

工程地质

学



李治平 编著
陈祥宝 主审

人民交通出版社
China Communications Press

959

P642
L366

Gongcheng Dizhixue

工程地质学

李浩平 编著
陈祥宝 主审



A1052388

人民交通出版社

内 容 提 要

本书系统地介绍了工程地质学的基本原理、地质作用的基本规律与地质灾害的防治,同时还介绍了工程地质勘察及土木工程中的工程地质问题的评价。

全书内容丰富、深入浅出、循序渐进、重点突出、便于自学。

本书可作为高等学校土木工程专业及相关专业函授大学本专科的教科书,对有关专业的工程技术人员也有参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

工程地质学 / 李治平编著. —北京: 人民交通出版社,
2002.8
ISBN 7-114-04311-2

I.工... II.李... III.工程地质 IV.P642

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 039265 号

工程地质学

李治平 编著

陈祥宝 主审

正文设计: 彭小秋 责任校对: 戴瑞萍 责任印制: 杨柏力

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号 010 64216602)

各地新华书店经销

北京鑫正大印刷有限公司印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 12 字数: 298 千

2002 年 8 月 第 1 版

2002 年 8 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数: 0001—4500 册 定价: 22.00 元

ISBN 7-114-04311-2

U · 03164

前 言

为满足 21 世纪国家建设对专业人才的需求,1998 年 7 月国家教育部颁布了新的普通高等学校专业目录,其中新设置的土木工程专业取代了过去的建筑工程、交通土建工程等相近专业。新的土木工程专业较过去各专业覆盖面要广泛很多,相应的专业培养目标及专业培养要求等都有了不同程度的变化,原有的教材已经不能适应新专业的培养目标和教学要求。为适应专业面扩大后的土木工程专业的教学需要,根据有关专业教学大纲,在原公路工程、桥梁与隧道工程、建筑工程等专业所使用的工程地质教材的基础上,针对土木工程专业所涉及的工程地质理论和知识,编写了这本《工程地质学》。

工程地质学是土木工程专业的专业基础课,通过本课程的学习,使学生能系统地掌握工程地质基础知识和理论;初步掌握区分和识别三大类常见的岩石及肉眼鉴别主要的造岩矿物的方法和技能;掌握一般地质构造的特征及岩体结构的一般分析方法和具有阅读一般地质图的能力;能辨认简单的地质灾害和不良的地质现象及对工程建筑的影响;了解工程地质资料的取得方法,能正确提出工程地质勘察任务及要求并运用勘察资料和数据进行工程规划设计及指导施工;了解各类工程所需的工程地质条件,对一般的工程地质问题能进行初步分析评价。

全书除绪论外共有九章,其中前五章内容包括岩石及其工程地质性质、地质构造、外力地质作用及其松散堆积层、地下水的地质作用、地貌等,属于基础地质部分;后四章内容为岩体结构及岩体的稳定性分析、常见的工程地质灾害、工程地质勘察方法、公路工程地质问题与勘察等,属于工程地质部分。在教学过程中,应结合课堂教学安排有关矿物岩石的实验、短期的野外地质认识实习及参观勘探现场等教学实践环节,以便增加学生的感性认识。

根据编者多年的教学经验,在本书的编写过程中,遵循“内容充实、取材新颖、注重实用、便于自学”的原则,力求反映国内外本学科的发展现状,尽量结合专业的需要,既重视理论概念的阐述,也注意强调地质与工程的结合,同时采用了已经出版的有关岩土工程和工程地质新标准和新规范,并吸取了近十几年来在工程地质和岩土工程学科中的新进展和新成就。为了便于学生掌握所学内容,在每章后面均附有学习要求和复习思考题。

本书在编写的过程中,曾广泛征求过有关院校及勘察设计单位同行对编写大纲的意见。西北大学地质系冯乔教授、陕西工程勘察设计院种谨高级工程师等曾对本书初稿进行了认真审阅并提出许多极具价值的指导性意见和建议,在此表示诚挚谢意。

本书由长安大学公路学院李治平编著,陈祥宝主审,由于编写时间和编者水平所限,书中缺点及不当之处在所难免,敬请读者批准指正。

编 者

2002 年 4 月于西安

目 录

绪论	1
学习要求	9
思考题	9
第一章 岩石及其工程地质性质	10
第一节 造岩矿物	10
第二节 岩浆岩	15
第三节 沉积岩	18
第四节 变质岩	22
第五节 岩石的工程地质性质	26
学习要求	33
思考题	33
第二章 地质构造	34
第一节 地质年代	34
第二节 地质构造	38
第三节 地质图	49
第四节 活断层	55
学习要求	58
思考题	58
第三章 外力地质作用及其松散堆积层	59
第一节 风化作用及其松散堆积层	59
第二节 地表流水的地质作用及其松散堆积层	66
学习要求	73
思考题	73
第四章 地下水的地质作用	74
第一节 地下水的物理性质和化学成分	74
第二节 地下水的基本类型	76
第三节 地下水与工程建设	84
学习要求	88
思考题	88
第五章 地貌	89
第一节 地貌概述	89
第二节 山岭地貌	92
第三节 平原地貌	96
第四节 河谷地貌	98
学习要求	100

思考题	100
第六章 岩体结构及岩体的稳定性分析	101
第一节 岩体及岩体结构	101
第二节 岩体稳定性分析	107
学习要求	114
思考题	114
第七章 常见的地质灾害	115
第一节 滑坡	115
第二节 崩塌及岩堆	124
第三节 泥石流	129
第四节 岩溶	133
第五节 地震	137
学习要求	145
思考题	145
第八章 工程地质勘察及其方法	147
第一节 工程地质勘察概述	147
第二节 工程地质勘察的主要方法	149
第三节 工程地质勘察资料的整理与文件的编制	156
学习要求	157
思考题	157
第九章 公路工程地质问题与勘察	158
第一节 公路工程地质勘察阶段与内容	158
第二节 公路工程地质问题与勘察	161
第三节 桥梁工程地质问题与勘察	163
第四节 隧道工程地质问题与勘察	165
第五节 不良地质现象的勘察与评价	171
第六节 特殊土的工程地质勘察与评价	179
学习要求	183
思考题	184
参考书目	185

绪 论

一、地球的基本知识

地球是太阳系的一个行星,是一个不标准的旋转椭球体,平均半径 6371km,极地与赤道半径相差 22km。地球并不是一个均质体,具有圈层结构。以地表为界分为内圈和外圈,它们又再分几个圈层,每个圈层都有自己的物质运动特征和物理、化学性质,对地质作用各有程度不同的、直接或间接的影响。

(一)地球的外部形态

1. 地球的形状和大小

地球的形状和地表形态既是其内部物质状态及其运动的结果,也受到地球表层的水和大气的运动以及生物生命活动的重要影响。通常所说的地球形状是指大地水准面所圈闭的形状。而大地水准面是平均海平面并通过大陆延伸所形成的封闭曲面。目前通过人造卫星观测及卫星轨道变化推算,获得了下列关于地球形状的主要数据为:赤道半径 6378.160km;极半径 6356.755km;扁平率 $1/298.25$;表面积 $51 \times 10^8 \text{ km}^2$;体积 $10820 \times 10^8 \text{ km}^3$ 。

根据以上数据可知地球形状为扁率不大的三轴椭球体,这是地球自转的结果,说明了地球具弹性。又据人造卫星精密测量发现,地球南、北两半球并不对称,北极比理想椭球体突出约 10km,南极内凹约 30km,见图绪-1。

2. 地球的表面特征

固体地球表面最显著的特征是高低起伏不平,可分为陆地和海洋两大部分。陆地只占地球表面面积的 29.1% ($1.48 \times 10^8 \text{ km}^2$),海洋占 70.9% ($3.62 \times 10^8 \text{ km}^2$)。

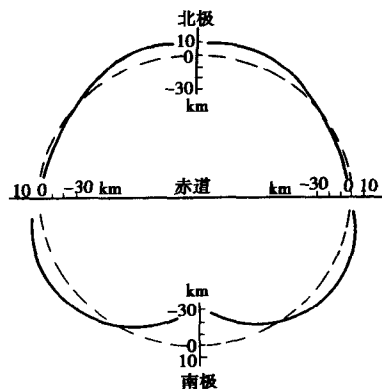
(1)大陆表面形态

大陆上的最高点在喜马拉雅山脉的珠穆郎玛峰(海拔 8848.13m),最低点是约旦境内的死海(海拔为 -392m),平均高度为 875m。按照高程和起伏特征,大陆表面可分为山地、丘陵、平原、高原和盆地等地形类型。

山地指高程大于 500m、地形起伏较大、相对高差在 200m 以上的地区。按高程分为低山(海拔 500 ~ 1000m)、中山(1000 ~ 3500m)、高山(3500 ~ 5000m)和最高山(> 5000m)。低于海拔 500m,相对高差在 200m 以下的高地称为丘陵。平原是面积较大的地势平坦或地形略具起伏的地区,其内部相对高差一般不超过数十米。高原为海拔在 600m 以上,表面较为平坦或有一定起伏的广阔地区。

(2)海底地形特征

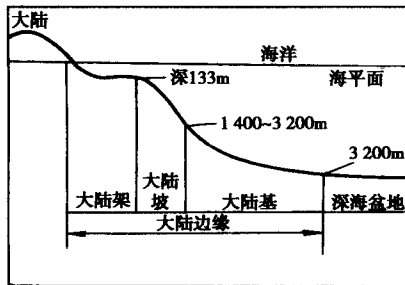
海洋是由海和洋组成的。洋是远离大陆、面积宽广、深度较大的水域。海则是与陆地毗邻,位于大洋边缘并与洋有一定程度隔离的水域。



图绪-1 大地水准面(实践)和理想椭球面(虚线)

海底地形也是起伏不平的。海洋的最深处是海沟,马里亚纳海沟最深点为-11033m,海底平均深度为3729m。据海底地形特征,可分为大陆边缘,大洋盆地及大洋中脊三个大的地形单元。其中大洋盆地的面积约占海洋面积的二分之一,大洋中脊则约占三分之一。

大陆边缘为大陆至大洋深海盆地之间的地带,包括大陆架、大陆坡、大陆基,见图绪-2。



图绪-2 大陆边缘地形示意图(垂直比例夸大)

大陆架是海与陆地接壤的浅海平台,其范围是由海岸线向外海延伸,直到海底坡度显著增大的转折处。大陆架部分海底坡度平缓,水深一般小于200m,平均为130m。宽度变化很大,平均为75km。大陆坡是位于大陆架外缘到深海海底地形明显变陡的地带,其水深一般不超过2000m,平均坡角为4.25°,平均宽度为28km。大陆基为大陆坡从坡脚处坡度逐渐变缓,到大洋盆地之间的过渡地带,由海洋沉积物组成。但太平洋中这一带不明显。

大洋盆地是介于大陆边缘及大洋中脊之间的较平坦地带,一般水深为4000~6000m。大洋中脊是绵延在大洋中的海底山脉(海岭)。常发生地震和地壳运动较强烈的海岭称为洋中脊。洋中脊轴部常有巨大的中央裂谷。

(二) 地球的物理性质

地球的物理性质包括地球内部的密度、压力、重力、地磁、弹性及地热等。

1. 重力

重力是垂直地球表面使物体向下的一种天然作用力。它实际上是地心引力和由地球自转而产生的惯性离心力的合力。由于离心力与地心引力相比相对微弱(如赤道处的离心力约为地心引力的1/289),因此可将地心引力近似当作重力。地球周围受重力影响的区域称重力场,地表上某一点的重力场强度就相当于该点的重力加速度(单位为 m/s^2)。由于地心引力随纬度而变化,故地表重力分布以赤道地区为最小($9.78m/s^2$),两极最大($9.83m/s^2$),平均为 $9.80m/s^2$ 。加之地下组成物质的不同以及海拔高度的差异,各地测得的重力值并不同于理论值。这种现象称为重力异常。

2. 密度和压力

用前述地球的体积除以地球的质量,便可以求得地球的平均密度为 $5.516g/cm^3$ 。根据实际测定的固体地球表面岩石的平均密度为 $2.7\sim 2.8g/cm^3$,而覆盖地球表面达3/4的水的密度为 $1g/cm^3$,可以推测地球内部物质应具有比地表更大的密度。据布伦(1975)“A模型”,地壳表层的密度为 $2.7g/cm^3$;地内33km处为 $3.32g/cm^3$;2885km处密度由 $5.56g/cm^3$ 陡增至 $9.98g/cm^3$;至地心处达 $12.51g/cm^3$ 。密度变化显著的深度处反映出该处地球内部物质成分和存在状态有明显变化。

地内压力随深度加大,并与地内物质的密度及该处的重力有关。地下10km处压力约为304MPa,2900km处可达 1.52×10^5 MPa,地心则高达 3.55×10^5 MPa。

3. 地磁场

地球类似一个巨大的磁铁,所以在它周围空间存在着磁场,称为地磁场。地磁场是一个弱磁场,其平均磁场强度为 $0.6 \times 4\pi \times 10^{-3} A/m$ 。地球上某一点的磁场强度是一个矢量,称为该点的总磁场强度(F)。总磁场强度的水平分量称为水平磁场强度(H),它的方向就是磁子午线的方向。地磁子午线与地理子午线的夹角为磁偏角。总磁场强度的垂直分量称垂直磁场强

度(Z)。总磁场强度方向与水平面的交角称为磁倾角。

地磁场随时间变化,有日变化、年变化、长期性和突然性变化。地质历史时期的磁场称为古地磁。近年来人们通过研究不同时间岩石中的剩余磁性的大小和方向,从而追溯地质历史时期地磁场的特征和变化以及磁极移动情况。这一研究对解决大规模的构造运动历史、古气候及探索地球起源等问题有重要意义。

4. 地热

地热是指地球内部的热能。根据大陆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 15m 左右。常温层是指温度与当地年平均温度一致的地带。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量。通常把每向下加深 100m 所升高的温度称为地热增温率(地热梯度),一般为 $0.9 \sim 5^{\circ}\text{C}$ 。而把温度每增高 1°C 所增加的深度称为地势增温级。两者互为倒数。

5. 弹性

固体地球能传播地震波(弹性波)说明地球具有弹性。通过地震波在地球内部传播速度的变化,能确定出地球内部物质状态的变化。

(三) 地球的构造

1. 地球外部圈层及其主要特征

(1) 大气圈

大气圈是地球最外面的一个圈层,由包围在固体地球外面的各种气体构成。大气的主要成分有氮(体积百分比为 78.10%)、氧(占 21.0%)、二氧化碳(占 0.03%)及水蒸气(占 0~4%),并含少量尘埃微粒,总质量为 $5.6 \times 10^{21}\text{g}$,它主要集中在 100km 高度以下的范围内。大气的密度和压力随高度增高而降低。据气温的垂直变化,由下到上可将大气圈进一步划分成对流层、平流层、中间层、电离层(暖层)和逸散层。其中以对流层和平流层对地面影响较大。自地表到 10~17km 的高空为对流层,所有的风、云、雨、雪等天气现象均发生在这一层。它对地球上生物生长、发育和地貌的变化起着极大的影响。

平流层是自对流层顶到 50km 高空的大气层,它的特点是大气以水平移动为主,其温度基本不受地面温度影响。平流层中存在大量臭氧,臭氧吸收太阳的大量紫外辐射而使大气温度随高度增加到 0°C 以上。平流层中臭氧对太阳辐射紫外线的强烈吸收构成了对生物的有效天然保护。

(2) 水圈

水圈由地球表层的水体组成,其总体积为 $14 \times 10^{18}\text{km}^3$ 。其中海水占总体积的 97.2%,大陆水体占 2.8%。大陆水体中极地和高山冰川约占 78.6%,其余 21.4% 为河流、湖泊、沼泽中的水以及地下水。水圈中的海水在太阳辐射能的驱使下大量蒸发,形成水蒸气进入大气圈中的对流层内,随空气对流带至大陆上空,在一定条件下便凝结成雨、雪等落到地面。落到地面的大气降水在重力作用下沿地表和地下流回海洋,构成水的循环。河流、冰川、地下水等水体在其流动过程中,不断改造地表,塑造出各种地表形态。同时水圈也为生物的生存演化提供了必不可少的条件,因此水圈是外动力地质作用的主要动力来源。

(3) 生物圈

生物圈是生物及其生命活动的地带所构成的连续圈层。生物主要集中在地表和水圈中,

特别是阳光、空气和水分充足而温度又适宜的地区。生物圈中生物和有机体总量约为 $11.4 \times 10^{12}t$, 为地壳总质量的 $1/10^5$ 。生物在其生命活动过程中, 通过光合作用、新陈代谢等方式, 形成一系列生物地质作用, 从而改变地壳表层的物质成分和结构, 如促使某些分散的元素或成分富集, 并在适当条件下沉积下来形成铁、磷、煤、石油等有用矿产。

2. 地球内部圈层及其主要特征

根据地震波传播速度的突变, 可以确定地球内部物质的分界面, 地球物理学上称为不连续面或界面。据实测, 地球内部有两个波速变化最明显的界面: 第一个界面位于 $5 \sim 60km$ 深处, 大陆部分平均深 $33km$, 大洋区平均深为 $11 \sim 12km$ 。此界面由南斯拉夫学者 A·莫霍洛维奇于 1909 年发现, 故称为“莫霍洛维奇不连续面”, 简称“莫霍面”。第二个界面在地表下约 $2900km$ 处, 是美国学者 B·古登堡于 1914 年发现的, 称为“古登堡不连续面”, 简称“古登堡面”。根据这两个界面把地球内部分为三圈, 即地壳、地幔和地核, 如图绪-3 所示。

(1) 地壳

地壳是莫霍面以上固体地球的表层部分, 平均厚度约为 $16km$, 为地球半径的 $1/400$ 。地壳体积占地球总体积的 1.55% , 占总质量的 0.8% 。大陆地壳和海洋地壳在结构及演变历史等方面均有明显差异。大陆地壳具有上部为硅铝层(花岗岩质层)、下部为硅镁层(玄武岩质层)的双层结构。硅铝层的密度为 $2.6 \sim 2.7g/cm^3$, 一般厚 $15 \sim 20km$ 。硅镁层的密度为 $3.3g/cm^3$, 厚度为 $15 \sim 20km$ 。海洋地壳厚度较薄, 平均仅 $5 \sim 6km$, 一般缺乏硅铝层, 硅镁层直接出露于洋底。

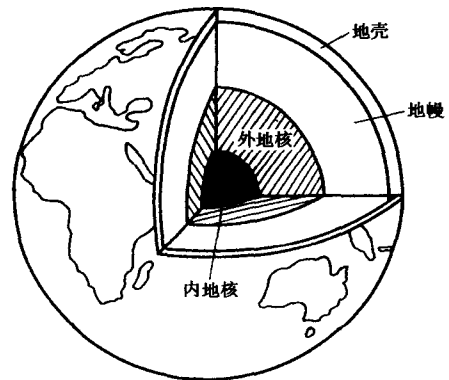
组成地壳的化学元素有百余种, 其中最主要的是氧、硅、铝、铁、钙、钠、钾、镁、钛、氢, 它们占地壳总质量的 99.96% 。但各元素的含量极不均匀。

(2) 地幔

地幔是地球的莫霍面以下、古登堡面以上部分, 主要由固态物质组成, 厚约 $2900km$, 其体积约占地球总体积的 82.3% , 质量占 67.8% , 是地球的主体部分。以 $984km$ 为界, 分为上地幔和下地幔两个次级圈层。上地幔的平均密度为 $3.5g/cm^3$, 与地壳有明显差别。根据密度、波速资料与陨石对比以及对火山喷出物的分析, 上地幔的物质成分是由含铁、镁多的硅酸盐矿物组成的, 与超基性岩类似。对地幔中地震波传播特征的研究发现, 在 $60 \sim 250km$ 处存在“低速带”, 尤其是 $100 \sim 150km$ 深度处波速降低得最多。一般认为低速带是由于该带内温度增至接近岩石的熔点, 但尚未熔融的物态引起的。又据低速带内有些区域不传播横波, 推断这些区域的温度已超过岩石熔点形成液态区。由于低速带距地表很近, 这些液态区很可能是岩浆的发源地。鉴于低速带的塑性较大, 它为上部固态岩石的活动创造了有利的条件, 故在构造地质学中称其为软流圈。而将软流圈以上的上地幔和地壳合称为岩石圈。下地幔平均密度为 $5.1g/cm^3$, 一般认为其物质成分虽然仍以铁、镁的硅酸盐为主, 但相当于超基性岩的超高压相矿物组成的岩石。

(3) 地核

地核是地球内自古登堡面至地心的部分, 其厚度为 $3473km$, 占地球总体积的 16.2% , 总质量的 31.4% 。按地震波速分布, 分为外核、过渡层和内核三层。外核分布于 $2885 \sim 4170km$ 之



图绪-3 地球的内部构造

间,平均密度约 $10.5\text{g}/\text{cm}^3$,根据横波不能通过外核的事实,推断外核是由液态物质组成的。分布于 $4170\sim 5155\text{km}$ 之间的过渡层,波速变化复杂,可能是由液态开始向固态物质转变的一个圈层。内核为 5155km 至地心部分,由以铁、镍等成分为主的固态物质组成。

地壳中的化学元素常随环境的改变而不断地变化。元素在一定地质条件下形成矿物,矿物的自然集合体则是岩石。组成地壳的岩石按成因可分为岩浆岩、沉积岩、变质岩。有关矿物、岩石的内容将在后面阐述。

二、地质作用

地球形成以来,一直处于不断地运动和变化之中。今日地球,只是它运动和发展过程中的一个阶段。就地壳而言,虽然它只能代表地球演变的一部分,但它的表面形态、内部结构和物质成分也是时刻在变化着。坚硬的岩石破裂粉碎成为松软泥土,而松软泥土又不断沉积形成新的岩石。在地质历史发展的过程中,由自然动力引起的地球和地壳物质组成、内部结构及地表形态不断变化发展的作用,称为地质作用。地质作用按其能量的来源的不同,可分为外力地质作用和内力地质作用两类。

(一)外力地质作用

外力地质作用简称外力作用,主要发生在地表,是由地球外部的能量引起的。它的能量主要来自太阳的热能、太阳和月球的引力能及地球的重力能等。外力作用的方式,可以概括为以下几种:

(1)风化作用 风化作用是在温度变化、气体、水及生物等因素的综合影响下,促使组成地壳表层的岩石发生破碎、分解的一种破坏作用。风化作用使岩石强度和稳定性大为降低。

(2)剥蚀作用 剥蚀作用是将岩石风化破坏的产物从原地剥离下来的作用。它包括除风化作用以外的所有方式的破坏作用,诸如河流、大气降水、地下水、海洋、湖泊以及风等的破坏作用。

(3)搬运作用 岩石经风化、剥蚀破坏后的产物,被流水、风、冰川等介质搬运到其它地方的作用。

(4)沉积作用 被搬运的物质,由于搬运介质的搬运能力减弱,搬运介质的物理化学条件发生变化,或由于生物的作用,从搬运介质中分离出来,形成沉积物的过程,称为沉积作用。

(5)成岩作用 沉积下来的各种松散堆积物,在一定条件下,由于压力增大、温度升高以及受到某些化学溶液的影响,发生压密、胶结及重结晶等物理化学过程,使之固结成为坚硬岩石的作用,称为成岩作用。

外力地质作用,一方面通过风化和剥蚀作用不断地破坏露出地面的岩石;另一方面又把高处剥蚀下来的风化产物通过流水等介质,搬运到低洼的地方沉积下来重新形成新的岩石。外力地质作用总的趋势是切削地壳表面隆起的部分,填平地壳表面低洼的部分,不断使地壳的面貌发生变化。

(二)内力地质作用

内力地质作用简称内力作用,是由地球内部的能量如地球的转动能、重力能和放射性元素蜕变产生的热能所引起,主要是在地壳或地幔内部进行。内力地质作用包括以下几种:

1. 地壳运动

是指由地球内动力所引起地壳岩石发生变形、变位(如弯曲、错断等)的机械运动。残留

在岩层中的这些变形、变位现象叫做地质构造或构造形迹。地壳运动产生各种地质构造,因此,在一定意义上又把地壳运动称为构造运动。地壳运动按其运动方向可以分为水平运动和垂直运动两种形式。

①水平运动 指地壳或岩石圈块体沿水平方向移动,如相邻块体分离、相向相聚和剪切、错开。它使岩层产生褶皱、断裂,形成裂谷、盆地及褶皱山系,如我国的横断山脉、喜马拉雅山、天山、祁连山等均为褶皱山系。

②垂直运动 指地壳或岩石圈相邻块体或同一块体的不同部分作差异性上升或下降,使某些地区上升形成山岳、高原,另一些地区下降,形成湖、海、盆地。所谓“沧海桑田”即是古人对地壳垂直运动的直观表述。

2. 岩浆作用

地壳内部的岩浆,在地壳运动的影响下,向外部压力减小的方向移动,上升侵入地壳或喷出地面,冷却凝固成为岩石的全过程,称为岩浆作用。岩浆作用形成岩浆岩,并使围岩发生变质现象,同时引起地形改变。

3. 变质作用

由于地壳运动、岩浆作用等引起物理和化学条件发生变化,促使岩石在固体状态下改变其成分、结构和构造的作用,称为变质作用。变质作用形成各种不同的变质岩。

4. 地震

地震一般是由于地壳运动引起地球内部能量的长期积累,达到一定的限度而突然释放时,导致地壳一定范围的快速颤动。按地震产生的原因,可分为构造地震、火山地震和陷落地震、激发地震等。

各种内力地质作用相互关联,地壳运动可以在地壳中形成断裂、引发地震,并为岩浆活动创造通道。而地壳运动和岩浆活动都可能引起变质作用。由此可见,地壳运动在内力地质作用中常起主导作用。

内力作用总的趋势是形成地壳表层的基本构造形态和地壳表面大型的高低起伏。它一方面起着改变外力地质作用的过程,同时又为外力作用的不断发展提供新的条件。内力作用与外力作用紧密关联、互相影响,始终处于对立统一的发展过程中,成为促使地壳不断运动、变化和发展的基本力量。

三、地质学与工程地质学

地质学是一门研究关于地球问题的科学。它研究的对象是固体地球的上层,主要有以下几方面内容:

1. 研究组成地球的物质。由矿物学、岩石学、地球化学等分支学科承担这方面的研究。

2. 研究地壳及地球的构造特征,即研究岩石或岩石组合的空间分布。这方面的分支学科有构造地质学、区域地质学、地球物理学等。

3. 研究地球的历史以及栖居在地质时期的生物及其演变。研究这方面问题的有古生物学、地史学、岩相古地理学等。

4. 研究地质学的研究方法手段,如同位素地质学、数学地质学及遥感地质学等。

5. 研究应用地质学以解决资源探寻、环境地质分析和工程建设及工程防灾问题。主要有两方面:一是以地质学理论和方法指导人们寻找各种矿产资源,这是矿床学、煤田地质学、石油

地质学、铀矿地质学等研究的主要内容；二是运用地质学理论和方法研究地质环境，查明地质灾害的规律和防治对策，以确保工程建设安全、经济和正常运行。

工程地质学是地质学的重要分支学科，是把地质学原理应用于工程实际的一门学问，是研究与工程建设有关的地质问题的学科。发展至今，工程地质学已成为一门独立学科。

工程地质学的具体任务是：

1. 评价工程地质条件，阐明地上和地下建筑工程建设和运行的有利和不利因素，选定建筑场地和适宜的建筑形式，保证规划、设计、施工、使用、维修顺利进行；
2. 从地质条件与工程建筑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、发生的规模和发展趋势；
3. 提出及建议改善、防治或利用有关工程地质条件的措施、加固岩土体和防治地下水的方案；
4. 研究岩体、土体分类和分区及区域性特点；
5. 研究人类工程活动与地质环境之间的相互作用与影响。

由于工程地质条件有明显的区域性分布规律，因而工程地质问题也有区域性分布的特点，而各类工程（交通、矿山、水利水电、工业与民用建筑等）对工程地质条件有不同的要求，主要工程地质问题亦不同，由于各地工程地质条件复杂多变，决定了工程地质问题千差万别。而各类工程又主要是一种表层建筑物，它会遇到各种各样的自然条件和地质问题，并易受频繁变化的大气物理作用的影响，因此，工程地质无论在研究对象和方法上都有自己的特点。工程地质学的研究对象是复杂的地质体，其研究方法应是地质分析法与力学分析法、工程类比法与实验法等密切结合。即通常所说的定性分析与定量分析相结合的综合研究方法。

四、工程地质学在土木工程建设中的作用

各种土木工程，如铁路、公路、桥梁、隧道、房屋、机场、港口、管道及水利等工程，都是修建在地表或地下的工程建筑。建筑物场地的地质环境和工程地质条件（包括场地及周围的岩体、土体类型和性质，地质构造，地表水和地下水的作用，各种自然地质作用等），与工程的设计、施工和运营密切相关。在进行工程建设时，无论是总体布局阶段还是个体建筑物设计、施工阶段，都应当进行相应的工程地质工作。总体规划、布局阶段应进行区域性工程地质条件和地质环境的评价；场地选择阶段应进行不同建筑场地工程地质条件的对比，选择最佳工程地质条件的方案；在选定场地进行个体工程建筑物设计和施工阶段，应进行工程地质条件的定量分析和评价，提出适合地质条件和环境协调的建筑物类型、结构和施工方法等建议，拟定改善和防治不良地质作用和环境保护的措施方案等。为了做好上述各阶段工程地质工作，必须通过地质调查测绘、勘探、试验、理论分析等手段，获得必要的地质资料，结合具体工程的要求进行研究、分析和判断，最终得出相应的结论。鉴于工程地质对工程建设的重要作用，国家规定任何工程建设必须在进行相应的地质工作、提出必要的地质资料的基础上才能进行工程设计和施工工作。

随着我国经济建设日益发展，工程建设的规模和数量也越来越大。数十公里长的隧道、数百米高的高楼大厦、数百米高的露天采矿场边坡、二滩和三峡水利枢纽工程等所谓“长隧道、深基坑、高边坡”巨型重大工程建设与工程地质的关系更趋密切，对工程地质工作和知识的要求也更高。因此，作为工程建筑的基础工作，工程地质工作的重要作用是客观存在和被实践证明了的。

五、工程地质条件和工程地质问题

工程地质学在工程规划、设计以及在解决各类工程建筑物的具体问题时必须开展详细的工程地质勘察工作。工程地质勘察的目的是为了取得有关建筑场地工程地质条件的基本资料 and 进行工程地质论证。也就是要求必须全面地研究和掌握工程建筑场地内的有关工程地质条件,论证和预测在工程建设过程中或建筑物建成后某些地质条件的变化可能诱发的工程地质问题,并提出改善和防治措施。

工程地质条件是指工程建筑物所在地区地质环境各项因素的综合。这些因素包括:

(1)地层岩土的工程性质 是最基本的工程地质因素,包括它们的成因、时代、岩性、产状、成岩作用特点、变质程度、风化特征、软弱夹层和接触带以及物理力学性质等。

(2)地质构造 也是工程地质工作研究的基本对象,包括褶皱、断层、节理构造的分布和特征。地质构造,特别是形成时代新、规模大的活动性断裂,对地震等灾害具有控制作用,因而对建筑物的安全稳定、沉降变形等具有重要意义。

(3)水文地质条件 是重要的工程地质因素,包括地下水的成因、埋藏、分布、动态变化和化学成分等。

(4)地表地质作用 是现代地表地质作用的反映,与建筑区地形、气候、岩性、构造、地下水和地表水作用密切相关,主要包括滑坡、崩塌、岩溶、泥石流、风沙移动、河流冲刷与沉积和风化等等,对评价建筑物的稳定性和预测工程地质条件的变化意义重大。

(5)地形地貌 地形是指地表高低起伏状况、山坡陡缓程度与沟谷宽窄及形态特征等,地貌则说明地形形成的原因、过程和时代。平原区、丘陵区 and 山岳地区的地形起伏、土层厚薄和基岩出露情况、地下水埋藏特征和地表地质作用现象都具有不同的特征,这些因素都直接影响到建筑场地和线路的选择。

(6)天然建筑材料 工程建设中所需有关建筑材料的分布、类型、品质、开采条件、储量及运输条件等,也是工程地质条件中的一个重要因素。

已有的工程地质条件在工程建筑建设和建成运行期间会产生一些新的变化和发展,从而产生影响工程建筑安全的地质问题称为工程地质问题。由于工程地质条件复杂多变,不同类型的工程对工程地质条件的要求又不尽相同,所以工程地质问题是多种多样的。就土木工程而言,主要的工程地质问题包括:

(1)地基稳定性问题 是工业与民用建筑工程常遇到的主要工程地质问题,它包括强度和变形两个方面。此外岩溶、土洞等不良地质作用和现象都会影响地基稳定。铁路、公路等工程建筑常会遇到路基稳定性问题。

(2)斜坡稳定性问题 自然界的天然斜坡是经受长期地表地质作用达到相对协调平衡的产物,人类工程活动尤其是道路工程需开挖和填筑人工边坡(路堑、路堤、堤坝、基坑等),斜坡稳定对防止地质灾害发生及保证地基稳定十分重要。斜坡地层岩性、地质构造特征是影响其稳定性的物质基础,风化作用、地应力、地震、地表水和地下水等对斜坡软弱结构面的作用往往破坏斜坡稳定,而地形地貌和气候条件是影响其稳定的重要因素。

(3)洞室围岩稳定性问题 地下洞室被包围于岩土体介质(围岩)中,在洞室开挖和建设过程中破坏了地下岩体原始平衡条件,便会出现一系列不稳定现象,常遇到围岩塌方、地下水涌水等。一般在工程建设规划和选址时要进行区域稳定性评价,研究地质体在地质历史中受力状况和变形过程,做好山体稳定性评价,研究岩体结构特性,预测岩体变形破坏规律,进行岩体

稳定性评价以及考虑建筑物和岩体结构的相互作用,这些都是防止工程失误和事故、保证洞室围岩稳定所必要和必需的工作。

(4)区域稳定性问题 地震、震陷和液化以及活断层对工程稳定性的影响,自1976年唐山地震后越来越引起土木工程界的注意。对于大型水电工程、地下工程以及建筑群密布的城市地区,区域稳定性问题应该是需要首先论证的问题。

六、本课程主要内容及学习要求

工程地质学是一门应用科学。它是运用地质学的基本理论和知识,解决工程建设中各种工程地质问题的一门学科。因此,工程地质学内容十分丰富、涉及面很广。本书着重介绍土木工程专业所涉及的工程地质学基本理论和基本知识。为避免与有关相邻课程重复并考虑土木工程专业教学计划中本课程性质和学时,经精心编排,其主要内容包括:矿物岩石、地质构造、地下水、外力地质作用与松散沉积物、地貌、岩体的稳定性分析、常见的不良地质现象与地质灾害、工程地质勘察等。

工程地质学是土木工程专业的专业基础课。土木工程专业学生学习本课程的基本要求是:系统学习和掌握工程地质基础知识和理论,能阅读一般的地质资料;根据地质资料在野外能辨认出常见的岩石和松散沉积物,了解其主要的工程性质;能辨认基本的地质构造类型及较明显、简单的地质灾害现象,并了解这些构造及不良地质对工程建筑的影响,提出克服不良地质作用的工程措施;掌握最常见的各种工程地质问题的基本知识,以及依据工程地质勘察成果进行一般的工程地质问题分析和采取处理措施;一般地了解工程地质勘察的基本内容、工作方法;能正确提出勘察任务及要求并运用勘察数据和资料进行设计与施工。

学习要求

通过绪论的学习,应了解工程地质学研究的主要内容及任务;正确认识和理解人类的工程活动与地质环境之间的相互制约的关系;掌握工程地质条件、工程地质问题及地质作用的基本含义及内容。了解本课程的主要内容和基本要求。

思考题

1. 试说明工程地质学与地质学相互间的关系;
2. 试说明工程地质学的主要任务与研究方法;
3. 试说明人类的工程活动与地质环境之间的关系;
4. 什么是工程地质条件和工程地质问题?它们具体包括哪些因素和内容?
5. 什么是地质作用?地质作用按什么因素可分为两大类,每一类地质作用包含哪些作用方式。
6. 本课程的主要内容及基本要求是什么?

第一章 岩石及其工程地质性质

人类工程活动都是在地壳表层进行的,而地壳是由岩石组成的,岩石是由矿物组成的。在地质作用下产生的,由一种或多种矿物以一定的规律组成的自然集合体,称为岩石。主要由一种矿物组成的岩石,称为单矿岩,如石灰岩就是由方解石组成的单矿岩;由两种或两种以上的矿物组成的岩石,称为复矿岩,如花岗岩主要是由正长石、石英和黑云母等矿物组成的复矿岩。根据矿物组成,可对岩石大致进行分类。矿物的成分、性质及其在各种因素影响下的变化,都会对岩石的强度和稳定性产生影响。

土木工程与岩石的关系很密切,如道路的选线,桥梁的墩基、地下建筑、高层建筑基础、矿山开挖、寻找地下水等,均需对岩石的工程性质有所了解。自然界有各种各样的岩石,按成因,可分为岩浆岩、沉积岩和变质岩三大类。由于岩石是由矿物组成的,所以,要认识岩石,分析岩石在各种自然条件下的变化,进而对岩石的工程地质性质进行评价,就必须先从矿物讲起。

第一节 造岩矿物

一、矿物的概念

地壳和地球内部的化学元素,除极少数呈单质存在者外,绝大多数都是以化合物的形态存在。这些在各种地质作用中所形成的具有一定化学成分、物理性质和内部构造的自然单质和化合物,称为矿物。自然界中已发现的矿物约有 3000 多种,其中能够组成岩石的矿物称为造岩矿物。在岩石中经常出现、明显影响岩石性质、对鉴别岩石种类起重要作用的矿物称主要造岩矿物,约有 20~30 种,如石英、方解石及正长石等。

矿物在自然界中绝大多数呈固体状态,如石英、正长石等,但也有少数液态矿物,如水银、石油等,以及气态矿物,如天然气。

自然界的矿物都是在一定的地质环境中形成的,随后又因经受各种地质作用而不断地发生变化。每一种矿物只是在一定的物理和化学条件下才是相对稳定的,当外界条件改变到一定程度后,矿物原来的成分、内部构造和性质就会发生变化而形成新的矿物。按照形成矿物的地质作用不同,矿物分为原生矿物、次生矿物和变质矿物三种成因类型。原生矿物是岩浆冷凝结晶形成的矿物,如橄榄石、云母、长石、石英等。次生矿物是原生矿物受到各种外力作用(如风化作用、沉积作用)后形成的矿物,如粘土矿物、方解石等。变质矿物是由变质作用形成的矿物,如红柱石、石榴子石等。

二、矿物的形态

矿物的形态是指矿物的外形特征,一般包括矿物单体及同种矿物集合体的形态。矿物形态受其内部构造、化学成分和生成时的环境制约。

(一) 矿物单体形态

1. 结晶质和非结晶质矿物

造岩矿物绝大部分是结晶质,其基本特点是组成矿物的元素质点(离子、原子或分子)在矿物内部按一定的规律重复排列,形成稳定的结晶格子构造(图 1-1)。具有结晶格子构造的矿物叫做结晶质。结晶质在生长过程中,若无外界条件限制、干扰,则可生成被若干天然平面所包围的固定几何形态。这种有固定几何形态的结晶质称为晶体,如岩盐呈立方体,水晶呈六方柱和六方锥等。在结晶质矿物中,还可根据肉眼能否分辨而分为显晶质和隐晶质两类。

非晶质矿物内部质点排列没有一定的规律性,所以外表就不具有固定的几何形态,例如蛋白石($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)、褐铁矿($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)等。非晶质可分为玻璃质和胶质两类。

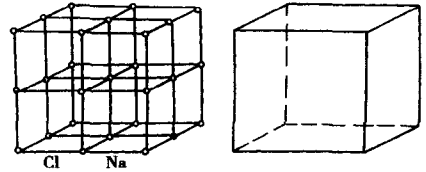


图 1-1 岩盐的晶体构造

2. 矿物的结晶习性

在相同条件下生长的同种晶粒,总是趋向于形成某种特定的晶形的特性叫做结晶习性。尽管矿物的晶体多种多样,但归纳起来,根据晶体在三度空间的发育程度不同,可分为以下三类。

(1) 一向延长:晶体沿一个方向特别发育,其余两个方向发育差,呈柱状、棒状、针状、纤维状等。

(2) 二向延长:晶体沿两个方向发育,呈板状、片状、鳞片状等。

(3) 三向延长:晶体在三度空间发育,呈等轴状、粒状等。

(二) 矿物集合体形态

同种矿物多个单体聚集在一起的整体就是矿物集合体。矿物集合体的形态取决于单体的形态和它们的集合方式。集合体按矿物结晶粒度大小进行分类,肉眼可辨认其颗粒的叫显晶质矿物集合体,肉眼不能辨认的则叫做隐晶质或非晶质矿物集合体。

显晶集合体形态有规则连生的双晶集合体,如接触双晶和穿插双晶以及不规则的粒状、块状、片状、板状、纤维状、针状、柱状、放射状、晶簇状等。

隐晶和胶态集合体可以由溶液直接沉积或由胶体沉积生成,主要形态有球状、土状、结核体、鲕状、豆状、分泌体、钟乳状、笋状集合体等。

三、矿物的物理性质

不同的矿物具有不同的化学成分和内部构造,因此,它们具有各不相同的物理性质。矿物的物理性质主要有颜色、条痕、透明度、光泽、硬度、解理及断口等。它们是鉴别矿物的主要特征。

(一) 颜色

颜色是矿物对不同波长可见光吸收程度不同的反映。它是矿物最明显、最直观的物理性质。按成色原因,有自色、他色、假色之分。自色是矿物本身固有的成分、结构所决定的矿物固有的颜色,颜色比较固定。自色具有鉴定意义,例如黄铁矿的浅铜黄色。他色是矿物混入了某些杂质所引起的,与矿物的本身性质无关。他色不固定,随杂质的不同而异。如纯净的石英晶体是无色透明的,混入杂质就呈紫色、玫瑰色、烟色。由于他色不固定,对鉴定矿物没有很大意义。假色是由于矿物内部的裂隙或表面的氧化薄膜对光的折射、散射所引起的,如方解石解理面上常出现的虹彩,斑铜矿表面常出现斑驳的蓝色和紫色。