



高等学校土木建筑工程类系列教材

岩土力学实验 (第二版)

■ 侍 倩 曾亚武 编著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

岩土力学实验 (第二版)

■ 侍 倩 曾亚武 编著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

岩土力学实验/侍倩,曾亚武编著.—2版.—武汉:武汉大学出版社, 2010.10

高等学校土木建筑工程类系列教材

ISBN 978-7-307-08157-4

I. 岩… II. ①侍… ②曾… III. 岩土力学—实验—高等学校—教材
IV. TU44-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 170961 号

责任编辑:李汉保

责任校对:程小宜

版式设计:支 笛

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:cbs22@whu.edu.cn 网址:www.wdp.com.cn)

印刷:武汉中远印务有限公司

开本:787×1092 1/16 印张:17.25 字数:412千字 插页:1

版次:2006年6月第1版 2010年10月第2版

2010年10月第2版第1次印刷

ISBN 978-7-307-08157-4/TU·92

定价:28.00元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

高等学校土木建筑工程类系列教材

编 委 会

- | | | |
|-------|-----------|------------------------------|
| 主 任 | 何亚伯 | 武汉大学土木建筑工程学院, 教授、博士生导师, 副院长 |
| 副 主 任 | 吴贤国 | 华中科技大学土木工程与力学学院, 教授、博士生导师 |
| | 吴 瑾 | 南京航空航天大学土木系, 教授, 副系主任 |
| | 夏广政 | 湖北工业大学土木建筑工程学院, 教授 |
| | 陆小华 | 汕头大学工学院, 副教授, 副处长 |
| 编 委 | (按姓氏笔画为序) | |
| | 王海霞 | 南通大学建筑工程学院, 讲师 |
| | 刘红梅 | 南通大学建筑工程学院, 副教授, 副院长 |
| | 宋军伟 | 江西蓝天学院土木建筑工程系, 副教授, 系主任 |
| | 杜国锋 | 长江大学城市建设学院, 副教授, 副院长 |
| | 肖胜文 | 江西理工大学建筑工程系, 副教授 |
| | 徐思东 | 江西理工大学建筑工程系, 讲师 |
| | 欧阳小琴 | 江西农业大学工学院土木系, 讲师, 系主任 |
| | 张海涛 | 江汉大学建筑工程学院, 讲师 |
| | 张国栋 | 三峡大学土木建筑工程学院, 副教授 |
| | 陈友华 | 孝感学院教务处, 讲师 |
| | 姚金星 | 长江大学城市建设学院, 副教授 |
| | 梅国雄 | 南昌航空大学土木建筑学院, 教授, 院长 |
| | 程赫明 | 昆明理工大学土木建筑工程学院, 教授, 院长 |
| | 曾芳金 | 江西理工大学建筑与测绘学院土木工程教研室, 教授, 主任 |
| 执行编委 | 李汉保 | 武汉大学出版社, 副编审 |
| | 谢文涛 | 武汉大学出版社, 编辑 |

内 容 简 介

土力学与岩石力学实验是土力学、基础工程、岩石力学等课程的重要组成部分。为满足实验教学的要求,本教材系统地介绍了各种土力学、岩石力学室内试验的原理、仪器设备、试验方法及步骤、成果整理和分析等。

全书共分两篇17章。第一篇包括12章,为土力学试验,分别介绍了土力学试验试样的制备与饱和、密度试验、含水率试验、土粒比重试验、界限含水率试验、击实试验、渗透试验、固结试验、抗剪强度试验、土体动力性质试验等。第二篇包括5章,为岩石力学试验,分别介绍了岩石力学试验的试样制备、测量以及烘干和饱和的方法、岩石物理性质试验、力学性质试验和水理性质试验以及岩石声波测试试验和岩石断裂韧度测试试验等。

本教材主要作为大专院校土木建筑工程、水利水电工程、交通工程、矿业工程、岩土工程等有关专业土力学、基础工程和岩石力学的实验教学用书,也可以作为从事岩土工程勘察、土力学与岩石力学试验的生产、教学和科技人员的参考书。

序

建筑业是国民经济的支柱产业,就业容量大,产业关联度高,全社会 50% 以上固定资产投资要通过建筑业才能形成新的生产能力或使用价值,建筑业增加值占国内生产总值较高比率。土木建筑工程专业人才的培养质量直接影响建筑业的可持续发展,乃至影响国民经济的发展。高等学校是培养高新科学技术人才的摇篮,同时也是培养土木建筑工程专业高级人才的重要基地,土木建筑工程类教材建设始终应是一项不容忽视的重要工作。

为了提高高等学校土木建筑工程类课程教材建设水平,由武汉大学土木建筑工程学院与武汉大学出版社联合倡议、策划,组建高等学校土木建筑工程类课程系列教材编委会,在一定范围内,联合多所高校合作编写土木建筑工程类课程系列教材,为高等学校从事土木建筑工程类教学和科研的教师,特别是长期从事土木建筑工程类教学且具有丰富教学经验的广大教师搭建一个交流和编写土木建筑工程类教材的平台。通过该平台,联合编写教材,交流教学经验,确保教材的编写质量,同时提高教材的编写与出版速度,有利于教材的不断更新,极力打造精品教材。

本着上述指导思想,我们组织编撰出版了这套高等学校土木建筑工程类课程系列教材,旨在提高高等学校土木建筑工程类课程的教育质量和教材建设水平。

参加高等学校土木建筑工程类系列教材编委会的高校有:武汉大学、华中科技大学、南京航空航天大学、南昌航空大学、湖北工业大学、汕头大学、南通大学、江汉大学、三峡大学、孝感学院、长江大学、昆明理工大学、江西理工大学、江西农业大学、江西蓝天学院 15 所院校。

高等学校土木建筑工程类系列教材涵盖土木工程专业的力学、建筑、结构、施工组织与管理等教学领域。本系列教材的定位,编委会全体成员在充分讨论、商榷的基础上,一致认为在遵循高等学校土木建筑工程类人才培养规律,满足土木建筑工程类人才培养方案的前提下,突出以实用为主,切实达到培养和提高学生的实际工作目标。本教材编委会明确了近 30 门专业主干课程作为今后一个时期的编撰,出版工作计划。我们深切期望这套系列教材能对我国土木建筑事业的发展 and 人才培养有所贡献。

武汉大学出版社是中共中央宣传部与国家新闻出版署联合授予的全国优秀出版社之一,在国内有较高的知名度和社会影响力。武汉大学出版社愿尽其所能为国内高校的教学与科研服务。我们愿与各位朋友真诚合作,力争使该系列教材打造成为国内同类教材中的精品教材,为高等教育的发展贡献力量!

高等学校土木建筑工程类系列教材编委会

2008 年 8 月

序

力学课程是高校工科专业的重要技术基础课,而实验力学课程是其重要的组成部分。任何科学技术的发展,都伴随着科学实验而共同存在。未经过实验或实践检验的理论,有可能是不正确的理论。世界上的重大科技发明、创造,大多是大量科学实验的结果。

以力学实验而言,其重要性更为直接。设计一个构成或结构,必须考虑其强度、刚度、稳定性,动态结构还需研究其动力特性,以求得在安全条件下的最大经济效益。为此,已经形成了理论力学、材料力学、结构力学、岩土力学、断裂力学、弹塑性力学等一系列理论及相应计算方法,这些学科在解决实际问题中起着重要的作用。但是这些学科的基本理论,许多是建立在若干简化的假定上的,都来自大量实验资料的归纳和总结;而判断理论及计算结果的正确与否,也需要实验或实践来检验。

虽然如今科学计算已经与理论分析和实验技术相并列,成为第三种科学方法,并被提到一个重要的高度。但是力学实验技术无论是作为认识和检验真理的最终的标准,还是作为直接解决实际工程中的力学问题的重要手段,仍然有着不可替代的地位。

对于已经有了数学模型的力学问题,从理论上讲可以用分析手段求解,但实际上除了个别简单问题外,大多数是难以求得理论解的。随着计算机技术的发展,使用科学计算方法,如有限元法、边界元法等方法能解决大量以前无法用理论分析方法解决的问题,但是数值计算方法仍然来自于理论模型,仍然是在理论模型的基本假定下进行数值计算的。对于新型或复杂的结构形式、采用新材料的结构以及复杂工作条件下的力学问题,理论分析和数值计算所引入的假设和简化的合理性还未得到证实之前,往往首先需要用实验的结果进行校核和验证。

广义地讲,若把科学计算和数值仿真视为一种数值实验,实验力学的范围也可以涵盖数值计算技术。实际上实验力学已经与计算机技术和现代测试技术日益紧密结合,使实验力学有了很大的发展。这个发展体现在两个方面,其一是应用计算机技术对实验数据进行采集和处理;其二是实验方法和数值计算方法相结合而产生的实验和数值分析杂交技术,该技术综合了两者的优势,在减少实验工作量和计算机时的同时,还提高了实验成果的精度和可靠度,这已经成为现代实验力学的基本概念。

基于对实验力学以上的认识,我们组织编写了这套实验力学教材,力图在让学生学到基本实验技能的同时,也拓宽他们的视野,并认识到实验力学新发展的前景。

在本系列教材中,实验内容的选取、实验方法和设备的介绍与阐述,既与力学的理论教学相呼应,尽可能达到力学课程的基本要求,又具有一定的独立性,并尽量体现教学改革和创新思维的成果。

我们相信,通过对本系列教材的学习和实践,可以使学生掌握力学实验的基本知识、基本技能和基本方法,同时也可以对他们的创新能力、实践能力进行一定的培养,从而对养成

学生的科学习惯、提高其科学素质起到重要作用。

参加编写本系列教材的教师为：

《材料力学实验》：朱铨庆，彭华，林树，曹定胜，乐运国，陈士纯；

《结构力学实验》：刘礼华，欧珠光；

《动力学实验》：刘礼华，欧珠光；

《岩土力学实验》：侍倩，曾亚武。

本系列教材所述内容的形成和不断完善是这些老师多年教学实践的积累，字里行间闪现着老师们辛勤的汗水与智慧。同时得到各位同事、同学和校内外同行的启发和帮助，武汉大学教务部和武汉大学土木建筑工程学院的领导也给予了很大的支持，特向他们表示敬意。谨此为序。

朱以文

2006年3月

前 言

土力学、基础工程和岩石力学是土木工程、水利水电工程、交通工程、矿业工程、岩土工程等众多学科的专业基础课,而土力学与岩石力学试验是这些课程的重要组成部分,是土力学与岩石力学发展的基础,因此,对学生进行土力学和岩石力学试验技能培训具有十分重要的意义。

岩和土是一种古老而又普通的建筑材料,是各种建筑物的天然地基或赋存介质。这些建筑物是否安全可靠、经济合理,大部分取决于岩、土的工程性质。要科学合理地确定岩、土的工程性质,离不开岩土力学试验。岩、土是地质作用的产物,其矿物组成、形成过程以及工程特性十分复杂,其力学特征与其所处的应力状态、应力历史以及加载速率等密切相关。在进行各类工程建设之前,必须对工程项目所在场地的岩、土进行试验研究,以充分了解和掌握工程现场岩、土的各种物理力学性质,从而为工程设计和施工提供必要的依据。因此,岩土力学试验是各种工程建设必须首先进行的工作。

本教材是土力学、基础工程和岩石力学课程的补充教材,它既是独立的教材,又与土力学、基础工程和岩石力学的内容密切相关,是作者根据“土木工程”、“水利水电工程”、“工程力学”等专业相关课程的教学内容,结合多年教学经验所编写的。在编写过程中,力求做到以下几点:

1. 本教材主要作为本、专科生的实验教学教材,坚持精简原则,以介绍最基本的试验及最基本的内容为主,适当介绍一些具有提高性、综合性的试验,尽量减小篇幅,并且尝试将土力学试验与岩石力学试验内容合并出版,便于读者使用。

2. 土力学与岩石力学试验涉及土木工程、水利水电工程、交通工程、矿业工程、岩土工程等众多学科专业,各学科专业基本上具有各自的试验规程或规范,这些规程或规范虽大部分在试验内容和规定方面是一致的,但多少都带有一些行业特点,因此,本教材尽量参照国家试验标准来编写,便于各专业学生和各行业人员使用。个别试验尚未有国家标准的,则参照行业规程编写。

3. 土力学和岩石力学是应用性很强的学科,在选取本教材编写内容时,尽量结合工程实际需要来确定,使学生经过本教材中基本试验技能的培训,能够满足将来从事岩土工程实践活动的需要。

4. 我国改革开放以来,随着大规模现代化建设的需要以及国际上科学的发展和技术的进步,岩、土力学试验领域取得了许多新的成就,涌现出许多新概念、新方法、新技术,本教材力图把握学科发展的方向,反映成熟的成果与观点,并且把理论和实践相结合的理念贯穿于全书之中。

本教材共分两篇。第一篇为土力学试验,由侍倩编写,内容包括十二章,分别介绍了土力学试验试样的制备和饱和、密度试验、含水率试验、土粒比重试验、界限含水率试验、击实

试验、渗透试验、固结试验、抗剪强度试验、土体动力性质试验等。第二篇为岩石力学试验,由曾亚武编写,内容包括五章,分别介绍了岩石试样的制备、岩石的物理性质试验、力学性质试验和水理性质试验以及岩石声波测试试验和岩石断裂韧性测试试验等内容。各相关专业可以根据实际需求及教学计划安排选择其中部分试验项目开展实验教学,同时也可以供从事岩土工程勘察、土力学与岩石力学试验的生产、教学和科技人员参考。

本教材在编写过程中,承蒙傅旭东教授认真审阅,并提出了许多宝贵的修改意见,同时得到了武汉大学及武汉大学土木建筑工程学院的大力支持,在此表示衷心的感谢。限于作者水平,书中定有不妥甚至错误之处,敬请读者批评指正。

作 者

2006 年 3 月于武汉大学

目 录

第一篇 土力学实验

第 1 章 绪论	3
§ 1.1 土工实验在岩土工程中的位置和作用	3
§ 1.2 土工实验项目	4
§ 1.3 正确看待室内实验成果	5
§ 1.4 土是一种特殊的材料	6
第 2 章 术语、符号	7
§ 2.1 术语	7
§ 2.2 符号	7
第 3 章 试样制备与饱和	9
§ 3.1 试样制备	9
§ 3.2 试样饱和	11
第 4 章 密度试验	14
§ 4.1 环刀法	14
§ 4.2 蜡封法	15
§ 4.3 相对密度试验	16
§ 4.4 实际应用	18
思考题	19
第 5 章 含水率试验	20
§ 5.1 适用范围	20
§ 5.2 仪器设备	20
§ 5.3 试验步骤	20
§ 5.4 试样含水率计算	21
§ 5.5 含水率测定中可能的误差	21
§ 5.6 含水率的实际应用	21

思考题	22
第 6 章 土粒比重试验	23
§ 6.1 基本关系	23
§ 6.2 比重瓶法	25
§ 6.3 浮称法	26
§ 6.4 土颗粒的平均比重	27
§ 6.5 试验误差	28
§ 6.6 比重值的应用	29
思考题	30
第 7 章 界限含水率试验	31
§ 7.1 概述	31
§ 7.2 土水系统的性状	32
§ 7.3 试验方法	35
§ 7.4 ω_L 和 ω_p 标准的选定	42
§ 7.5 试验中几个问题的说明	44
§ 7.6 试验成果的应用	46
思考题	51
第 8 章 击实试验	52
§ 8.1 概述	52
§ 8.2 压实理论	53
§ 8.3 击实试验方法	61
§ 8.4 击实试验的影响因素	65
§ 8.5 各种类型土的击实特性	73
§ 8.6 击实土的工程性质	74
§ 8.7 击实试验在工程实践中的应用	75
思考题	77
第 9 章 渗透试验	78
§ 9.1 概述	78
§ 9.2 渗流类型	79
§ 9.3 达西定律	80
§ 9.4 饱和土的渗透试验	87
§ 9.5 影响土的渗透性的因素	98
§ 9.6 试验中的注意事项	102
§ 9.7 渗透系数的应用	103
思考题	104

第 10 章 固结试验	105
§ 10.1 概述	105
§ 10.2 固结变形机理	106
§ 10.3 固结试验方法	109
§ 10.4 固结试验中的影响因素	123
§ 10.5 二维、三维渗流固结课题	124
§ 10.6 比奥固结理论	126
§ 10.7 土的流变	128
§ 10.8 动力固结	129
思考题	131
第 11 章 土的抗剪强度试验	132
§ 11.1 概述	132
§ 11.2 粘性土的强度特征	134
§ 11.3 砂土的强度特征	137
§ 11.4 莫尔—库仑破坏理论	139
§ 11.5 抗剪强度试验方法	145
§ 11.6 土在剪切过程中的性状	154
§ 11.7 孔隙压力系数	161
§ 11.8 影响抗剪强度的因素	164
§ 11.9 土体强度的特殊试验	166
§ 11.10 抗剪强度参数的实际应用	168
思考题	169
第 12 章 土的动力性质试验	170
§ 12.1 动三轴试验	171
§ 12.2 共振柱试验	181

第二篇 岩石力学实验

第 13 章 岩石室内实验试样制备	187
§ 13.1 概述	187
§ 13.2 试样制备	188
§ 13.3 试样量测	189
§ 13.4 试样烘干与饱和	190
第 14 章 岩石物理性质实验	192
§ 14.1 概述	192
§ 14.2 含水率实验	192

§ 14.3	颗粒密度实验	194
§ 14.4	块体密度实验	198
第 15 章	岩石力学性质实验	204
§ 15.1	单轴压缩强度和变形实验	204
§ 15.2	三轴压缩强度和变形实验	212
§ 15.3	抗拉强度实验	216
§ 15.4	直剪强度实验	218
§ 15.5	点荷载强度实验	222
第 16 章	岩石水理性质实验	228
§ 16.1	吸水性实验	228
§ 16.2	渗透性实验	230
§ 16.3	膨胀性实验	233
§ 16.4	耐崩解性实验	238
§ 16.5	冻融实验	240
第 17 章	岩石其他实验	243
§ 17.1	岩石声波测试实验	243
§ 17.2	岩石断裂韧度测试实验	245
附录	各项实验记录	249
参考文献		259

第一篇 土力学实验

土是地壳表层母岩经受强烈风化(包括物理的、化学的和生物的风化作用)的产物,是各种矿物颗粒(土粒)的集合体。颗粒之间的联结强度远比颗粒本身强度小,甚至没有联结。在一般情况下,土颗粒之间有大量孔隙,而孔隙中通常有水和空气。因此,土与其他连续固体介质相区别的最主要特征,就是土的多孔性和散体性。

土在地壳表面上分布极广,土与各种工程建筑的关系十分密切。特别在水工建设中,土更是被广泛地利用。如在土层上修建堤坝、涵闸、渡槽、桥梁、码头等建筑物时,土就被用作作为地基(称基土);如修筑土质堤坝、路基和其他土工建筑物时,土就被用作为建筑材料(称土料);此外,如修建运河、渠道、隧洞、地下厂房以及地下管道等,则常会遇到将土用作为建筑物周围的介质或护层的情况。土的性质对于工程建筑的质量、性状,具有直接而又重大的影响。因此,对土的研究直接关系到工程的经济合理和安全使用问题。

土力学是利用力学的知识和土工试验技术来研究土的强度和变形及其规律的一门科学。一般认为,土力学是力学的一个分支,但由于土力学的研究对象——土,是以矿物颗粒组成骨架的松散颗粒集合体,其力学性质与一般刚性或弹性固体,以及流体等都有所不同。因此,一般连续体力学的规律,在土力学中应结合土的特殊情况作具体应用。此外,还要用专门的土工试验技术来研究土的物理化学特性,以及土的强度、变形和渗透等特殊的力学性质。

第1章 绪 论

§ 1.1 土工实验在岩土工程中的位置和作用

土是一种古老而又普通的建筑材料,并作为建筑物的天然地基和介质,如水坝、铁路、港口、码头等工程及工厂和民用建筑物的兴建是否经济、合理,大部分取决于土的工程性质。要成功地解决一个岩土工程问题,科学的程序是:勘探与测试,实验与分析,利用土力学的理论设计计算、施工,并对施工过程中及使用时期进行监测,用监测数据反过来再次指导设计计算。这是一个将实验和理论与实际现象相互联系的过程。因此,土工实验是岩土工程规划和设计的前期工作。

就土力学的发展来说,从某种意义上也可以看做是土的实验力学,如库仑强度理论、达西定律、普克特的压实理论以及描述土的应力—应变关系的双曲线模型等,无一不是通过实验(包括物理模型)而建立的。并且,在实验的基础上,应用或结合相邻学科,如弹性力学、塑性力学、流体力学、工程地质学等学科理论发展而形成为一门应用型学科。因此,土工实验又为土力学理论的发展提供了依据。即使在大型电子计算机问世和计算技术高度发达之后,在可以把土的复杂的弹塑性应力—应变关系纳入到岩土工程的变形与稳定计算中去的今天,从事岩土工程的专家和学者们都认为,测定土的工程性质的技术(包括现场勘察、室内实验和原型现测)是一项关键技术。由此看来,土工实验无论对岩土工程,还是对土力学的发展均占有相当重要的地位。

从事土工测试工作有经验的人们都知道,土是大自然的产物,不同于钢材、混凝土、合成塑料等人工材料,其性质受到密度、湿度、粒度以及孔隙水中化学成分等多种因素的影响;当土体与建筑物共同作用时,其力学性状又因受力状态、应力历史、加载速率和排水条件不同而变得更加复杂。就我们现在所掌握的知识和测试手段,要将多因素影响的土的性状正确地模拟是不可能的。因此,只能把握主要因素予以理想化,并以此建立实验原理。

根据实验原理,在设计实验方法时,例如,测定土的剪切、压缩性状时,所预想的土的性状也是多种多样的。要进行适合全部性状的土工实验,在通常的技术条件下是有困难的,或者经济方面不合算。因此,为了简便或便于进行实验资料的比较,应将实验方法统一化、标准化。这样,作为设计计算依据的土的力学参数,是在高度简化条件下测定的。对这种情况,实验人员,特别是使用实验数据进行设计的人员都是要深刻了解的。

综合上述,正确地认识土工实验的作用及其局限性是非常重要的。同时也说明,土工实验成果因实验方法和实验技巧的熟练程度不同,会有较大差别,这种差别远大于计算方法引起的误差,为了使土工实验比较正确地反映实际土的性状,要求实验人员必须了解和掌握以下五个方面的情况: