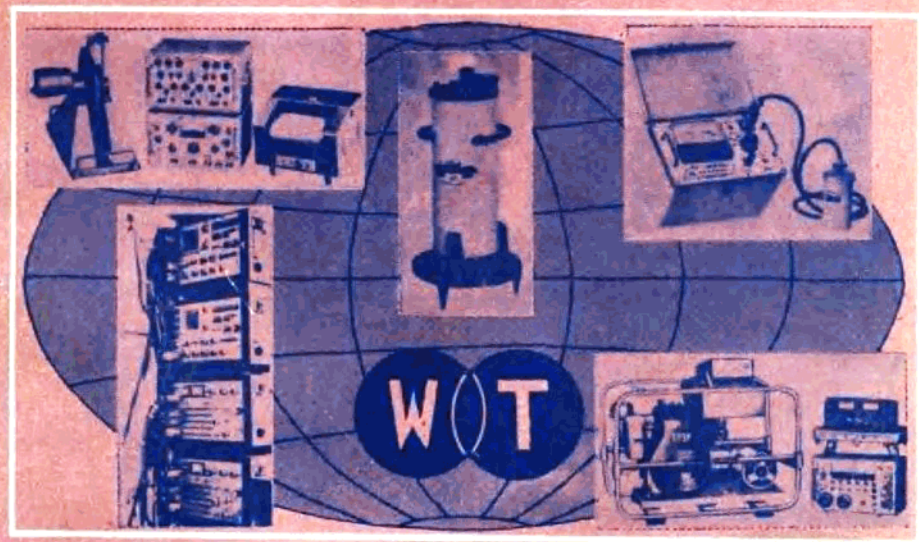


高等学校教材

普通物探教程

— 重力及磁力 —

丁绪荣 主编



地质出版社

17292

高等学校教材

普通物探教程

——重力及磁力

52/37/08

丁绪荣 主编



00303460



200398202



地质出版社

※ ※ ※

本书由吴功建主审，经地质矿产部普通物探及综合物探教材编审委员会于
1982年8月成都审稿会审定，同意作为高等学校教材出版。

※ ※ ※



高等学校教材
普通物探教程

——重力及磁力

丁绪荣 主编

责任编辑 刘金意

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：12¹/₂ 字数：278,000
1984年9月北京第一版·1984年9月北京第一次印刷
印数：1—9,194册 定价：1.95元
统一书号：13039·教180

前 言

本书由地质矿产部普通物探及综合物探教材编审委员会组织编写。适于高等院校矿产地质、石油地质、水文地质和工程地质等专业学生学习物探课程的需要，也可以作为地质人员培训班的教材，以及地质工程师阅读的参考书。

过去的普通物探教材都是为适应各地质专业对物探的不同要求而编写的。虽然它们有较强的针对性，但不能较全面地反映物探方法的内容；而且各种教材之间难免出现一些重复，也花费了较多的人力和物力。因此，编写各地质专业通用的物探教材很有必要。本书正是基于上述考虑撰写的。

本书编写时综合了高等院校地质类专业物探教学大纲的要求，在内容上具有如下的特点：（1）五大类物探方法各列一篇，内容上自成体系，故能较系统地反映该学科的现状。同时，为适应不同专业的特殊要求，也编写了一些专门章节。（2）鉴于涉及的物探方法多、基础知识广，书中着重突出了基本概念、基本原理和常用的方法，以及资料的解释和应用。在叙述中力求深入浅出，阐明物理实质，避免繁难的数学推导。（3）考虑到国内物探工作的现状及发展趋势，在保证基本知识的前提下，适当注意了内容的更新。

（4）为便于学生复习和巩固已学的知识，对重要章节给出了适量的习题和思考题。

全书共五篇，第一篇重力勘探；第二篇磁力勘探；第三篇电法勘探；第四篇放射性勘探；第五篇地震勘探和附录岩体声波探测。全书分三册出版。作为高等院校教材使用时，教师应按照各专业物探教学大纲的要求选用不同分册，并可对具体内容进行取舍。矿产地质专业主要使用重力及磁力和电法及放射性两分册；石油地质专业主要使用重力及磁力和地震附声波探测两分册；水文地质及工程地质专业主要使用电法及放射性和地震附声波探测。书中带有（*）号的部分在教学时数低的情况下，可不予讲授。

全书由成都地质学院丁绪荣主编。参加编写的有武汉、长春、河北、成都四所地质学院物探系及西北大学地质系的有关教师。

本册为全书的上册。第一篇由吴蓉元同志编写；第二篇由邓一谦同志编写。吴功建对本册进行了全面的审查；另外还邀请了陈善、薛福海、曹树棠、王宝仁、王理、王恕铭、申宁华等同志分别对第一篇及第二篇进行了审查。在本分册统编过程中邓一谦同志作了大量具体工作。

编写这样的通用教材还是一种尝试。由于我们经验不足，思想水平和业务水平有限，书中疏漏错误之处在所难免，恳请使用和阅读本书的同志不吝指正。

最后，谨向为我们提供资料和给予各种方便的物探队、地质队、地质仪器厂、科研单位和兄弟院校，为本书审稿的同志，以及担任绘图誊写工作的同志，致以衷心的感谢。

编 者

1983年12月

目 录

绪 论	1
第一篇 重 力 勘 探	
主要符号表	4
引 言	6
第一章 重力勘探的理论基础	7
第一节 重力场	7
一、重力	7
二、重力场	8
三、重力场的数学表达式	8
第二节 重力位	10
一、重力位的物理意义	10
二、重力位与重力的关系	10
第三节 正常重力场和重力异常	12
一、正常重力场	12
二、重力随时间的变化	12
三、重力异常	13
第四节 岩、矿石的密度	15
习题及思考题	16
第二章 重力仪及重力勘探工作方法	18
第一节 重力仪	18
一、石英弹簧重力仪	18
二、振弦重力仪	19
第二节 重力勘探工作方法	20
一、工作任务	21
二、工作比例尺, 测线、测点距离及测量精度	21
三、野外观测概要	22
第三节 重力观测结果的整理及图示	22
一、地形校正	22
二、中间层校正	23
三、高度校正	24
四、正常场校正	24
五、重力异常的图示	25
习题及思考题	26
第三章 重力异常的推断解释	28

第一节 概述	28
第二节 决定重力异常特征的主要地质因素	29
一、地壳厚度的变化	29
二、结晶基岩内部成分、构造和基底的起伏	30
三、沉积岩的成分和构造	32
四、金属矿及其它矿产的赋存	33
第三节 重力异常的识别和划分	33
一、局部重力异常的识别	33
二、重力异常的划分	34
第四节 重力异常正、反问题的解法	40
一、解正问题的基本公式	40
二、几种规则形体正、反问题的解法	41
三、任意形体正、反问题的解法	48
四、一个密度分界面正、反问题的解法	53
习题及思考题	56
第四章 重力勘探的应用	59
第一节 重力勘探在研究地壳深部构造及地壳均衡作用中的应用	59
一、利用布格重力异常研究地壳深部构造	59
二、地壳均衡与均衡异常	60
三、自由空间异常及其地质意义	65
第二节 重力勘探在地质构造研究中的应用	66
一、划分大地构造单元	66
二、研究区域地质构造	66
三、寻找局部构造	68
第三节 重力勘探在寻找金属矿方面的应用	70
第四节 重力勘探在其它方面的应用	72
一、圈定岩浆岩体	72
二、寻找岩盐	72
三、研究地热田	73
主要参考书刊	74

第二篇 磁 法 勘 探

主要符号表	76
引 言	79
第一章 磁法勘探的理论基础	81
第一节 有关的磁学知识	81
一、磁场	81
二、磁化	82
三、物质的磁性	83
四、磁学单位	85
第二节 地磁场	85

一、基本磁场	85
二、外源磁场	88
三、磁异常	89
四、磁法勘探所观测的磁异常	89
第三节 岩(矿)石的磁性	90
一、岩(矿)石的磁化率	90
二、岩(矿)石的剩余磁化强度	91
三、影响岩(矿)石磁性的因素	92
四、研究岩(矿)石磁性的意义	92
习题及思考题	93
第二章 磁法勘探仪器及磁测工作方法	95
第一节 磁法勘探仪器	95
一、机械式磁力仪	95
二、电子式磁力仪	97
第二节 磁测工作方法	98
一、磁测任务的确定	98
二、磁测比例尺、测网和精度	99
三、岩(矿)石磁参数的测量	100
四、磁测的野外工作	100
五、磁测资料的整理及图示	100
习题及思考题	101
第三章 磁性体的磁场	102
第一节 概述	102
第二节 规则形体的 Z 磁场特征	103
一、柱体磁场的分析	103
二、球体磁场的分析	106
三、二度体磁场的分析	107
四、板状体磁场的分析	111
五、规则三度体磁场的分析	115
六、决定磁异常特征的主要因素	116
第三节 总磁场标量异常 ΔT 的基本性质	118
习题及思考题	119
第四章 实测磁异常的处理	121
第一节 使磁异常复杂化的因素	121
第二节 实测磁异常的处理	123
一、实测曲线的匀滑	123
二、磁异常的解析延拓	124
三、磁异常的地形校正	126
四、化向地磁极	126
五、磁异常的导数换算	127
六、磁异常各分量间的换算	129

第五章 磁异常的解释推断	132
第一节 磁异常解释推断的步骤和内容	132
第二节 磁异常的定性解释	132
一、地面磁异常的定性解释	132
二、航空磁异常的定性解释	137
第三节 磁异常的定量解释	143
一、数学分析法	143
二、选择法	146
*第四节 波数域中磁异常的解释推断	150
一、波谱分析的一般知识	150
二、波数域中磁异常的转换处理	152
三、波数域中磁异常的正、反演方法	154
习题及思考题	155
第六章 磁法勘探的应用	157
第一节 在区域地质调查中的应用	157
第二节 在煤田和石油普查中的应用	158
第三节 在磁铁矿床上的应用	160
第四节 在多金属和非金属矿床上的应用	164
第五节 在全球构造研究中的应用	165
第七章 井中磁测	168
第一节 井中三分量磁测	168
一、井中三分量磁力仪	168
二、井中磁测资料的整理和图示	169
三、规则形体的井中磁场特征	170
四、井中磁测资料的解释推断	177
*第二节 磁化率测井	183
主要参考书刊	185

绪 论

地球物理勘探简称“物探”，它是地球物理学在探测地下地质构造和寻找有用矿产方面的一个分支，是综合性地质调查工作的重要组成部分。

物探是通过观测和研究地球物理场的变化来解决地质问题的。所谓地球物理场，是指存在于地球周围的具有物理作用的空间。例如，天然存在的具有重力作用的空间，称为重力场；天然存在或人工建立的具有电（磁）力作用的空间称为电（磁）场，等等。大家知道，组成地壳的岩石往往在密度、弹性、磁性、电性、放射性等物理性质方面存在差异，而岩、矿石之间甚至可以显示更明显的物性差异。例如，相对于周围的岩石（简称围岩）而言，磁铁矿磁性强，铬铁矿密度大，金属硫化矿体导电性能好、电化学活动性强等等。这些差异会引起相应的地球物理场的局部变化，这个与地下岩、矿体（层）相联系的地球物理场的变化称为地球物理异常。我们可以用专门的仪器进行观测，获得有关这些异常的分布情况和形态特征的资料，然后加以分析研究，并结合当地的地质资料，推断地下地质构造和岩、矿体的赋存状况，从而达到地质勘探的目的。

由此可见，一般地质方法与物探方法在理论基础和工作方法上都是完全不同的。前者以岩石学、构造地质学、矿床学等理论为基础，对岩、矿石露头或岩芯标本直接进行观察；后者则以各种地球物理场的理论为基础，凭借仪器对这种场进行观测，而不是直接观测地质体本身。从这个意义上讲，物探是一种间接的地质手段。物探方法的优点是可以覆盖层寻找地下隐伏的地质构造或盲矿体。由于用仪器观测地球物理场比直接揭露岩、矿体更简便易行，因此应用物探方法能够大大提高工作效率，加快施工进度，降低生产成本，从而多快好省地找到国家急需的矿产资源，以及解决生产建设中出现的各种地质问题。

根据岩、矿石物理性质和地球物理场的不同，目前主要有五类常用的物探方法：（1）以岩、矿石磁性差异为基础，研究地磁场变化规律的磁法勘探；（2）以岩、矿石密度差异为基础，研究重力场变化规律的重力勘探；（3）以岩、矿石电性差异为基础，研究电场及电磁场变化规律的电法勘探；（4）以岩、矿石放射性差异为基础，研究辐射场变化规律的放射性勘探；以及（5）以岩、矿石弹性差异为基础，研究弹性波场变化规律的地震勘探。

随着科学技术的发展，许多新方法、新技术，例如遥感遥测方法，声波、超声波探测方法，电子计算技术等等正在不断地引进物探领域，为地球物理勘探的发展开辟了广阔的前景。

地球物理场的探测范围是十分广阔的，就工作的空间而言，可以将物探方法分为：沿地面进行观测的地面物探；在飞机上进行观测的航空物探；在海洋上进行观测的海洋物探；以及将仪器置于坑道内或钻孔中进行观测的地下物探。此外，将仪器置于人造卫星中进行观测的遥感物探则是物探工作的新进展。

按照探测对象的不同，人们习惯于将物探方法分为：与探测金属矿（及非金属矿）有

关的金属（及非金属）物探；与探测石油及天然气有关的石油物探；与探测煤田有关的煤田物探；以及与水文地质、工程地质有关的水文工程物探。

后两种分类方法的每一类，实际上都是以第一种分类法中的某种物探方法为主的一套方法。例如，目前航空物探主要包括磁法、电法和放射性法；而石油物探主要是地震法，也包括重力法、磁法和电法。

物探方法广泛应用于地质工作的各个阶段。在小比例尺地质填图中，应用物探方法可以探测结晶基底的起伏及内部构造，协助地质工作划分大地构造单元，研究沉积岩构造和追索大断裂带；在大比例尺地质填图中，可以确定岩层接触带和浮土厚度，圈定岩体，构造破碎带和断层，指示成矿远景区；在普查找矿中，可以圈定成矿带、矿化带，寻找有工业意义的矿体；在勘探工作中，可以进一步了解矿体的空间位置及产状，划分矿层；即使在矿床开采过程中，物探工作的成果也可用以指示矿体走向，确定矿体形状，寻找盲矿体，为指导矿山生产，增加矿产储量服务。

根据现有资料，初次应用物探方法寻找有用矿产是在1640年，当时瑞典人曾利用罗盘探测磁铁矿；1879年以后，广泛地进行了勘查铁矿的物探工作。另外，1815年开始用电法中的自然电场法探测某些金属硫化物矿床。二十世纪初期到二十年代，随着石油工业的迅猛发展，物探在普查和勘探石油、天然气方面发挥了重要的作用，相继发展了重力勘探和地震勘探的方法技术。直到现在，在世界范围内，大量的物探工作还是用于查勘石油和天然气资源。至于应用物探方法普查和勘探各种金属及非金属矿产，在二十世纪四十年代以后也逐渐引起重视，并有很大发展。除建立了许多新的电法勘探方法、放射性勘探方法以及航空物探方法外，还制成了很多新型的高精度、高效率仪器。与此同时，物探方法的应用还扩大到解决某些与水文地质及工程地质有关的问题，为各种基本建设服务，为铁路、水坝、水电站、桥梁、港口、厂房及国防设施等提供可靠的地质资料。某些物探方法，包括磁法、重力、地震、大地电磁测深等，可以探测地壳深部以至上地幔的地质情况及其变化，因此物探方法也是了解地球深部情况的基本手段。六十年代以来，在建立现代大地构造学说——板块学说方面，地球物理工作发挥了重要的作用。当前，在地热开发和天然地震预测中，物探的应用方兴未艾。由此可见，在地质工作中，物探是一种现代化的、成效卓著的方法，占有重要的地位。

但是必须看到，物探仅仅是众多地质方法中的一类。许多地质问题，例如研究矿石的品位及矿物组成、岩石的化学成分、某一地区古生物或古生物群的分布规律等等，物探方法一般是不能奏效的。所以物探的应用有其局限性，它必须以一定的地质及地球物理条件为前提。这主要指的是：（1）勘探对象与围岩之间必须具有明显的、可以探测的物性差异。（2）勘探对象要有一定的规模，而且埋藏不太深。也就是说勘探对象能够产生用现有仪器可以发现和圈定的地球物理异常。（3）各种干扰因素产生的干扰场相对于异常而言，应当足够微弱或具有不同的特征，以便能予以分辨或消除。只有具备了这些条件，才可以投入物探工作。此外，物探资料的解释还存在多解性问题，即对于同一异常可以得出互不相同甚至截然相反的结论。这种情况的出现，往往是由于复杂的地质条件或物探理论自身的缺陷造成的。

综上所述可知，在地质勘探工作中物探方法不可能取代常规的地质方法，也不可能解决所有的地质问题。为了加快工作进度并取得圆满的地质效果，物探与其他地质方法的配

合是十分必要的。

解放以来，同全国其他建设战线一样，我国的物探工作也取得了很大的成就。五十多年来，已为我国找到了许多急需的煤、铁、石油及各种金属、非金属矿产资源，解决了经济建设中出现的一些地质问题。可以预料，在新的历史时期，我国的物探事业一定能继续发展，达到新的高度，为加速实现祖国的四个现代化作出更大的贡献。

第一篇 重力勘探

主要符号表

a	——地球的赤道半径
$b_{1/2}$	——半极值宽度
C	——惯性离心力
c	——地球的极半径
C_x	——惯性离心力在 x 轴方向的投影
C_y	——惯性离心力在 y 轴方向的投影
C_z	——惯性离心力在 z 轴方向的投影
D	——地质体中心埋深或下底埋深
d	——地质体上顶埋深
F	——引力
F_x	——引力在 x 轴方向的投影
F_y	——引力在 y 轴方向的投影
F_z	——引力在 z 轴方向的投影
f	——频率
G	——万有引力常数
g	——重力加速度, 重力场强度, 重力勘探中的“重力”
g_e	——赤道上的重力值
g_n	——正常重力值
g_p	——两极上的重力值
g_x	——重力在 x 轴方向的投影
g_y	——重力在 y 轴方向的投影
g_z	——重力在 z 轴方向的投影
Δg	——重力异常, 布格重力异常
Δg_{max}	——重力异常极大值
Δg_B	——布格重力异常
$\Delta g_{\text{自由}}$	——自由空间重力异常
$\Delta g_{\text{均衡}}$	——均衡重力异常
$\Delta g_{\text{平均}}$	——平均重力异常
$\Delta g_{\text{区域}}$	——区域重力异常
$\Delta g_{\text{局部}}$	——局部重力异常

$\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial z^2}$ —— 重力垂直二阶导数

$\delta_{g地}$ —— 地形校正值

$\delta_{g高}$ —— 高度校正值

$\delta_{g中}$ —— 中间层校正值

$\delta_{g布}$ —— 布格校正值

$\delta_{g正}$ —— 正常场校正值

$\delta_{g均}$ —— 均衡校正值

H —— 地质体上顶埋深

h —— 地质体厚度

M —— 地质体的质量

ΔM —— 地质体剩余质量

d_m —— 地质体质量单元

P —— 重力

R —— 地球平均半径, 球体半径或水平圆柱体的底面半径

T —— 周期

U —— 惯性离心力位

V —— 引力位

W —— 重力位

$x_{1/2}$ —— 半极值点横坐标

$x_{1/4}$ —— 四分之一极值点横坐标

α —— 地球的扁度

β —— 地球的重力扁度

λ —— 剩余线密度

μ —— 剩余面密度

σ —— 密度

σ_0 —— 正常密度, 围岩密度

$\Delta \sigma$ —— 剩余密度, $\Delta \sigma = \sigma - \sigma_0$

Φ —— 各测点异常值的偏差平方和

φ —— 纬度

ω —— 圆频率, 角速度

引 言

重力勘探是观测地球表面重力场的变化,借以查明地质构造和矿产分布的物探方法。地球的重力场是一种天然力场。组成地壳的各种岩(矿)石之间具有密度差异,这种差异会使地球的重力场发生局部变化,从而引起重力异常。当我们在某一地区进行观测并发现重力异常时,对异常进行分析计算,就能推断引起该重力异常的地下物质的分布情况,从而达到地质勘探的目的。

重力勘探的应用范围十分广泛。利用重力资料可以圈定具有找油气远景的沉积岩内部构造、盐丘及煤田盆地;还可以划分大地构造和区域构造单元;研究地壳深部构造及地壳活动性,预测天然地震的发震时间、震级和震源位置。近年来,由于电子计算技术的进步,重力勘探在金属矿区的应用也得到了新的发展,与其他物探方法相配合,重力勘探在寻找无磁性铁矿、铬铁矿、有色金属矿以及钾盐等矿产方面都取得了良好的地质效果。

当然,对重力资料的应用和研究不仅仅局限于地质勘探方面。历史上重力资料最先用于大地测量,并根据重力的分布来研究地球的形状。现在它的用途就更加广泛了。例如,对远程火箭、导弹、人造地球卫星和宇宙飞船运行轨道的精确推算,重力数据都是不可缺少的。

当前,重力勘探的观测仅限于陆地和海洋,航空重力测量在国内外都还处于试验阶段,而卫星重力测量则是属于遥感物探的范畴。

重力勘探的历史仅有七十余年,在此期间,从理论到方法都有了相当的发展,并积累了不少经验。在我国,一些盆地的重力测量已基本完成,包括山区在内的全国性重力普查和海洋重力测量也普遍开展。可以预料,在实现四个现代化的进程中,我国重力测量无论在基础理论还是在方法技术上,都必将得到蓬勃的发展。

第一章 重力勘探的理论基础

第一节 重力场

一、重力

地球上任何物体都要受到重力的作用。我们日常见到的自由落体运动及物体具有重量等，都是重力作用的表现。

如果忽略日、月等天体对地面物体的微弱引力作用，则重力 P 主要是由两个分力组成：一个是整个地球质量对物体的引力 F ，另一个是物体在自转的地球上所受到的惯性离心力 C (图1.1.1) 即

$$P = F + C \quad (1.1.1)$$

地球对物体作用的引力服从于万有引力定律。根据这个定律，任意两个质点都有相互吸引的力 F (图1.1.2)，其大小和两个质点的质量之乘积成正比，与两者之间的距离的平方成反比，即

$$F = G \frac{m_1 m_2}{\rho^2} \quad (1.1.2)$$

式中 m_1 和 m_2 分别为两质点的质量； ρ 为它们之间的距离； G 为万有引力常数，在厘米·克·秒制 (CGS制) 中 $G = 6.67 \times 10^{-8}$ 厘米³/克·秒²。 F 的方向沿着两质点的连线。

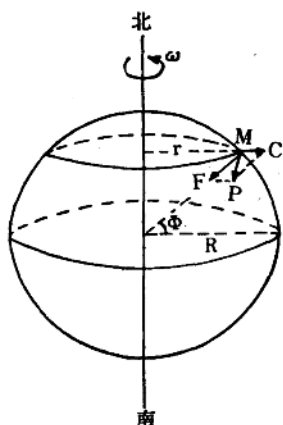


图 1.1.1 重力的组成

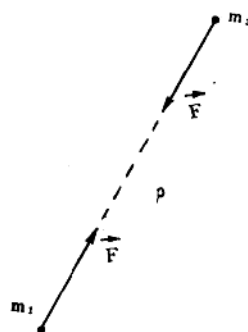


图 1.1.2 两质点间的万有引力

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所作用的引力的合力。如果知道了地球的形状、大小和密度分布，这个合力原则上可以用积分的方法计算出来。其方向指向地球的质量中心 (简称地心)。

在自转的地球上, 质量为 m 的质点所受到的惯性离心力 C 的大小与地球自转的角速度 ω 的平方及物体到自转轴的垂直距离成正比, 即

$$C = m\omega^2 r \quad (1.1.3)$$

C 的方向垂直于地球的自转轴并沿着 r 指向球外。由于在赤道处 r 最大, 两极 r 等于零, 故惯性离心力是从赤道(最大)向两极(等于零)逐渐减小的。

离心力的大小和地球的引力相比是相当小的, 最大不超过引力的二百八十八分之一(0.0034)。因此, 重力的大小基本上由地球的引力 F 所决定, 其方向仍大致指向地心。实际上, 图1.1.1中的 C 被夸大了近百倍。

二、重力场

地球周围是到处具有重力作用的空间, 这个空间称为重力场。从力的观点出发, 我们可以用重力场强度来描述重力场的性质, 重力场中某点的重力场强度, 等于单位质量的质点在该点所受的重力。

根据牛顿第二定律, 作用在质量为 m_0 的质点上的重力 P 为

$$P = m_0 g$$

式中 g 表示重力加速度。用 m_0 除上式两边, 便得到

$$\frac{P}{m_0} = g$$

按照定义, 这个式子的左端表示单位质量所受的重力, 即重力场强度。由此可见, 空间某点的重力场强度, 无论在数值上和量纲上都等于该点的重力加速度, 且二者的方向一致。在重力勘探中, 常把重力加速度或重力场强度简称为“重力”。以后, 如果无特别说明, 凡提到重力, 都是指重力加速度。

在厘米·克·秒制(CGS制)中, 重力加速度的单位是厘米/秒²。为了纪念第一个测定重力加速度的意大利学者伽里略, 在重力测量工作中, 将这个单位称为伽(gal)。即1伽=1厘米/秒²。但实际应用时伽这个单位太大了, 因此又以它的千分之一为单位的量, 叫做毫伽(mgal)。

$$1 \text{ 毫伽} = 10^{-3} \text{ 伽}$$

在高精度重力测量中, 往往用毫伽的千分之一作为重力单位, 叫做微伽(μgal)。即

$$1 \text{ 微伽} = 10^{-3} \text{ 毫伽}$$

在国际单位制(SI单位制)中, 重力加速度的单位为米/秒², 它的百万分之一称为重力单位, 以 $g \cdot U$ 表示。

$$1 \text{ } g \cdot U = 10^{-6} \text{ 米/秒}^2 = 10^{-1} \text{ 毫伽}$$

三、重力场的数学表达式

地球的重力场是一个矢量场, 地面各点的重力分布不但表现为它的大小的变化, 而且方向也随地而异。由于任何一个矢量的大小和方向都可以由其在已知坐标系的三个坐标轴上的投影来确定, 为此, 我们建立一个直角坐标系, 使原点位于地心, Z 轴与地球自转轴相重合, X 、 Y 轴在赤道平面内(图1.1.3)。设地球的质量单元为 dm , 其坐标为 (ξ, η, ζ) , 计算点 P 的坐标为 (X, Y, Z) , dm 到 P 点的距离为:

$$\rho = [(\xi - x)^2 + (\eta - y)^2 + (\zeta - z)^2]^{\frac{1}{2}}$$

根据万有引力定律, dm 对 P 点的引力应为

$$dF = G \frac{dm}{\rho^2}$$

dF 在 x 坐标方向的分量 dF_x 为

$$dF_x = dF \cos(\rho, x)$$

式中 $\cos(\rho, x) = \frac{\xi - x}{\rho}$, 所以

$$dF_x = G \frac{dm}{\rho^2} \cdot \frac{\xi - x}{\rho} = G \frac{\xi - x}{\rho^3} dm$$

同理可得

$$dF_y = G \frac{\eta - y}{\rho^3} dm, \quad dF_z = G \frac{\zeta - z}{\rho^3} dm$$

于是, 地球的全部质量 M 在 P 点产生的引力分量为

$$\left. \begin{aligned} F_x &= G \int_M \frac{\xi - x}{\rho^3} dm \\ F_y &= G \int_M \frac{\eta - y}{\rho^3} dm \\ F_z &= G \int_M \frac{\zeta - z}{\rho^3} dm \end{aligned} \right\} \quad (1.1.4)$$

积分号下的 M 表示积分遍及地球全部质量。

下面讨论离心力, 设地球自转角速度为 ω , P 点到地球自转轴的距离为 r , 则离心力 C 在 X 、 Y 、 Z 三个坐标方向的分量为

$$\left. \begin{aligned} C_x &= \omega^2 r \cos(r, x) = \omega^2 r \frac{X}{r} = \omega^2 x \\ C_y &= \omega^2 r \cos(r, y) = \omega^2 r \frac{Y}{r} = \omega^2 y \\ C_z &= \omega^2 r \cos(r, z) = 0 \end{aligned} \right\} \quad (1.1.5)$$

将(1.1.4)式和(1.1.5)式的相应分量相加, 便得到 P 点的重力在三个坐标方向的分量:

$$\left. \begin{aligned} g_x &= G \int_M \frac{\xi - x}{\rho^3} dm + \omega^2 x \\ g_y &= G \int_M \frac{\eta - y}{\rho^3} dm + \omega^2 y \\ g_z &= G \int_M \frac{\zeta - z}{\rho^3} dm \end{aligned} \right\} \quad (1.1.6)$$

故总的重力为

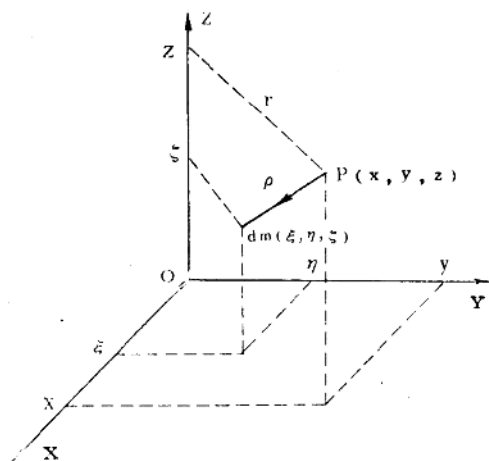


图 1.1.3 计算重力场的坐标系