

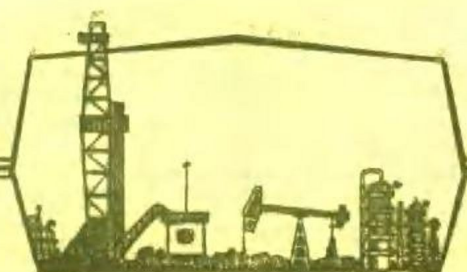
高等学校教学用书

石油地球物理勘探

上册

(重力 磁法 电法)

吴顺和编



石油工业出版社



石油地球物理勘探

(重力 磁法 电法)

上 册

吴顺和 编

石油工业出版社

内 容 提 要

本册包括重力勘探、磁法勘探和电法勘探，重点论述了各种方法的理论基础、物性依据及资料解释。

本书为高等学校石油地质专业的教科书，亦可供石油物探专业学生、石油物探技术人员及石油地质工作者参考。

石油地球物理勘探

(重力 磁法 电法)

上 册

吴顺和 编

*

石油工业部教材编译室编辑 (北京902信箱)

石油工业出版社出版

(北京安定门外安华里二区一号楼)

北京计量印刷厂排版

北京顺义燕华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 16¹/₄ 印张 405 千字 印8800—10300

1987年6月北京第1版 1996年11月北京第3次印刷

ISBN 7-5021-0366-X/TE·356 (课)

定价: 14.00元



前 言

本教材是为石油地质专业编写的，内容包括重力勘探，磁法勘探和电法勘探，我们把重点放在各种方法的资料解释、所需的理论基础以及物性依据上。与解释有关的新方法、新技术尽力予以充实，如重磁异常的数据处理，交变电磁场法以及电法直接找油等，至于野外工作方法和仪器，除去和资料解释有密切关系的部分外，从内容上作了较大的删减，仅择其有代表性的予以介绍。其中磁法勘探第六、七章由孟昭和工程师编写。

本教材由华东石油学院董敏煜副教授主审，经本教研室孟昭和工程师仔细审阅。在编写过程中，笔者为满足石油地质勘探专业的要求，力求加强基础、反映当前水平以及少而精，但由于编者水平有限，错误和不妥之处一定难免，请读者批评指正。

编者 吴顺和

1985年6月

绪 言

随着社会生产和科学技术的发展。人类对能源的需要日益增长，对我们来说，为了实现四个现代化，就需要提供更多的石油资源，作为石油勘探工作者。就应该努力掌握各种勘探手段，为建设社会主义祖国找到更大更多的油田。

大家知道，为了勘探石油，可以进行地面地质调查，研究地区的石油地质规律，指出含油的有利地区，但是应用这种方法，研究的深度是有限的，如遇覆盖地区，没有地质露头，就会有困难，当然可以用钻井，但我国幅员广大，海域辽阔。井往哪儿打呢？并且钻井的费用大，不能轻易决定，为此就要求有一种方法，既能反映地下深部的地质情况，又能作面积测量，从而能够说明勘探地区整个区域的地质和含油气情况。

地球物理勘探，就是在这种情况下被广泛采用的，成为找油的主要手段之一。

地球物理勘探所以有这样的能力，是由于它依据地下存在着不同岩石，这些岩石的物理性质不同，从而产生不同的物理场，我们在地表，采用各种精密仪器将它测量下来，然后对这些场进行分析研究，作出解释，从而了解地下构造，岩性等地质规律，达到勘探石油的目的。

地球物理勘探按照它的物性依据不同，而有不同的方法，以岩石的密度差为依据，在地面测量由它引起的重力变化的方法，称之为重力勘探；以岩石不同磁性为依据，在地面测量由它引起的磁场变化的方法，称之为磁法勘探；以岩石的导电性、导磁性、介电性为依据，在地面测量由它们引起的电场变化的方法，称之为电法勘探。这些方法有的可以在海上进行，又称之为海上物探，如海上重力勘探和海上地震勘探；有的可以在空中进行的，又称航空物探，如航空磁法勘探和航空电法勘探。

随着科学技术的发展，特别是仪器精度的不断提高和计算机技术的被广泛采用，使得物探资料解释质量不断提高，从而不断地提高地质效果，根据长期的实践结果表明，地球物理勘探的地质效果可归结为：①反映地壳深部结构及其特点；②为大地构造单元的划分提供依据；③反映基底表面深度、起伏、基底断裂、岩性等特点；④有利的情况下，反映盖层的构造特点，此外，地球物理勘探法，还有轻便，速度快和成本低的特点。

地球物理勘探正因为它是通过对地表的物理场进行观测和分析来说明地下地质规律的，因而它们是一种间接的方法，又由于不同的地质体可以产生完全相同的物理场，因而其解是非单一的，也就是通常所说的多解性，为此就要求我们在应用上述方法勘探时，应该综合使用。并且，尤其要注意的是要有岩石物性的测量资料。

地球物理勘探，随着生产的需要和科学技术的发展，它不仅在石油勘探，金属勘探和煤田勘探上早被广泛应用，并且日益的被工程地质，水文地质，以及地热勘探所采用。我们可以相信，地球物理勘探，无论是在理论基础、仪器的改进、工作方法、成果解释等方面，将随着现代科学技术的飞速发展，会有新的突破。

地球物理勘探是一门应用科学，涉及的知识范围是很广的，它不仅需要物理学、数学的知识，并且还需要电子技术、计算技术、以及新的工艺等知识，这是我们在学习中应该考虑到的，让我们在今后的学习中，努力的掌握它，在今后的工作中，努力的应用它和发展它吧！

目 录

结 言

第一篇 重力勘探

第一章 重力勘探的基础知识	(1)
§1 重力	(1)
§2 正常重力和重力异常	(4)
§3 岩石的密度	(6)
第二章 重力值的测量及其结果的整理	(9)
§1 重力测量的基本原理	(9)
§2 重力仪的原理	(10)
§3 重力的野外观测	(13)
§4 基点网的平差	(15)
§5 重力观测数据的校正	(18)
§6 重力异常的计算和图示	(22)
§7 海洋重力测量	(24)
第三章 岩石密度的测定	(30)
§1 常用的密度测定法	(30)
§2 利用重力测量确定中间层平均密度	(31)
§3 对密度测定的要求	(34)
第四章 重力异常的正反演问题	(35)
§1 有关数学知识	(35)
§2 规则形体的正反演问题	(40)
§3 不规则形体的正演计算	(46)
第五章 重力异常的加工处理	(53)
§1 异常数据的圆滑	(53)
§2 区域校正	(56)
§3 解析延拓	(59)
§4 重力垂向二次导数的换算	(70)
§5 重力异常处理的频谱分析法	(73)
§6 地形起伏的“化直”法	(77)
第六章 重力异常的地质特征和解释	(82)
§1 地壳深部结构的研究和解释	(82)
§2 结晶基底的研究和解释	(92)
§3 沉积盖层的研究和解释	(95)

第二篇 磁法勘探

第一章 磁法勘探的基础知识	(99)
§1 有关磁学的知识	(99)
§2 岩石的磁性	(103)
§3 地磁场及其变化	(105)

§ 4 正常地磁场和磁异常	(110)
第二章 磁力测量及其测量结果的整理	(113)
§ 1 磁力仪的基本工作原理	(113)
§ 2 磁力测量结果的整理和图示	(121)
第三章 岩石磁性的测定	(123)
§ 1 磁秤法	(123)
§ 2 无定向磁力仪测定标本 χ 及 J_r	(126)
§ 3 岩石磁性测定数据的统计	(128)
§ 4 剩余磁化强度的角度统计	(132)
第四章 磁力异常的定量解释	(133)
§ 1 简单形体磁异常的正反演问题	(133)
§ 2 任意截面二度体磁异常的解算	(145)
§ 3 积分法	(148)
§ 4 复变量函数求奇点的方法	(150)
第五章 磁异常的处理	(153)
§ 1 磁异常的插值	(153)
§ 2 磁异常的相关分析	(154)
§ 3 磁异常的解算延拓	(155)
§ 4 磁异常的导数法	(158)
§ 5 地形起伏的化直法	(160)
§ 6 磁异常的频谱分析法	(162)
第六章 航空磁测资料的解算	(168)
§ 1 ΔT 的性质和特点	(168)
§ 2 几种规则磁性体的 ΔT 异常和解算	(170)
§ 3 切线法	(172)
第七章 磁异常的地质特征和解算	(175)
§ 1 磁异常的深部特征	(175)
§ 2 不同大地构造单元的磁异常特征和解算	(178)
§ 3 基底的磁异常特征和解算	(179)
§ 4 沉积盖层的磁异常解算	(186)

第三篇 电法勘探

第一章 电测深法的理论基础和解算	(189)
§ 1 岩石的电阻率	(189)
§ 2 点电源在半无限均匀介质中的情况	(190)
§ 3 视电阻率的概念以及和电流密度的关系	(194)
第二章 视电阻率的测定	(198)
§ 1 补偿法	(198)
§ 2 非补偿法——用电测站进行视电阻率的测定	(201)
第三章 电测深曲线的解算	(203)
§ 1 二层剖面的理论曲线和解算	(203)
§ 2 三层剖面的理论曲线及解算	(207)
§ 3 四层和四层以上剖面的曲线及其解算	(215)
§ 4 电测深曲线的定性解算	(219)
第四章 交变电磁场法	(227)

§1 大地电磁场法	(227)
§2 人工场源频率测深	(238)
第五章 电法直接找油	(246)
§1 磁电法	(246)
§2 电瞬变反射法	(250)
参考文献	(253)

第一篇 重力勘探

第一章 重力勘探的基础知识

§1 重 力

首先我们来讨论重力，一提起重力，大家必会联想到物体的重量，自由落体的现象等，回忆一下物理学中学过的力学，不难想到万有引力，但重力是否就是万有引力，它的实质是什么？这是我们首先要讨论的问题。

一、重力的实质

我们说重力的实质是牛顿万有引力和离心力的合力，前者是牛顿总结前人——伽里略研究行星运动所得规律而提出来的，并经实践证实，它告诉我们，任何物体相互之间都有吸引力，其吸引力的大小，和两物体的质量乘积成正比，和两物体之间的距离平方成反比，其相互之间量的关系，表示为下式：

$$\bar{F} = f \frac{m_1 m_2}{R^2} \quad (1.1)$$

上式即为牛顿万有引力定律，式中 m_1 和 m_2 分别为任意两物体的质量如图 1-1 所示， R 为两物体相互间的距离， f 为引力常数，其值在 CGS 制中，由实验所得为： $6.67 \times 10^{-8} \text{ cm}^3 / \text{g} \cdot \text{s}^2$ 。 F 力的方向对 m_1 来说，是由 m_1 指向 m_2 ，对 m_2 来说则相反。

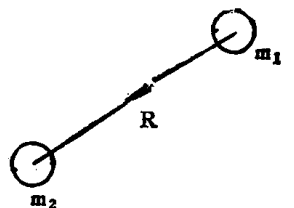


图 1-1

我们知道，地球是有质量的，这样对地球表面上任一物体来说，都有地球的吸引力。设地球的质量为 M ，地面上任一物体的质量为 m ，则它们之间相互的吸引力 F 可根据 (1.1) 式来决定，其方向如图 1-2(a) 所示，由于地球近似一个球体，对地面的 m 物体来说，其引力的方向指向地心。

再说离心力，由于地球是在不断地自转，所以地球表面上任何物体都受有一个离心力 P ，其大小由下式来决定：

$$P = mr\omega^2$$

如图 1-2(a) 所示式中 r 是 m 到地轴的垂向距离。 ω 是地球自转的角速度。力 P 的方向如图 1-2(a) 所示，是径向指向外，并且不难看出，离心力 P 是随纬度的不同而变化。它是随着 r 向两极减小而减小，从赤道的最大值，减小到两极为零。

由于地球的形状、质量、自转角速度是可以测得的，当我们要求不甚严的话，我们可从理论上计算出，在赤道处离心力 p 约为万有引力 F 的三百分之一，可见前者是很小的，因此

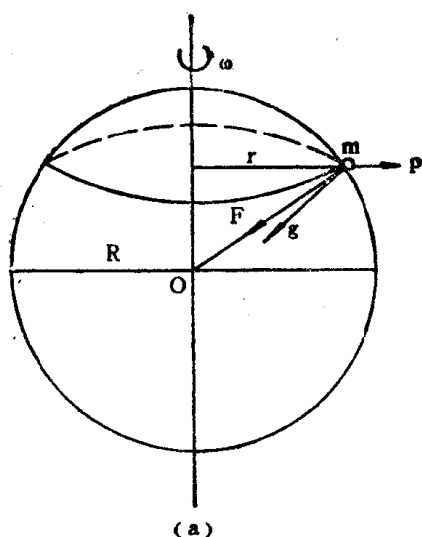


图 1-2(a)

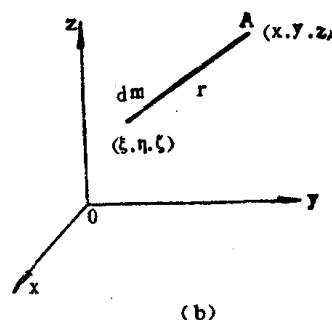


图 1-2(b)

重力的方向一般仍然指向地心，不过我们以后将会说明，虽然离心力 p 比万有引力小很多，但由于重力的观测精度要求很高，离心力 p 是不能忽略的。

为了描述重力的空间分布，通常采取直角坐标系，以数学解析式表示，如图 1-2(b) 所示。设地心为坐标原点， z 轴与地球的自转轴重合， x, y 轴在赤道面内。

先讨论引力，设任一点 A 的坐标为 (x, y, z) ，地球内部某一质量单元 dm ，其坐标为 (ξ, η, ζ) ， A 点到 dm 的距离为 r ，则 dm 对 A 点单位质量的引力为：

$$dF = f \frac{dm}{r^2} \frac{\vec{r}}{r}$$

式中， $\frac{\vec{r}}{r}$ 为 A 到 dm 方向的单位矢量，其方向是从 A 到 dm ，而 $r = [(\xi - x)^2 + (\eta - y)^2 + (\zeta - z)^2]^{\frac{1}{2}}$

由图 1-2 可知， r 对 x, y, z 三个坐标的方向余弦分别为：

$\frac{\xi - x}{r}$ ， $\frac{\eta - y}{r}$ ， $\frac{\zeta - z}{r}$ ，那末 dF 在 x, y, z 三个坐标方向的引力分量为：

$$dF(x) = f \frac{dm}{r^2} \cdot \frac{\xi - x}{r} = f \frac{\xi - x}{r^3} dm$$

$$dF(y) = f \frac{dm}{r^2} \cdot \frac{\eta - y}{r} = f \frac{\eta - y}{r^3} dm$$

$$dF(z) = f \frac{dm}{r^2} \cdot \frac{\zeta - z}{r} = f \frac{\zeta - z}{r^3} dm$$

地球的全部质量对 A 点所产生的引力分量为：

$$F(x) = f \int_V \frac{\xi - x}{r^3} dm$$

$$F(y) = f \int_V \frac{\eta - y}{r^3} dm$$

$$F(z) = f \int_V \frac{\zeta - z}{r^3} dm$$

积分号下的 V 表示对整个地球进行积分。

关于离心力的三个分量分别为：

$$P(x) = \omega^2 x$$

$$P(y) = \omega^2 y$$

$$P(z) = 0$$

这样重力 g 在 x, y, z 三个坐标方向的分量分别为：

$$g(x) = f \int_V \frac{\xi - x}{r^3} dm + \omega^2 x$$

$$g(y) = f \int_V \frac{\eta - y}{r^3} dm + \omega^2 y$$

$$g(z) = f \int_V \frac{\zeta - z}{r^3} dm$$

二、重力勘探所用的单位——重力加速度

由前所述，我们明确了在地球表面上任何一点都受到重力 ($\vec{P} + \vec{P}'$) 的作用，这个力不仅随地球表面上位置不同而不同，同时还和我们地球表面上物体的质量大小有关，然而我们所要研究的是由于地球引起的重力场的变化，而不要求它随着地面观测质量的大小而改变，因此我们规定不同位置均用一克质量所受的重力来衡量受力的大小，这个单位质量所受的重力通常称为该点的重力场强度。

根据牛顿第二定律：

$$\vec{G} = m\vec{a} = m\vec{g}$$

式中 $\vec{G}$ ——物体所受的重力；

$\vec{g}$ ——重力加速度。

我们令 $m = 1$ ，则：

$$\vec{G} = \vec{g}$$

或以 m 除两端得：

$$\vec{g} = \frac{\vec{G}}{m}$$

可见采用单位质量所受的重力来衡量重力场强度，它在数值上和重力加速度相等，为了今后叙述方便，常用重力加速度代表重力场强度，其单位用加速度，即 cm/s^2 这个单位在重力勘探中称之为伽，又由于实用上这个单位太大，常用一伽的千分之一为单位，我们称之为毫伽，最近又由于重力测量精度不断提高，毫伽的单位也显得太大，取毫伽的千分之一作单位并命名为微伽。

即： $\text{cm/s}^2 = 1\text{Gal}$

1 Gal/1000 = 1mgI 又称 1 米盖 (mgI)

1 mgI/1000 = 1 μ gl

§ 2 正常重力和重力异常

一、正常重力

我们都知道, 实际地球不是球形的, 而是一个扁心率近似为 $1/291$ 的椭球体, 并且地球在不断地自转着, 从而使万有引力和离心力随着不同位置而变化, 它的变化可以按下式计算:

$$\gamma_0 = 978.0318(1 + 0.0053024 \sin^2 \varphi - 0.0000059 \sin^2 2\varphi) \quad (1.2)$$

上式称之为国际正常重力公式, 它是把地球当作一均匀的椭球体, 根据近年来利用人造卫星测定有关地球形状及重力值数据, 于 1971 年第 15 届国际大地测量和地球物理学会决议, 结合理论计算得出的, 式中 γ_0 为大地水准面上的正常重力值, φ 是地球的纬度, 可见根据上式可以计算出不同纬度的正常重力值, 表 1.1 就是根据 (1.2) 式算得各纬度上的正常重力值。从表中可以看到正常重力值随纬度变化的情况, 它是由赤道向两极增加的, 其值相对增加了 5 千余毫伽。

表 1.1

φ	γ_0	φ	γ_0	φ	γ_0
0°	978.0318	35°	979.7328	70°	982.6087
5°	978.0710	40°	980.1689	75°	982.8689
10°	978.1874	45°	980.6190	80°	983.0607
15°	978.3777	50°	981.0694	85°	983.1781
20°	978.6361	55°	981.5085	90°	983.2177
25°	978.9547	60°	981.9169		
30°	979.3240	65°	982.2881		

国际正常重力公式是为了在全球范围内预测地球表面重力值而规定出的几个关系式之一, 还有其它的公式, 只是常数不同而已。

二、重力异常

上面我们说到了由于地球是个椭球体, 并且是在不断地自转, 从而引起地球表面上重力值的变化, 不过对我们石油勘探者来说, 所感兴趣的是地壳密度的横向不均匀性, 即由于各种地质原因使得地壳密度不均匀, 引起重力的变化这才是我们研究的对象。

图 1-3(a) 示出任一地区, 其地下埋藏一个密度较大的地质体, 设其密度为 σ_0 , 围岩的密度为 σ_1 , 并设 $\sigma_0 > \sigma_1$, 那么在其地表上, 重力值有什么样的变化呢?

不难理解, 如果我们假设地下密度为 σ_0 的地质体不存在, 完全是密度为 σ_1 的围岩, 则地面上的重力值, 就是正常重力值, 如图 1-3(a) 中的以 γ_0 值的一条平行 x 轴的直线, 但当地下存在密度为 σ_0 的地质体, 并且其密度大于围岩密度, 这样球形空间里的质量就会比完全为均匀密度 σ_1 时的质量要大, 即较原先的情况会有多余的质量, 通常称之为剩余质量, 其大小 M 可由下式计算得: $M = V(\sigma_0 - \sigma_1)$ 式中 V 为地质体的体积, 按照万有引力定律, 这

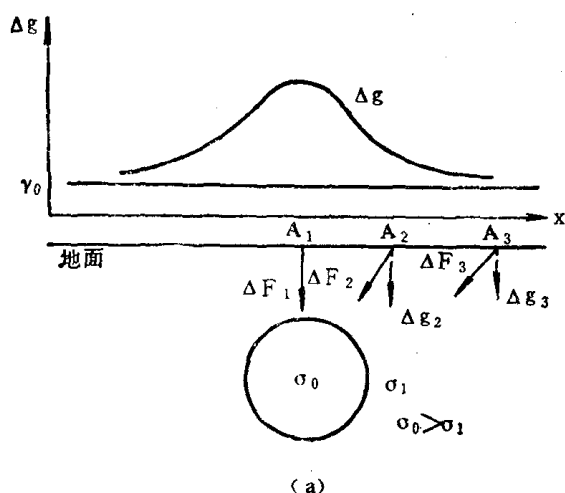


图 1-3(a)

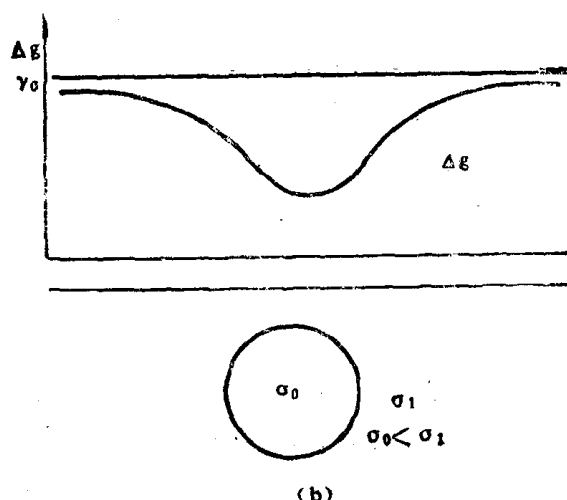


图 1-3(b)

个剩余质量就会使得其相应的上方地表 $A_1, A_2, A_3 \dots$ 处的重力值, 比正常重力值有所增大, 如图 1-3(a) 所示, 在地质体的正上方 A_1 处, 增加的值最大以 ΔF_1 示之, 其方向是铅直向下, 和正常重力方向重合, 其次如图中的 $A_2, A_3 \dots$ 处, 随着它们离球体越远, 其重力的增加亦愈小, 以 $\Delta F_2, \Delta F_3 \dots$ 示之, 它们的方向, 随着离地质体愈远, 偏离正常重力方向的角度越大, 但它们指向地质体的中心。那么这些较正常重力大的 $\Delta F_1, \Delta F_2, \Delta F_3 \dots$ 是否为我们所要研究的重力异常呢? 在此特别指出, 重力勘探所能观测的是 $\Delta F_1, \Delta F_2, \Delta F_3 \dots$ 它们的垂直分量 $\Delta g_1, \Delta g_2, \Delta g_3 \dots$, 而不是它们的本身, 我们将观测到的 $\Delta g_1, \Delta g_2, \Delta g_3 \dots$ 标在其上方的图中, 作成的 Δg 曲线。这才是我们所要研究的重力异常曲线。

当 $\sigma_0 < \sigma_1$, 即地下埋藏一个密度较小的地质体, 如图 1-3(b) 所示, 那么其异常曲线和图 1-3(a) 的相反, 都比正常重力 γ_0 小, 为一负重力异常曲线。

如果地层是水平地层, 尽管它们之间有密度差, 但不会有重力异常, 如图 1-3(c) 所示。可见产生重力异常的关键是水平方向岩石密度要有变化。

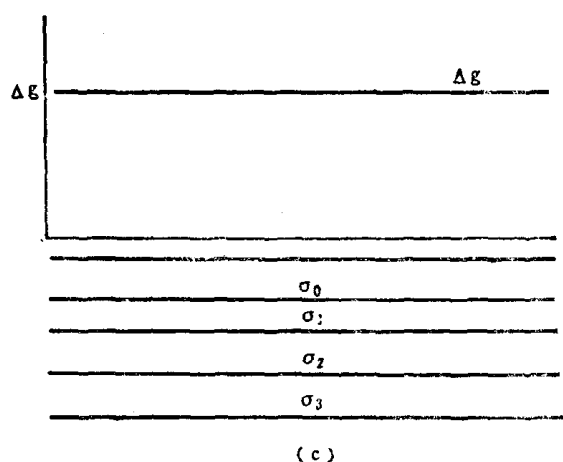


图 1-3(c)

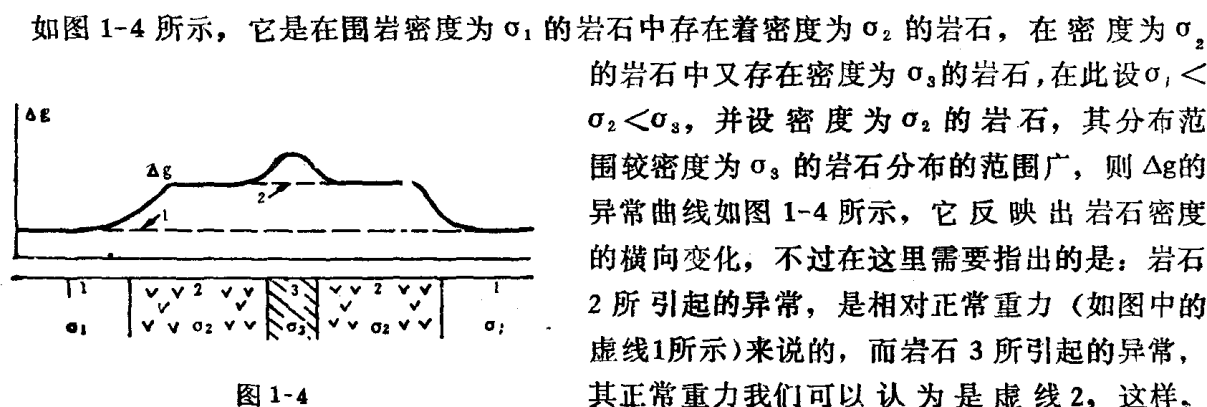


图 1-4

如图 1-4 所示, 它是在围岩密度为 σ_1 的岩石中存在着密度为 σ_2 的岩石, 在密度为 σ_2 的岩石中又存在着密度为 σ_3 的岩石, 在此设 $\sigma_1 < \sigma_2 < \sigma_3$, 并设密度为 σ_2 的岩石, 其分布范围较密度为 σ_3 的岩石分布的范围广, 则 Δg 的异常曲线如图 1-4 所示, 它反映出岩石密度的横向变化, 不过在这里需要指出的是: 岩石 2 所引起的异常, 是相对正常重力 (如图中的虚线 1 所示) 来说的, 而岩石 3 所引起的异常, 其正常重力我们可以认为是虚线 2, 这样,

如果我们要研究的是岩石 3 所引起的异常，我们只需用虚线 2 作零线即可，不必用虚线 1 作零线，这和我们读构造图时，为了确定构造高点位置和形态，只须知道其相对高差，而无须知道它的绝对标高的情况一样，也就是说，我们利用重力异常图，研究局部情况，只要求知道重力的相对值就可以了。

§ 3 岩石的密度

上面说明了，我们要研究的重力异常是由于地壳内部岩石密度分布的不均匀所引起。因而对于岩石的密度及其分布情况的了解是十分必要的，众所周知，岩石密度是指在自然蕴藏条件下。岩石单位体积的质量，根据观测结果表明，不同种类的岩石有不同的密度值，同种类岩石，在不同的地质条件下，也会有不同的密度值，影响岩石密度的主要因素有两个：岩石中的矿物成份和孔隙率。

一般岩浆岩和变质岩比较致密，孔隙率极小，通常不超过 1~2%，可见这些岩石的密度主要由造岩矿物的成份以及不同成份数量的多少来决定。即密度随着所含不同的矿物而改变，表 1.2 列出一些岩石和矿物的密度，由表中可知，岩浆岩，变质岩所含矿物的密度是比较大的，大约为 2.2~5.3 g/cm³，大多数沉积岩，其孔隙度较岩浆岩，变质岩大，最大可达 30%~50%，而且一般沉积岩所含的重矿物也较岩浆岩，变质岩为少，所以沉积岩的密度在很大程度上取决于孔隙率，不过在沉积岩中，水化学沉积岩的密度和成份存在着明显关系，例如石膏为 2.7，岩盐为 2.1 通常沉积岩的密度大约在 1.1~3.0 之间，比岩浆岩，变质岩小。

表 1.2

岩石名称	密度(g/cm ³)	岩石名称	密度(g/cm ³)
沉积岩类		火成岩类	
土壤	1.1~1.3	花岗岩	2.6~3.7
砂岩	1.8~2.8	安山岩	2.6~2.8
页岩	2.4~3.0	辉长岩	2.9~3.1
石灰岩	2.3~3.0	玄武岩	2.7~3.2
石膏	2.7~3.0	橄榄岩	2.9~3.3
岩盐	2.1~2.2	矿石	
变质岩类		赤铁矿	4.9~5.3
片麻岩	2.4~2.9	磁铁矿	4.9~5.2
蛇纹岩	2.6~3.2	黄铁矿	4.9~5.2
石英岩	2.6~2.9	铬铁矿	4.5~4.6
大理岩	2.6~2.9	重晶石	4.3~4.6

同是沉积岩，其密度常随埋藏深度从浅到深而增加，起初增加很快，达到一定值后，增加越来越不明显，这种密度随深度增加的关系是因为上复岩层的巨大压力使孔隙率减小的结果。

根据以上对岩石密度因素的分析，结合表 1.2 所列数据可以看出，地壳内岩石密度变化的范围相当大，不过不同岩类是有差别的，有时还是明显的，例如金属矿的密度较大，而非金属矿的密度较小，岩浆岩和变质岩的密度一般较沉积岩大，但较金属矿小，在岩浆岩中基性岩的密度较大，而酸性岩的密度较小。

对沉积岩来说，一般老地层的岩石密度较新地层的岩石密度大，海相岩石的密度较陆相岩石密度大。

表 1.3

地质年代	密度	地区								
		东 北	华北	华东	鄂尔多斯	甘肃西部	青海	新疆北部	四 川	新疆南部
新生代	第四纪	1.96	2.05	2.0	1.80	2.12	1.99	2.10		
	第三纪	2.06	2.10	2.43	2.15	2.57 2.43	2.41	2.30		2.42~2.45
中生代	白垩纪	2.16~2.20	2.46	2.47	2.28~2.60	2.43~2.50	2.33		2.50	2.50
	侏罗纪	2.38	2.67	2.67	2.30	2.41~2.55	2.37	2.40	2.57	2.50
	三迭纪			2.68	2.40	2.50	2.45	2.40	2.69	2.58
古生代	二迭纪	2.65	2.61	2.61	2.45	2.52		2.50	2.67	2.61
	石炭纪		2.61	2.66	2.45	2.53	2.62	2.65	2.63	2.65
	泥盆纪			2.58		2.70	2.64	2.72	2.67	2.68
	志留纪			2.47 2.66		2.75			2.64	2.71
	奥陶纪		2.71	2.69	2.70		2.65		2.62	2.65
	寒武纪		2.65	2.67	2.78				2.65	2.77
	震旦纪	2.61	2.66					2.69	2.80	2.71~2.79
	前震旦纪	— 2.89				2.61~2.67	2.66		2.82	

表 1.4

地 层			岩 性	密 度 g/cm ³	磁 化 率 10 ⁻⁶ (C.G.S.M)	电 阻 率 Ω·m	速 度 m/s
界	系	组					
新生界	第四系		黄 土	1.96			800~1750
	第三系		砂岩, 泥岩	2.06			800~1750
中生界	白垩系	四方台组	疏松砂砾岩	2.13~2.20	30~50	15~150	2100~2300
		伏龙泉组	块状泥岩			6.6~7	
		姚家组	块状泥岩			4.3~6.3	2400~2700
		青山口组	砂岩为主			10~13	2800~3000
		泉头组	砂岩泥岩	2.4	30~50	5.7~7.3	3100~4000
	侏罗系		砂 岩	2.45	44~60		5100~5200
			砾 岩	2.39	20~40		
			页 岩	2.31	23~70		
古生界	二迭石炭系		灰 岩	2.70	134	∞	5400
			大 理 岩	2.65	4		
			板 岩	2.60	480		
	前震旦系		千 枚 岩	2.74~2.85	1000~3500	800~1000	5400~6350
			片 岩	2.71~2.89			
			片 麻 岩	2.61	100~150		

此外，由变质岩和岩浆岩所组成的结晶基底岩石的密度较沉积岩要大。

对于金属：矿体与围岩之间密度差一般都比较大，可达 $0.5\sim 2.5\text{g/cm}^3$ ，但对于油气田探区，沉积岩之间的密度差很少达 0.5g/cm^3 以上，如构造幅度大，也能产生足够大的重力异常，实际经验证明，沉积岩层之间只要有 $0.1\sim 0.3$ 的密度差就是有意义的了，因此仔细研究探区的密度资料，对于分析引起重力异常的地质因素是十分重要的，表 1.3, 1.4 示出我国几个主要沉积地区地层的平均密度值，可供参考。

第二章 重力值的测量及其结果的整理

§1 重力测量的基本原理

一、重力测定的精度要求

前面我们讲重力勘探所用的单位时,以及列举重力值的数据中,可以看到,重力勘探所要研究的是重力值的微小变化,现在用一个例子来说明这问题,阐明重力值测定的精度要求。

如图 1-5 所示,设有一密度为 2.6g/cm^3 的花岗岩球体,其半径为 70m ,埋藏深度为 100m ,球体的围岩密度为 2.1g/cm^3 的砂砾岩,那末球体的剩余密度为:

$$\sigma_0 - \sigma_1 = 2.6 - 2.1 = 0.5\text{g/cm}^3$$

其剩余质量为:

$$M = \frac{4}{3}\pi R^3 (\sigma_0 - \sigma_1) = \frac{4}{3}\pi \times 7000^3 \times 0.5$$

球体正上方的附加引力为:

$$\Delta g = f \frac{M}{H^2} = 6.67 \times 10^{-8} \times \frac{\frac{4}{3}\pi \times 7000^3 \times 0.5}{10000^2} \\ = 0.0005\text{gl}$$

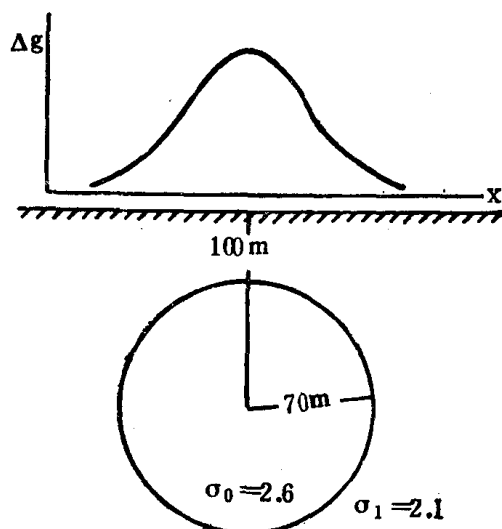


图 1-5

这就是说球体正上方重力异常为 0.5mgl ,而这数值为重力全值的 200 万分之一,已经很微小的了,然而实际的要求还要比这更高,因为我们所举的例子,用的密度差是比较大的,埋藏比较浅,产生 0.5mgl 的异常又指的是极大值,我们为了要发现这异常,对仪器来说,要求其观测误差必须小于所测重力异常的两倍半,考虑到以上原因,并结合实际经验,通常要求在测量重力场 980gl 的基础上,能测量出 0.01mgl 的变化,这就是说重力测量的相对精度要在 10^{-8} 以上,可见对仪器的精度要求是很高的。

二、重力测定的基本原理

为了进行对重力值的测定,从原则上说凡是与重力有关的物理现象,如物体的自由降落,振摆的摆动,重荷使弹簧的伸长等,都可以用来测量重力值,把它们归结起来,可以分两个方面,即重力绝对值的测定和重力相对值的测定,我们重力勘探所采用的是相对值的测定,其基本原理如下:

如图 1-6 所示,它是一个由弹簧 F 悬挂着一个重荷 m 的弹簧秤,当重力有变化时,重荷将发生相应的位移,其位移的大小,正比于重力大小,当弹簧秤位于测点 A 时,则根据虎克定律有如下的关系:

$$mg_A = \tau(l_A - l_0)$$

式中 m 为重荷的质量, τ 为弹簧的弹性系数, l_A 为弹簧在重荷作用下的长度, l_0 为弹