



中国科学院科学出版基金资助出版

中国工程地质学

张咸恭 王思敬 张倬元 等著

中国科学院工程地质力学开放研究实验室资助出版

科学出版社

2000

内 容 简 介

本书是由我国三十多位著名工程地质学家共同完成的一部既代表当前学科发展水平又具有中国特色的重要著作。全书分4部分,共26章。

第一部分论述了岩体、土体、水文地质、天然建筑材料等工程地质条件;第二部分主要分析了区域地壳稳定性、斜坡稳定性、围岩稳定性、地基稳定性、岩土体稳定性等具有普遍性、研究较多的工程地质问题;第三部分进行了水利水电、矿山、铁路、城市与工业、以及海港与近岸建筑地区的工程地质评价,通过工程实例分析该类建筑特有的工程地质问题和建筑场地的选择等,并对环境工程地质评价做了总体论述;第四部分为各种勘察技术方法,着重于我国创新改进的技术方法,以及引进的新技术、新方法在我国成功应用和取得显著效果的实例。

本书可供从事工程地质研究和工程建设的科技人员,高校教师、研究生和高年级学生参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国工程地质学/张咸恭等著.-北京:科学出版社,2000

ISBN 7-03-008794-1

I. 中… II. 张… III. 工程地质 IV. P642

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 69243 号

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号
邮政编码:100717

源海印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2000年10月第一版 开本:787×1092 1/16

2000年10月第一次印刷 印张:34

印数:1—1 000 字数:791 000

定价:82.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈杨中〉)



前 言

《中国工程地质学》终于问世并与读者见面了。我国数十位工程地质学家为这本专著的撰写做出了奉献,它反映了我国工程建设的成就和我国工程地质学科半个世纪的进展。

新中国成立以来,我国在各方面开展了史无前例的大规模工程建设,包括能源、交通、工业、矿山、水利以及国防工程和城市建设等。改革开放将工程建设推向了新的高潮。80年代以来建成和正在兴建的若干举世瞩目的巨型工程,如长江三峡工程、小浪底水利枢纽、大亚湾核电站、京九铁路、内昆铁路、金川镍矿、山西煤化工基地、长江大桥工程等等,不胜枚举。这些工程对地质条件要求高,技术难度大,遇到严重的地质灾害和工程地质问题,工程地质学家为它们的勘测、论证和设计、施工提供了重要的技术保障。同时,通过这些重大工程的实践,也使工程地质工作发展到新的水平,从工程地质条件的勘测、评价走向定量预测和地质工程的实施。

在解决工程建设关键地质问题的同时,工程地质的科研、教学和技术都得到快速的发展。针对我国地质构造复杂性、活动性及地质环境的特殊性,中国工程地质研究取得若干举世瞩目的成就,丰富了国际工程地质学的宝库。我国区域地壳稳定性研究取得丰硕的成果;工程地质力学理论,密切了地质和力学及工程的结合;黄土及岩溶地区工程地质做出了富有我国特色的研究;在地质环境和灾害领域的研究正在开拓和突破;现代科学的系统论、非线性理论、不确定性广泛地受到工程地质学家的重视和应用,出现了若干新的生长点和理论进展。

我国工程地质学的理论研究、技术发展和生产实践正在蓬勃地发展,年青一代工程地质学家迅速成长起来,他们已经成为我国工程地质学科研、教学和工程实践中的骨干,逐渐起到主导作用。预期在新世纪的初叶,我国工程地质学理论和工作将会有新的重大发展,我国工程地质学工作者将会进一步在国际工程地质学学术舞台上大显身手。为了总结我国工程地质学的创造性成果

和丰富的工作经验,在广大工程地质学家的倡议下,张咸恭教授牵头,组织编著了这本《中国工程地质学》。数十位工程地质学家参与了撰写工作,内容涉及工程地质学各主要分支和领域。当然这种工作是一项复杂的“系统工程”,又加近几年来工程地质工作任务的繁忙,科研经费的不足等多种客观原因,《中国工程地质学》的著作和出版曾受到一时的挫折和拖延,就算“好事多磨”吧!著者们感谢中国科学院科学出版基金的资助,感谢中国科学院地质研究所工程地质力学开放研究实验室的支持,感谢《工程地质学报》编辑部、古迅、宋玉环、张连弟等同志的辛勤劳动,热情支持和无私奉献,特别感谢李毓瑞研究员对本书的大力支持和积极贡献。

这本专著的作者们和参加编辑出版的同志们愿将《中国工程地质学》献给新世纪的伟大祖国的年青建设者们,祝愿他们勇于开拓未来,把中国工程地质学推向新的高度,谱写 21 世纪伟大祖国宏伟建设的新篇章。

中国工程院院士

中国地质学会工程地质专业委员会主任委员 王思敬

国际工程地质学与环境学会理事长

第1章 绪 论

1.1 工程地质学的研究对象

工程地质学是研究与工程建设有关的地质问题的科学,它的应用性很强,各种建筑的规划、设计、施工和运行都需要做工程地质研究,才能使工程建筑与地质环境互相协调,既要保证工程建筑安全可靠、经济合理、运行正常,又要保证地质环境不会因工程的兴建而恶化,造成对工程建筑本身以及周围环境的危害。

工程建筑与地质环境二者相互作用、相互制约。一项工程建筑在兴建之前必须研究能否适应它所处的地质环境,又要分析在它兴建之后会如何作用于地质环境,会引起哪些变化,预测它们对建筑物自身的稳定性造成危害,对此做出评价,并研究采取怎样的措施才能消除这种危害;还要预测它们对建筑周围环境造成的危害,也要做出评价,并制定保护环境的对策。这一整套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,也就是工程地质学的研究对象。

1.1.1 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。每一类型建筑又是由一系列建筑物群体组成的,诸如高楼大厦、工业厂房、道路、桥梁、隧道、地铁、运河、海港、堤坝、电站、矿井、巷道、油库、飞机场等等,不胜枚举。这些建筑物有的位于地面,有的埋于地下,总之都脱离不开地壳,因而无不与地质环境息息相关。它们的型式不同,规模各异,对地质环境的适应性,以及对地质环境的作用也不一样。随着科学技术的发展,工程建筑物也向着高、深、大、精变化,与地质环境的相互作用也愈来愈强烈,愈复杂。

工程建筑对地质环境的作用,是通过应力变化和地下水动力特征的变化表现出来的。建筑物自身重量对地基岩土体施加的荷载,坝体所受库水的水平推力,开挖边坡和基坑形成的卸荷效应、地下洞室开挖对围岩应力的影响,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,一定量值的变形是允许的,过量的变形以至破坏就要使建筑物失稳。建筑物的施工和建成经常引起地下水的变化给工程和环境带来危害,诸如岩土的软化泥化、地基砂土液化、道路冻害、水库浸没、坝基渗透变形、隧道涌水、矿区地面塌陷等。

显然,工程建筑物对地质环境作用的性质和强度,决定于建筑物的类型、规模和结构,同时也决定于场地的工程地质条件,而且在某种程度上工程地质条件起着决定性的作用。

1.1.2 工程地质条件的优劣

工程地质条件可定义为:与工程建设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、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(详见第2章),一地的工程地质条件反映了该地的地质发展过程及后生变化,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,其工程地质条件也就不同,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,这是因为它们受着同一地质发展历史的控制,形成一定的组合模式。例如平原区必然是碎屑物质的堆积场所,土层较厚,基岩出露较少,地质结构比较简单,物理地质现象也不很发育,地下水以孔隙水为主,天然建筑材料土料丰富石料缺乏。还可有许多其他模式。不同的模式对建筑的适宜性相差甚远,存在的工程地质问题也不一致。

由上述可知,认识工程地质条件必须从基础地质入手,了解地区的地质发展历史,各要素的特征及其组合的规律性,这对于解决实际问题是大有助益的。

工程地质条件的优劣在于其各个要素是否对工程有利。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,性质良好;页岩、粘土岩、碳质岩及泥质胶结的砂砾岩,以及遇水膨胀、易溶解的岩类,软弱易变,性质不良,断层岩和构造破碎岩更软弱,这类岩石都是不利于地基稳定的,成为岩体研究中的重点。松软土中的特殊土如黄土、膨胀土、淤泥等也是不利因素,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,大型建筑物一般要建在性质优良的岩土上,软弱不良的岩土体工程事故不断、地质灾害多发,常需避开。地形地貌条件对建筑场地的选择,特别是对线性建筑如铁路公路,运河渠道等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,不但能大量节省挖填方量,节约大量投资,而且对建筑物群体的合理布局、结构型式、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、材料运输道路是否方便等都决定于地形地貌条件。

地质结构和地应力包含了地质构造、岩体结构、土体结构及地应力等,含义较广。是一项具有控制性意义的要素,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。断层,尤其是活断层,工程人员最为担心,确实给建筑带来过很大危害。在选择建筑物场地时必须注意断层的规模、产状及其活动情况。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类型、特征和分布规律。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。岩体的地应力状态对建筑物的施工和稳定性影响不容忽视,将列章专述。

水文地质条件是决定工程地质条件优劣的重要因素。地下水位较高一般对工程不

利,地基土含水量大,粘性土处于塑态甚至流态,容许承载力降低,道路易发生冻害,水库常造成浸没,隧洞及基坑开挖需进行排水。滑坡、地下建筑事故、水库渗漏、坝基渗透变形以及许多地质灾害的发生都与地下水的参与有关,甚至起到主导作用。

物理地质现象是指对建筑物有影响的自然地质作用与现象。地壳表层经常受到内动力地质作用和外动力地质作用的影响,这对建筑物的安全造成很大威胁,所造成的破坏往往是大规模的,甚至是区域性的。例如地震的破坏性很大;滑坡、泥石流、冲沟的发生也给工程和环境造成无穷的灾难。在这些物理地质现象面前,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物理地质现象存在,对工程的安全有何影响,如何防治。只要注意研究其发生发展的规律,及时采取措施,可怕的物理地质现象是可以克服的。

天然建筑材料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,应该遵循“就地取材”的原则,用料量大的工程尤其应该如此。所以天然建筑材料的有无,对工程的造价有较大的影响,其类型、质量、数量以及开采运输条件,往往成为选择场地,拟定工程结构类型的重要条件。

上面从六个要素的单独分析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,存在的工程地质问题加以综合分析论证。

1.1.3 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称为工程地质问题。

分析工程地质问题就是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,影响因素、边界条件,做出定性评价,并在此基础上进一步利用各种参数和计算公式进行计算,做出定量评价,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,做出评价和结论,提供设计和施工参考,共同制定防治措施方案,以便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,可以说工程地质问题分析是工程地质工作的中心环节。

工程地质问题分析要“吃透两头”:一头是“工程意图”,即工程设计人员对建筑物的结构和规模的构想,以便了解工程的要求;另一头是工程地质条件,哪些因素是有利的,哪些是不利的,深刻认识客观情况。工程地质问题分析还能够起到指导勘察的作用,为合理选用勘察手段,布置勘察工作量提供依据。

各类建筑物的结构型式不同,其工作条件和工程作用力的大小方向各异,与地质环境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沉降问题,建于地下则有围岩(土)稳定性问题,建于山坡上则有斜坡稳定性问题。道路建筑的工程地质问题有:路堤的地基稳定性问题,道路冻害问题,边坡稳定性问题,隧道围岩稳定性问题,桥墩台地基稳定性问题等。水利水电工程则有:水库渗漏问题、库岸稳定性问题、水库浸没问题、水库淤积问题、水库诱发地震问题、坝基抗滑稳定问题、

坝基渗漏问题、坝基渗透稳定问题、坝肩稳定问题、船闸高边坡稳定性问题、输水隧洞围岩稳定性问题等。还有很多别的建筑,也各有其工程地质问题,就不一一列举了。这些工程地质问题在后面的章节中将进行分析论证,其中边坡稳定性问题、地下建筑围岩稳定性问题和地基稳定性问题是各类建筑都遇到的问题,具有一定的普遍性,将在第二篇中专章进行分析。

1.2 工程地质学的研究内容

工程地质学研究的内容很广泛,随着建设的发展,研究领域不断扩展,研究内容更加丰富。但是有些方面还处于初期,没有形成系统。这里主要对一些比较系统的内容,简要说明。

1.2.1 土体工程地质研究

地壳表层分布最广的是土,各类建筑物或多或少总要与土打交道。工程上很早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,土力学的发展也比岩石力学和工程地质学为早。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。研究的重点是土的工程地质性质、物质组成和结构特征,粘土矿物的研究尤为重要。土的微观结构研究,有助于探究土的特性及其变形机制。土的物理力学性质的形成、变化规律、测试技术方法,应作深入细致的研究,使指标数值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,诸如西北的黄土、华南的红土、西部内流盆地的盐渍土、沿海一带的软土、东北和西部高原的冻土,以及华中地区的膨胀土等,对其特性和处理措施也要深入研究。土质改良和土体加固的研究应受到重视,尤其是对特殊土的不良特性,地基处理应作为工程地质研究的重要研究内容。工程地质学的一个重要分支学科工程岩土学(过去称为土质学)就是主要对土进行全面研究的一门科学,其中专门研究改善土的不良性质的学科被称为土质改良学。

1.2.2 岩体工程地质研究

大型工程和地下工程多以岩体为地基或围岩,由于所受工程作用力强,看起来比土体坚固且整体性较好的岩体,也往往不能满足工程的要求。主要的问题在于岩体中存在各种成因的大大小小的、强弱不同的结构面,将岩体分割为非连续体,所以有时把结构面称为不连续面。被结构面切割成的岩块称为结构体,岩体由二者的不同组合与排列关系形成不同的结构类型。不同结构类型的岩体,其力学性质和变形破坏机制是不同的。在工程地质问题分析中必须首先了解岩体结构类型。要研究结构面的成因、规模、充填情况、延续性和级序;结构体的岩性、形状、块度。岩体中各类岩石的物理力学性质,特别是其强度指标,也是工程地质研究的重点之一。而岩石对岩体的控制作用远不如岩体结构。岩体结构对于地质模型和岩体力学模型的建立,对认识岩体变形与破坏规律,岩体力学性质

的基本规律以及岩体改造等,均起着控制作用。

软弱结构面和破碎岩体是岩体中的薄弱环节,常成为岩体失稳的突破口,是岩体工程地质研究的重要内容。诸如软弱夹层、层间错动带、构造岩-断层岩,特别是断层夹泥层、泥化夹层等。又如膨胀岩、风化岩等也是很重要的。岩体工程地质分类和岩体质量评价也是引人注目的研究内容。在工程地质中还研究岩体改造和岩体加固的原则和技术方法。“岩体工程地质力学”已成为研究岩体工程的分支学科。

1.2.3 工程动力地质作用与地质灾害的研究

地壳表层永无停息地遭受着各种自然营力引起的内动力地质作用和外动力地质作用,其对工程建设有影响者称为物理(自然)地质作用,这种作用所产生的现象称为物理地质现象,以区别于普通地质学的概念。由工程建设与地质环境相互作用而引起的现象称为工程地质现象。二者合称为工程动力地质作用。其对工程和人类造成生命财产的损失者则称为地质灾害,从环境意义上来说则是地质环境问题。

工程动力地质作用的类型很多,一般教科书中均有论述。我国幅员辽阔,地质复杂,各类现象均有发育,而且有的很强烈,造成的灾害也较严重,在工程地质中已成为重要的研究内容。在中国,地震频繁而强烈,造成的灾害往往很严重,对工程建设具有很大威胁。滑坡是分布最广、危害较大的工程动力地质现象,是最早引起人们注意研究的地质灾害。对于滑坡发生的原因、影响因素、变形破坏机制、稳定性评价、监测预报、防治措施等都要详细研究。对喀斯特的形成条件、发育规律、水文地质特征、工程地质评价、防渗处理、以及地面塌陷的形成机制与处理措施等均应作系统的研究。泥石流的形成条件和发育过程,动力学特性,预测预报方法和防治措施等,要结合铁路建设和城镇发展进行研究。

早在 60 年代,我国即对上海地面沉降开展了系统研究,明确了其形成机制、监测技术和回灌措施,取得治理效果。相继又对天津、宁波、无锡、常州,以及西安、太原等地的地面沉降进行研究,总结出了一套规律。对人类工程(经济活动)而引起的其他工程动力地质作用(如喀斯特地区、矿区地面塌陷、水库诱发地震、道路冻害、盐胀等)都做了大量工程地质研究,取得了丰硕成果。

专门进行工程动力地质作用研究的分支学科,称为“工程动力地质学”。

1.2.4 工程地质勘察理论与技术方法的研究

勘察工作需要理论指导,把多次反复取得的实践经验上升到理论,用以指导新的实践,勘察理论就能得到不断提高、发展和完善。各种勘察手册、细则、规范,正是这种理论研究的结晶。

各种勘察技术方法,有其本身的理论基础、工作特点,基本设备、应用条件、操作要点、技术要求和成果整理方法需要研究。我国在勘察技术手段和仪器设备方面还比较落后,因而不断改进技术方法,研制或引进新的仪器设备,以提高工作质量,减轻体力劳动,也是工程地质应该加以研究的内容。

在各类建筑的勘察工作方面,工程地质的研究内容主要是如何按照勘察阶段完成应

有的勘察任务,圆满回答设计和施工方面提出的问题,满足各种地质资料和计算参数的需要。研究各项勘察方法的配合关系,分清主次。工作量的安排标准:如勘探网点布置原则、间距、深度,取样数量,试验项目,监测网点布置。物探快捷而经济,如何充分发挥其在探查和测试方面的作用,应注意研究。如何应用新的技术方法提高勘察的可靠性也是要很好加以研究的内容。如工程地质模型和模拟试验,计算机的应用,以及数据库、专家系统的建立,应用各种新的理论与方法(如模糊数学、分数维、灰色理论)等等,以提高定量评价的水平。

在工程地质学中专门从事勘察研究的分支学科为“专门工程地质学”或“工程地质勘察学”。此外,结合不同类型工程建筑的还有:“铁路工程地质学”、“水利水电工程地质学”、“矿山工程地质学”等。

1.2.5 区域工程地质研究

研究工程地质条件的区域性规律,例如岩土类型的分布规律,各种物理地质现象的分布规律,特别是地质构造的变化规律等。研究的范围可以是全国性的,也可以是地区性的,或流域性的。还可以按照工程地质条件的相似性和差异性进行分区、可作几级划分。各级区划的分区标志,即区划原则必须研究,使分区更能反映工程地质特征。

我国区域工程地质研究较早,在 50 年代末开展了全国区域工程地质的研究。80 年代中期,任国林等在前人研究和各方面资料的基础上,编制的 1:400 万《中国工程地质图》及说明书于 1990 年首次公开出版。按照大地构造和大地貌将我国划分为 37 个一级工程地质区,根据次级构造和地貌划分为 83 个工程地质亚区,在说明书中有一幅 1:2000 万《中国工程地质分区图》,在 1:400 万图上则未划分区界线。

水利水电部门编制了黄河、长江、淮河、珠江、海河、黑龙江等大江河的流域规划,以及其他一些大支流的流域规划,均有区域性的工程地质图及报告书,属于单一目的区域工程地质研究。铁道线路工程地质和城市规划工程地质等也具有类似的性质。80 年代中后期各省编制的地图集中均有工程地质图,具有综合性目的。

区域工程地质研究为规划工作提供了地质依据,也为进一步的工程地质勘察和研究打下了基础。“区域工程地质学”即为专门研究区域工程地质的分支学科。

1.2.6 环境工程地质研究

1980 年国际工程地质协会提出要注意研究工程建设给人类带来的环境问题。我国于 1982 年召开了第一届环境工程地质学术讨论会,对环境地质的概念、研究范畴、研究方向等进行了讨论,提出了在我国加强环境工程地质研究的建议。明确了工程地质研究在研究地质环境对工程的影响的同时,还应注意研究工程对地质环境的影响。工程建筑与地质环境的相互作用表现出了双向效应。即地质环境的优劣影响建筑物的安全、经济,工程建筑作用于地质环境,引起地质环境的变化,一方面反馈影响建筑本身,另一方面恶化周围环境,造成对人类生活与生产活动的危害。

研究的目的在于合理开发利用地质环境和治理、保护地质环境。这是工程地质研究

的一项新的任务。研究的内容较为广泛,在这里人类工程活动所引起的发生了演化的地质环境称为次生地质环境,这是研究的重点,它的工程地质特性和继续演化的趋势是制定开发和治理方案的依据。

恶化环境,对人类生命财产经常造成危害或潜在威胁的地质灾害是环境工程地质的重要内容。地质灾害包括自然地质灾害和工程建筑引起的地质灾害,类型繁多,主要的有:地震、地裂缝、崩塌、滑坡、泥石流、水土流失、沙漠化、地面沉降、地面塌陷、黄土湿陷、水库诱发地震、突水突泥、煤和瓦斯突出等。在我国由地质灾害造成的直接经济损失平灾年约为 274 亿元(据段永侯等),人员伤亡也很严重。要研究其发生发展规律、勘察监测技术、预测预报方法和防治处理措施。

由于研究内容的广泛性和防治措施的综合性,环境工程地质研究必须采取多学科综合研究的途径,把工程地质研究与岩土力学、工程学和环境学研究结合起来,并应用新理论、新方法使之走上系统化、定量化和信息化的道路。

1.3 工程地质学的任务与实际意义

工程地质学的任务就是为工程建设进行地质研究,提供工程规划、设计、施工所需的地质资料,回答工程上所遇到的各种地质问题,满足工程上对地质的要求,以保证建筑物的安全可靠、经济合理、运行正常。

我国从解放初期起就一再规定基建的程序为:施工之前必须先进行设计,设计之前必须先进行勘测。指明了勘测工作必须走在前面。缺乏地质勘察报告,工程的规划设计是不能被批准的。这就从法规上明确了工程地质勘察的重要性。

在工程设计之前要进行勘察,在整个设计过程中也要进行勘察,经验证明在设计完成后的施工甚至在工程建成后的运行过程中都随时会遇到地质问题,需要工程地质的配合。实际上在规划时期就要搜集已有的地质资料和一定的地质踏勘。可以说自始至终是离不开地质工作的。

近年来许多工程建设部门制定了环境保护工作规程,规定要对工程兴建可能引起的环境问题做出论证,其中地质环境的变化是重要方面,提出了环境工程地质的任务,通过调查研究做出环境评价,制定保护地质环境的措施。

由上述可知工程地质学要研究工程建筑与地质环境之间的相互作用,以便合理开发地质环境为工程建设所用;同时也要论证地质环境发生的变化,采取措施妥善保护地质环境。这就是工程地质学的基本任务。要完成这一基本任务,还需通过下列具体勘察任务(详见第 20 章)才能达到:(1) 研究建筑地区的工程地质条件,指出有利因素和不利因素,阐明工程地质条件特征及其变化规律;(2) 分析存在的工程地质问题,做出定性分析,并在此基础上进行定量分析;(3) 选择地质条件较为优越的建筑场地;(4) 对选定的场地做出工程地质评价;(5) 预测工程兴建后对周围地质环境造成的影响,做出环境质量评价;(6) 改造地质环境,进行工程地质处理,提高岩土体稳定性,保护环境质量。

这里简略谈谈工程地质评价的概念。这个词用得比较广泛,也不那么严格,诸如工程地质条件评价、稳定性评价、环境质量评价、区域稳定性评价、岩体质量评价、建筑场地评价、定性评价、定量评价等。评价的含义一般理解为对被评价对象是好是坏的看法,意味

着具有一定结论性的意见。评价一般在工程地质条件研究之后做出。例如不同地区由于工程地质条件组合情况不同可分为几种评价:好的、较好的、较差的、差的……。这样的评价因为没有针对某种建筑物,所以只能是一般性综合评价。如果结合某种建筑物,则可以按工程地质条件与该类建筑物相互作用的情况进行评价,分为适宜性好的、适宜性较好的、适宜性较差的和适宜性差的。在一个场地内,由于各部分条件不同,对主要建筑物的适应性不同,也可以这样划分,这就是分区评价。分区要有分区标志,例如以地基承载力的数值分成几个等级作为标志。

工程地质问题分析的结果,不论是定性分析还是定量分析,都可以根据其严重程度的不同做出不同的评价。综合工程地质条件和所有工程地质问题分析的结果对建筑场地所做出的评价称为场地综合评价,达到场地工程地质勘察的目的。例如在工程的可行性研究阶段,勘察的目的就是为选定建筑物的地址、初步拟定建筑物的型式、规模、以及建筑物群体的布置方案进行地质论证,提供地质资料,做出工程地质评价。由此可见,工程地质勘察,不论任何阶段,都要通过各种工作完成该阶段的勘察任务,对工程地质条件和各个工程地质问题做出工程地质评价,并对整个场地、各建筑物的适宜性做出总的工程地质评价,作为勘察工作的结论。这就是勘察的目的。可以说,工程地质的目的就在于为工程建筑做出正确可靠的工程地质评价,同时也为工程建筑对周围环境的影响做出环境工程地质评价。

工程地质学的实用性很强,它在工程建设中具有重大的实际意义,已经成为必不可少的组成部分。大量中外事例表明,缺少或不重视工程地质工作,建筑物的安全常常得不到保证,或者大大提高造价,还会留下隐患,使工程难以正常运行。

工程建筑的最基本要求就是安全可靠,不受破坏。有些设计工程师尽量把建筑物本身设计得很牢固,以为这就可以保证建筑物的稳定,而对于场地的地质环境如何就不那么注意,结果地质上出了问题,建筑物遭受破坏或变为无用。

例 1 美国加利福尼亚州的圣弗朗西斯坝为一高 70 m 混凝土坝,修成蓄水两年,于 1928 年被冲垮。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,弱点是会查清,予以妥善处理的。

例 2 意大利瓦依昂水库左岸大滑坡。水库总库容 1.69 亿 m^3 ,坝高 265.5 m,为一混凝土双曲拱坝,质量甚好。水库左岸为潜在滑移区,施工中已发现岸坡不稳定,并做过一些稳定性研究工作,还做了长期观测,发现有蠕变现象,蓄水后也出现过局部崩塌现象,征兆是明显的。但是研究人员认识不足,而且作了错误的判断,未能抓住关键,及时采取对策和有力措施,以致在水库蓄水后三年的 1963 年 10 月左岸 2.7~3.0 亿 m^3 岩体突然下滑,速度极快,冲力极大,巨大的滑体落入水库,激起涌浪,超过坝顶 100 m,过坝水流一泻而下,冲毁了下游的 5 个村镇,死亡近 3000 人,酿成了震惊世界的惨痛事件。水库被滑下的岩土体填满,成为石库,水库完全失效报废,举世最高的混凝土拱坝则屹立无恙。究其原因还是由于地质工作没有做好。

例 3 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。

工程建筑的另一基本要求就是经济合理。工程地质工作的最大意义就在于既保证建筑物的安全,又能尽可能利用有利的地质因素,避开不利因素,以减少昂贵的处理措施,降

低工程的投资,取得最大的效益。在工程建设上,这就叫做经济合理性。从当今的科学技术水平来看,工程上可以说没有什么困难是不能克服的,经过工程技术处理,地质上的缺点和弱点总是可以改善的,只要不怕花钱,建筑物的安全总是可以得到保证的。这里就有个经济效益问题,不能不予考虑。例如一个设计深度为 500m 的露天矿坑,边坡角每增大 10° ,剥离总量几乎减少一半;每增大 1° ,一般可节省投资 2000 万~3000 万元。如何确定最佳边坡角?既能保证安全,又经济合理?只有通过深入细致的工程地质工作,取得准确的计算参数,进行科学的分析计算,才能做出正确的工程地质评价。

为工程建筑选择地质条件较好的建筑地点,目的就在于尽可能减少处理措施,降低造价,而且还能缩短工期,早投产,早收益。国内外由于忽视工程地质勘察造成浪费的工程是很多的,特别是未曾进行地质研究就盲目选定了有着严重地质缺陷的建筑场地,施工过程中才发现补救较难,需做复杂的处理,大大增加了投资,延误了工期。

工程建成后能够顺利运行,没有隐患也是至关重要的。有些工程完工后事故不断,不能正常运行,经常需要维修,累计的维修费往往超过工程造价。例如某地一个工厂,兴建之前勘察工作不够充分,把厂址放在洪积扇的溢出带上。这种地带的工程地质特征是地下水位高,地基土体位于地下水位以下,土体结构又以粘性土层较多,有时甚至夹有淤泥层。在饱水状态下这类土层呈现塑流状态,性质软弱,承载力很低。修建过程中地基排水和处理工作量很大,造价较高。建成后主要建筑物生产厂房地基沉降量过大,超过容许数值,以致机器不能正常运转,不得不采用昂贵的电动硅化法加固地基。其他方面也出现了一系列事故,做了麻烦的处理,仍不能保证持续的生产,损失很大。又如黄土地区修建工程,存在黄土地基湿陷问题。房屋修建以后一定要注意防止地表水或地下水浸湿地基,加强排水设施,才能保证房屋的稳定,正常使用。有的地方对此注意不够,下水系统堵塞,未及时修理,结果地区性地下水位上升,房屋地基浸水发生黄土湿陷,造成大范围内的数十幢楼房墙壁开裂,有的甚至倒塌,损失很大。工程地质勘察和建议在建筑物的正常使用中具有重要意义。

1.4 中国工程地质学的发展

1.4.1 解放前的历史

中国古代的许多巨大的工程建设,就已经初步具有一些工程地质的知识和经验。例如公元前 250 年修建四川都江堰分水灌溉工程时,地形的利用很巧妙,并能按照河流侵蚀堆积的规律制定“深淘滩、低作堰”的治理法则,又使用当时最先进的技术方法,针对岩体结构特征,开凿出了宝瓶口输水渠段,引岷江水灌溉川西平原,造福人民。公元前 200 多年在广西兴安县修建了灵渠,沟通了湘江和漓江,是连接长江和珠江的跨流域工程,2000 多年以来航运不断,这一工程在地质地貌的利用方面是符合工程地质原理的。伟大的长城选择了山脊分水岭作为位址,利用了坚硬岩石作为地基,既雄伟又稳固。大运河的线路选得很好,把江河湖泊和平原洼地连接起来,减少挖方量,水体沟通,成为贯穿南北的大动脉。至于许多古代桥梁、宫殿、庙宇、楼阁、院塔的修建,更是考虑到地震和地下水的问题,选定了良好的地基,进行了合适的加固处理,采用了各种坚固美观的石料,使这些建筑物

坚实稳定,历千百年而依然屹立。

在中国,自觉地把地质学的知识应用到工程建设方面的,首推丁文江,他于20世纪20年代进行过天然建筑材料的地质调查。其后,李学清曾先后做过长江三峡和四川龙溪河坝址地质调查。公路和铁路建设的地质调查如川滇、滇缅、宝天、甘新线等在30年代开展较为广泛。林文英发表的《公路地质学之初步研究》、《中国公路地质概论》初步反映了这方面的工作经验。公路研究实验室和水利实验处土工室先后于1940年和1942年成立,正式开始了岩土测试工作。40年代中后期,水利工程地质调查有所开展,进行了岷江、大渡河、黄河及其他江河的规划考察,并对广东湓江、台湾大甲溪电站做了工程地质调查。1946年美国水利工程学家萨凡奇来中国考察长江三峡水利工程,我国派侯德封等同往进行地质调查。1946年在南京地质调查所成立了工程地质研究室。大学地质系只为土木工程专业学生讲授工程地质学,内容上基本为普通地质学加上少量与工程有关的地质知识。当时还有一部分人从土工方向出发,应用土力学和地基基础的知识,为房屋、铁路、水利等建筑工程担负起勘测、地基基础设计与施工的全面工作。

1.4.2 解放后的发展简况

中国的工程地质学是在解放以后才发展起来的,经历了从无到有、从小到大、从所知甚少到内容丰富多彩,独具特色,达到国际先进的过程。发展的动力在于社会主义大规模经济建设的需要。四十多年来,我国各项工程建设得以顺利进行,地质事故较少,是与工程地质工作分不开的。我国广大的工程地质工作人员付出了艰辛的劳动,做出了巨大的贡献,同时也在实践中积累了丰富的经验,取得了大量的成果,创造了具有中国特色的工程地质学。

解放初期,大量工厂、矿山、铁路、水利建设,根据苏联经验,需要进行地质勘察,很多老地质学者投入了这方面的工作。1952年地质部成立,设有水文地质工程地质局。水利水电、铁道、建筑、冶金、机械等部门也相继设立了工程地质处或勘测队。

国家需要工程地质技术人才的势头很大,在1952年成立的北京地质学院和长春地质学院均设有水文地质工程地质专业,南京大学地质系也设立了这一专业。1956年成都地质学院成立,加上同济大学、唐山铁道学院(现为西南交大)全国已有六所高等学校培养工程地质人才。此外还有西安、宣化、南京等中等地质学校也设有此专业。改革开放以后,又成立了西安和河北两个地质学院,有的水利水电学院、铁道学院、冶金学院、建工学院和一些大学地质系也都增设专业培养工程地质人材。加上研究生和留学生的培养,全国的工程地质队伍不断壮大,素质不断提高,初步估计现已达三万余科技人员的规模,但仍不能满足全国建设事业的需要。

科研机构相继成立,1956年地质部设立了水文地质工程地质研究所,中国科学院地质研究所也设立了水文地质工程地质研究室,许多工程部门的科学研究院也相继设立了工程地质研究室或土工组。

生产、教学、科研三个方面互相结合,团结一致,推动着中国工程地质事业的发展。1979年由谷德振主持,在苏州召开了首届全国工程地质大会,成立了中国地质学会工程地质专业委员会。并建立了国家小组,参加了国际工程地质协会,这一学术组织对工程地

质的发展起了重要作用。1985年中国科学院地质研究所设立了工程地质力学开放研究实验室,做出了许多优秀成果,培养了不少青年学者,起到全国研究中心的作用。

1.4.3 中国工程地质学的成就

解放初期学习苏联,引入了工程地质学。老一辈出身地质的工程地质工作者,地质基础知识较为坚实,重视基础地质研究,在地质调查和物探与勘探的配合下,对工程场地的工程地质条件研究得较为深透。60年代起,重视工程地质问题的分析,测试技术进一步提高,所提参数较准确,计算方法改进,所做出的评价更为正确。凡此,对重大工程的修建有所保证。诸如治淮和治理海河的系列工程;长江、黄河、珠江、黑龙江四大流域的水利水电开发;宝成、成昆、襄渝、湘黔、兰新等铁道干线的建设;武汉长江大桥、南京长江大桥和黄河大桥的修建;鞍钢、武钢、攀钢、金川、白银等矿山开采,以及石油、煤炭基地的建设;港口和海岸工程、国防及尖端技术工程建设,以及攀枝花、嘉峪关、白银、三门峡、金昌、大庆等新兴城市和大量城市的扩建改建等,都做了详细的工程地质工作。我国广大工程地质工作者所做的贡献,是工程地质学的突出成就。改革开放以来,建设的规模更大,大型工程更多,如龙羊峡、乌江渡、鲁布格、天生桥、五强溪、二滩、三峡等水利水电工程;秦山、大亚湾核电站;焦柳线、黔桂线、大秦线、京九线等铁道线路以及许多大桥、长隧道工程;新的大型矿山油田建设;深圳和一大批经济开发城市建设;高速公路和高层建筑、立交桥的建设等。在这些现代化的工程中同样洒下工程地质工作者的汗水,做着默默的奉献。

教学方面,随着生产和教学经验的积累,编写了我国自己的教材。第一部《工程地质学》(上、下册)是由北京地质学院工程地质教研室编写的,于60年代初正式出版。书中强调了以工程地质问题分析为中心的学术思想。改革开放以后又连续编出了一大批教材,其中成都地质学院编著的《工程地质分析原理》,内容丰富,水平较高。其他院校还编写了《工程岩土学》、《土力学》、《岩体力学》、《专门工程地质学》、《工程地质学》、《工程地质学基础》等一批教材,以及一些教学参考书。同济大学还编写了一套岩土工程专业需用的教材。这些教材对培养专业人材起了重大作用,也显示了我国工程地质学教育的水平。随着社会主义市场经济的需要,工程地质学教育正处于大力改革之中。

在科技成就方面,首推岩体工程地质力学。谷德振和中国科学院地质研究所的学者根据多年实践经验,进行地质和力学相结合的研究,创立了岩体工程地质力学。提出了“岩体结构”的概念,强调岩体结构及其对岩体稳定性的控制作用。在他所著的《岩体工程地质力学基础》一书中充分论述了岩体结构类型及其力学性质和变形破坏机制、岩体质量及其稳定性评价,形成了系统理论,表现出我国在岩体工程地质研究方面的特色。

此外,我国在软弱、破碎岩体的研究方面也取得较大进展。例如断层岩的分类及其物理力学特性和稳定性评价的研究;泥化夹层的成因、特性和稳定性评价方法;膨胀岩的物质与结构特征,膨胀机理和处理措施等。

其次是土体研究,主要成就是对土的微结构开展了广泛研究,有了深入了解,但与物理力学性质的关系研究得还不够。大陆架海洋土,尤其是太平洋底细粒土的研究,近年来进展较大。其与陆相土的差别在于绿泥石含量高, Na^+ 、 Mg^{2+} 含量高,具有特殊的絮凝型蜂窝状结构。南海土石英碎屑少而硅质钙质生物沉积多,工程性质也较特殊。经过研究

发现,膨胀土的分布范围已不限于黄河以南地区,在华北、西北多处也发现了上第三系三趾马红土具有较高的膨胀势,属膨胀土。土的干容重对膨胀性具重要影响。用膨胀系数和收缩系数可判别分类,计算变形量。我国东南沿海分布很广的花岗岩残积土,适于用静载荷试验、旁压试验、微型荷载试验求取地基承载力,扰动小,结果可靠。深圳地区原先把花岗岩残积土定为高压压缩低承载力土,一般高层建筑均采用桩基,费用高昂。1983年经系统研究,得出了低压缩高承载力的结论,作为天然地基可以满足20层以下一般高层建筑的要求,不必用桩基。对此,全区取得共识,建筑投资节约以亿元计。

第三,区域地壳稳定性研究取得重大成就。在三峡、二滩等水利水电工程,苏南、辽南、大垭湾等核电站工程中,区域地壳稳定性研究进展较大,发展了相对稳定区和“安全岛”等理论。其核心问题是断层发育情况与活动性,地应力状况,以及区域地震危险性分析。据此做出区域地壳稳定性的分区和评价。

第四,地质灾害意识和研究工作的加强。滑坡、泥石流、地裂缝、喀斯特地表塌陷及地面沉降、水库诱发地震等地质灾害的频繁发生早已引起我国工程地质界的注意。“国际减轻自然灾害十年”的联合国大会决议,更促进了防灾减灾意识的增强,把过去工程动力地质现象的研究引向偏重地质灾害方面,并与环境工程地质研究结合起来。1989年成立了中国地质灾害研究会,推进地质灾害的调查研究与防灾减灾的对策制定。许多部门对不同灾种做了调查建档工作,并规定工程建筑需先做环境评价。研究部门进行地质灾害的监测、预测预报及防治措施研究,取得较大进展。

第五,工程地质勘察质量提高。以长江三峡为例,对这一举世瞩目的特大综合性水利水电工程,在详细可靠的基础地质工作和大量勘探试验工作的基础上,近年来又使用各种新技术、新方法,做了较充分的地质分析和定量评价。在区域地壳稳定性方面属于稳定地区,近坝区无活动性强的区域性大断裂,处于弱震的良好地质环境中。选定的坝址位于深成中酸性火成岩体上。经定量计算岩体弱风化带下部加固灌浆后能满足大坝建基要求;微风化及新鲜岩体作局部处理后船闸高边坡角可采用 90° 。详细勘察证明库区工程地质问题不大。三峡工程的勘察研究在深度、广度和质量等方面均达到了国际先进水平。

另一工程实例是西安—安康铁路秦岭隧道的勘察。该隧道横穿秦岭,最大埋深达1600m。长度为15~19km(不同方案)。这一深埋长大隧道的工程地质勘察采用了综合勘探的方法,即以工程地质测绘、构造分析为基础;配合3个高度层次、5个片种的遥感解译;浅、中、深3个层次、21种物探方法;4种构造应力场及地应力分析方法;多参数水文地质测试;大口径金钢石钻进和低固相泥浆封孔堵漏新工艺;一孔多用综合测井等一套多种手段的综合勘探方法。各种手段取得的资料经过互相验证、综合分析,其成果具有点、线、面结合,多层次、多参数立体化的特点。这一成功的创新实例,为深埋长大隧道的勘探取得了宝贵经验。

在工程地质制图方面,应用计算机技术已可自动绘制地质柱状图、工程地质平面图、剖面图、立体图、等值线图、统计分析图等,不但准确美观,而且速度快,修改更新方便。GIS编图技术更能把数据库、专家系统与制图技术综合到一起,使资料信息得以充分利用,还可分类储存,分类提取,配合相关软件,绘制工程地质图系,如城市规划图、土地利用图、灾害地质图等。这些,在我国已应用较广。