

# 不同固体潮改正公式及国家重力网的统一

李 金 文

## 摘 要

本文讨论了不同的潮汐公式,及其引起的重力测量计算成果不一致的问题,计算了当潮汐改正公式不统一时,对我国范围内绝对重力测量、相对重力测量、重力仪长基线格值因子标定、重力仪短基线周期误差标定及物探重力控制测量成果的影响,分析了我国85重力基本网所选取的绝对重力控制点之间的一致性、控制点与我国85网相对联测平差结果的一致性、以及85网与我国一等重力控制网之间的一致性问题。最后,为统一我国重力控制测量成果提出了一些建议。

【关键词】 潮汐改正; 重力; 固体潮

ref

## 1 引 言

为研究重力测量固体潮改正公式的精确性和合理性,重力测量工作者做了大量的研究工作,先后提出了四个用于重力测量的潮汐改正公式。许厚泽教授<sup>[5]</sup>推导出了精度为 $\pm 1\mu\text{gal}$ 潮汐改正公式;芬兰大地测量研究所编制了计算精度优于 $1\mu\text{gal}$ 的固体潮改正理论值计算程序并用于实际重力测量工作中<sup>[8]</sup>。

用不同的公式进行固体潮改正,不仅会使重力测量成果在数值上可能产生几十微伽的差别,而且会相应地定义出物理含义不同的重力、高程系统及大地水准面。自80年以来,我国先后与意大利、日本、芬兰等国家进行了绝对重力测量合作。在对这些观测值进行处理时,所使用的固体潮改正公式不一定相同,既使是在同一个国家的不同学者或不同时期,用来进行潮汐改正的公式也可能不同。这就有可能引起多种重力并存的问题。

## 2 不同的固体潮改正公式

最初用来进行重力测量潮汐改正的公式为:

$$\Delta g = \delta \cdot G \quad (1)$$

收稿日期:1991-01-08

式中,  $G$  为根据日、月引力和地球绕地、月系公共质心以及地球绕地、日系公共质心转动而产生惯性离心力之和所求得理论潮汐值;  $\delta = 1.16$ , 是用莫洛金斯基地球模型计算所得出的重力潮汐因子。经上式改正后得到的重力称为非潮汐重力, 用  $g_n$  表示。

式 (1) 中包含了一与时间无关的永久项, 并且还假定了地球永久形变是弹性的、亦即永久勒甫数与弹性勒甫数是恒同的。

1964年, Honkasalo 提出: 潮汐改正中不应包括有与时间无关的潮汐永久项, 为此, 他给出下面潮汐改正模式:

$$\Delta g = \delta[G - G_0] \quad (2)$$

$$G_0 = 30.4 - 91.2 \sin^2 \varphi \mu g a l \quad (3)$$

式中,  $G_0$  表示潮汐永久项,  $-\delta G_0$  称为 Honkasalo 改正 (或 Honkasalo 项)。经上述潮汐改正后的重力称为平均重力, 用  $g_m$  表示。

Honkasalo 改正是基于下面的前提条件: 式 (1) 给出的加在被观测的重力值上的地球固体潮改正项, 只是在整个地球表面上对它求和时才等于零, 而在某一特定的纬度上求和时不等于零, Honkasalo 认为, 应使按特定纬度求和时地球固体潮改正为零, 因而应消除上述系统影响, 应消除的量由式 (3) 给出。

IGSN-71 采用了 Honkasalo 公式进行潮汐改正。因而它的重力值属于  $g_m$ 。但是, 用 Honkasalo 公式进行潮汐改正给确定大地水准面带来了理论上的困难, 因为在式 (2) 中减去  $1.16G_0$  后, 相当于在重力观测值中增加了一项来自地球外部的质量影响项——日、月引潮力永久项, 这不符合斯托克司理论对重力值的要求。因此, Heikkinen 提出恢复使用式 (1) 进行潮汐改正<sup>[6]</sup>, 1979年 IAG 大会通过决议仍使用式 (1) 进行潮汐改正。

为了避免式 (1) 的假设, 同时又满足斯托克司公式对重力值的要求, Ekman (1981) 和 Groten (1980) 又提出了第三个重力测量潮汐改正公式<sup>[11]</sup>:

$$\Delta g = \delta G - (\delta - 1)G_0 \quad (4)$$

由此得到的重力称为零重力, 我们用  $g_z$  表示。

根据式 (4) 计算出的重力观测值不受大地水准面外部质量的直接引力影响, 但却包含了地球永久潮汐形变项。

1983年 IAG 大会推荐式 (4), 国际固体潮委员会标准地球潮汐小组也于同年接受了这一公式。1981年, Wahr 提出了顾及地球旋转和扁率的影响的新的地球模型, 该模型于1983年被国际标准地球潮汐委员会接受, 由此计算出的潮汐因子与地理纬度有关。Rapp 推导出利用该模型得到的与式 (4) 理论上一致的潮汐改正公式为:

$$\Delta g = \sum \delta_i G_i - \overline{\delta f}_e \quad (5)$$

$$\text{其中 } \overline{\delta f}_e = -4.83 + 15.73 \sin^2 \varphi - 1.59 \sin^4 \varphi \quad (6)$$

为了简化计算, 许厚泽<sup>[5]</sup>将上式简化为:

$$\Delta g = \delta_{t,h} G - \overline{\delta f}_e \quad (7)$$

而  $\delta_{t,h} = \sum \delta_i H_i / \sum H_i$  为各波群理论潮汐因子  $\delta_i$  按其振幅取加权平均所得的平均值,  $\delta_{t,h}$  与纬度有关。

根据式 (7) 所求得的重力值与由式 (4) 求得的重力值同属零重力, 但二者数值不同, 为区别起见, 用  $g'$  表示。

### 3 不同潮汐改正公式对重力测量成果的影响

由式(1)~(7)不同的潮汐改正公式而得到的不同重力之间的差异分别为:

$$g_z - g_m = 30.4 - 91.2\sin^2\varphi \quad (8a)$$

$$g_z - g_n = (\delta - 1)(-30.4 + 91.2\sin^2\varphi) \quad (8b)$$

$$g_m - g_n = \delta(-30.4 + 91.2\sin^2\varphi) \quad (8c)$$

$$g'_z - g_m = (\delta_{t_h} - \delta)G + 40.09 - 121.52\sin^2\varphi + 1.59\sin^4\varphi \quad (8d)$$

$$g'_z - g_n = (\delta_{t_h} - \delta)G + 4.83 - 15.73\sin^2\varphi + 1.59\sin^4\varphi \quad (8e)$$

$$g'_z - g_z = (\delta_{t_h} - \delta)G + 9.69 - 30.32\sin^2\varphi + 1.59\sin^4\varphi \quad (8f)$$

实际工作中通常近似取 $\delta_{t_h} \approx 1.16$ , 因而式(8d)~(8f)可简化为:

$$g'_z - g_m = 40.09 - 121.52\sin^2\varphi + 1.59\sin^4\varphi \quad (9a)$$

$$g'_z - g_n = 4.83 - 15.73\sin^2\varphi + 1.59\sin^4\varphi \quad (9b)$$

$$g'_z - g_z = 9.69 - 30.32\sin^2\varphi + 1.59\sin^4\varphi \quad (9c)$$

考虑到国家85重力基本网作为控制用的重力点的分布, 本文计算出巴黎、东京、香港、北京、广州、哈尔滨等6个地区利用不同潮汐改正公式所得点的重力值之差如表1。

表1 不同潮汐改正公式引起重力差异

单位: 微伽

	巴黎 $\varphi \approx 49^\circ$	东京 $\varphi \approx 36^\circ$	香港 $\varphi \approx 22^\circ$	哈尔滨 $\varphi \approx 47^\circ$	北京 $\varphi \approx 41^\circ$	广州 $\varphi \approx 24^\circ$
$g_z - g_m$	-21.5	-1.1	+17.6	-18.4	-8.9	+15.3
$g_z - g_n$	+3.4	+0.2	-2.8	+2.9	+1.4	-2.4
$g_m - g_n$	+24.9	+1.3	-20.4	+21.3	+10.3	-17.7
$g'_z - g_m$	-28.9	-1.8	+23.1	-24.5	-11.9	+20.0
$g'_z - g_n$	-3.6	-0.4	+2.7	-3.1	-1.6	+2.3
$g'_z - g_z$	-7.1	-0.6	+5.5	-6.1	-3.1	+4.7

由上表看出: 在我国范围内不同潮汐改正公式引起同一重力点上绝对重力值差异可达25微伽; 对于相对重力值联测, 如果采用不同的潮汐改正公式, 其段差之互差可达45微伽; (如哈尔滨到广州)。

目前我国用于重力仪线性格值因子标定的长基线是广州——北京——哈尔滨基线。对于LCR—G型重力仪线性格值因子的标定一般精确到 $10^{-6}$ , 这时应该考虑计算程序中的潮汐改正公式与已知重力值属性一致, 否则, 就可能产生所求得的格值因子产生偏离。以北京——广州长基线标定为例: 不同潮汐改正公式可引起线性格值因子 $E_1$ 产生 $20 \times 10^{-6}$ 的偏离, 这种偏差是不能忽略的。在国家85网平差时<sup>[2]</sup>, 因为求解出来的G85仪器的中误差为 $21 \times 10^{-6}$ , 因而顾及了该仪器的二次格值因子, 这是在该网平差中唯一顾及了二次格值因子的一台重力

仪, 其它各台重力仪器的线性格值因子的解算精度均小于 $10 \times 10^{-6}$ 。

对于重力监测点的重力测量成果的处理, 统一各时期的重力潮汐改正公式是重要的。如果潮汐改正公式不断更新, 而以往的观测成果不经过重新处理, 就可能得出重力值发生了变化的错误结论。

对以物探为目的的重力测量工作者来说, 可以不受上述不同潮汐改正公式差别的困扰。因为, 即便是物探重力控制(基线)测量, 联测区域纬度变化不太可能超过 $2^\circ$ , 用不同潮汐改正公式进行成果处理, 最大差异也不会大于3微伽, 而这种误差对物探重力测量是允许的。但是, 考虑到目前观测仪器精度高, 物探重力测量成果可以为大地测量所应用, 也应尽可能使之与国家控制重力测量的重力统一起来。

对于重力仪短基线周期误差标定, 也不必去研究基线重力值属于哪种重力, 不必改编已有的潮汐计算程序, 因为短基线标定场的纬度变化都小于 $0.5^\circ$ , 因而不同潮汐改正公式对段差的影响也小于1微伽, 这种影响对周期误差的标定来说可以忽略。

#### 4 国家85重力基本网与一等重力网的重力属性问题

由文献[4]知, 85网采用下面固体潮理论值公式:

$$\begin{aligned}g_0 &= -g_m - g_s, \\g_m &= \frac{fMr}{d^3}(3\cos^3\theta - 1) \\&\quad + \frac{3}{2} \frac{fMr^2}{d^4}(5\cos^3\theta - 3\cos\theta) \\g_s &= \frac{fSr}{D^3}(3\cos^2\varphi - 1)\end{aligned}\tag{10}$$

式中,  $g_s$ 、 $g_m$ 分别为日、月理论潮汐;  $f$ 为万有引力常数;  $S$ 、 $M$ 分别为日、月质量;  $D$ 、 $d$ 分别为日、月质心至地心距离;  $\varphi$ 、 $\theta$ 分别为日、月天顶距;  $r$ 为测站至地心的距离。

潮汐改正值用下式计算:

$$\Delta g = 1.16g_0\tag{11}$$

分析上述改正模型知, 它实际上就是用式(1)进行潮汐改正, 因而国家85网相对联测结果属于 $g_a$ 。但是, 在85网平差时所选用的11个绝对重力控制点中, 并不是所有重力点值都与85网相对联测结果的重力属性一致。

根据文献[2], 85网已知重力控制点包括意大利绝对重力仪1981年在我国所测的6个重力点(其中昆明点用意大利和中国计量院绝对重力仪观测值的中数)、日本和香港地区环太平洋国际重力联测点4个及巴黎Sévre A3绝对重力点。

意大利在我国所进行的绝对重力测量数据是经中方要求由意大利向我方提供固体计算程序, 然后由我方人员自己处理的<sup>[9]</sup>。而意大利的计算程序中含有 Honkasalo 改正项<sup>[8]</sup>, 因此, 在85网平差中作控制点用的意大利绝对重力仪所测的6个绝对重力值属于 $g_m$ , 与85网相对联测重力值分别属于不同的重力。

中川一朗等的报告<sup>[3]</sup>未提及用哪个固体潮改正公式对环太平洋国际重力联测值进行潮汐改正, 但作者根据对文献[3]中成果数据表的分析比较, 首先排除了用公式(2)进行潮汐

改正的可能性。因此，环太平洋联测重力值属于 $g_m$ 、 $g_z$ 或 $g'_z$ 之一。由于缺少应有的资料，无法进一步确定其究竟属于哪一种重力。

85重力基本网中另一个重要的绝对重力控制点是 Sévre  $A_3$  点。85网平差时取该点1980年至1982年国际6台绝对重力仪所测值的中数代入。Boulangier 等<sup>[7]</sup>的文章中指出：上述所有结果都按1979年IAG大会决议进行潮汐改正。因此，Sévre  $A_3$  点的绝对重力值是按式(1)进行潮汐改正的，属于 $g_a$ 。作者利用按式(1)编制的固体潮改正程序计算出 Sévre  $A_3$  点上每次观测时的固体潮改正值并与文献[7]中所列出的潮汐改正值相比较，证明二者一致。

我国一等重力控制网已经施测完毕，目前正处于平差计算阶段。平差计算将按87年国家测绘局发布的《国家一等重力测量规范》规定的细则进行，因此采用的潮汐改正公式将是式(5)、(6)。从而知：经平差后的国家一等重力网属于 $g'_z$ ，与85重力基本网不一致。IGSN-71网本来属于 $g_m$ ，但按照1979年IAG大会的决议：在使用该网的重力值时应将 Honkasaalo 项从重力值中去掉。经过这种换算后的IGSN-71网重力值就相当于 $g_a$ 了。

## 5 问题与建议

(1) 由于施测时间或单位不同，重力测量成果处理的软件不统一，使得目前我国的重力控制网中存在多种属性的重力。建议进行重力属性归一化工作。为了将各种重力成果归化成统一的一种重力，可用本文式(8a)~(8c)及(9a)~(9c)进行换算。

(2) 拟考虑用 $g'_z$ 作统一后的重力。

(3) 为方便成果使用，重力测量成果表(或报告)中应说明重力值的属性，或者给出潮汐改正公式。

(4) 重力仪长基线标定格值因子或精密重复重力测量成果处理时，应注意潮汐改正公式的统一。

## 参 考 文 献

- [1] EKMAN M. Impacts of Geodynamic Phenomena on Systems for Height and Gravity. Bulletin Géodésique, Vol.63, No.3, pp281—296, 1989.
- [2] 国家重力基本网平差技术报告。测绘科学研究所，1985。
- [3] 中川一郎等。拉科斯特——隆贝格重力仪格值常数的精确标定与环太平洋区域国际重力联测。地壳形变与地震译丛，pp16~23, No.2, 1983。
- [4] 江志恒等。中国新的重力基本网。地球物理学报，Vol.31, No.2, pp136—144, 1988。
- [5] 许厚泽。精密重力测量的潮汐改正。测绘学报，Vol.13, No.2, 1984。
- [6] Heikkinen M. On the Honkasaalo term in tidal correction to gravimetric observations. Bull. Geod., Vol.53, pp239—245, 1974。
- [7] Boulangier J D, etc., Results of comparison of absolute gravimeters. SÉVRES, 1981, BGI, No.52, pp97—112, 1983。

- [8] Lenny A Krieg. 拉科斯特——隆贝格 (G) 型重力仪特性的数学模型及其在重力网平差、数据分析中的应用。国家地震局研究所四室, pp50—51, 1985.
- [9] 中意联合重力测量项目实施工作总结。测绘科学研究所, p7—8, 1982.

## On the Different Tidal Correction Formulas and Unification of China's Gravity Control Networks

*Li jinwen*

### Abstract

There are four different tidal correction formulas. Each of them defined a different gravity system. In this paper, the author discussed the problem of inconsistency of gravity determination results (or networks) caused by different tidal correction formulas, and calculated the effects of different tidal correction formulas on absolute gravity determination, on relative gravity determination, on calibration of the linear constant of LCR-G meter's interval factor, on calibration of circular errors of LCR-G meter, and on gravity determination of geophysical exploration. Also, the author analysed the inconsistency between different absolute gravity control points that used for CGBN-85 (China's gravity basic network-85), the inconsistency between CG BN-85 and china's first order gravity network. Finally, on regarding the unification of our country's gravity networks, some useful suggestions were given.

**[Key words]** tidal correction, gravity, earth tide