

黄河水利学校主编

水利出版社

水利水电工程地质学

水利水电工程地质学

黄河水利学校主编

水利出版社

内 容 简 介

本书分三篇，共十章。第一篇论述地基岩石工程地质性质、岩体结构特征及岩体工程地质属性。第二篇论证区域稳定、坝基稳定、岩质斜坡稳定及隧洞围岩稳定等问题。第三篇阐述工程地质勘察方法、水利水电和火电的工程地质勘察及天然建筑材料普查与勘探。

本书力图反映水利水电工程地质学的当前水平，采用了新资料，引进了新观点，以做为中等专业学校“工程地质与水文地质”专业《水利水电工程地质学》教材，也可供水文地质、工程地质及其他有关技术人员和有关院校师生的参考。

水利电力工程地质学

黄河水利学校

*

水利出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 21 $\frac{3}{4}$ 印张 495千字

1980年10月第一版 1980年10月北京第一次印刷

印数 0001—5110册 定价 2.45元

书号 15047·4065

前 言

本书是根据《1978~1979年水利电力类中等专业学校教材编审出版规划》组织编写的，适用于中等专业学校“工程地质与水文地质”专业，并可供其他有关专业的师生及技术人员参考。

本书根据教学计划对本课程的要求编写。全书分为三篇，共十章。第一篇论述地基岩石工程地质性质、岩体结构特征及岩体工程地质属性。第二篇论证区域稳定、坝基稳定、斜坡稳定及隧洞围岩稳定等问题。第三篇叙述工程地质勘察方法、水利水电与火电的工程地质勘察及天然建筑材料勘察。

本书绪论及第一篇（共两章）的第一、二章由陕西省水利学校胡广韬编写；第二篇（共四章）的第三章由四川省水利电力学校王义平编写，第四、六章由四川省水利电力学校袁振棠编写，第五章由四川省水利电力学校段士腾编写；第三篇（共四章）第七章由黄河水利学校刘俊德、杨长淮编写，第八、十章由杨长淮编写，第九章由湖北省电力学校戴诗森编写。全书由黄河水利学校杨长淮主编，黄河水利学校余志秀、高凤山参加了汇编工作。全书由陕西省水利学校胡广韬主审，四川省水利电力学校袁振棠参加了审稿工作。

本书承蒙黄委会科学研究所袁澄文、黄委会勘测设计院田嘉玺、黄委会物探队王绍甫和楚庆广、湖南省水电勘测设计院金德濂、河南省水利局勘测设计院王天佑，以及其他参加审稿会议的代表，提出了许多宝贵的修改意见。在此深表谢意。

对本书存在的缺点和错误，诚恳希望读者给予批评指正。

编 者

1979.12

目 录

前 言

绪 论	1
-----------	---

第一篇 岩石、岩体工程地质性质

第一章 岩石工程地质性质	8
第一节 岩石的物质组成和结构、构造	8
第二节 岩石的物理性质及水理性质	20
第三节 岩石的力学性质	27
第四节 岩石风化与岩石工程地质性质的关系	45
第五节 岩石工程地质评述	50
第二章 岩体工程地质特征	58
第一节 岩体结构	58
第二节 岩体的力学属性	91

第二篇 水利电力工程主要工程地质问题的分析

第三章 区域稳定性分析	109
第一节 地应力	109
第二节 地震对建筑物的影响	115
第三节 地基的地震效应	117
第四节 水库地震	123
第五节 研究区域稳定性的基本工作	127
第四章 坝基稳定性分析	130
第一节 坝基变形与容许承载力	133
第二节 坝基(肩)岩体滑移稳定性分析	134
第三节 坝基渗透稳定	148
第四节 坝基处理	155
第五章 岩质斜坡稳定性分析	165
第一节 斜坡岩体应力分布特征	165
第二节 斜坡岩体的变形和破坏	169
第三节 自然营力对斜坡稳定性的影响	180
第四节 斜坡稳定性分析	183
第五节 保护斜坡稳定性的措施	209
第六章 隧洞围岩稳定性分析	214
第一节 隧洞围岩应力与破坏	215

第二节 隧洞围岩稳定的地质分析	220
第三节 山岩压力	224
第四节 隧洞围岩的承载能力	233
第五节 提高隧洞围岩稳定性的措施	241

第三篇 水利电力工程地质勘察

第七章 工程地质勘察方法	245
第一节 工程地质测绘	246
第二节 工程地质勘探	253
第三节 工程地质试验	268
第四节 工程地质长期观测	276
第五节 工程地质内业整理	278
第八章 水利水电工程地质勘察	285
第一节 水库地区工程地质勘察	286
第二节 水利枢纽地区工程地质勘察	301
第三节 渠道工程地质勘察	313
第九章 火力发电工程地质勘察	317
第一节 火力发电工程地质勘察基本知识	317
第二节 厂区工程地质勘察	319
第三节 变电所址工程地质勘察	329
第四节 高压输电线路工程地质勘察	331
第十章 天然建筑材料勘察	336
第一节 天然建筑材料勘察阶段及要求	336
第二节 天然建筑材料储量计算	340
参考文献	342
附图一 清水河水库库区综合地质图(插图)	
附图二 清水河水库梅村坝址区工程地质图(插图)	
附图三 梅村坝址第一坝轴线专门性工程地质剖面图(插图)	

绪 论

工程地质学是地质科学的一个分支，是研究与工程设计、施工和运用有关的地质问题的科学。它在经济建设和国防建设中应用非常广泛，如水利水电建设、工业及民用建筑、铁路交通、矿山开采及国防工程等。水利电力工程地质学主要研究与水利水电和火力发电建设的设计、施工及运用有关的地质问题。

运动是物质的存在方式。做为工程建筑物的地基、环境和材料的地壳，总是在内外地质作用和人类活动等因素的影响下，不断地发展变化着；这种发展和变化，有时会很剧烈、很迅速。因此，在修建工程建筑物时，不仅要正确认识建筑物修建之前的地质环境，还必须预测建筑物修建之后改变了的地质环境，由于各种自然因素和人为因素的作用，可能出现新的地质问题。据此，去避免、减少或根本改变这些地质问题的不良影响，或者充分利用其有益方面，以保障工程建设达到既经济合理又安全可靠的目的。

大量实践证明，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多数是成功的。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。仅河床部分就分布有两个方向上的17条大断层；断层交叉处破碎带最宽可达50米，并由块状构造岩和糜棱岩组成。糜棱岩中有的含叶蜡石，力学强度极低，遇水后又易崩解。但经过深入慎密的工程地质工作，查明了这里复杂的地质条件，并据以采取必要的工程措施，修建了一座库容近300亿立方米，坝高达100余米的大型重力坝，在工业生产和国防建设中发挥了巨大的作用。反之，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，都将会给工程建设事业带来不同程度的恶果。轻则延误工期，修改设计，增加投资，造成浪费。重者，建筑物不能正常运用或完全不能发挥效益；更甚者，建筑物建成之后突然发生破坏，溃决失事，对人民的生命财产造成难以估计的损失。这些情况，在世界建筑史上的实例是非常之多的。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。其中相当大比率的破坏事件，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%。意大利的瓦依昂特拱坝在修建过程中，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坍，使1.5亿立方米的库容全被填满；同时，库水漫坝，顺流冲下，造成3000多人死亡的严重事故。美国加利福尼亚的圣弗兰西斯坝，坝基中含粘土石膏胶结的红色砂砾岩被水浸润软化和溶解，引起大坝滑移溃决。西班牙的蒙特-哈克水库，由于通过石灰岩溶洞地带漏水，致使水库无法蓄满。我国也有水库失事的教训。这些都充分说明，工程建筑地区的工程地质研究是设计和施工的基础；没有高质量的工程地质勘察，就不可能有合理的设计和施工，

也不能保证建筑物经济合理、安全可靠和正常运用。

影响工程建筑的经济合理、安全可靠及正常运用，最直接的便是在工程建筑地区可能出现的工程地质问题（作用），即自然地质条件在工程建筑物的影响下所发生的一些新的变化和发展，它是在工程的施工或运用期间发生的地质作用或问题。所以，在工程建筑物修建和运用之前，便应给予预测、论证，并提出防治措施。这些工程地质问题总括起来不外三个方面。首先是地基在上部结构的荷载作用下所产生的大小不同的沉陷变形问题。过量的或不均匀的沉陷变形，会使建筑物发生裂缝、倾斜、坍塌，影响正常运用，甚至毁坏。其次是地基、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较小，便会发生坝基滑动问题，危及坝体的安全和稳定。开挖边坡，太缓将大大增加开挖工程量，提高投资，造成浪费；过陡便可能失却稳定性，发生滑坍事故，延误工期。隧洞、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，便很难保障建筑物的正常运用。第三方面，是渗漏问题，如水库、渠道及坝基的渗漏，会造成水量的大量损失，使蓄水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，导致建筑物的毁坏，造成惨重的事故。此外，还有天然建筑材料的储量和质量以及其它一些问题，也都与工程建筑密切相关。

工程地质问题（作用）不是孤立、偶然发生的，是与建筑地区周近的自然环境和条件有着极为密切的必然联系。其形成、发展和变化，都是工程建筑活动对这些地区的自然地质条件作用影响的结果。因而，当预测并论证工程建筑地区的工程地质问题时，就必须从调查研究这些地质条件着手。这些直接或间接地影响工程建筑物的设计、施工和正常运用的地质条件，也即与工程地质问题（作用）有关的地质条件，称为工程地质条件。它主要是地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质条件及物理地质现象（作用）等五个方面。地形一般只指地面高低、山坡缓陡和沟谷宽窄等；地貌还说明地形的形成原因和过程。不同地貌单元能综合反映地区构造、岩性、水文地质条件及物理地质现象的差异。如平原地区，地形变化简单，土层较厚，地下水埋藏较浅；丘陵地区，地形起伏，山势较缓，坡积层较厚；山岳地区，地形崎岖，山陡谷深，基岩裸露，崩塌频繁。这些都与建筑物位置和线路的选择，有密切关系。地层岩性是工程地质工作研究的最基本对象，是工程地质问题形成、发展和变化特点的物质基础。任何建筑物都修建在地壳的地层岩石之中或其上。这些地层岩石的性质能否适应建筑物的要求，决定了一些工程地质问题的基本特点。地质构造与地层岩性一样，也是工程地质工作研究的基本对象。尤其在基岩地区，工程地质问题或多或少地都与地质构造有关。其中岩层产状、断层节理和破碎带的分布，都是研究的重点。可以说，地质构造对那些威胁建筑物沉陷变形、安全稳定及渗漏途径等工程地质问题，大都有重要的控制作用。同时，它又是地貌、水文地质条件及物理地质现象的形成和发展的重要基础之一。水文地质条件系指地下水的形成、埋藏、分布、径流及水化学等条件。地下水是影响岩石强度、降低岩体稳定性的重要物质因素。当其含有一定数量的特殊成分，如侵蚀性 CO_2 ，可直接对建筑物某些部分发生侵蚀，影响建筑物的安全。建筑地段及其邻近的水文地质条件，对水工建筑物的渗漏和水库回水是否危及附近地区工农业生产

问题，有着决定性意义。物理地质现象（也称自然地质现象），如滑坡、崩塌、岩溶、泥石流、风沙移动、河岸冲刷等等，是一定地形地貌、地层岩性、地质构造和水文地质条件下发生、发展的自然现象。它或影响工程建筑物地基、斜坡的稳定性，或直接危及工程建筑物本身的安全，或造成水工建筑物地区的大量渗漏。因此，必须查明这些物理地质现象的发生、发展规律和分布范围，并论证其危害程度。不良物理地质现象的发育，有时会成为工程建筑物的位置或线路选择的关键问题。

工程建筑的实践证明，对于任何类型建筑物和工程建筑的任何阶段，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，做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，才可能较有成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作用的角度，选择工程地质条件较好的建筑地址和适宜的建筑型式；

（2）在已选定的建筑地址及其周近，根据建筑物型式、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发展规模和趋势；

（3）建议改善、防治或利用建筑地址的有关工程地质条件的措施方针；

（4）提供工程设计、施工所需要的工程地质资料。

工程地质工作是工程建设事业中不可缺少的独立工种。从而，工程地质学早在本世纪30年代，做为地质学的分支，成为一个独立的学科。

工程地质学，按其研究对象和任务，又可分为四个组成部分，即工程岩土学、工程动力地质学、区域工程地质学和工程地质勘察。

工程岩土学是研究土和岩石的工程地质性质及其形成和变化规律，并探讨改变这些性质的科学。它是工程地质学基础部分。

工程动力地质学是研究与工程活动密切相关的各种地质现象发生和发展的因素和规律，并探讨对其防治和利用的科学。这些地质现象包括物理地质现象（作用）与工程地质现象（作用）。前者是自然地质作用引起的，而后者是由于人类工程活动引起的。

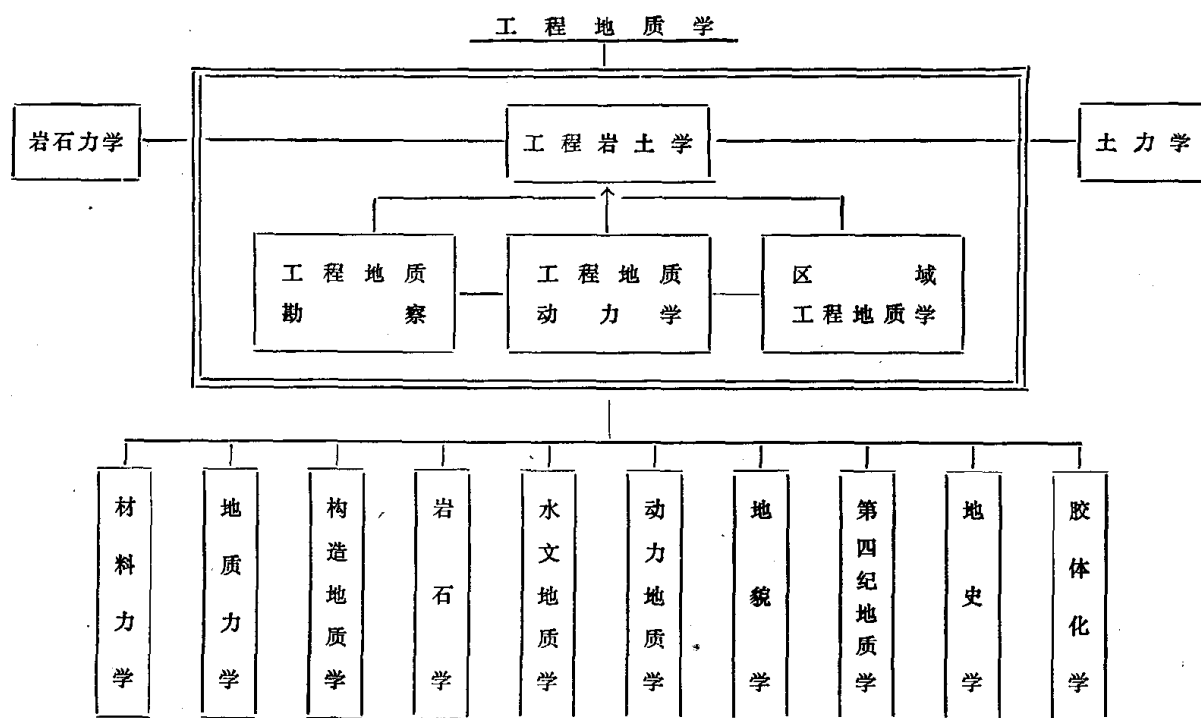
工程地质勘察是探讨为了给各种工程建筑提供充分工程地质依据所要勘察的工程地质内容、所应遵循的勘察程序和要求、所需采用的勘察方法和手段的科学。

区域工程地质学是研究各种工程地质条件的空间分布的科学。

任何学科都不会是孤立发展起来的。就研究的内容和对象看，与工程地质学密切相关的主要学科，可用下页的系统表说明。

工程地质学的研究对象是自然地质体，目的在于保障工程建筑物的安全和正常运用，因而也就决定了工程地质学的研究方法。它首先是自然历史分析法；在这种基础上，辅以力学分析法、实验法和类比法。

任何地质问题都是在其周围自然因素和自然条件的影响和制约下形成的，并不断地发展变化着；它们都是自然历史的产物。同一地质问题在不同自然因素和自然条件的影响制约下，在不同的自然历史阶段或经历不同的自然历史过程，就有不同的性质或特征。所以，研究建筑地区某一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和



变化，都必须首先研究其周围的其他自然因素和条件在一定的历史阶段过程中，对它的影响和制约的作用和程度，才有可能认识到它的形成原因和今后可能发展变化的趋势和速度。

单纯采用自然历史分析法，一般只能得到区域性或定性的论证，这与工程建筑物的设计和运用的要求来说，还是非常不够的，还需对一些工程地质问题尽量做出定量的论证。因此，就应在自然历史分析法的基础上，再采用力学分析法和类比法。力学分析法要求适当简化一些自然条件，然后根据一定的理论分析方法进行计算，以预测某些工程地质问题发生的可能程度和发展的规模大小。类比法是对某些新的地质问题，应用那些已经研究过的类型和条件相同或相近的地质问题中所得到的认识和经验，来进行对比研究，得出定量论证的一种方法。这些定量论证地质问题的方法，都需要配合采用试验法。通过室内试验或野外（原地）试验，可取得力学分析法所需要的岩土的物理、水理及力学性质的指标数据。模仿工程建筑物型式、规模及其对建筑地段地质条件的作用特征，进行不同比例的模拟或模型试验，可以直接得出用于工程设计、施工的定量论证。通过长期观察测量地质现象的发展速度和发展程度的数据，也是一种用于定量论证地质问题的试验方法。工程地质工作中，必须综合应用这些研究方法，才可能取得可靠的工程地质结论，完成工程地质工作的实际任务，并进一步发展工程地质科学。

工程地质学与其他一些科学发生发展的规律一样，是在漫长的人类历史过程里，由于社会生产需要的推动，在工程建筑事业的不断发展中发生和发展起来的。

我们伟大祖国，是一个历史悠久、文化发达的国家，尤其在工程建筑方面，更较其他国家为早。远在春秋时代，由于农业及运输的需要，便开始修建了许多大型工程建筑物。鸿沟，始建于公元前722年，自河南荥阳引黄河之水，注入淮河。伍堰，始建于公元前506年，在江苏高淳县，沟通太湖与长江。举世闻名的大运河，南起杭州，北达北京，全长

1782公里；其仪征至淮安一段，始建于公元前485年。同样驰名于世的万里长城和四川灌县的都江堰，分别都竣工于战国时代，距今已有两千多年的悠久历史。以后历代劳动人民还不断修建了许多规模巨大的桥梁、宫殿、庙宇、以及其他水利工程，其中大部分都是当时世界上的创举。可以断言，这些规模巨大的建筑物修建，对建筑地区的工程地质情况都会有必要的了解。所以，其中某些建筑物已正常运用数千年，至今巍然屹立。但在长期封建制度统制之下，生产斗争的知识得不到重视，致使这些人民智慧的结晶、宝贵的科学遗产，没有加以系统总结提高；有的甚至缺乏文字记载，长世沉沦。

解放以来，在党的领导下，我国工程建筑事业蓬勃发展。三十年来，横拦江河、峡谷，筑起了数以百计的巨型大坝；翻过丛山峻岭，穿越戈壁沙漠，修筑了数万公里的铁路；在长江天堑上已架起五座大桥；至于公路和大型厂房的修建，更是不计其数。在这些工程实践之中，我国劳动人民运用了国内外工程地质经验和理论，又大大丰富了我国工程地质宝库，提高了我国工程地质工作水平。

我国幅员广阔，包括有不同活动程度和发展趋势的大地构造单元，分布有不同性质的自然地理单元；分布着差异很大的土和岩石，发育着各种类型的自然地质作用。它们都以不同的方式和不同程度，影响工程建筑的修建和运用。揭示这些地质问题的属性，掌握其发生和发展规律，都需要根据它们的特点，深入地进行区域性或各别类型的工程地质研究。例如，我国西北、华北和东北地区的黄土，南方各省广泛分布的红土和膨胀性、裂隙性的粘土等，还都未能完全充分地认识其独特的属性。蕴藏着极为丰富水利资源的广大山区里，广泛分布着坚硬及半坚硬岩石，尤其由这些岩石构成的并包括有不同产状、尺寸、密度的错综复杂脆弱面或夹层的岩体，它们在特定自然条件下和在各种不同类型建筑物的作用下的稳定性，都还缺乏较深入的研究。岩溶问题是水利工程的难题，对它的发育条件和分布规律，至今研究不足，往往难以保证修建在这种地区的水利工程收到预期的效益。

应该强调，在科学技术空前发展、高能利用空前广泛的现代，劳动人民用自己的智慧和劳动，不断在广阔范围内和巨大规模地改变着地壳表层和生产、生活环境，并使它已经或将要发生一些根本变化，而且这种变化在人们面前展现了愈来愈广泛、巨大的可能性。因而它正推动着工程地质学不断地出现新发展。近年来，从国内外工程地质学发展的新趋势看，有如下特点：

工程地质学的应用，不断开拓出新的领域。六十年代以来，随着生产水平迅猛发展，建筑物类型和数量，日益增多；其规模也日益增大。例如，不断修建了大量巨型的水工建筑物，进行了大面积的土壤改良，建筑了大量地下油、气、水库，处理和封埋巨量的工业废渣和废水，开掘深达数百米而展布数十平方公里的采矿坑道及露天采矿场，以及放射性能源的利用，等等。它们或大面积改变地壳表层的组成、性质及状态，或影响地壳深层物质的活动，或形成地区性的大幅度沉降，或引起局部地下水位相应升高和沼泽化的扩大，或造成有严重损失的人为触发地震。这些活动已开始第一次作为地壳表层最大的地质动力来看待，因而把地壳表层划分为独立的“人类活动圈”，甚至由此而断然把工程地质学定义为“研究人类活动与活动的地质环境的科学”。这些大规模、大范围地改变了自然环境，并使地质条件发生变化，引起了一些区域性的有害工程地质作用，不仅直接威胁建筑

物本身安全，也会广泛影响工农业建设和人们生活。研究这些工程地质作用产生的条件和机制，并提出削弱或消除它们的方针和措施，发展成为“环境工程地质学”。近年来，世界人口急剧增加，城市人口高度集中，这就提出了大规模扩建原有城市和增建新城市的要求；同时，与大规模城市建设相联系，又提出向地下寻求新的建筑空间的要求。发展地下城市，可节约地表空间，少占农田，也可节约用于调节气温的能源；挖出大量石渣，又可用为建筑材料。目前，许多国家已广阔利用地下多层空间，作为工厂、交通线路、仓库，并修建了地下商业区和地下住宅区。这就新兴有“城市和地下城市工程地质学”。当前，许多国家对近海石油的较大规模开发和一些海洋工程的修建，就要求发展“海洋工程地质学”。人类活动范围如此愈来愈广阔的情况，要求利用较好的区域地质条件，并对那些不利的或灾害屡生的不良区域地质条件给予大面积大规模的改造。这种区域地质的改造，将会发展成为具有高度生命力的科学——“地质工程学”。此外，还可以设想，当人类工程活动涉及到其他星球时，或将形成“宇宙工程地质学”。

工程地质学理论基础和研究方法，出现由定性向定量发展的趋势。由于对各种工程地质问题仅使用传统地质学的定性分析和论证，不可能达到工程设计和施工所提出的定量要求。这就要求对工程地质问题能以数据来定量分析、论证和表达，以便直接应用到设计施工当中去。可以看出，近代工程地质工作的发展中，愈来愈多地将土力学和岩石力学以及其它学科的定量方法，引进到工程地质的领域中来。

工程地质学的研究视野，愈来愈扩大、愈深入，走向宏观更宏，微观更微的发展趋势。近代科学技术的空前发展，空间技术和电子技术愈来愈广泛地应用到各个科学领域，这就给工程地质学发展，开阔更新的境界；既可以极目大地，以鸟瞰区域工程地质条件的展布和各种地质现象的相互关系，又可以深入到事物内部，以探索某些问题的本质。卫星照片的解译，已成为研究区域稳定性的重要手段，可对数万平方公里的地区，一目了然，使过去以肉眼可见为标准的所谓“宏观”更加宏大。超高倍电子显微镜、 α -射线测角仪等，可观察微粒矿物的成份和晶体结构，以阐明某些岩石和土的强度本质；研究晶面的优势定向，以探索岩石中微裂纹的分布规律、对岩石强度各向异性的影响和对岩石破裂的控制，以及与宏观岩体不连续脆弱面的关系等。这样，便使过去仅以光学显微镜视野为标准的“微观”，成为历史概念。

工程地质勘察广泛采用新技术，也是工程地质学发展的新趋势。工程地质勘探，当前仍以钻探为主要手段，其基本发展趋势是操作上的全面机械化和自动化，机具上轻便化，效能上的广泛适应性。油压传动钻，具有明显优点。有的钻机的重、深比，已发展到1公斤/米，便于搬运。一机多能，以适应各类岩石的钻进，目前正从主机构造和钻具两个方面着手改进。物探也在发展中，比较突出的是波动勘探和综合性测井。利用各种频率范围的波，来探测地下地质结构，如常规地震探测和声响探测等，可同时测得岩石和土的一些物理力学性质指标。综合性测井，既可利用岩体的某种物性差异，间接推断地下地质结构（常规物探），也可直接观察地下情况（井下电视和井下摄影等）。工程地质测试工作，涉及范围广，方法和仪器的种类多，这里不能一一述及。但就其发展的总趋势，可概括为以下五个方面：一是探测结合，即勘探和测试在统一的工作过程中进行。利用某些物探方

法探索地下地质结构特点的同时，又取得岩石和土的某些物理力学性质指标。二是专门的原位测试。为测得更有代表性的数据，原地试件尺寸逐渐增大，目前已进行有 100 平方米的岩体试件的剪切试验。此外，为迅速取得土的大量试验数据，静力触探、动力触探和十字板试验，采用较广，发展较快。三是模拟试验，应用较广泛。四是室内常规试验，主要对操作、记录、数据处理和图表绘制的自动化。五是某些中间型试验的兴起。由于探测结合的测试方法的许多方面尚处在研究阶段，专门原位试验又费时长、费用高，室内常规试验常与实际条件差异大而制备试件又费时，所以近几年来，研究推广一些中间类型的试验方法，如岩石点荷载试验、岩石或岩体裂隙面的携带式剪切盒试验、裂隙抗剪性能的巴顿试验，等等。它们无需专门制备形体规整的试件，仪器简单轻便，操作简便容易，可用于室内，也可携用于现场，试验过程也短。它测得数据的单值，虽分散性较高，但实践证明，适当增加平行试验的数量，取其平均值，精度完全能够满足生产要求。

电子计算技术已用于工程地质学领域，如测试数据的数学统计，岩体稳定的计算，资料的自动存储、检索和处理，也会处理地质作用发生发展的全过程。

当前，我国已把工作着重点转移到“四个现代化”建设上来。为了适应工农业和国防建设的需要，对工程地质工作提出了更高的要求。因此，工程地质工作不论在理论上和实践上，都急待迅速提高，从而促进工程地质科学的新发展。

第一篇 岩石、岩体工程地质性质

第一章 岩石工程地质性质

工程建筑物都修建在地壳的表层，它涉及的深度大约在一百米到数百米以内的范围。这里的组成物质不外是坚硬的岩石(俗称石头)和疏松的土(俗称泥沙，其中有的是疏散的砂砾，有的是松软的泥土)。它们都是自然地质历史过程中的产物。坚硬的岩石经过风化剥蚀后的产物是疏松的土，疏松的土经过硬结成岩或融熔变质后的产物是坚硬的岩石。从工程地质观点，即从工程建筑和自然地质历史二者的综合观点来看，做为工程建筑物的地基、环境或材料，通常不仅是坚硬的岩石，也不仅是疏松的土，而与二者都有一定联系。在工程地质性质上，坚硬的岩石和疏松的土，各有其特性，但二者也有其共性。因此，在工程地质工作领域里，有的部门把岩石和土统称为岩石，有的则统称为土。在这里，为简化起见，把坚硬的称为“岩石”，把疏松的称为“土”，二者统称为“岩土”或称为“土石”。

岩石作为工程建筑物的地基、环境或天然建筑材料，必须研究它们与工程建筑有关的性质(工程技术性质)，提供工程建筑所需的定量指标。它是用以核算岩石做为各种工程建筑物的地基，环境或材料是否合理的基本数据。但是，岩石是自然地质历史的产物，研究它们的工程技术性质时，还必须用形成、发展和变化的观点，紧密结合岩石的生成历史、自然环境以及使用条件，论证其工程地质性质，即论证岩石做为各种工程建筑物的地基，环境或材料时，可能发展变化的方式或趋势，估计这些变化对工程建筑物变形稳定的影响。

岩石的工程地质性质主要包括有物理性质(自然状态，如轻重、干湿、松密等)、水理性质(与水作用后所表现的性质，如可塑、膨胀、透水等)、力学性质(在荷载作用下所表现的性质，如压缩变形、抗剪强度等)。岩石的这些工程地质性质所呈现的差异和变化，最根本的原因还在于岩石本身物质组成和结构、构造不同。

第一节 岩石的物质组成和结构、构造

岩石学从成因、埋藏、分布和共生关系等方面，对坚硬岩石的物质组成和结构、构造去进行充分的研究。这里要从工程建筑的需要上讨论其物质组成和结构、构造。

一、岩石的物质组成

坚硬岩石的工程地质性质，一般讲，对工程建筑有益的方面多，但也有不利的。这些都与岩石矿物成分有着密切关系。矿物的成分是决定岩石强度及其与建筑物相互作用的性

状的重要因素，也是决定岩石风化稳定性的重要因素。

岩浆岩的主要造岩矿物对其工程地质性质的影响，是很不同的（表1-1）。从工程地质观点上，鉴定岩浆岩的矿物成分，常着重对不稳定、迅速分解的矿物（如基性斜长石、橄榄石、黄铁矿等）给予密切注意。云母可减低岩石风化稳定性和岩石的强度，而黑云母比白云母尤甚。橄榄石是黑色矿物中最不稳定的，它大多被毛发状（微细的）裂隙网所覆盖，裂隙面上也经常覆有褐色的氧化铁。长石只有在新鲜状态时才是稳定的。特别是基性斜长石，在显微镜下很易观察到污浊的结晶颗粒，它带有粉末状的高岭石和黄色带绿的绿帘石覆膜。这是它的强度和稳定性变低的重要标志。应该强调，许多岩浆岩中常有黄铁矿出现。它在自然条件下易氧化，与水作用形成硫酸。在它本身破坏的同时，并使其它矿物，如长石、角闪石及辉石、橄榄石破坏，从而大大降低岩石强度。

表 1-1 岩浆岩的主要造岩矿物及其在风化壳内的稳定程度

矿 物	在 风 化 壳 内 的 稳 定 程 度	矿 物 风 化 后 的 特 有 产 物
石 英 白 云 母	非常稳定的	不 改 变
正 长 石 钠 长 石	稳 定 的	高岭石、绢云母和其它粘土矿物 高岭石和其它粘土矿物
酸性斜长石 角 闪 石 (普通角闪石) 辉 石 (普通辉石) 黑 云 母	不太稳定的	高岭石、绢云母和其它粘土矿物 褐铁矿、绿高岭石和其它粘土矿物 褐铁矿、方解石、绿高岭石和其它粘土矿物 褐 铁 矿
基性斜长石 似 长 石 橄 榄 石 黄 铁 矿	不 稳 定 的	高岭石、绢云母和其它粘土矿物 高岭石、沸石、绢云母 褐 铁 矿 褐 铁 矿

变质岩的主要造岩矿物基本上与岩浆岩相同（表1-2），其稳定性与岩浆岩的没有太大差别，但有其独特的对岩石强度和稳定性不利的矿物出现，如绢云母、滑石、绿泥石、蛇纹石等。绢云母和绿泥石都是细微或细小的鳞片状矿物，稳定性较差。滑石是鳞片块体的，硬度和强度都很低，有滑感。这些稳定性差、强度低的片状矿物，是降低变质岩强度和稳定性的关键性矿物。

沉积岩的造岩矿物除有相当部分有重结晶现象（如白云岩、石灰岩、石膏、岩盐等）外，其它与组成疏松土的矿物没有质上的差别。

沉积岩的矿物，一部分是由原岩经物理风化破碎而未改变的原有矿物，即“原生矿物”，如石英、长石、云母等。一部分是原岩经化学风化分解了原生矿物而形成的“次生矿物”。可溶性次生矿物有易溶的，如岩盐（ NaCl ）、钾盐（ KCl ）、芒硝（ $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ）、苏打（ $\text{NaCO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ）等。中溶的如石膏（ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）。难溶的如方解石（ CaCO_3 ）和白云石（ MgCO_3 ）等。不可溶的次生矿物的共同特点，就是颗粒细小，与粘性土的主

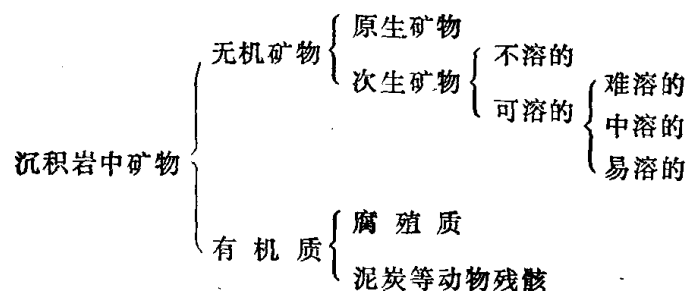
表 1-2

变 质 岩 鉴 定 表

构 造	岩 石 名 称	矿 物 成 份	构 成 和 外 形
片 状 的	片 麻 岩	长 石 石 英 云 母 角 闪 石	致密、浅色的，浅色长石的带状体与暗色云母或有时与角闪石带状体互相交错，矿物可被识别
	云 母 片 岩	云 母、石 英	薄片理的，石英常常不能识别
	千 枚 岩（粘土-云母质岩）	云 母、石 英 和 其 它 矿 物	薄片理的，肉眼几乎不能识别矿物
	绿 泥 石 片 岩	绿 泥 石	绿色鳞片状或叶片状体
	滑 石 片 岩	滑 石	滑石的鳞片状块体用指甲可刻划
块 状 的	角 闪 石 片 岩	普通角闪石、石英	片理呈现不明显
	蛇 纹 岩	蛇纹石、磁铁矿	带有各种不同色调——白、绿、黄、红斑的绿色致密块体，平而光滑的瓷釉表面
	大 理 石	方解石和少量白云石	致密或结晶的，白的、黄的、橙黄的、红色的和其它浅色的，遇盐酸起泡
	石 英 岩	石 英	致密的、细粒的、硬的，断口具光泽

要部分一样。这种矿物有时含量不一定很大，但它是控制岩石的很多工程地质性质的主导因素。这些矿物又称粘土矿物，如水云母、高岭石、胶岭石（蒙脱石）等。沉积岩形成过程中，往往有生物作用参与，使土中增加了有机质，如腐殖质、泥炭等动植物残骸。腐殖质往往呈细小的颗粒，比表面积很大，对土的工程地质性质起重要作用。

沉积岩的矿物成分可归纳为如下分类系统：



沉积岩中常见的矿物与它的颗粒大小存在着一定关系（表1-3）。漂石、卵石、砾石等颗粒，往往比岩石中原有矿物颗粒大，因而仍保存着母岩原有的多矿物结构，大都全由原生矿物组成。但应注意，母岩本来是由次生矿物组成的，如石灰岩、页岩、泥岩等，则其砾石、卵石等颗粒也还是由次生矿物组成的。砂粒与岩石中原生矿物大小相似，往往是单矿物的，常由石英、云母、长石等重要造岩矿物组成；也有由难溶的次生矿物组成的，如白云石砂粒。粉粒往往由抗风化的矿物如石英等组成。难溶的碳酸盐矿物也有可能成为粉粒的主要成分。抵抗风化力弱的长石、云母等铝硅酸盐，当它粒径很小，很易变成次生矿物，粉粒中少见；而次生矿物如高岭石等，反而易见。粘粒几乎全由次生矿物组成，主要有次生二氧化硅、粘土矿物、倍半氧化物等三大类。

粘土矿物不能简单地误认为就是组成粘土颗粒的矿物。组成粘土粒组的矿物可以是次

表 1-3

粒组与矿物成分的关系

土粒组		名称 直径(毫米)	漂石 卵石		砂粒组	粉粒组	粘粒组		
			碎石	块石			粗	中	细
最常见的矿物			砾石	角砾石					
			> 2		2~0.05	0.05~0.005	0.005~0.001	0.001~0.0001	<0.0001
原生矿物	母岩碎屑(多矿物结构)								
	单矿物颗粒	石 英							
		长 石							
		云 母							
次生矿物	次二氧化硅(SiO ₂)								
	粘土矿物	高 岭 石							
		水 云 母							
		蒙 脱 石							
	倍半氧化物(Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃)								
	难溶盐(CaCO ₃ ·MgCO ₃)								
腐 殖 质									

生二氧化硅、倍半氧化物、腐殖质、难溶盐，甚至原生矿物石英，但它们并不是粘土矿物。粘土矿物专指组成粘粒的并有片状结晶格架的铝硅酸盐，最常见的是高岭石、水云母、胶岭石三大组。高岭石组和水云母组的粘土矿物粗些，次生二氧化硅次之，胶岭石组粘土矿物、倍半氧化物及腐殖质等最细微，往往成为胶体颗粒($d < 0.1\mu$)。粘土矿物由于它的特殊结晶格架能与水发生一系列作用，对岩石的工程地质性质有着特殊明显的影响。

胶岭石组的粘土矿物是化学风化的初期产物，含 SiO_2 成分比其它组粘土矿物为多。它的结晶是由很多相互平行的晶胞组成的。每个晶胞厚约 $14.0 \text{ \AA}$ ($\text{\AA}$ —埃= 10^{-8} 厘米= 10^{-4} 微米)。其上下都是 Si-O 四面体层，中间夹一个 Al-O-OH 八面体层(图1-1)。晶胞与晶胞之间，可吸收无定量水分子，所以它是非常活动而亲水的。有时吸水很多，相邻晶胞会失去连结力而分解为更小的颗粒。其典型式是 $\text{Al}_4\text{Si}_8\text{O}_{16}(\text{OH})_{12} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 或 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 。晶胞中层的 Al^{+++} ，可被 Fe^{+++} 、 Ca^{++} 、 Mg^{++} 等代替，形成胶岭石组其它不同的矿物。若 Al^{+++} 为 2 价离子取代，便有一定量的一价正离子以补偿晶胞中正电荷之不足。这样，晶胞间的连接力就稍有提高。

水云母组粘土矿物的结晶格架与胶岭石组的粘土矿物相似。所不同的是 Si-O 四面体中的 Si 可以被 Al^{+++} 、 Fe^{+++} 所取代。因此在晶胞间表现更多的一价正离子，有时会是二价正离子，以补偿晶胞中正电荷之不足。所以，它的晶架活动性和亲水性比胶岭石差些。常见