

高等学校教材

土木工程材料

王福川 主编



中国建材工业出版社

土木工程材料

西安建筑科技大学 编

中国建材工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

土木工程材料/王福川主编. 北京: 中国建材工业出版社, 2001.3
ISBN 7-80159-081-3

I. 土... II. ①王...②韩... III. 土木工程-工程材料 IV. TU5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 03245 号

内 容 简 介

本书系统介绍了常用土木工程材料的组成、生产工艺、技术性能及其在实际工程中应用的基本知识。书中按土木工程应用材料的类别, 归纳为: 混凝土、砌筑材料、金属材料、高分子材料和功能性材料共五篇。在介绍基本理论的同时, 着重于理论与工程实践相结合。为了培养学生的动手能力并方便教学, 书末编入了 10 个常用土木工程材料的试验内容。

本书具有适用面宽、应用性强、体现国家最新技术标准以及方便自学的特点。可作为土木工程类各专业 (含函授、夜大、自学考试等) 的教学用书, 也可供土木工程设计、施工、科研、工程管理、监理人员学习参考。

土木工程材料

主 编: 王福川

副 主 编: 韩少华 尚建丽 何廷树

出版发行: 中国建材工业出版社

地 址: 北京市西城区车公庄大街 6 号

邮 编: 100044

经 销: 全国各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787mm × 1092mm 1/16

印 张: 24.5

字 数: 600 千字

版 次: 2001 年 3 月第 1 版

印 次: 2004 年 1 月第 2 次

印 数: 3001 ~ 5000 册

书 号: ISBN 7 - 80159 - 081 - 3/TU · 049

定 价: 29.00 元

本书如出现印装质量问题, 由我社发行部负责调换。联系电话: (010) 68345931

前 言

本教材依据国家土木工程专业指导委员会制定的《土木工程材料教学大纲》编写。适用于土木工程各专业（含函授、夜大、自学考试等）教学之用。

为了增强教材的系统性、实用性，在教材编写体系上作了新的尝试，即按土木工程应用材料的类别归纳为五篇：第一篇“混凝土”、第二篇“砌筑材料”、第三篇“金属材料”、第四篇“高分子材料”和第五篇“功能性材料”。第六篇为常用土木工程材料试验。教材内容一方面力求讲清楚基本理论，另一方面着力于理论与工程实践相结合，为学生独立分析和解决工程实际问题打下良好基础。文字上注意尽量深入浅出，言简意赅。

为了适应多种形式办学的需要，在编写过程中充分注意到方便自学的特点：在每章标题下面给出了该章学习内容的提要；每章末给出了适量的复习思考题；书末详细给出了10个常用土木工程材料试验的内容（所用仪器、试验方法、步骤及试验结果计算等）。

本教材采用国家最新技术标准和规范，并在内容上注意了推陈出新，力求介绍新材料，淘汰或削弱过时的教学内容。

本书由西安建筑科技大学王福川主编，韩少华、尚建丽、何廷树为副主编。耿维恕主审。王福川、韩少华负责全书统稿。各章编写人员如下：王福川（绪论、第一篇第一章、第三章）；韩少华（第一篇第二章、第二篇第二章、第三章）；尚建丽（第一篇第四章、第二篇第一章）；何廷树（第四篇第一章、第三章）；詹美州（第一篇第五章、第六章，第五篇第三章）；伍勇华（第四篇第二章、第五篇第一章、第二章）；郭刚（第三篇第一章、第二章）；张林绪（第六篇）。

本书虽然更正了初版后发现的个别错误，但由于编者水平所限，不妥之处在所难免，谨请批评指正。

编 者

2004年1月

目 录

绪论	(1)
一、土木工程材料课程的内容和任务	(1)
二、土木工程材料的基本性质	(1)
三、土木工程材料质量的变异和控制	(13)
四、土木工程材料的技术标准	(15)
 第一篇 混凝土	(17)
第一章 胶凝材料——水泥	(18)
第一节 硅酸盐水泥	(19)
第二节 掺混合材料的硅酸盐水泥	(27)
第三节 铝酸盐水泥	(33)
第四节 其他品种水泥	(36)
第五节 水泥在土木工程中的应用	(38)
第二章 集料、矿物掺合料	(44)
第一节 细集料	(44)
第二节 粗集料	(49)
第三节 矿物掺合料	(55)
第三章 混凝土外加剂	(65)
第一节 混凝土外加剂的概念及分类	(65)
第二节 混凝土减水剂	(66)
第三节 混凝土早强剂及早强减水剂	(72)
第四节 混凝土引气剂及引气减水剂	(75)
第五节 其它混凝土外加剂	(76)
第四章 混凝土的技术性质	(82)
第一节 混凝土拌合物的性能	(82)
第二节 混凝土的强度	(87)
第三节 混凝土的变形性能	(97)
第四节 混凝土的耐久性	(102)
第五章 混凝土的质量控制与配合比设计	(111)
第一节 混凝土的质量控制与检验评定	(111)
第二节 普通混凝土配合比设计	(116)
第六章 其他品种混凝土	(124)
第一节 高强与高性能混凝土	(124)
第二节 轻混凝土	(127)
第三节 功能性混凝土	(132)

第二篇 砌筑材料	(140)
第一章 气硬性无机胶凝材料	(140)
第一节 石灰	(140)
第二节 石膏	(144)
第三节 水玻璃	(150)
第四节 镁质胶凝材料	(153)
第二章 建筑砂浆	(156)
第一节 砌筑砂浆	(156)
第二节 抹面砂浆	(163)
第三章 砖、石、砌块、板材	(169)
第一节 砌墙砖	(169)
第二节 天然石材	(178)
第三节 混凝土砌块	(183)
第四节 轻质墙板	(194)
第三篇 金属材料	(201)
第一章 钢材	(201)
第一节 冶炼及分类	(201)
第二节 钢材的力学性能	(203)
第三节 钢的化学成分及晶体组织	(208)
第四节 钢材的强化及连接	(210)
第五节 钢材的技术标准及选用	(215)
第六节 钢材的腐蚀与防止	(225)
第二章 铝及铝合金	(227)
第四篇 高分子材料	(231)
第一章 合成高分子材料	(231)
第一节 合成高分子材料概述	(231)
第二节 土木工程用塑料	(238)
第三节 建筑涂料	(242)
第四节 胶粘剂	(247)
第二章 沥青及沥青混合料	(251)
第一节 沥青	(251)
第二节 沥青混合料	(268)
第三章 木材	(296)
第一节 木材的构造	(296)
第二节 木材的物理力学性质	(298)
第三节 木材的应用	(303)
第五篇 功能材料	(306)
第一章 防水材料	(306)

第一节	防水卷材	(306)
第二节	防水涂料	(310)
第三节	建筑密封材料	(312)
第二章	绝热材料与吸声材料	(317)
第一节	绝热材料	(317)
第二节	吸声材料	(321)
第三节	隔声材料及隔声处理	(325)
第三章	装饰材料——陶瓷与玻璃	(327)
第一节	陶瓷装饰材料	(327)
第二节	建筑玻璃	(332)
第六篇	土木工程材料试验	(339)
试验一	土木工程材料基本物理性质试验	(340)
试验二	水泥试验	(342)
试验三	普通混凝土集料试验	(348)
试验四	普通混凝土试验	(354)
试验五	建筑砂浆试验	(361)
试验六	砖强度等级测定	(363)
试验七	钢筋试验	(364)
试验八	木材试验	(368)
试验九	沥青试验	(371)
试验十	沥青混合料试验	(374)
	主要参考文献	(381)

封面 陕西科技信息大厦，高 197.87m，地下 3 层，地上 51 层。该工程由中国建筑西北设计研究院设计，陕西省第十一建筑工程公司施工。

绪 论

一、土木工程材料课程的内容和任务

土木工程材料系指修建房屋、道路、铁路、桥梁、隧道、河道、港口、市政卫生工程所用的材料，如土、石、砖、木、金属材料、混凝土以及各种防水材料、绝热材料、吸声材料等。土木工程材料是土木工程的物质基础，它的品种、质量不仅直接关系到工程的使用功能和耐用年限，而且也制约着工程设计与施工方法。一种新材料的出现，往往可以加速结构形式的更新、设计方法的改进和施工技术的提高。

土木工程材料是土木工程专业的技术基础课，它与物理、化学、力学、工程地质等课程有着密切的关系，也是学习钢筋混凝土结构、路面工程、桥梁工程等专业课的基础。其主要任务是讲授各类土木工程材料的生产配制、组成、性能、应用、质量控制与检验等。学习中应特别注意各类材料的技术性能与内部组成、结构之间的关系及其变化规律，注重基本理论与工程实际的结合，正确地选择和使用各类土木工程材料。

常用土木工程材料按基本成分的分类如表 0-1。

表 0-1 常用土木工程材料按基本成分的分类

无机材料	金属材料	黑色金属	钢、铁	
		有色金属	铝、铜及其合金等	
	非金属材料	天然石材	花岗岩、石灰岩、砂岩、大理岩等	
		烧土及熔融制品	烧结砖、烧结瓦、陶瓷、玻璃、铸石等	
		胶凝材料	气硬性胶凝材料	石灰、石膏、苛性菱苦土、水玻璃等
			水硬性胶凝材料	各种水泥
		无机人造石材	混凝土、砂浆、硅酸盐建筑制品等	
有机材料	木材、沥青、合成高分子材料、橡胶等			
复合材料	金属-非金属材料、非金属-金属材料、有机-无机材料、无机-有机材料			

二、土木工程材料的基本性质

1. 基本物理性质

(1) 密度

密度是材料在绝对密实状态下，单位体积的质量，也称比重。密度的计算式如下：

$$\rho = \frac{m}{V}$$

式中 ρ ——密度， g/cm^3 ；

m ——干燥材料的质量， g ；

V ——材料在绝对密实状态下的体积， cm^3 。

材料在绝对密实状态下的体积是指不包括材料内部孔隙在内的体积，在土木工程材料中，除钢材、玻璃等少数材料外，大多数材料内部均存在孔隙。

为测定有孔材料的绝对密实体积，应把材料磨成细粉，干燥后用比重瓶测定其体积。材料磨得越细，测得的数值越接近于材料的真实体积。密度是材料物质结构的反映，凡单成分材料往往具有确定的密度值。

密度是材料的基本物理性质之一，与材料的其它性质存在着密切的相关关系。

(2) 表观密度

表观密度是材料在自然状态下，单位体积的质量，也称容重。表观密度的计算式如下：

$$\rho_0 = \frac{m}{V_0}$$

式中 ρ_0 ——表观密度， g/cm^3 或 kg/m^3 ；

m ——材料的质量， g 或 kg ；

V_0 ——材料在自然状态下的体积， cm^3 或 m^3 。

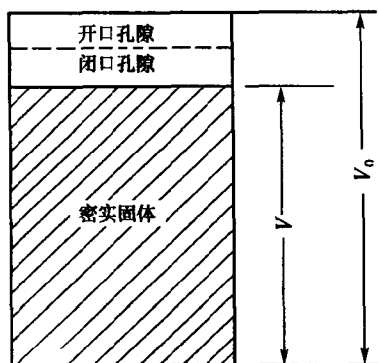


图 0-1 材料体积组成示意图

材料在自然状态下的体积是指包括内部孔隙在内的体积，如图 0-1。

规则形状材料的体积可用量具测量、计算而得。不规则形状材料体积可按阿基米德原理或直接用体积仪测得。

材料的表观密度一般指材料在干燥状态下单位体积的质量，称为干表观密度。当材料含水时，所得表观密度，称为湿表观密度。由于材料含水状态的不同，如绝干（烘干至恒重）、风干（气干）、含水（未饱和）、吸水饱和等，可分别称为干表观密度、气干表观密度、湿表观密度、饱和表观密度

等。对于大多数无机非金属材料，气干表观密度和干表观密度的数值比较接近。这些材料吸湿或吸水后，体积变化甚小，一般可忽略不计。对于木材等轻质材料，由于吸湿和吸水性强，体积胀大，不同含水状态（包括气干状态）的表观密度数值差别较大，必须精确测定。

砂、石子等散粒材料的体积按自然堆积体积计算，称为堆积密度。若以振实体积计算，则称紧密堆积密度。

散粒材料的颗粒内部或多或少存在着孔隙，颗粒与颗粒之间又存在空隙，所以对散粒材料而言，有密度、（颗粒）表观密度和堆积密度三个物理量，应加区别。

在土木工程中，凡计算材料用量和构件自重、进行配料计算、确定堆放空间及组织运输时，必须掌握材料的密度、表观密度及堆积密度等数据。表观密度与材料的其它性质（如强度、吸水性、导热性等）也存在着密切的关系。

几种常用材料的密度、表观密度及其孔隙率的数值见表 0-2。

(3) 密实度

密实度是材料体积内固体物质所充实的程度。密实度的计算式如下：

$$D = \frac{V}{V_0} = \frac{\rho_0}{\rho}$$

对于绝对密实材料，因 $\rho_0 = \rho$ 故密实度 $D = 1$ 或 100%。对于大多数土木材料，因 $\rho_0 < \rho$ ，故密实度 $D < 1$ 或 $D < 100\%$ 。

表 0-2 几种常用材料的密度、表观密度及孔隙率

材 料	密度 (g/cm^3)	表观密度 (kg/m^3)	孔隙率 (%)
花 岗 岩	2.6 ~ 2.9	2500 ~ 2800	0.5 ~ 3.0
普 通 砖	2.5 ~ 2.8	1500 ~ 1800	30 ~ 40
普通混凝土	—	2300 ~ 2500	5 ~ 10
松 木	1.55	380 ~ 700	55 ~ 75
建筑钢材	7.85	7850	0

(4) 孔隙率

孔隙率是材料体积内孔隙体积与材料总体积（自然状态体积）的比率。孔隙率的计算式如下：

$$P = \frac{V_0 - V}{V_0} = 1 - \frac{V}{V_0} = 1 - \frac{\rho_0}{\rho} \quad (0-1)$$

可见：

$$P + D = 1$$

所以密实度和空隙率值不必相提并论，通常以孔隙率表征材料的密实程度。

对于砂、石子等散粒材料，也可用式 (0-1) 计算其空隙率。此时， ρ_0 为散粒材料的堆积密度， ρ 为颗粒体的表观密度。由此算得的空隙率是指材料颗粒之间空隙体积与散粒材料堆积体积之比。而散粒材料本身颗粒的孔隙率，则是颗粒内部的孔隙体积与颗粒外形所包含体积之比。

2. 力学性质

(1) 强度

材料的强度是材料在应力作用下抵抗破坏的能力。通常，材料内部的应力多由外力（或荷载）作用而引起，随着外力增加，应力也随之增大，直至应力超过材料内部质点所能抵抗的极限，即强度极限，材料发生破坏。

根据外力作用方式，材料强度有抗拉、抗压、抗剪、抗弯（抗折）强度等，如图 0-2 所示。

在工程上，通常采用破坏试验法对材料的强度进行实测。将事先制作的试件安放在材料试验机上，施加外力（荷载），直至破坏，根据试件尺寸和破坏时的荷载值，计算材料的强度。

材料的抗拉、抗压及抗剪强度的计

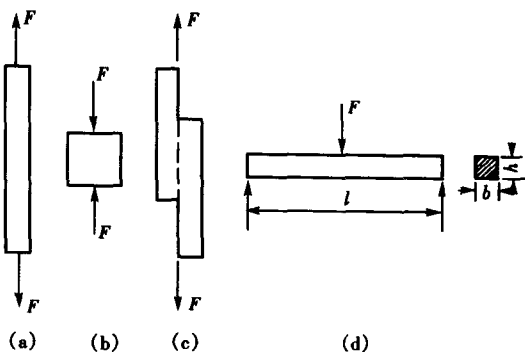


图 0-2 外力作用示意图

(a) 抗拉；(b) 抗压；(c) 抗剪；(d) 抗弯

算式如下：

$$f = \frac{F_{\max}}{A}$$

式中 f ——材料的极限强度，MPa；

$F_{\max}$ ——材料破坏时最大荷载，N；

A ——试件受力面积， mm^2 。

材料的抗弯强度与试件受力情况、截面形状及支承条件有关。一般试验方法是將条形试件（梁）放在两支点上，中间作用一集中荷载。对矩形截面的试件，抗弯强度的计算式为：

$$f_m = \frac{3 F_{\max} l}{2 b h^2}$$

式中 f_m ——材料的抗弯极限强度，MPa；

$F_{\max}$ ——弯曲破坏时的最大集中荷载，N；

l ——两支点的间距，mm；

b 、 h ——分别为受弯试件截面的宽和高，mm。

材料的强度主要取决于材料的组成和结构。不同种类的材料，强度差别甚大，即使同类材料，强度也有不少差异。不同的受力形式，不同的受力方向，强度也不相同。强度是结构材料性能研究的主要内容。

为便于材料的生产和使用，主要结构材料均按强度值作为划分强度等级的标准。如烧结普通砖按抗压强度分为 MU30、MU25、MU20、MU15 等五个强度等级；普通水泥按抗压强度和抗折强度分为 32.5、42.5、52.5 等六个强度等级；普通混凝土有 C15、C20、C25、C30、C35、C40、C45、C50、C55 等强度等级；建筑钢材按机械性能（屈服点、抗拉强度、伸长率、冷弯性能等）划分钢号；结构用木材按弦向静曲强度划分强度等级。结构材料按强度性能划分等级，对于生产者控制生产工艺，保证产品质量，使用者掌握材料性能，合理选用材料，正确进行设计，精心组织施工，都是十分重要的。

在生产和使用材料时，为确保产品或工程质量，必须对材料的强度性能进行测试，作为出厂或验收的依据。材料的强度试验条件对测试所得数据影响很大，如试样采取方法、试件的形状和尺寸、试件的表面状况、试验机的类型、试验时加荷速度、环境的温度和湿度，以及试验数据的取舍等，均在不同程度上影响所得数据的代表性和精确性。所以对于各种土木工程材料必须严格遵照有关标准规定的试验方法进行试验。

（2）弹性和塑性

材料在外力作用下产生变形，外力去除后，变形消失，材料恢复原有形状的性能称为弹性。如图 0-3 所示，当施加荷载至 A ，产生的弹性变形为 Oa ，荷载卸除，变形恢复至 O 点。这种性能称为完全弹性。弹性变形与荷载成正比关系，即 OA 为一直线。荷载与变形之比，或应力与应变之比，即 $\tan \varphi$ ，称为材料的弹性模量。

如材料在外力作用下产生变形，外力去除，有一部分变形不能恢复，这种性质称为塑性，不能恢复的变形，称为塑性变形。如图 0-3，当施加荷载超过 A 点，材料产生明显的塑性变形，至 B 点， ab 即为塑性变形，荷载卸除，变形恢复至 O' 点， OO' 为永久变形。对理想的弹塑性材料， $OA \parallel O'B$ ， $OO' = ab$ ，建筑用低碳钢接近于理想的弹塑性

材料，如荷载在 A 点以下，则接近于理想的弹性材料。许多建筑材料的荷载变形图如图 0-4 所示。材料受力后并不产生明显的塑性变形，但荷载变形关系呈曲线形，当荷载卸除，变形恢复至 O' ， OO' 为不可恢复的塑性变形或永久变形。混凝土的受力变形具有这种性质。

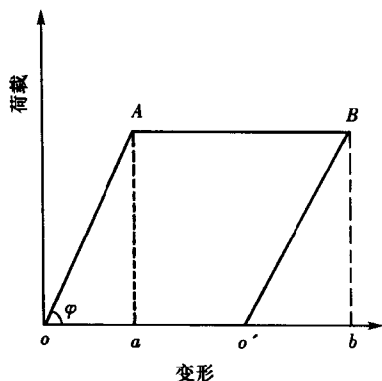


图 0-3 材料的弹性和塑性变形曲线

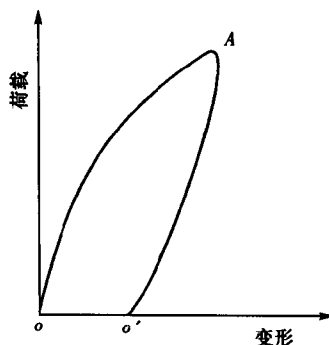


图 0-4 材料的弹塑性变形曲线

弹性和塑性有时作为描述材料变形性质的形容词，如弹性材料、塑性材料、弹塑性材料。材料受力变形的机理也比较复杂，实际材料的受力变形过程和性质与理想模型有一定差距。

(3) 脆性和韧性

材料受力达到一定程度时，突然发生破坏，并无明显的变形，材料的这种性质称为脆性。脆性材料的变形曲线如图 0-5 所示。大部分无机非金属材料均属脆性材料，如天然石材，烧结普通砖、陶瓷、玻璃、普通混凝土、砂浆等。脆性材料的另一特点是抗压强度高而抗拉、抗折强度低。在工程中使用，应注意发挥这类材料的特性。

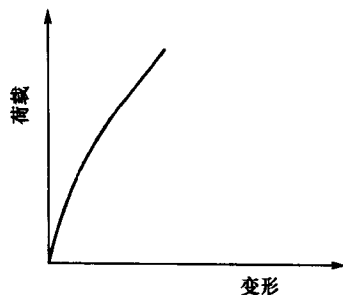


图 0-5 脆性材料的变形曲线

材料在冲击或动力荷载作用下，能吸收较大能量而不破坏的性能，称为韧性或冲击韧性。韧性以试件破坏时单位面积所消耗的功表示，计算公式如下。

$$a_k = \frac{W_k}{A}$$

式中 a_k ——材料的冲击韧性， J/mm^2 ；
 W_k ——试件破坏时所消耗的功， J ；
 A ——试件净截面积， mm^2 。

脆性材料的另一特性是冲击韧性低。钢材和木材的韧性较高。钢材的抗拉和抗压强度均高，而木材的顺纹抗拉强度和抗弯强度则高于顺纹抗压强度。钢、木材料的这种特性，使它们适于用作受拉或受弯的受力构件。

对于用作轨道、吊车梁及地面、路面等材料，有时需考虑材料的韧性。

(4) 硬度和耐磨性

①硬度

硬度是材料表面的坚硬程度，是抵抗其它物体刻划、压入其表面的能力。通常用刻划法，回弹法和压入法测定材料的硬度。

刻划法用于天然矿物硬度的划分，按滑石、石膏、方解石、萤石、磷灰石、长石、石英、黄晶、刚玉、金刚石的顺序，分为 10 个硬度等级。

回弹法用于测定混凝土表面硬度，并间接推算混凝土的强度；也用于测定陶瓷、砖、砂浆、塑料、橡胶、金属等的表面硬度并间接推算其强度。

压入法用于测定金属（包括建筑钢材）、木材等的硬度。

一般说，硬度大的材料耐磨性较强，但不易加工。在工程中，常利用材料硬度与强度间的关系，间接测定材料的强度。

②耐磨性

耐磨性是材料表面抵抗磨损的能力。材料的耐磨性用磨损率表示，计算公式如下：

$$Q_{ab} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100$$

式中 Q_{ab} ——材料的磨损率，%；

m_1 ——试件磨损前的质量，g；

m_2 ——试件磨损后的质量，g。

对颗粒状石料，磨损试验在洛杉矶磨耗试验机上进行，即以一定规格级配的石料装入带钢球的金属磨耗鼓内，旋转一定转数后，筛除石料磨损部分，以石料质量损失的百分率表示。

对制品材料，耐磨试验是用一定形式的试件，经磨头在一定摩擦行程后，检查试件表面质量损失程度来评定的。磨头在试件表面的运行方式有往复式及回转式。

材料的耐磨性与材料组成、结构以及强度、硬度等有关。

在路面工程、建筑物地面、楼梯踏步等部位的材料，应适当考虑硬度和耐磨性。

3. 材料与水有关的性质

(1) 亲水性和憎水性

材料与水接触时，根据材料表面被水润湿的情况，分为亲水性材料和憎水性材料两大类。

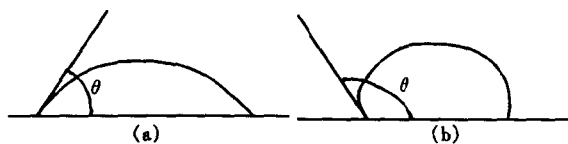


图 0-6 材料的润湿角
(a) 亲水材料；(b) 憎水材料

润湿就是水在材料表面上被吸附的过程，它与材料本身的性质有关。如材料分子与水分子间的相互作用力大于水分子之间的作用力，则材料表面能被水润湿。此时，在材料、水与空气的三相交点处，沿水滴表面所引切线与材料表面所成的夹角——润湿角 $\theta < 90^\circ$ （如图

0-6a 所示），这种材料属于亲水性材料。润湿角 θ 愈小，说明润湿性愈好，亲水性愈强。如材料分子与水分子间的相互作用力小于水分子之间的作用力，则材料表面不能被水润湿。此时，润湿角 $\theta > 90^\circ$ （如图 0-6b 所示），这种材料属于憎水性材料。

在亲水性材料的毛细管中，由于水分子间的相互作用力小于水分子与孔壁材料分子间的相互作用力，水在毛细管内形成凹形液面并上升到一定高度或浸润到一定深度，即所谓毛细管作用。在憎水性材料的毛细管中，水在毛细管内形成凸形液面，水在毛细管内下降或被排斥，不能形成毛细管作用。

大多数土木材料，如天然石材、砖瓦、陶瓷、玻璃、混凝土、钢材、木材等都属于亲水性材料。憎水性材料有沥青、石蜡、某些高分子材料。憎水性材料不仅可作防水材料，还可用于处理亲水性材料的表面，以降低材料的吸水性，提高材料的防水、防潮性能。

(2) 吸水性和吸湿性

① 吸水性

材料能在水中吸水的性质，称为材料的吸水性。吸水性的大小用吸水率表示。质量吸水率的计算式如下：

$$W = \frac{m_1 - m}{m} \times 100\% \quad (0-2)$$

式中 W ——材料的质量吸水率，%；

m ——材料质量（干燥），g；

m_1 ——材料吸水饱和后质量，g。

体积吸水率的计算式如下：

$$W_0 = \frac{m_1 - m}{V_0} \times 100\% \quad (0-3)$$

式中 W_0 ——材料的体积吸水率，%；

V_0 ——材料在自然状态下的体积， cm^3 ；

$m_1 - m$ ——所吸水质量，g，即所吸水的体积， cm^3 。

由式 (0-2) 和式 (0-3) 可得：

$$W_0 = W \cdot \rho_0$$

如材料孔隙内全部充水，可得 $W_0 = P$ ，实际上，由于各种原因，通常 $W_0 < P$ 。材料的饱水系数可写为：

$$K_w = W_0 / P$$

饱水系数说明材料孔隙内被水充满的程度。饱水系数的大小可用来判断材料的其它性能。

通常所说的吸水率，常指材料的质量吸水率。

材料内粗大的连通孔隙或空腔，所吸水分在空气中不能保持，仅能润湿孔壁表面；封闭或微细的孔隙，水分则难以浸入，所以材料中所吸水分仅占孔隙的一部分。

② 吸湿性

材料不但能在水中吸水，也能在空气中吸收水汽，吸入量随空气中湿度的大小而变化。材料在潮湿空气中吸收水分的性质称为吸湿性。材料中所含水分与空气湿度相平衡时

的含水率称为平衡含水率。材料含水率是材料含水质量与材料的干质量之比，其计算式如下：

$$W' = \frac{m' - m}{m} \times 100\% \quad (0-4)$$

式中 W' ——材料的含水率，%；

m ——材料干重，g；

m' ——材料湿重，g。

由式 (0-4) 可得：

$$m' = (1 + W')m \quad (0-5)$$

式 (0-5) 是根据材料干重和含水率计算材料湿重的公式。而根据材料湿重和含水率计算材料干重的公式则可写为：

$$m = \frac{m'}{1 + W'} \quad (0-6)$$

式 (0-5) 和式 (0-6) 是材料用量计算中常用的两个公式。

水在材料中，无论是吸水饱和或含水未饱和，对材料的各项性质往往有不良的影响，它使材料的表观密度提高、强度降低、导热性增大，体积有所膨胀，如水分遭受冰冻，会因冻胀而进一步导致材料的破坏。木材等植物纤维质材料，在潮湿状态下，易遭腐朽。

(3) 耐水性

随着水分侵入材料内部的毛细孔，由于水的作用，减弱了材料内部质点的联结，使强度有所降低。材料在吸水饱和状态下，不发生破坏，强度也不显著降低的性能，称为材料的耐水性。耐水性的高低，用软化系数表示：

$$K_R = f_1/f_0$$

式中 K_R ——材料的软化系数；

f_0 ——材料在干燥状态下的强度；

f_1 ——材料在吸水饱和状态下的强度。

各种不同土木材料的耐水性差别很大，软化系数的波动范围为 0-1。钢、玻璃、沥青等材料的软化系数基本为 1。密实石材的软化系数接近于 1。未经处理的生土材料的软化系数为 0。

对经常受潮或位于水中的工程，材料的软化系数应不低于 0.75。软化系数在 0.85 以上的材料，可以认为是耐水的。

(4) 抗冻性

材料吸水后，在负温下，水在材料毛细孔内冻结成冰，此时体积膨胀（约膨胀 9%），冰的冻胀压力造成材料的内应力，会使材料遭到局部破坏。随着冻结和融解的循环作用，材料的破坏作用逐步加剧，这种破坏称为冻融破坏。

抗冻性是指材料在吸水饱和状态下，能经受反复冻融作用而不破坏、强度无显著降低的性能。抗冻性以试件在冻融后的质量损失、外形变化（破裂）或强度降低不超过一定限度时所能经受的冻融循环次数表示，或称抗冻等级。

材料的抗冻等级可分为 F15、F25、F50、F100、F200 等，按材料所处部位和当地气候

条件适当选定。

式 (0-13) 所表示的材料饱水系数 K_w ，可以在一定程度上估计材料的抗冻性。 $K_w < 0.85$ 时，由于有相当一部分孔隙未被水充满，水在冻结时有一定的膨胀余地，对材料的破坏作用较小，所以材料比较抗冻。

材料的抗冻性与材料的强度、孔结构、耐水性和吸水饱和程度有关。

抗冻性虽是抵抗冻融循环作用的性能，但经常作为无机非金属材料抵抗大气物理作用的一种耐久性指标。抗冻性良好的材料，对于抵抗温度变化、干湿交替等风化作用的能力也强。所以，对处于温暖地区的土木工程，虽无冰冻作用，为抵抗大气的风化作用，确保其耐久性，对材料往往也提出一定的抗冻性要求。

(5) 抗渗性

抗渗性是材料在压力水作用下抵抗水渗透的性能。渗透是水在压力作用下通过材料内部毛细孔的迁移过程，与材料内部的孔结构直接有关。绝对密实的材料，如钢材，实际上是不透水的。

材料的抗渗性可用渗透系数表示。渗透系数的计算式如下：

$$K = \frac{Qd}{AtH}$$

式中 K ——渗透系数， $\text{cm}^3/(\text{cm}^2 \cdot \text{h})$ ；

Q ——渗水量， cm^3 ；

A ——渗水面积， cm^2 ；

d ——试件厚度， cm ；

H ——静水压力水头， cm ；

t ——渗水时间， h 。

抗渗性的另一种表示方法是试件能承受逐步增高的最大水压而不渗透的能力，通称材料的抗渗等级，如 P4、P6、P8、P10……等，表示试件能承受逐步增高至 0.4、0.6、0.8、1.0MPa，……水压而不渗透。

地下工程、容器结构、压力管道等受水压作用的材料均要求具有一定的抗渗等级。各种防水材料对抗渗性也有一定要求。

4. 材料的热工性质

(1) 导热性

当材料两面存在温度差时，热量从材料一面通过材料传导至另一面的性质，称为材料的导热性。导热性用导热系数表示。导热系数的定义和计算式如下：

$$\lambda = \frac{Qd}{FZ(t_2 - t_1)}$$

式中 λ ——导热系数， $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ；

Q ——传导的热量， J ；

d ——材料厚度， m ；

F ——热传导面积， m^2 ；

Z ——热传导时间， h ；

$t_2 - t_1$ ——材料两面温度差， K 。

在物理意义上, 导热系数为单位厚度的材料、两面温度差为 1K 时、在单位时间内通过单位面积的热量。

几种典型材料的导热系数如表 0-3。

表 0-3 几种典型材料的热工性质指标

材 料	导热系数 [W/(m·K)]	比 热 [J/(g·K)]	材 料	导热系数 [W/(m·K)]	比 热 [J/(g·K)]
铜	370	0.38	松木(横纹)	0.15	1.63
钢	55	0.46	泡沫塑料	0.03	1.30
花岗岩	2.9	0.80	冰	2.20	2.05
普通混凝土	1.8	0.88	水	0.60	4.19
烧结普通砖	0.55	0.84	密闭空气	0.025	1.00

材料的热传导是分子热运动的结果, 所以导热系数由材料的物质结构决定。金属材料的导热系数远高于非金属材料的导热系数。对于非金属材料, 导热系数与材料孔结构有很大关系。由于材料孔隙内的密闭空气的导热系数很小 [$\lambda = 0.025 \text{ W/(m·K)}$], 所以导热系数随孔隙率增大而减小。孔隙的大小和连通程度对导热系数也有影响。材料吸水、受潮或遭冰冻后, 导热系数会大大提高, 因水和冰的导热系数较高 [$\lambda = 0.60$ 和 2.20 W/(m·K)]。所以, 绝热材料在设计、安装时, 应采取适当措施, 防止材料受潮, 如设置防水层、防潮层、隔蒸汽层等, 使绝热材料经常处于干燥状态。

随着温度提高, 无机非金属材料的导热系数有所提高。

(2) 热容量和比热

材料在受热时吸收热量, 冷却时放出热量的性质称为材料的热容量。单位质量材料温度升高或降低 1K 所吸收或放出的热量称为热容量系数或比热。比热的定义及计算式如下:

$$C = \frac{Q}{m(t_2 - t_1)}$$

式中 C ——材料的比热, J/(g·K) ;

Q ——材料吸收或放出的热量, J ;

m ——材料质量, g ;

$(t_2 - t_1)$ ——材料受热或冷却前后的温差, K 。

几种典型材料的比热见表 0-3。

比热与材料质量的乘积 $C \cdot m$, 称为材料的热容量值, 它表示材料温度升高或降低 1K 所吸收或放出的热量。材料的热容量值对保持建筑物内部温度稳定有很大意义, 热容量值较大的材料或部件, 能在热流变动或采暖、空调工作不平衡时, 缓和室内的温度波动。

(3) 热阻和传热系数

热阻是材料层(墙体或其它围护结构)抵抗热流通过的能力, 热阻的定义及计算式为:

$$R = d/\lambda$$

式中 R ——材料层热阻, $(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$;

d ——材料层厚度, m ;

λ ——材料的导热系数, W/(m·K)