



普通高等教育土木工程专业“十一五”规划教材

Putong Gaodeng Jiaoyu



Tumu
Gongcheng

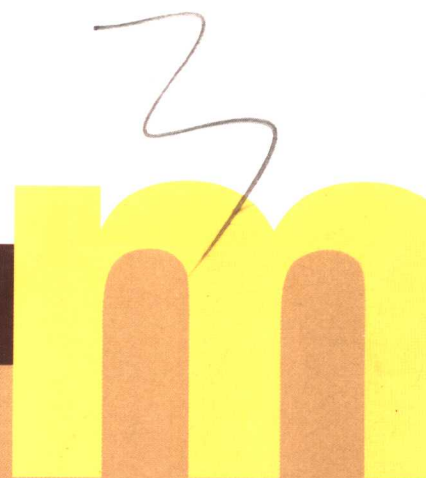
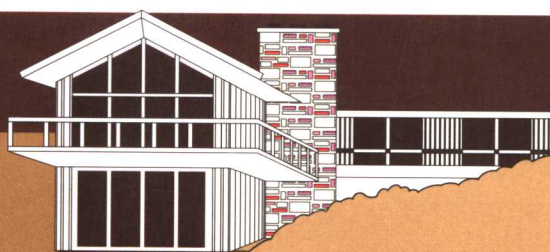
Zhuanye "Shiyiwu" Guihua Jiaocai

土

TULIXUE

● 主编 肖昭然

力学



郑州大学出版社

普通高等教育土木工程专业“十一五”规划教材

Putong Gaodeng Jiaoyu

TU43

39

2007

土

TULIXUE

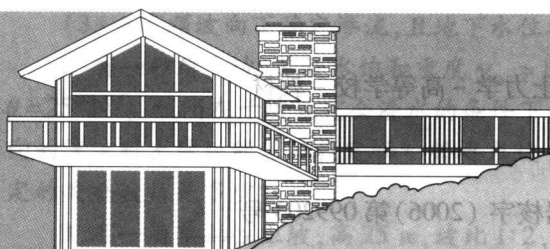
●主编 肖昭然



Tumu
Gongcheng

Zhuanye "Shiyiwu" Guihua Jiaocai

力学



郑州大学出版社

内 容 简 介

本书根据土木工程专业土力学课程教学基本要求编写,内容包括土的物理性质及工程分类、土的渗透性与渗流、地基中的应力、土的压缩性与地基沉降计算、土的抗剪强度、地基承载力、土压力和土坡稳定分析,共8章。

本书是土木、路桥、水利等有关专业的教学用书,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

土力学/肖昭然主编. —郑州:郑州大学出版社,2007.1

普通高等教育土木工程专业“十一五”规划教材

ISBN 7-81106-355-7

I. 土… II. 肖… III. 土力学-高等学校-教材
IV. TU43

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 099203 号

郑州大学出版社出版发行

郑州市大学路 40 号

出版人:邓世平

全国新华书店经销

郑州文华印务有限公司印制

开本:787 mm × 1 092 mm

印张:19

字数:464 千字

版次:2007 年 1 月第 1 版

邮政编码:450052

发行电话:0371-66966070

1/16

印数:1~3 100

印次:2007 年 1 月第 1 次印刷

书号:ISBN 7-81106-355-7/T·40

定价:29.00 元

本书如有印装质量问题,请向本社调换

序

Preface

近年来,我国高等教育事业快速发展,取得了举世瞩目的成就。随着高等教育改革的不断深入,高等教育工作重心正在由规模发展向提高质量转移,教育部实施了高等学校教学质量与教学改革工程,进一步确立了人才培养是高等学校的根本任务,质量是高等学校的生命线,教学工作是高等学校各项工作的中心的指导思想,把深化教育教学改革,全面提高高等教育教学质量放在了更加突出的位置。

教材是体现教学内容和教学要求的知识载体,是进行教学的基本工具,是提高教学质量的重要保证。教材建设是教学质量与教学改革工程的重要组成部分。为加强教材建设,教育部提倡和鼓励学术水平高、教学经验丰富的教师,根据教学需要编写适应不同层次、不同类型院校,具有不同风格和特点的高质量教材。郑州大学出版社按照这样的要求 and 精神,组织土建学科专家,在全国范围内,对土木工程、建筑工程技术等专业的培养目标、规格标准、培养模式、课程体系、教学内容、教学大纲等,进行了广泛而深入的调研,在此基础上,分专业召开了教育教学研讨会、教材编写论证会、教学大纲审定会和主编人会议,确定了教材编写的指导思想、原则和要求。按照以培养目标和就业为导向,以素质教育和能力培养为根本的编写指导思想,科学性、先进性、系统性和适用性的编写原则,组织包括郑州大学在内的五十余所学校的学术水平高、教学经验丰富的一线教师,吸收了近年来土建教育教学经验和成果,编写了本、专科系列教材。

教育教学改革是一个不断深化的过程,教材建设是一个不断推陈出新、反复锤炼的过程,希望这些教材的出版对土建教育教学改革和提高教育教学质量起到积极的推动作用,也希望使用教材的师生多提意见和建议,以便及时修订、不断完善。

王发云

2006年7月

前言

Preface

.....

在面向 21 世纪的课程体系里,土力学是土木、路桥、水利等有关专业的重要专业基础课,同时被列入国家工科力学基地建设的课程之一。为深入贯彻落实《高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划》及全国普通高等学校教学工作会议的有关精神,深化教育教学改革,提高建筑工程专业基础知识的教学质量,按照教育部“以教育思想、观念改革为先导,以教学改革为核心,以教学基本建设为重点,注重提高质量,努力办出特色”的基本思路,同时基于土力学学科迅速发展的需要,我们编写了这本《土力学》教材。

本书的编写提纲由编写小组集体讨论后制定,并由肖昭然担任主编,王有凯、贺瑞霞担任副主编。全书共分八章,由汪留松(第 1 章)、祝彦知(第 2 章)、杨庆年(第 3 章)、闫富有(第 4 章)、王有凯(第 5 章)、马虹(第 6 章)、贺瑞霞(第 7 章)、白云峰(第 8 章)编写。为了加强学生对土力学基本原理、基本理论、基本方法的理解和应用,进一步培养和训练学生分析问题、解决问题的能力,每章均设有一定量的例题、思考题和习题。

笔者感谢参加本书编写的各位老师 in 繁忙的工作之余,以他(她)们渊博的学识和严谨的作风为莘莘学子们提供了这本宝贵的教材。

本教材的编写借鉴了前人的工作,融汇编者多年的教学经验,也吸收了同类教材的优点。在内容取舍、编写顺序等方面均作了精心的安排。由于编者的水平有限,书中的谬误和不当之处在所难免,敬请使用本书的教师、同学及参阅本书的专家、学者等读者不吝赐教,以便再版时加以修改、充实和提高。

编者

2006 年 6 月

目录

CONTENTS

▶▶▶ I

第1章 土的物理性质及工程分类	1
1.1 土的成因和组成	1
1.2 土的三相比例指标	18
1.3 无黏性土的物理性质	27
1.4 黏性土的物理特性	30
1.5 土的击实性	35
1.6 地基岩土的工程分类	40
第2章 土的渗透性与渗流	50
2.1 概述	50
2.2 土的渗透性与达西定律	51
2.3 渗透系数的测定及其影响因素	55
2.4 二维渗流、流网及工程应用	63
2.5 渗流力及渗透稳定性	68
第3章 地基中的应力	76
3.1 概述	76
3.2 土的自重应力	76
3.3 基底压力	79
3.4 地基中的附加应力	81
3.5 应力分布的平面问题	95
3.6 非均质与各向异性地基中的应力计算	101
第4章 土的压缩性与地基沉降计算	106
4.1 概述	106
4.2 土的压缩性	106
4.3 地基沉降量计算	117
4.4 地基沉降问题讨论	132
4.5 饱和土体渗流固结理论	136
第5章 土的抗剪强度	148
5.1 概述	148
5.2 库仑公式	149
5.3 抗剪强度的测试方法	158

5.4	砂类土的抗剪强度特征	169
5.5	黏性土的抗剪强度特征	172
5.6	孔隙水压力及孔压系数	175
5.7	应力路径	182
第6章	地基承载力	186
6.1	地基土的破坏机制	186
6.2	地基的临塑荷载和临界荷载	190
6.3	地基极限承载力	202
6.4	地基承载力的基本概念	217
6.5	按规范确定地基承载力	219
6.6	原位测试确定地基承载力	222
第7章	土压力	227
7.1	概述	227
7.2	作用于挡土墙上的土压力	228
7.3	静止土压力计算	229
7.4	朗肯土压力理论	231
7.5	库仑土压力理论	235
7.6	常见情况下的土压力计算	244
7.7	挡土墙的设计	256
第8章	土坡稳定分析	267
8.1	概述	267
8.2	无黏性土土坡稳定性分析	269
8.3	黏性土土坡稳定性分析	271
8.4	土坡稳定分析有关问题的讨论	290
参考文献		294



第1章 土的物理性质及工程分类

1.1 土的成因和组成

1.1.1 土的形成

在土木工程中,土是指覆盖在地表上碎散的、没有胶结或胶结很弱的颗粒堆积物。地球表面的整体岩石在大气中经受长期的风化作用而破碎后,形成形状不同、大小不一的颗粒。这些颗粒受各种自然力的作用,在各种不同的自然环境下堆积下来,就形成通常所说的土。堆积下来的土,在很长的地质年代中发生复杂的物理化学变化,逐渐压密、岩化最终又形成岩石,就是沉积岩或变质岩。因此,在自然界中,岩石不断风化破碎形成土,而土又不断压密、岩化而变成岩石。这一循环过程,永无止境地重复进行着。土岩的相互转化过程,如图1.1所示。

工程上遇到的大多数土都是在第四纪地质历史时期内形成的。第四纪地质年代的土又可划分为更新世和全新世两类,如表1.1所列。其中在人类文化期以来所沉积的土称为新近代沉积土。第四纪土,由于其搬运和堆积方式的不同,又可分为残积土和运积土两大类。

1.1.1.1 残积土

残积土是指母岩表层经风化作用破碎成为岩屑或细小颗粒后,未经搬运和分选,残留在原地的堆积物。它的特征是颗粒表面粗糙、多棱角、孔隙大、无层理构造、均匀性差。

残积土与母岩之间没有明显的界限,通常经过一个母岩风化层而直接过渡到新鲜母岩,因而其矿物成分在很大程度上与下卧母岩相一致。例如砂岩风化剥蚀后生成的砂岩碎块,二者矿物成分基本一致。

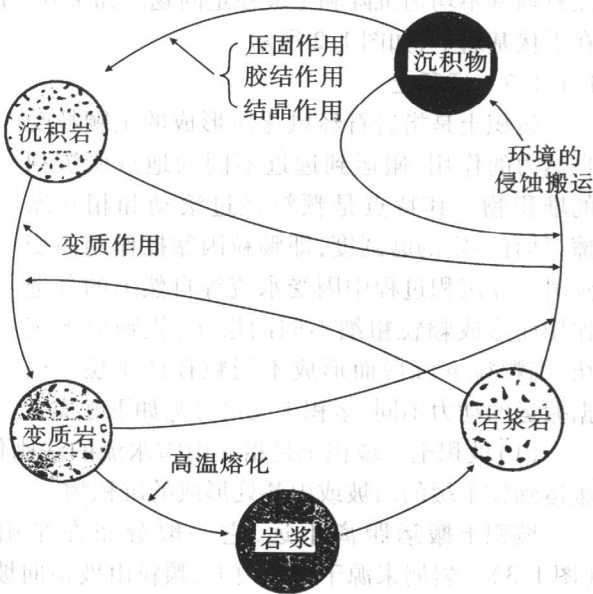


图1.1 土与岩石的相互转化过程

表 1.1 土的生成年代

纪(或系)	世(或统)		年代(距今)(万年)
第四纪(Q)	全新世(Q ₄)	Q ₄₃ (晚期)	<0.25
		Q ₄₂ (中期)	0.25~0.75
		Q ₄₁ (早期)	0.75~1.2
	更新世(Q _p)	晚更新世(Q ₃)	1.2~12.8
		中更新世(Q ₂)	12.8~73
		早更新世(Q ₁)	73~248

残积土主要分布在山区、丘陵地带以及剥蚀平原,当地岩石露出地表,处在受强烈风化的环境中。

残积土厚度及其特征随所处区域的岩石不同而不同。在残积土上建造建筑物,应当注意地基不均匀沉降和土坡稳定问题。如果其厚度较小,可以把它挖掉,将建筑物直接建在下伏基岩上,如图 1.2 所示。

1.1.1.2 运积土

运积土是指岩石经风化所形成的土颗粒受自然力的作用,搬运到远近不同的地点所沉积的堆积物。其特点是颗粒经过滚动和相互摩擦,具有一定的磨圆度,即颗粒因摩擦作用而变圆滑。在沉积过程中因受水流等自然力的分选作用而形成颗粒粗细不同的层次,粗颗粒下沉快,细颗粒下沉慢而形成不同粒径的土层。根据搬运的动力不同,运积土又可分为如下几类。



图 1.2 残积土(层)断面

(1)坡积土 坡积土是指在雨雪水流的洗刷作用下,将山上岩石风化产物顺着斜坡搬运到较平缓的山坡或山麓处形成的沉积物。

坡积土搬运距离不远,它一般分布在半山腰或山麓处,其上部与残积土相接(图 1.3)。岩屑来源于当地山上,颗粒由坡顶向坡角呈现逐渐由粗变细的分选现象。但其矿物成分与下卧母岩没有直接关系,这一点与残积土不同。

由于水流强弱大小不同,强水流从山上冲下粗大颗粒的岩屑,弱水流只能冲下细小颗粒的土。因此坡积土不仅厚薄不同,土质也很不均匀,还有一些垂直裂缝,看起来很疏松。由于坡积土的孔隙大、压缩性高,且可能发生沿下卧基岩倾斜面的滑动,如果在坡积土上建造建筑物,还应注意地基不均匀沉降和稳定性问题。

(2)洪积土 由暴雨或大量融雪形成的山洪急流,冲刷搬运大量岩屑,流至山谷出口与山前倾斜平原地带,堆积成洪积土(图 1.4)。

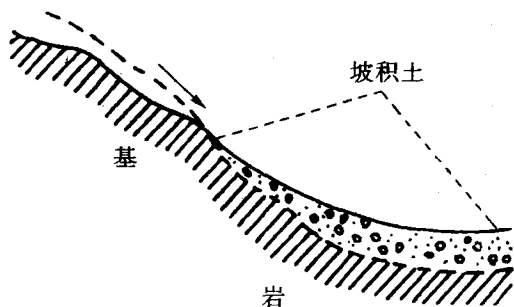


图 1.3 坡积土(层)断面

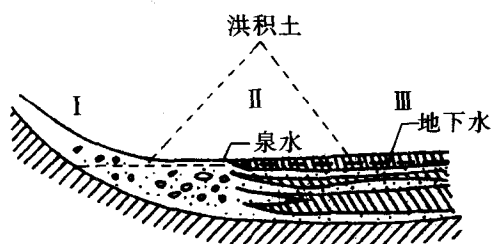


图 1.4 洪积土(层)断面

山洪流出谷口后,水流速度骤减,被搬运的粗岩屑首先大量堆积下来,离山渐远,颗粒逐渐变细。在谷口附近多为块石、碎石、砾石、粗砂等粗粒物质,离谷口远的地带颗粒变细,其分布范围也逐渐扩大。因此,洪积土的地貌特征为:靠近谷口处窄而陡,离开谷口后逐渐变宽变缓,形如扇状,故称洪积扇(图 1.5)。由相邻谷口的洪积扇组成洪积扇群(图 1.6)。相邻洪积扇群连接起来即形成洪积冲积平原的地貌单元。

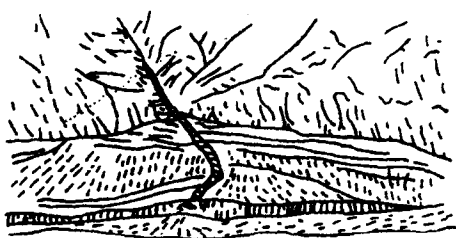


图 1.5 洪积扇

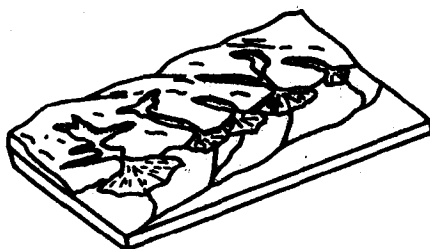


图 1.6 洪积扇群

通常自然界山洪的发生是周期性的,由于每次山洪的大小不尽相同,堆积物的粗细也随之不同,导致洪积土在垂直方向和水平方向上粒度分布变化较大。因此,洪积土常呈现不规则交错的层理构造,且往往存在黏土夹层、尖灭或透镜体等产状(图 1.7)。图 1.4 为一典型的洪积土层断面。由于靠近山地的洪积物的颗粒较粗,所处地势较高,堆积厚度较薄,地下水位埋藏较深,故土的承载力一般较高,常为良好的天然地基。离山较远地段较细的洪积物,其成分均匀、厚度较大,而承载力较低。如果洪积土在形成过程中受到周期性干旱的影响,会使细小的黏土颗粒发生凝聚作用,同时析出可溶性盐类,从而使土质变得较为密实,通常也是良好的地基。在上述两部分的过渡地带,常常由于地下水溢出地表而造成宽广的沼泽地带,因此土质软而承载力低。如洪积土作为建筑地基时,要注意透镜体和尖灭引起的不均匀沉降。在土体测试中,对于这一类土,现场工作有时要比实验室内的的工作更为重要。

(3) 冲积土 冲积土是由江河流将两岸基岩及其上部覆盖的坡积土、洪积土剥蚀、

搬运、沉积在河床较平缓地带后形成的沉积物。其特点是呈现明显的层理构造。在冲刷、搬运过程中,由于颗粒间的滚动磨擦和相互碰撞,岩屑物质由原来带棱角(块石、碎石、角砾)逐渐形成亚圆形或圆形(漂石、卵石、圆砾)。随着搬运距离的增加,颗粒变得越来越细。冲积土在地表的分布很广,主要类型有下列四种。

1) 山区河谷冲积土 在山区,河谷两岸陡峭,大多仅有河谷阶地(图1.8)。地表水和地下水基本都流入河床。山区江河水流速大,细颗粒被冲走,河谷冲积土多为被砂粒所填充的漂石、卵石及圆砾。冲积土的厚度一般不超过10~15 m。山间盆地和宽谷中存在河漫滩冲积物,其分选性差,组成物质主要为含泥的砾石,并具有透镜体和倾斜层理构造。

通常在高阶地主要是岩石或坚硬土层,为良好的地基。

2) 山前平原冲积洪积土 山前平原沉积土有分带性,近山一带由冲积和部分洪积的粗粒物质组成,离山远的平原为较细的砂土和黏性土冲积层。

3) 平原河谷冲积土 平原河谷地貌及沉积物均较复杂,包括河床、河漫滩、阶地及古河道等地貌单元及相应的沉积层(图1.9)。

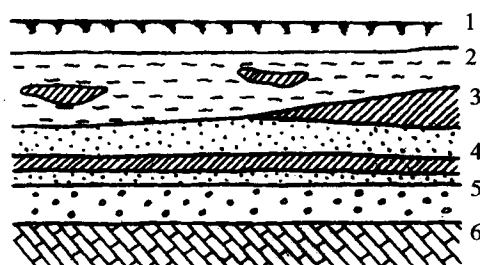


图1.7 土的层理构造

1—表土层;2—淤泥夹黏土透镜体;3—黏土夹砂层;
4—砂土夹黏土层;5—砾石层;6—石灰岩层

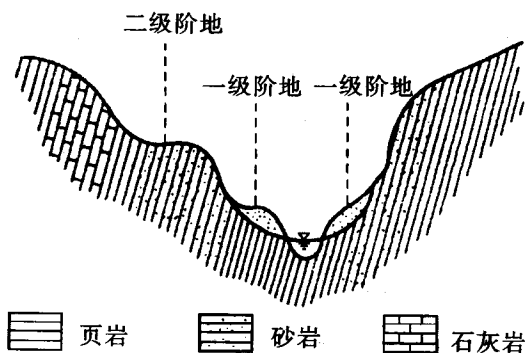


图1.8 山区河谷横断面示例

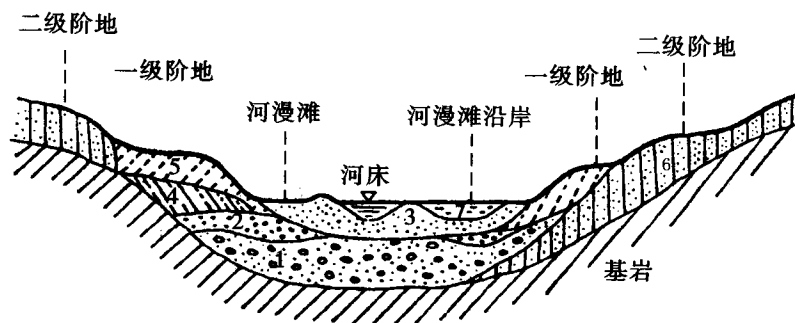


图1.9 平原河谷横断面示意图(垂直比例尺放大)

1—砾卵石;2—中粗砂;3—粉细砂;4—粉质黏土;5—粉土;6—黄土;7—淤泥



①河床冲积层 上游河床沉积层颗粒粗,下游颗粒细。因搬运的距离长,颗粒具有一定的磨圆度,没有巨大的漂砾,这与洪积土的砾石层有明显差别。山区河床冲积土厚度不大,一般不超过10 m,但也有近百米的;而平原河床沉积层的厚度高达几十米至数百米,甚至千米。河床沉积层中粗砂与砾石密度较大,是良好的天然地基。

②河漫滩沉积层 河流进入中下游地区,河面宽广,水流平缓。但出现洪水时,泥砂会随洪水的消涨而逐渐沉积,形成河漫滩沉积层。通常河漫滩沉积层为两层结构:上层为砂砾、卵石等粗颗粒土;下层为泛滥的细粒土,且往往局部夹有有机土、淤泥和泥炭。该地段地下水埋藏较浅,当沉积物为淤泥质和泥炭层时,压缩性高,强度低,以其作为建筑物地基时应慎重。当冲积物为砂层时,其承载力可能较高,因此开挖基坑时应注意可能发生的流砂现象。

③河流阶地沉积层 由地壳的升降运动与河流的侵蚀、沉积等作用形成。如果地壳交替发生多次升降运动,就可形成多级阶地。由河漫滩向上依次称为一级阶地、二级阶地等(图1.9)。阶地位置越高,其形成的年代越早,通常土质越密实,强度亦越高,最适合作为建筑物的地基。同时,由于高级阶地地形平坦,水源丰富,靠近河流航运方便,故许多大城市都建于此。例如我国的兰州、重庆、武汉等。

④古河道沉积层 由弯曲的平原河道取直改道后留下的古河道牛轭湖,逐渐淤塞而成。这种沉积层通常存在较厚的淤泥、泥炭土。其强度低、压缩性高,为不良地基。

4)三角洲沉积层 江河搬运的大量泥砂在入海口或入湖口沉积下来,形成厚度达数百米,面积宽广的三角洲沉积层。这种沉积层通常是淤泥质土或典型淤泥,并具有特殊的交错层构造。其含水率高,承载力低,若作为建筑物地基应慎重对待。

(4)湖泊与沼泽沉积土

1)湖泊沉积土 湖泊沉积土分为湖边沉积土和湖心沉积土。湖边沉积土主要由湖浪冲蚀湖岸、破坏岸壁形成的碎屑物质组成。近岸带沉积的多数是粗颗粒的卵石、圆砾和砂土,远岸带沉积的则是细颗粒的砂土和黏性土。湖边沉积物具有明显的斜层理构造。作为地基时,近岸带有较高的承载力,远岸带则差些。

湖心沉积土是由河流和湖流挟带的细小悬浮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,称为带状黏土。这种黏土压缩性高,强度低。

2)沼泽沉积土 沼泽沉积土是由湖泊逐渐淤塞和陆地沼泽化演变而成的。它主要由含有半腐烂的植物残余体逐年积累形成的泥炭所组成。由于泥炭具有以下特征:含水率极高(可达百分之百),这是任何其他土类所没有的,因为腐殖质是吸水能力极高的物质;透水性很低;压缩性很高且不均匀,承载能力很低。所以,泥炭层不宜作为永久性建筑物的地基。

(5)海洋沉积土 海洋按海水深度及海底地形划分为滨海带、浅海区、陆坡区和深海区,如图1.10所示。相应的海洋沉积土分为以下几种。

1)滨海沉积土 滨海地区是指海水高潮与低潮之间的地区。滨海沉积土主要由卵石、圆砾和砂等粗碎屑物质组成,有的地区存在黏性土夹层,具有基本水平或倾斜的层理构造。例如我国北戴河、青岛、烟台等地滨海均为砂土。作为地基,其强度尚高,但透水性较大。黏性土夹层干燥时强度高,但遇水软化后强度很低。此外,由于海水大量含盐,因

而使形成的黏土具有较大的膨胀性。

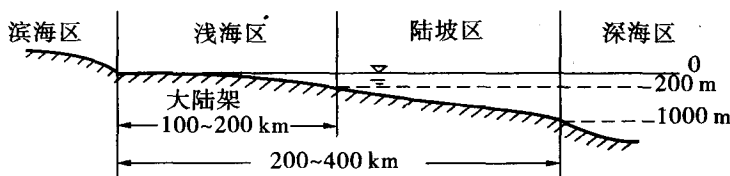


图 1.10 海洋按海水深度划分的示意图

2) 大陆架浅海沉积土 大陆架浅海是指海水深度 $0 \sim 200 \text{ m}$ 、宽度 $100 \sim 200 \text{ km}$ 的地区。这一地区的沉积土主要有细颗粒砂土、黏性土、淤泥和生物化学沉积物(硅质和石灰质等)。离海岸愈远,沉积物的颗粒愈细。这种沉积物具有层理构造,但其密度小,含水率高,因而其压缩性高,强度低,对工程不利。

3) 陆坡和深海沉积土 浅海区与深海区的过渡地带称陆坡区,水深 $200 \sim 1000 \text{ m}$,宽度 $100 \sim 200 \text{ km}$ 。水深超过 1000 m 的海域为深海区。这两个区的沉积物主要为成分均一的有机质软泥。

(6) 冰川沉积土 由冰川或冰水挟带搬运所形成的沉积物,由巨大的块石、碎石、砂、粉土及黏土混合组成。一般分选性极差,无层理,但冰川沉积土层常具有斜层理,颗粒呈棱角状,巨大的块石上常有冰川擦痕。

此外,还有冰湖沉积,冰湖是由冰川溶解的水所形成的湖泊。冰湖沉积土主要以黏土粒为主,性质比较软弱。

(7) 风积土 风积土是指在干旱的气候条件下,岩石的风化破碎物由风力搬运所形成的堆积物。常见的风积土分为两类,一类是分布在我国华北、西北地区的黄土,它主要由粉土粒或砂粒组成,含可溶性盐,土质均匀,孔隙比大。黄土又分为类黄土和黄土两种,区别在于前者无湿陷性(遇水剧烈下沉),后者具有湿陷性,在实际工程上应当注意区分。另一类是风积砂(沙漠、沙丘),它属于不稳定的土层,随着风向和风力的变化而不断迁移,在其上进行工程建设,常需要采取固砂措施。

1.1.2 土的三相组成

前已指出,土是由岩石风化生成的松散沉积物。其中的固体颗粒构成了土骨架,土骨架间存在孔隙,孔隙当中存在水和气体。一般情况下,土是由固体颗粒(固相)、水(液相)和气体(气相)三部分组成的三相体系。土的三相组成不是固定的,不同成因形成的土其三相组成自然不同,即使是同一成因形成的土,在不同的条件下(如季节气候变化,地下水位升降,承受地面荷载前后等)其三相组成也会发生变化。土的三相组成不同时,会呈现出不同的物理状态,例如干燥与潮湿、坚硬与软弱、密实与松散等,而土的物理状态与其力学性能有着密切联系。因此,要研究土的工程性质,必须首先分析和研究土的三相组成。

1.1.2.1 土的固体颗粒

在土的三相组成中,固体颗粒(简称土粒)的大小和形状、矿物成分及其组成情况是



决定土的物理力学性质的重要因素。粗大土粒往往是岩石经物理风化作用形成的碎屑,或是岩石中未产生化学变化的矿物颗粒如石英和长石等;而细小土粒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。粗大土粒其形状呈块状或粒状,而细小土粒其形状主要呈片状。土粒的组合情况就是大大小小土粒含量的相对数量关系。

(1) 土的粒组划分与颗粒级配曲线

1) 土的粒组划分 土是一种天然产物,由大小不同的土粒混合而成,土颗粒粒径往往相差悬殊,例如漂石的粒径可以达到 200 mm 以上,而黏粒的粒径比 0.005 mm 还小。土粒的粒径由粗到细逐渐变化时,土的性质相应地发生变化,例如土的性质随着粒径的变细可由无黏性变化到有黏性。因而,为了研究方便,工程上将土中各种不同粒径的土粒,按粒径大小和性质相近的原则,分为若干粒组。各个粒组随着分界尺寸的不同而呈现出一定质的变化。划分粒组的分界尺寸称为界限粒径。

目前界限粒径的划分,在不同国家甚至同一国家的不同部门,由于用途不同各有不同的规定。表 1.2 提供的是《土的分类标准》(GBJ 145-90)土粒粒组的划分方法,表中根据界限粒径 200,60,2,0.075,0.005 mm 把土粒分为六大粒组:漂石(块石)颗粒、卵石(碎石)颗粒、圆砾(角砾)颗粒、砂粒、粉粒及黏粒。

表 1.2 土粒粒组的划分

粒组名称	粒径范围 $d(\text{mm})$	一般特征
漂石或块石颗粒	>200	透水性很大,无黏性,无毛细水
卵石或碎石颗粒	200~60	
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;

③黏粒的粒径上限也有采用 0.002 mm 的;

④粉粒的粒径上限也有直接以 200 号筛的孔径 0.074 mm 为准。

2) 土的颗粒级配 由于土的性质不仅与土颗粒的大小有关,而且还取决于不同粒组的相对含量。为了从量上说明土颗粒的组成情况,通常用土中各粒组质量占土样总质量的百分数反映,这个百分数称为土的颗粒级配。

土的颗粒级配是通过土的颗粒大小分析试验测定的。对于粒径大于 0.075 mm 的粗粒组可用筛分法测定。试验时将风干、分散的代表性土样倒入一套依孔径大小排列的标准筛(图 1.11),在振筛机上振摇 15~20 min 后,分别称出留在各个筛子及底盘上土的质量,即可求得各个粒组的相对含量。粒径小于 0.075 mm 的粉粒和黏粒难以筛分,一般可以根据土粒在水中匀速下沉时的速度与粒径的理论关系,用比重计法或移液管法(详见有关土工试验操作规程)测得颗粒级配。实际上,土粒并不是球体颗粒,因此用理论公式求得的粒径并不是实际的土粒尺寸,而是与实际土粒在液体中有相同沉降速度的理想球体的直径(称为水力当量直径)。

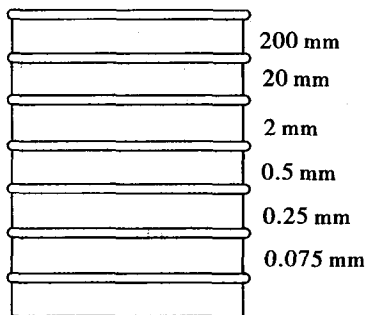


图 1.11 标准筛示意图

3) 颗粒级配曲线及其应用 根据颗粒大小分析试验成果,可以绘制如图 1.12 所示的颗粒级配累积曲线。其横坐标表示粒径。因为土粒粒径相差常在百倍、千倍以上甚至上万倍,所以宜采用对数坐标表示。纵坐标则表示小于(或大于)某粒径的土重含量(或称累计百分含量)。

根据曲线的连续性特征及走势的陡缓,可以直接判断土的颗粒粗细、颗粒分布的均匀程度以及颗粒级配的优劣,从而评价土的工程性质。例如曲线较陡,表示粒径大小相差不多,土粒较均匀;反之,曲线平缓,则表示粒径大小相差悬殊,土粒不均匀,即级配良好。

为便于分析颗粒级配曲线,定义以下几个典型粒径:小于某粒径的土粒质量累计百分数为 10% 时,相应的粒径称为有效粒径 d_{10} ;小于某粒径的土粒质量累计百分数为 30% 时,相应的粒径称为连续粒径 d_{30} ;当小于某粒径的土粒质量累计百分数为 60% 时,该粒径称为限定粒径 d_{60} 。

为了利用颗粒级配累积曲线评价土的工程性质,定义以下两个参数:

不均匀系数 C_u

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (1.1)$$

曲率系数 C_c

$$C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{10} \cdot d_{60}} \quad (1.2)$$

不均匀系数 C_u 反映大小不同粒组的分布情况。如果土颗粒级配是连续的, C_u 越大,粒径级配曲线越平缓,土的颗粒粒径越不均匀,其级配越良好,作为填方工程的土料时,则比较容易获得较大的密实度。相反, C_u 值越小,粒径级配曲线越陡,土的颗粒粒径越均匀,级配就越差,作为填方工程的土料时,难以获得较大的密实度。如果土颗粒的级配是



不连续的,那么在级配曲线上会出现平台段,在平台段内,只有横坐标粒径的变化,而没有纵坐标含量的增减,说明平台段内的粒组含量为零,存在不连续粒径,级配不良。可见,仅用一个指标 C_u 来确土的级配情况是不够的。而曲率系数描写的是累积曲线的分布范围,反映曲线的整体形状。因此,通常工程上采用 C_u 和 C_c 两个指标来判断土的级配情况,评价土的工程性质。

如果级配曲线光滑连续,不存在平台段,坡度平缓,土粒粗细颗粒连续,并能同时满足 $C_u \geq 5$ 和 $C_c = 1 \sim 3$ 两个条件的土,则属于级配良好的土,易获得较大的密实度,具有较低的压缩性和较高的强度,工程性质优良。如图 1.12 曲线 B。

如果级配曲线光滑连续,不存在平台段,但坡度陡峭,土粒粗细颗粒连续但均匀;或者级配曲线虽然平缓但存在平台段,土粒粗细虽然不均匀,但存在不连续粒径。这两种情况均视为不能同时满足 $C_u \geq 5$ 和 $C_c = 1 \sim 3$ 两个条件,属于级配不良的土,不易获得较高的密实度,工程性质不良。如图 1.12 曲线 A 和曲线 C。

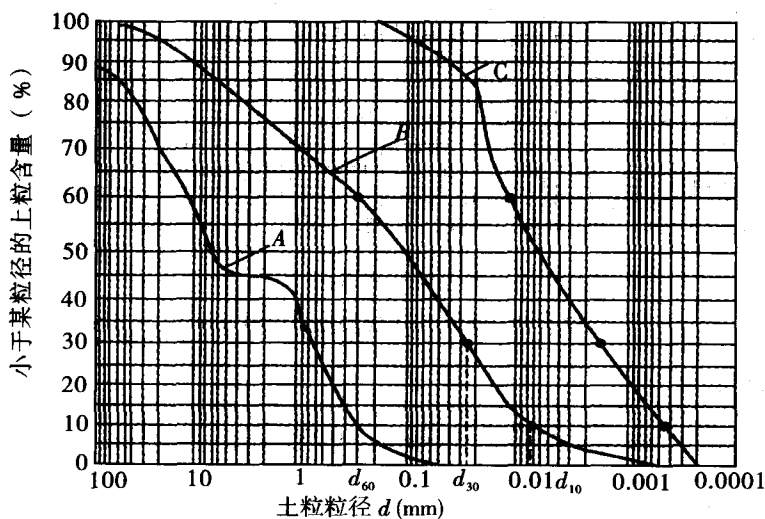


图 1.12 颗粒级配曲线

【例题 1.1】 某烘干土样质量为 200 g,其颗粒分析结果如表 1.3 所列。试绘制颗粒级配曲线,确定不均匀系数,并评价土的工程性质。

表 1.3 颗粒分析结果

粒径(mm)	10~5	5~2	2~1	1~0.5	0.5~0.25	0.25~0.1	0.1~0.05	0.05~0.01	0.01~0.005	<0.005
粒组含量(%)	10	16	18	24	22	38	20	25	7	20

【解】 土样的颗粒级配分析结果如表 1.4 所列。

表 1.4 颗粒分析结果

粒 径(mm)	10	5	2	1	0.5	0.25	0.1	0.05	0.01	0.005
小于某粒径土占总土质量的百分比(%)	100	95	87	78	66	55	36	26	13.5	10

颗粒级配曲线如图 1.13 所示。

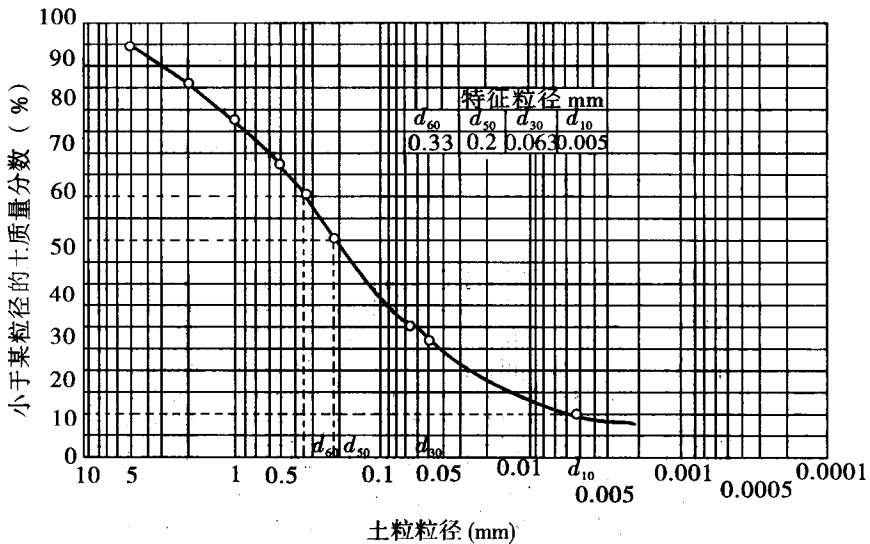


图 1.13 例 1.1 土样的颗粒级配曲线

由曲线可得：

$$d_{60} = 0.33, d_{50} = 0.2, d_{30} = 0.063, d_{10} = 0.005$$

由式(1.1), 不均匀系数 $C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{0.33}{0.005} = 66 > 5$

由式(1.2), 曲率系数 $C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{60} \times d_{10}} = \frac{0.063^2}{0.33 \times 0.005} = 2.41, C_c$ 在 1~3 之间

故该土级配良好。

(2) 土粒的矿物成分 土粒的矿物成分主要决定于母岩的成分及其所经受的风化作用, 一般分为原生矿物、次生矿物和有机质等。

1) 原生矿物 岩石由于温度变化、裂隙水的冻结及盐类结晶而逐渐破碎崩解为土的过程称为物理风化。岩石经过物理风化作用所形成的粗碎屑物质, 与母岩相比, 仅大小、形状发生了变化, 化学成分并没有改变, 故称为原生矿物。常见的原生矿物有石英、长石和云母等, 其物理化学性质较稳定。尤其是石英, 在自然界中存在最多, 分布最广, 抗化学风化能力强。漂石、卵石、圆砾等粗大土粒都是岩石的碎屑, 它们的矿物成分与母岩相同。

2) 次生矿物 岩石在水溶液、大气及有机物的化学作用或生物化学作用下引起的破