

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



TULIXUE YU DIJI JICHU

土力学与 地基基础

李相然 主 编
单红仙 时 伟 副主编
龚晓南 主 审



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



TULIXUE YU DIJI JICHU

土力学与 地基基础

主 编 李相然
副主编 单红仙 时 伟
编 写 范 云 侯哲生 范庆来 孙林娜
郭 栋 高 丽 王 菲
主 审 龚晓南



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”规划教材。全书共分三篇十三章。上篇介绍了土力学的基本原理和计算方法,主要内容为土的物理性质与工程分类、土的渗透性与渗流、土中应力分布与计算、土的压缩性与地基沉降计算、土的抗剪强度;中篇介绍了土力学基本原理在工程中的应用,主要内容为土压力与挡土墙设计、土坡稳定分析和地基承载力;下篇介绍了地基基础设计与施工技术,主要内容为浅基础、桩基础及其他深基础、特殊土地基与地震区地基基础问题、地基处理。本书是在广泛吸收国内外优秀教材、研究成果的基础上编写而成的,具有体系完整、内容全面、例题丰富、适应面广的特点。

本书可作为高等院校工程管理、土木工程、水利工程、港口工程、道路工程等专业的教材,也可供土建工程设计和科研人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

土力学与地基基础/李相然主编. —北京:中国电力出版社, 2009

普通高等教育“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5083-8902-8

I. 土… II. 李… 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. TU4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 087137 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 7 月第一版 2009 年 7 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 22.5 印张 546 千字

定价 36.00 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

为贯彻落实教育部《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》和《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》的精神,加强教材建设,确保教材质量,中国电力教育协会组织制订了普通高等教育“十一五”教材规划。该规划强调适应不同层次、不同类型院校,满足学科发展和人才培养的需求,坚持专业基础课教材与教学急需的专业教材并重、新编与修订相结合。本书为新编教材。

土力学与地基基础是工程管理专业、土木工程专业的一门重要的技术基础课,它由两个重要的部分组成:一是有关土的物理力学性质以及土的强度理论、渗透理论和变形理论的知识,即解决土力学各种课题的基本理论和试验研究方法;二是关于地基基础设计与施工的知识,即基础工程学的内容。前者为后者提供解决工程问题的试验方法和理论基础;后者具有极强的技术性和应用性。因此,土力学与地基基础是一门实践性和理论性都比较强的技术基础课。

本书共分三篇十三章。上篇介绍了土力学的基本原理和计算方法,主要内容为土的物理性质与工程分类、土的渗透性与渗流、土中应力分布与计算、土的压缩性与地基沉降计算、土的抗剪强度;中篇介绍了土力学基本原理在工程中的应用,主要内容为土压力与挡土墙设计、土坡稳定分析和地基承载力;下篇介绍了地基基础设计与施工技术,主要内容为浅基础、桩基础及其他深基础、特殊土地基与地震区地基基础问题、地基处理。本书可作为高等院校工程管理、土木工程、水利工程、港口工程、道路工程等专业的教材,也可供土建工程设计和科研人员参考。

本书在广泛吸收国内外优秀教材、研究成果的基础上编写而成。具有体系完整、内容全面、例题丰富、适应面广的特点。具体表现在以下方面:

(1) 体系完整、内容全面。本书根据工程管理专业的特点,在内容设置上讲究全面系统而又精练,既有土力学内容,又有基础工程和地基处理的内容,以达到工程管理专业学生培养目标的要求。

(2) 例题丰富,便于学习。本书针对工程管理专业学生力学基础相对较弱的实际,根据书中各章关键知识点列出许多典型例题,便于学生对基本理论的理解和自学。

(3) 理论与应用相结合,适应面广,实用性强。《土力学与地基基础》是理论与应用都比较强的学科,为此,我们在基本理论与方法的选用上以工程应用为主,理论的阐明要求讲清基本假定和概念,简化推导过程,而应用部分要结合现行规范的规定,以便学生能灵活使用不同行业的规范要求,培养学生实际工作的能力。

本书由烟台大学文经学院(独立学院)、中国海洋大学、烟台大学、青岛理工大学、鲁东大学、青岛理工大学琴岛学院(独立学院)等高校长期从事土力学、基础工程及相关课程教学工作的教师共同完成的。全书由烟台大学文经学院李相然教授担任主编,中国海洋大学单红仙教授、青岛理工大学时伟教授为副主编。编写的具体分工如下:第一章由烟台大学文经学院李相然编写,第二章由烟台大学文经学院李相然、青岛理工大学琴岛学院王菲编写,

第三、六、七章由中国海洋大学单红仙编写，第四章由青岛理工大学郭栋编写，第五章由青岛理工大学时伟编写，第八章由烟台大学侯哲生编写，第九章由鲁东大学范庆来编写，第十、十一章由烟台大学范云编写，第十二章由烟台大学文经学院李相然、高丽编写，第十三章由青岛理工大学孙琳娜编写。全书由李相然教授统稿。

浙江大学龚晓南教授审阅了全书，并提出很多宝贵的意见和建议，在本书的编写过程中，参考了国内外众多学者的著作，有的已在参考文献中列出，在此一并表示谢意。

本书虽几经修改，但限于作者水平有限，难免有疏漏、错误之处，恳请各位专家、同行、读者提出宝贵意见。

编者

2009年3月

目 录

前言

第一章 绪论	1
本章提要与学习目标	1
第一节 土力学、地基及基础的概念	1
第二节 地基工程事故类别及特征	2
第三节 本学科发展概况	6
第四节 本课程的特点、内容与学习要求	8
关键概念	9
思考题	9

上篇 土力学的基本原理和计算方法

第二章 土的物理性质与工程分类	10
本章提要与学习目标	10
第一节 土的组成	10
第二节 土的物理性质指标	18
第三节 无黏性土物理状态指标	24
第四节 黏性土物理状态指标与物理特征	25
第五节 地基土的工程分类	30
关键概念	33
思考题	33
计算题	34
计算题参考答案	35
第三章 土的渗透性与渗流	36
本章提要与学习目标	36
第一节 土的渗透定律	36
第二节 渗透系数及其确定方法	39
第三节 土的二维渗流及流网	41
第四节 渗透力与渗透变形	44
关键概念	48
思考题	48
计算题	49
计算题参考答案	52

第四章 土中应力分布与计算	53
本章提要与学习目标	53
第一节 概述	53
第二节 地基中的自重应力	54
第三节 基底压力的计算	56
第四节 地基中的附加应力	59
关键概念	74
思考题	74
计算题	74
计算题参考答案	75
第五章 土的压缩性与地基沉降计算	76
本章提要与学习目标	76
第一节 土的压缩性及其指标	76
第二节 地基沉降随时间的变化规律	84
第三节 地基最终沉降量计算	93
第四节 应力历史对地基沉降的影响	106
关键概念	111
思考题	111
计算题	112
计算题参考答案	113
第六章 土的抗剪强度	114
本章提要与学习目标	114
第一节 概述	114
第二节 土的抗剪强度理论和极限平衡条件	115
第三节 测定土抗剪强度指标的试验	119
第四节 影响土抗剪强度的因素	124
关键概念	128
思考题	128
计算题	128
计算题参考答案	130

中篇 土力学的基本原理在工程中的应用

第七章 土压力与挡土墙设计	132
本章提要与学习目标	132
第一节 土压力概述	132
第二节 静止土压力计算	134
第三节 朗肯土压力理论	135
第四节 库仑土压力理论	138

第五节 几种常见情况的土压力·····	142
第六节 挡土墙设计·····	147
关键概念·····	156
思考题·····	156
计算题·····	157
计算题参考答案·····	158
第八章 土坡稳定分析 ·····	159
本章提要与学习目标·····	159
第一节 概述·····	159
第二节 无黏性土土坡稳定分析·····	160
第三节 黏性土土坡稳定分析·····	161
关键概念·····	170
思考题·····	170
计算题·····	170
计算题参考答案·····	171
第九章 地基承载力 ·····	172
本章提要与学习目标·····	172
第一节 地基的破坏模式·····	172
第二节 浅基础的临塑荷载和临界荷载·····	174
第三节 地基极限承载力理论·····	177
第四节 地基容许承载力和地基承载力特征值·····	183
关键概念·····	189
思考题·····	189
计算题·····	190
计算题参考答案·····	190

下篇 地基基础设计与施工技术

第十章 浅基础 ·····	191
本章提要与学习目标·····	191
第一节 概述·····	191
第二节 浅基础的类型·····	193
第三节 基础埋置深度的选择·····	196
第四节 地基承载力特征值的确定·····	198
第五节 基础底面尺寸的确定·····	202
第六节 地基的变形验算·····	205
第七节 浅基础设计·····	208
第八节 减轻建筑物不均匀沉降危害的措施·····	225

关键概念	228
思考题	228
计算题	229
计算题参考答案	231
第十一章 桩基础设计及其他深基础	232
本章提要与学习目标	232
第一节 概述	232
第二节 桩的类型	234
第三节 单桩竖向承载力的确定	236
第四节 群桩承载力的计算	245
第五节 桩的水平承载力	247
第六节 桩基础设计	252
第七节 其他深基础简介	260
关键概念	262
思考题	262
计算题	263
计算题参考答案	263
第十二章 特殊土地基与地震区地基基础问题	264
本章提要与学习目标	264
第一节 软土地基	264
第二节 湿陷性黄土地基	269
第三节 膨胀土地基	276
第四节 红黏土地基	281
第五节 地震区的地基基础问题	284
关键概念	292
思考题	292
计算题	293
计算题参考答案	293
第十三章 地基处理	294
本章提要与学习目标	294
第一节 概述	294
第二节 置换法	303
第三节 深层密实法	307
第四节 排水固结法	317
第五节 化学加固法	325
关键概念	333
思考题	333
计算题	333
计算题参考答案	334

附录.....	335
附录 1-1 《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002) 土的分类法	335
附录 1-2 水利部《土工试验规程》(SL 237—1999) 土的分类法	337
附录 1-3 《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001) 土的分类法	343
参考文献.....	347

第一章 绪 论



本章提要与学习目标

土力学与地基基础是工程管理专业、土木工程专业的一门重要的技术基础课,它由两个重要的部分组成:①有关土的物理力学性质以及土的强度理论、渗透理论和变形理论的知识,即解决土力学各种课题的基本理论和试验研究方法;②关于地基基础设计与施工的知识,即基础工程学的内容。前者为后者提供解决工程问题的试验方法和理论基础;后者具有极强的技术性和应用性。因此,土力学与地基基础是一门实践性和理论性都比较强的技术基础课。

本章学习土力学、地基及基础的概念,地基工程事故类别及特征,学科发展概况,本课程的特点、内容与学习要求。要求掌握土力学、地基及基础的概念,初步了解地基工程事故类别及特征,了解本课程的特点,熟悉本课程的学习内容与要求。

第一节 土力学、地基及基础的概念

土是由矿物或岩石碎屑构成的松软集合体。由于其形成年代、生成环境及物质成分不同,工程特性亦复杂多变。例如我国沿海及内陆地区的软土,西北、华北和东北等地区的黄土,高寒地区的永冻土以及分布广泛的红黏土、膨胀土和杂填土等,其性质各不相同,因此在建筑物设计前,必须充分了解、研究建筑场地相应土(岩)层的成因、构造、地下水情况、土的工程性质、是否存在不良地质现象等,对场地的工程地质条件作出正确的评价。

土力学是利用力学的一般原理,研究土的物理、化学和力学性质及土体在荷载、水、温度等外界因素作用下工程性状的应用科学。它是力学的一个分支,是本课程的理论基础。土力学研究的“土”是由固体颗粒、孔隙水和气体组成的三相体。土中固体颗粒之间没有联结或联结强度远小于颗粒本身的强度。土中固体颗粒之间有大量孔隙,由水和空气充填。水在孔隙中的渗透显示土的透水性;土孔隙体积的变化显示土的压缩性;土体在荷载等外界因素作用下,土粒的错位显示土内摩擦和黏聚的抗剪强度特性。因此,土具有碎散性、压缩性、固体颗粒之间相对移动性和渗透性等特性。土与钢材、木材等土木工程材料有本质区别。钢材、木材为连续介质的固体材料。理论力学与材料力学研究的对象为连续固体材料。由于存在上述特点,土的工程力学问题更加复杂,需要专门的土工理论和试验技术进行研究。

任何建筑物都建造在一定的地层(土层或岩层)上。通常把直接承受建筑物荷载影响的那一部分地层称为地基。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,其承载力不能满足设计要求,则需对地基进行加固处理(例如采用换土垫层、深层密实、排水固结、化学加固、加筋土技术等方法进行处理),经过加固处理的地基称为人工地

基。在土木工程建设中,天然土层常被用作各种建筑物的地基。例如,在土层上建造房屋、桥梁、涵洞和堤坝等;在土层中修筑地下建筑、地下管道、渠道和隧道等;还可利用土作为土工建筑物的材料,如修筑土堤和土坝。因此,土是土木工程中应用最广泛的工程材料和介质。

基础是将建筑物承受的各种荷载传递到地基上的下部结构(图1-1),一般应埋入地下一定的深度,进入较好的地层。根据基础的埋置深度不同可分为浅基础和深基础。通常把埋

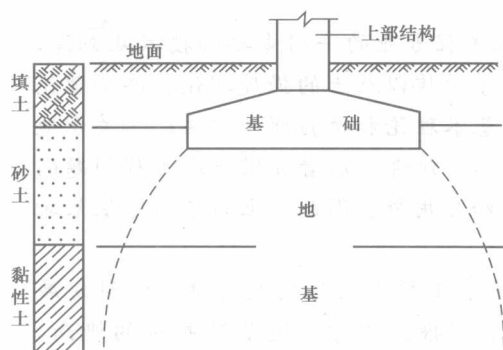


图 1-1 土层、地基及基础示意图

置深度不大(3~5m),只需经过挖槽、排水等普通施工程序就可以建造起来的基础称为浅基础;反之,若浅层土质不良,须把基础埋置于深处的好地层时,就得借助于特殊的施工方法,建造各种类型的深基础(如桩基、墩基、沉井和地下连续墙等)。

地基与基础设计必须满足两个基本条件:

(1) 要求作用于地基的荷载不超过地基的承载能力,保证地基具有足够的防止整体破坏的安全储备。

(2) 控制基础沉降使之不超过地基的变形容许值,保证建筑物不因地基变形而损坏或影响其正常使用。

在荷载作用下,建筑物的地基、基础和上部结构三部分彼此联系、相互制约。设计时应根据地质勘察资料,综合考虑地基—基础—上部结构的相互作用与施工条件,通过经济、技术比较,选取安全可靠、经济合理、技术先进和施工简便的地基基础方案。

地基与基础统称为基础工程,是建筑物的根本,其勘察、设计和施工质量的好坏将直接影响到建筑物的安危、经济和正常使用。由于基础工程是在地下或水下进行,施工难度大,在一般高层建筑中,其造价约占总造价的25%,工期约占总工期的25%~30%,当需采用深基础或人工地基时,其造价和工期所占比例更大。此外,基础工程为建筑物的隐蔽工程、一旦失事,不仅损失巨大,且补救十分困难,因此在土木工程中具有十分重要的作用。

在现代土木工程建设中,自成体系地形成了一门新学科——岩土工程。岩土工程是根据工程地质学、岩石力学和土力学的理论、观点和方法,为解决土木工程的建筑、水利和交通等系统的固定结构、环境保护与卫生等工程项目中关于岩土体的利用、整治或改造,并为工程建设项目的实现而服务的系统性科学技术。因此,从事岩土工程的技术人员来自各个专业。对于重大工程,需要由总工程师领导或协调各专业工程师的工作。由此可见,本专业所设置的“土力学与地基基础”课程从属于岩土工程。在岩土工程中,土木工程所涉及的内容,大多是与土体的利用和处理有关的地基基础设计与施工问题,而这些问题的解决都是以土力学为理论基础的。

第二节 地基工程事故类别及特征

拟建建筑物场地一旦确定,人们对其地质条件便没有选择的余地,只能尽可能地认识它,并合理地利用或处理它。为了保证工程安全,地基土体必须满足承载力和稳定性要求,

还必须满足其变形（沉降和不均匀沉降）不超过建筑物的允许值要求。若不满足上述要求，就可能发生严重的工程事故。

建筑物事故的发生，不少与地基问题有关。地基的过量变形或不均匀变形，使上部结构出现裂缝、倾斜，削弱和破坏了结构的整体性，并影响到建筑物的正常使用，严重者地基失稳导致建筑物倒塌。地基事故可分为天然地基事故和人工地基事故两大类。

无论是天然地基事故还是人工地基事故，按其性质都可概括为地基强度和变形两大问题。地基强度问题引起地基事故主要表现在地基承载力不足导致地基丧失稳定性和斜坡丧失稳定性两个方面。地基变形问题引起地基事故发生在软土、湿陷性黄土、膨胀土和季节性冻土等地区。

一、地基失稳事故

在建筑工程中，地基失稳的后果常很严重，有时甚至是灾难性的。例如，1913年建造的加拿大特朗斯康谷仓（图1-2），由65个圆柱形筒仓组成，高31m，宽23.5m，其下为筏板基础，由于事前不了解基础下埋藏有厚达16m的软黏土层，建成后初次储存谷物时，基底压力（320kPa）超过了地基极限承载力。致使谷仓西侧突然陷入土中8.8m，东侧则抬高1.5m，仓身整体倾斜 $26^{\circ}53'$ 。这是地基发生整体滑动、建筑物丧失稳定性的典型范例。由于该谷仓整体性很强，筒仓完好无损。事后在筒仓下增设70多个支承于基岩上的混凝土墩，用388个50t的千斤顶，才将筒仓纠正过来，但其标高比原来降低了4m。再如，广东省海康县某7层旅店大楼因地基失稳而倒塌。该大楼地处沿海淤泥质土地地区，而设计人员在没有岩土工程勘察资料的情况下，盲目地按100~120kPa的地基承载力进行设计。事故发生后，在建筑现场旁边1.8m的地下取土测定，土的天然含水量为65%~75%，按当时的《建筑地基基础设计规范》规定，这种土的容许承载力只有40~50kPa，仅为设计承载力的40%。又由于少算荷载，实际柱基底压力为189.6kPa，为土容许承载力的4倍左右。由此造成基础的严重不均匀沉降，使上部结构产生较大的附加压力，导致建筑物破坏倒塌，造成了多人伤亡的严重事故。因此，对地基强度破坏的危害性应有足够的重视，特别是在土承载力不高，渗透性低而加荷速度快（如过快的施工速度），或有水平荷载（如风荷载）作用，或在斜坡及丘陵地段进行建筑时，更应慎重处理。

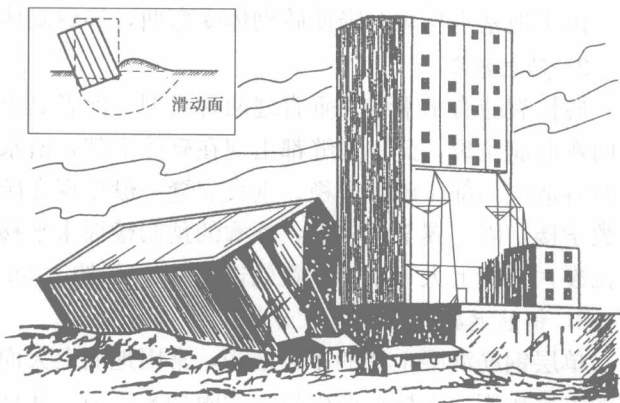


图1-2 加拿大特朗斯康谷仓的地基破坏情况示意图

二、地基变形事故

（一）软弱地基变形特征

软土地基沉降大且不均匀。上海展览中心中央大厅为框架结构，箱形基础两层，埋深7.27m。箱基顶面至中央大厅上面的塔尖，总高96.63m。地基为淤泥质土，压缩性很大。该馆于1954年5月开工，当年年底实测平均沉降量为600mm。到1979年9月，该馆累计沉降量为1600mm，逐渐趋向稳定。建筑物严重下沉使室内外地坪高差大，行走不便，

室外散水倒坡,雨水积聚,尤其是上下水通、照明、通信、动力电缆内外连接的管网折断。

软土地基的不均匀沉降,是造成建筑物裂缝损坏或倾斜事故的主要原因。影响不均匀沉降的因素很多,如土质的不均匀性、上部结构的荷载差异、建筑物形体复杂、相邻建筑物间影响、地下水位变化及建筑物周围开挖基坑等。即使在同一荷载及简单平面形式下,其差异沉降也有可能相差很大。例如,世界著名的意大利比萨斜塔,1173年动工,高约55m,因地基压缩层不均、排水缓慢,北侧下沉1m多,南侧下沉近3m。1932年曾灌注1000t水泥,也未奏效,每年仍下沉约1mm,目前正在处理之中。软弱地基变形特征详见第十二章第一节相关内容。

(二) 不均匀沉降对上部结构产生的影响

不均匀沉降对上部结构产生的影响表现在如下方面。

1. 砖墙开裂

由于地基不均匀沉降使砖砌体受弯曲,导致砌体因受主拉应力过大而开裂。

2. 砖柱断裂

砖柱裂缝有水平缝及垂直缝两种类型。前者是由于基础不均匀沉降使中心受压砖柱产生纵向弯曲而拉裂,此种裂缝都出现在砌体下部,沿水平灰缝发展,使砌体受压面积减少,严重时将造成局部压碎而失稳。垂直裂缝一般出现在砖柱上部,例如,某平面为“Ⅱ”字形四层数学楼,因一翼下沉较大,外廊的预制楼板水平移位,使支承楼板的底层中部外廊砖柱柱头拉裂,裂缝上大下小,最宽处达8mm,延伸1.3m。

3. 钢筋混凝土柱倾斜或开裂

单层钢筋混凝土柱的排架结构,常因地面上大面积堆料造成柱基倾斜。由于刚性屋盖系统的支撑作用,在柱头产生较大的附加水平力,使柱身矩增大而开裂,裂缝多为水平缝,且集中在柱身变截面处及地面附近。露天跨柱的倾斜虽不致造成柱身裂损,但会影响吊车的正常运行,引起滑车或卡轨现象,例如,上海某厂铸钢车间露天跨,车间内堆载为100kPa,造成轨顶最大位移值达85mm,柱基最大相对内倾值达0.0125,导致吊车卡轨、滑车,工字形柱倾斜、裂缝。曾凿开基础杯口,用钢丝绳纠偏,目前柱子尚有明显倾斜。

4. 高耸构筑物的倾斜

建在软土地基上的烟囱、水塔、立窑、油罐和储气柜等高耸构筑物,若采用天然地基,则产生倾斜的可能性较大。

(三) 地基湿陷变形对上部结构产生的影响

地基湿陷变形对上部结构产生的影响表现在如下方面。

1. 基础及上部结构开裂

黄土地基湿陷性引起房屋下沉量大,墙体裂缝大,并开展迅速。

2. 倾斜

湿陷变形只出现在受水浸湿部位,而没有浸水部位则基本不动,从而形成沉降差,因而整体刚度较大的房屋和构筑物(如烟囱,水塔等)易发生倾斜。

3. 折断

当地基遇到多处湿陷时,基础往往产生较大弯曲变形,引起房屋基础和管道折断,当给排水干管折断时,对周围建筑物还会构成更大的危害。

(四) 地基胀缩变形对上部结构产生的影响

地基胀缩变形对上部结构产生的影响表现在如下方面:

(1) 建筑物的开裂破坏一般具有地区性成群出现的特性。建筑物大部分是在建成后三五年,甚至一二十年后才出现开裂,也有少部分在施工期就开裂的,主要是受地基含水量,场地的地形、地貌,工程与水文的地质条件、气候、施工等综合因素的影响。例如,四川成都龙潭区三级阶地上的房屋,大多数在建成五六年后出现了地基干湿变化,造成建筑物开裂、变形,尤其以平房和三层以下的建筑物最为普遍和严重。

(2) 遇水膨胀、失水收缩引起墙体开裂。墙体裂缝有正、倒八字形, X 形, 还有水平缝及局部斜裂缝, 随着胀缩反复交替出现, 墙体可能发生挤碎或错位。

(3) 在地质条件相同情况下的房屋开裂破坏。这种破坏以单层、二层房屋较多, 三层房屋较少、较轻, 单层房屋尤以单层民用房屋的开裂最为普遍, 其破坏率占单层建筑物总数的 85%。二层房屋破坏率为 25%~30%。三层房屋一般略有轻微的变形开裂破坏, 其破坏率为 5%~10%, 由于基础形式的不同, 房屋开裂也不同, 条形基础的破坏较单独基础破坏更为普遍。

排架、框架结构房屋, 其变形开裂破坏的程度和破坏率均低于砖混结构。体形复杂的房屋由于失水和得水的临空面大, 受大气的影 响也大, 故变形开裂破坏较体形简单的严重。地裂通过处的房屋必定开裂。

(4) 外墙与内墙交界处的破坏。

(5) 室内地坪开裂, 特别是空旷的房屋或外廊式房屋的地坪易出现纵向裂缝。

(五) 地基冻胀、融陷变形对上部结构产生的影响

当基础埋深浅于冻结深度时, 在基础侧面作用着切向冻胀力, 在基底作用着法向冻胀力。如果基础上荷载 F 和自重 G 不足以平衡法向和切向冻胀力, 基础就被抬起来, 融化时, 冻胀力消失, 冰变成水, 土的强度降低, 基础产生融陷, 不论上抬还是融陷, 一般都是不均匀的, 其结果必然造成建筑的开裂破坏。例如, 河北省崇礼县某住宅楼, 上冻前地下室施工完毕, 只进行了外侧回填, 地下室内没有采取任何保温措施, 第二年开春发现大部分有门洞口的圈梁出现裂缝, 最宽达 8mm, 最后不得不加固补强。建筑物因地基冻融产生的破坏现象, 可概括如下。

1. 墙体裂缝

一、二层轻型房屋的墙体裂缝很普遍。从裂缝形状上看, 有斜裂缝、水平裂缝、垂直裂缝三种, 这些裂缝与膨胀土地上房屋开裂情况是十分相似的, 垂直裂缝多出现在内外墙交接处或外门斗与主体结构连接的地方。

2. 基础拉断

这种情况经常发生在不采暖的轻型结构砖砌基础中, 主要因侧向冻切力作用所致。电杆、垮架、桥墩和管架等一般轻型构筑物基础, 在侧向冻切力的作用下, 有逐年上拔的现象。例如, 东北某工程的钢筋混凝土短桩基础, 3~4 年内上拔 600mm 之多。

3. 外墙因冻胀抬起、内墙不动, 天棚与内墙分离

这种情况常发生在农村单层住宅采暖房屋里, 主要原因是内墙与外墙连接薄弱, 天棚支承在外墙上, 当外墙因冻胀抬起时, 天棚便与内墙分离, 最大可达 20mm。

4. 台阶隆起, 门窗歪斜

冬天由于冻胀台阶隆起导致外门不易推开, 来年开冻以后台阶又回落, 经多年起落, 变

形不断增加,就会出现不同程度沉落和倾斜,因为台阶埋深小,与房屋基础埋深相差很多,冻结融化都较敏感,而在构造上它又与房屋不相连接,故台阶变形较为显著且极为普遍,在冻胀性地区较常见。此外,由于纵墙变形不均匀或内外墙变形不一致常使门窗变形,压碎玻璃。

三、斜坡失稳引起地基事故

(一) 斜坡失稳的特征

(1) 斜坡失稳常以滑坡形式出现,滑坡规模差异很大,滑坡体积从数百立方米到数百万立方米,对工程危害极大。

(2) 滑坡可以缓慢的、长期的,也可以是突然发生的,以每秒几米甚至几十米的速度下滑。古滑坡可以因外界条件变化而激发新滑坡。例如某工程,扩建于江岸边转角处的一个古滑坡体上,由于江水冲刷坡脚以及工厂投产后排水和堆放荷载的影响,先后在古滑坡上发生了十个新滑坡,严重影响该厂的正常生产。

(二) 斜坡上房屋稳定性破坏类型

由于房屋位于斜坡上的位置不同,因此斜坡出现滑动对房屋产生的危害也不同,大致可分为以下三类:

(1) 房屋位于斜坡顶部时,从顶部形成滑坡,土从房屋下挤出,地基土松动,房屋出现不均匀沉降,导致开裂损坏或倾斜。

(2) 房屋位于斜坡上,在滑坡情况下,房屋下的土发生移动,部分土绕过房屋基础移动,在这种情况下,无论是作用在基础上的滑动土的土压力,还是基础在平面上的不同位移,都可能引起房屋所不允许的变形,导致房屋破坏。

(3) 房屋位于斜坡下部,房屋经受滑动土体的侧压力,对房屋造成的危害程度与滑坡规模,与滑动土体有关,事故常常是灾难性的。例如,1972年6月,香港下起了特大暴雨,雨量达1658.6mm。7月18日7时,山坡发生大滑坡,几万立方米土体下滑的巨大冲击力通过一座位于山坡上的高层住宅——宝城大厦。顷刻之间,大厦被冲毁,并砸毁邻近大楼一角。在此居住的银行界人士约120人当场死亡,引起西方世界极大震惊。

大量事故充分表明,对基础工程必须慎重对待。只有深入了解地基情况,掌握勘察资料,经过精心设计与施工,才能使基础工程做到既经济合理,又能保证质量。

第三节 本学科发展概况

土力学与地基基础既是一门古老的工程技术,又是一门新兴的应用科学。由于生产的发展和生活中的需要,人类很早就已创造了自己的地基基础工艺。如我国都江堰水利工程、举世闻名的万里长城、隋朝南北大运河、黄河大堤、赵州石拱桥以及许许多多遍及全国各地的宏伟壮丽的宫殿寺院、巍然挺立的高塔等,都是由于奠基牢固,即使经历了无数次强震、强风仍安然无恙。又如秦代在修筑池道时采用的“隐以金椎”(《汉书》)的路基压实方法,以及至今仍采用的灰土垫层、石灰桩、瓦渣垫层和水砂垫层等,都是我国自古已有的传统地基处理方法。再如北宋初著名木工喻皓(公元989年)在建造开封开宝寺木塔时,考虑到当地多西北风,将建于饱和土上的塔身稍向西北倾斜,以在风力长期断续作用下渐趋复正,以解决建筑物地基的沉降问题。我国木桩基础的使用更是源远流长。如河姆渡文化遗址中发现的

7000年前钱塘江南岸沼泽地带木构建筑下的木桩为世所罕见,公元前532年在今山西汾水上建成的三十墩柱木柱梁桥(《水经注》),以及秦代所建渭桥(公元前221—公元206年,《三辅黄图》)等也都为木桩基础,再如郑州隋朝超化寺打入淤泥的塔基本桩(《法苑珠林》)、杭州湾五代大海塘工程木桩等都是我国古代桩基础技术应用的典范,雄辩地证明了我国古代劳动人民在工程实践中积累了丰富的土力学与地基基础的知识。只是由于当时生产力发展水平的限制,还未能提炼成为系统的科学理论。直到18世纪中叶,人们对土在工程建设方面的特性,尚停留在感性认识阶段。

18世纪西欧产业革命,推动了工业、铁路和城市建设等事业的迅猛发展,伴随着与土有关问题的解决,涌现了一批土力学研究的先驱者,1773年,法国的库仑根据试验创立了著名的砂土抗剪强度公式,提出了挡土墙的滑楔理论,1857年,英国的朗肯又从另一途径提出了挡土墙土压力计算理论,这对后来土体强度理论的发展起到了很大的作用。此外,1856年,法国工程师达西研究了砂土的透水性,提出了达西定律,用来分析土中渗流问题,1885年法国学者布辛奈斯克(Boussinesq)求导了弹性半空间半无限体表面竖向集中力作用时土中应力、变形的理论解,这些古典理论对土力学的发展起了很大的推动作用。

20世纪20年代,对土力学的研究取得了较快的发展,1915年,瑞典的彼得森(Petterson)首先提出,后由瑞典的费伦纽斯(Fellenius)及美国的泰勒(Taylor)进一步发展了土坡稳定分析的整体圆弧滑动面法;1920年,法国学者普朗特(Prandtl)发表了地基剪切破坏时的滑动面形状和极限承载力公式;1925年,奥地利教授太沙基在总结归纳前人及其本人研究成果的基础上,用德文撰写了第一本系统比较完整的《土力学》专著,他是第一个重视土的工程性质和土工试验的人,他所创导的饱和土的有效力原理,将土的应力、应变、强度和时间的因素相互联系起来,并有效地用于解决一系列土力学问题,标志着土力学学科的诞生。之后,世界各国又出现了不少杰出的土力学专家,为本学科的发展作出了巨大贡献。例如,我国学者陈宗基教授对土的流变性和黏土结构的研究;黄文熙院士对土的液化的探讨以及提出考虑土侧向变形的地基沉降计算方法;钱家欢、殷宗泽教授主编的《土工原理与计算》一书,较全面地总结土力学的新发展,在国内有较大影响;沈珠江院士在土体本构模型、土体静动力数值分析、非饱和土理论等方面取得了令人瞩目的成就。

中华人民共和国成立后,我国在建筑工程中成功地处理了许多大型和复杂的基础工程。例如,利用电化学加固处理的中国历史博物馆地基,克服了施工期短、质量要求高的困难;特别是在万里长江上建成的十多座长江大桥(武汉、南京长江大桥等)及其他巨大工程中,采用管柱基础、气筒浮运沉井基础等,成功地解决了水深流急、地质复杂的基础工程问题;再如上海钢铁总厂以及全国许许多多高层建筑的建成,都为土力学与基础工程的理论和实践积累了丰富的经验。我国自1958年以来,先后召开了多届全国土力学与基础工程会议,并建立了许多地基基础研究机构、施工队伍和土工试验室,培养了大批地基基础专业人才。不少学者对土力学与基础工程的理论和实践做出了重大贡献,受到了国际岩土界的重视。

近年来,我国在岩土工程勘察,室内及现场土工试验,地基处理,新设备、新材料、新工艺的研究和应用方面,取得了很大的进展。在地基处理方面,振动碾压、振动水冲、