



普通高等教育“十二五”规划教材
高等职业院校重点建设专业系列教材

岩土测试技术

主 编 杨绍平 李 姝
主 审 陈炜韬



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

普通高等教育“十二五”规划教材
高等职业院校重点建设专业系列教材

岩土测试技术

主 编 杨绍平 李 姝

副主编 邹 立 严 容

张 昆 王 键

主 审 陈炜韬



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

“岩土测试技术”是水文与工程地质专业的一门基本实践技能课程，该课程引入土建、水利、交通，铁路等行业规范，其任务通过岩土室内试验和现场原位试验，使学生掌握岩土体物理力学性质指标的测定方法，通过岩土体测试，充分了解和掌握岩土体的物理和力学性质，从而为场地岩土工程条件的正确评价提供必要的依据。本教材包括5个项目：土的物理性质指标测定，土的力学性质指标测试，岩石的物理力学性质指标测试，土体原位测试和岩体原位测试。

本教材可作为普通高职高专院校的水文与工程地质专业及岩土工程专业的教材，亦可供其他相关专业师生以及从事土木工程领域内各专业的试验、设计、施工和检测技术人员参考。

图书在版编目（C I P）数据

岩土测试技术 / 杨绍平, 李姝主编. — 北京 : 中国水利水电出版社, 2015. 7
普通高等教育“十二五”规划教材 高等职业院校重点建设专业系列教材
ISBN 978-7-5170-3426-1

I. ①岩… II. ①杨… ②李… 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(2015)第169728号

书 名	普通高等教育“十二五”规划教材 高等职业院校重点建设专业系列教材 岩土测试技术
作 者	主编 杨绍平 李姝 主审 陈炜韬
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 16印张 379千字
版 次	2015年7月第1版 2015年7月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	38.00元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前言

本书是高等职业教育水文与工程地质专业的专业基础课程教材，是依据本院省级示范建设要求，结合专业特点，按照项目导向、任务驱动方式编写的。

本书打破课程的学科体系，在内容上采用任务驱动方式，每个项目分若干任务和若干项目案例构成，通过教师引导、学生实践操作、动脑动手相结合，掌握岩土体常见的室内和现场试验方法、试验指标的整理分析及成果在工程中的应用。打破理论和实践教学的界线，将理论学习融入实际操作中，在各个项目中设计具体项目案例分析，通过实际操作来学习、掌握理论知识。教学采用“教、学、做”一体的教学模式，重视职业技能训练和职业能力培养，引导学生提高职业技能，培养良好的职业道德。

本书在编写过程中，得到四川省水利水电勘测设计研究院水电科研所胡人炭教授级高级工程师、四川省水利水电勘测设计研究院地质专业总工王子忠教授级高级工程师及勘察分院副院长李叶高级工程师、四川省达州市水利电力建筑勘察设计院王键工程师、四川省交通运输厅交通勘察设计院地质专业总工代绍述高级工程师、四川沃土项目投资管理有限公司赵大金高级工程师、四川名扬勘察设计咨询有限公司张炯董事长及陈聪高级工程师、成都市勘测测绘研究院刘宏高级工程师、四川省乐山市水利电力建筑勘察设计院勘察负责人高大勇高级工程师、四川省地质工程勘察院副院长阳光辉高级工程师、西南交通大学地球科学与环境工程学院副院长胡卸文教授、成都理工大学环境与土木工程学院许模教授、中铁二院工程集团有限责任公司成都地勘岩土公司张昆高级工程师、中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司交通分院陈炜韬高级工程师等专家的支持及其提出的宝贵意见，在此表示衷心感谢。限于编者水平，书中难免不妥和疏漏之处，恳请读者批评指正。

编者

2015年5月

前言

绪论 (课程介绍)	1
项目 1 土的物理性质指标测定	4
任务 1.1 土的密度试验	4
任务 1.2 土的含水率试验	13
任务 1.3 土粒比重试验	17
任务 1.4 土的颗粒分析试验	23
任务 1.5 土的界限含水率试验	36
任务 1.6 土的击实试验	46
任务 1.7 土的室内渗透试验	52
任务 1.8 砂的相对密度试验	59
任务 1.9 土的特殊性质试验	63
项目 2 土的力学性质指标测定	86
任务 2.1 土的固结试验	86
任务 2.2 土的抗剪强度试验	100
任务 2.3 静止侧压力系数试验	124
项目 3 岩石的物理力学性质指标测定	136
任务 3.1 岩石的颗粒密度试验	136
任务 3.2 岩石的块体密度试验	139
任务 3.3 岩石的吸水性试验	143
任务 3.4 岩石的单轴抗压强度试验	145
任务 3.5 岩石的抗拉强度试验	148
任务 3.6 岩石的抗剪强度试验	152
项目 4 土体的原位测试	159
任务 4.1 载荷试验	159
任务 4.2 静力触探试验	168
任务 4.3 标准贯入试验与圆锥动力触探试验	183
任务 4.4 旁压试验	199
任务 4.5 十字板剪切试验	210

项目 5 岩体原位测试 221

 任务 5.1 岩体变形测试 221

 任务 5.2 岩体强度测试 227

 任务 5.3 岩体应力测试 231

 任务 5.4 岩体声波测试 235

参考文献 248

绪论（课程介绍）

1. 课程性质与作用

“岩土测试技术”是水文与工程地质专业的一门基本实践技能课程。该课程引入土建、水利、交通、铁路等行业规范，其任务是通过岩土室内试验和现场原位试验，使学生掌握岩土体物理力学性质指标的测定方法，获得测定指标来更好地分析岩土体在不同受力条件下应力、应变、强度等变化的特性，也为工程实践中的地基、基础、挡土墙、边坡等工程设计提供主要的技术数据依据。

随着现代化建设事业的飞速发展，各类工程日新月异，重型厂房、高层建筑、重大水利枢纽工程以及铁路、桥梁、隧道等各种发展性工程，都与它们所赖以存在的岩土地层有着极为密切的联系。各类工程的成功与否，在很大程度上取决于岩土体能否提供足够的承载力。为了保证各类工程及周围环境安全，确保工程的顺利进行，必须进行岩土测试、检测和监测。岩土测试技术以岩土力学理论为指导法则，以工程实践为服务对象，而岩土力学理论又是以岩土测试技术为试验依据和发展背景的。不论设计理论与方法如何先进、合理，如果测试落后，则设计计算所依据的岩土参数无法准确测求，不但岩土工程设计的先进性无从体现，而且岩土工程的质量与精度也难以保证。所以，测试技术是从根本上保证岩土工程设计准确性、代表性以及经济性的重要手段。在这整个岩土工程中它与理论计算和施工检验是相辅相成的。

测试工作是岩土工程中必须进行的关键步骤，它不仅是学科理论研究与发展的基础，而且也作为岩土工程实际所必需。监测与检测可以保证工程的施工质量和安全，提高工程效益。在岩土工程服务于工程建设的全过程中，现场监测与检测是一个重要的环节，可以使工程师们对上部结构与下部岩土地基共同作用的性状及施工和建筑物运营过程的认识在理论和实践上更加完善。依据监测结果，利用反演分析的方法，求出能使理论分析与实测基本一致的工程参数。岩土工程测试包括室内土工试验、岩体力学试验、原位测试、原型试验等，在整个岩土工程中占有特殊而重要的作用。

2. 课程主要内容与培养目标

本课程主要依据《土工试验方法标准》（GB/T 50123—1999）、《工程岩体试验方法标准》（GB/T 50266—2013）和《岩土工程勘察规范》（GB 50021—2001）（2009 版）和《工程地质手册》第四版。

（1）主要内容：

1) 土的物理性质指标测定：土的密度试验、土的含水率试验、土粒比重试验、土的颗粒分析试验、土的界限含水率试验、击实试验、土的渗透性、砂的相对密度试验和土的特殊性质试验。

2) 土的力学指标测定：土的固结试验、抗剪强度试验、三轴试验和静止侧压力系数

试验。

3) 岩石物理力学指标测定: 岩石的密度试验、岩石的吸水性试验、岩石的单轴抗压强度试验、抗拉强度试验、抗剪强度试验。

4) 土体原位测试: 载荷试验、静力触探试验、标准贯入试验与圆锥动力触探试验、旁压试验、十字板剪切试验。

5) 岩体原位测试: 岩体变形测试、岩体强度测试、岩体应力测试、岩体声波测试。

(2) 培养目标。通过实践案例教学, 使学生掌握土的物理力学指标、岩石的物理力学指标的测定方法; 掌握土体常见现场原位试验的目的、步骤, 试验数据的分析整理; 了解岩体现场的应力、应变、强度指标的测定方法, 从而更好地了解岩土体工程地质性质指标的物理意义及在工程上的应用, 初步了解岩土体工程地质性质在自然因素或人为活动影响下的变化趋势和变化规律, 并由所学知识来预测这种变化对各种建筑物的影响和危害。

3. 课程的教学方法

“岩土测试技术”采用以学生活动为主, 教师引导、讲授相结合的教学方法进行教学。充分调动学生学习的积极性, 采用先做后学, 在实践中讨论、学习、总结。教学方法如下:

(1) 项目教学法: 以项目为主线、教师为引导、学生为主体, 改变了以往“教师讲, 学生听”被动的教学模式, 创造了学生主动参与、自主协作、探索创新的新型教学模式。本课程设计包含土的物理性质指标测定、土的力学性质指标测定、岩石的物理力学性质指标测定、土体原位测试、岩体原位测试 5 个项目, 而在具体的项目教学实施中, 进一步分解成多个学习型工作任务。

(2) 实践教学: 教学目标任务的具体化, 将实践教学环节通过合理配置, 构建成以技术应用能力培养为主体, 按基本技能、专业技能和综合技术应用能力等层次, 循序渐进地安排实践教学内容, 将实践教学的目标和任务具体落实到各个实践教学环节中, 让学生在实践教学中掌握必备的、完整的、系统的技能和技术。

(3) 小组讨论法: 该方法可在现场和教室进行。教师提出教学目标、要求后, 分若干小组, 参考教材的内容, 以小组为单位讨论, 完成学习任务, 以小组为单位提交学习成果, 教师通过小组的成果当场点评完成质量、存在的不足等, 并作归纳总结。该方法可以调动学生思维, 增强学习的主动性和自觉性, 促进教学同步, 达到预期教学目的。

4. 本书的特点及使用建议

本书是高等职业教育水文与地质工程专业的专业基础课程教材, 是依据本院省级示范建设要求, 结合本系各专业特点, 按照项目导向、任务驱动的方式编写的。有以下特点:

(1) 注重培养学生的实践能力、创新能力, 起到提高专业素质的作用, 力求做到知识点清晰、技术要点具体可行、理论与实践相结合。

(2) 将岩土体测试技术以及试验结果的工程应用建立在成熟的、公认无误的研究成果基础之上, 并界定各种岩土体测试技术的适用范围, 而对于影响因素的讨论以及有争论问题的分析作了简化。

(3) 与现行国家或行业的有关规范规程相适应。

(4) 尽可能涵盖最新的技术发展成果。

岩土体测试是一门实践性很强的应用技术，每个项目都配有相应的案例分析，因此在学习本教材时，还应紧密结合具体的试验和测试实际操作，并尽可能地与工程实践结合起来。

项目 1 土的物理性质指标测定

【项目分析】

拟建地铁 4 号线某站位于成都市温江区，是 4 号线二期工程起点站，车站位于海科路和学府路交叉口处，沿海科路布置，海科路规划道路红线宽 40m，现状双向 6 车道，学府路规划道路红线宽 46m，现状双向 6 车道。车站周边以空地为主，仅距离西南财经大学污水处理厂地下污水池、“首府”在建工地基坑较近。地层岩性由上到下依次为素填土 (Q_4^{ml})、砂质粉土 (Q_4^{al})、中砂 (Q_4^{al})、稍密卵石土 (Q_4^{al})、中密卵石土 (Q_4^{al})、密实卵石土 (Q_4^{al})、中砂 (Q_3^{gl+al}) 和密实卵石土 (Q_3^{gl+al})。

该站及所有的土一般是土粒（固体相），水（液体相）和空气（气体相）三者所组成的；三相的质量与体积间的相互比例关系不同所表现出来的土的物理性质就不同，人工填土、黏土、粉土等的含水率、软硬程度等物理性质是不同的，然而怎样不同呢？主要通过一些物理性质指标值来区别，物理性质指标有可分为两类：一类是必须通过试验测定的，如含水量，密度和土粒比重等；另一类是可以根据试验测定的指标换算的；如孔隙比，孔隙率和饱和度等。土的物理性质在一定程度上决定了它的力学性质，其指标在工程计算中常被直接应用。

本项目介绍土的物理性质指标测定主要参考中华人民共和国国家标准《土工试验方法标准》(GB/T 50123—1999)，土的特殊性质测定部分参考《湿陷性黄土地区建筑规范》(GB/T 50025—2004) 和《膨胀土地区建筑技术规范》(GBJ 112—2013)。

【教学目标】

本项目就主要介绍常见的土的密度试验、含水率试验、土粒比重试验、颗粒分析试验、界限含水率试验、击实试验、土的渗透性、砂的相对密度试验测定方法及特殊土性质指标的测定方法，根据试验结果初步学会判断土的湿度、孔隙率、压缩性高低、强度、变形等特性，最后通过具体的项目实例成果让学生掌握土的物理性质指标在工程中的应用。重点掌握土的常见室内物理性质指标测定方法。

任务 1.1 土的密度试验

【任务描述】

土的密度是指单位体积土的质量，是土的基本物理性质指标之一，其单位是 g/cm^3 。土的密度一般是指土的湿密度 ρ ，相应的重度称为湿重度 γ ，除此以外还有土的干密度 ρ_d 、饱和密度 ρ_{sat} 和有效密度 ρ' ，相应地有干重度 γ_d 、饱和重度 γ_{sat} 和有效重度 γ' 。当用国际单位制计算土的重力时，由土的质量产生的单位体积的重力称为重力密度 γ ，简称重度，其单位是 kN/m^3 。重度由密度乘以重力加速度求得，即 $\gamma = \rho g$ 。

土的密度反映了土体结构的松紧程度,是计算土的自重应力、干密度、孔隙比、孔隙率和饱和度等指标的重要依据,也是土压力计算、土坡稳定性验算、地基承载力和沉降量估算以及填土压实度控制的重要指标之一。然而如何正确得到土的密度指标?我们来学习土的密度测试方法。

【任务分析】

本任务首先学习土的密度测试方法、适用范围、仪器配备、步骤、数据的记录整理。掌握了土的密度测试方法,再结合具体的工程实例进行实践操作和数据的分析整理,最后把成果运用于项目工程当中。

密度试验方法室内主要有环刀法、蜡封法,现场主要有灌水法和灌砂法等。对于细粒土,宜采用环刀法;对于易碎裂、难以切削的土,可用蜡封法;对于粗粒土、杂填土、结石土等,可用灌水法或灌砂法在现场测试。

【任务实施】

1.1.1 环刀法

环刀法就是采用一定体积的环刀切取土样并称土质量的方法,环刀内土的质量与环刀体积之比即为土的密度。

1. 适用范围

环刀法操作简便且准确,在室内和野外均普遍采用,是测定土样密度的基本方法,但环刀法只适用于测定不含砾石颗粒的细粒土的密度。

2. 仪器设备

(1) 环刀,内径 6~8cm,高 2~5.4cm,壁厚 1.5~2.2mm。环刀高度与直径之比对试验结果会有影响,根据目前钻探机具、取土器的筒高和直径的大小,另外考虑到与剪切、固结等试验所用环刀相配合,《土工试验方法标准》(GB/T 50123—1999)中规定选用内径 61.8mm 或 79.8mm、高 20mm 的环刀,不过,如果施工现场的不同土层的压实度上下不均匀,为提高试验结果精度,可增大环刀容积到 200~500cm³。环刀壁越厚,压入时土样扰动程度也越大,所以环刀壁越薄越好,但环刀压入土中时,须承受相当的压力,壁过薄,环刀容易破损和变形,《公路土工试验规程》(JTG E40—2007)建议环刀壁厚一般采用 1.5~2.2mm。

(2) 天平。称量 500g,最小分度值 0.1g;称量 200g,最小分度值 0.01g。

(3) 其他。切土刀、钢丝锯、凡士林、毛玻璃和圆玻璃片等。

3. 操作步骤

(1) 按工程需要取原状土或人工制备所要求的扰动土样,其直径和高度应大于环刀的尺寸,整平两端放在玻璃板上。

(2) 在环刀内壁涂一薄层凡士林,将环刀的刀刃向下放在土样上面,然后用手将环刀垂直下压,边压边削,至土样上端伸出环刀为止,根据试样的软硬程度,采用钢丝锯或削土刀将两端余土削去,使土样与环刀口面齐平,及时在两端盖上圆玻璃片,以免水分蒸发,并从余土中取代表性土样测定含水率。

(3) 擦净环刀外壁,拿去圆玻璃片,然后称取环刀加土质量,准确至 0.1g。

4. 结果整理

(1) 计算。按式 (1.1) 和式 (1.2) 分别计算土样的湿密度和干密度:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad (1.1)$$

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + \omega} \quad (1.2)$$

式中 ρ ——湿密度, g/cm^3 , 计算至 $0.01\text{g}/\text{cm}^3$;

ρ_d ——干密度, g/cm^3 , 计算至 $0.01\text{g}/\text{cm}^3$;

m ——湿土质量, g ;

V ——环刀容积, cm^3 ;

m_2 ——环刀加湿土质量, g ;

m_1 ——环刀质量, g ;

ω ——含水率, %。

(2) 试验记录。环刀法测密度的试验记录格式见表 1.1。

表 1.1

密度试验记录表 (环刀法)

工程名称: _____

试验者: _____

仪器编号: _____

计算者: _____

试验日期: _____

校核者: _____

试样 编号	土样 说明	环刀 号	环刀加 湿土质 量/g	环刀 质量 /g	湿土 质量 /g	环刀 容积 / cm^3	湿密度 / (g/cm^3)	含水 率 /%	干密度 / (g/cm^3)	平均干 密度 / (g/cm^3)
			(1)	(2)	(3)=(1) -(2)	(4)	(5)=(3) /(4)	(6)	(7)=(5)/[0.01 $\times$ (6)+1]	

(3) 允许平行差。环刀法试验应进行两次平行测定, 取其算术平均值, 两次测定密度的平行差值不得大于 $0.03\text{g}/\text{cm}^3$, 并取其平均值作为结果, 否则需重做。这一要求主要是对均质土在试验过程中随机误差的控制标准; 对于不均匀土层, 当两点土样有变化时, 测试结果不受此限制, 这时要给出该土层密度的变化范围、均值、标准差等。

1.1.2 蜡封法

蜡封法, 也称为浮称法, 其试验原理是依据阿基米德原理, 即物体在水中失去的重量等于其排开同体积水的重量, 来测出土样的体积, 为考虑土体浸水后崩解、吸水等问题, 需在土体外涂一层蜡。

1. 适用范围

蜡封法可适用于能够保持一定形状的多种土质, 特别适用于易破裂的土、黏结性较好的粗细粒混合土或形状不规则的坚硬土。

2. 仪器设备

- (1) 蜡封设备。应附熔蜡加热器。
- (2) 天平。称量 500g, 最小分度值 0.1g; 称量 200g, 最小分度值 0.01g。
- (3) 其他。切土刀、钢丝锯、烧杯、细线、石蜡、针等。

3. 操作步骤

(1) 从原状土样中, 切取体积不小于 30cm^3 的代表性试样, 削取表面松散浮土及尖锐棱角后, 系上细线, 称试样质量, 准确至 0.01g, 并取代表性土样进行含水率测定。

(2) 持线将试样缓慢浸入刚过熔点的蜡液中, 待全部浸没后, 立即将试样提出, 检查涂在试样四周的蜡膜有无气泡存在, 当有气泡存在时, 可用热针刺破, 再用蜡液补平。待冷却后, 称蜡封试样的质量, 准确至 0.01g。试样浸蜡时, 蜡的温度应在熔点 (60°C) 附近, 以蜡液达到熔点且不出现气泡为准, 蜡液温度过高会影响试样含水率和结构, 过低蜡溶解不均匀, 不易封好蜡皮。为避免碎裂土的扰动和蜡封试样内气泡的产生, 浸蜡速度应缓慢, 一般采用一次徐徐浸蜡的方法。试样涂蜡完成后, 应将涂蜡试样自然冷却至常温后再进行称量, 不能将刚刚浸蜡后的试样立即放入水中冷却, 以免试样表面蜡膜因骤冷而产生裂纹。对于大孔隙土或试样表面极度粗糙时, 在蜡封过程中可能会使熔蜡浸入土的孔隙而影响试样体积的测量精度, 所以, 对于这类土蜡封时应加倍注意。

(3) 用细线将蜡封试样挂在天平的左端, 使其浸没于盛有纯水的烧杯中, 注意试样不要接触烧杯壁, 称蜡封试样的水下质量, 准确至 0.01g。蜡封试验在水中的质量与水的密度有关, 而水的密度会随温度变化, 所以应同时测记纯水的温度, 并对水的密度进行校正。

(4) 取出试样, 擦干蜡封试样表面水分, 再在空气中称其质量, 以检查蜡封试样中是否有水浸入, 如蜡封试样质量增加, 则说明蜡封试样内部有水浸入。若浸入水分质量超过 0.03g, 应另取试样重做试验。

4. 结果整理

- (1) 计算。按式 (1.3) 和式 (1.2) 计算湿密度和干密度:

$$\rho = \frac{m}{\frac{m_1 - m_2}{\rho_{wt}} - \frac{m_1 - m}{\rho_n}} \quad (1.3)$$

式中 ρ ——土的湿密度, g/cm^3 , 计算至 $0.01\text{g}/\text{cm}^3$;

m ——试样质量, g;

m_1 ——蜡封试样质量, g;

m_2 ——蜡封试样在水中质量, g;

ρ_{wt} ——纯水在 $t^\circ\text{C}$ 时的密度, g/cm^3 ;

ρ_n ——蜡的密度, g/cm^3 , 应事先实测, 计算至 $0.01\text{g}/\text{cm}^3$, 试验中使用的石蜡以 55 号石蜡为宜, 其密度以实测为准, 如无条件实测, 可采用其近似值 $0.92\text{g}/\text{cm}^3$ 进行计算。

- (2) 试验记录。蜡封法测密度的试验记录格式见表 1.2。

表 1.2 密度试验记录表（蜡封法）

工程名称：_____

仪器编号：_____

试验日期：_____

试验者：_____

计算者：_____

校核者：_____

试样 编号	试样 质量 /g	蜡封试 样质量 /g	蜡封试样 水中质量 /g	温度 /℃	纯水在 T℃的 密度/(g /cm ³)	蜡封试样 体积 /cm ³	蜡体积 /cm ³	试样体积 /cm ³	湿密度 /(g /cm ³)	含水率 /%	干密度 /(g /cm ³)	平均干 密度 /(g /cm ³)
	(1)	(2)	(3)		(4)	(5)=[(2)-(3)]/(4)	(6)=[(2)-(1)]/ρ _w	(7)=(5)-(6)	(8)=1/(7)	(9)	(10)=(8)/[0.01×(9)+1]	(11)

(3) 允许平行差。蜡封法试验应进行两次平行测定，两次测定的密度差值不得大于 0.03g/cm³，并取其两次测值的算术平均值。

1.1.3 灌水法

灌水法是在现场挖坑后灌水，由水的体积来测量试坑容积，从而测定土的密度的方法。

1. 适用范围

灌水法适用于现场测定粗粒土和巨粒土的密度，从而为粗粒土和巨粒土提供施工现场检验密实度的手段。

2. 仪器设备

- (1) 底板。为中部开有圆孔，外沿呈方形或圆形的铁板，圆孔处设有环套，套孔直径为土中所含最大颗粒粒径的 3 倍，环套高度为其粒径的 5%。
- (2) 薄膜。聚乙烯或聚氯乙烯塑料薄膜。
- (3) 储水筒。直径均匀并附有刻度和出水管。
- (4) 台秤。称量 50kg、最小分度值 10g。
- (5) 其他。铁镐、铁铲、水准尺等。

3. 操作步骤

- (1) 根据试样的最大粒径确定试坑尺寸的大小，见表 1.3。

表 1.3 灌水法试坑尺寸

试样最大粒径 /mm	试坑尺寸/mm	
	直 径	深 度
5~20	150	200
40	200	250
60	250	300
200	800	1000

(2) 选定试坑位置, 并将试坑位置处的地面整平, 按确定的试坑直径划出试坑口的轮廓线。地表的浮土、石块、杂物等应予以清除, 而坑洼不平处则用砂铺平, 地面整平的范围应略大于试坑直径的范围, 并用水准尺检查试坑处地表是否水平。

(3) 将底板固定于整平后的地表。将聚乙烯或聚氯乙烯塑料膜沿环套内壁及地表紧贴铺好。记录储水筒初始水位高度, 拧开储水筒的注水开关, 从环套上方将水缓慢注入, 至刚满不外溢为止。记录储水筒水位高度, 计算底板部分的体积。在保持底板原状态固定状态下, 将薄膜盛装的水排至对该试验不产生影响的场所, 然后将薄膜揭离底板。

(4) 在轮廓线内下挖至要求的深度, 用挖掘工具沿底板上的孔挖试坑, 边挖边将坑内的试样装入盛土容器内, 称试样质量, 精确到 10g, 并从挖出的全部试样中取有代表性的样品, 测定其含水率。

(5) 为了使坑壁与塑料薄膜易于紧贴, 对坑壁需加以整修, 薄膜袋的尺寸应与试坑大小相适应, 坑壁和坑底应规则, 试坑直径与深度只能略小于薄膜袋的尺寸, 铺设时应使薄膜袋紧贴坑壁, 否则会求得偏大的密度值。试坑挖好且整修后, 将略大于试坑容积的聚氯乙烯塑料薄膜袋, 沿坑底、坑壁及套环内壁密贴铺好。在往薄膜形成的袋内注水时, 拉住薄膜的某一部位, 一边拉松, 一边注水, 使薄膜与坑壁间的空气得以排出, 从而提高薄膜与坑壁的密贴程度。

(6) 记录储水筒内初始水位的高度, 拧开储水筒的出水管开关, 将水缓慢注入塑料薄膜袋中, 当袋内水面接近环套上边缘时, 将水流调小, 直至水面与环套上边缘齐平时关闭出水管, 等待 3~5min, 然后记录储水筒内的水位高度, 如果坑中塑料薄膜袋内出现水面下降, 则应另取塑料薄膜袋重做试验。

4. 结果整理

(1) 计算。《公路土工试验规程》(JTG E40—2007) 规定以 60mm 作为细粒料与石料的分界粒径, 分开测定细粒料与石料的含水率, 然后按下式求出整体的含水率:

$$\omega = \omega_f p_f + \omega_c (1 - p_f) \quad (1.4)$$

式中 ω ——整体含水率, %, 计算至 0.01;

ω_f ——细粒土部分的含水率, %;

ω_c ——石料部分的含水率, %;

p_f ——细粒料的干质量与全部材料干质量之比。

按式 (1.5) 计算底板部分的容积:

$$V_1 = (h_1 - h_2) A_w \quad (1.5)$$

式中 V_1 ——底座部分的容积, cm^3 , 计算至 0.01cm^3 ;

h_1 ——底座注水前储水筒内初始水位高度, cm;

h_2 ——底座注水后储水筒内终了水位高度, cm;

A_w ——储水筒断面积, cm^2 。

按式 (1.6) 和式 (1.7) 计算试坑容积和试样湿密度, 干密度计算公式见式 (1.4)。

$$V_p = (H_1 - H_2) A_w - V_1 \quad (1.6)$$

$$\rho = \frac{m_p}{V_p} \quad (1.7)$$

式中 V_p ——试坑的容积, cm^3 , 计算至 0.01cm^3 ;
 H_1 ——试坑注水前储水筒内初始水位高度, cm ;
 H_2 ——试坑注水后储水筒内终了水位高度, cm ;
 ρ ——湿密度, g/cm^3 , 计算至 $0.01\text{g}/\text{cm}^3$;
 m_p ——试坑内取出的全部试样的质量, g 。

(2) 试验记录。灌水法测密度的试验记录格式见表 1.4。

表 1.4 密度试验记录表 (灌水法)

工程名称: _____

仪器编号: _____

试坑深度: _____ m

试样最大粒径: _____ mm

试验者: _____

计算者: _____

校核者: _____

试验日期: _____

试坑 编号	底座注水前后储水 筒水位/cm		储水筒断 面积 A_w / cm^2	底座部分容积 V_1 / cm^3	试坑注水前后储水 筒水位/cm		试坑容积 V_p/cm^3
	初始 h_1	终了 h_2			初始 H_1	终了 H_2	
	(1)	(2)	(3)	(4)=[(1)－ (2)]×(3)	(5)	(6)	(7)=[(5)－(6)] ×(3)－(4)

试坑 编号	试样 质量 m_p /g	湿密度 /(g/cm^3)	细粒和石料部分含水率 /%		细粒料干 质量与全 部干质量 之比 p_f	整体含水率 /%	干密度 ρ_d /(g/cm^3)
			细粒土部分 w_f	石料部分 w_c			
	(8)	(9)=(8)/ (7)	(10)	(11)	(12)	(13)=(10)× (12)+(11)×[1－(12)]	(14)=(9)/ [0.01×(13)+1]

(3) 允许平行差。灌水法试验应进行两次平行测定, 两次测定的密度差值不得大于 $0.03\text{g}/\text{cm}^3$, 并取其两次测值的算术平均值。

1.1.4 灌砂法

灌砂法是在现场挖坑后灌标准砂, 由标准砂的质量和密度来测量试坑容积, 从而测定土的密度的方法。

1. 适用范围

灌砂法适用于现场测定粗粒土的密度。灌砂法测试过程比较复杂, 需要一套特定的量砂设备测定试坑的容积, 比较适合于我国半干旱、干旱的西部和西北部地区。

2. 仪器设备

(1) 密度测定器。《土工试验方法标准》(GB/T 50123—1999) 中使用的是由容砂瓶、灌砂漏斗和底盘组成灌砂法密度试验仪；而《公路土工试验规程》(JTG E40—2007) 中使用的是灌砂筒和标定罐，用灌砂筒来测定土的密度。

1) 灌砂法密度试验仪。由容砂瓶、灌砂漏斗和底盘组成，如图 1.1 所示。灌砂漏斗高 135mm、直径 165mm，尾部有孔径为 13mm 的圆柱形阀门；容砂瓶容积为 4L，容砂瓶和灌砂漏斗之间用螺纹接头连接；底盘则用于承托灌砂漏斗和容砂瓶。

2) 灌砂筒和标定罐。灌砂筒和标定罐如图 1.2 所示。灌砂筒为金属圆筒，内径为 100mm，总高 360mm，灌砂筒上部为储砂筒，筒深 270mm（容积 2120cm³），筒底中心有一直径 10mm 的圆孔。灌砂筒下部装一倒置的圆锥形漏斗，漏斗上端开口直径为 10mm，并焊接在一块直径为 100mm 的铁板上，铁板中心有一直径为 10mm 的圆孔与漏斗上开口相接。在储砂筒筒底与漏斗顶端铁板之间设有开关。

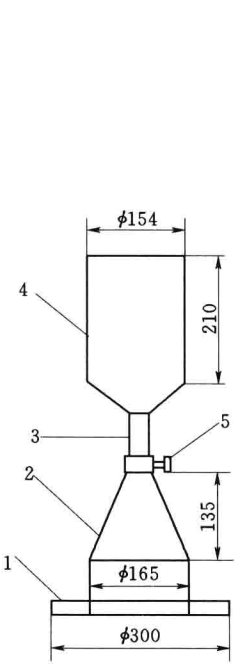


图 1.1 密度试验仪

[据《土工试验方法标准》

(GB/T 50123—1999)] (单位：mm)

1—底盘；2—灌砂漏斗；3—螺纹
接头；4—容砂瓶；5—阀门

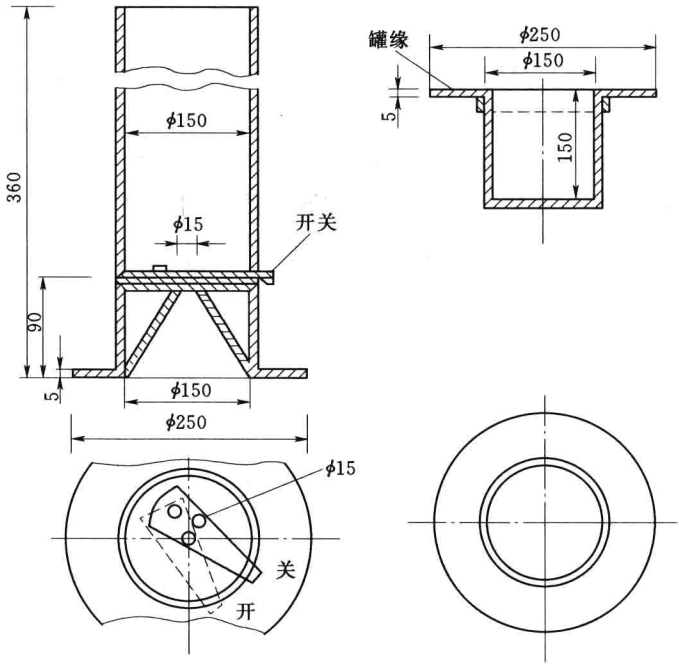


图 1.2 灌砂筒和标定罐 [(据《公路土工试验规程》

(JTG 40—2007)] (单位：mm)

金属标定罐的内径为 100mm，高 150mm 和 200mm 各一个，如由于某种原因，试坑不是 150mm 或 200mm 时，标定罐的深度应与拟挖试坑的深度相同。

(2) 天平。称量 10kg，最小分度值 5g；称量 500g，最小分度值 0.1g。

(3) 其他。铁镐、铁铲、水准尺等。