

高等职业教育道桥专业工学结合规划教材

土力学与地基基础

TULIXUE YU DIJI JICHU

主 编 贾亚军
副主编 孙世民 马 莉



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

高等职业教育道桥专业工学结合规划教材

2. 地基处理的目的和意义是什么?

4. 什么是固结(Consolidation)? 固结曲线图

6. 试阐述土的性质(土力学、土质学、土力学、变形性质。

土力学与地基基础

号 55511 第 (2011) 第 165212 号

主 编 贾亚军

副主编 孙世民 马 莉

高等职业教育道桥专业工学结合规划教材

土力学与地基基础

贾亚军 主编

责任编辑 高 平

封面设计 孙世民

封面设计 孙世民

西南交通大学出版社

(成都二环路北一段111号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600264)

<http://press.swjtu.edu.cn>

西南交通大学出版社

成品尺寸: 185 mm × 260 mm 开本: 1/16

字数: 426千字

2011年8月第1版 2011年8月第1次印刷

ISBN 978-7-5643-1324-1

定价: 29.80元

本社负责印制 质量问题 本社负责

发行部电话: 028-87600264 营销中心 028-87600265

西南交通大学出版社

• 成 都 •

图书在版编目 (C I P) 数据

土力学与地基基础 / 贾亚军主编. —成都: 西南
交通大学出版社, 2011.8
高等职业教育道桥专业工学结合规划教材
ISBN 978-7-5643-1324-1

I. ①土… II. ①贾… 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 162212 号

贾亚军 主 编

陈 昌 另世怀 副主编

高等职业教育道桥专业工学结合规划教材

土力学与地基基础

主 编 贾亚军

*

责任编辑 高 平

特邀编辑 胡晗欣

封面设计 墨创文化

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

成都勤德印务有限公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm × 260 mm 印张: 17.125

字数: 426 千字

2011 年 8 月第 1 版 2011 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5643-1324-1

定价: 29.80 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

西南交通大学出版社

• 附 录 •

目 录

0.1	绪 论	1
0.1.1	土质力学的作用与任务	1
0.1.2	本课程的基本内容和学习要求	4
0.1.3	工程地质学、土力学与地基基础的发展简况	5
1	土的物理性质及工程分类	7
1.1	土的三相组成和土的结构	7
1.2	土的粒组和颗粒级配	10
1.3	土的物理性质指标	13
1.4	土的物理状态指标	18
1.5	土的击实性	21
1.6	土的工程分类	24
	复习思考题	29
	习 题	29
2	土的渗透性及渗流	31
2.1	土的毛细性	31
2.2	土的渗透性	35
2.3	冻 土	44
	复习思考题	48
	习 题	48
3	土中应力	49
3.1	概 述	49
3.2	土体中的自重应力	50
3.3	基底压力与基底附加应力	53
3.4	地基中的附加应力	57
	复习思考题	70
	实践练习	70
4	土的压缩性与地基沉降计算	72
4.1	概 述	72
4.2	土的压缩性指标	72

4.3 地基最终沉降量	83
4.4 地基变形与时间的关系	94
复习思考题	107
习 题	107
5 土的抗剪强度与地基承载力	109
5.1 土的抗剪强度	109
5.2 抗剪强度指标的测定	114
5.3 地基的变形阶段与破坏阶段	120
5.4 按理论公式地基承载力	122
5.5 按规范确定地基承载力	127
5.6 按原位测试确定地基承载力	135
复习思考题	143
习 题	143
6 土压力	145
6.1 概 述	145
6.2 静止土压力计算	149
6.3 朗肯土压力理论	151
6.4 库仑土压力	158
6.5 土坡和地基的稳定性	166
复习思考题	175
习 题	175
7 天然地基上的浅基础	177
7.1 概 述	177
7.2 浅基础的类型	178
7.3 基础埋置深度	185
7.4 地基承载力的确定	187
7.5 基础尺寸的确定	192
7.6 浅基础设计	196
复习思考题	210
实践练习	210
8 桩基础及其他深基础	212
8.1 桩基础概述	212
8.2 单桩竖向承载力的确定	216
8.3 桩基承载力与沉降验算	219

8.4 单桩的水平承载力	223
8.5 桩基础设计	224
8.6 深基础介绍	236
复习思考题	245
实践练习	245
9 软弱土与特殊土地基	247
9.1 概 述	247
9.2 软弱土地基	248
9.3 湿陷性黄土地基	251
9.4 冻土地基	254
9.5 地震区地基基础	262
复习思考题	265
参考文献	266

0.1 土质力学的作用与任务

土质力学是研究地表及一定深度范围内岩石和土的工程性质的一门学科,它实际是由两门不同性质、不同研究方法的学科组合而成,包括工程地质学和土力学。工程地质学是地质学的一个分支,是专门研究与工程设计、施工和正常运用有关的地质问题的科学。而土力学则是力学的一个分支,主要研究与工程建设有关的土的应力、变形、强度、渗流及长期稳定性的一门学科。然而它们的研究目的又是相同的,即都是为了保证建筑物地基的岩体、土体稳定和建筑物的正常使用提供可靠的地质论证和力学计算依据。因此这两门学科在工程实践中也是互相依存、互相渗透、互相结合的。

0.1.1 工程地质学的作用与任务

所有的土工建筑物,如房屋、闸坝、隧洞、厂房、道路、桥梁等,都是建筑在地壳表层,在兴建和使用过程中必然会遇到各种各样的地质问题。在道路工程中,路基一般是用土填筑而成。土作为构筑材料,为了满足行车的要求,保证路基的强度和稳定性,必须得到充分的压实。因此需要研究土的压实性,包括土的压实机理、压实方法和压实指标。自然环境的变化将影响路基的稳定性。如甘肃地区,由于温度的强烈变化常常发生冻胀和翻浆现象。而南方地区的道路,由于雨水的侵袭,常常发生坍塌和滑坡破坏。因此需要研究土的冻胀机理,进行边坡的稳定分析,并制定出防治措施。路基是承受车辆荷载重复作用的结构物,因此需要研究土在重复荷载下的变形特性。还有作用于路基挡墙上的土压力,需要计算出符合实际的值,从而保证挡土墙的稳定。

在桥梁工程中,土作为支承建筑物荷载的地基具有非常重要的地位。同样在修建水库时,要选择地形适宜的河谷地段作库址、坝址,查明坝基和坝肩岩体是否稳定、坝基(肩)和库区是否存在渗漏通道、水库蓄水后岸边是否会发生塌岸、水库周围地区是否会引起土壤盐渍化和沼泽化等问题。因此,在工程设计之前,必须查明建筑工程地区的工程地质条件和工程地质问题。

实践证明,如果对地质条件事先没有仔细查明或对工程地质问题重视不够,将会给工程建设带来严重后果。如兰州的国芳百盛,建成后因地基不均匀沉降而发生倾斜;新建的甘肃天定高速秦州隧道,因地震和特大暴雨影响,土质不良出现断裂带,修建过程中多次发生塌方事故。房屋建筑中经典的案例如意大利的比萨斜塔(见图0.1),修建于1173年,由著名建筑师那诺·皮萨诺主持修建。它位于罗马式大教堂后面右侧,是比萨城的标志。开始时,塔高设计为100 m左右,但动工五六年后,塔身从三层开始倾斜,直到完工还在持续倾斜,在其关闭之前,塔顶已南倾(即塔顶偏离垂直线)3.5 m。1990年,意大利政府将其关闭,开始进行整修。

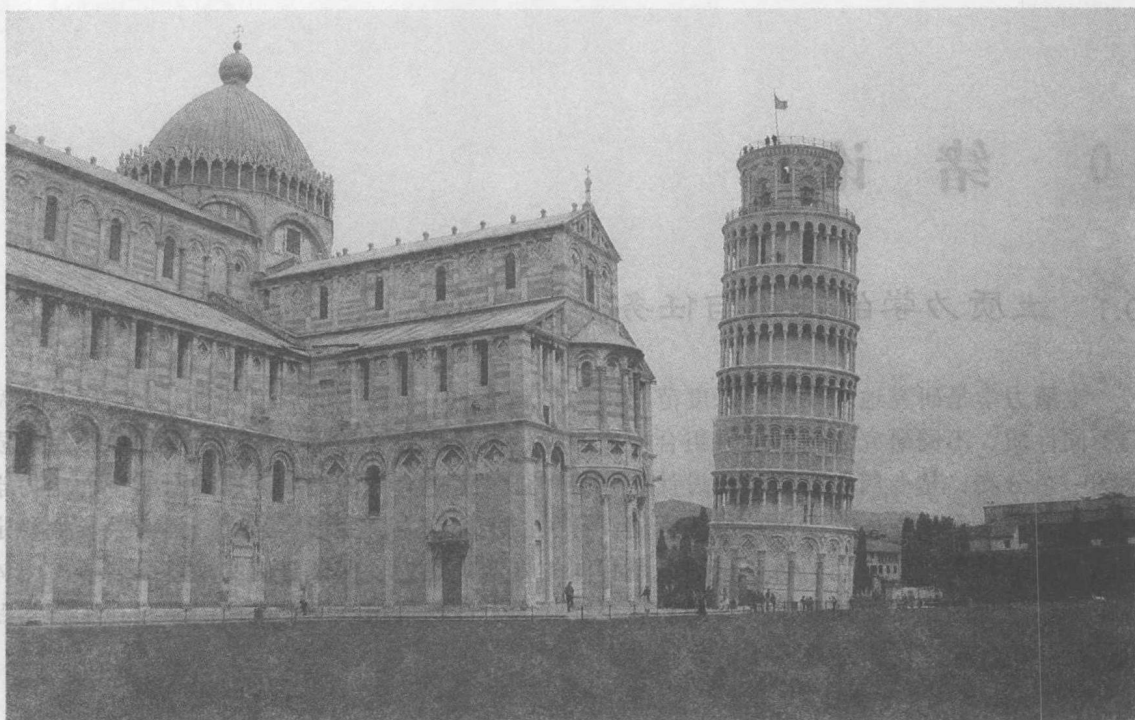


图 0.1 意大利比萨斜塔

在实际工作中，许多有关专家对比萨斜塔的全部历史以及塔的建筑材料、结构、地质、水源等方面进行充分的研究，并采用各种先进的仪器设备进行测试。比萨中古史学家皮洛迪教授研究后认为，建造塔身的每一块石砖都是一块石雕佳品，石砖与石砖间的黏合极为巧妙，有效地防止了塔身倾斜引起的断裂，成为斜塔斜而不倒的一个因素。但他仍强调指出，现在当务之急是弄清比萨斜塔斜而不倒的奥妙，以及如何处理斜塔继续倾斜的问题。1934 年，在地基及四周喷入 90 t 水泥，实施基础防水工程，塔身反而更加不稳，向周围移动，倾斜得更快。1990 年 1 月 7 日停止向游客开放，经过 12 年的修缮，耗资约 2 500 万美元，斜塔被扶正 44 cm，基本达到了预期的效果。修复者们通过从基座的一侧移去土壤以帮助比萨斜塔稳住倾斜的身姿，他们自信地认为，今后两个世纪都无需再对其进行加固。西班牙的蒙特哈水库，建成后不能蓄水，库水通过库周石灰岩裂隙和溶洞而漏光，使 72 m 高的大坝起不到挡水作用，耸立在干枯的河谷上。国际大坝委员会曾于 1973 年对世界 110 个国家和地区已建大坝（坝高 15 m 以上的约 12 900 余座）进行了调查，从统计资料看，发生过事故的 589 座中，大多数与不良地质条件有关。如美国的圣·法兰西斯混凝土重力坝，坝高 62.6 m，建于 1927 年，由于坝基中含石膏黏土质砾岩，被水浸后软化溶解，引起坝基漏水，于 1928 年失稳破坏。类似的例子还可以举出很多。1949 年新中国成立以来，我国修建了许多水库、水电站和灌溉工程，由于重视了地质勘察工作，充分利用了有利的地质条件，避开或改善了不利条件，解决了许多复杂的工程地质问题，从而使工程设计施工能得以顺利进行，并保证了工程建成后的安全运行。但是，也有少数工程，由于对工程地质条件研究不够，或对工程地质问题处理不当，致使设计方案没有足够的地质依据，施工中遇到很大的困难，造成水库或坝基（肩）漏水，水库淤积、边岸滑塌及隧洞塌方等工程事故，浪费了人力、物力，延长了工期，或遗留后患。

需要处理，使工程不能发挥应有的效益。如北京十三陵水库，坝基和库区存在着深厚的渗透性较强的古河道冲击物，建坝时未做好垂直防渗处理，水库至今不能满库运行，没能发挥设计预期的效益。我们应从上述实例中吸取经验教训，认真做好工程地质工作。

由此可见，在工程建设中工程地质工作是相当重要的。为解决上述问题，工程地质工作的任务是：查明建筑区的工程地质条件，预测可能出现的工程地质问题，并提出解决这些问题的建议和方案，为工程设计、施工和正常运用提供可靠的地质材料，以保证建筑物修建得经济合理和安全可靠。所谓工程地质条件，即指地形、地貌、地层岩性、地质构造、水文地质、物理地质作用和天然建筑材料等与工程建设有关的地质条件。

0.1.2 土力学的作用与任务

土力学的研究对象是土，是专门解决工程中有关土的问题的学科。土是自然环境下生成的堆积物，是地表岩石经长期风化作用，不断碎裂、分解形成的碎屑和矿石颗粒——土粒，经过各种介质（如水、风）搬运或残留在原地堆积而成的松散堆积物。其主要特征是多孔性、松散性（土粒间没有联结或联结甚小）、易变性。

在工程建设中，土被广泛用做各种建筑物的地基、材料和周围介质。许多建筑物如房屋、堤坝、涵洞、桥梁等都是建造在土层之上，土支承着建筑物的全部荷载，这时在土层内一定范围的应力将发生变化，我们把应力状态变化的这部分土体称为建筑物的地基。而建筑物的地下承重结构称为基础（见图 0.2）。

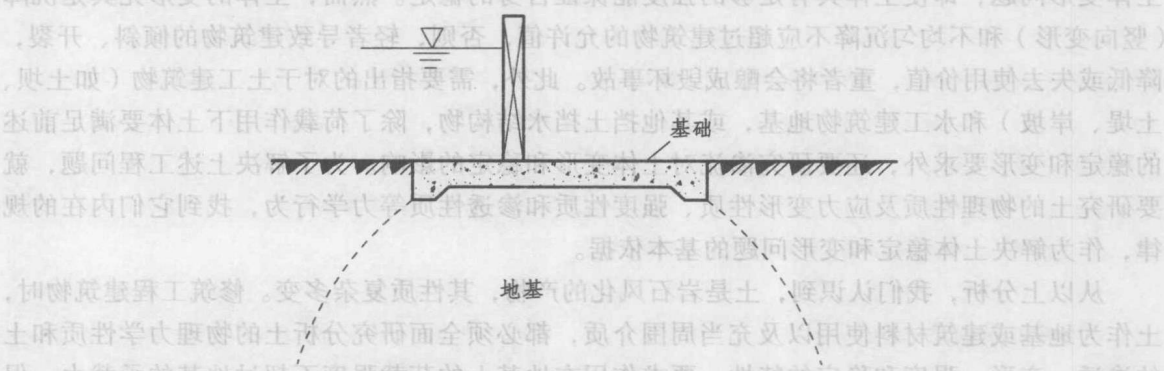


图 0.2 地基与基础示意图

基础一般埋置在强度较高的土层上，并将建筑物的荷载传递到地基中去。在修筑堤坝、路基等土工建筑物时，土是一种廉价的建筑材料，图 0.3 表示用土料修筑的土坝。

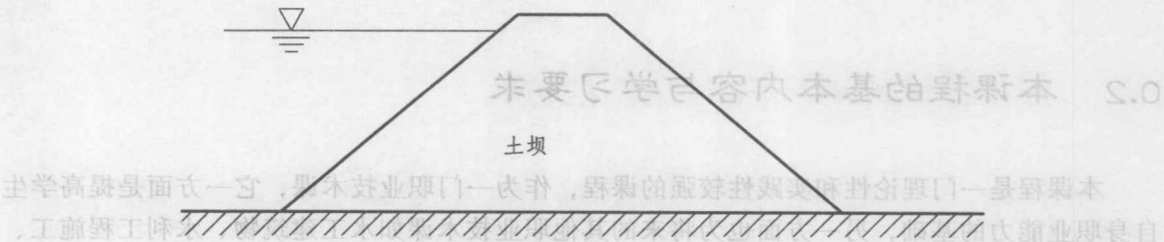


图 0.3 土 坝

在天然土层中修建涵洞、隧洞、渠道及各种地下洞室时，土又是建筑物周围的介质，图 0.4 (a)、(b) 分别为隧洞和渠道示意图。



图 0.4 隧洞和渠道

为了保证建筑物施工期的安全、竣工后的安全和正常使用，土力学学科需要解决工程中的两大类问题。一是土体稳定问题，这就是研究土体中的应力和强度，例如地基的稳定、土坝的稳定等。当土体的强度不足时，将导致建筑物失稳或破坏，如加拿大特朗斯康大谷仓因地基剪切破坏引起的事故。该谷仓高 31 m，平面尺寸 60 m×23 m，钢筋混凝土结构，由于设计时不了解地基下部有软弱土层，致使该谷仓建成后在首次装料时，就因地基失去稳定而发生严重倾斜，谷仓一侧陷入土中 8.8 m，整个谷仓倾斜达 27°之多，以致完全不能使用。二是土体变形问题，即使土体具有足够的强度能保证自身的稳定。然而，土体的变形尤其是沉降（竖向变形）和不均匀沉降不应超过建筑物的允许值，否则，轻者导致建筑物的倾斜、开裂，降低或失去使用价值，重者将会酿成毁坏事故。此外，需要指出的对于土工建筑物（如土坝、土堤、岸坡）和水工建筑物地基，或其他挡土挡水结构物，除了荷载作用下土体要满足前述的稳定和变形要求外，还要研究渗流对土体变形和稳定的影响。为了解决上述工程问题，就要研究土的物理性质及应力变形性质、强度性质和渗透性质等力学行为，找到它们内在的规律，作为解决土体稳定和变形问题的基本依据。

从以上分析，我们认识到，土是岩石风化的产物，其性质复杂多变。修筑工程建筑物时，土作为地基或建筑材料使用以及充当周围介质，都必须全面研究分析土的物理力学性质和土的渗透、变形、强度和稳定的特性，要求作用在地基上的荷载强度不超过地基的承载力，保证地基在防止剪切破坏方面有足够的安全系数。控制地基的沉降量不超过地基变形的容许值，保证建筑物不会因沉降过大而损坏或影响正常使用。对水工建筑物，还要控制渗流，确保不致发生渗流破坏。

0.2 本课程的基本内容与学习要求

本课程是一门理论性和实践性较强的课程，作为一门职业技术课，它一方面是提高学生自身职业能力的基础，另一方面也为将来的其他职业技术课如水工建筑物、水利工程施工、水利工程管理打下良好基础。

0.2.1 基本内容

(1) 了解岩石、地质构造、自然地质作用、地下水的基本概念及对路桥工程、房屋工程和水利工程建筑的影响。

(2) 了解道路与桥梁工程的工程地质条件及主要的工程地质问题。

了解土的基本物理性质,即土的颗粒组成、密度、湿度、可塑性以及土所处的物理状态。了解土的力学性质,即土在外力作用下所表现的渗透性、压缩性和抗剪强度等及其指标的测定方法。

掌握地基应力、变形和地基承载力以及挡土墙土压力计算原理和一般计算方法。

了解土木工程地基处理的方法和原理。

0.2.2 学习要求

由于本课程实践性较强,在学好基础理论的同时,对工程地质部分,应重视野外地质现象的观察、识别及其对路桥工程、房屋工程和水利工程建设的影响。对于土力学部分应注意各种计算方法的适用范围及简化,假设可能引起的误差范围,通过对土工试验规程的学习,掌握室内土工试验基本方法,了解野外原位测试的新技术,提高分析解决实际问题的能力。

0.3 工程地质学、土力学与地基基础的发展简况

工程地质学和土力学与地基基础,是与工程建设紧密联系的两门学科,是随着国家经济建设的发展而发展的。

完整、系统的工程地质学理论直到 20 世纪 30 年代才由苏联地质学家提出。1932 年,苏联莫斯科地质勘探学院成立了世界上第一个工程地质教研室,并创立了比较完善的工程地质学体系,这标志着工程地质学的诞生。

1949 年新中国成立后,为了适应社会主义事业建设需要,在道路桥梁、水利水电、工业与民用建筑、铁路及国防工程等部门都积极开展了工程地质工作。特别在道路桥梁和水利建设方面,如举世瞩目的苏通长江大桥、杭州湾跨海大桥、胶州湾跨海大桥、天宝高速公路、长江三峡工程、南水北调工程,地质工作者解决了许多极其复杂的工程地质问题,可以说,近 20 年来,是我国工程地质学高速发展时期,研究水平与世界同步,并具有自己的特色。

为了适应科学技术的发展和生产建设的需要,加强对本学科基础理论的研究,广泛采用先进的勘探技术和测试手段(如地震勘探法、电视测井、遥控遥感技术应用等),以加快勘探速度,降低成本。提高测试数据精度,是今后迫切需要解决的问题。

1925 年,美国土力学家太沙基发表了第一部土力学专著,使土力学成为一门独立的学科。从 1925 年至今,时间虽短,但土力学的发展速度是惊人的。目前土力学又发展了许多分支,如土动力学、冻土力学、海洋土力学等。特别是近年来世界各国在超高土坝(坝高超过 200 m)、超高层建筑与核电站等巨型工程的设计与兴建中,运用计算机技术,进一步发展、完善了土力学理论,使土力学的理论和实际工程的结合又产生了新的飞跃,对土力学的发展又向前推

动了一步。

回顾新中国成立后的 60 多年, 围绕着解决工程建设中提出的问题, 工程地质与土力学学科在我国得到了广泛的传播和发展。尤其是改革开放以后, 国家大规模的建设促进了本学科的发展, 工程地质与土力学理论、工程实践方面均取得了令世人瞩目的划时代进步, 为国民经济发展做出了贡献。许多大型桥梁、大型水利工程、核电站工程、绵延万里的高速公路、万吨级码头、大型厂房、林立的高楼大厦、地下空间开发利用等, 都呈现了本学科理论和实践的巨大成就。工程建设需要学科理论, 学科理论的发展离不开工程建设。21 世纪人类将面对资源和环境这一严酷生存问题的挑战, 各种各样岩土工程问题需要解决, 这恰恰是青年学生将来要肩负的责任。

1

土的物理性质及工程分类

地球表层整体岩石，在大气中经受长期的风化作用后形成形状不同、大小不一的颗粒，这些颗粒在不同的自然条件下堆积（或经过搬运沉积），即形成通常所说的土。因此，可以说土是由各种岩屑、矿物颗粒（称为土粒）组成的松散堆积物，它是由各种大小不同的土粒（固相）、土粒间孔隙中的水（液相）和空气（气相）构成的三相体系。三相性质的差异、三相物质的相对比例不同及三相间相互作用，共同反映了土的物理性质和物理状态的不同，即决定了土的物理性质。而描述土的物理性质及状态的指标，是进行各种土的分类和确定土的工程性质的重要依据。

1.1 土的三相组成和土的结构

1.1.1 土的三相组成

土由固相、液相和气相三部分组成。固相部分即为土粒，由矿物颗粒或有机质组成，构成土的骨架；液相部分为水及其溶解物；气相部分为空气和其他气体，如土中孔隙全部被水充满时，称为饱和土；孔隙中仅含空气时，称为干土。饱和土和干土都是两相体系。一般在地下水位以上、地面以下一定深度内的孔隙中兼含空气和水，此时的土体属三相体系，称湿土。

1. 土的矿物成分和有机质

（1）土的矿物成分。土粒是组成土的最主要部分，土粒的矿物成分是影响土的性质的重要因素。矿物成分按成因可分两大类：

- ① 原生矿物。是岩石经过物理风化作用形成的碎屑物，如石英、长石、云母等。
 - ② 次生矿物。岩石经化学风化作用而形成的新矿物成分，其中数量最多的是黏土矿物。常见的黏土矿物有高岭石、蒙脱石、伊利石。
- 石英、长石呈粒状，是砂、砾石等无黏性土的主要矿物成分。黏土矿物是组成黏性土的主要成分，颗粒极细，呈片状或针状，具有高度的分散性和胶体性质，与水相互作用，形成黏性土的一系列特性，如可塑性、膨胀性、收缩性等。

（2）土中的有机质。在岩石风化以及风化产物搬运、沉积过程中，常有动、植物的残骸及其分解物质参与沉积，成为土中的有机质。有机质易于分解变质，故土中有机质含量过多时，将导致地基或土坝坝体发生集中渗流或不均匀沉降。因此，在工程中常对土料的有机质含量提出一定的限制，筑坝土料一般不宜超过 5%，灌浆土料小于 2%。

2. 土中的水

土孔隙中的液态水，根据它与土粒表面的相互作用情况，主要有两种类型：结合水和自由水。

(1) 结合水。结合水是指附着于土粒表面成薄膜状的水。一般情况下，土粒表面大多带负电荷，并在周围形成静电引力场，吸引着周围极性水分子（因水分子为极性结构，故称极性水分子）和水化阳离子，如图 1.1 所示。紧靠土粒表面，吸附力高达几千个大气压的结合水称强结合水，其性质接近于固体，密度很大，不能传递静水压力。在强结合水的绝大部分，它仍不能传递静水压力，但能以水膜形式由膜处缓慢移动。弱结合水对黏性土的影响最大。

由于结合水的存在，细颗粒（特别是黏粒）之间将形成公共水膜（见图 1.2）。从而使土粒间产生一定的联结，这种联结随土的湿度而变化。当土的湿度减小，水膜变薄，相邻土粒彼此吸引力加强。反之，当湿度提高，水膜增厚时，颗粒将被挤开，以致不存在公共水膜而失去联结。这种水膜联结，一般认为是黏性土具有黏性、可塑性和力学强度的主要原因。

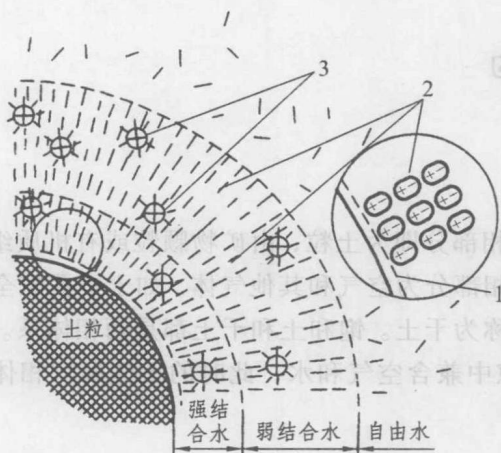


图 1.1 结合水

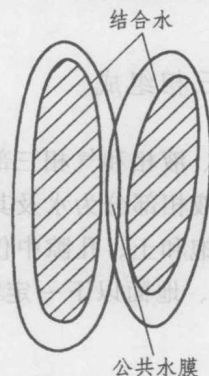


图 1.2 公共水膜

(2) 自由水。土孔隙中除了结合水以外的都是自由水，它包括毛细水和重力水。

① 毛细水。受土粒的分子引力以及水与空气界面的表面张力而存在，并运动于毛细孔隙中的水。一般存在于地下水位以上，由于表面张力作用，地下水沿着土的毛细通道逐渐上升，形成毛细水上升带。毛细水上升高度和速度决定于土的孔隙大小和形状、粒径尺寸和水的表面张力等。一般来说，卵石接近于零，砂土数十厘米，黏性土可达数百厘米。

② 重力水。受重力作用而运动的水，它对土产生浮力，使土的重度减少；渗透水流能使土产生渗透力，使土引起渗透变形；还能溶解土中的水溶盐，使土的强度降低，压缩性增大。

3. 土中气体

土中的气体存在于土孔隙中未被水所占据的部分。与大气连通的气体，受外力作用时，易被挤出，对土的工程性质影响不大。封闭气体多存在于黏性土中，不易逸出，使土的渗透

性降低，弹性与压缩性增大，所以封闭气体对土的性质有较大的影响。

1.1.2 土的结构与构造

1. 土的结构

很多试验资料表明，同一种土，原状土和重塑土的力学性质有很大差别。这就是说，土的结构和构造对土的性质也有很大的影响。

土的结构是指土中颗粒排列的状况，与土的矿物成分、颗粒形状和沉积条件有关，有以下三种基本类型。

(1) 单粒结构。在沉积过程中，较粗的土粒互相支承并达到稳定，形成单粒结构如图 1.3 (a) 所示。单粒结构为碎石土和砂类土的结构特征。单粒结构可以是疏松的，也可以是紧密的。就一般而言，此种结构的土的孔隙都比较大，透水性强，压缩性低，强度较高。

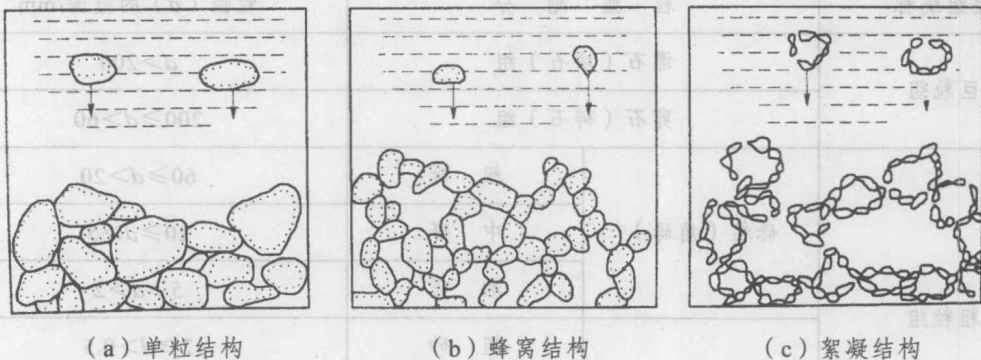


图 1.3 土的结构

(2) 蜂窝结构。蜂窝结构主要是由粉粒或细砂粒组成的土的结构形式。据研究，粒径 $0.005 \sim 0.075 \text{ mm}$ (粉粒粒组) 的土粒在水中沉积时，基本上是以单个土粒下沉，当碰到已沉积的土粒时，由于土粒之间的分子引力大于其重力，因此土粒就停留在最初的接触点上不再下沉，逐渐形成链环状团粒，构成较疏松的蜂窝结构，如图 1.3 (b) 所示。

(3) 絮凝结构。微小的黏粒大都呈针片状或片状，以在水中长期悬浮，并在水中运动时，形成链环状团粒而下沉，这种小链环碰到另一小链环被吸引，形成大链环的絮状结构 (见图 1.3 (c))。海相沉积的黏土具有此结构。

具有蜂窝结构和絮状结构的土，土粒间有大量的孔隙，体积大，但均为微细孔隙，故压缩性高，透水性弱。当其天然结构破坏时，强度会迅速降低。因此，在研究土的一些与结构有关性质时，必须保持其天然结构不受破坏。

2. 土的构造

土的构造是指同一土层中，土粒或土粒集合体之间相互关系的特征。土的构造是土层的层理、裂隙及大孔隙等宏观特征，亦称为宏观结构。土的构造最主要的特征就是成层性，即层理构造。它是在土的生成过程中，由于不同阶段沉积的物质成分、颗粒大小或颜色不同，而沿竖向呈现的成层特征，常见的有水平层理与交错层理构造。

1.2 土的粒组和颗粒级配

1.2.1 土的粒组

土是岩石风化的产物，是由无数大小不同的土粒组成，其大小相差极为悬殊，性质也不相同（例如土粒由粗变细，可由无黏性变为有黏性）。为了便于研究，工程上通常把工程性质相近的一定尺寸范围的土粒划分为一组，称为粒组。粒组与粒组之间的分界尺寸称界限粒径。工程上广泛采用的粒组有：漂石粒、卵石粒、砾粒、砂粒、粉粒和黏粒。

对粒组的划分，各个国家甚至一个国家的各个部门都有不同的规定。表 1.1 为我国水利部 SL237—1999《土工试验规程》中规定的粒组划分情况。

表 1.1 水利部标准规定的粒组划分

粒组统称	粒 组 划 分		粒径 (d) 的范围/mm
巨粒组	漂石 (块石) 组		$d > 200$
	卵石 (碎石) 组		$200 \geq d > 60$
粗粒组	砾粒 (角砾)	粗 砾	$60 \geq d > 20$
		中 砾	$20 \geq d > 5$
		细 砾	$5 \geq d > 2$
	砂 粒	粗 砂	$2 \geq d > 0.5$
		中 砂	$0.5 \geq d > 0.25$
		细 砂	$0.25 \geq d > 0.075$
细粒组	粉 粒		$0.075 \geq d > 0.005$
	黏 粒		$d \leq 0.005$

在《公路土工试验规程》(JTG E40—2007) 中，土的颗粒根据表 1.2 所列粒组范围划分粒组。

表 1.2 《公路土工试验规程》(JTGE40—2007) 规定的粒组划分

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		卵石		砾（角砾）				砂				粉粒		黏粒			
（块石）		（小块石）		粗		中		细		粗		中		细			

表 1.3 为我国《铁路桥涵地基和基础设计规范》(TB 10002.5—2005) 中规定的粒组划分情况。

表 1.3 《铁路桥涵地基和基础设计规范》(TB 10002.5—2005) 规定的粒组划分

颗粒分类		粒径 d/mm	一般特性
漂石（浑圆、圆棱）或块石（尖棱）	大	$d>800$	透水性很大，无黏性，毛细水上升高度极微，不能保持水分
	中	$400<d\leq 800$	
	小	$200<d\leq 400$	
卵石（浑圆、圆棱）或粗角砾（尖棱）	大	$100<d\leq 200$	透水性很大，无黏性，毛细水上升高度极微，不能保持水分
	小	$60<d\leq 100$	
粗圆砾（浑圆、圆棱）或细角砾	大	$40<d\leq 60$	
	小	$20<d\leq 40$	
细圆砾（浑圆、圆棱）或细角砾	大	$10<d\leq 20$	透水性小，湿润时能出现微黏性，遇水膨胀和干缩都不明显，毛细水上升速度较快，上升高度较大
	中	$5<d\leq 10$	
	小	$2<d\leq 5$	
砂 粒	粗	$0.5<d\leq 2$	几乎不透水，潮湿时呈可塑性，黏性大，遇水膨胀和干缩都较显著，压缩性大
	中	$0.25<d\leq 0.5$	
	细	$0.075<d\leq 0.25$	
粉 粒		$0.005<d\leq 0.075$	
黏土粒		$d<0.005$	

1.2.2 土的颗粒级配

自然界的土常包含几种粒组。土中各粒组相对含量 (用粒组质量占干土总质量的百分数表示), 称土的颗粒级配。可以通过颗粒分析试验确定。

1. 颗粒分析试验

测定土中各粒组颗粒质量占该土质量的百分数, 确定粒径分布范围的试验称为土的颗粒大小分析试验, 简称“颗分”试验。常用试验方法有筛分法和密度计法两种。

(1) 筛分法。筛分法适用于粒径大于 0.075 mm 的土粒。即用一套孔径大小不同的标准筛, 从上到下按粗孔到细孔的顺序叠好 (例如 60 mm—20 mm—2 mm—0.5 mm—0.25 mm—0.1 mm—0.075 mm), 将已知重量的风干、分散的土样过筛, 把各粒组分离出来, 并求出含量百分数。

【例 1.1】从干砂样中称取质量为 1 000 g 的试样, 放入标准筛中, 经充分振动后, 称得各级筛上留存的土粒质量, 见表 1.4 中的第二行, 试求土中各粒组的土粒含量。