

土力学地基基础

(第二版)

陈希哲 编著

清华大学出版社

土力学地基基础

(第二版)

陈希哲 编著

清华大学出版社

(京)新登字 158 号

内 容 简 介

本书为作者根据在清华大学执教 40 多年,并在全国各地举办工程师进修班 40 多届的讲学实践,以及主持完成岩土工程 200 多项经验编著而成。书中系统地阐明了土力学的基本理论,介绍了世界各国地基基础新技术和先进经验。全书共分 11 章:绪论;工程地质;土的物理性质及工程分类;土的压缩性与地基沉降计算;土的抗剪强度与地基承载力;土压力与土坡稳定;工程建设的岩土工程勘察;天然地基上浅基础的设计;桩基础与深基础;软弱地基处理;特殊土地基;地震区的地基基础。

本书内容简明扼要、重点突出、图文并茂、便于自学。各章附有复习思考题、习题及答案。为提高教学质量,由清华大学音像出版社发行了作者编著的一套幻灯片,这是作者多次应邀出国讲学并考察十多个国家和全国调研几十年积累的成果。此书于 1982 年第一版、1989 年第二版问世以来,全国有 100 多所高校与工程师进修班采用作为教材,普遍认为很实用,受欢迎。作者根据第二版后我国新颁布的 9 本新规范和国内外最新技术成果,更新与充实了内容,作为本书第三版。

本书可作为各类高等院校土建、铁道、交通、地质、冶金、石油、农业、林业等有关专业大学本科和在职工程师进修班的教材。有关专业大专班可删减若干次要理论和特殊土地基内容,仍可采用为教材。本书亦适合建筑设计院、勘察院和建筑公司工程师学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

土力学地基基础/陈希哲编著. —3 版. —北京:清华大学出版社,1997

ISBN 7-302-02674-2

I. 土… II. 陈… III. ①土力学 ②地基-基础(工程) IV. TU4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 19127 号

出版者:清华大学出版社(北京清华大学校内,邮编 100084)

印刷者:北京大中印刷厂

发行者:新华书店总店北京科技发行所

开本:787×1092 1/16 印张:31.75 字数:791 千字

版次:1998 年 1 月第 3 版 1998 年 1 月第 1 次印刷

书号:ISBN 7-302-02674-2/TU·127

印数:0001~5000

定价:28.00 元

第三版前言

《土力学地基基础》是高等院校土木建筑有关专业的一门重要课程。随着世界科学技术的发展和超高层建筑与重型设备的兴建,土力学理论和地基基础技术更显得重要。据统计,各国发生的建筑工程事故中,以地基基础引起为首。因此,本课程是各有关专业的大学生和工程技术人员必须掌握的一门现代科学。

自从1925年美国土力学家太沙基发表第一部土力学专著,使土力学成为一门独立的学科以来,由于世界各地工程建设的推动,土力学发展迅速,资料浩瀚。作为初学者的大学教材,不宜包罗万象,而应当选用那些成熟的理论与典型的经验,使教材体现少而精。本书的内容与次序参照若干重点院校本课程的教学计划与教学大纲安排,选择了土力学中基本理论和地基基础工程设计和施工中常用的技术问题,分11章进行阐述。本书的特点之一为工程实例和计算例题多,引入最新技术和先进经验。

本教材参考了有关高等院校新编的同类教材^{〔1〕~〔6〕}。在编著本书过程中,着重点放在理论紧密联系实际,语言通俗易懂,文字简明扼要,力求深入浅出,便于自学。本教材适合于讲课学时为80~100的大学本科与工程师进修班用。大专院校学时较少时,可适当删减理论性较强的若干内容,仍然适用。为使教学生动形象,作者编著一套工程实例教学幻灯片(250片),由清华大学音像出版社出版,与本教材配套使用,效果更好。

为便于读者复习和练习,各章都附有复习思考题、习题及答案。这些内容除大部分为作者自编以外,参照了福州大学主编的《土力学与基础工程》讲义。

本书自1982年5月第一版问世以来,受到全国有关高等院校师生和工程师的欢迎,印刷5次,发行10万多册。1989年8月第二版,印刷11次,发行8万多册。鉴于近年来我国颁布了下列9本新规范:《土的分类标准》(GBJ145—90)1992,《土工试验方法标准》(GBJ123—88)1991,《岩土工程勘察规范》(GB50021—94)1995,《软土地区工程地质勘察规范》(JGJ83—91)1992,《建筑地基处理技术规范》(JGJ79—91)1992,《湿陷性黄土地区建筑规范》(GBJ25—90)1992,《膨胀土地区建筑技术规范》(GBJ112—87)1989,《建筑桩基技术规范》(JGJ94—94)1995,《建筑物增层与纠倾技术规范》1995,此外还有若干省市颁布了《建筑地基基础规范》。为使高等院校教学与国家上述新规范一致,同时将本书第二版出版以后国内外的最新理论与先进技术引进教材,作为本书第三版。限于时间和作者水平,书中错误和不当之处,欢迎读者批评指正。

本书在编著过程中,得到清华大学不少同志的关注。沈阳建筑工程学院李文伉老师提供素材,总参某部高级工程师叶朴帮助收集资料编写部分章节初稿并设计封面,清华大学建筑设计研究院叶菁帮助收集资料绘制部分插图,在此表示衷心感谢!

作者

1997年1月1日

土力学及基础工程常用符号与单位

A	基础底面面积, m^2
A_p	桩身的横截面面积, m^2
a	土的压缩系数, MPa^{-1}
a_{1-2}	当土样上的压力从 100kPa 至 200kPa 区间土的压缩系数, MPa^{-1}
b	条形基础宽度, 矩形基础短边, m 条分法分条的宽度, m
C_c	土的压缩指数
C_u	土的不均匀系数
C_v	土的固结系数, cm^2/a
c	土的粘聚力, kPa
D	扩底桩底端直径, m
D_r	土的相对密实度
d	天然地面下基础埋深, m 土粒粒径, mm 桩的设计直径, mm
d_s	土粒相对密度(比重)
d_{60}	土的限定粒径, mm
d_{10}	土的有效粒径, mm
E	土的变形模量, MPa
E_s	土的压缩模量, MPa
e	土的孔隙比 偏心距, m
e_0	土的初始孔隙比
f	地基承载力设计值, kPa
f_k	地基承载力标准值, kPa
f_0	地基承载力基本值, kPa
G	基础及其上回填土之总重力, kN
G_D	动水力, kN/m^3
G_s	土粒比重
H	土层厚度, m 土样高度, cm 挡土墙高度, m
H_g	自地面算起的建筑物高度, m

h	基础高度, m 水头, m
I_L	土的液性指数
I_p	土的塑性指数
i	水力坡降
K	安全系数 基床系数, kN/m^3
K_a	主动土压力系数
K_0	静止土压力系数
K_p	被动土压力系数
k	土的渗透系数, cm/s
L	房屋长度或沉降缝分隔的单元长度, m
l	基础底面长度, m
l_p	桩身长度, m
M	作用于基础底面的力矩, $\text{kN} \cdot \text{m}$
N	作用于基础顶面的垂直荷载, kN 桩顶轴向荷载, kN
N_c, N_D, N_q	承载力系数
N_{10}	锤重 10kg 的轻便触探试验锤击数
$N(N_{63.5})$	锤重 63.5kg 的标准贯入试验锤击数
n	土的孔隙度, % 桩的数量
P	集中荷载, kN
P_a	总主动土压力, kN
P_0	总静止土压力, kN
P_p	总被动土压力, kN
p	单位面积分布荷载, kPa 基础底面平均压力, kPa
p_a	单位面积主动土压力, kPa
p_{cr}	地基的临塑荷载, kPa
p_0	基础底面平均附加压力, kPa 单位面积静止土压力, kPa
p_p	单位面积被动土压力, kPa
p_s	静力触探比贯入阻力, kPa
p_u	地基极限荷载, kPa
Q	基础承受的剪力, kN 单桩所受竖向力设计值, kN
Q	第四纪地质时代

q_p	桩端土的承载力标准值, kPa
q_s	桩周土摩擦力标准值, kPa
q_u	无侧限抗压强度, kPa
R	单桩竖向承载力设计值, kN
	土坡稳定圆弧法圆弧半径, m
R_k	单桩竖向承载力标准值, kN
s	地基最终沉降量, mm
	土体中某点任意面上的抗剪强度, kPa
s'	计算的地基变形值, mm
s_c	地基的固结沉降量, mm
s_d	地基的瞬时沉降量, mm
s_r	土的饱和度
s_s	地基的次固结沉降量, mm
s_t	经历时间 t 时的地基沉降量, mm
s_∞	推算地基最终沉降量, mm
t	时间, s, a
U	固结度, %
u	饱和土中孔隙水压力, kPa
	周边长度, m
u_p	桩身周长, m
V	体积, cm^3, m^3
v	渗透速度, cm/s
W	截面抵抗矩, m^3
	重力, kN
w	土的含水量, %
w_l	液限, %
w_p	塑限, %
w_s	缩限, %
z	基础底面至地基中某点的距离, m
z_n	地基压缩层沉降计算深度, m
α	角度, °
	集中荷载作用下地基附加应力系数
α_c	矩形面积均布荷载作用下地基附加应力系数
α_{tc}	矩形面积三角形分布竖向荷载作用下地基附加应力系数
α_s	条形面积均布荷载作用下地基附加应力系数
α_{ts}	条形面积三角形分布竖向荷载作用下地基附加应力系数
$\bar{\alpha}$	地基平均附加应力系数
α_w	含水比

目 录

第三版前言	I	习题	33
土力学及基础工程常用符号与单位	III	第2章 土的物理性质及工程分类	35
绪论	1	2.1 土的生成与特性	35
0.1 国内外地基基础工程 成败实例	1	2.1.1 土的生成	35
0.2 本课程的任务和作用	13	2.1.2 土的结构和构造	35
0.3 本课程的内容与学习要求	14	2.1.3 土的工程特性	36
0.4 本学科发展简介	15	2.1.4 土的生成与工程特性 的关系	37
第1章 工程地质	17	2.2 土的三相组成	38
1.1 概述	17	2.2.1 土的固体颗粒	38
1.1.1 工程地质内容与重点	17	2.2.2 土中水	40
1.1.2 建筑场地的形成	17	2.2.3 土中气体	41
1.1.3 地质年代	17	2.3 土的物理性质指标	42
1.2 矿物与岩石	18	2.3.1 土的三项基本物理性指标	42
1.2.1 主要的造岩矿物	18	2.3.2 反映土的松密程度的指标	44
1.2.2 岩石的类型和性质	19	2.3.3 反映土中含水程度的指标	44
1.3 第四纪沉积层	20	2.3.4 特定条件下土的密度 (重度)	44
1.3.1 残积层	21	2.4 土的物理状态指标	47
1.3.2 坡积层	21	2.4.1 无粘性土的密实	47
1.3.3 洪积层	21	2.4.2 粘性土的物理特征	49
1.3.4 冲积层	22	2.5 地基土的工程分类	52
1.3.5 海相沉积层	23	2.5.1 岩石	52
1.3.6 湖沼沉积层	24	2.5.2 碎石土	53
1.4 不良地质条件	24	2.5.3 砂土	54
1.4.1 断层	24	2.5.4 粉土	55
1.4.2 岩层节理发育的场地	24	2.5.5 粘性土	55
1.4.3 山坡滑动	25	2.5.6 人工填土	55
1.4.4 河床冲淤	26	复习思考题	56
1.4.5 岸坡失稳	26	习题	57
1.4.6 河沟侧向位移	27	第3章 土的压缩性与地基沉降计算	59
1.5 地下水	27	3.1 土的变形特性	59
1.5.1 地下水对工程的影响	27	3.1.1 基本概念	59
1.5.2 地下水分类	28	3.1.2 土的应力与应变关系	60
1.5.3 地下水位	29	3.2 有效应力原理	62
1.5.4 地下水的运动	30	3.2.1 土中二种应力试验	62
1.5.5 地下水水质	32	3.2.2 有效应力原理	63
复习思考题	33		

3.2.3 现场应用实例	63	3.9.3 建筑物的地基变形允许值	116
3.3 侧限条件下土的压缩性	64	3.9.4 防止地基有害变形的措施	117
3.3.1 侧限压缩试验	64	复习思考题	118
3.3.2 侧限压缩性指标	65	习题	119
3.3.3 土层侧限压缩变形量	67	第4章 土的抗剪强度与地基承载力	121
3.4 土的压缩性原位测试	68	4.1 概述	121
3.4.1 载荷试验	68	4.1.1 地基强度的意义	121
3.4.2 旁压试验	72	4.1.2 土的强度成果的应用	122
3.5 地基中的应力分布	74	4.2 土的极限平衡条件	123
3.5.1 土层自重应力	74	4.2.1 土体中任一点的应力状态	123
3.5.2 基础底面接触压力	75	4.2.2 摩尔-库伦破坏理论	126
3.5.3 基础底面附加压力	77	4.2.3 土的极限平衡条件	127
3.5.4 地基中的附加应力	77	4.3 抗剪强度指标的确定	130
3.6 地基的最终沉降量	88	4.3.1 直接剪切试验	130
3.6.1 分层总和法	88	4.3.2 三轴压缩试验	133
3.6.2 《规范》 ^[17] 推荐沉降算法	93	4.3.3 无侧限抗压强度试验	139
3.6.3 相邻荷载对地基沉降的影响	100	4.3.4 十字板剪切试验	141
3.7 应力历史对地基沉降的影响	101	4.3.5 土的抗剪强度指标的取值	142
3.7.1 土的回弹曲线和再压缩曲线	101	4.4 影响抗剪强度指标的因素	144
3.7.2 正常固结、超固结和欠固结的概念	102	4.4.1 抗剪强度的来源	144
3.7.3 正常固结粘性土的现场原始曲线	103	4.4.2 影响抗剪强度指标的各种因素	146
3.7.4 超固结土与欠固结土的现场原始压缩曲线	104	4.5 地基的临塑荷载和临界荷载	148
3.7.5 超固结土与欠固结土的沉降计算	105	4.5.1 地基的临塑荷载	148
3.8 地基沉降与时间的关系	105	4.5.2 地基的临界荷载	150
3.8.1 地基沉降与时间关系、计算目的	105	4.6 地基的极限荷载	153
3.8.2 饱和土的渗透固结	106	4.6.1 地基的极限荷载概念	153
3.8.3 单向固结理论	107	4.6.2 太沙基(K. Terzaghi)公式	155
3.8.4 地基沉降与时间关系计算	111	4.6.3 斯凯普顿(Skempton)公式	158
3.8.5 地基沉降与时间经验估算法	112	4.6.4 汉森(Hansen J. B.)公式	160
3.8.6 地基瞬时沉降与次固结沉降	114	4.6.5 影响极限荷载的因素	164
3.9 建筑物沉降观测与地基允许变形值	115	复习思考题	165
3.9.1 地基变形特征	115	习题	166
3.9.2 建筑物的沉降观测	115	第5章 土压力与土坡稳定	169
		5.1 概述	169
		5.1.1 挡土墙的用途与类型	169
		5.1.2 土压力的种类	170
		5.1.3 影响土压力的因素	171
		5.1.4 挡土墙发生事故实例	171
		5.1.5 土坡稳定的意义	173

5.2 静止土压力计算	173	6.3.3 掘探法	232
5.2.1 产生条件	173	6.4 地基土的野外鉴别与描述	233
5.2.2 计算公式	173	6.4.1 地基土野外鉴别	233
5.2.3 静止土压力的应用	174	6.4.2 土的野外描述	235
5.3 朗肯土压力理论	175	6.5 岩土工程勘察成果报告	236
5.3.1 无粘性土的土压力	175	6.5.1 文字部分	236
5.3.2 粘性土的土压力	179	6.5.2 图表部分	237
5.4 库伦土压力理论	182	6.5.3 岩土工程勘察成果 报告实例	237
5.4.1 无粘性土主动土压力	182	6.6 验槽	243
5.4.2 无粘性土被动土压力	185	6.6.1 验槽的目的	243
5.5 几种常见情况的土压力	188	6.6.2 验槽的内容	244
5.5.1 粘性土应用库伦土 压力公式	188	6.6.3 验槽注意事项	246
5.5.2 填土表面作用均布荷载	189	复习思考题	246
5.5.3 墙后填土分层	190	习题	247
5.5.4 填土中有地下水	191	第7章 天然地基上浅基础的设计	249
5.6 挡土墙设计	192	7.1 概述	249
5.6.1 挡土墙型式的选择	192	7.1.1 地基基础的重要性与 复杂性	249
5.6.2 挡土墙初定尺寸	195	7.1.2 地基基础方案的类型	249
5.6.3 挡土墙的验算	195	7.1.3 天然地基上浅基础设 计内容与步骤	252
5.6.4 墙后回填土的选择	198	7.1.4 浅基础设计所需资料	252
5.6.5 墙后排水措施	198	7.2 浅基础的类型	253
5.7 土坡稳定分析	201	7.2.1 浅基础的结构类型	253
5.7.1 土坡稳定的作用	201	7.2.2 基础的材料	257
5.7.2 影响土坡稳定的因素	202	7.3 基础的埋置深度	260
5.7.3 土坡稳定分析圆弧法 ⁽²⁷⁾	203	7.3.1 上部结构情况	260
5.7.4 简单土坡稳定计算	210	7.3.2 工程地质和水文地质条件	260
复习思考题	212	7.3.3 当地冻结深度	262
习题	212	7.3.4 建筑场地的环境条件	266
第6章 工程建设的岩土工程勘察	214	7.4 地基计算	267
6.1 概述	214	7.4.1 地基承载力计算	267
6.1.1 岩土工程勘察的目的	214	7.4.2 地基变形计算	278
6.1.2 确定岩土工程勘察等级	216	7.4.3 软弱下卧层强度验算	280
6.1.3 野外勘察的准备工作	218	7.4.4 地基稳定性计算	281
6.2 各阶段勘察的内容与要求	220	7.5 基础尺寸设计	281
6.2.1 可行性研究勘察(选址 勘察)	220	7.5.1 中心荷载作用下基础尺寸	281
6.2.2 初步勘察	221	7.5.2 偏心荷载作用下基础尺寸	282
6.2.3 详细勘察	221	7.6 刚性基础设计	286
6.2.4 施工勘察	222	7.6.1 刚性基础适用范围	286
6.3 岩土工程勘察方法	223	7.6.2 刚性基础底面宽度	286
6.3.1 钻探法	223	7.7 扩展基础设计	287
6.3.2 触探法	228		

7.7.1 扩展基础适用范围	287	8.1.3 深基础的特点	319
7.7.2 扩展基础构造要求	287	8.2 桩及桩基础的分类	320
7.7.3 扩展基础计算	289	8.2.1 按承载性状分类	320
7.8 柱下条形基础设计	293	8.2.2 按桩的使用功能分类	320
7.8.1 应用范围	293	8.2.3 按桩身材料分类	321
7.8.2 截面类型	293	8.2.4 按桩的施工方法分类	326
7.8.3 设计要点	294	8.2.5 按成桩方法分类	334
7.9 十字交叉基础	295	8.2.6 按桩径大小分类	334
7.9.1 应用范围	295	8.3 桩的承载力	335
7.9.2 设计要点	295	8.3.1 单桩竖向承载力标准值	335
7.9.3 三种节点荷载分配	296	8.3.2 单桩竖向承载力设计值	345
7.10 墙下筏板基础	297	8.3.3 单桩抗拔承载力	345
7.10.1 应用范围	297	8.3.4 单桩水平承载力	346
7.10.2 构造要求	297	8.3.5 桩身材料验算	346
7.10.3 墙下筏板基础设计	298	8.3.6 群桩竖向承载力	351
7.10.4 墙下筏板基础施工	299	8.3.7 桩的负摩阻力	356
7.10.5 墙下筏板基础工程实例	300	8.3.8 桩的承载力计算总结	358
7.11 箱形基础	301	8.4 桩基础设计	360
7.11.1 概述	301	8.4.1 选择桩的类型	360
7.11.2 箱形基础的特点	302	8.4.2 确定桩的规格与单桩竖向 承载力	360
7.11.3 箱形基础的适用范围	302	8.4.3 计算桩的数量进行平面 布置	360
7.11.4 箱基的岩土工程勘察	303	8.4.4 桩基础验算	362
7.11.5 箱基的设计要点	304	8.4.5 桩承台设计	362
7.12 地基基础与上部结构共同 工作的概念	306	8.5 深基础	369
7.12.1 地基、基础与上部结构 的关系	306	8.5.1 沉井基础	369
7.12.2 基础刚度的影响	307	8.5.2 地下连续墙	378
7.12.3 地基软硬的影响	308	8.5.3 箱桩基础	382
7.12.4 上部结构刚度的影响	310	8.5.4 大直径桩墩基础	382
7.13 地基基础方案比较与改善 的措施	312	8.5.5 深基槽护坡工程	383
7.13.1 地基基础设计方案比较	312	复习思考题	386
7.13.2 减轻不均匀沉降危害 的措施	312	习题	387
7.13.3 补偿性基础设计	315	第9章 软弱地基处理	389
复习思考题	316	9.1 概述	389
习题	316	9.1.1 建筑物的地基处理目的 与意义	389
第8章 桩基础与深基础	319	9.1.2 地基处理的对象	389
8.1 概述	319	9.1.3 地基处理方案的确定	391
8.1.1 桩基础与深基础适用 范围	319	9.1.4 地基处理施工注意事项	391
8.1.2 深基础的类型	319	9.2 机械压实法	394
		9.2.1 土的压实原理	394
		9.2.2 重锤夯实法	395

9.2.3 分层碾压法	395	9.10.4 大面积地面堆载	429
9.2.4 振动压实法	395	9.10.5 局部旧结构物	429
9.3 强夯法	396	复习思考题	430
9.3.1 概述	396	习题	430
9.3.2 强夯法的设备与施工	396	第10章 特殊土地基	432
9.3.3 强夯法设计	398	10.1 湿陷性黄土地基	432
9.3.4 强夯法的适用范围	400	10.1.1 湿陷性黄土概述	432
9.3.5 强夯加固地基的效果	401	10.1.2 黄土湿陷性的测定 方法	433
9.3.6 对强夯法的评价	401	10.1.3 黄土地基湿陷性评价	437
9.4 换填法	402	10.1.4 湿陷性黄土地基计算	439
9.4.1 概述	402	10.1.5 湿陷性黄土地基处理	442
9.4.2 垫层的设计	403	10.2 膨胀土地基	447
9.4.3 垫层的施工	403	10.2.1 膨胀土及对建筑物 的危害	447
9.4.4 垫层的质量控制标准	405	10.2.2 膨胀土的特征	448
9.4.5 换土垫层的承载力	405	10.2.3 膨胀土的工程特性指标	449
9.5 预压固结法	407	10.2.4 膨胀土地与地基评价	450
9.5.1 预压法的原理与作用	407	10.2.5 膨胀土地基计算	451
9.5.2 堆载预压法	408	10.2.6 膨胀土地区建筑工程 措施	453
9.5.3 真空预压法	410	10.3 红粘土地基	454
9.5.4 质量检验	411	10.3.1 红粘土的形成条件	454
9.5.5 预压的效果	411	10.3.2 红粘土的特征	454
9.6 挤密法	412	10.3.3 红粘土地基的评价	455
9.6.1 砂石桩法	412	10.4 冻土地基	455
9.6.2 土桩挤密法	415	10.4.1 冻土地基的特点	455
9.6.3 灰土桩挤密法	416	10.4.2 冻土的物理力学性质	456
9.7 振冲法	417	10.4.3 冻土地基基础设计	459
9.7.1 振动水冲法	417	10.4.4 建筑物冻害的防治措施	461
9.7.2 干法振动砂石桩	419	复习思考题	461
9.8 化学加固法	420	习题	462
9.8.1 概述	420	第11章 地震区的地基基础	464
9.8.2 灌浆法	420	11.1 地震概述	464
9.8.3 高压喷射注浆法	421	11.1.1 地震的成因类型	464
9.8.4 深层搅拌法	423	11.1.2 地震的分布	465
9.8.5 电渗硅化法	425	11.1.3 震源、震中与地震波	465
9.9 托换技术	425	11.1.4 地震震级	466
9.9.1 托换技术的原理	425	11.1.5 地震烈度	467
9.9.2 托换前的准备工作	426	11.2 建筑场地类别与震害	469
9.9.3 基础加固托换	426	11.2.1 建筑场地及其震害	469
9.9.4 桩式托换	427	11.2.2 地基液化失效	470
9.10 几个常见问题的处理	428	11.2.3 软土地基震沉	471
9.10.1 吹填土地基	428		
9.10.2 杂填土地基	429		
9.10.3 局部软土、暗沟处理	429		

11.2.4	地震滑坡和地裂	471	11.4.2	天然地基抗震验算	480
11.3	土的动力特性	473	11.4.3	软弱粘性土地基抗震设计	481
11.3.1	振动对土的抗剪强度的影响	473	11.4.4	饱和砂土与粉土地基抗震设计	482
11.3.2	饱和砂土与粉土的振动液化	475	11.4.5	不均匀地基抗震设计	488
11.3.3	粘性土的触变现象	477	11.4.6	基础工程抗震设计	489
11.3.4	砂土振动压密	478	复习思考题	489	
11.4	地基基础抗震设计	479	习题	490	
11.4.1	抗震设计基本原则	479	参考文献	492	

绪 论

“土力学地基基础”是一门新兴的科学,当人们开始学习这门课程时,不免思考:为什么要学本课程?本课程有什么特点?在土木建筑有关专业中究竟起到什么作用?倘若土力学理论掌握不好,地基基础工程设计处理不当,将会发生什么样的后果?

当人们了解国内外工程事故实例和成功的经验时,上述问题便可以获得启迪。

0.1 国内外地基基础工程成败实例^{[7][8][9]*}

1. 建筑物倾斜

(1) 意大利比萨斜塔(图 0.1):这是举世闻名的建筑物倾斜的典型实例。作者应罗马大学邀请讲学之便,于 1992 年 1 月专程到比萨斜塔现场调查研究。该塔自 1173 年 9 月 8 日动工,至 1178 年建至第 4 层中部,高度约 29m 时,因塔明显倾斜而停工。94 年后,于 1272 年复工,经 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。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 年伽利略曾在此塔做落体实验,创建了物理学上著名的落体定律。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。

全塔总荷重约 145MN,基础底面平均压力约 50kPa。地基持力层为粉砂,下面为粉土和粘土层。目前塔向南倾斜,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 14 日被封闭。现除加固塔身外,正用压重法和取土法进行地基处理,尚无明显效果。

(2) 苏州市虎丘塔(图 0.2)^[10]:此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。1961 年 3 月 4 日,国务院将此塔列为全国重点文物保护单位。

1980 年 6 月作者到虎丘塔现场调查,塔身已向东北方向严重倾斜,不仅塔顶离中心线已

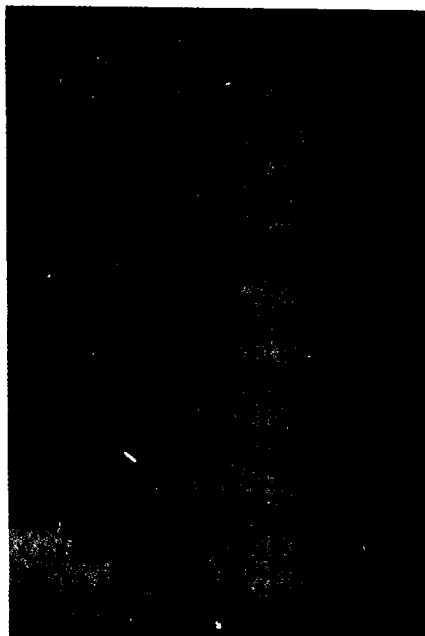


图 0.1 意大利比萨斜塔

* []号中的数字是参考文献编号,见本书末“参考文献”。

达 2.31m,而且底层塔身发生不少裂缝,成为危险建筑而封闭。作者仔细观察塔身的裂缝:东北方向为竖直裂缝,西南方向为水平裂缝。作者破格登楼,直至最高第 7 层研究塔身倾斜情况。后经勘察,了解宝塔倾斜由于地基覆盖层相差悬殊等原因造成。

在国家文物管理局和苏州市人民政府领导下,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基,由上海市特种基础工程研究所承担施工,获得成功。

清华大学教授、中国科学院院士黄文熙在第 10 届国际土力学与基础工程学术会议上交流了有关虎丘塔的论文^[10],受到世界各国专家的重视。

(3) 南昌钢铁厂一烟囱(图 0.3、图 0.4):南昌钢铁厂一轧车间东侧有一座大烟囱,1971 年建成,1975 年投产,使用正常。1981 年发现烟囱开裂与倾斜。1984 年 9 月作者在南昌讲学期间,应邀专程到南钢一轧车间调研。观察烟囱已发生 4 条大裂缝,缝长 2m~5m,缝宽 10mm~20mm。经研究分析烟囱的倾斜与开裂是作为加热炉烟道高温烘烤引起的。原拟加大基础,加粗烟囱,处理非针对性。

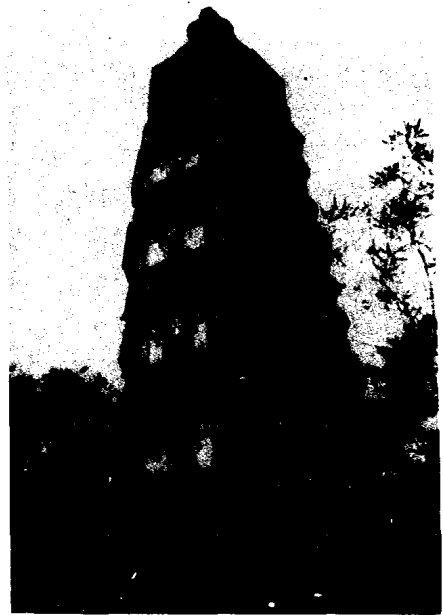


图 0.2 苏州市虎丘塔

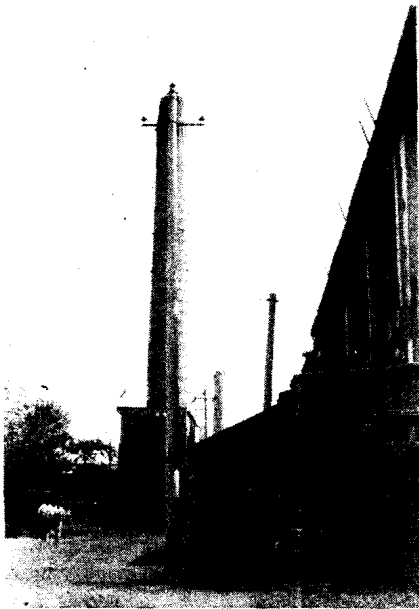


图 0.3 南昌钢铁厂烟囱倾斜

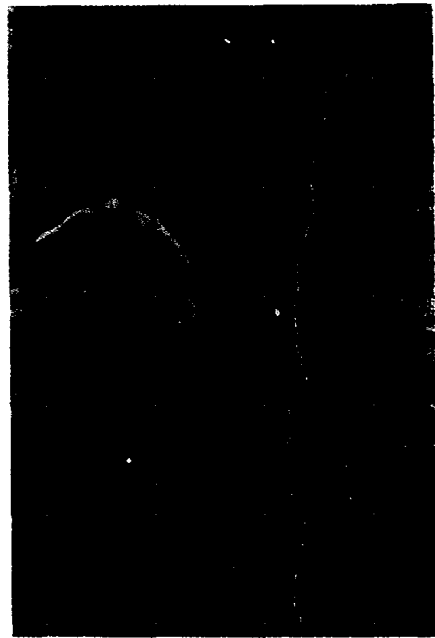


图 0.4 南昌钢铁厂烟囱开裂

2. 建筑地基严重下沉

(1) 上海展览中心馆(图 0.5):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。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。

1957 年 7 月,作者陪同应邀来我国讲学的苏联土力学专家库兹明和清华大学陈梁生教授,赴上海展览中心馆进行调查研究。在仔细观察展览馆内严重的裂缝情况,分析沉降观测资料并研究展览馆勘察报告和设计图纸后,作出展览馆将裂缝修补后可以继续使用的结论。

1979 年 9 月,作者在上海参加审查高校教材,又到上海展览中心馆调查。当时展览馆中央大厅累计平均沉降量为 160cm。从 1957 年至 1979 年共 22 年的沉降量仅 20 多 cm,不及 1954 年下半年沉降量的一半,说明沉降已趋向稳定,展览馆开放使用情况良好。

但由于地基严重下沉,不仅使散水倒坡,而且建筑物室内外连接,内外网之间的水、暖、电管道断裂,都需付出相当的代价。

(2) 墨西哥市艺术宫(图 0.6)^[11]:墨西哥国家首都墨西哥市艺术宫,是一座巨型的具有纪念性的早期建筑。此艺术宫于 1904 年落成,至今已有 90 余年的历史。该市处于四面环山的盆地中,古代原是一个大湖泊。因周围火山喷发的火山灰沉积和湖水蒸发,经漫长年代,湖水干涸形成目前的盆地。



图 0.5 上海展览中心馆



图 0.6 墨西哥市艺术宫^[11]

当地表层为人工填土与砂夹卵石硬壳层,厚度 5m;其下为超高压缩性淤泥,天然孔隙比 e 高达 7~12,天然含水量 w 高达 150%~600%,为世界罕见的软弱土,层厚达 25m。因此,这座艺术宫严重下沉,沉降量竟高达 4m。临近的公路下沉 2m,公路路面至艺术宫门前高差达 2m。参观者需步下 9 级台阶,才能从公路进入艺术宫。这是地基沉降最严重的典型实例。下沉量为一般房屋一层楼有余,造成室内外连接困难和交通不便,内外网管道修理工程量增加。

3. 建筑物墙体开裂

(1) 匈牙利一码头建筑物(图 0.7)^[12]: 匈牙利达纳畔特码头,位于多瑙河旁一座岛上的斜岸上。建筑物包括一个仓库和几个车间,宽约 24m,高 6m,为单层框架结构,建于 1952 年。



图 0.7 匈牙利一码头建筑物开裂

设计采用圆柱形独立基础,基础上置钢筋混凝土连续梁,承受外墙荷重。建筑物内墙采用条形基础。工程建成不久,所有内隔墙都严重开裂。

地基表层为人工填土,厚约 3.8m;第二层为细砂与有机粉土,厚约 1.7m;第三层为密实粗砂层。上述建筑物外墙下独立基础埋深 6.5m,基础底面为粗砂层,沉降量很小。而内墙的条形基础埋深仅 0.8m,位于人工填土层,沉降量大。显然,一幢建筑物采用两类不同基础,埋深相差悬殊,持力层土质压缩性高低相差悬殊,引起严重的不均匀沉降,导致墙体严重开裂事故。

(2) 天津市人民会堂办公楼(图 0.8):此办公楼东西向 7 个开间,长约 27.0m,南北向宽约 5.0m,高约 5.6m,为两层楼房。工程建成,使用正常。

1984 年 7 月,在办公楼西侧,新建天津市科学会堂学术楼。此学术楼东西向 8 个开间,长约 34.0m,南北宽约 18.0m,高约 22.0m,为 6 层大楼。两楼外墙净距仅 30cm。当年年底,人民会堂办公楼西侧北墙发现裂缝,此后,裂缝不断加长、展宽。1986 年 7 月作者专程赴现场调查研究。最大的一条裂缝,位于办公楼西北角,上下墙体已断开错位 150mm。在地面以上高 2.3m 处,开裂宽度超过 100mm,作者握拳可在裂缝处自由出入。这条裂缝朝东向下斜向延伸至地面,长度超过 6m。另一条裂缝,从北墙二层西起第一扇窗中部朝东向下斜向延伸至第二扇窗下部直至圈梁,长度超过 3m。