

目 录

第四版前言

第一版前言

第二版前言

第三版前言

绪论..... 1

第一篇 地质学基础

第一章 地球的基本知识..... 7

第一节 地球的一般特征 8

第二节 地球的构造 9

第三节 地壳及地质作用..... 11

第四节 地质历史及地层时代 12

复习思考题 16

第二章 岩石 17

第一节 造岩矿物 17

第二节 火成岩 21

第三节 沉积岩 24

第四节 变质岩 29

第五节 岩石的工程地质及水文地质评述..... 32

复习思考题 34

第三章 地质构造 35

第一节 地壳运动 35

第二节 水平构造和倾斜构造 37

第三节 褶皱构造 38

第四节 断裂构造 41

第五节 活断层 46

复习思考题	48
第四章 自然地质作用	50
第一节 风化作用	50
第二节 河流地质作用	54
第三节 岩溶(喀斯特)	58
第四节 泥石流	62
第五节 地震	65
复习思考题	70

第二篇 水文地质学

第五章 地下水概论	71
第一节 自然界中的水	71
第二节 地下水分类	78
第三节 地下水的循环	84
第四节 地下水的物理性质和化学性质	86
复习思考题	91
第六章 地下水运动与动态	92
第一节 重力水运动	92
第二节 地下水动态	99
第三节 地下水均衡	103
复习思考题	104
第七章 不同含水介质中的地下水	105
第一节 孔隙水	105
第二节 裂隙水	110
第三节 岩溶水	115
第四节 泉	116
复习思考题	117
第八章 地下水资源评价	119
第一节 概述	119
第二节 地下水资源量计算	121
第三节 地下水水质评价	126
复习思考题	135

第三篇 工程地质学

第九章 岩体结构的工程地质研究	137
第一节 岩体的结构特征	137

第二节 岩体的主要力学特性	141
第三节 地应力的工程地质研究	145
第四节 岩体的工程地质分类	148
复习思考题	152
第十章 坝的工程地质研究	153
第一节 水工建筑物的工程地质条件和工程地质问题	153
第二节 坝区的渗漏	156
第三节 坝基的渗透变形	162
第四节 坝基的抗滑稳定	164
第五节 坝基的沉降与承载力	170
第六节 坝基处理	174
复习思考题	177
第十一章 边坡的工程地质研究	178
第一节 我国边坡工程的研究现状	178
第二节 边坡变形与破坏的类型	181
第三节 影响边坡稳定性的因素	190
第四节 边坡稳定性的评价方法	194
第五节 防治边坡变形与破坏的措施	201
复习思考题	204
第十二章 渠道的工程地质研究	205
第一节 渠道选线的工程地质条件	205
第二节 渠道的渗漏问题	207
第三节 渠道边坡的稳定问题	209
第四节 渠道的冻胀问题及处理措施	212
复习思考题	214
第十三章 地下洞室的工程地质研究	215
第一节 地下洞室围岩应力的重分布及变形破坏特征	215
第二节 地下洞室位置选择的工程地质评价	219
第三节 地下洞室围岩稳定性的工程地质分析	222
第四节 隧洞施工的工程地质问题及提高围岩稳定性的措施	231
复习思考题	235
第十四章 水库的工程地质研究	237
第一节 水库渗漏	237
第二节 库岸稳定	242
第三节 水库浸没	246
第四节 水库淤积	248

第五节 水库诱发地震	250
复习思考题	253
第十五章 环境地质问题	254
第一节 地面沉降	254
第二节 地面塌陷	257
第三节 地裂缝	259
第四节 地下水污染	261
第五节 海水入侵	262
第六节 固体废弃物	264
第七节 污染土地基	266
第八节 环境地质图	266
复习思考题	267
第十六章 工程地质及水文地质勘察	268
第一节 地质勘察工作的目的及任务	268
第二节 勘察的基本手段和方法	271
第三节 天然建筑材料的勘察	280
复习思考题	283
附录 水利工程地质及水文地质常见名词（汉—英对照）	284
参考文献	293

绪 论

一、工程地质及水文地质在水利水电工程建设中的作用和任务

工程地质及水文地质是从地质学发展起来的 two 门新兴学科, 工程地质学主要是研究与工程建设有关的地质问题的学科; 水文地质学主要是研究地下水的学科。这两门学科都是以地质学为基础, 而且相互关联, 相互渗透, 并各具特色。下面分别简要介绍它们在水利水电工程建设方面的作用和任务。

水利水电工程是国民经济建设中的重要组成部分, 它有着广泛而综合的经济、社会和环境效益。例如城市和工农业供水、灌溉排水、防洪、发电、航运、林业、渔业、畜牧业、旅游业及改善生态环境等。

工程地质在修建水工建筑物当中的作用和任务有如下几方面。

(1) 勘察建筑地区的工程地质条件, 为选点、规划、设计及施工提供工程地质资料, 作为工程建设和运行管理的依据。

(2) 根据工程地质条件论证、评价并选定最优的建筑地点或线路方案。

(3) 预测在工程修建时及建成后的工程管理运行中, 可能发生的工程地质问题, 提出防治不良的工程地质条件的措施。

生产实践证明, 工程地质在工程建设中的作用, 已不仅仅是完成为建筑物的修建提供必要的地质资料, 而且贯穿在整个工程建设的规划、设计、施工及管理运行的全部过程之中。工程地质工作质量的好坏, 直接或间接地关系着工程建筑的安全可靠性, 技术可能性及经济合理性。历史经验表明: 工程建筑, 特别是水工建筑, 不怕工程地质条件复杂, 也不怕工程地质问题繁多, 怕的是对工程地质的勘察研究不重视和不充分, 给工程建筑带来严重后果。国际大坝委员会曾在 1973 年对世界 110 个国家和地区 (未包括我国在内) 已建的大坝 (坝高在 15m 以上者), 约 12900 余座进行了调查。从统计资料看, 发生过失事事故的有 589 座, 其中大多数与不良的地质条件密切相关。例如 1959 年 12 月 2 日法国的马尔帕塞 (Malpasset) 拱坝的崩溃, 曾轰动了国际水利界。该坝高 66.5m, 是当时世界上最高的薄拱坝之一, 由于左岸坝肩岩体软弱, 蓄水后发生向下位移达 210cm, 致使整个坝体全部崩溃, 水库拦蓄的 3000 万 m^3 水, 顿时下泄形成洪水, 以 8.33m/s 的速度倾泻, 造成下游 400 余人死亡, 损失达 6800 万美元。又如印度的纳纳克萨加 (Nanaksagar) 坝, 为一高 15.9m 的土坝, 1967 年 9 月 7 日, 由于坝基发生管涌, 使坝体决口冲毁, 造成 32 个村庄的人民流离失所, 损失惨重。这些实例说明, 不仅高坝大库会造成严重事故, 即使是中小型水利工程, 也会由于地质问题处理不当, 而带来生命财产的巨大损失。因此, 工程地质工作, 对于水库、大坝的安全可靠性起着重要作用。

在我国水利水电工程建设中, 党和政府对地质工作非常重视, 因此, 直接因地质问题



而产生的垮坝事故极为罕见。然而由于对工程地质条件研究不够,或对工程地质问题处理不当,而造成的水库或坝基漏水,水库淤积及边岸滑塌、隧洞塌方等工程事故还是屡见不鲜。例如北京的十三陵水库,坝基和库区存在着深厚的渗透性较强的古河道冲积层,建坝初期未作垂直防渗处理,致使水库多年不能正常蓄水,20世纪60年代作了坝基防渗墙处理,坝基不漏了,但水库区古河道仍在渗漏,渗漏问题仍未解决,直到1991年为了兴建抽水蓄能电站,在库区又作了一道防渗墙,才彻底解决了渗漏问题。又如黄河三门峡水库的库区,处于黄土分布区,黄土浸水后极易崩解、湿陷,造成严重的水库塌岸和淤积问题。20世纪50年代初期我国缺少经验,该工程系委托国外设计,1957年动工,1960年9月建成蓄水。由于设计对黄土地区可能产生的工程地质问题估计错误,水库蓄水后黄土边岸形成大面积的塌岸,再加上黄河水含沙量本来就高,因此水库蓄水后不到两年,至1962年3月,就淤积了泥沙14.9亿t。库区尾部潼关一带河床淤积高到5m以上,形成库尾三角洲。此外,淤积还沿河向上游延伸,导致支流渭河河床也因淤积抬高,河水外溢,两岸大片土地被淹没和浸没。地下水位上升,使不少房屋倒塌,土地盐碱化和遭沼泽化达2万hm²,威胁关中平原,直至西安市。因此,不得不对三门峡水库进行改建,增加了两个泄水洞,在混凝土重力坝坝身打开了8个导流用的底孔闸门,排泄泥沙,水库也改低水头运行,发电装机容量120万kW改为25万kW,经济损失巨大。还有一些水利水电工程,由于实行边勘测、边设计、边施工的“三边政策”,急于求成,对建筑地区的工程地质条件尚未查清,就急于开工(上马),后来在设计及施工中,发现了严重的工程地质问题,又被迫停工(下马),甚至还有多次上马又下马,下马又上马,最后还是下马的工程。由此而造成的经济损失也是相当可观的,这些经验教训应该认真总结和引以为戒。

水文地质工作的主要任务是调查研究以下几方面。

- (1) 地下水的形成、埋藏、分布、运动以及循环转化的规律。
- (2) 地下水的物理、化学性质、成分,以及水质的变化规律。
- (3) 解决合理的开发、利用、管理地下水资源,以及有效地消除地下水的危害等实际问题。

水文地质工作,不仅要配合上述工程地质工作,提供有关水文地质条件方面的资料,而且在农田灌溉、抗旱、防涝、治碱,以及环境保护工作等方面,起着先决和主导作用。

据有关部门估算,我国的水资源总量为28100亿m³,其中地下水资源为7800亿m³(约占1/4强)。但水资源分布是极不均匀的,例如干旱少雨的北方地区,土地资源十分丰富,而水资源十分贫乏。水土资源的组合也极不均衡,尤以海河、辽河、淮河流域最为突出。这三个流域的耕地面积占全国耕地总数的33.2%,而水资源却只占全国水资源总数的7.4%,每亩耕地平均占有水资源量,只有全国平均数的14%~33%,因而缺水十分严重,所以有的地区仍然是“十年九旱,靠天吃饭”。又如我国南方地区,虽然降水量和地表径流比较丰沛,但分布也极不均匀,特别是云南、广西、贵州等省(自治区),石灰岩广泛分布,岩溶(喀斯特)十分发育。“一场大雨千算涝,天晴三日万里焦”;“修塘不蓄水,筑坝不拦洪”,大量的地表水漏至地下,因而地表水缺水现象也很严重。农田灌溉是“旬日不雨,既成旱象”,“米如珍珠水如油”。这些民间谚语都说明,在我国无论是北方地区,还是南方地区,水利工程建设不仅需要开发地表水,而且需要开采、利用地下水资



源。这就需要进行大量的水文地质工作。

上述是地下水资源在量上的空间分布状态,就储存空间而言,地下水与地表水存在着较大差异。地下水埋藏在地面以下的多空介质中,因此按照含水多空介质的类型,可分为松散岩类孔隙水、基岩裂隙水和碳酸岩类岩溶水三大类。其中裂隙水最多,约占全部地下水的 48%,孔隙水和岩溶水分别占 27%和 25%。由于沉积环境和地质条件的差异,各地不同类型的地下水所占比例变化较大,例如孔隙水资源量主要分布在北方,占全国孔隙水天然资源量的 65%;而南方岩溶水天然资源量约占全国岩溶水天然资源量的 80%。

1949 年后,我国对淮河、黄河、海河、黑龙江、辽河、珠江及长江等江河,进行了综合治理和流域性的开发,兴建了一大批大、中、小型水利工程。据不完全统计(中华人民共和国成立 50 年),全国兴建和修整河堤 25 万 km;兴建水库库容在 1 亿 m^3 以上的水库 9 万座;万亩灌区 5343 处,灌溉面积 4800 万 hm^2 ,初步控制了洪水灾害,并发展了灌溉、水电、航运、水产、旅游等事业。此外,在开采地下水方面,为寻找地下水资源,开展了全国性的水文地质普查工作,并用汇泉、打井、截潜流等多种形式开采地下水资源,例如农用机井已达 270 万眼,井灌面积达 130 万 hm^2 。这些成绩在我国历史上是空前的,对我国经济建设和社会发展起到了巨大作用。然而,必须看到,已有的成绩还远远满足不了全面建设小康社会需要和国家经济社会发展的远景规划。为了根本改善我国水资源的供需矛盾,任重而道远。水利工程技术人员和工程、水文地质的勘察人员,仍在长江、黄河的中上游,在大渡河、澜沧江、乌江、红水河、珠江、海南的万泉河,以及长江的主要支流(湘、资、沅、澧水)等水资源比较丰富的地区,为进一步发展我国的水利水电建设,继续做着贡献。此外,我国正在加快步伐,大力开发西南水电资源而实现“西电东送”战略,逐步实施“南水北调”工程实现“四横三纵”的水资源配置格局等宏伟规划。为实现这些宏伟的规划和工程,需要以工程及水文地质勘查、研究为先导和开路先锋,工程地质及水文地质将面临着许多更加繁重和更加困难的课程和任务。同时也为我国水利水电事业以及工程、水文地质科学的进一步发展,展现了无限广阔的前景。

二、本课程的主要内容及教学要求

本课程是水利水电工程类有关专业的一门技术基础课,本课程的基本教学要求是通过三个教学环节:讲课、实习实验课及作业和地质教学实习,掌握工程地质及水文地质的基本知识;学会分析水工建筑物的工程地质条件和问题的基本方法;能阅读和分析水工建筑物中常用的地质图件和资料,为今后学习农水及水工等专业课打下基础。

本教材主要是为讲课及课外复习服务,实习、实验、作业及地质教学实习内容,详见《工程地质及水文地质实习、作业指导书》。本教材各章主要内容如下。

第一章 地球的基本知识,主要介绍地球的一般特征,地球的分层构造及主要物质组成,内外力地质作用,地质历史及中国地质年代的划分表,为学习本课程打下地质学基础。

第二章 岩石,是地壳的基本物质,通过造岩矿物的引入和肉眼鉴定,认识判别火成岩、沉积岩及变质岩等三大类岩石,一般了解各类岩石的主要工程地质及水文地质性质。

第三章 地质构造,主要介绍地壳运动的类型,各种典型的地质构造(水平、倾斜、褶皱、不整合等)的形状、产状、类型,以及它们的识别方法和在地图上的表示方法。



第四章 自然地质作用, 主要介绍与水利水电密切相关的几种自然地质作用, 例如风化、河流地质、岩溶(喀斯特)、滑坡及崩塌、泥石流及地震等, 说明它们的成因、类型、发育规律、影响因素、对工程建设的关系, 以及防治措施等。

第五章 地下水概论, 主要阐述地下水的形成和类型, 岩石的水理性质, 含水层及隔水层, 地下水的循环, 地下水的物理性质及化学成分。

第六章 地下水运动与动态, 介绍线性及非线性的渗透定律, 地下水完整井稳定流运动方程及其应用, 地下水动态的概念, 地下水均衡概念及潜水均衡方程和应用。

第七章 不同含水介质中的地下水, 结合我国区域地质特点, 介绍不同地貌单元中地下水埋藏条件及分布规律, 包括: 山区、河谷区, 山前平原区、滨河地区, 以及黄土、喀斯特等地区中地下水储存情况和主要特征。

第八章 地下水资源评价, 主要介绍地下水资源的基本组成(补给量、消耗量、储存量)的概念, 以及它们的估算方法, 应用潜水均衡理论进行地下水资源评价。此外, 还简要介绍了地下水水质评价的原则和规程(灌溉、饮用水, 及对混凝土的侵蚀性方面)。

第九章 岩体结构的工程地质研究, 主要介绍岩体的结构特征, 包括岩体中结构面和结构体的形状、规模、性质及其组合关系, 软弱结构面的类型及特征, 岩体的主要力学特性, 地应力的工程地质研究, 以及岩体的工程地质分类。

第十章 坝的工程地质研究, 首先介绍水工建筑物的工程地质条件和工程地质问题, 主要包括: 地形地貌、岩土类型及工程地质性质、地质结构、水文地质条件、自然(物理)地质现象、地质物理环境、天然建筑材料等七个基本条件。主要介绍坝的设计和施工中经常出现的各种地质问题, 包括: 坝基(肩)的渗透及渗透变形问题, 抗滑稳定问题, 坝基沉降问题及坝下游的冲刷问题等。

第十一章 边坡的工程地质研究, 首先介绍我国边坡工程的研究现状, 主要介绍边坡变形与破坏的类型, 影响边坡稳定的各种因素(包括岩土性质, 岩体结构、岩石风化, 地形地貌、地震, 地应力、地下水活动, 以及人为活动等多种因素), 介绍边坡稳定分析方法及防治不稳定边坡的基本措施。

第十二章 渠道的工程地质研究, 渠道包括渠系建筑物在水利水电工程中的应用和作用, 隧道选线应注意的工程地质问题, 渠道设计、施工及运行应用中经常出现的地质问题(渗透及边坡失稳问题)以及处理的基本方法。

第十三章 地下洞室的工程地质研究, 主要介绍地下洞室围岩应力的重分布及变形破坏特征, 地下洞室选择应注意的工程地质条件, 地下洞室设计中经常遇到的工程地质问题(围岩地应力、岩体抗力), 地下洞室施工中应注意的工程地质问题(围岩变形, 破坏, 岩爆, 涌水, 毒气, 高温等), 以及 TBM 法和盾构法施工经验介绍。

第十四章 水库工程地质研究, 主要阐述: 水库的渗漏、浸没、边岸再造、淤积问题, 水库诱发地震及地下水水库等问题。

第十五章 环境地质问题, 主要阐述当今环境问题的重要性和水利水电工程建设中应注意的环境地质问题, 主要介绍地面沉降、地面塌陷、地裂缝、地下水污染、海水入侵、固体废物、污染土地基等问题, 以及环境地质图的研究现状。

第十六章 工程地质及水文地质勘察, 主要介绍: 地质勘察工作的目的及任务, 勘察



的基本手段和方法的划分和勘察程序,工程地质测绘、勘探、试验及长期观测工作的基本内容,以及天然建筑材料的勘察。

以上教学内容可概括为三个组成部分:

- (1) 地质学基础部分(第一、二、三、四章)。
- (2) 水文地质部分(第五、六、七、八章)。
- (3) 工程地质部分(第九、十、十一、十二、十三、十四、十五、十六章)。

这三个部分是相互关联和逐步联系专业实际的,在教学过程中应理论联系实际,结合实际工程,由浅入深,循序渐进。本课程是一门实践性比较强的技术基础课,除课堂教学外,还要进行地质实习实验,此外,在暑期还要进行野外地质实习,以扩大地质实际知识,增强工程地质及水文地质勘察概念。

第一篇 地质学基础

第一章 地球的基本知识

宇宙是无限的，在空间上无边无际，在时间上无始无终。天文学家通过最现代的观测手段在大约 36×10^9 光年的范围内，已观察到 10 亿个以上的星系（但这远不是宇宙的全部），而银河系仅仅是其中的一个。银河系是一个旋转着的扁平体，正面是旋涡形，侧面呈扇饼形。绝大多数星体都密集分布在它的中心平面附近。银河系直径约 10 万光年，包含 1000 亿颗以上的恒星，太阳只是其中之一。

恒星太阳是一个炽热的发光球，它的内部不断地进行着巨大的热核反应。太阳直径约 140 万 km，质量约 1.989×10^{27} t。质量很大的太阳，以其巨大的引力维持着太阳系绕其运动，如图 1-1 所示。

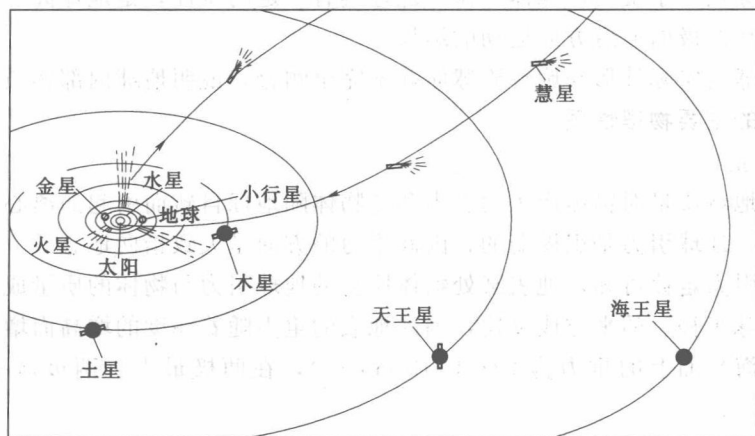


图 1-1 地球在宇宙中的位置

太阳系是由太阳、行星及其卫星、小行星、彗星、流星等构成的天体系统。太阳系有 8 大行星，按与太阳的距离，由近及远为水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星和海王星。冥王星，在 2006 年前，被国际天文学界定义为太阳系中的第九大行星，但在 2006 年第 26 届国际天文学联合会 (IAU) 作出决定，冥王星失去“行星”地位，被划为“矮行星”。

如图 1-1 所示，地球是太阳系中的一颗行星。地球自形成以来，经历了漫长而复杂



的演变过程，具有一定的外部形态和内部结构，也具有一定的物理和化学性质。并且，在地球的表面及其外部形成由大气、水和生物组成的外部圈层，它们塑造地表，并形成各种复杂的地质作用。

第一节 地球的一般特征

一、地球的形状和大小

自古以来，地球的形状是人们关注的问题之一。随着科学技术的发展，人们对地球形状的认识也愈来愈准确。

地球可近似看作为一个旋转椭球体。固体地球表面崎岖不平，其大部分为海水所覆盖。为便于测算，以平均海平面通过大陆延伸所形成的封闭曲面（大地水准面）作为参考面，地球的形态和大小就是指大地水准面的形状和大小。国际大地测量和地球物理协会于1975年公布了修订的地球参数，见表1-1。

表 1-1 地球形状的基本参数

赤道半径 (km)	两极半径 (km)	平均半径 (km)	扁平率	赤道周长 (km)	子午线周长 (km)	表面积 (km ²)	体积 (km ³)
6378.140	6356.755	6371.004	1/298.257	40075.36	39940.670	510070100	1.083×10^{12}

地球的外形是其内部特征的反映。

第一，地球接近于旋转椭球体，说明地球具有一定的塑性，是地球离心力的作用使地球的物质发生从两极向赤道方向运动的结果。

第二，地球的实际外形与旋转椭球体并不完全吻合，说明地球内部物质是不均匀的。

二、地球的主要物理性质

1. 地球的重力

重力是指地球质量对物体产生的引力和该物体随地球自转而引起的离心力的合力。由于离心力相对于地球引力是很微弱的，因此重力的方向是大致指向地心。

根据万有引力定律可知，地表某处物体所受的地球引力与物体的质量成正比，与距地心的距离（地球半径）的平方成反比，因此地表的重力随着纬度的增高而增大，在赤道附近最小（赤道海平面上的重力为 978.0318 cm/s^2 ），在两极最大（两极海平面上重力为 983.2177 cm/s^2 ）。

由于地球不是一个均质体，在地下由密度较大的物质（例如铁、铜、铅、锌等金属矿床和基性岩）组成的地区，重力高于理论计算值，显示正异常；反之，在由密度较小的物质（如石油、煤、盐等非金属矿）组成的地区，重力低于理论计算值，显示负异常。地球物理勘探中的重力勘探就是基于这个原理。

2. 地球的密度

根据万有引力定律计算出的地球质量为 $5.976 \times 10^{21} \text{ t}$ ，将其除以地球的体积可得地球的平均密度为 5.516 g/cm^3 。地表岩石的平均密度为 $2.7 \sim 2.8 \text{ g/cm}^3$ ，由此可推测，地球内部的物质应具有更大的密度。地球内部的密度变化目前无法直接测量，常根据地震波的



传播速度来推断。根据澳大利亚学者布伦 (K. E. Bullen) 的研究结果: 地壳表层的密度为 2.70g/cm^3 , 地下 31km 处为 3.32g/cm^3 , 大约 2990km 处密度由 5.56g/cm^3 突增至 9.98g/cm^3 , 至 6371km 处达 12.51g/cm^3 。

3. 地磁

地球像一块球形的磁铁, 在它的周围空间都存在着磁场, 叫做地磁场。地磁南北极的位置与地理南北极的位置是不一致的, 两者相去甚远, 而且地磁极位置还在不停地变化着。目前地磁南北极与地理南北极大约有 11.5° 的交角。

地磁子午线与地理子午线的夹角称为磁偏角, 指北针偏在地理子午线东边者称为东偏角, 用正号“+”表示; 指北针偏在地理子午线西边者称为西偏角, 用负号“-”表示。

把地磁场看成是一个均匀的磁化球体产生的磁场, 称为正常磁场; 如果实际观测的地磁场与正常磁场不一致, 则称为磁异常。实际磁场大于正常磁场者称为正磁异常, 实际磁场小于正常磁场者称为负磁异常。地球物理勘探中的磁法勘探就是利用磁异常来探测地质构造和地下矿产资源的方法。

4. 地温

地球是一个巨大的载热体, 由地表至地球深处, 温度愈来愈高, 地球在不断地通过温泉、火山、构造运动及地震等形式释放热能。

地壳浅层是目前能直接测量地温的深度范围, 其温度分布从地表向下大致可分为以下三层。

(1) 变温层: 是地球最外表的一个温度层, 该层的热量主要来自于太阳辐射热能, 因此其温度是向下逐渐降低的。由于太阳辐射热存在日变化、年变化, 故此层温度也随之变化。一般情况下, 日变化的影响深度在 $1\sim 2\text{m}$, 年变化的影响深度为 $15\sim 30\text{m}$ 左右。

(2) 恒温层: 是指地球内部的热能与太阳辐射热能的影响达到相对平衡的地带, 该层一般很薄。

(3) 增温层: 是指恒温层以下的温度层, 该层不受太阳辐射的影响, 其地温状况和温度场主要受控于地球内部。地温梯度约为 $2\sim 3^\circ\text{C}/100\text{m}$ 。地壳深层的温度无法直接测量, 只有通过间接的方法进行推断和分析。估计地下 30km 的深度, 地温大约为 $400\sim 1000^\circ\text{C}$ 。

第二节 地球的构造

以地表面为界, 地球可分为外圈层和内圈层, 两者各有不同的圈层构造, 如图 1-2 所示。

一、地球的外圈层构造

地球表面以上, 根据物质的性质和状态可分为大气圈、水圈和生物圈。它们包围着地球, 各自形成连续完整的圈层。大气圈是指包围地球的气体, 厚度在几万 km 以上, 但占大气总质量 $3/4$ 的大气是集中在地表以上 10km 的高度范围以内。水圈是指地球表层的水体, 大部分汇聚在海洋里, 部分分布于河流、湖泊、沼泽、冰川以及地球表层的岩石和土层的空隙中。生物圈是地球上生物 (动物、植物和微生物) 生存和活动的范围。在大气圈 10km 的高空, 地面以下 3km 的深处和深、浅海底都发现有生物存在。但大量生物是集中



在地表和水圈上层。生物圈是人类赖以生存和生活的环境，而生物圈与水圈、大气圈、岩石圈（地壳的表层岩土）又是相互关联的，它们与人类的活动、特别是工程建设活动密切相关。

二、地球的内圈层构造

通过地震波在地球内部传播速度变化的研究，发现在地表以下 30~80km 深处和 2800km 深处，存在着两个明显的分界面，前者为莫霍面（Mohorovicie, A），后者为古登堡面（Gutenberg, B），两个界面把地球分成物质成分和性质不同的三个圈层，即地壳、地幔和地核，如图 1-2 所示。地核位于深约 2800km 的古登堡面

以下直到地心，主要由比较常见的铁、硅、镍熔解体组成。地核和地壳之间的称为地幔，主要由硅、铁、镍、二氧化硅等物质组成，密度也较地壳岩石大。

地壳是地球最外面的一层硬壳，它的平均厚度约为 16km，仅占地球半径的 1/400，而且各地差异也很大，陆地上较厚，平均为 35km，最厚的地方例如帕米尔——喜马拉雅山脉地区可达 75km；而海洋地区较薄，平均只有 6km，最薄的地方例如南美洲海岸外的大西洋中的某些地方，厚度仅 1.6km。我国不同地区的地壳厚度的差异也很大，例如北京为 46km、广州为 31km、拉萨为 71km、兰州为 53km、南京为 32km。

三、地球的表面形态

地球的表面是高低不平的，而且差距较大，大致可划分为大陆和海洋两部分。大陆的平均海拔高度为 800 多 m。按高程和起伏状况，大陆表面可分为山地、丘陵、平原、高原和盆地等地貌形态，按其绝对高度和地形起伏的相对高度大小来划分和命名，见表 1-2。

表 1-2

按地势划分的地貌类型

单位：m

名 称	高 山	中 山	低 山	丘 陵	高 原	平 原
绝对高度	>3500	1000~3500	500~1000	<500	>600	较低
相对高度	>200~1000	200~1000	200~1000	<200	表面平坦，起伏较小的平坦地形或高地	

海洋的面积约占地壳的 71%，其平均深度约为 3700 多 m。海洋地形的半数为表面平坦无明显起伏的大洋盆地。海底的山脉称为海岭，而海底长条形的洼地，则称为海沟，一般深度大于 6km，可谓地球表面最低洼地区。

除上述地表形态外，地球表面还可因不同的成因，而形成多种形态，如冲沟、河谷、溶洞、沙丘等。地表外貌各种形态的总称，称为地形或地貌，建筑地区的地形地貌特征，是影响建筑工程稳定与安全的重要条件之一。

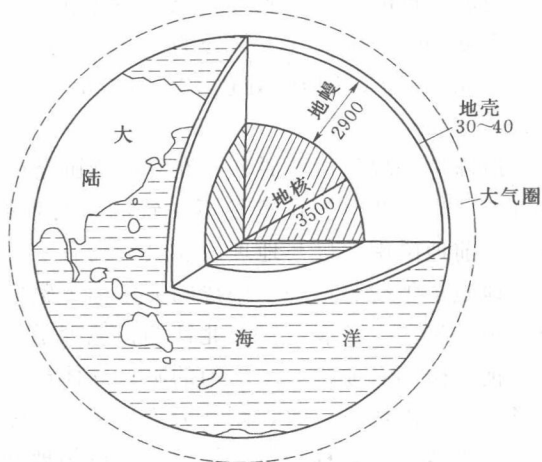


图 1-2 地球的构造示意图（单位：km）



第三节 地壳及地质作用

一、地壳的物质组成

地壳是由各种化学元素组成的，但各种元素在地壳中的含量差异很大。国际上把各种元素在地壳中的平均含量，称为克拉克值 (F. W. Clark, 美国分析化学家)，见表 1-3。

由表 1-3 可以看出，地壳中的化学元素，主要是氧、硅、铝、铁、钙、钠、钾、镁、钛、氢等 10 种，尤以氢和硅为最多。化学元素除了少数呈自然元素（如金刚石、金）外，其他元素大都以各种化合物的形式出现，尤以氧化物为最多，表 1-4 是地壳 16km 深度内，按氧化物计算的平均化学成分重量百分比，其中硅、铝的氧化物占总含量的 74.48%，是地壳中的主要成分。

表 1-3 地壳主要元素的平均含量* (%)

氧 (O)	46.95	钠 (Na)	2.78
硅 (Si)	27.88	钾 (K)	2.58
铝 (Al)	8.13	镁 (Mg)	2.06
铁 (Fe)	5.17	钛 (Ti)	0.26
钙 (Ca)	3.65	氢 (H)	0.14

表 1-4 地壳主要氧化物含量百分比 (%)

氧化物	含量百分比	氧化物	含量百分比
SiO ₂	59.14	Na ₂ O	3.84
Al ₂ O ₃	15.34	MgO	3.49
FeO	6.88	K ₂ O	3.13
Fe ₂ O ₃		H ₂ O	1.15
CaO	5.08	TiO ₂	1.05

* 据《Scientific American》，1970。

二、地质作用

地壳自形成以来，其物质组成、内部结构及表面形态，一直都在进行演变和发展，促进地壳演变和发展的各种作用，统称为地质作用。其中有来自地球内部的能量而引起的地质作用称为内动力地质作用；有来自地球外的能量而引起的地质作用称为外动力地质作用。

(一) 内动力地质作用

内动力地质作用是指地球自转重力和放射性元素蜕变等能量，在地壳深处产生的动力对地球内部及表面的地质作用。根据内动力作用方式的不同，可以分为以下四种类型。

(1) 构造运动：使地壳发生变形、变位的动力作用，如地壳的垂直升降运动，也称地壳运动。

(2) 地震作用：是地球内动力引起的地壳岩石圈的快速颤动或波动，也称地动。

(3) 岩浆及火山作用：地球的放射性元素蜕变，产生巨大的能量，在地球内部可使原岩熔成高温及高压的岩浆，由地下深处侵入地壳上部冷凝成岩，甚至喷出地表而形成火山及熔岩。

(4) 变质作用：指地壳中先成的岩石，受构造运动、地震、岩浆活动等内动力作用，而使原有的岩石的成分、结构、构造发生变质的地质作用。

(二) 外动力地质作用

外动力地质作用，是指来自地壳以外的能量，如太阳辐射能、重力能或日、月及天体引力等的影响下产生的动力，在地壳表层所进行的各种地质作用。



(1) 风化作用：是地壳表层岩石在太阳辐射、水、气体和生物等因素的共同作用下，使其物理性状和化学成分发生变化，并遭受破坏的作用。

(2) 剥蚀作用：是地壳表层岩石，受风力、地面流水、地下水、湖泊、海洋或冰川等动力作用，而遭受破坏，并被剥离原地的作用，如风的吹蚀作用、河流的侵蚀作用、地下水的潜蚀作用、冰川的刨蚀作用等。

(3) 搬运作用：指风化剥蚀后的岩石碎屑、胶体、分子或离子等不同状态的物质，被各种外动力如流水、风、冰川、地下水、海浪等以不同方式，迁移或搬运到他处的过程。

(4) 沉积作用：被搬运的物质，由于搬运介质的物理及化学条件的改变，而呈有规律的堆积现象。

(5) 固结成岩作用：也称石化作用，是使松散沉积物变为坚硬岩石的作用，包括胶结作用、压实作用与结晶作用。

上述各种内、外动力地质作用长期反复地进行，使地壳的组成物质和地壳的外表形态，产生不断地变化，即一方面不断地使地壳形成新的矿物和岩石、地质构造及地表形态；另一方面又不断地破坏原有的矿物、岩石、地质构造和表面形态。上述各种地质作用往往是反复交替地进行，从而促使地壳不断地变化和发展，地壳和地球永远是运动着的物体。

第四节 地质历史及地层时代

根据科学的测算，46 亿年前地球就已形成，地球表面固结成地壳也有 40 亿年的历史。地球的发展历史称为地史。为了研究地史，首先要确定研究地区地层的新老层序及其地质时代。

一、地质时代的概念

地质时代有两种：一种是绝对地质年代或岩层（岩石）的绝对年龄，指地壳的岩层从形成到现在的延续时间，以“年”为单位；另一种为相对地质时代或岩层的相对年龄，指岩层形成的先后顺序和新老关系。

绝对年代又称同位素年代，是根据岩石中放射性元素蜕变产物的含量计算出来的。如寒武纪的下限为 600Ma，延续时间为 100Ma。地球的形成已有 4600Ma（46 亿年）以上的历史，目前已发现的地壳中的最老地层的绝对年龄约 3800 Ma（38 亿年）左右。

地质时期的时间划分单位，即地质年代单位（或称地质时间单位），按级别从大到小可以划分为宙、代、纪、世、期……宙是国际地质年代中延续时间最长的第一级地质年代单位。根据生物化石的出现情况，整个地质时期可以分为生物化石稀少的隐生宙和生物化石大量出现的显生宙；宙内再划分为代，整个地质年代可以分为太古代、元古代、古生代、中生代及新生代共五个代，它们标志着生物演化的几个主要发展阶段；代内又划分为纪；纪内再分则为世、期等。宙、代、纪、世是国际通用的地质时间单位，适用于全世界；期的划分和名称，则仅适用于一个生物地理区，其下尚可再分为时，适用于区域性年代单位。与上述地质年代单位分别对应的国际性地层空间划分单位是宇、界、系、统，区域性地层单位是阶和带。例如古生代形成的地层称为古生界，寒武纪形成的地层称为寒武系等。

按地质年代早晚顺序排列，地质时期的相对年代和同位素年代值的划分，见表 1-5。



表 1-5

地质年代表

地质时代、地层单位及其代号			同位素年龄 (兆年)		构造运动	生物开始繁殖时期		
代(界)	纪(系)	世(统)	时代 间距	距今 年龄		植 物	动 物	
新生代 Kz	第四纪 Q	全新世 Q ₄	2.6	0.01	喜马拉雅运动	←被子植物	←古人类出现	
		更新世 Q ₁ Q ₂ Q ₃		2.6				
	新近纪 N	上新世 N ₂	2.7	5.3				
		中新世 N ₁	18	23.3				
	古近纪 E	渐新世 E ₃	8.7	32				
		始新世 E ₂	24	56.5				
古新世 E ₁		8.5	65					
中生代 Mz	白垩纪 K	晚白垩世 K ₂	72	137	燕山运动	←哺乳动物		
		早白垩世 K ₁		137				
	侏罗纪 J	晚侏罗世 J ₃	65	205				
		中侏罗世 J ₂		205				
	早侏罗世 J ₁	205						
		三叠纪 T	晚三叠世 T ₃	45			250	
中三叠世 T ₂	250							
早三叠世 T ₁	250							
古生代 Pz	晚古生代 Pz ₂	二叠纪 P	晚二叠世 P ₃	45	海西运动	←裸子植物	←爬行动物	
			中二叠世 P ₂					295
			早二叠世 P ₁					354
	石炭纪 C	晚石炭世 C ₂	49	410				
		早石炭世 C ₁		438				
		泥盆纪 D		晚泥盆世 D ₃				56
	中泥盆世 D ₂	543						
	早泥盆世 D ₁	680						
	早古生代 Pz ₁	志留纪 S	顶志留世 S ₄	28				1000
			晚志留世 S ₃					1800
中志留世 S ₂			2500					
早志留世 S ₁			2500					
奥陶纪 O	晚奥陶世 O ₃	52	3600					
	中奥陶世 O ₂		3600					
	早奥陶世 O ₁		3600					
寒武纪 ε	晚寒武世 ε ₃	53	3600					
	中寒武世 ε ₂		3600					
	早寒武世 ε ₁		3600					
元古代 Pt	震旦纪 Z		137	543	吕梁运动	高级藻类出现	裸露动物出现 多细胞动物出现	
				680				
	中 Pt ₂		200	1000				
				1800				
	古 Pt ₁		700	2500				
太古代 Ar				3600		真核生物出现 (菌类及藻类) 生物现象开始出现		

注 1. 本表录自宋春青、张震春编著,地质学基础,人民教育出版社,1982年修订本。并据2001年地质出版社出版,中国地层指南及中国地层指南说明书(修订版)修改。

2. 表中只列出地质时代单位。地层单位则把代、纪、世改为界、系、统,同时把早、中、晚或早、晚改为下、中、上或下、上。