

高等学校土建类专业应用型本科系列教材

# 土力学与基础工程

TU LI XUE YU JI CHU GONG CHENG

主编 王有凯



武汉理工大学出版社  
WUTP Wuhan University of Technology Press

高等学校土建类专业应用型本科系列教材

# 土力学与基础工程

主 编 王有凯

副主编 陈昌禄 万凤鸣

武汉理工大学出版社

· 武汉 ·

## 内 容 提 要

本书是根据全国高等学校土木工程专业指导委员会对土木工程专业的培养要求和目标,结合土力学与基础工程学科近年来国内外的的发展以及应用型本科院校教学的实际情况而编写的。本书系统阐述了土力学的基本理论,介绍了地基基础的基本原理。全书共分12章,包括绪论、土的物理性质及工程分类、土的渗透性及渗流、土中应力、土的压缩性及地基沉降量计算、土的抗剪强度、土压力理论、地基承载力、土坡稳定性分析、浅基础设计、桩基础及其他深基础、地基处理。本书内容简明扼要、重点突出、图文并茂,在强调基本原理的应用的同时,加强分析与处理具体问题的能力。

本书除可作为各类应用型本科院校土建、交通、地质、冶金、石油、农业、林业等相关专业的教材或教学参考书外,还可供其他相关专业和工程技术人员参考使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

土力学与基础工程/王有凯主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2010.8  
ISBN 978-7-5629-3205-5

I. ① 土…

II. ① 王…

III. ① 土力学-高等学校-教材 ② 基础(工程)-高等学校-教材

IV. ① TU4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 129473 号

出版发行:武汉理工大学出版社(武汉市洪山区珞狮路 122 号 邮编:430070)

<http://www.techbook.com.cn> 理工图书网

经 销 者:各地新华书店

印 刷 者:湖北睿智印务有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:18.5

字 数:462 千字

版 次:2010 年 8 月第 1 版

印 次:2010 年 8 月第 1 次印刷

印 数 1~3000 册

定 价:32.00 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。

本社购书热线电话:(027)87394412 87383695 87384729

版权所有,盗版必究。

## 出版说明

近年来,随着我国高等教育事业的快速发展,独立学院和民办高校已经成为高等教育的一个重要组成部分,其发展速度与办学规模呈现出前所未有的势头。与此同时,独立学院和民办高校的办学方向、专业设置、人才培养目标、人才培养途径和方式、教学管理制度等进一步明确与规范,以及市场需求赋予独立学院和民办高校一些新的发展思路与特点,独立学院和民办高校改革教学内容,探索新的教学方法,整合各校教师资源,编写优质、适用的教材就成了刻不容缓的任务。

武汉理工大学出版社一贯坚持为高校的教学、科研工作服务的办社宗旨,以组织、出版反映我国高等教育教学改革阶段性成果的精品教材、教学参考书为己任。通过广泛调查研究,在武汉地区独立学院和民办高校的积极倡导与支持下,得到了全国30余所独立学院和民办高校的热情参与,我们决定组织编写出版一套代表当前独立学院和民办高校教学水平,反映阶段性教学改革成果并适合独立学院和民办高校教学需要的土建类专业应用型本科系列教材。

本系列教材编写的指导思想是:

1. 依据独立学院和民办高校土建类本科各专业的培养目标和培养方案,系列教材应立足于面向市场培养高级应用型专门人才的要求。

2. 教材结构体系要合理。要善于学习和借鉴优秀教材,特别是国内外精品教材的写作思路、写作方法和章节安排,使教材结构合理、重点突出、通俗易懂,便于自学。

3. 教材内容要有创新,要注意相关课程的关联性。对于知识更新较快的学科,要将最新的学科知识和教学改革成果体现在教材中,既要兼顾学科的系统性,又要强调学科的先进性。

4. 知识体系要实用。以学生就业所需的专业知识和操作技能为着眼点,在适度的基础知识与理论体系覆盖下,着重讲解应用型人才所需的内容和关键点,突出知识的实用性和可操作性。

5. 重视实践环节,强化案例式教学和实际操作的训练。教材中要融入最新的实例及操作性较强的案例,通过实际训练加深对理论知识的理解。实用性和技巧性强的章节要设计相关的实践操作案例。同时,习题设计要多样化、具备启发性,题型要丰富。

6. 相关内容要力争配套。即理论课教材与实验课教材要配套;理论课教材与习题解疑要配套;理论课教材与多媒体课件要配套;教材与案例化素材要配套。

7. 坚持质量第一。

为了贯彻以上指导思想,我们组建了由具有丰富的独立学院和民办高校教学经验及较高学术水平的院(系)领导、教授、骨干教师组成的编委会,由编委会研究提出本系列教材的编写指导思想,并推荐作者。

新形势下的高等教育正在经历前所未有的变革和发展,我社将秉承为高校教学、科研服务的宗旨,以服务于学校师资队伍建设、教材建设为特色。我们愿与各位教师真诚合作,共同努力,为新世纪的高等教育事业作出更大的贡献。

武汉理工大学出版社

2008年12月

高等学校土建类专业应用型本科系列教材

## 编审委员会

主任:李新福 雷绍锋

副主任:(按姓氏笔画排列)

马成松 孙 艳 江义声 陈俊杰 陈素红

邵连河 孟高头 杨树林 郑 毅 荀 勇

胡铁明 唐友尧 熊丹安

委员:(按姓氏笔画排列)

马成松 邓 训 牛秀艳 王有凯 史兆琼

孙 平 江义声 许汉明 许程洁 刘 江

刘 伟 刘 斌 张朝新 陈金洪 陈俊杰

陈敏杰 陈素红 邵连河 杜春海 李新福

杨双全 杨伟忠 杨学忠 杨树林 杨晓麟

孟高头 郑 毅 荀 勇 赵元勤 赵永东

胡铁明 胡忠君 柳立生 施鲁莎 唐友尧

郭建华 葛文生 熊丹安

秘书:王利永 高 英

总责任编辑:于应魁

# 前 言

“土力学与基础工程”是高等院校土木工程专业一门重要的技术基础课程,广泛应用于建筑、交通、水利、港口等工程领域。随着科学技术的不断发展和超高层建筑与重型设备厂房的增多,土力学理论与基础工程技术显得更为重要。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专业课程。

本书是根据高等学校土建类专业应用型本科人才培养的教学要求,结合应用型本科院校教学的实际情况编写的。为了加强学生对土力学与基础工程基本原理、基本理论、基本方法的理解和应用,进一步培养和训练学生分析问题、解决问题的能力,每章均设置有一定量的例题、思考题与习题。

全书共分12章,由河南理工大学王有凯担任主编,河南理工大学陈昌禄、湖北工业大学商贸学院万凤鸣担任副主编。具体编写分工如下:河南理工大学王有凯(第1、6章)、河南理工大学王辉(第2、10章)、河南理工大学陈昌禄(第3、7章)、华中科技大学武昌分校凌平平(第4章)、湖北工业大学商贸学院万凤鸣(第5、12章)、河南理工大学冯文娟(第8、11章)、武汉科技大学中南分校侯琴(第9章)。全书由陈昌禄负责统稿审核。

本书的编写借鉴了诸多前辈的成果和智慧,融汇了编者多年的教学经验,也吸取了同类教材的优点,在内容取舍、编写顺序等方面做了精心的安排。对书中所引用文献和研究成果的诸多作者表示诚挚的谢意,对在编写过程中各作者及作者单位的大力支持和帮助表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在错误和不妥之处,敬请广大读者不吝赐教和批评指正,以便再版时加以修改、充实和提高。

编 者

2010年3月

# 目 录

<b>1 绪论</b> .....	(1)
1.1 土力学、地基与基础 .....	(1)
1.2 本学科的发展概况 .....	(2)
1.3 本课程的内容、要求和学习方法 .....	(3)
<b>2 土的物理性质及工程分类</b> .....	(4)
学习要点 .....	(4)
重点和难点 .....	(4)
2.1 概述 .....	(4)
2.2 土的成因和组成 .....	(4)
2.2.1 土的形成 .....	(4)
2.2.2 土的组成 .....	(6)
2.2.3 土的结构与构造 .....	(13)
2.3 土的物理性质指标 .....	(15)
2.3.1 土的三相组成 .....	(15)
2.3.2 土的三相指标的测定和计算 .....	(16)
2.3.3 土的三相指标换算 .....	(19)
2.4 无黏性土的物理特性 .....	(22)
2.4.1 无黏性土的密实度 .....	(22)
2.4.2 无黏性土的密实度指标的测定 .....	(22)
2.5 黏性土的物理特征 .....	(24)
2.5.1 黏性土的界限含水量 .....	(25)
2.5.2 黏性土的指标及其工程应用 .....	(26)
2.6 土的压实性 .....	(28)
2.6.1 黏性土的压实性 .....	(28)
2.6.2 无黏性土的压实性 .....	(29)
2.7 土的工程分类 .....	(30)
2.7.1 土的工程分类原则和体系 .....	(30)
2.7.2 土的工程分类方法 .....	(31)
思考题与习题 .....	(36)
<b>3 土的渗透性及渗流</b> .....	(37)
学习要点 .....	(37)
重点和难点 .....	(37)
3.1 概述 .....	(37)
3.2 地下水运动的基本形式 .....	(38)

3.2.1	按地下水的流线形态分类	(38)
3.2.2	按迹线形态分类	(38)
3.3	土的渗透性与达西定律	(39)
3.3.1	水头及水力坡降	(39)
3.3.2	达西定律	(40)
3.3.3	达西定律的适用范围	(41)
3.4	渗透系数及其测定	(41)
3.4.1	渗透系数的室内测定	(42)
3.4.2	渗透系数的现场测定	(43)
3.4.3	成层土的等效渗透系数	(44)
3.4.4	影响渗透系数的因素	(45)
3.5	渗透力及渗透破坏	(46)
3.5.1	渗透力	(46)
3.5.2	临界水力坡降	(48)
3.5.3	渗透变形的类型和防治措施	(49)
3.6	二维渗流及流网应用	(50)
3.6.1	二维稳定渗流场中的基本微分方程	(51)
3.6.2	流网的特征及应用	(52)
3.7	有效应力原理	(53)
3.7.1	基本概念	(54)
3.7.2	有效应力原理	(54)
3.7.3	有效应力的计算	(55)
3.7.4	孔隙压力系数	(57)
	思考题与习题	(59)
4	土中应力	(61)
	学习要点	(61)
	重点和难点	(61)
4.1	概述	(61)
4.1.1	研究土中应力的目的	(61)
4.1.2	土中一点的应力状态	(62)
4.1.3	计算理论	(62)
4.2	土的自重应力	(63)
4.2.1	竖向自重应力	(63)
4.2.2	水平向自重应力	(64)
4.3	基底压力	(65)
4.3.1	基底压力分布和计算	(65)
4.3.2	基底附加压力	(68)
4.4	地基中的附加应力	(69)
4.4.1	竖向集中力下地基附加应力	(69)



4.4.2	分布荷载作用下地基附加应力	(71)
	思考题与习题	(81)
<b>5</b>	<b>土的压缩性及地基沉降量计算</b>	<b>(82)</b>
	学习要点	(82)
	重点和难点	(82)
5.1	概述	(82)
5.2	土的压缩性	(83)
5.2.1	土的压缩性及其影响因素	(83)
5.2.2	压缩试验和压缩指标	(83)
5.2.3	土的侧压力系数及变形模量	(86)
5.3	地基沉降量的计算	(88)
5.3.1	概述	(88)
5.3.2	分层总和法	(88)
5.3.3	《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002)法	(91)
5.3.4	弹性力学方法	(93)
5.4	饱和土体的渗流固结理论	(94)
5.4.1	饱和土的固结	(94)
5.4.2	太沙基一维固结理论	(95)
5.4.3	固结度	(98)
5.4.4	地基沉降与时间的关系	(99)
5.5	应力历史对地基沉降的影响	(101)
5.5.1	土的回弹与再压缩	(101)
5.5.2	正常固结土、欠固结土和超固结土	(101)
	思考题与习题	(102)
<b>6</b>	<b>土的抗剪强度</b>	<b>(103)</b>
	学习要点	(103)
	重点和难点	(103)
6.1	概述	(103)
6.2	库仑公式	(104)
6.2.1	土体中任一点的应力状态	(104)
6.2.2	土强度理论的库仑公式	(106)
6.2.3	莫尔-库仑强度理论	(106)
6.2.4	土的极限应力状态	(107)
6.2.5	极限应力状态的应用	(109)
6.3	抗剪强度的测试方法	(110)
6.3.1	直接剪切试验	(110)
6.3.2	三轴压缩试验	(112)
6.3.3	无侧限抗压强度试验	(118)
6.3.4	十字板剪切试验	(119)

6.4	砂类土的抗剪强度特征	(120)
6.4.1	砂类土抗剪强度机理	(120)
6.4.2	砂类土的抗剪强度特征	(121)
6.4.3	无黏性土的内摩擦角	(122)
6.5	黏性土的抗剪强度特征	(122)
6.5.1	不固结不排水抗剪强度	(122)
6.5.2	固结不排水抗剪强度	(123)
6.5.3	固结排水抗剪强度	(124)
6.6	应力路径	(125)
6.6.1	应力路径的概念	(125)
6.6.2	三轴压缩试验中几种典型的加载应力路径	(126)
	思考题与习题	(127)
7	土压力理论	(128)
	学习要点	(128)
	重点和难点	(128)
7.1	概述	(128)
7.1.1	挡土墙的类型	(128)
7.1.2	土压力的种类	(128)
7.1.3	影响土压力的因素	(130)
7.2	静止土压力计算	(131)
7.2.1	产生条件	(131)
7.2.2	计算公式	(131)
7.3	朗肯土压力理论	(133)
7.3.1	基本原理和假定	(133)
7.3.2	朗肯主动土压力	(134)
7.3.3	朗肯被动土压力	(136)
7.3.4	几种典型情况下的朗肯土压力	(138)
7.4	库仑土压力理论	(141)
7.4.1	基本原理与假定	(141)
7.4.2	库仑主动土压力计算	(141)
7.4.3	库仑被动土压力计算	(151)
7.4.4	几种特殊情况下的库仑土压力计算	(152)
7.5	两种经典土压力的讨论	(154)
7.6	埋管土压力的计算	(158)
7.6.1	埋管上的土压力特点	(158)
7.6.2	沟埋式埋管顶部的垂直土压力	(159)
7.6.3	上埋式埋管顶部的垂直土压力	(159)
7.6.4	埋管侧向土压力	(159)
7.7	挡土墙设计	(159)

7.7.1	挡土墙的类型 .....	(160)
7.7.2	重力式挡土墙的设计 .....	(161)
	思考题与习题 .....	(164)
<b>8</b>	<b>地基承载力 .....</b>	<b>(166)</b>
	学习要点 .....	(166)
	重点和难点 .....	(166)
8.1	概述 .....	(166)
8.2	地基破坏形式 .....	(166)
8.2.1	垂直荷载作用下地基破坏的形式及其判别 .....	(166)
8.2.2	倾斜荷载作用下地基的破坏模式 .....	(168)
8.3	地基极限承载力的计算理论 .....	(168)
8.3.1	临塑荷载和临界荷载 .....	(169)
8.3.2	普朗德尔极限承载力 .....	(172)
8.3.3	太沙基底基承载力 .....	(175)
8.3.4	汉森极限承载力 .....	(177)
8.4	地基承载力的确定 .....	(178)
8.4.1	按理论公式确定 .....	(179)
8.4.2	建筑地基基础规范的地基承载力 .....	(179)
8.4.3	现场原位试验 .....	(182)
	思考题与习题 .....	(184)
<b>9</b>	<b>土坡稳定性分析 .....</b>	<b>(185)</b>
	学习要点 .....	(185)
	重点和难点 .....	(185)
9.1	概述 .....	(185)
9.2	无黏性土坡的稳定性分析 .....	(186)
9.2.1	无渗流作用时的无黏性土坡 .....	(186)
9.2.2	有渗流作用时的无黏性土坡 .....	(187)
9.3	黏性土坡的稳定性分析 .....	(188)
9.3.1	整体圆弧滑动法 .....	(189)
9.3.2	瑞典条分法 .....	(190)
9.3.3	毕肖甫条分法 .....	(191)
9.3.4	简布法 .....	(195)
9.3.5	有限元法 .....	(197)
9.3.6	土体边坡稳定性的一点讨论 .....	(199)
	思考题与习题 .....	(201)
<b>10</b>	<b>浅基础设计 .....</b>	<b>(202)</b>
	学习要点 .....	(202)
	重点和难点 .....	(202)
10.1	概述 .....	(202)

10.1.1	地基基础的设计等级	(202)
10.1.2	地基基础的设计规定、内容和步骤	(203)
10.2	浅基础的类型	(204)
10.2.1	扩展基础	(204)
10.2.2	连续基础	(211)
10.3	地基设计	(218)
10.3.1	基础埋置深度的选择	(218)
10.3.2	地基承载力的确定	(223)
10.3.3	基底尺寸的确定	(224)
10.3.4	地基变形的计算和验算	(227)
10.3.5	减轻不均匀沉降危害的措施	(229)
	思考题与习题	(231)
<b>11</b>	<b>桩基础及其他深基础</b>	<b>(233)</b>
	学习要点	(233)
	重点和难点	(233)
11.1	概述	(233)
11.2	桩及桩基础的分类	(234)
11.2.1	按承载性状分类	(234)
11.2.2	按制桩材料分类	(234)
11.2.3	按桩径(设计直径 $d$ )大小分类	(235)
11.2.4	按施工方法分类	(235)
11.2.5	按成桩方法分类	(235)
11.3	单桩竖向承载力的确定	(236)
11.3.1	确定单桩竖向极限承载力 $Q_{uk}$	(237)
11.3.2	确定基桩或复合基桩竖向承载力特征值 $R$	(241)
11.3.3	确定作用在基桩或复合基桩顶的荷载	(242)
11.3.4	桩基竖向承载力的验算	(243)
11.4	桩的负摩阻力	(245)
11.4.1	负摩阻力产生的原因	(245)
11.4.2	负摩阻力的计算	(246)
11.5	群桩的竖向承载力	(248)
11.5.1	群桩效应	(248)
11.5.2	软弱下卧层承载力验算	(249)
11.6	桩基础承台的设计	(251)
11.6.1	桩平面布置的原则	(251)
11.6.2	承台的构造要求	(251)
11.6.3	承台的计算	(252)
11.7	桩基础设计	(256)
11.7.1	选定桩基的类型、桩长及截面尺寸	(256)

11.7.2	确定单桩竖向承载力特征值 $R$ .....	(256)
11.7.3	确定桩数及平面布置 .....	(256)
11.7.4	桩基础的验算 .....	(256)
11.8	其他深基础简介 .....	(258)
11.8.1	沉井基础 .....	(259)
11.8.2	地下连续墙 .....	(259)
	思考题与习题 .....	(259)
<b>12</b>	<b>地基处理</b> .....	(261)
	学习要点 .....	(261)
	重点和难点 .....	(261)
12.1	概述 .....	(261)
12.2	软黏土地基处理 .....	(261)
12.2.1	形成条件 .....	(261)
12.2.2	结构成分及特点 .....	(262)
12.2.3	软黏土划分标准 .....	(262)
12.2.4	物理力学性质 .....	(262)
12.2.5	较显著的触变性和蠕变性 .....	(262)
12.2.6	置换拌入法 .....	(263)
12.2.7	排水固结法 .....	(267)
12.2.8	土工合成材料 .....	(268)
12.3	松散土地基处理 .....	(269)
12.3.1	重锤夯实法 .....	(269)
12.3.2	强夯法 .....	(270)
12.3.3	振冲挤密法 .....	(270)
12.4	特殊土地基处理 .....	(271)
12.4.1	湿陷性黄土地基 .....	(271)
12.4.2	膨胀土地基 .....	(274)
12.4.3	红黏土地基 .....	(276)
12.4.4	季节性冻土地基 .....	(277)
	思考题与习题 .....	(278)
	<b>参考文献</b> .....	(279)

# 1 绪 论

## 1.1 土力学、地基与基础

任何建筑物都是建造在地球上的,建筑物的全部荷载都是由地球的表面地层来承担,这里所说的建筑物不仅指一般的住宅、办公楼和厂房等,而且泛指桥梁、码头、水电站、高速公路等工程结构,还包括穿越土层的隧道或地下结构物,以及用土作为材料建造的大坝或路堤等土工构筑物。承受这些建筑物荷载的地层称为地基(图 1.1),与地基接触并传递荷载给地基的结构物称为基础。通常来讲,地基又可分为土基和岩基。在平原地区,由于基岩埋藏较深,地表覆盖土层较厚,因此一般建筑物都是修建在土构成的地基之上,这种地基成为土基。相反,在丘陵或山区,基岩埋藏较浅或裸露于地表,此时的建筑物一般建造在由岩石构成的基础之上,这种地基称为岩基。本课程仅限于讨论土基的问题。

广义地说,基础工程这一学科领域不仅将土作为地基来研究,还包括了将土作为工程结构物的环境介质以及作为土工构筑物材料在内的工程问题,亦即几乎包括了人类所有的工程活动赖以存在的全部与土有关的工程技术问题。

基础的作用是将建筑物的全部荷载传递给地基,并保证上部结构的安全和稳定。为了保证安全,地基必须满足以下强度和变形两方面的要求:

(1) 地基土必须有一定的承载能力,且必须稳定。在建筑物使用期间,不仅要求作用在地基上的荷载不超过地基的承载能力,保证地基不发生整体强度破坏或失稳,而且要求地基不发生开裂、滑动和塌陷等灾害现象。

(2) 地基的变形不得超过建筑物的容许变形。保证建筑物不因地基变形而发生开裂、损坏或影响正常使用。

地基与基础的勘察、设计与施工是工程建设的关键阶段,整个工程的成败在很大程度上取决于基础工程的质量和水平。地基基础又是隐蔽工程,施工条件极为复杂,影响工程质量的因素很多。基础工程的造价占整个工程造价的很大比例,在地质条件复杂地区,这一比例可达 20%~30%,因此节约建设资金的潜力很大。如果盲目提高安全度,有时多花费建设资金也不一定不能收到良好的效果。因此,具有丰富工程经验的工程技术人员都十分重视地基与基础的勘察、设计和施工阶段的工作。要求从事土木、水利等工程领域工作的人员必须掌握土力学与基础工程的理论知识和实际技能,才能真正正确地解决工程中的地基基础技术问题。

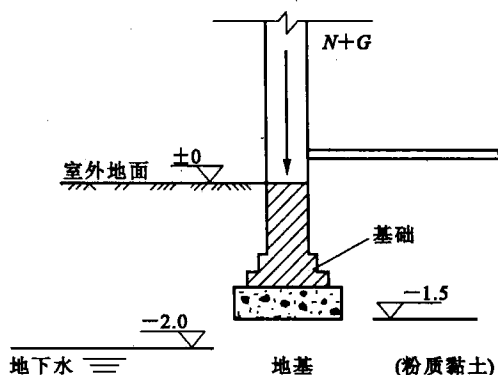


图 1.1 建筑物地基与基础

## 1.2 本学科的发展概况

古今中外的宏伟土木工程,如我国的万里长城、大行宫殿、京杭大运河、开封塔、赵州桥等,国外的如古埃及金字塔、印度佛加大佛塔、法国艾菲尔铁塔、古罗马桥梁工程等,屹立至今,均体现了古代劳动人民丰富的土木工程经验,同时也反映了土力学与基础工程学科的发展。

土力学的发展可以划分成以下三个历史时期。

### (1) 萌芽期(1773—1923)

土力学的发展当以库伦(C. A. Coulomb)首开先河。1773年发表了论文《极大极小准则在若干静力学问题中的应用》,介绍了刚滑楔体理论计算挡土墙背侧压力的计算方法,为今后的土体破坏理论奠定了基础。但是在此后漫长的150年中,研究工作只是个别学者在进行探索,而且只限于研究土体的破坏问题,其中最具代表性的是1857年英国科学家朗肯(Rankine)的土压力理论和瑞典科学家裴德逊(Petterson)提出的滑坡稳定分析圆弧法,后经费伦纽斯(W. Fellenius)改进并在世界各国得到普遍应用,被土力学之父太沙基(Terzaghi)认为是现今岩土工程的一个里程碑。

随着20世纪高层建筑物的大量涌现,沉降问题开始呈现,与土力学紧密相关的学科——弹性力学的发展为沉降问题的研究提供了必要的手段,从而为太沙基(Terzaghi)开创的土体变形研究提供了客观条件。

### (2) 古典土力学(1923—1963)

1923年,太沙基发表了著名论文《粘土中动水应力的消散计算》,随后在1925年出版了著名的《土力学》(Soil mechanics),从此标志着土力学成为一门独立的学科。在这一阶段期间,各国科学家取得了卓越的成果,特别是随着弹性力学的研究成果被大量应用到土的研究中,使得土体变形的研究取得了很大的进步。伦杜利克(Rendulic, 1936)发现了土的剪胀性、土的应力-应变关系呈现为非线性、土具有加工硬化或软化等性质。此后,关于土力学的论著如雨后春笋般地蓬勃发展。

纵观古典土力学的发展,可以归结为一个原理和两个理论,即有效应力原理、以弹性介质和弹性多孔介质为出发点的变形理论和以刚塑性模型为出发点的破坏理论(极限平衡理论)。在变形理论方面,比奥(Boit, 1956)固结理论已经完全解决。但对于破坏理论,由于土体既不是理想弹性体,也不是理想刚塑性体,故极限平衡理论存在诸多不足,故后来学者们基于考虑土体两个基本特性(压硬性和剪胀性)的现代土力学研究在20世纪50年代初开始了。

### (3) 现代土力学(1963~现在)

虽然在20世纪50年代已有人对塑性理论应用于土力学的可能性进行过探索,但直到1963年,英国科学家罗斯科(Roscoe)发表了著名的剑桥模型,才提出第一个可以全面考虑土的压硬性和剪胀性的数学模型,从而开启现代土力学的先河。此后,现代土力学在非线性模型、弹塑性模型、非饱和固结理论、砂土液化理论、细观土力学等方面都取得了重要进展。我国学者黄文熙1945年在中央水利实验处创建了第一个土工实验室,1983年,黄文熙院士出版了在土力学界影响较大的专著《土的工程性质》,该书系统地介绍了各种土的本构模型的理论 and 研究成果。此后,钱家欢、殷宗泽教授出版了《土工原理与计算》,全面总结了土力学的新发展,两本专著均成为许多高校研究生的高等土力学经典教材。

### 1.3 本课程的内容、要求和学习方法

土力学与基础工程是工科院校土木工程专业的必修课程之一,它有两个重要的部分组成,一部分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;另一部分是关于地基基础设计与施工的知识,即基础工程学的内容。前者为工程问题提供试验方法和理论基础,后者具有极强的技术性与应用性。因此,本课程是理论性和实践性都比较强的一门课程。

土力学是以土为研究对象的学科,作为力学的一个分支有其自己的特性。因为土是岩石经过物理、化学及生物分化后,崩解、破碎、变质,又经过各种自然力搬运,在新环境下堆积或沉积下来的松散颗粒的堆积物。在不同地区、不同深度、不同地点,土的工程性质千差万别,导致土的易变性,所以这门学科本身就具有挑战性、创造性、开拓性。土力学研究的内容是通过研究土的微观结构、组成及物理力学性质,来进一步认识土在外部荷载、水等外界因素的作用下土体中的应力、应变、强度、稳定性及渗流规律的一门学科,所以土力学是一门既有系统理论又有较强实践性的专业基础课程。它广泛应用于交通、水利、岩土、铁道、国防、桥梁等地基基础工程中。利用土力学基本理论、基本方法可以对土工结构物进行计算、分析、设计,甚至去解决工程实际中的各种问题,因此学好这门课具有重要的意义。

土的碎散、多相的组成和作为地质历史的产物,使其力学性质极为复杂,这种复杂性决定了土力学与其他力学学科不同。土力学是一门技术性强、实用性强的工程技术基础学科,既有较强的理论,又和工程和生产实践密切联系。土的主要特点之一是多样性。由于受成土体母岩、风化作用、沉积历史、地理环境和气候条件等多重因素影响,土的种类繁多,分布复杂,性质各异。土的另一个主要特点是易变性。土的工程性质经常受到外界温度、湿度、压力等的影响而发生显著变化。本课程涉及工程地质学、弹-塑性理论、流变理论、地下水水动力学、计算机及数值计算方法等多个学科领域的知识,因此土力学的首要特点是内容广泛,综合性强,实践性强。

基础工程是土木工程学科的一个重要分支,是将土力学知识应用于基础工程设计的一门专业课。它以材料力学、钢筋混凝土结构、砌体结构和施工技术等课程为前导,以我国现行《建筑地基基础设计规范》(GB50007-2002)为依据,全面讲述如何进行基础的设计和计算,既具实用性,又有理论指导,属于应用学科。

土力学是基础工程设计和施工技术的理论基础,而基础工程则是土力学与结构工程密切结合的结果。它们二者构成本课程的完整体系,包括土的工程性质指标的试验与设计参数的确定方法,土的渗透、变形和强度稳定性的计算原理,地基基础的设计与施工方法三个主要部分。

对于初学者来说,掌握一些学习土力学的方法,可以获得事半功倍的效果。首先,着重搞清基本概念,掌握基本计算方法。土力学与基础工程的每一章都有一些重要而基本的概念和相应的计算方法,应在理解的基础上掌握并运用到基础设计中。其次,在学习中以土的基本物理性质为基础,自始至终抓住土的变形、强度和稳定性问题这一重要线索,并特别注意认识土的多样性和易变性等特点,找出各章的内在联系,做到融会贯通。最后,在掌握基本原理的同时,还要注意它们的基本假设和适用条件。



## 2 土的物理性质及工程分类

### 学习要点

本章主要介绍土的形成、组成以及其基本性质,是学习本课程的基础内容。重点介绍土的三相比例指标、物理状态指标、压实性,最后介绍土的工程分类,即:

- (1) 了解土的成因、组成、结构和构造;
- (2) 掌握土的级配特征,了解土的矿物成分的特点;
- (3) 掌握并熟练运用土的三相指标的计算;
- (4) 掌握土的各项物理性质指标;
- (5) 了解土的压实原理;
- (6) 熟悉土的工程分类。

### 重点和难点

- (1) 土的三相指标;
- (2) 土的物理性质。

## 2.1 概 述

地球表面的岩石经风化、剥蚀成岩屑,又经搬运、沉淀而成的沉淀物,年代不长,未压紧硬结成岩石之前,呈松散状态,称为第四纪沉积物,即土,或称天然土。一般认为,土是固体颗粒、水和气体的三相集合体。除此之外,尚有如粉煤灰、矿渣等工业废料及污染土等称为人造土。天然土是土力学的主要研究对象,为方便起见,以下将天然土简称为土。

## 2.2 土的成因和组成

### 2.2.1 土的形成

#### 2.2.1.1 风化作用

地表或接近地表的岩石,在漫长的地质历史时期长期暴露于自然环境中,受各种各样的自然力作用,在原地发生崩解或蚀变,这就是岩石的风化。岩石风化是岩石形成土的第一步。风化作用一般包括以下三种类型:

#### (1) 物理风化

岩石中发生的只改变颗粒的大小与形状,而不改变原来的矿物成分的变化过程称为物理风化。物理风化一般包括岩石在经受风、霜、雨、雪等自然力的影响下而发生的破碎作用,以及