



普通高等教育“十二五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU "12·5" GUIHUA JIAOCAI

岩土工程测试技术

主编 沈扬 张文慧



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

013026369



普通高等教育“十二五”规划教材

岩土工程测试技术

主编 沈扬 张文慧

参编 王伟



ISBN 978-7-2024-6143-3
2013年1月第1版, 2013年1月第1次印刷
冶金工业出版社发行

TU4-43
39

北京

冶金工业出版社

2013



北航

C1633930

内 容 提 要

本书涵盖了目前在土木、交通、水电、采矿等工程领域涉及的主要室内外岩土工程测试技术。全书共分为十三章,较详细地讲述了土的颗粒分析、土的基本物理指标测定、无黏性土的相对密实度测定、黏性土的基本工程指标测定、土的渗透系数测定、土的变形特性指标测定、土的抗剪强度和指标测定、室内试验土样制备、室内岩石强度和变形试验、土工织物试验、载荷试验、触探试验和原位波速测试等各项技术的基本原理、操作方法、数据处理及分析注意要点。

本书为高等学校土木、交通、水电、采矿等专业的教材,也可供从事相关工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

岩土工程测试技术/沈扬,张文慧主编. —北京:冶金工业出版社, 2013. 1

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5024-6142-3

I. ①岩… II. ①沈… ②张… III. ①岩土工程—测试技术—高等学校—教材 IV. ①TU4

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第013040号

出版人 谭学余

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷39号, 邮编100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjchs@cnmip.com.cn

责任编辑 杨 敏 张耀辉 美术编辑 李 新 版式设计 孙跃红

责任校对 王贺兰 责任印制 张祺鑫

ISBN 978-7-5024-6142-3

冶金工业出版社出版发行; 各地新华书店经销; 北京印刷一厂印刷

2013年1月第1版, 2013年1月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16; 16.25印张; 388千字; 244页

33.00元

冶金工业出版社投稿电话:(010)64027932 投稿信箱:tougao@cnmip.com.cn

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街46号(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

前 言

岩土工程测试技术是岩土工程学科的重要组成部分,对土木、水利、采矿、交通、海洋、市政等工程的勘察、设计与施工均具有重要意义。本书是为适应我国工程建设需要而编写的面向广大本科院校相关专业学生的岩土工程测试技术教材,同时亦可作为岩土、勘察、地质工程专业研究生和从事土工试验与现场测试工作的专业技术人员的参考书。考虑到本书的综合适用性及岩土工程测试本身的特点,全书以土力学测试技术为主,但亦介绍了一些典型的岩石力学测试试验内容。

目前国内土工检测试验方面的教材较多,侧重点一般为试验流程的介绍,而我们在教学、科研过程中发现,测试中所涉及的一些原理概念易被混淆,操作中的细节易被忽视,从而引起很多问题,甚至带来数据分析的误差和错误。因此,为满足广大师生的实践需要以及鼓励学生做发散性思考,本书在章节内容编排和要点侧重方面,强调了岩土工程测试技术与岩土力学理论之间的逻辑对应关系,重视对试验操作细节的还原,同时对一些因原理与实际差异而引起的分析结果偏差进行了剖析,并注意将试验检测内容与解决工程实际问题有机联系起来。考虑到课时限制以及各种试验的实际应用程度,本书对测定同一类参数的试验一般只详细阐述两种试验方式,其他相似试验,以列举参考文献的方式予以推介,从而在有限的篇幅下保证教材的深度与广度。

本书涉及的岩土工程试验操作规则,主体是以中华人民共和国国家标准《土工试验方法标准》(GB/T 50123—1999)、《土的工程分类标准》(GB/T 50145—2007)、《工程岩体试验方法标准》(GB/T 50266—1999)、《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001)为基准,并参考诸多国家标准、行业标准与规程的相关条例和相关岩土类工程测试著作编写的。目前国内不同行业内关于岩土工程测试方面的规程较多,其间可能存在差别,本书在一定程度上进行了对比分析,亦期望不同行业的读者根据实际工作需要,应用不同的规程、规范来完成检测测试操作和数据处理。

全书共分十三章，其中第一、二、三、五、七、八、十二、十三章由沈扬编写，第六、十、十一章由张文慧编写，第九章由王伟编写，第四章由张文慧、沈扬编写。葛冬冬、陶明安、李海龙、费仲秋、黄文君、徐国建、周秋月参与了部分章节的编辑、绘图和校订工作。

在编写过程中，参考了国内外一些专家、学者的书籍、学术论文等资料，并得到了“长江学者和创新团队发展计划”（IRT1125）的资助，在此谨表谢忱。

限于作者水平，书中不当之处，恳请读者批评指正。

作 者

2012年9月

冶金工业出版社部分图书推荐

书 名	作 者	定价(元)
冶金建设工程	李慧民 主编	35.00
建筑工程经济与项目管理	李慧民 主编	28.00
建筑施工技术(第2版)(国规教材)	王士川 主编	42.00
现代建筑设备工程(第2版)(本科教材)	郑庆红 等编	59.00
高层建筑结构设计(本科教材)	谭文辉 主编	39.00
土木工程材料(本科教材)	廖国胜 主编	40.00
混凝土及砌体结构(本科教材)	王社良 主编	41.00
工程造价管理(本科教材)	虞晓芬 主编	39.00
土力学地基基础(本科教材)	韩晓雷 主编	36.00
建筑安装工程估价(本科教材)	肖作义 主编	45.00
土木工程施工组织(本科教材)	蒋红妍 主编	26.00
施工企业会计(第2版)(国规教材)	朱宾梅 主编	46.00
工程荷载与可靠度设计原理(本科教材)	郝圣旺 主编	28.00
流体力学及输配管网(本科教材)	马庆元 主编	49.00
土木工程概论(第2版)(本科教材)	胡长明 主编	32.00
土力学与基础工程(本科教材)	冯志焱 主编	28.00
建筑装饰工程概预算(本科教材)	卢成江 主编	32.00
建筑施工实训指南(本科教材)	韩玉文 主编	28.00
支挡结构设计(本科教材)	汪班桥 主编	30.00
建筑概论(本科教材)	张 亮 主编	35.00
居住建筑设计(本科教材)	赵小龙 主编	29.00
SAP2000 结构工程案例析	陈昌宏 主编	25.00
建筑结构振动计算与抗振措施	张荣山 著	55.00
理论力学(本科教材)	刘俊卿 主编	35.00
岩石力学(高职高专教材)	杨建中 主编	26.00
建筑设备(高职高专教材)	郑敏丽 主编	25.00
岩土材料的环境效应	陈四利 等编著	26.00
混凝土断裂与损伤	沈新普 等著	15.00
建设工程台阶爆破	郑炳旭 等编	29.00
计算机辅助建筑设计	刘声远 编著	25.00
建筑施工企业安全评价操作实务	张 超 主编	56.00
钢筋混凝土结构技术规程(YB 9082—2006)		38.00
现行冶金工程施工标准汇编(上册)		248.00
现行冶金工程施工标准汇编(下册)		248.00



北航

C1633930

目 录

第一章 土的颗粒分析试验	1
第一节 引言	1
第二节 筛析法试验	2
一、 试验原理	2
二、 试验设备	2
三、 试验步骤	2
四、 数据整理	3
第三节 密度计法（比重计法）试验	6
一、 试验原理	6
二、 试验设备和试剂	8
三、 试验步骤	9
四、 数据处理	11
思考题	16
第二章 土的基本物理指标测定试验	17
第一节 引言	17
第二节 含水率测定试验	18
一、 概述	18
二、 烘干法	18
三、 酒精燃烧法	20
第三节 密度测定试验	20
一、 环刀法	21
二、 蜡封法	22
三、 灌水法	24
第四节 比重测定试验	26
一、 比重瓶法	26
二、 浮称法	29
三、 虹吸筒法	31
思考题	32
第三章 无黏性土的相对密实度测定试验	33
第一节 引言	33

第二节 最大干密度 (最小孔隙比) 试验	34
一、试验原理	34
二、试验设备	34
三、试验步骤	35
四、数据处理	36
第三节 最小干密度 (最大孔隙比) 试验	37
一、试验原理	37
二、试验设备	37
三、试验步骤	37
四、数据处理	38
第四节 相对密实度应用的补充说明	38
思考题	39
第四章 黏性土的基本工程指标测定试验	40
第一节 导言	40
第二节 液塑限试验	41
一、试验目的	41
二、试验原理	41
三、液塑限联合测定试验	42
四、圆锥仪液限试验	45
五、碟式仪液限试验	46
六、搓滚法塑限试验	48
第三节 击实试验	49
一、试验目的	49
二、试验原理	50
三、试验设备	50
四、试验步骤	51
五、数据整理	53
思考题	55
第五章 土的渗透系数测定试验	56
第一节 导言	56
第二节 室内常水头试验	57
一、试验原理	57
二、试验设备	59
三、试验步骤	59
四、数据处理	60
第三节 室内变水头试验	62
一、试验原理	62

二、试验设备	64
三、试验步骤	65
四、数据处理	66
第四节 现场井孔抽水渗透试验	66
一、试验原理	66
二、试验设备	68
三、试验步骤	68
四、数据分析	69
思考题	71
第六章 土的变形特性指标测定试验	72
第一节 导言	72
第二节 一维固结(压缩)试验	73
一、试验目的	73
二、试验原理	73
三、试验设备	76
四、试验步骤	77
五、数据整理	79
思考题	83
第七章 土的抗剪强度和指标测定试验	84
第一节 导言	84
第二节 直剪试验	84
一、试验目的	84
二、试验原理	84
三、试验设备	86
四、试验步骤	87
五、数据处理	89
第三节 三轴压缩试验	92
一、试验目的	92
二、试验原理	92
三、试验设备	95
四、试验步骤	98
五、数据分析	102
六、非常规三轴试验类型简介	110
第四节 无侧限抗压强度试验	113
一、试验目的	113
二、试验原理	113
三、试验设备	113

四、试验步骤	113
五、数据分析	114
第五节 动力三轴试验	116
一、试验目的	116
二、试验原理	116
三、仪器设备	120
四、试验步骤	122
五、数据分析	124
第六节 现场十字板剪切试验	131
一、试验目的	131
二、试验原理	131
三、试验设备	133
四、试验步骤	135
五、数据分析	135
思考题	136
第八章 室内试验土样制备	137
第一节 引言	137
第二节 土样制备	137
一、扰动土试样制备	137
二、原状土试样制备	139
三、化学试验的土样制备	140
第三节 土样饱和	140
一、概述	140
二、饱和设备	141
三、饱和步骤	141
思考题	143
第九章 室内岩石强度和变形试验	144
第一节 引言	144
第二节 岩石单轴抗压强度试验	145
一、试验目的	145
二、试验原理	145
三、试验设备	146
四、试验步骤	146
五、数据整理	147
第三节 岩石常规(假)三轴抗压强度试验	148
一、试验目的	148
二、试验原理	148

三、试验设备	149
四、试验步骤	149
五、数据整理	150
第四节 岩石抗拉强度(劈裂法)试验	153
一、试验目的	153
二、试验原理	154
三、试验设备	154
四、试验步骤	155
五、数据整理	155
第五节 岩石抗剪强度试验	156
一、试验目的	156
二、试验原理	156
三、试验设备	157
四、试验步骤	157
五、数据整理	158
第六节 岩石单轴(静态)压缩条件下的变形试验	159
一、试验目的	159
二、试验原理	159
三、试验设备	159
四、试验步骤	160
五、数据整理	161
第七节 岩石蠕变试验	163
一、试验目的	163
二、试验原理	164
三、试验设备	165
四、试验步骤	165
五、数据整理	165
思考题	167
第十章 土工织物试验	168
第一节 导言	168
一、土工织物及其分类	168
二、土工织物的功能和工程应用	168
三、土工织物的性能指标	169
第二节 试样制备与数据处理	170
一、制样原则	170
二、试样状态调节与仪器仪表	171
三、试验数据整理	171
第三节 物理性能指标试验	172

一、单位面积质量	172
二、厚度	173
第四节 力学性能指标试验	175
一、条带拉伸试验	175
二、握持拉伸试验	178
三、梯形撕裂试验	179
四、胀破试验	180
五、圆球顶破试验	182
六、CBR 顶破试验	183
七、刺破试验	183
第五节 水力性能指标试验	183
一、孔径试验	183
二、垂直渗透试验	184
三、水平渗透试验	186
思考题	188
第十一章 载荷试验	189
第一节 导言	189
第二节 浅层平板载荷试验	189
一、试验目的	189
二、试验原理	189
三、试验设备	191
四、试验步骤	192
五、数据整理	193
六、工程应用	194
第三节 其他类型载荷试验简介	195
一、螺旋板载荷试验	195
二、复合地基载荷试验	196
三、桩基自平衡法载荷试验	197
思考题	198
第十二章 触探试验	199
第一节 导言	199
第二节 静力触探试验	199
一、试验目的	199
二、试验设备	200
三、试验原理	203
四、试验步骤	203
五、数据处理	204

第三节 动力触探试验	208
一、试验目的	208
二、试验设备	208
三、试验原理	209
四、试验步骤	211
五、数据整理	212
第四节 标准贯入度试验	216
一、试验目的	216
二、试验原理	216
三、试验设备	217
四、试验步骤	217
五、数据分析	218
六、工程应用	219
思考题	222
第十三章 原位波速测试法	223
第一节 导言	223
第二节 钻孔法测试技术	224
一、概述	224
二、单孔法	224
三、跨孔法	228
第三节 面波法测试技术	232
一、概述	232
二、试验原理	233
三、试验设备	234
四、试验步骤	235
五、数据整理	236
六、补充说明	238
第四节 波速法测试应用简介	239
一、划分土的类型和建筑场地类别	239
二、计算岩土体的弹性参数	240
三、地基土卓越周期的计算	240
四、进行砂土地基液化势的判别	241
五、检验地基加固处理效果	241
思考题	242
参考文献	243

第一章 土的颗粒分析试验

第一节 导 言

工程中通常把工程性质相近的一定尺寸范围的土粒划分为一组，称为粒组。土中颗粒的组分很多，其粒径从大到小，排布不均，其间的差异，若用宏观类比，就如同一只只的小蚂蚁穿梭于栋栋摩天大厦之间，土中各颗粒尺寸间的巨大差异可见一斑。不同的组分不仅代表着颗粒大小的关系，同时也蕴涵了内在不同的化学连接作用，颗粒分析试验能让我们从物理层面上对这些颗粒组分进行调查，且实际工程中土的很多性质，如密实度、渗透性、稠度等，也能直接通过颗粒的大小及其在土体总量中所占的百分含量予以反映，因此颗粒分析试验就显得格外基础与重要。本书的起笔便从土的颗粒分析试验开始。

土体的颗粒组成是通过级配，即各粒组的相对含量表示的，因此我们进行颗粒分析试验的目的，从直观层面上说是为了测定土体中各粒组的百分含量，深层次而言就是分析土体的级配情况，进而对其工程特性的优劣进行评价。表 1-1 列出了根据中华人民共和国国家标准《土的工程分类标准》(GB/T 50145—2007) 所进行的土的常见粒组分类。

表 1-1 土的常见粒组分类

粒组统称	粒组划分		粒径(d)的范围/mm
巨粒组	漂石(块石)组		$d > 200$
	卵石(碎石)组		$200 \geq d > 60$
粗粒组	砾粒(角砾)	粗砾	$60 \geq d > 20$
		中砾	$20 \geq d > 5$
		细砾	$5 \geq d > 2$
	砂粒	粗砂	$2 \geq d > 0.5$
		中砂	$0.5 \geq d > 0.25$
		细砂	$0.25 \geq d > 0.075$
细粒组	粉粒	$0.075 \geq d > 0.005$	
	黏粒	$d \leq 0.005$	

★ 较之于旧版的《土的分类标准》(GBJ 145—90),《土的工程分类标准》(GB/T 50145—2007)针对粗粒组分类做了完善,增加了中砾类型,并实现了砂粒组的细分,这些都是因为在实际工程中发现颗粒粒形对地基承载力估算非常重要而做出的改进。

从表 1-1 中可见,土的组分差别巨大,显然在实践中仅仅采用一种类型的试验,是很

难确定所有土粒粒组含量的。因此有关粒组组分确定的颗粒分析试验，需分为以下几种：

- (1) 对应于粒径在 0.075mm 以上的粗粒土，一般采用筛析法分析土的颗粒组分；
 - (2) 对粒径在 0.075mm 以下的细粒土，则采用密度计法试验或移液管法试验予以分析；
 - (3) 若土中粗细粒兼有，则联合使用筛析法及密度计法或移液管法。
- 有关这些试验的介绍，将在本章第二节和第三节分别予以阐述。

第二节 筛析法试验

一、试验原理

筛分法试验的原理很简单，简而言之就是选择孔径大小各异的一系列分析筛，将试样放置在最大筛径的分析筛中，并由上至下将孔径自大到小的筛叠在一起，进行振筛。振筛后，根据土样留在不同孔径筛盘中的土粒含量差异来对其进行分组，进而算得各个粒组在总土中所占的百分含量。这种方法简单易行，但由于筛孔制作限制，以及小粒径土粒的粘连特性，这种纯机械的分选方法仅适用土粒粒径超过 0.075mm，但又不大于 60mm 的土。有关粒径大于 60mm 的土粒的分类方法，可参考文献 [49]，本文不再赘述。

二、试验设备

筛分法的设备主要包括以下几个部分：

(1) 分析筛：分析筛根据孔径的大小分为两类，即粗筛和细筛。其中，粗筛一般为圆孔，孔径分别为 60mm、40mm、20mm、10mm、5mm 和 2mm；而细筛一般为方孔，等效孔径分别为 2mm、1mm、0.5mm、0.25mm 和 0.075mm。

(2) 台秤：称量 5kg，最小分度值 1g。

(3) 天平：称量 1000g，最小分度值 0.1g；称量 200g，最小分度值 0.01g。

(4) 振筛机：要求筛析过程中能够提供上下振动和水平方向的转动（见图 1-1）。

(5) 其他：烘箱、量筒、漏斗、研钵（附带橡皮头研杵）、瓷盘、毛刷、匙、木碾等。

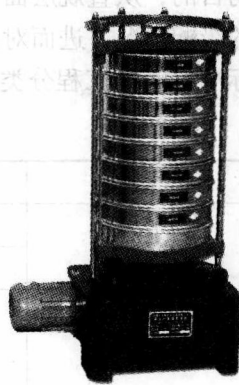


图 1-1 振筛机

三、试验步骤

(1) 从风干的松散土样中，根据四分法取出代表性试样（四分法定义详见第八章室内试验土样制备），取样质量根据土粒尺寸，按以下要求选取：

- 1) 最大粒径小于 2mm 的土取 100 ~ 300g；
- 2) 最大粒径小于 10mm 的土取 300 ~ 1000g；
- 3) 最大粒径小于 20mm 的土取 1000 ~ 2000g；
- 4) 最大粒径小于 40mm 的土取 2000 ~ 4000g；

5) 最大粒径小于 60mm 的土取 4000g 以上。

若试样质量小于 500g 时, 要求称量准确至 0.1g; 若试样质量超过 500g 时, 称量精度应准确至 1g。

(2) 如土样均为无黏性土, 则按以下步骤进行试验:

1) 将上述称取样先以 2mm 的筛为基准过筛, 分别称出通过筛孔和残留在筛上的试样质量。(若筛下质量, 即小于 2mm 粒径的土粒含量小于总土质量的 10% 时, 不作细筛分析; 反之当筛上质量, 即大于 2mm 粒径的土粒含量小于总土质量的 10% 时, 不作粗筛分析。)

2) 若进行细筛分析, 则将先前过 2mm 筛的土倒入依次叠好的细筛最上层的筛盘中, 将整组细筛放入振筛机中, 进行振动, 约进行 10~15min 后, 停止振筛。由最大孔径筛开始, 依次将各筛取下, 在白纸上用手轻叩摇晃至无土粒漏下为止。将残留在各筛盘上以及底盘内的土样称重, 精确至 0.1g。

3) 若进行粗筛分析, 则将粗筛组按照孔径从大到小的顺序自上而下叠合, 并将先前残留在 2mm 筛盘上的土倒入粗筛最上层的筛盘中, 同步骤 2) 对整组土振筛、分筛并称重, 精确至 0.1g。

★ 粗筛和细筛各分筛称量所得土的总质量与先前初始土样质量误差不能超过 1%, 否则要重新测定。

(3) 若土样为含有细粒土的无黏性土, 则按以下步骤进行试验:

1) 将试样放在橡皮板上用研磨杵碾碎。根据试验步骤 (1) 的要求, 取代表性试样置于清水容器中, 用搅拌棒充分搅拌, 使得试样的粗细颗粒充分分离。

2) 将上述容器中的试样悬液通过 2mm 的筛, 边搅拌边冲洗边过筛, 直至筛上仅留大于 2mm 的土粒为止。

3) 取残留在筛盘上的粗粒土, 烘干至恒重, 称量其质量, 精确到 0.1g。并按照无黏性土过筛法步骤中的第 3) 步进行粗筛分析。

4) 对 2mm 以下土粒, 需将底盘中所接取悬液, 用带有橡皮头的研磨杵研磨, 再过 0.075mm 筛, 反复冲洗直至筛上仅留大于 0.075mm 的净砂为止。

5) 取残留在筛上的土, 烘干至恒重, 按照无黏性土过筛法步骤中的第 2) 步进行细筛分析。

6) 对 0.075mm 以下粒径的土, 烘干至恒重称量, 若其含量大于总土质量 10%, 还要对其各粒组组分采用密度计或移液管法进行进一步测定; 若小于 10%, 则记录一个总的百分含量即可。

四、数据整理

颗粒分析试验数据处理就是要整理相应粒组的百分含量, 具体如下所述。

1. 计算各粒组组分在总土中所占的百分含量

小于某粒径的试样质量占试样总质量的百分比, 应根据式 (1-1) 进行计算:

$$P_i = \frac{m_{si}}{m_s} P_x \quad (1-1)$$

式中 P_i ——小于某一粒径的试样占试样总质量的百分比, %;

m_{si} ——小于某一粒径的试样的质量, g;

m_s ——当细筛分析或用密度计法分析时为所取试样的质量;当粗筛分析时为试样的总质量, g;

P_x ——粒径小于 2mm (细筛分析时) 或粒径小于 0.075mm (密度计法分析时) 的试样质量占总质量的百分数。如试样中无大于 2mm 粒径 (细筛分析时) 或无大于 0.075mm 粒径 (密度计法分析时), 以及在计算粗筛分析时, 取 $P_x = 100\%$ 。

计算后, 将数据填写在筛析法的颗粒分析试验记录表中 (见表 1-2)。

表 1-2 颗粒分析试验记录表 (筛析法)

工程名称: _____

试验者: _____

土样编号: _____

计算者: _____

试验日期: _____

校核者: _____

风干土质量 =	g	小于 0.075mm 的土占总土质量的百分数 =	%		
2mm 筛上土质量 =	g	小于 2mm 的土占总土质量的百分数 =	%		
2mm 筛下土质量 =	g	细筛分析时所取试样质量 =	g		
筛号	孔径/mm	累计留筛土质量/g	小于该孔径的土质量/g	小于该孔径的土质量百分数/%	小于该孔径的总土质量百分数/%
盘底总计					

2. 绘制土的颗粒大小级配曲线

以小于某一粒径土的颗粒质量占土样总质量的百分含量 (%) 为纵坐标, 以土粒粒径 (mm) 为横坐标 (对数比例尺), 根据前述求出小于某一粒径土的颗粒质量百分数绘制级