



普通高等教育“十二五”规划教材

土力学地基基础

孙世国 主 编
武崇福 刘 洋 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材

土力学地基基础

主 编 孙世国
副主编 武崇福 刘 洋
编 写 宋志飞 曹海莹 冯少杰
主 审 熊巨华



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十二五”规划教材。

本书在编写过程中,结合本学科现代理论的发展前沿内容进行介绍,注重理论联系实际。书中着重介绍土力学的三大理论和四大应用,即渗透理论、强度理论和变形理论,挡土墙设计、承载力计算、土坡稳定性分析和基础设计方面的应用。在基础工程方面着重介绍了浅基础和深基础设计的基本理论和方法。每一章节内容或每个知识点都针对实际工程中的问题,阐述了地基与基础的应力、变形、强度及其在工程中的应用。在编写过程中,充分考虑了教学的要求,注重概念清晰、准确,语言精练、通畅,力求深入浅出。书中例题和习题有助于读者掌握书中理论知识和复杂的计算过程,同时还编入了注册岩土工程师考试的相关试题。

本书主要作为普通高等院校土木工程、工程管理、水利工程、港口工程、道路工程等专业教材,也可供相关工程设计、施工、监理人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

土力学地基基础/孙世国主编. —北京:中国电力出版社, 2011.8

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5123-1811-3

I. ①土… II. ①孙… III. ①土力学—高等学校—教材
②地基—基础(工程)—高等学校—教材 IV. ①TU4

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第166326号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2011年8月第一版 2011年8月北京第一次印刷
787毫米×1092毫米 16开本 29.5印张 720千字
定价 48.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言

随着城市化进程的推进,建筑业得到了高速的发展,城市中到处都是高层和超高层建筑,许多地基与基础工程中的复杂技术问题需要解决,土力学理论和地基基础技术更显得重要,因此,土力学与地基基础是土木建筑类专业的学生和专业技术人员必须掌握的一门现代学科,也是高等院校土木工程专业的一门核心课程。

本书在编写过程中,着重理论联系实际,并结合本学科现代理论的发展前沿内容进行了介绍,以便学生掌握相关基础理论,并了解和掌握本学科的发展趋势,培养解决工程实际问题的能力。本书在工程力学、结构力学、弹塑性力学和钢筋混凝土结构等学科领域的知识基础上,着重介绍土力学的三大理论和四大应用,即渗透理论、强度理论和变形理论,挡土墙设计、承载力计算、土坡稳定性分析和基础设计方面的应用。在基础工程方面着重介绍了浅基础和深基础设计的基本理论和方法。每一章节内容或每个知识点都针对实际工程中的问题,阐述了地基与基础的应力、变形、强度及其在工程中的应用。在编写过程中,充分考虑了教学的要求,注重概念清晰、准确,语言精练、通畅,力求深入浅出。书中例题和习题有助于读者掌握书中理论知识和复杂的计算过程。

本书由北方工业大学博士生导师孙世国教授任主编,燕山大学武崇福、北京科技大学刘洋任副主编,燕山大学曹海莹,北方工业大学宋志飞、冯少杰参与了编写。同济大学熊巨华教授主审了本书,并在审稿中提出了许多宝贵意见,在此深表感谢!

本书分上、下篇,共有18章,具体参编单位、人员和分工如下:

北方工业大学——绪论,第7、9、13、14章(孙世国);第6、8、16章(宋志飞);第1、15章(冯少杰)。

燕山大学——第4、10、12章(武崇福);第3、17、18章(曹海莹)。

北京科技大学——第2、5、11章(刘洋)。

由于时间紧,再加上作者水平有限,书中难免出现不妥或错误之处,敬请读者不吝赐教,编著者不胜感谢!

目 录

前言

绪论	1
§ 0.1 土力学与地基基础的研究对象	1
§ 0.2 土力学发展历程与未来发展趋势	2
§ 0.3 与土力学相关的典型地基问题实例	5
§ 0.4 土力学与地基基础的特点	8

上 篇 土 力 学

第 1 章 土的物理性质及工程分类	9
本章提要	9
§ 1.1 土的生成与特性	9
§ 1.2 土的三相组成及其结构与构造	11
§ 1.3 土的物理性质指标	18
§ 1.4 土的物理状态指标	23
§ 1.5 土的压实性	28
§ 1.6 地基土的工程分类	32
思考题	35
习题	35
注册岩土工程师考试题选	36
第 2 章 土的渗透性与渗流	37
本章提要	37
§ 2.1 概述	37
§ 2.2 土的渗透定律	39
§ 2.3 二维渗流与流网	44
§ 2.4 渗流破坏和控制	47
思考题	50
习题	50
注册岩土工程师考试题选	51
第 3 章 土中应力计算	52
本章提要	52
§ 3.1 土的自重应力	52
§ 3.2 基底压力	54
§ 3.3 地基附加应力	57

§ 3.4 有效应力原理	69
思考题	73
习题	73
注册岩土工程师考试题选	74
第4章 土的压缩性	75
本章提要	75
§ 4.1 压缩试验及压缩性指标	75
§ 4.2 应力历史对土的压缩性的影响	79
§ 4.3 土的弹性模量	81
§ 4.4 土的变形模量	82
思考题	83
习题	84
注册岩土工程师考试题选	84
第5章 地基变形	86
本章提要	86
§ 5.1 地基变形的弹性力学公式	86
§ 5.2 地基最终沉降量计算	87
§ 5.3 地基变形与时间的关系	101
§ 5.4 地基沉降计算有关问题综述	107
思考题	109
习题	110
注册岩土工程师考试题选	110
第6章 土的抗剪强度	112
本章提要	112
§ 6.1 土的抗剪强度理论	112
§ 6.2 抗剪强度测定方法	114
§ 6.3 三轴压缩试验中的孔隙压力系数	119
§ 6.4 土的抗剪强度指标	123
§ 6.5 应力路径	125
思考题	128
习题	129
注册岩土工程师考试题选	129
第7章 土压力	130
本章提要	130
§ 7.1 作用在挡土墙上的土压力	130
§ 7.2 朗肯土压力理论	132
§ 7.3 库伦土压力理论	136
§ 7.4 几种常见情况的土压力	143
§ 7.5 挡土墙设计	148

思考题·····	153
习题·····	153
注册岩土工程师考试题选·····	155
第 8 章 地基承载力 ·····	157
本章提要·····	157
§ 8.1 地基的破坏模式·····	157
§ 8.2 地基的临塑荷载和临界荷载·····	160
§ 8.3 地基极限承载力·····	163
§ 8.4 地基容许承载力和地基承载力特征值·····	169
思考题·····	174
习题·····	174
注册岩土工程师考试题选·····	174
第 9 章 土坡和地基的稳定性 ·····	176
本章提要·····	176
§ 9.1 概述·····	176
§ 9.2 土坡稳定性的影响因素·····	177
§ 9.3 无黏性土土坡的稳定性·····	178
§ 9.4 黏性土坡的稳定性分析·····	179
§ 9.5 地基的稳定性·····	196
思考题·····	198
习题·····	199
注册岩土工程师考试题选·····	200

下 篇 地 基 基 础

第 10 章 地基基础的设计原则 ·····	201
本章提要·····	201
§ 10.1 地基基础的设计原则·····	201
§ 10.2 地基类型·····	208
§ 10.3 基础类型·····	213
§ 10.4 地基基础与上部结构共同工作的概念·····	218
思考题·····	223
第 11 章 刚性基础与扩展基础 ·····	224
本章提要·····	224
§ 11.1 概述·····	224
§ 11.2 基础埋置深度的选择·····	226
§ 11.3 地基承载力·····	228
§ 11.4 刚性基础与扩展基础的设计计算·····	232
思考题·····	238

习题	239
注册岩土工程师考试题选	239
第 12 章 柱下条形基础、筏形基础和箱形基础	242
本章提要	242
§ 12.1 概述	242
§ 12.2 线性弹性地基模型	242
§ 12.3 弹性地基上梁的分析	245
§ 12.4 柱下条形基础	255
§ 12.5 筏形基础设计	259
§ 12.6 箱形基础	263
思考题	267
习题	267
注册岩土工程师考试题选	268
第 13 章 桩基础	270
本章提要	270
§ 13.1 概述	270
§ 13.2 桩及桩基础的分类	271
§ 13.3 桩的承载力	277
§ 13.4 群桩基础的计算	291
§ 13.5 桩基础的设计	300
思考题	321
习题	321
注册岩土工程师考试题选	323
第 14 章 沉井基础	325
本章提要	325
§ 14.1 概述	325
§ 14.2 沉井的构造和分类	325
§ 14.3 沉井施工	329
§ 14.4 沉井的设计与计算	333
§ 14.5 地下连续墙深基础简介	357
思考题	362
习题	362
注册岩土工程师考试题选	363
第 15 章 基坑工程	364
本章提要	364
§ 15.1 概述	364
§ 15.2 悬臂式支护结构	369
§ 15.3 土钉墙支护结构	375
§ 15.4 基坑稳定性分析	379

§ 15.5	基坑工程地下水控制	381
§ 15.6	基坑施工的检验与现场监测	384
	思考题	385
	习题	385
	注册岩土工程师考试题选	386
第 16 章	特殊土地基	387
	本章提要	387
§ 16.1	湿陷性黄土地基	387
§ 16.2	膨胀土地基	390
§ 16.3	软土地基	393
§ 16.4	红黏土地基	394
§ 16.5	冻土地基及盐渍土地基	395
	思考题	397
	注册岩土工程师题选	397
第 17 章	地基处理	399
	本章提要	399
§ 17.1	概述	399
§ 17.2	复合地基理论	402
§ 17.3	换填垫层法	406
§ 17.4	排水固结法	409
§ 17.5	强夯法	415
§ 17.6	桩土复合地基法	419
§ 17.7	化学加固法	426
§ 17.8	土工合成材料加筋法	430
§ 17.9	托换技术	432
	思考题	436
	习题	436
	注册岩土工程师考试题选	437
第 18 章	地基基础抗震	438
	本章提要	438
§ 18.1	概述	438
§ 18.2	场地类别与震害表现	441
§ 18.3	地基基础抗震设计	445
§ 18.4	液化判别与抗震措施	447
	思考题	450
	习题	451
	注册岩土工程师考试题选	451
附录	常用中英文名词	453
	参考文献	459

绪 论

§ 0.1 土力学与地基基础的研究对象

土力学是一门研究土的力学性质的科学，它是研究土体的应力、变形、强度、渗流及长期稳定性的一门学科。广义的土力学是包括土的生成、组成、物理化学性质及分类在内的土质学。土力学也是一门实用的科学，它是土木工程的一个分支，主要研究土的工程性质，解决工程问题。

在自然界中，地壳表层分布有岩石圈（广义的岩石包括基岩及其覆盖土）、水圈及大气圈。岩石是一种或多种矿物的集合体，其工程性质在很大程度上取决于它的矿物成分，而土是岩石风化的产物。土是由岩石经历物理、化学、生物风化作用以及剥蚀、搬运、沉积作用等交错复杂的自然环境中所生成的各类沉积物。土的类型及其物理、力学性状是千差万别的，但在同一地质年代和相似沉积条件下，又有其相近性状的规律性。强风化岩石的性状接近土，也属于土质学与土力学的研究范畴。

在土木工程中，天然土层常被作为各种建筑物的地基，如在土层上建造房屋、桥梁、涵洞、堤坝等；或利用土作为建筑物周围的环境，如在土层中修筑地下建筑、地下管道、渠道、隧道等；还可利用土作为土工建筑物的材料，如修筑土堤、土坝等。因此，土是土木工程中应用最广泛的一种建筑材料或介质。

建筑物一般由上部结构和基础两部分组成。由于建筑物的修建而引起其下部土体应力状态发生改变的土层称为地基，而基础是建筑物上部结构和地基的连接部分。建筑物的建造使地基中原有的应力状态发生变化，这就必须运用力学方法来研究在荷载作用下地基土的变形和强度问题，使地基与基础设计满足两个基本条件。①作用于地基上的荷载不超过地基的承载能力，保证地基在防止整体破坏方面有足够的安全储备；②控制地基沉降不超过允许值，保证建筑物不因地基沉降而损坏或者影响其正常使用。因此，研究土的应力、变形、强度和稳定以及土与结构物相互作用规律的一门力学分支称为土力学。而基础工程是将建筑物荷载传递到地基上的建筑物下部结构，起着承上启下的作用，一般应埋入地下一定深度，进入较好的土层。另外，基础应满足一定的强度和刚度要求。

如果地基是良好的土层，基础可直接建在天然土层上，这种未经人工处理就可以满足设计要求的地基称为天然地基。如果地基软弱，承载力不足或预计变形较大，无法满足设计要求，则需要对地基进行加固处理，如采用换土垫层、深层密实、排水固结以及化学加固等方法，则称为人工地基。

根据基础的埋置深度和和施工方法，基础可分为浅基础和深基础。通常把埋置深度不超过5m，只需经过挖槽、排水等普通施工措施就可建造的基础称为浅基础；若浅层土较软弱，土质不良，需要借助于特殊的施工方法，把基础埋置在较深的土层中，将荷载传递到深处良好土层中，这样建造的基础称为深基础，如桩基础、沉井基础及地下连续墙等。相对深基础而言，浅基础具有施工方法简单、造价较低等优点，因此，在满足地基承载力、变形和稳定性要求的前提下，宜优先考虑采用浅基础。

地基基础设计包括地基设计和基础设计两部分。地基设计包括地基承载力计算、地基沉降验算和地基整体稳定性验算。通过承载力计算来确定基础的埋深和基础底面尺寸,通过沉降验算来控制建筑物的沉降不超过规范规定的允许值,而整体稳定性验算则保证了建筑物不会发生倾覆而丧失其整体稳定性。基础设计包括基础的选型、构造设计、内力计算和钢筋混凝土的配筋。由于地基和基础相互作用,基础与上部结构又构成一个整体,所以在地基基础设计时不仅要考虑工程地质和水文地质条件,还要考虑上部结构的特点、建筑物的使用要求以及施工条件等。

在进行地基基础设计时,天然地基上的浅基础是首选方案。它充分利用了天然地基的承载力,可用常规的施工方法来修建,施工比较简单,工程造价较低。如果天然地基的承载力不足或建筑物的沉降不能满足设计要求,则可以考虑采用人工地基或深基础方案。此时,应在综合考虑工程地质条件、结构类型、材料情况、施工条件和工期、环境影响等诸多因素的基础上,因地制宜,从实际出发,在保证安全可靠的前提下,进行经济与技术分析后确定最终设计方案。

§ 0.2 土力学发展历程与未来发展趋势

土力学学科的发展可概括为如下几个阶段。

1. 经验积累与理论水平深化阶段

建筑业的发展是伴随人类科技文明的发展而不断进步的,人类自远古以来就广泛利用土作为建筑物的地基和建筑材料,如长城、大运河、灌溉渠道、桥梁、宫殿、庙宇,这些都为人类科技进步和文明发展不断积累了经验。但由于受各个阶段社会生产力和技术水平的限制,直至18世纪中叶,土力学研究还停留在感性认识阶段。

18世纪产业革命后,大量建筑物的兴建和科技进步,促使人们不得不对土力学属性做进一步的研究和探索,开始了对积累的工程经验进行理论上的总结和深化。

法国学者库仑(Coulomb, C. A.)于1776年在试验的基础上,提出了土体的抗剪强度理论,提出无黏性土的强度取决于颗粒间摩擦力;黏性土的强度由黏聚力和颗粒间摩擦力两部分组成。同年,他还提出了著名的滑动楔体理论。假定挡土墙后的土体中出现一楔体,通过研究楔体上力的平衡而求出主动土压力和被动土压力。

进入19世纪50年代,很多学者致力于土压力和渗流方面的研究。法国学者达西(Darcy, H.)于1856年在研究砂土透水性的基础上,提出了著名的达西定律。同时期,斯笃克斯(Stokes, G. G.)研究了固体颗粒在液体中的沉降规律问题。1857年英国学者朗肯(Rankine, W. J. M.)假定挡土墙后土体为均匀的半无限空间体,并应用塑性理论来求解土压力问题。这一土压力理论与库仑土压力理论并称古典土压力理论。在土体的应力分布与计算方面,1885年法国布辛奈斯克(Boussinesq, J.)研究了半无限空间体表面作用有集中力的情况下土中应力的解析解,称为布辛奈斯克解,它是各种竖直分布荷载下应力计算的基础。

在此之后,众多学者对土力学的专门课题进行了研究,如1916年,瑞典彼得森(Pettersson, K. E.)首先提出边坡破坏的圆弧滑动评价法,之后美国学者泰勒(Taylor, D. W.)和瑞典学者费伦纽斯(Fellenius, W.)等对该理论做了进一步的完善和发展。

法国学者普朗特(Prandtl, L.)于1920年发表了地基滑动面计算的数学公式,用于

计算地基承载力。

2. 形成独立学科和不断发展阶段

美国学者太沙基 (Terzaghi, K.) 于 1925 年出版了第一本土力学专著《土力学原理》，被公认为是近代土力学发展的开始。他在总结实践经验的基础上，根据大量试验提出了很多独特的见解，并把当时孤立的规律、原理及理论，按土的特性将它们有机联系和系统化起来，总结提出了土的三个特性，即黏性、弹性和渗透性，发展了土力学原理，拓宽了土力学领域，从而使之形成一门独立的学科。

太沙基提出的有效应力原理充分考虑了超孔隙压力对土的抗剪强度的影响，并用排水剪切试验来测定有效强度。有效应力原理的出现对土力学的发展产生了重大影响，而且至今仍是认识和研究土的性状的一个重要原理。有效应力原理的建立充分体现了太沙基作为土力学奠基人的睿智和创造性，是对土力学学科发展作出的突出贡献。

20 世纪 50~60 年代是土力学理论和技术的完善和发展阶段。1955 年英国学者毕肖普 (Bishop, A. W.) 发展了古典的圆弧滑动法，提出土坡稳定计算中考虑土条间水平力的方法，并应用有效强度指标计算土坡稳定。20 世纪 50 年代后期，挪威学者简布 (Janbu, N.) 与加拿大学者摩根斯坦 (Morgenstern, N. R.) 等人相继提出了考虑条间力，滑动面取任意形状的土坡稳定计算方法，并在强度理论、强度计算等方面进一步发展了莫尔—库仑准则。

在土压力和承载力方面，俄国学者索科洛夫斯基将古典塑性理论引进了土力学，在散体极限平衡方面，有关地基、土坡和挡土墙的稳定分析方面，都获得了严密的数值解，并著有专著《散体静力学》。

自 20 世纪 60 年代以来随着计算机技术的迅速发展为整个科学技术的进步提供了强有力的工具，起到了巨大的推动作用。许多在理论上已经解决，而限于计算工具无法获得解答的课题得到了结果，许多在学术上已经发现或察觉的规律，由于计算工具限制而尚未得出结论的科学难点得到了明确的答案。计算机与数值分析方法的结合使科学技术的发展如虎添翼。土力学也不例外，它很快从这个新的科学成就中获得了活力，并在岩土工程的实践中迅速地推广应用。与此同时，在土力学本身，以学者罗斯科为代表的临界状态土力学的创立，使人们对土的本构关系的研究步入了一个新的境界。这个理论上的成就与先进的计算技术一结合，就使土力学进入了一个新的、能更好地反映土的本质、更符合岩土工程性状的快速发展时期，土力学由此进入了第二个发展阶段——现代土力学阶段。以往，当人们研究土时，不可避免地要采用简化的假定，如根据所关心的问题不同，有时把它当作弹性体，有时又把它当作刚塑性体，对于土的性状的研究也仅片面着重于土的强度。这样就不能很好顾及土的固有本质的完整性。本阶段的一个特点就是土在受力以后所表现出来的应力、变形、强度和稳定以及时间因素的影响等特征作为一个整体来研究其本构关系，而计算机的出现使得比较复杂的本构关系的研究成为现实。在这种情况下，影响土的本构关系和其他力学性状的各种因素得以研究得更细、更真实。本构关系的发展和数值分析技术的应用，使得岩土工程的分析能够更加真实地模拟土的特性、边界条件和加荷方式，岩土工作状态预测由定性向定量的方向发展。土的本构关系的研究也对土性的测试技术及其精度提出了更高的要求，从而也推动了土工测试技术发展。然而，鉴于土的性质复杂性和岩土工程的许多不确定性，预测的精度和不少理论成果仍不时受到人们的质疑。因此验证的技术和实践的检验就很自然地受到重视。因此学者派克在 60 年代末提出了“观测法”的思想，引起了同行的很大兴趣。现

场的原位试验和对土工建筑物的原型观测,被置于越来越重要的地位。日本的学者樱井春辅提出的根据实测资料的反分析法,也得到广泛的推崇和应用。与此同时,离心模拟技术也得到了飞速的发展,它被认为是在室内研究和分析复杂的土的特性和岩土工程性状的有效验证和预测手段。从以上的回顾中可以看出,在土力学发展的第二个阶段,土的本构关系研究将土的各方面特性,作为一个整体有机地联系起来。但其实这时土仍还未真正被当作土来对待,土的大多数本构关系,一般还是从其他学科中借用过来的,特别是金属材料的本构理论。在这些本构理论中无法充分地考虑岩土这种复杂材料的真面目,土的某些“个性”不得已被抹杀掉了,这也是学科发展水平所局限的,但这种局面恐不会长久地持续下去。

3. 发展趋势预测阶段

沈珠江院士曾经对土力学的未来发展趋势提出如下 8 个方面的观点,本绪论引用以供读者参考。

(1) 土的微观和细观的研究。迄今为止,人们对土的认识仍有“不识庐山真面目”之感。虽都觉得土很复杂,但不一定能说得很确切。要认识土,除了从它受力以后所表现出的性状进行观察外,还必须采用微观和细观研究手段。欲了解土的成因、成分、结构和构造及其演化,微观手段是必不可少的途径。早在 20 世纪 50~60 年代,苏联的不少学者就对土的微观研究做过许多杰出的工作,形成了一门新的学科“土质学”。美国和日本等国的学者也有致力于土的结构及其与力学性质关系研究的,其实微观研究在土力学的研究中具有重要的指导意义,它可对许多力学现象提供本质上的解释,有助于土力学理论的发展。

(2) 非饱和土的研究。在自然界,土绝大多数是处于非饱和状态的,尤其是在干旱和半干旱地区。有些即使长期处于水下,土内也含有一定数量的气体,很难处于完全二相状态。但由于非饱和土的复杂性,不得已只好把它当作完全饱和土来研究,这样就改变了它的本来面目。现在非饱和土的问题也重新引起了土力学界的重视,相信未来非饱和土力学会有长足的进步。非饱和土性质的复杂性主要是由于土中气相的存在引起的,土、水和气三相交界面上的吸力是非饱和土研究的核心问题,它对非饱和土的力学性质有很大的影响。目前饱和土的强度方面已有不少研究,变形问题上也已初步建立了理论框架,其本构关系的研究也有若干报道,但都还处于初步研究阶段。非饱和土的研究将是 21 世纪土力学研究的重要内容之一。

(3) 非线性科学在岩土工程中的研究应用。众所周知,土是一种高度非线性、非均质的材料,而与土相联系的岩土工程,则往往出现大变形、大位移的问题,因此又具有几何非线性的特性。岩土工程的平衡方程或动力方程也是非线性的。因此,岩土工程的失稳与破坏是一个复杂的行为过程,当荷载或控制变量的组合达到某一临界点时,将发生由安全运行到破坏的突变。在一定的条件下,稳定或破坏状态可能不唯一,而出现分岔或混沌现象。为此就有必要引进非线性科学的原理和方法,例如分维理论、分叉理论和突变理论等。非线性原理对岩土工程破坏问题研究很有意义,它可以深刻地解释和预测岩土工程的失稳和破坏,如突变理论在滑坡的研究中已获得某些进展,也有人用于土的本构关系研究中。岩土材料和岩土工程的非线性特性是它们的基本属性,非线性科学的理论和分析方法将在未来土力学发展中发挥更大的作用。

(4) 新的本构理论的研究。土的本构关系是土在外力作用或外界因素变化情况下所表现出来的行为性状的定量关系,它是土力学研究的中心问题之一。以往对土本构关系的研究多从宏观唯象观点出发,修改某些简单的金属材料的本构关系,以反映土受力后的变形特征。

为反映土的特征,建立了许多不同类型的本构模型。这些本构模型在预测工程的性状、验证某些原理的合理性等方面确实发挥了积极的作用,但是它们在描述土真实特性的准确性和完整性方面是远远不够的,其所得到的计算结果与实际工程的数值也有一定差距,有时甚至是很大的差距;因此该方面内容有待继续深化研究。

(5) 非确定性方法的研究应用。土和岩土工程都具有大量的不确定性因素,以往将它们均作为确定性问题处理,抹杀了它的随机特性,这样的做法似乎是过于简单化了。作为大自然的产物,岩土材料具有很大的空间和时间的变异性,而且对岩土工程来说,从勘测、设计、试验研究到施工、运营的各个阶段无不存在着许多不确定性,理应作为随机问题来对待。在未来的土力学发展中,土的随机特性将会受到重视,岩土工程的设计方法将由定值设计方法逐步转为可靠性的设计方法,概率理论和优化决策理论将有用武之地,而岩土工程规划中风险分析的概念(如防洪工程的风险分析)将作为重要理论基础而确定它的主宰地位。

(6) 环境方面问题的研究。土力学不是孤立的,它所研究的对象——岩土工程,处于复杂的环境之中,受到各种物理及化学的应力、热、磁场以及海浪或地震波等的作用。因此,岩土工程与环境的关系及其处理的研究将是未来土力学发展的另一个重要方向。目前,已呈现出的趋势是:从只研究与工程有关的地质问题,向注意工程与环境相互作用的角度转变。其特点是强调工程受环境的制约,同时考虑工程对环境的反馈作用。因此研究如何使岩土工程顺应大自然的要求,尊重大自然的客观规律是岩土工作者所必须具有的意识 and 素质。这里所指的环境问题不仅仅是废料、废土的利用和处理,地下工程引起的对地面建筑物的影响等小环境问题,还包括土壤荒漠化、洪水、区域性滑坡、泥石流、地震灾害和火山喷发等大环境问题。

(7) 土的加固与改良技术。随着岩土工程的大型化、精细化和复杂化,作为天然材料的土有时不能满足工程的需要,这时就要处理土、改良土。土的改良方法已经有很多,值得一提的是近代兴起的土工合成材料的利用。有人认为土工合成材料的出现正在引起岩土工程的一场革命,其发展方兴未艾,但理论上的研究仍相当滞后。可以预见这方面的课题将给土力学和岩土工程的发展提供巨大的空间。在改良和处理土的过程中,往往会在土中增加与土性不同的材料,如金属材料、混凝土、土工合成材料等,这样就出现了土与其他材料的共同作用问题,这也是值得研究的一个方面。

(8) 重视经验提升和观测方法的运用。正如人们常说的,土力学既是一门科学,又是一门艺术。因此工程实践经验必然有十分重要的意义。“计算所提供的解答只是问题的一个方面,问题的最后解答还要根据多方面的综合考虑,其中专家的知识 and 经验起到了重要的作用”。如何完善和提升专家系统、神经网络等新的思维和方法仍将是未来土力学和岩土工程发展的重要内容之一。观测方法之重要性是由土和岩土工程的复杂性所决定的,工程知识和经验的积累在相当程度上来自对观测资料的系统分析。它也是一切理论和计算成果验证的重要手段。可以预计,“观测法”的应用在未来的土力学和岩土工程中将占有更重要的地位。

§ 0.3 与土力学相关的典型地基问题实例

1. 意大利比萨斜塔

这是举世闻名的建筑物倾斜的典型实例。该塔自 1173 年 9 月 8 日动工,至 1178 年在建至第 4 层中部,高度约 29m 时,因塔明显倾斜而停工。经过 94 年后,于 1272 年复工,经

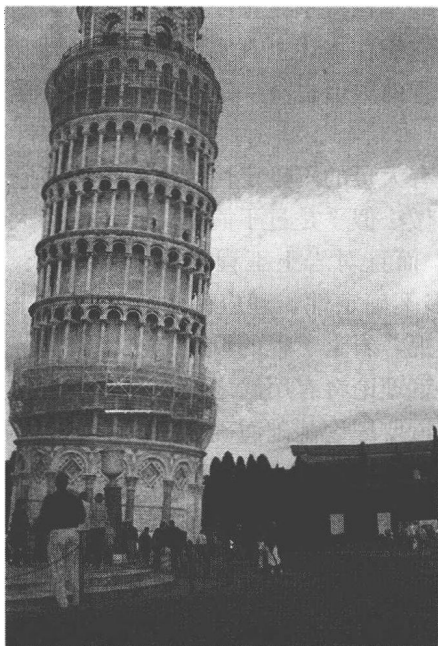


图 0-1 比萨斜塔

过 6 年时间，建完第 7 层，高 48m，再次停工中断 82 年。于 1360 年再复工，至 1370 年竣工，全塔共 8 层，高度为 55m。塔身呈圆筒形，1~6 层由优质大理石砌成，顶部 7~8 层采用砖和轻石料，如图 0-1 所示。塔身每层都有精美的圆柱与花纹图案，是一座宏伟而精致的艺术品。1590 年伽利略在该塔上做落体实验，创建了物理学上著名的自由落体定律。斜塔成为世界上最珍贵的历史文物，吸引无数世界各地游客。全塔总重约 145MN，基础底面平均压力约 50kPa。地基持力层为粉砂，下面为粉土和黏土层。塔向南倾斜，南北两端沉降差 1.80m，塔顶离中心线已达 5.27m，倾斜 5.5° ，成为危险建筑，1990 年 1 月 4 日将其封闭进行加固。除加固塔身外，用压重法和取土法进行地基处理，加固后塔身倾斜度挺直为 3.99° ，2001 年 6 月重新向游人开放。

2. 加拿大特朗斯康谷仓

该谷仓平面呈矩形，南北向长 59.44m，东西向宽 23.47m，高 31.00m，容积 36 368m³，谷仓为圆筒仓，每排 13 个圆筒仓，5 排共计 65 个。谷仓基础为钢筋混凝土筏板基础，厚度 61cm，埋深 3.66m。谷仓于 1911 年动工，1913 年完工，空仓自重 20 000T，相当于装满谷物后满载总重量的 42.5%。1913 年 9 月装谷物，10 月 17 日当谷仓已装了 31 822m³ 谷物时，发现 1h 内竖向沉降达 30.5cm，结构物向西倾斜，并在 24h 内谷仓倾斜，倾斜度达 $26^\circ 53'$ 。谷仓西端下沉 7.32m，东端上抬 1.52m，上部钢筋混凝土筒仓坚如磐石，如图 0-2 所示。谷仓地基土事先未进行调查研究，据邻近结构物基槽开挖试验结果，计算地基承载力为 352kPa，应用到此谷仓。1952 年经勘察试验与计算，谷仓地基实际承载力为 193.8kPa~276.6kPa，远小于谷仓破坏时发生的压力 329.4kPa，因此，谷仓地基因超载发生强度破坏并滑动。事后在下面做了 70 余个支撑于基岩上的混凝土墩，使用 388 个 50t 千斤顶以及支撑系统，才把仓体逐渐纠正过来，但其位置比原来降低了 4m。

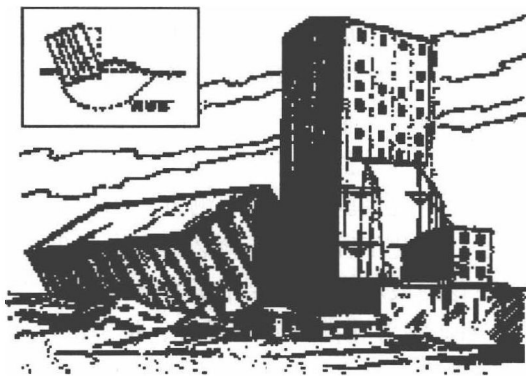


图 0-2 特朗斯康谷仓

3. 苏州市虎丘塔

该塔位于苏州市虎丘公园山顶，落成于宋太祖建隆二年（公元 961 年），距今已有 1036 年悠久历史。全塔 7 层，高 47.5m。塔的平面呈八角形，由外壁、回廊与塔心三部分组成。塔身全部青砖砌筑，外形仿楼阁式木塔，每层都有 8 个壶门，拐角处的砖特制成圆弧形，建筑精美，如图 0-3 所示。1961 年 3 月 4 日，国务院将此塔列为全国重点保护文物。

20世纪80年代,塔身已向东北方向严重倾斜,不仅塔顶离中心线已达2.31m,而且底层塔身发生不少裂缝,东北方向为竖直裂缝,西南方向为水平裂缝,成为危险建筑而封闭。国家文物管理局和苏州市人民政府组织召开多次专家会议,采取在塔四周建造一圈桩排式地下连续墙并对塔周围与塔基进行钻孔注浆和树根桩加固塔身,获得成功。

4. 上海展览中心馆

上海展览中心馆原称上海工业展览馆,位于上海市区延安中路北侧,如图0-4所示。展览馆中央大厅为框架结构,箱形基础,展览馆两翼采用条形基础。箱形基础为两层,埋深7.27m。箱基顶面至中央大厅顶部塔尖,总高96.63m。地基为高压缩性淤泥质软土。展览馆于1954年5月开工,当年年底实测地基平均沉降量为60cm。1957年6月,中央大厅四周的沉降量最大达146.55cm,最小为122.8cm。到1979年,累计平均沉降量为160cm,从1957年至1979年共22年的沉降量仅20cm左右,不及1954年下半年沉降量的一半,说明沉降已趋向稳定。但由于地基严重下沉,不仅使散水倒坡,而且建筑物内外连接的水、暖、电管道断裂,付出了相应的代价。

5. 香港宝城大厦

香港地区人口稠密,市区建筑密集。新建住宅只好建在山坡上。1972年7月,香港发生一次大滑坡,数万立方米残积土从山坡上下滑,巨大的冲击力正好通过一幢高层住宅——宝城大厦,顷刻之间,宝城大厦被冲毁倒塌,如图0-5所示。因楼间净距太小,宝城大厦倒塌时,砸毁相邻一幢大楼一角约五层住宅。宝城大厦居住着金城银行等银行界人士,因大厦冲毁时为清晨7点钟,人们都还在睡梦中,当场死亡120人,这起重大伤亡事故引起了世界极大的震惊。

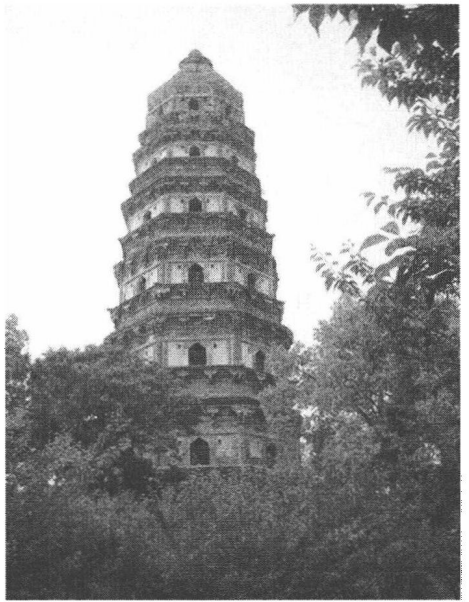


图0-3 虎丘塔

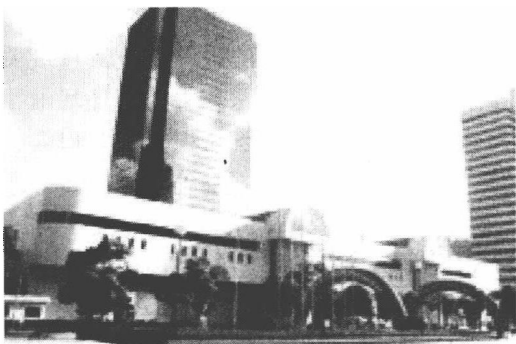


图0-4 上海展览中心馆



图0-5 香港宝城大厦滑坡现场情况

§ 0.4 土力学与地基基础的特点

土力学与地基基础作为技术基础课,同其他技术基础课相比,有其特殊性。其主要特点表现在如下几个方面。

1. 研究对象复杂多变

土力学是以土体为研究对象的。其一,土不同于一般固体材料,一般固体材料具有可选性和均匀性,其力学规律的数学关系式与实际比较吻合,其理论结果与实际情况相近。土是由固体颗粒、土中水和气体组成的三相松散集合体,它的强度一般比土粒强度小得多。其成因类型和成层规律非常复杂,且难以了解清楚。其二,土和土体在外界条件,诸如温度、湿度、压力、水流、振动等环境影响下,其性质会有显著变化。其三,水工建筑物的规模大,地基基础多为隐蔽工程,当事故发生后,处理起来很困难。土和建筑物的上述特点使得土力学的研究规律具有复杂性和多变性。

2. 研究内容广泛

土力学研究内容相当广泛。首先表现在它是一门技术基础课,以多种课程为先修课程,如数学、物理、化学、理论力学、工程力学、弹性力学、工程地质学、水力学等。其次,土力学内容的广泛性还体现在土力学学科的多方面应用上。如水利水电工程、农业水利工程、公路铁路工程、房屋建筑工程、桥梁工程、矿山工程以及国防工程等,以上各行业部门的相关建筑物都需建在地基上,从事这些行业的设计和施工人员都需要具备扎实的土力学基础知识。近年来,随着科学技术的发展,土力学的研究领域有了明显的扩大。土动力学、冻土力学、海洋土力学、环境土力学等将土力学的应用推向了一个新的阶段。

3. 研究方法特殊

土力学是一门新型学科,自1925年形成独立学科至今还不到一百年,理论上尚不成熟。因此,在解决问题时不得不借助固体力学和流体力学的理论。为了弥补这些不足,土力学中引入了很多假设、半经验公式和参数。实践表明,在应用有关理论解决工程问题时,一些参数带来的误差远大于理论本身。这一问题只有随着生产和科学技术不断发展,才能逐步完善。

4. 基础工程的不可复制性

地基土体的复杂性,决定了基础工程的不可复制性。这主要是由于地基土体的多变性、建筑结构形式和荷载分布的差异决定基础工程很难做成完全相同一致,这也就是基础工程无法复制的关键。再加上基础属于地下隐蔽工程,是建筑物的根本。基础的设计和直接关系关系到建筑的安危。大量工程实例表明,建筑物发生事故,很多与基础问题相关,而且基础一旦发生事故,补救非常不易。此外,基础工程费用与建筑物总造价的比例,视其复杂程度和设计、施工的合理与否,浮动范围在百分之几到百分之几十之间;因此,基础工程在整个建筑工程中的重要性是显而易见的。

综上,土力学与地基基础是一门应用科学,了解和掌握其学科精髓是解决现代建筑业复杂问题的根本;因此,需要初学者在掌握先修课程基础理论的同时,熟练掌握本学科基本理论和方法,再结合施工现场的工程地质条件和建筑结构形式及荷载分布特点,综合应用这些理论和方法,就能很好地解决工程设计中的复杂问题,从而为工程建设服务。