

土木工程系列教材

工程地质学

第二版

主编 宿文姬 李子生
主审 李中林

华南理工大学出版社



土木工程系列教材

工程地质学

(第二版)

主编 宿文姬 李子生
参编 乔 兰 刘勇健 胡永强
主审 李中林

华南理工大学出版社

· 广州 ·

内 容 简 介

本书系统地阐述了工程地质学的基本原理、地质作用与地质环境的评价、工程地质勘察及各种工程地质评价,为土木工程专业学生提供了必要的工程地质学基础知识。

全书共分4篇11章,第1篇为工程地质基础知识,包括地质作用、矿物与岩石、地质构造、第四纪地质与地貌、地下水等内容;第2篇为岩土的工程地质特征,包括土的工程地质特征、岩石与岩体的工程地质特征等内容;第3篇为常见不良地质现象及工程地质环境评价,包括常见不良地质现象及其防治、工程地质环境评价等内容;第4篇为工程地质勘察,包括工程地质勘察方法、土木工程地质勘察等内容。全书内容丰富,深入浅出,循序渐进,重点突出,便于自学。

本书适于作高等学校土木工程专业的本科教材,也可供道路桥梁、地下工程、城市规划、水利水电建筑工程等有关专业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程地质学/宿文姬,李子生主编;乔兰,刘勇健,胡永强编. —2版. —广州:华南理工大学出版社,2006.8

(土木工程系列教材)

ISBN 7-5623-2484-0

I. 工… II. ①宿…②李…③乔…④刘…⑤胡… III. 工程地质-高等学校-教材
IV. P642

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第125188号

总发行:华南理工大学出版社(广州五山华南理工大学17号楼,邮编510640)

营销部电话:020-87113487 87111048(传真)

E-mail: scutc13@scut.edu.cn http://www.scutpress.com.cn

责任编辑:赖淑华 张树元

印刷者:广东省阳江市教育印务公司

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:17 字数:435千

版次:2006年8月第2版 2006年8月第5次印刷

印数:7501~10500册

定价:27.00元

版权所有 盗版必究

第二版前言

“工程地质学”是土木工程专业的一门重要的专业基础课。通过本课程的学习，学生能系统地掌握工程地质基础知识和理论，具有阅读一般地质图的能力；了解工程建设中的各种工程地质现象和问题对工程建筑设计、施工和使用各阶段的影响；能正确处理各种工程地质问题，并能进行初步分析评价；了解工程地质资料的获取方法，能正确提出工程地质勘察任务及要求，并运用勘察资料进行工程设计及指导施工。

为此，本书在编写过程中坚持内容体系的科学性与系统性，力求理论联系实际，在内容上反映工程地质学科的新理论、新成果，反映相关学科的新规范和新规定。遵循“内容充实、取材新颖、注重实用、便于自学”的原则，兼顾城市建筑、道路桥梁、地下工程、水利水电建筑工程等专业的要求，反映国内外本学科的发展现状，既重视理论概念的阐述，也注意强调地质与工程的结合，旨在使非工程地质专业学生在地质学及工程地质学的基本理论和实践方面获得收益。

与第一版比较，本次修订对各篇章的内容和次序进行了调整、增删和改写，删除了附篇的内容，增加了常用地质符号的内容，便于学生的读图分析。第二版由华南理工大学、北京科技大学、广东工业大学和广州大学的教师根据多年的教学经验修订而成，本书参考和引用了其他兄弟院校和专家的一些著作和教材，在此向原作者表示深深的谢意。

本书编写分工如下：绪论、第3章、第4章及附录由宿文姬编写（华南理工大学）；第1章、第5章由李子生编写（广东工业大学）；第6章、第7章由乔兰编写（北京科技大学）；第2章、第8章、第9章由胡永强编写（广州大学）；第10章、第11章由刘勇健编写（广东工业大学）。由宿文姬、李子生任主编，李中林主审，宿文姬统稿。

限于编者的水平，本书如有不当之处，恳请读者批评指正。

编者
2006年7月

第一版前言

本教材是依据教育部 1998 年 7 月颁发的《普通高等学校本科专业目录》中土木工程专业培养目标而编写的。

根据非工程地质专业的土木工程技术人员应具备的工程地质知识,本教材简要介绍了基础地质、岩土体工程地质性质的基本知识,重点介绍了工程地质勘察、工程地质环境评价及常见岩土工程问题的处理。由于土木工程的工程地质涉及范围很广泛,内容取舍既要注意本学科的系统性,还应力求反映当前国内外工程地质理论和实践的新成就。

本教材由北京科技大学、华南理工大学、中南工业大学、广东工业大学和南方冶金学院共同编写。书中第六章(第 2、3、4 节)、第七章、第十章(第 4 节)由北京科技大学乔兰编写;第五章、第九章(第 1、2、3、5 节)、第十章(第 1、2、3、5、6 节)由华南理工大学宿文姬编写;第二章、第三章(第 2、3、4、5 节)、第六章(第 1 节)由中南工业大学邹海洋编写;第十一章、第十五章由广东工业大学李子生编写;第十四章(第 1、2、3 节)由广东工业大学刘勇健编写;序、第一章、第三章(第 1 节)、第四章、第十二章、第十三章、附篇由南方冶金学院李中林编写;第八章、第九章(第 4 节)由南方冶金学院赵奎编写。李中林、李子生任主编。

全书由中国科学院地质研究所王思敬院士、许兵教授、丁恩保教授、王存玉教授审稿,他们在百忙中进行了认真的审阅,提出了许多宝贵的修改意见。在编写过程中得到参编院校和华南理工大学出版社有关领导的大力支持和帮助。为此,对他们表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中会有不少缺点、错误,诚恳希望读者批评指正。

编者

1999 年 6 月

目 录

绪论	1
思考题	4
第 1 篇 基础地质知识	
第 1 章 地质作用	5
1.1 内力地质作用	5
1.2 外力地质作用	8
1.3 内外力地质作用的相互关系	14
思考题	15
第 2 章 矿物与岩石	16
2.1 矿物	16
2.2 岩石	23
思考题	36
第 3 章 地质构造	37
3.1 概述	37
3.2 地质年代	38
3.3 岩层产状及其测定	43
3.4 褶皱构造	45
3.5 断裂构造	48
3.6 地质图及其阅读	58
思考题	63
第 4 章 第四纪地质与地貌	64
4.1 概述	64
4.2 第四纪地貌的分级与分类	66
4.3 山岭地貌	68
4.4 风化地貌	72
4.5 水成地貌	74
思考题	80
第 5 章 地下水	81
5.1 概述	81
5.2 地下水的物理性质和化学成分	83

5.3 地下水的类型及其特征·····	86
5.4 地下水的运动及其涌水量计算·····	92
5.5 地下水与工程建设·····	97
思考题·····	103
第 2 篇 岩土的工程地质特征	
第 6 章 土的工程地质特征·····	104
6.1 土的物质组成及物理力学性质·····	104
6.2 土的水理性质·····	112
6.3 土的工程地质分类·····	114
6.4 土的工程地质特征·····	118
思考题·····	124
第 7 章 岩石与岩体的工程地质特征·····	125
7.1 概述·····	125
7.2 岩石的工程地质性质·····	125
7.3 岩体的工程地质性质·····	135
7.4 岩石与岩体的工程分类·····	147
思考题·····	150
第 3 篇 不良地质现象及工程地质环境评价	
第 8 章 常见不良地质现象及其防治·····	151
8.1 概述·····	151
8.2 崩塌与滑坡·····	151
8.3 泥石流·····	161
8.4 岩溶·····	165
8.5 地震·····	172
思考题·····	180
第 9 章 工程地质环境评价·····	181
9.1 概述·····	181
9.2 地质体的赋存环境·····	181
9.3 工程地质环境评价·····	187
9.4 人类活动对工程地质环境的影响·····	190
思考题·····	195
第 4 篇 工程地质勘察	
第 10 章 工程地质勘察方法·····	196
10.1 概述·····	196
10.2 工程地质勘察方法·····	201

10.3 工程地质勘察资料的整理·····	220
思考题·····	230
第 11 章 土木工程地质勘察 ·····	231
11.1 城市规划与建设的工程地质勘察·····	231
11.2 工业与民用建筑的工程地质勘察·····	236
11.3 道路与桥梁的工程地质勘察·····	240
11.4 地下工程的工程地质勘察·····	245
11.5 水利水电建筑工程的工程地质勘察·····	248
11.6 港口工程的工程地质勘察·····	253
思考题·····	259
附录 常用地质符号 ·····	260
参考文献 ·····	263

绪 论

一、工程地质学的研究内容和任务

工程地质学是研究与工程建设有关的地质问题的一门学科，它研究人类工程建设活动与自然地质环境的相互关系，是地质学与工程紧密结合的应用性学科。

地球体的表层——地壳，是人类赖以生存的活动场所，同时也是一切工程建筑的物质基础。工程建筑都是在一定的地质环境中进行的，两者之间有密切的关系，并且是相互影响、相互制约的。一方面，表现为地质环境对工程建筑的制约作用，它可以影响到工程建筑的稳定和正常使用。例如，地球内部构造活动导致强烈地震，顷刻间使较大地域内的各种建筑物和人民生命财产遭受毁灭性的损失；地震烈度的大小限制了城市的发展规模；大规模的滑坡、崩塌因难以治理而迫使道路改线；软土地基不能适应工程建筑物荷载的要求需进行地基处理。另一方面，工程活动也会以各种方式影响地质环境，使自然地质条件发生恶化。例如，在城市过量抽取地下水引起地面沉降或地面塌陷，造成建筑、市政交通设施破坏和丧失效用；山区开挖深路堑时，有可能引起大规模的崩塌或滑坡；桥梁的修建改变了水流和泥砂的运动状态，使局部河段发生冲淤变形。

研究工程建设与地质环境两者之间的相互制约关系，促使矛盾转化和解决，既保证工程安全、经济、正常使用，又合理开发和利用地质环境，就成了工程地质学的基本任务。

工程地质工作是通过工程勘察来具体化的。具体来说，即通过地质调查测绘、勘探、试验、观测、理论分析等手段，查明建筑场地的工程地质条件，论证可能存在的工程地质问题，选择最佳的建筑场地，对不良的地质条件采取有效的工程措施，预测工程修建后对地质环境的影响，提出保证建筑工程的安全、经济和正常使用的合理建议。

1. 工程地质条件

工程地质条件即工程活动的地质环境，包括岩土类型及性质、地质构造、地形地貌、水文地质、不良地质现象和天然建筑材料等方面，是一个内容相当广泛的综合性概念。

2. 工程地质问题

这里指的是工程地质条件与工程建筑物之间所存在的矛盾或问题。工程地质条件是自然界客观存在的，它能否适应工程建设的需要，则一定要联系到工程建筑物的类型、结构和规模。不同类型、结构和规模的工程建筑物，由于工作方式和对地质体的负荷不同，对地质环境的要求是不同的。所以，工程地质问题是复杂多样的。例如：

- 工业与民用建筑的主要工程地质问题是地基承载力和变形问题；
- 高层建筑的主要工程地质问题是深基坑开挖支护和施工降水问题；
- 山区道路的主要工程地质问题是滑坡、崩塌、泥石流等边坡的稳定性问题；
- 平原区道路的主要工程地质问题是软基处理问题；
- 地下洞室的主要工程地质问题是围岩稳定性问题和承压水危害问题；
- 水利水电的主要工程地质问题是渗透稳定性和抗滑稳定性问题。

工程地质问题的分析、评价，是工程地质勘察工作的核心任务。对每一项工程的主要工程地质问题，必须作出定性的或定量的确切结论。

工程地质学由以下三个基本部分组成：

工程岩土学——研究岩土的工程地质性质及其在自然或人类活动影响下的变化规律；

工程地质分析——研究工程活动的主要工程地质问题产生的条件、力学机制及其发展演化规律，以便正确评价和有效防治它们的不良影响；

工程地质勘察——采用地质手段查明有关工程活动的地质因素及各种地质条件。

如果将地质环境比做一个机体，由于工程活动而引起机体产生各种变化，则工程岩土学所研究的对象可以比做生理研究，工程地质分析则可比做病理研究，而工程地质勘察相当于诊断研究。它们的研究对象各有侧重，构成工程地质学完整链条上的三个主要环节，如图 0-1 所示。

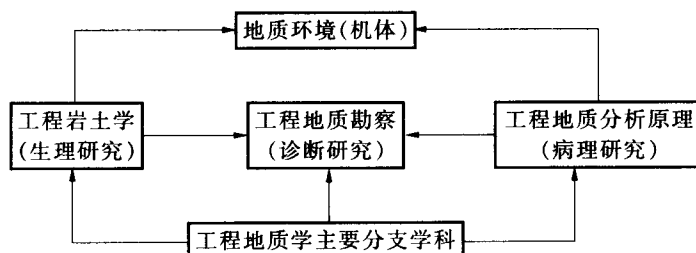


图 0-1 工程地质学主要分支学科及其作用

二、工程地质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，都修建在地表或地下，建筑场地工程地质条件的优劣直接影响到工程的设计方案类型、施工工期的长短和工程投资的大小。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。

大量工程实践经验证明，重视工程地质工作就能使设计、施工顺利进行，工程建筑的安全运营就有保证。相反，忽视工程地质工作，则会给工程带来不同程度的影响，轻则修改设计方案、增加投资、延误工期，重则使建筑物完全不能使用，甚至突然破坏，酿成灾害。国内外有很多工程失败的实例。

建筑工程的很多事故都是由于未经勘察，盲目进行设计、施工造成的。例如，南京东南大学太平北路 6 层教工住宅，施工前未做地质勘察，而是借用住宅北侧相隔仅 20 余 m 远已经建成的住宅楼的地质资料，结果在建成钢筋混凝土筏板基础后，发生整块板基断裂。事故发生后，停工补做勘察，发现板基断裂一侧地基中存在软弱淤泥层。经考古查明曾有一条铁路从此通过，路基坚实，但路基两侧排水沟因常年积水，沟底形成淤泥。板基横跨路基与排水沟，因土质软硬悬殊而断裂。

1880—1912 年经历了 32 年挖掘而成的巴拿马运河，由于发生多次山崩和滑坡，又多花费了 5 年时间，加挖土石方 40% 以上，停航损失达 10 亿美元。

据不完全统计，一百多年来，世界上仅水坝失事就发生了 500 多起，其中相当大的比

例是由于地质原因造成的。在失事的重力坝中,由地质问题造成的占45%,洪水漫坝顶的占35%,其他水力及人为因素的占20%。意大利的瓦依昂(Waiont)拱坝,坝高265m,是当时世界上最高的双曲拱坝。此坝在修建过程中,不重视工程地质人员的多次建议,结果在1963年10月9日,水库右岸陡峭山坡的石灰岩岩层因蓄水后失稳,产生巨大的滑动崩塌,岩体崩入库中,1.5亿 m^3 的库容全被填满。同时,库水漫坝,顺流冲下,造成2400多人死亡的严重事故。法国南部瓦尔省莱茵河上的马尔帕塞(Mal Passet)水坝建于1952—1954年,1958年投入运营,坝高66.5m,是世界上最薄的拱坝之一。由于坝基和坝肩的片麻岩岩体裂隙发育,有的张开并充填粘土,并且岩体中夹有倾向下流的绢云母页岩,构成软弱滑动面。1959年12月2日,由于连日暴雨使水库水位猛涨,左岸拱座滑动破坏,坝体崩溃,洪流下泄,席卷数十千米。下游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,387人死亡,100余人失踪,约200户居民遭到损害。

我国建国初期修建的宝成铁路,限于20世纪50年代初期的设计水平,对工程地质条件认识不足,致使线路的某些地段质量不高,给施工和运营带来了困难。宝成铁路上存在的路基冲刷、滑坡和泥石流问题给我们留下了深刻的教训。

工程地质勘察是工程设计和施工的基础工作。实践证明,没有高质量的工程地质勘察,就不可能制定与选择最优的设计和施工方案,就谈不上工程的经济与安全。工程技术人员只有具有扎实的工程地质知识,才能充分应用地质资料,正确分析主要工程地质问题,制定合理的规划和最优的设计方案,保证工程经济合理、施工顺利和运营安全。

三、工程地质学的学习方法和要求

本课程着重介绍土木工程专业所涉及的工程地质学基本知识,其主要内容包括:地质作用、矿物与岩石、土的成因类型以及特殊土、地质构造;地貌、地下水、岩石和岩体的工程地质性质;常见的地质灾害、工程地质勘察方法、各类土木工程中的地质问题等。不同的专业方向可根据需要选择有关章节学习。

工程地质学是土木工程专业的一门技术基础课,一般是在土力学、岩石力学、基础工程学等课程学习之前开设的。课程特点是内容广、概念多、实践性强,学习中要注意弄清概念,掌握分析方法,避免死记硬背,要理论联系实际,重在工程应用。

为了学好这门课程,应结合课堂教学学好有关矿物、岩石的实验课程,掌握常见矿物和岩石的肉眼鉴定方法,了解各类岩石的形成条件;安排短期的野外地质实习,参观勘探现场,以帮助了解地貌、地质构造及岩土类别,有条件时最好结合已有的地质图或工程进行具体分析,培养学生阅读地质图和分析地质条件的能力。积极采用多种媒体教学方法,配合有关地质科教片、幻灯片等直观教具,增加学生的感性认识,帮助学生尽快建立起地质的有关概念,引起学生对地质学的重视和兴趣是教学的成功所在。

土木工程专业学生学习本课程的要求是:

(1) 能阅读一般地质资料,根据地质资料在野外辨认常见的岩石和松散沉积物,了解其主要的工程性质;辨认基本的地质构造及明显的不良地质现象,了解其对工程建筑的影响。

(2) 系统掌握工程地质的基本理论和方法,根据工程地质勘察数据和资料,进行一般

的工程地质问题分析并提出处理措施。

(3) 把学到的工程地质学知识和土木专业知识紧密结合起来, 进行实际的工程设计与施工。

需要指出的是, 本课程的实践性很强, 除课堂讲授外, 实验、多媒体教学、野外教学实习等均是本课程的重要教学环节。特别是野外教学实习, 具有不可替代的重要作用, 若缺少或削弱了这一环节, 工程地质教学将是不完整的, 其效果必然降低。因此, 在制定本课程的教学大纲、教学计划时, 尤其应对野外教学实习给予足够的重视。

思 考 题

1. 土木工程地质学的研究内容和任务是什么?
2. 什么是工程地质条件和工程地质问题?
3. 说明工程地质在土木工程建设中的作用。
4. 何谓不良地质条件? 为什么不良地质条件会导致建筑工程事故?

第 1 篇 基础地质知识

第 1 章 地质作用

根据地球内部放射性同位素蜕变速度测定，地球从形成至今大约经历了 46 亿年。在这漫长的地质历史进程中，它一直处在不断运动之中，其成分和构造时刻都在变化着。过去的海洋经过长期的演变而成为陆地、高山；陆地上的岩石经过长期风吹、日晒、雨淋被逐渐破坏粉碎，脱离原岩而被流水携带到低洼处沉积下来，结果高山被夷为平地。海枯石烂、沧海桑田，地壳面貌不断改变，形成了今天的外形。由自然动力引起地壳物质组成、内部结构和地表形态变化和发展的自然作用，统称为地质作用。

有些地质作用进行得很快、很剧烈，如山崩、地震、火山喷发等，可以在瞬间发生，造成地质灾害。有些地质作用进行得十分缓慢，不易被人们所察觉。如，近百年中，荷兰海岸下降了 21cm，平均每年下降 2mm。我国喜马拉雅山的珠穆朗玛峰，近一百万年来，升高了约 3 000m，平均每年升高 3mm，这都是人们感觉不到的。也就是说，缓慢的地质变化过程，如果经历漫长的时间，也能引起地壳发生显著的变化。

地质作用按其动力能量的主要来源和作用部位的不同，可分为内力地质作用和外力地质作用两大类。

1.1 内力地质作用

内力地质作用简称为内力作用，是由地球转动能、重力能和放射性元素蜕变的热能等所引起，主要是在地壳或地幔中进行。内力地质作用包括地壳运动、岩浆作用、变质作用和地震作用等。

1.1.1 地壳运动

由地球自转速度的改变等原因，使得组成地壳的物质不断运动，并改变它的相对位置和内部构造的过程，称为地壳运动（又称构造运动）。它是内力地质作用的一种重要形式，也是改变地壳面貌的主导作用。

按地壳运动的作用方向，可分为升降运动和水平运动。

1. 升降运动

升降运动是地壳演化过程中表现得较为缓慢的一种运动形式。地壳历经几度海陆变

迁, 当今全球仍有不少地区在缓慢上升或下降。例如, 芬兰南部海岸以每年 1~4mm 的速度上升; 丹麦西部海岸则以每年 1mm 的速度下降; 我国西沙群岛的珊瑚礁, 现已高出海面 15m, 本来珊瑚礁是在海水深 0~80m 内生长的, 这说明西沙群岛近期是处于缓慢上升的。在同一地质时期内, 地壳在某一地区表现为上升隆起, 而在相邻地区则表现为下降沉陷。隆起区与沉降区相间分布, 此起彼伏、相互更替。

地壳的升降运动, 对地壳表层沉积岩的形成有很大影响, 不仅控制了沉积岩物质成分的来源和性质, 同时也影响沉积岩的厚度和空间分布。因此地壳上升形成的隆起区, 是生成沉积岩物质成分的供给区; 地壳下降形成的凹陷区, 是沉积物堆积并转化为沉积岩的场所。

2. 水平运动

水平运动是地壳演变过程中表现得较为强烈的一种运动形式。一般认为, 水平运动是形成地壳表层各种地质构造形态的主要原因。地球是一个旋转着的椭球体, 当其旋转时, 产生巨大的离心力, 它和地球的重力都在对地壳起作用, 它们相互抵消后, 还产生一种指向赤道的水平方向的挤压力。当地球自转角速度变化时, 产生一种与变化方向相反的力, 称惯性力。所有这些力都在对地壳施加影响, 且地壳各圈层的物质成分及其物理化学状态等都存在着差异。水平运动使地壳岩石受到挤压、拖曳、旋扭等, 从而使地壳岩层发生强烈的褶皱和断裂, 形成不同的地质构造形态。

地壳运动在空间、时间上的发展是不均衡的。在同一地质时期, 不同地区地壳运动的方式和强度不同。有的地区运动强度大, 称为活动区; 有的地区运动强度小, 称为稳定区。在同一地区, 不同地质时期地壳运动的方式和强度亦不同。有时表现为比较稳定状态的长期缓慢运动, 有时表现为比较活跃状态的急速剧烈运动。在漫长的地质历史中, 地壳运动有一定的规律性, 总是由长期缓慢运动转化为急速剧烈运动, 使地壳发展历史显示一定的阶段性。总之, 地壳运动使岩层受到强烈的挤压、拉伸和扭转, 形成一系列褶皱带和断裂带, 并在地壳表面造成大规模的隆起区和沉降区, 形成大陆、高原、山岭、海洋、平原、盆地等高低起伏的构造地貌, 并促使地表不断发生海陆变迁的演变和全球气候的变化。此外, 地壳运动还促进岩浆作用、变质作用和地震作用的发展演化。因此, 地壳运动是地壳发展演变的主导因素, 是最主要的内力地质作用。

1.1.2 岩浆作用

岩浆是地壳深处或地幔上部的一种富含挥发性物质、处于高温高压状态的粘稠硅酸盐熔融体, 其中含有一些金属硫化物和氧化物。岩浆的化学成分以 O、Si、Al、Fe、Ca、Na、Mg、K、H 等为主, 通常以 SiO_2 、 Al_2O_3 等氧化物形式表现。 SiO_2 是岩浆中含量最多的组分, 根据 SiO_2 含量的不同, 可分为酸性岩浆和基性岩浆。岩浆中所含的挥发性组分以 H_2O 为主, 此外还有 CO_2 、 SO_2 、 H_2S 等。

在地壳运动的影响下, 由于外部压力的变化, 岩浆向压力减小的方向移动, 上升到地壳上部或喷出地表冷却凝固成为岩石的全过程, 统称为岩浆作用。由岩浆作用形成的岩石, 叫岩浆岩。岩浆作用有两种方式:

1. 喷出作用

地下深处的岩浆直接冲破地壳喷射或溢流出地面冷却成岩石的过程, 称为喷出作用,

也称火山作用。火山喷发时，一般情况下是先有大量的气体、固体物质喷射到天空，引起雷电交错、狂风暴雨，并伴有地鸣、地震现象，接着喷溢出大量的岩浆，随后慢慢停熄而趋于平静。

岩浆喷出时有液体、固体、气体三种物质。气体组分主要来自地下的岩浆，部分为岩浆上升过程中与围岩作用产生，主要是水蒸气，占60%~90%；其次是CO₂、CO、SO₂、NH₃、NH₄、HCl、HF、H₂S、Cl、S、N等。液态物质称熔岩流，是岩浆喷出地表后，损失了大部分气体而形成的，其成分与岩浆类似，亦可根据SiO₂含量多少分为基性熔岩和酸性熔岩。固体物质是由熔岩喷射到空中冷却凝固或火山周围岩石被炸碎而形成的碎屑物质，故称火山碎屑物。由熔岩和碎屑物堆积形成特有的火山地貌，其形成和发展受到岩浆作用的影响。

通常把人类历史有过喷发记载且至今正在活动的火山叫活火山。人类历史中无喷发记载的火山叫死火山。人类历史中有过记载而现在停止活动的火山叫休眠火山。例如，我国黑龙江省德都县五大连池火山，是1719—1721年间先后数次喷发而形成的，至今处于休眠状态。

2. 侵入作用

岩浆从地下深处沿各种软弱带上升，往往由于热力和上升力量的不足，或因通道受阻，不能到达地表，只能侵入到地下一定深度冷凝成岩石，这一过程称为侵入作用，所形成的岩浆岩称为侵入岩。岩浆在侵入过程中，可以在不同深度下凝固。在地壳不太深处冷凝形成的称为浅成侵入岩，在地下深处冷凝形成的称为深成侵入岩。

由于岩浆岩形成深度不同，直接影响到岩浆冷凝时温度的高低、压力的大小、冷凝速度的快慢以及对挥发物质的散失等。因此，喷出岩、浅成侵入岩、深成侵入岩三种岩浆岩的成分、结构和构造等都有明显的差别（详见表2-3）。

1.1.3 变质作用

在地壳演变过程中，地下一定深度的岩石受到高温、高压及化学成分加入的影响，在固体状态下，发生一系列变化，形成新的岩石，这一过程称为变质作用。由变质作用形成的岩石叫变质岩。

1.1.3.1 影响变质作用的因素

影响变质作用的主要因素为温度、压力和化学成分的增加。

①温度 温度是岩石产生变质作用的基本因素。温度增高，大大增强了岩石中矿物分子运动的速度和化学活动性，使矿物在固态条件下发生重结晶作用，重新组合形成新矿物。地下温度增高，是由地热、岩浆热和动力热引起的。

②压力 地壳某一深处的压力，由静压力和动压力组成，静压力是上覆岩层对下伏岩层的压力，随深度而增加，其结果使岩石体积缩小，密度增大。而动压力是由地壳运动而产生的，具有一定的方向性，可以使岩石破裂、变形或发生塑性流动。

③化学成分的加入 主要是岩浆分化出来的气体和液体与围岩发生交代作用，生成新的矿物，如岩浆中的F、Cl、B、P等成分与围岩发生化学反应生成萤石、电气石、方柱石和磷灰石等。

上述三种影响变质作用的因素不是孤立的。如地壳运动除了产生动压力外，还将动能

转化为热能。地壳运动又常伴有岩浆活动，而引起新的化学成分的加入，并带来大量的岩浆热。

1.1.3.2 变质作用的类型

根据引起变质作用的基本因素，可将变质作用分为三个类型：

①接触变质作用 是指岩浆侵入到围岩中，由于岩浆的热力与其分化出来的气体和液体，使围岩发生变质。因此，引起接触变质作用的主要因素是温度和化学成分的加入。前者表现为重结晶作用，如砂岩变成石英岩、石灰岩变成大理岩等。后者则是岩浆分化出来的气体和液体渗入到围岩裂隙或孔隙中，发生交代作用，如石灰岩变成矽卡岩等。

②动力变质作用 因地壳运动而产生的局部应力使岩石变形和破碎，但成分上很少发生变化。动力变质作用主要影响因素是压力，温度次之。大的动压力使岩石破裂而形成断层角砾岩和糜棱岩等；同时，矿物也发生重结晶现象。动力变质作用多发生在地壳浅处，且常见于较坚硬的脆性岩石中。

③区域变质作用 区域变质作用通常在大的区域范围内发生，是一种与强烈地壳运动密切相关的变质作用。其深度由几千米至几十千米，压力为 10kPa 以上，除了静压力外，还与由地壳运动引起的动压力叠加；温度为 150~900℃，热量来源主要有地幔上升的热流、局部的动力热和岩浆热。

因此，区域变质作用是地壳深处的岩石在高温高压下发生的变化，并有外来化学组成的加入的影响，是各种因素的综合。所形成的变质多具片理构造，如片岩等。

1.1.4 地震作用

地震是地壳快速振动的现象，是地壳运动的一种强烈表现。火山喷发可引起火山地震，地下溶洞或地下采空区的塌陷可引起陷落地震，山崩、陨石坠落等也可引起地震。但这些地震规模小，且影响范围也小。而绝大多数地震是由地壳运动造成的，称构造地震。地壳内各部分岩石都受到一定的力（即地应力）的作用，地应力作用未超过岩石弹性极限时，岩石产生弹性变形，并把能量积蓄起来；当地应力作用超过地壳内某处岩石强度极限时，就会发生破裂，或使原有的破碎带重新活动，所积蓄的能量突然急剧地释放出来，并以弹性波的形式向四周传播，从而引起地壳振动，产生震撼山岳的地震。可见地震是一种自然现象，是由地应力引起岩石积蓄能量和急剧释放能量的地质作用。

构造地震活动频繁、影响范围大、破坏性强，对人类生存造成巨大的危害。全球每年约发生 500 万次地震，绝大多数属于微震，有感地震约 5 万次，造成严重破坏的地震约十几次。1960 年 5 月 22 日智利发生了全球最大的一次地震（8.9 级），灾情极为严重，由地震引起的特大海啸浪高 20m，海啸横穿太平洋，5 月 24 日到达日本东海岸，浪高 4~7m，伤亡数百人，沉船 109 艘。

地震发生时，不仅使地壳内部的岩层发生褶曲、断裂、地面隆起和陷落，而且地表还可能出现滑坡、山崩或使河流改道等不良地质现象。

1.2 外力地质作用

由地球范围以外的能源所引起的地质作用称为外力地质作用。它的能源主要来自太阳辐

射能以及太阳和月球的引力等。其作用方式有风化、剥蚀、搬运、沉积和成岩。外力地质作用的总趋势是削高补低，使地面趋于平坦。各类土层和沉积岩就是外力地质作用的产物。

1.2.1 风化作用

组成地壳的岩石，由于温度的变化，大气、水溶液和生物的作用，使之在原地发生物理、化学变化的现象，称为风化作用。按其性质和因素不同可分为三种类型：

1. 物理风化作用

岩石只发生机械破坏而不改变其化学成分的风化作用，称为物理风化作用。这种作用使完整的岩石，逐渐破碎成块或疏松的碎屑。按其进行的方式又可归纳为三种：

①剥离——热胀与冷缩 剥离是指岩石内部受热力作用而产生的机械破碎，也称为热力风化。因岩石为热的不良导体，在太阳辐射热的影响下，表层随气温升降产生体积胀缩不一，导致岩石呈层状脱落、剥离现象。又因组成岩石的不同矿物，受热后的膨胀系数不同，而使矿物颗粒之间因胀缩不一致，致使彼此剥离成为松散的颗粒，球形风化就是由这种作用形成的。

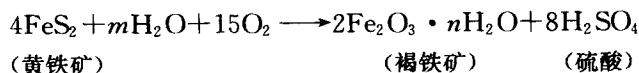
②冰劈——冻结与融化 在高纬度高寒地区，因季节性或昼夜的温差变化，使岩层裂隙和孔隙中的水在气温降到 0°C 时，冻结成冰，其体积增大，对周围岩壁产生的胀压力，使岩石被胀破或使其裂隙扩大，以致产生崩裂。

③晶胀——结晶与潮解 在降水量少、蒸发剧烈的干旱或半干旱地区，渗透到岩土裂隙中的水，往往溶解了一些盐类物质。当白天受到烈日烤晒，水分不断被蒸发时，裂隙中的盐分增多。当其溶液中浓度达到饱和时，盐类物质便要结晶，体积增大产生晶面胀压力，使岩土裂隙扩大或胀裂成碎块（如明矾从过饱和溶液中结晶时，体积增大 0.5% ，晶面胀压力可达 4MPa ）。夜间气温降低，结晶盐类物质又从大气中吸收水分重新变成盐溶液，即潮解，于是体积缩小，再次吸取含盐类溶液来填充裂隙，使之不断扩大，最终导致岩土胀裂。

2. 化学风化作用

岩石在大气和水溶液的影响下，发生化学反应而使岩石和矿物受到破坏的过程，称为化学风化作用。化学风化区别于物理风化的特点是，使原来岩石的组成矿物发生分解，生成新的矿物。按其进行方式可分为以下几种：

①氧化作用 氧化是化学风化中极为普遍的方式，尤其是在水的参与下，显得更为强烈。通常把地壳表层、地下水位之上能进行氧化作用的范围，称为氧化带。现以黄铁矿的氧化过程为例，其化学方程式为：



(黄铁矿)

(褐铁矿)

(硫酸)

②溶解作用 矿物质与水溶剂发生反应生成溶液的过程，称为溶解作用。矿物质溶解度的大小除决定于本身的特性外，还与温度、压力及水溶液的性质等条件有关，物质的溶解度随温度和压力的不同而不同。自然界没有纯水，当水中含有 CO_2 或其它酸类时，可增强对物质的溶解能力。以石灰岩为例，其化学方程式为：



(方解石)

(重碳酸钙)