



高职高专工学结合、课程改革规划教材

交通职业教育教学指导委员会
路桥工程专业指导委员会 组织编写

土力学与地基

(道路桥梁工程技术专业用)

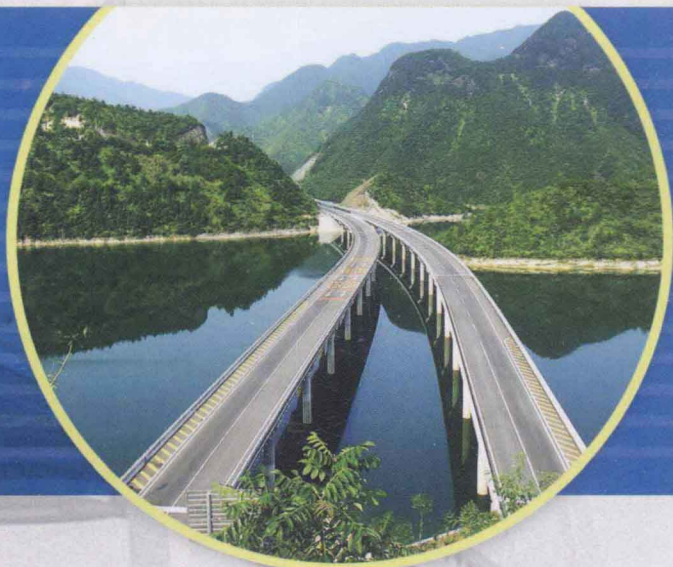
李波 主编

仇益梅 王万德 副主编

赵明华[湖南大学]

续力均[辽宁省高等级公路建设局]

主审



人民交通出版社
China Communications Press

高职高专工学结合、课程改革规划教材
交通职业教育教学指导委员会
路桥工程专业指导委员会 组织编写

Tulixue yu Dijī
土力学与地基

道路桥梁工程技术专业用

李波	主 编
仇益梅 王万德	副主编
赵明华[湖南大学]	主 审
续力均[辽宁省高等级公路建设局]	

人 民 交 通 出 版 社

内 容 提 要

本书是高职高专工学结合、课程改革规划教材,是在各高等职业院校积极践行和创新先进职业教育理念,深入推进“校企合作,工学结合”人才培养模式的大背景下,由交通职业教育教学指导委员会路桥工程专业指导委员会根据新的课程标准编写而成。

全书设置六个学习项目,分别是:土的工程性质测试与现场鉴别、地基沉降量的计算、地基土承载力的确定、挡土墙的设计、土质边坡的稳定性评估、软弱土地基的处理。

本书主要供高等职业教育道路桥梁工程技术专业教学使用,也可作为路桥类工程技术人员的培训教材或自学用书。

图书在版编目(CIP)数据

土力学与地基/李波主编. —北京:人民交通出版社,2011.6

ISBN 978-7-114-09159-9

I. ①土… II. ①李… III. ①土力学—高等职业教育—教材②地基—基础(工程)—高等职业教育—教材
IV. ①TU4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 100135 号

高职高专工学结合、课程改革规划教材

书 名:土力学与地基

著 者:李 波

责任编辑:任雪莲

出版发行:人民交通出版社

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址:<http://www.ccpres.com.cn>

销售电话:(010) 59757969, 59757973

总 经 销:人民交通出版社发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京市密东印刷有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:10.5

字 数:248千

版 次:2011年6月 第1版

印 次:2011年6月 第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-09159-9

印 数:0001-3000册

定 价:26.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

交通职业教育教学指导委员会 路桥工程专业指导委员会

主 任:柴金义

副主任:金仲秋 夏连学

委 员:(按姓氏笔画排序)

王 彤 王进思 刘创明 刘孟林

孙元桃 孙新军 吴堂林 张洪滨

张美珍 李全文 陈宏志 周传林

周志坚 俞高明 徐国平 梁金江

彭富强 谢远光 戴新忠

秘 书:伍必庆

序

为深入贯彻落实教育部《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》及全国普通高等学校教学工作会议的有关精神,积极推行与生产劳动和社会实践相结合的学习模式,把工学结合作为高等职业教育人才培养模式改革的重要切入点,带动教学内容和教学方法改革。交通职业教育教学指导委员会路桥工程专业指导委员会在完成《道路桥梁工程技术专业教学标准和课程标准研究》的基础上,按照职业岗位(群)的任职要求,构建了突出职业能力培养的“教学标准”和“课程标准”,并据此组织全国20多所交通高职高专院校道路桥梁工程技术专业的教师编写了14门课程的工学结合、课程改革规划教材。专业“教学标准”和“课程标准”是全国道路桥梁工程技术专业多年建设成果的总结和提炼。

按照2010年4月路桥工程专业指导委员会所确定的编写原则,本套教材力求体现如下特点:

体系规范。以工学结合、校企合作所开发的教材为切入点,在“教学标准”和“课程标准”确定的框架下,改革教学内容和教学方法,突出专业教学的针对性,选定教材的内容。

内容先进。用新观点、新思想审视和阐述教材内容,所选定的教材内容适应公路建设发展需要,反映公路建设的新知识、新技术、新工艺和新方法。

知识实用。以职业能力为本位,以应用为核心,以“必需、够用”为原则,教材紧密联系生活和生产实际,加强了教学的针对性,能与相应的职业资格标准相互衔接。

使用灵活。体现教学内容弹性化,教学要求层次化,教材结构模块化;有利于按需施教,因材施教。

交通职业教育教学指导委员会
路桥工程专业指导委员会
2010年12月

前 言

本书是高职高专工学结合、课程改革规划教材,是在各高等职业院校积极践行和创新先进职业教育理念,深入推进“校企合作,工学结合”人才培养模式的大背景下,由交通职业教育教学指导委员会路桥工程专业指导委员会根据新的课程标准编写而成,其目标是使学生在掌握土力学与地基基本知识、基本理论的基础上,培养学生运用国家现行有关规范、规程和标准处理实际道路工程中计算地基沉降量、确定地基承载力、设计挡土墙、分析土质坡稳定性和设计地基加固方案等实际职业能力,并为后续学习专业核心课程作前期准备,奠定良好的专业基础。

本课程以道路桥梁工程技术类专业学生的就业为导向,根据行业专家对道路工程技术类专业所涵盖的岗位(群)进行任务和职业能力分析,同时遵循高等职业院校学生的认知规律,紧密结合职业资格证书中相关考核要求,确定本课程的教学模块和课程内容。本教材内容的选择,是由学校专任教师、行业和企业专家合作共同确定课程内容,变学科型课程体系为任务引领型课程体系,紧紧围绕完成工作任务的需要,变知识学科本位为职业能力本位,从“任务与职业能力”分析出发,设置了六个学习项目,分别是:土的工程性质测试与现场鉴别、地基沉降量的计算、地基土承载力的确定、挡土墙的设计、土质边坡的稳定性评估、软弱土地基的处理。

教材中项目一、项目二、项目三由辽宁省交通高等专科学校李波老师编写,项目四、项目五由广西交通职业技术学院仇益梅老师编写,项目六由辽宁省交通高等专科学校王万德老师编写。全书由辽宁省交通高等专科学校李波统稿,由湖南大学土木工程学院赵明华教授和辽宁省高等级公路建设局续力均高级工程师审稿。

由于编者水平有限,书中难免有错误或不足之处,恳请读者批评指正。

本书主要供高等职业教育道路桥梁工程技术专业教学使用,也可作为路桥类工程技术人员的培训教材或自学用书。

编 者

2011年4月

目 录

项目一 土的工程性质测试与现场鉴别	1
任务一 测试土的工程性质	1
任务二 土的现场勘察与鉴别	13
项目二 地基沉降量的计算	22
任务一 计算土中应力	22
任务二 计算某建筑地基的沉降总量	35
项目三 地基土承载力的确定	47
项目四 挡土墙的设计	73
项目五 土质边坡的稳定性评估	119
项目六 软弱土地基的处理	133
附录	152
参考文献	155

项目一 土的工程性质测试与现场鉴别

任务一 测试土的工程性质

学习目标

1. 叙述土的类型与特点;
2. 知道土的三相组成与结构、构造;
3. 熟悉土的物理指标的测试与换算;
4. 掌握黏土、砂土工程评价的方法;
5. 完成土的工程性质常规测试任务。

任务描述

在任务一中,首先通过学习土的形成与特点、土的三相组成、土的结构与构造、土的物理与力学性质、土的工程性质评价等基本知识来认知土的基本性质,然后通过完成土的常规工程性质的测试试验培养学生具有检测土的工程性质的能力。

学习引导

本任务沿着以下脉络进行学习:

1. 任务布置(介绍土的工程性质测试的内容与意义);
2. 课堂教学(学习土的工程性质的基本知识);
3. 分组讨论(分组完成讨论题目并做答案演示);
4. 课后思考与总结(完成实战演练内容);
5. 完成相关土的工程性质测试试验并填写检测报告。

学习相关知识

一、土的形成与特点

1. 土的形成

土是第四纪以来(距今大约 200 万年)由组成地壳岩石圈的坚硬岩石,在表生作用带中(指地表及地表以下不太深的环境条件)经风化、剥蚀、搬运、沉积作用所形成,且分布广泛的松散沉积物,故亦称第四纪沉积物。其厚度通常为数米、数十米至数百米,颗粒本身坚硬、颗粒之间联结较弱;另外土层构造复杂;土中含水率多变,所以土具有分散性、复杂性和易变性。

2. 土的成因类型

1) 残积土

残积土是指岩石经风化后未被搬运而残留于原地的碎屑物质所组成的土体。主要分布于岩石出露的地表,以及经受强烈风化作用的山区、丘陵地带与剥蚀平原。残积物通常处于风化壳的上部,向下则逐渐过渡为半风化岩石,与下卧新鲜岩石无明显的界线。由于地形条件影响其厚度变化较大,见图 1-1-1。岩石遭受风化剥蚀后,仅细小颗粒被搬运走,故残留于原地的土颗粒较粗大、且未被磨圆或分选,无层理构造,孔隙大,均匀性差。

2) 坡积土

坡积土是指由于重力、雨雪、流水等的冲刷剥蚀作用,使高处的岩石风化产物顺坡而下,沉积在山麓或较平缓的山坡下的沉积物,见图 1-1-2。其物质成分与下卧基岩无直接关系。因短途经历搬运,坡积土随斜坡自上而下呈现由粗到细的分选现象,这是坡积土与残积土的明显区别。坡积土层理不明显,土质极不均匀,厚度变化较大,尤其是新近堆积的坡积土经常具有垂直的孔隙,结构疏松,压缩性高。

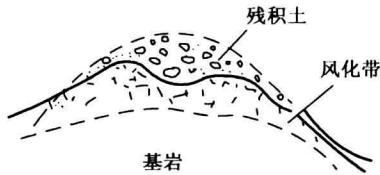


图 1-1-1 残积层

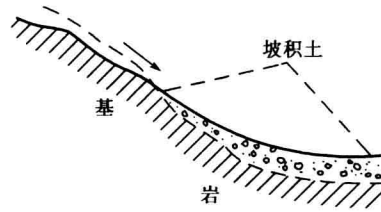


图 1-1-2 坡积层

3) 洪积土

洪积土是指由暴雨或融雪形成的暂时性山洪急流带来的碎屑物质在山沟出口处或山前倾斜平原堆积而成的扇形沉积物,亦称洪积扇(图 1-1-3,图 1-1-4)。当其逐渐扩大时,相邻山口处的洪积扇常相互连接成山前洪积平原。

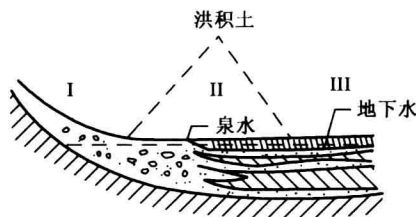


图 1-1-3 洪积层

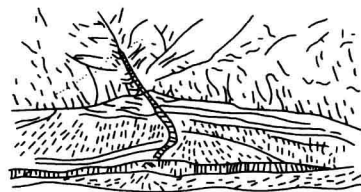


图 1-1-4 洪积扇

4) 冲积土

冲积土是指河水的地质作用,将两岸基岩及其上部覆盖的坡积、洪积物质,剥蚀后搬运并沉积在河流平缓地带形成的沉积物。山区河谷的冲积土以卵石、砾石为主,分选性好。平原河谷冲积地貌包括河床、河漫滩、阶地、古河道及三角洲等。

二、土的三相组成

土是由土固体颗粒、土中水和土中气体组成的三相分散系。土的性质取决于各相的特性与其相对的百分比比例及相互作用。

1. 土的固体颗粒

1) 土颗粒的矿物成分与性质

土颗粒是由岩石风化的碎屑、单体矿物颗粒和有机质组成。其中粗大颗粒主要是经物理风化作用形成的碎屑或矿物颗粒,形状呈块状或粒状。黏结力小,表面所带电荷少,性质简单。细小颗粒是经化学风化作用形成的次生矿物和生成过程中混入的有机物质,形状呈片状。黏结力大,搬移路径长,性质复杂,具有很强的与水作用的能力。颗粒愈小,表面积愈大,颗粒表面所带电荷愈多,则其与水作用的能力愈强,因此性质更复杂。

2) 颗粒级配

从另外一个角度看,土也可以看作是由大小不同的颗粒所组成的。土的性质与颗粒的级配特征和矿物成分有关系。

土颗粒的大小称为土的粒度,可将粒度相近、性质相似的颗粒合并为组,称为粒组,《公路土工试验规程》(JTG E40—2007)土颗粒的划分方案见表 1-1-1。

土粒组划分方案表

表 1-1-1

200		60		20		5		2		0.5		0.25		0.075		0.002(mm)	
巨粒组				粗粒组								细粒组					
漂石 (块石)		卵石 (小块石)		砾(角砾)				砂				粉粒		黏粒			
				粗		中		细		粗						中	

土中各粒组的百分含量称为土的粒度成分,也称作土的级配。以土中各个粒组干土的相对含量的百分比来表示,土的粒度成分是通过颗粒分析试验(筛分法和密度计法)来确定的。

筛分法适用于粒径为 60~0.074mm 的土,将风干的均匀土样放入标准筛(图 1-1-5),标准筛的孔径依次为 60mm、40mm、20mm、10mm、5mm、2mm、1mm、0.5mm、0.25mm、0.1mm,经筛析机上下振动,称出留在每个筛上的土重,求出留在每个筛上土重的相对含量。



图 1-1-5 标准筛示意图

密度计法适用粒径小于 0.074mm 的土,将土样研磨、浸泡和煮沸,置于 1 000mL 量筒的水中混合成液,使之沉降,按土粒在液体中沉降速度与粒径大小的关系,将密度计放入悬液中,测记 1min、2min、5min、30min、60min、240min、1 440min 的密度计读数,根据斯笃克斯定律,计算得出土的粒度成分。

土的粒度成分可用三种方式来表达(列表法、级配曲线法、三角坐标法)。

(1)列表法。列出表格直接表达各粒组的百分含量,见表 1-1-2。

土样粒度成分表

表 1-1-2

粒组(mm)		粒组成分(以质量%计)		
		土样 a	土样 b	土样 c
砾粒	10~5	—	25.0	—
	5~2	3.1	20.0	—
	2~1	6.0	12.3	—
砂粒	1~0.5	14.4	8.0	—
	0.5~0.25	41.5	6.2	—
	0.25~0.10	26.0	4.9	8.0
	0.10~0.05	9.0	4.6	14.4
粉粒	0.05~0.01	—	8.1	37.6
	0.01~0.005	—	4.2	11.1
黏粒	0.005~0.002	—	5.2	18.9
	<0.002	—	1.5	10.0

(2)级配曲线法。见图 1-1-6,横坐标为对数坐标,表示土粒的粒径;纵坐标表示小于(大于)某一粒径的累计百分数。

通过级配曲线可以判断土的粒度成分的级配特征。按图 1-1-6 中 a、b、c 三个土样的曲线形态来判定土样成分的特点,并可以根据曲线来计算土样的级配指标:

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

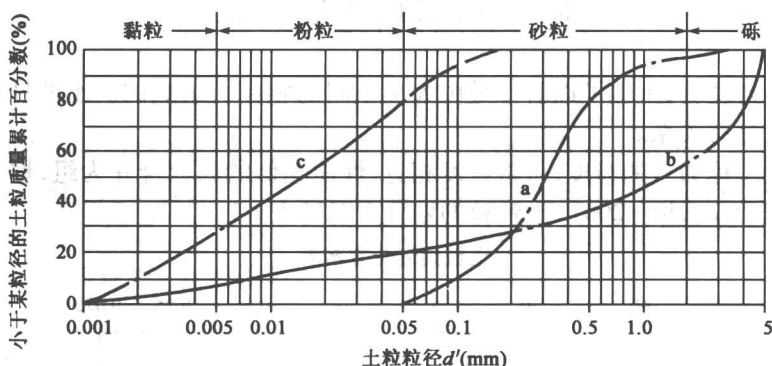


图 1-1-6 粒度成分的级配曲线

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

式中: d_{10} ——有效粒径,是小于某粒径的土粒质量累计百分数为 10% 时相应的粒径;

d_{30} ——有效粒径,是小于某粒径的土粒质量累计百分数为 30% 时相应的粒径;

d_{60} ——限定粒径,是小于某粒径的土粒质量累计百分数为 60% 时相应的粒径。

C_u 值大,曲线平缓,土粒大小分布范围广; C_u 值小,曲线陡,表明土粒大小相近。 $C_u < 5$ 的土,属于均粒土,其级配不良; $C_u \geq 5$ 的土为不均粒土,级配良好。

单靠 C_u 值来判定土的级配是不够的,还必须分析 C_z 值。 $C_z = 1 \sim 3$ 时,土的级配较好; $C_z < 1$ 或 $C_z > 3$ 时,曲线呈明显阶梯状,粒度分布不连续,缺少中间颗粒。只有同时满足 $C_u \geq 5$ 和 $C_z = 1 \sim 3$ 这两个条件时,视为土的级配良好;如不能同时满足,则土的级配不良。级配良好的土可以获得比较高的密度,工程性质也相对较好。

(3)三角坐标法。利用几何定理“等边三角形中任意一点至三边的垂线之和恒等于三角形之高”的原理来表示粒度成分。 $h_1 + h_2 + h_3 = H$, 如图 1-1-7 所示。

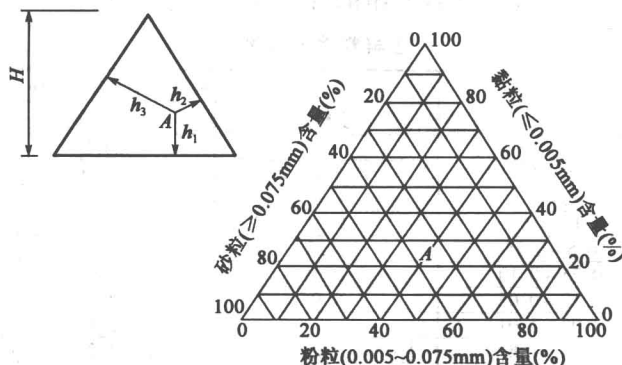


图 1-1-7 土粒度成分的三角坐标图

h_1, h_2, h_3 分别表示土的三个粒组(如:粉粒、黏粒和砂粒)含量,其百分量之和应为 100% (H)。三角坐标图中相应的一个点,代表了该土样的粒度成分。图 1-1-7 中 A 点代表了一个土样的粒度成分,各粒组的含量是:黏粒 30%、粉粒 23%、砂粒 47%。由于这种方法只能表示三种成分,对不同的土可以采用粗粒土三角坐标图和细粒土三角坐标图。

2. 土中水

土中水是指在包气带中,存在于土颗粒间空隙中的水。土中水的性质和数量对土的工程性质影响很大。土中水可分为结合水和毛细水。

1) 结合水

结合水是指细粒土的表面由于有静电吸引力存在而吸附水分子形成的结合水化膜。

根据水分子所受分子引力大小,又可进一步分为固定层和扩散层,即强结合水也称吸着水,弱结合水也称薄膜水,见图 1-1-8。

细粒土颗粒表面由结合水构成土颗粒表面的水化膜。土颗粒的公共水化膜可以形成土颗粒间的联结。土中含水率的多少决定了水膜的厚度,因此对于土的工程性质影响很大,见图 1-1-9。

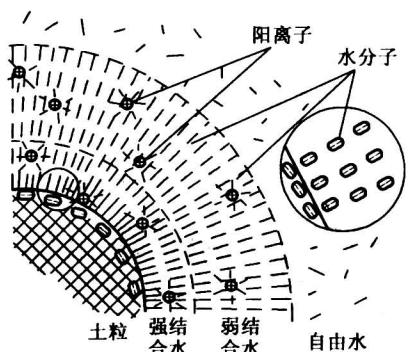


图 1-1-8 水化膜示意图

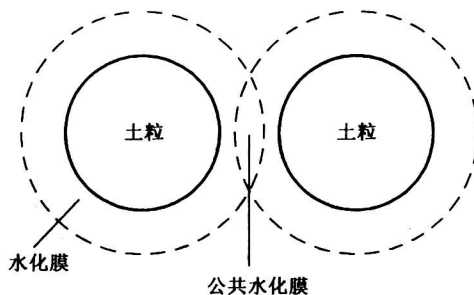


图 1-1-9 细粒土颗粒间的连接示意图

2) 毛细水

受土颗粒表面张力(毛细引力)作用,使重力水上升。毛细水的运动与土颗粒的大小有关,在大颗粒的碎石土中,由于克服不了自身的重力,毛细水几乎无上升的现象,而砂土中的毛细水上升高度 $< 2\text{ m}$,粉土和黏土中的毛细水上升高度 $\geq 2\text{ m}$ 。毛细水对于工程的影响主要有:引起土的可溶盐分的增高,地下工程过分潮湿,土层的冻胀。

土中毛细水带的分布状态和各部分的名称,如图 1-1-10 所示。

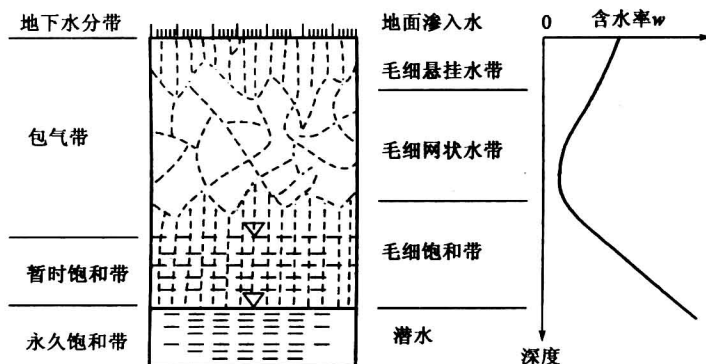


图 1-1-10 土中毛细水带的划分图

3. 土中气体

土中气体是指存在于土颗粒间空隙中的气体,虽然占据一定的体积,但其质量为零,性质与大气相同。当不透水性土层中的气体为封闭气泡时,土体表现为弹性和不透水性。在填土施工时,一般表现为“橡皮土”,因此在用黏性土作为填料时,一般要掺入透水性较好的砂土。

三、土的结构与构造

1. 土的结构

土的结构是土颗粒大小、形状、表面特征、相互排列和联结关系的综合反映。它可分为单粒结构和团聚结构。

1) 单粒结构

单粒结构是粗粒土特有的结构,颗粒间无联结,以任意堆积的形式排列。按堆积的紧密程度又可分为松散型和紧密型,如图 1-1-11a) 所示。该结构对土的工程性质影响很大。

2) 团聚结构

团聚结构是细粒土所具有的结构,颗粒间以公共水化膜联结。它分为蜂窝结构和絮状结构。

(1) 蜂窝结构:粉土的结构形式,颗粒小、颗粒间以公共水化膜的形式联结,如图 1-1-11b) 所示。

(2) 絮状结构:黏土的结构形式,颗粒更小、颗粒间联结更为紧密,如图 1-1-11c) 所示。

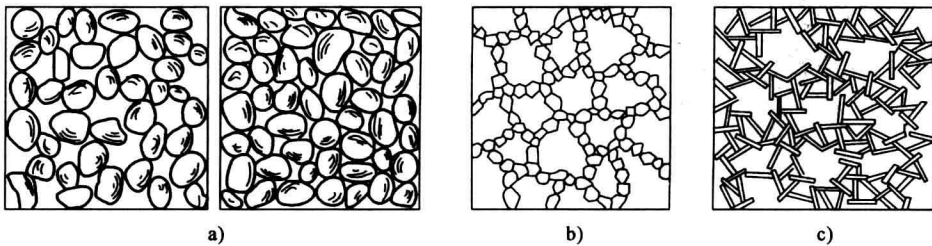


图 1-1-11 土的结构示意图

2. 土层的构造

土的构造是从宏观的角度研究土层的分布,其最主要的特征是土在漫长、复杂的形成过程中产生的成层性和裂隙性,土的结构和构造影响着土的工程性质,见图 1-1-12。

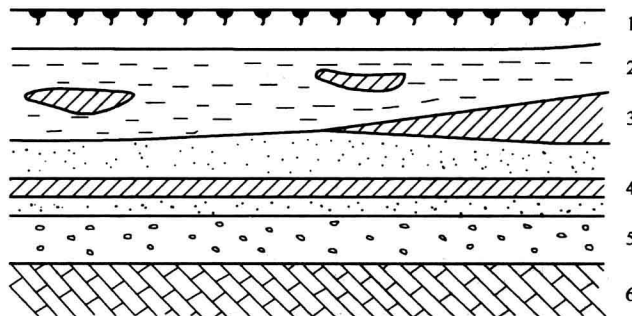


图 1-1-12 土层的层理构造示意图

1-表土层;2-淤泥夹黏土透镜体;3-黏土尖灭层;4-砂土夹黏土层;5-砾石层;6-基岩

四、土的物理与力学性质

土的物理性质主要取决于土的三相比例关系。图 1-1-13 为土体的三相比例示意图。

设土体的总体积为 V , 土粒的体积为 V_s , 孔隙的体积为 V_n , 水的体积为 V_w , 空气的体积为 V_a , 总质量为 m 土粒的质量为 m_s , 水的质量为 m_w , 空气的质量 $m_a = 0$ 。根据三相体系图得到: $V = V_w + V_n = V_s + V_w + V_a$; $m = m_s + m_w$ 。

用来反映土的工程性质的物理指标共有九项, 其中三项基本指标是由试验测试出来的, 其他六项指标是由三项基本指标换算出来的。

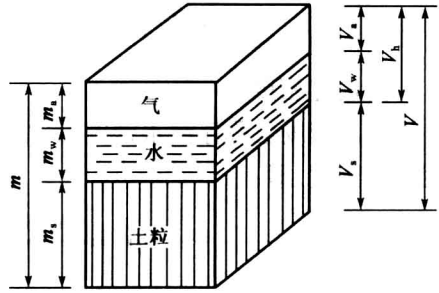


图 1-1-13 土的三相比例示意图

1. 土的三项基本指标

土的三项基本指标是由试验测定得出的, 是反映土的工程性质的最重要指标。

1) 土的密度

土的单位体积的质量称为土的密度(单位为 g/cm^3 、 t/m^3), 即:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1-1-3)$$

土密度数值范围一般为: $1.6 \sim 2.2 \text{g}/\text{cm}^3$, 可采用“环刀法”进行测试。

2) 土粒的密度

土粒的质量与土粒的体积之比称为土粒的密度(单位为 g/cm^3 、 t/m^3), 即:

$$\rho_s = \frac{m_s}{V_s} \quad (1-1-4)$$

土粒的密度 ρ_s 是土的密度和水的密度之比, 无单位(土比重 G 在数值上和土的密度相等), 数值范围一般为: $2.65 \sim 2.76 \text{g}/\text{cm}^3$, 土粒的密度可采用“比重瓶法”、“浮称法”进行测试。

3) 土的含水率

土中水的质量与土粒质量的比值称为土的含水率, 用百分数表示, 即:

$$w = \frac{m_w}{m_s} \times 100\% \quad (1-1-5)$$

土的含水率可采用“烘干法”或“烧结法”进行测试。

2. 土的其他指标

土的其他六项指标, 是从不同的方面来反映土的工程性质。这六项指标不是由试验测出的, 而是由三项基本指标换算得出的。

1) 土的干密度

干燥状态下单位体积土的质量, 即土中固体颗粒的质量与土的总体积的比值, 称为土的干密度(单位为 g/cm^3 、 t/m^3), 即:

$$\rho_d = \frac{m_s}{V} \quad (1-1-6)$$

土的干密度数值范围一般为:1.3 ~ 1.8g/cm³。

2) 饱和密度

土的孔隙在被水充满的状态下,单位体积土的质量称为土的饱和密度,即:

$$\rho_{\text{sat}} = \frac{m_s + V_n \cdot \rho_w}{V} \quad (1-1-7)$$

土的饱和密度数值范围一般为:1.8 ~ 2.3g/cm³。

3) 土的浮密度

土的浮密度也称浮浸水密度,是指土在水面以下,孔隙全被水充满,同时又受到水的浮力作用后的密度,即:

$$\rho' = \frac{m_s + V_n \cdot \rho_w - V \cdot \rho_w}{V} = \rho_{\text{sat}} - \rho_w \quad (1-1-8)$$

4) 孔隙比

土中孔隙的体积与土粒的体积之比称为土的孔隙比,用小数表示,即:

$$e = \frac{V_n}{V_s} \quad (1-1-9)$$

土的孔隙比的数值范围一般为:0.5 ~ 1.2,若 $e < 0.6$,则为低压缩性土;若 $e > 1$,说明土中 $V_n > V_s$ 为高压缩性土,工程性质不良。

5) 孔隙率

土的孔隙的体积与总体积之比称为土的孔隙率,用百分数表示,即:

$$n = \frac{V_n}{V} \times 100\% \quad (1-1-10)$$

6) 饱和度

土中水的体积与土中孔隙体积之比称为土的饱和度,表示孔隙被水充满的程度,用小数表示,即:

$$S_r = \frac{V_w}{V_n} \quad (1-1-11)$$

土的饱和度的数值范围一般为:0 ~ 1, $S_r = 0$ 时为干土; $S_r = 1$ 时为饱和土。

3. 换算公式的推导

已知 ρ 、 G 、 w , 设土的总体积 $V = 1$,

由 $\rho = \frac{m}{V}$, 得 $m = \rho$ 。

又由 $w = \frac{m_w}{m_s} = \frac{\rho - \rho_d}{\rho_d}$ 得:

$$m_s = \rho_d = \frac{\rho}{1 + w}; m_w = m_s \cdot w = \frac{\rho \cdot w}{1 + w}$$

则: $V_s = \frac{\rho}{(1 + w) \cdot G}; V_n = V - V_s = 1 - \frac{\rho}{(1 + w) \cdot G}$

将上式 V_s 、 V_n 、 V_w 、 m_w 、 m_s 代入到各项指标的表达式中即可得出换算公式。其他六项指标的换算公式见表 1-1-3。

土的物理指标换算公式表

表 1-1-3

指标名称	表达式	参考数值	换算公式
干密度 ρ_d (g/cm^3)	$\rho_d = \frac{m_s}{V}$	1.30 ~ 2.00	$\rho_d = \frac{\rho}{1+w}$
饱和密度 ρ_{sat} (g/cm^3)	$\rho_{\text{sat}} = \frac{m_s + V_n \rho_w}{V}$	1.80 ~ 2.30	$\rho_{\text{sat}} = \frac{\rho(G-1)}{G(1+w)} + 1$
水下密度 ρ' (g/cm^3)	$\rho' = \frac{m_s - V_n \rho_w}{V}$	0.80 ~ 1.30	$\rho' = \frac{\rho(G-1)}{G(1+w)}$
饱和度 S_r	$S_r = \frac{V_w}{V_n}$	0 ~ 1	$S_r = \frac{G \cdot \rho \cdot w}{G(1+w) - \rho}$
天然孔隙率 n	$n = \frac{V_n}{V} \times 100\%$	—	$n = 1 - \frac{\rho}{G(1+w)}$
天然孔隙比 e	$e = \frac{V_n}{V_s}$	—	$e = \frac{G(1+w)}{\rho} - 1$

五、土的工程性质评价

1. 黏性土的工程性质评价

黏性土基本全部是由次生的黏土矿物所组成,呈薄片状、表面有静电、亲水性强,含水率对于黏性土的工程性质影响极大,在不同的含水率下黏性土表现为不同的物理状态。

黏土由一种状态转变为另一种状态的分界含水率,称为黏土界限含水率。

黏土由可塑状态转变为流动状态的界限含水率称为液限(w_L),由半固态转变为可塑状态的界限含水率称为塑限(w_p)。

不同状态之间的过渡其实是渐变的,见图 1-1-14。界限含水率是由试验测定出来且由人为制订的数值,我国目前采用联合测定法测量液限和塑限。

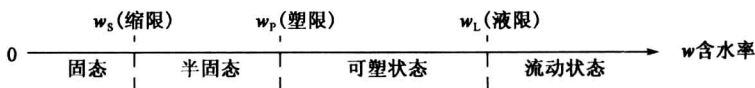


图 1-1-14 黏性土不同的物理状态

(1) 塑性指数是液限和塑限的差值(省去%符号),即土处在可塑状态下含水率的变化范围。

$$I_p = w_L - w_p \quad (1-1-12)$$

表示黏土可塑状态的含水率变化范围,主要用于细粒土的分类,塑性指数的大小与土中结合水的含量有关。

(2) 液性指数是黏性土的天然含水率和塑限的差值与塑性指数之比,即:

$$I_L = \frac{w - w_p}{I_p} = \frac{w - w_p}{w_L - w_p} \quad (1-1-13)$$

表示黏土的软硬程度,主要应用于判断细粒土的天然稠度状态,见表 1-1-4。

黏土的工程性质与其含水率密切相关,密实硬塑的黏土为优良的地基;疏松流塑的黏土为软弱地基,需进行排水固结处理后使之成为优良的地基。土样的含水率可由圆锥入土深度确

定,如图 1-1-15 所示。

液性指数划分黏性土的天然稠度状态表

表 1-1-4

液性指数值	$I_L \leq 0$	$0 < I_L \leq 0.25$	$0.25 < I_L \leq 0.75$	$0.75 < I_L \leq 1$	$I_L > 1$
稠度状态	干硬状态	硬塑状态	易塑状态	软塑状态	流动状态
	半固体状态	塑性状态			流动状态

2. 无黏性土的工程性质评价

无黏性土为散粒结构,最能反映其工程性质的是密实度。呈密实状态时,无黏性土的结构稳定,土的抗剪强度较大,可作为良好的天然地基;呈疏松状态时,尤其是饱和和粉细砂,常处于不稳定状态,属于不良地基。无黏性土密实状态的判别方法有以下两种。

1) 无黏性土的密实度

无黏性土的密实度是指最大孔隙比和天然孔隙比之差与最大孔隙比和最小孔隙比之差的比值,即:

$$D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \quad (1-1-14)$$

但由于目前准确测定 e_{\max} 、 e_{\min} 值还很困难,另外取得原状无黏性土的土样也十分困难,所以 D_r 值也很难准确计算。工程上经常用现场试验的方法来估算无黏性土的密实度。

2) 检测试验——标准贯入试验

用 63.5kg 的铁锤,悬高 76cm 自由下落,把“标准贯入器(外径 50mm,内径 35mm,长 500mm)”打入土层中 15cm 后开始记数,记录直至贯入 30cm 深处所需的锤击数 N ,对照表 1-1-5 的分级标准来鉴定该土层的密实程度。

标准贯入试验平均击次数与密实度关系表

表 1-1-5

分 级	密实度 D_r	平均击次数 N (63.5kg)
密实	$D_r \geq 0.67$	30 ~ 50
中密	$0.67 > D_r > 0.33$	10 ~ 29
松散	稍松 $0.33 \geq D_r \geq 0.20$	5 ~ 9
	极松 $D_r < 0.20$	< 5

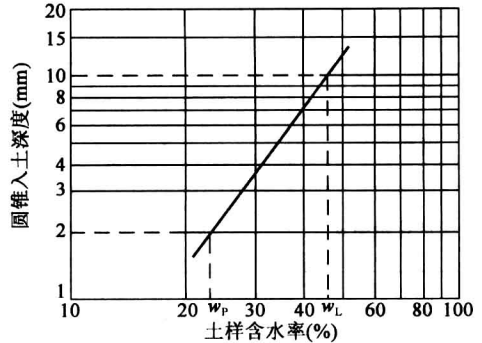


图 1-1-15 圆锥入土深度与含水量关系图

六、土的渗透性质

土的渗透性一般是指水流通过土中孔隙难易程度的性质,或称透水性。地下水在土中的渗透速度一般可按达西定律计算。

1. 达西定律

在岩土空隙比较小的情况下(中砂以下颗粒的孔隙),地下水以层流的方式渗透并遵守达西定律,表达式为:

$$Q = K \times F \times \frac{\Delta H}{L}$$

简化后为: