



“十三五”普通高等教育本科规划教材

(第三版)

# 工程地质学

李相然 主编



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



“十三五”普通高等教育本科规划教材

(第三版)

# 工程地质学

主 编 李相然  
主 审 赵法锁



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 内 容 提 要

本书为“十三五”普通高等教育本科规划教材，全书共分四篇，第一篇工程地质基础知识，包括地质作用与地质年代、岩石与岩体的工程地质性质、地质构造及其对工程的影响、地形地貌、地下水及对工程建设的影响、对工程有害的不良地质现象；第二篇地基土工程地质特征，包括土的工程性质与野外鉴别、土的工程地质特征；第三篇工程地质问题分析，包括工程活动中的主要工程地质问题、不同类型工程的工程地质问题分析；第四篇岩土工程勘察，包括岩土工程勘察的要求、方法与内容，岩土工程勘察资料的整理、分析与使用。

本书可作为高等学校土木工程专业的教材，也适用于水利工程、港口工程、道路工程等专业，同时也可供工程地质、水文地质专业技术人员和广大土建工程设计和科研人员参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

工程地质学/李相然主编. —3 版. —北京: 中国电力出版社, 2018. 10

“十三五”普通高等教育本科规划教材

ISBN 978-7-5198-2305-4

I. ①工… II. ①李… III. ①工程地质—高等学校—教材 IV. ①P642

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 175849 号

---

出版发行: 中国电力出版社

地 址: 北京市东城区北京站西街 19 号 (邮政编码 100005)

网 址: <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑: 孙 静

责任校对: 黄 蓓 常燕昆

装帧设计: 赵姗姗

责任印制: 吴 迪

---

印 刷: 北京雁林吉兆印刷有限公司

版 次: 2006 年 2 月第一版 2018 年 10 月第三版

印 次: 2018 年 10 月北京第七次印刷

开 本: 787 毫米×1092 毫米 16 开本

印 张: 18.75

字 数: 455 千字

定 价: 56.00 元

---

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

# 前 言

土木工程的工作范围主要是在地表或地下。任何土木建筑工程都是以岩土作为地基或围岩，都离不开地质环境。实践证明，工程地质在工程建筑中的作用，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，以及管理的全部过程之中。土木工程设计和施工技术人员只有系统地掌握了工程地质的基本理论知识和技术方法，才能深入了解拟建场区地质条件与工程建筑活动之间的矛盾，正确地运用工程地质勘察的数据资料指导设计和施工，对各类土木工程建设中可能发生的由地质问题引起的安全隐患采取正确的防治措施，保证工程建设顺利完成、建（构）筑物安全使用。

《工程地质学》出版以来，受到各高校师生的重视和好评，使用效果良好，并获得山东省高等学校优秀教材称号。为了更好地适应高等学校应用型人才培养模式改革，努力培养既懂地质理论，又会分析和解决工程地质问题的高素质应用型人才，特对《工程地质学》作了一些修改和补充。修编后的《工程地质学》保持了第一版内容的系统性，适应大土木工程专业发展的需要；强化地质与工程的关系研究，重视工程地质条件对工程影响的分析；层次分明，概念清楚，便于学生学习，同时针对书中不合新规范之处一一做了调整，有些重复内容进行了删减，在教学过程中发现的少量不足之处进行了修改。

本书分四篇，分别是工程地质基础知识、地基土工程地质特征、工程地质问题分析、岩土工程勘察，共十二章，主要内容有：地质作用与地质年代，岩石与岩体的工程地质性质，地质构造及其对工程的影响，地形地貌，地下水及对工程建设的影响，对工程有害的不良地质现象，土的工程性质与野外鉴别，土的工程地质特征，工程活动中的主要工程地质问题，不同类型工程的工程地质问题分析，岩土工程勘察的要求、方法与内容，岩土工程勘察资料的整理、分析与使用。

本书由烟台大学李相然教授主编，长安大学赵法锁教授主审，编写人员都是山东省部分高校多年从事工程地质教学的教师，具体分工如下：绪论由烟台大学李相然编写，第一～三章由烟台大学李相然、吕永高编写，第四章由鲁东大学石云编写；第五章由鲁东大学朱建德编写，第六章由青岛理工大学章伟编写，第七章由烟台大学李相然编写，第八章由烟台大学时向东编写，第九、十章由烟台大学侯哲生编写，第十一、十二章由烟台大学孙淑贤编写。最后由李相然教授统稿。

衷心希望广大读者对本书提出批评意见和改进建议，以便进一步提高本书的质量。

编者

2018年7月

# 目 录

前言	
绪论	1
<b>第一篇 工程地质基础知识</b>	
<b>第一章 地质作用与地质年代</b>	5
本章提要与学习目标	5
第一节 地球的构造	5
第二节 内动力地质作用	6
第三节 外动力地质作用	20
第四节 地质年代	28
关键概念	30
思考题	30
<b>第二章 岩石与岩体的工程地质性质</b>	31
本章提要与学习目标	31
第一节 造岩矿物	31
第二节 岩石的分类与特征	34
第三节 岩石的工程地质性质	43
第四节 岩体的结构类型及其工程地质评价	50
关键概念	56
思考题	56
<b>第三章 地质构造及其对工程的影响</b>	57
本章提要与学习目标	57
第一节 水平构造、单斜构造与岩层产状	57
第二节 褶皱构造及与工程的关系	60
第三节 断裂构造及与工程的关系	64
第四节 不整合及与工程的关系	70
第五节 地质图的阅读与分析	71
关键概念	76
思考题	76
<b>第四章 地形地貌</b>	77
本章提要与学习目标	77
第一节 地貌单元的分级与分类	77

第二节 山岭地貌 .....	81
第三节 平原地貌 .....	85
第四节 河谷地貌 .....	86
关键概念 .....	91
思考题 .....	91
<b>第五章 地下水及对工程建设的影响</b> .....	92
本章提要与学习目标 .....	92
第一节 地下水的物理性质和化学成分 .....	93
第二节 地下水的基本类型与特征 .....	95
第三节 地下水运动的基本规律 .....	107
第四节 地下水对土木工程建设的影响 .....	109
关键概念 .....	116
思考题 .....	116
<b>第六章 对工程有害的不良地质现象</b> .....	117
本章提要与学习目标 .....	117
第一节 崩塌 .....	117
第二节 滑坡 .....	119
第三节 泥石流 .....	125
第四节 岩溶和土洞 .....	128
第五节 地面沉降与地面塌陷 .....	133
关键概念 .....	137
思考题 .....	137

## 第二篇 地基土工程地质特征

<b>第七章 土的工程性质与野外鉴别</b> .....	138
本章提要与学习目标 .....	138
第一节 土的形成 .....	138
第二节 土的组成 .....	140
第三节 土的物理性质及其指标 .....	146
第四节 土的力学性质及其指标 .....	156
第五节 地基土的工程分类与野外鉴别 .....	161
关键概念 .....	166
思考题 .....	166
计算题 .....	167
<b>第八章 土的工程地质特征</b> .....	168
本章提要与学习目标 .....	168
第一节 一般土的工程地质特征 .....	168
第二节 特殊土的工程地质特征 .....	170

关键概念	197
思考题	197

### 第三篇 工程地质问题分析

第九章 工程活动中的主要工程地质问题	198
本章提要与学习目标	198
第一节 与区域稳定性有关的工程地质问题	198
第二节 与斜坡岩(土)体稳定性有关的工程地质问题	211
第三节 与地下水渗流有关的工程地质问题	218
第四节 与侵蚀淤积有关的工程地质问题	221
关键概念	228
思考题	228
第十章 不同类型工程的工程地质问题分析	229
本章提要与学习目标	229
第一节 城市规划与建设中的工程地质问题	229
第二节 道路、桥基的工程地质问题	235
第三节 隧道、地下建筑的工程地质问题	239
第四节 水工建筑物的工程地质问题	245
第五节 港口与海岸工程的工程地质问题	251
关键概念	255
思考题	255

### 第四篇 岩土工程勘察

第十一章 岩土工程勘察的要求、方法与内容	256
本章提要与学习目标	256
第一节 岩土工程勘察任务与分级	256
第二节 岩土工程勘察阶段及基本要求	258
第三节 岩土工程勘察方法	262
关键概念	278
思考题	279
第十二章 岩土工程勘察资料的整理、分析与使用	280
本章提要与学习目标	280
第一节 岩土指标的统计整理方法	280
第二节 岩土工程勘察报告的内容及其编制	281
第三节 岩土工程勘察资料的分析与使用	286
关键概念	289
思考题	289
参考文献	290

## 绪 论

### 一、基本概念

#### 1. 工程地质学

工程地质学是一门介于地质学与土木工程学之间的应用地质学科,它是运用地质学的原理和方法,结合数理力学与土木工程学,分析解决与人类工程和生活活动有关的地质问题,即工程地质问题。也就是研究在工程建筑设计、施工和运营的实施过程中合理地处理和正确地使用自然地质条件和改造不良地质条件等地质问题。因此,工程地质学是为了解决地质条件与人类工程活动之间矛盾的一门实用性很强的学科。

#### 2. 工程地质条件

工程地质条件是与工程建筑有关的地质要素之综合,包括地形地貌条件、岩土类型及其工程地质性质、地质结构与地应力、水文地质条件、物理(自然地质现象)及天然建筑材料等六个要素。因此,工程地质条件是一个综合概念,在我们提到工程地质条件时,实际上是指上述六个要素的总体,而不是指任何单一要素,单独一两个要素不能称之为工程地质条件。

#### 3. 工程地质问题(作用)

工程地质问题(作用),是工程建筑与工程地质条件(地质环境)相互作用、相互制约而引起的,对建筑本身的顺利施工和正常运行或对周围环境可能产生影响的地质问题。这些工程地质问题包括三个大的方面:

(1) 地基在上部结构的荷载作用下所产生的大小不同的沉降变形问题。过量的或不均匀的沉降变形,会使建筑物发生裂缝、倾斜、坍塌,影响正常运用,甚至毁坏。

(2) 地基、斜坡或洞室围岩的稳定性问题。例如,水坝地基的承载能力或抗滑强度过小,便会发生坝基滑坡,危及坝体的安全和稳定;边坡开挖过缓,将大大增加开挖工程量,增加投资,过陡,便可能造成失稳破坏;隧道、地下厂房等工程,在开挖过程中或以后,破坏了地下岩体的原始平衡条件,有时也能增加新的荷载,其围岩便会出现一系列不稳定现象。对此,不给予可靠防治,便不能保障建筑物的正常运用。

(3) 渗漏问题。如水库、渠道及坝基的渗漏会造成水量的大量损失,使水库或输水建筑物不能达到预期的目的。

这种渗漏,有时还会影响地基、斜坡及围岩的稳定性。

除上述问题外,天然建筑材料的储量和质量以及其他一些问题,也是与工程建筑密切相关的问题。

#### 4. 建筑场地与地基

建筑场地是指工程建设所直接占有并直接使用的有限面积的土地,大体相当于厂区、居民点和自然村的区域范围的建筑物所在地。从工程勘察角度分析,场地的概念不仅代表着所划定的土地范围,还应涉及建筑物所处的工程地质环境与岩土体的稳定问题。在地震区建筑场地还应具有相近的反应谱特性。



任何建筑物都建造在土层或岩石上。土层受到建筑物的荷载作用就产生压缩变形。为了减少建筑物的下沉,保证其稳定性,必须将墙或柱与土层接触部分的断面尺寸适当扩大,以减少建筑物与土接触部分的压力。建筑物地面以下扩大的这一部分结构称为基础。由于承受由基础传来的建筑物荷载而使土层或岩层一定范围内原有应力状态发生改变的土层或岩层称为地基。地基在静动荷载作用下要发生变形,变形过大会危害建筑物的安全,当荷载超过地基承载力时,地基强度便遭到破坏而丧失稳定性,致使建筑物不能正常使用。地基是建筑物的根本,其稳定性好坏直接影响到建筑物的安危、经济和正常使用。由于基础工程是在地下或水下进行,施工难度大,在一般高层建筑中,其造价约占总造价的25%,工期占总工期的25%~30%。当需采用深基础或人工地基时,其造价和工期所占比例更大。地基基础工程还是隐蔽工程,一旦失事,不仅损失巨大,且补救十分困难。因此,地基与工程建筑物的关系更为直接、更为具体。

## 二、工程地质学的研究对象和任务

工程建设是在各种地质环境中进行的,人类工程活动与地质环境间的相互关系表现在如下两个方面:

第一,地质环境对工程活动的制约作用。地球上现有的工程建筑物,都建造于地壳表层一定的地质环境中。地质环境包括地壳表层以及深部的地质条件,它们以一定的作用方式影响工程建筑物。例如,地球内部构造活动导致的强烈地震,顷刻间可使较大地域内的各种建筑物和人类生命财产遭受毁灭性的损失;地壳表面的软弱土体不适应于某些工业与民用建筑物荷载的要求,需进行专门的地基处理;地质时期内形成的岩溶洞穴因严重渗漏,造成水库和水电站不能正常发挥效益,甚至完全丧失功能;大规模的崩塌、滑坡,因难于治理而使铁路改线;等等。各种制约作用,归结起来是从安全、经济和正常使用三个方面影响工程建筑物的。因此,作为一名工程师必须要认真研究建筑场址的地质环境,尤其是对工程建筑物有严重制约的地质作用和现象,必须进行详细、深入的研究。

第二,人类的各种工程活动,又反馈作用于地质环境。人类工程活动,会使自然地质条件发生变化,影响建筑物的稳定和正常使用,甚至威胁到人类的生活和生存环境。例如,滨海城市大量抽汲地下水所引起的地面沉降,造成海水入侵、市政交通设施丧失效用、地下水水质恶化等;大型水库的兴建,使河流上、下游大范围内水文和水文地质条件发生变化,引起库岸再造、库周浸没、库区淤积、诱发地震等问题,甚至使生态环境恶化。工程师应充分预计到一项工程的兴建,尤其是重大工程兴建对地质环境的影响,以便采取相应的对策。

由此可见,人类的工程活动与地质环境之间,处于相互联系又相互制约的矛盾之中。研究地质环境与人类工程活动之间的关系,促使两者之间的矛盾转化和解决,就成了工程地质学的基本任务。

实践证明,凡是重视工程地质工作,在工程建筑物兴建之前,对建筑地区进行了周密的调查研究,掌握了这些地区地质条件的规律性,则修建的工程建筑物是成功的。例如,有的地区利用当地石灰岩溶洞的分布发育规律,变不利为有益,建成了既经济又安全、既能蓄水灌溉又可发电的地下水库;有的河流上的坝区经受多次地壳运动,地质条件极为复杂,但经过深入缜密的工程地质工作,查明了地质条件,并据以采取必要的工程措施,建成高达100余米、库容几百亿立方米的大型重力坝,巍然屹立于峡谷之中。反之,任何忽视工程地质工作,或者孤立地、静止地对待建筑地区的地质问题,都将会给工程建设带来不同程度的恶

果,轻则延误工期、修改设计、增加投资;严重者,建筑物即使尚能保持稳定,但却不能正常运用或完全不能发挥效益;更甚者,建筑物建成后会突然破坏,对人民的生命财产造成巨大的损失和危害。这些情况在世界建筑史上的实例是非常多的:

1882~1912年经历32年开挖的巴拿马运河,由于多次山崩、滑坡,多花费了5年时间,加挖 $58 \times 10^6 \text{ m}^3$ 的土石方(占总开挖量的40%以上),仅停航损失就达10亿美元,而其原因是当时的工程单位没有听取法国地质学家的建议。

美国加利福尼亚州的圣弗朗西斯坝为一高70m的混凝土坝,修成蓄水两年,于1928年被冲垮。其原因是坝基部分存在泥质胶结并含有石膏脉的砾岩,遇水易受溶蚀崩解,成为坝基的弱点。如果做好地质工作,弱点是可以查清并予以妥善处理的。

我国有一座工厂修建得很好,但是由于工程地质勘察工作做得不够,整个工厂位于滑坡上,建厂后滑坡活动加剧,建筑物受到破坏,无法正常生产。

据不完全统计,一百多年以来,世界上仅水坝这一种建筑物的破坏事件,就发生了500多起,其中相当大的比率,是由于地质原因造成的。重力坝失事的原因中,由地质问题造成的占45%,洪水漫顶的占35%,其他水力及人为因素的占20%。

意大利的瓦依昂拱坝修建过程中,不理睬工程地质人员的多次建议,结果在1963年10月,水库左岸陡峭石灰岩山坡产生巨大规模的滑动崩塌,使 $1.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的库容全被填满,同时,库水漫坝,顺流冲下,造成3000多人死亡的严重事故。

法国南部瓦尔省莱茵河上的马尔巴塞薄拱坝(Malpasset Arch Dam)建于1952~1954年,1958年投入运转,坝高66.5m,总库容 $5200 \text{ m}^3$ 。坝区因有伟晶岩侵入的片麻岩构成,左岸片麻岩中尚夹有绢云母页岩,倾向下游,裂隙发育,有的张开并填充黏土,1959年12月,连日暴雨,水位猛涨,坝基负荷骤增,致使大坝左端滑动,坝体崩溃,洪流下泄,席卷数十公里。下游十公里处的福瑞捷斯城被冲为废墟,附近铁路、公路、供电和供水线路几乎全部破坏。据不完全统计,有387人死亡,100余人失踪,约200户居民遭受损害。

这些事例充分说明,建筑地区的工程地质研究是规划、设计和施工的基础;没有高质量的岩土工程勘察,不可能有合理的规划、设计和施工,也就不能保证建筑物经济合理、安全可靠和正常运用。

因此,任何类型工程和工程建设的任何阶段,都必须把建筑地区工程地质条件的调查、研究,并对其进行深入细致的论证和阐明,作为工程地质工作的首要任务,这是工程地质工作的基础。据此,才有可能较有效地完成以下有关工程地质工作的一些实际任务:

(1) 从工程地质观点即从工程建筑物与自然地质体相互制约的角度出发,选择地质条件较好的建筑场地和适宜的建筑形式。

(2) 在已选定的建筑场地及其周边,根据建筑形式、规模和特点,从分析工程地质条件入手,预测并论证有关工程地质问题发生的可能性及其发展规模和趋势。

(3) 建议改善、防治或利用建筑场地或环境中有关工程地质条件的措施方针。

(4) 提供工程规划、设计、施工所需要的工程地质资料。

### 三、工程地质学的研究方法

工程地质学的研究对象是复杂的地质体,所以其研究方法是地质分析法与力学分析法、工程类比法与实验法等的密切结合,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。

要查明建筑区工程地质条件的形成和发展,以及它在工程建筑物作用下的发展变化,首先必须以地质学和自然历史的观点分析研究周围其他自然因素和条件,了解在历史过程中对它的影响和制约程度,这样才有可能认识它形成的原因和预测其发展趋势和变化,这就是地质分析法,它是工程地质学基本研究方法,也是进一步定量分析评价的基础。

对工程建筑物的设计和运用的要求来说,只是定性的论证是不够的,还要求对一些工程地质问题进行定量预测和评价。在阐明主要工程地质问题形成机制的基础上,建立模型进行计算和预测。例如,地基稳定性分析、地面沉降量计算、地震液化可能性计算等。当地质条件十分复杂时,还可根据条件类似地区已有资料对研究区的问题进行定量预测,也就是采用类比法进行评价。

采用定量分析方法论证地质问题时,都需要采用实验测试方法,即通过室内或野外现场试验,取得所需要的岩土的物理性质、水理性质、力学性质数据。通过长期观测地质现象的发展速度也是常用的试验方法。

综合运用上述定性分析与定量分析方法,才能取得可靠的结论,对可能发生的工程地质问题制定出合理的防治对策。

#### 四、本课程的学习要求

本课程是土木工程专业的一门技术基础课,它结合我国自然地质条件和公路、桥梁与隧道、房屋建筑工程的特点,为学习专业和开展有关问题的科学研究提供必要的工程地质学的基础知识。通过本课程的学习,应达到如下要求:

(1) 掌握工程地质的基本理论及基本概念,了解各类地质现象和问题对建筑物和建筑场地的影响。

(2) 了解岩土工程勘察的基本内容、方法和程序,熟悉各种原位测试方法的适用性,能根据具体的工程情况正确提出工程地质勘察任务和要求。

(3) 能够分析、应用岩土工程勘察报告,了解各类工程地质参数的来源、作用和应用条件。能根据勘察成果,对工程地质问题进行分析,对不良地质现象采取正确处理措施,合理根据地质资料进行设计和施工。

# 第一篇 工程地质基础知识

## 第一章 地质作用与地质年代

### 本章提要与学习目标

大量的工程建筑都在地球的表层,地貌形态的千差万别都是各种内、外地质作用的结果。现在的地球外貌是经历漫长的地质历史发展、演变而成的。本章学习地球的构造、内动力地质作用、外动力地质作用和地质年代等地质学基础知识。

通过本章学习,要求了解地球的圈层构造,了解地壳运动的形式与特征;理解地震的概念,掌握地震的基本特征、强震地面破坏效应的类型、地震区抗震设计原则和建筑物防震、抗震措施;了解风化作用类型,掌握岩石风化程度划分和岩石风化的治理措施;了解河流地质作用、海洋地质作用、湖泊和沼泽的地质作用、风的地质作用、冰川的地质作用。

地壳自形成以来,一直处在不停地运动和变化之中,因而引起地壳构造和地表形态不断地发生演变。地质作用是由于自然动力所引起地壳物质组成、内部结构和地表形态变化与发展的作用。地质作用一方面不停息地破坏着地壳已有的矿物、岩石、地质构造和地表形态;另一方面又不断地形成新的岩石、矿物、地质构造和地表形态。各种地质作用既有破坏性,又有建设性。例如一条河流,流水对所流经的河谷和沿岸进行冲刷破坏,又把冲刷下来的泥沙、砾石、分散的有用矿物经过分选,在适宜场所堆积下来,最后形成沙滩、三角洲和各种沉积砂矿等。

地质作用按照产生的地质动力能的来源和发生作用的主要部位,可将地质作用分为内动力地质作用与外动力地质作用两大类。

### 第一节 地球的构造

地球是太阳系的一员,而太阳只不过是银河系中一颗普通恒星,地球是绕太阳转动的一颗普通的行星,是无限宇宙中的成员之一。

通过大地测量及地球卫星测量,有关地球的主要数据为: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  $10820 \times 10^8 \text{ km}^3$ 。

地球内部构造根据资料分析,从周边到中心是由化学成分、密度、压力、温度等不同的圈层所组成,具有同心圆状的圈层构造。根据对地震波在地下不同深度传播速度的分布的研究,地球内部的圈层构造可以分为三层,即地壳、地幔、地核(图 1-1)。

#### 一、地壳

地壳是指地表至莫霍面之间厚度极不一致的岩石圈的一

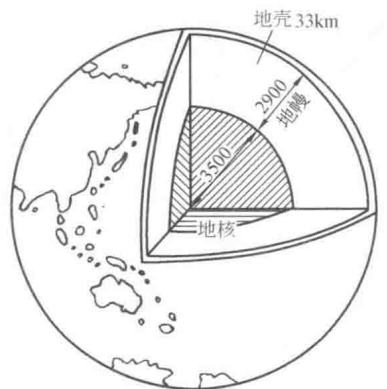


图 1-1 地球内部构造

部分。地壳下部,地震波的传播发生突变,说明那里存在着一个界面。南斯拉夫的地球物理学家莫霍洛维奇首先发现这个分界面,所以现在通称莫霍洛维奇面,简称莫霍面。应该指出,莫霍面虽是全球性的,但其深度在各处并不一致,在大陆下较深,约为20~70km,大洋底下平均为5~8km,因而各处地壳厚度不同,大陆地壳厚而大洋地壳薄。大陆地壳平均厚度为35km,我国的青藏高原,地壳厚度达70km左右。海洋地区平均只有6km,最薄的地方如南美洲海岸外的大西洋中的某些地方,厚度仅有1.6km。我国不同地区的地壳厚度的差异也很大,如北京为46km,广州为31km,拉萨为71km,兰州为53km,南京为32km。

工程活动常在地球表面进行,如工业与民用建筑一般在浅层(深几十米以内),地下工程有时深达几百米(如深埋隧道)至上千米,井巷工程则深达上千米,而油井的深度可达几千米,实际上活动在地壳的表层。

## 二、地幔

莫霍面以下,深度为35~2900km的圈层,就是地幔。地幔分上下两层。上地幔深度35~1000km,主要由橄榄岩质的超基性岩石组成。这层岩石比较软,是高温熔融的岩浆发源地,也称为软流层。下地幔深度1000~2900km,可能比上地幔含有更多的铁。

## 三、地核

地核分为两层,地表以下2900~4980km,称为外地核,据推测可能是液态的,主要由熔融的铁和镍的混合物组成,其中还包含少量的Si和S等轻元素。4980~5145km深处,是内外两层的过渡带。而5145km直到地心则为固体的内地核,据推测,组成内地核的物质的化学成分与铁陨石相似。

# 第二节 内动力地质作用

地球的旋转能、重力能和地球内部的热能、化学能等引起整个地壳物质成分、地壳内部构造、地表形态发生变化的地质作用称为内动力地质作用,它包括地壳运动、地震作用、岩浆作用和变质作用。

## 一、地壳运动

地壳运动主要指由于地球内部动力引起的地壳的机械运动。地壳运动使地壳发生变形和变位,促使岩浆运动和变质作用。

### (一) 地壳运动的形式

#### 1. 水平运动

水平运动指平行于地表,即沿地球切线方向运动。水平运动表现为岩石圈的水平挤压或开张,以及形成巨大褶皱山系和地堑、裂谷等。

现有水平运动的典型例子是美国西部的圣安德列斯断层。地质学家经过多年研究,一致认为它的形成大约在1000万年时间,断层西盘向西北方向移动了400~500km,现在仍在继续变形和位移。我国的郯庐大断裂也有过巨大的水平的错动。

#### 2. 垂直运动

垂直运动指垂直地表,即沿地球半径方向上升和下降运动。垂直运动的表现为大面积的上升运动和下降运动,形成大型的隆起和凹陷,产生海退和海侵现象。一般来说,升降运动比水平运动更为缓慢。

在同一个地区不同时期内，上升运动和下降运动常交替进行。最明显的例子是意大利那不勒斯湾的塞拉比斯庙废墟，在其残留的3根大理石柱（高12m）上记录了自公元前105年至1955年的地质遗迹，反映了两千多年的沧桑（火山运动、海陆变迁）（图1-2）。石柱上横线代表被火山灰覆盖部分；小点代表被海生动物钻孔部分。

同一时期内有的地区表现为垂直运动，另一些地区表现为水平运动；在同一地区、不同时期内，这段时期表现为上升运动，另一段时间又表现为下降或水平运动。

例如，对珠穆朗玛峰地区岩石的研究，发现这些岩石是古生代和中生代海洋中形成的，说明此区地壳在古生代和中生代时主要是缓慢的升降运动；而在中生代以后则发生了强烈的水平运动，形成了强烈的褶皱构造，同时使地壳上升了9000多米。

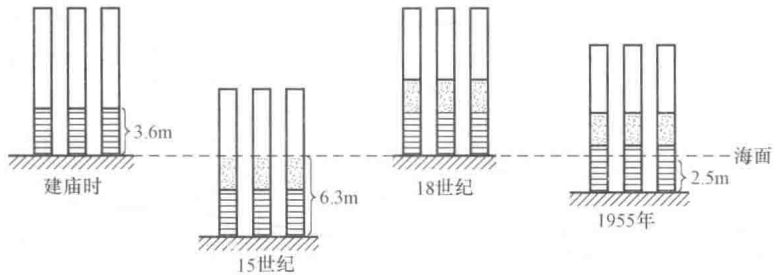


图1-2 三根大理石柱的升降变化示意图

对珠穆朗玛峰地区岩石的研究，发现这些岩石是古生代和中生代海洋中形成的，说明此区地壳在古生代和中生代时主要是缓慢的升降运动；而在中生代以后则发生了强烈的水平运动，形成了强烈的褶皱构造，同时使地壳上升了9000多米。

## （二）地壳运动的特征

根据现代和地质历史时期构造运动的研究，地壳运动有以下几个主要特征：

（1）地壳运动在方向上有垂直（升降）运动和水平运动两种。

（2）地壳运动的速度有快有慢。在同一时间内，不同地区表现的地壳运动速度大小不同，在同一地区的不同时间，其速度大小差异也很大。

（3）地壳运动的幅度有大有小，在同一时期内，有的地区构造运动的幅度大，有的幅度小；在同一地区，不同时间的幅度差别亦可能很大。

（4）地壳运动具有一定的周期性。在地质历史时期中，地壳运动强烈时期与地壳运动相对平静时期总是交替出现，从而具有明显的周期性。

## （三）研究地壳运动的意义

地壳运动及其产物地质构造在影响着地下水的储存、分布和运动。例如盆地构造和向斜构造常可形成自流水区，断裂带可增大岩石裂隙度，有利于地下水的储存；另一方面，也可破坏储水层面使之漏水。地质构造和活动构造还可影响到水和工程地基的稳定性，直接关系到工程的坚固性。

地壳运动对于工程建设基地（厂址、坝址、矿山、水库）的选择也很重要，特别对于现代地壳运动的情况要有明确了解，否则就会为国家建设带来严重损失。因此，在较大工程建筑设计、施工之前所进行的工程地质调查工作，必须进行周密的关于地壳运动和地质构造方面的专题研究。

## 二、地震作用

在地球发展过程中，地球各部分之间发生着某些相对运动，地震就是这些相对运动的一种，它是岩石圈内能逐渐积累而突然释放的结果，是一种内力地质作用。据统计，全球每年发生地震约500万次，但大部分是只有通过仪器才能觉察的小地震。人们能够直接感觉到的地震每年约5万~6万次，其中造成破坏性的地震每年约1000次，破坏严重的地震每年约100次。

## (一) 地震的概念与一般特征

### 1. 基本概念

地震 (earthquake), 是地壳的快速震动, 是地壳运动的一种特殊形式。地震作用过程向四外放出的弹性波, 叫做地震波。地震波发源的地方叫做震源 (earthquake focus)。

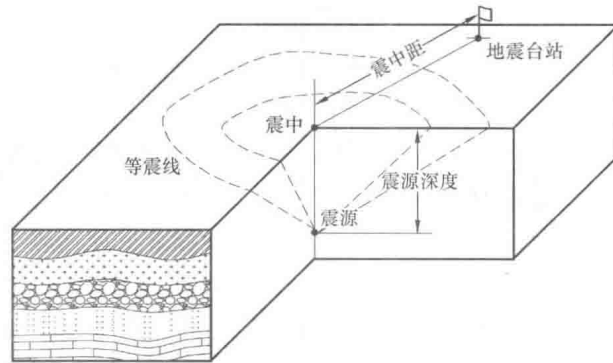


图 1-3 地震名词图示

震源方向上到地面的垂直投影, 叫做震中 (earthquake center)。震源和震中位于同一垂直线 (即地球半球) 上 (图 1-3)。震源和震中之间的距离, 叫做震源深度。据统计, 大多数地震是发生在距地表几十公里深的范围内, 不超过 100km。如 1976 年的唐山地震, 震源深度为 12km。通常将震源深度小于 70km 的叫浅源地震, 世界地震 95% 的属于这种; 深度为 70~300km 的叫中源地震; 大于 300km

的称为深源地震, 目前已知最大深度可达 720km。

### 2. 地震的类型

地震按其发生的原因可分为四类: 构造地震、火山地震、陷落地震和人工触发地震。

(1) 构造地震。构造地震 (tectonic earthquake) 是由于岩石圈的构造变形所造成地震。构造地震的特点是活动频繁、延续时间长、影响范围广、破坏性强。由于地壳运动引起的构造地震是地球上规模最大、数目最多的一类地震, 它约占全球地震的 90%, 常分布在地壳活动带及其附近。

(2) 火山地震。火山地震 (volcanic earthquake) 是由火山活动引起的, 其特点是震源较浅, 一般不超过 10km, 数量较少, 约占地震总数的 7%, 影响的范围较小, 主要集中于火山带, 而且一般是由于中性和酸性岩浆喷发的火山所引起的。

(3) 陷落地震。陷落地震 (collapse earthquake), 主要是重力作用下, 由于块体运动或地面、地下塌陷引起的。它主要发生于可溶性岩石分布地区, 矿井下面以及山区。陷落地震的震源很浅, 影响的范围小, 震级也不大, 因而传播不远。这种地震为数很小, 约占地震总数的 3%。

(4) 人工触发地震。人工触发地震是由于修建水库、人工爆炸、采矿、注水、抽水等一系列外界因素触发而引起的地震。人工触发地震的地震影响范围小, 破坏力也较小。

由于建造水库引起地震的问题, 近来很受注意, 因为它能达到较高的震级而造成地面的破坏, 进而危及水坝本身的安全。我国著名的水库地震发生于广东新丰江水库 (坝高 105m), 1959 年 10 月截流蓄水, 1960 年 8 月发电。该水库蓄水后一个月即有地震。随着水位上升, 坝及库区的有感地震也增多、加强, 震级也越来越高, 该水库蓄水后曾发生 6.1 级地震。

与深井注水有关的地震, 最典型的是美国科罗拉多州丹佛地区的例子, 该地一口排灌废水的深井 (3614m 深), 开始使用后不久, 就发生了地震。地震出现于深井附近, 当注水量加大时地震随之增加, 当注水量减少时地震随之减弱。其原因可能是注水后岩石抗剪强度降低, 导致破裂面重新滑动。地下核爆炸、大爆破均可能激发小的地震系列。

应该指出的是, 不是所有的水库、深井注水和大爆破都能引起地震, 外界的触发只是一

个条件,必须通过内在的原因而起作用。也就是说,只有在一定的构造条件和地层条件下加以激发时,才有可能有地震发生。

### 3. 地震波

地震时震源释放的应变能以弹性波的形式向四面八方传播,这就是地震波(earthquake wave)。地震波使地震具有巨大的破坏力,也使人们得以研究地球内部。地震波包括两种在介质内部传播的体波和两种限于界面附近传播的面波。

(1) 体波。体波(body wave)有纵波(longitudinal wave)与横波(transverse wave)两种类型。

纵波(P波)是由震源传出的压缩波,质点的振动方向与波的前进方向一致,一疏一密向前推进,所以又称疏密波,它周期短、振幅小。其传播速度是所有波当中最快的一个,震动的破坏力较小。

横波(S波)是由震源传出的剪切波,质点的振动方向与波的前进方向垂直,传播时介质体积不变,但形状改变,它周期较长、振幅较大。其传播速度较小,为纵波速度的0.5~0.6倍,但震动的破坏力较大。

(2) 面波。面波(surface wave)(L波),是体波达到界面后激发的次生波,只是沿着地球表面或地球内部的边界传播。面波向地面以下迅速消失。面波随着震源深度的增加而迅速减弱,震源愈深面波愈不发育。面波有瑞利波(Rayleigh wave)和勒夫波(Love wave)两种。

瑞利波(R波)在地面上滚动,质点在平行于波的传播方向的垂直平面内做椭圆运动,长轴垂直地面。勒夫波(Q波)在地面上做蛇形运动,质点在水平面内垂直于波的传播方向做水平振动。面波传播速度比体波慢。瑞利波波速近似为横波波速的0.9;勒夫波在层状介质界面传播,其波速介于上下两层介质横波速度之间。

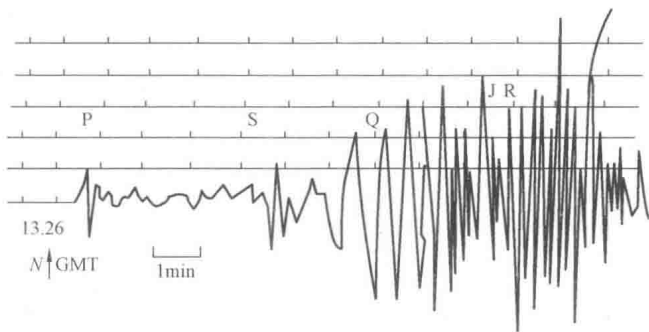


图 1-4 典型的地震波记录图或地震谱

一个地震波记录图或地震谱(图 1-4)最先记录的总是速度最快、振幅最小、周期最短的纵波,然后是横波,最后到达的是速度最慢、振幅最大、周期最长的面波。面波对地表的破坏力最大,自地表向下迅速减弱。面波还可区分出先到达的勒夫波和后达到的瑞利波。

一般情况下,横波和面波到达时振动最强烈。建筑物破坏通常是由横波和面波造成的。

### 4. 地震的震级与烈度

#### (1) 地震震级。

地震震级(magnitude),是表示地震本身大小的尺度,是由地震时震源释放出的能量大小决定的。释放的能量越大,则震级越大。因为一次地震所释放的能量是固定的,所以每次地震只有一个震级。

通过地震仪记录的地震波,测算出震源释放的能量,则可根据公式计算出震级来。常用的计算公式为里克特提出的经验公式:

$$\lg E = 11.8 + 5M \quad (1-1)$$



式中:  $E$  为地震的能量, 单位为尔格, 也就是厘米、克、秒制所表示的能量;  $M$  为地震的震级。  $M$  与  $E$  的关系见表 1-1。

表 1-1 地震震级与能量的关系表

$M$ (级)	$E$ (尔格)	$M$ (级)	$E$ (尔格)
1	$2.0 \times 10^{13}$	6	$6.3 \times 10^{20}$
2	$6.3 \times 10^{14}$	7	$2.0 \times 10^{22}$
3	$2.0 \times 10^{16}$	8	$6.3 \times 10^{23}$
4	$6.3 \times 10^{17}$	8.5	$3.6 \times 10^{24}$
5	$2.0 \times 10^{19}$		

## (2) 地震烈度。

### 1) 地震烈度的含义。

地震烈度是地震后受震地区地面影响和破坏的强烈程度。它的大小取决于地震发生时所释放的能量大小, 同时受震源深度、距震中的远近、震波传播的介质性质及岩土条件等影响。地震烈度可按地震最大加速度或地震系数来划分, 也可根据人的感觉、器物动态、建筑物损坏情况以及地表现象如山崩、地裂、滑坡等的表现来划分。在地震区建筑时, 地震烈度很重要, 应按照我国的地震烈度表确定 (表 1-2)。

表 1-2 中国地震烈度鉴定标准表

烈度	名称	加速度 ( $\text{cm/s}^2$ )	地震系数表 $K$	地震情况
I	无震感	$<0.25$	$<1/4000$	人不能感觉, 只有仪器可以记录
II	微震	$0.26 \sim 0.5$	$1/4000 \sim 1/2000$	少数在休息中极宁静的人感觉, 住在楼上者更容易
III	轻震	$0.6 \sim 1.0$	$1/2000 \sim 1/1000$	少数人感觉地动 (如有轻车从旁驶过), 不能立即断定是地震。震动来自的方向或继续时间, 有时约略可定
IV	弱震	$1.1 \sim 2.5$	$1/1000 \sim 1/400$	少数在室外的人和大多数在室内的人都感觉。家具等物有些摇动, 盘碗及窗户的玻璃震动有声, 屋梁天花板等咯咯作响, 缸里的水或敞开皿中的液体有些荡漾, 个别情形会惊醒睡着的人
V	次强震	$2.6 \sim 5.0$	$1/400 \sim 1/200$	差不多人人感觉, 树木摇晃, 如有风吹动, 房屋及室内物件全部震动, 并格格地响, 悬吊物如帘子、灯笼、电灯等来回摆动, 挂钟停摆或乱打, 器皿中的水满的溅出一些。窗户的玻璃出现裂纹, 睡觉的人被惊醒, 有些人惊慌逃到户外
VI	强震	$5.1 \sim 10.0$	$1/200 \sim 1/100$	人人感觉, 大都惊骇跑到户外, 缸里的水激动地荡漾, 架上书物都会落下来, 碗碟器皿打碎, 家具移动位置或翻倒, 墙上的灰泥发生裂缝, 坚固的庙堂房屋亦不免有些地方掉落了些泥灰, 不好的房屋受相当损伤, 但还是轻的
VII	损害震	$10.1 \sim 25.0$	$1/100 \sim 40$	室内陈设物品和家具损伤甚大, 池塘里腾起波浪并翻出浊泥, 河岸砂砾处有些崩塌, 井泉水位改变, 房屋有裂缝, 灰泥及雕塑装饰大量脱落, 烟囱破裂, 骨架建筑的隔墙亦有损伤, 不好的房屋严重损伤
VIII	破坏震	$25.1 \sim 50.0$	$1/40 \sim 1/20$	树木发生摇摆有时摧折, 重的家具物件移动很远或抛翻, 纪念碑或人像从座上扭转或倒下。建筑较坚固的房屋, 如庙宇亦被损, 墙壁间出现了裂缝或部分裂坏, 骨架建筑隔墙倾脱, 塔或工厂烟囱倒塌, 建筑特别好的烟囱顶部亦遭破坏。陡坡或潮湿的地方发生小小裂缝, 有些地方涌出泥水