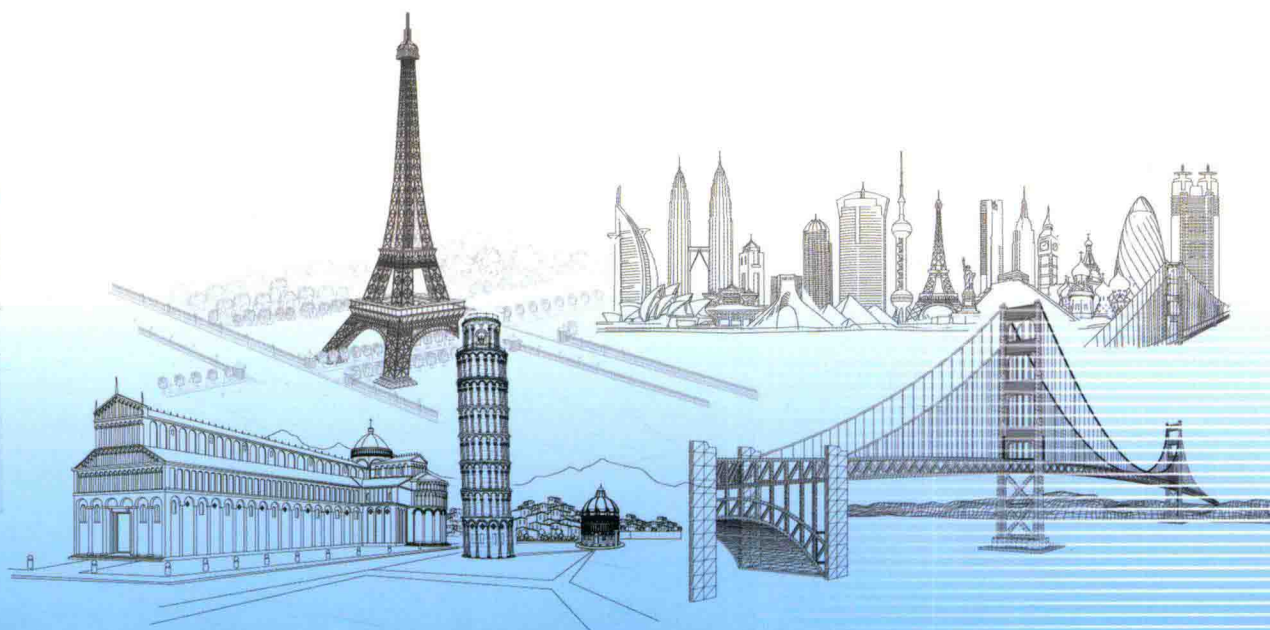




高等学校土木工程专业“卓越工程师”教育“十二五”规划教材
普通高等教育土木工程专业指导性规范配套“十二五”规划教材
云南省“十二五”省级规划教材

基础工程

■ 主 编 阮永芬



武汉理工大学出版社

高等学校土木工程专业“卓越工程师”教育“十二五”规划教材
普通高等教育土木工程专业指导性规范配套“十二五”规划教材
云南省“十二五”省级规划教材

基 础 工 程

主 编 阮永芬

副主编 王德玲 杨庆年 程万钊

武汉理工大学出版社

· 武 汉 ·

内 容 简 介

“基础工程”课程是土木工程专业四年制本科生必修的一门专业核心基础课程,它是“土力学”课程的后续课程,是土力学的理论在基础工程中的应用。本书以现行国家标准和相应新规范为依据,在编写过程中,强调与规范密切结合,注重可读性、综合性和实践性。全书共分为9章,主要内容包括:绪论、天然地基上的浅基础设计、连续基础、桩基础与其他深基础、地基处理、特殊土地基、挡土墙设计、基坑支护工程、地基基础抗震设计。除绪论外,各章均配有思考题和习题。

本书可作为大学本科土木工程专业的基础课程教材,也可供土木工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

基础工程/阮永芬主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2016.2
ISBN 978-7-5629-5086-8

I. ①基… II. ①阮… III. ①基础(工程) IV. TU47

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 313859 号

项目负责人:高 英 汪浪涛 戴皓华

责任编辑:王 思

责任校对:梁雪娇

装帧设计:一 尘

出版发行:武汉理工大学出版社

地 址:武汉市洪山区珞狮路 122 号

邮 编:430070

网 址:<http://www.wutp.com.cn>

经 销:各地新华书店

印 刷:武汉兴和彩色印务有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:22

字 数:557 千字

版 次:2016 年 2 月第 1 版

印 次:2016 年 2 月第 1 次印刷

印 数:1000 册

定 价:39.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线:027—87515778 87515848 87785758 87165708(传真)

• 版权所有,盗版必究 •

前 言

“基础工程”课程是土木工程专业四年制本科生必修的一门专业核心基础课程,它是“土力学”课程的后续课程,可以说是土力学的理论在基础工程中的应用。本课程的学习目的是通过教学使学生掌握一般地基基础的设计步骤、计算原理和构造要求。

本书在编写过程中,注重可读性、应用性、实践性,并强调与规范密切结合,本书涉及的规范、规程主要有:《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)、《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)、《砌体结构设计规范》(GB 50003—2011)、《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—2008)、《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)、《建筑工程地质勘探与取样技术规程》(JGJ/T 87—2012)、《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)、《建筑基坑支护技术规范》(JGJ 120—2012)、《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79—2012)、《膨胀土地区建筑技术规范》(GB 50112—2013)、《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330—2013)等。为加深读者对新规范的理解和满足初学者可读和易懂的要求,本书强调例题的作用,通过例题帮助读者掌握书中的理论知识和复杂的计算过程。在编写过程中,注重概念准确和明晰、语言精练和通畅,力求易读易懂。

本书共组织了5所大学几位既具有丰富教学经验又有实际工程经验的教师参与编写。本书由昆明理工大学的阮永芬教授任主编,全书一共有9章,绪论和第1章由阮永芬编写,第2章和第6章由杨庆年(南阳理工大学)编写,第3章和第8章由王德玲(长江大学)编写,第4章由程万钊(湖北工程学院)编写,第5章由明伟(华北理工大学)编写,第7章由陈颖辉(昆明理工大学)编写。

本书在编写过程中,参阅了一些优秀教材和相关资料(均在参考文献中列出),在此向有关作者谨表谢意。在此也特别感谢昆明理工大学的刘海明、申林方、张蕾、欧明喜等博士,他们对书稿进行了认真的审阅,提出了宝贵的意见和建议,谨此致谢。

由于编者水平有限,书中难免存在不妥或错误之处,敬请读者批评指正。

编 者
2015年10月

目 录

0 绪论	(1)
0.1 地基与基础工程	(1)
0.2 地基基础的重要性	(1)
0.3 地基基础的发展沿革和研究内容	(6)
0.4 本课程的学习特点和学习方法	(8)
1 天然地基上的浅基础设计	(9)
1.1 概述	(9)
1.1.1 浅基础设计的内容	(9)
1.1.2 建筑极限状态设计和结构可靠度	(10)
1.1.3 荷载及荷载效应组合	(10)
1.1.4 地基基础设计的基本规定	(11)
1.2 浅基础的结构类型	(13)
1.2.1 无筋扩展基础	(13)
1.2.2 扩展基础	(13)
1.2.3 柱下条形基础	(14)
1.2.4 筏形基础	(15)
1.2.5 箱形基础	(15)
1.2.6 壳体基础	(15)
1.3 基础埋置深度的确定	(16)
1.4 地基承载力的确定	(20)
1.4.1 按现场载荷试验确定	(20)
1.4.2 根据地基强度理论公式确定	(22)
1.4.3 根据其他原位测试确定	(23)
1.4.4 根据实际工程经验确定	(23)
1.4.5 地基承载力特征值的修订	(23)
1.5 基础底面尺寸的确定	(25)
1.5.1 按持力层承载力计算	(25)
1.5.2 软弱下卧层承载力验算	(28)
1.6 地基变形验算	(30)
1.6.1 地基变形特征	(30)
1.6.2 地基变形验算	(31)
1.7 无筋扩展基础设计	(34)
1.8 扩展基础设计	(37)

1.8.1	扩展基础的构造要求	(37)
1.8.2	墙下钢筋混凝土条形基础设计	(39)
1.8.3	柱下钢筋混凝土独立基础设计	(41)
1.9	联合基础	(48)
1.10	减轻不均匀沉降危害的措施	(54)
1.10.1	建筑措施	(55)
1.10.2	结构措施	(57)
1.10.3	施工措施	(58)
	思考题	(58)
	习题	(58)
2	连续基础	(60)
2.1	概述	(60)
2.2	地基、基础与上部结构的共同作用	(60)
2.2.1	地基与基础的相互作用	(61)
2.2.2	地基变形对上部结构的影响	(63)
2.2.3	上部结构刚度对基础受力状况的影响	(64)
2.3	地基计算模型	(65)
2.3.1	文克勒地基模型	(65)
2.3.2	弹性半空间地基模型	(66)
2.3.3	分层地基模型	(67)
2.3.4	相互作用分析的基本条件与常用方法	(68)
2.4	文克勒地基上梁的计算	(68)
2.4.1	无限长梁的计算	(68)
2.4.2	半无限长梁的计算	(75)
2.4.3	有限长梁的计算	(75)
2.4.4	梁长的划分原则	(76)
2.4.5	基床系数的确定	(77)
2.5	地基上梁的数值分析法	(79)
2.5.1	有限单元法	(80)
2.5.2	有限单元法程序	(81)
2.6	刚性基础地基反力、沉降和倾斜计算的数值分析法	(82)
2.7	柱下条形基础	(83)
2.7.1	构造要求	(83)
2.7.2	内力计算	(85)
2.7.3	柱下条形基础的计算步骤	(86)
2.8	十字交叉基础	(90)
2.8.1	基本概念	(91)
2.8.2	节点荷载的初步分配	(92)
2.8.3	节点荷载分配的调整	(94)

2.9 筏形基础与箱形基础	(95)
2.9.1 筏形基础	(96)
2.9.2 箱形基础	(102)
2.10 补偿性基础设计概要	(105)
2.10.1 基本概念及其分类	(105)
2.10.2 补偿性基础设计的目的	(106)
2.10.3 设计与施工中应考虑的问题	(106)
思考题	(107)
习题	(108)
3 桩基础与其他深基础	(109)
3.1 概述	(109)
3.1.1 深基础简介	(109)
3.1.2 桩基础的概念和作用	(109)
3.1.3 桩基础的特点	(110)
3.1.4 桩基础的设计内容	(110)
3.1.5 桩基础的设计原则	(111)
3.2 桩基和桩的分类与特点	(112)
3.2.1 桩基的分类	(112)
3.2.2 桩的分类	(112)
3.3 单桩轴向荷载传递	(118)
3.3.1 桩身轴力和截面位移	(118)
3.3.2 影响荷载传递的因素	(120)
3.4 单桩竖向承载力的确定	(120)
3.4.1 按桩身的材料强度确定	(121)
3.4.2 根据地基土对桩的支承能力确定	(122)
3.4.3 桩的抗拔承载力	(126)
3.5 单桩水平承载力	(128)
3.5.1 水平荷载作用下桩的工作性状	(128)
3.5.2 单桩水平荷载试验	(128)
3.5.3 水平荷载作用下弹性桩的计算	(130)
3.5.4 单桩水平承载力特征值	(133)
3.6 桩的负摩阻力	(135)
3.6.1 产生负摩擦的条件和原因	(135)
3.6.2 负摩阻力的计算	(136)
3.6.3 减小负摩阻力的工程措施	(138)
3.7 群桩的承载力与变形	(138)
3.7.1 群桩的工作特点	(138)
3.7.2 群桩竖向承载力	(139)
3.7.3 群桩沉降的计算	(140)

3.7.4 群桩在水平荷载下的工作性状	(142)
3.8 桩基础设计	(143)
3.8.1 桩基础的设计内容和步骤	(143)
3.8.2 基本资料	(143)
3.8.3 桩型、桩长及桩截面尺寸选择	(144)
3.8.4 桩数及桩平面布置	(146)
3.8.5 桩基础承载力验算	(147)
3.8.6 桩基软弱下卧层承载力验算	(148)
3.8.7 桩基沉降验算	(150)
3.8.8 桩基竖向抗拔承载力及负摩阻力验算	(150)
3.8.9 桩身结构设计	(150)
3.8.10 承台设计	(152)
3.9 复合桩基与疏桩基础	(160)
3.9.1 复合桩基	(160)
3.9.2 减沉复合疏桩基础	(161)
3.10 桩基工程的检测	(162)
3.10.1 工程桩的检测	(162)
3.10.2 低应变动测法	(163)
3.10.3 高应变动测法	(165)
3.10.4 声波透射法	(166)
3.10.5 单桩静荷载试验	(167)
3.11 其他深基础的类型与适用条件	(167)
3.11.1 墩基础	(167)
3.11.2 沉井基础	(168)
3.11.3 地下连续墙	(169)
思考题	(170)
习题	(170)
4 地基处理	(172)
4.1 概述	(172)
4.1.1 地基处理的对象及工程性质	(172)
4.1.2 地基处理的目的和意义	(173)
4.1.3 地基处理方法的分类	(174)
4.1.4 地基处理的原则与步骤	(175)
4.2 换填法	(175)
4.2.1 换填法概述	(175)
4.2.2 换填法设计与计算	(176)
4.2.3 换填法施工工艺	(178)
4.3 排水固结法	(180)
4.3.1 排水固结法概述	(180)

4.3.2	排水固结法加固原理	(181)
4.3.3	排水固结法设计与计算	(183)
4.3.4	排水固结法设计与施工中的一些规定	(185)
4.4	复合地基	(187)
4.4.1	复合地基概述	(187)
4.4.2	复合地基设计与计算	(188)
4.4.3	振冲碎石桩和沉管砂石桩复合地基	(191)
4.4.4	水泥土搅拌桩复合地基	(194)
4.4.5	旋喷桩复合地基	(195)
4.4.6	水泥粉煤灰碎石桩复合地基	(196)
4.5	密实法	(198)
4.5.1	密实法概述	(198)
4.5.2	振动压实与重锤夯实	(198)
4.5.3	强夯法	(200)
4.6	注浆法	(202)
4.6.1	注浆法概述	(202)
4.6.2	硅化法	(203)
4.6.3	碱液法	(207)
4.7	土工合成材料	(209)
4.7.1	土工合成材料概述	(209)
4.7.2	土工合成材料的主要功能	(210)
4.7.3	土工合成材料的工程特性及反滤设计准则	(211)
4.7.4	土工合成材料施工工艺	(213)
4.8	托换技术	(213)
4.8.1	托换技术概述	(213)
4.8.2	树根桩	(215)
4.8.3	锚杆静压桩	(216)
	思考题	(217)
	习题	(217)
5	特殊土地基	(218)
5.1	概述	(218)
5.2	湿陷性黄土地基	(218)
5.2.1	湿陷性黄土概述	(218)
5.2.2	黄土湿陷产生的原因和影响因素	(219)
5.2.3	黄土湿陷性及场地湿陷类型的判定	(220)
5.2.4	湿陷性黄土地基的工程措施	(223)
5.2.5	湿陷性黄土地基的容许承载力和沉降计算	(224)
5.3	膨胀土地基	(226)
5.3.1	膨胀土地基概述	(226)

5.3.2	膨胀土的工程地质特征	(226)
5.3.3	影响膨胀土胀缩变形的主要因素	(226)
5.3.4	膨胀土的工程特性指标	(227)
5.3.5	膨胀土地基上建筑物的变形	(228)
5.3.6	膨胀土的判别	(229)
5.3.7	膨胀土的地基评价	(229)
5.3.8	膨胀岩土地区的工程措施	(232)
5.4	红黏土地基	(234)
5.4.1	红黏土概述	(234)
5.4.2	红黏土的工程地质特征	(234)
5.4.3	红黏土的岩土工程评价	(236)
5.5	岩溶和土洞地基	(238)
5.5.1	岩溶	(238)
5.5.2	土洞	(240)
5.6	冻土地基	(242)
5.6.1	冻土的名称与分类	(242)
5.6.2	冻土的工程性质	(242)
5.6.3	冻土的物理力学指标	(242)
5.6.4	防冻胀措施	(244)
5.6.5	防融沉措施	(244)
5.7	盐渍土地基	(244)
5.7.1	盐渍土	(244)
5.7.2	盐渍岩土的工程性质	(245)
5.7.3	盐渍岩土的工程评价	(246)
5.7.4	盐渍岩土的地基设计与防护措施	(247)
5.8	污染土	(247)
5.8.1	污染土对地基的腐蚀作用	(247)
5.8.2	污染土地基的评价	(248)
5.8.3	污染土的防治处理措施	(249)
思考题		(250)
习题		(250)
6	挡土墙设计	(251)
6.1	挡土墙的类型及作用荷载	(251)
6.1.1	挡土墙的类型	(251)
6.1.2	挡土墙上作用的荷载	(254)
6.2	重力式挡土墙设计	(258)
6.2.1	重力式挡土墙的构造	(258)
6.2.2	重力式挡土墙的设计计算	(260)
6.3	薄壁式挡土墙设计	(266)

6.3.1 悬臂式挡土墙	(266)
6.3.2 扶壁式挡土墙	(273)
6.4 加筋土挡土墙设计	(274)
6.4.1 构造要求	(274)
6.4.2 设计计算	(274)
思考题	(276)
习题	(276)
7 基坑支护工程	(277)
7.1 基坑支护工程概述	(277)
7.1.1 基坑支护结构	(277)
7.1.2 基坑工程特点	(277)
7.1.3 基坑工程发展概况	(279)
7.2 基坑支护结构类型及特点	(280)
7.2.1 常用支护结构形式	(280)
7.2.2 基坑支护形式选择	(280)
7.3 基坑支护工程设计原则和设计内容	(284)
7.3.1 基坑支护工程设计的基本原则	(284)
7.3.2 基坑支护工程设计所需资料及设计内容	(284)
7.4 支护设计的土质参数与荷载	(285)
7.4.1 支护结构的作用效应	(285)
7.4.2 计算作用在支护结构上的水平荷载时,应考虑的因素	(285)
7.4.3 作用于支护结构上的荷载及土压力计算	(286)
7.5 基坑支护的稳定性	(287)
7.5.1 概述	(287)
7.5.2 基坑整体稳定性验算	(288)
7.5.3 基坑抗隆起验算	(288)
7.5.4 基坑抗渗流稳定验算	(289)
7.6 桩式基坑支护结构设计	(290)
7.6.1 悬臂式排桩支护结构	(290)
7.6.2 拉锚式桩(墙)支护结构	(293)
7.6.3 多支点桩(墙)	(296)
7.6.4 土钉支护结构	(298)
7.6.5 双排桩支护结构	(301)
7.7 基坑内支撑设计	(302)
7.7.1 内支撑概述	(302)
7.7.2 内支撑体系的构成	(303)
7.7.3 内支撑系统的设计	(303)
7.8 地下水控制	(307)
7.8.1 地下水类型及含水层的地层组合特点	(307)

7.8.2	地下水控制方法及其使用条件	(308)
7.8.3	环境影响预测及处理措施	(312)
7.8.4	常见工程问题与对策	(314)
7.9	基坑监测与环境保护	(315)
7.9.1	基坑现场监测	(315)
7.9.2	基坑信息化施工及变形的预测	(317)
7.9.3	基坑工程环境效应	(318)
7.9.4	基坑变形对环境安全的影响及变形控制标准	(319)
7.9.5	环境保护的措施	(320)
思考题		(322)
习题		(322)
8	地基基础抗震设计	(324)
8.1	地震与场地特性	(324)
8.1.1	地震	(324)
8.1.2	场地特性	(325)
8.2	地表震害与建筑场地类别	(326)
8.2.1	地表震害	(326)
8.2.2	建筑场地类别	(328)
8.3	地基基础抗震设计	(329)
8.3.1	抗震设防目标	(329)
8.3.2	概念设计	(330)
8.3.3	天然地基基础抗震验算	(331)
8.3.4	液化土地基	(332)
8.3.5	桩基抗震验算	(335)
8.3.6	桩基抗震构造措施	(337)
思考题		(337)
习题		(337)
参考文献		(338)

0 绪 论

0.1 地基与基础工程

所有的土木和水利工程都建造在地球表面的地层上,其全部荷载最终均由地层来承担。基础是建(构)筑物最底下与地基接触的、扩大的那部分结构,是建(构)筑物本身的组成部分,应该满足强度、刚度及耐久性要求。基础的作用是承受上部结构荷载,并将荷载扩散传递给地基,起到承上启下的作用。

基础按埋置深度可分为浅基础和深基础。两者的差别主要在设计原则和施工方法上。基础应该有一定的埋置深度,把基础底面埋入较好的土层中。通常把埋置深度小于 5m 或小于基础宽度,可用简便施工方法进行基坑开挖及排水的基础,称为浅基础。如独立基础、条形基础、筏形基础、箱形基础及壳体基础等。深基础一般指基础埋置深度不小于 5m 或不小于基础宽度,且需要特殊施工方法和专门设备才能完成的基础。如桩基、沉井、沉箱、地下连续墙等。深基础的施工技术复杂、造价高、工期长。

地基就是承受建(构)筑物荷载的那部分地层。地基是地层的一部分。地层包括岩层和土层,所以就有岩石地基和土质地基之别。无论是岩层还是土层都是自然界的产物,当拟建场地确定后,人们只能根据建(构)筑物对地基强度及变形的要求来确定采用天然地基还是人工地基。对于开挖基坑后就可直接用来修筑基础的地基称为天然地基;需要进行加固处理才能满足要求的地基称为人工地基。地基处理后,按其形状大致可分为均匀地基、双层地基、复合地基三种。

当地基为多层土时,与基础底面相接触的地层称为持力层;凡在持力层下方受荷载影响较小的地层称为下卧层。

0.2 地基基础的重要性

地基基础是建(构)筑物的根基,又属于隐蔽工程,它的勘察、设计、施工质量直接关系着建(构)筑物的安危。尽管在基础工程的设计与施工方面,国内外积累了很多成功的经验,但也有不少失败的教训。在建筑工程重大事故中,以地基基础方面的工程事故为最多。研究表明,18%以上新建工程为不合格工程,一般病害的概率为 10%~30%,地基基础工程中设计失误占 40%,施工问题占 60%。而且地基基础事故一旦发生,补救异常困难。地基基础问题往往也是影响投资和制约工期的主要因素,基础工程投资及工期约占土建总造价和总工期的 1/3,且呈上升趋势。软土和复杂情况要高于这个比例,桥梁工程占 50%~70%。故要慎重对待基础工程,深入了解地基情况及相关勘测资料,精心设计与施工,这样才能使基础工程既安全又经济合理,从而使建筑工程质量得到保证。

导致工程事故的原因有三类:

(1)如自然灾害和地质灾害导致的超过设计标准的荷载;

- (2)对特殊情况的认识不足,基本概念不清楚;
- (3)违背勘察、设计、施工、管理等方面的标准、规范和规程。

下面以发生严重事故的基础工程实例为例,进一步说明地基基础工程的重要性。

(1)加拿大特朗斯康谷仓

①概况

加拿大特朗斯康谷仓(Transcona Grain Elevator)平面呈矩形,长 59.44m,宽 23.47m,高 31.00m。容积为 36368m³,每排 13 个仓,由 5 排共 65 个圆筒仓组成。谷仓的基础为埋深 3.66m,厚 61cm 的钢筋混凝土筏形基础。谷仓于 1911 年开始施工,1913 年秋完工。谷仓自重 20000t,相当于装满谷物后满载总质量的 42.5%。1913 年 9 月起往谷仓装谷物,10 月底当谷仓装了 31822m³ 谷物时,1h 内谷仓竖向沉降达 31.5cm 并向西倾斜,在 24h 内谷仓倾倒,倾斜度达 26°53'。谷仓西端下沉 7.32m,东端上抬 1.52m,但上部钢筋混凝土筒仓坚如磐石,仅有极少的表面裂缝,如图 0.1 所示。

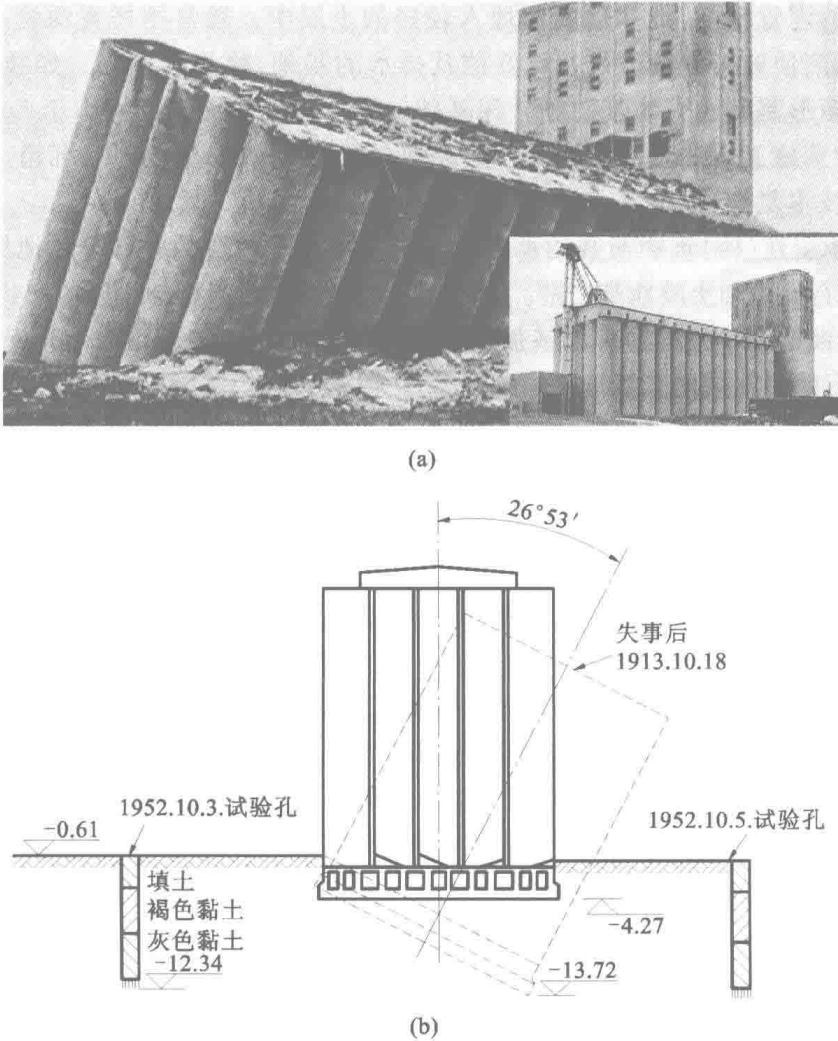


图 0.1 加拿大特朗斯康谷仓

(a) 谷仓因地基滑动倾倒现场;(b) 谷仓倾倒事故剖面图

经调查,谷仓未做地质勘察,仅根据邻近构筑物基槽开挖试验结果,设计时采用的承载力值为 352kPa,便应用到这个谷仓。谷仓的场地位于冰川湖的盆地中,地基中存在冰河沉积的黏土层,厚 12.2m。黏土层上面是近代沉积层,厚 3.0m。黏土层下面为固结良好的冰川下冰碛层,厚 3.0m,这层土支承了该地区很多更重的建(构)筑物。

②发生破坏的原因

1952 年根据原状黏土试样测得:无侧限抗压强度 q_u 从 118.4kPa 减少至 70.0kPa,平均为 100.0kPa;按太沙基公式计算承载力,如采用黏土层无侧限抗压强度试验平均值 100.0kPa,则其承载力为 276.6kPa,远小于谷仓地基破坏时的实际压力 329.4kPa,故谷仓地基是因超载发生强度破坏而产生整体滑动的。

黏性土需要很多年的时间才能完全固结。根据有关资料计算,抗剪强度增长所需时间约为 1 年,而谷物荷载是在谷仓建成后仅 45d 施加的,几乎相当于突然加荷。

综上所述,加拿大特朗斯康谷仓发生地基整体滑动破坏的主要原因如下:

a. 对谷仓地基土层事先未做地质勘察、试验与研究,仅根据邻近建(构)筑物基槽开挖试验结果进行设计施工。

b. 实际压力超过地基土的承载力值。

c. 加载速度过快,实际抗剪强度为不固结不排水强度。

③处理方法

为修复筒仓,在基础下设置了 70 多个支承于深 16m 基岩上的混凝土墩,新做混凝土墩基础深度达 10.36m。使用 388 个 50t 级千斤顶以及支撑系统,才逐渐将倾斜的筒仓纠正,修复后位置比原来降低了 4m。虽然经过纠倾处理后,谷仓于 1916 年起恢复使用,但处理的费用是高昂的。

(2)美国纽约某水泥仓库

近代破坏最严重的构筑物之一是美国的一座水泥仓库,位于纽约市汉森河旁。建筑地基土分四层:表层为黄色黏土,厚 5.49m;第二层为青色黏土,标准贯入试验锤击数 $N=8$ 击,承载力为 84~105kPa,层厚 17.07m;第三层为碎石夹黏土,厚度较小,仅 1.83m;第四层为岩石。

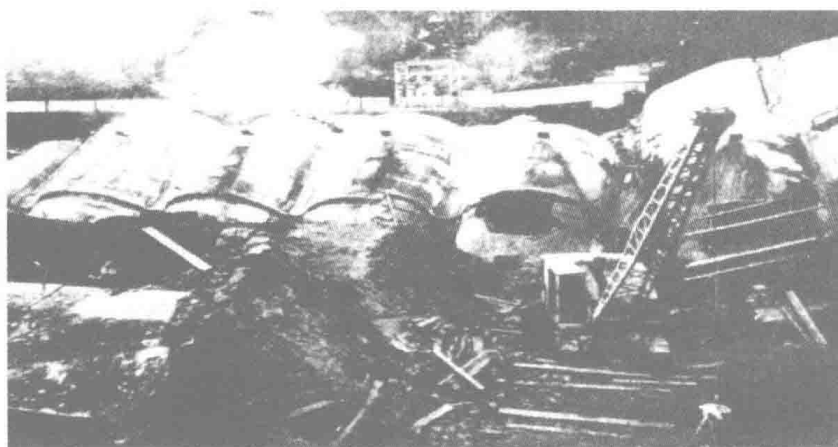
水泥仓库上部结构为圆筒形,直径 $d=13\text{m}$,基础为筏形基础,基础埋深 2.8m,位于表层黄色黏土中部。1914 年水泥筒仓地基软黏土严重超载,引起地基土剪切破坏而滑动。地基滑动使水泥筒仓倾倒呈 45° ,地基土被挤出地面,高达 5.18m。与此同时,离筒仓净距 23m 以外的办公楼受地基滑动的影响也发生倾斜,如图 0.2 所示。

当这座水泥仓库第一次发生大量沉降灾难的预兆时,如果立即卸除储藏的极重的水泥,并在仓库下托换基础,则很容易挽救事故。但负责人仅安排了相关人员进行仔细的沉降观测,未采取卸荷措施,结果发展成灾难性事故。

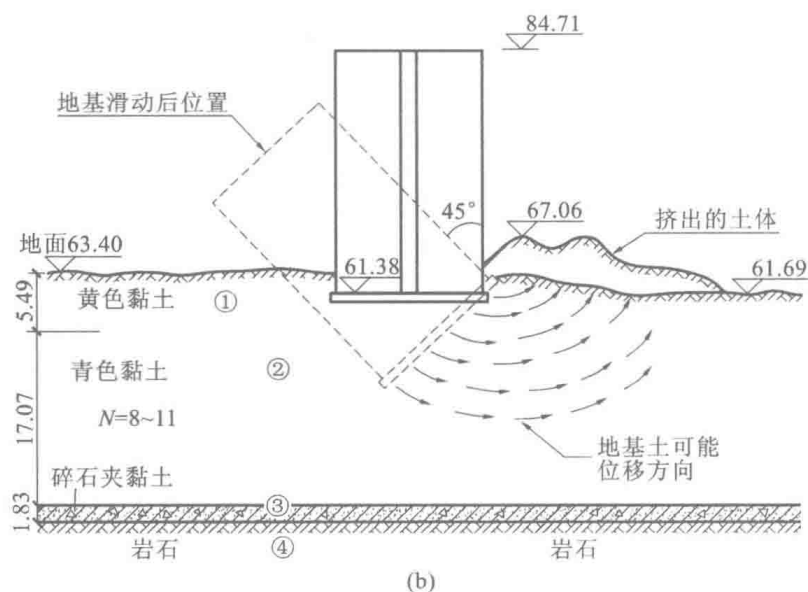
(3)意大利比萨斜塔

意大利比萨斜塔始建于 1173 年,塔有 8 层,高 54.5m,用白色大理石砌筑而成,总质量达 1.45 万 t,中间停建三次,到 1372 年完工之时,塔顶中心点已偏离垂直中心线 2.1m,成了斜塔,如图 0.3 所示。

1990 年,塔身倾斜率相当于每年顶部水平移动约 1.5mm,再加上一些对塔的干扰也导致倾斜的明显增加。例如,1934 年用灌浆方法来加固地基,结果塔身突然向南移动了约 10mm;1970 年从低处的砂石中抽地下水,结果使移动增加了约 12mm。1990 年 1 月,比萨斜塔停止向游客开放。塔基的平均压力是 497kPa,环形基础底面南边缘的最大压力达到 960kPa,北边



(a)



(b)

图 0.2 美国水泥仓库事故

(a) 水泥仓库因地基滑动倾倒现场; (b) 仓库倾倒事故剖面图

缘的压力只有 55kPa, 南北基底压力差如此之大, 导致塔身继续倾斜, 而且愈来愈大、愈来愈快。塔身发生倾斜的原因是: ①塔建造在古代的海岸边缘, 土质松软, 地下水位在深约 1m 的地方, 因此, 建造时土质便已经沙化和下沉; ②地基处理深度太浅, 只有 3m; ③由于地基土层的特殊性, 难以均衡地承受重达 1.45 万 t 的塔身, 从而导致倾斜的形成。

专家采取了各种措施修正倾斜, 但成功的方法主要是: 1992—1995 年, 在沉降较小的北侧开始应用堆载促沉法, 总重 8.5MN, 分期分批堆加, 堆载促沉后, 斜塔 800 多年来第一次开始回倾 2mm; 1998—1999 年, 在塔北侧设置了 12 个斜钻孔, 在钻孔中掏土以增大塔基北侧的沉降。这些措施都产生了良好的效果。初步抽土的成功使委员会相信, 在地基的整个宽度上进行全部抽土是安全的。2000 年 2 月起, 在塔北侧地基中安装了 41 台小钻机, 钻孔深入塔基下 20m 处的黏土层, 每天取土约 120L。在整个拯救过程中, 工作人员在斜塔北侧的塔基下码放了数百吨重的铅块, 并使用钢丝绳将斜塔向北侧拽住, 还抽走了斜塔北侧的许多淤泥, 并在塔基地下打入 10 根 50m 长的钢柱进行托换处理。1990 年 1 月至 2001 年 12 月, 经过 12 年的修缮,

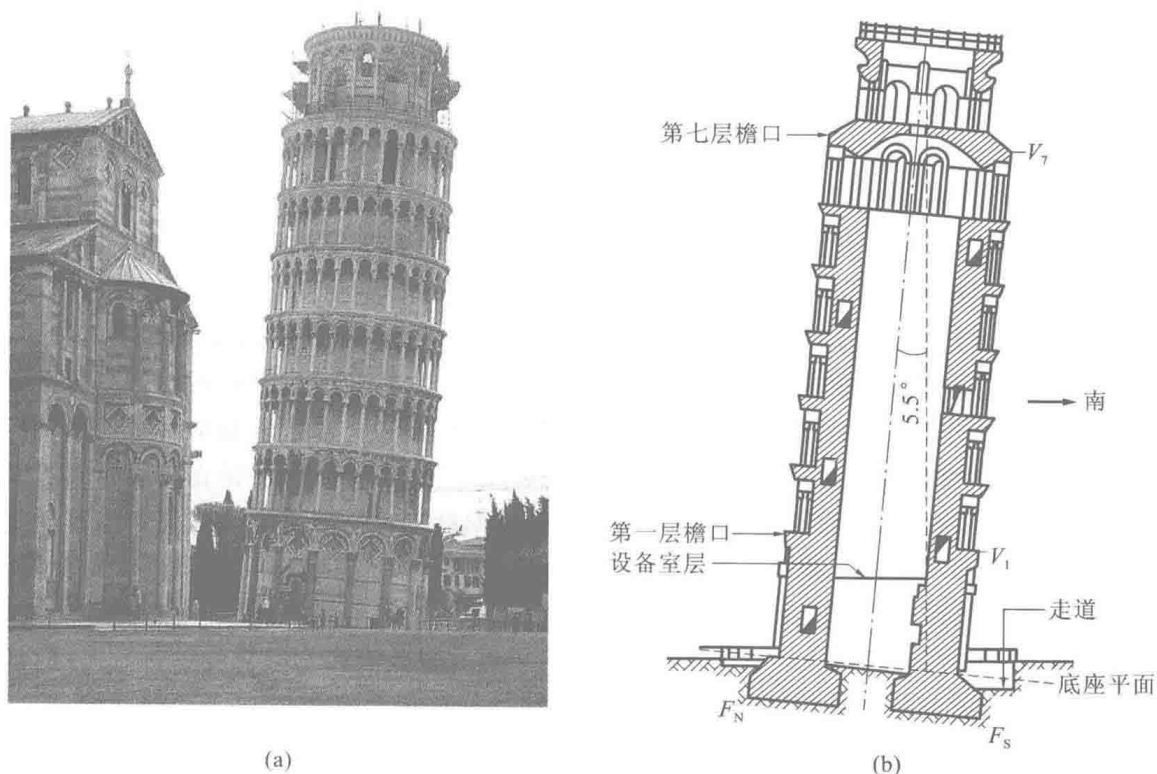


图 0.3 意大利比萨斜塔

(a) 比萨斜塔外景图; (b) 比萨斜塔剖面图

耗资约 2500 万美元,斜塔被扶正 44cm,塔身倾斜度从原来的 5.5° 减小到现在的 3.99° ,基本达到了预期的效果。

(4) 上海“莲花河畔景苑”7 号楼整体倾倒事故

2009 年 6 月 27 日 5 时 30 分左右,上海市闵行区莲花南路、罗阳路在建的“莲花河畔景苑”商品房小区工地内,发生一起一幢 13 层楼房(7 号楼)向南整体倾倒事故(图 0.4)。

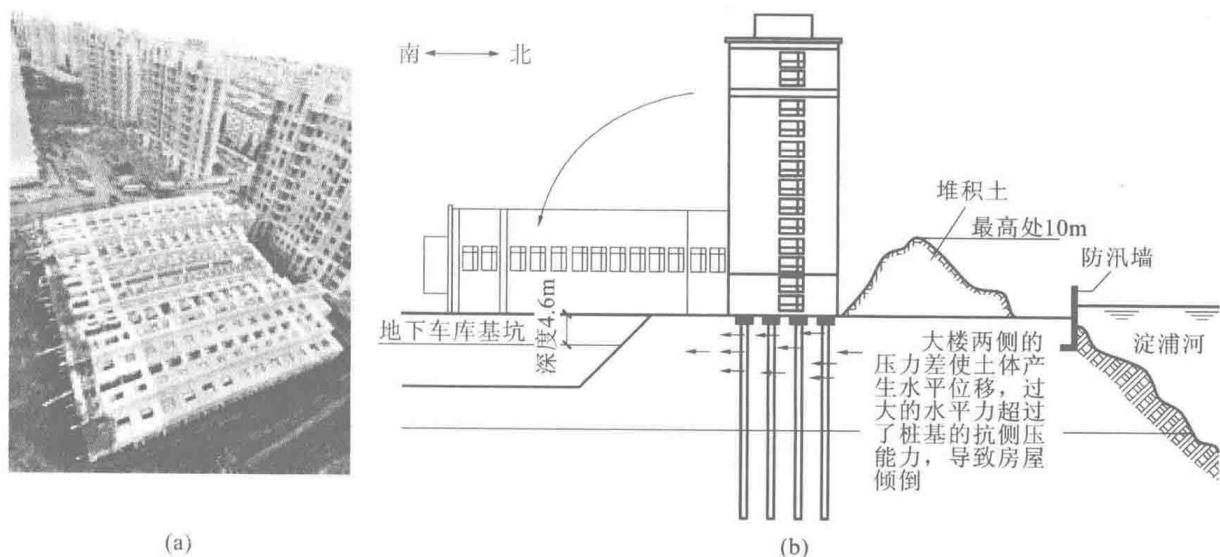


图 0.4 上海“莲花河畔景苑”

(a) 7 号楼房屋倒覆事故现场; (b) 7 号楼房屋倒覆事故分析