

TULIXUE YU  
DIJI JICHU



高等学校  
土建类专业规划教材

# 土力学与地基基础

李章政 主编      李光范 黄小兰 参编



化学工业出版社

高等学校土建类专业规划教材

# 土力学与地基基础

李章政 主编

李光范 黄小兰 参编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书根据现行教学大纲要求,结合多年教学经验和工程实践编写而成。全书由土力学和地基基础两部分组成,共分十二章,主要内容包括地基基础的概念、工程地质概述、土的物理性质和工程分类、地基应力计算、地基沉降计算、土的抗剪强度和地基承载力、土压力和土坡稳定分析、岩土工程勘察、浅基础设计、深基础设计、软弱地基处理、区域性地基等。书中比较系统地介绍了土力学的基本概念、基本原理,基础工程设计的原理和方法,地基处理技术,兼顾了知识的系统性与实用性,选配了大量的工程实践图片,各章还附有思考题、选择题和计算题。

本书可作为高等学校土木工程专业建筑工程方向、工程造价专业、工程管理专业等学生的教学用书,也可供相关工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

土力学与地基基础/李章政主编. —北京:化学工业出版社,  
2011.1

高等学校土建类专业规划教材

ISBN 978-7-122-09815-3

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(2010)第 211184 号

---

责任编辑:陶艳玲

文字编辑:余纪军

责任校对:徐贞珍

装帧设计:王晓宇

---

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装订:三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 20 $\frac{1}{4}$  字数 502 千字 2011 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

---

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

---

定 价:38.00 元

版权所有 违者必究

# 前 言

土力学与地基基础由土力学和基础工程两部分组成，前者属于基础理论，后者专业性极强。一些学校作为两门课程分别开设，另一些学校作为一门课程讲授，本教材都具有适用性，可作为高等学校土木工程专业建筑工程方向、工程管理专业、工程造价专业等的教学用书。本书也可供广大工程技术人员参考。

根据审定的教学大纲，全书内容包括绪论、工程地质概述、土的物理性质和工程分类、地基应力计算、地基沉降计算、土的抗剪强度和地基承载力、土压力和土坡稳定分析、岩土工程勘察、浅基础设计、深基础设计、软弱地基处理、区域性地基，一共十二章。比较系统地介绍了土力学的基本概念、基本原理，基础工程设计原理和方法，考虑了知识体系的系统性和实用性。书中配了很多工程实际图片，以增强初学者的感性认识；各章还安排了大量的思考题、选择题和计算题，以巩固所学知识、掌握实际设计技能。

全书由李章政主编。编写分工如下：武汉工业学院黄小兰编写第六、七章，海南大学李光范编写第四、五、十、十一章，四川大学李章政编写第一、二、三、八、九、十二章。

土力学既是经典学科，又在不断发展之中，基础工程也随着科学技术的进步而前进，但编者的学识和眼界都十分有限，书中难免存在疏漏和不妥之处，恳请读者批评指正。

编者

2010 年 10 月

# 目 录

|                       |    |                      |    |
|-----------------------|----|----------------------|----|
| 第一章 绪论 .....          | 1  | 第三节 课程的内容及学习要求 ..... | 8  |
| 第一节 土力学与地基基础的概念 ..... | 1  | 第四节 本学科的发展简况 .....   | 10 |
| 一、土与土力学 .....         | 1  | 一、古代经验积累 .....       | 10 |
| 二、地基和基础 .....         | 2  | 二、西方科学研究 .....       | 11 |
| 三、地基基础的重要性 .....      | 3  | 三、当今独立学科 .....       | 12 |
| 第二节 地基基础失效案例与对策 ..... | 4  | 思考题 .....            | 12 |
| 一、地基基础失效案例 .....      | 4  | 选择题 .....            | 12 |
| 二、地基工程事故类别 .....      | 6  |                      |    |
| 三、地基工程事故处理方法 .....    | 8  |                      |    |
| 第二章 工程地质概述 .....      | 14 |                      |    |
| 第一节 地质作用与地质构造 .....   | 14 | 第四节 不良地质条件 .....     | 24 |
| 一、地球的组成 .....         | 14 | 一、岩层节理发育 .....       | 24 |
| 二、地质作用 .....          | 14 | 二、断层 .....           | 24 |
| 三、地质年代 .....          | 15 | 三、山坡滑动 .....         | 24 |
| 四、地质构造 .....          | 16 | 四、河岸冲淤 .....         | 24 |
| 第二节 岩石的成因类型 .....     | 18 | 五、沟渠侧移 .....         | 25 |
| 一、主要的造岩矿物 .....       | 18 | 六、岸坡失稳 .....         | 25 |
| 二、岩石的成因类型 .....       | 19 | 第五节 地下水 .....        | 25 |
| 第三节 土的成因类型 .....      | 21 | 一、地下水的分类 .....       | 25 |
| 一、残积土 .....           | 22 | 二、土的渗透性 .....        | 26 |
| 二、坡积土 .....           | 22 | 三、动水力和流砂 .....       | 28 |
| 三、洪积土 .....           | 22 | 思考题 .....            | 29 |
| 四、冲积土 .....           | 22 | 选择题 .....            | 29 |
| 五、其他沉积土 .....         | 24 | 计算题 .....            | 30 |
| 第三章 土的物理性质和工程分类 ..... | 31 |                      |    |
| 第一节 土的三相组成 .....      | 31 | 第四节 岩土的工程分类 .....    | 40 |
| 一、土的固体颗粒 .....        | 31 | 一、岩石 .....           | 40 |
| 二、土中水 .....           | 33 | 二、碎石土 .....          | 41 |
| 三、土中气 .....           | 34 | 三、砂土 .....           | 42 |
| 第二节 土的物理性质指标 .....    | 34 | 四、粉土 .....           | 42 |
| 一、指标的定义 .....         | 34 | 五、黏性土 .....          | 42 |
| 二、指标换算 .....          | 36 | 六、人工填土 .....         | 42 |
| 第三节 土的物理状态指标 .....    | 37 | 七、特殊土 .....          | 42 |
| 一、无黏性土的密实度 .....      | 38 | 思考题 .....            | 43 |
| 二、黏性土的物理状态 .....      | 38 | 选择题 .....            | 43 |
| 三、黏性土的灵敏度 .....       | 40 | 计算题 .....            | 43 |
| 第四章 地基应力计算 .....      | 45 |                      |    |
| 第一节 土的自重应力 .....      | 45 | 一、均质土层中的自重应力 .....   | 45 |

|                                  |     |                             |     |
|----------------------------------|-----|-----------------------------|-----|
| 二、成层土的自重应力 .....                 | 45  | 二、矩形面积上分布荷载作用 .....         | 52  |
| 三、地下水对土中自重应力的影响 .....            | 46  | 三、圆形均布荷载下竖向应力 .....         | 56  |
| 四、不透水层对自重应力的影响 .....             | 46  | 四、线荷载下的竖向应力 .....           | 57  |
| 第二节 基底附加压力 .....                 | 47  | 五、条形荷载下的竖向应力 .....          | 58  |
| 一、基底压力的概念 .....                  | 47  | 六、成层地基对附加应力的影响 .....        | 61  |
| 二、基底压力的简化计算 .....                | 47  | 第四节 有效应力原理 .....            | 62  |
| 三、基底附加压力 .....                   | 49  | 思考题 .....                   | 63  |
| 第三节 地基附加应力 .....                 | 50  | 选择题 .....                   | 63  |
| 一、集中荷载作用 .....                   | 50  | 计算题 .....                   | 64  |
| <b>第五章 地基沉降计算</b> .....          | 65  |                             |     |
| 第一节 土的压缩性 .....                  | 65  | 第三节 地基沉降与时间的关系 .....        | 84  |
| 第二节 地基的最终沉降量 .....               | 68  | 一、一维固结理论 .....              | 84  |
| 一、单向分层总和法计算地基最终<br>沉降量 .....     | 69  | 二、土的固结度 .....               | 86  |
| 二、《建筑地基基础设计规范》推荐的<br>沉降算法 .....  | 72  | 三、地基固结过程中任意时刻的<br>沉降量 ..... | 88  |
| 三、考虑应力历史的地基沉降量计算 .....           | 77  | 思考题 .....                   | 89  |
| 四、用变形模量计算地基沉降 .....              | 79  | 选择题 .....                   | 89  |
| 五、按黏性土的沉降机理计算沉降 .....            | 80  | 计算题 .....                   | 90  |
| <b>第六章 土的抗剪强度和地基承载力</b> .....    | 92  |                             |     |
| 第一节 抗剪强度的库仑定律 .....              | 92  | 一、地基的临塑荷载 .....             | 109 |
| 第二节 土的极限平衡条件与破坏理论 .....          | 93  | 二、地基的临界荷载 .....             | 110 |
| 一、莫尔-库仑强度理论 .....                | 93  | 第六节 地基的极限荷载 .....           | 112 |
| 二、土的极限平衡理论 .....                 | 94  | 一、确定地基极限荷载的原理 .....         | 112 |
| 第三节 土的抗剪强度指标 .....               | 97  | 二、太沙基极限荷载公式 .....           | 113 |
| 一、抗剪强度指标测定 .....                 | 97  | 三、斯肯普顿极限承载力公式 .....         | 115 |
| 二、抗剪强度指标的选择 .....                | 106 | 四、汉森和魏锡克极限承载力公式 .....       | 115 |
| 第四节 地基的变形破坏和地基承载力的<br>确定方法 ..... | 107 | 思考题 .....                   | 118 |
| 第五节 地基的临塑荷载和临界荷载 .....           | 109 | 选择题 .....                   | 118 |
| <b>第七章 土压力和土坡稳定性</b> .....       | 120 | 计算题 .....                   | 119 |
| 第一节 挡土墙上的土压力 .....               | 120 |                             |     |
| 第二节 静止土压力 .....                  | 121 | 四、朗肯理论与库仑理论的比较 .....        | 131 |
| 一、静止土压力的计算方法 .....               | 121 | 第五节 挡土墙设计 .....             | 132 |
| 二、静止土压力的应用 .....                 | 122 | 一、挡土墙类型选择 .....             | 132 |
| 第三节 朗肯土压力理论 .....                | 122 | 二、重力式挡土墙设计 .....            | 134 |
| 一、主动土压力 .....                    | 123 | 三、重力式挡土墙的主要构造措施 .....       | 137 |
| 二、被动土压力 .....                    | 124 | 第六节 土坡稳定分析 .....            | 139 |
| 三、几种常见情况下的土压力计算 .....            | 125 | 一、土坡稳定性影响因素 .....           | 139 |
| 第四节 库仑土压力理论 .....                | 128 | 二、无黏性土坡稳定分析 .....           | 139 |
| 一、主动土压力 .....                    | 128 | 三、黏性土坡稳定分析 .....            | 140 |
| 二、被动土压力 .....                    | 130 | 思考题 .....                   | 142 |
| 三、非散体材料填土的库仑土压力 .....            | 131 | 选择题 .....                   | 143 |
|                                  |     | 计算题 .....                   | 143 |

|                         |     |                       |     |
|-------------------------|-----|-----------------------|-----|
| <b>第八章 岩土工程勘察</b> ..... | 145 |                       |     |
| 第一节 岩土工程勘察的基本要求 .....   | 145 | 第三节 岩土野外鉴别与描述 .....   | 158 |
| 一、岩土工程勘察分级 .....        | 145 | 一、岩土的野外鉴别 .....       | 158 |
| 二、建筑物的勘察内容 .....        | 146 | 二、岩土的描述 .....         | 160 |
| 三、各勘察阶段的内容与要求 .....     | 147 | 第四节 岩土工程勘察报告 .....    | 160 |
| 第二节 岩土工程勘察方法 .....      | 150 | 一、勘察报告的内容要求 .....     | 160 |
| 一、测绘和调查 .....           | 150 | 二、勘察报告的阅读要点 .....     | 161 |
| 二、勘探方法 .....            | 151 | 思考题 .....             | 162 |
| 三、测试工作 .....            | 157 | 选择题 .....             | 162 |
| <b>第九章 浅基础设计</b> .....  | 163 |                       |     |
| 第一节 浅基础的类型 .....        | 163 | 第六节 扩展基础设计 .....      | 185 |
| 一、无筋扩展基础 .....          | 163 | 一、扩展基础的构造要求 .....     | 185 |
| 二、扩展基础 .....            | 165 | 二、墙下钢筋混凝土条形基础计算 ..... | 189 |
| 三、柱下条形基础 .....          | 166 | 三、柱下钢筋混凝土独立基础计算 ..... | 191 |
| 四、高层建筑筏形基础和箱形基础 .....   | 167 | 第七节 钢筋混凝土梁板基础设计 ..... | 198 |
| 第二节 基础埋置深度 .....        | 167 | 一、柱下钢筋混凝土条形基础 .....   | 198 |
| 一、基础埋置深度的确定原则 .....     | 167 | 二、筏形基础 .....          | 200 |
| 二、地基冻胀性对基础埋深的影响 .....   | 168 | 三、箱形基础 .....          | 202 |
| 第三节 地基承载力特征值 .....      | 171 | 第八节 减轻地基不均匀沉降危害的      |     |
| 一、根据载荷试验确定地基承载力 .....   | 171 | 措施 .....              | 204 |
| 二、按土的抗剪强度指标计算地基承        |     | 一、建筑措施 .....          | 204 |
| 载力 .....                | 173 | 二、结构措施 .....          | 206 |
| 第四节 地基计算 .....          | 176 | 三、施工措施 .....          | 206 |
| 一、持力层承载力计算 .....        | 176 | 思考题 .....             | 207 |
| 二、软弱下卧层承载力计算 .....      | 178 | 选择题 .....             | 207 |
| 三、地基变形验算 .....          | 181 | 计算题 .....             | 208 |
| 第五节 无筋扩展基础设计 .....      | 182 |                       |     |
| <b>第十章 深基础设计</b> .....  | 210 |                       |     |
| 第一节 桩基础分类和质量检测 .....    | 210 | 一、群桩的工作特点 .....       | 230 |
| 一、桩基础按承台位置分类 .....      | 210 | 二、承台下土对荷载的分担作用 .....  | 231 |
| 二、桩按施工方法分类 .....        | 210 | 三、按规范确定桩基竖向承载力        |     |
| 三、桩按设置效应分类 .....        | 213 | 特征值 .....             | 232 |
| 四、桩按使用功能和工作机理分类 .....   | 214 | 第五节 桩基础设计 .....       | 233 |
| 五、桩按桩身材料分类 .....        | 215 | 一、收集设计资料 .....        | 233 |
| 六、桩的质量检验 .....          | 216 | 二、选择持力层、确定桩的类型、截面尺寸   |     |
| 第二节 单桩轴向荷载的传递 .....     | 216 | 并初步确定承台底面标高及桩长 .....  | 234 |
| 一、单桩竖向荷载的承担 .....       | 217 | 三、确定单桩竖向承载力特征值 .....  | 235 |
| 二、桩身轴力和截面位移 .....       | 217 | 四、桩数估算及桩的平面布置 .....   | 235 |
| 三、桩侧摩阻力 .....           | 218 | 五、桩基承载力验算 .....       | 236 |
| 四、桩端阻力 .....            | 219 | 六、承台设计 .....          | 238 |
| 五、桩侧负摩阻力 .....          | 219 | 第六节 其他深基础介绍 .....     | 249 |
| 第三节 单桩竖向承载力特征值 .....    | 222 | 一、墩基础 .....           | 249 |
| 第四节 群桩竖向承载力 .....       | 230 | 二、沉井基础 .....          | 250 |

|                          |     |                      |     |
|--------------------------|-----|----------------------|-----|
| 三、地下连续墙 .....            | 251 | 选择题 .....            | 253 |
| 思考题 .....                | 252 | 计算题 .....            | 253 |
| <b>第十一章 软弱地基处理</b> ..... | 255 |                      |     |
| 第一节 软土地基及其处理方法 .....     | 255 | 第五节 排水固结法 .....      | 268 |
| 第二节 换土垫层法 .....          | 257 | 一、排水固结法的原理 .....     | 268 |
| 一、换土垫层及其作用 .....         | 257 | 二、砂井固结理论 .....       | 270 |
| 二、砂垫层的设计要点 .....         | 258 | 三、砂井的应用和设计 .....     | 273 |
| 三、砂垫层的施工要点 .....         | 259 | 四、砂井施工简介 .....       | 276 |
| 第三节 碾压和夯实法 .....         | 260 | 第六节 胶结加固法 .....      | 276 |
| 一、重锤夯实法 .....            | 260 | 一、高压喷射注浆法加固原理 .....  | 277 |
| 二、机械碾压法 .....            | 260 | 二、深层搅拌法加固作用原理 .....  | 278 |
| 三、振动压实法 .....            | 261 | 三、高压旋喷注浆法和深层搅拌法的     |     |
| 四、强夯法 .....              | 261 | 设计 .....             | 279 |
| 第四节 挤密和振冲法 .....         | 263 | 思考题 .....            | 281 |
| 一、挤密及振冲作用机理 .....        | 263 | 选择题 .....            | 281 |
| 二、设计和计算原理 .....          | 265 | 计算题 .....            | 281 |
| <b>第十二章 区域性地基</b> .....  | 283 |                      |     |
| 第一节 山区地基 .....           | 283 | 三、湿陷性黄土地基的工程措施 ..... | 299 |
| 一、山区地基的特点和类型 .....       | 283 | 第四节 红黏土地基和岩溶土洞 ..... | 300 |
| 二、岩石地基 .....             | 284 | 一、红黏土地基的特性与评价 .....  | 300 |
| 三、土岩组合地基 .....           | 284 | 二、岩溶的处理 .....        | 302 |
| 四、压实填土地基 .....           | 286 | 三、土洞的处理 .....        | 303 |
| 第二节 膨胀土地基 .....          | 287 | 第五节 地震液化地基 .....     | 304 |
| 一、膨胀土的特性 .....           | 287 | 一、地震的基本概念 .....      | 304 |
| 二、膨胀土地基的评价 .....         | 289 | 二、液化地基的判别 .....      | 305 |
| 三、膨胀土地基的工程措施 .....       | 292 | 三、液化地基的工程措施 .....    | 307 |
| 第三节 黄土地基 .....           | 294 | 思考题 .....            | 308 |
| 一、湿陷性黄土的分布和特征 .....      | 294 | 选择题 .....            | 308 |
| 二、黄土湿陷性的评定 .....         | 295 | 计算题 .....            | 309 |
| <b>习题参考答案</b> .....      | 310 |                      |     |
| <b>参考文献</b> .....        | 313 |                      |     |



# 第一章 绪 论

## 第一节 土力学与地基基础的概念

### 一、土与土力学

地球表面上的岩石经风化、剥蚀、搬运、沉积，形成的固体矿物、水和气体的集合体，称为土。也就是说土是岩石主要依靠物理风化和化学风化，通过暴雨、洪水等作用进行剥蚀、搬运（见图 1-1），在流速缓慢的地方沉积下来而形成的混合物，也有土是岩石风化后未经剥蚀、搬运而留在原地者。土中的固体矿物颗粒，形成骨架。颗粒之间的空间，形成孔隙。孔隙是相互连通的，其中充满水和气体。因此，土是由固体颗粒、水和气体所组成的三相（三种物态）物质，三者的成分及比例均对土的性质产生影响。



图 1-1 剥蚀、搬运

土与其他建筑材料相比，具有以下三个特性。

(1) 强度低 土的强度指抗剪强度，由摩擦力或摩擦力和黏聚力组成。土的强度值为千帕（kPa）数量级，而建筑材料中的钢材（钢筋）、混凝土、砖石、木材等的强度值则是兆帕（MPa）数量级，相差很悬殊，所以土的强度比其他建筑材料的强度低得多。

(2) 变形大 土颗粒之间联结很弱或无联结，在荷载作用下土颗粒很容易发生相对位移，土中水和气体从孔隙排出而使孔隙体积减小，所以土的变形较大。几种材料的弹性模量分别为，HPB235 级钢筋  $210 \times 10^3$  MPa，C25 混凝土  $28 \times 10^3$  MPa，普通土  $< 20$  MPa。由此可知，压应力与材料厚度相同时，土的压缩量比 C25 混凝土大千倍，比钢材大万倍。并且，土的变形并不是在加荷瞬间就完成的，而是要经历一定时间才能完成，除了弹性变形外，还有部分不可恢复的塑性变形存在。

(3) 透水性大 土颗粒之间具有无数连通的孔隙，水可以通过孔隙流动。砂、石的孔隙大，透水性很大；黏性土的孔隙小，透水性较小。土的透水性能可用渗透系数来定量描述。与混凝土等材料相比，土的渗透性很强。

土可以作为建筑材料直接利用，比如修筑土石坝、路基，作为混凝土的骨料。在广大农村地区，还有一些村民居住在干打垒房屋内或土坯房内。这种房屋，以土坯或夯筑的土墙作为房屋结构的承重墙 [见图 1-2(a)]。近几年，不少地方都在积极改造土坯房，以改善居住环境。也有利用片石作为屋面材料之一 [见图 1-2(b)]，这在贵州的山区民居中较常见。土也是建筑材料中砖、瓦的直接材料，已有数千年的历史。土的另一作用，就是作为建筑物或构筑物的地基，承受其上的所有荷载。

土力学就是利用力学原理，研究土的应力、应变、强度、稳定和渗透性等特性及其随时间变化的规律的学科，它是以土为研究对象的力学，是力学的一个分支，更是地基基础设计

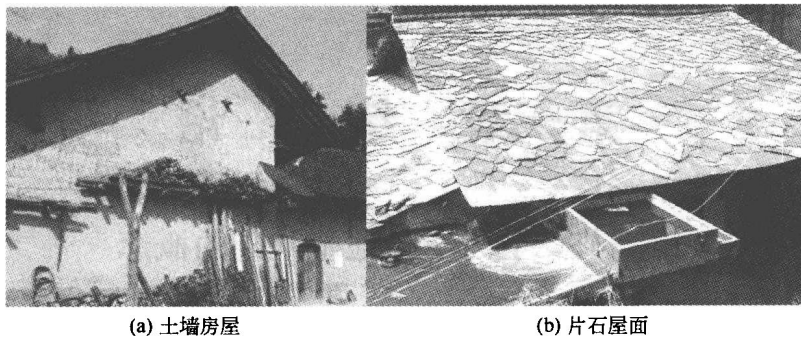


图 1-2 岩土在建筑上的直接应用

的理论基础。

虽然土体有别于一般建筑材料，力学性能差异较大，不能完全照搬材料力学（或工程力学）、弹性力学的结果，但是，研究方法和手段却是相似的。一是理论探寻，土力学的研究在于寻找其力学行为的一般规律，这是理论工作者的追求；二是试验测定，通过试验可以验证理论公式的正确与否，还可以测定一些力学参数，监测建筑物的沉降与倾斜；三是计算机仿真分析，将土体离散为有限单元，进行各种数值计算，弥补理论求解中的不足，为建立理论提供帮助，为工程决策、设计提供依据。

## 二、地基和基础

支承基础的土体或岩体，称为地基。任何建筑物或构筑物都是建造在地层上的，地基是地层的一部分。基础上的压力通过一定深度和宽度的土体（或岩体）来传承，这部分土体（或岩体）就是地基。直接和基础底面接触的土层，称为基础的持力层，简称持力层。土层、地基和基础之间的关系，如图 1-3 所示。

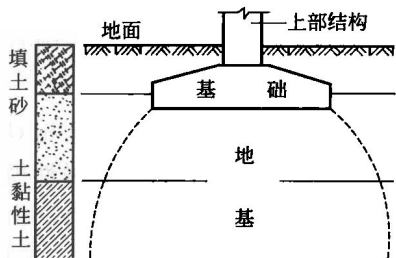


图 1-3 土层、地基和基础之关系

地基包括岩石地基和土层地基两类。凡是未经人工处理就能满足设计要求的地基，称为天然地基；如地基软弱，则需要经过人工加固处理，才能满足设计要求，这样的地基称为人工地基。很明显，人工地基的施工成本高于天然地基。

为了保证建筑物的安全，地基需要满足以下两个基本条件。

(1) 稳定且具有一定的承载能力。在建筑物使用期间，地基不应发生开裂、滑移和塌陷等有害地质现象。并要求作用于地基上的荷载不超过地基的承载能力，以此保证不发生强度破坏（剪切破坏）。

(2) 变形不超过允许值。地基变形导致建筑物产生的沉降、沉降差、倾斜和局部倾斜等量值不超过允许值，从而保证建筑物不因地基变形而发生开裂、损坏或者影响正常使用。

将房屋上部结构所承受的各种作用传递到地基上的结构组成部分，称为基础。基础是建筑结构的最下面部分，通常位于地面以下，所以又称为下部结构。基础的作用是承上启下，即承担上部荷载，并将上部荷载和自身重量传递给地基。基础底面直接和地基接触，它们之间的作用与反作用，称为基底压力。因为地基的承载能力较低，所以基础底面尺寸要加以扩大，以减小基底压力，满足地基承载力要求。基础本身还应满足强度、刚度和耐久性方面的

要求。

基础底面到地面的距离,称为基础的埋置深度。根据埋置深度的不同,可将基础分为浅基础和深基础两类。通常把埋置深度小于或相当于其底面宽度的基础,称为浅基础,如柱下单独基础[见图1-4(a)]、墙下条形基础、筏形基础、箱形基础等;而对于浅层土质不良,需要利用深处良好地层的承载能力,采用专门施工方法和机具建造的基础,称为深基础,如桩基础[见图1-4(b)]、沉井基础、沉箱基础和地下连续墙等。

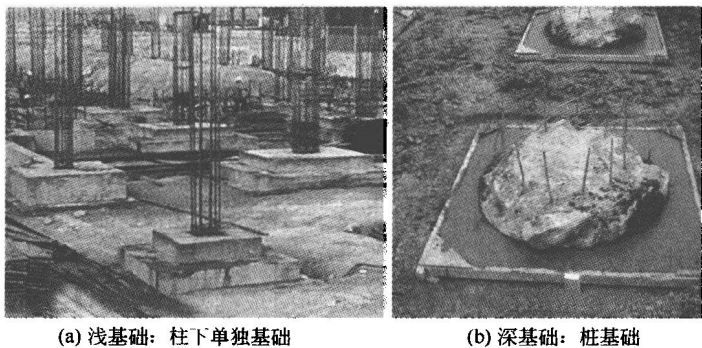


图 1-4 典型的基础型式

基础的设计和施工,不仅要考虑上部结构的具体情况和要求,还要注意建筑场地土层的具体条件。基础和地基相互关联,不能忽视地基情况孤立考虑基础的设计和施工。虽然建筑物的地基、基础和上部结构的功能不同,研究方法各异,但在荷载作用下,它们是彼此联系、相互制约的一个整体。设计、施工一定要有整体思想、全局观念,全面地加以考虑,才能收到理想的效果。

### 三、地基基础的重要性

万丈高楼从地起,地基与基础是整个建筑工程中的一个重要组成部分,是房屋的根基之所在。设计时必须坚持因地制宜、就地取材、保护环境和节约资源的原则;根据岩土工程勘察资料,综合考虑结构类型、材料情况与施工条件等因素,区分不同设计等级,精心设计。

#### 1. 重要性体现

地基基础的重要性体现在以下两个方面。

(1) 占用相当的造价和工期 基础工程在地下或水下进行,施工难度较大,造价、工期和劳动力消耗量在整个工程中所占的比重也较大。有统计资料表明,我国多层建筑基础造价超过总造价的25%,工期占总工期的25%~30%。如果是人工地基或深基础,造价比重更大。高层和超高层建筑,还要增加基坑开挖和支护费用。

(2) 属于隐蔽工程 基坑回填后,基础埋于地下,属于隐蔽工程,这里是施工管理或监理的重点工作之一,通常被确定为质量控制点。一旦发生地基事故,因在建筑物下方,整改不易或后果严重。所以,地基、基础的勘察、设计和施工质量,直接关系到建筑物的安危。统计资料表明,在工程事故中,以地基基础事故为最多。

#### 2. 地基基础设计等级

根据地形复杂程度、建筑物规模和功能特征以及由于地基问题可能造成建筑物破坏或影响正常使用的程度,《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002)将地基基础设计分为甲级、乙级和丙级三个设计等级。

(1) 甲级 地基基础设计等级为甲级的建筑物包括重要的工业与民用建筑物；30 层以上的高层建筑；体型复杂，层数相差超过 10 层的高低层连成一体建筑物；大面积的多层地下建筑物（如地下车库，商场，运动场等）；对地基变形有特殊要求的建筑物；复杂地质条件下的坡上建筑物（包括高边坡）；对原有工程影响较大的新建建筑物；场地和地基条件复杂的一般建筑物；位于复杂地质条件及软土地区的二层及二层以上的地下室的基坑工程。

(2) 乙级 所含建筑物为除甲级、丙级以外的工业与民用建筑物。

(3) 丙级 地基基础设计等级为丙级的建筑物包括场地和地基条件简单、荷载分布均匀的七层及七层以下民用建筑及一般工业建筑物；次要的轻型建筑物。

各类建筑物的地基计算均应满足承载力计算的要求；设计等级为甲级、乙级的建筑物还应按地基变形条件设计，以防止因地基过度变形而致上部结构的破坏和裂缝。在满足承载力计算的前提下，应按控制地基变形的正常使用极限状态设计。设计等级为丙级的建筑物，一部分需要考虑地基变形，另一部分可不考虑地基变形，详见第九章。

### 3. 建筑桩基设计等级

由设置于岩土中的桩和与桩顶连接的承台共同组成的基础或由柱与桩直接连接的单桩基础，称为桩基（pile foundation）。根据建筑物规模、体型与功能特征、场地地质与环境的复杂程度，以及由于桩基问题可能造成建筑物破坏或影响正常使用的程度，《建筑桩基技术规范》（JGJ 94—2008）将桩基设计分为甲、乙、丙三个等级。

(1) 甲级 甲级建筑桩基的建筑类型包括以下几类：重要的建筑；30 层以上或高度超过 100m 的高层建筑；体型复杂且层数相差超过 10 层的高低层（含地下室）连体建筑；20 层以上框架—核心筒结构及其他对差异沉降有特殊要求的建筑；场地和地基条件复杂的 7 层以上的一般建筑及坡地、岸边建筑；对相邻既有工程影响较大的建筑。

(2) 乙级 乙级建筑桩基为甲级、丙级以外的建筑桩基。

(3) 丙级 丙级建筑桩基的要素同时包括两个方面，一是场地和地基条件简单，二是荷载分布较均匀、体型简单的 7 层及 7 层以下一般建筑。

## 第二节 地基基础失效案例与对策

经过长期的实践，人类在地基基础设计与施工方面均取得了不少成功的经验，使大量的高楼大厦如雨后春笋般出现在人们眼前，形成高楼林立的所谓“城市森林”。在解决城市人口激增、用地面积受限的矛盾方面，做出了重要贡献。但是，在工程实践中成功率并非百分之百，也出现了一些工程事故，其中不乏与地基基础失效有关。

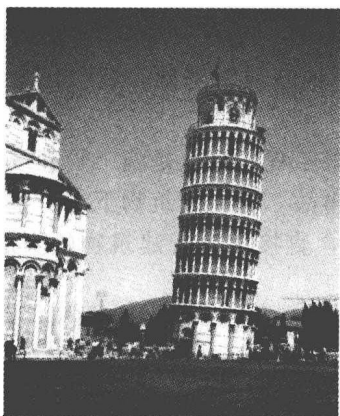


图 1-5 比萨斜塔

### 一、地基基础失效案例

#### 1. 比萨斜塔

意大利西部古城比萨，城内有许多中世纪的古迹，其中比萨斜塔广为世人所知。比萨斜塔，是比萨大教堂的钟楼，共 8 层，总高 55m，如图 1-5 所示。

该塔于公元 1173 年破土动工，修建到 4 层 24m 高时出

现倾斜。限于当时的技术水平,因不知原因而于1178年停工。一百年后的1272年重新开工,倾斜问题不能解决,1278年又停工;1360年再次复工,直到1370年全塔竣工。该塔楼以斜闻名,伽利略曾在此作过自由落体的科学试验,现已成为意大利的重要旅游景点。

全塔总重 $14.786 \times 10^3 \text{t}$ ,塔北侧沉降超过1m,南侧下沉近3m,倾斜严重时塔顶偏离竖直中心线5m多。这是典型的地基不均匀沉降导致的倾斜。1932年曾经做过一次纠偏努力,当时在塔基灌注了1000t水泥,未能奏效。至此,它成为世界上著名的基础工程难题。

到20世纪后期,该塔严重倾斜,为了安全起见,禁止向游客开放。与此同时,意大利向国际社会招标加固。本世纪初,经过科学家和工程技术人员的不懈努力,该塔的倾斜程度明显减小,加固取得成功。重新向游客开放。

## 2. 虎丘塔

虎丘塔位于苏州西北虎丘公园山顶,原名云岩寺塔,如图1-6所示。此塔落成于公元961年(宋太祖建隆二年),共7层,塔高47.5m,塔底直径13.66m。虎丘塔平面呈八角形,由外廊、回廊和塔心组成,砖砌体结构。1961年国务院将其列为重点文物保护单位。1980年测定塔身向东北方向倾斜,倾角 $2^\circ 47' 2''$ ,塔顶偏离中垂线2.31m。并且还发现,塔身东北面有若干垂直裂缝,西南面出现水平裂缝,此塔成为危险建筑而停止开放。

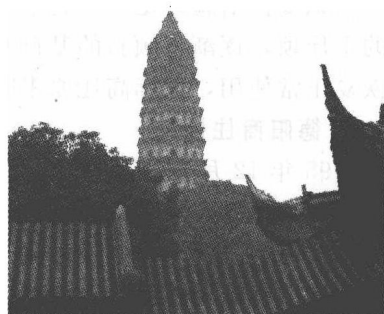


图1-6 虎丘塔

地质勘察查明,虎丘山由硬质凝灰岩和晶屑流纹岩构成,山顶岩面倾斜,西南高,东北低。塔的地基为1~2m厚的大块石人工地基,厚薄不均匀,人工地基下面的土层厚度也不均匀。土层厚度不均匀,压缩量自然不相等,也就会发生不均匀沉降,从而导致塔的倾斜。此外,南方多暴雨,雨水渗入地基块石层,冲走块石之间的细粒土,形成很多空洞,致大量雨水下渗至地基土层,加剧了地基的不均匀沉降,这也是塔身倾斜的一个原因。

该斜塔进行了地基加固。先在塔四周建造一圈桩排式地下连续墙,目的是避免塔基土流失和侧向变形,然后进行钻孔注浆和树根桩加固塔基。工程措施取得一定效果,但并不十分理想,该塔对公众开放,还尚待时日。

## 3. 特朗斯康谷仓

加拿大特朗斯康谷仓,呈矩形平面,长度为59.44m,宽度为23.47m;谷仓高度为31.00m,总容积 $36368 \text{m}^3$ 。每排13个圆形筒仓,共布置5排,总计65个筒仓构成一个整体。基础为钢筋混凝土筏形基础,其中筏板厚度为61cm,埋深3.66m。

工程于1911年开工,1913年秋竣工。当年9月起,往谷仓中装稻谷,仔细装载,均匀分布。10月,当装入稻谷 $31822 \text{m}^3$ 时,发现谷仓下沉,一小时内达到30.5cm,没有引起重视和采取有效措施,任其发展。24h内西端下沉7.32m,东端上抬1.52m,整个谷仓倾斜 $26^\circ 53'$ ,如图1-7所示。经过检查,钢筋混凝土筒仓除个别部位出现裂纹外,其余部分完好无损。

该工程未做岩土工程勘察,根据邻近工程基槽开挖试验结果进行设计。谁知基础下有厚达16m的软土层,承载能力远低于设计采用值。在自重和稻谷重量共同作用下,基底实际压力远远大于地基土的极限承载力,引起土体整体剪切滑动破坏,致使结构下陷、倾斜。

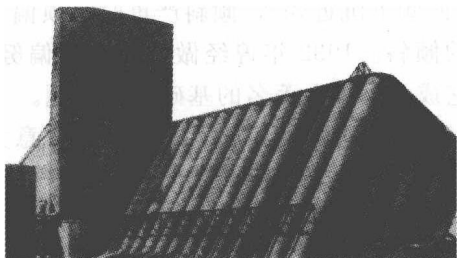


图 1-7 特朗斯康谷仓



图 1-8 楼房倒塌现场

纠偏复位措施,是在筒仓下增设 70 个支承于基岩上的混凝土墩,采用 388 个 500kN 量级的千斤顶,逐渐将倾斜的基础顶起来,使其水平,谷仓扶正。经过处理后,谷仓于 1916 年恢复正常使用,但标高比原来降低了 4m。

#### 4. 德阳商住楼

1995 年 12 月 5 日,四川省德阳市旌阳区内一幢在建的商住楼发生倒塌,造成 17 人死亡。如图 1-8 所示为正在清理中的事故现场。

该楼房为八层现浇钢筋混凝土框架结构,灌注桩基础,基础承台厚 500mm。事故原因在于,一侧框架柱将承台压穿(冲切破坏),直接刺入土层中达数米深,致使楼房瞬间倾倒,装修工人来不及逃生。

这是典型的基础事故。承台设计的承载力严重不足,在没有楼面活荷载的情况下,承台厚度都还不足以抵抗冲切破坏。

#### 5. 莲花河畔景苑

2009 年 6 月 27 日,上海市闵行区莲花南路“莲花河畔景苑”小区一幢 13 层楼顷刻倒塌,如图 1-9 所示。该楼房处于装修阶段,事故造成一名安徽籍民工死亡。



图 1-9 莲花河畔景苑

莲花河畔景苑小区共有十余幢楼房,倒塌的是 7 号楼,13 层。事故调查组给出的倒楼原因是:紧贴 7 号楼的北侧在短期内堆土过高,最高处达 10m 左右;与此同时,紧邻大楼的南侧地下车库基坑正在开挖,开挖深度 4.6m,大楼两侧的压力差使土体产生水平位移,过大的水平力超过了桩基的抗侧能力,导致房屋倾倒。

经过检测和复核,勘察、设计符合要求,PHC 管桩(高强度混凝土预应力管桩)质量符合规范要求。

### 二、地基工程事故类别

地基工程事故,按其性质可分为强度和变形两大问题。地基强度问题引起的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。地基的变形问题



引起的地基事故表现为地基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,甚至导致建筑物倒塌。

### 1. 地基失稳事故

基底压力超过地基的承载力,使地基土发生剪切滑移破坏,地基便失稳了。地基失稳破坏,主要发生在软弱地基中。前述特朗斯康谷仓的下沉、倾斜,就是地基失稳破坏的典型案例。再例如,广东省海康县(现广东省雷州市)大旅店。该旅店建筑面积  $4190\text{m}^2$ ,七层钢筋混凝土框架结构,天然地基上柱下单独基础。设计前曾做过简易勘探,对地基软弱土情况重视不够。做完基础后沉降  $15\text{mm}$ ,以后下沉增加,上部结构出现不少裂缝。随后不均匀沉降加剧,建筑物中段沉降达到  $417\text{mm}$ 。在该大楼竣工之前的 1982 年 5 月 3 日顷刻倒塌,直接经济损失 60 万元人民币,死亡四人,重伤一人。事后调查分析认为,建筑物倒塌的根本原因是基底实际平均压力大大超过软弱地基的极限承载力。这是典型的因地基强度不足导致的地基失稳事故。

### 2. 斜坡失稳事故

斜坡失稳以滑坡形式出现,滑坡可以是缓慢的、长期的,也可以是突然发生的。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。

斜坡上和斜坡附近的房屋,因所处位置不同,所受到的危害也不相同,大致可以分为三类。

(1) 位于斜坡顶部的房屋 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,可导致开裂损坏或倾斜。

(2) 位于斜坡上的房屋 滑坡发生时,房屋下的土发生移动,部分土绕过房屋基础移动,使房屋产生过大变形,导致结构破坏。

(3) 位于斜坡下部的房屋 房屋要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、移动速度有关,事故常常是灾难性的。

1972 年夏季,香港下起特大暴雨,雨量到达  $1658.6\text{mm}$ 。7 月 18 日晨 7 时,一座山坡发生大滑坡,几万立方米土体下滑的巨大冲击力正通过附近一幢高层住宅——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 120 人当场死亡,震惊西方世界。

2010 年 8 月 7 日深夜至 8 日凌晨,甘肃省南部地区特大暴雨,舟曲县境内山体滑坡与山洪一起形成泥石流,顺白龙江而下,舟曲县城关镇及其附近村子被冲毁,如图 1-10 所示。这次特大山洪泥石流冲毁房屋五千余间,造成一千多人死亡,数百人失踪,损失巨大。这为建筑选址和防灾减灾提出了值得进一步思索的问题。

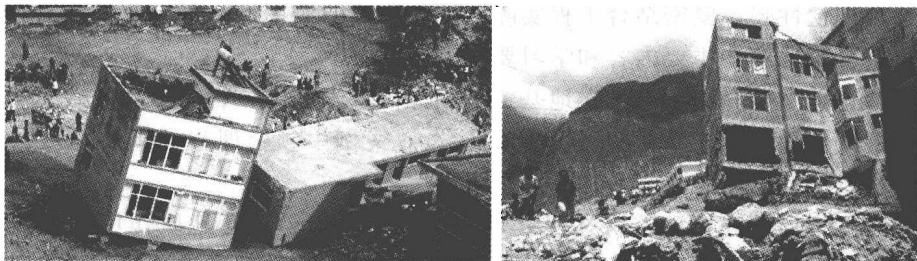


图 1-10 灾后舟曲

建筑施工中,深基坑的开挖,牵涉到边坡稳定问题。满足边坡稳定,方法之一是放坡开挖,但需要的施工场地很大,在城市内施工受到限制;方法之二是垂直开挖,边坡支护,占用场地小,适合于城市工地。如果基坑支护不牢,会导致基坑事故或使周围建筑物受到程度不同的损害。

### 3. 地基变形事故

地基变形引起的不均匀沉降,对上部结构的影响主要体现在以下几个方面:

- (1) 砖墙开裂;
- (2) 砖柱断裂;
- (3) 钢筋混凝土柱倾斜或开裂;
- (4) 高层建筑或高耸构筑物倾斜。建在软土地基上的烟囱、水塔、油罐、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、地基工程事故处理方法

地基工程事故的处理方法或加固方法,概括起来有以下几类。

- (1) 基础扩大托换 通过基础扩大,减小基础底面压力,满足地基承载力条件,减小沉降量。
- (2) 基础加深托换 对地基持力层卸荷,将基础上的作用力传递到较好的新的持力层上。托换方式有坑式托换,桩式托换等。
- (3) 灌浆托换 灌浆加固地基,提高地基承载力。
- (4) 纠偏托换 调整地基的沉降,使上部结构不再倾斜。例如迫降纠偏托换,顶升纠偏托换等方法。
- (5) 综合治理 采取排水、支挡、减重和护坡等措施进行综合治理。

如果建筑物基础需要进行托换,在施工开始前,要进行技术和安全性论证;托换过程中,要通过监测手段,保证建筑物各部位之间不产生过大的沉降差;同时还要保证邻近建筑物的安全性。

## 第三节 课程的内容及学习要求

本课程包括土力学和地基基础(或基础工程)两大部分,从属于岩土工程。所谓岩土工程,就是根据工程地质学、岩体力学和土力学的理论、观点和方法,为解决工程项目中关于岩体、土体的利用、整治或改造,并为工程建设项目实现而服务的系统科学技术。本课程涉及工程地质、材料力学(或工程力学)、结构设计原理(或建筑结构)等相关课程,内容广泛,综合性、理论性强;紧密结合工程实际,具有明确的实用性。集专业基础课和专业课于一身,教材共分十二章,主要内容和学习要求分述如下。

第一章绪论。简要介绍土力学、地基、基础等的基本概念,有关工程失效案例,课程内容和学科发展的历史。要求掌握基本概念,从失效案例中领会课程的重要性,熟悉课程内容,了解学科发展简史。

第二章工程地质概述。简略讲述工程地质的基本知识,包括地质作用与地质构造,岩石、土的成因类型、特点,常见的不良地质条件、地下水的类型和渗透性。要求了解各种地质作用的影响,熟悉地质构造的基本类型,掌握岩石和土的成因类型,对不良地质条件有所



认识,熟悉渗透性的概念,了解渗流规律,掌握防止出现流砂的条件。

第三章土的物理性质和工程分类。内容包括土的组成、结构和构造,物理性质指标的定义、测定方法和换算关系,土的物理状态指标,地基岩土的工程分类。要求了解土的三相组成,掌握各物理性质指标的含义和计算,熟练掌握土的物理状态评价方法,掌握土的工程分类方法。

第四章地基应力计算。主要内容为土自重应力的概念和分布规律,基底压力分布、简化计算方法和基底附加压力计算,地基中附加应力的计算及分布规律,有效应力原理。要求掌握土的自重应力和基底附加应力的计算,能熟练地运用“角点法”和表格计算地基中的附加应力,熟悉附加应力的分布规律,了解有效应力原理。

第五章地基沉降计算。内容包括土的压缩曲线和压缩性指标,地基最终沉降量计算的分层总和法和规范法,饱和土的渗透、固结概念,沉降与时间的关系。要求掌握土的压缩性指标测定方法,能熟练地计算地基的最终沉降量,了解渗透、固结的概念。

第六章土的抗剪强度和地基承载力。主要讲述土的抗剪强度的概念和抗剪强度指标的测定方法和影响因素,土的极限平衡条件,地基的临塑荷载、临界荷载和极限荷载的计算。要求理解库仑定律和极限平衡条件,熟悉抗剪强度指标的测定方法,了解排水条件不同时土的抗剪强度的差异,掌握地基的临塑荷载、临界荷载的含义、计算和应用,熟悉极限荷载的概念和各计算公式之间的区别。

第七章土压力和土坡稳定性。主要内容为各种土压力的概念和产生条件,朗肯土压力理论和库仑土压力理论,土坡稳定分析,重力式挡土墙的设计计算。要求正确理解静止土压力、主动土压力和被动土压力的概念,掌握三种土压力的计算,了解条分法分析土坡稳定,熟悉挡土墙的类型和重力式挡土墙的设计计算内容。

第八章岩土工程勘察。介绍岩土工程勘察的基本要求和方 法,土的野外鉴别与描述,勘察报告的内容、阅读与使用。要求了解岩土工程勘察的基本要求,掌握岩土工程勘察方法,熟悉土的野外鉴别与描述,能正确使用勘察报告所提供的数 据。

第九章浅基础设计。主要内容为浅基础的类型,埋置深度的选择,地基承载力特征值的确定,地基计算,无筋扩展基础设计,扩展基础设计,钢筋混凝土梁板基础计算要点,减轻地基不均匀沉降的措施。要求了解浅基础的类型、埋置深度的选择原则,熟练掌握地基承载力特征值确定方法、基底尺寸确定方法,掌握无筋扩展基础的设计方法、扩展基础的设计计算和构造要求,熟悉钢筋混凝土梁板基础的设计计算要点,了解减轻地基不均匀沉降的各种措施。

第十章深基础设计。以讲述桩基础为主,对其他深基础只作简介。桩基础的主要内容为桩基础分类和质量检验,单桩竖向承载力的传递及其确定方法,群桩的特点和承载力,桩基础设计。要求了解桩基础的类型,熟悉单桩竖向承载力的传递方式和群桩特点,掌握单桩竖向承载力特征值的确定方法,熟练掌握桩基础的设计计算,了解其他深基础如沉井、沉箱等的特点和适用范围。

第十一章软弱地基处理。介绍软弱地基的概念和特点,各种软弱地基处理方法要点及适用范围。要求了解软弱地基的特性,熟悉地基加固的机理。

第十二章区域性地基。区域性地基带有明显的地方特色,又称为特殊土地基。主要介绍岩石与岩土地基,膨胀土地基,黄土地基,红黏土地基和地震液化地基。要求了解各特殊土地基的特性与评价,熟悉防止相应地基工程事故的措施。