



21世纪全国本科院校土木建筑类**创新型**应用人才培养规划教材

土工试验原理与操作

主 编 高向阳

提供电子课件

- 融合综合性试验、设计性试验和创新性试验
- 对学生进行科研试验方法的指导和初步训练



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国本科院校土木建筑类创新型应用人才培养规划教材

土工试验原理与操作

高向阳 主 编



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书根据土木类各专业教学培养计划的要求编写,书中融合基础性试验、综合设计性试验和创新性试验,包括土的密度、颗粒组成、含水量、土粒比重、粘性土液限塑限、土体相对密度等物理性质试验,以及土的击实、渗透、固结压缩、直接剪切、三轴剪切、无侧限抗压强度等力学性能试验。同时,本书还讲述了综合设计性试验与创新性试验的设计思路、实施方法和管理要求等。

本书将土工试验分为三个阶段进行综合细致的阐述。试验准备阶段,包括技能要求、各种土样的制备方法、仪器设备及辅助工具的性能和使用方法;试验阶段,包括试验目的、试验原理、试验方法、仪器设备、操作步骤、记录与计算、注意事项和分析思考题等部分;试验资料处理阶段,包括对试验数据的整理、试验成果的分析、试验报告的编写等。

本书可作为高等院校本科土力学、土质学与土力学、土力学与地基基础等课程的试验指导书,也可供高等专科学校或参加自学考试的学生等选用,还可供工程技术人员参考或作为土工试验人员的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

土工试验原理与操作/高向阳主编. —北京:北京大学出版社, 2013. 8

(21 世纪全国本科院校土木建筑类创新型应用人才培养规划教材)

ISBN 978-7-301-23102-9

I. ①土… II. ①高… III. ①土工试验—高等学校—教材 IV. ①TU41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 203454 号

书 名: 土工试验原理与操作

著作责任者: 高向阳 主编

策 划 编 辑: 卢 东 吴 迪

责 任 编 辑: 伍大维

标 准 书 号: ISBN 978-7-301-23102-9/TU·0361

出 版 发 行: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> 新浪官方微博: @北京大学出版社

电 子 信 箱: pup_6@163.com

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

印 刷 者: 三河市博文印刷厂

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 13 印张 295 千字

2013 年 8 月第 1 版 2013 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 25.00 元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: 010-62752024 电子信箱: fd@pup.pku.edu.cn

前 言

本书是根据教育部颁布的专业目录和面向 21 世纪土木工程专业培养方案,并考虑培养创新型应用本科人才的特点和需要编写的。

土木工程中,怎样有效地开展土工试验,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,是工程项目建设成功与否的关键。

实践教学是培养创新精神和工作能力的重要渠道,试验教学是高校实践教学的关键环节。实践教学的质量和水平,在以培养高级应用型人才为目标的本科院校中,对人才培养的影响较之传统的普通本科院校更为突出。

由于教学过程中缺少适用的指导材料,这个重要的环节往往在实际教学中流于形式,难以达到教学要求。本书作为配合《土力学》和《土力学学习指导与考试精解》教材的土工试验教学用书,主要为学生实验室工作提供指导,为指导教师在试验教学中提供参考,也可以供土木工程生产中的试验技术人员参考。编者本着“易用、够用、操作性强”的原则编写本书,希望能有效推动教学应用型特征的实现。

本书根据实践教学的需要,充分考虑到应用型教学的特点,尽可能讲清基本概念、基本方法和工程应用,力求深入浅出,着重阐明试验的基本原理和基本方法。

在综合提高性试验项目的介绍中,主要考虑了土工试验在土木工程建设中实际应用的需要,同时兼顾了土力学教学内容系统性的要求,包括了综合性试验、设计性试验、创新性试验等。进行土力学综合性试验,目的是让学生接受科研试验方法的初步训练,真实地感受到土的物理性质的复杂性、土力学试验与测试技术在建筑工程实践中的重要性等,启发学生积极思维、勇于创新,培养专业型技术人员,为学生今后的工作打下坚实的基础。进行土力学综合性试验,可以为学生创造一定的科学研究环境及条件,让他们在解决某一试验问题的过程中进一步融会贯通所学的理论知识,学会有目的的自主学习的方法及科学的思维方式,培养其不断吸纳新知识和进行科学研究的能力。

本书在编排上注意使用方便、操作性强的要求,在每个试验前复习总结相关的概念,详细说明试验原理;试验中的操作步骤简明、易懂、实用、周密,不留疑点;试验后说明工程应用注意事项。这样能使学生对试验形成宏观概念,避免孤立机械地认识试验步骤。本书还提供了丰富的图片,以帮助学生进行感性预习。

本书在编写过程中参考了很多书籍资料,还吸纳了很多学者的研究成果,在此向相关作者表示深深的敬意和感谢!在本书的出版工作中,还得到了北京大学出版社的大力协助,在此表示衷心感谢!

由于编者的学识有限,能否达到预期的目标尚无把握,恳切希望广大读者和土木、教育界同仁对书中谬误之处予以指正。

编 者

2013 年 4 月

北京大学出版社土木建筑系列教材(已出版)

序号	书名	主编	定价	序号	书名	主编	定价
1	建筑设备(第2版)	刘源全 张国军	46.00	50	土木工程施工	石海均 马 哲	40.00
2	土木工程测量(第2版)	陈久强 刘文生	40.00	51	土木工程制图	张会平	34.00
3	土木工程材料(第2版)	柯国军	45.00	52	土木工程制图习题集	张会平	22.00
4	土木工程计算机绘图	袁 果 张渝生	28.00	53	土木工程材料(第2版)	王春阳	50.00
5	工程地质(第2版)	何培玲 张 婷	26.00	54	结构抗震设计	祝英杰	30.00
6	建设工程监理概论(第3版)	巩天真 张泽平	40.00	55	土木工程专业英语	霍俊芳 姜丽云	35.00
7	工程经济学(第2版)	冯为民 付晓灵	42.00	56	混凝土结构设计原理(第2版)	邵永健	52.00
8	工程项目管理(第2版)	仲景冰 王红兵	45.00	57	土木工程计量与计价	王翠琴 李春燕	35.00
9	工程造价管理	车春鹂 杜春艳	24.00	58	房地产开发与管理	刘 薇	38.00
10	工程招标投标管理(第2版)	刘昌明	30.00	59	土力学	高向阳	32.00
11	工程合同管理	方 俊 胡向真	23.00	60	建筑表现技法	冯 柯	42.00
12	建筑工程施工组织与管理(第2版)	余群舟 宋会莲	31.00	61	工程招投标与合同管理	吴 芳 冯 宁	39.00
13	建设法规(第2版)	肖 铭 潘安平	32.00	62	工程施工组织	周国恩	28.00
14	建设项目评估	王 华	35.00	63	建筑力学	邹建奇	34.00
15	工程量清单的编制与投标报价	刘富勤 陈德方	25.00	64	土力学学习指导与考题精解	高向阳	26.00
16	土木工程概预算与投标报价(第2版)	刘 薇 叶 良	37.00	65	建筑概论	钱 坤	28.00
17	室内装饰工程预算	陈祖建	30.00	66	岩石力学	高 玮	35.00
18	力学与结构	徐吉恩 唐小弟	42.00	67	交通工程学	李 杰 王 富	39.00
19	理论力学(第2版)	张俊彦 赵荣国	40.00	68	房地产策划	王直民	42.00
20	材料力学	金康宁 谢群丹	27.00	69	中国传统建筑构造	李合群	35.00
21	结构力学简明教程	张系斌	20.00	70	房地产开发	石海均 王 宏	34.00
22	流体力学	刘建军 章宝华	20.00	71	室内设计原理	冯 柯	28.00
23	弹性力学	薛 强	22.00	72	建筑结构优化及应用	朱杰江	30.00
24	工程力学	罗迎社 喻小明	30.00	73	高层与大跨建筑结构施工	王绍君	45.00
25	土力学	肖仁成 俞 晓	18.00	74	工程造价管理	周国恩	42.00
26	基础工程	王协群 章宝华	32.00	75	土建工程制图	张黎晔	29.00
27	有限单元法(第2版)	丁 科 殷水平	30.00	76	土建工程制图习题集	张黎晔	26.00
28	土木工程施工	邓寿昌 李晓目	42.00	77	材料力学	章宝华	36.00
29	房屋建筑学(第2版)	聂洪达 鄯恩田	48.00	78	土力学教程	孟祥波	30.00
30	混凝土结构设计原理	许成祥 何培玲	28.00	79	土力学	曹卫平	34.00
31	混凝土结构设计	彭 刚 蔡江勇	28.00	80	土木工程项目管理	郑文新	41.00
32	钢结构设计原理	石建军 姜 袁	32.00	81	工程力学	王明斌 庞永平	37.00
33	结构抗震设计	马成松 苏 原	25.00	82	建筑工程造价	郑文新	39.00
34	高层建筑施工	张厚先 陈德方	32.00	83	土力学(中英双语)	郎煜华	38.00
35	高层建筑结构设计	张仲先 王海波	23.00	84	土木建筑 CAD 实用教程	王文达	30.00
36	工程事故分析与工程安全(第2版)	谢征勋 罗 章	38.00	85	工程管理概论	郑文新 李献涛	26.00
37	砌体结构(第2版)	何培玲 尹维新	26.00	86	景观设计	陈玲玲	49.00
38	荷载与结构设计方法(第2版)	许成祥 何培玲	30.00	87	色彩景观基础教程	阮正仪	42.00
39	工程结构检测	周 洋 刘益虹	20.00	88	工程力学	杨云芳	42.00
40	土木工程课程设计指南	许 明 孟茁超	25.00	89	工程设计软件应用	孙香红	39.00
41	桥梁工程(第2版)	周先雁 王解军	37.00	90	城市轨道交通工程建设风险与保险	吴宏建 刘宽亮	75.00
42	房屋建筑学(上:民用建筑)	钱 坤 王若竹	32.00	91	混凝土结构设计原理	熊丹安	32.00
43	房屋建筑学(下:工业建筑)	钱 坤 吴 歌	26.00	92	城市详细规划原理与设计方法	姜 云	36.00
44	工程管理专业英语	王竹芳	24.00	93	工程经济学	都沁军	42.00
45	建筑结构 CAD 教程	崔钦淑	36.00	94	结构力学	边亚东	42.00
46	建设工程招投标与合同管理实务	崔东红	38.00	95	房地产估价	沈良峰	45.00
47	工程地质(第2版)	倪宏革 周建波	30.00	96	土木工程结构试验	叶成杰	39.00
48	工程经济学	张厚钧	36.00	97	土木工程概论	邓友生	34.00
49	工程财务管理	张学英	38.00	98	工程项目管理	邓铁军 杨亚频	48.00

序号	书名	主编	定价	序号	书名	主编	定价
99	误差理论与测量平差基础	胡圣武 肖本林	37.00	114	建筑工程安全管理与技术	高向阳	40.00
100	房地产估价理论与实务	李 龙	36.00	115	土木工程施工与管理	李华锋 徐 芸	65.00
101	混凝土结构设计	熊丹安	37.00	116	土木工程试验	王吉民	34.00
102	钢结构设计原理	胡习兵	30.00	117	土质学与土力学	刘红军	36.00
103	土木工程材料	赵志曼	39.00	118	建筑工程施工组织与概预算	钟吉湘	52.00
104	工程项目投资控制	曲 娜 陈顺良	32.00	119	房地产测量	魏德宏	28.00
105	建设项目评估	黄明知 尚华艳	38.00	120	土力学	贾彩虹	38.00
106	结构力学实用教程	常伏德	47.00	121	交通工程基础	王富	24.00
107	道路勘测设计	刘文生	43.00	122	房屋建筑学	宿晓萍 隋艳娥	43.00
108	大桥桥梁	王解军 周先雁	30.00	123	建筑工程计量与计价	张叶田	50.00
109	工程爆破	段宝福	42.00	124	工程力学	杨民献	50.00
110	地基处理	刘起霞	45.00	125	建筑工程管理专业英语	杨云会	36.00
111	水分析化学	宋吉娜	42.00	126	土木工程地质	陈文昭	32.00
112	基础工程	曹 云	43.00	127	暖通空调节能运行	余晓平	30.00
113	建筑结构抗震分析与设计	裴星洙	35.00	128	土工试验原理与操作	高向阳	25.00

相关教学资源如电子课件、电子教材、习题答案等可以登录 www.pup6.com 下载或在线阅读。

扑六知识网(www.pup6.com)有海量的相关教学资源和电子教材供阅读及下载(包括北京大学出版社第六事业部的相关资源),同时欢迎您将教学课件、视频、教案、素材、习题、试卷、辅导材料、课改成果、设计作品、论文等教学资源上传到 pup6.com, 与全国高校师生分享您的教学成就与经验,并可自由设定价格,知识也能创造财富。具体情况请登录网站查询。

如您需要免费纸质样书用于教学,欢迎登陆第六事业部门户网(www.pup6.com)填表申请,并欢迎在线登记选题以到北京大学出版社来出版您的大作,也可下载相关表格填写后发到我们的邮箱,我们将及时与您取得联系并做好全方位的服务。

扑六知识网将打造成全国最大的教育资源共享平台,欢迎您的加入——让知识有价值,让教学无界限,让学习更轻松。

联系方式: 010-62750667, donglu2004@163.com, linzhangbo@126.com, 欢迎来电来信咨询。

目 录

第 1 章 绪论	1	第 3 章 土的物理性质试验	52
1.1 土工试验的作用	1	3.1 密度试验	52
1.2 土工试验的项目	3	3.1.1 试验目的与原理	52
1.2.1 室内试验	3	3.1.2 试验方法和适用范围	52
1.2.2 现场原位测试	6	3.1.3 仪器设备构造和使用 方法	52
1.3 试验数据整理	7	3.1.4 试验操作步骤	54
1.3.1 测定值的误差	7	3.1.5 试验数据记录与成果 整理	55
1.3.2 综合指标的求法	11	3.1.6 试验注意事项	56
1.3.3 测定值的舍弃	13	3.1.7 分析思考题	56
1.3.4 均值间差异的判断	15	3.2 颗粒分析试验	56
第 2 章 土工试验准备	18	3.2.1 试验目的与原理	57
2.1 土工技能训练要求	18	3.2.2 试验方法和适用范围	57
2.1.1 训练要求	18	3.2.3 仪器设备构造和使用 方法	58
2.1.2 训练纪律	19	3.2.4 试验操作步骤	59
2.2 土样制备	19	3.2.5 试验数据记录与成果 整理	60
2.2.1 概述	19	3.2.6 试验注意事项	65
2.2.2 扰动土样制备	20	3.2.7 分析思考题	66
2.2.3 原状土试样制备	22	3.3 含水量试验	66
2.2.4 砂土的试件制备	23	3.3.1 试验目的与原理	66
2.2.5 试样饱和	23	3.3.2 试验方法和适用范围	67
2.3 常用试验仪器设备、辅助工具的 性能和使用	25	3.3.3 仪器设备构造和使用 方法	67
2.3.1 仪器设备	25	3.3.4 试验操作步骤	67
2.3.2 辅助工具	44	3.3.5 试验数据记录与成果 整理	68
2.4 土工试验试验成果的综合 分析	48	3.3.6 试验注意事项	68
2.4.1 土工试验成果综合分析的 必要性	48	3.3.7 分析思考题	69
2.4.2 土的物理性试验及试验 成果的分析	49	3.4 比重(土粒相对密度)试验	69
2.4.3 土的力学试验及试验 成果分析	50	3.4.1 试验目的与原理	69

3.4.2	试验方法和适用范围	69	4.2.1	试验目的与原理	91
3.4.3	仪器设备构造和使用 方法	70	4.2.2	试验方法和适用范围	92
3.4.4	试验操作步骤	70	4.2.3	仪器设备构造和使用 方法	92
3.4.5	试验数据记录与成果 整理	70	4.2.4	试验操作步骤	93
3.4.6	试验注意事项	71	4.2.5	试验数据记录与成果 整理	94
3.4.7	分析思考题	71	4.2.6	试验注意事项	96
3.5	液限塑限试验	71	4.2.7	分析思考题	97
3.5.1	试验目的与原理	72	4.3	固结试验	97
3.5.2	试验方法和适用范围	72	4.3.1	试验目的与原理	97
3.5.3	仪器设备构造和使用 方法	73	4.3.2	试验方法和适用范围	98
3.5.4	试验操作步骤	74	4.3.3	仪器设备构造和使用 方法	99
3.5.5	试验数据记录与成果 整理	76	4.3.4	试验操作步骤	100
3.5.6	试验注意事项	79	4.3.5	试验数据记录与成果 整理	102
3.5.7	分析思考题	79	4.3.6	试验注意事项	106
3.6	相对密度试验	80	4.3.7	分析思考题	106
3.6.1	试验目的与原理	80	4.4	直接剪切试验	107
3.6.2	试验方法和适用范围	80	4.4.1	试验目的与原理	107
3.6.3	仪器设备构造和使用 方法	81	4.4.2	试验方法和适用范围	108
3.6.4	试验操作步骤	82	4.4.3	仪器设备构造和使用 方法	109
3.6.5	试验数据记录与成果 整理	82	4.4.4	试验操作步骤	110
3.6.6	试验注意事项	83	4.4.5	试验数据记录与成果 整理	111
3.6.7	分析思考题	84	4.4.6	试验注意事项	113
第4章	土的力学性能试验	85	4.4.7	分析思考题	114
4.1	击实试验	85	4.5	三轴剪切试验	115
4.1.1	试验目的与原理	85	4.5.1	试验目的与原理	115
4.1.2	试验方法和适用范围	86	4.5.2	试验方法和适用范围	115
4.1.3	仪器设备构造和使用 方法	86	4.5.3	仪器设备构造和使用 方法	116
4.1.4	试验操作步骤	87	4.5.4	试验操作步骤	120
4.1.5	试验数据记录与成果 整理	88	4.5.5	试验数据记录与成果 整理	125
4.1.6	试验注意事项	90	4.5.6	试验注意事项	127
4.1.7	分析思考题	90	4.5.7	分析思考题	128
4.2	渗透试验	91	4.6	无侧限抗压强度试验	128
			4.6.1	试验目的与原理	128

4.6.2	试验方法和适用范围	128	5.2.1	试验项目要求	146
4.6.3	仪器设备构造和使用 方法	129	5.2.2	试验项目实施过程	148
4.6.4	试验操作步骤	129	5.3	项目的成果	150
4.6.5	试验数据记录与成果 整理	129	5.3.1	试验项目数据采集和 指标分析	150
4.6.6	试验注意事项	131	5.3.2	试验项目资料整理和 报告编写	154
4.6.7	分析思考题	131	5.4	训练案例	155
4.7	荷载试验	131	5.4.1	土的定名试验	155
4.7.1	试验目的与原理	131	5.4.2	土的物理力学性质的 测定	156
4.7.2	试验方法和适用范围	132	5.4.3	土的物理性质与强度的 关系	156
4.7.3	仪器设备构造和使用 方法	133	5.4.4	不同条件下三轴试验 对比	157
4.7.4	试验操作步骤	134	5.4.5	饱和砂土的液化试验	157
4.7.5	试验数据记录与成果 整理	136	5.4.6	地基承载力确定试验	158
4.7.6	试验注意事项	138	5.4.7	填料压实性评价试验	158
4.7.7	分析思考题	138	5.4.8	水泥土的力学特性 研究	159
第5章	工程试验综合训练	139	5.4.9	山坡稳定性工程问题的 解决方案研究	159
5.1	项目的计划	140	5.4.10	学生自选创新试验	159
5.1.1	项目训练的意义	141	附录	试验报告	161
5.1.2	项目计划的内容	142	参考文献		195
5.1.3	项目技术路线设计 方法	144			
5.2	项目的实施	145			

第1章 绪论

实践教学的质量和水平,在以培养高级应用型人才为目标的本科院校中,对人才培养的影响较之传统的普通本科院校更为突出。实践教学是培养创新精神和工作能力的重要渠道,试验教学是高校实践教学的关键环节。土工试验是土力学学科的重要实践环节和不可缺少的研究手段,是应用型本科院校教学过程中一个重要的实践环节。

1.1 土工试验的作用

1. 土工试验的意义

在土木工程中,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,是工程项目建设成功与否的关键。

1) 土工试验

土工试验是在土工实验室对土的工程性质进行测试,并获得土的物理性指标(如密度、含水量、土粒比重等)和力学性指标(如压缩模量、抗剪强度指标等)的试验工作,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。

2) 土与试验

土是自然界的产物,其形成过程、物质成分及工程特性是极其复杂的,并且随其受力状态、应力历史、加载速率和排水条件等的不同而变得更加复杂。不同的建筑工程场地,土质情况的变化是很复杂的,在实际工程中没有任何建筑地点呈现出与其他地点土质情况特别相似的情形,即使在同一地点,土的性质也可能发生变化,有时甚至相当显著。

这就意味着,在进行详细的设计之前,必须对每一个地点的土质情况进行详细的调查与测试,必须对工程项目所在场地的土体进行土工试验,以充分了解和掌握土的各种物理和力学性质,从而为场地岩土工程地质条件的正确评价提供必要的依据。

3) 工程与试验

各类工程的成败,在很大程度上取决于土体能否提供足够的承载力,使工程结构不会产生超过设计限度的地基沉降和差异变形等。地基承载力和地基变形计算中的参数主要是通过土工试验来确定的,所以土工试验是从根本上保证岩土工程设计的精确性及经济合理的重要手段,也是岩土工程规划和设计的前期工作。如果各项岩土参数测试不正确,那么不管设计理论和方法如何先进、合理,工程的精度仍然得不到保证。

4) 土力学与试验

从土力学的发展历史看,土工试验为土力学理论的发展提供了依据。库仑(Coulomb)定律、达西(Darcy)定律、普洛特(Proctor)压实理论及描述土的应力-应变关系的双曲线模

型等,无一不是通过对土的各种试验而建立起来的。即使在计算机及计算技术高度发达的今天,土的工程性质的正确测定对于计算模型的建立及模型中参数的确定仍然是一个关键问题。

在室内土工试验中能进行各种模拟控制试验,进行全过程和全方位的测量和观察,在某种程度上比原位测试更能满足土的计算或研究的要求。因此,室内土工试验是原位测试所不能代替的。

根据试验原理设计试验方法时,往往可以设计出许多种方法。究竟采用何种试验方法必须根据工程实际情况、土的受力条件、土的性质确定,否则,就会由于试验方法不当而使试验指标出现误差。

5) 试验的局限性

土工试验也有其局限性。一方面,当从钻孔中取样时,试样的数量很有限、不能完全代表土的性质,对土样的扰动,如取土、搬运及试验切土时的机械作用会扰动土的结构,降低土的强度,改变土的应力条件,使土样产生回弹膨胀,使得试验指标不符合原位土体的工程性状;另一方面,制定试验方法时条件简化(如试验应力条件相对理想和单一化等),以及试验人员的熟练程度也会影响试验成果的准确性。

目前,在解决土工问题时,尚不能像其他力学学科一样具备系统的理论和严密的数学公式,而必须借助经验、现场试验及室内试验辅以理论计算。在试验时,要考虑所有因素的影响是有一定困难的,因此必须抓住主要因素加以简化,并据此建立试验原理。

因此,为了达到试验目的,正确取得土的物理、力学性质指标,使土工试验能够比较正确地反映实际土的性质,试验人员必须掌握土工试验的基本理论、基本知识和基本技能。

2. 土工试验教学的要求

土工试验课程的目的在于培养学生进行土工试验的基本操作技能,学会进行试验数据的测试、资料整理及指标的计算,加深学生对土力学与地基基础基本理论的理解;培养学生的科学研究素养,养成不怕苦、独立研究、主动进取、严肃认真、理论联系实际的学习习惯;提高学生进行生产试验和科学研究的能力。

1) 土工试验教学的目的

通过土工试验课程的训练,学生应达到以下要求。

(1) 理解和掌握土力学的基本原理与基本理论。

(2) 了解各种试验仪器并熟练操作,掌握土工试验的操作步骤和注意事项,提高动手能力。

(3) 能够独立地对土体进行取样并按试验要求进行试件制备。能够独立地按试验要求和方法对土体的物理、力学性能指标进行测试,并分析其影响因素,对资料进行整理并绘制曲线图,对相关指标进行计算和分析,根据曲线图确定相关的指标用于研究或实践。

(4) 能通过试验发现问题、分析问题,探讨解决问题的方法。

2) 土工试验过程的要求

学生在整个试验过程中,既要以探索的精神发挥自己的学识,提出独立的见解,又要以科学的态度严肃认真地对待每项试验步骤,绝不允许任意涂改试验数据,故意地与预期结果相吻合。在试验过程中要求学生做到以下几点。

- (1) 明确试验目的, 试验前对该项材料的性质及技术要求应有一定程度的了解。
- (2) 建立严格的科学工作秩序, 遵守试验室各项制度及试验操作规程。
- (3) 密切注视试验中出现的各种现象, 并分析其原因。
- (4) 按有关规定对试验数据进行处理, 在此基础上, 根据试验结果得出实事求是的结论。

在土工试验的教学过程中, 由于各个试验的连贯性不是很强, 学生对各个试验的原理和操作过程掌握不好, 对试验目的及在实际工程中的应用就更不清楚, 所以, 为了使學生巩固掌握的理论知识, 帮助学生把理论应用到实际工程中去, 提高教学质量, 适当安排综合性试验, 要求学生掌握试验原理和操作过程, 使其知道为什么要做这些试验, 试验参数在工程设计和施工中如何应用, 这样有助于培养学生的动手能力和分析问题的能力, 从而更好地为工程建设服务。

3) 试验与试验报告的要求

- (1) 每次做试验前, 要认真阅读试验指导书, 熟悉试验内容和试验步骤。
- (2) 要以严肃的科学态度、严格的作风、严密的方法进行试验, 认真记录好试验数据。
- (3) 在试验课程进行中要认真回答老师提出的问题, 回答问题的情况将被作为试验课程考核成绩的一部分。
- (4) 要认真填写、整理试验报告, 不得潦草, 不得缺项、漏项, 报告中的计算部分必须完成, 同时要保持试验报告的整洁。
- (5) 试验报告应及时完成, 并按老师规定的时间上交。

1.2 土工试验的项目

土工测试大致分为在现场直接测定的原位测试试验和从现场采取土样送至实验室做的室内试验两大部分。本书重点介绍室内土工试验。

1.2.1 室内试验

室内土工试验是对岩土试样进行测试, 并获得岩土的物理性指标、力学性指标、渗透性指标及动力性指标等的试验工作, 从而为工程设计和施工提供参数, 是正确评价工程地质条件不可缺少的依据。它分为土的物理性试验、力学性试验、水理性试验、动力性试验、特殊性质试验五大类, 见表 1.1。

表 1.1 土工试验项目分类

类型	试验项目	主要试验方法	试验结果	成果的应用
土的物理性质试验	含水量试验	烘干法、酒精燃烧法、比重法、碳酸钙气压法、炒干法	含水量 w	计算土的基本物理性指标

(续)

类型	试验项目	主要试验方法	试验结果	成果的应用
土的物理性质试验	密度试验	环刀法、蜡封法、灌水法、灌砂法	土的密度 ρ 土的干密度 ρ_d	计算土的基本物理性指标及土的压实性
	土粒比重试验	比重瓶法、浮称法、虹吸筒法	土粒比重 d_s	计算土的基本物理性指标
	液限试验	圆锥仪法、碟式仪法、联合测定法	液限 w_L	利用塑性图进行土的工程分类, 判定土的状态
	塑限试验	搓条法、联合测定法	塑限 w_p	
	颗粒分析试验	筛分法、密度计(比重计)法、移液管法	颗粒大小分布曲线、有效粒径(d_{10})、不均匀系数(C_u)、曲率系数(C_c)	用于土的工程分类及作为材料的标准
	相对密度试验	最小干密度(最大孔隙比)试验: 漏斗法、量筒法; 最大干密度(最小孔隙比)试验: 振动锤击法	相对密度(D_r) 最小干密度($\rho_{d,min}$) 最大干密度($\rho_{d,max}$)	判定砂砾土的状态
土的力学性质试验	固结(压缩)试验	标准固结试验、快速固结试验、应变控制连续加荷固结试验	孔隙比与压力曲线、压缩系数(a)、体积压缩系数(m_v)、压缩指数(c_c)、回弹指数(c_s)、前期固结压力(p_c)	计算粘性土体的沉降量
	击实试验	轻型击实试验、重型击实试验	含水率与干密度曲线、最大干密度($\rho_{d,max}$)、最优含水量(w_{op})	用于填土工程施工方法的选择和质量控制
	直接剪切试验	慢剪试验、固结快剪试验、快剪试验、反复剪试验	内摩擦角(ϕ)、内聚力(c)	计算抗剪强度
	三轴压缩试验	不固结不排水试验、固结不排水试验、固结排水试验、一个试样多级加荷试验	内摩擦角(ϕ)、内聚力(c)、应力路径、应力-应变关系	
	无侧限抗压强度试验	原状土试验、重塑土试验	抗压强度(q_u)、灵敏度(S_l)	计算地基、斜坡、挡土墙的稳定性的

(续)

类型	试验项目	主要试验方法	试验结果	成果的应用
土的力学性质试验	静止侧压力系数试验	K_0 容器	静止土侧压力系数 K_0	计算土侧压力
	加州承载比试验	在 $\phi 152\text{mm}$ 承载比试样筒内做贯入	加州承载比(CBR)	判断材料抵抗局部荷载压入变形的能力, 以及路堤填筑压实后的浸水整体强度和稳定性
土的水理性质试验	渗透试验	常水头法、变水头法	渗透系数(k)	用于有关渗透问题的计算
	湿化试验	浮筒法	崩解量(A_t)	粘质土体在水中的崩解速度, 作为湿法填筑路堤选择土料的标准之一
土的动力性质试验	振动三轴试验	动强度(液化)试验、动模量和阻尼比试验	动剪切模量(G_d)、动压缩模量(E_d)、阻尼比(D)	用于分析周期荷载作用下地基和结构物的稳定性, 计算土体引起的位移、速度、加速度和应力随振次的变化等
	共振柱试验	稳态强迫振动法、自由振动法		土在小应变范围($10^{-5} \sim 10^{-3}$)内的动力特性
	动单剪试验	纯剪法	动剪切模量(G_d)、动强度、阻尼系数	
土的特殊性质试验	黄土湿陷试验	湿陷系数试验、自重湿陷系数试验、溶率变形系数试验、湿陷起始压力试验	湿陷系数(δ_s)、溶滤变形系数(δ_{wt})、自重湿陷系数(δ_{zs})	用于黄土湿陷性分析和处理
	自由膨胀率试验	水中自由膨胀	自由膨胀率(δ_{ef})	用于膨胀土的初判
	膨胀率试验	有荷载膨胀率试验、无荷载膨胀率试验	特定荷载膨胀率(δ_{ep})、无荷载膨胀率(δ_e)	
	膨胀力试验	加荷平衡法	膨胀力(p_e)	测定土体吸水膨胀时所产生的内应力
	收缩试验	室温收缩法	缩限 w_s 、收缩比、体缩、线缩	判定土的状态
	酸碱度(pH)试验	电测法、比色法	pH	可否用做稳定处理材料、判断对构筑物的腐蚀性

(续)

类型	试验项目	主要试验方法	试验结果	成果的应用
土的特殊性质试验	易溶盐试验	盐的总量用烘干法测定, 离子的含量用化学分析法测定	易溶盐总量(W)、质量摩尔浓度(b)	用于对环境土工程腐蚀的影响分析
	有机质试验	烧灼减量法、重铬酸钾滴定法	泥炭的有机物含量 泥炭以外土的有机物含量	判断对土工程性质和稳定处理施工方法的影响

1.2.2 现场原位测试

原位测试就是在土原来所处的位置, 在基本上保持土的天然结构、天然含水率及天然应力状态的条件下, 对岩土体的工程性质进行测试的手段。

1. 现场原位测试的优点

原位测试与室内试验相比, 主要有以下优点。

(1) 可不经钻孔取样, 直接在原位测定岩土体的工程性质, 从而避免取土扰动和取土卸荷回弹等对试验结果的影响, 如可以测定诸如砂土、流动淤泥层、贝壳层、破碎带等。采样时不可避免会扰动土层的工程性质, 故应避免在采样过程中土的应力被释放而影响数据。

(2) 试验结果可以直接反映原位土层的物理力学性状。

(3) 原位测试的土体体积比室内试样大, 可在较大范围内测试岩土体, 故其测试结果更具有代表性, 并可在现场重复进行验证。

(4) 可缩短勘探周期。

2. 现场原位测试的缺点

原位测试也有不足之处, 主要有以下缺点。

(1) 各种原位测试都有其使用条件, 如使用不当则会影响其效果。

(2) 有些原位测试所得参数与土的工程性质的关系往往是建立在统计经验关系上的, 难以从理论上解释。

(3) 影响原位测试结果的因素较为复杂(如周围的应力场、排水条件等), 这对准确判定测定值造成一定困难。原位测试的应力条件复杂, 一般很难直观地确定岩土体的某个参数, 因此在选择计算模型和确定边界条件时将不得不采取一些简化假设, 由此引起的误差也可能使所得出的岩土体参数不能理想地表征实际土体的性状, 特别是当原位测试中的土体变形和破坏模式与实际工程中的不一致时。例如, 十字板剪切试验的剪切和破坏模式与土坡或地基的实际破坏形式是大相径庭的, 事实上已有资料表明十字板剪切试验得出的强度高于室内无侧限压缩试验结果。

(4) 原位测试中的主应力方向与实际工程问题中的主应力方向往往并不一致。

(5) 原位测试一般只能测定现场荷载条件下的岩土体参数, 而无法预测荷载变化过程中的发展趋势。

土的室内试验与原位测试各有独到之处,在全面研究土的各种性状时不能偏废,而应相辅相成。

3. 现场原位测试的方法

原位测试的方法繁多,可分为定量方法和半定量方法。定量方法是指在理论上和方法上能形成完整体系的原位测试方法,如静力载荷试验、现场直接剪切试验、旁压试验、十字板剪切试验、渗透试验等;半定量方法是指由于试验条件限制或方法本身还不具备完整的理论用以指导试验,因此必须借助于某种经验或相关关系才能得出所需成果的原位测试方法,如静力触探试验、圆锥动力触探试验、标准贯入试验等。常用的方法有以下几种。

(1) 静力载荷试验(简称载荷试验),包括平板载荷试验、螺旋载荷试验、桩基载荷试验、动载荷试验等。试验成果用于确定地基承载力、变形模量,预估建筑物沉降量,计算地基土的固结系数、不排水剪的强度,确定单桩(垂直、横向)承载力。

(2) 十字板剪切试验,适用于测定饱和粘性土的不排水抗剪强度及灵敏度等参数。

(3) 静力触探试验,适用于软土、粘性土、砂类土及含少量碎石的土层。该试验常用于划分土层界面、土类定名,确定地基承载力和单桩极限荷载,判别砂土和饱和粉土液化可能性及测定地基土的物理力学参数等。

(4) 动力触探试验,适用于粘性土、砂类土和碎石类土。该试验常用于确定砂土、碎石土密实度及地基土的承载力,评定土的抗剪强度及变形模量等。

(5) 标准贯入试验,适用于一般粘性土、粉性土和砂类土。该试验可判定砂土密实程度或粘性土的塑性状态,判别饱和砂土、粉土的液化可能性等。

1.3 试验数据整理

土工试验测得的土性指标可分为一般特性指标和主要计算指标。对土分类定名和阐明其物理化学特性的土性指标属于一般特性指标,如土的天然密度、天然含水量、土粒比重、颗粒组成、液限、塑限、有机质含量、水溶盐含量等。在设计计算中直接用以确定土体强度、变形和稳定性等力学性质的指标属于计算指标,如土的粘聚力、内摩擦角、压缩系数、变形模量、渗透系数等。

任何一个试验操作结束以后,都应对试验资料进行科学合理的分析与整理,以保证试验结果的可靠度和适用性。

对于一般特性指标的结果进行整理时,通常可采用多次测定值 x_i 的算术平均值 $\bar{x}$,并计算出相应的标准差 σ 和变异系数 δ ,以反映实际测定值相对于算术平均值的变化情况,从而判别其采用算术平均值时的可靠性。

1.3.1 测定值的误差

1. 误差

即使十分小心谨慎地进行试验,在处理测定数据和整理测定结果时,也难免出现各种误差。这些误差大致分为以下几种。

1) 系统误差

(1) 由于试验装置的分度不精、砝码未校正、性能不良而产生的固定误差。

(2) 由于试验环境发生变化,如温度、压力、湿度发生变化。

(3) 由于操作人员的习惯不好,如从侧面读数而产生的误差。

可以通过校正仪器、控制环境和改正不良习惯来消除系统误差。

2) 偶然误差

已消除系统误差,但由于测定条件存在偶然性,所测的数据仍在末一位或末两位数字上有差别,这种误差称为偶然误差。

偶然误差时大时小,时正时负,方向不一定;误差产生的原因不清楚,也无法控制。

用同一精度的仪器,在同一条件下,对同一物理量做多次测量,若测量的次数足够多,则可发现偶然误差完全服从统计规律,偶然误差的算术平均值将逐渐接近于零。

3) 人为(过失)误差

完全由人为因素造成,如操作人员粗枝大叶、过度疲劳或操作不正确。

在土工试验数据中,如果存在未消除的系统误差或过失误差,会严重影响统计结果的准确性,得出不正确的结论。消除过失误差的方法是提高工作人员的责任感、健全工作制度、加强对数据的审核。

2. 误差统计基本参数

1) 算术平均值 $\bar{x}$

测定值 x_i 的算术平均值是用一组数据的代数和除以数据的总个数所得出的结果,是表示数据集中位置的一种算术平均法,可按式计算:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1.1)$$

式中: x_i ——某指标第 i 次测定值;

n ——某指标测定总次数。

必须注意:当计算的平均值为母体时应用字母 μ 来表示;子样的平均值常用 $\bar{x}$ 来表示。

2) 标准差 σ

标准偏差是表示该组数据值离散程度的统计特征数。

母体的标准偏差通常用字母 σ 来表示,当母体的标准偏差 σ 不易求得时常用子样的标准偏差 s 来推断。其计算公式为

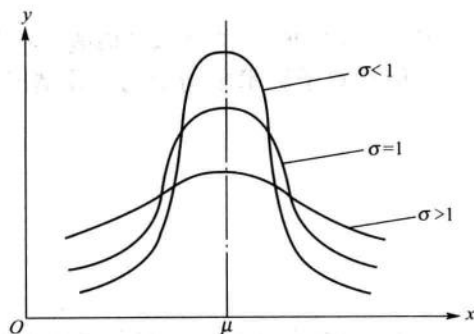


图 1.1 正态分布曲线

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1.2)$$

当采用式(1.2)计算 s 时,适用子样 $n < 50$ 的条件;当子样 $n > 50$ 时,应将式 1.2 中的 $n-1$ 应改为 n 。

标准差是衡量离散程度的重要指标。 s 值大,离散性大; s 值小,离散性小。

在统计计算中,许多随机变量都遵从着某种确定的分布规律。对于连续性的随机变量,也就是计量值的概率分布服从正态分布,如图 1.1 所