



公路施工与养护专业用

土质与筑路材料

● 主 编 钱 进

● 主 审 程兴新

Tuzhi Yu Zhulu Cailiao



人民交通出版社
China Communications Press

全国交通高级技工学校通用教材

Tuzhi Yu Zhulu Cailiao

土质与筑路材料

(公路施工与养护专业用)

钱 进 主 编

程兴新 主 审

人民交通出版社

内 容 提 要

本书主要介绍公路工程用土与建筑材料的基本概念、物理力学性能指标的测试方法和技术要求。内容包括:土质、集料、水泥、水泥混凝土及砂浆、石灰、粉煤灰与稳定材料、沥青与沥青混合料、钢材。

本书为全国交通高级技工学校公路施工与养护专业教学用书,也可作为公路类职业中专、职业高中以及相关工种的职业资格培训用书,或作为公路系统职工进行高级工、技师、高级技师培训的选用教材。

图书在版编目(CIP)数据

土质与筑路材料/钱进主编. —北京:人民交通出版社,2006.1

ISBN 7-114-05886-1

I. 土... II. 钱... III. ①道路工程-土质学②道路工程-建筑材料 IV. U414

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 152200 号

全国交通高级技工学校通用教材

书 名:土质与筑路材料(公路施工与养护专业用)

著 作 者:钱 进

责任编辑:王 霞

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.ccpress.com.cn>

销售电话:(010)85285838,85285995

总 经 销:北京中交盛世书刊有限公司

经 销:各地新华书店

印 刷:北京牛山世兴印刷厂

开 本:787×1092 1/16

印 张:16.75

字 数:419 千

版 次:2006年1月 第1版

印 次:2006年1月 第1次印刷

书 号:ISBN 7-114-05886-1

印 数:0001—3000 册

定 价:30.00 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公路类（技工）学科委员会
和交通技工教育研究会公路专业委员会**

柯爱琴 周以德 刘传贤

卞志强 严 军 朱小茹

高连生 毕经邦 姚为民

梁柱义 程兴新 张文才

易连英 蒋 斌 周萌芽



前言

FOREWORD

为了适应交通新的跨越式发展,积极推进一体化教学改革,进一步加快高级技工学校公路类专业教材建设,交通职业教育教学指导委员会公路类(技工)学科委员会和交通技工教育研究会公路专业委员会组织制定了高级技工学校公路施工与养护和公路工程机械使用与维修两个专业的教学计划与教学大纲,并依此确定了教学改革和教材改革的模式。2004年3月启动教材的编写工作,2005年7月交稿。

本套教材用于培养公路类专业高级技工和技师,具有以下特点:

1. 教材内容与高级工等级标准、考核标准相衔接,适应现代化施工与养护的基本要求,教材全部采用最新的标准和规范,符合先进性、科学性和实用性的要求。
2. 教材编写满足理实一体化和模块式的教学方式,以操作技能为主,体现职业教育特色,使学生具备较高的实用技能。
3. 教材与作业、题库配套。各课程均编写了“习题集和答案”,汇成题库和题解,供学生做作业和练习,也可供命题参考。

本套教材由柯爱琴担任责任编委。

《土质与筑路材料》是全国交通高级技工学校公路施工与养护专业通用教材之一,内容包括:土质、集料、水泥、水泥混凝土及砂浆、石灰、粉煤灰与稳定材料、沥青与沥青混合料、钢材。

参加本书编写工作的有:陕西交通技术学院陈莹(编写单元一),山东公路高级技工学校张燕(编写单元二,单元六的课题六,单元七),内蒙古交通学校赵金梅(编写单元三),江苏交通高级技工学校王晖(编写单元四)、钱进(编写单元五,单元六的课题一~六)。全书由钱进担任主编,陕西交通技术学院程兴新担任主审。

本套教材在交通技工教育研究会理事长卢荣林的指导下进行,在编写过程中得到了全国16个省市交通技工学校领导的大力支持和帮助,共有60余名公路类专业教师参与了教材的编审工作,在此表示感谢。

由于我们的业务水平和教学经验有限,书中有不妥之处,恳切希望使用本书的教师和读者批评指正。

交通职业教育教学指导委员会公路类(技工)学科委员会
交通技工教育研究会公路专业委员会

二〇〇五年八月

目 录

CONTENTS

单元一 土质	1
课题一 土的组成	1
课题二 土的物理性质及其指标	9
课题三 土的水理与力学性质	14
课题四 土的工程分类及野外鉴别	27
单元二 集料	34
课题一 细集料的技术性质	34
课题二 粗集料的技术性质	44
课题三 岩石	57
单元三 水泥及水泥混凝土	61
课题一 水泥	61
课题二 水泥混凝土	79
课题三 水泥砂浆	110
单元四 石灰、粉煤灰及稳定材料	117
课题一 石灰	117
课题二 粉煤灰	122
课题三 无机结合料稳定材料	124
单元五 沥青材料	149
课题一 石油沥青	150
课题二 乳化沥青	175
课题三 改性沥青	181
课题四 其它沥青	188
单元六 沥青混合料	190
课题一 沥青混合料概述	190
课题二 沥青混合料的技术性质和技术标准	195
课题三 沥青混合料组成材料的技术要求	202
课题四 矿质混合料的组成设计	209
课题五 热拌沥青混合料配合比设计方法	219
课题六 新型沥青混合料	240
单元七 钢材	247
参考文献	259



单元一 土 质

【理论要求】

掌握土的概念、特点及组成,粒度成分的分析方法,土的常用物理指标,粘性土界限含水量的概念及土的承载力原理。熟练掌握土的压实原理、最大干密度和最佳含水量的概念。了解工程土的分类方法。

【技能要求】

熟练掌握土的击实试验的测定方法,能准确测定土的界限含水量,掌握土粒分析试验和 CBR 试验的测定方法,并具备出具试验报告的能力。

课题一 土的组成



土、土体及土的三相组成

1. 土的概念

土是地壳表层母岩经强烈风化作用而形成颗粒大小不等、未经胶结的一种松散物质,它包括土壤、粘土、砂、岩屑、岩块和砾石等。土的总的特征是颗粒与颗粒之间的粘结强度低,甚至没有粘结性。根据土粒之间有无粘结性,大致可将土分为砂类土(砾石、砂)和粘质土两大类。

土从外观的颜色上看,较为复杂,但以黑、红、白为基本色调。颜色是土粒成分的直观反映,黑色是因所含有有机物的腐化染色而成的,白色常来自石英和高岭石的本色,红色主要是由高价氧化铁染色而成。土的颜色随着土的形成环境不同,呈现着多种多样的变化。

土是地壳表层广泛分布着的物质,几乎无处不有。平原、海滨、河谷等处的土层厚度很大,在这些地区,人类的工程活动处处要遇到土的问题,因而,对土的研究在工程地质中占有十分重要的地位。在陆地上所沉积的土层,在水平方向上延伸不远,层位厚度有很大变化,其性质也发生变化;在垂直方向上则形成不同土层互相穿插,交替频繁,其性质极不均一。因此,我们在评价建筑地基时,所涉及的就是不均匀土层,而且是厚度不等、性质各异的许多土层组合的土体。

2. 土体的概念



土体是指建筑场地范围内主要由不同土层组成的单元体。土体涉及到对建筑物有影响的整个面积与深度。土体按照成因可分为：残积土、坡积土、洪积土、冲积土、淤积土、冰积土和风积土等类型。由于它们是在漫长的地质岁月中，一次又一次的由不同的地质作用、不同时代的物质堆积而成，因此它们的组成物质不可能是均匀的，而是由不同层次、不同性质的土层所组成。各层次的土粒粒度不同、土的类型不同，其物理力学性质也不一致。即使是同一土层，也不是完全均匀的，还会出现透镜体、尖灭、变薄等构造现象，其构造延伸的范围也很不相同。

既然土体不是由单一且均匀的土所组成，那么对待土体就不能用局部、孤立的土块去代表它，同时又不能用某单一的土去代表土体，实质上土与土体是整体与局部的关系。总之，土与土体是有关联而又不能混为一谈的两个概念。在工程地质工作中，为了掌握土体的结构，必须鉴定具体的各个单一的土层，即研究各层土的特性是研究土体的基础。

3. 土的三相组成

土的三相组成是指土由固体颗粒、液体水和气体三部分组成（即固相、液相和气相）。土中固体颗粒构成土的骨架，骨架之间贯穿着大量孔隙，孔隙中充填着液体水和气体。

随着环境的变化，土的三相比例也发生相应的变化，土体三相比例不同，土的状态和工程性质也随之各异。例如：

固体 + 气体（液体 = 0）为干土。此时粘土呈干硬状态，砂土呈松散状态。

固体 + 液体 + 气体为湿土。此时粘土多为可塑状态。

固体 + 液体（气体 = 0）为饱和土。

由此可见，研究土的各项工程性质，首先应从最基本的、组成土的三相本身开始。

1) 土中固相物质

土的固相物质包括矿物颗粒和有机质，它组成土的主体部分，构成土的“骨架”，也叫做“土粒”。土粒的物质基础是各种各样的矿物，除带有与母岩相同的原生矿物成分外，还带有大量的次生矿物成分和有机物。概括起来说，组成地表土的物质可以分为两大类，一类是包括原生矿物和次生矿物的无机质，一类是包括泥炭在内的动植物残骸和腐殖质的有机质。这些物质成分与化学成分的差异，及其不同分量的组合，就构成了不同类型的各种土的性质和特征。

2) 土的液相

土的液相是指土中水部分或全部地充满土颗粒间的孔隙内。土中水可分为两大类，一类结合在土颗粒内部，成为矿物的组成部分，称为矿物内部结合水；另一类存在于天然土体的孔隙中，与土粒矿物表面接触，有的呈液相，有的呈气相，也有的结成固相的冰。土中的各类水对土的工程性质的形成，有着不同程度的作用和影响，土粒愈粗影响愈小，土粒愈细影响愈大。土中的水按其工程性质不同可分为：

(1) 结构水

①强结合水（吸着水） 强结合水的性质与普通水不同，其密度大于1（约为 $1.2 \sim 1.4\text{g/cm}^3$ ），性质接近固体，不传递静水压力， 100°C 不蒸发， -78°C 低温才冻结成冰，只有在 $105^\circ\text{C} \sim 110^\circ\text{C}$ 的高温下才能被烘去。土中吸着水的最大含量：砂土一般为 $1\% \sim 2\%$ ，粘土可达 10% 以上。当粘性土只含强结合水时呈固态坚硬状态；砂性土含强结合水时呈散粒状态。



土颗粒间的吸着水具有抵抗土体变形的能力,这是粘土区别于砂土的显著标志之一。

②弱结合水(薄膜水) 这种水在强结合水外侧,呈薄膜状,密度大于普通液态水(约为 $1.3 \sim 1.7 \text{ g/cm}^3$),也不传递静水压力。此部分水对粘性土的影响最大。

(2) 自由水

自由水包括毛细水和重力水。

①毛细水 这种水位于地下水位以上土粒细小孔隙中,是介于结合水与重力水之间的一种过渡型水,受毛细作用而上升。一般孔隙大的砂土,毛细水上升高度小,甚至没有;孔隙太小的粘土,土粒间的孔隙全部被结合水所占据,毛细水没有移动的通路或移动受到很大阻力,所以上升非常缓慢;在极细砂和粉土中孔隙小,毛细水上升快,而且高,在寒冷地区注意由于毛细水而引起的基础冻胀问题,尤其要注意毛细水源源不断地将地下水上升所产生的严重冻胀。

②重力水 这种水位于地下水位以下较粗颗粒的孔隙中,是只受重力控制,具有浮力的作用。在重力水中能传递静水压力,并具有溶解土中可溶盐的能力。

(3) 气态水和固态冰

气态水是以水气状态存在于孔隙中。它能从气压高的空间向气压低的空间运动,并可在土粒表面凝聚转化为其它各种类型的水。气态水的迁移和聚集使土中水和气体的分布状态发生变化,可使土的性质改变。

固态冰是当气温降至 0°C 以下时,由液态的自由水冻结而成。由于水的密度在 4°C 时为最大,低于 0°C 的冰,不是冷缩,反而膨胀,使基础发生冻胀,因此,寒冷地区基础的埋深要考虑冻胀问题。

3) 土的气相

土中气体是指土的固体矿物之间的孔隙中,没有被水充填的部分。土的含气量与含水量有密切关系。土的孔隙中占优势的是气体还是水,对土的工程性质有很大的影响。

土中的气体可分为与大气连通的和不连通的两类。与大气连通的气体在受外力作用时,这种气体很快地从孔隙中被挤出来,所以它对土的工程性质影响不大。而与大气不连通的密封气体,在受到外力作用时,随着压力的增大,这种气泡可被压缩或溶解于水中,压力减小时,气泡会恢复原状或游离出来。若土中封闭气泡很多时,将使土的压缩性增高,渗透性降低。所以它对土的工程性质影响较大。



土的粒度成分

自然界的土,作为组成土体骨架的土粒,大小悬殊,性质各异。工程上常把组成土的各种大小颗粒的相互比例关系,称为土的粒度成分。土的粒度成分如何,对土的一系列工程性质起着决定性的影响,因而,它是工程性质研究的重要内容之一。

1. 粒组的划分

土的粒度是指土颗粒的大小,以粒径表示,通常以 mm 为单位。土粒由粗到细,粒径将每一区段中所包括大小比例相似且工程性质基本相同的颗粒合并为组,称为粒组。每个粒组的区间内常以其粒径的上、下限给以粒组命名,如砾粒、砂粒、粉粒、粘粒等。各组内还可细分成若干亚组,表 1-1-1 是我国部颁标准《公路土工试验规程》(JTJ 051—93)粒组划分表。



粒组划分表

表 1-1-1

200		60	20	5	2	0.5	0.25	0.074	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	粘粒	
		粗	中	细	粗	中	细			

粒组划分的方案,从工程地质角度看,划分原则为:

(1)应符合粒径由量变到质变的规律。

以 2mm 粒径为土粒有无毛细力的界限,大于 2mm 的土粒没有毛细力,粒间也无联结力。

以 0.074mm 粒径的土粒为有无水联结和有无粘结力的界限,2 ~ 0.074 mm 粒径为砂粒组成的土,具有毛细力,粒间具有水联结,但不具粘结力。

以 0.002mm 粒径的土粒为有无粘结力的界限,0.074 ~ 0.002mm 粒径为粉粒组成的土有粘结力,失水时联结力递减而导致尘土飞扬;小于 0.002mm 粒径为粘粒组成的土有强粘结力,失水时联结力递增,土变硬。

(2)应与现代粒度分析观测技术水平相适应。

粒径大于 0.074mm 的土粒可用筛析法进行颗粒分析。

粒径小于 0.074mm 的土粒可采用静水沉降法进行颗粒分析。

(3)粒组的界限值服从简单的数学规律,以便于记忆和应用。

2. 粒度成分及粒度分析

一般天然土由若干个粒组组成,它所包含的各个粒组在土全部质量中各自占有的比例称为粒度成分,又称颗粒级配。用指定方法测定土中各个粒组占总质量百分数的试验,称为土的颗粒分析。

1) 粒度成分的分析方法

目前所采用的方法可归纳为两大类:一是利用各种方法把各个粒组按粒径分离开来,直接测出各粒组的百分含量,称为直接测定法,如筛分法、移液管法等;二是根据各粒组的某些不同特性,间接地判定土中各粒组的含量,称为间接测定方法,如肉眼鉴定法、比重计法等。

目前,我国常用的粒度分析方法是:对于粒径大于 0.074mm 的粗粒土,采用筛分法直接测定;对于粒径小于 0.074mm 的细粒土,主要用静水沉降法测定;若土中粗细颗粒兼有时,则可联合使用上述两种方法。

(1) 筛析法。

颗粒分析试验(筛分法)(T 0115—93)

一、目的和适用范围

本试验方法适用于分析粒径大于 0.074mm 的土。

二、仪器设备

1. 标准筛:粗筛(圆孔):孔径为 60mm、40mm、20mm、10mm、5mm、2mm;

细筛:孔径为 2mm、0.5mm、0.25mm、0.074mm。

2. 天平:称量 5000g,感量 5g;称量 1000g,感量 1g;称量 200g,感量 0.2g。

3. 摇筛机。



4. 其它:烘箱、筛刷、烧杯、木碾、研钵及杵等。

三、试样

从风干、松散的土样中,用四分法按照下列规定取出具有代表性的试样:小于2mm 颗粒的土 100~300g;最大粒径小于10mm 的土 300~900g;最大粒径小于20mm 的土 1000~2000g;最大粒径小于40mm 的土 2000~4000g;最大粒径大于40mm 的土 4000g 以上。

四、试验步骤

1. 对于无凝聚性的土

(1) 按规定称取试样,将试样分批过2mm 筛。

(2) 将大于2mm 的试样从大到小的次序,通过大于2mm 的各级粗筛。将在筛上的土分别称量。

(3) 2mm 筛下的土如数量过多,可用四分法缩分至100~800g。将试样按从大到小的次序通过小于2mm 的各级细筛。可用摇筛机进行振摇,振摇时间一般为10~15min。

(4) 由最大孔径的筛开始,顺序将各筛取下,在白纸上用手轻轻摇晃,至每分钟筛下数量不大于该级筛余质量的1%为止。漏下的土粒应全部放入下一级筛内,并将留在各筛上的土样用软毛刷刷净,分别称量。

(5) 筛后各级筛上和筛底土总质量与筛前试样质量之差,不应大于1%。

(6) 如2mm 筛下的土不超过试样总质量的10%,可省略细筛分析;2mm 筛上的土不超过试样总质量的10%,可省略粗筛分析。

2. 对于含有粘土粒的砂砾土

(1) 将土样放在橡皮板上,用木碾将粘结的土团充分碾散、拌匀、烘干、称量。如土样过多时,用四分法称取代表性土样。

(2) 将试样置于盛有清水的瓷盆中,浸泡并搅拌,使粗细颗粒分散。

(3) 将浸润后的混合液过2mm 筛,边冲边洗过筛,直至筛上仅留大于2mm 以上的土粒为止。然后,将筛上洗净的砂砾风干称量。按以上方法进行粗筛分析。

(4) 通过2mm 筛下的混合液存放在盆中,待稍沉淀,将上部悬液过0.074mm 洗筛,用带橡皮头的玻璃棒研磨盆内浆液,再加清水,搅拌、研磨、静置、过筛,反复进行,直至盆内悬液澄清。最后,将全部土粒倒在0.074mm 筛上,用水冲洗,直到筛上仅留大于0.074mm 净砂为止。

(5) 将大于0.074mm 的净砂烘干称量,并进行细筛分析。

(6) 将大于2mm 颗粒及2~0.074mm 的颗粒质量从原称量的总质量中减去,即为小于0.074mm 颗粒质量。

(7) 如果小于0.074mm 颗粒质量超过总土质量的10%,有必要时,将这部分土烘干、取样,另做比重计或移液管分析。

五、结果整理

1. 按下式计算小于某粒径颗粒质量百分数:

$$X = \frac{A}{B} \times 100 \quad (1-1-1)$$

式中: X ——小于某粒径颗粒的质量百分数, %;

A ——小于某粒径的颗粒质量, g;

B ——试样的总质量, g。



2. 当小于2mm的颗粒如用四分法缩分取样时,试样中小于某粒径的颗粒质量占总土质量的百分数:

$$X = \frac{a}{b} \times p \times 100 \quad (1-1-2)$$

式中: a ——通过2mm的试样中小于某粒径的颗粒质量, g;

b ——通过2mm筛的土样中所取试样的质量, g;

p ——粒径小于2mm的颗粒质量百分数。

3. 在半对数坐标纸上,以小于某粒径的颗粒质量百分数为纵坐标,以粒径(mm)为横坐标,绘制颗粒大小级配曲线,求出各粒组的颗粒质量百分数,以整数(%)表示。

表1-1-2为颗粒分析试验记录,根据表1-1-2试验结果由表1-1-3可判断该土为中砂土。

颗粒分析试验记录(筛分法)

表 1-1-2

粒组名称	粒径(mm)	筛余质量(g)	筛余百分率(%)
卵石组	>2	3	1
极粗砂粒组	2~1	36	12
粗砂粒组	1~0.5	96	32
中砂粒组	0.5~0.25	120	40
细砂粒组	0.25~0.1	30	10
极细砂粒组、更细土粒	<0.1	15	5
总计		300	100

砂类土按颗粒级配分类

表 1-1-3

土的名称	颗粒级配	土的名称	颗粒级配
砂	粒径>2mm的颗粒占全部土质量的25%~50%	细砂	粒径>0.1mm的颗粒超过全部土质量的75%
粗砂	粒径>0.5mm的颗粒超过全部土质量的50%	粉砂	粒径>0.1mm的颗粒不超过全部土质量的75%
中砂	粒径>0.25mm的颗粒超过全部土质量的50%		

注:按表定名时,根据表中粒径分组由大到小,以最先符合者确定之。

(2) 沉降分析法 基本原理是0.002~0.2mm粒径的土在水或液体中靠自动下沉时应做等速运动,运动的规律符合司笃克斯定律,定律认为土粒越大,在静水中沉降的速度越快,反之土粒越小,沉降速度越慢。

在进行粒度成分分析时,先把一定质量的干土制成一定体积的悬液,搅拌均匀后,各种粒径的土在悬液中分布是均匀的,即各种粒径在悬液中的浓度在不同深处都是相等的。静置一段时间后,悬液中不同粒径的颗粒以相应的速度在水中沉降,较粗颗粒沉降较快,细颗粒沉降较慢,这样悬液中各段的密度有不同程度的减小,粒度成分发生变化,利用这一基本规律现象采用比重计法分别测出各粒级的粒径大小。

2) 粒度成分表示方法

粒度成分经分析后,常用的表示方法有表格法、累积曲线法和三角坐标法。

(1) 表格法。



以列表形式直接表达各粒组的相对含量。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 1-1-4 所示;另一种是以粒组表示的,如表 1-1-5。

粒度成分的累计百分含量表示法

表 1-1-4

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	—
5	100.0	75.0	—
2	98.9	55.0	—
1	92.9	42.7	—
0.5	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
0.01	—	10.9	40.0
0.005	—	6.7	28.0
0.001	—	1.5	10.0

粒度成分的分析结果

表 1-1-5

粒组 (mm)	粒度成分(以质量%计)		
	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	—
0.25 ~ 0.10	26.0	4.9	8.0
0.10 ~ 0.075	9.0	4.6	14.4
0.075 ~ 0.01	—	8.1	37.6
0.01 ~ 0.005	—	4.2	11.1
0.005 ~ 0.001	—	5.2	18.9
< 0.001	—	1.5	10.0

(2) 累计曲线法。

通常用半对数坐标纸绘制。横坐标表示粒径 d_i ;纵坐标表示小于某一粒径的累积百分数 p_i 的含量。如图 1-1-1 是根据表 1-1-4 提供的数据,在半对数坐标纸上绘制得土样的粒度成分



累计曲线。

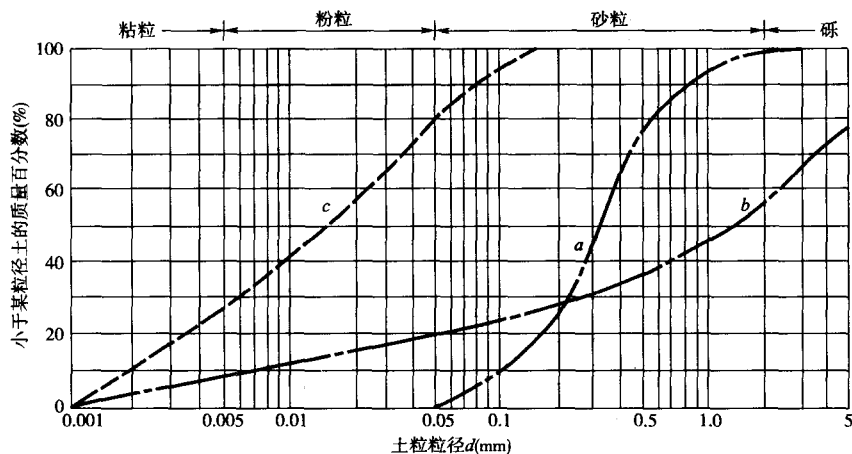


图 1-1-1 粒度成分累计曲线

从累计曲线图上可以看出:曲线平缓,表明土的粒度成分混杂,大小粒组都有,各粒组的相对含量都差不多;曲线坡度较陡,表明土粒比较均匀,斜率最大线段所包括的粒组,在土样中的含量最多,成为具有代表性的粒组。

累计曲线的用途主要有以下两个方面:

第一,由累计曲线可以直观地判断土中各粒组的分布情况。曲线 a 表示该土绝大部分是由比较均匀的砂粒组成;而曲线 b 表示该土是由各种粒组的土粒组成,土粒极不均匀;曲线 c 表示该土中砂粒极少,主要由粉粒和粘粒组成。

第二,由累计曲线可确定两个土粒的级配指标:

$$\text{不均匀系数 } C_u: \quad C_u = d_{60}/d_{10} \quad (1-1-3)$$

$$\text{曲率系数(或称级配系数)} C_c: \quad C_c = d_{30}^2/d_{10}d_{60} \quad (1-1-4)$$

式中: d_{10} ——土的有效粒径,即土中小于该粒径的颗粒质量为 10% 的粒径, mm;

d_{60} ——限制粒径,即土中小于该粒径的颗粒质量为 60% 的粒径, mm;

d_{30} ——平均粒径,即土中小于该粒径的颗粒质量为 30% 的粒径, mm。

不均匀系数 C_u 反映土的粗细情况和级配情况。 C_u 值愈大,曲线越平缓,表明土颗粒大小分布范围大,土的级配良好。 C_u 值愈小,曲线愈陡,表明土粒大小相近似,土的级配不良。一般认为不均匀系数 $C_u < 5$ 时,称为匀粒土,其级配不好; $C_u \geq 5$ 时的土为非匀粒土,其级配良好。

实际上,仅单靠不均匀系数 C_u 来确定土的级配情况是不够的,还必须同时考虑曲率系数 C_c 的值。 C_c 值愈高,表明土的均匀程度高;反之,均匀程度低。在工程上,常利用累计曲线确定的土粒两个级配指标值来判定土的级配优劣情况。当同时满足不均匀系数 $C_u \geq 5$ 和曲率系数 $C_c = 1 \sim 3$ 这两个条件时,土为级配良好的土;若不能同时满足,土为级配不良的土。

例如,图 1-1-1 中曲线 a , $d_{10} = 0.11 \text{ mm}$, $d_{30} = 0.22 \text{ mm}$, $d_{60} = 0.39 \text{ mm}$, 则 $C_u = 3.55$, $C_c = 1.13$, 表明土样 a 为级配不良的土。

(3) 三角坐标法。



此法可用来表达粘粒、粉粒和砂粒三种粒组的百分含量。它是利用几何上等边三角形中任意一点到三边的垂直距离之和等于三角形的高的原理,即 $h_1 + h_2 + h_3 = H$ 来表达粒度成分。如取三角形的高 $H = 100\%$, h_1 为粘土颗粒的含量, h_2 为砂土颗粒的含量, h_3 为粉土颗粒的含量,则图 1-1-2 中 m 点即表示土样的粒度成分中粘粒、粉粒和砂粒的百分含量分别为 23%、47% 和 30%。

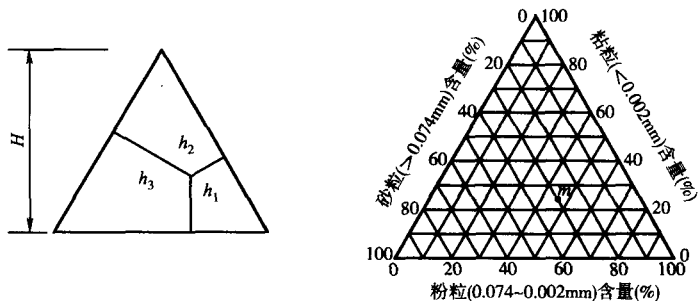


图 1-1-2 三角坐标表示粒度成分

上述三种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许多种土的粒度成分,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(见土的工程分类)。

课题二 土的物理性质及其指标

土的物理性质是指土的各组成部分(固相、液相和气相)的数量比例、性质和排列方式以及所表现的物理状态,如轻重、干湿、松密程度等。土的物理性质是土最基本的工程性质,它在工程建筑过程中,不仅要结合土的成分、结构、含水含气的情况来了解其物理性质的特点和变化规律,而且还要通过试验取得其物理性质各项指标的数据,以作为工程设计的依据。

土的物理性质指标,就是指土中固相、液相、气相三者在体积和质量方面的相互配比的数值。为了分析和计算方便,一般将土的三相关系用简图加以表达(见图 1-2-1)。

土的物理性质指标分两类:一类是通过试验直接测定的土的天然密度、含水量和土的相对密度;另一类是以这三项指标为依据,由推导而得到的土的干密度、孔隙比、孔隙率、饱和密度、水下密度和饱和度等。

确定三相比例关系的基本物理性质指标

1. 土的相对密度 G_s (土粒比重)

土的相对密度是指土在 $105^\circ\text{C} \sim 110^\circ\text{C}$ 下烘干至恒重时的质量与同体积 4°C 蒸馏水质量的比值。它是土的基本物理性质指标之一。

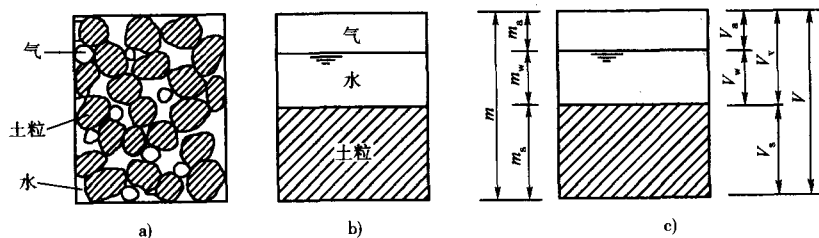


图 1-2-1 土的三相图

a) 实际土体; b) 土的三相图; c) 各相的体积与质量

$$G_s = \frac{\text{固体颗粒的质量}}{\text{同体积 } 4^\circ\text{C 蒸馏水质量}} = \frac{m_s}{V_s \rho_w} \quad (1-2-1)$$

式中: G_s ——土粒的相对密度;

m_s ——干土粒的质量, g;

V_s ——干土粒的体积, cm^3 ;

ρ_w ——水在 4°C 时的密度, g/cm^3 。

土的相对密度只与组成土的矿物成分有关,而与土的孔隙大小无关。一般砂土的相对密度为 2.65,粘土的相对密度可达 2.75,含腐殖质多的粘质土其相对密度较小,约为 2.60。

常用测定方法有:比重瓶法、浮称法与虹吸筒法。

比重瓶法适用于粒径小于 5mm 的土;浮称法适用于粒径大于等于 5mm 的土,且其中粒径为 20mm 的土质量应小于总土质量的 10%;虹吸筒法适用于粒径大于等于 5mm 的土,且其中粒径为 20mm 的土质量应大于等于总土质量的 10%。

2. 土的密度(ρ)

土的密度是指土的总质量与土的总体积的比值。这里所说的总质量包括:土粒的质量(m_s)、土孔隙中的水分(m_w)和气体(m_a)的质量;因气体质量极小,可视为 $m_a \approx 0$ 。根据孔隙中水分情况可将土的密度分为天然密度(ρ)、干密度(ρ_d)、饱和密度(ρ_t)和水下密度(ρ')。

(1) 天然密度(ρ)。也称湿密度,是指在天然状态下,土的单位体积的质量,即土粒的质量(m_s)和孔隙中天然水分(m_w)的质量。它是土的基本物理性质指标之一。

$$\rho = \frac{m_s + m_w}{V} = \frac{m}{V} \quad (1-2-2)$$

式中: ρ ——土的天然密度, g/cm^3 ;

m_w ——土中的水的质量, g;

m_s ——土中土粒的质量, g;

V ——土的总体积, cm^3 ;

m ——土的总质量, g。

土的密度与土的结构和所含水分的多少以及矿物成分有关,所以在测定土的天然密度时,必须用原状土样,以保持其天然结构状态下的天然含水量。如果土的结构破坏了或水分变化了,则土的密度也就改变了,这就不能正确测得真实的天然密度。也可根据工程的需要制备所需状态的扰动土样。

土的孔隙中含水量的多少,对土的密度影响很大,随含水量的不同,土的密度值一般变化



于 $1.60 \sim 2.20 \text{ g/cm}^3$ 之间。

测定土的天然密度,通常用环刀法测定。在工程中,根据土情况不同也用电动取土器法、灌水法、灌砂法和蜡封法。

环刀法适用于细粒土;电动取土器法适用于无机结合料稳定细粒土和硬塑土密度的快速测定;灌水法适用于现场测定粗粒土和巨粒土的密度;灌砂法适用于现场测定细粒土、砂粒土和砾类土的密度;蜡封法适用于易破裂土和形态不规则的坚硬土。

(2) 干密度(ρ_d)。是指干燥状态下单位体积土的质量,即土中固体土粒的质量(m_s)与土的体积(V)的比值。

$$\rho_d = \frac{m_s}{V} \quad (1-2-3)$$

或

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + 0.01w} \quad (1-2-4)$$

式中: ρ_d ——干密度, g/cm^3 ;

ρ ——天然密度, g/cm^3 ;

w ——含水量, %。

土的干密度实际上是土中完全不含水分的密度,它是土的密度的最小值。某一土样的干密度值的大小,主要取决于土的结构,因为它在这一状态下与含水量无关,加之土粒部分的矿物成分又是固定的。因此,土的结构,即孔隙度的大小,影响着干密度值。一般规律是:土的干密度值愈大,土愈密集,孔隙度也就愈小。干密度在一定程度上反映了土粒排列的紧密程度。在工程中常用它计算压实度 δ ,作为人工填土压实的控制指标。

$$\delta = \frac{\rho_d}{\rho_{\max}} \quad (1-2-5)$$

式中: δ ——压实度;

ρ_d ——工地实测的干密度;

$\rho_{\max}$ ——标准击实试验所得的最大干密度。

3. 土的含水量

土的含水量是指土的孔隙中所含水分的数量,它是土的基本物理性质指标之一。表征土中含水情况的指标有天然含水量、饱和含水量和饱和度。

土的天然含水量土是指在 $105^\circ\text{C} \sim 110^\circ\text{C}$ 下烘至恒量时所失去的水分质量和达恒量后干土质量的比值,一般用百分数表示,如式:

$$w = \frac{\text{水的质量}}{\text{固体颗粒质量}} = \frac{m_w}{m_s} \times 100\% \quad (1-2-6)$$

式中: w ——土的天然含水量, %;

其余符号意义同前。

土的含水量只能表明土中固相与液相之间的数量关系,不能描述有关土中水的性质;只能反映孔隙中水的绝对值,不能说明其充满程度。当 $w = 0$ 时,砂土呈松散状态,粘土呈坚硬状态。粘性土的含水量很大时其压缩性高,强度低。

土的天然含水量要求直接采用原状土测定,可将野外采集的天然土样,保护土中水分不被