

普通高等院校“十二五”应用型规划教材

PUTONG GAODENG YUANXIAO “SHIERWU” YINGYONGXING GUIHUA JIAOCAI

土力学与地基基础

TULIXUE YU DIJI JICHU

主编 陈剑波 刘湘萍 主审 刘凤翰



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

普通高等院校“十二五”应用型规划教材

土力学与地基基础

主 编 陈剑波 刘湘萍
副主编 齐 平 刘俊华 程鸿源 马维尼
主 审 刘凤翰

华中科技大学出版社
中国·武汉

图书在版编目(CIP)数据

土力学与地基基础/陈剑波,刘湘萍主编. —武汉:华中科技大学出版社,2015.7

普通高等院校“十二五”应用型规划教材

ISBN 978-7-5680-1022-1

I. ①土… II. ①陈… ②刘… III. ①土力学-高等学校-教材 ②地基-基础(工程)-高等学校-教材
IV. ①TU4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 157618 号

土力学与地基基础

陈剑波 刘湘萍 主编

责任编辑:简晓思

封面设计:李 嫚

责任校对:李 琴

责任监印:张贵君

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)81321913

录 排:华中科技大学惠友文印中心

印 刷:武汉鑫昶文化有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:12 插页:5

字 数:314 千字

版 次:2015 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

定 价:35.00 元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

内 容 提 要

本书是根据项目化教学要求进行编写的建筑工程技术专业系列教材之一。全书共分为9个项目:土的性质及土方开挖方案识读,土中应力和地基变形的计算,土抗剪强度与地基承载力的计算,浅基础的施工图识读、设计及施工,桩基础的施工图识读、设计及施工,地基处理,工程地质勘察报告的识读,重力式挡土墙与基坑支护及土工试验等学习项目,并附有相关的设计实例与实际施工图。为方便读者学习,本书的每个项目还有学习目标及精选的项目训练题。

本书可作为普通高等院校、高等专科学校、高等职业技术学院、成人高校等土建类专业的教学用书,也可作为土建类工程技术人员、施工管理人员的参考用书。

前 言

《土力学与地基基础》是建筑工程技术专业及其他相关专业的一门重要的专业课或专业基础课。随着城市建设的快速发展以及高层建筑、大型公共建筑、重型设备基础、城市地铁、越江越海隧道等工程的大量兴建,土力学理论与地基基础技术显得越来越重要。据统计,国内外发生的工程事故中,以地基基础领域的事故为最多,并且造成的损失和对社会的不良影响越来越大,事故处理的成本与难度也在不断增加,因此,土建类专业的学生及相关工程技术人员应重视本学科知识的学习。

编者根据课程的定位和培养目标,以工作为导向进行课程内容重构,立足于实际能力的培养,对课程内容的选择标准作了根本性改革,打破了以知识传授为主要特征的传统学科课程模式,转而以工作任务为中心、基于“工学结合”的要求来组织课程内容和课程教学,让学生在完成具体项目的过程中来构建相关理论知识,并发展职业能力。通过邀请多家相关企业行业专家与建筑工程专业全体教师多次深入、细致、系统的专题讨论和分析,本课程最终确定了9个学习项目:项目1土的性质及土方开挖方案识读,项目2土中应力和地基变形的计算,项目3土的抗剪强度与地基承载力的计算,项目4浅基础的施工图识读、设计及施工,项目5桩基础的施工图识读、设计及施工,项目6地基处理,项目7工程地质勘察报告的识读,项目8重力式挡土墙与基坑支护,以及项目9土工试验。

教学内容围绕实训项目组织,技能培养以工学结合为切入点;实训项目会同企业进行开发和研究,符合工作要求,有针对性,能大力提高学生对图形的理解与识读能力;理论知识作为能力培养的补充,努力打造理论实践一体化的教学课堂;进一步激发学生的学习热情,优化教学过程,提高学生的动手能力,充分发挥学生的主观能动性;最终增强学生的上岗就业的竞争能力,为零距离上岗就业提供了有力保障。本书在编写过程中力求内容精选、推导简化,做到“以应用为目的”“以必需、够用为原则”,并注重反映地基基础领域的新规范、新规程及推广应用的新技术、新工艺。本书采用的规范、规程有《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)、《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2009)、《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79—2012)、《土工试验方法标准》(GB/T 50123—1999)等。

本书由陈剑波、刘湘萍任主编,齐平、刘俊华、程鸿源、马维尼任副主编,刘凤翰担任主审。本书在编写过程中得到了许多院校领导和老师的帮助;刘凤翰在本书成稿后认真审阅了全书,并提出了宝贵的修改意见,在此一并表示感谢。

由于时间和编者水平有限,书中不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

2015年11月

目 录

项目 1	土的性质及土方开挖方案识读	(1)
1.1	土与地基	(1)
1.2	土的成因和组成	(3)
1.3	土的物理性质指标和物理状态指标	(5)
1.4	地基岩土的工程分类	(11)
1.5	地基持力层选择	(13)
1.6	某公司办公室土方开挖施工方案	(14)
项目 2	土中应力和地基变形的计算	(20)
2.1	土中应力和变形、自重应力和附加应力的概念	(20)
2.2	土中自重应力计算	(20)
2.3	基底压力、基底附加应力和土中附加应力	(22)
2.4	土的压缩性和土的压缩性指标	(31)
2.5	地基最终沉降量计算	(32)
2.6	地基沉降与时间的关系	(35)
2.7	地基变形特征与建筑物沉降观测	(36)
项目 3	土的抗剪强度与地基承载力的计算	(41)
3.1	土的抗剪强度	(41)
3.2	抗剪强度库仑定律	(41)
3.3	抗剪强度指标的测定方法以及抗剪强度指标的选用	(42)
3.4	地基承载力的理论计算和地基承载力特征值的确定	(44)
项目 4	浅基础的施工图识读、设计及施工	(53)
4.1	浅基础的类型	(53)
4.2	基础设计的要求与步骤	(57)
4.3	基础埋置深度的确定	(58)
4.4	基础底面尺寸的确定	(60)
4.5	基础施工图识读	(63)
4.6	无筋扩展基础设计	(64)
4.7	墙下钢筋混凝土条形基础	(67)
4.8	墙下钢筋混凝土条形基础设计实例	(69)
4.9	独立基础施工方案	(71)
项目 5	桩基础的施工图识读、设计及施工	(75)
5.1	桩基础	(75)
5.2	桩的承载力	(77)
5.3	桩基础设计	(79)
5.4	桩承台设计	(82)

5.5	桩身结构设计	(83)
5.6	桩基础施工图识读	(83)
5.7	桩基础长度设计实例	(83)
5.8	人工挖孔桩基础施工方案	(83)
项目 6	地基处理	(91)
6.1	地基处理的概念	(91)
6.2	地基处理的分类	(92)
6.3	地基处理方案实例	(99)
6.4	某建筑地基处理方案的实例对比	(105)
项目 7	工程地质勘察报告的识读	(109)
7.1	工程地质概述	(109)
7.2	工程地质勘察的目的和任务	(112)
7.3	工程地质勘探方法	(113)
7.4	工程地质勘察报告	(116)
7.5	工程地质勘察报告实例	(118)
项目 8	重力式挡土墙与基坑支护	(131)
8.1	土压力概述	(131)
8.2	土压力计算	(132)
8.3	挡土墙设计	(139)
8.4	挡土墙设计实例	(142)
8.5	土坡稳定分析	(143)
8.6	基坑支护工程	(143)
8.7	基坑支护结构选型实例	(148)
8.8	基坑支护施工方案	(151)
项目 9	土工试验	(166)
9.1	土的含水量试验	(166)
9.2	土的密度试验	(167)
9.3	土粒相对密度试验	(168)
9.4	塑限、液限联合测定试验	(170)
9.5	标准固结(压缩)试验	(173)
9.6	直接剪切试验	(178)
参考文献		(182)

项目 1 土的性质及土方开挖方案识读

学习要求

- ◇ 能够识别土的各种性质以及与其相对应的性质指标;
- ◇ 熟悉规范对地基土的工程分类方法;
- ◇ 能够读懂土方的开挖方案。

1.1 土与地基

自然界中的土是地壳表层的岩石经过风化、剥蚀、破碎、搬运、沉积等过程后在不同条件下形成的自然历史产物。

我们一般将支承上部建筑和基础荷载的土层称为地基,如图 1-1 所示。



图 1-1 建筑与地基

1.1.1 上部建筑、基础与地基

上部建筑的荷载传给基础,基础承受上部荷载并传递给地基,三者相互作用、相互联系,如图 1-2 所示。

地基与基础是两个完全不同的概念。

通常将埋入土层一定深度的建筑物下部的承重结构称为基础,而将支承基础的土层或岩层称为地基,如图 1-3、图 1-4 所示。

位于基础底面下第一层土称为持力层,而在持力层以下的土层称为下卧层,强度低于持力层的下卧层称为软弱下卧层,如图 1-5 所示。

由于地基的持力层需要承受上部建筑以及地基所传递过来的全部荷载,因此,必须选择承载力较高的土层作为建筑物的地基,来承受上部荷载。

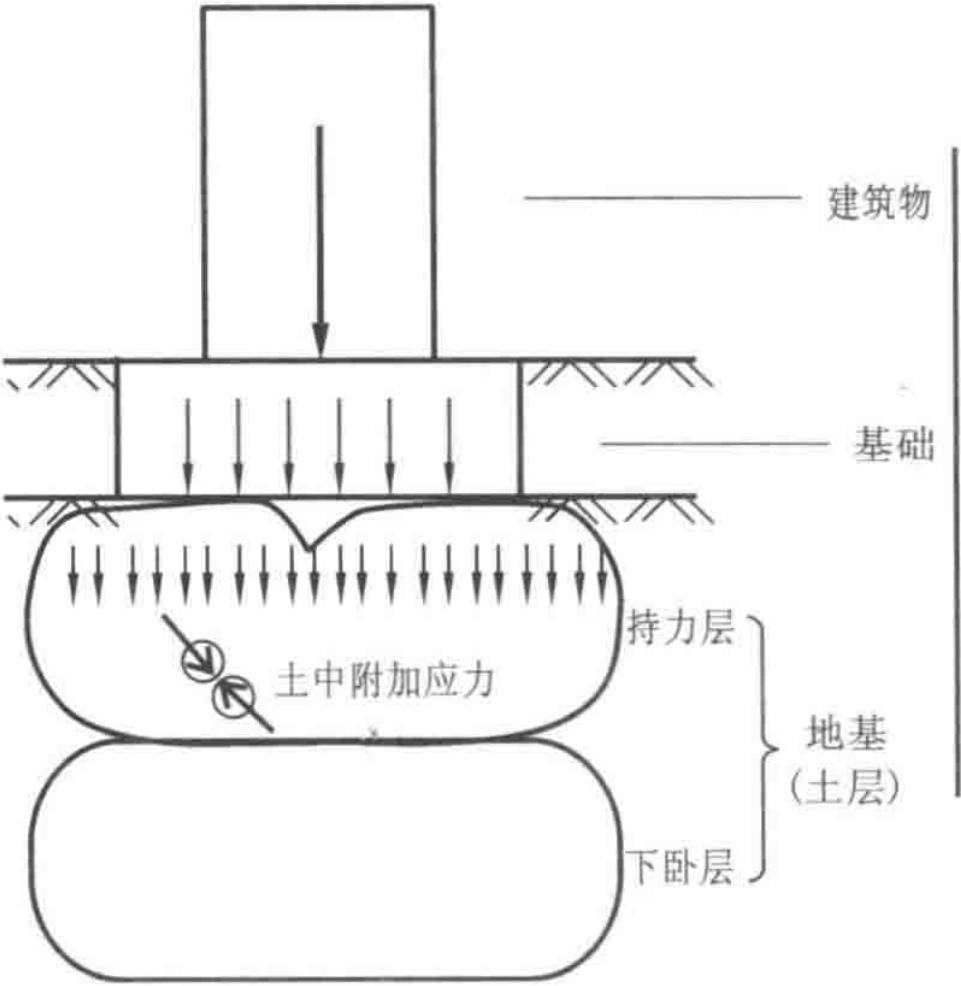


图 1-2 上部建筑、基础与地基传力关系



图 1-3 地基与基础(一)



图 1-4 地基与基础(二)

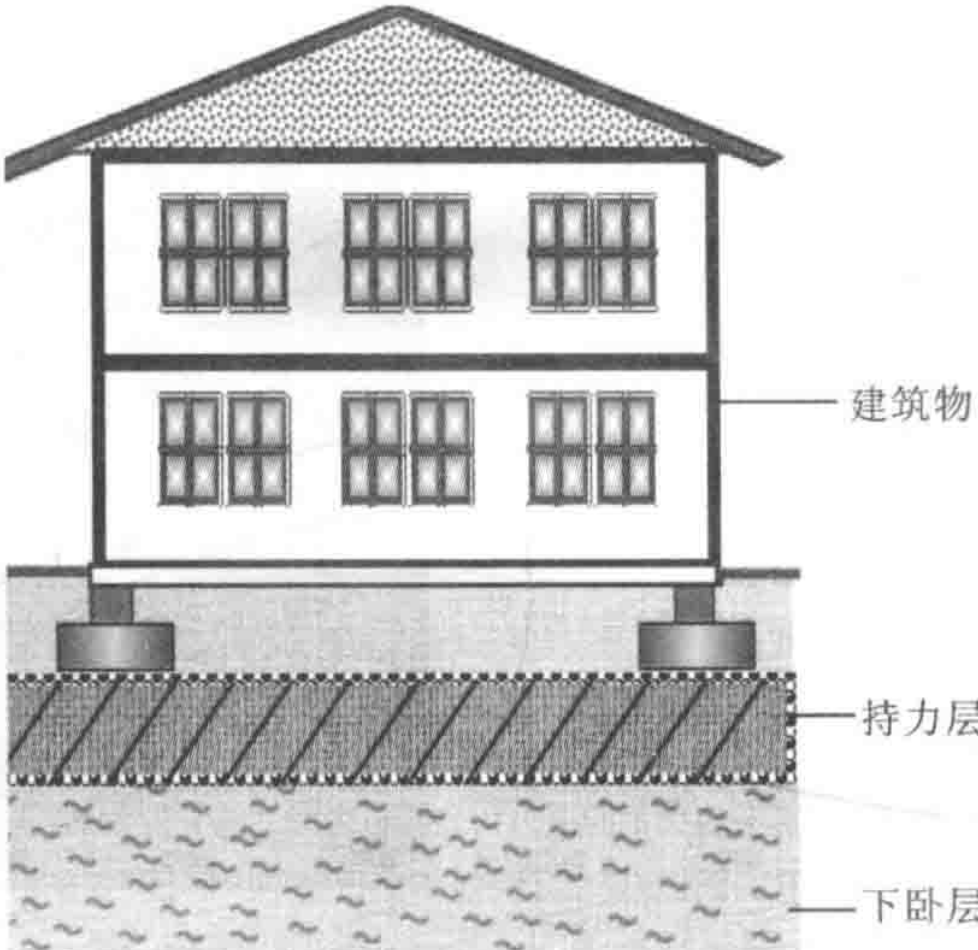


图 1-5 上部建筑、基础与地基

1.1.2 建筑物安全的保证条件

建筑物安全的保证条件如下。

- ①建筑物本身是安全的。
- ②基础本身满足强度、刚度和耐久性的要求。
- ③地基应满足以下条件。

- a. 地基的强度条件。要求建筑物的地基应有足够的承载力,在荷载作用下不发生剪切破坏或失稳。
- b. 地基的变形条件。要求建筑物的地基不产生过大的变形(包括沉降、沉降差、倾斜和局部倾斜),保证建筑物正常使用。

1.2 土的成因和组成

要选择承载力较高的土层作为建筑物的地基,就必须了解何种土层具备高的承载力,这就要求首先要了解土的成因、组成、各种指标和土的工程分类。

1.2.1 土的成因

土一般是指由原岩风化产物经各种外力地质作用而成的沉积物,至今其沉积历史不长,所以只能形成未经胶结硬化的沉积物,也就是通常所说的“第四纪沉积物”或“土”。第四纪沉积物是指第四纪时期因地质作用所沉积的物质,一般呈松散状态。在第四纪连续下沉地区,其最大厚度可达1 000 m。

不同成因类型的第四纪沉积物,各具有一定的分布规律和工程地质特征,以下分别介绍其中主要的几种成因类型:残积物、坡积物、洪积物以及冲积物。

(1) 残积物(Q^{el})

残积物是由岩石风化后,未经搬运而残留于原地的土。

(2) 坡积物(Q^{dl})

坡积物是残积物经水流搬运,顺坡移动堆积而成的土。

(3) 洪积物(Q^{pl})

洪积物是山洪带来的碎屑物质,在山沟的出口处堆积而成的土。

(4) 冲积物(Q^{al})

冲积物是河流流水的地质作用将两岸基岩及其上部覆盖的坡积成洪积物质剥蚀后搬运、沉积在河流坡降平缓地带形成的沉积物。

除了上述四种主要成因类型的沉积物外,还有海洋沉积物(Q^m)、湖泊沉积物(Q^l)及冰川沉积物(Q^{gl})等,它们分别由海洋、湖泊及冰川等地质作用形成。

1.2.2 土的组成

在天然状态下,自然界中的土是由固体颗粒、水和气体组成的三相体系。

为了便于说明和计算,通常用土的三相组成图来表示它们之间的数量关系,如图1-6所示。三相图的右侧表示三相组成的体积关系,左侧表示三相组成的质量关系。

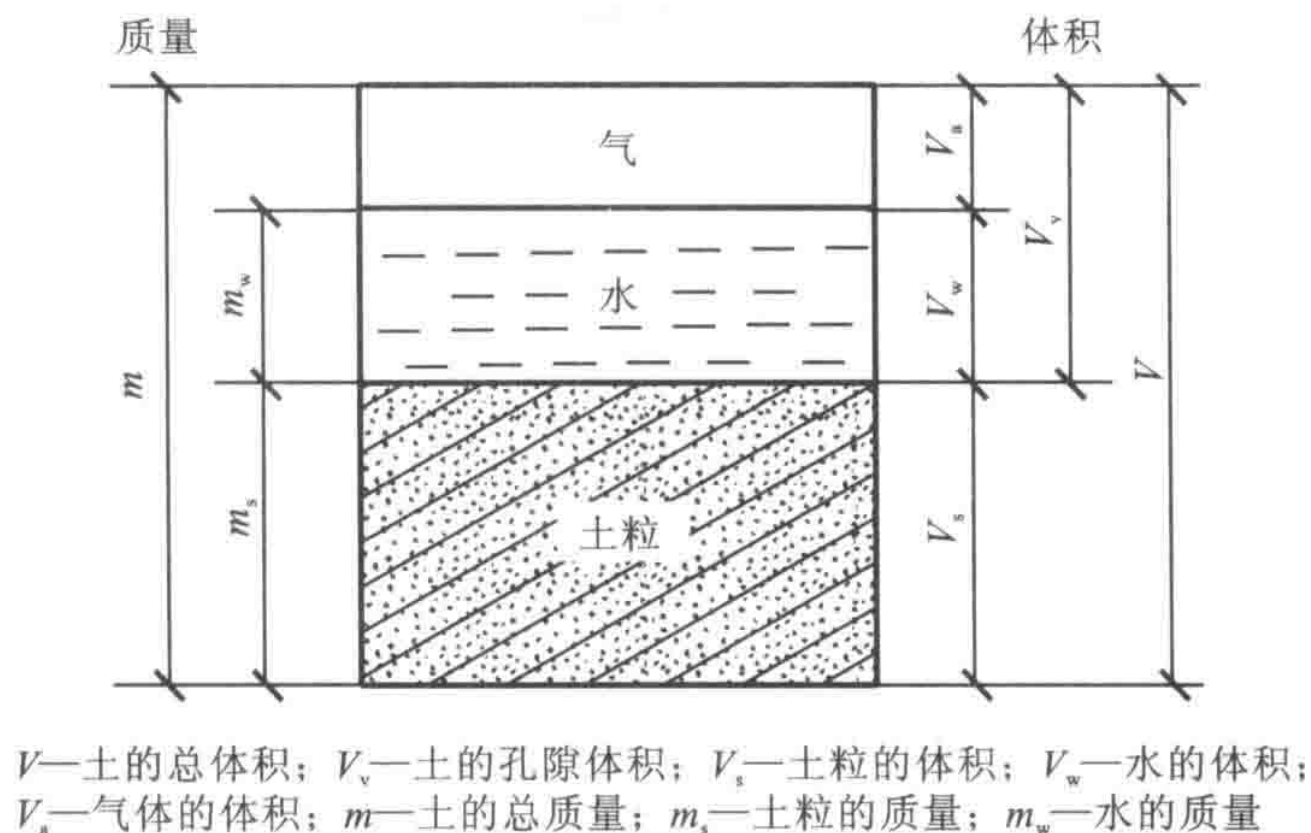


图 1-6 土的三相组成

1. 土的固体颗粒

自然界中的土都是由大小不同的土颗粒组成的，土颗粒的大小与土的性质密切相关。如土颗粒由粗变细，则土的性质由无黏性变为黏性。粒径大小在一定范围内的土，其矿物成分及性质也比较相近。

划分粒组的分界尺寸称为界限粒径，我国习惯采用表 1-1 所示方法划分粒组。

表 1-1 粒组划分标准

粒 组 统 称	粒 组 名 称		粒组粒径 d 的范围/mm
巨 粒	漂石(块石)粒		$d>200$
	卵石(碎石)粒		$60< d \leq 200$
粗 粒	砾粒	粗砾	$20< d \leq 60$
		细砾	$2< d \leq 5$
	砂粒		$0.075< d \leq 2$
细 粒	粉粒		$0.005< d \leq 0.075$
	黏粒		$d \leq 0.005$

土的颗粒级配是指土中各个粒组占土粒总量的百分数，常用来表示土粒的大小及组成情况。土的级配一般用颗粒级配曲线表示，一般横坐标用来表示粒径，纵坐标用来表示小于某粒径的土重含量(或累计百分含量)。图 1-7 中曲线 a 平缓，则表示粒径大小相差较大，土粒不均匀，即为级配良好；反之，曲线 b 较陡，则表示粒径大小相差不大，土粒较均匀，即为级配不良。

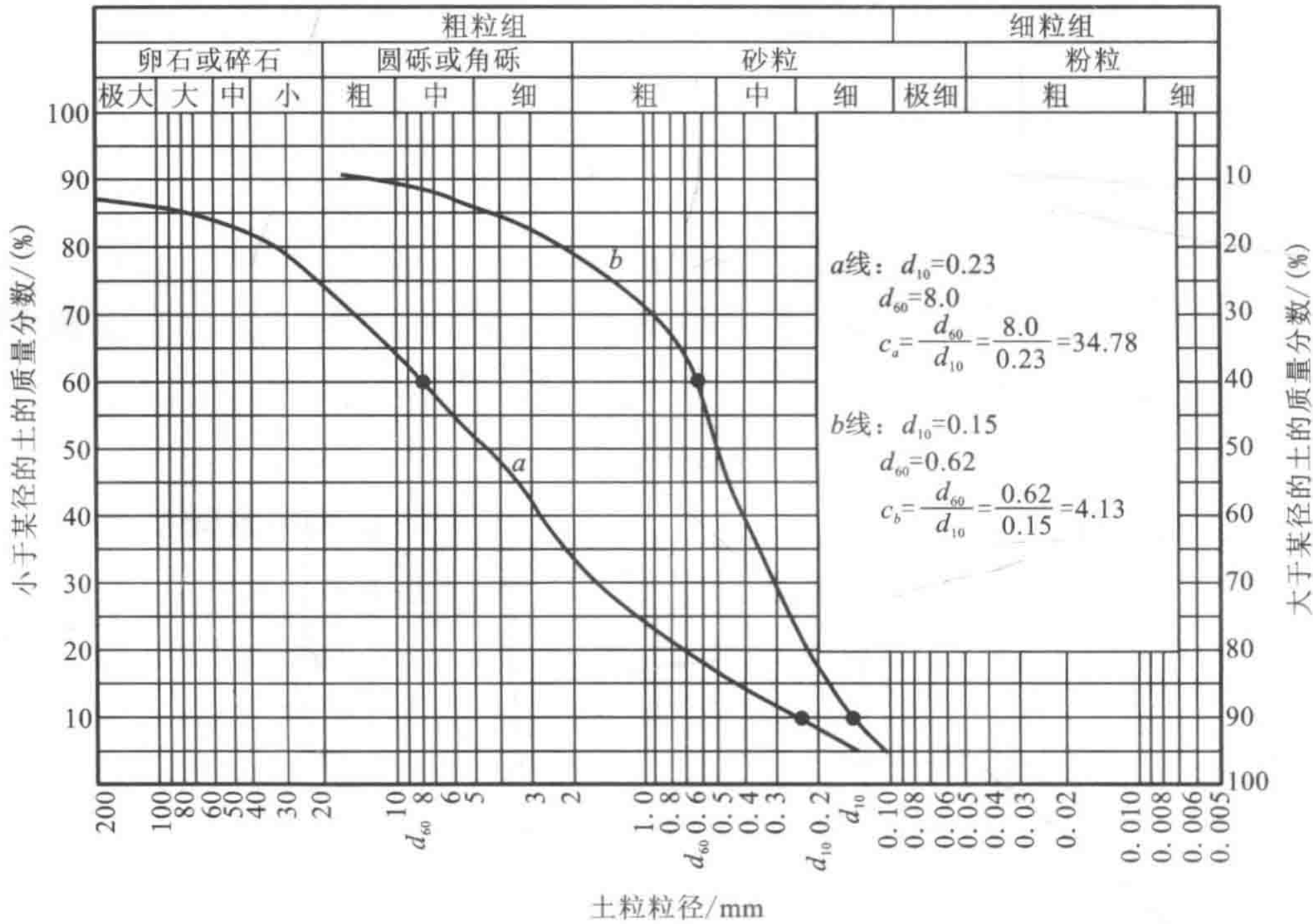


图 1-7 颗粒级配曲线

工程上常采用不均匀系数 C_u 来定量反映土颗粒的组成特征。我国《土的分类标准》(GBJ 145—1990)规定:对于砂类或砾类土,当 $C_u \geq 5$ 且 $C_u = 1 \sim 3$ 时,为级配良好的砂或砾;不能同时满足上述条件时,为级配不良的砂或砾。级配良好的土,其强度和稳定性较好,透水性和压缩性较小,是填方工程的良好用料。

2. 土中水

自然状态下土中都含有水,土中水与土颗粒之间的相互作用对土的性质影响很大,而且土颗粒越细,影响越大。土中液态水主要有结合水和自由水两大类。

(1) 结合水

结合水是指由土粒表面电分子吸引力吸附的土中水,根据其离土粒表面的距离又可以分为强结合水和弱结合水。

(2) 自由水

自由水是指存在于土粒电场范围以外的水,自由水又可分为毛细水和重力水。

毛细水是受到水与空气交界面处表面张力作用的自由水。毛细水位于地下水位以上的透水层中,容易湿润地基造成地陷,特别在寒冷地区要注意因毛细水上升产生冻胀现象,地下室要采取防潮措施。

重力水是存在于地下水位以下透水层中的地下水,它是在重力或压力差作用下而运动的自由水。在地下水位以下的土,受重力水的浮力作用,土中的应力状态会发生改变。施工时,重力水对于基坑开挖、排水等方面会产生较大影响。

3. 土中气体

土中气体存在于土孔隙中未被水占据的部位。

1.3 土的物理性质指标和物理状态指标

土的物理性质指标主要描述的是土的三相比例关系(见图 1-8)指标,它在一定程度上体现了土的力学性质,如土的承载力。描述土的三相物质在体积和质量上的比例关系的有关指标,称为土的三相比例指标。

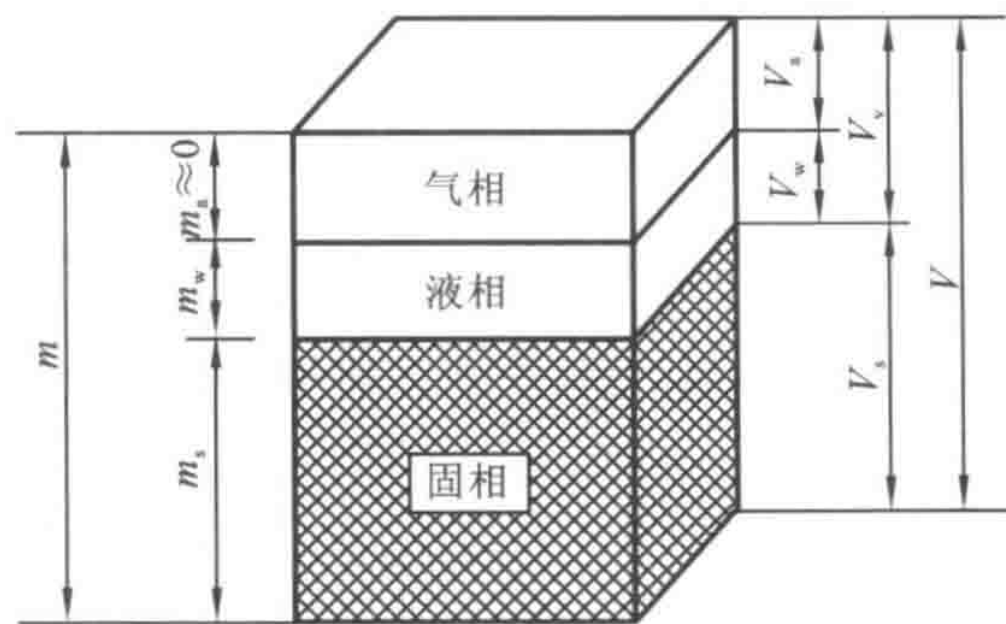


图 1-8 土的三相关系图

土的物理性质指标可分为两种:一种是基本指标(可由土工试验直接测定),另一种是换算指标(可由基本指标经过换算求得)。

土的物理状态指标则更为形象、直观地描述了土当前所处的一种状态。所谓土的物理

状态,对于无黏性土是指土的密实度,对于黏性土是指土的软硬程度。

各种土层的性质与承载力都可以通过相对应的指标进行区分,因此,更好地了解土的各种指标,我们就更能科学地选出承载力较好的土层作为建筑物的地基。

1.3.1 土的物理性质指标

1. 土的物理性质指标中的基本指标

土的含水量、密度、土粒相对密度三个三相比指标可由土工试验直接测定,称为基本指标,亦称为试验指标。

1) 土的含水量 ω

土中水的质量与土粒质量之比(用百分数表示),称为土的含水量,亦称为土的含水率,即

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

式中: ω ——土的含水量;

m_w ——土中水的质量,g;

m_s ——土粒质量,g。

同一类土,含水量越高,则土越湿,一般来说土也就越软,强度越低。

2) 土的密度 ρ 和重度 γ

单位体积内土的质量称为土的密度 ρ ,单位体积内土的重量称为土的重度 γ 。

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

式中: ρ ——土的密度,g/cm³ 或 t/m³;

m ——土的质量,g 或 t;

V ——土的体积,cm³ 或 m³。

$$\gamma = \rho g \quad (1-3)$$

式中: γ ——土的重度,kN/m³;

g ——重力加速度,约等于 9.8 m/s²,一般在工程计算中近似取 $g=10$ m/s²。

3) 土粒相对密度 G_s

土粒质量与同体积的 4℃时纯水的质量之比,称为土粒相对密度,即

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

式中: G_s ——土粒相对密度;

m_s ——土粒的质量,g;

V_s ——土粒的体积,cm³;

ρ_s ——土粒的密度,g/cm³;

ρ_w ——4℃时纯水的密度,g/cm³,一般取 $\rho_w=1$ g/cm³。

2. 土的物理性质指标中的换算指标

在测定上述三个基本指标之后,经过换算求得下列六个指标,称为换算指标。

1) 干密度 ρ_d 和干重度 γ_d

单位体积内土颗粒的质量称为土的干密度 ρ_d , 单位体积内土颗粒的重量称为土的干重度 γ_d , 土的干密度和干重度的计算公式为

$$\rho_d = m_s / V \quad (1-5)$$

$$\gamma_d = \rho_d g \quad (1-6)$$

在工程上常把干密度作为检测人工填土密实程度的指标, 以控制施工质量。

2) 土的饱和密度 ρ_{sat} 和饱和重度 γ_{sat}

土的饱和密度 ρ_{sat} 是指土中孔隙完全充满水时, 单位体积土的质量; 土的饱和重度 γ_{sat} 是指土中孔隙完全充满水时, 单位体积内土的重量, 即

$$\rho_{sat} = (m_s + V_v \rho_w) / V \quad (1-7)$$

$$\gamma_{sat} = \rho_{sat} g \quad (1-8)$$

3) 土的有效密度 ρ' 和有效重度 γ'

土的有效密度 ρ' 是指在地下水位以下, 单位体积土中土粒的质量扣除土体排开同体积水的质量; 土的有效重度 γ' 是指在地下水位以下, 单位体积土中土粒所受的重力扣除水的浮力, 即

$$\rho' = (m_s - V_s \rho_w) / V \quad (1-9)$$

$$\gamma' = \rho' g \quad (1-10)$$

4) 土的孔隙比 e

土的孔隙比 e 为土中孔隙体积与土粒体积之比, 用小数表示, 即

$$e = V_v / V_s \quad (1-11)$$

土的孔隙比是评价土的密实程度的重要指标。一般孔隙比小于 0.6 的土是低压缩性的土, 孔隙比大于 1.0 的土是高压缩性的土。

5) 土的孔隙率 n

土的孔隙率 n 为土中孔隙体积与土的总体积之比, 以百分数表示, 即

$$n = (V_v / V) \times 100\% \quad (1-12)$$

土的孔隙率也可用来表示土的密实程度。

6) 土的饱和度 S_r

土中水的体积与孔隙体积之比, 称为土的饱和度 S_r , 以百分数表示, 即

$$S_r = (V_w / V_v) \times 100\% \quad (1-13)$$

饱和度用作描述土体中孔隙被水充满的程度。干土的饱和度 $S_r = 0$, 当土处于完全饱和状态时, $S_r = 100\%$ 。根据饱和度, 土可划分为稍湿、很湿和饱和三种湿润状态, 即

- ① $S_r \leq 50\%$, 稍湿;
- ② $50\% < S_r \leq 80\%$, 很湿;
- ③ $S_r > 80\%$, 饱和。

3. 三相比例指标之间的换算关系

在土的三相比例指标中, 土的含水量、土的密度和土粒比重三个基本指标是通过试验测定的, 其他相应各项指标可以通过土的三相比例关系换算求得。各项指标之间的换算公式见表 1-2。

表 1-2 土的三相比例指标之间的换算公式

名 称	符号	三相比例指标	常用换算公式	单 位	常见的数值范围
土粒 相对密度	G_s	$G_s = \frac{m_s}{V_s \rho_w} = \frac{\rho_s}{\rho_w}$	$G_s = \frac{S_r e}{\omega}$		黏性土:2.72~2.75 粉土:2.70~2.71 砂类土:2.65~2.69
含水量	ω	$\omega = \frac{m_w}{m_s} \times 100\%$	$\omega = \frac{S_r e}{G_s} = \frac{\rho}{\rho_d} - 1$		20%~60%
密度	ρ	$\rho = \frac{m}{V}$	$\rho = \rho_d (1 + \omega)$ $\rho = \frac{G_s (1 + \omega)}{1 + e} \rho_w$	g/cm ³	1.6~2.0
干密度	ρ_d	$\rho_d = \frac{m_s}{V}$	$\rho_d = \rho / (1 + \omega)$ $\rho_d = \frac{G_s}{1 + e} \rho_w$	g/cm ³	1.3~1.8
饱和密度	ρ_{sat}	$\rho_{sat} = \frac{m_s + V_v \rho_w}{V}$	$\rho_{sat} = \rho' + \rho_w$ $\rho_{sat} = \frac{G_s + e}{1 + e} \rho_w$	g/cm ³	1.8~2.3
有效密度	ρ'	$\rho' = \frac{m_s - V_s \rho_w}{V}$	$\rho' = \rho_{sat} - \rho_w$ $\rho' = \frac{G_s - 1}{1 + e} \rho_w$	g/cm ³	0.8~1.3
重度	γ	$\gamma = \frac{m}{V} g$	$\gamma = \frac{G_s (1 + \omega)}{1 + e} \gamma_w$	kN/m ³	16~20
干重度	γ_d	$\gamma_d = \frac{m_s}{V} g$	$\gamma_d = \frac{G_s}{1 + e} \gamma_w$	kN/m ³	13~18
饱和重度	γ_{sat}	$\gamma_{sat} = \frac{m_s + V_v \rho_w}{V} g$	$\gamma_{sat} = \frac{G_s + e}{1 + e} \gamma_w$	kN/m ³	18~23
有效重度	γ'	$\gamma' = \frac{m_s - V_s \rho_w}{V} g$	$\gamma' = \frac{G_s - 1}{1 + e} \gamma_w$	kN/m ³	8~13
孔隙比	e	$e = \frac{V_v}{V_s}$	$e = \frac{G_s (1 + \omega)}{\rho} \rho_w - 1$		黏性土和粉土:0.40~1.20 砂类土:0.30~0.90
孔隙率	n	$n = \frac{V_v}{V} \times 100\%$	$n = \frac{e}{1 + e}$		黏性土和粉土:30%~60% 砂类土:25%~60%
饱和度	S_r	$S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100\%$	$S_r = \frac{G_s \omega}{e}$ $S_r = \frac{\omega \rho_d}{n \rho_w}$		0~100%

【例 1-1】 某土样经试验测得体积为 100 cm^3 , 质量为 187 g , 烘干后测得质量为 167 g 。已知土粒相对密度 $G_s = 2.66$, 试求该土样的含水量 ω 、密度 ρ 、重度 γ 、干重度 γ_d 、孔隙比 e 、饱和度 S_r 、饱和重度 γ_{sat} 和有效重度 γ' 。

【解】

$$\omega = \frac{m_w}{m_s} \times 100\% = \frac{187 - 167}{167} \times 100\% = 11.98\%$$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{187}{100} \text{ g/cm}^3 = 1.87 \text{ g/cm}^3$$

$$\gamma = \rho g = 1.87 \times 10 \text{ kN/m}^3 = 18.7 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_d = \rho_d g = \frac{167}{100} \times 10 \text{ kN/m}^3 = 16.7 \text{ kN/m}^3$$

$$e = \frac{G_s(1+\omega)\rho_w}{\rho} - 1 = \frac{2.66 \times (1+0.1198)}{1.87} - 1 = 0.593$$

$$S_r = \frac{\omega G_s}{e} \times 100\% = \frac{0.1198 \times 2.66}{0.593} \times 100\% = 53.7\%$$

$$\gamma_{\text{sat}} = \frac{G_s + e}{1 + e} \gamma_w = \frac{2.66 + 0.593}{1 + 0.593} \times 10 \text{ kN/m}^3 = 20.4 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma' = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w = (20.4 - 10) \text{ kN/m}^3 = 10.4 \text{ kN/m}^3$$

1.3.2 土的物理状态指标

1. 无黏性土的密实度

土的密实度是指单位体积中固体颗粒充满的程度。无黏性土颗粒排列紧密, 呈密实状态时, 强度较高, 压缩性较小, 可作为良好的天然地基; 呈松散状态时, 强度较低, 压缩性较大, 为不良地基。判别砂土密实状态的指标通常有下列三种。

1) 孔隙比 e

采用天然孔隙比 e 的大小来判断砂土的密实度, 是一种较简便的方法。一般当 $e < 0.6$ 时, 属密实的砂土, 是良好的天然地基; 当 $e > 0.95$ 时, 为松散状态, 不宜作为天然地基。

2) 相对密度 D_r

当砂土处于最密实状态时, 其孔隙比称为最小孔隙比 $e_{\min}$; 当砂土处于最疏松状态时, 其孔隙比称为最大孔隙比 $e_{\max}$; 砂土在天然状态下的孔隙比用 e 表示, 相对密度 D_r 为

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

当砂土的天然孔隙比 e 接近于最大孔隙比 $e_{\max}$ 时, 其相对密度接近于零, 则表明砂土处于最松散的状态; 而当砂土的天然孔隙比 e 接近于最小孔隙比 $e_{\min}$ 时, 其相对密度接近于 1, 表明砂土处于最紧密的状态。用相对密度 D_r 判定砂土密实度的标准如下:

① $0 < D_r \leq 0.33$, 松散;

② $0.33 < D_r \leq 0.67$, 中密;

③ $0.67 < D_r \leq 1$, 密实。

3) 标准贯入试验的锤击数 N

在实际工程中, 天然砂土的密实度可根据标准贯入试验的锤击数 N 进行评定, 表 1-3 给出了《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011) 的判别标准。

表 1-3 按锤击数 N 划分砂土密实度

密 实 度	松 散	稍 密	中 密	密 实
标准贯入试验锤击数 N	$N \leq 10$	$10 < N \leq 15$	$15 < N \leq 30$	$N > 30$

2. 黏性土的物理状态指标

黏性土的物理状态可以用稠度表示,黏性土由于含水量的不同,而分别处于固态、半固态、可塑状态及流动状态。

1) 黏性土的界限含水量

黏性土从一种状态过渡到另一种状态的分界含水量称为界限含水量。黏性土由可塑状态过渡到流动状态的界限含水量称为液限 ω_L ;由半固态转到可塑状态的界限含水量称为塑限 ω_P ;由固态转到半固态的界限含水量称为缩限 ω_S ,如图 1-9 所示。当黏性土在某一含水量范围内时,可用外力将土塑成任何形状而不发生裂纹,即使外力移去后仍能保持既得的形状,土的这种性能称为土的可塑性。

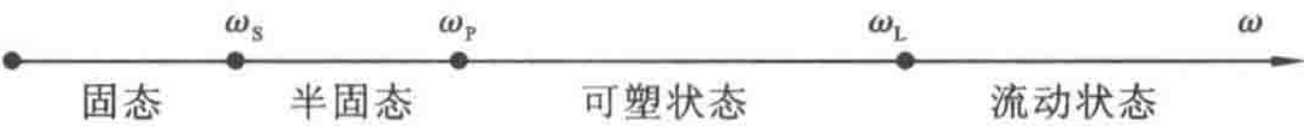


图 1-9 黏性土的状态与含水量关系

2) 黏性土的塑性指数和液性指数

(1) 塑性指数

塑性指数是指液限 ω_L 和塑限 ω_P 的差值,即黏性土处在可塑状态的含水量的变化范围,用 I_P 表示,即

$$I_P = \omega_L - \omega_P \tag{1-15}$$

式中: ω_L 、 ω_P ——黏性土的液限和塑限,用百分数表示,计算塑性指数 I_P 时去掉百分符号。《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)规定:塑性指数 $I_P > 10$ 的土为黏性土,其中 I_P 为 10~17 的土为粉质黏土, $I_P > 17$ 的土为黏土。

(2) 液性指数

液性指数是指土的天然含水量和塑限的差值与塑性指数 I_P 之比,用 I_L 表示,即

$$I_L = \frac{\omega - \omega_P}{I_P} \tag{1-16}$$

液性指数是表示黏性土软硬程度(稠度)的物理指标。

《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)根据液性指数 I_L 将黏性土划分为坚硬、硬塑、可塑、软塑和流塑五种状态(见表 1-4)。

表 1-4 黏性土状态的划分

状 态	坚 硬	硬 塑	可 塑	软 塑	流 塑
液性指数 I_L	$I_L \leq 0$	$0 < I_L \leq 0.25$	$0.25 < I_L \leq 0.75$	$0.75 < I_L \leq 1$	$I_L > 1$

3) 黏性土的灵敏度和触变性

天然状态下的黏性土通常具有相对较高的强度。当土体受到扰动时,土的结构被破坏,因此强度降低。这种影响一般用土的灵敏度 S_t 来表示,即

$$S_t = \frac{q_u}{q_0} \tag{1-17}$$