

高等院校规划教材



土木工程材料

主编 苏胜 张利



煤炭工业出版社

TU5/74

2007

高等院校规划教材

土木工程材料

主 编 苏 胜 张 利
副主编 张瑞红 杨 颖
主 审 张丽华

煤炭工业出版社

·北 京·

图书在版编目 (CIP) 数据

土木工程材料/苏胜, 张利主编. —北京: 煤炭工业出版社,
2007. 6

高等院校规划教材

ISBN 978 - 7 - 5020 - 3043 - 8

I . 土… II . ①苏…②张… III . 土木工程 - 建筑材料
- 高等学校 - 教材 IV . TU5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 032047 号

煤炭工业出版社 出版
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)

网址: www.cciph.com.cn

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 787mm × 1092mm¹/₁₆ 印张 10¹/₄

字数 239 千字 印数 1—1,000

2007 年 6 月第 1 版 2007 年 6 月第 1 次印刷

社内编号 5842 定价 25.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 本社负责调换

前 言

本书以土木工程专业指导委员会制定的“土木工程材料教学大纲”为基本依据，结合我国高等教育改革发展现状而编写的。

本书在编写过程中，注重吸收国内外有关最新研究成果，力求反映土木工程材料的新技术、新规范；删去或缩减了不常使用的或过时的土木材料，添加了部分新型材料。本书在编写过程中，力求做到概念准确、条理清晰，密切结合工程实际。

本书的教学目的之一是让学生掌握土木工程材料的性质、用途及使用方法；目的之二是掌握材料质量的检测方法和质量控制方法。通过本课程的学习，还应了解材料性质与结构的关系及改善材料性能的途径。在学完本课程之后，能根据工程的性质及使用环境，作到合理选用材料，并为后续课程的学习打下基础。

本书的编写分工为：绪论、第一章、第二章由张利编写；第三章、第四章、第八章、第九章由苏胜编写；第六章、第十章由张瑞红编写；第五章、第七章由杨颖编写。全书由苏胜统稿，由张丽华教授主审。

本书在编写过程中参阅了较多的文献资料，引用了部分专家的著作及文献，在此表示深深的谢意。对教材当中的不足之处，也请广大读者批评指正。

编 者

2007年2月

内 容 提 要

全书共分十章，重点介绍了水泥、水泥混凝土、钢材、沥青与沥青混合料，对无机胶凝材料、砂浆、砌体材料、合成高分子材料、绝热材料、吸声材料、装饰材料、木材也作了相应的介绍，重点论述了材料的性能、组成、质量要求及选用。

本书可作为土木工程及相关专业的教材，也可作为从事土木工程勘测、设计施工、管理等专业人员用书。

目 录

绪 论	1
第一章 材料基本性质	3
第一节 材料的物理性质	3
第二节 材料的力学性质	11
第三节 耐久性	14
第四节 材料的组成、结构及构造对性质的影响	14
第二章 无机胶凝材料	18
第一节 气硬性胶凝材料	18
第二节 水硬性胶凝材料	24
第三章 水泥混凝土	41
第一节 普通混凝土组成材料	41
第二节 新拌混凝土性能	51
第三节 硬化混凝土的强度	55
第四节 混凝土的变形性能	59
第五节 混凝土的耐久性	62
第六节 混凝土质量控制与强度评定	64
第七节 普通混凝土配合比设计	68
第八节 其他品种混凝土	74
第四章 建筑砂浆	77
第一节 砌筑砂浆	77
第二节 其他种类砂浆	81
第五章 砌体材料	84
第一节 砌墙砖	85
第二节 墙用砌块及板材	87
第六章 钢材	91
第一节 钢材的生产、分类	91
第二节 钢材的技术性能	93

第三节	化学成分对钢性质的影响	97
第四节	钢材的热处理、冷加工与时效	98
第五节	建筑钢材的品种与选用	99
第六节	建筑钢材的防锈和防火	108
第七章	合成高分子材料	110
第一节	合成高分子材料的特性	110
第二节	土木工程常用合成高分子材料	111
第八章	沥青与沥青混合料	116
第一节	石油沥青	116
第二节	沥青基防水材料	121
第三节	沥青混合料	123
第九章	木材	132
第一节	木材的分类与构造	132
第二节	木材的主要性质	134
第三节	木材的防护处理	138
第四节	木材的综合利用	139
第十章	其他材料	142
第一节	绝热材料	142
第二节	吸声材料	145
第三节	建筑装饰材料	147
第四节	新型建筑防水材料	152
参考文献		157

绪 论

一、土木工程材料的分类

土木工程材料是指土木工程中使用的各种材料和制品，它是土木工程的物质基础。土木工程材料品种繁多、作用功能各异，为方便应用，常按不同原则分类。

(一) 按主要组成成分分类

(1) 有机材料：包括天然有机材料（如木材、天然纤维、天然橡胶等）及人工合成有机材料（如石油沥青、胶粘剂、合成橡胶、合成树脂等）。

(2) 无机材料：包括金属材料（如各种钢材、铝材、铜材等）及非金属材料（如天然石材、水泥、石灰、石膏、陶瓷、玻璃、各种人造石材和人造矿物棉等）。

(3) 复合材料：包括有机-无机复合材料（如沥青混合料、聚合物混凝土、金属增强塑料、玻璃钢等塑料复合材料）及金属-无机非金属复合材料（如钢筋混凝土、钢纤维混凝土、夹丝玻璃等）。目前复合材料已经成为应用最多的土木工程材料。

(二) 按材料在工程中的作用分类

(1) 结构材料：起承受和传递荷载作用的材料（如构筑物的基础、柱、梁所用的材料）。结构材料的合格与否是决定土木工程结构的安全性与使用可靠性的关键因素。

(2) 功能材料：起围护、防水、装饰、保温隔热、吸声隔声等作用的材料。功能材料的选择与使用是否科学合理，往往决定了工程的使用功能性的好坏。

(三) 按使用部位分类

按使用部位土木工程材料可分为：主体结构材料、屋面材料、地面材料、外墙材料、内墙材料及吊顶防水材料等。材料在不同部位中使用时，对其主要性能的要求不尽相同，各自的技术质量标准也会有所差别。

二、土木工程材料在土木工程中的作用

土木工程关系到人类活动非常广泛的领域，建造质量良好的工程项目是土木工程建设者的重要职责，一个合格的建设工程首先必须满足使用者对其可靠性和适用性的要求，而材料则是建设工程质量的物质基础，建设工程能否达到其所必须拥有的各项特性，首先决定于所用的建筑材料，建筑材料的质量控制在建设工程质量控制中有着相当重要的作用。不仅如此，建设工程的规模和质量与建筑材料的数量和质量之间存在着相互依存的关系，在现阶段的工程建设中，建筑材料的费用通常要占工程总造价的50%以上，只有通过合理地选择、使用与管理材料，才能最大限度地获得经济效益。此外，材料在某种意义上影响到工程的建筑形式和施工方法。从事土木建设工程的技术人员都必须了解和掌握土木工程材料的有关技术知识，以便使材料最大限度地满足设计、结构、经济以及施工的要求。

三、土木工程材料的选择和使用

土木工程材料的选择和使用，应根据工程特点和使用环境，遵照有关的技术标准进行。目前，我国的技术标准分为国家标准、行业标准、地方标准和企业标准四级。

(1) 国家标准：由国家有关主管部门发布的全国性的指导性技术文件，在全国范围内适用，其代号为 GB。

(2) 行业标准：是全国性的指导性技术文件，由各主管生产部（局）或行业协会发布，在全国性的行业范围内适用。其代号按部门或行业协会名而定，如建材行业标准的代号为 JC，建设部行业标准的代号为 JGJ，中国工程建设标准化协会标准的代号为 CECS。

(3) 地方标准：是地方主管部门发布的地方性指导性技术文件，其代号为 DB。凡没有国家标准和行业标准时，可由相应地区根据生产企业的技术力量制定，在某地区范围内适用。

(4) 企业标准：没有国家标准、行业标准和地方标准的产品，由企业制定且仅适用于本企业的标准，其代号为 QB。

国家标准、行业标准和地方标准按照要求执行的程度分为强制标准和推荐标准（以/T表示）。当涉及国际间的土木工程项目时需要遵照国际标准或外国标准，主要有国际标准（代号 ISO）、美国材料试验学会标准（代号 ASTM）、日本工业标准（代号 JIS）、德国工业标准（代号 DIN）和英国标准（代号 BS）等。

四、学习本课程的目的和方法

土木工程材料课程是土木工程专业及其他有关土建专业的一门技术基础课，课程的学习目的是使学生获得有关土木工程材料的基本理论、基本知识和基本技能，为学习后续的专业课程提供材料方面的基础知识，并为今后从事设计、施工、管理和科研工作能够合理选择和正确使用土木工程材料奠定基础。

土木工程材料内容杂、品种多、各章自成系统，在学习的过程中，应始终以土木工程材料的性能和合理使用为中心，以组成结构对材料性质的影响以及外界环境对材料性质的影响为线索，去理解记忆材料性质和应用的本质。此外，对于同一类属不同品种的材料，要善于运用对比的方法分析比较，不但要掌握材料的共性，更重要的是要了解它们各自的特性和具备这些特性的原因，对于合理使用土木工程材料十分重要。

试验是检验土木工程材料性能、鉴别其质量水平的主要手段，也是土木工程建设中质量控制的重要措施。本课程中试验课的主要任务，就是通过试验操作验证已学有关材料的基本理论，增加感性认识，熟悉试验鉴定、检验和评定材料质量的方法。通过试验一方面加深对理论知识的理解，掌握材料基本性能的试验检验和质量评定方法，培养实践技能以及根据所学习的基本理论对试验结果作出正确的分析和判断；另一方面可以培养严谨的科学态度和实事求是的工作作风，为从事土木工程实践工作打下较坚实的基础。

土木工程材料课程是一门实践性很强的课程，学习时要注意理论联系实际，利用一切机会注意观察周围已经建成和正在修建的工程，学会带着工程实际问题在学习中寻求答案，在实践中验证和补充书本知识，从而达到融会贯通、学以致用目的。

第一章 材料基本性质

土木工程材料是土木工程的物质基础，直接关系建筑物及构筑物的安全性、功能性以及使用寿命和经济成本。建筑物及构筑物对处在不同建筑部位的材料有不同的性质要求。例如，梁、板、柱、基础等承重部位所使用的建筑材料要具有足够的强度和抵抗变形的能力，以保证建筑物具有足够的使用安全性。又如，屋面、墙体等围护结构则要求建筑材料具有保温、隔热、吸声以及防水、防渗甚至防冻能力，以满足建筑物在使用功能上的需求。某些工业建筑还要求材料具有耐热、防腐蚀等特殊性能。此外，建筑物及构筑物的耐久性在很大程度上也取决于所使用的材料的耐久性，如何抵抗各种自然因素及其他有害介质的长期作用而保持材料以及建筑物、构筑物原有性质不发生明显改变是土木工程材料所应具有的一项长期性质，对于延长建筑物的使用寿命，减少维修量以及建筑总成本至关重要。由上可见，土木工程材料的性质是多方面的，某种材料应具备何种性质，这要根据它在建筑物及构筑物中的作用和所处的环境来决定。

本章仅介绍与工程使用密切相关的、带有普遍性的、比较重要的物理性质、力学性质和耐久性，即称为材料的基本性质，以便于初步判断材料的性能和应用场合，从而正确地选择与合理地使用建筑材料。

第一节 材料的物理性质

一、与质量有关的性质

(一) 密度

密度是指材料在绝对密实状态下单位体积的质量，按下式计算：

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

式中 ρ ——密度， g/cm^3 ；

m ——材料的质量， g ；

V ——材料在绝对密实状态下的体积，简称为绝对体积或实体积， cm^3 。

材料密度的大小取决于其组成物质的原子量和分子结构。原子量越大，分子结构越紧密，材料的密度则越大。

土木工程材料中除少数材料（钢材、玻璃等）接近绝对密实外，绝大多数材料内部都包含有一些孔隙。在自然状态下含孔块体材料的体积 V_0 是由固体物质的体积 V （绝对密度状态下材料的体积）和孔隙体积 V_k 两部分组成的（如图 1-1 所示）。那么在测定这些含孔块体材料的密度时，需将其磨成细粉（粒径小于 0.2mm）以排除其内部孔隙，经干燥后用李氏密度瓶测定其绝对体积。材料磨得越细，被测材料孔隙排除越充分，测得的实体体积越接近绝对体积，所得到的密度值越精确。

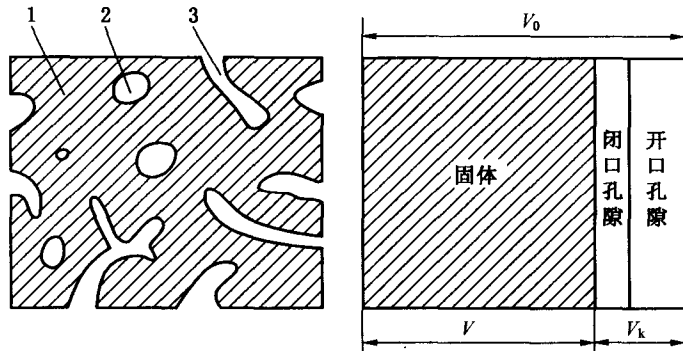


图 1-1 材料组成示意图
1—固体；2—闭口孔隙；3—开口孔隙

利用材料的密度可以初步了解材料的品质，并可用它进行材料的孔隙率计算和混凝土配合比计算。

(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。按下式计算：

$$\rho_0 = \frac{m}{V_0} \quad (1-2)$$

式中 ρ_0 ——材料的表观密度， kg/m^3 ；

m ——材料的质量， kg ；

V_0 ——材料在自然状态下的体积，简称自然体积或表观体积（包括材料的实体积和所含孔隙体积）， m^3 。

表观密度的大小除取决于密度外，还与材料孔隙率及孔隙的含水程度有关。材料孔隙越多，表观密度越小；当孔隙中含有水分时，其质量和体积均有所变化。因此在测定表观密度时，须注明含水情况，没有特别标明时常指气干状态下的表观密度，在进行材料对比试验时，则以绝对干燥状态下测得的表观密度值（干表观密度）为准。

工程上可以利用表观密度推算材料用量，计算构件自重，确定材料的堆放空间。

(三) 堆积密度

堆积密度是指散粒状或粉状材料，在自然堆积状态下单位体积的质量，用下式表示：

$$\rho'_0 = \frac{m}{V'_0} \quad (1-3)$$

式中 ρ'_0 ——材料的堆积密度， kg/m^3 ；

m ——材料的质量， kg ；

V'_0 ——材料的自然堆积体积，包括颗粒体积和颗粒之间空隙的体积（如图 1-2 所示），也即按一定方法装入容器的容积， m^3 。

材料的堆积密度取决于材料的表观密度以及测定时材料装填方式和疏密程度。松堆积方式测得的堆积密度值要明显小于紧堆积时的测定值。工程中通常采用松散堆积密度，确定颗粒状材料的堆放空间。

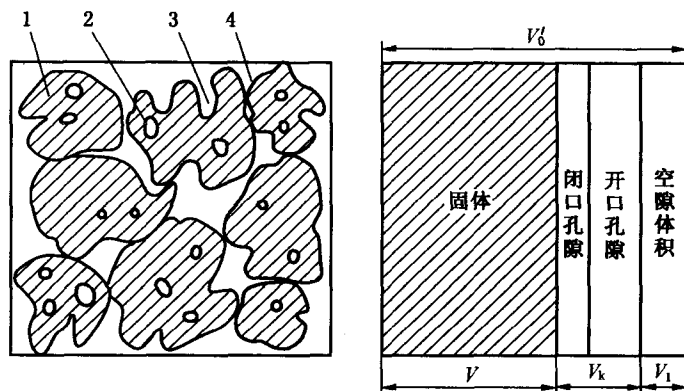


图 1-2 散粒材料堆积及体积示意图
1—固体；2—闭口孔隙；3—开口孔隙；4—空隙

(四) 孔隙率

孔隙率是指材料内部孔隙体积占材料总体积的百分率，以 P 表示，可用下式计算：

$$P = \frac{V_0 - V}{V_0} \times 100\% = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right) \times 100\% \quad (1-4)$$

式中 P ——材料的孔隙率，%；

V_0 ——材料的自然体积， m^3 ；

V ——材料的绝对密实体积， m^3 。

孔隙率的大小直接反映了材料的致密程度，其大小取决于材料的组成、结构以及制造工艺。材料的许多工程性质如强度、吸水性、抗渗性、抗冻性、导热性、吸声性等都与材料的孔隙有关。这些性质不仅取决于孔隙率的大小，还与孔隙的大小、形状、分布、连通与否等构造特征密切相关。

工程上常常按孔隙的连通性，将孔隙分为开口孔隙（简称开孔）和闭口孔隙（闭孔）。开孔是指那些彼此相通，并且与外界相通的孔隙，如常见的毛细孔。材料内部开口孔隙增多会使材料的吸水性、吸湿性、透水性、吸声性提高，但是抗冻性和抗渗性变差。闭孔是指那些彼此不连通，而且与外界隔绝的孔隙。材料内部闭口孔隙的增多会提高材料的保温隔热性能和耐久性。

(五) 密实度

密实度是指材料体积内被固体物质所充实的程度，也就是固体物质的体积占总体积的比例，以 D 表示：

$$D = \frac{V}{V_0} \times 100\% = \frac{\rho_0}{\rho} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中 D ——材料的密实度，%。

密实度、孔隙率是从不同角度反映材料的致密程度，一般工程上常用孔隙率。密实度与孔隙率的关系为 $P + D = 1$ 。

(六) 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，用 P'

表示：

$$P' = \frac{V'_0 - V}{V'_0} \times 100\% = \left(1 - \frac{\rho'_0}{\rho_0}\right) \times 100\% \quad (1-6)$$

式中 P' ——材料的空隙率，%；

V'_0 ——自然堆积体积， m^3 ；

V_0 ——材料的表观体积， m^3 。

空隙率的大小，反映了散粒或粉状材料的颗粒之间相互填充的紧密程度。空隙率在配制混凝土时可作为控制混凝土粗、细骨料配料以及计算混凝土含砂率的依据。

由上可见，材料的密度、表观密度、孔隙率及空隙率等是了解材料性质与应用的重要指标，我们常称之为材料的基本物理性质。表 1-1 为一些常用建筑材料的基本物性参数。

表 1-1 常用建筑材料的密度、表观密度、堆积密度和孔隙率

材 料	密度 $\rho / (g \cdot cm^{-3})$	表观密度 $\rho'_0 / (kg \cdot m^{-3})$	堆积密度 $\rho''_0 / (kg \cdot m^{-3})$	孔隙率/%
石灰岩	2.60	1800 ~ 2600	—	—
花岗岩	2.60 ~ 2.90	2500 ~ 2800	—	0.5 ~ 3.0
碎石(石灰岩)	2.60	—	1400 ~ 1700	—
砂	2.60	—	1450 ~ 1650	—
粘土	2.60	—	1600 ~ 1800	—
普通粘土砖	2.50 ~ 2.80	1600 ~ 1800	—	20 ~ 40
粘土空心砖	2.50	1000 ~ 1400	—	—
水泥	3.10	—	1200 ~ 1300	—
普通混凝土	—	2100 ~ 2600	—	5 ~ 20
轻骨料混凝土	—	800 ~ 1900	—	—
木材	1.55	400 ~ 800	—	55 ~ 75
钢材	7.85	7850	—	0
泡沫塑料	—	20 ~ 50	—	—
玻璃	2.55	—	—	—

二、与水有关的性质

(一) 亲水性与憎水性

材料在使用过程中经常会与水接触，那么首先遇到的问题就是材料能否被水所润湿。所谓润湿就是水被材料表面吸附的过程，它和材料本身的性质有关。根据材料被水润湿的程度，可将材料分为亲水性与憎水性两大类。

亲水性与憎水性可用润湿角 θ 来说明，如图 1-3 所示。润湿角是在材料、水、空气三相的交点处，沿水滴表面的切线 (γ_{LG}) 与水和固体的接触面 (γ_{LS}) 之间的夹角。 θ 角越小，水分越容易被材料表面吸附，说明材料被水润湿的程度越高，即材料润湿性越好。通常认为，润湿角 $\theta \leq 90^\circ$ 的材料为亲水性材料，如砖、石料、混凝土、木材等；润湿角 $\theta > 90^\circ$ 的材料为憎水性材料如沥青、石蜡、塑料等，这些憎水性材料常用作防水、防潮、防磨材料，也可用作亲水性材料的表面处理，以提高其耐久性。

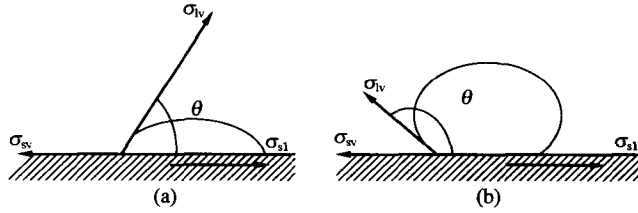


图 1-3 材料的润湿示意图
a—亲水性材料；b—憎水性材料

(二) 吸水性

材料在浸水状态下吸收水分的能力称为吸水性。吸水性的大小用吸水率来表示，吸水率有以下两种表示方法。

(1) 质量吸水率：材料吸水饱和时，其所吸收水分的质量占材料干燥时质量的百分率，可按下式计算：

$$W_{\text{质}} = \frac{m_{\text{湿}} - m_{\text{干}}}{m_{\text{干}}} \times 100\% \quad (1-7)$$

式中 $W_{\text{质}}$ ——材料的质量吸水率，%；

$m_{\text{湿}}$ ——材料吸水饱和后的质量，g；

$m_{\text{干}}$ ——烘干至恒重的质量，g。

(2) 体积吸水率：材料吸水饱和时，吸入水分的体积占干燥材料自然体积的百分率，可按下式计算：

$$W_{\text{体}} = \frac{V_{\text{水}}}{V_0} \times 100\% = \frac{m_{\text{湿}} - m_{\text{干}}}{V_0} \cdot \frac{1}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}} \times 100\% \quad (1-8)$$

式中 $W_{\text{体}}$ ——材料的体积吸水率，%；

$V_{\text{水}}$ ——材料在吸水饱和时，吸入水的体积， cm^3 ；

V_0 ——干燥材料在自然状态下的体积， cm^3 ；

$\rho_{\text{H}_2\text{O}}$ ——水的密度， g/cm^3 ；在常温下 $\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1.0 \text{g}/\text{cm}^3$ 。

质量吸水率与体积吸水率的关系为：

$$W_{\text{体}} = W_{\text{质}} \rho_0 \quad (1-9)$$

式中 ρ_0 ——材料在干燥状态的表观密度。

材料的吸水率反映了材料在标准测试方法之下吸收水分能力的大小，是一个固定值。对于高度多孔的材料，由于吸入水分的质量往往超过材料干燥时的自重，所以用 $W_{\text{体}}$ 更能反映其吸水能力的强弱，因为 $W_{\text{体}}$ 不可能超过 100%。

材料吸水率的大小不仅取决于材料本身是亲水的还是憎水的，而且与材料的孔隙率的大小及孔隙特征密切相关。一般孔隙率越大，材料吸水性越强；孔隙率相同情况下，具有细小连通孔的材料比具有较多粗大开口孔隙或闭口孔隙的材料，吸水性更强。

水分的吸入给材料带来一系列不良的影响，往往使材料的许多性质发生改变：体积膨胀，保温性能下降，强度降低，抗冻性变差等。

(三) 吸湿性

材料在潮湿的空气中吸收水分的性质，称为吸湿性。吸湿性的大小用含水率来表示，

可按下式计算：

$$W_{\text{含}} = \frac{m_{\text{含}} - m_{\text{干}}}{m_{\text{干}}} \times 100\% \quad (1-10)$$

式中 $W_{\text{含}}$ ——材料的含水率，%；

$m_{\text{含}}$ ——材料含水时的质量，g；

$m_{\text{干}}$ ——材料烘干到恒重时的质量，g。

材料含水率的大小不仅取决于自身的特性（亲水性、孔隙率和孔隙特征），还受周围环境条件的影响，随温度、湿度变化而改变。气温越低，相对湿度越大，材料的含水率就越大，并最终达到与环境湿度保持相对平衡的含水状态，此时的含水率，称为平衡含水率。

（四）耐水性

材料长期在饱和水作用下而不破坏，强度也不显著降低的性质称为耐水性。材料的耐水性用软化系数表示，可按下式计算：

$$K_{\text{软}} = \frac{f_{\text{饱}}}{f_{\text{干}}} \quad (1-11)$$

式中 $K_{\text{软}}$ ——材料的软化系数；

$f_{\text{饱}}$ ——材料在饱和状态下的抗压强度，MPa；

$f_{\text{干}}$ ——材料在干燥状态下的抗压强度，MPa。

软化系数一般在 0~1 间波动，其值越小，说明材料吸水饱和和强度降低越多，材料耐水性越差。软化系数大于 0.80 的材料，通常可以认为是耐水材料。对于经常位于水中或处于潮湿环境中的重要建筑物所选用的材料要求其软化系数不得低于 0.85；对于受潮较轻或次要结构所用材料，软化系数允许稍有降低但不宜小于 0.75。

材料的耐水性主要取决于其组成成分在水中的溶解度和材料内部开口孔隙率的大小。一般随溶解度增大，开口孔隙增多而变小。溶解度很小或不溶的材料以及具有较多封闭孔隙的材料，软化系数一般较大，因而材料的耐水性较好。

（五）抗渗性

材料抵抗压力水渗透的性质称为抗渗性（不透水性），材料的抗渗性好坏有以下两种不同表示方法。

1. 渗透参数

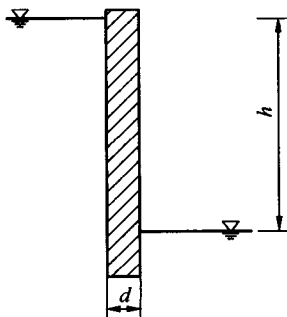


图 1-4 材料透水示意图

材料在压力水作用下透过水量的多少遵守达西定律，即在一定时间内，透过材料试件的水量与试件的渗水面积及水头差成正比，与试件厚度成反比（如图 1-4 所示），用公式表示为：

$$W = K \frac{h}{d} At \quad (1-12)$$

或

$$K = \frac{Wd}{Ath} \quad (1-13)$$

式中 K ——渗透系数，cm/h；

W ——透过材料试件的水量, cm^3 ;

t ——透水时间, h ;

A ——透水面积, cm^2 ;

h ——静水压力水头, cm ;

d ——试件厚度, cm 。

渗透系数越大, 表明材料的透水性越好而抗渗性越差。一些防渗防水材料 (如油毡) 的防水性常用渗透系数表示。

2. 抗渗等级

抗渗等级是指材料在标准试验方法下进行透水试验, 以规定的试件在透水前所能承受的最大水压力来确定, 用 S 表示:

$$S = 10H - 1 \quad (1-14)$$

式中 S ——抗渗等级;

H ——开始渗水前的最大水压力, MPa 。

混凝土和砂浆抗渗性的好坏常用抗渗等级表示, S 越大, 材料的抗渗性越好。孔隙率很小而且是封闭孔隙的材料具有较高的抗渗性。良好的抗渗性是防水材料、地下建筑及水工构筑物所用材料必须具备的基本性质之一。

(六) 抗冻性

材料在吸水饱和状态下经受多次冻结和融化作用 (冻融循环) 而不破坏, 同时也不显著降低强度的性质, 称为抗冻性。抗冻性的大小用抗冻等级表示。抗冻等级是将材料吸水饱和后, 按规定方法进行冻融循环试验, 以质量损失不超过 5% 时, 强度下降不超过 25%, 所能经受的最大冻融循环次数来确定。用符号 “F” 和最大冻融循环次数表示, 如 F15、F50、F100 等。

材料在冻融循环作用下产生破坏, 一方面是由于材料内部孔隙中的水在受冻结冰时产生的体积膨胀 (约 9%) 对材料孔壁造成巨大的冰晶压力, 当由此产生的拉应力超过材料的抗拉强度极限时, 材料内部即产生微裂, 引起强度下降; 另一方面是在冻结和融化过程中, 材料内外的温差引起的温度应力会导致内部微裂纹的产生或加速微裂的扩展, 而最终使材料破坏。显然, 这种破坏作用随冻融循环次数的增多而加强。材料的抗冻等级越高, 其抗冻性越好, 材料可以经受冻融循环的次数越多。

实际应用中, 抗冻性的好坏取决于材料的孔隙率及孔隙特征, 并且还与材料受冻前吸水饱和程度、材料本身的强度以及冻结条件 (如冻结温度、速度、冻融循环作用的频繁程度) 等有关。材料的强度越低, 开口孔隙率越大, 则材料的抗冻性越差。材料受冻时, 其孔隙充水程度 (以水饱和度 K_s 表示, 即孔隙中水的体积 V_w 与孔隙体积 V_k 之比: $K_s = V_w/V_k$) 越高, 材料的抗冻性越差。从理论上讲, 若材料内孔隙分布均匀, 当水饱和度 $K_s < 0.91$ 时, 结冻不会对材料孔壁造成压力; 当 $K_s > 0.91$ 时, 未充水的孔隙空间已不能容纳由于水结冰而增加的体积, 故对材料的孔隙产生压力, 因而引起冻害。实际上, 由于孔隙分布不均匀和局部饱和水的存在, K_s 需小于 0.91 才是安全的。很显然, 对于受冻材料最不利的状态是吸水饱和状态。此外, 冻结温度越低、速度越快、越频繁, 那么材料产生的冻害越严重。

所以, 对于受大气和水作用的材料, 抗冻性往往决定了它的耐久性, 抗冻等级越高材

料越耐久。对抗冻等级的选择应根据工程种类、结构部位、使用条件、气候条件等因素来决定。

三、与热有关的性质

(一) 导热性

材料传导热量的能力称为导热性。导热性的大小用导热系数 λ 表示：导热系数在数值上等于厚度为 1m 的材料，当其相对两侧表面温度差为 1K 时，经单位面积、单位时间所通过的热量。材料传导热量的示意图如图 1-5 所示。均质材料的导热系数，可用下式表示：

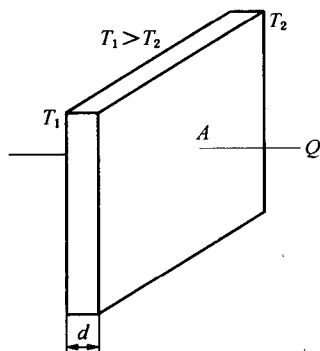


图 1-5 材料传热示意图

$$\lambda = \frac{Qa}{At (T_2 - T_1)} \quad (1-15)$$

式中 λ ——导热系数，W/(m·K)；
 Q ——传导的热量，J；
 A ——热传导面积，m²；
 a ——材料厚度，m；
 t ——热传导时间，s；
 $T_2 - T_1$ ——材料两侧温差，K。

显然，导热系数越小，材料的隔热性能越好。各种建筑材料的导热系数差别很大，大致在 0.035W/(m·K)（泡沫塑料）至 3.500W/(m·K)（大理石）之间。通常将 $\lambda \leq 0.15\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 的材料称为绝热材料。

材料的导热系数决定于材料的化学组成、结构、构造、孔隙率与孔隙特征、含水状况及导热时的温度。一般来讲，金属材料、无机材料、晶体材料的导热系数分别大于非金属材料、有机材料、非晶体材料。宏观结构呈层状或纤维构造的材料，其导热系数因热流与纤维方向不同而异，顺纤维或层内材料的导热系数明显高于与纤维垂直或层间方向的导热系数。材料的表观密度越小，表明其含有孔隙越多，而 $\lambda_{\text{空气}} \leq 0.025\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 远远小于固体物质的导热系数，所以，材料的导热系数越小。当孔隙率相同时，由微小而封闭孔隙组成的材料比由粗大而连通的孔隙组成的材料具有更低的导热系数，原因是前者避免了材料孔隙内的热的对流传导。此外，由于 $\lambda_{\text{水}} = 0.58\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 、 $\lambda_{\text{冰}} = 2.20\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ，因此当材料受潮或受冻时会使导热系数急剧增大，导致材料的保温隔热效果变差。而且对于大多数建筑材料（除金属外），导热系数会随导热时温度升高而增大，这一点在选择热管道、锅炉等隔热材料时必须充分考虑。

(二) 热容量

材料加热时吸收热量，冷却时放出热量的性质称为热容量。

热容量的大小用比热容来表示。比热容在数值上等于 1g 材料，温度升高或降低 1K 时所吸收或放出的能量，用下式表示：

$$C = \frac{Q}{m (T_2 - T_1)} \quad (1-16)$$

式中 C ——材料的比热，J/(g·K)；