

天文重力水准对重力資料的精度要求*

• 管澤霖 方瑞首 寧津生 •

五九年，我院重力測量生产实习队承受了国家測繪总局重力队的任务，在我国东南沿海一带进行了为期八个月的加密重力測量工作，他們在生产过程中发现了現行重力測量作业中有許多規定尚有不够恰当之处，因此，我們根据他們所得出的一些实际資料对这些問題又进行了研究和討論，并提出几点意見供有关部门在工作中和制訂細則中作参考。

(一)

我国加密重力測量是按照苏联专家B.B.布洛瓦尔同志所設計的方案进行布置的，在他进行設計計算时所采用的純代表誤差是大于觀測異常誤差的三倍，因为在这种情况下可以将公式中的觀測異常誤差忽略不計，根据这样的要求，由于加密圈的各个环带內梯形大小不同，那么純代表誤差也就不同，因此相应地也就要求在不同的环带內觀測異常的誤差有所不同。

經過空間改正的重力異常公式为：

$$\Delta g = g - \gamma + 0.3086 H \dots\dots\dots (1)$$

式中：g——某点实测重力值

γ ——为該点正常重力值，它是該点緯度的函数。

H——为該点的海拔高度。

我們从(1)式中可以看出，觀測重力異常是实测重力g、重力点是緯度 φ 和它的高度H的函数，因此觀測重力異常的誤差来源除了包含实测重力g的誤差以外，还受着緯度 φ 的測定誤差及高度H的測定誤差的影响，当然(1)式只是空間異常，如果采用布格異常，那么中間层的密度應該考虑到，不过在这里我們不加討論。

根据(1)式我們求得适合于我国緯度的異常誤差关系式为：

$$m\Delta g = \pm \sqrt{m_g^2 + (0.31m_h)^2 + (1.5m_\varphi)^2} \dots\dots\dots (2)$$

式中： $m\Delta g$ ——重力異常的中誤差。

m_g ——觀測重力的中誤差。

m_h ——重力点高度測定的誤差。

m_φ ——重力点緯度測定的中誤差，系数1.5是在我国平均緯度上1'緯度相差，相當于正常重力差1.5毫伽。

既然重力異常的誤差中包含了三項誤差，那么我們就要适当地將誤差分配在这三个因素中，当然分配的方案是很多的，但是我們要考慮一个既能符合精度要求又要照顧到实际測量可能的合理方案。

目前，我国外业单位所規定的加密重力点的重力。經緯度及高程的精度如表1、2所載。

* 1960年1月5日收到

1. 高精度天文重力水准

表 1

半 径	25公里以内	25—150公里	150公里以外
$m_{\Delta g}$	± 1.0 毫伽	± 2.0 毫伽	± 3.0 毫伽
m_g	± 0.5—0.7 毫伽	± 1.0 毫伽	± 1.0 毫伽
m_h	± 2.0 米	± 4.0 米	± 8.0 米
m_{φ}	± 200 米	± 1000 米	± 1000米(或1')
m_{λ}	± 200 米	± 1000 米	± 1000米(或1')

2. 低精度天文重力水准

表 2

半 径	50公里以内	50公里以外
$m_{\Delta g}$	± 2.0 毫伽	± 3.0 毫伽
m_g	± 1.0 毫伽	± 1.0 毫伽
m_h	± 4.0 米	± 8.0 米
m_{φ}	± 1000 米	± 1000米(或1')
m_{λ}	± 1000 米	± 1000米(或1')

我們认为按照表 1 这种分配方案来规定精度是有着一定缺陷的:

(1) 首先以离开天文点的距离来规定各种精度是不恰当的, 我们从表 3、4、5 中的各种高精度天文重力水准的加密重力测量方案看出, 当 $C=0.81$ $2\Omega=80$ 公里时, 在外半径为 22 公里时要求 $m_{\Delta g}=2.0$ 毫伽的精度, 但在 $C=1.08$, $2\Omega=60$ 公里时, 却当外半径为 16 公里时就要要求 $m_{\Delta g}=2.0$ 毫伽的精度, 因此, 如按照表 1 中以离开天文点的距离来规定精度的话, 那么观测出来的重力异常势必会造成这样一种不合理的现象, 即这两种方案都要求 $m_{\Delta g}=\pm 1.5$ 毫伽的精度, 但外半径是 22 和 16 公里, 则按表 1 中的精度规定它是在 25 公里以内, $m_{\Delta g}$ 都要求 ± 1.0 毫伽, 这样就提高了观测重力异常的精度, 那么与此相应地在我們进行重力异常的各种测定中就带来更高的要求, 它将会增加很多困难。我们从表 3、4、5 中看出, 只须要当环带外半径在 10 公里以内要求重力异常的精度为 ± 1.0 毫伽, 因此我們提出以环带的号数来规定精度(表 6)是较妥当的, 因为在表 3、4、5 中, 尽管有各种不同的方案, 但是各个环内的重力异常的精度要求却是相似的, 按照环号规定精度不仅对于 $2\Omega=60$ 公里的各种方案适合, 就是对于 $2\Omega=80$ 公里以及 $2\Omega=100$ 公里等方案也是适合的, 因此它是一种综合性的方案, 我們感到这样规定是比起表 1 的规定要合理得多。

$2\Omega=60$ 公里

表 3

		环 号	0	1	2	3	4	5	6	7
$C=0.54$	外半径 (公里)	3	10	28	62	120				
	$m_{\Delta g}$		1.0	1.5	2.0	2.5				
$C=0.81$	外半径 (公里)	2	6	14	30	58	100	120		
	$m_{\Delta g}$		1.0	1.5	2.0	3.0	3.5	4.0		
$C=1.08$	外半径 (公里)	1	3	8	16	30	51	81	120	
	$m_{\Delta g}$		1.0	1.5	2.0	2.5	3.5	4.0	4.5	

2Q=80公里

表 4

环 号		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
C=0.54	外半径 (公里)	2	7	19	41	78	135				
	$m_{\Delta g}$		1.0	1.2	2.0	2.0	2.5				
C=0.81	外半径 (公里)	1	4	10	22	40	68	108	160		
	$m_{\Delta g}$		1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0		
C=1.80	外半径 (公里)	1	2	5	10	18	32	52	79	115	160
	$m_{\Delta g}$		1.0	1.5	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.5	5.0

29=100公里

表 5

环 号		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
C=0.54	外半径 (公里)	2	7	17	36	69	119	192					
	$m_{\Delta g}$		1.0	1.2	1.5	2.0	1.5	3.0					
C=0.81	外半径 (公里)	1	3	7	14	27	46	73	110	158	200		
	$m_{\Delta g}$		1.0	1.1	1.5	2.0	2.5	3.0	3.0	3.5	4.0		
C=1.08	外半径 (公里)	1	2	4	8	14	23	37	55	80	112	152	200
	$m_{\Delta g}$		0.5	1.0	1.5	2.0	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0

(2) 在表 1 中是将重力异常的精度划分成三级, 即 $m_{\Delta g} = \pm 1.0$ 毫伽、 ± 2.0 毫伽和 ± 3.0 毫伽, 对于重力异常的精度为 ± 1.0 毫伽时, 要求高程测定的精度为 ± 2 米, 但在我国新测地形图尚缺少的情况下, 依靠气压测高在离开已知点较远的时候, 测定高程的精度满足 ± 2 米的要求是很困难的, 因此这样的规定也就不符合野外作业实际情况, 我们认为有必要将精度划分成四级, 即增加 $m_{\Delta g} = \pm 1.5$ 毫伽一级, 这样就缩小了要求 $m_{\Delta g} = \pm 1.0$ 毫伽的外半径, 一般只须在离开天文点的距离为 5 公里的范围内要求高程精度为 ± 2.0 米, 由于范围较小, 离开起始点较近, 用精度较高的气压测高还可以满足它的精度要求, 若不用气压测高而采用几何水准或三角高程等方法也较容易解决, 但在 $m_{\Delta g} = \pm 1.5$ 毫伽时, 根据计算高程的精度可以放宽到 ± 4.0 毫米, 这样用一般的气压测高是可以达到的。

(3) 在表 1 中, 规定 25 公里以内要求精度为 ± 200 米, 我们认为这样的精度过高, 可能在计算上有错误, 而且实际上在沒有大比例尺地形图的地区, 就是采用天文的方法来测定也是很难达到的, 这是不符合重力测量实际要求同时也是不可能的, 根据我们按 (2) 式重新计算的结果, 它们的精度可以放宽到 500 米, 而且对于其他各种异常精度中所要求的精度精度也有所降低, 我们说精度要求 ± 500 米, 采用一般简化的天文测定方法是很容易达到的。

(4) 在表 1 中规定精度要求和精度一样, 我们认为这是没有必要的, 首先我们从 (2) 式可以看出, 精度对于重力异常精度并无影响, 而只是和重力点的位置有关, 前面我们讲过, 在设计加密重力点的布置中所用的是代表误差, 也就是说在一个梯形内用某一点的重力异常值来代表这个梯形内的平均重力异常, 因此在确定这一重力点的位置时, 只要使它的坐标小

于所代表区域的直径三分之一的数值就行了，根据这样的要求，我们认为可以将經度的誤差大大放宽。

根据以上这样一些討論，我們提出加密重力点的重力、坐标和高程的測定精度規定如下：
(表 6、7)

1. 高精度天文重力水准

表 6

环 号	1环以內	2	3—4	4环以外
$m \Delta g$	± 1.0 毫伽	± 1.5 毫伽	± 2.0 毫伽	± 3.0 毫伽
$m g$	± 0.7 毫伽	± 0.7 毫伽	± 1.0 毫伽	± 1.0 毫伽
$m h$	± 2.0 米	± 40 米	± 4.0 米	± 8.0 米
$m \varphi$	± 500 米	± 500 米	± 1500 米	± 2000 米
$m \lambda$	± 500 米	± 1000 米	± 1500 米	± 2000 米

2. 低精度天文重力水准

表 7

环 号	2 环以內	2 环以外
$m \Delta g$	± 2.0 毫伽	± 3.0 毫伽
$m g$	± 1.0 毫伽	± 1.0 毫伽
$m h$	± 4.0 米	± 8.0 米
$m \varphi$	± 1500 米	± 2000 米
$m \lambda$	± 1500 米	± 2000 米

此外，我們从表 5 中看出，当 $C=1.08$ ， $2Q=100$ 公里时，在第一环内，在半径 2 公里以內要求重力異常的精度为 ±0.5 毫伽，我們由此可以推想，当 $C=1.5$ 或 $2Q$ 超过 100 公里时，那么 I、II 环內的重力異常精度就要求得更高了，这样相应地就要求測定平面坐标以及高程的精度大大地增加，这对实际測定來說，精度不易达到，同时 $C=1.5$ 是在大的山区，那么不管是測定重力还是平面坐标或高程都会遇到地形复杂所带来的許多困难，因此我們建議在建立高精度天文重力水准时，天文点間的距离，不要超过 100 公里，如果超过的話，那么在其中必須加測一个天文点，同时高精度天文重力水准綫路不要通过山区。

(二)

为了进行高度異常差的計算，必須繪制等異常綫图，現在在外业单位中一般規定在天文点附近 10—15 公里內要繪制 1/10 万的等異常綫图，对于其他地区要繪制 1/100 万的等異常綫图我們认为在这一方面也有值得討論的必要，通过今年我院重力測量生产实习队的实际工作，我們提出以下几点意見：

(1) 对于低精度天文重力水准來說，由于在天文点附近 10—15 公里的范围內一般只有 5—6 个重力点，甚至有的連五个点也沒有，如果我們試将这样稀少的 4—5 个点繪制在 1/10 万的图上，然后根据它們的異常繪制等異常綫，这是不可能的，首先是在技术上无从画起，由于重力点稀少，图的比例尺过大，連異常綫的方向都无法知道，就是画出来了，也很难判断它是否正确，因此我們建議改成繪制 1/25 万或 1/50 万的重力異常图，而对于高精度天文重力水准來說，1/10 万的等異常綫图是可以繪制出来的。

(2) 在高精度天文重力水准內环地区已經繪制了 1/10 万的等異常綫图，在低精度天文重

力水准加密圈内繪制了1/25万或1/50万的等異常綫图，那么就可以考虑不必再繪制1/100万的等異常綫图，我們的理由是这样的：

i) 在离开天文点較远的那些外环加密重力点之間的距离一般地是在100公里左右，有的甚至达到150—200公里，用这样稀疏的重力点繪制異常图是有困难的，等異常綫是不可能画出来的。

ii) 根据苏联的經驗，对于每隔33公里一点的全盘重力測量來說，它們的代表誤差和內插誤差相同，因此沒有必要繪制等異常綫图，而直接应用重力点上的異常来代表它附近区域内各点的重力異常，因此在我們相距100—200公里的重力点密度來說，那是更沒有必要繪制等異常綫图了。

iii) 在实际計算高度異常差时，我們也認為沒有必要繪制这种比例尺的重力異常图，关于这一点，我們正在通过实践进一步証实它。

(3) 在外业单位中規定对于高精度天文重力水准，在天文点附近繪制1/10万的重力異常图时，異常綫的間隔为2毫伽，我們認為这是不合理的，因为在这个范围内，加密重力点的重力異常的精度已經是 ± 1.5 毫伽了，因此間隔2毫伽的等異常綫并不能正确的表示出它的異常情况，所以我們建議異常綫的間隔应当是重力異常誤差的三倍，即異常綫間隔为5毫伽。

(三)

除了以上两个主要問題以外，我們还討論了以下有关实际作业工作中的問題：

(1) 在現行作业单位中規定，一般在联測II等重力点的时候，不得在測綫中途带測加密重力点，但是根据这次生产实习队II等点成果来看，其中有很多II等点联測的过程中，都带測了加密重力点，而对II等点的精度并无影响，我們將这些成果及精度刊于表8，从这张表內的数值說明在联測II等点的測綫中加測加密点是可以的，这也相当于在联測基本点时带測I等点一样，这样做一方面可以加快重力測量速度，同时也減少了联測的費用。

表 8

II 等 点 号	联 測 精 度	带 測 加 密 点 数 目
1	± 0.15 毫伽	0
2	± 0.20	1
3	± 0.20	1
4	± 0.10	1
5	± 0.07	0
6	± 0.10	3
7	± 0.13	6
8	± 0.11	3
9	± 0.17	2

(2) 在每一个測綫的开始要进行一次重力仪測微器零点改正的測定，根据許多观測資料分析，重力仪測微器零点改正随时间的变化是很小的，因而它的变化对观測值 g_r 的影响也就很小了，所以我們認為沒有必要每一个測綫測定一次零点改正，而且这样的規定也是不恰当的，因为測綫有長有短，有的長达二三天，有的短到几小时，所以我們提出每一个星期測定零点改正一次，而且每次都由不同观測員进行測定，然后取其平均值以消除系統誤差。

(3) 在气压高程测量中，气压变化在很大的情况下，如果进行观测，那么对观测结果的精度是有很大影响的，但是在现在的外业工作中规定气压变化每小时超在 1 毫米时不得进行观测，根据今年观测结果来看，我们认为这样的变化太大了，因为气压变化 1 毫米，就等于高差的误差为 10 米，所以我们提出气压变化每小时超过 0.5 毫米的情况下，不得进行观测，这是符合要求的，同时还应该特别注意在测站上当气压突然变化时，必须等气压稳定后才能进行观测，这样保证气压高程的精度。

(4) 根据苏联学者别里年的研究就是在平原地区为了求正常高中的重力测量改正必须沿精密水准线路每隔 5 公里敷设一个重力点，这个要求在我国的重力测量布置中没有考虑到，这样一来，势必会造成在水准测量中一旦需要时那么又要重新沿水准线路进行重力测量，这样就会形成巨大的浪费，所以我们建议在进天文重力水准的加密重力测量时就要充分考虑到水准测量的需要。