

蒋晓曙 李庆录 主编
金钦华 主审

中国土木工程学会教育工作委员会江苏分会组织编写

应用型本科院校土木工程专业规划教材

土木工程材料

 **知识产权出版社**
全国百佳图书出版单位

蒋晓曙 李庆录 主编
金钦华 主审

中国土木工程学会教育工作委员会江苏分会组织编写

应用型本科院校土木工程专业规划教材

土木工程材料

内容提要

本书系“应用型本科院校土木工程专业规划教材”之一,详细说明了常用土木工程材料的基本性能及其在工程中的适用范围、质量要求及试验方法,重点介绍了无机胶凝材料、水泥混凝土和砂浆、金属材料、无机烧结材料、合成高分子材料、沥青与沥青混合料、木材及功能材料等内容。

本书内容翔实,资料较新,运用理论与试验相结合的方法,对土木工程材料的应用进行了较为深入的阐述,并辅以相关标准和试验作为指导,以便读者学习。

本书可作为土木工程等相关专业本科学生的教材或教学参考用书,也可作为土木工程设计、施工、监理和科研等相关人员的参考用书。

责任编辑:阳 淼 张宝林

文字编辑:张 冰

图书在版编目(CIP)数据

土木工程材料/蒋晓曙,李庆录主编. —北京:

知识产权出版社, 2011.8

应用型本科院校土木工程专业规划教材

ISBN 978-7-5130-0657-6

I. ①土… II. ①蒋… ②李… III. ①土木工程—建筑材料—高等学校—教材 IV. ①TU5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 128308 号

应用型本科院校土木工程专业规划教材

土木工程材料

TUMU GONGCHENG CAILIAO

蒋晓曙 李庆录 主编 金钦华 主审

出版发行: 知识产权出版社

社 址: 北京市海淀区马甸南村 1 号

网 址: <http://www.ipph.cn>

发行电话: 010-82000860 转 8101/8102

编辑电话: 010-82000860 转 8024

印 刷: 北京雁林吉兆印刷有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16

版 次: 2008 年 1 月第 1 版

字 数: 332 千字

定 价: 25.00 元

ISBN 978-7-5130-0657-6/TU·019 (3558)

邮 编: 100088

邮 箱: bjb@cnipr.com

传 真: 010-82005070/82000893

编辑邮箱: zhangbing@cnipr.com

经 销: 新华书店及相关销售网点

印 张: 14

印 次: 2011 年 8 月第 2 次印刷

印 数: 4100~7000

出版权专有 侵权必究

如有印装质量问题, 本社负责调换。

中国土木工程学会教育工作委员会江苏分会组织编写

应用型本科院校土木工程专业规划教材

编 写 委 员 会

主任委员 李爱群

副主任委员 吴胜兴 刘伟庆

委 员 (按姓氏拼音字母排序)

包 华	崔清洋	何培玲	何卫中	孔宪宾
李庆录	李仁平	李文虎	刘爱华	刘训良
余跃心	施凤英	田安国	童 忻	王振波
徐汉清	宣卫红	荀 勇	殷惠光	张三柱
朱正利	宗 兰			

审 定 委 员 会

顾 问 蒋永生 周 氏 宰金珉 何若全

委 员 (按姓氏拼音字母排序)

艾 军	曹平周	陈国兴	陈忠汉	丰景春
顾 强	郭正兴	黄安永	金钦华	李爱群
刘伟庆	陆惠民	邱宏兴	沈 杰	孙伟民
吴胜兴	徐道远	岳建平	赵和生	周国庆

总 序

中国土木工程学会教育工作委员会江苏分会成立于2002年5月，现由江苏省设有土木工程专业的近40所高校组成，是中国土木工程学会教育工作委员会的第一个省级分会。分会的宗旨是加强江苏省各高校土木工程专业的交流与合作，提高土木工程专业的人才培养质量，服务于江苏乃至全国的建设事业和社会发展。

人才培养是高校的首要任务，现代社会既需要研究型人才，也需要大量在生产领域解决实际问题的应用型人才。目前，除少部分知名大学定位在研究型大学外，大多数工科大学均将办学层次定位在应用技术型高校这个平台上。作为知识传承、能力培养和课程建设载体的教材在应用型高校的教学活动中起着至关重要的作用，但目前出版的教材大多偏重于按照研究型人才培养的模式进行编写，“应用型”教材的建设和发展却远远滞后于应用型人才培养的步伐。为了更好地适应当前我国高等教育跨越式发展的需要，满足我国高校从精英教育向大众化教育重大转移阶段中社会对高校应用型人才培的各类要求，探索和建立我国高校应用型本科人才培养体系，中国土木工程学会教育工作委员会江苏分会与中国水利水电出版社、知识产权出版社联合，组织江苏省有关院校的教师，编写出版了适应应用型人才培养需要的应用型本科院校土木工程专业规划教材。其培养目标是既掌握土木工程学科的基本知识和基本技能，同时也包括在技术应用中不可缺少的非技术知识，又具有较强的技术思维能力，擅长技术的应用，能够解决生产实际中的具体技术问题。

本套教材旨在充分反映应用型本科的特色，吸收国内外优秀教材的成功

经验，并遵循以下编写原则：

- 突出基本概念、思路和方法的阐述以及工程应用实例；
- 充分利用工程语言，形象、直观地表达教学内容，力争在体例上有所创新并图文并茂；
- 密切跟踪行业发展动态，充分体现新技术、新方法，启发学生的创新思维。

本套教材虽然经过编审者和编辑出版人员的尽心努力，但由于是对应用型本科院校土木工程专业规划教材的首次尝试，故仍会存在不少缺点和不足之处。我们真诚欢迎选用本套教材的师生多提宝贵意见和建议，以便我们不断修改和完善，共同为我国土木工程教育事业的发展作出贡献。

中国土木工程学会教育工作委员会江苏分会

2006 年 4 月

前 言

本书是根据土木工程专业应用型本科人才的培养目标，考虑到适应土木工程专业涵盖了原有建筑工程、交通土建工程、桥梁工程和地下工程等专业的教学要求，并引用国家、行业的有关现行标准、规范进行编写的。

应用型本科人才的培养在目标上已经确立，要达到这一目标，需要在教材系列、教学方法和手段等方面进行深入的探索和实践。中国土木工程学会教育工作委员会江苏分会组织编写应用型本科院校土木工程专业规划教材，是一项重要的实践工作，因此在教材编写过程中我们力求将教材内容与工程实践建立紧密的联系。简化理论分析、突出工程实践应用是本书各章编写的重点。

“土木工程材料”是一门重要的专业基础课。本书主要介绍了土木工程材料的组成、技术性质及其应用之间的关系，以及各种产品和制品的质量要求、技术标准和试验方法等，并介绍了复合材料组配的基本方法；阐述了各种土木工程材料的发展趋势，有重点地介绍了一些新型土木工程材料。由于土木工程材料行业发展快，新型材料不断涌现，相应的技术标准不断更新，因此教材编写周期会出现一定的滞后，需要在教学中不断充实。

本书由蒋晓曙副教授、李庆录副教授主编，金钦华教授主审。本书的第一～三章和第八章由蒋晓曙编写；第四章由胡杰编写；第五章和第六章由李庆录编写；第九章由顾炳伟编写；第七章和第十章由胡阳编写；土木工程材料试验由李庆录摘编。

本书在编写过程中得到了金钦华教授的悉心指导，金教授对本书提出了很多宝贵意见。黄书峰博士也对本书的编写给予了帮助。承蒙相关院校的大

力支持，本书最终得以完成。书中参考了大量国内外专家、学者的著作，吸收和借鉴了许多优秀成果。作者、审稿及相关人员付出了大量的辛勤劳动，在此，我们一并深表衷心的感谢！

由于土木工程材料发展很快，新材料、新品种不断涌现，且各行业的差异较大，加上编者水平所限，书中的疏漏、不妥、错误及不足之处恐难避免，敬请有关专家、学者和广大读者予以批评指正，以便再版时修订完善。

编 者

2007 年 11 月

目 录

总序	
前言	
第一章 绪论	1
第二章 土木工程材料的基本性质	3
第一节 土木工程材料的物理性质	3
第二节 土木工程材料的力学性质	9
第三节 土木工程材料的耐久性	12
思考题	12
第三章 无机胶凝材料	14
第一节 石膏	14
第二节 石灰	18
第三节 水玻璃	20
第四节 硅酸盐水泥	22
第五节 其他品种水泥	34
思考题	37
第四章 普通混凝土和砂浆	38
第一节 普通混凝土的组成材料	39
第二节 普通混凝土的主要技术性质	53
第三节 普通混凝土的配合比设计	70
第四节 混凝土的质量控制	78
第五节 其他混凝土简介	82
第六节 砂浆	92

思考题	100
第五章 金属材料	102
第一节 钢材的基本知识	102
第二节 钢材的物理力学性能	104
第三节 土木工程常用钢材	109
第四节 钢材的腐蚀与防护	118
第五节 铝及铝合金	119
思考题	120
第六章 无机烧结材料	121
第一节 烧结砖	121
第二节 烧结瓦	127
第三节 建筑装饰陶瓷	128
思考题	131
第七章 合成高分子材料	132
第一节 合成高分子材料的基本知识	132
第二节 土木工程中常用的合成高分子材料的应用	135
思考题	142
第八章 沥青与沥青混合料	144
第一节 石油沥青	144
第二节 煤焦油简介	149
第三节 改性石油沥青	150
第四节 沥青混合料的组成和性质	152
第五节 沥青混合料的配合比设计	155
思考题	156
第九章 木材	158
第一节 木材的分类与构造	158
第二节 木材的主要性能	159
第三节 木材的干燥、防腐和防火	162
思考题	163
第十章 功能材料	164
第一节 防水材料	164
第二节 保温隔热材料	170
第三节 吸声隔声材料	173
思考题	175
土木工程材料试验	177
试验 I 水泥	177

试验Ⅱ	砂石	184
试验Ⅲ	混凝土	190
试验Ⅳ	钢材	195
试验Ⅴ	沥青	198
试验Ⅵ	沥青混合料	202
参考文献		211

第一章

绪 论

【本章要点】

- 土木工程材料的分类。
- 土木工程材料的发展趋势。
- 土木工程材料课程的学习方法。

土木工程材料是指在土木工程中所使用的各种材料的总和，它是土木工程的物质基础。由于原材料的种类、加工的方法及工程的要求不同，因此土木工程材料的种类繁多，且性能各不相同。土木工程材料在工程中用量大，价格差异大，占总造价的比例大，对工程的安全性、实用性、美观性和耐久性有着直接的影响。此外，随着人们生活水平的提高、建筑形式的变化以及结构设计和施工工艺的进步，促进了各种新材料不断应用于土木工程中。因此，认真地学习、了解和掌握土木工程材料的各方面知识，以至今后正确选择和合理使用土木工程材料，对整个土木工程的安全、实用、美观、耐久、技术先进、造价合理具有重大意义。

土木工程材料的分类方法较多，如按照材料来源划分，可分为天然材料及人造材料；按照使用功能划分，可分为结构材料、装饰材料、防水材料和绝热材料等。通常，按照组成物质的种类及化学成分，将土木工程材料划分为无机材料、有机材料和复合材料三大类，各大类中又可进行细分，如图 1-1 所示。

社会在进步，人类生活水平在改善，土木工程技术在提高，土木工程材料也随之快速发展。土木工程材料的发展主要体现在以下几个方面：

- (1) 提高性能，拓展功能。例如，配制高强混凝土、发展轻质保温隔热的墙体材料，等等。
- (2) 充分重视材料耐久性，加强这方面的研究及工程应用。
- (3) 在生产及应用土木工程材料过程中，充分利用可再生资源 and 工业废料，减少对环境的污染及对自然生态环境的破坏，例如粉煤灰的应用等。

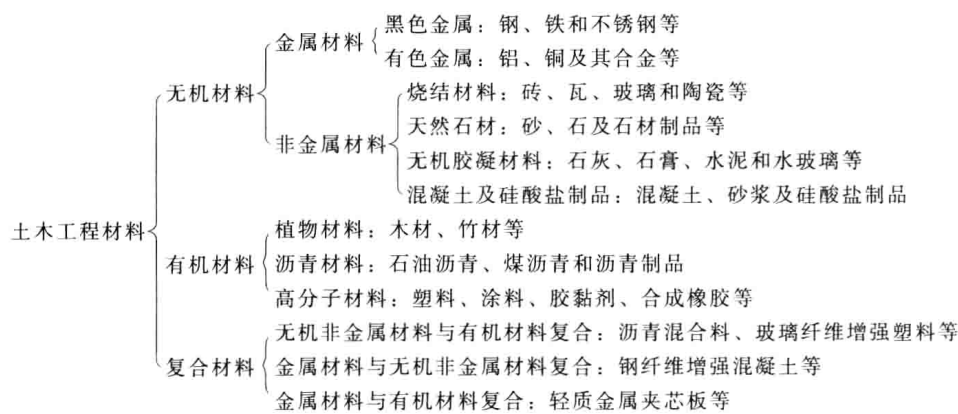


图 1-1 土木工程材料分类

一种新材料的开发，需要有一个过程，包括研究、技术上的成熟过程，还包括社会上的认识和适应过程。作为一名工程技术人员，应该积极而慎重地采用和推广新型材料，结合地区特点与工程性质，合理地发挥新材料的优点。

土木工程材料课程是土木工程专业的一门专业基础课程，为配合土木工程结构的设计、施工和房屋建筑学等课程，以及合理选择和使用土木工程材料打下基础。土木工程材料又是工程的物质基础，为此，必须了解各种材料的组织构造和成分等特点，从本质上理解材料的配制过程，以及在不同施工条件下和应用过程中发生的变化及各种条件之间的相互关系。在学习过程中要理解各种现象发生的原因、机理，掌握材料最基本的技术性能、试验方法，并合理使用技术。

对于同一类属不同品种的材料，不但要学习它们的共性，更重要的是了解各自的特性和具备这些特性的原因。学习时还要注意了解事物的本质和内在联系。从微观、亚微观到宏观结构对材料进行分析研究，洞察各种性质间的内在联系及其在不同条件下的变化规律。

“土木工程材料”是研究各种材料的组成、结构、组织构造、生产工艺、加工原理、技术性能、质量检验及应用范围等内容的技术科学。在学习本课程时要具有一定的数学、物理、化学和材料力学等方面的基本知识。此外，通过对土木工程材料课程的学习，可在有一定感性知识的基础上获得以下有关的知识：

- (1) 土木工程材料的技术性能及应用的基本知识。
- (2) 必要的基本理论知识。
- (3) 主要土木工材料试验的基本技能，各项标准中的指标要求。

“土木工程材料”是一门联系实际较强的科学，其试验是这门课程的一个重要环节。通过材料试验可以巩固所学习的理论知识，掌握各种材料试验、操作技术、国家标准和技术规范，对于各种实验室数据能够进行科学的分析和整理，可培养学生进行科学研究的能力。在学习本课程时，需联系实际、结合工程，有条件时多参与到工程实际中，以增进感性认识，加深对课程内容的理解与掌握。

第二章

土木工程材料的基本性质

【本章要点】

- 土木工程材料的物理性质。
- 土木工程材料的力学性质。
- 土木工程材料的耐久性。
- 土木工程材料的技术性质与其组成、构造的关系。

在土木工程中，由于工程性质、结构部位及环境条件的不同，对材料有不同的要求。例如，用作受力构件的结构材料，要求承受各种力的作用，其材料必须具有一定的强度；工业建筑或基础设施会受外界介质或环境的化学作用和物理作用，其材料必须具有抵抗这些作用的耐久性；民用建筑和住宅应外形美观、功能完善、使用方便、环境舒适，其材料还必须具有防水防潮、隔声吸声、保温隔热和装饰等功能。由此可见，土木工程对材料性能的要求是复杂和多方面的。此外，土木工程材料的选择和使用还应考虑材料对人居环境和人类可持续发展的影响。因此，就需要我们掌握材料的基本性质，并了解它们与材料的组成、结构的关系，从而合理地选用土木工程材料。

第一节 土木工程材料的物理性质

一、材料的密度、表观密度与堆积密度

(一) 密度

密度是材料在绝对密实状态下单位体积的质量，可按式（2-1）计算，即

$$\rho = m/V \quad (2-1)$$

式中： ρ 为密度， g/cm^3 ； m 为材料在干燥状态下的质量， g ； V 为材料在绝对密实状态下的体积， cm^3 。

绝对密实状态下的体积是指不包括材料内部孔隙的体积。土木工程材料中,除了钢材、玻璃等少数材料外,绝大多数材料都含有一定的孔隙,例如砖、石材等。对于这些有孔隙的材料,测定其密度时,须先将材料磨成细粉,经干燥至恒重后,用李氏瓶测定其体积,然后按式(2-1)计算其密度值。材料磨得越细,测得的数值就越准确。但是,材料的密度仅由其微观结构和组成所决定,与其所处的环境或自然状态无关。土木工程材料的密度可查阅有关手册。

(二) 表观密度

表观密度是指材料在自然状态下单位体积的质量,可按式(2-2)计算,即

$$\rho_0 = m_0 / V_0 \quad (2-2)$$

式中: ρ_0 为表观密度, g/cm^3 或 kg/m^3 ; m_0 为材料的质量, g 或 kg ; V_0 为材料在自然状态下的体积, cm^3 或 m^3 。

材料在自然状态下的体积是指包含材料内部孔隙的体积。当材料含有水分时,它的质量和体积都会发生变化,因而表观密度也不相同。故测定材料表观密度时,应注明其含水情况,未特别注明者,常指气干状态下的表观密度。材料对比试验则应在绝对干燥状态下进行。土木工程材料的表观密度可查阅有关手册。

(三) 堆积密度

堆积密度是指散状材料或粉状材料在自然堆积状态下单位体积的质量,可按式(2-3)计算,即

$$\rho' = m / V' \quad (2-3)$$

式中: ρ' 为堆积密度, kg/m^3 ; m 为材料的质量, kg ; V' 为材料的堆积体积, m^3 。

材料的堆积体积是指在自然、松散状态下按一定方法装入一定容器的容积,包括颗粒体积和颗粒之间空隙的体积。因此,堆积密度与材料堆积的紧密程度有关。根据材料堆积的紧密程度,堆积密度可分为松堆密度和紧堆密度。土木工程材料的堆积密度可查阅有关手册。

二、材料的密实度与孔隙率

(一) 密实度

密实度是指材料体积(自然状态)内被固体物质充实的程度,可按式(2-4)计算,即

$$D = V / V_0 \times 100\% = \rho_0 / \rho \times 100\% = 1 - P \quad (2-4)$$

式中: D 为材料的密实度, %。

(二) 孔隙率

孔隙率是指材料内部孔隙体积占材料在自然状态下总体积的百分率。它与密实度相对应,可按式(2-5)计算,即

$$P = (V_0 - V) / V_0 \times 100\% = (1 - \rho_0 / \rho) \times 100\% \quad (2-5)$$

式中: P 为材料的孔隙率, %。

材料孔隙率或密实度的大小直接反映材料的密实程度。密实度越大,材料越密实;孔隙率越高,则表示材料密实程度越小。含有孔隙的材料,密实度均小于1。

必须指出,材料内部的孔隙是多种多样的,十分复杂,例如孔隙大小、形状、分布、连通与否等,这些均属构造方面的特征,统称为孔隙特征。孔隙特征对材料的物理、力学

性质均有显著影响。材料的孔隙特征主要是指孔隙的连通性，以此可将孔隙分为开口孔隙和闭口孔隙。开口孔隙（简称为开孔）是指材料内部孔隙不仅彼此互相连通，并且与外界连通，例如常见的毛细孔。在一般浸水条件下，开孔能吸水饱和。开孔能提高材料的吸水性、透水性和吸声性，并降低抗冻性。闭口孔隙（简称为闭孔）是指材料内部孔隙彼此不连通，而且与外界隔绝。闭孔能提高材料的隔热保温性能，适量均匀分布的微小闭孔还能提高材料的抗冻性和抗渗性。由此可见，材料的孔隙率也可分为开口孔隙率和闭口孔隙率。

三、材料的空隙率与填充率

（一）空隙率

空隙率是指散粒或粉状材料颗粒之间的空隙体积占其自然堆积体积的百分率，可按式（2-6）计算，即

$$P' = (V' - V_0)/V' \times 100\% = (1 - \rho'/\rho_0) \times 100\% \quad (2-6)$$

式中： P' 为材料的空隙率，%。

空隙率的大小反映了散粒状材料颗粒之间互相填充的致密程度。

（二）填充率

填充率是指散粒状材料堆积体积中颗粒填充的程度。它与空隙率相对应，可按式（2-7）计算，即

$$D' = V_0/V' \times 100\% = \rho'/\rho_0 \times 100\% = 1 - P' \quad (2-7)$$

式中： D' 为材料的填充率，%。

在以上各参数中，密度是材料的固有性质，不随孔隙的变化而变化，是一些计算的依据，例如计算材料的孔隙率及混凝土配合比；表观密度反映了材料自然体积和质量之间的关系，可用来计算材料用量；孔隙率和孔隙特征反映材料的密实程度，并与材料的强度、吸水性、保温性和耐久性等性质有密切关系；空隙率是配制混凝土时控制砂、石级配及计算配合比的重要依据。

四、材料与水有关的性质

（一）亲水性与憎水性

与水接触后，有些材料可能被水润湿，而有些材料则不能被水润湿。这种现象说明了材料与水之间的相互作用性质，前者为亲水性，后者为憎水性。

材料的亲水（或憎水）程度可用润湿角 θ 来说明，如图2-1和图2-2所示。 θ 越小，表明材料易被水润湿。一般认为，当润湿角 $\theta \leq 90^\circ$ 时，表明水分子之间的内聚力小于水分子与材料之间的吸引力，材料具有亲水性；当润湿角 $\theta > 90^\circ$ 时，表明水分子之间的内聚力大于水分子与材料之间的吸引力，材料具有憎水性。

具备亲水性性质的材料称为亲水性材料。许多土木工程材料属于亲水性材料，例如混凝土、钢材和砖石等。这些材料可以被水润湿，即水可在材料表面铺展开，而且当材料存在孔隙时，水分能通过孔隙的毛细作用自动渗入材料内部。因此，这些材料耐水性差，但可对这些材料的表面进行憎水处理，以改善其耐水性能。具备憎水性性质的材料称为憎水性材料。大部分有机材料属于憎水性材料，例如沥青、石蜡、塑料和

有机硅等。憎水性材料不能被水润湿，水分不易渗入材料毛细管中。因此，憎水性材料常用作防水材料。

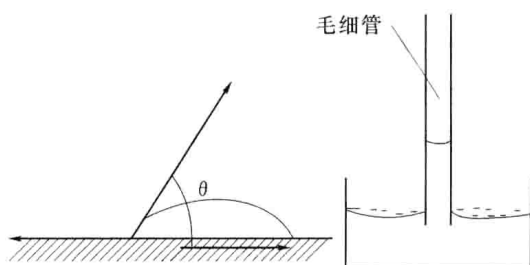


图 2-1 亲水性材料的润湿与毛细现象

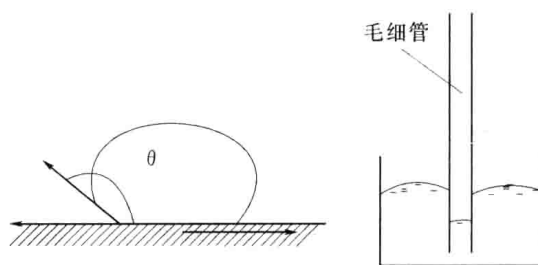


图 2-2 憎水性材料的润湿与毛细现象

(二) 吸水性

亲水性材料在水中吸收水分的能力，称为材料的吸水性，并以吸水率表示。材料吸水率有多种表示方法，土木工程材料常用质量吸水率来表示。

质量吸水率是指材料中所含水的质量与干燥状态材料的质量比，并以 W 表示，可按式 (2-8) 计算，即

$$W = (m_1 - m) / m \times 100\% \quad (2-8)$$

式中： m_1 为材料在含水状态下的质量，g 或 kg； m 为材料在干燥状态下的质量，g 或 kg。

材料吸水率与其孔隙率有关，更与其孔隙特征有关。因为水分是通过材料的细微开孔吸入，并通过连通孔渗入内部的，材料具有细微且连通的孔隙越多，其吸水率就越大。因此，材料的含水状态对材料性质有很大的影响。

(三) 吸湿性

材料在潮湿空气中吸收水分的性质称为吸湿性。吸湿作用一般为可逆过程，材料在此过程中可吸收空气中的水分，又可向空气中释放水分，这一过程在一定条件下会达到一种平衡状态，会随环境温度和空气湿度的变化而变化。与气温、湿度相平衡时的含水率称为平衡含水率（或称为气干含水率）。

材料吸水或吸湿后，对材料性能亦有显著的影响，它会使材料的表观密度增大、体积膨胀、强度下降、保温性能降低且抗冻性变差等。

(四) 耐水性

材料长期在饱和水作用下不破坏而且强度也不显著降低的性质称为耐水性，并以软化系数 $K_{\text{软}}$ 表示，可按式 (2-9) 计算，即

$$K_{\text{软}} = f_{\text{饱}} / f_{\text{干}} \quad (2-9)$$

式中： $K_{\text{软}}$ 为材料的软化系数； $f_{\text{饱}}$ 为材料在吸水饱和状态下的抗压强度，MPa； $f_{\text{干}}$ 为材料在干燥状态下的抗压强度，MPa。

软化系数 $K_{\text{软}}$ 的大小表明材料在浸水饱和后强度降低的程度。一般来说，材料吸水后，材料内部的结合力削弱，造成强度不同程度的降低。材料的耐水性主要与其组成成分在水中的溶解度和材料的孔隙率有关。不同材料的耐水性差别很大，钢的软化系数为 1，