

面 向 21 世 纪 课 程 教 材

高校土木工程学科专业指导委员会规划推荐教材

土 木 工 程 材 料

湖南大学 天津大学
同济大学 东南大学 合编

中 国 建 筑 工 业 出 版 社

图书在版编目 (CIP) 数据

土木工程材料/湖南大学等合编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2002

面向 21 世纪课程教材. 高校土木工程学科专业指导委员会规划推荐教材

ISBN 7-112-04784-6

I. 土… II. 湖南大学等 III. 建筑材料-高等学校-教材 IV. TU5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 041308 号

本书共分为十章, 内容包括绪论, 建筑材料的基本性质, 建筑钢材, 无机胶凝材料, 水泥混凝土及砂浆, 砌筑材料, 沥青及沥青混合料, 建筑塑料与有机粘合剂, 木材, 建筑功能材料, 装饰材料及附录。

本书适用于土木工程专业, 也可用于土木建筑类其他专业, 并可供土木工程设计、施工、科研等相关人员学习参考。

面向 21 世纪课程教材

高校土木工程学科专业指导委员会规划推荐教材

土木工程材料

湖南大学 天津大学
同济大学 东南大学 合编

*

中国建筑工业出版社出版 (北京西郊百万庄)

新华书店总店科技发行所发行

世界知识印刷厂印刷

*

开本: 787×960 毫米 1/16 印张: 21¼ 字数: 425 千字

2002 年 7 月第一版 2002 年 7 月第一次印刷

印数: 1—6000 册 定价: 33.40 元

ISBN 7-112-04784-6

TU·4273 (10130)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本社网址: <http://www.china-abp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

前 言

由湖南大学、天津大学、同济大学、东南大学联合编写的《建筑材料》自1979年出版以来，已连续出版了四版。由于国家本科专业目录的调整，现有的土木工程专业涵盖原有的建筑工程、交通土建工程、桥梁工程、地下工程、矿井工程等专业，原有教材难以满足国家拓宽专业口径的要求。为了适应土木工程专业课程教学的要求，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，在原有《建筑材料》（第四版）的基础上，删去或缩减了已过时的或不常用的部分传统材料，更新和补充了部分新型材料；对部分章节的编排作了调整，并更名为《土木工程材料》。全书尽可能地按照国家的最新标准、规范和规程编写，并在内容上注意推陈出新，部分章节介绍了当代土木工程材料研究的前沿，希望对学生有所启发，并能提高学生的创新意识。

本书由湖南大学黄政宇、吴慧敏教授主编，同济大学吴科如教授主审。各章编写人员为：绪论—吴科如（同济大学），第一章、第四章第六节—李志国（天津大学），第二章—吴慧敏（湖南大学），第三章、第六章—黄政宇（湖南大学），第四章第一、二、三、四节—刘蕙兰（天津大学），第四章第五节—张雄、吴科如（同济大学），第五章—秦鸿根（东南大学），第七章、第八章—钱春香（东南大学），第九章第一、二、四节—叶枝荣（同济大学），第九章第三节、第十章—马一平（同济大学），附录—彭勃（湖南大学）。

本书主要适用于土木工程专业，也可用于土木建筑类其他专业。并可供土木工程设计、施工、科研、管理和监理人员学习参考。

由于土木工程材料的发展很快，新材料、新品种不断涌现，且各行业的技术标准不统一。加上我们的水平所限，书中的疏漏、不妥、甚至错误之处恐难避免，欢迎广大教师及读者批评指正。

目 录

绪论	1
第 1 章 土木工程材料的基本性质	4
§ 1.1 材料科学的基本理论	4
§ 1.2 材料的基本物理性质	8
§ 1.3 材料的基本力学性质	12
§ 1.4 材料的耐久性	15
思考题	16
第 2 章 建筑钢材	18
§ 2.1 金属的微观结构及钢材的化学组成	18
§ 2.2 建筑钢材的主要力学性能	24
§ 2.3 钢材的冷加工强化及时效强化、热处理和焊接	30
§ 2.4 钢材的防火和防腐蚀	33
§ 2.5 建筑钢材的品种与选用	35
思考题	42
第 3 章 无机胶凝材料	43
§ 3.1 气硬性胶凝材料	43
§ 3.2 硅酸盐水泥	51
§ 3.3 掺混合材料的硅酸盐水泥	62
§ 3.4 其他水泥	69
思考题	74
第 4 章 水泥混凝土及砂浆	75
§ 4.1 普通混凝土的组成材料	76
§ 4.2 普通混凝土的主要技术性质	100
§ 4.3 普通混凝土的质量控制	126
§ 4.4 普通混凝土的配合比设计	132
§ 4.5 水泥混凝土技术进展	144
§ 4.6 砂浆	157
思考题	167
第 5 章 砌筑材料	170
§ 5.1 砌墙砖	170
§ 5.2 砌块	175

§ 5.3 砌筑用石材	178
思考题	181
第 6 章 沥青及沥青混合料	183
§ 6.1 沥青材料	183
§ 6.2 沥青混合料的组成与性质	194
§ 6.3 沥青混合料的配合比设计	197
思考题	202
第 7 章 建筑塑料与有机粘合剂	203
§ 7.1 高分子化合物的基本知识	203
§ 7.2 合成高分子材料在土木工程中的应用	210
思考题	219
第 8 章 木材	221
§ 8.1 木材的分类与构造	221
§ 8.2 木材的主要性能	224
§ 8.3 木材的干燥、防腐和防火	231
思考题	232
第 9 章 建筑功能材料	233
§ 9.1 防水材料	233
§ 9.2 灌浆材料	247
§ 9.3 绝热材料	251
§ 9.4 吸声隔声材料	258
思考题	263
第 10 章 装饰材料	264
§ 10.1 概述	264
§ 10.2 装饰石材	267
§ 10.3 建筑陶瓷装饰制品	270
§ 10.4 建筑装饰玻璃	273
§ 10.5 金属装饰材料	278
§ 10.6 建筑塑料装饰制品	280
§ 10.7 建筑装饰木材	282
§ 10.8 建筑装饰涂料	283
思考题	284
附录 常用材料试验简介	285
试验一 材料基本物理性质试验	285
试验二 水泥试验	288
试验三 集料试验	298

试验四	普通混凝土试验·····	305
试验五	钢筋试验·····	313
试验六	沥青试验·····	316
试验七	沥青混合料试验·····	322
参考文献	·····	331

绪 论

土木工程材料指土木工程中使用的各种材料及制品，它是一切土木工程的物质基础。在我国现代化建设中，土木工程占有极为重要的地位。由于组分、结构和构造不同，土木工程材料品种门类繁多、性能各不相同、价格相差悬殊，同时在土木工程中用量巨大，因此，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、耐久及造价有着重大的意义。一般来说，优良的土木工程必须具备足够的强度，能够安全地承受设计荷载；自身的重量（表观密度）以轻为宜，以减少下部结构和地基的负荷；具有与使用环境相适应的耐久性，以便减少维修费用；用于装饰的材料，应能美化房屋并产生一定的艺术效果；用于特殊部位的材料，应具有相应的特殊功能，例如屋面材料要能隔热，防水；楼板和内墙材料要能隔声等。除此之外，土木工程材料在生产过程中还应尽可能保证低能耗、低物耗及环境良好。

土木工程材料可按不同原则进行分类。根据材料来源，可分为天然材料及人造材料；根据其功能，可分为结构材料、装饰材料、防水材料、绝热材料等。目前，通常根据组成物质的种类及化学成分，将土木工程材料分为无机材料、有机材料和复合材料三大类，各大类中又可进行更细的分类，如图 0-1 所示。

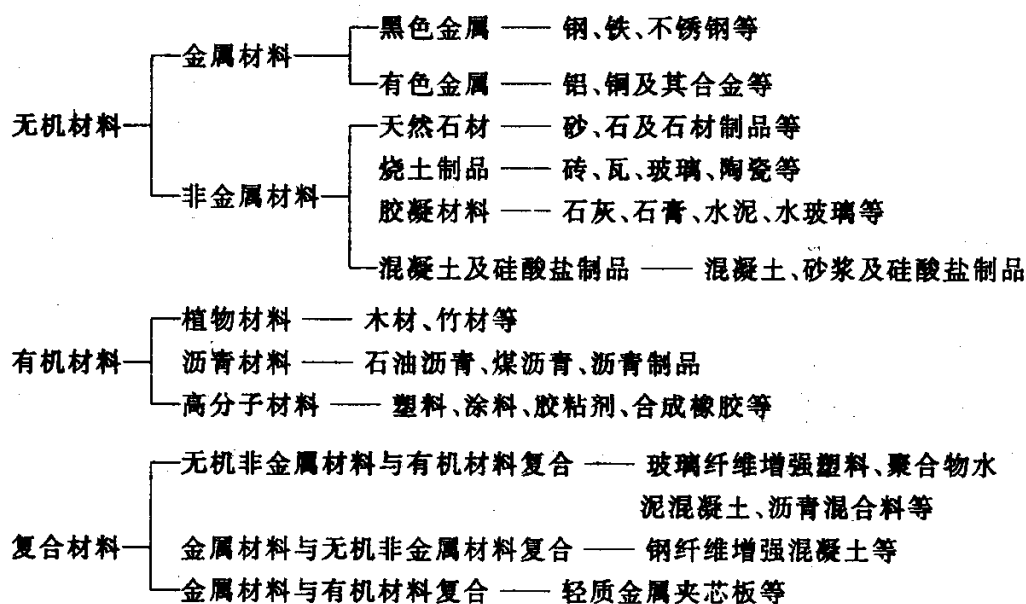


图 0-1 土木工程材料的分类

土木工程材料是随着人类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

简陋的房屋等土木工程。到了人类能够用粘土烧制砖、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，为较大规模建造土木工程创造了基本条件。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，钢材、水泥、混凝土及其他材料相继问世，为现代土木工程建筑奠定了基础。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土木工程材料，如绝热材料、吸声隔声材料、各种装饰材料、耐热防火材料、防水抗渗材料以及耐磨、耐腐蚀、防爆、防辐射材料和其他环保材料等等应运而生。

土木工程材料是土木工程的物质基础，土木工程材料的发展与土木工程技术的进步有着不可分割的联系，它们相互制约、相互依赖和相互推动。新型土木工程材料的诞生推动了土木工程设计方法和施工工艺的变化，而新的土木工程设计方法和施工工艺对土木工程材料品种和质量提出更高和多样化的要求。随着人类的进步和社会的发展，更有效地利用地球有限的资源，全面改善及迅速扩大人类工作与生存空间势在必行，未来的土木工程必将需要在各种苛刻的环境条件下，实现多功能化，甚至智能化，满足愈来愈高的安全、舒适、美观、耐久的要求，土木工程材料在原材料、生产工艺、性能及产品形式诸方面均将面临可持续发展和人类文明进步的严酷挑战。今后，在原材料方面要最大限度的节约有限的资源，充分利用再生资源及工农业废料；在生产工艺方面要大力引进现代技术，改造或淘汰陈旧设备，降低原材料及能源消耗，减少环境污染；在性能方面要力求轻质、高强、耐久、多功能及结构-功能（智能）一体化；在产品型式方面积极发展预制技术，逐步提高构件化、单元化的水平。当前具有自感知、自调节、自修复能力的土木工程材料的开发研制以及各种机敏或智能材料在土木工程中应用的研究正在蓬勃开展。例如，已经证实，碳纤维机敏混凝土和水泥基压电机敏复合材料可以对结构内部的应力状态进行自觉监测，并消除有害内力，仿生自愈合混凝土可以对结构中出现的损伤进行自觉修复。此外，光纤、压电材料、形状记忆合金和电（磁）流变体等机敏或智能材料已尝试作为传感器和驱动器应用于土木工程领域。

各种土木工程材料，在原材料、生产工艺、结构及构造、性能及应用、检验及验收、运输及储存等方面既有共性，也有各自的特点，全面掌握土木工程材料的知识，需要学习和研究的内容范围很广。对于从事土木工程设计、施工、科研和管理的专业人员，掌握各种土木工程材料的性能及其适用范围，以及在种类繁多的土木工程材料中选择最合适的加以应用，最为重要。除了那些在施工现场直接配制或加工的材料（如砂浆、混凝土、金属焊接等）需要深入学习其原材料及生产工艺外，对于以产品形式直接在施工现场使用的材料，也需要了解其原材料、

生产工艺及结构、构造的一般知识,以明了这些因素是如何影响材料的性能的。此外,作为有关生产、设计应用、管理和研究等部门应共同遵循的依据,对于绝大多数常用的土木工程材料,均由专门的机构制定并发布了相应的“技术标准”,对其质量、规格和验收方法等作了详尽而明确的规定。在我国,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,如建材标准的代号为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;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。随着我国对外开放和加入世界贸易组织(WTO),常常还涉及到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。熟悉有关的技术标准,并了解制定标准的科学依据,也是十分必要的。

本课程作为土木工程类专业的基础课,将通过课堂教学,结合现行的技术标准,以土木工程材料的性能及合理使用为中心,进行系统讲述。同时,还将安排必要的实验课。在本课程的学习过程中,要注意了解事物的本质和内在联系。例如学习某一种材料的性质时,不能只满足于知道该材料具有哪些性质,有哪些表象,更重要的是应当知道形成这些性质的内在原因和这些性质之间的相互关系。对于同一类属的不同品种的材料,不但要学习它们的共性,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。例如学习各种水泥时,不仅要知道它们都能在水中硬化等共同性质,更要注意它们的各自质的区别,因而反映在性能上的差异。一切材料的性质都不是固定不变的,在使用过程中,甚至在运输和储存过程中,它们的性质都在或多或少、或快或慢、或显或隐地不断引起变化。为了保证工程的耐久性和控制材料在使用前的变质问题,我们还必须了解引起变化的外界条件和材料本身的内在原因,从而了解变化的规律。

实验课是本课程的很重要教学环节,其任务是验证基本理论,学习试验方法,培养科学研究能力和严谨的科学态度。进行实验时,要严肃认真,一丝不苟。即使对一些操作简单的实验,也不应例外。要了解实验条件对实验结果的影响,并对实验结果做出正确的分析和判断。

第1章 土木工程材料的基本性质

在土木工程各类建筑物中,材料要受到各种物理、化学、力学因素单独及综合作用。例如用于各种受力结构中的材料,要受到各种外力的作用;而用于其他不同部位的材料,又会受到风霜雨雪的作用;作为工业或基础设施的建筑物之中的材料,由于长期暴露于大气环境中或与酸性、碱性等侵蚀性介质相接触,除受到冲刷磨损、机械震动之外,还会受到化学侵蚀、生物作用、干湿循环、冻融循环等破坏作用。可见土木工程材料在实际工程中所受的作用是复杂的。因此,对土木工程材料性质的要求是严格和多方面的。

§ 1.1 材料科学的基本理论

1.1.1 材料科学与工程

土木工程材料学是材料科学与工程的一个组成部分。材料科学与工程是研究材料的组成、结构、生产制造工艺与其性能及使用关系的科学和实践。

工程上把能用于结构、机器、器件或其他产品的具有某些性能的物质,称为材料。如金属、陶瓷、超导体、塑料、玻璃、木材、纤维、砂子、石材等。关于这些材料组成的基本理论及不同结构层次的构造理论,各种材料的组成、结构对其物理力学性能的影响,以及利用其组成、结构、性能相互的内在关系来设计、加工、生产和控制材料的使用等相关的理论方法和技术原理,是材料科学与工程的主要研究内容。

随着工业化和城市化的迅速发展,人类消耗的自然资源越来越多,自然资源受到破坏,有的资源面临枯竭,如何更有效的利用自然资源,更科学合理的利用材料,适应环境保护及可持续发展,是材料科学与工程面临的新课题。

1.1.2 材料的组成

材料的组成是决定材料性质的最基本因素。

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

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。当材料与环境及各类物质相接触时,它们之间必然要按化学规律发生相互作用。例如,材料受到酸、碱、盐类物质的侵蚀作用;材料遇火时的可燃性、耐火性;钢材及其他金属

材料的锈蚀和腐蚀等，都是由其化学组成所决定的。

2. 矿物组成

材料科学中常将具有特定的晶体结构、具有特定的物理力学性能的组织结构称为矿物。矿物组成是指构成材料的矿物种类和数量。如天然石材、无机胶凝材料等，其矿物组成是在其化学组成确定的条件下的决定材料性质的主要因素。

3. 相组成

材料中结构相近、性质相同的均匀部分称为相。自然界中的物质可分为气相、液相、固相三种形态。材料中，同种化学物质由于加工工艺的不同，温度、压力等环境条件的不同，可形成不同的相。例如，在铁碳合金中就有铁素体、渗碳体、珠光体。同种物质在不同的温度、压力等环境条件下，也常常会转变其存在状态，如由气相转变为液相或固相。土木工程材料大多是多相固体材料，这种由两相或两相以上的物质组成的材料，称为复合材料。例如，混凝土可认为是由集料颗粒（集料相）分散在水泥浆体（基相）中所组成的两相复合材料。

复合材料的性质与其构成材料的相组成和界面特性有密切关系。所谓界面是指多相材料中相与相之间的分界面。在实际材料中，界面是一个较薄区域，它的成分和结构与相内的部分是不一样的，可作为“界面相”来处理。因此，对于土木工程材料，可通过改变和控制其相组成和界面特性，来改善和提高材料的技术性能。

1.1.3 材料的结构和构造

材料的结构、构造是决定材料性能的另一个极其重要的因素。

材料的结构

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

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。土木工程材料的宏观结构，按其孔隙特征分为：

(1) 致密结构：指具有无可吸水、透气的孔隙的结构。例如金属材料、致密石材、玻璃、塑料、橡胶等。

(2) 多孔结构：指具有粗大空隙的结构。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：指具有微细孔隙的结构。如石膏制品、低温烧结粘土制品。

按其组织构造特征分为：

(1) 堆聚结构：指由集料与具有胶凝性或粘结性物质胶结而成的结构。例如水泥混凝土、砂浆、沥青混合料等。

(2) 纤维结构：指由天然或人工合成纤维物质构成的结构。例如木材、玻璃

钢、岩棉、GRC 制品等。

(3) 层状结构：指由天然形成或人工粘结等方法而将材料叠合而成的双层或多层结构。例如胶合板、蜂窝板、纸面石膏板、各种新型节能复合墙板等。

(4) 散粒结构：指由松散粒状物质所形成的结构。例如混凝土集料、粉煤灰、细砂、膨胀珍珠岩等。

2. 细观结构

细观结构（也称亚微观结构）是指可用光学显微镜观察到的结构。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。例如，混凝土可分为基相、集料相、界面相；天然岩石可分为矿物、晶体颗粒、非晶体组织；钢铁可分为铁素体、渗碳体、珠光体；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结构，性质和特点各异，它们的特征、数量和分布对土木工程材料的性能有重要影响。

3. 微观结构

微观结构是指原子、分子层次的结构。可用电子显微镜或 X 射线来进行分析研究。

按微观结构材料可分为晶体、玻璃体、胶体。

(1) 晶体

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。晶体按质点和化学键的不同可分为：

- 1) 原子晶体：中性原子以共价键结合而成的晶体，如石英。
- 2) 离子晶体：正负离子以离子键结合而成的晶体，如 CaCl_2 。
- 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。

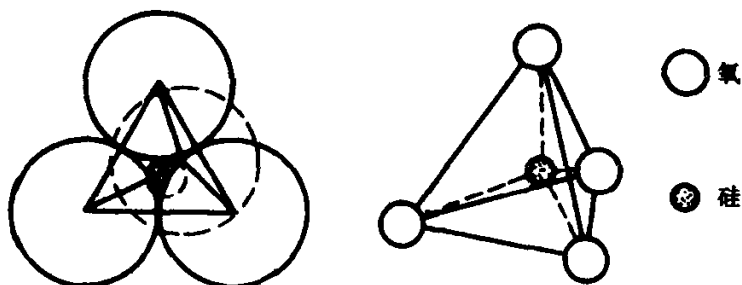


图 1-1 硅氧四面体示意图

土木工程材料中占有重要地位的硅酸盐，其最基本的结构单元为硅氧四面体 SiO_4 ，如图 1-1 所示。硅氧四面体与其他金属离子相结合，形成一系列硅酸盐矿物。硅氧四面体相互连接时，可形成不同结构

类型的矿物：当硅氧四面体在一维方向上，以链状结构相连时，形成纤维状矿物，如石棉；当硅氧四面体在二维方向上相互连成片状结构，再由片状结构相叠合成层状结构矿物，如粘土、云母、滑石等；当硅氧四面体在三维空间形成立体空间网架结构时，可形成立体岛状结构矿物，如石英。

含纤维状矿物的材料中，纤维与纤维之间的键合力要比纤维内链状结构方

向上的共价键力弱得多，所以这类材料容易分散成纤维；层状结构材料的层与层之间是由范德华力结合而成，故其键合力亦较弱，该类材料容易剥成薄片；而岛状结构材料在三维空间上均以共价键相连，故其结构强度较大，具有坚硬的质地。

(2) 玻璃体

玻璃体亦称为无定形体或非晶体。其结合键为共价键及离子键；玻璃体的结构特征为质点在空间上呈非周期性排列。如图 1-2 所示。

事实上，具有一定化学成分的熔融物质，在急冷时，若质点来不及或因某些原因不能按一定的规则排列，而凝固成固体，则得玻璃体结构的物质。玻璃体是化学不稳定的结构，容易与其他物质起化学反应，故玻璃体类物质的化学活性较高。例如火山灰、炉渣、粒化高炉矿渣等能与石灰或水泥在有水的条件下起水化、硬化作用，而被用作土木工程材料。在烧成制品或天然岩石中，玻璃体还起胶结的作用。

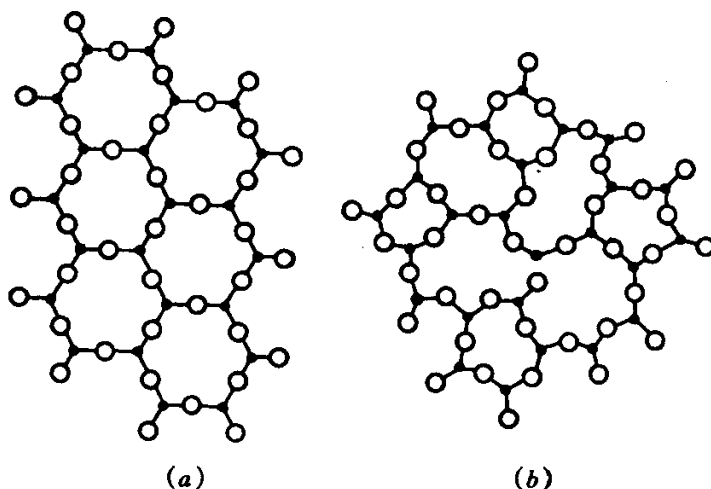


图 1-2 晶体与非晶体的原子排列示意图

(3) 胶体

以胶粒（粒径为 $10^{-7} \sim 10^{-10} \text{m}$ 的固体颗粒）作为分散相，分散在连续相介质（如水、气、溶剂）中，形成的分散体系称为胶体。

在胶体结构中，若胶粒较少，则胶粒悬浮、分散在液体连续相之中。此时液体性质对胶体的性质影响较大。称这种结构为溶胶结构。若胶粒较多，则胶粒在表面能作用下发生凝聚，彼此相连形成空间网络结构，而使胶体强度增大，变形减小，形成固体或半固体状态，称此胶体结构为凝胶结构。在特定的条件下，胶体亦可形成溶胶-凝胶结构。与晶体及玻璃体结构相比，胶体结构的强度较低，变形较大。

材料的构造

材料的构造是指具有特定性质的材料结构单元的相互搭配情况。构造这一概念与结构相比，进一步强调了相同材料或不同材料间的搭配与组合关系。如木材的宏观构造、微观构造就是指具有相同的结构单元——木纤维管胞，按不同的形态和方式在宏观和微观层次上的搭配和组合情况（见图 8-1、图 8-2、图 8-3）。它决定了木材的各向异性等一系列物理力学性质。又如具有特定构造的节能墙板，就是由具有不同性质的材料，经一定组合搭配而成的一种复合材料。它的构造赋予

了墙板良好的隔热保温、隔声、防火抗震、坚固耐久等功能和性质。

随着材料科学与工程的理论与技术不断发展,深入研究材料的组成、结构、构造和材料性能之间的关系,不仅有利于为包括土木工程在内的各种工程正确选用材料,而且会加速人类自由设计生产工程所需的特殊性能新材料的进程。

§ 1.2 材料的基本物理性质

1.2.1 材料的密度、表观密度与堆积密度

1. 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:

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

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, cm^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。测定有孔隙材料的密度时,应将材料磨成细粉,干燥后,用李氏瓶测定其体积。砖、石材等都用这种方法测定其密度。

土木工程中,砂、石等材料内部有些与外部不连通的孔隙,使用时既无法排除,又没有物质进入,在密度测定时,直接以块状材料为试样,以排液置换法测量其体积,近似作为其绝对密实状态的体积,并按上述公式计算,这时所求得的密度称为近似密度 (ρ_a)。

2. 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:

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

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,或称表观体积, cm^3 或 m^3 。

材料的表观体积是指包含内部孔隙的体积。当材料内部孔隙含水时,其质量和体积均将变化,故测定材料的表观密度时,应注意其含水情况。一般情况下,表观密度是指气干状态下的表观密度;而在烘干状态下的表观密度,称为干表观密度。

3. 堆积密度

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体积,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,计算材料的用量、构件的自重、配料计算以及确定材料的堆放空间时,经常需用到密度、表观密度和堆积密度等数据。常用的土木工程材料的有关数据见表 1-1。

常用土木工程材料的密度、表观密度及堆积密度

表 1-1

材 料	密度 ρ (g/cm^3)	表观密度 ρ_0 (kg/m^3)	堆积密度 ρ'_0 (kg/m^3)
石灰岩	2.60	1800~2600	—
花岗岩	2.80	2500~2900	—
碎石(石灰岩)	2.60	—	1400~1700
砂	2.60	—	1450~1650
普通粘土砖	2.50	1600~1800	—
空心粘土砖	2.50	1000~1400	—
水 泥	3.20	—	1200~1300
普通混凝土	—	2100~2600	—
轻集料混凝土	—	800~1900	—
木 材	1.55	400~800	—
钢 材	7.85	7850	—
泡沫塑料	—	20~50	—

1.2.2 材料的密实度与孔隙率

1. 密实度

密实度是指材料的体积内被固体物质充实的程度。按下式计算:

$$D = \frac{V}{V_0} \times 100\% \quad \text{或} \quad D = \frac{\rho_0}{\rho} \times 100\%$$

2. 孔隙率

孔隙率是指材料的体积内，孔隙体积所占的比例。按下式计算：

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

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，可分为连通与封闭两种。连通孔隙不仅彼此连通而且与外界连通，而封闭孔不仅彼此封闭且与外界相隔绝。孔隙可按其孔径尺寸的大小分为极微细孔隙、细小孔隙和粗大孔隙。在孔隙率一定的前提下，孔隙结构和孔径尺寸及其分布对材料的性能影响较大。

1.2.3 材料的填充率与空隙率

1. 填充率

填充率是指在某堆积体积中，被散粒材料的颗粒所填充的程度。按下式计算：

$$\text{填充率 } D' = \frac{V}{V'_0} \times 100\% \quad \text{或} \quad D' = \frac{\rho'_0}{\rho_0} \times 100\%$$

2. 空隙率

空隙率是指在某堆积体积中，散粒材料颗粒之间的空隙体积所占的比例。按下式计算：

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

即 $D' + P' = 1$ 或 填充率 + 空隙率 = 1

空隙率的大小反映了散粒材料的颗粒之间互相填充的程度。空隙率可作为控制混凝土集料的级配及计算砂率的依据。

1.2.4 材料与水相关的性质

1. 材料的亲水性与憎水性

土木工程中的建、构筑物常与水或大气中的水汽相接触。水分与不同的材料

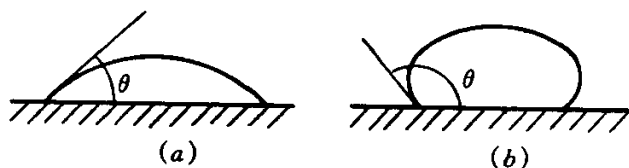


图 1-3 材料润湿边角

(a) 亲水性材料；(b) 憎水性材料

表面接触时，其相互作用的结果是不同的。如图 1-3，在材料、水和空气的交点处，沿水滴表面的切线与水和固体接触面所成的夹角 (θ) 称为润湿边角。润湿边角 θ 愈小，浸润性愈好。如果润湿边角 θ 为零，则表示该材料完

全被水所浸润。一般认为，当 $\theta \leq 90^\circ$ 时，水分子之间的内聚力小于水分子与材料

表面分子之间的相互吸引力，此种材料称为亲水性材料，如图 1-3 (a) 所示。当 $\theta > 90^\circ$ 时，水分子之间的内聚力大于水分子与材料表面分子之间的吸引力，材料表面不会被水浸润，此种材料称为憎水性材料，如图 1-3 (b) 所示。这一概念也可用于其他液体对固体材料表面的浸润情况，相应地称为亲液材料或憎液材料。

2. 材料的吸水性与吸湿性

(1) 含水率

材料中所含水的质量与干燥状态下材料的质量之比，称为材料的含水率。可按下式计算：

$$W = \frac{m_1 - m}{m} \times 100\%$$

式中 W ——材料的含水率，%；

m ——材料在干燥状态下的质量，g；

m_1 ——材料在含水状态下的质量，g。

(2) 吸水性

材料与水接触吸收水分的性质，称为材料的吸水性。当材料吸水饱和时，其含水率称为吸水率。

在土木工程材料中，多数情况下是按质量计算吸水率，但也有按体积计算吸水率的（吸入水的体积占材料表观体积的百分率）。如果材料具有细微且连通的孔隙，则吸水率较大。若是封闭孔隙，则水分不易渗入；粗大的孔隙水分虽然容易渗入，但仅能润湿孔隙表面而不易在孔中留存；所以，含封闭或粗大孔隙的材料，吸水率较低。

由于孔隙结构的不同，各种材料的吸水率相差很大。如花岗岩等致密岩石的吸水率仅为 0.5%~0.7%，普通混凝土的吸水率为 2%~3%，粘土砖的吸水率为 8%~20%，而木材或其他轻质材料的吸水率则常大于 100%。

(3) 吸湿性

材料在潮湿空气中吸收水分的性质称为吸湿性。吸湿作用一般是可逆的，也就是说材料既可吸收空气中的水分，又可向空气中释放水分。

材料与空气湿度达到平衡时的含水率称为平衡含水率。吸湿对材料性能亦有显著的影响。例如，木制门窗在潮湿环境中往往不易开关，就是由于木材吸湿膨胀而引起的。而保温材料吸湿含水后，导热系数将增大，保温性能会降低。

3. 材料的耐水性

材料抵抗水的破坏作用的能力称为材料的耐水性。材料的耐水性应包括水对材料的力学性质、光学性质、装饰性质等多方面性质的劣化作用。但习惯上将水对材料的力学性质及结构性质的劣化作用称为耐水性，亦可称为狭义耐水性。

水分子进入材料后，由于材料表面力的作用，会在材料表面定向吸附，产生