

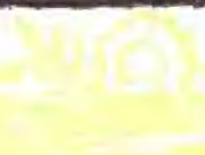
高等学校教材試用本

地球物理勘探法

(适用于石油地質及煤田地質專業)

上 册

北京地質学院編



高等学校教材試用本

地球物理勘探法

(适用于石油地質及煤田地質專業)

上 册

北京地质学院編

中国工業出版社

本書是適合高等地質學校石油及煤田地質專業用的普通物探教科書。在上冊中包括重力勘探和磁法勘探兩部分。介紹了這兩種方法的原理、儀器、工作方法、資料解釋和實際應用問題。

本書除可供石油及煤田地質專業學生作為教本外，也可供野外從事石油及煤田地質的普查和勘探的地質及物探工作人員參考。

地球物理勘探法

(適用於石油地質及煤田地質專業)

上 冊

北京地質學院編

中國工業出版社出版 (北京後勤部路丙10號)
北京市書刊出版事業許可証出字第110號

北京市印刷一廠印刷

新華書店北京發行所發行·各地新華書店經售

開本 787×1092 1/32·印張 9 1/2·插頁 1 字數 191,000

1961 年 10 月北京第一版·1961 年 10 月北京第一次印刷

印數 0001—2,093·定價 (10—6) 1.15 元

統一書號: 15165·1024 (地質·52)

前 言

本书主要是根据为北京地质学院石油地质专业的地球物理勘探法课程（120学时）所写的讲义修改出版的，过去未及写出的内容是在最近编写的（第五部分及其他部分的某些节）。

考虑到地质专业学生学习此课的基础和专业要求，书中力求通俗地说明物探方法的理论基础和原理、观测方法和数据的整理、资料的地质解释和应用等方面的基本内容，并且更多地着重于资料的地质解释和应用的讲述。但为了使学生对课程主要内容的掌握具有必要的基础，书中较多地注意了基本概念和原理的阐述。为了使读者深入掌握地球物理勘探的理论和应用，书中附了例题和较多的习题，这些例题和习题是在教学过程中针对着学生的問題編拟的。

限于能力和时间，这一教材尚未达到所应达到的各项要求。石油勘探中的放射性测量法显然应占一定的篇幅，自然电场法和充电法在煤田勘探中也有一定的意义，这些内容都没有来得及編入。全书未能很好地兼顾煤田地质专业的需要是极明显的缺点。此外，在内容上和编排上还有许多明显的缺点。对显然是分量偏多的某些内容未及作必要的精简，也将增加读者的负担（特别是有关仪器的原理和结构等内容），例题举得不够，而习题又有些偏多和缺乏精选，也增加了使用上的不便。这些，無疑都是有待改进的方面。这里热切地期望得到使用方面的宝贵意見，这些意見对克服书中的各种缺点無疑将有很大的帮助。

出版前，經刘光鼎、张培煜、閔殿輝、戚厚发、张学华、吳广耀和管志宁等同志审阅原稿，提出了許多宝贵的改进意見。在此謹致謝意。

书中参考过的主要文献都列在各部分的后面，但許多引用的資料和插图都未分別地註明出处。

目 录

前言	3
緒論	9

第一部分 重力勘探法

簡短的介紹	14
-------	----

第一章 重力勘探的理論基礎	15
---------------	----

§ 1. 重力場	15
§ 2. 正常重力和重力異常	19
§ 3. 重力(或重力異常)分佈情形的几何表示	23
§ 4. 重力(或重力異常)的水平梯度	26
§ 5. 水準面的畸變	31
§ 6. 重力位和等位面	34
§ 7. 重力位的二次導數	36
§ 8. 重力場等位面與重力間的关系	41
習題及思考問題	43

第二章 重力的測定及測定結果的整理	46
-------------------	----

§ 9. 重力測定的精度要求	46
§ 10. 重力的絕對測定	48
§ 11. 重力儀通論	50
§ 12. ГКА重力儀	59
§ 13. 重力儀讀數的零位校正	57
§ 14. 重力勘探的不同階段測網的佈置	58
§ 15. 重力觀測數據的校正和重力異常的計算	60
§ 16. 重力異常的圖示	67
習題及思考問題	70

第三章 重力位二次導數的測定及測定結果的整理	72
------------------------	----

§ 17. 用扭秤測定重力位二次導數值的原理	72
------------------------	----

§ 18. 扭秤的構造	78
§ 19. 扭秤的野外觀測方法及所得數據的整理	81
§ 20. 二次導數的異常值及其圖示	83
§ 21. 根據重力梯度圖作重力異常圖	86
習題及思考問題	87
第四章 重力觀測結果的地質解釋	87
§ 22. 地球物理勘探資料地質解釋的一般方法	87
§ 23. 已知物體重力的計算方法	92
§ 24. 計算二度體重力異常用的量板	97
§ 25. 已知物體 V_{xs} 和 V_{Δ} 曲線的計算	98
§ 26. 反問題的解法	101
§ 27. 一個密度分界面的問題	108
§ 28. 無限水平板重力異常公式的進一步討論	111
§ 29. 重力觀測結果的定性解釋	117
§ 30. 岩石的密度	124
§ 31. 決定重力場面貌的各種主要因素	128
§ 32. 區域重力背景對局部重力異常的畸變影響	133
§ 33. 局部重力異常與區域重力場的劃分	141
習題及思考問題	144
第五章 重力勘探的應用	160
§ 34. 重力勘探的應用條件。重力儀和扭秤的比較	160
§ 35. 重力勘探在區域地質研究中的應用	163
§ 36. 重力勘探在尋找和勘探局部構造方面的應用	169
習題及思考問題	179
附錄 1 矢量與微矢量的合成	179
附錄 2 正常重力(γ_0)的水平梯度	181
附錄 3 地形影響的數字舉例	181
附錄 4 關於萬有引力的奧氏-高斯定理及其應用	182
附錄 5 無限水平板重力異常公式的單位	185

主要文献	186
------------	-----

第二部分 磁力勘探法

簡短的介绍	187
第一章 磁力勘探的理論基础	188
§ 1. 有关的磁学知識	188
§ 2. 地磁場	201
§ 3. 磁力勘探中所观测的各种地磁異常参数	211
習題及思考問題	213
第二章 磁力的測定及測定結果的整理	215
§ 4. 地面磁力測量	215
§ 5. 航空磁力測量	219
§ 6. 磁力異常的計算和圖示	225
習題及思考問題	229
第三章 磁力測量結果的地質解釋	229
§ 7. 磁測結果地質解釋中的一般問題	229
§ 8. 岩石的磁性	232
§ 9. 点磁極或沿軸磁化的細長柱体的磁力異常	238
§ 10. 球体	241
§ 11. 無限水平磁化面及無限水平板	243
§ 12. 接触帶和断層	246
§ 13. 一个磁性分界面	252
§ 14. 岩脉 (或岩牆)	256
§ 15. 探測結晶基底表面起伏和深度的方法	260
§ 16. 磁力異常及磁化强度可能值的近似估算方法	265
§ 17. $\Delta T'$ 圖的解釋	268
習題及思考問題	270
第四章 磁力勘探的实际应用	283
§ 18. 磁力勘探的地質应用	283
習題及思考問題	290
重力勘探与磁力勘探綜合地質解釋習題	293
主要文献	301

緒 論

我国的社会主义制度为发展生产創造了無比优越的条件。由于社会主义建設对各种矿产資源不断增长的需要，包括地球物理勘探在內的各种現代地质勘探技术在我国获得了巨大的发展。

地球物理勘探的各种方法以地壳的各种物理現象为直接的观测对象，从而查明地质构造和矿床的分佈情况。因此就其所解决的问题而言，地球物理勘探应属于地质科学；但就方法的理論基础与历史淵源而論，則大部分导自地球物理学。由于这个原因，用于地质和探矿目的的地球物理方法总称为实用地球物理或勘探地球物理，但通常更习惯于叫它地球物理勘探，并簡称物探。

目前用于油田及煤田地质調查的地球物理方法主要是重力勘探、磁力勘探、电法勘探和地震勘探四类。它們在生产实践中經過多年的考驗，取得了巨大的成果；为油田和煤田的开发提供了丰富而可靠的資料。最近几年放射性測量法用于直接寻找油田的嘗試引起人們极大的重視，但生产上用得还不广泛。

我們簡短地介紹四类基本方法的物理原理。

在重力勘探中，我們观测地球表面重力場的分佈，从而推断地下岩石或矿床的埋藏情况。由于物质間相互作用的万有引力規律，与地壳結構有关的密度的不均匀分佈就会引起重力加速度（簡称重力）的变化；例如在密度較大的岩层接近地面的地方会观测到重力的增高，而在密度較小的岩层接

近地面的地方会观测到重力的降低等。结合测区的地质和岩石密度资料来分析重力的观测资料，就可以弄清引起这一地区重力场特殊分布的地质内容。

在重力勘探中包括着重力仪测量和扭秤测量两种具体方法，前者用于观测重力值的变化，后者用于观测重力对距离的导数或重力变化率。

磁力勘探的原理与重力勘探相仿，不同之处在于重力勘探依据岩石的密度变化，而磁力勘探则根据岩石的磁性差异。因此，使用磁力勘探所观测的地磁场特点与地下不同磁化强度岩石的分布有关。特殊的是，磁性介质必须受到磁场的磁化才产生自己的磁力作用；这里的磁化磁场就是地球本身的磁场。由于火成岩和变质岩常具有磁性，并且磁性变化的范围很大，因此磁力勘探可以解决与这些岩石直接或间接有关的地质问题。例如直接研究一个地区过去的火成岩活动以及间接地探测结晶基底表面的构造等。

重力勘探与磁力勘探同属于天然场法。对于重力场和地磁场这些天然的地球物理场，我们只能观测它，却不能改变它或控制它。

电法勘探中也包括了以观测地壳的大地电流场及某些矿床周围的自然电流场为基础的天然场法（大地电流法及自然电场法），但应用更广的还是观测人为供往地下的电流场分布情况的人工场法。这时所观测到的数据无疑地也是地质体的客观反映，但变更供电的条件却可以改变电流分布的深度范围，从而在每个观测点上可以得到许多个反映不同深度范围的数据。电法勘探的这种性质对于研究与油田及煤田有关的沉积岩的成层条件有极大的价值。

地震勘探也属于人工场法，它观测由爆炸或敲击方法所

激起的弹性波（地震波）的传播情况，从而推断岩层在地下的结构与性质。根据所观测的是反射波还是折射波，地震勘探分为两种基本方法——反射波法和折射波法。前者观测的是在弹性不同的地层界面上反射回到地面的地震波；后者所观测的波只发生于弹性波传播速度大于上复介质的岩层的顶部界面上。根据所观测到的与一定爆炸点有关的波回到地面各点的时间值，就可以计算波在反射界面上复介质中传播的速度值以及界面的深度和倾角；对于折射波法来说，除了界面的深度和倾角以外，同时得到波在高速折射层中贴近折射界面，即高速地层的顶面传播的速度值，这个速度我们叫做界面速度。对于剖面中的每一个反射界面或折射界面都尽可能做出上述的各种计算，这样就可以在相当深的范围内查明地层的层列情况。利用地震勘探的观测资料可以绘制地震剖面图以及某些特殊地震界面的构造图。将地震勘探的成果与地质资料联系起来，就有可能确定地震界面的地质层位。

在石油工业及煤炭工业中，除了上述的在地面进行地质勘查的地球物理方法以外，还广泛地应用着专门在钻井中使用的各种地球物理测井法。地球物理测井方法不属于本书的讨论范围，此处不作介绍。

地球物理勘探在石油及煤炭工业中的应用范围可以概述如下。

查明结晶基岩表面的深度和起伏情况就直接得到了沉积岩系的总厚度，这些都属于区域地质研究中的基本内容。目前在地台区使用综合的地球物理勘探方法（包括了上述四种基本方法）解决这个问题，效果基本上是成功的。

在区域地质研究中有时对地球物理勘探提出研究结晶基底内部构造的任务，即查明基底中不同成份岩石的交替及其

走向的变化。在这个問題上，磁力勘探和重力勘探是基本的方法，特别是其中的磁力勘探。部分情况下也使用较为昂贵的折射波法地震勘探。

同一地区的不同构造单元以及同一构造单元的不同层系，其含油和含煤的远景往往不同。使用综合地球物理勘探可以在地台区和地槽区划分大地构造单元、调查各个构造单元的区域构造特点、划分沉积岩系及研究各别层系的分佈情况。

探查沉积岩层的局部构造情况是油田及煤田地质调查详查阶段中的主要内容之一。重力勘探、电法勘探和地震勘探在其中起着特别突出的作用。至于用物探方法普查和勘探盐丘的工作，已是地球物理勘探史上久已著称的了。地球物理勘探在珊瑚礁和尖灭油藏的研究上也有很大的实际意义。

在复盖层不厚和地层较陡的条件下，用电法勘探和折射波法地震勘探解决地质填图的问题，很多时候都获得了成功的结果。目前我国在某些地区利用折射波法地震勘探圈定含煤岩系的分佈地段，可以作为这类工作的例子。由于地震波沿地层的角度不整合面传播时发生与变换地层有关的界面速度的变化，因此在某些地层倾角较陡的地区可以利用折射波法的界面速度资料研究复盖层下不同岩层在风化侵蚀面上“露头”的分佈范围。

做为解决区域构造和局部构造问题时经常遇到的具体课题——断裂带和断层的研究，也是地球物理勘探用之有效的对象之一。

应当指出，地球物理勘探不仅在石油和煤炭工业中是不可缺少和大量使用的地质调查方法，在金属、非金属、工程和水文地质中，其应用也是极为广泛的，并且方法之多以及

所解决的具体问题的种类是屈指难数的。其中的某些应用在石油和煤田地质調查中也是可能遇到的。(例如有关水文地质的某些問題)。

地球物理勘探是新兴的勘探技术，它的发展在世界范围也只有几十年的历史。第一批物探方法是在本世紀內十到二十年代中相繼提出的，但只是到了三十年代才得到比較广泛的应用。苏联的学者和专家在勘探地球物理的发展中有着卓越的貢獻。我国的地球物理勘探工作开始于三十年代，但在当时的反动政权下，工作仅限于个别人的科学試驗，数量既微不足道，地质效果也無从証实。新民主主义革命的胜利开始了我国地球物理勘探大发展的新时期。解放后，仅仅十年多的時間，在中国共产党的坚强领导下地球物理勘探几乎是从無到有地发展成为巨大的生产技术部門。在今天，我国地球物理勘探工作不仅在規模上是龐大的，在技术水平上也已日趨成熟，十年多的发展使我国在这一部門的技术装备、工作水平、地质成果、仪器制造及干部培养等方面都获得了巨大的成就。我們欣慰地看到地球物理勘探在我国社会主义建設事业中做出了自己的貢獻；我們相信地球物理勘探今后必将發揮更加巨大的作用，以滿足我国社会主义建設日益增长的需要。回顾我国这一科学技术的成长經歷时，我們以亲切和感激的心情記起兄弟国家特别是苏联对我国的無私的巨大的帮助，这些帮助是地球物理勘探在我国得以迅速成长的重要因素。

本书供高等院校石油地质及煤田地质专业学生了解地球物理勘探之用。內容包括五个部分：前四部分分別說明重力勘探、磁力勘探、电法勘探及地震勘探的物理原理、仪器和观测数据的整理、观测資料的解释方法和地质应用等，第五部分討論各种物探方法在石油及煤田地质勘查中的綜合应用和地质解释的問題。

第一部分 重力勘探法

簡短的介绍

在緒論中已对重力勘探的方法原理作了簡短的介绍，这里概略地指出在普查、勘探石油和煤田方面重力勘探的应用和所佔的地位。

前已指出，重力勘探包括重力仪和扭秤两种測量形式。前者測量由于地壳密度变化引起的重力本身大小的变化，即所謂重力異常；后者則主要測定重力異常沿水平方向的变化率或重力異常的梯度。在历史上，在盐丘的普查和勘探方面扭秤曾經得到很成功的应用。自本世紀三十年代开始，由于制造了精度符合实际需要的重力仪，扭秤測量工作就越来越多地被重力仪代替了。这主要是由于扭秤的生产效率远远比不上重力仪的緣故。直到現在，在大地构造单元的划分，含油远景地区的圈定以及寻找可能儲油的沉积岩构造等方面，重力勘探仍是被广泛使用的主要工具之一。

在含煤构造的勘查方面，重力勘探在我国的应用要晚些。应当指出，由于电法勘探在解决这类問題方面的地质效果很好，我国在最近几年以前对重力勘探的应用注意得不够。但近几年的实践証明，讓效率較高的重力勘探工作走在电法勘探的前面，对較快地查明含煤地区的构造情况是有肯定的效果的。只是要注意，和油田的普查工作相比，由于含煤地区构造規模較小、地质情况也常較复杂，往往要求使用精度

稍高一些的重力仪并且佈置較密集一些的測綫网。

最后指出，虽然由于效率低的緣故，扭秤測量不适于在石油和煤田地質調查工作中大量地使用，但在解决一些特殊的問題上，例如探測淺埋的小断层和追索薄复盖层下面的煤层“露头”等，扭秤的独特效果不一定能用重力仪来代替。因此，在有些情况下把少量的扭秤測量工作配合到以重力仪測量为主的重力勘探工作中还是适宜的，特别是在煤田勘探工作中，不会更多地感到这种需要。

第一章 重力勘探的理論基础

§ 1. 重力場

1. 重力

地球上的任何物体都受着两种力的作用：地球的引力和由于地球自轉而来的离心力。所謂重力，就是指的这两种力的合力（图1）。

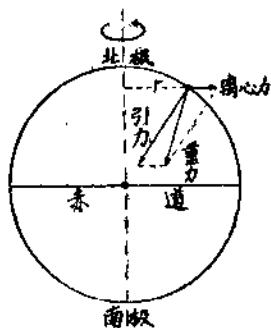


圖 1

地球对物体的引力服从于万有引力定律。根据这个定律，宇宙間任意两个物质质点都有相互吸引的力（图2），这

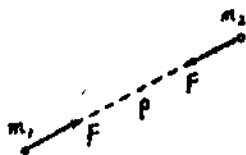


圖 2

力的大小(F)和两质点的质量(m_1, m_2)之积成正比例, 和两者距离(ρ)的平方成反比例:

$$F = f \frac{m_1 m_2}{\rho^2} \quad (1)$$

式中的比例常数 f 称为万有引力常数, 它的数值在克·厘米·秒制(C.G.S.制)中为 6.67×10^{-8} 厘米³/克·秒²。整个地球对某一质点的引力就等于地球的所有质点对该质点引力的合力,(图3)。如果知道了地球的形状和密度分佈情形, 这个合力原则上可以用积分的方法计算出来。地球引力的方向极近于指向地球的质量中心(以后简称地球的中心)。

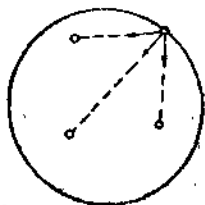


圖 3

至于离心力, 其方向是垂直于地球的自轉軸并且指向外方。如果用 ω 和 r 分别表示地球自轉的角速度和物体离开自轉軸的距离(图1), 则物体的向心加速度等于 $\omega^2 r$ (物体作匀速圆周运动), 从而可知离心力的大小为

$$P = m\omega^2 r \quad (2)$$

其中 m 表示物体的质量。由(2)式可知, 离心力 P 和距离 r 成正比, 故离心力在赤道最大, 随着向两极靠近而减小, 在两极则等于零(此处 $r=0$)。

离心力的大小和地球引力相比是相当小的, 最大不超过引力的 $1/288$ 。因此重力的方向仍大约指向地球的中心。但是, 由于在重力勘探中我们必须测定极其微小的重力变化, 因此作为重力之组成部分的离心力, 其作用是不能忽略不计, 而必须加以考虑的。

地球的周围既为到处有重力作用之空间, 我们就把这空间叫做重力场。

同一物体在重力場中不同位置上所受的重力作用不同，即重力場在不同点上的作用是不均匀的。另一方面，物体所受重力作用的大小还与物体的质量大小有关；为了研究重力場本身的变化，我們規定在处处均只考虑1克质量的物体所受的重力作用。这个单位质量所受的重力称为該点的重力場强度。

如果作用在质量为 m 的物体上的重力为 G (图4)，則根据牛頓第二定律：

$$G = mg$$

其中 g 表示物体的重力加速度。用 m 来除上式的两边，便得到

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

按照定义，这个式子的左端(G/m)就是重力場强度。由此可见，重力場强度無論在数值上和量纲上都和重力加速度相同。在以后，为了叙述方便，我們常用重力二字代表重力場强度或重力加速度。

在克·厘米·秒制中，加速度的单位是1厘米/秒²。这个单位在重力勘探中叫做1伽，是为了紀念第一个研究重力加速度的伟大学者伽里略而定的名称。实用上使用1伽的千分之一作为重力（即重力加速度）的单位，叫做1毫伽①。

$$1 \text{ 毫伽} = \frac{1}{1000} \text{ 伽}②$$

2. 水准面

重力場是矢量場，我們必須既注意重力場强度大小的分



圖 4

● 也有把伽和毫伽分別譯作蓋和釐（讀米蓋）的。

① 等号“=”除了一般表示“恒等”以外，也常用来表示“規定为”、“定义”、“表示”或“代表”等意。

佈，也注意其方向的分佈。

經過重力場中任何一點我們都可以想象有一個和重力方向處處相垂直的曲面存在，這個曲面如果延續出去，必將構成一個包圍地球的封閉曲面。這個曲面我們叫做水準面（也叫等位面）。

從力學知識我們知道，當水靜止時，其自由表面是和重力垂直的。否則，就必有平行於水面的分力存在，水將流動而不可能靜止。由此可知，靜水的自由表面永遠是一個水準面。實際上，我們所以採用水準面這一名稱，正是由於這一事實。

如果沒有潮汐和任何使海洋發生流動和波浪的原因，那末海洋將是靜止的，而靜止的海洋的表面就是一個水準面。這個水準面特別叫做大地水準面。

地球陸地表面由於有山河溝谷而呈崎嶇不平的複雜形狀（這是實際的地形）。在大地測量學和重力勘探中，當談到地球的形狀時，所指的是大地水準面的形狀①。在這裡我們想象與靜止的海平面相吻合的曲面——大地水準面——處處與重力垂直地一直延伸到大陸下面而形成一個封閉的曲面。

通常我們所謂的平坦地面，也就是指的與某一水準面相重合，亦即處處與重力相垂直的地面。在以後當我們提到地表面時，所指的常常就是大地水準面或某個其他的水準面。

根據大地測量學我們知道，大地水準面極近似於一個略微向赤道膨脹的迴轉橢球面，即地球形狀如同一個橢圓繞其短軸旋轉而成的曲面（圖5）。這個橢圓（也就是通過自轉

① 研究地球的形狀和大小乃是大地測量學的主要任務。知道了大地水準面的形狀和大小之後，如果要確定大陸的真實地形，可以利用地面各點對大地水準面的高差決定之。