



应用型本科规划教材

GUIDE TO SOIL
MECHANICS TESTING

土力学 试验指导

主 编 杨迎晓
副主编 李 强 王常晶 陈荣法

(第二版)



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

应用型本科规划教材

土力学试验指导

(第二版)

主 编 杨迎晓

副主编 李 强 王常晶 陈荣法



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

土力学试验指导 / 杨迎晓主编. —2 版. —杭州:
浙江大学出版社, 2015. 5
ISBN 978-7-308-14591-6

I. ①土… II. ①杨… III. ①土工试验—高等学校—
教学参考资料 IV. ①TU41

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 073386 号

内 容 提 要

本书主要介绍了土力学试验的基本原理、仪器设备和操作步骤。内容包括土力学试验基础知识, 密度和比重试验, 含水率及界限含水率试验, 颗粒分析试验, 击实试验, 渗透试验, 固结试验, 抗剪强度试验。为加强应用型本科学生的实践能力和创新能力, 特设了土力学综合性试验内容。

本书可作为高等学校土木工程等专业的教学实验用书, 也可供工程技术人员参考及作为土工试验人员的培训教材。

土力学试验指导(第二版)

杨迎晓 主编

丛书策划 樊晓燕

责任编辑 王 波

封面设计 刘依群

出版发行 浙江大学出版社

(杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310007)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

排 版 杭州中大图文设计有限公司

印 刷 杭州印校印务有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 10.75

字 数 261 千

版 印 次 2015 年 5 月第 2 版 2015 年 5 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-308-14591-6

定 价 20.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部联系方式: 0571-88925591; <http://zjdxcbbs.tmall.com>

应用型本科院校土木工程专业规划教材

编 委 会

主 任 陈云敏

副主任 王娟娣 许钧陶 魏新江

委 员 (以姓氏笔画为序)

马海龙 王建新 杨云芳

杨迎晓 李立新 李国柱

李剑敏 李 强 陈江瑛

林贤根 周赵凤 郭鼎康

廖 娟

总 序

近年来我国高等教育事业得到了空前的发展,高等院校的招生规模有了很大的扩展,在全国范围内发展了一大批以独立学院为代表的应用型本科院校,这对我国高等教育的持续、健康发展具有重要的意义。

应用型本科院校以培养应用型人才为主要目标,目前,应用型本科院校开设的大多是一些针对性较强、应用特色明确的本科专业,但与此不相适应的是,当前,对于应用型本科院校来说作为知识传承载体的教材建设远远滞后于应用型人才培养的步伐。应用型本科院校所采用的教材大多是直接选用普通高校的那些适用研究型人才培养的教材。这些教材往往过分强调系统性和完整性,偏重基础理论知识,而对应用知识的传授却不足,难以充分体现应用类本科人才的培养特点,无法直接有效地满足应用型本科院校的实际教学需要。对于正在迅速发展的应用型本科院校来说,抓住教材建设这一重要环节,是实现其长期稳步发展的基本保证,也是体现其办学特色的基本措施。

浙江大学出版社认识到,高校教育层次化与多样化的发展趋势对出版社提出了更高的要求,即无论在选题策划,还是在出版模式上都要进一步细化,以满足不同层次的高校的教学需求。应用型本科院校是介于普通本科与高职之间的一个新兴办学群体,它有别于普通的本科教育,但又不能偏离本科生教学的基本要求,因此,教材编写必须围绕本科生所要掌握的基本知识与概念展开。但是,培养应用型与技术型人才又是应用型本科院校的教学宗旨,这就要求教材改革必须淡化学术研究成分,在章节的编排上先易后难,既要低起点,又要有坡度、上水平,更要进一步强化应用能力的培养。

为了满足当今社会对土木工程专业应用型人才的需要,许多应用型本科院校都设置了相关的专业。土木工程专业是以培养注册工程师为目标,国家土木工程专业教育评估委员会对土木工程专业教育有具体的指导意见。针对这些情况,浙江大学出版社组织了十几所应用型本科院校土木工程类专业的教师共同开展了“应用型本科土木工程专业教材建设”项目的研究,探讨如何编写既能满足注册工程师知识结构要求、又能真正做到应用型本科院校“因材施教”、适

合应用型本科层次土木工程类专业人才培养的系列教材。在此基础上,组建了编委会,确定共同编写“应用型本科院校土木工程专业规划教材”系列。

本套规划教材具有以下特色:

在编写的指导思想上,以“应用型本科”学生为主要授课对象,以培养应用型人才为基本目的,以“实用、适用、够用”为基本原则。“实用”是对本课程涉及的基本原理、基本性质、基本方法要讲全、讲透,概念准确清晰。“适用”是适用于授课对象,即应用型本科层次的学生。“够用”就是以注册工程师知识结构为导向,以应用型人才为培养目的,达到理论够用,不追求理论深度和内容的广度。

在教材的编写上重在基本概念、基本方法的表述。编写内容在保证教材结构体系完整的前提下,注重基本概念,追求过程简明、清晰和准确,重在原理。做到重点突出、叙述简洁、易教易学。

在作者的遴选上强调作者应具有应用型本科教学的丰富教学经验,有较高的学术水平并具有教材编写经验。为了既实现“因材施教”的目的,又保证教材的编写质量,我们组织了两支队伍,一支是了解应用型本科层次的教学特点、就业方向的一线教师队伍,由他们通过研讨决定教材的整体框架、内容选取与案例设计,并完成编写;另一支是由本专业的资深教授组成的专家队伍,负责教材的审稿和把关,以确保教材质量。

相信这套精心策划、认真组织、精心编写和出版的系列教材会得到相关院校的认可,对于应用型本科院校土木工程类专业的教学改革和教材建设起到积极的推动作用。

系列教材编委会主任

浙江大学建筑工程学院常务副院长

教育部长江学者特聘教授

陈云敏

2007年1月

前 言

对于以培养高级应用型人才为目标的本科院校来说,实践教学的质量和水平,对人才培养的影响尤为突出,在一定意义上,实践教学是培养创新精神和实践能力的主渠道。

土力学试验是应用型本科土木工程等专业一个重要的实践环节。土是土木工程中应用最广泛的一种建筑材料或介质,怎样有效地开展土力学试验,如何正确地测定土的工程性质,为工程设计和施工提供可靠的参数,是各类工程建设项目首先必须要解决的问题,对于各类工程项目建设的成功与否是至关重要的。

本书根据应用型本科学生的特点,以实践能力培养为中心,注重理论联系实际。在每个试验前复习总结相关的土力学概念,引出试验原理。每个试验中的操作步骤简明、易懂、实用。每个试验后设有实际应用。另外,还设了根据实际工程现场条件进行土力学综合性试验项目训练的指导,加强学生实践能力和创新能力的培养,为毕业后从事土木工程岗位实践打下坚实的基础。

本书主要与《土力学》教材配套使用,是学生必备的教学实验用书。书中采用了国家及有关行业关于土工试验的最新规范和规程。全书共分9章,第1章土力学试验基础知识,第2章密度和比重试验,第3章含水率及界限含水率试验,第4章颗粒分析试验,第5章击实试验,第6章渗透试验,第7章固结试验,第8章抗剪强度试验,第9章土力学综合性试验。另附有土力学试验报告书。

本书编写单位及编写人员具体分工如下:

浙江树人大学——第1章(杨迎晓)、第2、3章(陈华)、第4章(徐根洪)、第5章(陈荣法)、第6章(徐毅青)、第9章(杨迎晓、徐根洪)、土力学试验报告书(杨迎晓);

浙江海洋学院——第7章(李强);

浙江大学城市学院——第8章(王常晶)。

全书由浙江树人大学杨迎晓担任主编,并多次修改统稿。

担任本书副主编的有浙江海洋学院李强、浙江大学城市学院王常晶和浙江树人大学陈荣法。

本书第1版自2007年出版后,被多所院校选作教材,教学反馈良好。作者在第1版基础上进行了部分修改,特此说明。

本书在编写过程中引用了许多专家、学者在教学、科研、实验中积累的资料以及有关的规范规程条文,在此一并表示感谢。限于作者水平,书中难免存在不当之处,恳请读者批评指正。

编 者

2015年3月

目 录

第 1 章 土力学试验基础知识	1
1.1 土力学试验的任务与意义	1
1.2 土力学试验项目	2
1.3 土样采集	4
1.3.1 影响取土质量的因素	4
1.3.2 取土质量等级	5
1.3.3 取土方法	5
1.4 土的工程分类、鉴别和描述	5
1.4.1 土的工程分类	5
1.4.2 土的简易鉴别方法	6
1.4.3 土状态描述	7
1.5 土样的准备	8
1.5.1 土样的要求与管理	8
1.5.2 原状土样的准备	9
1.5.3 扰动土样的准备	9
1.5.4 试样饱和	10
第 2 章 密度和比重试验	11
2.1 土的三相比例指标	11
2.1.1 土的三相图	11
2.1.2 实验室直接测定的三个指标	11
2.1.3 换算指标	12
2.2 密度试验——环刀法	13
2.2.1 适用范围	13
2.2.2 仪器设备	13
2.2.3 操作步骤	14
2.2.4 试验记录	14
2.2.5 密度试验成果整理及应用	14

2.3 比重试验——比重瓶法	15
2.3.1 适用范围	16
2.3.2 仪器设备	16
2.3.3 操作步骤	16
2.3.4 试验记录	18
2.3.5 比重试验成果整理及应用	18
第3章 含水率及界限含水率试验	20
3.1 概述	20
3.1.1 含水率试验的项目	20
3.1.2 界限含水率的概念	20
3.2 含水率试验——烘干法	20
3.2.1 适用范围	20
3.2.2 仪器设备	21
3.2.3 操作步骤	21
3.2.4 试验记录	21
3.3 界限含水率试验——液、塑限联合测定法	22
3.3.1 适用范围	22
3.3.2 仪器设备	22
3.3.3 操作步骤	22
3.3.4 试验记录	23
3.4 试验成果的应用	23
3.4.1 含水率试验成果整理及应用	23
3.4.2 界限含水率试验成果整理及应用	24
第4章 颗粒分析试验	26
4.1 概述	26
4.1.1 土粒粒组的划分	26
4.1.2 土的颗粒级配	28
4.2 筛析法	28
4.2.1 基本原理	28
4.2.2 仪器设备	28
4.2.3 操作步骤	28
4.2.4 成果整理	29
4.2.5 试验记录	30
4.3 密度计法	30
4.3.1 基本原理	30
4.3.2 仪器设备	31
4.3.3 试剂	31

4.3.4 操作步骤	31
4.3.5 成果整理	32
4.3.6 试验记录	36
4.4 实际应用	36
4.4.1 用于土的分类	36
4.4.2 测定实例	37
第5章 击实试验	39
5.1 概述	39
5.1.1 土的压实性	39
5.1.2 土的压实度	39
5.2 击实试验方法	40
5.2.1 击实试验方法种类	40
5.2.2 仪器设备	40
5.2.3 操作步骤	41
5.2.4 成果整理	42
5.2.5 试验记录	44
5.2.6 注意事项	44
5.3 实际应用	45
5.3.1 几种代表性土的击实试验结果	45
5.3.2 试验成果的应用	48
第6章 渗透试验	50
6.1 概述	50
6.1.1 土的渗透性	50
6.1.2 达西定律	51
6.1.3 渗透变形问题	51
6.2 常水头渗透试验	52
6.2.1 仪器设备	52
6.2.2 操作步骤	53
6.2.3 成果整理	53
6.2.4 试验记录	55
6.3 变水头渗透试验	56
6.3.1 仪器设备	56
6.3.2 操作步骤	56
6.3.3 成果整理	57
6.3.4 试验记录	58
6.4 测定实例	59
6.4.1 常水头试验测定实例	59

6.4.2 变水头试验测定实例	59
第7章 固结试验	60
7.1 概述	60
7.1.1 土的压缩性指标	60
7.1.2 前期固结压力	62
7.1.3 固结理论	63
7.2 标准固结试验	64
7.2.1 仪器设备	64
7.2.2 操作步骤	64
7.2.3 成果整理	65
7.2.4 注意事项	67
7.3 快速固结试验	68
7.3.1 操作步骤和成果整理	68
7.3.2 试验记录	68
7.4 实际应用	69
7.4.1 地基的沉降计算	69
7.4.2 实例	70
第8章 抗剪强度试验	73
8.1 概述	73
8.1.1 土的剪切破坏与库仑定律	73
8.1.2 抗剪强度试验方法	74
8.2 直接剪切试验	75
8.2.1 概述	75
8.2.2 仪器设备	75
8.2.3 操作步骤	76
8.2.4 成果整理	77
8.2.5 试验记录	77
8.3 无侧限抗压强度试验	78
8.3.1 概述	78
8.3.2 仪器设备	79
8.3.3 操作步骤	79
8.3.4 成果整理	80
8.4 三轴压缩试验	81
8.4.1 试验原理	81
8.4.2 仪器设备	82
8.4.3 试样制备和饱和	82
8.4.4 不固结不排水试验	84

8.4.5 固结不排水试验	87
8.4.6 固结排水试验	90
8.5 实际应用	91
8.5.1 剪切试验设计和操作方面的注意事项	91
8.5.2 各种试验方法在实际中的适用性	91
8.5.3 抗剪强度试验测试实例	92
第9章 土力学综合性试验	98
9.1 概述	98
9.1.1 土力学综合性试验的目的	98
9.1.2 土力学综合性试验项目设置要求	98
9.1.3 土力学综合性试验课开设的方式	98
9.2 土力学综合性试验的计划	99
9.2.1 土力学综合性试验项目的设计	99
9.2.2 规范对室内土工试验的规定	99
9.3 土力学综合性试验项目的实施	100
9.3.1 试验实施的基本步骤	100
9.3.2 试验资料的整理与试验报告	101
9.4 土力学综合性试验项目设置	103
9.5 附录	103
参考文献	109

第 1 章 土力学试验基础知识

1.1 土力学试验的任务与意义

在土木工程中,天然土层常被作为各种建筑物的基础,如在土层上建造房屋、桥梁、涵洞、堤坝等;或利用土作为构筑物周围的环境,如在土层中修筑地下建筑、地下管道、渠道、隧道等;还可利用土作为土工建筑物的材料,如修筑土堤、土坝等。因此,土是土木工程中应用最广泛的一种建筑材料或介质。

土力学是将土作为建筑物的地基、材料或介质来研究的一门学科,主要研究土的工程性质以及土在荷载作用下的应力、变形和强度问题。

土力学试验是土力学的基本内容之一。它的任务是对土的工程性质进行测试,获得土的物理性指标(如密度、含水率、土粒比重等)和力学性指标(如压缩模量、抗剪强度指标等),从而为工程设计和施工提供可靠的参数。它是正确评价工程地质条件不可缺少的前提和依据。

土是由岩石经历物理、化学、生物风化作用以及剥蚀、搬运、沉积作用,在交错复杂的自然环境中所生成的各类沉积物。因此,土的类型及其物理、力学性状是千差万别的,但在同一地质年代和相似沉积条件下,又有其相近性状的规律性。只有对具体土样的试验,才能揭示不同类型、不同产地、不同状态土的不同的力学性质。

土是由土粒(固相)、土中水(液相)和土中气(气相)所组成的三相物质。土体具有与一般连续固体材料(如钢、木、混凝土及砌体等建筑材料)不同的孔隙特性,它不是刚性的多孔介质,而是大变形的孔隙性物质,在孔隙中水的流动显示土的透水性(渗透性);土孔隙体积的变化显示土的压缩性、胀缩性;在孔隙中土粒的错位显示土内摩擦和黏聚的抗剪强度特性。土的密度、孔隙率、含水率是影响土的力学性质的重要因素。土粒大小悬殊甚大,有大于 60mm 粒径的巨粒粒组,有小于 0.075mm 粒径的细粒粒组,介于 0.075~60mm 的粒径为粗粒粒组。只有通过试验才能揭示土作为一种碎散多相地质材料的一般和特有的力学性质。

从土力学的发展历史及过程来看,从某种意义上也可以说土力学是土的实验力学,如库仑(Coulomb)定律、达西(Darcy)定律,无一不是通过对土的各种试验而建立起来的。因此,土力学试验在土力学的发展过程中占有相当重要的地位。

1.2 土力学试验项目

土力学试验项目大致可以分为土的物理性质试验和土的力学性质试验。土的物理性质试验,包括土的含水率试验、密度试验、比重试验、颗粒分析试验、界限含水率试验(液限、塑限和缩限试验)、相对密度试验(最小干密度试验和最大干密度试验)等。土的力学性质试验,包括土的渗透试验、土的固结试验、抗剪强度试验、击实试验等。

与应用型本科土木工程专业《土力学》教材配套,把《土力学》教材中涉及的室内土工试验项目汇总,见表 1.1,称为土力学试验项目。应用型本科土木工程专业各专业方向,可根据专业方向的教学要求和学校的具体情况,从试验项目汇总表中挑选若干项进行组合。通过试验,探讨土体物理力学特性的基本规律,判别土的工程性质,对土进行工程分类,并能够将土体物理力学指标在工程中加以应用。

表 1.1 土力学试验项目汇总表

序号	试验项目	试验目的	主要内容	能力培养	建议学时
1	工程土样的观察判别试验	土的判别分类色,气味,组织,结构颗粒的性质,可塑状态。	1. 土样的准备 2. 砂类土的判别 3. 粉土与黏土的判别	了解土样的采集和管理;学会土的简易判别分类	1.0
2	密度试验(环刀法)	测定土的湿密度,了解土的疏密和干湿状态	1. 测定土质量 2. 整理测定结果,求出土的密度	掌握环刀法测定土的密度;运用密度换算其他物理性质指标	0.5
3	比重试验(比重瓶法)	测定土的比重,为计算土的孔隙比、饱和度以及土的其他物理力学试验提供必需的数据	1. 测定土的比重 2. 整理分析	学会采用比重瓶法测定土粒比重	2
4	含水率试验(烘干法)	测定土的含水率,了解土的含水情况;土的基本性质的计算	1. 测出水重、干土重 2. 整理测定结果,求出土的含水率	掌握烘干法测定土的含水率;学会运用含水率换算其他物理性质指标	0.5(与界限含水率试验一起进行)
5	界限含水率试验(液、塑限联合测定法)	掌握黏性土的稠度状态、液限和塑限的概念,了解黏性土状态的划分	1. 测定土的液限、塑限 2. 分析测定结果,得出土的液限、塑限 3. 定土名、判别土的状态	掌握液、塑限联合测定法;培养分析黏性土的性质和状态的能力	1.5

续表

序号	试验项目	试验目的	主要内容	能力培养	建议学时
6 (选一种)	颗粒分析试验(筛分法)	测定小于某粒径的颗粒占土总质量的百分数,以便了解砂类土组成情况,供砂类土的分类、判断土的工程性质及建材选料之用	1. 测定土的颗粒级配 2. 判断土的颗粒级配,定土名	培养对试验结果的计算、绘图描述能力;以土的级配为核心,结合实际工程分析问题的能力	2
	颗粒分析试验(密度计法)	测定小于某粒径的颗粒占土总质量的百分数,以便了解土粒的大小分配情况,并作为粉性土和黏性土分类的依据	1. 测定土的颗粒级配 2. 整理分析测定结果	掌握土的颗粒分析方法,懂得粉性土和黏性土的分类,掌握粒径分布曲线的绘制	2
7	击实试验(黏性土)	在击实方法下测定土的最大干密度和最优含水率,是控制路堤、土坝和填土地基等密实度的重要指标。	1. 对不同含水率的土进行击实 2. 测定土的干密度、含水量 3. 整理分析测定结果,得出土的最大干密度和最优含水率	掌握土的击实特性,领会土的含水率、击实功对土的压实性的影响。路基及填方施工方法的确定,施工管理	1.5
8 (选一种)	砂土渗透试验	测定无黏性土的渗透系数 k ,以便了解土的渗透性能大小,用于土的渗透计算、基坑围护设计、土坝土堤选料参考	1. 测定砂土的渗透系数 2. 整理分析测定结果、计算渗透系数	理解达西定律,掌握确定渗透系数的试验方法。理解流砂现象的产生条件	1.5
	黏性土渗透试验	测定黏性土的渗透系数 k ,以便了解土层渗透性的强弱,作为选择坝体填土料的依据。用于基坑围护设计	1. 测定黏性土的渗透系数 2. 整理分析测定结果	理解达西定律,掌握确定黏性土渗透系数的试验方法	2
9	固结试验(快速法)	测定土样在侧限条件下的压缩变形和荷载的关系,用于土的变形计算	1. 测定土的压缩性 2. 整理分析测定结果,计算土的压缩性指标	熟悉土的压缩性指标测定方法,培养学生分析归纳的能力。掌握黏性土变形的计算,了解黏性土变形速率的计算	2
10	直接剪切试验(快剪法)	测定土的抗剪强度,根据库仑定律确定土的抗剪强度参数(内摩擦角和黏聚力)	1. 测定土在不同荷载下的抗剪强度 2. 整理分析测定结果、求出土的内摩擦角和黏聚力	理解库仑定律,掌握直接剪切试验方法。为基础、土坡、挡土墙等稳定性计算提供参数	2

续表					
序号	试验项目	试验目的	主要内容	能力培养	建议学时
11 (选一种)	无侧限抗压强度试验	测定饱和软黏土的无侧限抗压强度及灵敏度	1. 测定原状土和重塑土的无侧限抗压强度 2. 整理分析测定结果	了解无侧限抗压强度试验只是三轴压缩试验的一个特例,增强学生的动手能力,培养学生对试验结果的分析归纳能力	1
	三轴压缩试验(演示)	测定土的抗剪强度,用于边坡稳定、地基承载力等计算	在不同结不排水条件下,三轴压缩试验的剪切过程	了解三轴压缩试验方法;理解在不同工程条件下,三种排水强度指标的选用方法	2
12	土力学综合性试验	结合工程实际,模拟工程土样,进行土的强度、固结、渗透、击实等土力学综合性试验,为设计施工提供可靠依据	1. 现场调查,取样鉴别 2. 制定试验计划 3. 组织实施 4. 试验资料的整理 5. 报告总结	培养学生运用已学到的知识独立分析、解决工程实际问题的能力,创新能力以及组织、管理能力	见 9.1 节

1.3 土样采集

为研究地基土的工程性质,需要从建筑场地中采集原状土样,送到实验室进行土的各项物理力学性试验。要保证试验数据的可靠性,关键一环是试验的土样保持原状结构、密度与含水率。为取到高质量的不扰动土,要采用一套正确的取土技术,包括钻进方法、取土方法、包装和保存。

1.3.1 影响取土质量的因素

取土的质量对岩土工程性质的评价的可靠性起着关键作用。取土质量无保证,则取土数量和试验的数量再多,试验仪器再好,试验方法再严格,也无法使试验结果正确反映实际。影响取土质量的因素,见表 1.2。

表 1.2 影响取土质量的因素

因素	说明
应力变化	1. 钻探操作工艺、钻头扰力,泥浆压力,孔内外水位差 2. 从取土器中推出土样,围压卸除,溶于水中的气体以气泡形式释出
取土技术	1. 取土器的结构和几何参数(如长径比、面积比、内间隙比等) 2. 取土方式(压入、打入等)
其他	1. 运输过程的振动、失水等 2. 储存过程的物理、化学变化(温度、化学、生物作用) 3. 制备土样时的切削扰动

表 1.2 所列的因素,有些是可以控制的,如取土器的几何参数、取土方式等;有些因素是