

李 飞 高向阳 主编
陈国兴 主审

中国土木工程学会教育工作委员会江苏分会组织编写

应用型本科院校土木工程专业规划教材

土力学

中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



知识产权出版社
www.cnipr.com



李 飞 高向阳 主编
陈国兴 主审

中国土木工程学会教育工作委员会江苏分会组织编写

应用型本科院校土木工程专业规划教材

土力学

[中国水利水电出版社 
www.waterpub.com.cn
知识产权出版社 
www.cnipr.com]

内容提要

本书系“应用型本科院校土木工程专业规划教材”之一,根据高等学校土木工程专业指导委员会《土力学》教学大纲的要求,结合最新颁布的国家和行业规范编写而成。

本书充分考虑应用型土木工程人才培养的需要,并根据刚刚实施的注册土木(岩土)工程师执业资格考试的要求,努力突出理论知识的应用和实践能力的培养,同时力图反映土力学学科发展的新水平和成熟成果。全书内容广泛,重点突出,深入浅出,各章还附有思考题和习题。为突出实践教学,本书还专门编写了“土工试验原理”和“地基原位测试”等内容。

本书可作为高等院校土木工程专业及相关专业的教学用书,也可供相关专业工程技术人员参考。

责任编辑: 阳 淼 张宝林 E-mail: yangsanshui@vip.sina.com; z_baolin@263.net

文字编辑: 彭天放

图书在版编目(CIP)数据

土力学/李飞,高向阳主编. —北京:中国水利水电

出版社:知识产权出版社,2006

应用型本科院校土木工程专业规划教材

ISBN 7-5084-3781-0

I. 土... II. ①李...②高... III. 土力学-高等学
校-教材 IV. TU43

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第062283号

应用型本科院校土木工程专业规划教材

土力学

李飞 高向阳 主编 陈国兴 主审

中国水利水电出版社 出版 发行 (北京市西城区三里河路6号;电话:010-68331835 68357319)
知 识 产 权 出 版 社 (北京市海淀区马甸南村1号;电话、传真:010-82000893)

全国各地新华书店和相关出版物销售网点经销

北京市兴怀印刷厂印刷

787mm×1092mm 16开 17.75印张 421千字

2006年7月第1版 2006年7月第1次印刷

印数:0001—4100册

定价:31.00元

ISBN 7-5084-3781-0

版权所有 侵权必究

如有印装质量问题,可寄中国水利水电出版社营销中心调换

(邮政编码 100044,电子邮件:sales@waterpub.com.cn)

中国土木工程学会教育工作委员会江苏分会组织编写

应用型本科院校土木工程专业规划教材

编 写 委 员 会

主任委员 李爱群

副主任委员 吴胜兴 刘伟庆

委 员 (按姓氏拼音字母排序)

包 华	崔清洋	何培玲	何卫中	孔宪宾
李庆录	李仁平	李文虎	刘爱华	刘训良
余跃心	施凤英	田安国	童 忻	王振波
徐汉清	宣卫红	荀 勇	殷惠光	张三柱
朱正利	宗 兰			

审 定 委 员 会

顾 问 蒋永生 周 氏 宰金珉 何若全

委 员 (按姓氏拼音字母排序)

艾 军	曹平周	陈国兴	陈忠汉	丰景春
顾 强	郭正兴	黄安永	金钦华	李爱群
刘伟庆	陆惠民	邱宏兴	沈 杰	孙伟民
吴胜兴	徐道远	岳建平	赵和生	周国庆

总 序

中国土木工程学会教育工作委员会江苏分会成立于2002年5月，现由江苏省设有土木工程专业的近40所高校组成，是中国土木工程学会教育工作委员会的第一个省级分会。分会的宗旨是加强江苏省各高校土木工程专业的交流与合作，提高土木工程专业的人才培养质量，服务于江苏乃至全国的建设事业和社会发展。

人才培养是高校的首要任务，现代社会既需要研究型人才，也需要大量在生产领域解决实际问题的应用型人才。目前，除少部分知名大学定位在研究型大学外，大多数工科大学均将办学层次定位在应用技术型高校这个平台上。作为知识传承、能力培养和课程建设载体的教材在应用型高校的教学活动中起着至关重要的作用，但目前出版的教材大多偏重于按照研究型人才培养的模式进行编写，“应用型”教材的建设和发展却远远滞后于应用型人才培养的步伐。为了更好地适应当前我国高等教育跨越式发展的需要，满足我国高校从精英教育向大众化教育重大转移阶段中社会对高校应用型人才培的各类要求，探索和建立我国高校应用型本科人才培养体系，中国土木工程学会教育工作委员会江苏分会与中国水利水电出版社、知识产权出版社联合，组织江苏省有关院校的教师，编写出版了适应应用型人才培养需要的应用型本科院校土木工程专业规划教材。其培养目标是既掌握土木工程学科的基本知识和基本技能，同时也包括在技术应用中不可缺少的非技术知识，又具有较强的技术思维能力，擅长技术的应用，能够解决生产实际中的具体技术问题。

本套教材旨在充分反映应用型本科的特色，吸收国内外优秀教材的成功

经验，并遵循以下编写原则：

- 突出基本概念、思路和方法的阐述以及工程应用实例；
- 充分利用工程语言，形象、直观地表达教学内容，力争在体例上有所创新并图文并茂；
- 密切跟踪行业发展动态，充分体现新技术、新方法，启发学生的创新思维。

本套教材虽然经过编审者和编辑出版人员的尽心努力，但由于是对应用型本科院校土木工程专业规划教材的首次尝试，故仍会存在不少缺点和不足之处。我们真诚欢迎选用本套教材的师生多提宝贵意见和建议，以便我们不断修改和完善，共同为我国土木工程教育事业的发展作出贡献。

中国土木工程学会教育工作委员会江苏分会

2006年4月

前 言

本教材是根据高等学校土木工程专业指导委员会《土力学》教学大纲的要求，结合最新颁布的国家和行业规范编写的，可供土木工程、水利工程、交通工程等土建类专业的学生教学使用，教学时数为 54 学时左右。

“土力学”是高等学校土木工程专业必修的一门专业基础课。本教材在教学改革和实践的基础上，坚持系统性、实用性、实践性和可读性原则，对教学内容进行了拓宽，涵盖了建筑工程、交通土建、岩土与地下工程和水利工程等专业基础知识。“土力学”课程与“基础工程”课程联系紧密，部分高校将这两门课程合并为一门课程“土力学与基础工程”，因此本教材的编写与“基础工程”教材的内容密切结合，相互衔接，前后贯通，便于学习，以满足这一教学需要。本教材的编写中，充分考虑应用型土木工程人才培养的需要，考虑与国际接轨的注册土木（岩土）工程师执业资格考试的要求，努力突出理论知识的应用和实践能力的培养，同时力图反映我国近年来的工程实践经验和工程实录，做到理论联系实际。全书内容广泛，重点突出，深入浅出，层次明晰，分析透彻。各章开始专门编写了教学基本要求，以便读者更好地掌握各个章节的重点；同时，各章末尾还附有思考题和习题。不同专业可结合专业特点，取舍教学内容。为突出实践教学，本教材对“土工试验原理”和“地基原位测试技术”各辟一章进行介绍，其中部分内容与前面有关章节内容有交叉，但考虑各章内容体系的相对完整性，故未作调整。

参加本教材编写的教师都具有多年教学实践经验。其中，第一章“绪论”，由李飞编写；第二章“土的物理性质及工程分类”，由王照宇编写；第三章“土的渗透性与渗流”，由高向阳编写；第四章“地基中的应力”，由过

轶青编写；第五章“土的压缩性与固结理论”，由王玉琳和高向阳编写；第六章“地基沉降计算”，由高向阳和王玉琳编写；第七章“土的抗剪强度”，由徐雪源编写第八章“土压力计算”，由李飞和程鹏环编写；第九章“地基承载力”，由王成武编写；第十章“土坡稳定分析”，由高向阳编写；第十一章“土工试验原理”，由王亚萍编写；第十二章“地基原位测试技术简介”，由程鹏环和李飞编写。全书由李飞、高向阳主编，陈国兴主审。

限于编者水平，书中难免有不当之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

2006年4月

目 录

总序

前言

第一章 绪论	1
第一节 土力学的重要性和学科特点	1
第二节 地基工程事故类别及特征	2
第三节 地基工程事故原因分析	6
第四节 土力学发展概况	9
第五节 本课程的内容、要求和学习方法	10
第二章 土的物理性质及工程分类	13
第一节 概述	13
第二节 土的组成	13
第三节 土的物理性质指标	21
第四节 无黏性土和黏性土的物理性质	25
第五节 土的工程分类	30
思考题	33
习题	33
第三章 土的渗透性与渗流	35
第一节 概述	35
第二节 土的渗透规律	36
第三节 土的二维渗流及渗流量计算	47
第四节 渗流力与渗透破坏	56
思考题	62

习题	62
第四章 地基中的应力	67
第一节 概述	67
第二节 土中自重应力	68
第三节 基底压力	71
第四节 地基附加应力	75
思考题	84
习题	84
第五章 土的压缩性与固结理论	86
第一节 概述	86
第二节 土的压缩性	88
第三节 地基沉降随时间的变化规律	95
思考题	106
习题	106
第六章 地基沉降计算	108
第一节 概述	108
第二节 地基最终沉降量计算	108
第三节 应力历史对地基沉降的影响	124
思考题	129
习题	129
第七章 土的抗剪强度	132
第一节 概述	132
第二节 土的抗剪强度理论和极限平衡条件	133
第三节 土的抗剪强度指标	140
第四节 不同固结排水条件下土的抗剪强度指标的意义及应用	151
第五节 土的抗剪强度影响因素	159
思考题	161
习题	161
第八章 土压力计算	163
第一节 概述	163
第二节 静止土压力计算	167
第三节 朗肯土压力理论	169
第四节 库仑土压力理论	176
第五节 几种常见情况的土压力	181
第六节 地震土压力计算	187
第七节 桥台土压力计算	188

思考题	189
习题	189
第九章 地基承载力	191
第一节 地基的破坏模式	191
第二节 浅基础的临塑荷载和临界荷载	193
第三节 地基极限承载力理论	196
第四节 地基容许承载力和地基承载力特征值	205
思考题	207
习题	207
第十章 土坡稳定分析	208
第一节 概述	208
第二节 无黏性土土坡稳定分析	210
第三节 黏性土土坡稳定分析	211
思考题	227
习题	228
第十一章 土工试验原理	229
第一节 概述	229
第二节 物理指标试验	230
第三节 击实试验	236
第四节 压缩试验	238
第五节 直接剪切试验	242
第六节 三轴试验	245
思考题	249
第十二章 地基原位测试技术简介	250
第一节 概述	250
第二节 静力载荷试验	251
第三节 静力触探试验	255
第四节 十字板剪切试验	261
第五节 动力触探试验	263
第六节 标准贯入试验	265
思考题	269
主要参考文献	270

第一章

绪 论

【本章要点】

- 了解土力学的重要性及其发展概况。
- 初步了解地基工程事故的类别、特征及原因。
- 了解土力学的学科特点。
- 熟悉本课程的学习内容、要求和学习方法。

第一节 土力学的重要性和学科特点

任何建（构）筑物都建造在地层上，受到建（构）筑物及其基础荷载影响的那部分地层称为地基。对于埋置深度和平面尺寸不大的基础，受到影响的地层（地基），其深度大约相当于几倍基础底面宽度。土层、地基及建（构）筑物基础关系如图 1-1 所示。地基包括岩石地基和土层地基，作为建（构）筑物地基的土是岩石经风化等作用而形成的。由于土的形成年代、生成环境及物质成分不同，土可分为碎石土、砂土、粉土、黏性土、杂填土和特殊土等，土的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，性质各不相同。在土木工程建设中，天然土层常被用作各种建（构）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。

拟建建（构）筑物场地一旦确定，人们对其地质条件便没有选择的余地，只能是尽可能的认

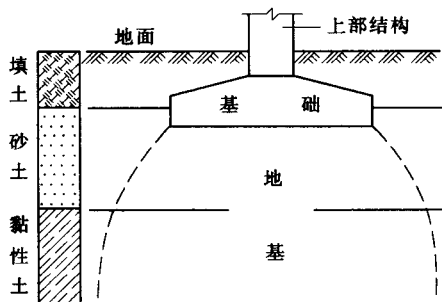


图 1-1 土层、地基及基础示意图

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（构）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。以下列举了一些工程案例。

苏州虎丘塔建成于北宋时期（公元 961 年），7 层，高 47.5m。全部砖砌，仿楼阁式木塔。塔基下土层可划分为 5 层，每层的厚度不同，因而导致塔身向东北方向严重倾斜。1980 年，经测量塔顶偏离中心线 2.32m。

上海展览中心馆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，该馆累计平均沉降量为 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，尤其是上下水道、照明、通信、动力电缆内外连接的管网折断。

唐山市河北矿冶学院图书馆书库为一座四层大楼。1976 年 7 月 28 日凌晨地震烈度高达 10~11，由于地基震动液化，使书库震沉一层楼。

1972 年 6 月，香港下起了特大暴雨，雨量达 1658.6mm。7 月 18 日晨 7 点，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 120 人当场死亡，引起西方世界极大震惊。

土力学是研究土体的应力、变形、强度、渗流及稳定性的一门科学，它是力学的一个分支。土力学研究的对象“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。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”课程从属于岩土工程。在岩土工程中，土木工程所涉及的范围，大量的的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

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。地基变形问题引起的地基事故常发生在软土、湿陷性黄土、膨胀土和季节性冻土等地区。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。本书主要介绍天然地基事故分析与处理,关于人工地基问题将在《基础工程》教材中讲述。

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,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区,而设计人员在没有工程地质勘察资料的情况下,盲目地按 $100\sim 120\text{kPa}$ 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 $65\%\sim 75\%$,按当时的《地基基础设计规范》规定,这种土的容许承载力只有 $40\sim 50\text{kPa}$,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。

二、地基变形事故

(一) 软弱地基变形特征

(1) 沉降大而不均匀。软土地区大量沉降观测资料统计表明,砖墙承重的混合结构建筑,如以层数表示地基受荷大小,则三层房屋的沉降量较小,四层房屋的沉降量较大,五层至六层则更大。过大的沉降造成室内地坪标高低于室外地坪,引起雨水倒灌、管道断裂、污水不易排出等问题。

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、建筑物体形复杂、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。

(2) 沉降速率大。建筑物的沉降速率是衡量地基变形发展程度与状况的一个重要标志。软土地基的沉降速率是较大的,一般在加荷终止时沉降速率最大。

沉降速率也随基础面积和荷载性质的变化而有所不同。例如,一般民用与工业建筑活荷载较小时,竣工时沉降速率大约为 $0.5\sim 1.5\text{mm/d}$;活荷载较大的工业建筑物和构筑物,其最大沉降速率可达 45.3mm/d 。随着时间的发展,沉降速率逐渐衰减,但大约在施工期半年至一年左右的时间内,是建筑物差异沉降发展最为迅速的时期,也是建筑物最容易出现裂缝的时期。在正常情况下,如沉降速率衰减到 0.05mm/d 以下时,差异沉降一般不再增加。如果作用在地基上的荷载过大,则可能出现等速下沉,长期的等速沉降就有导致地基丧失稳定的危险。

(3) 沉降稳定历时长。建筑物沉降主要由于地基土受荷后,孔隙水压力逐渐消散,而有效应力不断增加,导致地基固结作用所引起的。因为软土的渗透性低,孔隙水不易排

除,故建筑物沉降稳定历时均较长。有的建筑物建成后几年、十几年甚至几十年沉降尚未完全稳定。

(二) 不均匀沉降对上部结构产生的影响

(1) 砖墙开裂。由于地基不均匀沉降使砖砌体受弯曲而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”字形四层教学楼,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,使柱身弯矩增大而开裂,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

(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

(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,四川成都尤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,其破坏率约为 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) 外墙与内墙交接处的破坏。

(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，地下室内部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基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是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、塔架、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) 滑坡可以是缓慢的、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，发生土从房屋下挤出，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、滑动土体体积有关，事故常常是灾难性的，例如前述香港宝城大厦的毁坏。

(三) 基坑工程质量事故

随着高层建筑的发展，施工中大开挖基槽的做法愈来愈多，确保深基坑的可靠和稳定成为高层建筑施工的关键问题之一。基坑有两类：一类是放坡基坑，当基坑较深时，边坡的宽度较宽，很占场地；另一类是支护结构式不放坡基坑，在高层建筑施工中经常被采用。具体内容在《基础工程》教材中介绍。

(四) 滑坡治理

滑坡治理前，首先应深入了解形成滑坡的内、外部条件以及这些条件的变化。对诱发滑坡的各种因素，应分清主次，采取各种相应的措施，使滑坡最终趋于稳定。一般情况下，滑坡发生总有个过程。因此，在其活动初期，如能立即整治，就比较容易，收效也较快。所以治理滑坡务须及时，而且要根本解决，以防后患。治理滑坡主要用排水、支挡、减重和护坡等措施综合治理。个别情况下，也有采用通风疏干、电渗排水、爆破灌浆、化学加固和浇水冻结等方法来改善滑动带岩土的性质，以稳定边坡。

第三节 地基工程事故原因分析

一、地质勘察问题

(一) 提供的资料不准确

地基勘察工作欠认真，所提供的土性指标及地基承载力不确切。例如某办公楼，设计之前仅作简易触探，而设计者又按勘察报告提出的偏高土力学指标进行设计。结果造成该楼尚未竣工即出现很大沉降和相对沉降差，倾斜约 400mm，并引起邻近已有房屋严重开裂。又如某县一小学校教学楼，平面为“Z”字形，无地质勘察资料盲目套图设计。施工中即发现墙体开裂、楼房扭曲倾斜、地面开裂，并发展到室外地坪。最后采用局部降低一层和加固地基方法才获得解决。

(二) 钻孔间距过大

地质勘察时，钻孔间距太大，不能全面准确地反映地基的实际情况。在丘陵、山坡地区的建筑中，由于这个原因造成的事故实例比平原地区多。例如，张家口市某住宅小区，其地基中的砂卵层起伏变化较大（水平方向达 0.2m/m）。地质勘察时，整个小区只布置了 8 个钻孔，钻孔间距过大，使得地质勘察资料数据失真。整个小区大部分基础设计时，按地质勘察深度选择了桩基础，然而由于地表下土层的厚度变化甚大，砂卵层距地表深度相差悬殊，有的桩需要在砂卵层中人工成孔 4m 多，这给施工带来极大难度，同时担心下