超
(中国地质大学, 武汉 430074)

摘 要 针对西藏羌塘地区造成布格重力异常与地形起伏相关的原因, 从理论上进行了分析探讨。从实际出发, 提出了用区域性调整中间层密度以及用相对高差进行高度和中间层校正的方法来消除和压制这种山形异常, 并做了实际资料处理, 效果十分明显。

关键词 高度校正, 中间层校正, 山形异常。

1 问题的提出

90 年代以来, 高精度重力勘探已在全国许多地区广泛开展, 随着先进仪器设备的引进和观测技术的改善, 重力测量精度已有显著提高。然而, 尽管人们在提高测量精度方面做出了巨大的努力, 却难以避免虚假现象, 其中包括与高程形态相关的山形异常。这种现象严重地干扰了对异常的认识和评价。

形成重力异常与地形起伏(或高程变化) 相关的原因可以分为两个方面, 一方面是由地壳结构、地质构造、岩石分布等地质因素所引起, 另一方面则与异常的换算有关。从观测值到布格重力异常需要做一系列校正, 如为获得布格重力异常, 须对观测重力值进行纬度(正常场) 校正、高度校正、中间层校正和地形校正。这些校正不仅与测点处坐标、高程有关, 而且与测区地表物质密度以及校正所采用的公式有关。若校正参数选择或公式运用不当, 将可能改变异常形态, 甚至出现虚假重力异常, 以致难以解释。事实上, 在地形起伏较大的地区, 不准确的外部校正对重力异常影响远大于重力测量精度。本文针对这个问题并就西藏羌塘地区的实际情况进行了分析实验, 同时提出了解决问题的基本构想和方法。

2 引起重力异常与高程相关的因素

宏观地看, 在大范围陆地和海洋区域, 布格重力异常与高程(或海底深度) 之间存在着明显的负相关, 布格重力异常在大陆高海拔地区为高值负异常, 大陆平原地区为低值负异常, 海洋地区为正异常。这一现象与地球壳幔物质分布及地壳受力状态有关。按照艾里(G. B. Airy) 的均衡假说, 高海拔地区地壳厚, 而海洋地区地壳薄, 上述地壳厚度分布特征在全球许多地区已得到证实。

布格重力异常与高程相关也常常表现在局部范围上[1], [2], 这种现象多发生在高程变化大且地形切割严重的地区, 在高海拔地区尤为突出。我们具体从以下两方面来讨论引起这种现象的原因。

1998 年 3 月 12 日收稿, 同年 4 月 13 日收修改稿。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www

2.1 地质构造及岩性分布

在地层、构造形态以及岩石分布与地形相对应时常能够见到基底构造隆起处地势高和沉积坳陷处地势低等。这些由地质因素引起的异常与地形的相关性,一般不存在线性相关关系,而且可以通过对地表地质情况的了解和对构造及岩石分布的推断加以识别。

2.2 重力外部校正量不准确

中国《区域重力调查技术规定》[4]要求,高度校正 δg_h 和中间层校正 δg_σ 的计算公式分别为

$$\delta g_h = 3.086[1 + 0.0007\cos(2\varphi)]h - 7.2 \times 10^{-7} h^2 \quad (1)$$

$$\delta g_\sigma = 0.419\sigma[h - (1/2)h^2/R] \quad (2)$$

式中,h 为测点海拔高程(或高差),φ 为测点纬度,σ 为中间层物质的密度,R 为中间层圆板半径[1]。在实际工作中,也常用近似公式进行校正,即

$$\delta g_h = 3.086h \quad (3)$$

$$\delta g_\sigma = 0.419\sigma h \quad (4)$$

显然,校正量会因计算公式不同而有差异。与简化的公式相比,公式(1)和(2)都具有 h 的二次项,当高程 h 很大而且变化也大时,这种差异将十分明显,以致于造成布格重力异常与地形相关。

中间层物质的密度一般取地表物质平均密度,在测区内用统一的中间层密度进行校正。然而,这并非对区内所有的地段都适宜。当某一地段近地表岩石密度与校正密度有明显差异时,会造成局部地段校正不足或过剩。当校正密度大于地表物质密度时,将产生与地形呈负相关的假异常;当校正密度小于地表物质密度时,将产生与地形呈正相关的假异常。由于中间层校正不准所引起的假异常与地形起伏一般为线性相关关系。

3 羌塘测区地形特征及对布格重力异常的影响

测区位于西藏北部,区内地势十分复杂,广泛分布有高山、沟壑、河流与湖泊,平均海拔在 5 100 m 以上,最高处可达6 100 m,最低处也在4 800 m 以上,地形普遍起伏不平,是典型的高海拔起伏地形。区内出露的地层主要有第三系、侏罗系和三叠系等,除第四系沉积物以外,岩石密度基本在 2.50~ 2.70 g/cm^3 之间变化,其平均密度与校正所用密度 2.67 g/cm^3 相差不大。区内原布格重力异常值是相对海平面做校正得到的。重力异常区域背景与区域地形没有明显的相关性,但局部地段上相关性明显,其中相当数量的局部重力异常与地形起伏有关(图1、图 2)。

高原地区的重力测量结果,即使采用公式(1)、(2)进行高度和中间层校正,也可能造成校正不准确。因为高度校正(1)式是依据正常重力在海平面附近的垂向变化率导出的,它不能完全准确地反映正常重力在 5 000 m 高原上的垂向变化;另一方面,中间层校正(2)式是在校正半径 R 远大于厚度 h,且不考虑其以外物质的引力效应,而当测区内平均海拔达到数千米时,这部分引力效应不应被忽略,除非相应地扩大 R。本区所用的中间层和地形校正半径均为

[1] 文中所有公式中校正量单位为 g.u.;距离单位为 m;密度单位为 g/cm^3

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www

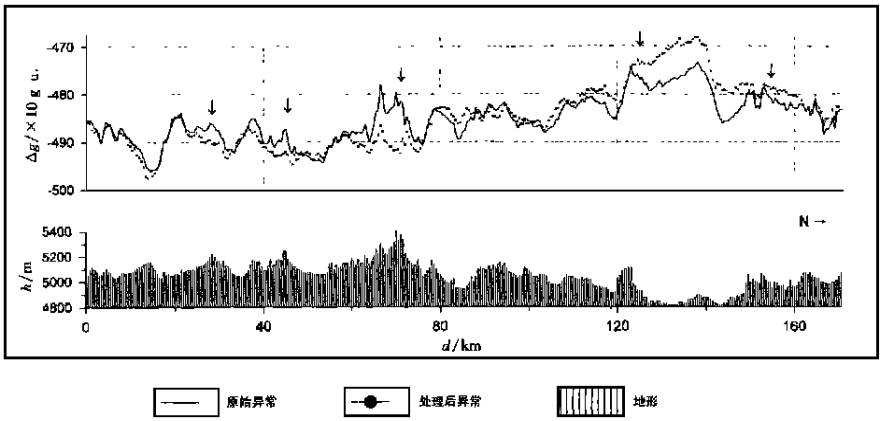


图 **1**　原始异常与处理后异常对比剖面

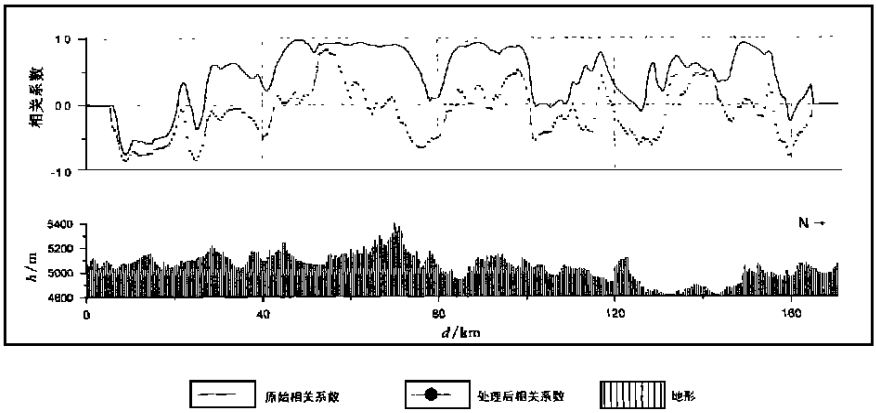


图 2　原始异常和处理后异常与高程的线性相关系数对比剖面

表 1　两种海拔背景、相同地形起伏上中间层圆板以外物质的引力效应(σ= 2.0 g/cm^3)

低海拔地区					高海拔地区				
	R= 20 km~ ∞		R= 20~ 33 km			R= 20 km~ ∞		R= 20~ 33 km	
高程 m	引力效应 g.u.	相对差值 g.u.	引力效应 g.u.	相对差值 g.u.	高程 m	引力效应 g.u.	相对差值 g.u.	引力效应 g.u.	相对差值 g.u.
136	0.39	0.00	0.15	0.00	5136	552.63	0.00	217.70	0.00
102	0.22	-0.17	0.09	-0.07	5102	545.34	-7.29	214.83	-2.87
157	0.52	0.13	0.20	0.05	5157	557.16	4.53	219.49	1.78
268	1.50	1.12	0.59	0.44	5268	581.40	28.77	229.04	11.33
174	0.63	0.25	0.25	0.10	5174	560.84	8.21	220.94	3.23
185	0.72	0.33	0.28	0.13	5185	563.22	10.60	221.88	4.17
426	3.80	3.41	1.50	1.35	5426	616.80	64.17	242.98	25.28
350	2.57	2.18	1.01	0.86	5350	599.64	47.01	236.22	18.52
533	5.95	5.56	2.34	2.19	5533	641.37	88.74	252.66	34.96

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www

20 km, 这个半径约为测区平均海拔高度的四倍, 显然偏小。

设想有两段分别处于海平面和海拔 5 000 m 高原背景上且具有完全相同的相对起伏地形, 把在这两种情况下中间层以外物质的引力效应加以对比。我们分别把半径从 20 km 到无穷远和 20~ 33 km 范围的物质引力效应值列入表 1, 从表中可见, 取 20 km 作为中间层校正半径时, 高原地区有可能造成严重的校正不足, 且随着高差的增大而加剧。以半径 20~ 30 km 的物质环产生的引力效应为例, 当高差为 50 m 时, 其效应值相差约 4 g. u. , 当高差达到 210 m 时, 其效应值相差约 18 g. u. 。这将导致布格重力异常形态与地形起伏正相关。

在局部范围内, 由这种原因所造成的布格异常与地形起伏的相关现象, 常常会被认为是因校正密度偏小所致。在实际工作中, 我们曾经希望通过增大校正密度的方法来消除这种相关性, 然而, 往往当密度取值已远远超过其实际可能值时, 假异常还不能得到有效的压制。

4 消除或压制山形异常的措施

正如前面所述, 本区假异常主要与校正过程有关。我们通过分析、实验发现, 对于高原地区重力测量结果, 可以通过下面几方面的处理来避免或减少造成布格重力异常与地形相关的假异常。

4.1 减小中间层校正不足带来的影响

针对本区地形特点, 扩大中间层校正半径显然能有效地保证校正的准确性。按照重力勘查有关技术规范, 中间层校正半径应与地形校正最大半径相对应, 因此在高原起伏地形上, 地形校正范围将要比平原地区大许多, 这将导致地形校正工作量成倍递增。显然, 解决这个问题需要寻找其它途径。

重力观测资料的整理有两种途径, 一是将测量重力值相对大地水准面进行校正获得布格异常值, 另一种是相对某一基准面进行校正而获得布格重力异常值。由于后者通常是以测区内或测区附近的总基点所在水准面为基准面, 并依据测点与其高差进行高度和中间层校正, 如此可以使所有测点与基准面之间高程差异减小, 测点上的校正量只取决于测点与基准面之间高差。同时, 用近地表岩石平均密度做中间层校正, 也有利于局部异常的解释。

表 1 中还可看到, 在海平面附近的起伏地形上, 中间层校正不足现象并不严重。若还以半径 R = 20~ 33 km 环的引力效应为例, 当相对高差为 50 m 时, 其效应值相差只有 0. 13 g. u. , 当高差达到 210 m 时, 其效应值相差仅为 0. 86 g. u. 。如若把高原地区的重力测量结果以海拔 5 000 m 为基准面做为中间层校正, 其校正量将等同于海平面附近相同地形起伏条件下的结果。因此, 在高原地区选择适当的基准面做中间层校正将使校正不足的影响大大减小, 这是减少布格重力异常受地形起伏干扰的有效途径。

4.2 局部地区中间层校正密度的调整

大范围地用统一的密度值进行中间层校正, 将有可能因局部范围内地表物质密度偏离统一密度而导致山形异常。用变密度进行中间层校正可以有效地压制这种现象, 但这需要详细的密度资料。详细的岩土密度采样工作量较大, 将增加勘探成本, 一般难以采纳。事实上, 我们可以利用在统一密度进行校正后的基础上, 对局部地段中间层密度进行调整, 以达到变密度校正的目的。这种方法的基本原理可简单地描述如下。

考虑到因中间层校正密度不准确引起的山形异常与高程 h 近似呈线性关系, 故山形异常值可表示为

$$\Delta g_{山形} = a + bh \tag{5}$$

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www

式中, a 为任意常数; $b = -2\pi G\Delta\sigma$, 这里 $\Delta\sigma$ 为校正密度与实际值的偏差。通过对局部地段异常值与高程之间进行线性回归, 可以确定出 a 和 b 的值, 进而得到 $\Delta\sigma$, 并用它对异常体做补充中间层校正, 即

$$\delta g_{\sigma补充} = 0.419\Delta\sigma h \tag{6}$$

以达到抑制或消除山形异常的目的。这种方法在实际应用中需注意几个问题。

(1) 要求在计算范围内, 中间层密度变化不能太大, 且局部异常和区域异常在任意相邻 3 ~ 5 个点之间近似呈线性变化。

(2) 要求先对计算区域内各测点上异常值 Δg_i 及高程 h_i 进行求偏差处理, 即求出任意一点与相邻两点之间异常值及高程值的平均偏差, 以使 δg_i 中不包含局部异常和区域异常成分

$$\begin{cases} \delta g_i = (\Delta g_{i-1} + \Delta g_{i+1})/2 - \Delta g_i \\ \delta h_i = (h_{i-1} + h_{i+1})/2 - h_i \end{cases} \qquad i = 1, 2, 3, \cdots n \tag{7}$$

其中, Δg_{i-1}、Δg_{i+1} 和 h_{i-1}、h_{i+1} 分别为测点周围点异常值和高程值; i 为测点号, 然后再对 δg_i 和 δh_i 进行线性回归。

(3) 选择适当的计算窗口在测区内做滑动处理, 滑动时可根据窗口内 δg_i 和 δh_i 的线性相关系数来确定是否需要调整, 例如, 当相关系数的绝对值小于 0.7 时, 此处可不做调整。或者, 将求出全测区中间层密度调整值 $\Delta\sigma$ 绘成等值线图, 与地形及地质图对比之后再来确定调整密度, 以保证密度调整的明确性和合理性。

5　实际应用

笔者曾应用上述方法对若干高程跨度较大的实际重力测量结果进行了改算和实验, 效果十分明显。图 1 和图 2 展示了西藏羌塘地区一条 1∶5 万高精度重力剖面处理前后的布格异常及其与地形相关的情况。

从图 1 可见, 原始布格重力异常与地形存在着相关性, 有些地段甚至可以直接从其形态中辨别出来。图 2 展示了它们之间线性相关系数的分布, 在 40~ 100 km 的地段上它们存在着普遍且明显的正相关。正如我们前面所指出的, 这主要是由于中间层校正不足引起的。在对剖面异常进行处理时, 首先用相对高差做高度和中间层校正(密度暂用 2.67 g/cm^3), 然后通过中间层密度调整做补充校正。处理后异常仍保留了局部异常和区域异常的基本特征, 但山形异常得到了有效地压制(箭头所指之处)。从相关系数的分布来看, 已呈随机的正负变化态势, 没有明显的区域性或正负相关的地段, 表明该处理方法对压制山形异常是有效的。

6　结束语

消除山形异常的方法是笔者在实际工作中总结出来的, 尤其在工区内地形起伏很大且布格重力异常呈正相关的情况下, 效果十分显著。在调整中间层密度过程中, 滑动窗口尺寸的选择十分重要, 最好通过实验确定。

参　考　文　献

1　Torge W. Gravimetry. Walter de Gruyter Press, Hannover(德国), 1989

2　Uotila U A. Analysis of correlation between free-air anomalies and elevations. OSU Rep., 1967, (94)

(下转 439 页)

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www

A CASE STUDY OF SOIL MAGNETISM USED IN OIL AND GAS EXPLORATION

Sun Aiqiu

(Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, MGMR, , Langfang　065000)

Abstract　A case study of soil magnetism used to survey hydrocarbon is described in this paper. Two sections over the oil field in Langfang—Guan depression was studied and 164 soil magnetism samples were collected from 59 sites. Magentic susceptibility (MS) and nature residual magnetism (NRM) were tested, but the anomalies of MS, NRM could not be easily associated with oil wells. Alternating demagnetization for part of samples was done and, as a result, a specific demagnetization curve over the oil well was found, which is different from the curve over dry well. A mineralization model is advanced, in which magnetite is developed over hydrocarbon seepage, and hematite is distributed over the formation that contains no hydrocarbon.

Key words　soil magnetism survey, alternating demagnetization, oil and gas exploration.

作者简介　孙爱秋, 女, 1953 年 8 月生于河北省秦皇岛市。1980 年 5 月毕业于中国地质大学(武汉) 物探系, 现在原地矿部物化探研究所主要从事物性研究工作, 工程师, 曾发表数篇论文。

(上接 435 页)

3　吕梓龄. 山区区域重力测量中间层校正系数的确定. 物探与化探, 1989, 13(1)
4　区域重力调查技术规定. 北京: 地质出版社, 1983

THE ELIMINATION OF FALSE ANOMALIES RESULTING FROM CORRELATION BETWEEN BOUGUER ANOMALIES AND TOPOGRAPHY IN QIANGTANG, TIBET

Chen Chao

(China University of Geosciences, Wuhan　430074)

Abstract　In highland areas, Bouguer anomalies observed on the undulating ground often take the shape related to the topographic relief. This leads to misunderstanding and renders the interpretation of the gravity anomalies difficult. In this paper, the author describes the causes of this trouble in Qiangtang, Tibet, and presents an effective approach to remove the false anomalies, which involves doing bouguer correction with relative height instead of absolute elevation and adjusting the density of the correction by making correlation analysis for the anomalies and elevations.

Key words　free-air correction, slab-mass correction, false anomaly.

作者简介　陈超, 男, 1960 年 5 月出生, 江西人。1982 年毕业于武汉地质学院物探系, 获学士学位, 1989 年获该学院硕士学位, 1992 年赴荷兰空间测量与地球科学学院进修一年, 现在中国地质大学攻读博士学位, 讲师, 多年从事重磁资料处理及解释工作。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www