

中国地质大学(北京)“211工程”
地质工程学科群资助项目

高等学校教学参考书

工程地质学概论

张咸恭 王思敬 李智毅 主编

地震出版社

P642
Z-878.2

北京)“211工程”

地质工程地质群资助项目

高等学校教学参考书

工程地质学概论

张咸恭 王思敬 李智毅 主编

地震出版社

图书在版编目(CIP)数据

工程地质学概论/张咸恭, 王思敬, 李智毅主编. —北京: 地震出版社, 2005.9

ISBN 7-5028-2726-9

I. 工… II. ①张… ②王… ③李… III. 工程地质 IV. P642

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 089092 号

地震版 XT200500092

内容简介

我国工程地质学从无到有经过五十余年的实践与研究, 逐步形成了自己的理论体系。本书即按此体系编写。在对工程地质学的研究内容、研究方法与实际意义概述之后, 分别论述了工程地质条件的研究、工程地质问题的分析、勘察理论和方法, 以及各类工程建筑场地的工程地质勘察与评价。还阐明了中国工程地质条件的区域变化规律, 作出区划, 最后, 展望了我国工程地质学在 21 世纪可持续发展的前景和发展方向。

工程地质学

张咸恭 王思敬 李智毅 主编

责任编辑: 宋炳忠 樊钰

责任校对: 李昭

出版发行: 地震出版社

北京民族学院南路 9 号

发行部: 68423031 68467993

门市部: 68467991

总编室: 68462709 68423029

E-mail: seis@ht.rol.cn.net

邮编: 100081

传真: 88421706

传真: 68467991

传真: 68467972

经销: 全国各地新华书店

印刷: 北京地大彩印厂

版(印)次: 2005 年 9 月第一版 2005 年 9 月第一次印刷

开本: 850 × 1168 1/32

字数: 296 千字

印张: 11 插页: 1

印数: 0001—1000

书号: ISBN 7-5028-2726-9/P·1255 (3357)

定价: 30.00 元

版权所有 翻印必究

(图书出现印装问题, 本社负责调换)

序

作为地质学分支学科的工程地质学，是新中国建立后随着大规模国民经济建设而发展起来的。五十余年来，经过工程地质界几代人的勤奋努力，开拓前进，而今已形成一门研究方向明确、理论体系完整、内容丰富多彩、具有中国特色的独立学科。本书的第一主编资深工程地质学家张咸恭教授是最有权威的见证人。他是我国工程地质学的先驱者和奠基人之一，在工程地质界享有崇高的威望。

本书系统、全面地展示了五十余年来我国工程地质学科研究和工程地质工作实践的轨迹。它概述了工程地质学的基本理论，包含学科的研究对象，基本研究内容和研究方法、与邻近学科的相互渗透和交叉；回顾和总结了二十世纪，尤其是近五十年来工程地质学在我国所取得的发展和重要成果，当今所面临的新情况和新问题；展望了工程地质学科在二十一世纪的发展趋势和可能前景。表明了工程地质学在我国工程建设、地质环境保护和地质灾害防治中贡献巨大，在科学系列中占有重要的地位。

工程地质学是世界性的学科。我国是国际工程地质界的重要一员，享有较高声誉。国际工程地质与环境学会现已有会员国七十多个，本书的第二主编王思敬院士曾任该学会主席。近二十余年来历届国际工程地质大会

和学会的刊物上,中国学者发表的论文,数量之多、学术价值之高,令外国同行们注目。

在二十一世纪的上半叶,我国要加快现代化建设,赶上中等发达国家的水平。此期间将重点开发西南地区水能资源和东部沿海核电装置,修建高速交通线路,实现南水北调、西气东输和西电东送,全国加速现代城市化进程……为保证工程建设的安全可靠、经济合理和环境协调,我国工程地质学将面临前所未有的机遇和挑战。为了实施可持续发展战略,保护环境和地质灾害防治也将使工程地质学家们担负更重的任务。为适应新时代的需要,我国工程地质界更要开拓创新,活跃思路,进行现代学科的交叉和结合,以发展工程地质学科,使其内涵不断深化,外延不断扩展。历史的重任将落在青年工程地质学家们的肩上。

工程地质学任重道远,将永葆青春活力!

中国科学院资深院士



二〇〇五年五月

前 言

为适应 21 世纪科学技术迅猛发展和建设社会主义市场经济体制对专业人才培养的需要,我国高等教育体制和教学改革正在逐步深化。许多高校按国家教育部调整专业设置和面向社会自主办学的决定,根据原来专业的优势,设置了土木工程、勘察技术与工程、水文与水资源工程、地质工程、环境(地质)工程等本科专业,工程地质学是各专业都要讲授的一门课程,但多年来尚无一本正式出版的合适教材和教学参考书,不能适应教学需要。我们编写的这本书即可作为上述各专业工程地质学课程的教学参考书,向读者展示工程地质学的研究内容。

工程地质学于本世纪三十年代从地质学中脱胎而来,是服务于工程建设的应用地质学,而今已形成为一门理论和学科体系完善,且下设多个分支的世界性学科。我国的工程地质学是在新中国建立后才发展起来的,五十余年来在国家工程建设和地质环境保护中作出了巨大贡献,在科学系列中占有重要的地位,在国际工程地质界也享有较高声誉。本书全面、系统、扼要地展示了五十余年来我国工程地质学科建设的轨迹和本学科的主要学术成就。

本书共分十一章,概括了工程岩土学、工程动力地质学、工程地质分析学,专门工程地质学、区域工程地

质学以及 21 世纪工程地质学展望与发展等内容。主编是张咸恭、王思敬和李智毅。各章的撰稿人如下：第一章张咸恭；第二章曲永新；第三章张杰坤；第四章孙进忠；第五章慎乃齐；第六章王建锋；第七章李铁汉；第八章李智毅、杨志法、杜永廉、刘钧；第九章韩文峰、聂德新、吴景坤、卓宝熙、李铁汉、申伯熙、袁朗；第十章李智毅；第十一章王思敬。各撰稿人写出初稿后进行互审，大家对各章节内容提出了许多宝贵意见，并再次明确了编撰的指导思想和具体要求。之后各撰稿人又作了进一步修改，并由张咸恭和李智毅统一定稿。

本书力图做到理论联系实际，资料精确可靠，观点新颖清晰，用词严谨规范，而且行文深入浅出，通俗易懂，能为初入门者和非专业读者接受。

编者虽力图把本书写好，但限于学术水平，书中肯定存在不少缺点和错误，恳请读者斧正。

本书的出版得到了中国地质大学（北京）工程技术学院领导的关心和支持以及中国地质大学（北京）“211 工程”地质工程学科群的经济资助，在此谨向他们致以谢忱。

编 者

2005 年 5 月于北京

第一章 工程地质学概述	(1)
第一节 工程地质学的定义和研究对象.....	(1)
第二节 工程地质学的研究内容与分科.....	(7)
第三节 工程地质学的任务与实际意义	(11)
第四节 工程地质学的研究方法及其与其他学科的关系	(13)
第五节 我国工程地质学发展简史	(14)
第二章 岩土工程地质性质研究	(22)
第一节 岩土工程地质性质研究的意义和技术方法	(22)
第二节 岩体工程地质性质研究	(23)
第三节 土体工程地质性质研究	(30)
第四节 特殊岩土的工程地质性质研究	(42)
第三章 不良地质作用研究	(55)
第一节 不良地质作用研究的意义与内容	(55)
第二节 活断层与地震的研究	(57)
第三节 滑坡和崩塌的研究	(70)
第四节 泥石流的研究	(76)
第五节 渗透变形的研究	(79)
第六节 岩溶的研究	(86)
第七节 河流侵蚀与淤积的研究	(93)

第四章	区域地壳稳定性分析	(97)
第一节	区域地壳稳定性的涵义	(97)
第二节	影响区域地壳稳定性的因素	(98)
第三节	区域地壳稳定性的研究内容和方法	(102)
第四节	区域地壳稳定性分级	(112)
第五节	区域地壳稳定性评价实例	(113)
第五章	地基稳定性分析	(118)
第一节	地基稳定性问题的涵义和研究内容	(118)
第二节	房屋地基稳定性分析	(121)
第三节	坝基稳定性分析	(130)
第四节	岩溶地基稳定性分析	(141)
第六章	斜坡稳定性分析	(145)
第一节	斜坡稳定性问题的基本概念和研究意义	(145)
第二节	斜坡变形破坏的基本类型及其地质力学模式	(146)
第三节	斜坡变形破坏的影响因素	(150)
第四节	斜坡稳定性评价的理论和方法	(156)
第五节	斜坡变形破坏的预测预报	(159)
第六节	斜坡变形破坏的防治对策和措施	(162)
第七章	地下硐室围岩稳定性分析	(166)
第一节	基本概念与研究意义	(166)
第二节	影响硐室围岩稳定性的因素	(168)
第三节	硐室围岩的应力状态	(171)
第四节	硐室围岩失稳的型式与原因	(179)
第五节	硐室围岩质量分级与围岩压力的确定	(184)
第六节	硐室围岩稳定性评价与防治围岩失稳的措施	(192)

第八章 工程地质勘察的理论和方法	(198)
第一节 工程地质勘察的基本要求	(198)
第二节 工程地质测绘与遥感技术的应用	(203)
第三节 工程地质勘探与取样	(209)
第四节 物探在工程地质勘察中的应用	(215)
第五节 工程地质测试	(219)
第六节 工程地质监测与反分析	(227)
第七节 工程地质模拟技术	(234)
第八节 勘察成果整理与应用	(244)
第九章 建筑物场地的工程地质勘察	(248)
第一节 概述	(248)
第二节 城市与房屋建筑工程地质勘察	(253)
第三节 水利水电工程地质勘察	(261)
第四节 铁路与桥梁工程地质勘察	(274)
第五节 地下建筑工程地质勘察	(288)
第六节 港口与离岸建筑工程地质勘察	(293)
第七节 核工程的工程地质勘察	(303)
第十章 中国区域工程地质研究	(310)
第一节 涵义及研究概况	(310)
第二节 中国工程地质环境形成的制约因素	(312)
第三节 中国工程地质区域划分	(319)
第四节 中国工程地质环境问题的基本特征	(327)
第十一章 21 世纪工程地质学的发展趋势与展望	(331)
主要参考文献	(339)

第一章 工程地质学概述

第一节 工程地质学的定义和研究对象

工程地质学是研究与工程建设有关的地质问题的科学。一项工程的兴建总是要与地质环境发生联系的,二者之间存在着相互制约、相互作用的关系。地质环境的优劣必然影响到工程建筑的安全可靠性、经济合理性以及是否能够正常运行。工程选址总希望地质环境优良。另一方面,工程的兴建也影响地质环境,从施工到建成,总不免挖方填方、排水蓄水,工程建成后对地基施加荷载,所有这些都会引起岩土体内应力的变化,使之变形甚至破坏,影响工程本身的安全和周围环境的质量。这一系列变化过程和地质问题是很复杂的,而且工程建筑类型繁多,各有各的要求,地质环境也是千变万化,随处不同,更增加了问题的复杂性。所以,就要预测工程建筑与地质环境二者相互作用的变化过程及其效应;分析由此引起的地质问题,为各种建筑的规划、设计、施工和运行提供地质依据;评价工程兴建后的地质环境质量,制定维护工程安全和保护地质环境的措施。工程地质研究的核心,就是工程建筑与地质环境二者之间的相互制约、相互作用,这也就成为了工程地质学的研究对象。下面,对二者的特点作进一步分析。

一、工程建筑对地质环境的作用

工程建筑的类型很多,有城乡工业民用建筑,铁路、公路建筑,水运建筑,水利水电建筑,矿山建筑,海港工程和近海石油开采工程,以及国防工程等等。每一类建筑又是由一系列建筑物群体组成的,例如铁路建筑就至少包括路基、桥梁、隧道、车站

房屋等建筑物。其他各类建筑也都包括多种建筑物。所以建筑物的种类更是繁多，它们的类型不同，规模各异，对地质环境的要求也不一样，对地质环境的作用方式和强度也大不相同。例如隧道、地铁、矿山巷道等地下建筑物就与地面建筑物高楼大厦迥然不同。随着科学技术的发展，工程建筑物也向着高、大、精、深变化，其与地质环境的相互作用也愈来愈强烈、愈复杂，使工程地质研究的领域不断扩展，研究深度不断加大。

工程建筑对地质环境的作用是通过岩土体内应力变化和地下水动力特征变化表现出来的。兴建工程总是要“动土”、“动水”的。开挖边坡和基坑形成的卸荷效应、地下硐室开挖对围岩应力的影响，建筑物自身重量对岩土体施加的荷载，坝体所受库水的水平推力，都会引起岩土体内的应力状况发生变化，造成变形甚至破坏，一定量值的变形是容许的，过量的变形甚至破坏就会使建筑物失稳。基坑排水，水库蓄水等都会引起地下水的变化，对工程本身和地质环境施加影响，产生各种地质问题，诸如基坑边坡变形、岩土体的软化泥化、库岸浸没、坝基渗漏和渗透变形。在其他情况下，地下水的变化还会引起地基砂土液化，隧道涌水，矿区地面塌陷和地面沉降等工程和环境问题，有的成为地质灾害。

建筑物的类型、规模和结构特点决定其对地质环境作用的性质与强度。水库大坝对坝基岩土体的作用除了垂直荷载之外还有库水的水平推力，还可能存在坝基渗漏问题。房屋建筑一般只存在垂直荷载，显然与大坝不同。而高层建筑又与一般房屋的作用不同，因其规模较大。另一方面二者作用的性质与强度还决定于工程地质条件，而且在某种程度上工程地质条件起着决定性的作用。

二、工程地质条件

工程地质条件可定义为：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(包括地应力)、水文地质条件、不良地质现象以及天然建筑材料等六个要素。由此可见,工程地质条件是一个综合概念,在我们提到“工程地质条件”一词时,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。

工程地质条件是自然地质历史的产物,一地的工程地质条件反映了该地的地质发展过程,即内外动力地质作用的性质和强度。工程地质条件的形成受大地构造、地形地势、气候、水文、植被等自然因素的控制。各地的自然因素不同、地质发展过程不同,其工程地质条件就不同,即六个地质要素的组合情况不同,要素的性质、主次关系有所差异。一地的工程地质条件各要素之间则是相互联系、相互制约的,因为它们形成受同一地质发展历史的控制,有着一定的组合模式。例如,平原区为碎屑物质的堆积场所,土层厚,基岩出露较少,基岩构造难于观察到,不良地质现象也少,地下水以孔隙水为主,天然建筑材料土料丰富、石料缺乏。其他各类地区也各有特点。

了解工程地质条件必须从基础地质入手,研究地区的地质发展历史,各要素的特征及其组合的规律性。在此基础上开展其他勘察工作才能有正确的方向。

工程地质条件的优劣在于其对工程是否有利,良好的工程地质条件能适应工程的要求,把二者的相互作用限制在不危害工程的安全和不破坏环境质量的范围内。关键在于各个要素的优劣及相互间的配合。

(1) 首先是岩土类型及其性质的好坏。坚硬完整的岩石如花岗岩、厚层石英砂岩、花岗片麻岩等,强度高、遇水不易软化、渗透性一般较小,性质优良。页岩、粘土岩、炭质岩等以及遇水膨胀、易溶岩石则软弱易变,性质不良。断层岩和构造破碎岩对工程也不利。松软土中的特殊土类如黄土、膨胀土、淤泥软土、

盐渍土等也是不利因素，需要特别注意。岩土性质的优劣对建筑物的安全、经济具有重要意义，大型建筑常要建在性质优良的岩土体上。软弱不良的岩土体，工程事故不断、地质灾害多发，常需避开。

(2) 地形地貌条件对建筑场地的选择至关重要，尤其是对线性建筑如铁路、公路、运河渠道以及输油管线的线路方案选择意义最为重大。如能合理利用地形地貌条件，不但能大量节约挖填方量，减少工程投资，而且对建筑物群体的合理布局、结构类型和规模以及施工条件等也有直接影响。例如，施工场地是否足够宽阔，材料运输是否方便等，都决定于地形地貌条件。

(3) 地质结构和地应力包含地质构造、岩体结构、土体结构及地应力等，含义较广，对工程建筑意义重大，对岩体尤为重要。地质构造确定了一个地区的构造格架、地貌特征和岩土分布状况。断层对工程的危害甚大，工程人员最为担心，活断层更为可怕，在选择建筑场地时必须注意断层的规模、性质、产状及其活动性。土体结构主要是指不同土层的组合关系、厚度及其空间变化。岩体结构除岩层构造外，更主要的是各种结构面的特征、组数、分布规律和组合关系。不同结构类型的岩体其力学性质和变形破坏的力学机制是不同的。结构面愈发育，特别是含有软弱结构面的岩体，其性质愈差。岩体的地应力状态与地质结构关系密切，对建筑物的施工和稳定性影响不容忽视。

(4) 水文地质条件也是决定工程地质条件优劣的一个重要因素，有时起到主导作用。在工程建筑与工程地质条件的相互作用中，在有水的参与时，作用强度就会增大。这是因为水可软化岩石，粘性土含水量增加就会处于塑态，甚至流态，强度降低。水动压力促进滑坡，造成潜蚀流砂，引起坝基渗透变形。地下水位较高一般对工程不利，道路易发生冻害，隧洞及基坑开挖需进行排水，房屋地基承载力降低，黄土地基湿陷等。许多地质灾害的发生都与地下水的参与有关。

(5) 不良地质现象也称物理地质现象 (“物理地质现象”是由前苏联翻译过来的术语, 现国内大多改称“不良地质现象”), 是指对建筑物有影响的自然地质作用与现象。地壳表层经常处于内动力地质作用与外动力地质作用的影响之下, 对建筑物的安全造成威胁。有时破坏规模较大, 是区域性的, 例如地震的破坏性就是如此。滑坡、崩塌、泥石流的发生, 冲沟的发展, 都给工程和环境带来影响甚至灾难。在这些不良地质现象面前, 只考虑工程本身的坚固性是不行的, 必须充分注意其周围有哪些不良地质现象存在, 对工程和环境有何影响, 如何防治。只要注意研究其发生发展的规律, 及时采取措施, 不良地质现象并不可怕, 是可以克服的。

(6) 天然建筑材料主要是指供建筑用的土料和石料。土坝、路堤需用大量土料, 海堤、石桥、堆石坝等需用大量石料, 拌合混凝土需用砂、砾石作为骨料。为了节省运输费用, 应当遵循“就地取材”的原则, 用料量大的工程尤应如此。所以天然建筑材料的有无及其质量对工程的造价及环境的治理有较大的影响, 其类型、质量、数量以及开采运输条件往往成为选择场地、拟定建筑结构类型的重要因素。

以上是从六个要素的单个分析来说明工程地质条件的优劣, 在实际工作中要从整体着眼, 结合建筑物的特点进行综合分析论证。

三、工程地质问题

工程建筑与工程地质条件(地质环境)相互作用、相互制约所引起的、对建筑本身的顺利施工和正常运行, 对建筑的安全或对周围环境可能产生影响的地质问题, 称为工程地质问题。

分析工程地质问题就是要分析工程建筑与工程地质条件之间的相互制约、相互作用的机制与过程, 对影响因素、边界条件, 作出准确的定性评价; 在此基础上进一步取得各种计算参数和模

型，通过计算作出定量评价，明确作用的强度或工程地质问题的严重程度、发生发展的进程，这也就是工程地质预测；预测出施工过程中和建成以后这种作用会产生何种影响。对此作出工程地质评价和结论，提供设计和施工参考，共同制定防治措施方案，以保证建筑物的安全与消除对周围环境的危害。

由上述可知，工程设计和施工所要求的工程地质评价、工程地质结论和处理措施方案，都要通过工程地质问题分析才能得出。因而可以说工程地质问题分析是工程地质工作的中心环节，是工程地质研究的核心。

工程地质问题分析要“吃透两头”，一头是“工程意图”即设计人员对建筑物的规模和结构的构想，了解工程对地质工作的要求；另一头是工程地质条件的优劣，哪些因素是有利的，哪些是不利的，深刻认识客观情况，理解工程地质条件在工程实际中的意义，充分加以利用。而且只有通过工程地质问题分析才能知道各要素应当研究到何种深度才能满足不同设计阶段的要求，对工程地质勘察进行指导，合理选用勘察手段，布置勘察工作量。

工程地质问题分析与工程地质条件研究不同，必须紧密结合工程建筑的类型、规模和结构特征进行，因为不同的建筑物其工作条件和作用力的大小方向各异，与工程地质条件相互作用的特点亦不同，因而各有其工程地质问题。工业民用建筑物的工程地质问题主要是地基承载力和沉降问题，如果建于边坡处则有边坡稳定问题，高层建筑开挖基坑较深则有基坑边坡稳定和基坑排水问题等。地下硐室、地铁、隧道等建筑物的主要工程地质问题是围岩稳定性问题，此外还可能有隧洞涌水、地温、岩爆等问题。道路建筑的工程地质问题有：路基稳定性问题（尤其是高填路堤此问题较大），桥墩（台）地基稳定性问题，边坡稳定问题（尤其是深挖路堑），隧道围岩稳定性问题，有时还有道路冻害（翻浆）问题等。水利水电工程的水库有水库渗漏、库岸稳定、水库浸没、水库淤积及水库诱发地震等问题；坝区则有坝基渗漏问

题、坝基渗透稳定性问题，混凝土坝有坝基抗滑稳定性问题，坝肩稳定性问题；附属建筑物有船闸高边坡稳定性问题、输水隧洞围岩稳定性问题等。还有很多种别的建筑，也各有其工程地质问题，不再一一列举。这些工程地质问题在后面的章节中将予以分析论证，其中区域地壳稳定性问题、边坡稳定性问题、地下建筑围岩稳定性问题、地基稳定性问题，以及环境质量评价问题，是各类建筑都遇到的问题，具有一定的普遍性，将专章进行论证与分析。

第二节 工程地质学的研究内容与分科

工程地质学实用性强，涉及面广，研究内容十分广泛。随着建设事业的发展，研究领域不断扩展，内容更加丰富。不过，有些方面还处于初期阶段，没有形成完整的系统。这里主要介绍一些比较系统的研究内容。

一、土体工程地质研究

地壳表层分布最广的是土，各类工程建筑或多或少总要与土打交道。工程上很早以前就开始对土开展研究，对土的物理力学性质的了解比岩石早得多，土力学的发展也早于岩石力学和工程地质学。工程地质研究土是从它的成因和分布规律入手的，因而对土体结构及其变化有较深入的认识。研究的重点是土的物质组成、结构特征及工程地质性质。对土中的粘土矿物研究尤为深入，因为这有助于研究土的特性及其变形机制。对土的物理力学性质的形成、变化规律、测试研究方法研究得较为系统完整，使指标数值测试的精确程度不断提高。土的分类至关重要，经过长期研究，分类原则及类型划分逐渐趋于一致。我国特殊土类型多、分布广，研究也较细致全面，诸如西北的黄土、华南的红土、西部内流盆地的盐渍土、华中地区的膨胀土、沿海一带的淤