

新编

土木工程材料 教程

主 编 • 吴 芳

副主编 • 贾福根 李瑞璟 王瑞燕

XINBIAN
TUMU GONGCHENG
CAILIAO **JIAOCHENG**

中国建材工业出版社

按最新规范编写

新编土木工程材料教程

主编 吴 芳

副主编 贾福根 李瑞璟 王瑞燕

中国建材工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

新编土木工程材料教程/吴芳主编. —北京: 中国建材
工业出版社, 2007. 5
ISBN 978-7-80227-200-2

I. 新… II. 吴… 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 030383 号

内 容 简 介

本书根据高等工科院校土木工程专业本科教学大纲编写, 内容包括土木工程材料的基本性质、天然石材、气硬性胶凝材料、水泥、混凝土、砂浆、墙材和屋面材料、金属材料、木材、有机高分子材料、沥青及沥青混合料、防水材料、绝热材料和吸声隔声材料、装饰材料等。主要介绍材料的基本成分、生产工艺、性质、选配应用、材料检验等基本理论和实验技能。全书根据最近颁发的新标准和新规范编写而成。各章后均附有复习思考题。

本书可作为土木工程专业及相近专业本科教材, 也可供有关科研、施工、生产人员参考。

新编土木工程材料教程

吴 芳 主编

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: 22.75

字 数: 560 千字

版 次: 2007 年 5 月第 1 版

印 次: 2007 年 5 月第 1 次

书 号: ISBN 978-7-80227-200-2

定 价: 36.00 元

本社网址: www.jcbs.com.cn

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) 88386906

前 言

本书为土木工程、建筑学、工程管理等土建类专业用书,是根据高等学校土建类《土木工程材料》教学大纲编写而成。近年来,有关新材料、新工艺的应用十分活跃,有关材料的技术标准和施工规程等在不断修改,本书力求吸收国内外土木工程材料的先进技术,并结合我国有关土木工程材料及应用情况进行编写。

内容包括土木工程材料的基本性质、天然石材、气硬性胶凝材料、水泥、混凝土、砂浆、墙材和屋面材料、金属材料、木材、有机高分子材料、沥青及沥青混合料、防水材料、绝热材料和吸声隔声材料、装饰材料等以及土木工程材料实验。每部分内容主要从材料的基本成分、生产工艺、性质,选配应用、材料检验等基本理论和实验技能方面介绍。针对土建类专业性质,重点在材料性质、选配应用、材料检验三个方面。

编写着重基本概念、基础理论、基本技能,力求理论性和实践性相结合,教学内容与实验内容相结合。全书根据最近颁发的新标准和新规范编写而成。为便于复习和思考,各章后均附有复习思考题。

本书由重庆大学吴芳担任主编,太原理工大学贾福根、河北工程大学李瑞璟、重庆交通大学王瑞燕担任副主编。具体编写分工如下:重庆大学吴芳编写绪论、第一章、第七章、第八章、第九章、第十三章,实验1、实验5、实验6、实验7;太原理工大学贾福根编写第五章、第六章,实验3、实验4;河北工程大学李瑞璟编写第二章、第三章、第四章、第十四章,实验2;重庆交通大学王瑞燕编写第十一章、第十二章,实验8、实验9;重庆交通大学何丽红编写第十章。

限于编者水平有限,书中不妥之处或错误在所难免,敬请广大师生、读者提出宝贵意见。

编者

2007年4月

目 录

绪 论	1
第一章 土木工程材料的基本性质	5
第一节 材料的组成与结构	5
第二节 材料的基本物理性质	8
第三节 材料的基本力学性质	15
第四节 材料的耐久性	17
第二章 天然石材	19
第一节 岩石的组成与分类	19
第二节 天然石材的技术性质	23
第三节 天然石材的加工类型及选用原则	25
第三章 气硬性无机胶凝材料	28
第一节 石 膏	28
第二节 石 灰	33
第三节 水玻璃	37
第四节 菱苦土	39
第四章 水 泥	42
第一节 通用硅酸盐水泥	42
第二节 特性水泥和专用水泥	59
第五章 混凝土	70
第一节 概 述	70
第二节 普通混凝土的组成材料	75
第三节 普通混凝土的主要技术性质	91
第四节 普通混凝土的质量控制	112
第五节 普通混凝土配合比设计	116
第六节 其他品种混凝土	125

第六章 建筑砂浆	135
第一节 建筑砂浆的组成材料.....	135
第二节 砂浆拌合物性质.....	136
第三节 砌筑砂浆.....	138
第四节 其他建筑砂浆.....	142
第七章 墙体材料和屋面材料	146
第一节 砌墙砖.....	146
第二节 墙用砌块.....	156
第三节 墙用板材.....	161
第四节 屋面材料.....	165
第八章 金属材料	168
第一节 钢的基本知识.....	168
第二节 钢的晶体组织和化学成分.....	170
第三节 建筑钢材的主要技术性能.....	173
第四节 钢材的热加工与冷加工.....	178
第五节 建筑钢材标准与选用.....	180
第六节 其他金属材料.....	188
第九章 木 材	192
第一节 木材的分类与构造.....	192
第二节 木材的性质.....	194
第三节 木材的干燥、防腐、防火.....	200
第四节 木材的应用.....	203
第十章 有机高分子材料	208
第一节 有机高分子材料基本知识.....	208
第二节 建筑塑料.....	212
第三节 胶粘剂.....	218
第四节 涂 料.....	223
第十一章 沥青及沥青混合料	229
第一节 沥青材料.....	229
第二节 沥青混合料的分类与组成结构.....	242
第三节 沥青混合料的路用性能.....	245

第四节 热拌热铺沥青混合料配合比设计·····	248
第五节 其他沥青混合料简介·····	258
第十二章 防水材料 ·····	260
第一节 防水卷材·····	260
第二节 防水涂料·····	269
第三节 建筑密封材料·····	275
第十三章 绝热材料和吸声隔声材料 ·····	278
第一节 绝热材料·····	278
第二节 吸声隔声材料·····	283
第十四章 装饰材料 ·····	287
第一节 装饰材料的基本特征与选用·····	287
第二节 常用装饰材料·····	289
土木工程材料实验 ·····	299
实验1 土木工程材料的基本物理性质试验·····	299
实验2 水泥试验·····	301
实验3 混凝土综合试验·····	308
实验4 建筑砂浆试验·····	321
实验5 烧结砖试验·····	325
实验6 钢筋试验·····	328
实验7 木材试验·····	333
实验8 沥青试验·····	337
实验9 沥青混合料试验·····	342
参 考 文 献 ·····	353

绪 论

一、土木工程与土木工程材料

土木工程包括建筑工程、道路桥梁工程、水利工程等建设性工程。用于土木工程的各种材料和制品，总称为土木工程材料。材料是一切土木工程的物质基础。据统计，在建设工程中，材料费用一般要占工程总造价的 50% 左右，有的高达 70%，因此按照建设工程对材料功能的要求及使用时的环境条件，正确合理地选用材料，做到才尽其能、物尽其用，对于保证工程的安全、实用、美观、耐久及造价适度等方面有着重大的意义。掌握土木工程材料的基本知识，正确、熟练地应用，是土木工程技术人員必须具备的专业素质。

一般来说，土木工程对材料的基本要求是：

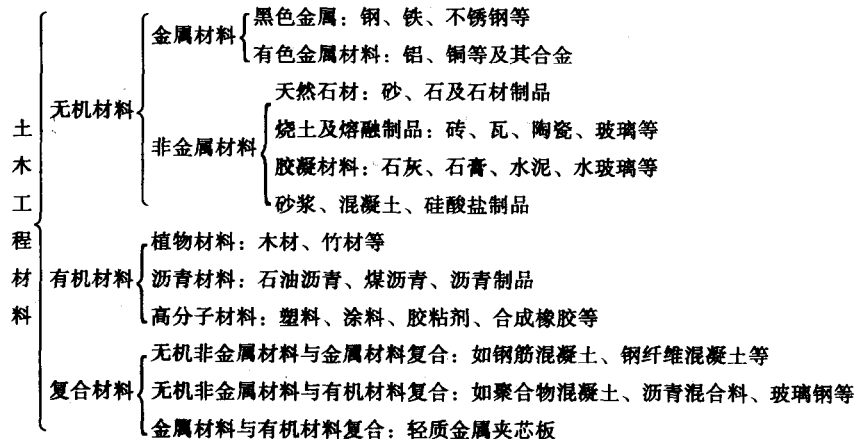
- (1) 必须具备足够的强度，能够安全地承受设计荷载；
- (2) 材料自身的质量以轻为宜（即表观密度较小），以减轻下部结构和地基的负荷；
- (3) 具有与使用环境相适应的耐久性，以减少维修费用；
- (4) 用于装饰的材料，应能美化房屋并产生一定的艺术效果；
- (5) 用于特殊部位的材料，应具有相应的特殊功能，例如屋面材料能隔热、防水，楼板和内墙材料能隔声等。

二、土木工程材料的分类

土木工程材料的种类繁多、组分各异，用途不一，可按多种方法进行分类。

1. 按土木工程材料化学成分分类

通常可分为有机材料、无机材料和复合材料三大类，如下所示：



2. 按土木工程材料的功能分类

可分为承重和非承重材料、保温和隔热材料、吸声和隔声材料、防水材料、装饰材料等。

3. 按用途分类

可分为结构材料、墙体材料、屋面材料、地面材料、饰面材料以及其他用途的材料等。

三、土木工程材料的历史与发展

土木工程材料是随着社会生产力和科学技术水平的提高而逐步发展起来的。

人类最早穴居巢处。随着社会生产力的发展,人类进入能制造简单工具的石器、铁器时代,才开始挖土、凿石为洞、伐木搭竹为棚,利用天然材料建造非常简陋的房屋,到人类能够用黏土烧制砖、瓦,用岩石烧制石灰、石膏之后,土木工程材料才由天然材料进入了人工生产阶段,为较大规模建造房屋创造了基本条件。我国的“秦砖汉瓦”、举世闻名的万里长城、都江堰水利工程,国外的埃及金字塔、古罗马角斗场、雅典卫城等都充分说明了古代人类在材料生产及使用方面的成就。

18、19 世纪,资本主义兴起,促进了工商业及交通运输业的蓬勃发展,原有的土木工程材料已不能与此相适应,在其他科学技术进步的推动下,土木工程材料进入了一个新的发展阶段。1824 年,英国人阿斯普定(J. Aspdin)采用人工配料,再经煅烧、磨细制造出水泥,并取得专利权。因这种水泥凝结后与英国波特兰岛的石灰石颜色相似,故称波特兰水泥(即我国的硅酸盐水泥)。该水泥于 1925 年用于修建泰晤士河水下公路隧道工程。钢材在 19 世纪中叶也得到应用。1850 年法国人朗波制造了第一只钢筋混凝土小船,1872 年在纽约出现了第一所钢筋混凝土房屋。钢材、水泥、混凝土及其他材料相继问世,为现代土木工程奠定了基础。

进入 20 世纪后,由于社会生产力突飞猛进,以及材料科学与工程学的形成和发展,土木工程材料不仅性能和质量不断改善,而且品种不断增加,以有机材料为主的化学建材异军突起,一些具有特殊功能的新型材料,如绝热材料、吸声隔声材料、耐热防火材料、防水抗渗材料以及耐磨、耐腐蚀、防爆和防辐射材料等应运而生。为适应现代建筑装饰装修的需要,玻璃、陶瓷、塑料、铝合金等各种新型建筑装饰材料更是层出不穷。

随着现代测试技术的发展,采用电子显微镜、X 射线衍射分析、测孔技术等先进仪器设备,可从微观和宏观两方面对材料的形成、组成、构造与材料性能之间的关系及其规律性和影响因素等进行研究。应用现代技术已可以实现按指定性能来设计和制造某些材料,以及对传统材料按要求进行各种改性。预期不久的将来,将研制出更多的新型多功能土木工程材料。

为了适应经济建设的发展需要,今后土木工程材料的发展将具有以下一些趋势:

(1) 开发高性能材料。例如轻质、高强、高耐久性、优异装饰性和多功能的材料,以及充分利用和发挥各种材料的特性,采用复合技术,制造出具有特殊功能的复合材料。

(2) 绿色材料。绿色材料又称生态材料或健康材料。它是指生产材料的原料尽可能少用天然资源,大量使用工业废渣、废液,采用低能耗制造工艺和不污染环境的生产技术。产

品配制和生产过程中不使用有害和有毒物质,产品设计应是以改善生活环境、提高生活质量为宗旨,以及产品可循环再利用,无污染环境的废弃物。绿色建材能满足可持续发展之需,已成为世界各国 21 世纪建材工业发展的战略重点。

(3) 提高经济效益。大力发展和使用不仅能给建设工程带来优良的技术效果,还同时具有良好经济效益的土木工程材料。

四、土木工程材料的标准化

产品标准化是现代工业发展的产物,是组织现代化大生产的重要手段,也是科学管理的重要组成部分。目前我国绝大多数的土木工程材料都制订有产品的技术标准,这些标准包括:产品规格、分类、技术要求、检验方法、验收规则、标志、运输和贮存等方面的内容。

土木工程材料的技术标准是产品质量的技术依据。对于生产企业,必须按标准生产合格的产品,同时它可促进企业改善管理,提高生产效率,实现生产过程合理化。对于使用部门,则应按标准选用材料,可使设计和施工标准化,从而可加速施工进度,降低建筑造价。再者,技术标准又是供需双方对产品质量验收的依据,是保证工程质量的先决条件。

目前,我国的技术标准分为四级:国家标准、部标准、地方标准和企业标准。国家标准是由国家标准局发布的全国性的指导技术文件,其代号为 GB;部标准也是全国性的指导技术文件,但它由主管生产部(或总局)发布,其代号按部名而定,如建材标准代号为 JC,建工标准的代号为 JG;地方标准是地方主管部门发布的地方性指导技术文件,其代号为 DB;企业标准则仅适用于本企业,其代号为 QB,凡没有制定国家标准、部标准的产品,均应制定企业标准。

标准的表示方法由标准名称,部门代号,编号和批准年份等组成,例如:《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55—2000,部门代号为 JG,表示建工行业、工程建设标准,编号为 55,批准年份为 2000 年。

随着我国对外开放,常常还涉及一些与土木工程材料关系密切的国际或外国标准,其中主要有:国际标准,代号为 ISO;美国材料试验学会标准,代号为 ASTM;日本工业标准,代号为 JIS;德国工业标准,代号为 DIN;英国标准,代号为 BS;法国标准,代号为 NF 等。

各行业的标准代号见下表。

各行业的标准代号

行业名称	建工行业	冶金行业	石化行业	交通行业	建材行业	铁路行业
标准代号	JG	YB	SH	JT	JC	TB

五、本课程的学习目的与学习方法

土木工程材料是一门实用性很强的专业基础课。它以数学、力学、物理、化学等课程为基础,而又为学习建筑、结构、施工等后续专业课程提供建材基本知识,同时它还为今后从事工程实践和科学研究打下必要的基础。

教材中对每一种土木工程材料的叙述,一般包括原材料、生产、组成、构成、性质、应

用、检验、运输和贮存等方面的内容。学习本课程的学生，多数是材料的使用者，所以学习重点应是掌握材料的性质并能合理地选用材料。要达到这一点，在学习时，就不但要了解每一种土木工程材料具有哪些性质，而且应对不同类型、不同品种材料的特性相互进行比较，只有掌握其特点，才能做到正确合理选用材料。同时，还应知道材料之所以具有某种性质的基本原理，以及材料的运输和贮存等注意事项。

实验课是本课程的重要教学环节。通过实验，一方面要学会对各种常用土木工程材料的检验方法，能对土木工程材料进行合格性判断和验收；另一方面是提高实践技能，能对实验数据、实验结果进行正确的分析和判断，培养科学认真的态度和实事求是的工作作风。本课程安排了9个实验，其中包括1个综合性实验。

第一章 土木工程材料的基本性质

土木工程结构都会承受一定荷载并经受周围介质的作用。所以，土木工程材料应具有抵抗一定的温度以及抵抗周围介质（空气及其中的水蒸气、水及其溶于其中的物质、温度和水分的变化、水和冰的冻融循环等）的物理化学作用的能力。土木工程材料应具备哪些性质要根据材料在结构中的功用和所处的环境来决定。一般来说，土木工程材料的性质可归纳为：物理性质；力学性质；耐久性质。

本章所讨论的各种性质是一般土木工程材料经常考虑的性质，即土木工程材料的基本性质。本章主要介绍土木工程材料各种基本性质的概念、表示方法及有关的影响因素。通过本章学习，掌握表示材料性质的术语并能较熟练地运用。

第一节 材料的组成与结构

一、材料的组成

材料的组成不仅影响材料的化学性质，也是决定材料的物理、力学性质的重要因素。材料的组成包括材料的化学组成、矿物组成和相组成。

1. 化学组成 (chemical composition)

化学组成是指构成材料的化学元素及化合物的种类和数量。当材料与外界自然环境以及各类物质相接触时，它们之间必然要按化学变化规律发生作用。根据化学组成可大致地判断出材料的一些性质，如耐久性、化学稳定性等。

2. 矿物组成 (mineral composition)

将无机非金属材料中具有特定的晶体结构、特定的物理力学性能的组成结构称为矿物。矿物组成是指构成材料的矿物的种类和数量。水泥因所含有的熟料矿物的不同或其含量的不同，则所表现出的水泥性质就各有差异。例如水泥熟料的矿物组成为：硅酸三钙 ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) 37% ~ 60%、硅酸二钙 ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) 15% ~ 37%、铝酸三钙 ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) 7% ~ 15%、铁铝酸四钙 ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) 10% ~ 18%。若其中硅酸三钙含量提高，则水泥硬化速度较快，强度较高。

3. 相组成 (phase composition)

材料中具有相同物理、化学性质的均匀部分称为相。自然界中的物质可分为气相、液相和固相。同种物质在温度、压力等条件发生变化时常常会转变其存在的状态，如由气相转变为液相或固相。土木工程材料大多数是多相固体，凡由两相或两相以上物质组成的材料称为复合材料。例如，混凝土可认为是集料颗粒（集料相）分散在水泥浆基体（基相）中所组成的两相复合材料。

二、材料的结构

材料的结构是决定材料性质的极其重要因素。材料的结构可分为：宏观结构、细观结构和微观结构。

1. 宏观结构 (macrostructure)

土木工程材料的宏观结构是指用肉眼或放大镜能够分辨的粗大组织。其尺寸在 10^{-3} m 级以上。

土木工程材料的宏观结构，按不同特征有不同的结构：

(1) 按孔隙特征可分为

①致密结构

可以看作无宏观层次的孔隙存在，如钢铁、有色金属、致密天然石材、玻璃、玻璃钢、塑料等。

②多孔结构

指具有粗大孔隙的结构，如加气混凝土、泡沫混凝土、泡沫塑料及人造轻质多孔材料。

③微孔结构

是指具有微细孔隙的结构，如石膏制品、烧结黏土制品等。

(2) 按存在状态或构造特征分为

①堆聚结构

由集料与胶凝材料胶结成的结构。具有这种结构的材料种类繁多，如水泥混凝土、砂浆、沥青混合料等均可属这类结构的材料。

②纤维结构

由纤维状物质构成的材料结构。如木材、玻璃钢、岩棉、钢（玻璃）纤维增强水泥混凝土与制品等。

③层状结构

天然形成或人工采用粘结等方法将材料叠合而成层状的材料结构。如胶合板、纸面石膏板、蜂窝夹芯板、各种新型节能复合墙板等。

④散粒结构

指松散颗粒状结构。如混凝土集料、膨胀珍珠岩等。

2. 细观结构 (submicroscopical structure)

细观结构（原称亚微观结构）是指用光学显微镜所能观察到的材料结构。其尺寸范围在 $10^{-3} \sim 10^{-6}$ m。土木工程材料的细观结构只能针对某种具体材料来进行分类研究。对混凝土可分为基相、集料相、界面；对天然岩石可分为矿物、晶体颗粒、非晶体组织；对钢铁可分为铁素体、渗碳体、珠光体；对木材可分为木纤维、导管髓线、树脂道。

材料细观结构层次上的各种组织性质各不相同，这些组织的特征、数量、分布和界面性质对材料性能有重要影响。

3. 微观结构 (microstructure)

微观结构是指原子分子层次的结构。可用电子显微镜或 X 射线来分析研究该层次上的

结构特征。微观结构的尺寸范围在 $10^{-6} \sim 10^{-10} \text{m}$ 。材料的许多物理性质如强度、硬度、熔点、导热、导电性都是由其微观结构所决定的。

在微观结构层次上，材料可分为晶体、玻璃体、胶体。

(1) 晶体 (crystal)

质点 (离子、原子、分子) 在空间上按特定的规则呈周期性排列时所形成的结构称晶体结构。晶体具有如下特点：

- ①具有特定的几何外形，这是晶体内部质点按特定规则排列的外部表现。
- ②具有各向异性，这是晶体的结构特征在性能上反映。
- ③具有固定的熔点和化学稳定性，这是晶体键能和质点所处最低的能量状态所决定的。
- ④结晶接触点和晶面是晶体破坏或变形的薄弱部分。

根据组成晶体的质点及化学键的不同，晶体可分为：

- ①原子晶体：中性原子以共价键而结合成的晶体，如石英等。
- ②离子晶体：正负离子以离子键而结合成的晶体，如 CaCl_2 等，
- ③分子晶体：以分子间的范德华力即分子键结合而成的晶体，如有机化合物。
- ④金属晶体：以金属阳离子为晶格，由自由电子与金属阳离子间的金属键结合而成的晶体，如钢铁材料。

由于各种材料在微观结构上的差异，它们的强度、变形、硬度、熔点、导热性等各不相同。可见微观结构对其物理力学性质影响巨大。

在复杂的晶体结构中，其键结合的情况也是相当复杂的。土木工程材料中占有重要地位的硅酸盐，其结构是由硅氧四面体单元 SiO_4 (图 1-1) 与其他金属离子结合而成，其中就是由共价键与离子键交互构成的。 SiO_4 四面体可以形成链状结构，如石棉。其纤维与纤维之间的键合力要比链状结构方向上的共价键弱得多，所以容易分散成纤维状。黏土、云母、滑石等则是由 SiO_4 四面体单元互相连接成片状结构，许多片状结构再叠合成层状结构。层与层之间是由范德华力结合的，故其键合力弱，此种结构容易剥成薄片。石英是由 SiO_4 四面体形成的立体网状结构，所以具有坚硬的质地。

(2) 玻璃体 (vitreous body)

玻璃体也称不定形体或非晶体，如无机玻璃。玻璃体的结合键为共价键与离子键。其结构特征为构成玻璃体的质点在空间上呈非周期性排列，如图 1-2 所示。

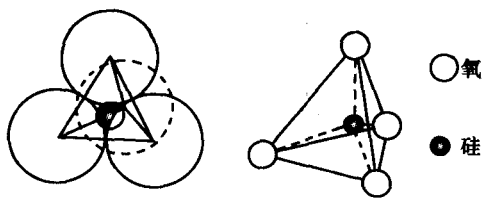


图 1-1 硅氧四面体示意图

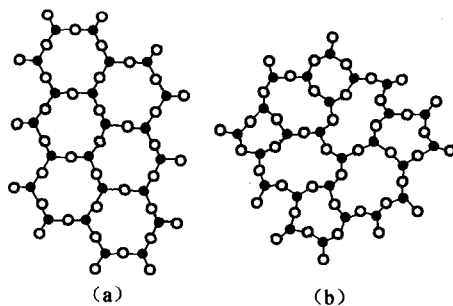


图 1-2 晶体与非晶体原子排列示意图

(a) 晶体; (b) 非晶体

具有一定化学成分的熔融物质,若经急冷,则质点来不及按一定规则排列,便凝固成固体,此时则得玻璃体结构。

玻璃体是化学不稳定的结构,容易与其他物质起化学作用。如火山灰、炉渣、粒化高炉矿渣与石灰在有水的条件下起硬化作用,而被利用作土木工程材料。玻璃体在烧结黏土制品或某些天然岩石中起着胶粘剂的作用。

(3) 胶体 (colloid)

粒径为 $10^{-7} \sim 10^{-9} \text{m}$ 的固体颗粒作为分散相,称为胶粒,分散在连续相介质中形成的分散体系被称为胶体。

在胶体结构中,若胶粒较少,液体性质对胶体结构的强度及变形性质影响较大,称这种胶体结构为溶胶结构。若胶粒数量较多,胶粒在表面能的作用下发生凝聚作用,或由于物理化学作用而使胶粒产生彼此相连,形成空间网络结构,从而使胶体结构的强度增大,变形性减小,形成固态或半固状态,称此胶体结构为凝胶结构。

与晶体及玻璃体结构相比,胶体结构强度较低、变形较大。

第二节 材料的基本物理性质

一、材料的密度、表观密度与堆积密度

1. 密度 (density)

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:

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

式中 ρ ——密度, kg/m^3 ;

m ——材料的质量, kg ;

V ——材料在绝对密实状态下的体积, m^3 。

绝对密实状态下的体积是指不包括孔隙在内的体积。除了钢材、玻璃等少数材料外,绝大多数材料都有一些孔隙。在测定有孔隙材料的密度时,应把材料磨成细粉,干燥后,用李氏瓶(图 1-3)测定其密实体积。材料磨得越细,测得的密度就越精确。砖、石材等块材料的密度即用此法测得。

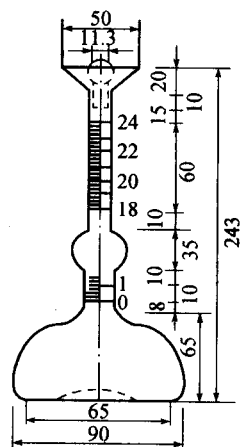


图 1-3 李氏瓶

在测量某些致密材料(如卵石等)的密度时,直接以块状材料为试样,以排液置换法测量其体积,材料中部分与外部不连通的封闭孔隙无法排除,这时所求得的密度称为近似密度(ρ_a)。混凝土配合比中,砂、石用量计算时往往需要知道的是砂、石的近似密度。

2. 表观密度 (apparent density)

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:

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

式中 ρ_0 ——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，或称表观体积， m^3 。

材料的表观体积是指包含内部孔隙的体积。当材料孔隙内有水分时，其质量和体积均将有所变化，故测定表观密度时，须注明其含水情况。一般是指材料在气干状态（长期在空气中干燥）下的表观密度。在烘干状态下的表观密度，称为干表观密度。

3. 堆积密度 (bulk density)

堆积密度是指粉状或粒状材料，在堆积状态下，单位体积的质量，按下式计算：

$$\rho'_0 = \frac{m}{V'_0}$$

式中 ρ'_0 ——堆积密度， kg/m^3 ；
 m ——材料的质量， kg ；
 V'_0 ——材料的堆积体积， m^3 。

测定散粒材料的堆积密度时，材料的质量是指填充在一定容器内的材料质量，其堆积体积是指所用容器的容积而言。因此，材料的堆积体积包含了颗粒之间的空隙。

在土木工程中，计算材料用量、构件的自重、配料计算以及确定堆放空间时，经常要用到材料的密度、表观密度和堆积密度等数据。常用建筑材料的密度、表观密度、堆积密度的数据见表 1-1。

表 1-1 常用建筑材料的密度、表观密度及堆积密度

材 料	密度 ρ (kg/m^3)	表观密度 ρ_0 (kg/m^3)	堆积密度 ρ'_0 (kg/m^3)
石灰岩	2600	1800 ~ 2600	—
花岗岩	2800	2500 ~ 2900	—
碎石 (石灰岩)	2600	—	1400 ~ 1700
砂	2600	—	1450 ~ 1650
黏 土	2600	—	1600 ~ 1800
普通黏土砖	2500	1600 ~ 1800	—
黏土空心砖	2500	1000 ~ 1400	—
水 泥	3100	—	1200 ~ 1300
普通混凝土	—	2100 ~ 2600	—
轻集料混凝土	—	800 ~ 1900	—
木 材	1550	400 ~ 800	—
钢 材	7850	7850	—
泡沫塑料	—	20 ~ 50	—

二、材料的密实度与孔隙率

1. 密实度 (dense condition)

密实度是指材料体积内被固体物质充实的程度，按下式计算：

密实度 $D = \frac{V}{V_0} \cdot 100\%$ 或 $D = \frac{\rho_0}{\rho} \cdot 100\%$

2. 孔隙率 (porosity)

孔隙率是指材料体积内, 孔隙体积所占的比例。用下式表示:

$$\text{孔隙率 } P = \frac{V_0 - V}{V_0} = 1 - \frac{V}{V_0} = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right) \cdot 100\%$$

即 $D + P = 1$ 或 密实度 + 孔隙率 = 1

孔隙率的大小直接反映了材料的致密程度。材料内部孔隙的构造, 可分为连通的与封闭的两种, 如图 1-4 所示。连通孔隙不仅彼此贯通且与外界相通。而封闭孔隙则不仅彼此不连通且与外界相隔绝。孔隙按尺寸大小又分为极微细孔隙、细小孔隙和较粗孔隙。孔隙大小的分布对材料的性能影响较大。

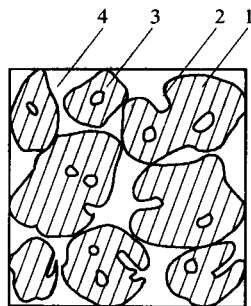


图 1-4 散粒材料孔隙构造示意图

1—颗粒中固体物质; 2—颗粒的开口孔隙;
3—颗粒的闭口孔隙; 4—颗粒间的空隙

三、材料的填充率与空隙率

1. 填充率 (fill ratio)

填充率是指散粒材料在某堆积体积中, 被其颗粒填充的程度, 按下式计算:

填充率 $D' = \frac{V_0}{V'_0} \cdot 100\%$ 或 $D' = \frac{\rho'_0}{\rho_0} \cdot 100\%$

2. 空隙率 (void ratio)

空隙率是指散粒材料在某堆积体积中, 颗粒之间的空隙体积所占的比例, 用下式表示:

$$\text{空隙率 } P' = \frac{V'_0 - V_0}{V'_0} = 1 - \frac{V_0}{V'_0} = \left(1 - \frac{\rho'_0}{\rho_0}\right) \cdot 100\%$$

空隙率的大小反映了散粒材料的颗粒互相填充的致密程度。空隙率可作为控制混凝土集料级配与计算含砂率的依据。

四、材料的亲水性和憎水性 (hydrophilic and hydrophobic nature)

材料与水接触, 首先遇到的问题就是材料是否能被水润湿。润湿是水被材料表面吸附的过程。它和材料本身的性质有关。

当水与材料在空气中接触时, 将出现图 1-5(a) 或图 1-5(b) 的情况。在材料、水和空气的交界处, 沿水滴表面的切线与水和固体接触面所成的夹角 θ (润湿边角) 愈小, 浸润性愈好。

(1) 如果润湿边角 θ 为零, 则表示该材料完全被水所浸润;

(2) 当润湿边角 $\theta \leq 90^\circ$ 时, 如图 1-5(a) 所示, 水分子之间的内聚力小于水分子与材料分子间的相互吸引力, 此种材料称为亲水性材料;

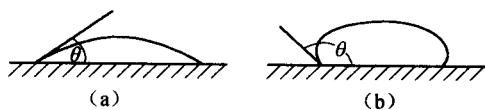


图 1-5 材料润湿边角

(a) 亲水材料; (b) 憎水材料