



全国高职高专道路与桥梁专业系列规划教材

GAOZHIGAOZHUAN

# 土质学与土力学

秦植海 刘福臣 主 编

况世华 徐秀华 副主编



科学出版社  
www.sciencep.com

2.1  
2

全国高职高专道路与桥梁专业系列规划教材

# 土质学与土力学

秦植海 刘福臣 主 编

况世华 徐秀华 副主编

科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

全书共八章,分别介绍土的物理性质及工程分类,土中应力,土的渗透性,土的变形,抗剪强度规律,挡土墙土压力,边坡稳定,地基承载力。本书内容简明扼要,突出了专科特色,实用性强。

本书可供高职高专道路与桥梁专业及其他土建类专业使用,亦可作为土建类工程技术人员的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

---

土质学与土力学/秦植海,刘福臣主编. —北京:科学出版社,2004

(全国高职高专道路与桥梁专业系列规划教材)

ISBN 7-03-013408-7

I. 土… II. ①秦…②刘… III. ①土质学-高等学校:技术学校-教材②土力学-高等学校:技术学校-教材 IV. ①P642.1②TU43

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 041646 号

---

责任编辑:董安齐 / 责任校对:陈丽珠

责任印制:吕春珉 / 封面设计:东方上林工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2004年6月第一版 开本:B5(720×1000)

2004年6月第一次印刷 印张:14

印数:1—4 000 字数:270 000

定价:18.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈路通〉)

# 《全国高职高专道路与桥梁专业系列规划教材》

## 编委会

**主 任** 李继业

**副主任** 沈养中 邓爱华 周志坚 童安齐

**委 员** (以姓氏笔画为序)

王育军 叶加冕 刘 凌 刘宝莉

刘福臣 许能生 沈 建 陈 刚

吴明军 吴清海 李西亚 邱琴忠

赵全振 俞素平 施晓春 高 杰

徐宇飞 徐梓忻 秦植海 郭玉起

符明娟 翟爱良 戴景军

# 前 言

“土质学与土力学”是道路与桥梁专业的一门重要基础课程。

本教材共分八章,以叙述土力学与土质学的基本概念和工程应用为主要内容,包括绪论、土的物理性质及工程分类、土中应力计算、土的渗透性、土体变形计算、土的抗剪强度、土压力、土坡稳定分析及地基承载力。本教材不仅重视基本概念、原理的学习,更注重结合工程实际,体现了专科教材突出专业技术应用能力培养的特点。本教材采用国家(部)最新规范、规程和标准。

本教材编写分工如下:绪论、第一章、第二章由河北工程技术高等专科学校秦植海编写,其中有关颗粒分析、界限含水率、击实等实验内容由河北工程技术高等专科学校李兰英编写;第三章由山东农业大学潘东兴编写;第四章、第六章由山东农业大学刘福臣编写;第五章由昆明冶金高等专科学校况世华、李彪编写;第七章由平顶山工学院贺瑞霞编写;第八章由福建交通职业技术学院徐秀华编写。全书由秦植海统稿,由浙江大学李海芳博士主审。

本教材在编写过程中,参考并引用了有关院校编写的教材和生产科研单位的技术文献资料,编者在此一并致谢。

限于时间仓促和编者水平,书中不足之处在所难免,恳请广大读者不吝赐教。

# 目 录

## 前言

绪论	1
0.1 土质学与土力学简介	1
0.2 本课程在道路、桥梁工程中的重要性	2
0.3 本课程的特点和学习方法	3
0.4 本学科的发展简况	4
第一章 土的物理性质及工程分类	5
1.1 概述	5
1.2 土的生成	5
1.3 土的组成	8
1.4 土的三相量比例指标	14
1.5 无黏性土的密实度	19
1.6 黏性土的稠度	20
1.7 土的压实原理	24
1.8 地基土(岩)的工程分类	26
思考题	32
习题	32
第二章 土中应力计算	34
2.1 概述	34
2.2 自重应力	34
2.3 基底压力	38
2.4 地基附加应力	41
思考题	65
习题	65
第三章 土的渗透性	67
3.1 渗透基本定律	67
3.2 渗透变形	73
思考题	76
习题	76
第四章 土体变形计算	78
4.1 概述	78

4.2 土的压缩性质	79
4.3 地基最终沉降量计算	87
4.4 基础沉降随时间变化的计算	102
4.5 小结	107
思考题	108
习题	108
<b>第五章 土的抗剪强度</b>	<b>110</b>
5.1 土的强度规律	110
5.2 强度指标的测定方法	117
5.3 有效应力原理	127
思考题	134
习题	134
<b>第六章 土压力</b>	<b>136</b>
6.1 土压力及产生条件	136
6.2 朗肯土压力理论	139
6.3 库仑土压力理论	150
6.4 汽车荷载引起的土压力	159
思考题	163
习题	164
<b>第七章 土坡稳定分析</b>	<b>166</b>
7.1 概述	166
7.2 无黏性土坡的稳定性	167
7.3 黏性土坡的整体稳定分析	169
7.4 黏性土条分法土坡稳定分析	176
7.5 土坡稳定分析的几个问题	185
思考题	189
习题	190
<b>第八章 地基承载力</b>	<b>192</b>
8.1 概述	192
8.2 按临界荷载确定地基承载力	196
8.3 按极限荷载确定地基承载力	200
8.4 按规范方法确定地基容许承载力	204
8.5 小结	210
思考题	212
习题	213
<b>参考文献</b>	<b>214</b>

# 绪 论

## 0.1 土质学与土力学简介

任何建筑物都支承于地层上,受建筑物荷载影响的那一部分地层称为地基[见图 0.1(a)]. 建筑物的下部通常要埋入地下一定的深度,座落在较好的地层上,建筑物向地基传递荷载的下部结构称为基础[见图 0.1(b)]. 土质学与土力学是一门研究地基土的学科,主要解决工程中有关土的问题。

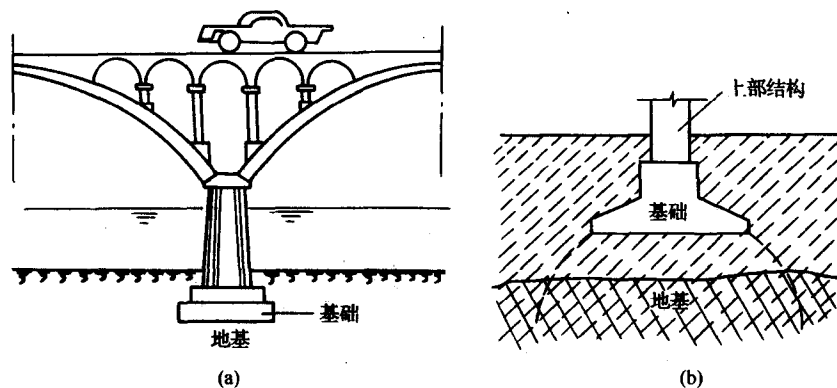


图 0.1 地基与基础

地球表面的大块岩石经自然界风化、搬运、沉积等地质作用形成松散堆积物或沉淀物,在建筑工程中称为土。土是各种矿物颗粒的集合体。土是自然界的产物,它与其他建筑材料在质地、强度等诸多方面存在着较大的差异。特别是某些土在含水率很高的情况下,压缩性很大、承受荷载的能力很低。

由于土的形成年代、生成环境及矿物成分不同,所以其性质也是复杂多样的。例如,沿海及内陆地区的软土,华北、东北及西北地区的黄土,分布在全国各地区的黏土、膨胀土和杂填土等,都具有不同的性质。因此,进行建筑设计之前,必须对建筑场地进行勘察,提出工程地质报告。然后根据上部荷载、桥梁涵洞或房屋使用及构造上的要求,采用一些必要的措施,使地基变形不超过其允许值,并保证建筑物和构筑物是稳定的。

土质学与土力学这门课程,是利用力学的一般原理,研究土的应力应变、强度和渗透等特性及其随时间变化的规律的学科,它是力学的一部分。



未经人工处理的地基,称为天然地基。如果地基软弱,其承载力及变形不能满足设计要求时,则要对地基进行加固处理,这种地基称为人工地基(例如采用机械压实、强力夯实、换土垫层、排水固结等方法处理过的地基)。采取哪一种处理方法,应视道路、桥梁、房屋及其他建筑物对地基土的具体要求而定。

## 0.2 本课程在道路、桥梁工程中的重要性

首先介绍一些建筑工程实例。建于1941年的加拿大的特朗斯康谷仓(见图0.2),高31m,宽23m,其下为片筏基础,由于事前不了解基础下埋藏有厚达16m的软黏土层,建成后初次贮存谷物时,基底压力超过了地基承载力,致使谷仓一侧突然陷入土中8.8m,另一侧则抬高1.5m,仓身倾斜达 $27^\circ$ 。这是地基发生整体滑动、建筑物失稳的典型例子。由于该谷仓整体性较强,谷仓完好无损,事后在下面做了70多个支承于基岩上的混凝土墩,用388个500kN的千斤顶,才将仓体扶正,但其标高比原来降低了4m。

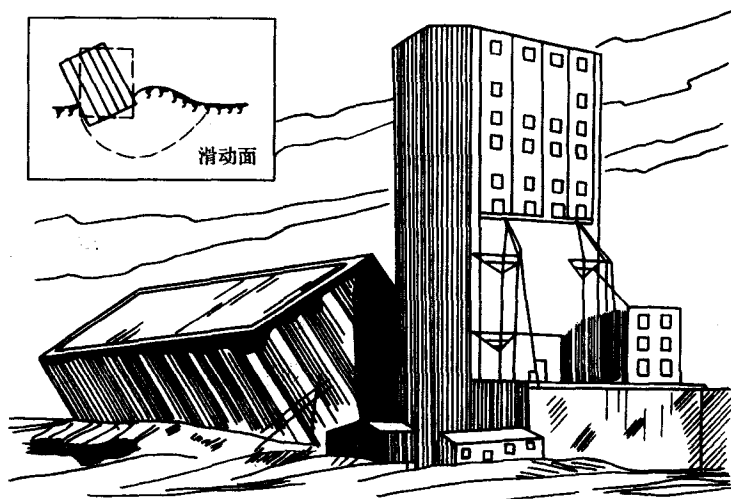


图 0.2 加拿大特朗斯康谷仓的地基事故

建于1954年的上海工业展览馆中央大厅,总重约10 000t,其基础是平面尺寸为 $45\text{m} \times 45\text{m}$ 的两层箱形基础,地基为厚约14m的淤泥质软黏土。建成后基础当年下沉0.6m,目前大厅平均下沉量达1.6m。墙面由于不均匀沉降而产生较大裂缝。

又如1173年兴建的意大利比萨斜塔,当建至24m时发现倾斜,被迫停工。100年后续建至塔顶(高约55m)。至今塔身一侧下沉了1m多,另一侧下沉了约3m,倾斜 $5.8^\circ$ 。1932年曾于塔基灌注了1000t水泥,效果仍然不明显。近年该塔以每年

1mm 的速度仍在下沉,成为世界上著名的基础工程问题。

在道路及桥梁工程中,会遇到各种有关土的工程问题,包括土作为建筑物地基、作为填筑路堤的建筑材料,以及作为建筑物的环境三个方面。

在道路工程中,路堤是用土填筑而成,土作为建筑材料要求用碾压方法将填土压实,以保证路堤的强度及稳定性,因此需要研究土的压实性,包括土的压实机理、压实方法及压实指标的评价。

自然环境的变化也将影响土的稳定性,如我国北方地区的道路常常发生冻胀及翻浆冒泥现象,影响行车安全,这是因为温度的变化而引起的。因此在本课程中将研究土的冻胀机理。

在路基工程中遇到的土质改良问题,也即稳定土问题,就是根据土质学中黏性土的物理化学性质提出的。山区道路工程中的边坡稳定及挡土墙的土压力计算,都是应用土力学的计算方法。

在桥梁工程中,基础工程占有非常重要的地位。桥梁墩台基础设计时,需要确定地基容许承载力,以及计算基础的沉降量,这特别对超静定结构的桥梁更为重要。桥台背上的土压力计算,桥头引道路堤重力在地基中引起的应力及沉降问题等,这些都需要应用土力学的方法进行计算。

由此可见,土质学及土力学与道路及桥梁工程有着密切的联系,学习本课程是为了更好地学习有关专业课程,也为了更好地解决有关的工程技术问题。

### 0.3 本课程的特点和学习方法

本课程是一门理论性与实践性均较强的课程,内容广泛、综合性强,学习时应抓住重点,兼顾全面。从专业要求出发,必须牢固掌握土的应力、变形、强度和地计算等土力学的基本概念和原理。

土由固体颗粒、土中水和气体组成,土颗粒构成土的骨架,土中孔隙由气体和液体填充,所以,我们称土体为三相体系,与连续介质比较,更具复杂性,而且受环境影响较大。现有的土力学理论还很难准确地模拟天然土层在荷载作用下所显现出来的力学性质。所以,土力学虽是指导人们进行地基基础设计的重要理论依据,但还应通过与实践反复比较,才能逐步提高对理论的认识,从而不断增强解决实际问题的能力。

我国土地辽阔,幅员广大,由于自然地理环境的不同,分布着多种不同的土类,如软弱土、湿陷性黄土、膨胀土、多年冻土和红黏土等。天然地层的性质和分布,不但因地而异,即使在较小的范围内,也可能有很大的变化,因此不能像其他建筑材料一样,有统一的规格可供查阅。每一建筑场地都必须进行地基勘察,采取原状试样进行土工测试,以其试验结果作为地基基础设计的依据。

本教材与理论力学、材料力学、结构力学、水力学、工程地质有较密切的联系,

学习本课程之前应该具备上述课程的基本知识。本教材中遇到与这些课程有关的内容时,只引用其公式、结论,而不再进行公式的推导。

## 0.4 本学科的发展简况

土质学与土力学既是一门古老的工程技术,又是一门新兴的应用学科。

我国劳动人民远在春秋战国时期开始兴建的万里长城以及隋唐时期修通的南北大运河,穿越各种复杂的地质条件,历尽千百年风雨沧桑而不毁,被誉为亘古奇观;隋朝李春作为石匠在河北省修建的赵州石拱桥,不仅因其建筑和结构设计而闻名于世,其地基基础处理也是非常合理的。他将桥台砌置于密实粗砂层上,1300多年来估计沉降量仅几厘米,现在通过验算桥台的基底压力为 $500\sim 600\text{kPa}$ ,这与现代土力学理论方法给出的该土层的承载力非常接近。

18世纪工业革命的兴起,大规模的城市建设和水利、铁路的兴建,遇到了许多与土有关的力学问题,积累了许多成功的经验,也总结了不少失败的教训,它促使人们对土的研究寻求理论上的解释。1773年,法国人库仑根据实验提出了砂土的抗剪强度公式和挡土墙土压力的滑动楔体理论;1857年,英国人朗肯又从另一途径建立了土压力理论,对后来的土体强度理论的建立起了推动作用;之后布森涅斯克求得了弹性半空间体在集中力作用下的应力、应变理论解答,弗伦纽斯为解决铁路塌方问题提出了土坡稳定分析方法。这些理论和方法至今仍作为土力学的基本理论被广泛应用着。至1925年美国土力学专家太沙基的《土力学》专著发表,土力学才成为一门独立学科,以后在工程实践中不断丰富、提高。

20世纪50年代开始,现代科技成就特别是电子技术渗入了土力学的研究领域。实验技术实现了自动化、现代化,人们对地层的性质有了更深的了解。土力学理论和基础工程技术取得了令人瞩目的进展。

长期以来,在计算地基变形时,假定土体是弹性体;在进行挡土墙土压力计算和边坡稳定分析时,又将土看作理想的刚性体。而实际土体的应力应变关系是非线弹性的。因此确切地讲,土力学的理论对于那些高重建筑物的设计,其相符性和精度是远远不能满足要求的。借助电子技术及试验技术,许多学者已开展了土的弹塑性应力应变关系的研究,提出了各种本构关系的模型,有些已用于工程计算和分析。我国不少学者对土力学理论发展也作出了可贵的贡献。如陈宗基教授1957年提出的土流变学和黏土结构模式,已被电子显微镜观测证实;黄文熙教授1957年提出非均质地基考虑侧向变形影响的沉降计算方法和砂土液化理论。

当然,由于土的性质的复杂性,到目前为止,土质学与土力学的理论虽已有了很大发展,但与其他成熟学科相比较,尚不完善,在假定条件下的理论,应用于实践时多带有近似性,有待于人们不断实践、研究,以获得更加令人满意的突破。

# 第一章 土的物理性质及工程分类

地球表面岩石经风化、搬运、沉积形成了松散集合体——土。

土由固体颗粒、液体、气体组成。土颗粒的级配在一定程度上可反映土的某些性质。液体水对细粒土的性质影响很大。土的三相比例指标共10个,其中 $\rho$ 、 $d_s$ 、 $\omega$ 直接测定,其他可换算。无黏性土的工程性质受密实度影响,黏性土的工程性质受含水率影响。土在不同的含水率时,击实效果不同,在一定击实功下,最优含水率 $\omega_{op}$ 对应最大干密度 $\rho_{dmax}$ 。按粒径大小对粗粒土进行分类,用塑性指数 $I_p$ 对细粒土分类。

## 1.1 概 述

土是岩石经风化、搬运、沉积形成的产物。不同的土其矿物成分和颗粒大小存在着很大差异,颗粒、水和气体的相对比例也各不相同。所以,要研究土体所具有的工程性质,就必须了解土的三相组成以及在自然界中土的结构和构造等特征。

土体的物理性质,如轻重、软硬、干湿、松密等在一定程度上决定了土的力学性质,它是土的最基本的特征。土的物理性质由三相物质、相对含量以及土的结构构造等因素决定。在工程设计中,需要掌握这些物理性质的测定方法和指标间存在的换算关系,熟悉按有关特征及指标对地基土进行工程分类及初步判定土体的工程性质。

## 1.2 土的生成

构成天然地基的物质是地壳外表的土和岩石。地壳厚度一般为30~80km,地壳以下存在着高温、高压的复杂的硅酸盐熔融体即人们所说的岩浆。岩浆活动可使岩浆沿着地壳薄弱地带侵入地壳或喷出地表,岩浆冷凝后生成的岩石称为岩浆岩。在地壳运动和岩浆活动的过程中,原来生成的各种岩石在高温、高压及挥发性物质的变质作用下,生成另外一种新的岩石,称为变质岩。原来岩石受气温变化,风雪、山洪、河流、湖泊、海浪、冰川、生物等的作用,产生风化,不断剥蚀,产生新的产物——碎屑。这些风化产物在山洪、河流、海浪、冰川或风力作用下,被剥蚀、搬运到大陆低洼处或海洋底部沉积下来。在漫长的地质年代中,沉积物越来越厚。在上覆压力和胶结物质的共同作用下,最初沉积下来的松散碎屑逐渐被压密、脱水、胶结、

硬化生成一种新的岩石,称为沉积岩。而上述过程中,未经成岩过程而形成的沉积物,即通常所说的土。

风化分为物理风化和化学风化两种。长期暴露在大气中的岩石,受到温度、湿度变化的影响,体积经常在膨胀、收缩,从而逐渐崩解、破裂为大小和形状各异的碎块,这个过程叫物理风化。物理风化的过程仅限于体积大小和形状改变,而不改变颗粒的矿物成分。其产物保留了原来岩石的性质和成分,称为原生矿物,自然界中粗颗粒土即无黏性土就是物理风化的产物。如果原生矿物与周围的氧气、二氧化碳、水等接触,并受到有机物、微生物的作用,发生化学变化,产生出与原来岩石颗粒成分不同的次生矿物,这个过程叫作化学风化。化学风化所形成的细粒土,颗粒之间具有黏结能力,通常称为黏性土。自然界中这两种风化过程是同时或交替进行的,所以,原生矿物与次生矿物是堆积在一起的,这就是我们所见到的性质复杂的土。

土由于不同的成因而具有各异的工程地质特征,下面简单介绍几种主要类型。

### 1. 残积土

残积土是残留在原地未被搬运的那一部分原岩风化剥蚀后的产物,而另一部分已被风和水流带走(见图 1.1)。未被搬运的颗粒棱角分明。残积土与基岩之间没有明显的界限,一般分布规律为,上部残积土,中部风化带,下部新鲜岩石。残积土中残留碎屑的矿物成分在很大程度上和下卧岩层一致,根据这个道理也可推测下卧岩层的种类。残积土没有层理构造,土的物理性质相差较大;残积土具有较大的孔隙,厚度相差较大,作为建筑地基容易引起不均匀沉降。

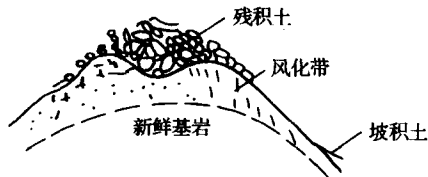


图 1.1 残积土示意图

### 2. 坡积土

坡积土是降水水流作用力将高处岩石风化产物缓慢冲刷、剥蚀,顺着斜坡向下逐渐移动,沉积至较平缓的山坡上而形成的沉积物。它分布于坡腰至坡脚,上部与残积土相接,基岩的倾斜程度决定了坡积土的倾斜度(见图 1.2)。坡积土随斜坡自上而下呈现由粗而细的分选现象,矿物成分与下卧基岩无直接关系,这一点与残积土不同。

坡积土由于在山坡形成,故常发生沿下卧基岩斜面滑动。组成坡积土的粗细颗粒混杂,土质不均匀,厚度变化大,土质疏松,压缩性较大。

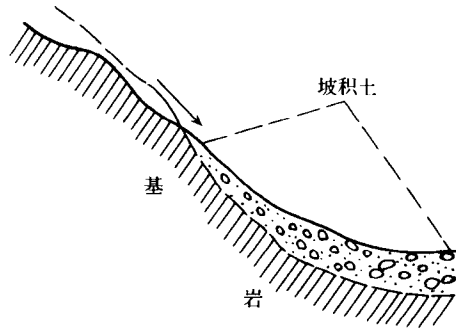


图 1.2 坡积土示意图

### 3. 洪积土

降水造成的暂时性山洪急流,具有很大的剥蚀和搬运能力。它可以夹带地表大量碎屑堆积在山谷冲沟出口或山前平原而形成洪积土。山洪流出山谷后,因过水断面增大,流速骤减。被搬运的粗颗粒大量堆积下来,离山越远,颗粒越细,分布范围也越大(见图 1.3)。

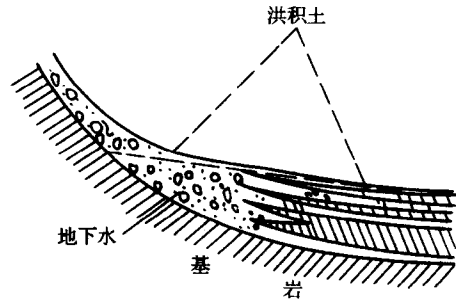


图 1.3 洪积土示意图

洪积土的颗粒虽因搬运过程中的分选作用而呈现由粗到细的变化,但由于搬运距离短,颗粒棱角仍较明显。由于靠近山地的洪积土颗粒较粗,承载力一般较高,属于良好的天然地基;离山较远的地段所形成的洪积土颗粒较细,成分均匀,厚度较大,这部分土分为两种情况,一种因受到周期性干旱的影响,土质较为密实,是良好的天然地基;另一种由于场地环境影响,地下水溢出地表,造成沼泽地带,因此承载力较低。

### 4. 冲积土

冲积土是流水的作用力将河岸基岩及上部覆盖的坡积土、洪积土剥蚀后搬运、沉积在河道坡度较平缓的地带形成的。随着水流的急、缓、消失重复出现,冲积土呈现出明显的层理构造。由于搬运过程长,搬作用显著,棱角颗粒经碰撞、滚磨逐渐形成圆形的颗粒。搬运距离越长,沉积的颗粒越细。

## 5. 其他沉积土

除上述几种沉积土之外,还有海洋沉积土、湖泊沉积土和风积土。它们分别由海洋、湖泊、冰川及风的地质作用而形成。下面仅介绍湖泊沉积土。

湖泊沉积土主要由湖浪冲击湖岸,破坏岸壁形成的碎屑组成。近岸带沉积的主要为粗颗粒,远岸带沉积的是细颗粒。近岸带有较高的承载能力,远岸带则差些。湖心沉积物是由河流和湖流夹带的细小颗粒到达湖心后沉积形成的,主要是黏土和淤泥,常夹有细砂、粉砂薄层,称为带状土。这种土压缩性高,强度低。这种土与冲积平原沿海地区的土很接近,如天津、沧州一带沿海地区俗称“千层饼”的土。

# 1.3 土的组成

## 1.3.1 土的固体颗粒

### 1. 土粒的矿物组成

土中的固体颗粒的形状、大小、矿物成分及组成情况是决定土的物理力学性质的主要因素。粗大颗粒往往是岩石经物理风化后形成的碎屑,即原生矿物;而细粒土主要是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。粗大颗粒均成块状或粒状,而细小颗粒主要呈片状。土粒的组合情况就是大大小小的土粒含量的相对数量关系。

### 2. 土的颗粒级配

自然界中的土,都是由大小不同的颗粒组成,土颗粒的大小与土的性质有密切的关系。土粒由粗到细逐渐变化时,土的性质相应发生变化,由无黏性变为有黏性,渗透性由大变小。粒径大小在一定范围内的土粒,其性质也比较接近,因此,可将土中不同的土粒,按适当的粒径范围,分成若干小组,即粒组。划分粒组的分界尺寸称界限粒径。表 1.1 是常用的粒组划分方法,表中根据界限粒径 200mm、20mm、

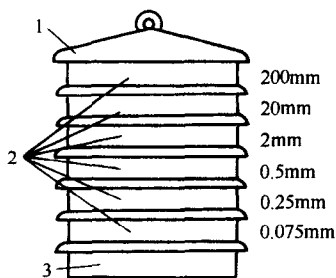


图 1.4 标准筛

1. 筛盖; 2. 筛盘; 3. 底盘

2mm、0.075mm 和 0.005mm 把土粒分成六大组,即漂石(块石)颗粒、卵石(碎石)颗粒、圆砾(角砾)颗粒、砂粒、粉粒和黏粒。表 1.2 是《公路土工试验规程》的划分方法。

土中各粒组相对含量百分数称为土的颗粒级配。

土的各粒组含量可通过土的颗粒分析试验测定。其方法是:将土样风干、分散之后,取具有代表性的土样倒入一套按孔径大小排列的标准筛(例如孔径为 200mm、20mm、2mm、0.5mm、0.25mm、

0.075mm 的筛及底盘,见图 1.4),经振摇后,分别称出留在各个筛及底盘上土的

质量,即可求出各粒组相对含量的百分数。小于 0.075mm 的土颗粒不能采用筛分的方法分析,可采用比重计法测定其级配(见土工试验报告)。

表 1.1 土粒的粒组划分

粒组名称		粒径范围/mm	一般特征
漂石或块石颗粒 卵石或碎石颗粒		>200 200~60	透水性很大,无黏性,无毛细水
圆砾或角砾颗粒	粗	60~20	透水性大,无黏性,毛细水上升高度不超过粒径大小
	中	20~5	
	细	5~2	
砂粒	粗	2~0.5	易透水,当混入云母等杂质时透水性减小,而压缩性增加;无黏性,遇水不膨胀,干燥时松散;毛细水上升高度不大,随粒径变小而增大
	中	0.5~0.25	
	细	0.25~0.1	
	极细	0.1~0.075	
粉粒	粗	0.075~0.01	透水性小;湿时稍有黏性,遇水膨胀小,干时稍有收缩;毛细水上升高度较大较快,极易出现冻胀现象
	细	0.01~0.005	
黏粒		<0.005	透水性很小;湿时有黏性、可塑性,遇水膨胀大,干时收缩显著,毛细水上升高度大,但速度较慢

注:1) 漂石、卵石和圆砾颗粒均呈一定的磨圆形状(圆形或亚圆形);块石、碎石和角砾颗粒都带有棱角。  
2) 黏粒或称黏土粒;粉粒或称粉土粒。

表 1.2 土粒的粒组划分

		200	60	20	5	2	0.5	0.25	0.074	0.005/mm
巨粒组										
		粗粒组						细粒组		
漂石 (块石)	卵石 (小石块)	砾(角砾)			砂			粉粒	黏粒	
		粗	中	细	粗	中	细			

根据颗粒大小分析试验结果,在半对数坐标纸上,以纵坐标表示小于某粒径颗粒含量占总质量的百分数,横坐标表示颗粒直径,绘出颗粒级配曲线(见图 1.5)。由曲线的陡缓大致可判断土的均匀程度。如曲线较陡,则表示颗粒大小相差不多,土粒均匀;反之曲线平缓,则表示粒径大小相差悬殊,土粒不均匀。

在工程中,采用定量分析的方法判断土的级配,常以不均匀系数  $C_u$  表示颗粒的不均匀程度,即

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

式中: $d_{60}$ ——小于某粒径颗粒含量占总土质量的 60%时的粒径,该粒径称为限定粒径;

$d_{10}$ ——小于某粒径颗粒含量占总土质量的 10%时的粒径,该粒径称为有效粒径。



不均匀系数反映颗粒的分布情况,  $C_u$  越大, 表示颗粒分布范围越广, 越不均匀, 其级配越好, 作为填方工程的土料时, 比较容易获得较大的干密度;  $C_u$  越小, 颗粒越均匀, 级配不良。工程中将  $C_u < 5$  的土称为级配不良的土,  $C_u > 10$  的土称为级配良好的土。

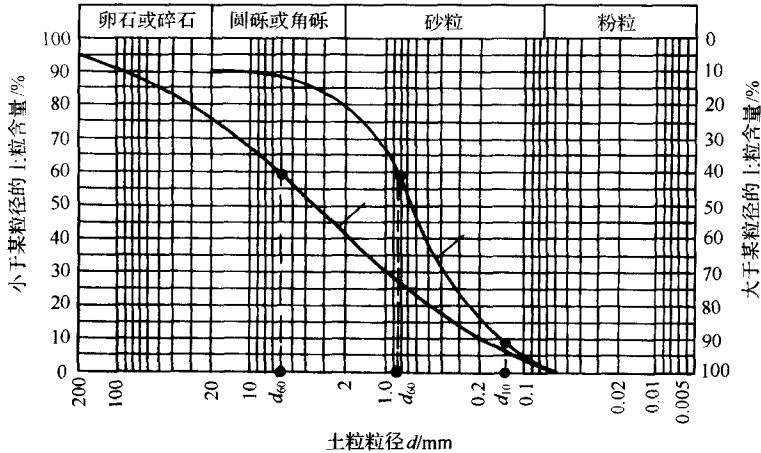


图 1.5 颗粒级配曲线

颗粒级配可以在一定程度上反映土的某些性质。对于级配良好的土, 较粗颗粒间的孔隙被较细的颗粒填充, 因而土的密实度较好, 相应地基土的强度和稳定性也较好, 透水性和压缩性较小, 可用作路基、堤坝或其他土建工程的填方土料。

### 1.3.2 土中水

一般情况下, 土中总是含有水的。土中细粒越多, 水对土的性质影响越大, 对水的研究, 包括其存在的状态和与土的相互作用。存在于土粒晶格之间的水称为结晶水, 它只有在较高的温度 ( $> 105^{\circ}\text{C}$ ) 下才能化为气态水与土粒分开。从工程性质分析, 结晶水作为矿物的一部分。建筑工程中所讨论的土中水, 主要是以液态形式存在着的结合水与自由水。

#### 1. 结合水

结合水是指在电分子引力作用下吸附于土粒表面的水。这种电分子引力高达几千到几万个大气压, 使部分水分子和土粒表面牢固地黏结在一起。

由于土粒表面一般带有负电荷, 围绕土粒形成电场, 在土粒电场范围内的水分子和水溶液中的阳离子被吸附在土粒表面。原来不规则排列的极性分子, 被吸附后呈定向排列。在靠近土粒表面处, 由于静电引力较强, 能把水化离子和极性分子牢固地吸附在颗粒表面而形成固定层。在固定层外围, 静电引力比较小, 水化离子和极性分子活动性比在固定层中大些, 形成扩散层。由此可将结合水分成强结合水和