

559779

物探工人自学参考读物

重力勘探

夏恒仁 编



地质出版社



物探工人自学参考读物

重 力 勘 探

夏 恒 仁 编

地 质 出 版 社

内 容 提 要

本书主要介绍重力勘探方法的基本原理，包括必要的基础知识、地面重力仪器方法技术和重力异常的解释推断，并简略介绍重力勘探在各个领域中的应用实例。本书通俗易懂，是重力测量工人自学的一本较好的读物，也可供中等技术学校师生和物探职工阅读参考。

物探工人自学参考读物

重 力 勘 探

夏 恒 仁 编

责任编辑：曹玉·陆克

地质出版社出版

(北京西四)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本：787×1092¹/₃₂印张：5⁵/₈·字数：120,000

1985年6月北京第一版·1985年6月北京第一次印刷

印数：1—2,225册 定价：1.35元

统一书号：13038·新155

前 言

我们知道，地面上任何物体之所以有重量，是因为它受到重力的作用。物体受重力作用产生的加速度，称为重力加速度。地球表面重力加速度的大小随着地点的不同而变化。这种变化与地球运转、地球形状和地壳内不同密度物质的分布有关。测量重力加速度的变化对研究地质构造和寻找矿产具有重要意义。重力勘探主要研究精确测量重力加速度变化的仪器和方法，以及根据重力测量数据解决地质构造和找矿方面的问题。

重力勘探是由重力测量学发展而来。重力测量学是一门古老的学科，早在16世纪，伽利略（1564—1642）根据自己发现的自由落体原理，首次测量了重力加速度。后来由于天文学的需要，惠更斯（1629—1695）仔细研究了摆，并在1655年左右制造了钟，这为重力加速度的精确测定奠定了基础。1672年法国的里歇偶然发现，他原来在巴黎校得很准的天文钟，带到南美后每昼夜慢了两分多，而在带回巴黎时又准确了。同样的现象也为其它旅行家发现。但是，直到牛顿（1643—1727）以前，这一现象没有得到应有的重视和正确的解释。1687年牛顿在《自然哲学的数学原理》一书中正确阐明了这一现象。从此，利用重力加速度的变化来研究地球形状就正式开始了。

重力测量应用于地质方面是从1896年厄缶发明扭秤（一种测量重力二次导数的仪器）开始的。1908年，他指出了应

用扭秤研究地壳上层地质构造的可能性。随着近代科学技术的发展，特别是第一次世界大战期间及后来近代工业对地下资源的需要，扭秤和摆已不能满足要求（测量一个点需要数小时）。重力仪的出现，促进了重力勘探的发展。目前，重力勘探广泛用于地面和海洋，研究地质构造和寻找各种有用矿产。航空重力测量也已开始用于区域重力测量。

我国重力勘探开始于1945年（重力仪测量），但直至全国解放前夕，全国只有两个队，仅在西北和台湾个别地区进行了一些试验性工作。在湖南一个地方作了少量的金属矿扭秤测量。解放后，在党和人民政府的重视下，重力勘探队伍发展很快。重力测量的面积及应用范围不断扩大，取得了一些显著的地质效果。在六十年代，北京地质仪器厂制造了重力仪，目前精度已提高到 $0.03\sim 0.05$ 毫伽，推动了重力测量的发展。现在重力测量资料已开始应用电子计算机加工处理。重力勘探在研究区域地质构造和寻找油气藏、铬铁矿及赤铁矿的工作中取得了显著的地质效果。可以预料，随着仪器精度的提高，处理方法的改善，自动化程度的提高，重力勘探必将进一步扩大应用范围，取得更好的地质效果。

本书由合肥工业大学地质系物探教研室夏恒仁同志编写。地质部第一物探队、西藏地质局物探队、安徽省地质局物探队参加了提纲的拟定；桂林地质学院和江苏、江西省地质局物探队的部分同志对本书提出了宝贵意见；武汉地质学院周国藩老师审阅了本书；图件由合肥工业大学地质系夏宇屏、周莲娣、贾美芝三同志清绘；在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限，缺点、错误在所难免，恳请读者批评指正。

目 录

前言

第一章 地球的重力场	1
§ 1.1 重力	1
§ 1.2 地球的正常重力分布	5
§ 1.3 引起地表重力变化的原因	7
§ 1.4 重力异常	10
思考题.....	16
第二章 重力仪	18
§ 2.1 重力测量的基本原理	18
§ 2.2 ZS2-67型重力仪	22
§ 2.3 如何使用重力仪	31
§ 2.4 其它几种重力仪简介	39
思考题.....	43
第三章 重力勘探的方法与技术	44
§ 3.1 重力勘探的任务	44
§ 3.2 测区和测网	47
§ 3.3 重力基点网	51
§ 3.4 测点观测	60
§ 3.5 重力测量数据的改正	63
§ 3.6 布格重力异常的精度和图示	71
§ 3.7 重力测量总精度的确定和各项精 度的分配	76

思考题	77
第四章 岩矿密度及测定	79
§ 4.1 影响岩矿密度的地质因素	79
§ 4.2 岩矿密度的测定	80
§ 4.3 密度测定结果的整理	84
§ 4.4 确定岩石密度的其它方法	87
思考题	89
第五章 重力勘探的正演问题和反演问题	90
§ 5.1 概述	90
§ 5.2 规则几何形体的正演和反演问题	93
§ 5.3 解复杂形状地质体正演问题的 Δg 量板	109
§ 5.4 选择法	121
§ 5.5 直接法	122
思考题	125
第六章 区域异常和局部异常的划分	126
§ 6.1 局部异常和区域异常概述	126
§ 6.2 图解法	128
§ 6.3 趋势分析	130
§ 6.4 圆周法和偏差法	134
§ 6.5 解析延拓	135
§ 6.6 重力位高次导数法	139
思考题	144
第七章 重力勘探在地质工作中的应用	145
§ 7.1 概述	145
§ 7.2 在划分大地构造单元和地质填图方面的应用	147

§ 7.3	在寻找铬铁矿方面的应用	151
§ 7.4	在寻找铁矿方面的应用	157
§ 7.5	在寻找其它矿床方面的应用	161
§ 7.6	重力测量在地震预报中的应用	165
思考题	168
附录	重力仪的常见故障及其排除方法.....	169

第一章 地球的重力场

§ 1.1. 重 力

任何物体都具有重量，水往低处流，陨石落向地面……。这些常见的自然现象都是由于重力的作用引起的。大家常说的“地心吸引力”就是重力。严格地讲，“地心吸引力”只是重力的一部分，不是重力的全体。为什么呢？要了解这个问题，就必须知道地球上物体受力的情况，弄清楚重力的概念。

宇宙间的任何两个物体，相互之间都具有吸引力，这种吸引力就是大家所熟悉的万有引力。地球和地球上的物体也不例外，1687年牛顿根据天体运行规律，总结出万有引力定律：任何两个物体都相互吸引，吸引力的大小和两物体质量的乘积成正比，和两物体之间距离的平方成反比；引力的方向在两物质心的连线上。如果我们假设两物体的质量分别为 m_1 和 m_2 ，两物体间的距离为 r ，用 f 表示引力，则万有引力定律可以用下列公式来表达，即

$$f = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (1.1.1)$$

式中的 G 称为万有引力常数，其数值等于 6.67×10^{-8} 达因·厘米²/克²，是用实验方法测定出来的。

引力的单位同其它力一样，在厘米·克·秒制（CGS）中

是达因。1 达因就是使 1 克质量的物体产生 1 厘米/秒² 加速度所需要的力。

严格地说，万有引力定律中所指的物体是点质量，即物体的大小相对于两物体间的距离可以忽略不计。当物体不能看做点质量时，应将物体分割成若干个质点，求出两物体各质点间引力的合力。对于均匀球体，可以把它看成是全部质量集中在球心的点质量。

如果我们用 M 表示地球的质量， m 表示地面任意物体的质量， R 是地球半径，则地球和地球上某物体的相互吸引力近似地等于：

$$f = G \frac{Mm}{R^2}$$

地球和宇宙间的一切物质一样，在不停地运动。地球在围绕太阳的轨道上不停地运行，称为公转；同时它又以南北极的连线为轴，自西向东不停地转动，称为自转。地球自转一周需要 23 小时 56 分 4.1 秒，其角速度是 $2\pi/86164$ 秒。

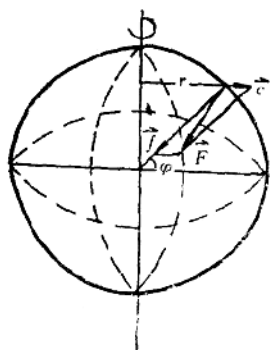


图 1.1

地球上的物体随着地球自转也在转动，因此受到惯性离心力的作用。惯性离心力的大小与物体的质量、地球自转角速度的平方及物体到自转轴的垂直距离成正比；其方向与地球自转轴垂直并指向外。若物体的质量是 m ，地球的自转角速度是 ω ，物体到自转轴的垂直距离是 r ，则惯性离心力的大小可以表示为

$$C = m \cdot \omega^2 \cdot r \quad (1.1.2)$$

从图1.1可知, r 可用物体所在纬度和地球半径 R 表示, 即 $r = R \cos \varphi$, 代入 (1.1.2) 式

$$C = m \omega^2 R \cos \varphi$$

因此, 惯性离心力在赤道 ($\varphi = 0^\circ$) 最大, 在两极 ($\varphi = 90^\circ$) 等于零。

到此为止, 我们已经知道, 地球上的物体同时受到地球引力和惯性离心力的作用, 根据力的合成原理, 这两个力所组成的平行四边形的对角线就是它们的合力 (图1.1), 我们把这个合力称为重力。

现在我们给重力下一个定义: 重力就是地球上的物体所受到的地球引力和惯性离心力的合力。用公式表示为:

$$\vec{F} = \vec{f} + \vec{C} \quad (1.1.3) \textcircled{1}$$

引力比惯性离心力大得多。在赤道离心力最大, 但也只有引力的1/300。所以重力近似地指向地心。

我们知道, 力是要通过物质传递的。陨石从宇宙空间落向地面, 是因为受地球重力的作用。陨石与地球相距遥远, 重力是如何传递到陨石上去的呢? 下面我们简单地介绍一下场的概念。任何质量周围都伴随着一种特殊物质, 这种物质称为“场”。旋转着的地球周围伴随的特殊物质叫做重力场。重力对陨石及其它物体的作用, 就是通过重力场传递的。在人类未认识“场”这种特殊物质的时代里, 唯心论者错误地把重力称为“超距力”。目前, 人类只认识到重力场具有传递

① 在 (1.1.3) 式中, 每一个表示力的量都带有箭头“ $\vec{\quad}$ ”, 这是因为力不但有大小, 而且有方向, 称为向量, 箭头“ $\vec{\quad}$ ”是向量的符号。前面定义 f 和 c 时都是由文字说明来指出它们的方向的, 因此没带“ $\vec{\quad}$ ”。

(1.1.3) 式是向量加法的表达式, 该式就是用平行四边形法则相加的表达式。

力的作用和位能，重力场的其它性质还有待进一步认识。

从公式 (1.1.1)、(1.1.2)、(1.1.3) 中知道,重力的
大小决定于地球的质量、地球的自转角速度、受力物体的质
量和所在纬度等四个因素。显然,除受力物体的质量外,其
它三个因素都与地球本身有关。与地球有关的因素是决定重
力大小的内因。我们要研究的是地球的重力场,也就是研究
重力场与内因的关系。为此,引入重力场强度的概念。

我们都熟悉物理学中的牛顿第二定律,即力、质量和加
速度的关系定律:

$$F=mg \quad (1.1.4)$$

如果令式中的 F 表示重力, m 是受力物体的质量, 则 g
就是在重力 F 的作用下使物体 m 产生运动的加速度, 即重力
加速度。变换 (1.1.4) 式为

$$g = \frac{F}{m} = G \frac{M}{R^2} + \omega^2 R \cos \varphi \quad (1.1.5)$$

从 (1.1.5) 式中明显看出,重力加速度在数值上等于单
位质量所受的重力,即重力场的场强,它只依赖于地球的质量、
旋转角速度及其在地球表面的位置。

在重力勘探中,人们借助于对重力加速度的研究来找矿
和解决地质问题。因此,我们习惯地把重力加速度简称为重
力。重力的单位在CGS单位制中可由 (1.1.5) 式推导出来:

$$[g] = \frac{[F]}{[m]} = \frac{1 \text{ 达因}}{1 \text{ 克}} = \frac{\text{克} \cdot \text{厘米} / \text{秒}^2}{\text{克}} = \text{厘米} / \text{秒}^2$$

为了纪念第一个测定重力加速度的意大利物理学家伽利
略,把厘米/秒²称为伽。在重力勘探中,用伽作为基本单位
太大,往往用伽的千分之一作基本单位,称为毫伽;目前在
高精度重力勘探中又常用毫伽的千分之一做单位,称为微伽,
它们的转换关系为:

$$1 \text{ 伽} = 10^3 \text{ 毫伽} = 10^6 \text{ 微伽}$$

§ 1.2 地球的正常重力分布

地球的形状和自转角速度决定了地球的正常重力分布。我们分两部分来讨论它的正常分布，即正常重力值随纬度变化的情况和正常重力值随高度变化的情况。

一、正常重力值随纬度的变化

首先，我们近似地讨论一下正常重力值随纬度的变化情况，以便形成半定量的概念；而后给出正常重力值随纬度变化的精确公式。

为此，我们假设地球的质量 (M) 全部集中在球心，研究地球表面上重力值的分布情况。

显然，点质量在地球表面的引力场强度应为

$$f' = G \frac{M}{R^2}$$

式中 R 是地球表面某点到球心的距离。

离心力场强度为

$$C' = \omega^2 R \cos \varphi$$

因此， $\vec{g} = \vec{f}' + \vec{C}'$ 。

由于赤道半径最长 (6378公里)；两极半径最短 (6357公里)，所以重力的主要成分即引力在赤道上最小，向两极逐渐增加，在两极达到极大值；离心力在赤道上最大，但方向与引力相反，在两极离心力等于零。因此正常重力值在赤道上最小，并随纬度增加而增加，在两极取得极大值。这就是正常重力值随纬度变化的基本规律。

以上的假设条件在地球的重力场的研究工作和重力勘探

中是不够完善的。在推导比较严密的公式时，其假设条件应是：

1. 地球近似于一个两极压扁的旋转椭球体。
2. 组成地球的质量成层状分布，每一层的密度是均匀的，各层界面都是共焦点的椭球面。

根据以上假设，推导出的正常重力公式是

$$g_0 = g_e (1 + \beta \sin^2 \varphi - \beta_1 \sin^2 2\varphi) \quad (1.2.1)$$

式中 g_e 是正常重力值； φ 是计算点的纬度；

$$\beta = \frac{g_p - g_e}{g_e}; \quad \beta_1 = \frac{1}{8} \alpha^2 + \frac{1}{4} \alpha \beta。$$

其中 α 是地球的扁率。若令 a 为赤道半径， c 为极半径，则

$$\alpha = \frac{a-c}{a}; \quad g_e \text{ 是赤道重力值, } g_p \text{ 是两极重力值。}$$

将地球参数以及 g_e 和 g_p 的实测结果代入 (1.2.1) 式，可以得到：

$$r_0 = 978.030 (1 + 0.005302 \sin^2 \varphi - 0.000007 \sin^2 2\varphi) \text{ 伽} \quad (1.2.2)$$

这个公式称为赫尔默特 (1901—1909) 正常重力公式。目前我国重力勘探工作中采用这一正常重力公式，它是纬度改正的依据。

二、正常重力值随高度的变化

正常重力值随高度的变化是研究重力场的另一个重要方面。为了研究这个问题，同样先做近似的讨论。其假设条件与前面基本相同，只是更近似地把地球表面看成圆球面，并忽略离心力的影响。根据这种假设条件，很容易求得地面高度相差 ΔR 的 A 、 B 两点的重力差：

$$\Delta g_A - \Delta g_B = GM \left[\frac{1}{R^2} - \frac{1}{(R + \Delta R)^2} \right]$$

用牛顿二项式定理^①展开 $\frac{1}{(R+\Delta R)^2}$ ，并取其前两项，得到：

$$\Delta g_A - \Delta g_B = GM \left(\frac{1}{R^2} - \frac{1}{R^2} + \frac{2\Delta R}{R^3} \right) = \frac{2GM}{R^2} \cdot \frac{\Delta R}{R}$$

如果B比A高1米，且取R为6370公里，则其差为0.308毫伽。该计算结果说明：在地表每升高1米，重力值减小0.308毫伽。该数值就是地球表面重力沿垂直方向的变化率，称为重力的正常垂直梯度。这一点很重要，它是§3.5高度改正的基础，我们也可利用它来校准重力仪的格值。

§ 1.3 引起地表重力变化的原因

在1.2.研究正常重力值分布时作了若干假设。我们把假设条件下的地球称为理想地球，真实情况的地球称为真实地球。本节就是研究真实地球与理想地球的差别及其对正常重力值分布的影响。

一、地球表面起伏的影响

大家知道，地球表面崎岖不平，有高山和平原，也有湖海和洼地。不平的地表对重力值的影响如何呢？我们来研究一下这个问题。

如图1.2所示的起伏地面，显然只能在A点测量重力值，绝不能在铲平地球表面的A'测量。

① 牛顿二项式定理：

当 $|b| < a$ ， n 为任意次幂时：

$$(a+b)^n = a^n + na^{n-1}b + \frac{n(n-1)}{2!} a^{n-2}b^2 + \frac{n(n-1)(n-2)}{3!} a^{n-3}b^3 + \dots$$

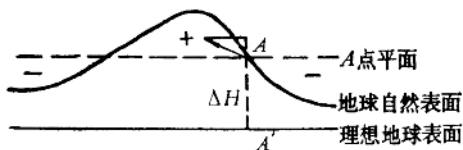


图 1.2

但我们想得到的是 A' 点的正常重力值,怎么办呢?只有首先研究它们的差别,而后再想办法消除这一差别。 A 点和 A' 点相比,显然有两点差异:其一是 A 点比 A' 点高 ΔH ,根据§ 1.2正常重力值随高度的变化规律,显然 A 点比 A' 点重力值小 $0.308\Delta H$ 毫伽,这部分称为高度影响。其二是在 A 点测量的重力值中比 A' 点多了一部分质量的引力,这部分质量就是自然表面和理想表面之间的质量。很显然,在 A 点平面以下部分的质量使重力值增加,其上的部分使重力值减小。

为了研究上的方便,将多余质量的影响分成两部分讨论。第一,对 A 点而言,多余了高于 A 平面的“+”部分的质量,又缺失了低于 A 平面的“-”部分的质量。缺失的部分显然使 A 点重力值减少;多余部分在 A 点的上方,引力向上,所以也使 A 点重力值减小。这就是地形影响。

经“填平补齐”后, A 点平面和理想平面间的质量称为中间层,它使 A 点重力值增加。若 A 点低于理想平面,则中间层使 A 点重力值减小,这部分影响称为中间层影响。

综上所述,地表起伏的影响,归结于三个部分,即高度影响、地形影响和中间层影响。这三部分影响在重力勘探的资料整理中占据着重要地位,消除这些影响的方法将在§ 3.5.中介绍。

二、地下质量分布不均匀的影响

在研究地球的正常重力分布时我们曾经假设，地球是由均匀的同心层构成。实际上每层质量并非均匀，特别是最上一层——地壳。质量分布的不均匀必然引起地表重力变化。研究这一重力变化，寻求它与质量分布的关系，就是重力勘探的中心任务。关于这方面的内容将在以后的章节中专门讨论。

三、日月和大气层的影响

住在海滨的人们都很熟悉海水的潮汐现象，这种现象是由于地球、月球和太阳的相对位置变化造成相互引力的变化所产生的。显然，若在一个固定点安置一台重力仪进行长期观察，就能记录到日、月引力引起的重力变化情况（图1.3）。日月引力引起的重力变化又称为固体潮。固体潮最大变化幅度可达几百微伽。

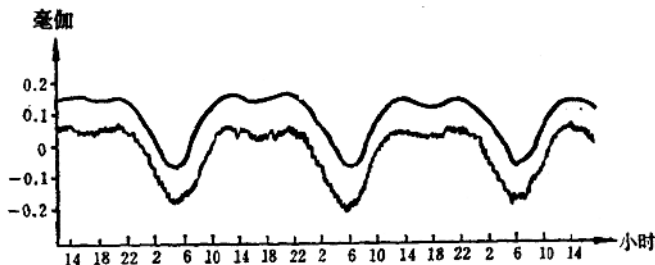


图 1.3

在重力勘探中，固体潮是干扰因素。当进行高精度重力测量时应进行固体潮校正。在地震预报中，对固体潮规律的研究可作为地震预报的根据之一。

大气层密度和厚度的变化也使地表重力值发生变化。这