

安徽省高等学校“十一五”省级规划教材



地基基础工程技术

DIJI JICHU GONGCHENG JISHU

朱永祥◎主编



中国科学技术大学出版社

安徽省高等学校“十一五”省级规划教材

地基基础工程技术

DIJI JICHU GONGCHENG JISHU

主 编：朱永祥

副 主 编：王先恕 胡 敏

参加编写：(以姓氏笔画为序)

王先恕 朱永祥

陈 燕 胡 敏

梁成燕



中国科学技术大学出版社

内 容 简 介

本书是安徽省高职高专土建类专业“十一五”规划教材,是参照新规范《建筑地基基础设计规范》(GB50007—2002)编写而成。全书共11章,主要内容包括:土的物理性质及工程分类,土中的应力计算,地基的变形,土的抗剪强度与地基承载力,天然地基上浅基础设计,边坡稳定及挡土墙,箱形基础,桩基础,地基处理,特殊土地基,土工试验。每章前附有学习目标,每章后附有思考题。

本书内容力求简明扼要,重点突出。本书结合实例对地基基础工程施工相关知识做了深入浅出的说明,内容符合国家现行建筑工程施工及验收规范要求,实用性强,可作为建筑工程技术专业、工程监理专业及相关专业的教学用书,也可供建筑结构设计、施工技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

地基基础工程技术/朱永祥主编. —合肥:中国科学技术大学出版社,2008.5
ISBN 978-7-312-02210-4

I. 地… II. 朱… III. 地基—基础(工程)—工程施工 IV. TU753

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 052206 号

出版 中国科学技术大学出版社
安徽省合肥市金寨路 96 号,230026
网址:<http://press.ustc.edu.cn>
印刷 安徽江淮印务有限公司
发行 中国科学技术大学出版社
经销 全国新华书店
开本 710 mm×960 mm 1/16
印张 16
字数 304 千
版次 2008 年 7 月第 1 版
印次 2008 年 7 月第 1 次印刷
定价 25.00 元

前 言

本书是安徽省高职高专土建类专业“十一五”规划教材。本书依据全国高等院校土建类专业教学目标、人才培养方案和本课程教学大纲的要求而编写,所编内容以“理论够用为度,重在实践能力、动手能力的培养”,面向施工生产第一线的技能应用人才,可作为建筑工程技术专业、工程监理专业及相关专业的教学用书,也可供建筑结构设计、施工技术人员参考。

本学科具有较强的理论性和实践性,涉及的范围很广,发展速度较快,地区性强。因此,在编写时注重理论联系实际,力求简明扼要,重点突出,结合工程实例,做深入浅出的说明,同时编入较多的新技术和新方法,并适当地吸收了国内外科技新成就。

本书内容包括土的物理性质及工程分类、土中应力计算、地基变形、土的抗剪强度和地基承载力、天然地基上浅基础设计、边坡稳定及挡土墙、箱形基础、桩基础、地基处理、特殊土地基、土工试验。

全书采用了国家最新颁布的规范、规程和技术标准。为了便于读者掌握本书所叙述的基本理论和基本技能,每章在编写过程中增加了本章提要、本章小结,并附有一定数量的典型例题、实例、复习题供读者参考。

本书由朱永祥担任主编,王先恕、胡敏担任副主编。本书的第1章、第2章、第6章由安徽省滁州职业技术学院朱永祥编写,第3章、第4章由陈燕编写,第5章由胡敏编写;第7章、第8章、第12章由梁成燕编写,第9章、第10章、第11章由王先恕编写,张国富参加了部分插图绘制工作。本书由朱永祥对全书进行统稿。滁州市建委王芝亭教授级高级工程师担任主审,在此致以深切谢意。

本书在编写和修订过程中,参考了《土力学与地基基础》、《地基与基础工程》、《桩基础的设计方法与施工技术》、《建筑工程质量事故处理分析》等书籍和杂志,在此表示衷心地感谢!

由于编者水平有限,加上时间仓促,书中缺点和不妥之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编者

2008年1月

主要符号

- A —基础底面面积;
 α —压缩系数;
 b —基础底面宽度(最小边长)或力矩作用方向的基础底面边长;
 c —黏聚力;
 d —基础埋置深度,桩身直径;
 E_a —主动土压力;
 E_s —土的压缩模量;
 e —孔隙比;
 F —基础顶面竖向力;
 f_a —修正后的地基承载力特征值;
 f_t —混凝土抗拉强度设计值(N/mm^2);
 f_{ak} —地基承载力特征值;
 f_{rk} —岩石饱和单轴抗压强度标准值;
 G —恒荷载;
 H_0 —基础高度;
 H_f —自基础底面算起的建筑物高度;
 H_g —自室外地面算起的建筑物高度;
 L —房屋长度或沉降缝分隔的单元长度;
 l —基础底面长度;
 M —作用于基础底面的力矩或截面的弯矩;
 p —基础底面处平均压力;
 p_0 —基础底面处平均附加压力;
 Q_k —相应于荷载效应标准组合时,桩基中单桩所受竖向力;
 q_{pa} —桩端土的承载力特征值;
 q_{sa} —桩周土的摩擦力特征值;
 R_a —单桩竖向承载力特征值;
 s —沉降量;
 u —周边长度;
 w —土的含水量;
 w_l —液限;
 w_p —塑限;

- z_0 —标准冻深;
 z_n —地基沉降计算深度;
 $\bar{\alpha}$ —平均附加应力系数;
 β —边坡对水平面的坡角;
 γ —土的重力密度,简称土的重度;
 δ —填土与挡土墙墙背的摩擦角;
 δ_r —填土与稳定岩石坡面间的摩擦角;
 θ —地基的压力扩散角;
 μ —土与挡土墙基底间的摩擦系数;
 ν —泊松比;
 φ —内摩擦角;
 η_b —基础宽度的承载力修正系数;
 η_d —基础埋深的承载力修正系数;
 ψ_s —沉降计算经验系数.

目 录

前 言	(I)
主要符号	(III)
第 1 章 绪论	(1)
学习目标	(1)
1.1 地基与基础的概念	(1)
1.2 地基与基础设计的基本要求	(2)
1.3 地基与基础在建筑工程中的重要性	(2)
1.4 本课程的特点、任务及学习方法	(3)
本章小结	(3)
思考题	(3)
第 2 章 土的物理性质及工程分类	(4)
学习目标	(4)
2.1 土的成因	(4)
2.2 土的组成	(5)
2.3 土的物理性质指标	(9)
2.4 无黏性土的密实度	(14)
2.5 黏性土的物理特征	(15)
2.6 地基土的工程分类	(17)
本章小结	(21)
思考题	(21)
第 3 章 土中应力计算	(23)
学习目标	(23)
3.1 土中自重应力	(23)
3.2 基底压力	(26)
3.3 土中附加应力	(29)
本章小结	(39)

思考题	(40)
第4章 地基的变形	(42)
学习目标	(42)
4.1 土的室内压缩试验	(42)
4.2 地基变形的计算	(45)
4.3 饱和软土地基的沉降与时间关系	(52)
4.4 建筑物的沉降观测	(57)
本章小结	(58)
思考题	(58)
第5章 土的抗剪强度和地基承载力	(61)
学习目标	(61)
5.1 土的抗剪强度	(61)
5.2 土的极限平衡理论	(68)
5.3 地基的临塑荷载与临界荷载	(71)
5.4 地基的极限承载力	(76)
5.5 地基承载力的确定方法	(83)
5.6 地基勘察	(88)
本章小结	(95)
思考题	(96)
第6章 土压力和挡土墙	(97)
学习目标	(97)
6.1 土压力类型	(97)
6.2 静止土压力的计算	(99)
6.3 朗肯土压力理论	(100)
6.4 库仑土压力理论	(104)
6.5 《规范》法计算土压力	(110)
6.6 土压力计算举例	(112)
6.7 特殊情况下的土压力计算方法	(113)
6.8 挡土墙设计	(117)
6.9 边坡稳定性分析	(121)
本章小结	(125)
思考题	(126)

第 7 章 天然地基上浅基础设计	(127)
学习目标	(127)
7.1 概述	(127)
7.2 浅基础类型	(128)
7.3 基础埋置深度的选择	(134)
7.4 地基与基础的设计原则	(137)
7.5 基础底面积的确定	(139)
7.6 刚性基础设计	(145)
7.7 墙下钢筋混凝土条形基础设计	(148)
7.8 柱下钢筋混凝土单独基础设计	(152)
7.9 柱下钢筋混凝土条形基础设计	(162)
7.10 筏板基础的简化计算	(166)
7.11 减少不均匀沉降的措施和基础施工的验槽	(167)
本章小结	(175)
思考题	(176)
第 8 章 箱形基础	(177)
学习目标	(177)
8.1 概述	(177)
8.2 箱形基础的构造要求	(178)
8.3 箱形基础计算	(180)
本章小结	(182)
思考题	(182)
第 9 章 桩基础	(183)
学习目标	(183)
9.1 桩基础分类	(183)
9.2 单桩竖向承载力的确定	(186)
9.3 群桩	(188)
9.4 承台	(191)
9.5 桩侧负摩擦力和桩的抗拔力	(198)
9.6 水平荷载作用下桩基的设计	(199)
9.7 其他深基础简介	(203)
本章小结	(205)
思考题	(205)

第 10 章 地基处理	(206)
学习目标	(206)
10.1 换土垫层法	(206)
10.2 深层密实法	(210)
10.3 化学固结法	(213)
10.4 托换法	(214)
本章小结	(217)
思考题	(217)
第 11 章 特殊土地基	(218)
学习目标	(218)
11.1 湿陷性黄土地基	(219)
11.2 膨胀土地基	(222)
本章小结	(227)
思考题	(227)
第 12 章 土工试验	(228)
学习目标	(228)
12.1 密度试验	(228)
12.2 含水率试验	(230)
12.3 土粒相对密度试验	(232)
12.4 黏性土的液限、塑限实验	(233)
12.5 压缩试验	(237)
12.6 直接剪切试验	(241)
思考题	(244)
参考文献	(245)

第 1 章 绪 论

学 习 目 标

理解地基与基础的概念;理解地基与基础设计的基本要求,了解地基与基础在建筑工程中的重要性,了解本课程的特点、任务及学习方法.熟知地基与基础设计中强度与变形的两个基本要求及其在建筑工程中的重要性.

1.1 地基与基础的概念

任何建筑物都要建造在土层上面.建筑物的下部通常要加以扩大,以减小单位面积结构上的应力,并埋入地下一定深度,使之坐落在较好的土层上.建筑物下部的扩大部分承重结构称为基础;承受由基础传来荷载的土层称为地基;位于基础底面下的第一层土称为持力层,在其以下土层称为下卧层,强度低于持力层的下卧层称为软弱下卧层.从室外设计地面到基础底面的垂直距离叫做基础的埋置深度.如图 1.1.

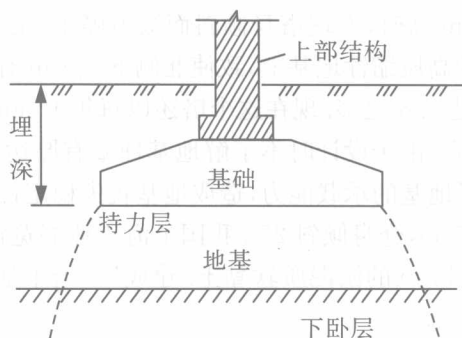


图 1.1 地基基础示意图

1.2 地基与基础设计的基本要求

为了保证建筑物的安全,地基与基础设计应满足下列两个基本要求:

(1)地基应具有足够的强度,在荷载作用下,不因地基失稳而破坏,这是地基稳定问题.

(2)地基不能产生过大的变形而影响建筑物的安全与正常使用,同时基础结构本身应有足够的强度、刚度和耐久性,在地基反力作用下不会发生强度破坏,并具有改善沉降与不均匀沉降的能力,这是地基变形问题.良好的地基一般有较高的强度与较低的压缩性,容易满足上述要求.软弱地基的工程性质较差,对这种地基必须进行人工处理,才能满足强度与变形的要求.经过人工处理而达到设计要求的地基称为人工地基;不需要处理而直接利用的地基称天然地基.建筑物一般宜建造在良好的天然地基上,以减少地基处理的费用.但为节约用地,也要充分利用工程性质较差而经过处理的地基.

1.3 地基与基础在建筑工程中的重要性

地基与基础是整个建筑工程中的一个重要组成部分,它的质量好坏关系到建筑物的安全、经济和正常使用,轻则上部结构开裂、倾斜,重则建筑物倒塌,危及人们生命与财产安全.实践证明,建筑物事故很多与地基与基础有关.例如,著名的意大利比萨斜塔的倾斜面就是由于地基不均匀沉降造成的.该塔高约 55 m,始建于 1173 年,当建至 24 m 高时,发现塔身倾斜而被迫停工,至 1273 年续建完工.该塔由于建造在不均匀的高压缩性地基上,致使北侧下沉 1 m 有余,南侧下沉近 3 m,沉降差达 1.8 m,倾角达 5.8° 之多.现在这个塔还以每年 1 mm 的沉降速率下沉.又如,加拿大特朗斯康谷仓,由于设计时不了解地基埋藏有厚达 16m 的软黏土层,建成后谷仓的荷载超过了地基的承载能力,造成地基丧失稳定性,使谷仓西侧陷入土中 8.8 m,东侧抬高 1.5 m,仓身倾斜 27° .我国上海工业展览馆建于 1954 年,总重达 10 000 t,地基为厚 14 m 的淤泥质软黏土.建成后,当年基础下沉 0.6 m,目前大厅平均沉降量达 1.6 m.

一般多层建筑中,基础工程造价约占总造价的 20%~25%,对高层建筑或需做地基处理时,则所需费用更大.另外,地基基础属于隐蔽工程,一旦出现事故,不易处理.因此,基础工程实属百年大计,必须慎重对待.只有深入了解地基情况,掌

握勘察资料,经过精心设计与施工,才能使基础工程做到既经济合理又保证质量。

1.4 本课程的特点、任务及学习方法

地基与基础是一门知识面广而综合性强的课程,它涉及土力学、工程地质学、建筑结构与施工技术等几个学科领域。学习本课程应具有建筑结构与施工技术课的专业结识。

通过本课程的学习,应掌握地基土的物理性质与土力学的基本知识,掌握地基基础工程的基本概念;能阅读与正确理解地质勘察报告;了解地基处理的各种方法;能进行一般房屋的地基基础设计;学会基本的土工实验操作技能。

每一项地基与基础的工程设计,几乎找不到完全相同的实例,需要运用本课程的基本原理,深入调查研究,针对不同情况进行具体分析。因此,在学习本课程时要注意理论联系实际,提高分析问题和解决问题的能力。

本章小结

(1) 建筑物下部的扩大部分承重结构称为基础;承受由基础传来的荷载的地层称为地基;位于基础底面下第一层土称为持力层,在其以下土层统称为下卧层,强度低于持力层的下卧层称为软弱下卧层。

(2) 地基应满足两个基本要求:①强度;②变形。

(3) 实践证明,建筑物的事故很多与地基基础有关,它的质量好坏关系到建筑物的安全、经济和正常使用。

(4) 地基与基础是理论性和实践性很强的一门新学科,它涉及土力学、工程地质学、建筑结构和施工技术等方面的内容,知识面广而综合性强。在学习本课程时要注意理论联系实际,提高分析问题和解决问题的能力。

思考题

1. 何为建筑物的地基?按设计和施工情况建筑物的地基可分为哪几类?
2. 为保证建筑物的安全和正常使用,在地基基础设计中必须满足哪些要求?
3. 什么是建筑物的基础?有何功能?与地基有什么区别?
4. 本课程有哪些特点?如何理论联系实际?

第2章 土的物理性质及工程分类

学习目标

了解土的成因、组成,熟知土的物理性质指标、无黏性土的密度、黏性土的物理特性以及地基土的工程分类,掌握土的物理性质并能应用其指标进行计算。

2.1 土的成因

地表岩石在大气中经过漫长的历史年代,受到风、霜、雨、雪的侵蚀和生物活动的破坏作用,即风化作用,使其崩解破碎而形成大小不同的松散堆积物,在建筑工程中称为土。风化后残留在原地的土称为残积土,它主要分布在岩石暴露地面受到强烈风化的山区和丘陵地带。由于残积土未经风选作用,所以无层理,厚度很不均匀,因此,在残积土地基上进行工程建设时,应注意其不均匀性,防止建筑物的不均匀沉降,如风化后的土受到各种自然力(如重力、雨雪水流、山洪急流、河流、风力和冰川等)的作用,搬运到大陆低洼地区或海底沉积下来。在漫长的地质年代里,沉积的土层逐渐加厚,它在自重的作用下逐渐压密,这样形成的土称为沉积土。陆地上大部分平原地区的土都属于沉积土。由于沉积土在沉积过程中地质环境不同,生成年代不一样,所以它的物理力学性质有很大差异。如洪水沉积的洪积土,有一定的分选作用,距山区较近地段,颗粒较粗,远离山区颗粒较细,由于每次洪水搬运能力不同,所以形成了土层粗细颗粒交错的地质剖面。通常,粗颗粒的土层压缩性较低,承载力较高;而细颗粒的土层则压缩性较高,承载力较低。在沉积土地基上进行工程建设,应尽量选择粗颗粒土层作为基础的持力层。

土的沉积年代不同,其工程性质将有很大变化,所以,了解土的沉积年代的知识,对正确判断土的工程性质是有实际意义的。土的沉积年代通常采用地质学中的相对地质年代来划分。相对地质年代是指根据主要地壳运动和古生物演化顺序,将地壳历史划分的时间段落。最大的时间单位称为代,每个代分为若干纪,纪分为若

干世。

大多数的土是在第四纪地质年代沉积形成的,这一地质历史时期是距今较近的时间段落(大约 100 万年)。在第四纪中包括四个世,即早更新世(用符号 Q_1 表示)、中更新世(Q_2)、晚更新世(Q_3)和全新世(Q_4)。由于沉积年份不同、地质作用不同以及岩石成分不同,各种沉积土的性质相差很大。

2.2 土的组成

土是一种松散物质,这种松散物质主要是矿物颗粒,在矿物颗粒之间有许多孔隙,通常孔隙之间有液体(一般是水),也有气体(一般是空气)。所以土一般由矿物颗粒(固相)、水(液相)和空气(气相)组成,为三相体系。

2.2.1 土的矿物颗粒

土的固体颗粒大小和形状、矿物成分及组成情况对土的物理力学性质有很大影响。

1. 土的颗粒级配

土粒的大小及其组成情况,通常以土中各个粒组的相对含量(各粒组质量占土总质量的百分比)来表示,称为土的颗粒级配。

自然界中的土都是由大小不同的土粒组成的,根据粒径大小可将土粒划分为块石(漂石)、碎石(卵石)、角砾(圆砾)、砂粒、粉粒及黏粒等六大粒组。各组的界限粒径分别是 200 mm、60 mm、2 mm、0.075 mm、0.005 mm,见表 2.1。土中各个粒组相对含量百分比为土的颗粒级配。

表 2.1 土的粒径分组

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		$200 \geq d > 60$
粗 粒	砾 粒	粗砾	$60 \geq d > 20$
		细砾	$20 \geq d > 2$
	砂 粒		$2 \geq d > 0.075$
细 粒	粉 粒		$0.075 \geq d > 0.005$
	黏 粒		$d \leq 0.005$

颗粒分析结果常用图 2.1 颗粒级配曲线表示。图中纵坐标表示小于(或大于)某粒径的土重百分比,横坐标表示粒径,由于粒径相差较大,故采用对数横坐标表示。

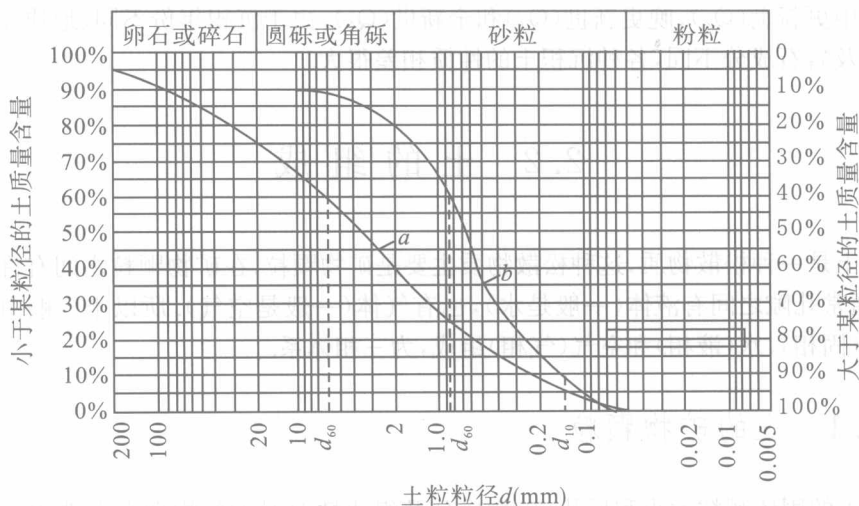


图 2.1 颗粒级配曲线示意图

颗粒级配曲线表示土的粒径范围和粒组的含量。若级配曲线平缓,表示土中各种粒径的土粒都有,颗粒不均匀,级配良好;曲线陡峻,则表示土粒均匀,级配不好。级配良好的土较密实,级配不好的土密实性差。图 2.1 中曲线 *a* 较平缓,故土样 *a* 的级配比土样 *b* 好。

工程上用不均匀系数 C_u 表示颗粒组成的不均匀程度:

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (2.1)$$

式中: d_{60} 表示小于某粒径的土重百分比为 60% 时相应的粒径,又称限定粒径; d_{10} 表示小于某粒径的土重百分比为 10% 时相应的粒径,又称有效粒径。

当 $C_u < 5$ 时,表示粒径较均匀,级配不好(图 2.1 中 *b* 线);当 $C_u > 10$ 时,表示粒径不均匀,级配良好(图 2.1 中 *a* 线)。

2. 土的矿物成分

土粒中的矿物成分分为原生矿物和次生矿物。原生矿物就是岩石经物理分化产生的矿物成分,如石英、长石、云母等。原生矿物的性质比较稳定。在粗的土粒中常含有这些矿物成分。次生矿物是岩石经化学分化后而产生的新的矿物,如蒙脱石、伊利石、高岭石等。极细的黏粒中常含有这些次生矿物。土粒中所含矿物成分不

同,其性质就不同,如黏粒中蒙脱石含量较多时,这种土遇水就会强烈膨胀,失水后又会产生收缩,给工程带来不利影响。

2.2.2 土中水

土中水的性质可分为以下几类(图 2.2):

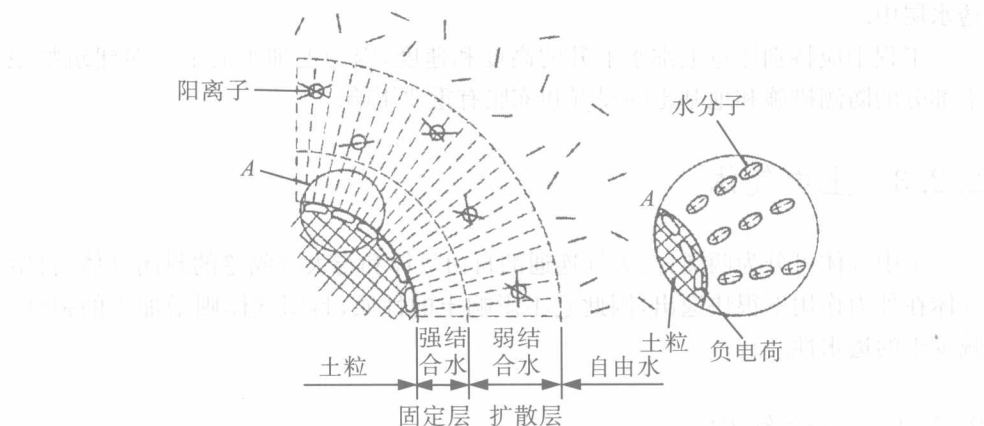


图 2.2 土粒与水分子的相互作用示意图

1. 结合水

根据水与土颗粒表面结合的紧密程度又可分为吸着水(强结合水)和薄膜水(弱结合水)。

(1) 吸着水

通过电渗电泳试验证明,极细的黏粒表面带有负电荷,由于水分子为极性分子,即一端显示正电荷,一端显示负电荷,水分子就被颗粒表面电荷引力牢固地吸附,在其周围形成很薄的一层水。这种水就称为吸着水。其性质接近于固态,不冻结,相对密度(比重)大于 1,具有很大的黏滞性,受外力不转移,在 $100^{\circ}\text{C}\sim 105^{\circ}\text{C}$ 下被蒸发。这种水不传递静水压力。

(2) 薄膜水

这种水是位于吸着水以外,但仍受土颗粒表面电荷吸引的一层水膜。显然,距土粒表面愈远,水分子引力就愈小。薄膜水也不能流动,含薄膜水的土具有塑性。

它不传递水压力,冻结温度低,已冻结的薄膜水在不太大的负温下就能融化。

2. 自由水

存在于土孔隙中颗粒表面电场影响范围以外的水称为自由水。它的性质与普