

方形域重力地改方法技术改进的探讨

葛兴华

(华东有色金属勘探公司814队)

在重力地改工作中,取数任务极为繁重,长期满足不了野外生产需要。因此,改进地改工作方法,提高精度和效率,是当前重力勘探急需研究的一个重要课题。本文首先简要讨论方形域重力地改方法,然后根据我们几年的实践经验,提出以下几种改进方法:

1. 改变地改取数半径;
2. 改变地改最小积分步长;
3. 改变地改电算不采用野外实测水准;
4. 对两种比例尺 1 : 5000 和 1 : 10000 的地形图进行对比试验;
5. 地改精度求法的仿模设想。

通过试验,证明所提出的改进方案是可行的,在保证精度的前提下,简化了地改工作,提高了效率,并取得了一定的经济效益。

采用的计算公式

计算重力地形改正值是基于下面的三重体积分正演公式:

$$\begin{aligned}\Delta g &= K\sigma \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_0^{\Delta h} \frac{z}{(x^2 + y^2 + z^2)^{3/2}} dx dy dz \\ &= K\sigma \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \left[\frac{-1}{(x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}} \Big|_{z=0}^{z=\Delta h} \right] dx dy \\ &= K\sigma \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{r} dx dy - K\sigma \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{(r^2 + \Delta h^2)^{1/2}} dx dy\end{aligned}$$

若分环计算,改正到有限远时,上式右端的第一项和第二项可分别改写成:

$$\text{第一项} = K\sigma \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{r} dx dy = \sum_{D=1}^N K\sigma \iint_{S_D} \frac{1}{r} dS = \sum_{D=1}^N K_D$$

$$\text{第二项} = K\sigma \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{(r^2 + \Delta h^2)^{1/2}} dx dy = \sum_{D=1}^N K\sigma \iint_{S_D} \frac{1}{(r^2 + \Delta h^2)^{1/2}} dS = \sum_{D=1}^N K'_D$$

式中: K —引力常数; σ —改正密度; Δh —地表与计算点的高程差值; (x, y, z) —质量单元 dm ($= \sigma dx dy dz$) 的坐标; S_D —第 D 环的范围; N —用改正到 N 环改正值近似表示 Δg ; $D=1, 2, 3, \dots, N$ 。即 $\Delta g = \sum_{D=1}^N \Delta g_D = \sum_{D=1}^N (K_D - K'_D)$, $K_D = K\sigma \iint_{S_D} \frac{1}{r} dx dy$

本程序采用分环方案,对上式 K_D 采用定积分,求出一套系数。

$$K'_D = K\sigma \iint_{S_D} \frac{1}{(r^2 + \Delta h^2)^{1/2}} dx dy = \sum A_{ij} f_{ij}$$

式中 Δh 表示地形起伏情况,用一系列高程数值给出。 K'_D 是用数值积分法近似算出的系数。其中:

$$f_{ij} = \frac{1}{(r_{ij}^2 + \Delta h_{ij}^2)^{1/2}}$$

计算节点位置上某环地改值 Δg_D 的公式即:

$$\Delta g = K_D - \sum A_{ij}^{(D)} f_{ij} \quad (1)$$

$A_{ij}^{(D)}$ —近似数值积分时用四次柯特斯系数推至平面上后求得,表示第D环的 A_i 系数。

在节点上 Δg_D 值按公式(1)计算。当测点距(测线距)小于某环积分步长时,该环在测点上的改正值是采用内插法计算的。以往的理论总结认为,远区改正结果具有两个特征:一是抛物线特征,二是线性特征。

在抛物线的情况下,中区采用的内插计算公式应为:

$$\Delta g_h = \Delta g_{h_0} + \Delta h \cdot F' + \Delta h^2 \cdot F'' \quad (2)$$

上式是对应于中心差分的司梯林公式。 $\Delta h = h - h_0$, F' , F'' 是用中心差分求出的差商值。 Δg_{h_0} 是某环改正值。

在线性变化的情况下,远区采用的内插计算公式应为:

$$\Delta g_p = \Delta g_A + \frac{1}{m} (\Delta g_B - \Delta g_A) \quad (3)$$

上式 Δg_p 是外环内插某点P的地改值,P指外环内插的某点,m是内插系数, Δg_A , Δg_B 是某环改正值。

改变地改半径问题

重力地改半径的确定是根据测区地形的复杂程度、密度分布情况,并结合本区使用地形图(指近区用图)的质量来考虑的。半径的大小主要是根据能否正确地分辨异常和是否达到解释异常所需要的精度,通过试验来确定。

在方形域电算地改中确定的取数半径是12.8公里,这是根据全国多数地区普遍情况确定的,有一定的代表性,但在局部地区也可根据具体情况另行选定。例如在江苏省,丘陵与平地面积较大,只有少量山区,12.8公里的半径对于部分较复杂的山区地段还是合理可行的,但在较大面积的丘陵与平地也用同样半径是否有必要?对 可根据试验提供的不同高度半径曲线和半径界线值(图1、表1)加以考虑。地改半径的选择应该是:对100米以内的高差,应采用3.2公里半径;对100~150米的高差,应采用6.4公里半径;对150米以上高差,仍采用12.8公里半径。从表1及图1看出,在100米以下,3.2公里以远的改正值在0.009~0.056毫伽之间变化;100~150米高差,6.4公里以远的改正值在0.023~0.059毫伽之间变化;150米以上高差仍采用原来最大半径。

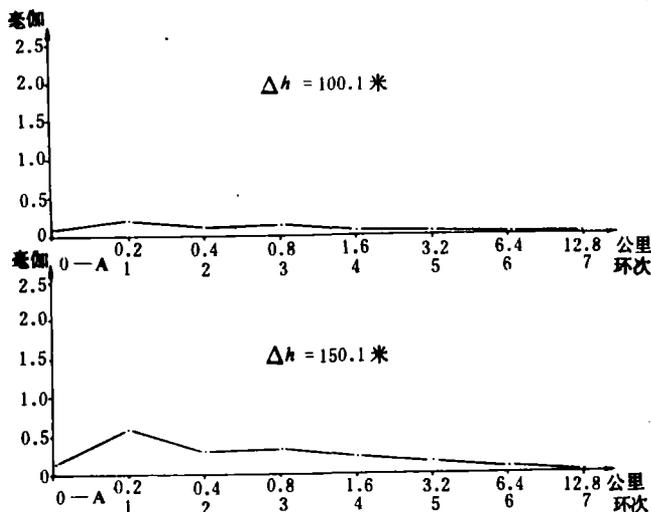


图1 不同高度地改值半径的对比曲线

根据规范,丘陵与平地要求的异常精度是 ± 0.1 毫伽。山区要求异常的I级精度是 ± 0.077 毫伽,II级精度是 $\pm 0.077 \sim \pm 0.170$ 毫伽。与上述改正值相比,均未超出允许范围,因此认为,地改半径由原来的一个(12.8公里)改用三个半径(3.2, 6.4, 12.8公里)还是合理可行的。

改变最小积分步长问题

确定重力地改最小积分步长与半径的道理相同,在此不再重复。最小积分步长指的是地改最密环次网格距的大小,

试 验 名 称	图 纸 来 源	比 例 尺	试 验 地 段	步 长 (米)	数 据 来 源	统 计 点 数	均 方 误 差 (毫 伽)	
积 分 步 长	809队航调	1/5000	云台山	$a = 25, 50$	图 面	1377	± 0.060	
	省局航调	1/10000	五洲山	$a = 25, 50$		196	± 0.052	
转 角 度 (45°)	南地测绘	1/5000	牛首山	方位不同		11		± 0.007
				a 值不同				± 0.014
				a 值方位不同			± 0.019	
实 测 水 准 与 图 面	南地测绘	1/5000	牛首山	$a = 25$	实 测 与 图 面	1377	± 0.044	
地 改 半 径	南地测绘	1/5000	祖堂山	$a = 25$	图 面	43	界 线 值	0.009~0.056
								0.023~0.059

也就是 Δh 对地形描绘的详细程度而言的；一般说来，在环域中，节点稀，精度低；节点密，精度高，但也并非越密越好，节点过密只会增加地改工作量，因此，最小积分步长的选取应该是在能满足精度要求的前提下，尽量放稀网距。

以满足精度要求为前提，我们进行了积分步长的试验，具体做法按三个方面进行：第一，选测复杂的山区地段；第二，在两种比例尺地形图上（近区比例尺1：5000与1：10000），用两种积分步长在同幅图上各取一套数据；第三，在同幅图上转 45° 角再准备一套数据，计算统计结果的均方误差并展图对比。其误差见表1及图2。

从误差统计表中看出，试验用三个单位提供的地形图，两种比例尺，地段以山区地貌为主，最大高差316米（海拔高），在两种比例尺地形图上用两种步长或转一角度，数据全部来源于图面高程。从均方误差来看，809队的1：5000比例尺航调图上1377点的均方误差统计为 ± 0.060 毫伽。须要说明的是，该图是809队1982年调绘的，据鉴定认为：名为1：5000地形图，其质量还低于1：10000的精度，由于在这个山区地段，别无其他地形地质图，只好使用该图；表中统计的均方误差也完全证明了这一点。江苏省测绘局1：10000航调图上196点的均方误差统计为 ± 0.052 毫伽。南京地质学校测绘的1：5000图上，按地形的不同特征，不同步长，不同方位11点的均方误差统计分别为 ± 0.007 毫伽， ± 0.014 毫伽， ± 0.019 毫伽。从转角度的误差来看，第一种情况步长相同，方位不同，与描绘地形很接近，所以误差也很小。第二种情况步长不同，方位相同，对描绘地形也很接近，所以误差也很小。第三种情况步长不同，方位也不同，但由于它们的半径、环域相同，所描绘地形仍很接近，误差也不大。再从图2来看，两种步长描绘地形也很接近，由于误差不大，所以两条曲线变化规律一致，吻合较好，改正后的极大值高达9.22毫伽都能吻合较好；至于虚线段都在实线段之下，这是由于步长50米描绘地形通过积分所求出的引力值略小于步

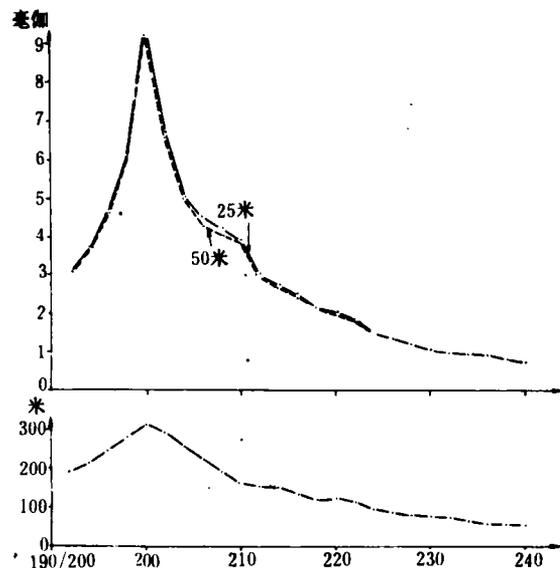


图 2 不同积分步长试验对比曲线

长25米,这也是符合客观情况的。

改变积分步长,又改变方位,对描绘地形的均方误差与规范要求对比,均未超出允许范围。江苏省的山区高差一般都在200米左右,大于300米的很少,大于400米的更少,所以在这样的地形地区,地改最小积分步长由原来的25米改用50米是能满足规范精度要求的。若近区没有1:5000地形图时,采用1:10000地形图也能达到地改精度要求。

地改电算不采用野外实测水准问题

测点上的高程数据是用水准仪测量的,一般只能作为高度内插的高程而不进入节点计算。当测区没有大比例尺地形图时,可以考虑采用实测水准。因水准高程与图面高程的精度不一致,采用水准高程反而会增大描绘地形的误差。

方形域重力电算地改的原方案确定:地改电算数据准备除图面高程数据外,还必须单独整理一套野外实测水准数据。经过几年的工作实践,我们认为,采用实测水准进行地改存在以下几个问题:

- (1) 因测量点位不准会增大描绘地形的误差,并引起地改精度的降低。
- (2) 由于采用实测水准,使地改的精度无法求出。
- (3) 用实测水准要等野外水准测量结束,从而使地改电算值的提交远远跟不上实际工作的需要。

重力地改所使用的资料(实测水准除外)如:几种不同比例尺地形图,国家与地方坐标系统,3°带与6°带的理论换带等都是理论的,几种比例尺地形图精度要求不一,若将图面与野外实测的精度对比,两者相差若干倍。我们认为,其主要原因是点位不准所引起的。下面就野外测量放样、布点与地改图面上理论展点精度进行对比。

在1:10000测网中,野外基线长度一般相隔2000米一个放样点。基线精度要求:实测坐标与理论坐标比较要小于 ± 8 米。测线精度要求:1000米距离方向差不大于14米。测点精度要求:实测点位与理论点位不大于 ± 18 米。

在1:5000与1:10000图上地改展坐标的间隔一般也是2000米,在2000米间隔中的展点限差是0.3毫米。按2000米间隔将野外实测与图面展点精度进行对比。所得结果如下:

将两者限差展在比例尺1:10000的地形图上:

野外基线为0.8毫米 = 8米
地改图面为0.3毫米 = 3米 } 基线限差是地改限差的2.67倍。

将两者限差展在比例尺1:5000的地形图上:

野外基线为1.6毫米 = 8米
地改图面为0.3毫米 = 1.5米 } 基线限差是地改限差的5.33倍。

野外测量从基线、测线再到测点与地改图面上理论坐标的展点到画网格,它们的精度逐级降低,其误差则由小逐级增大。简单的精度对比说明,采用实测水准必然引起地改对地形描绘不可能是客观地形;原因是实测点位的位移没有一定规律,所以改正后的曲线也不可能真实;因为实测点位有误差,在平面位置上有位移,所以必然引起高差的变化,由此造成地改误差增大,降低地改的精度。从表1及图3也可以说明上述问题。

从表1可看出,用图由南京地质学校提供,仍选山区地貌为主,用同一积分步长,采用图面高与实测水准两种数据,计算出结果后统计其均方误差,在1:5000地形图上,统计了1377点的均方误差为 ± 0.044 毫伽。再从误差对比曲线看(图3),由于误差不大,所以两条曲线吻合良好。规范要求山区地改的I级精度是 ± 0.077 毫伽,II级精度是 $\pm 0.077 \sim 0.170$ 毫伽,实验结果说明,使用1:5000地形图,图面高程完全可以代替实测水准。再者,因每个测点的水准高程并非地改所用图上那个测点的实

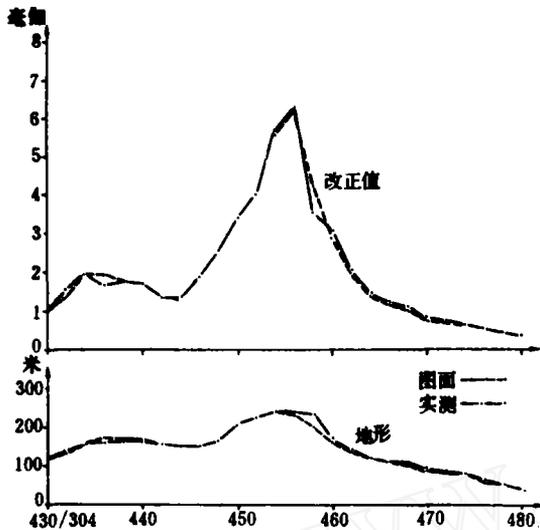


图3 实测水准与图面高程改正值对比曲线

地形进行试验(山地一般高差为50~150米,最大高差约250米),试验结果见表2。

1:5000与1:10000地形图试验误差(毫伽)统计表

表2

环次	1	2	3	4	5	1~7	
范围(米)	0~200	400	800	1600	3200	12800	
线号	360	±0.012	±0.001	±0.000	±0.001	±0.001	±0.010
	364	±0.014	±0.001	±0.000	±0.001	±0.001	±0.014
	368	±0.016	±0.001	±0.000	±0.001	±0.001	±0.015
	372	±0.018	±0.001	±0.000	±0.001	±0.001	±0.020

从表2可看出,四条测线的均方误差都不大,在±0.020毫伽范围内,因此在类似地区,若没有1:5000或大于1:5000地形图的情况下,只要严格控制平面点位位移的误差,用1:10000地形图进行近、中区的地形改正还是可行的。对于地形比较复杂,以及地形图与实际地形不符的局部地段(如露天开采或其他原因地表被破坏的地段),可在补测或重测地形图后另行准备数据,或是用实测四方位的地形改正值。

重力地改精度求法的仿模设想

根据上述试验结果我们认为可以改进原来的地改方案,可不用野外实测水准,这不仅能提高地改的精度,而且为地改提供了衡量精度的方法,求出地区地改精度的数值,其具体的仿模设想如下:

- (1) 在重力地改图面上理论坐标的展点与画网格,相当于野外测量实地的放样与布点。
- (2) 地改图面高程节点的取数,相当于野外某种测量方法的原观测。
- (3) 地改若要进行质量检查,就在原幅图面积上(已读取过节点高程的图上)再重新取数(换人读取),整理、穿孔、上机算出地改成果(为二次取数成果),作为质量检查成果值。
- (4) 在检查质量时,检查点要求在测区内均匀分布,并应选择在有代表性的地段。

(5) 地改精度的统计,按计算均方误差公式 $\epsilon = \pm \sqrt{\frac{\sum v_i^2}{2n}}$ 统计均方误差(式中 v_i —第 i 点两次成果值之差, n —检查的点数。)

- (6) 地改所用地形图的质量高低,相当于野外使用仪器精度的高低,地形的好坏则相当于该区

际坐标(因测量有误差),而地改用的中心点是实测水准高程,外围点则用图面高,其中心并非中心。上述精度对比认为,实测的精度低于图面的精度,因此,用这个点计算地改值是不科学的,反而会增大描绘地形的误差。

1:5000与1:10000地形图的试验

按规范要求方形域重力地改的改正区间是:

0~32a采用地形图是1:2000或1:5000,32a~128a采用1:10000地形图,128a~512a采用1:50000地形图,若近区缺少1:5000或更大比例尺的地形图时,近区地改能否采用1:10000地形图呢?因此我们又选了平地、丘陵、山地三种

场强的大小。

(7) 测区使用的地形图先已制就,其质量是无法改变的,所以在确定一个地区地改精度时,可由搞设计重力工作的同志确定。

中国地质学会矿床普查勘探专业委员会成立大会 暨第一次全国学术讨论会在京召开

中国地质学会矿床普查勘探专业委员会成立大会暨第一次全国学术讨论会于1985年7月1日至6日在北京召开。出席这次会议的,除中国地质学会矿床普查勘探专业委员会的委员外,还有国家计委、国家经委、中国科协、中国地质学会、中国科学院、北京市科协、地质矿产部、冶金部、煤炭部、石油部、化工部、轻工业部、核工业部、国家建材局、中国有色金属工业总公司、全国矿产储量委员会等部门以及有关大专院校代表共179人。

大会由地矿部副部长朱训致开幕词;中国地质学会理事长程裕淇和北京市科协主任任湘也讲了话。

在成立大会上,产生了由39人组成的矿床普查勘探专业委员会,朱训同志任主任,何发荣、赵鹏大、应森炎、裴荣富、郑之英和杜劲光等同志任副主任。

这次会议共收到学术论文223篇,在会上宣读158篇。根据论文内容,讨论会分矿产普查勘探的新技术、新方法及其应用;提高普查勘探工作质量及经济、社会效益的途径;普查勘探趋势及对策;普查勘探阶段的划分及矿床技术经济评价;矿产储量分类分级及各级储量条件和矿床综合勘探、综合评价等6个方面进行。在讨论中,代表们本着“双百”方针,广泛交流经验,认真地进行着学术讨论。这些论文涉及专业广泛,内容丰富,观点也较明确,具有一定的科学技术水平。多数论文是应用科学方面的,实用性较强,对今后开展矿床普查勘探工作将会起到积极

的作用。

在讨论中,代表们认为,建国35年来,我国在矿床普查勘探工作中取得了很大的成绩,大多数矿山的探明储量基本满足了国家“六五”“七五”计划的需要。但从长远来看,有些矿产资源储量并不充足,我们必须共同努力,加强普查勘探的研究工作,为国民经济建设寻找和探明更多的矿产资源。

在征求代表的意见和建议基础上,大会针对目前我国矿产普查勘探的现状提出了七点意见和建议:1.加强矿产资源形势的分析,了解国内外矿产普查勘探和开发利用的现状及发展趋势,制定我国矿产资源普查勘探和开发利用的方针政策;2.迅速开展矿床技术经济评价工作,提高矿床普查勘探工作的经济效益;3.加强矿产储量的管理,迅速制定我国统一的矿产储量分类分级系列;4.重视矿床的综合勘探、综合评价和综合开采利用,充分合理地利用矿产资源;5.加强矿石物质组分和选冶技术性能的试验研究工作;6.重视老矿山周围及其深部的找矿勘探工作,延长矿山服务年限;7.加强矿床普查勘探阶段划分的研究。

大会还对专业委员会今后三年的工作做了具体安排。会议相信,由于矿床普查勘探专业委员会的工作密切联系实际,直接服务于生产,具有活力,它将受到广大地质工作者欢迎,今后一定能为国民经济建设作出更多的贡献。

【本刊通讯员】