

本书是适合高等地质学校石油及煤田地质专业用的普通物探教科书。在上册中包括重力勘探和磁法勘探两部分。介绍了这两种方法的原理、仪器、工作方法、资料解释和实际应用问题。

本书除可供石油及煤田地质专业学生作为教材外，也可供野外从事石油及煤田地质的普查和勘探的地质及物探工作人员参考。

地球物理勘探法

(适用于石油地质及煤田地质专业)

上册

北京地质学院石油物探教研室编

地质部地质书刊编辑部编辑 (北京西单市大街地质部院内)

中国工业出版社出版 (北京修门内大街10号)

(北京市书刊出版事业许可证出字第110号)

中国工业出版社第四印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ ·印张 $9^{5/16}$ ·插页1·字数191,000

1961年10月北京第一版·1962年4月北京第三次印刷

印数3,504—6,403·定价(10-6) 1.15元

统一书号: K15165·1024 (地质-52)

G3900

高等学校教材试用本

地球物理勘探法

(适用于石油地质及煤田地质专业)

上册

北京地质学院石油物探教研室编

只限学校内部使用

第七机械工业部五院情报室
藏书

中国工业出版社



Wa c0003900

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、閻殿輝、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

緒論	7
----------	---

第一部分 重力勘探法

簡短的介绍	12
-------------	----

第一章 重力勘探的理論基础	13
---------------------	----

§ 1. 重力場	1 ³
§ 2. 正常重力和重力异常	17
§ 3. 重力(或重力异常)分布情形的几何表示	23
§ 4. 重力(或重力异常)的水平梯度	26
§ 5. 水准面的畸变	29
§ 6. 重力位和等位面	32
§ 7. 重力位的二次导数	36
§ 8. 重力場等位面与重力間的关系	39
习题及思考問題	41

第二章 重力的測定及測定結果的整理	44
-------------------------	----

§ 9. 重力測定的精度要求	44
§ 10. 重力的絕對測定	46
§ 11. 重力仪通論	48
§ 12. ГКА重力仪	52
§ 13. 重力仪讀数的零位校正	55
§ 14. 重力勘探的不同阶段測网的布置	56
§ 15. 重力观测数据的校正和重力异常的計算	58
§ 16. 重力异常的图示	65
习题及思考問題	68

第三章 重力位二次导数的測定及測定結果的整理	70
------------------------------	----

§ 17. 用扭秤測定重力位二次导数值的原理	70
------------------------------	----

§ 18. 扭秤的构造	76
§ 19. 扭秤的野外观测方法及所得数据的整理	79
§ 20. 二次导数的异常值及其图示	81
§ 21. 根据重力梯度图作重力异常图	84
习题及思考问题	85
第四章 重力观测结果的地质解释	85
§ 22. 地球物理勘探资料地质解释的一般方法	85
§ 23. 已知物体重力异常的计算方法	90
§ 24. 计算二度体重力异常用的量板	95
§ 25. 已知物体 V_x 和 V_z 曲线的计算	96
§ 26. 反问题的解法	99
§ 27. 一个密度分界面的问题	106
§ 28. 无限水平板重力异常公式的进一步讨论	109
§ 29. 重力观测结果的定性解释	115
§ 30. 岩石的密度	122
§ 31. 决定重力场面貌的各种主要因素	126
§ 32. 区域重力背景对局部重力异常的畸变影响	131
§ 33. 局部重力异常与区域重力场的划分	139
习题及思考问题	142
第五章 重力勘探的应用	158
§ 34. 重力勘探的应用条件。重力仪和扭秤的比较	158
§ 35. 重力勘探在区域地质研究中的应用	161
§ 36. 重力勘探在寻找和勘探局部构造方面的应用	167
习题及思考问题	177
附录 1 矢量与微矢量的合成	177
附录 2 正常重力(γ_0)的水平梯度	179
附录 3 地形影响的数字举例	179
附录 4 关于万有引力的奥氏-高斯定理及其应用	180
附录 5 无限水平板重力异常公式的单位	183

主要文献	184
------------	-----

第二部分 磁力勘探法

簡短的介紹	185
-------------	-----

第一章 磁力勘探的理論基础	186
---------------------	-----

§ 1. 有关的磁学知識	186
--------------------	-----

§ 2. 地磁場	199
----------------	-----

§ 3. 磁力勘探中所观测的各种地磁异常参数	209
------------------------------	-----

习题及思考問題	211
---------------	-----

第二章 磁力的測定及測定結果的整理	213
-------------------------	-----

§ 4. 地面磁力測量	213
-------------------	-----

§ 5. 航空磁力測量	217
-------------------	-----

§ 6. 磁力异常的計算和图示	223
-----------------------	-----

习题及思考問題	227
---------------	-----

第三章 磁力測量結果的地质解釋	227
-----------------------	-----

§ 7. 磁測結果地质解釋中的一般問題	227
---------------------------	-----

§ 8. 岩石的磁性	230
------------------	-----

§ 9. 点磁极或沿軸磁化的細長柱体的磁力异常	236
-------------------------------	-----

§ 10. 球体	239
----------------	-----

§ 11. 无限水平磁化面及无限水平板	241
---------------------------	-----

§ 12. 接触帶和断层	244
--------------------	-----

§ 13. 一个磁性分界面	250
---------------------	-----

§ 14. 岩脉(或岩墙)	254
---------------------	-----

§ 15. 探測結晶基底表面起伏和深度的方法	258
------------------------------	-----

§ 16. 磁力异常及磁化强度可能值的近似估算方法	263
---------------------------------	-----

§ 17. ΔT 图的解釋	266
-----------------------------	-----

习题及思考問題	268
---------------	-----

第四章 磁力勘探的实际应用	281
---------------------	-----

§ 18. 磁力勘探的地质应用	281
-----------------------	-----

习题及思考問題	288
---------------	-----

重力勘探与磁力勘探綜合地质解釋习题	291
-------------------------	-----

主要文献	299
------------	-----

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。因此就其所解决的問題而言，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

56.11/998/02

近地面的地方会观测到重力的降低等。結合測区的地质和岩石密度資料来分析重力的观测資料，就可以弄清引起这一地区重力場特殊分佈的地质內容。

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，而磁力勘探則根据岩石的磁性差異。因此，使用磁力勘探所观测的地磁場特点与地下不同磁化强度岩石的分佈有关。特殊的是，磁性介质必須受到磁場的磁化才产生自己的磁力作用；这里的磁化磁場就是地球本身的磁場。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間接有关的地质問題。例如直接研究一个地区过去的火成岩活动以及間接地探測結晶基底表面的构造等。

重力勘探与磁力勘探同属于天然場法。对于重力場和地磁場这些天然的地球物理場，我們只能观测它，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場及某些矿床周围的自然电流場为基础的天然場法（大地电流法及自然电場法），但应用更广的还是观测人为供往地下的电流場分佈情况的人工場法。这时所观测到的数据無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佈的深度范围，从而在每个观测点上可以得到許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場法，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。使用綜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、調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調查詳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較陡的条件下，用电法勘探和折射波法地震勘探解决地质填图的問題，很多時候都获得了成功的結果。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，因此在某些地层傾角較陡的地区可以利用折射波法的界面速度資料研究复盖层下不同岩层在风化侵蝕面上“露头”的分佈范围。

做为解决区域构造和局部构造問題时經常遇到的具体課題——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調查方法，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，地质效果也无从証实。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无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庞大的，在技术水平上也已日趋成熟，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。

本書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、仪器和觀測数据的整理、觀測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

簡短的介紹

在緒論中已對重力勘探的方法原理作了簡短的介紹，這里概略地指出在普查、勘探石油和煤田方面重力勘探的應用和所佔的地位。

前已指出，重力勘探包括重力儀和扭秤兩種測量形式。前者測量由於地殼密度變化引起的重力本身大小的變化，即所謂重力異常；後者則主要測定重力異常沿水平方向的變化率或重力異常的梯度。在歷史上，在鹽丘的普查和勘探方面扭秤曾經得到很成功的應用。自本世紀三十年代開始，由於製造了精度符合實際需要的重力儀，扭秤測量工作就越來越多地被重力儀代替了。這主要是由於扭秤的生產效率遠遠比不上重力儀的緣故。直到現在，在大地構造單元的劃分，含油遠景地區的圈定以及尋找可能儲油的沉積岩構造等方面，重力勘探仍是被廣泛使用的主要工具之一。

在含煤構造的勘查方面，重力勘探在我国的應用要晚些。應當指出，由於電法勘探在解決這類問題方面的地質效果很好，我國在最近幾年以前對重力勘探的應用注意得不够。但近幾年的實踐證明，讓效率較高的重力勘探工作走在電法勘探的前面，對較快地查明含煤地區的構造情況是有肯定的效果的。只是要注意，和油田的普查工作相比，由於含煤地區構造規模較小、地質情況也常較複雜，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质調查工作中大量地使用，但在解决一些特殊的問題上，例如探测浅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，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）。

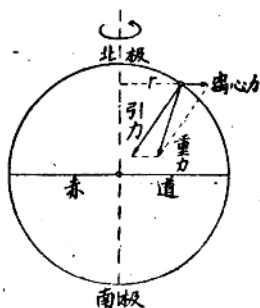


图 1

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

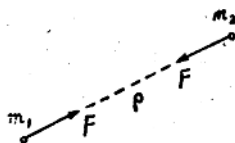


图 2

力的大小(F)和两质点的质量(m_1, m_2)之积成正比, 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(G.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布情形, 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)。

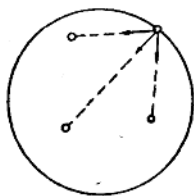


图 3

至于离心力, 其方向是垂直于地球的自转轴并且指向外方。如果用 ω 和 r 分别表示地球自转的角速度和物体离开自转轴的距离(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。由此可見，重力場强度無論在数值上和量綱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。

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

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

① 也有把伽和毫伽分別譯作盖和釐（讀米盖）的。

② 等号“=”除了一般表示“恒等”以外，也常用来表示“規定为”、“定义为”、“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重合，亦即處處與重力相垂直的地面。在以後當我們提到地面時，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。