

土木工程材料

(含试验指导书)

曹建生 ○ 主 编

土木工程材料

(含试验指导书)

曹建生 主编

西南交通大学出版社

·成都·

图书在版编目 (C I P) 数据

土木工程材料：含试验指导书：全 2 册 / 曹建生主
编. —成都：西南交通大学出版社，2019.8
ISBN 978-7-5643-7083-1

I. ①土… II. ①曹… III. ①土木工程 - 建筑材料 -
高等职业教育 - 教材 IV. ①TU5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 184872 号

Tumu Gongcheng Cailiao
(Han Shiyan Zhidaoshu)

土木工程材料
(含试验指导书)

曹建生 主编

责任编辑	杨 勇
封面设计	何东琳设计工作室 西南交通大学出版社
出版发行	(四川省成都市金牛区二环路北一段 111 号 西南交通大学创新大厦 21 楼)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮 政 编 码	610031
网 址	http://www.xnjdcbs.com
印 刷	四川森林印务有限责任公司
成品尺寸	185 mm × 260 mm
总 印 张	30.5
总 字 数	759 千
版 次	2019 年 8 月第 1 版
印 次	2019 年 8 月第 1 次
书 号	ISBN 978-7-5643-7083-1
套 价	78.00 元
(全 2 册)	

课件咨询电话：028-87600533
图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话：028-87600562

前 言

在编写本书过程中编者参考了有关土木工程材料方面的一些资料，采用我国颁布的材料方面的新标准、新规范，并吸取了本学科在国内外的新成就。在内容上，本书针对土木工程所涉及的材料进行介绍，涉及面较广，内容较全面，建议不同专业教师可以根据自己的专业特点选择重点进行讲解。

本书由武汉铁路桥梁职业学院曹建生主编。编写分工为：绪论、第七章、第八章、第九章、第十章由曹建生编写，第一章、第二章、第十一章、第十二章由陈辰编写，第三章、第五章由蔡湘琪编写，第六章由匡丽群编写，第四章由中铁大桥局付恩琴编写。本书主要供职业院校学生使用，也可供工程技术人员参考学习。

由于编者水平和教学经验有限，书中难免有不足和疏漏之处，敬请广大师生和技术人员提出宝贵的意见，我们将及时修正。

编 者
2019年6月

目 录

绪 论	1
第一章 材料的基本性质	5
第一节 材料的基本物理性质	5
第二节 材料的力学性质	7
第三节 材料与水有关的性质	10
第四节 材料与热有关的性质	12
第五节 材料的耐久性、装饰性和安全性	14
第二章 气硬性胶凝材料	17
第一节 石 灰	17
第二节 石 膏	19
第三节 水玻璃	21
第三章 水 泥	23
第一节 通用硅酸盐水泥	23
第二节 特性水泥与专用水泥	39
第四章 混凝土	48
第一节 普通混凝土的组成材料	48
第二节 混凝土的技术性能	57
第三节 混凝土外加剂	68
第四节 混凝土的配合比设计	74
第五节 混凝土的质量控制	89
第六节 其他混凝土	91
第五章 建筑砂浆	104
第一节 砌筑砂浆	104
第二节 其他建筑砂浆	110
第六章 建筑钢材	116
第一节 钢材的生产和分类	116
第二节 建筑钢材的技术性质	119
第三节 建筑钢材的技术标准和应用	129

第四节	钢筋和钢丝	133
第五节	桥梁结构钢	141
第六节	钢轨钢	143
第七节	建筑钢材的锈蚀与防锈、防火	144
第七章	土的工程性质	148
第一节	土的三相组成	148
第二节	土的物理性质	152
第三节	土的颗粒级配	163
第四节	土的工程分类与野外鉴别	167
第八章	无机结合料稳定材料	177
第一节	无机结合料稳定材料的组成	177
第二节	无机结合料稳定材料的技术性质	181
第三节	无机结合料稳定材料的组成设计	189
第九章	沥青材料	194
第一节	石油沥青	194
第二节	其他品种沥青	212
第十章	沥青混合料	228
第一节	概 述	228
第二节	热拌沥青混合料	230
第三节	其他沥青混合料	256
第十一章	新型墙体与屋面材料	263
第一节	烧土制品的原料及生产工艺简介	263
第二节	烧结砖	266
第三节	非烧结砖	268
第四节	建筑砌块	269
第五节	建筑板材	271
第六节	屋面材料	273
第十二章	土木工程材料发展及展望	275
参考文献	278

绪 论

一、材料与土木工程的发展

土木工程材料包括结构材料、维护材料、装饰材料以及各种功能材料（如防水、保温隔热、隔声吸声、透光反光材料）、门窗材料、小五金材料、土工材料、沥青材料等。

土木材料的发展是随着社会科技的进步而不断发展的。我们的祖先最早就是从利用自然界材料建造人们赖以生活的住所开始，才有了后来的古罗马建筑、埃及金字塔、中国的万里长城等。人类在土木工程的建造中发现（发明）了许多现在仍被广泛使用的建筑材料，如石灰、石膏、波特兰水泥、钢铁、减水剂、碳纤维等，也正是由于出现了钢筋混凝土、高强合金钢、高强纤维等，才使我们今天的建筑发生了如此巨大的变化。如：波兰 65 m 高的钢筋混凝土世纪大厅；德国采用玻璃纤维增强水泥建造的联邦园艺展览厅的双曲抛物面屋顶，直径 31 m，厚 1 m，质量才 25 t；还有我国正在建造的苏通长江公路大桥，其全长 8 206 m，主跨 1 088 m，是一座双塔斜拉桥。这些都说明材料的发展对土木工程的发展贡献是多么的巨大。

现代土建工程中采用的钢材强度多为 1 800 MPa 左右，目前超高强度钢材最大强度可达 2~3 GPa，普通碳纤维可达 2 GPa，高强碳素纤维可达 7 GPa。而混凝土材料强度在很多建筑中已用到 500 MPa 以上。只有不断应用新型材料，才可能有结构的创新和发展。可以这样认为：如果说土木建筑业的发展可以折射出社会的进步，那么材料的发展对它的促进作用功不可没。

随着现在社会的发展，人们对土木建筑工程，如桥梁、隧道、高层建筑、城市交通网、地下铁路、大型标志性建筑、大型水利工程、海港工程等，提出了更高的要求，除了高强轻质外，还要求高寿命（100~500 年）、低能耗、绿色环保。

从成本上考虑，一项土建工程，材料费用所占工程造价的比例是最高的（根据工程性质的不同，比例在 50%~80% 变化）。因此，合理、正确地选用材料，是降低工程造价的关键，否则会由于材料选用不当甚至严重失误而导致重大工程事故的发生。

二、我国土木工程材料的发展

中华人民共和国成立初期，我国水泥年产量仅 66 万吨，钢产量几乎为零。改革开放后，我国土木工程和建材业得到了迅速的发展，2004 年钢材已达到 1.25 亿吨，2010 年之后我国钢铁产量占全球钢铁产量的 70% 以上，相当于世界其他国家总和的 2.5 倍；1985 年水泥年产量就达到了 1.5 亿吨，居世界第一，2003 年我国水泥产量已达世界总产量的 1/3 以上，2013 年全国水泥累计总产量 24.1 亿吨，已经形成了严重的产能过剩，我国已经出台了相关政策优化整合水泥产业；2000 年以后普通玻璃年产量已达到 1 亿标箱以上，截至 2014 年年底我国

总生产能力为 10.85 亿标箱；其他材料如建筑陶瓷，已占到世界总产量的 1/4 以上，我国已是建筑材料生产名副其实的大国。当然，我国的建筑材料产业得益于蓬勃发展的建筑业，但基建投资的迅速发展，使很多生产还停留在高能耗、低效率、高污染的状况。要改善现状，必须建立和健全相关法律和法规，并与国际接轨。

随着科学技术的发展，材料的研究与开发利用已成为国民经济的支柱产业，并相应产生了一门新的学科——材料科学，它是运用物理、化学、力学的基础理论，通过电子显微镜、X 射线、红外光谱仪及其他现代测试手段，研究材料组成、内部结构和构造对性能的影响以及相互作用的一门科学。它的产生为材料的研制、生产和应用提供了广泛的理论依据，也为新产品的产生奠定了理论基础。随着土木工程的发展，人们对未来的建筑材料提出了以下要求：

- (1) 高耐久性。有高的预期寿命，且综合单价低（含运营期维护费）。
- (2) 高性能。要求综合性能优良，如结构具有轻质、高强、高抗震性。
- (3) 多功能化。既是承重材料，又是维护材料，还具有良好的保温、隔热、隔声等功能，如多功能玻璃墙可起到装饰、隔热、吸热、防辐射、单面透光等作用。
- (4) 绿色环保。材料从生产、施工到使用的多个环节上都是低能耗、低污染，不影响生态环境。
- (5) 智能化。某些土木工程重要部位的材料在发生破坏前能产生自救功能或发出警示信号等。

三、土木工程材料的分类

土木工程材料品种繁多，由于使用和生产的不同，分类方法也就不同。例如，按化学成分可分为无机材料、有机材料和复合材料，见表 0.1。

表 0.1 土木工程材料按化学成分的分类

土 木 工 程 材 料	无机材料	金属材料	黑色金属：钢、铁 有色金属：铝及铝合金、铜及铜合金
		非金属材料	天然石材：石灰岩、大理石、花岗岩、砂岩
			陶瓷和玻璃：砖、瓦、玻璃、陶瓷
			无机胶凝材料：石膏、石灰、菱苦土、水玻璃、水泥
	混凝土与砂浆：混凝土、砂浆、硅酸盐制品		
	有机材料	植物材料	木材、竹材、纤维制品
		高分子材料	塑料：聚乙烯、聚氯乙烯、工程塑料
			涂料：聚乙烯醇、丙烯酸酯、聚氨酯
			胶黏剂：环氧类、聚醋酸乙烯、丙烯酸酯
	密封膏：聚硫橡胶		
沥青材料	石油沥青、煤沥青		
复合材料	金属与非金属：钢筋混凝土、钢丝网水泥、钢纤维混凝土		
	有机与无机：聚合物混凝土、沥青混凝土、纤维增强塑料		

若按材料在工程中的功能可分为承重材料、防水材料、隔热保温材料、吸声材料、装饰材料 and 防护材料等，按用途可分为结构材料、墙体材料、屋面材料、地面材料、装饰材料等。

四、土木工程材料的标准与工程建设规范

为了确保土木工程的质量，必须从材料的生产、运输、保管、施工、验收等方面全方位监控，而监控的依据就是规范。目前我国已制定了各种建筑材料的技术标准，它们包括产品的规格、分类、技术要求、检验方法、验收方法、验收标准、包装标志、运输和储存等要求。按照这些标准，企业就可以进行生产质量的控制，也可以以此评定产品质量合格与否，并为需求方对产品的质量进行验收提供了依据。

我国建筑材料标准分为国家标准、部委行业标准、地区标准和企业标准。国家标准和部委行业标准是全国通用标准。

世界各国对建筑材料均有各自的国家标准，如美国的“ASTM”标准、德国的“DIN”标准、英国的“BS”标准、日本的“JIS”标准等。另外，全世界统一使用“ISO”国际标准。

我国常用的标准有：

(1) 国家标准。国家标准有强制性标准（代号 GB）、推荐标准（代号 GB/T）。

(2) 部委行业标准。有建筑工业标准（代号 JG）、建材行业标准（代号 JC）、冶金行业标准（代号 YB）、交通行业标准（代号 JT）、铁道部标准（代号 TB）等。

另外，我国土木工程协会标准（代号 CCES）也是全国推荐标准，它具有前瞻性和引导性。标准表示方法一般是由标准名称，部门代号，编号和批准年份等组成。例如，国家标准《建筑用砂》（推荐性）为 GB/T 14684—2011，国家标准《钢筋混凝土热轧带肋钢筋》（强制性）为 GB 1499—1998。对强制性标准，任何技术（或产品）不得低于其规定的要求；对推荐性国家标准，也可执行其他标准。地方标准和企业标准所制订的技术要求应高于国家标准。

五、本课程的目的和要求

“土木工程材料”是针对土木类及相关专业开设的专业基础课。它是从工程实用的角度去研究材料的原料和生产、成分和组成、结构和构造、环境条件等对材料性能的影响以及其相互关系的一门应用学科。作为一个未来的土木工程技术人员，建筑材料的一些基本知识是必须具备的，这样才能在今后从事专业技术工作时，合理选择和使用建筑材料。

虽然材料品种、规格繁多，但常用的材料品种并不多，通过对常用的、有代表性的材料的学习，可以为今后工作中了解和运用其他材料打下基础。

土木工程材料课程的学习要抓住一个中心，即材料的性能。但如果我们孤立地去死记材料的性能实际上是很困难的。只有通过学习材料的组成、结构、构造和其性能的内在联系，以及影响这些性能的因素，才能从本质上去认识它。

此外，在学习土木工程材料课程时，可把相关内容分为三个层次：第一层次是土木工程材料基础知识。所谓基础知识，是指在土木工程中与建筑材料有关的术语，如标准试件、

标准强度、强度等级、屈服强度 (σ_s)、材料牌号、材料技术指标等。第二层次是材料的基本性质, 它包括材料的生产工艺, 材料的组成、结构、构造和性能的关系及其影响因素。这一层次要求学生重点掌握, 并能运用已有的理论知识对上述关系进行分析。第三层次是有关土木工程材料的基本技能, 指能够结合工程实际, 正确地选用材料; 且可以根据工程实际情况对材料进行改性, 设计、计算材料配比、材料强度、耐久性等。上述三个层次也是本门课程考核的重点。

在学习中, 通常可以通过对比法找出它们的共性和各自的特性。此外, 要抓住建筑材料中的典型材料、通用材料, 举一反三, 紧密联系工程实际问题, 在学习中寻求答案, 这样有助于增强学习的兴趣和效率。

本课程是一门实践性很强的课程, 为了配合理论教学, 还开设了必要的建筑材料试验。试验是本课程的重要教学环节, 通过试验可验证所学的基础理论, 熟悉材料的检验方法, 掌握一定的试验技能, 对培养分析和判断问题的能力、试验工作能力以及严谨的科学态度十分有益, 也为今后从事既有材料的改性、新材料的研制以及材料方面的科学研究打下基础。

第一章 材料的基本性质

各类建筑物是由土木工程材料构筑而成的。建筑物要保证其正常使用，就必须具备基本的强度、防水、保温、隔声、耐热、防火、防腐蚀等功能，而这些功能往往是所采用的建筑材料提供的。但是材料在各种外力、阳光、大气、水分及各种介质作用下，会发生受力变形、热胀冷缩、干湿变形、冻融交替、化学侵蚀等，这些因素都会使材料产生不同程度的破坏。为了使建筑物和构筑物能够安全、适用、耐久而又经济，必须在工程设计和施工中充分了解和掌握各种材料的性质和特点，以便正确、合理地选择和使用材料，使其性能满足使用的要求。

土木工程材料品种繁多，性质各异，有其共性，也有其各自的特性。本章将对工程材料在物理、力学等方面的各种共同性质作专题介绍，建立起主要概念，对其内涵和相互关系进行论述，以便在后续各章中直接应用。

第一节 材料的基本物理性质

一、密度

密度是指单位体积物质的质量，其单位可用 g/cm^3 、 kg/L 或 kg/m^3 表示。但是由于材料有密实的、多孔的和颗粒堆积等不同状态，材料的密度也就有密实密度、视密度、表观密度和堆积密度之分。

(1) 密实密度 (简称密度)。材料在密实状态下单位体积的质量称为材料的密实密度。用下式表示和计算：

$$\rho = m/V$$

式中 ρ —— 材料的密实密度 (g/cm^3 或 kg/m^3)；

m —— 材料的干质量 (g 或 kg)；

V —— 材料在密实状态下的体积 (cm^3 或 m^3)。

材料在密实状态下的体积是材料体积内固体物质所占的体积，不包括孔隙在内的体积。但实际中完全密实的材料是很少的，绝大多数的材料内部都是含有孔隙的。对于密实材料的密实体积，可用量尺计算或排水法测定，但对于有孔材料的密实体积，则需将其磨成细粉，并通过 0.25 mm 孔径的筛子，然后测其粉末的排水体积，并将此体积作为材料的密实体积。用此法获得的密度又称“真密度”。当然，理论上材料磨得越细，所测得的密实体积就越精确。

(2) 视密度。材料在自然状态下不含开口孔隙时单位体积的质量称为材料的视密度。

对于自身较为密实的颗粒堆积材料，如配置混凝土所用的砂、石等材料，可不必磨成细粉，而直接用颗粒排水测得体积（包括少量的封闭孔隙而不含开口孔隙的体积），这样计算得到的密度即视密度，按下式计算：

$$\rho' = m/V'$$

式中 ρ' ——颗粒堆积材料的视密度（ g/cm^3 或 kg/m^3 ）；

m ——颗粒堆积材料的干质量（ g 或 kg ）；

V' ——包含少量封闭孔隙而不含开口孔隙的颗粒体积（ cm^3 或 m^3 ）。

(3) 表观密度（又称体积密度）。材料在自然状态下单位体积的质量称为表观密度，用下式计算：

$$\rho_0 = m/V_0$$

式中 ρ_0 ——材料的表观密度（ g/cm^3 或 kg/m^3 ）；

m ——材料的质量（ g 或 kg ）；

V_0 ——材料自然状态下的体积（自然体积）（ cm^3 或 m^3 ）。

材料的自然体积是包括孔隙在内的体积，对于有开口孔的材料（如多孔砖等），还包括其开口孔的体积。通常是用规则的材料量尺计算或在材料表面涂蜡将开口孔隙封闭后用排水法测得其自然状态下的体积。

材料的表观密度，通常是指在干燥状态下的体积密度（即干体积密度）。但是材料在自然状态下不一定是完全干燥的，常含有一些水分，会影响表观密度的值，这时应标明其含水状态。在这种情况下计算表观密度时，材料的质量应该包括所含水的质量（即湿表观密度）。

(4) 堆积密度。颗粒材料或纤维材料在自然堆积状态下单位体积的质量称为堆积密度，用下式计算：

$$\rho'_0 = m/V'_0$$

式中 ρ'_0 ——材料的堆积密度（ g/cm^3 或 kg/m^3 ）；

m ——材料的质量（ g 或 kg ）；

V'_0 ——材料的堆积体积（ cm^3 或 m^3 ）。

材料的堆积体积是指颗粒或纤维在自然堆积状态下，包括空隙体积在内的自然体积。颗粒堆积的堆积体积要用已知容积的容器量得。堆积密度是颗粒材除以料松散堆积状态的密度，如果颗粒材料按照规定方法颠实后，其单位体积的质量则称为紧密密度。

材料的密实密度、视密度、体积密度和堆积密度，是材料的主要物理性质，可用于材料的孔隙率或空隙率计算以及材料质量与体积之间的换算，如材料的用量、运输量和堆积空间的计算，材料配合比的计算，构件自重的计算等。

二、密实度和孔隙率

(1) 密实度。密实度是指在材料的自然体积中，被固体物质所充实的程度。用材料中固体物质的体积占总体积的百分比表示：

$$D = (V/V_0) \times 100\%$$

亦可用材料的密实密度和体积密度计算：

$$D = V/V_0 = [(m/\rho) \div (m/\rho_0)] \times 100\%$$

式中 D —— 材料的密实度 (%)。

(2) 孔隙率。孔隙率是指在材料的自然中，孔隙体积所占的比例，用下式计算：

$$P = (V_0 - V)/V_0 = 1 - D = [1 - (\rho_0/\rho)] \times 100\%$$

式中 P —— 材料的孔隙率 (%)。

$$P + D = 1$$

材料的密实度和孔隙率，从两个不同的方面反映材料的同一种性质，即密实程度。材料的许多性质，如材料的体积密度、强度、吸水性、抗冻性、抗渗性、导热性、吸声性、耐腐蚀性等，都与材料孔隙率的大小和空隙特征有直接关系。

材料的空隙特征包括孔隙构造和孔隙粗细两个方面。孔隙的构造是指孔隙是封闭的或是开口连通的；孔隙粗细则是指孔隙是粗大的或是细微的。

三、填充率和空隙率

(1) 填充率。填充率是指在颗粒材料的堆积体积中，被颗粒所填充的程度，用下式表示：

$$D' = V'/V'_0 = (\rho'_0/\rho_0) \times 100\%$$

式中 D' —— 材料的填充率 (%)。

(2) 空隙率。空隙率是指颗粒材料的堆积体积中，颗粒间空隙体积所占的百分比，用下式表示：

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

式中 P' —— 材料的空隙率 (%)。

$$P' + D' = 1$$

材料的填充率和空隙率一般用来表示砂、石子、粉粒等颗粒堆积材料或纤维堆积材料的密实程度。

第二节 材料的力学性质

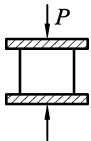
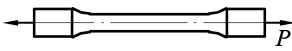

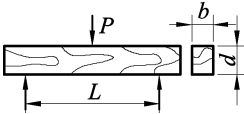
材料的力学性质又称机械性质，是指材料在外力作用下的变形性能和抵抗破坏的能力。材料对外力的抵抗行为取决于材料的组成、结构和构造。

一、强 度

材料抵抗外力或荷载破坏的能力称为材料的强度。

材料所受的外力有压缩、拉伸、剪切和弯曲等多种形式。根据材料所受外力形式的不同，材料的强度分为抗压强度、抗拉强度、抗剪强度和抗弯强度 4 种，表 1.1 是材料受力示意图和相应强度计算公式。

表 1.1 材料受力示意及相应强度计算公式

强度类型	试验装置举例	计算式	备 注
抗压强度 (f_y)	混凝土 	$f_y = \frac{P}{A}$	P ——破坏荷载, N; A ——受荷面积, mm; L ——跨度, mm; b ——断面宽度, mm; d ——断面高度, mm。
抗拉强度 (f_L)	钢 	$f_L = \frac{P}{A}$	
抗剪强度 (f_z)	木材 	$f_z = \frac{P}{A}$	
抗弯强度 (f_w)	木材 	$f_w = \frac{3}{2} \cdot \frac{PL}{bd^2}$	

土木工程材料的结构用材，一般以强度作为主要质量评定指标，即按强度的大小将材料划分为若干等级。对某种具体材料的强度等级的评定，应根据材料本身的特点、强度检测结果的波动特征和工程结构的需要，确定某种强度为指标，以试验检测结果的平均值或最低值，或统计计算值作为检测结果，并依据标准规范的最低限制做出判断。

在现代材料的应用中，人们增加了对耐久性的重视；同时人们注意到材料除了应具有较高的强度外，还应该有较低的表观密度。在跨度大、高度高的结构中尤其需要这样的材料，这就提出了一个新的概念——比强度。比强度定义为材料强度（见表 1.2）与表观密度之比。它是衡量材料轻质高性能的主要指标。土木工程中作为大量结构用材的混凝土必须向轻质高强的方向发展，才更具有市场前景。这也是土木工程材料的一个研究方向。

表 1.2 几种常用材料的强度

材料名称	抗压强度/MPa	抗拉强度/MPa	抗折强度/MPa
钢 材	—	300 ~ 1 500	—
松木（顺纹）	30 ~ 60	80 ~ 120	60 ~ 110
花 岗 岩	100 ~ 250	5 ~ 8	10 ~ 14
普通黏土砖	7.5 ~ 30	—	2 ~ 5
普通混凝土	7.5 ~ 60	0.7 ~ 4	0.7 ~ 4
水 泥	30 ~ 80	—	5 ~ 9

二、弹性与塑性

材料在外力作用下会产生变形，当外力撤销时，变形随之消失材料能够完全恢复原来形状的性质称为弹性。这个过程中发生的可以完全恢复的形变称为弹性变形。

材料在外力作用下产生变形，当外力撤销后，仍保持已发生的变形，并不产生裂缝的性质称为塑性。这种不能恢复的变形称为塑性变形。

但是纯弹性的材料是没有的。有的材料（如钢材）在受力不大时表现为弹性，超过弹性极限之后便出现塑性变形。同样纯塑性的材料也是没有的，因为塑性材料产生塑性变形的机理不同。所以在发生塑性变形后，材料都会有不同程度的恢复，因此没有绝对的塑性变形。许多材料（如混凝土等）在受力后，弹性变形和塑性变形是同时发生的，若撤销外力，其弹性变形将消失，但塑性变形仍然残留着。这种既有弹性又有塑性的变形称为弹塑性变形。

三、脆性和韧性

材料受力时，在没有明显变形的情况下突然断裂的性质为脆性。具有这种性质的材料称为脆性材料。一般来说，脆性材料的抗压强度比抗拉强度往往要高出几倍甚至几十倍，但抗冲击性却很差，受较大震动或冲击荷载作用时容易破坏。砖、石、陶瓷、玻璃、混凝土、铸铁等均属于脆性材料。

材料受力时，发生较大变形而不断裂的性质称为韧性。具有这种性质的材料称为韧性材料。对于有裂缝的材料，裂缝尖端附近的应力、应变很难准确测出，相应的单位体积内的断裂能也可较精确计算出。因此，材料的韧性一般采用冲击试验来进行检测，用冲击破坏时断口处单位面积所吸收的功来比较材料的冲击韧性，该值称为材料冲击韧性系数。

工程中所用的建筑钢材、木材等均属于韧性材料，多用于受冲击或震动荷载作用的结构物中，如桥梁、吊车梁以及抗震的结构。

四、硬度与耐磨性

1. 硬 度

材料表面抵抗其他较硬物体压入或刻画的能力称为硬度。实际上，硬度是材料表面的局部抗压强度。

测定材料硬度的方法有很多种，由于方法不同，对硬度的解释也有差异。按测定方法可以分为：压痕硬度、冲击硬度、回弹硬度、刻痕硬度等。金属材料多用压痕硬度，岩石矿物则多用刻痕硬度。

利用硬度与其他力学性质之间的相互关系，由硬度大致推算其他力学性质是材料性质分析的常用方法。如混凝土构件强度非破损检测中的回弹法，就是用混凝土回弹硬度推算混凝土的强度。在某些情况下，有时还用射击方法检测推算材料的强度。

一般说来，硬度大的材料耐磨性较强，公路路面、地面、大坝的溢流面、钢轨等都应该考虑材料的硬度。

2. 耐磨性

材料表面抵抗磨损的能力称为耐磨性。材料与其他物体间的相对运动会产生不同的摩擦，磨损是摩擦发生在表面的必然结果。

表示耐磨性的方法有几种。在交通土建工程中常用的是质量法，即以磨损率来表示。磨损率是一定摩擦行程下单位材料受磨损面积或单位质量的减少量。摩擦行程（时间）越大，磨损率越大。

材料的耐磨性还取决于材料的组成和内部构造以及硬度、强度等。在公路、铁路等工程中同样也应该考虑耐磨性的问题。

第三节 材料与水有关的性质

一、亲水性与憎水性

材料与水接触时，根据材料表面对水的吸附程度，分为亲水与憎水两种不同的情况。

大多数材料的表面对水的吸附力较大，水在材料表面呈摊开状[润湿角 $\theta < 90^\circ$ ，如图 1.1 (a) 所示]，材料表面能被水润湿，材料中的开口微孔能将水吸入，材料的这种性质称为亲水性，具有这种性质的材料称为亲水性材料。木材、砖、石、混凝土等材料都是亲水性材料。

少数材料的表面对水的吸附力较小，由于水的内聚力作用，水在材料表面收拢成珠状[润湿角 $\theta > 90^\circ$ ，如图 1.1 (b) 所示]，材料表面不易被润湿，材料中的微细孔隙不会将水吸入（若憎水性材料的缝隙进入了亲水的粉尘，应另当别论），材料的这种性质称为憎水性，具有这种性质的材料称为憎水性材料。沥青、石蜡等材料属于憎水性材料。憎水性材料常用作防水材料，或对亲水性材料表面作防水处理。

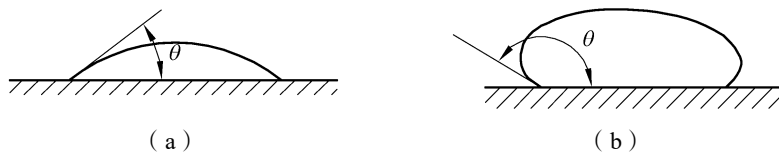


图 1.1 材料表面对水的吸附情况

二、吸水性

材料在水中吸水的性质称为吸水性。材料的吸水性用质量吸水率或体积吸水率表示。

材料在吸水饱和状态下，所吸收水分的质量与材料干质量比值的百分比称为材料的质量吸水率（简称吸水率）。用下式表示：

$$W_{\text{吸}} = [(m_{\text{饱}} - m_{\text{干}}) / m_{\text{干}}] \times 100\%$$

式中 $W_{\text{吸}}$ —— 材料的质量吸水率（%）；

$m_{\text{饱}}$ —— 材料吸水饱和时的质量（g）；

$m_{\text{干}}$ ——材料烘干至恒重时的质量 (g)。

对于轻质多孔材料的吸水率, 可用体积吸水率表示。材料在吸水饱和的状态下, 所吸水的体积与材料自然状态的体积比值的百分比称为材料的体积吸水率。用下式表示:

$$W_{\text{体}} = [(m_{\text{饱}} - m_{\text{干}})] / \rho_{\text{水}} V_0 \times 100\%$$

式中 $W_{\text{体}}$ ——材料的质量吸水率 (%) ;

V_0 ——材料在干燥状态时的自然体积 (cm³) ;

$\rho_{\text{水}}$ ——水的密度, 取 1 g/cm³。

材料吸水性的强弱, 取决于材料的亲水性、孔隙率和空隙特征。一般说来, 孔隙率较大的亲水性材料, 其吸水率大, 吸水性强。但封闭孔隙不能进水, 粗大孔隙虽然容易进水却不易存留, 而具有大量开口连通细微孔隙的亲水性材料 (如木材、砖、多孔混凝土等), 其吸水性是很强的。

三、吸湿性

材料在潮湿环境中吸收水分的性质称为吸湿性。材料的吸湿性用含水率表示。材料在自然状态下, 所含水分的质量与材料干质量比值的百分比称为材料的含水率。用下式表示:

$$W_{\text{含}} = [(m_{\text{含}} - m_{\text{干}})] / m_{\text{干}} \times 100\%$$

式中 $W_{\text{吸}}$ ——材料的质量吸水率 (%) ;

$m_{\text{含}}$ ——材料含水时的质量 (g)。

材料含水率的大小, 除与材料的亲水性、孔隙率、空隙特征有关之外, 还随着周围环境的温度、湿度而变化。当周围环境较为潮湿时, 材料将吸入水分, 使含水率增大; 反之, 当周围环境较为干燥时, 材料中的水分蒸发, 使含水率下降, 直至与外界湿度达到平衡为止。达到平衡时材料的含水率称为平衡含水率。

四、耐水性

材料在长期饱和水作用下保持其原有性质的能力称为耐水性。不同材料的耐水性有不同的含义: 结构材料的耐水性主要指材料受水后强度的变化, 而装饰材料的耐水性主要指材料受水后的颜色变化、霉变、是否会起泡起层等。

结构材料的耐水性用软化系数 $K_{\text{软}}$ 表示:

$$K_{\text{软}} = f_{\text{饱}} / f_{\text{干}}$$

式中 $f_{\text{饱}}$ ——材料在吸水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)。

材料在吸水后, 由于水分子的浸入, 削弱了材料微粒间的结合力, 并溶解其中易溶于水的成分, 使材料的强度有不同程度的下降, 严重者会完全丧失其强度 (如黏土)。

材料的软化系数, 其值一般为 0~1。 $K_{\text{软}}$ 越接近 1, 材料的耐水性越好。凡用于受水浸