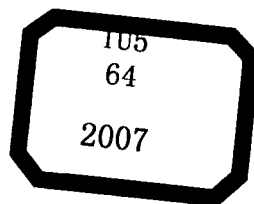


土木工程材料学

TUMU GONGCHENG CAILIAOXUE

葛勇◎主编

中国建材工业出版社



土木工程材料学

葛 勇 主编
张宝生 主审

中国建材工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

土木工程材料学/葛勇主编. —北京: 中国建材工业出版社, 2007. 1

ISBN 978-7-80227-186-9

I. 土... II. 葛... III. 土木工程—建筑材料
IV. TU5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 134487 号

内 容 简 介

本书介绍了常用土木工程材料的基本理论、基本知识和新型土木工程材料的基本组成、生产与配制原理、性质与应用。包括土木工程材料的基本性质以及石材、砖、陶瓷、玻璃及其他熔融制品、气硬性无机胶凝材料、各种水泥、混凝土及新型混凝土、砂浆、金属材料、木材、建筑塑料与建筑涂料、合成高分子防水材料、沥青防水材料、绝热材料、吸声材料、沥青混合料、墙体材料、地面材料、土木工程材料的功能分类与综合应用、常用土木工程材料的试验方法等。为配合教学, 各章均附有思考题与习题。

本书按材料科学体系编排章节, 注重材料性质与材料组成、结构的关系, 并将土木工程材料与工程应用紧密联系在一起, 有利于加深对土木工程材料基本理论与基本知识的理解与掌握。全书内容均采用最新标准或规范。

本书用作高等学校本科“土木工程”、“建筑管理工程”、“给排水工程”、“建筑学”等土木建筑类专业的教材, 也可供“交通土建”、“水利工程”等专业使用。本书还可供有关专业科研、设计、施工、管理人员参考。

土木工程材料学

主 编: 葛 勇

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: 565 千字

版 次: 2007 年 1 月第 1 版

印 次: 2007 年 1 月第 1 次

书 号: ISBN 978-7-80227-186-9

定 价: 35.00 元

网上书店: www.ecool100.com

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

《建筑材料》自1996年12月出版以来,受到广大师生与读者的青睐,多次修订重印。本次编写是根据土木工程专业拓宽专业口径,按土木工程专业的《土木工程材料》教学大纲编写的。编写时加强了基本理论,并增加了许多新材料,如自流平混凝土、新型防水材料、硫铝酸盐水泥、节能玻璃、新型墙体材料与轻质板材、预应力混凝土用螺纹钢筋(高强度精轧螺纹钢筋)与钢棒等,删减了部分不常用或已过时的传统材料,同时更名为《土木工程材料学》。

本书是哈尔滨工业大学“十五”重点建设教材。编写时保留了原《建筑材料》一书的编写风格,仍按材料科学体系编排章节及内容,同时又注重与工程实际的联系。编写的思考题与习题,有利于加深对土木工程材料基本理论与基本知识的理解与掌握,对加强与工程实际的联系及熟悉主要土木工程材料的标准与规范亦十分有益。

本书采用现行最新土木工程材料标准、规范及其试验方法。由于各标准(包括行业内、行业间)、规范的要求不同,特别是名词术语不完全统一,本书在编写时分别引用,对于名词术语按多个行业或多个学科确认的名词术语分别予以说明。为密切材料与工程实际的联系也引用了部分与土木工程材料应用密切相关的设计、施工与验收规范或指南等。

本书由哈尔滨工业大学葛勇主编,哈尔滨工业大学张宝生主审。参加编写的有葛勇(绪论、第1章、第6章6.1~6.8、6.10、6.12、第10章及全书的统稿)、吉林建筑工程学院盖广清(第2章、第8章、试验6)、哈尔滨工业大学赵亚丁(第3章、第13章的13.2、13.7、试验5)、大连民族学院杨文武(第4章、试验1)、大连交通大学赵晶(第5章、试验2)、哈尔滨工业大学郑秀华(第6章6.9、6.11)、哈尔滨工业大学张松榆(第7章、第9章)、哈尔滨工业大学于纪寿(第11章、试验3、试验4、试验7、试验8)、哈尔滨工业大学谭忆秋(第12章、试验9)、哈尔滨工业大学李学英(第13章13.1、13.3、13.4、13.5、13.6)。

本书配有教学辅导书《土木工程材料学——概要·思考题与习题·题解》和《土木工程材料计算机试题库》。有需要计算机试题库的师生、读者可与作者联系(Email: geyong@hit.edu.cn)。

由于新材料、新品种不断涌现,加之编者水平有限,不妥与疏漏之处在所难免,谨请广大师生与读者不吝指正。

编 者
2006年12月

目 录

0 绪 论	1
0.1 土木工程材料的分类	1
0.2 土木工程材料在土木建筑工程中的作用及重要性	1
0.3 土木工程材料的发展趋势	2
0.4 土木工程材料标准及工程建设规范	3
0.5 课程的目的与学习方法	3
1 土木工程材料的基本性质	
1.1 材料的组成、结构与性质	5
1.2 材料的基本状态参数	9
1.3 材料的力学性质	12
1.4 材料与水有关的性质	16
1.5 材料的热物理性质	19
1.6 材料的声学性质	21
1.7 材料的装饰性质	23
1.8 材料的耐久性	23
思考题与习题	25
2 天然石材	26
2.1 岩石的基本知识	26
2.2 常用建筑石材	29
思考题与习题	32
3 烧结及熔融制品	33
3.1 烧结制品生产工艺	33
3.2 烧结砖	35
3.3 建筑陶瓷	39
3.4 玻璃及其制品	41
3.5 铸石、岩棉与矿棉	47
思考题与习题	48
4 气硬性无机胶凝材料	49
4.1 建筑石膏	49

4.2 石 灰	53
4.3 水玻璃	56
4.4 镁质胶凝材料	58
思考题与习题	59
5 水 泥	60
5.1 硅酸盐水泥	60
5.2 掺混合材料的硅酸盐水泥	70
5.3 铝酸盐水泥	76
5.4 其他品种的水泥	78
思考题与习题	82
6 混凝土	83
6.1 普通混凝土的组成、结构与混凝土的基本要求	83
6.2 水泥混凝土的基本组成材料	85
6.3 混凝土化学外加剂	94
6.4 混凝土矿物掺合物	109
6.5 混凝土拌合物的和易性	114
6.6 混凝土的强度	119
6.7 混凝土的变形性能	125
6.8 混凝土的耐久性	128
6.9 混凝土的质量控制与评定	136
6.10 普通混凝土配合比设计	142
6.11 轻混凝土	151
6.12 其他混凝土	161
思考题与习题	167
7 砂 浆	170
7.1 砂浆的组成材料	170
7.2 砂浆的性质	171
7.3 砌筑砂浆	173
7.4 抹面砂浆	176
思考题与习题	177
8 金属材料	179
8.1 钢材的分类及冶炼	179
8.2 钢材的技术性质	180
8.3 钢铁金属学的基本知识	183
8.4 钢材的加工与焊接	186

8.5	钢材的标准与选用	188
8.6	钢材的腐蚀与防止	199
8.7	铝合金与铜合金	200
	思考题与习题	201
9	木 材	202
9.1	木材的分类、特性与应用	202
9.2	木材的物理力学性质	203
9.3	木材的防腐与防火	206
9.4	木材的应用	207
	思考题与习题	209
10	合成高分子材料	210
10.1	合成高分子材料的基本知识	210
10.2	建筑塑料	217
10.3	合成高分子防水材料	223
10.4	建筑涂料	235
10.5	胶粘剂	238
	思考题与习题	240
11	沥青及其防水制品	241
11.1	石油沥青	241
11.2	煤焦油与煤沥青	247
11.3	高聚物改性沥青	248
11.4	沥青基及改性沥青基防水材料	250
	思考题与习题	258
12	沥青混合料	259
12.1	沥青混合料的定义、分类	259
12.2	道路石油沥青	260
12.3	矿质混合料的技术要求	271
12.4	沥青混合料的组成结构与强度	274
12.5	沥青混合料的路用性能	278
12.6	沥青混合料的组成设计方法	282
	思考题与习题	292
13	土木工程材料的功能分类与常用品种	293
13.1	结构材料	293
13.2	建筑围护材料与墙体材料	293

13.3	建筑防水材料	300
13.4	保温绝热材料	302
13.5	吸声材料与隔声材料	304
13.6	建筑装饰材料	306
13.7	耐磨材料与地面材料	311
土木工程材料试验		314
试验 1	土木工程材料基本性质试验	314
试验 2	水泥试验	318
试验 3	混凝土用集料试验	325
试验 4	普通混凝土试验	328
试验 5	砂浆试验	334
试验 6	钢材试验	336
试验 7	石油沥青试验	341
试验 8	弹性体(塑性体)改性沥青防水卷材试验	344
试验 9	沥青混合料试验	346
习题参考答案		351
参考文献		353

0 绪 论

0.1 土木工程材料的分类

构成土木建筑物的材料称为土木工程材料，它包括地基基础、梁、板、柱、墙体、屋面、道路、桥梁、水坝、码头等所用到的各种材料。

土木工程材料可从各种角度分类，如按土木工程材料的功能与用途分类，可分为结构材料、防水材料、保温材料、吸声材料、隔声材料、装饰材料、耐磨材料、地面材料、墙体材料、屋面材料、密封材料、防腐材料、耐火材料、防火材料、防辐射材料等。此种分类方式便于工程技术人员选用土木工程材料，因此各种材料手册均按此分类。为方便学习、记忆和掌握土木工程材料的基本知识和基本理论，一般按土木工程材料的化学成分分类。本书按化学成分分类。按化学成分，可将土木工程材料分为无机材料、有机材料和复合材料，如下表所示。

土木工程材料按化学成分分类

土 木 工 程 材 料	无机材料	金属材料	黑色金属：钢、铁	
			有色金属：铝及其合金，铜及其合金	
		非金属材料	天然石材：花岗岩、大理岩、石灰岩、玄武岩	
			烧结与熔融制品：砖、陶瓷、玻璃、铸石、岩棉	
			胶凝材料	气硬性胶凝材料：石灰、石膏、水玻璃
				水硬性胶凝材料：各种熟料水泥
			砂浆与混凝土	
			硅酸盐制品：灰砂砖、加气混凝土	
	有机材料	植物材料：木材、竹材及其制品		
		合成高分子材料：塑料、橡胶、涂料、胶粘剂、密封材料		
		沥青材料：石油沥青、煤沥青及其制品		
	复合材料	无机材料基复合材料	混凝土、砂浆、钢筋混凝土	
			水泥刨花板、聚苯乙烯混凝土	
		有机材料基复合材料	沥青混凝土、树脂混凝土、纤维增强聚合物基材料	
			胶合板、纤维板、竹胶板	

0.2 土木工程材料在土木建筑工程中的作用及重要性

土木工程材料是土木建筑业的物质基础。每一项建设的开始，首先都是土木工程基本建设。

土木工程材料的性能、品种、质量及经济性直接影响或决定着建筑结构的形式、建筑物的造型以及建筑物的功能、适用性、艺术性、坚固性、耐久性及经济性等，并在一定程度上影响着土木工程材料的运输、存放及使用方式，也影响着建筑施工方法。建筑工程中许多技术的突破，往往依赖于土木工程材料性能的改进与提高，而新材料的出现又促进了建筑设计、结构设计和施工技术的发展，也使建筑物的功能、适用性、艺术性、坚固性和耐久性得到进一步的改善。如钢材和钢筋混凝土的出现产生了钢结构和钢筋混凝土结构，使得高层建筑和大跨度建筑成为可能；轻质材料和保温材料的出现对减轻建筑物的自重，提高建筑物的抗震能力、改善工作与居住环境条件等起到了十分有益的作用，并推动了节能建筑的发展；新型装饰材料的出现使得建筑物的造型及建筑物的内外装饰焕然一新，生气勃勃。

土木工程材料的用量很大，其经济性直接影响着建筑物的造价。在我国的一般工业与民用建筑中土木工程材料的费用约占总造价的 50% ~ 60%，而装饰材料又占其中的 50% ~ 80%。了解或掌握土木工程材料的性能，按照建筑物及使用环境条件对土木工程材料的要求，正确合理地选用土木工程材料，充分发挥每一种材料的长处，做到材尽其能、物尽其用，并采取正确的运输、存贮与施工方法，这对节约材料、降低工程造价、提高建筑物的质量与使用功能、增加建筑物的使用寿命及建筑物的艺术性等，有着十分重要的作用。

0.3 土木工程材料的发展趋势

从一万年人类使用天然石材、木材等建造简单的房屋，到后来生产和使用陶器、砖瓦、石灰、三合土、玻璃、青铜等土木工程材料，中间经历了数千年，其发展速度极为缓慢。从公元前两千年到 18 世纪，土木工程材料的发展虽然有了较大的进步，但仍然非常缓慢。19 世纪发生的工业革命，大大推动了工业的发展，也极大地推动了土木工程材料的发展，相继出现的钢材、水泥、混凝土、钢筋混凝土，已成为现代土木工程的主要结构材料。20 世纪又出现了预应力混凝土。近几十年来，随着科学技术的进步和建筑业发展的需要，一大批新型土木工程材料应运而生，出现了塑料、涂料、新型建筑陶瓷与玻璃、新型复合材料（纤维增强材料、夹层材料等）。材料科学的发展和电子显微镜、X 射线衍射仪等现代材料研究方法的进步，使得对材料的微观结构、显微结构、宏观结构、性质及其相互间关系的认识有了长足的进步，对正确合理使用材料和按工程要求设计材料起到了非常有益的作用。依靠材料科学和现代工业技术，人们已开发出了许多高性能和多功能的新型材料。而社会的进步、环境保护和节能降耗及建筑业的发展，又对土木工程材料提出了更高、更多的要求。因而，今后一段时间内，土木工程材料将向以下几个方向发展。

(1) 高性能化。将研制轻质、高强、高耐久性、高耐火性、高抗震性、高保温性、高吸声性、优异装饰性及优异防水性的材料。这对提高建筑物的安全性、适用性、艺术性、经济性及使用寿命等有着非常重要的作用。

(2) 复合化、多功能化。利用复合技术生产多功能材料、特殊性能材料及高性能材料。这对提高建筑物的使用功能、经济性、加快施工进度等有着十分重要的作用。

(3) 绿色化。充分利用地方资源和工业废渣。充分利用工业废渣生产土木工程材料，以保护自然资源、保护环境，维护生态环境的平衡。生产和开发能够降解有害气体、抑菌与杀菌以及能够自洁的材料。

(4) 节能化。研制和生产低能耗（包括材料生产能耗和建筑使用能耗）的新型节能土

木工程材料。这对降低土木工程材料和建筑物的成本以及建筑物的使用能耗, 节约能源起到十分有益的作用。

(5) 智能化。将生产和应用自感知、自调节、自修复材料, 实现构筑物的自我监控。

0.4 土木工程材料标准及工程建设规范

目前我国绝大多数土木工程材料都有相应的技术标准, 它包括产品规格、分类、技术要求、验收规则、代号与标志、运输与贮存及抽样方法等。

土木工程材料生产企业必须按照标准生产, 并控制其质量。土木工程材料使用部门则按照标准选用、设计、施工, 并按标准验收产品。

我国的土木工程材料标准分为国家标准、部委行业标准、地方标准与企业标准。国家标准和部委行业标准都是全国通用标准, 是国家指令性文件, 各级生产、设计、施工等部门均必须严格遵照执行。按要求执行的程度分为强制性标准和推荐标准(以/T)表示。

与土木工程材料有关的标准及其代号主要有: 国家标准 GB、建筑工程国家标准 GBJ、建工行业标准 JG、建材行业标准 JC、石油化学行业标准 SH、化工行业标准 HG、交通行业标准 JT、林业行业标准 LY、电力行业标准 DL、冶金行业标准 YB、轻工行业标准 QB、中国工程建设标准化协会标准 CECS、中国土木协会标准 CCES、地方标准 DB、企业标准 Q 等。

标准的表示方法由标准名称、部门代号、标准编号、批准年份四部分组成, 如《预应力混凝土用螺纹钢筋》(GB/T 20065—2006)、《快硬硫铝酸盐水泥与快硬铁铝酸盐水泥》(JC 933—2003)、《混凝土多孔砖》(JC 943—2004) 等。工程中有时还涉及到美国材料试验学会标准 ASTM、英国工业标准 BS、日本工业标准 JIS、德国工业标准 DIN、前苏联标准 ГОСТ、法国标准 NF、欧洲标准 EN、国际标准 ISO 等。

工程中使用的土木工程材料除必须满足产品标准外, 有时还必须满足有关的设计规范、施工及验收规范(或规程)等的规定。这些规范对土木工程材料的选用、使用、质量要求及验收等还有专门的规定(其中有些规范或规程的规定与土木工程材料产品标准的要求相同)。如各种防水材料除满足其产品质量要求外, 当用于屋面工程时还须满足《屋面工程技术规范》(GB 50345—2004) 的规定, 又如各种混凝土外加剂除满足其产品质量要求外, 还应满足《混凝土外加剂应用技术规范》(GB 50119—2003) 的规定。

标准是根据一定时期的技术水平制定的, 因而随着技术的发展与对材料性能要求的不断提高, 需要对标准进行不断地修订。熟悉有关标准、规范, 了解标准、规范的制定背景与依据, 对正确使用土木工程材料具有很好的作用。本书全部使用最新标准与规范。

0.5 课程的目的与学习方法

本课程是土木工程、建筑类各专业的技术基础课。课程的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, 为学习房屋建筑学、施工技术、钢筋混凝土结构设计等专业课程提供土木工程材料的基础知识, 并为今后从事建筑设计与施工能够合理选用土木工程材料和正确使用土木工程材料奠定基础。

土木工程材料的内容庞杂、品种繁多, 涉及到许多学科或课程, 其名词、概念和专业术语多, 且各种土木工程材料相对独立, 即各章之间的联系较少。此外公式推导少, 而以叙述为主, 且内容为实践规律的总结, 因而其学习方法与力学、数学等完全不同。学习土木工程

材料时应着重从材料科学的观点和方法及实践的观点入手，否则就会感到枯燥无味，难以掌握土木工程材料组成、性质、应用以及它们之间的相互联系。为此，必须做到：

(1) 了解或掌握材料的组成、结构和性质间的关系。掌握土木工程材料的性质与应用是学习的目的，但孤立地看待和学习，就免不了要死记硬背。材料的组成和结构决定材料的性质和应用，因此学习时应了解或掌握土木工程材料的组成、结构与性质间的关系。应特别注意掌握的是材料的内部的孔隙数量、孔隙大小、孔隙状态及其影响因素，它们对材料的所有性质均有影响，并使材料的大多数性质降低。同时，还应注意外界因素对材料结构与性质的影响（详见本书第1章1.1及1.8）。

掌握好本书第1章是打开土木工程材料学大门的钥匙，因此掌握土木工程材料的基本性质是掌握各种土木工程材料的性质和应用的基础。

(2) 运用对比的方法。通过对比各种材料的组成和结构来掌握它们的性质和应用。特别是通过对比来掌握它们的共性和特性。这在学习水泥、混凝土、防水材料等时尤为重要。

(3) 密切联系工程实际，重视试验课并做好实验。土木工程材料是一门实践性很强的课程，学习时应注意理论联系实际，利用一切机会注意观察周围已经建成的或正在施工的土木建筑工程，提出一些问题，在学习中寻求答案，并在实践中验证和补充书本所学内容。试验课是本课程的重要教学环节，通过试验课所学的基本理论，学会检验常用土木工程材料的试验方法，掌握一定的试验技能，并能对试验结果进行正确的分析和判断，这对培养学习与工作能力及严谨的科学态度十分有利。

1 土木工程材料的基本性质

土木工程材料在正常使用状态下，总是要承受一定的外力和自重力，同时还会受到环境各种介质（如水、蒸汽、腐蚀性气体和液体、盐渍土等）的作用以及各种物理作用（如温度差、湿度差、摩擦等），因此材料必须具有抵抗上述各种作用的能力。为保证土木工程结构物的正常使用功能，对许多土木工程材料还要求具有一定的防水、吸声、隔声、保温隔热、装饰性等性质。上述性质是大多数土木工程材料均须考虑的性质，也是各种土木工程材料所应具备的基本性质。

掌握土木工程材料的基本性质是掌握土木工程材料知识、正确选择与合理使用土木工程材料的基础。

1.1 材料的组成、结构与性质

材料的组成和结构决定着材料的各种性质。要了解材料的性质，必须了解材料的组成、结构与材料性质间的关系。

1.1.1 材料的组成

1.1.1.1 化学组成 (chemical composition, or chemical constituent)

化学组成即化学成分。无机非金属材料的化学组成常以各氧化物的含量来表示，金属材料则常以各化学元素的含量表示，有机材料常用各化合物的含量来表示。化学组成是决定材料化学性质（耐腐蚀性、燃烧性等）、物理性质（耐水性、耐热性、保温性等）、力学性质（强度、变形等）的主要因素之一。

1.1.1.2 矿物组成 (mineralogical composition)

许多无机非金属材料 (inorganic non-metallic materials) 是由各种矿物组成的。矿物是具有一定化学成分和结构特征的单质或化合物。矿物组成是决定无机非金属材料化学性质、物理性质、力学性质和耐久性的重要因素。

材料的化学组成不同，则材料的矿物组成也不同。而相同的化学组成，可以有不同的矿物组成，且材料的性质也不同。例如，同是碳元素组成的石墨与金刚石；又如由石灰 (CaO)、石英 (SiO₂) 和水在常温下硬化而成的石灰砂浆与在高温高湿条件下硬化而成的灰砂砖（属于硅酸盐混凝土），由于它们的矿物组成不同，二者的物理性质和力学性质截然不同。

利用材料的组成可以大致判断出材料的某些性质。如材料的组成易与周围介质（酸、碱、盐等）发生化学反应，则该材料的耐腐蚀性差或较差；有机材料的耐火性和耐热性较差，且多数可以燃烧；合金的强度高于非合金的强度等。

1.1.2 材料的结构

材料的结构决定着材料的许多性质。一般从三个层次来研究材料结构与性质间的关系。

1.1.2.1 微观结构 (microstructure)

利用电子显微镜、X-射线衍射仪等手段来研究原子级或分子级的结构。材料的微观结构可分为晶体结构 (crystalline structure) 和非晶体结构 (noncrystalline structure or amorphous structure)，或晶态 (crystalline state) 和非晶态 (noncrystalline state, or amorphous state)。

1. 晶体

晶体是质点 (原子或分子、离子) 按一定规律在空间重复排列的固体，并具有特定的几何外形和固定的熔点。由于质点在各方向上排列的规律和数量的不同，单晶体具有各向异性的性质。按晶体的质点间结合键的特性，晶体又分为原子晶体、分子晶体、离子晶体、金属晶体。晶体的结构形式与主要特性见表 1-1。

表 1-1 材料的微观结构形式及主要特性

微观结构		常见材料	主要特征
晶体	原子晶体 (以共价键结合)	金刚石、石英、刚玉	强度、硬度、熔点均高、密度较小
	离子晶体 (以离子键结合)	氯化钠、石膏、石灰岩	强度、硬度、熔点均高、但波动大、部分可溶、密度中等
	分子晶体 (以分子键结合)	蜡及部分有机化合物	强度、硬度、熔点均低、大部分可溶、密度小
	金属晶体 (以库仑引力结合)	铁、钢、铝、铜及其合金	强度、硬度变化大、密度大
非晶体	原子、离子或分子以共价键、离子键或分子键结合，但为无序排列 (短程有序，长程无序)	玻璃、粒化高炉矿渣、火山灰、粉煤灰	无固定的熔点和几何形状，与同组成的晶体相比，强度、化学稳定性、导热性、导电性较差，且各向同性

无机非金属材料中的晶体，其键的构成往往不是单一的，而是由共价键、离子键等共同联结，如方解石 (CaCO_3)、长石及硅酸盐类材料。这类材料的性质相差较大，硅酸盐材料在土木工程材料中占重要的地位。硅酸盐晶体是由硅氧四面体 $[\text{SiO}_4]^{4-}$ 为基本单元与其他金属离子结合而成。硅氧四面体单元可以组成链状构造、层状构造、架状构造和岛状构造的硅酸盐晶体。

2. 非晶体

非晶体又称玻璃体，是熔融物在急速冷却时，质点来不及按特定规律排列所形成的内部质点无序排列 (短程有序，长程无序) 的固体。非晶体没有固定的熔点和特定的几何外形，且各向同性。非晶体的强度和导热性等低于晶体。非晶体材料的内部质点未按特定规律排列，即质点未能到达能量最低位置，故大量的化学能未能释放出，因而其化学稳定性较差，易和其他物质反应或自行缓慢向晶体转变。如在水泥、混凝土等材料中使用的粒化高炉矿渣、火山灰、粉煤灰等活性混合材料，正是利用了它们活性高的特点。

3. 胶体 (colloid)

物质以极小的质点 ($10^{-7} \sim 10^{-9} \text{m}$) 作为分散相，分散于连续相介质 (气、水或溶剂) 中所形成的体系称为胶体。胶粒 (即分散的粒子) 一般都带有相同电性的电荷，从而使胶体具有较高稳定性。胶粒的比表面积很大，因而表面能很高；胶粒具有很强的吸附力，因而胶体具有较强的粘结力。

较少的胶粒悬浮、分散在连续相液体中所形成的胶体称为溶胶，此种结构称为溶胶结构。液体性质对溶胶性质影响较大。若胶体较多，则胶粒在表面能作用下产生凝聚，使胶粒间彼此相连形成空间网络结构，从而使胶体强度增大，变形减小，形成固态或半固体状态，此种结构称为凝胶（gel）结构。在特定条件下也可形成溶胶－凝胶结构。凝胶具有触变性，即凝胶在机械力作用下（如搅拌、振动）可变成溶胶，当机械力取消后又重新成为凝胶。拌制不久的水泥浆、混凝土拌合物等均表现出触变性。凝胶脱水后成为干凝胶体，它具有固体的性质，即具有强度。

在胶体中当加入电性相反的其他胶体或离子等时，特别是高价的离子时，胶体会失去稳定性，即胶体粒子发生凝聚并从连续介质中沉淀分离出来。

与晶体结构和非晶体结构的材料相比，具有胶体结构的物质或材料的强度低、变形大。

1.1.2.2 显微结构（submicrostructure）

由光学显微镜所看到的微米级的组织结构，又称亚微观结构。显微结构主要研究材料内部的晶粒、颗粒等的大小和形态、晶界或界面，孔隙与微裂纹的大小、形状及分布。

显微镜下的晶体材料是由大量的大小不等的晶粒组成的，而不是一个晶粒，因而属于多晶体。多晶体材料具有各向同性的性质，如某些岩石、钢材等。

材料的亚微观结构对材料的强度、耐久性等有很大的影响。材料的亚微观结构相对较易改变。

一般而言，材料内部的晶粒越细小、分布越均匀，则材料的受力状态越均匀、强度越高、脆性越小、耐久性越高；晶粒或不同材料组成之间的界面粘结（或接触）越好，则材料的强度和耐久性越高。

1.1.2.3 宏观结构（macrostructure or macroscopic structure）

用肉眼或放大镜即可分辨的毫米级以上的组织称为宏观结构，又称构造。该结构主要研究材料中的大孔隙、裂纹、不同材料的组合与复合方式（或形式）、各组成材料的分布等。如岩石的层理与斑纹、混凝土中的砂石、纤维增强材料中纤维的多少与纤维的分布方向等。材料宏观结构的分类及其主要特性见表 1-2。

表 1-2 材料的宏观结构及其相应的主要特性

材料的宏观结构		常用材料	主要特性
单一材料	致密结构	钢材、玻璃、沥青、部分塑料	高强、或不透水、耐腐蚀、自重较大
	多孔结构	泡沫塑料、泡沫玻璃	轻质、保温、强度低
	纤维结构	木材、竹材、石棉、岩棉、玻璃纤维、钢纤维	高抗拉、且大多数具有轻质、保温、吸声性质
	聚集结构	陶瓷、砖、某些天然岩石	强度较高、脆性高
复合材料	颗粒聚集结构	某些陶瓷、各种混凝土、砂浆、钢筋混凝土	综合性能好、价格较低廉
	纤维聚集结构	岩棉板、岩棉管、石棉水泥制品、纤维板、纤维增强塑料	轻质、保温、吸声或高抗拉（折）
	多孔结构	加气混凝土、泡沫混凝土	轻质、保温
	叠合结构	纸面石膏板、胶合板、各种夹芯板	综合性能好

两种或两种以上组成材料以适当方式结合而构成的新材料，称为复合材料（composite，or composite material）。复合材料取各组成材料之长，避免了单一材料的某些缺陷，使复合材料具有多种使用功能（如强度、防水、保温、装饰、耐久等）或者具有某些特殊功能。复合材料的综合性能好，某些性能往往超过组成材料中的单一材料，且更为经济合理。如混凝土、聚合物基纤维增强复合材料，它们的综合性能优于单一组成材料。

材料的宏观结构是影响材料性质的重要因素。材料的宏观结构较易改变。

材料的宏观结构不同，即使组成与微观结构等相同，材料的性质与用途也不同，如玻璃与泡沫玻璃、密实的灰砂硅酸盐砖与灰砂加气混凝土，它们的许多性质及用途有很大的不同。材料的宏观结构相同或相似，则即使材料的组成或微观结构等不同，材料也具有某些相同或相似的性质与用途，如泡沫玻璃、泡沫塑料、加气混凝土等。

1.1.3 结构中的孔隙与材料性质的关系

大多数土木工程材料在宏观层次上或亚微观层次上均含有一定大小和数量的孔隙，甚至是相当大的孔洞，这些孔隙几乎对材料的所有性质都有相当大的影响。

1.1.3.1 孔隙的分类

按孔隙的大小，可将孔隙分为微细孔隙、细小孔隙（毛细孔）、较粗大孔隙、粗大孔隙等。对于无机非金属材料，孔径小于 20nm 的微细孔隙，水或有害气体难以侵入，可视为无害孔隙。

按孔隙的形状可将孔分为球形孔隙、片状孔隙（即裂纹）、管状孔隙、墨水瓶状孔隙、带尖角的孔隙等。片状孔隙、尖角孔隙、管状孔隙、对材料性质的影响较大，往往使材料的大多数性质降低。

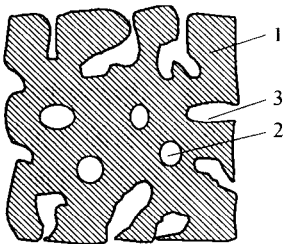


图 1-1 材料内孔隙示意图

1—固体物质；2—闭口孔隙；
3—开口孔隙

按常压下水能否进入孔隙中，将常压下水可以进入的孔隙称为开口孔隙（open pore）或称连通孔隙（interconnected pore），而将常压下水不能进入的孔隙称为闭口孔隙或封闭孔隙（closed pore），见图 1-1。这种划分是一种粗略的划分，实际上开口孔隙和闭口孔隙没有明显的界限，当水压力较高或很高时，水也可能会进入到部分或全部闭口孔隙中。开口孔隙对材料性质的影响较闭口孔隙大，往往使材料的大多数性质降低（吸声性除外）。

1.1.3.2 孔隙对材料性质的影响

一般情况下，材料内部的孔隙含量（即孔隙率）越多，则材料的体积密度、堆积密度、强度越小，耐磨性、抗冻性、抗渗性、耐腐蚀性、耐水性及其他耐久性越差，而保温性、吸声性、吸水性及吸湿性等越强。孔隙的形状和孔隙的状态对材料的性质也有不同程度的影响，如开口孔隙、非球形孔隙（如扁平孔隙或片状孔隙，即裂纹）相对于闭口孔隙、球形孔隙而言，往往对材料的强度、抗渗性、抗冻性、耐腐蚀性、耐水性等更为不利，对保温性稍有不利，而对吸声性、吸水性及吸湿性等有利，并且孔隙尺寸越大，上述影响也越大。

1.1.3.3 材料内部孔隙的来源与产生

天然植物材料由于植物生长的需要（输送养料等），在植物材料的内部形成一定数量的孔隙。天然岩石则由于地质上的造岩运动等在岩石等材料的内部夹入部分气泡或形成部分孔隙。人造材料内部的孔隙是由于生产工艺并非善尽美，生产时总是不可避免地会卷入部分

气泡（或气体），对于无机非金属材料则在很大程度上与生产时所用的拌合用水量有关，或者是在生产材料时，有意识地在材料内部留下（或造成）部分孔隙以改善材料的某些性能。

土木工程材料大多属于人造无机非金属材料。这些材料在生产过程中，由于组成上的要求（参与化学反应，以使材料产生强度。如水泥、石膏等的水化反应等）和生产工艺上的要求（各组成材料的混合物须具有适当的流动性或可塑性以便能制作成所需要的形状和尺寸，并保证制品或构件的质量），在生产材料时必须加入一定数量的水。为达到生产工艺所要求的施工性质（流动性或可塑性等），实际用水量往往远远超过组成上的要求，即远远超过理论需水量（如水泥、石膏等的水化反应所需的水量）。这些多余的水在材料体积内也占有一定空间，蒸发后即在材料内部留下了大量毛细孔隙，绝大多数人造无机非金属土木工程材料中的孔隙基本上是由水所造成的，当用水量较少，不能满足生产工艺所要求的流动性或可塑性时，则难以制成所要求的制品或构件，往往在材料或制品内部形成许多大的孔隙，甚至是大的孔洞。

通过上述分析，可以得出以下结论：

影响人造土木工程材料内部孔隙含量（孔隙率）、孔隙形状、孔隙状态的因素或影响生产材料时拌合用水量的因素均是影响材料性质的因素。适当控制上述因素，即可使它们成为改善材料性质的措施或途径。如在生产保温材料时，应采取适当措施来提高产品的孔隙数量（即孔隙率），而在生产结构用混凝土时，则应控制影响孔隙数量的因素，尽量降低孔隙含量（即降低孔隙率）。

1.2 材料的基本状态参数

1.2.1 密度、表观密度、体积密度、堆积密度

1.2.1.1 密度（density）

材料在绝对密实状态下（不含内部任何孔隙），单位体积的绝干质量称为材料的绝对密度（absolute density）或真密度（true density），简称密度，定义式如下：

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

式中 ρ ——材料的密度， g/cm^3 ；

m ——材料的绝干质量， g ；

V ——材料在绝对密实状态下的体积， cm^3 。

材料的密度 ρ 取决于材料的组成与微观结构。当材料的组成与微观结构一定时，材料的密度 ρ 为常数。

为测得含孔材料的绝对密实体积 V ，须将材料磨细成细粉末，使材料内部的所有孔隙外露（即全部成为开口孔隙），用排开液体的方法来测定。

1.2.1.2 表观密度（apparent density）

材料在自然状态下不含开口孔隙时，单位体积的绝干质量称为材料的表观密度，又称视密度，定义式如下：

$$\rho_a = \frac{m}{V_a} = \frac{m}{V + V_{cp}}$$

式中 ρ_a ——材料的表观密度， g/cm^3 ；