

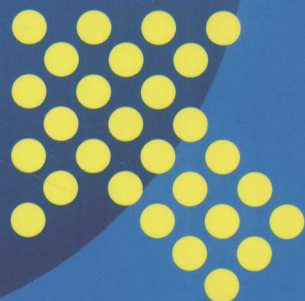
21世纪高等学校规划教材



TUMU GONGCHENG CAILIAO

土木工程材料

赵庆新 主 编
李 勇 潘慧敏 副主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

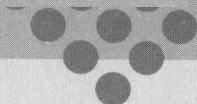
21世纪高等学校规划教材



本书是土木工程专业的一门专业基础课教材。本书主要介绍土木工程专业常用的材料，包括金属材料、非金属材料、复合材料、高分子材料、陶瓷材料、混凝土材料、砂浆材料、防水材料、保温材料、装饰材料等。本书可作为土木工程专业及相关专业的教材，也可供从事土木工程专业工作的工程技术人员参考。

TUMU GONGCHENG CAILIAO

土木工程材料



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为 21 世纪高等学校规划教材。全书共分十三章，主要内容包括土木工程材料的基本性质、天然石材、无机气硬性胶凝材料、水泥、普通混凝土、建筑砂浆、建筑金属材料、墙体材料及屋面材料、沥青与沥青混合料、合成高分子材料、防水材料、土木工程装饰材料、绝热材料和吸声材料及土木工程材料试验。本书强调建筑材料的生产和应用必须符合可持续发展的原则；突出建筑材料的基础理论与建筑力学、建筑结构的内在联系；结合工程实际需要着重介绍如何正确应用建筑材料；做到“少而精”，有利于学生的创造性学习，亦便于自学。

本书可作为普通高等院校土木工程专业的教材，也可作为土木工程专业专科教材，还可供相关技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

土木工程材料/赵庆新主编. —北京：中国电力出版社，
2010. 1

21 世纪高等学校规划教材

ISBN 978 - 7 - 5123 - 0083 - 5

I. ①土… II. ①赵… III. ①土木工程—建筑材料—高等
学校—教材 IV. ①TU5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 021087 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2010 年 1 月第一版 2010 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 20.25 印张 492 千字

定价 33.00 元

敬 告 读 者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前言

我国经济正处于高速发展时期，大量的基础设施正在建设当中，需要大量的建筑材料，而土木工程材料则是土木工程建设的必备物质基础。近几年来，随着大型工程，新型建筑，高级住宅的建设和新的设计、施工技术的应用，建筑业也出现了新的面貌，新材料层出不穷，新品种日新月异，原有的土木工程材料教材已跟不上新的发展。本书结合建筑材料的新成果、新技术，根据我国土木工程专业本科的培养目标和新修订的“土木工程材料”课程教学大纲编写而成。适应土木工程学科的发展和人才培养的需要。

本书在编写过程中，强调建筑材料的生产和应用必须符合可持续发展的原则；突出建筑材料的基础理论与建筑力学、建筑结构的内在联系；结合工程实际需要着重介绍如何正确使用建筑材料；做到“少而精”，有利于学生的创造性学习，亦便于自学。本书内配经典的试验和工程应用图片，版面生动、新颖。

本书由赵庆新任主编，李勇、潘惠敏任副主编，全书由赵庆新统稿。本书的编写分工如下：赵庆新编写绪论、第一章、第五章，李勇编写第二章、第六章、第七章，潘惠敏编写第三章、第四章、第十二章，宋志彬编写第八章、第十章，刘亚敏编写第九章、第十一章，闫国亮编写第十三章及土木工程材料试验。北方工业大学朱宏军教授审阅了全书，并提出了宝贵的意见，在此表示衷心感谢！

由于土木工程材料科学的飞速发展，新材料、新制品、新工艺不断涌现，有一些行业技术标准也不统一，加之编者水平有限，书中不当及疏漏之处在所难免，敬请广大读者和老师们不吝指正，以便今后改正，在此深致谢意！

编者
2009年12月

目 录

前言	
绪论	1
第一章 土木工程材料的基本性质	5
第一节 土木工程材料的组成、结构与性质	5
第二节 材料的物理性质	7
第三节 材料的力学性质	14
第四节 材料的耐久性	18
复习思考题	19
第二章 天然石材	20
第一节 天然石材的形成和分类	20
第二节 天然石材的技术性质	24
第三节 土木工程常用石材及选用原则	26
复习思考题	35
第三章 无机气硬性胶凝材料	36
第一节 石灰	36
第二节 石膏	39
第三节 水玻璃	42
第四节 菱苦土	43
复习思考题	43
第四章 水泥	45
第一节 水泥概述	45
第二节 硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥	47
第三节 掺大量混合材料的硅酸盐水泥	58
第四节 其他品种水泥	64
复习思考题	67
第五章 普通混凝土	69
第一节 混凝土概述	69
第二节 普通混凝土的组成材料	70
第三节 新拌混凝土的工作性能	88
第四节 硬化混凝土的力学性能	95
第五节 混凝土的变形性能	103
第六节 混凝土的耐久性	108
第七节 混凝土的质量控制与评定	114

第八节 混凝土的配合比设计·····	117
第九节 其他混凝土·····	124
复习思考题·····	132
第六章 建筑砂浆·····	134
第一节 砌筑砂浆·····	134
第二节 抹面砂浆·····	142
第三节 特种砂浆·····	145
第四节 预拌砂浆与自流平砂浆·····	147
复习思考题·····	148
第七章 建筑金属材料·····	149
第一节 钢材的生产与分类·····	149
第二节 钢材的技术性质·····	152
第三节 钢材的组织、化学成分及其对钢材性能的影响·····	157
第四节 钢材的冷加工、时效及热处理·····	161
第五节 土木工程用钢的技术标准与选用·····	163
第六节 钢材的防锈蚀与防火·····	171
第七节 铝及铝合金·····	173
复习思考题·····	177
第八章 墙体材料及屋面材料·····	179
第一节 墙体材料·····	179
第二节 屋面材料·····	190
第三节 墙体材料工程实例分析·····	192
复习思考题·····	193
第九章 沥青与沥青混合料·····	195
第一节 沥青材料·····	195
第二节 石油沥青的老化与改性·····	207
第三节 沥青混合料·····	209
第四节 沥青混合料配合比设计方法·····	212
复习思考题·····	217
第十章 合成高分子材料·····	218
第一节 高分子化合物概述·····	218
第二节 聚合物的结构与性能特点·····	219
第三节 常用的聚合物·····	220
第四节 建筑塑料·····	224
第五节 胶黏剂及合成材料·····	227
第六节 合成高分子材料工程实例分析·····	230
复习思考题·····	231
第十一章 防水材料·····	232
第一节 防水卷材·····	232

第二节	防水涂料·····	236
第三节	建筑密封材料·····	238
复习思考题	·····	239
第十二章	土木工程装饰材料·····	240
第一节	概述·····	240
第二节	石膏装饰材料·····	242
第三节	建筑装饰陶瓷·····	243
第四节	建筑装饰玻璃制品·····	247
第五节	纤维装饰织物制品·····	250
第六节	建筑涂料·····	253
第七节	建筑装饰塑料制品·····	257
第八节	木材装饰制品·····	260
第九节	金属装饰制品·····	264
复习思考题	·····	266
第十三章	绝热材料和吸声材料·····	267
第一节	绝热材料·····	267
第二节	吸声材料和隔声材料·····	272
复习思考题	·····	275
附录	土木工程材料试验·····	276
试验一	材料基本性质试验·····	276
试验二	水泥试验·····	280
试验三	混凝土用集料试验·····	288
试验四	普通混凝土试验·····	293
试验五	砌筑砂浆试验·····	299
试验六	烧结普通砖试验·····	302
试验七	钢筋试验·····	306
试验八	建筑石油沥青试验·····	309
参考文献	·····	315

绪 论

一、土木工程与土木工程材料

土木工程包括建筑工程、道路工程、桥梁工程、岩土与地下工程、港口工程、水利工程及市政工程等。用于建设这些工程的材料统称为土木工程材料。土木工程材料品种繁多,性能各异,土木工程材料的选用直接影响工程造价、工程质量、工程耐久性和使用功能。因此土木工程材料是土木工程建设的基础。

土木工程材料与土木工程技术之间存在着相互促进、相互依存的密切关系。一种新型土木工程材料的出现,必将促进土木工程设计理论和施工技术的更新。例如钢筋混凝土的出现和预应力技术的应用,促进了建筑物向高层及大跨度方向发展。反过来,新的土木工程技术又对土木工程材料提出了更高的要求,从而促进新材料的诞生和材料科学的发展。例如重要的工程结构要求具有超高耐久性能的土木工程材料,这样又促进了人们对材料耐久性的研究与认识。

当前,随着能源危机的出现和人类对环境保护的需要,土木工程材料的高性能化和绿色化成为主要的发展趋势,因此,重视环保型土木工程材料的生产及其科学技术的发展,对构建和谐社会和建设节约型、环保型国家具有非常重要的意义。

二、土木工程材料的分类

土木工程材料种类繁多,性能各异,其分类方法也有许多,可以不同角度采取不同的分类方法。按材料的制造方法不同可分为天然材料和人工材料。按材料在建筑物中的功能不同可分为承重材料、保温和隔热材料、吸声和隔声材料、防水材料、耐热防火材料、装饰材料、防腐材料、采光材料等。按材料在建筑中的使用部位不同可分为基础材料、结构材料、墙体材料、屋面材料、地面材料、顶棚材料、饰面材料等。为了便于土木工程材料的定性研究,常根据土木工程材料的化学组成将其分为无机材料、有机材料和复合材料三大类,如图 0-1 所示。

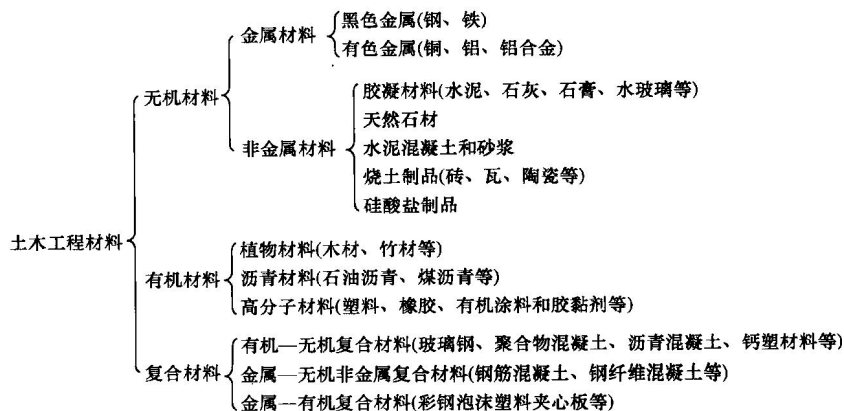


图 0-1 土木工程材料的分类

三、土木工程材料的发展历程

土木工程材料是伴随着人类社会的不断进步和社会生产力的发展而发展的。纵观其发展历程,无不闪烁着人类智慧的光芒,可以说土木工程材料的发展史就是人类文明的编年史。在远古时代,人类居于天然山洞或树巢中,18 000 年前的北京周口店龙骨山山顶洞人(旧石器时代晚期),仍是住在天然岩洞里。大约距今 10 000~6000 年前,人类学会了建造自己的居所。这一时期的房屋多为半地穴式,所使用的材料为天然的木、竹、苇、草、泥等。墙体多为木骨抹泥,有的还用火烤得极为坚实,屋顶多为茅草或草泥。在距今约 6000 年的西安半坡遗址(新石器时代后期),已是采用木骨泥墙建房,并发现有制陶窑场。天然石材具有比木材、泥、土等材料更坚硬、耐久的性质,但不易切割和使用。随着人类生产工具的进步,取材能力增强,人们开始利用天然石材建造房屋和纪念性结构物。最早利用大块石材的结构物当数公元前 2500 年前后建造的埃及金字塔。石材的开采利用难度较大,制约了其大面积推广应用。为了改善土制材料的耐久性,即公元前 500 年左右,人们将土坯在高温下焙烧,成为坚实、耐水的黏土砖。这种黏土砖最早被苏美尔人用于建造宫殿。我国的秦汉时期,黏土砖已经作为最主要的房屋建筑材料被大量使用,因此有“秦砖汉瓦”之称。黏土砖是烧土制品的代表性材料,其强度高、耐水性好,同时外形规则、尺寸适中,易于砌筑,2000 多年以来,黏土砖在我国房屋建筑中始终是墙体材料的主角。但是烧制黏土砖要破坏大量的耕地,随着人口的增多,土地资源的匮乏,我国正在逐步限制实心黏土砖的使用和生产,这种传统的墙体材料将逐步被其他材料所取代。

烧土制品的出现,使人类建造房屋的能力和水平跃上了新的台阶,土坯、黏土砖作为块体材料用来砌筑墙体,其强度和保温隔热性能远远优于木骨抹泥的墙体,烧制黏土瓦作为屋面材料大大提高了房屋的防雨、防渗漏功能,使居室环境得到改善。以石灰为胶凝材料拌制的砂浆,既可以用于块体材料之间的胶结,提高砌筑墙体的强度和整体性,又可以用于墙体的抹面,提高墙体的隔断性能和表面美观性。玻璃用于房屋建筑的门窗,大大提高了居室的采光效果。因此,烧土制品作为最早的人工建筑材料,使人类的居住环境得到了根本性的改善。

水泥的发明和钢材在土木工程中的应用掀开了建筑材料发展史的新篇章,土木工程材料、土木工程结构发生了翻天覆地的变化。水泥的应用可追溯到公元前 2 世纪的欧洲,人们用天然火山灰、石灰、碎石拌制天然混凝土用于建筑,直到 1824 年,英国人 Joseph Aspding 将石灰石与黏土混合制成料浆,再经煅烧、磨细制成水泥,并取得了发明专利。因其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)。钢材在土木工程中的应用也始于 19 世纪。1823 年英国建成世界上第一条铁路,1889 年建造的巴黎埃菲尔铁塔高达 320m。钢材在使用过程中容易生锈;混凝土则属于脆性材料,虽然抗压强度较高,但抗拉强度很低,易开裂。在混凝土中放入钢筋,既可以使钢筋免于大气中有害介质的侵蚀,防止生锈;同时钢筋提高了构件的抗拉性能,于是出现了钢筋混凝土材料。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。1887 年, M Koenen 发表了钢筋混凝土梁的荷载计算方法。1892 年法国的 Hennebique 发表了梁的剪切增强配筋方法。这些计算及设计方法成为今天钢筋混凝土结构设计的基础。

进入 20 世纪以来,钢筋混凝土材料有了两次较大的飞跃。其一是 1908 年,由 C R Stei-

ner 提出了预应力钢筋混凝土的概念；1928 年法国的 E Fregssinet 使用高拉力钢筋和高强度混凝土使预应力混凝土结构实用化。其二是 1934 年，在美国发明了减水剂，在普通的混凝土中加入少量的减水剂，可大大改善混凝土的工作性能。这些发展使混凝土和钢筋混凝土的性能得到进一步提高，应用范围进一步扩大。

如果说 19 世纪钢材和混凝土作为结构材料的出现使建筑物的规模产生了飞跃性的发展，那么 20 世纪出现的高分子有机材料、新型金属材料和各种复合材料，则使建筑物的功能和外观发生了根本性的变革。以塑料和合成树脂为代表的高分子有机材料是 20 世纪具有代表性的新型材料。品种繁多的有机建筑材料作为装饰装修材料、防水材料、保温隔热材料、管线材料、绝缘材料，在建筑物中发挥着各种功能作用，使建筑物的使用功能和质量得到了很大提高。

绿色建筑材料又称生态建筑材料或健康建筑材料。它是指采用清洁生产技术，不用或少用天然资源和能源，大量使用工农业或城市固态废弃物生产的无毒害、无污染、无放射性，达到使用周期后，可回收利用，有利于环境保护和人体健康的建筑材料。总之，绿色建材是既能满足可持续发展之需，又做到发展与环保统一；既满足现代人需要、安居乐业、健康长寿，又不损害后代人利益的一种材料。因此，绿色建材已成为世界各国 21 世纪建材工业发展的战略重点。

为了实现人类社会的可持续发展，需要按照循环经济的理念来指导土木工程材料的生产和消费。即合理利用资源和环境容量，在物质循环利用的基础上发展经济。“3R”原理（Reduce——减量化、Reuse——再利用、Recycling——再循环）是循环经济的核心内容。土木工程材料工业可以大量利用工业固体废弃物，减少资源和能源消耗。提高土木工程材料的耐久性，延长建筑物的使用寿命，也是减少资源和能源消耗的有效途径。

四、土木工程材料的标准化

土木工程材料的技术标准是生产和使用单位检验并确认产品质量是否合格的技术文件。为了保证材料的质量，必须对材料产品的技术要求制订统一的执行标准，其内容主要包括产品规格、分类、技术要求、检验方法、验收规则、标志、运输和储存注意事项等方面。我国的技术标准分为四级，即国家标准、部级标准、地方标准和企业标准。技术标准的表示方法由标准名称、代号、标准号、标准颁布年代号组成。国家标准代号为 GB（强制性标准）和 GB/T（推荐标准），强制性标准具有法律属性，在规定的适用范围内必须严格执行；推荐性标准具有技术上的权威性、指导性，是自愿执行的标准，它在合同或行政文件确认的范围内也具有法律属性。建工行业标准代号为 JG；水利行业标准代号为 SL；电力行业标准代号为 DL；交通行业标准代号为 JT；冶金行业标准代号为 YB；国家建材局标准代号为 JC；企业标准代号为 QB 等。如 2003 年颁布的国家推荐性 5101 号建筑用烧结普通砖标准为 GB/T 5101—2003《烧结普通砖》，建设部 2006 年颁布的 52 号行业标准为 JGJ 52—2006《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》及国家标准 GB 200—2003《中热硅酸盐水泥、低热硅酸盐水泥、低热矿渣硅酸盐水泥》等。随着建筑材料科研及生产的发展，建筑材料技术标准也不断变化。根据需要国家每年都发布一批新的技术标准，修订或废止一些旧的标准。

此外，世界各国均有自己的国家标准，例如“ANSI”代表美国国家标准（“ASTM”是美国试验与材料协会标准）、“JIS”代表日本国家标准、“BS”代表英国标准、“NF”代表法国标准、“DIN”代表德国标准等。另外，在世界范围内统一执行的标准称为国际标准，其

代号为“ISO”。

标准是根据一个时期的技术水平制订的，随着科学技术的发展，标准也在不断变化，应根据技术发展的速度与要求不断进行修订。

五、本课程学习目的与方法

土木工程材料是土木工程类专业的专业基础课。它是以数学、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材料学的基本知识，同时它还为今后从事工程实践和科学研究打下必要的专业基础。书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、构造、性质、应用、检验、运输和储存等方面的内容，以及现行的相关技术标准。本课程的学习重点应是掌握材料的基本性质和合理选用材料。要达到这一点，就必须了解各种材料的特性，在学习时，不但要了解每一种材料具有哪些基本性质，而且还应对不同类属、不同品种材料的特性相互进行比较，只有掌握其特点，才能做到正确地选用材料。同时，还要知道材料之所以具有某种基本性质的基本原理，以及影响其性质变化的外界条件。此外，材料的运输和储存等注意事项，也是根据该材料的性质所规定的。

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别，培养科学认真的态度和实事求是的工作作风。

第一章 土木工程材料的基本性质

土木工程材料作为建设工程的物质基础,所表现出来的基本性质直接影响工程结构的可靠性、耐久性和使用性能。这些材料所使用的环境不同。所起的作用也各不相同。为此,要求土木工程材料必须具备相应的性质。例如结构材料必须具有良好的力学性能;墙体材料应具有绝热、隔声性能;屋面材料应具有抗渗防水性能;地面和路面材料应具有防滑、耐磨损性能等。根据材料学的基本原理,材料的组成与结构决定了其性质,因此本章将在分析材料组成、结构与性质关系的基础上,讨论土木工程材料的物理性质、力学性质及耐久性等。这些性质都是选择、应用、分析材料时的依据。这些繁多的性质又是工程技术人员在工程设计和施工过程中必须掌握的内容,土木工程材料使用过程中应严格、慎重地选取,使其充分发挥性能优势。所以掌握土木工程材料性质和性能特点是土木工程专业学习、合理选择和使用材料的基础。

第一节 土木工程材料的组成、结构与性质

一、材料组成

土木工程材料的组成通常可分为化学组成和矿物组成。

化学组成是指组成材料的单质及化合物的质量百分含量。

矿物是指地质作用中各种化学成分所形成的自然单质和化合物,具有相对固定的化学成分和内部结构。矿物是组成地壳的基本物质单元,矿物也可以理解为组成材料的单质及化合物的特定结合形式。土木工程材料中引申了这一概念。通常将人造的无机非金属材料中具有特定晶体结构和特定物理力学性能,且与天然矿物相似的组织称为矿物。矿物组成即指材料中的各种矿物的质量百分含量。

材料化学组成不同,其性能会有明显差异。例如金属材料的导电性能明显优于非金属材料,有机材料的保温性能一般都优于无机材料。有时,即使在化学组成上微小的变化同样会引起性能的明显差异。比如,纯铁、钢、生铁三者的主要成分都是铁元素,但纯铁强度相对较低且较柔软,钢却较坚韧,生铁则硬脆。形成这种差别的主要原因之一就是含碳量的不同,含碳量不同也会引起物质结构的变化。

由上述可见,材料的组成直接影响材料性能,在材料的生产、使用时应根据对性能的要求来确定材料组成及所占比例。

二、材料的结构

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。材料的结构可分为宏观结构、细观结构和微观结构。

(一) 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。

1. 按材料孔隙特征分类

(1) 致密结构：指具有不吸水或吸水性很小的材料结构。如金属材料、致密石材、玻璃、塑料、橡胶等。

(2) 多孔结构：指具有粗大孔隙材料的结构。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：指具有微细孔隙材料的结构。如石膏制品、低温烧结黏土制品。

2. 按材料组织构造特征分类

(1) 堆聚结构：指由集料与具有胶凝性或黏结性物质胶结而成的结构。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。如木材、玻璃纤维等。

(3) 层状结构：指具有叠合结构的层状结构。如胶合板、纸面石膏板等各种叠合成层状的板材。

(4) 散粒结构：指呈松散颗粒状构造的材料。如砂、石及粉状或颗粒状的材料（膨胀珍珠岩、膨胀蛭石、粉煤灰等）。

(5) 纹理结构：天然材料在生长或形成过程中自然造就的天然纹理。如木材、大理石、人造花岗岩板材等。

(二) 细观结构

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 $10^{-3} \sim 10^{-6} \text{mm}$ 。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；对钢材可分为铁素体、渗碳体、珠光体。

(三) 微观结构

材料的许多物理力学性质，如弹塑性、硬度、强度等，都与材料的结构状态有着密切关系。土木工程材料的使用状态均为固态，固体材料的微观结构基本上可分为晶体、玻璃体、胶体三类，不同结构的材料，各具不同特性。

1. 晶体结构

由离子、原子或分子在空间上按照特定规则呈周期性排列而成的结构称为晶体（或晶格）。晶体组成的每个晶粒具有各向异性，但它们排列起来组成的晶体材料却是各向同性的。晶体中离子、原子或分子的密集程度和它们之间的相互作用力，以及晶粒的外形都将影响材料的性质。晶体中质点的密集程度越高，材料的塑性变形能力越大。晶粒越小，分布越均匀，材料的强度越高。在使用材料时，常用改变晶粒粗细和结构的方法改善材料的性质。如对钢材进行的冷加工和热处理，分别使晶粒细化和晶粒扭曲及滑移，均能提高钢材的强度。

2. 玻璃体结构

在熔融物冷却凝固过程中，如果冷却速度较快，质点来不及按一定规则排列，便形成玻璃体。玻璃体材料各向同性，破坏时没有解理面。玻璃体没有固定熔点，仅出现软化现象，将开始软化的起始温度称为软化温度或软化点。熔融物在急冷过程中，质点间的能量以內能的形式存储起来，使得玻璃体具有化学不稳定性，有时表现出一定的化学活性。有些玻璃体内质点的排列虽然不规则，但是由许多极微小的晶体——微晶集合而成的，微晶与微晶之间则具有无定形结构。

3. 胶体结构

胶体是由微小的粒子（直径 $1\sim 100\mu\text{m}$ ）分散在介质中组成的。由于胶体的质点很微小，所以表面积很大，具有很大的表面能，吸附能力很强，这是很多胶体具有很大黏结力的原因。如硬化水泥浆体就是胶体结构，具有很强的黏结力。

有时材料的组成与结构具有同一性。如岩浆随地质运动缓慢地运动到地表，形成岩浆岩，这是一种缓慢的冷却过程，其内部质点形成定向排列，具有较高的强度和化学稳定性；如岩浆急速运动到地表，形成火山喷发，岩浆则形成火山凝灰岩和大量的火山灰，火山灰中存在大量非晶态 SiO_2 ，具有较高的潜在活性，可将其作为水泥混合材或混凝土的掺和料。从材料组成的角度讲可以认为二者的化学组成相同，但矿物组成不同，导致其性能有较大差异；从结构的层面理解，前者的微观结构结晶度较高，因而强度高，后者则形成了大量的玻璃体结构而导致化学活性较高。水淬高炉矿渣则是人们有目的利用这一性质的典型案例。高炉矿渣如果在空气中自然冷却，其化学活性很低；如果用压力水冲熔融的高炉矿渣，其内部质点未及定向排列，形成大量的玻璃体结构，烘干磨细后制得磨细矿渣，是一种活性较高的混凝土的掺和料。

第二节 材料的物理性质

一、材料的密度、表观密度和堆积密度

（一）材料的密度

材料在绝对密实状态下单位体积的绝干质量称为密度。可用下式表示为

$$\rho = m/V \quad (1-1)$$

式中 ρ ——材料的密度， g/cm^3 ；

m ——材料在绝干状态下的质量， g ；

V ——材料在绝对密实状态下的体积， cm^3 。

材料在绝对密实状态下的体积，是指不包括材料内部孔隙的固体物质本身的体积，亦称实体积。建筑材料中除钢材、玻璃、沥青等外，绝大多数材料均含有一定的孔隙。测定含孔材料的密度时，须将材料磨成细粉（粒径小于 0.20mm ），经干燥后用李氏瓶测得其实体积。

（二）材料的表观密度

材料在自然状态下单位体积的质量称为材料的表观密度，亦称为体积密度，其公式为

$$\rho_0 = m/V_0 \quad (1-2)$$

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表观体积， m^3 。

材料在自然状态下的表观体积是指材料的实体积与材料内所含全部孔隙体积之和。对于外形规则的材料，其表观密度测定很简便，只要测得材料的质量和体积（用尺量测），即可算得。不规则材料的体积要采用排水法求得，但材料表面应预先涂上蜡，以防水分渗入材料内部而使测值不准。

材料表观密度的大小与其含水情况有关。当材料含水时，其质量增大，因此测定材料表观密度时，须注明其含水状态。一般来说，散粒状材料的含水状态可归纳为以下 4 种，即干燥状态、气干状态、饱和面干状态和湿润状态，如图 1-1 所示。通常材料的表观密度是指

气干状态下的表观密度。材料在干燥状态下的表观密度称绝干表观密度。

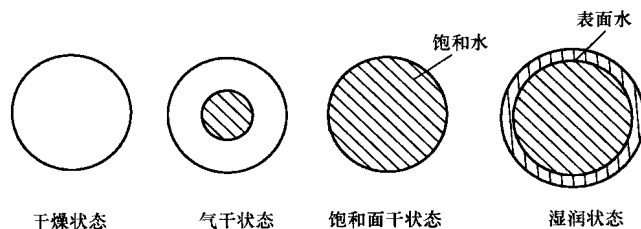


图 1-1 集料颗粒的含水状态

土木工程中常用的砂、石材料，其颗粒内部孔隙极少，不涂蜡直接应用排水法测出的颗粒体积与其实体积基本相同，这样直接测得的表观密度可近似地视作其密度，常称视密度。

(三) 材料的堆积密度

散粒材料在自然堆积状态下单位体积的质量称为堆积密度。可用下式表示

$$\rho'_0 = m/V'_0 \quad (1-3)$$

式中 ρ'_0 ——散粒材料的堆积密度， kg/m^3 ；

m ——散粒材料的质量， kg ；

V'_0 ——散粒材料在自然堆积状态下的体积， m^3 。

散粒材料在自然堆积状态下的体积，是指其既含颗粒内部的孔隙又含颗粒之间空隙在内的总体积。测定散粒材料的体积可通过已标定容积的容器计量而得。测定砂子、石子的堆积密度即用此法求得。若以捣实体积计算时，则称紧密堆积密度。

由于大多数材料或多或少均含有一些孔隙，故一般材料的表观密度总是小于其密度，即 $\rho_0 < \rho$ 。土建工程中在计算材料用量、构件自重、配料、材料堆场体积或面积，以及计算运输材料的车辆时，均需要用到材料的上述状态参数。常用土木工程材料的密度、表观密度和堆积密度见表 1-1。

表 1-1 常用土木工程材料的密度、表观密度和堆积密度

材料名称	密度 (g/cm^3)	表观密度 (kg/cm^3)	堆积密度 (kg/cm^3)
钢	7.85	—	—
花岗岩	2.70~3.00	2500~2900	—
石灰石 (碎石)	2.40~2.60	1600~2400	1400~1700
砂	2.50~2.60	—	1450~1650
黏土	2.50~2.70	—	1600~1800
水泥	2.80~3.10	—	1250~1600
烧结普通砖	2.60~2.70	1600~1900	—
烧结多孔砖	2.60~2.70	900~1450	—
普通混凝土	—	1950~2500	—
红松木	—	400~500	—
泡沫塑料	—	20~50	—
粉煤灰 (气干)	1.95~2.40	1600~1900	550~800
普通玻璃	2.70~2.90	2700~2900	—

二、材料的孔隙率与密实度

大多数土木工程材料的内部都含有孔隙,这些孔隙会对材料的性能产生不同程度的影响。一般认为,孔隙主要从两方面对材料产生影响:一是孔隙的多少,二是孔隙的特征。

材料中含有孔隙的多少常用孔隙率表征。孔隙率是指材料内部孔隙体积(V_p)占材料表观体积(V_0)的百分率。因为 $V_p = V_0 - V$,所以孔隙率可用下式表示

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

与孔隙率相对应的是材料的密实度,即材料内部固体物质的实体积占材料表观体积的百分率,可用下式表示

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

孔隙率或密实度反映材料的结构致密程度,直接影响材料的力学性能、热学性能及耐久性性能。但是孔隙率只能反映材料内部所有孔隙的总量,并不能反映孔径分布状况,也不能反映孔隙是开放的,还是封闭的,是连通的,还是孤立的等特性。不同尺寸,不同特征的孔隙对材料性能的影响程度不同,例如封闭孔隙有利于提高材料的保温隔热性,在一定范围内对材料的抗冻性也有利;而开放或连通的孔隙则降低材料的保温性和抗渗性。孔径较大的孔隙对材料的强度极为不利,但孔径在20nm下的凝胶孔对强度几乎没有任何影响。所以,除孔隙率之外,孔径大小、孔隙特征对材料的性能也具有重要的影响。

按照孔径大小可将材料内部的孔隙分为气孔(或大孔)、毛细孔和凝胶孔三种。按照孔隙是否封闭特征,又可分为开口孔隙 V_K (连通孔隙)和闭口孔隙 V_B (封闭孔隙),开口孔隙和闭口孔隙体积之和等于材料的总孔隙,即 $V_p = V_K + V_B$ 。另外,定义开口孔隙率为 $P_K = V_K/V_0$,闭口孔隙率 $P_B = V_B/V_0$,则有

$$P = P_K + P_B \quad (1-6)$$

三、材料的空隙率与填充率

散粒材料颗粒间的空隙多少常用空隙率表示。空隙率定义为:散粒材料颗粒间的空隙体积 V_v 占堆积体积 V'_0 的百分率。因为 $V_v = V'_0 - V_0$,所以空隙率可按下式计算

$$P' = \frac{V_v}{V'_0} \times 100\% = \frac{V'_0 - V_0}{V'_0} \times 100\% = \left(1 - \frac{\rho'_0}{\rho_0}\right) \times 100\% \quad (1-7)$$

与空隙率相对应的是填充率,即颗粒的自然状态体积占堆积体积的百分率,可按下式计算

$$D' = \frac{V_0}{V'_0} \times 100\% = \frac{\rho'_0}{\rho_0} \times 100\% = 1 - P' \quad (1-8)$$

空隙率反映粒状材料堆积体积内颗粒之间的相互填充状态,是衡量砂石、石子等粒状材料颗粒级配好坏,进行混凝土配比设计的重要原材料数据。在进行混凝土配比设计时,通常根据集料的堆积密度、空隙率等指标计算水泥浆用量及砂率等。

四、材料与水有关的性质

(一) 亲水性与憎水性

当材料与水接触时,有些材料能被水润湿,有些则不能被水润湿,前者称为亲水性材料,后者称为憎水性材料。

材料产生亲水性的原因是其与水接触时,材料分子与水分子之间的亲和力大于水本身分子间的内聚力所致;当材料与水接触时,材料分子与水分子之间的亲和力小于水本身分子间的内聚力时,则材料表现为憎水性。

材料被水湿润的情况可用润湿边角 θ 表示。当材料与水接触时,在材料、水、空气三三相的交点处,作沿水滴表面的切线,此切线与材料和水接触面的夹角 θ ,称为润湿边角,如图 1-2 所示。 θ 角越小,表明材料越易被水润湿。实验证明,当 $\theta \leq 90^\circ$ 时,如图 1-2 (a) 所示,材料表面容易吸附水,材料能被水润湿而表现出亲水性。当 $\theta > 90^\circ$ 时,如图 1-2 (b) 所示,材料表面不易吸附水,称为憎水性材料。当 $\theta = 0^\circ$ 时,表明材料完全被水润湿。

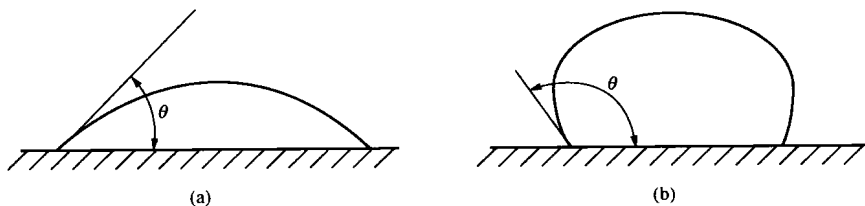


图 1-2 材料浸润示意图

亲水性材料易被水润湿,且水能通过毛细管作用而被吸入材料内部。憎水性材料则能阻止水分渗入毛细管中,从而降低材料的吸水性。憎水性材料常被用作防水材料,或用作亲水性材料的覆面层,以提高其防水、防潮性能。土木工程材料大多为亲水性材料,如水泥、混凝土、砂、石、砖、木材等,只有少数材料如沥青、石蜡及某些塑料等为憎水性材料。

(二) 材料的吸水性与吸湿性

1. 吸水性

材料在水中能吸收水分的性质称为吸水性。材料的吸水性用吸水率表示,吸水率有以下两种表示方法:

(1) 质量吸水率。

质量吸水率是指材料在吸水饱和时,内部所吸水分的质量占材料绝干质量的百分率。用下式表示为

$$W_m = \frac{m_{sw}}{m} \times 100\% \quad (1-9)$$

式中 W_m ——材料的质量吸水率, %;

m_{sw} ——材料吸收水的质量, g;

m ——材料的绝干质量, g。

(2) 体积吸水率。

体积吸水率是指材料在吸水饱和时,其内部所吸水分的体积占干燥材料表观体积的百分率。用下式表示为

$$W_v = \frac{V_{sw}}{V_0} \times 100\% \quad (1-10)$$

式中 W_v ——材料的体积吸水率, %;

V_{sw} ——材料吸收水的体积, cm^3 ;