



新世纪网络课程建设工程

土力学

■ 李镜培 赵春风 编著



高等教育出版社

新世纪网络课程建设工程

土 力 学

李镜培 赵春风 编著



高等教育出版社

内容提要

本教材是在土木工程专业调整与课程体系改革的基础上,根据面向 21 世纪土木类人才培养目标和专业指导委员会对课程设置及教学大纲的要求组织编写的,是教育部新世纪网络课程《土力学》的配套文字教材,是高等教育“百门精品课程教材建设计划”立项研究项目。

本书系统地介绍了土力学的基本原理和分析计算方法,其内容包括土的物理性质及工程分类、土的渗透性与土中渗流、土中应力计算、土的压缩性与地基沉降计算、土的抗剪强度、土压力计算、土坡稳定分析、地基承载力、土的动力性质等共 9 章,每章均附有较全面、详细的例题以及习题和思考题。

本书可作为高等学校土木工程宽口径专业的教学用书,亦可供其他专业师生及技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

土力学/李镜培,赵春风编著. —北京:高等教育出版社,2004.8

ISBN 7-04-014485-9

I. 土... II. ①李... ②赵... III. 土力学-高等学校-教材 IV. TU43

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 049144 号

策划编辑 赵湘慧 责任编辑 李 淑 封面设计 于 涛 责任绘图 朱 静
版式设计 王艳红 责任校对 尤 静 责任印制 宋克学

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-64054588
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-82028899		http://www.hep.com.cn

经 销 新华书店北京发行所
印 刷 北京中科印刷有限公司

开 本	787×960 1/16	版 次	2004 年 8 月第 1 版
印 张	16	印 次	2004 年 8 月第 1 次印刷
字 数	300 000	定 价	20.30 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

前 言

本书是在土木工程专业调整与课程体系改革的基础上,根据面向 21 世纪土木类人才培养目标和专业指导委员会对课程设置及教学大纲的要求组织编写的,是高等教育“百门精品课程教材建设计划”立项研究项目。作为教育部新世纪网络课程《土力学》的配套文字教材,供广大读者学习参考。

本书在编写过程中征求了有关学校对本课程教学的意见,吸收了近十年来本学科工程技术的发展成果,同时考虑了宽口径专业设置教学改革的需要。

本书的出版获得了同济大学“十五”规划教材建设出版基金资助。

本书的每一章都给出了必要的例题、习题和讨论思考题,这些题大多经过多年课堂教学的使用,有利于学生的自学。书中的“问题与提示”是根据专业学习的要求、在上述教学大纲的基础上扩展与深化的内容,教师可根据教学需要取舍。

土力学是一门理论性和实践性都很强的课程,本书在基本原理和方法的选用上以工程实用为主,并兼顾反映国内外的先进技术水平。理论部分以讲解基本假定与概念为主;应用部分充分结合现行规范的规定,但尽量以共性内容为主,不使其简单地成为规范的说明书,有利于培养学生工程实践的能力。

本书由同济大学土力学与基础工程教研室李镜培教授、赵春风副教授编著,由同济大学高大钊教授审阅。同济大学土力学与基础工程教研室多年从事该课程教学的教师黄茂松教授、袁聚云教授、董建国教授、胡中雄教授、王天龙教授、沈锡英副教授、张宏鸣副教授、姚笑青副教授和钟才根副教授等在本书的资料提供、教学内容安排与设计等方面提供了很大的帮助。在此对他们一并表示衷心的感谢。

限于编者的水平,书中难免存在不足之处,恳请读者批评指正。

编 者

2004 年于同济大学

目 录

绪论	1
第1章 土的组成和物理性质	4
1.1 土的三相组成	4
1.2 土的三相比例指标	11
1.3 土的结构	15
1.4 粘性土的界限含水率	16
1.5 砂土的密实度	19
1.6 土的压实原理	20
1.7 土的工程分类	21
习题	25
讨论与思考题	26
第2章 土的渗透性与土中渗流	27
2.1 土中渗流的工程意义	27
2.2 渗透理论	28
2.3 流网及其工程应用	36
2.4 土中渗流的作用力及渗透变形	40
习题	44
讨论与思考题	45
第3章 土中应力分布及计算	47
3.1 概述	47
3.2 土的自重应力	48
3.3 基础底面压力	51
3.4 土中附加应力	56
习题	77
讨论与思考题	79
第4章 土的压缩性与地基沉降计算	80
4.1 土的压缩试验与压缩性指标	80
4.2 地基沉降计算	93
4.3 饱和粘土土地基沉降与时间的关系	109
习题	122
讨论与思考题	125

第 5 章 土的抗剪强度	126
5.1 概述	126
5.2 土的强度理论与强度指标	127
5.3 土的抗剪强度指标试验方法	133
5.4 关于土的抗剪强度影响因素的讨论	148
习题	155
讨论与思考题	156
第 6 章 土压力计算	158
6.1 概述	158
6.2 土压力的分类与相互关系	159
6.3 静止土压力计算	160
6.4 朗肯土压力理论	163
6.5 库仑土压力理论	171
6.6 土压力计算的进一步讨论	180
习题	183
讨论与思考题	184
第 7 章 土坡稳定分析	185
7.1 概述	185
7.2 砂性土土坡的稳定分析	186
7.3 粘性土土坡的稳定分析	188
7.4 土坡稳定分析问题的进一步讨论	204
习题	208
讨论与思考题	209
第 8 章 地基承载力	210
8.1 地基承载力的基本概念	210
8.2 地基临塑荷载和临界荷载	213
8.3 地基极限承载力计算	217
8.4 地基承载力计算的进一步讨论	226
习题	228
讨论与思考题	229
第 9 章 土的动力性质	230
9.1 地基基础中的动荷载	230
9.2 土的动力性能指标及测定	233
9.3 饱和砂土与粉土的振动液化	240
习题	246
讨论与思考题	246
参考文献	247
作者简介	248

结 论

0.0.1 土力学的研究对象与方法

土力学是一门研究与土的工程问题有关的学科,它既是工程力学的一个分支学科,又是土木工程学科的一部分。岩土工程是根据工程地质学、岩体力学和土力学的理论、观点和方法,解决土木工程的工业与民用结构、水利、交通运输系统的固定结构、环境保护与卫生等工程项目中关于岩、土体的利用、整治或改造,并为工程建设项目的实施服务的系统性科学。岩土工程问题所涉及的工程范围非常广泛,而在工业与民用建筑中,大量的的是与土体的利用和处理有关的地基基础设计与施工问题,对这些问题的解决都是以土力学理论为基础的。

土是由不同成因的岩石在风化作用(物理风化、化学风化和生物风化)后经重力、流水、冰川和风力等搬运、沉积而成的自然历史产物。土的工程性质与母岩的成分、风化的性质以及搬运沉积的环境条件有着密切的关系,研究土的工程问题不能不以工程地质学为基础,从宏观的、历史的角度来分析土的各种特殊工程性质的形成机理及其变化的规律。土是一种特殊的变形体材料,它既服从连续介质力学的一般规律,又有其特殊的应力-应变关系和特殊的强度、变形规律,形成了土力学不同于一般固体力学的分析方法和计算方法。

0.0.2 土力学的发展简史

土力学始于 18~19 世纪,有关土力学的第一个理论是 1773 年由库仑(C. A. Coulomb)建立并由摩尔(O. Mohr)发展了的土的摩尔-库仑强度理论,为土压力、地基承载力和土坡稳定分析奠定了基础。1776 年库仑发表了建立在滑动土楔平衡条件分析基础上的土压力理论;1857 年朗肯(W. J. M Rankine)提出了建立在土体的极限平衡条件分析基础上的土压力理论;1856 年达西(H. Darcy)通过室内试验建立了有孔介质中水的渗透理论;1885 年布辛奈斯克(J. V. Boussinesq)和 1892 年弗拉曼(M. Flamant)分别提出了均匀的、各向同性的半无限体表面在竖直集中力和线荷载作用下的位移和应力分布理论,这些早期的著名理论奠定了土力学的基础。上世纪初,土力学继续取得进展,普朗特(L. Prandtl)根据塑性平衡的原理,研究了坚硬物体压入较软的、均匀的、各向同性材料的过程,导出了著名的极限承载力公式。在这基础上,太沙基(K. Terzaghi)、

迈耶霍夫(G. G. Meyerhof)、威锡克(A. S. Vesic)和汉森(B. Hansen)等分别进行了修正、补充和发展,提出了各种地基极限承载力公式;费伦纽斯(W. Fellenius)提出了著名的瑞典圆弧法分析土坡的稳定性;特别是太沙基建立了饱和土的有效应力原理和一维固结理论,比奥(A. M. Biot)建立了土骨架压缩和渗透耦合理论,为近代土力学的发展提供了理论依据。太沙基在1925年发表的《土力学》是最早系统地论述土力学的著作,也是土力学形成一门独立学科的标志。上世纪中叶,太沙基的《理论土力学》以及太沙基和派克(R. B. Peck)合著的《工程实用土力学》是对土力学的全面总结。

0.0.3 土力学课程的内容与特点

土力学讨论的内容主要包括土的基本物理性质与工程分类、土中地下水的渗流分析、土中应力计算、地基沉降计算、地基固结理论、地基承载力计算、土压力计算、土坡稳定分析和土的动力性质等。这些理论与计算方法都是运用材料力学、弹性理论、塑性理论以及流体力学的基本原理研究土这种特殊性质材料的宏观力学行为所得到的结果,是工程实际中解决地基基础设计与施工技术的基本原理,也是学习基础工程学的必备知识。

第1章土的物理性质及工程分类主要介绍描述土的物质组成和干湿、疏密状态的指标试验与计算,以及利用土工指标进行土分类的方法。

第2章土的渗透性与土中渗流主要研究土的渗透特性与渗流分析方法。土中水的存在是土区别于其他工程材料的重要因素,土中水的渗流、土的渗透破坏、水的浮力等是工程设计与施工必须考虑的问题,也是许多工程事故的主要原因。

第3章土中应力分布主要研究在外荷载作用下,土体应力状态的变化及其实用计算方法,这种应力的变化通常是造成土体变形或强度破坏的内在原因,在沉降计算时则需要计算土中附加应力沿深度的变化,这一章为后面几章的学习提供关于应力分布的基础知识和计算附加应力的方法。

第4章土的压缩性与沉降计算主要介绍压缩性指标的试验方法和建筑物沉降计算方法。沉降的计算与控制是地基基础设计的重要内容,过大的沉降与不均匀沉降常常是影响工程安全与正常使用的主要原因;这一章还将介绍分析沉降与时间关系的饱和土固结理论。

第5章土的抗剪强度主要讨论土的极限平衡理论、土的抗剪强度指标的试验方法与指标的工程应用。土的抗剪强度是土力学的重要课题之一,包括地基承载力、土压力和边坡稳定在内的土体稳定性验算都需要正确地测定与正确应用土的抗剪强度指标。

第6章土压力计算主要讨论静止、主动与被动土压力的基本概念、朗金土压

力理论和库仑土压力理论的基本原理及实用计算方法,特别是在各种特殊条件下土压力的计算方法。

第7章土坡稳定分析主要介绍均质土和层状土的土坡稳定分析的几种实用方法,讨论在各种工程条件下土坡稳定计算需要考虑的一些特殊问题。

第8章地基承载力主要讨论地基破坏的三种模式,介绍地基临界荷载和极限荷载理论公式的基本概念和实用计算表达式。

第9章土的动力特性讨论了土的动强度、动模量的基本概念与试验方法;介绍饱和粉细砂和粉土的液化机理与液化判别方法。

土力学是土木、水利等专业的一门重要的技术基础课。主要包括土的物理力学性质以及土的强度理论、渗透理论和变形理论的知识,即解决土力学各种课题的基本理论和试验研究方法。它为后续课程——基础工程提供解决一般工程问题的试验方法和理论基础。因此,本课程是一门实践性和理论性都比较强的课程,在整个教学计划中,它起着从基础课过渡到专业课的桥梁作用,是专业教学前的一个重要环节。

在学习本课程前需要具备的基础知识主要是工程地质学、材料力学和弹性力学的基本概念和部分计算理论等。

0.0.4 土力学课程学习基本要求

由于问题的复杂性,许多土力学的计算理论和公式是在作出某些假设和忽略某些因素的前提下建立的,如土中应力计算、土的压缩变形与地基固结沉降计算方法、土的抗剪强度理论等。一方面,应当了解这些理论难以模拟、概括地基土各种力学性状全貌的不完善之处,注意这些理论在工程实际使用中的适用条件。另一方面,这些理论和公式仍然是目前解决工程实际问题的理论依据,它们在长期的工程实践中发挥着无可替代的作用,并且在不断地完善与发展。因此,学习土力学就应该全面掌握这些基本理论,并学会将它们应用到工程实际中。本课程中的计算公式较多,要求读者掌握公式的来源、意义和应用,但对公式的推导或方程的建立过程,只要求作一般性了解即可。

解决岩土工程问题的关键步骤之一是计算指标和参数的确定,即土的工程性质指标的测定。土的工程性质指标包括物理性质指标和力学性质指标两类。物理指标是指用于定量描述土的组成、土的干湿、疏密与软硬程度的指标;力学性质指标主要是用于定量描述土的变形规律、强度规律和渗透规律的指标。通常只有通过试验才能得出土的工程性质指标,测定这些指标的试验方法包括室内试验和原位测试两类,它们各有其特点和适用条件。学习土力学的理论知识的同时必须重视学习与掌握这些指标的试验测定方法,了解这些指标的适用条件,对主要的试验指标,应掌握其土工试验的操作方法与数据整理方法。

第 1 章 土的组成和物理性质

土是由岩石经过物理风化和化学风化作用后的产物,是由各种大小不同的土粒按各种比例组成的集合体,土粒之间的孔隙中包含着水和气体,是一种三相体系。本章主要讨论土的物质组成以及定性、定量描述其物质组成的方法,包括土的三相组成、土的三相指标、粘性土的界限含水量、砂土的密实度和土的工程分类等。本章的学习要求是:了解土的成因和组成,熟练掌握土的物理性质指标,熟练掌握无粘性土和粘性土的物理性质,了解土的结构性和击实性,掌握土的工程分类原则,了解土的分类与其工程特性的关系。这些内容是学习土力学所必需的基本知识,也是评价土的工程性质、分析与解决土的工程技术问题的基础。

1.1 土的三相组成

土是由固体颗粒、水和气体三部分组成的,通常称为土的三相组成。随着三相物质的质量和体积的比例不同,土的性质也将不同。

1.1.1 土的固相

土的固相物质包括无机矿物颗粒和有机质,是构成土的骨架最基本的物质,称为土粒。对土粒应从其矿物成分、颗粒的大小和形状来描述。

1. 土的矿物成分

土中的矿物成分可以分为原生矿物和次生矿物两大类。

原生矿物是指岩浆在冷凝过程中形成的矿物,如石英、长石、云母等。

次生矿物是由原生矿物经过风化作用后形成的新矿物,如三氧化二铝、三氧化二铁、次生二氧化硅、粘土矿物以及碳酸盐等。

在以物理风化为主的过程中,岩石破碎而并不改变其成分,岩石中的原生矿物得以保存下来;但在化学风化的过程中,有些矿物分解成为次生的粘土矿物。粘土矿物是很细小的扁平颗粒,表面具有极强的和水相互作用的能力。颗粒愈

细,表面积愈大,亲水的能力就愈强,对土的工程性质的影响也就愈大。

2. 土的粒度成分(颗粒级配)

天然土是由大小不同的颗粒组成的,土粒的大小称为粒度。工程上常用不同粒径颗粒的相对含量描述土的颗粒组成情况,这种指标称为粒度成分。

(1) 土的粒组划分

工程上常把大小相近的土粒合并为组,称为粒组。粒组间的分界线是人为划定的,划分时应使粒组界限与粒组性质的变化相适应,并按一定的比例递减关系划分粒组的界限值。

对粒组的划分,我国《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001)划分标准可参见表 1-1。

表 1-1 粒组划分标准

粒组名称	粒组范围/mm
漂石(块石)粒组	>200
卵石(碎石)粒组	20~200
砾石粒组	2~20
砂粒粒组	0.075~2
粉粒粒组	0.005~0.075
粘粒粒组	<0.005

【问题与提示】

在不同的行业规范(标准)中,土粒粒组的划分标准为何有所差异?

由于粒组间分界线的人为因素影响,其划分标准与不同行业的工程特点、设计经验及习惯有关。对粒组的划分,我国有关规范均将砂粒粒组与粉粒粒组的界限定为 0.075 mm。其余粒组的划分标准,在《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001)和《建筑地基基础设计规范》(GB 5007—2002)中相同,但《土的工程分类标准》(GBJ 145—90)和《公路土工试验规程》(JTJ 051—93)中将卵石粒组与砾石粒组界限定为 60 mm,详见表 1-2 所示。

表 1-2 粒组划分

粒组 统称	《土的工程分类标准》(GBJ 145—90)		《公路土工试验规程》(JTJ 051—93)	
	粒组名称	粒组范围/mm	粒组名称	粒组范围/mm
巨粒	漂石(块石)	>200	漂石(块石)	>200
	卵石(碎石)	200~60	卵石(小块石)	200~60

续表

粒组统称	《土的工程分类标准》(GBJ 145—90)		《公路土工试验规程》(JTJ 051—93)	
	粒组名称	粒组范围/mm	粒组名称	粒组范围/mm
粗粒	粗砾	60~20	粗砾	60~20
	细砾	20~2	中砾	20~5
	砂粒	2~0.075	细砾	5~2
			粗砂	2~0.5
			中砂	0.5~0.25
			细砂	0.25~0.075
细粒	粉粒	0.075~0.005	粉粒	0.075~0.002
	粘粒	<0.005	粘粒	<0.002

(2) 粒度成分及其表示方法

土的粒度成分是指土中各种不同粒组的相对含量(以干土质量的百分比表示),它可用以描述土中不同粒径土粒的分布特征。

常用的粒度成分的表示方法有表格法、累计曲线法等。

1) 表格法,是以列表形式直接表达各粒组的相对含量。它用于粒度成分的分类十分方便。表格法有两种不同的表示方法,一种是以累计含量百分比表示的,如表1-3所示;另一种是以粒组表示的,如表1-4所示。累计百分含量是直接由试验求得的结果,粒组是由相邻两个粒径的累计百分含量之差求得的。

表1-3 粒度成分的累计百分含量表示法

粒径 d_i /mm	粒径小于等于 d_i 的累计百分含量 p_i /%		
	土样 a	土样 b	土样 c
10	—	100.0	—
5	100.0	75.0	—
2	98.9	55.0	—
1	92.9	42.7	—
0.50	76.5	34.7	—
0.25	35.0	28.5	100.0
0.10	9.0	23.6	92.0
0.075	—	19.0	77.6
0.010	—	10.9	40.0
0.005	—	6.7	28.9
0.001	—	1.5	10.0

表 1-4 粒度成分分析结果

粒组/mm	土样 a	土样 b	土样 c
10~5	—	25.0	—
5~2	1.1	20.0	—
2~1	6.0	12.3	—
1~0.5	16.4	8.0	—
0.5~0.25	41.5	6.2	—
0.250~0.100	26.0	4.9	8.0
0.100~0.075	9.0	4.6	14.4
0.075~0.010	—	8.1	37.6
0.010~0.005	—	4.2	11.1
0.005~0.001	—	5.2	18.9
<0.001	—	1.5	10.0

2) 另一种常用的粒度成分的表示方法是累计曲线法,它是一种图示的方法,通常用半对数纸绘制,横坐标(按对数比例尺)表示某一粒径,纵坐标表示小于某一粒径的土粒的百分含量,如图 1-1 所示。

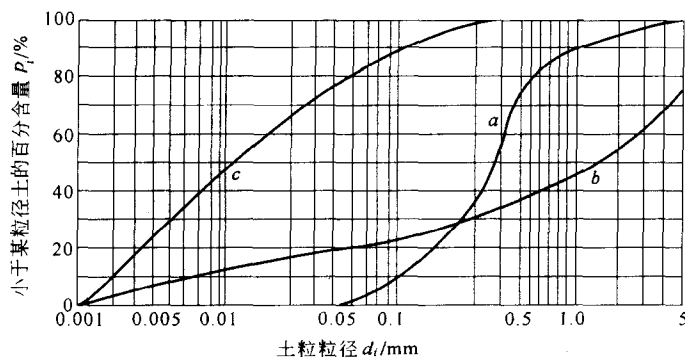


图 1-1 土的累计曲线

在累计曲线上,可确定两个描述土的级配的指标:

$$\text{不均匀系数} \quad C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (1-1)$$

$$\text{曲率系数} \quad C_s = \frac{d_{30}^2}{d_{60} d_{10}} \quad (1-2)$$

式中 d_{10} 、 d_{30} 、 d_{60} 分别相当于累计百分含量为 10%、30% 和 60% 的粒径, d_{10}

称为有效粒径, d_{60} 称为限制粒径。

不均匀系数 C_u 反映大小不同粒组的分布情况, $C_u < 5$ 的土称为匀粒土, 级配不良。 C_u 越大, 表示粒组分布范围比较广, $C_u > 10$ 的土级配良好。但如 C_u 过大, 表示可能缺失中间粒径, 属不连续级配, 故需同时用曲率系数来评价。曲率系数则是描述累计曲线整体形状的标志。

【问题与提示】

粒度成分的其他表示方法及其适用条件如何?

表示粒度成分的方法还有三角坐标法, 它也是一种图示法, 本方法利用等边三角形内任意一点至三个边 (h_1, h_2, h_3) 的垂直距离的总和恒等于三角形之高 H 的原理, 用表示组成土的三个粒组的相对含量, 即图 1-2 中的三个垂直距离可以确定一点的位置。三角坐标法只适用于划分为三个粒组的情况。例如, 当把粘性土划分为砂土、粉土和粘土粒组时, 就可以用图 1-2 所示的三角坐标图来表示。图中 m 点的坐标分别为: 粘粒含量 28.9%; 粉粒含量 48.7%; 砂粒含量 22.4%。对照表 1-4 的数据可以发现, 此土样即为表中的土样 c 。

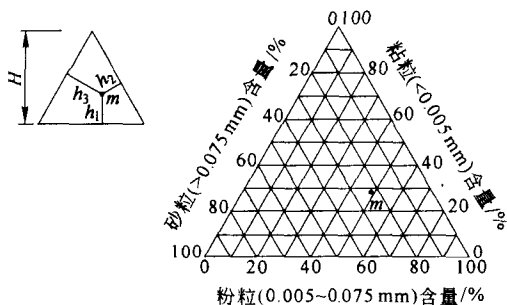


图 1-2 三角坐标图

粒度成分的三种表示方法各有其特点和适用条件。表格法能很清楚地用数量说明土样的各粒组含量, 但对于大量土样之间的比较就显得过于冗长, 且无直观概念, 使用比较困难。

累计曲线法能用一条曲线表示一种土的粒度成分, 而且可以在一张图上同时表示多种土的粒度成分, 能直观地比较其级配状况。

三角坐标法能用一点表示一种土的粒度成分, 在一张图上能同时表示多种土的粒度成分, 便于进行土料的级配设计。三角坐标图中不同的区域表示土的不同组成, 因而还可以用来确定按粒度成分分类的土名。

在实际工程中可根据不同使用要求或场合选用适合的表示方法。

(3) 粒度成分测定方法

对于粗粒土可以采用筛分法测定其粒度成分,而对于细粒土(粒径小于 0.075 mm)则必须用沉降分析法测定其粒度成分。

筛分法是用一套不同孔径的标准筛把各种粒组分离出来,这和建筑材料的粒级配筛分试验相似。由于工艺上无法生产很细的筛布,对很细的粒组就无法用筛分法分离出来。按我国目前的筛孔标准,最小孔径的筛是 0.075 mm,这相当于美国 ASTM 标准的 200 号筛(即在 1 in² 面积上共有 200 个筛孔)。在采用最小孔径的筛作筛分试验时,应当采用水筛的方法,才能把联结在一起的细颗粒分开。通过 0.075 mm 筛的土粒用筛分法无法再加以细分,这就需要用沉降分析法。将筛分法和沉降分析法的结果综合在一起就可以得到完整的以累计百分含量表示的粒度成分。

【问题与提示】

沉降分析法的原理如何?

沉降分析法是根据土粒在悬液中沉降的速度与粒径的平方成正比的司笃克斯(Stokes)公式来确定各粒组相对含量的方法。但实际上,土粒并不是球形颗粒,因此用上述公式计算的并不是实际土粒的尺寸,而是与实际土粒有相同沉降速度的理想球体的直径,称为水力直径。

用沉降分析法测定粒度成分时,如图 1-3 所示,将一定质量 m_s 的干土制成一定体积 V 的悬液,在搅拌均匀并停止搅拌时开始计时,经一定时间 t_i 在液面

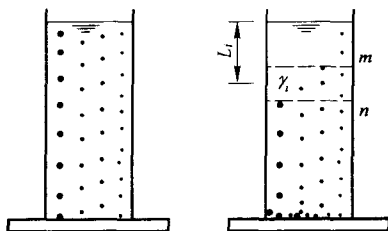


图 1-3 土粒在悬液中的沉降

下某个深度 L_i 测定该深度处悬液的密度 γ_i 。则根据司笃克斯公式,在此深度处的最大粒径 d_i 及小于等于此粒径的土粒质量 m_{si} 可由下式求得:

$$d_i = 1.126 \sqrt{\frac{L_i}{t_i}} \quad (1-3)$$

$$m_{si} = 1000 \frac{\gamma_i - \gamma_w}{\gamma_s - \gamma_w} \gamma_s \quad (1-4)$$

式中 γ_s ——土粒的密度, g/cm^3 ;

γ_w ——水的密度, g/cm^3 。

则悬液中粒径小于等于 d_i (单位为 mm) 的土粒质量 g_{si} 占土粒总质量 g_s 的累计百分比 p_i (以 % 表示) 为

$$p_i = \frac{m_{si}}{m_s} \quad (1-5)$$

在不同的时间间隔测定悬液的密度, 就可以得到不同的粒径及其对应的累计百分含量的对应数据, 具体的试验方法见有关试验标准。

沉降分析法测定悬液密度的方法有两种, 即比重计法和移液管法。比重计是用以测定液体密度的一种仪器, 对于不均匀的液体, 从比重计读出的密度只表示浮泡形心处的液体密度, 公式(1-3)中的 h_i 是由液面至浮泡形心的距离。移液管法是用一种特定的装置在一定深度处吸出一定量的悬液, 用烘干的方法求出其密度。用上述两种方法都可以用上述公式求出土粒的粒径 d_i 和累计百分含量 p_i 。

1.1.2 土的液相

土的液相是指存在于土孔隙中的水。按照水与土相互作用程度的强弱, 可将土中水分为结合水和自由水两大类。

结合水是指处于土颗粒表面水膜中的水, 它因受到表面引力的控制而不服从静水力学规律, 其冰点低于零度。结合水又可分为强结合水和弱结合水。强结合水在最靠近土颗粒表面处, 水分子和水化离子排列得非常紧密, 以致其密度大于 1, 并有过冷现象, 即温度降到零度以下不发生冻结的现象。在距离土粒表面较远地方的结合水称为弱结合水, 由于引力降低, 弱结合水的水分子的排列不如强结合水紧密, 弱结合水可能从较厚水膜或浓度较低处缓慢地迁移到较薄的水膜或浓度较高处, 亦即可从一个土粒迁移到另一个土粒, 这种运动与重力无关, 这层不能传递静水压力的水被定义为弱结合水。

自由水包括毛细水和重力水。毛细水不仅受到重力的作用, 还受到表面张力的支配, 能沿着土的细孔隙从潜水面上升到一定的高度。这种毛细上升对于公路路基土的干湿状态及建筑物的防潮有重要影响。重力水在重力或压力差作用下能在土中渗流, 对于土颗粒和结构物都有浮力作用, 在土力学计算中应当考虑这种渗流及浮力的作用力。

1.1.3 土的气相

土的气相是指充填在土的孔隙中的气体, 包括与大气连通的和不连通的

两类。

与大气连通的气体对土的工程性质没有多大的影响,它的成分与空气相似,当土受到外力作用时,这种气体很快从孔隙中挤出;但是密闭的气体对土的工程性质有很大的影响,密闭气体的成分可能是空气、水汽或天然气。在压力作用下这种气体可被压缩或溶解于水中,而当压力减小时,气泡会恢复原状或重新游离出来。含气体的土称为非饱和土,非饱和土的工程性质研究已成为土力学的一个新分支。

1.2 土的三相比例指标

土的三相物质在体积和质量上的比例关系称为三相比例指标。三相比例指标反映了土的干燥与潮湿、疏松与紧密,是评价土的工程性质的最基本的物理性质指标,也是工程地质勘察报告中不可缺少的基本内容。

推导土的三相比例指标时可采用图 1-4 所示的三相图。图 1-4c 中土样的体积 V 为土中空气的体积 V_a 、水的体积 V_w 和土粒的体积 V_s 之和;土样的质量 m 为土中空气的质量 m_a 、水的质量 m_w 和土粒的质量 m_s 之和;由于空气的质量可以忽略,故土样的质量 m 可用水和土粒质量之和($m_w + m_s$)表示。

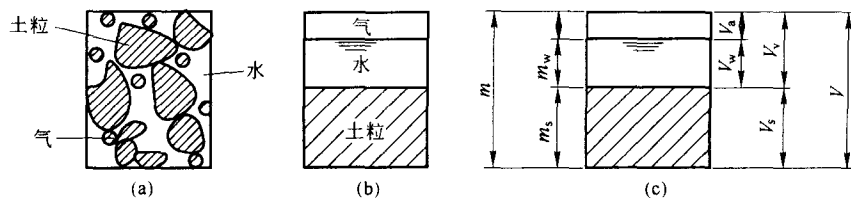


图 1-4 土的三相图

(a) 实际土体; (b) 土的三相图; (c) 各相的质量与体积

三相比例指标可分为两种,一种是试验指标;另一种是换算指标。

1.2.1 试验指标

通过试验测定的指标有土的密度、土粒密度和含水率。

1. 土的密度 ρ

土的密度是单位体积土的质量,设土的体积为 V ,质量为 m ,则土的密度 ρ 可由下式表示: