

中国矿业大学（北京）课程建设项目：矿山建设工程地质学课程建设（k130607）

矿山工程地质学

Kuangshan Gongcheng Dizhi Xue

主编 杨晓杰 郭志飏

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

中国矿业大学(北京)课程建设项目:矿山建设工程地质学课程建设(K130607)

矿山工程地质学

主 编 杨晓杰 郭志飏

副主编 张 娜 张国锋 郭平业 韩巧云

中国矿业大学出版社

内 容 简 介

本书内容共 13 章,系统介绍了与矿山设计、建设和生产过程相关的工程地质、水文地质、地质构造、工程岩体和矿山常见地质灾害等方面的基础概念、基本理论和主要研究方法。

本书为矿山建设工程和采矿工程等专业的本科专业基础课程教材,也可作为从事相关专业的科学研究人员、设计人员和现场工程技术人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

矿山工程地质学/杨晓杰,郭志飏主编. —徐州:

中国矿业大学出版社,2015.3

ISBN 978-7-5646-2668-6

I. ①矿… II. ①杨…②郭… III. ①矿山地质—工程地质 IV. ①P642

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 065879 号

书 名 矿山工程地质学

主 编 杨晓杰 郭志飏

责任编辑 王美柱

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司

(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

出版服务 (0516)83885767 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 江苏淮阴新华印刷厂

开 本 787×1092 1/16 印张 19.25 字数 480 千字

版次印次 2015 年 3 月第 1 版 2015 年 3 月第 1 次印刷

定 价 35.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

随着我国经济的快速发展,能源的需求量逐年增加,煤炭在我国的能源结构中一直占据主体地位。进入 21 世纪以来,随着我国大规模矿山建设的开展,工程地质问题成为影响工程建设的关键问题。作为矿业类高等院校,应适应国家发展的需要,因此,特组织编写了《矿山工程地质学》教材,作为采矿工程和矿山建设工程等专业的专业基础课程教材。

本教材以矿山建设过程中应用的地质学理论为主体,以地球学、岩石学、矿物学、构造地质学、水文地质学和岩体力学等学科为理论研究基础,研究与矿山设计、建设和生产过程有关的工程地质、水文地质、地质构造、工程岩体和矿山常见地质灾害等问题。

本教材注重实用性,突出地质学基本理论和基本知识。同时,力求重点突出,跟踪学科发展的前沿,引入最新科学研究成果,适应矿山建设工程地质学的发展要求。

本教材按 64 学时授课内容编写,根据专业和学科特点适当取舍。全书共分 13 章:第 1 章、第 3 章、第 4 章和第 6 章由杨晓杰和韩巧云负责编写;第 2 章、第 10 章和第 13 章(瓦斯突出)由张娜负责编写;第 5 章和第 9 章由张国铎负责编写;第 7 章、第 8 章、第 12 章和第 13 章(软岩大变形)由郭志飏负责编写;第 11 章和第 13 章(高温热害)由郭平业负责编写;第 13 章(岩爆)由李德建负责编写;第 13 章(滑坡)由陶志刚负责编写。全书由杨晓杰和郭志飏负责统稿和定稿。

本教材在策划和编写过程中,得到了深部岩土力学与地下工程国家重点实验室(北京)主任何满潮院士的指导和帮助,在此表示衷心感谢。

本教材在编写过程中参阅了许多专家、学者的著作和文献,在此一并致谢!

本书除作为本科生教材外,还可作为从事相关专业的科学研究人员、设计人员和现场工程技术人员参考用书。

由于时间仓促,加之编者水平所限,书中不妥之处在所难免,恳请读者不吝指正。

编 者

2015 年 1 月

目 录

1 绪论	1
1.1 矿山工程地质学研究对象	1
1.2 矿山工程地质学研究内容	1
1.3 矿山工程地质学研究方法	2
1.4 矿山工程地质学任务	2
2 地球概况	3
2.1 地球在宇宙中的位置	3
2.2 地球的形状和性质	6
2.3 地球圈层构造	11
课后习题	16
3 矿物	17
3.1 矿物的概念及分类	17
3.2 矿物的成因及标型特征	19
3.3 矿物的化学成分	21
3.4 矿物的形态及物理性质	26
3.5 矿物鉴定的研究方法	34
3.6 常见矿物	37
课后习题	42
4 黏土矿物	43
4.1 黏土矿物及其分类	43
4.2 黏土矿物的基本结构	45
4.3 黏土矿物的性质	51
4.4 黏土矿物鉴定的研究方法	54
4.5 常见黏土矿物	59
课后习题	63
5 岩石	64
5.1 岩石的分类	64
5.2 岩石的物理性质	86

5.3 岩石与岩体的工程地质性质	91
课后习题	102
6 地质年代	103
6.1 地层系统	103
6.2 地层单位和地质年代	108
6.3 年代地层单位和地质年代系统	110
课后习题	118
7 构造运动与地质构造	119
7.1 基本概念	119
7.2 构造运动	121
7.3 水平构造和倾斜构造	123
7.4 褶皱构造	124
7.5 断裂构造	130
7.6 地层的接触关系	140
课后习题	142
8 地应力	143
8.1 地应力的概念和成因	143
8.2 地应力测量方法	144
8.3 地应力现场测量在旗山煤矿的应用	153
课后习题	158
9 工程岩体	159
9.1 工程岩体的概念	159
9.2 岩体的基本构成——结构面和结构体	160
9.3 工程岩体分类	162
9.4 工程岩体稳定性分级	172
9.5 工程岩体稳定性的影响因素	177
课后习题	178
10 土	179
10.1 土的组成与结构、构造	179
10.2 土的物理力学性质	190
10.3 土的工程分类	198
10.4 土的成因分类	199
10.5 特殊土的工程性质	204
课后习题	210

11 地下水	211
11.1 地下水概述.....	211
11.2 地下水类型及其主要特征.....	217
11.3 地下水的性质.....	224
11.4 地下水对工程的影响.....	230
课后习题.....	238
12 地质图件	239
12.1 地质剖面图.....	239
12.2 地形地质图.....	243
课后习题.....	249
13 常见的矿山地质灾害	250
13.1 岩爆.....	250
13.2 软岩大变形.....	260
13.3 滑坡.....	264
13.4 高温热害.....	276
13.5 瓦斯突出.....	282
课后习题.....	295
参考文献	296

1 绪 论

随着我国经济的快速发展,能源的需求量逐年增加,煤炭在我国的能源结构中一直占据主体地位,2013 年我国煤炭产量已达 37 亿 t。近年来,全国展开大规模的矿山建设,在矿山设计、建设和生产过程中的工程地质问题是主要问题之一,为了让学生掌握矿山设计、建设和生产过程中的主要工程地质问题,特组织编写了《矿山工程地质学》教材。

矿山工程地质学作为应用地质学的一个重要组成部分,与工程地质学、水文地质学和采矿工程学等学科联系紧密,本教材主要面向矿业类高等院校采矿工程和矿山建设等专业的本科生。

矿山工程地质学运用地质学的基础理论知识,研究与矿山设计、建设和生产过程有关的工程地质、水文地质、地质构造、工程岩体和典型的矿山灾害等问题。

1.1 矿山工程地质学研究对象

矿山工程地质学以地球的浅部圈层(岩石圈)为主要研究对象,研究与矿山工程有关的地质问题。如研究矿山建设和生产过程中如何合理地处理各种复杂工程地质条件和改造不良地质条件等地质问题;研究工程地质环境对矿山建设和生产的制约作用以及矿山建设和生产活动对地质环境的影响,解决两者之间矛盾,使矿山建设和生产活动能够顺利进行。

矿山工程地质学以地球学、岩石学、矿物学、构造地质学、水文地质学和岩体力学等学科为理论研究基础,主要研究对象包括:主要矿物(黏土矿物)的类型和特征、岩石和岩体的分类和特性、地质构造和地应力、土的工程性质和分类、地下水和矿山常见地质灾害等。

1.2 矿山工程地质学研究内容

矿山工程地质学作为地质学中应用性和针对性较强的分支学科,其研究内容不仅包括地质学的基础知识,还包括矿山工程建设和生产过程中涉及的专业知识。因此,矿山工程地质学的主要研究内容主要有以下几个方面:

① 地球概况和岩石圈:研究地球的基本特征和圈层结构,重点研究矿山工程活动所涉及的岩石圈的结构、特征和性质。

② 主要矿物及黏土矿物类型和性质:研究分布于岩石圈层中的主要矿物和黏土矿区的类型,重点研究与矿山工程活动有关的主要造岩矿物和膨胀性黏土矿物的物理、化学性质,组成结构和鉴定方法等。

③ 岩石学和工程岩体:研究岩石的分类、岩体的组成和性质,重点研究矿山工程活动中常见的三大类岩石的性质和鉴别方法,以及影响矿山工程稳定的工程岩体的性质和分类。

④ 地质构造和地应力:研究构造运动对岩石圈构造变动的影响和演变规律,重点研究地质构造对矿山工程活动的影响以及地应力场分布规律。

⑤ 土的组成和分类:研究土的组成、结构和分类,重点研究矿山工程活动范围土的工程性质及对矿山工程稳定性的影响等。

⑥ 地下水的类型和特征:研究地下水的赋存状态、主要类型和特征等,重点研究地下水对矿山工程建设和生产期间的主要影响。

⑦ 常见矿山地质灾害:研究矿山建设和生产过程中发生的常见地质灾害类型、特征和基本防治方法。

1.3 矿山工程地质学研究方法

矿山工程地质学的研究任务是矿山建设和生产过程中工程地质问题,是一门综合性较强的应用学科,其研究方法也较多,主要方法简述如下:

① 自然历史分析法:运用地质学基本理论和基本知识,查明工程地质条件和地质现象的分布规律,分析研究其产生过程和发展趋势,进行定性的判断,是矿山工程地质研究的基本方法。

② 实验和测试方法:岩土体特性参数的实验、对地应力的量级和方向的测试、地质作用发展变化规律监测等。

③ 数学计算方法:应用统计数学方法对测试数据进行统计分析,利用理论或经验公式对有关数据计算,定量评价工程地质问题。

④ 模拟方法:通过地质分析研究,认识地质原型,确定各种边界条件,结合建筑物的实际作用,正确地抽象出工程地质模型,利用相似材料或各种数学方法,再现和预测地质作用的发生和发展过程,是矿山工程地质研究的重要方法。

1.4 矿山工程地质学任务

矿山工程地质学的研究目标是,为矿山工程的设计、建设和施工提供必要而充分的地质依据,解决矿山工程活动的地质问题。

评价工程地质条件,阐明矿山工程活动的影响因素,保证矿山建设和生产活动的顺利进行。从地质条件和矿山工程活动相互作用的角度出发,论证和预测有关工程地质问题,发生的可能性,发生规模和发展趋势,并提出改善、防治或利用有关工程地质条件的措施和基本方法。

通过本课程的学习,获得矿山工程地质学的基本理论知识,掌握常见岩石和岩体类型、地质构造和地应力场、土的工程特性、地下水的基本概念和分类,了解常见矿山地质灾害的类型和性质,熟悉常规的工程地质实验方法,认识工程地质学在工程建设发展中的重要地位,并为今后从事该领域工程实践奠定基础。

2 地球概况

根据辩证唯物主义的观点,宇宙是物质的总和,不论在时间或空间上都是无穷的,并处于不断运动和发展之中。宇宙空间包罗万象,大至地球、太阳系、银河系、总星系,小至原子、电子。

地球是宇宙中的一颗行星,地球与宇宙之间相互联系、相互作用。很多地质现象与宇宙有关,如昼夜与太阳有关、潮汐与月亮有关等,随着人类认识的深入,更多的宇宙奥秘会被逐渐揭开。而地质学是一门研究地球的学科,地球的表层——岩石圈是地质学的主要研究对象。因此,在系统地学习地质学有关内容以前,必须对地球的基本情况有一概括性的了解。

本章重点介绍地球在宇宙中的位置、地球的形态和性质、地球的圈层构造以及地表特征等内容。

2.1 地球在宇宙中的位置

2.1.1 宇宙

宇宙是天地万物,是物质世界。“宇”是空间的概念,是无边无际的;“宙”是时间的概念,是无始无终的。宇宙是无限的空间和无限的时间的统一。在宇宙空间弥漫着形形色色的物质,如恒星、行星、气体、尘埃、电磁波等,它们都在不停地运动、变化着。当代最大的光学望远镜已可观测到 200 亿 l.y. (光年)的遥远目标($1 \text{ l.y.} \approx 9.46 \times 10^{12} \text{ km}$),这就是现今人类所能观测到的宇宙部分。

恒星是宇宙中最重要的天体。恒星是由炽热气体组成的、能够自身发光的球形或类似球形的天体。构成恒星的气体主要是氢,其次是氦,其他元素很少。太阳就是一颗既典型又很普通的恒星。拥有巨大的质量是恒星能发光的基本原因。由于质量大,内部受到高温高压的作用,导致进行由氢聚变为氦的热核反应,释放出巨大的能量,以维持发光。恒星的温度越高,向外辐射能量的电磁波波长越短,因而颜色发蓝;相反,颜色发红。恒星的质量相差不大,多在 0.1~10 倍太阳质量之间;恒星的体积却相差悬殊,大的恒星直径为太阳的 2 000 倍左右,小的恒星直径小于 1 000 km,比月球还小;因此,恒星的平均密度相差也悬殊。

在恒星与恒星之间存在着极其广大的空间,称为星际空间。弥漫于星际空间的极其稀薄的物质称为星际物质。主要的星际物质有两类,即星际气体和星际尘埃。星际气体包括气态的原子、分子、电子和离子,其中,以氢为最多,氦次之,其他元素都很少。星际尘埃就是微小的固态质点,它们分散在星际气体之中,它们的主要成分是水、氨和甲烷的冰状物以及二氧化硅、硅酸铁、三氧化二铁等矿物。星际物质是很稀薄的,一般不过每立方厘米 0.1 个质点;在一些星际空间区域,其密度可以超过每立方厘米 10 个甚至 1 000 个,这些区域称为

星际云。同星际云相比较,星云是星际物质的更加庞大和更加密集的形式。

宇宙中的物质是运动的,运动的主要方式是天体按照一定的系统和规律相互吸引和相互绕转,形成不同层次的天体系统。如月球和地球构成地月系;地球和其他行星围绕太阳公转,它们和太阳构成高一级的天体系统,即太阳系;太阳系又是更高一级天体系统——银河系极微小的一部分,银河系中像太阳这样的恒星就有 1 000 多亿颗;银河系以外,还有许许多多同银河系规模相当的庞大的天体系统,称为河外星系(简称星系)。

在人类现今所能观测到的宇宙范围内,大约存在着 10 亿个以上的这样的星系。通常,把人们现在观测所及的宇宙部分称为总星系,它是现在所知的最高一级天体系统。

在晴朗的夜空,可以看到一条斜贯整个天空的白色条带,俗称“天河”,就是银河系。银河系是一个庞大的恒星集团,估计它包括太阳有 1 300 亿颗以上的恒星,此外还有许多由气体、星际物质组成的星云。银河系从平面上看像个大漩涡,里面有几条旋臂;从侧面看整个银河系像是大“棉絮团”包裹着两片合在一起扁平的“铜钹”,称为“银盘”。银盘圆周边部较薄,越往中心越厚,中央部凸起处称为“银核”,银盘四周围的“棉絮团”叫“银晕”。银河系里的恒星绝大多数都密集在银盘里。银盘的直径大约有 8 万光年,银核的最大厚度达 1.2 万光年,银盘边缘薄的地方也有 1 000 光年。太阳是在银盘里,它的位置是在离银河系中心约 3 万光年的地方。

综上所述,总星系是目前已知的最高一级的天体系统,其直径超过 200 亿光年,在这大得难以想象的总星系里有银河系。银河系直径 8 万光年,在离银河系 3 万光年的地方,是太阳所在的位置。太阳周围有 8 颗行星绕着它旋转组成太阳系,直径约 120 亿 km,在广阔无垠的宇宙中,地球属于太阳系的一颗行星,而太阳又是银河系中无数颗恒星之一,在离太阳 1.5 亿 km 的地方,就是地球在宇宙中所处的位置。可见,地球在宇宙中的地位是“沧海一粟”。

在广阔无垠的宇宙中,地球属于太阳系的一个行星,而太阳又是银河系中无数恒星之一,宇宙则是由许多个像银河系甚至更庞大的恒星集团所组成。因此,要正确地了解地球在宇宙中的位置,必须对太阳系和银河系有所了解。

2.1.2 太阳系

哥白尼(Nicholas Copernicus, 1473—1543)通过记录天体运行的轨道,发现不是太阳围着地球转,而是地球围着太阳转。牛顿(Isaac Newton, 1642—1727)在前人成果的基础上,总结出万有引力定律,将力学推广应用到天体上使哥白尼的太阳中心说在理论上得到了圆满的解释。

太阳系是由太阳和以太阳为中心、受它的引力支配而环绕它运动的天体所构成的系统。

太阳距地球约 149 597 870 km,直径为 1 392 000 km,体积是地球的 130 万倍,质量约 $1.989 1 \times 10^{30}$ kg,平均密度是水的 1.41 倍,表面温度为 6 000 K(5 726 °C),中心部分温度 1.5×10^7 K(1 500 万 °C)。

地球不过是太阳系中的一颗行星,它与月球组成地月系,以每秒约 3 万 m 的速度围绕太阳作公转(周期 1 a),沿一条弯弯曲曲的、近似椭圆形的蛇行轨道前进。

在太阳系中,太阳的质量占太阳系总质量的 99.8%。太阳系吸引着 8 颗行星(水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星)(从左至右依次见图 2-1)和 2 000 多颗小行星绕

日运行,还有 600 多颗彗星也绕日运行,到目前为止,科学家发现的太阳系卫星共有 165 颗。

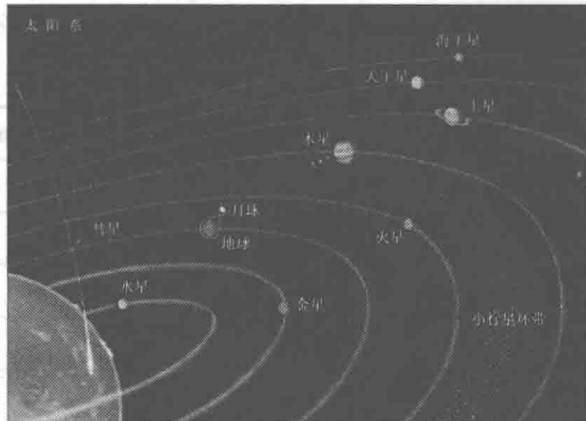


图 2-1 太阳系

行星是环绕恒星运转而本身不发光的天体,太阳系中 8 颗行星的主要数据见表 2-1。

表 2-1 太阳系各行星(附太阳、月球)的主要数据

行星	卫星数	质量 (以地球为 1)	直径 / 10^3 km	体积 (以地球为 1)	密度 (以水为 1)	离太阳的平均距离 / 10^6 km	公转平均速度 /(km/s)	公转时间	自转时间	角动量 (占太阳系的百分比)	有无大气	逃逸速度 /(km/s)
水星	—	0.055	4.85	0.07	5.43	58	48	88 d	88d	0.002 8	无	4.2
金星	—	0.815	12.10	0.87	5.20	108	35	225 d	243 d	0.058	有	10.3
地球	1	1	12.75	1	5.52	149.6	29.8	365 d	23 h 56 min	0.085	有	11.2
火星	2	0.108	6.87	0.16	4.00	228	24.2	687	24 h 37 min	0.011	有	5.1
木星	14	318	139.8	1 300	1.30	778	13.07	12 a	9 h 55 min	61.0	有	61
土星	10	95.2	115	745	0.70	1 426	9.0	29.5 a	10 h 14 min	24.8	有	37
天王星	5	14.5	49	70	1.56	2 872	6.8	84 a	10 h 45 min	5.36	有	22
海王星	2	17.2	45	58	2.29	4 496	5.4	165 a	15 h 48 min	7.97	有	25
太阳	165	33 万	1391	130 万	1.41				25.38 d	0.73		
月球	—	0.123	3.5	0.02	3.34				27.3 d		无	2.38

宇宙中的各个星系是相互联系的,根据万有引力定律,宇宙中星体的变化可对地球的性质产生重要影响,它也是地球外动力地质作用产生的原因之一。在现代文明社会,人们更加关心和注意地球外空间的变化。

2.1.3 天体的运动和年龄

宇宙中,一切大小天体都是按一定规律永无休止地运动。它们相互吸引又相互排斥,在万有引力下旋转运行。卫星绕行星运行,行星、小行星、彗星等绕太阳运行,构成太阳系;太阳系和其他恒星、星云等绕银核运行,构成银河系。这种运动叫公转。每个天体自身又在旋

转,叫自转。天体的自转和公转有一定周期(表 2-2)。这种运动,对地球上发生的地质作用都有直接或间接关系。

表 2-2 主要天体的运行数据

天体		自转速度/(km/s)	自转周期	公转速度/(km/s)	公转周期
月球		0.005	27.3 d	1	1 月
地球		0.465	1 d	29.8	1 a
太阳系		4.7	247.7 d	250	2.5×10^8 a
银河系	银核	200	3.2×10^7 a		
	太阳附近	250	2.5×10^8 a		
	边缘	139	1.8×10^9 a		

现代天文学告诉人们,宇宙中各天体的物理特征的差别,说明它们不是同一个时候产生的,也不是生成后就一成不变、永远如此,它们都是在不断新生、演变和衰亡。

根据月球、地球、陨石中所含放射性元素,测定出它们的年龄为 4.5×10^9 a(不是最大年龄)。根据近代恒星演化理论估计,太阳的年龄约 5.0×10^9 a;银河系的年龄约 1.2×10^{10} a;星系团及总星系的年龄可能更长,这是由于它们的组成更复杂、变化更多样。

2.2 地球的形状和性质

2.2.1 地球的形状

现代人们根据人造卫星运行轨道状况分析测算的结果,对已经采用的数值作了更为精确的修订。根据卫星轨道分析发现地球并不是标准的旋转椭球体,而是梨形的地球体。北极凸出约 10 m(比地球的椭球面高出 18.9 m),南极凹进约 30 m(比地球的椭球面凹进 25.8 m),中纬度在北半球凹进,在南半球凸出。

地球形状可反映地球内部情况,地球呈球形说明地球可能经历过熔融或软化阶段;地球呈椭球形是地球自转的结果,同时说明地球具有弹塑性;地球呈梨形表示地球表面有明显负荷,而内部物质不均匀导致有重力差异,从而使地球内部处于强大应力的紧张状态。

近年来,由于人造卫星等空间技术的不断发展,人们对地球表面形状有了进一步的认识,这主要包括:① 大地水准面不是稳定的旋转椭球体,而是有的地方有隆起有的地方凹陷,部分位置可达 100 m 以上。② 地球赤道横截面不是正圆形,而是近似椭圆形,长轴指向西经 20°和东经 160°方向,长短轴之差为 430 m。③ 赤道面不是地球的对称面,从包含南北极的垂直于赤道平面的纵剖面来看,其形状和标准椭球体相比较,位于南极的南极大陆比基准面凹进 24 m,位于北极的北冰洋高于基准面 14 m,同时从赤道到南纬 60°之间高于基准面,而从赤道到北纬 45°之间低于基准面。如前所述,用夸张了的比例尺来看,地球为近似“梨”的不规则的椭球形,如图 2-2 所示。

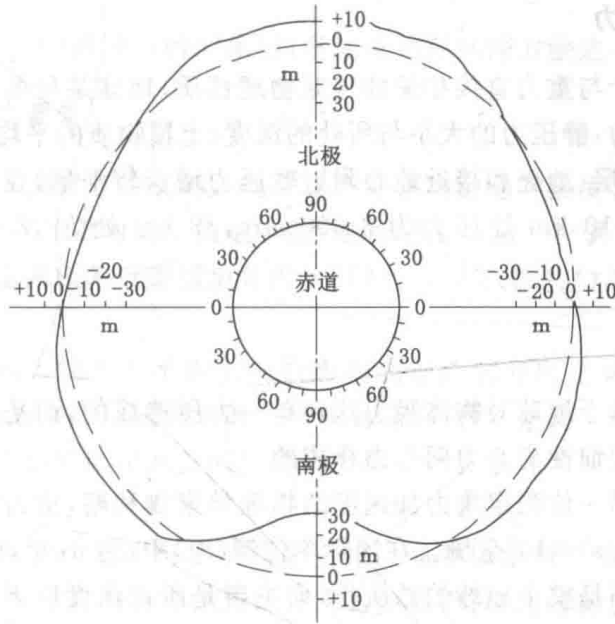


图 2-2 赤道面示意图

这是对地球认识的新阶段。根据现有资料得知,地球的赤道半径为 6 378.140 km,两极半径为 6 356.755 km,平均半径为 6 371.004 km;地球的扁平率为 $1/298.257 = 0.003\,352\,8$;赤道周长为 40 075.040 km,子午线周长为 39 940.670 km。

2.2.2 地球的密度

根据布伦(1975)推导结果:地壳表层的密度为 2.7 g/cm^3 ;地下 33 km 处为 3.32 g/cm^3 ;约在 2 990 km 处密度由 5.56 g/cm^3 突增至 9.98 g/cm^3 ;至大约 6 371 km 处,达 12.51 g/cm^3 。地球的平均密度为 5.52 g/cm^3 ,在太阳系的八大行星中,地球的平均密度和水星(5.43 g/cm^3)相当,其他行星的密度都小于地球的平均密度,如图 2-3 和图 2-4 所示。

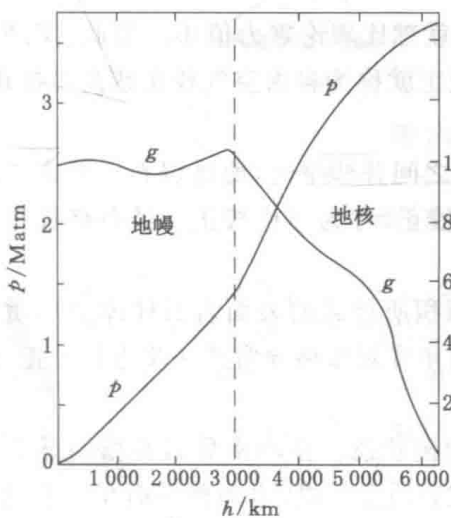


图 2-3 地内重力和压力变化

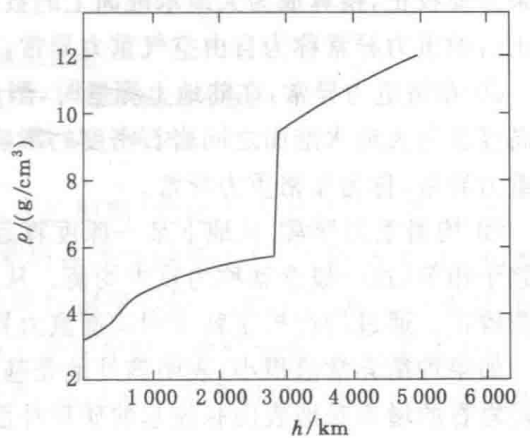


图 2-4 地内密度的变化

2.2.3 地球内部的压力

地球的压力是一个与重力直接相关的地球物理性质,地球某处的压力是由上覆地球物质的重力产生的静压力,静压力的大小与所处的深度、上覆物质的平均密度及重力加速度呈正相关关系,在地球表层、地壳和接近地心附近时压力增长较平稳,在下地幔和外核部分增长得较快。地球内部 10 km 处压力为 3 000 atm,33 km 处为 12 000 atm,地心达 360 万 atm。

2.2.4 地球的重力

地球重力不仅是由于地球对物体吸引这种单一力所造成的,而是由地球对物体的吸引力和地球自转而产生的惯性离心力两个力合成的。

为了纪念世界上第一位测定重力加速度的物理学家伽利略,重力的大小(强度)的单位为伽(Ga)(1 伽=1 cm/s²=10³毫伽。在国际单位制(SI)中,为 m/s²,即“g. u.”)。

影响重力大小的不是整个地球的总质量,而主要是所在深度以下的质量。由于地壳与地幔的密度都比较小,从地表到地下 2 885 km 的核幔界面,重力大体上是随深度增加而略有增加。在核幔界面上,重力值达到极大(约 1 069 伽),再往深处去,各个方向上的引力趋向平衡,重力值逐渐减小,直至变小为零。在地球表面又是另外一种状况:重力要受到地势高低的影响。在珠穆朗玛峰顶,到地心的距离比华北平原要多 8 000 多 m,引力自然要小一点。重力的大小还要受到离心力的影响。在赤道上,离心力最大;向两极去,随纬度的升高而减小,南北极的离心力等于零,同一物体的重力,赤道上比在两极要小 1/290(地球赤道部分凸出,就是因为离心力的作用)。在地面上,离心力变化的最大值,不超过引力的 1/288,重力的方向仍大体是指向地心。现已计算出地表不同纬度上的理论重力值,如赤道重力值一般为 978.03 伽(离心力可达 3.4 伽),两极 983.22 伽,两者相差 5.19 伽。

如果把地球看作一个理想的扁球体,内部密度无横向变化,所计算出来的重力值称为理论值。由于海拔高度、周围地形及地下岩石密度的不同,以致所测出的实际重力值不同于理论值,称为重力异常。重力异常分为三种:

① 自由空气重力异常:测点位置越高,实测重力值就越比理论重力值小。因此,实测的结果需要校正,换算成为大地水准面上的数据。这种校正就称为自由空气校正或高度校正。校正后的重力异常称为自由空气重力异常。

② 布格重力异常:在陆地上测量时,测点与海平面之间并非空气,而是岩石。考虑了测点高度及与大地水准面之间岩石密度的影响而进行的校正,称为布格校正。经布格校正后的重力异常,称为布格重力异常。

③ 均衡重力异常:从地下某一深度算起,相同截面积所承载的表面岩石柱体的总质量应趋于相等,这一概念就称为重力均衡。从重力均衡的角度对布格异常进一步进行校正,即均衡校正。通过均衡校正就得到均衡重力异常。

如果均衡异常值很小,表明该处地壳基本上处于均衡状态。正均衡异常是指山脉下部较轻岩石的增多对地表山脉隆起的质量补偿不足,存在着质量亏损,也即莫霍面在山下拗陷得还不够,还不足以补偿山脉的隆起,这也就意味着山脉正在隆升,并将进一步隆升。负均衡异常是指莫霍面拗陷过深,浅部岩石过多地补偿了地形的隆起,这意味着该区正在下沉,

并将继续下沉。

重力异常是人们找矿和地质调查的依据,是地球物理勘探方法之一。

2.2.5 地磁场及其基本要素

地磁场,是指地球周围存在的磁场。地磁场三要素为磁感应强度、磁偏角和磁倾角。

磁感应强度为某地点的磁力大小的绝对值(磁场强度),是一个具有方向(磁力线方向)和大小的矢量,一般在磁两极附近磁感应强度大[约为 $60 \mu\text{T}$ (微特拉斯)];在磁赤道附近最小(约为 $30 \mu\text{T}$)。

磁偏角(图 2-5)是磁力线在水平面上的投影与地理正北方向之间形成的夹角,即磁子午线与地理子午线之间的夹角。磁偏角的大小各处都不相同:在北半球,如果磁力线方向偏向正北方向以东称为东偏,偏向正北方向以西称为西偏。长期观测证实,地磁极围绕地理极附近进行着缓慢的迁移。

磁倾角(图 2-5)是指磁针北端与水平面的交角。通常以磁针北端向下为正值,向上为负值。地球表面磁倾角为零度的各点的连线称为地磁赤道;由地磁赤道到地磁北极,磁倾角由 0° 逐渐变为 $+90^\circ$;由地磁赤道到地磁南极,磁倾角由 0° 变成 -90° 。

地磁场由基本磁场、变化磁场和磁异常三个部分组成。在地球中心假定的磁柱被称为磁偶极子,由它产生的偶极子磁场占地磁场成分的 95% 以上,是构成稳定地磁场的主体,即地球的基本磁场。基本地磁场的强度在地表附近较强,向上在空气中逐渐减弱。说明它主要为地内因素所控制。

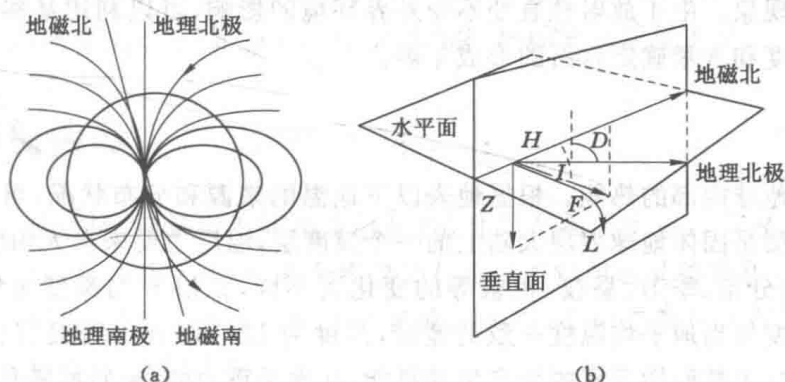


图 2-5 地磁场要素示意图

L ——地磁力线; F ——总地磁场强度; H ——地磁场水平分量;
 Z ——地磁场垂直分量; D ——磁偏角; I ——磁倾角

变化磁场表现为日变化、年变化、多年(短周期或长周期)变化以及突发性变化,主要由于来自地球外部的带电粒子的作用(非偶极磁场,叠加在基本磁场上)。太阳是这些带电粒子流的主要来源,而当它的表面出现黑子、耀斑(活动特别强烈的区域)并正对着地球时,便会把大量带电的粒子抛向地球,使叠加在基本磁场上的变化磁场突然增强,使地磁场发生大混乱,出现磁暴。地球两极常在随后出现奇异的极光,这也是太阳抛射来的带电粒子流为地磁极吸引。

仪器探测证实了地磁场形成一个在高层大气之外,形状类似彗星的磁性包层,这就是地

球磁层。磁层的形成,使地球磁场拦截了太阳辐射来的带电粒子,还有来自宇宙的射线,使它们未能冲到地面,而是留在高空,环绕地球流动,这对于生物的生存与繁衍具有重要的作用。

地壳浅部具有磁性的岩石或矿石所引起的局部磁场,叠加在基本磁场之上,会引起磁异常。一个地点的磁异常可以首先通过对实测磁场强度进行变化磁场的校正,然后再减去基本磁场的正常值来求得。如所得值为正值称正异常,为负值称负异常。地壳内含铁较多的岩石和富含铁族元素(Fe、Ti、Cr等)的矿体常可引起正磁异常。而膏盐矿床,石油、天然气储层,富水地层或富水的岩石破碎带则常引起负磁异常。

在测定岩石的剩余磁场时,发现相当一批岩石的磁化方向与现在的地磁场方向相反,于是认为地磁场发生了 180° 的改变,这种现象被称为地磁极翻转或地磁场翻转。事实证明,这种变化一再地发生。

2.2.6 地球的电性

地球具有微弱的电流,称为大地电流。有自然电流分布的地段为自然电场。它的强度和方向与地下深处的地质构造有关,当有金属矿体等良导体时其附近电流强度增大,方向也会发生畸变,物探中的自然电场法就是以此为依据的。

2.2.7 地球的放射性

放射性是部分元素的不稳定原子核衰变为稳定原子核的过程中通过能量释放而显示出来的一种物理现象。由于放射性衰变不受外界环境的影响,可以利用某些放射性元素在某地层中衰变速度和含量确定岩石的形成年龄。

2.2.8 地热

地热是指地球内部的热能。根据地表以下地温的来源和分布状况,可以把地下温度分为三层。变温层是固体地球表层大陆上的一个温度层,温度主要来自太阳的辐射热能,它随纬度高低、海陆分布、季节、昼夜、植被等的变化而不同,该层平均深度为地下15 m左右。常温层是指温度与当地平均温度一致的地带,深度为15~40 m。增温层位于常温层以下,其热能主要来自于放射性元素蜕变产生的热能,其次是重力能、旋转能转化产生的热能。通常把每向下加深100 m所升高的温度称为地热增温率(地热梯度),一般为 $2\sim 4^\circ\text{C}/100\text{ m}$ 。

地球内部的热能除由温泉、火山、岩浆侵入活动等直接带至地表外,还可以通过传导、辐射和对流等方式不断传至地表。将单位时间内通过单位面积的热量称为地热流。地热流较高的地区称为地热异常区,俗称温泉。这些地区内常可以用地下热气、热水发电(地热发电)。此外,地下热水在工农业、医疗、生活用水等方面也得到广泛应用。

2.2.9 地球的弹性

根据地震及人工地震的研究,得知地球能够传播地震波,说明地球具有弹性。根据地震波的传播方式可分为体波和面波。

地震波在地下任一点的传播速度与该点介质的性质(密度、弹性、物态等)有关。根据地震波在地下传播的特点,可利用人工地震来了解地下的地质情况。物探中的地震法就是利