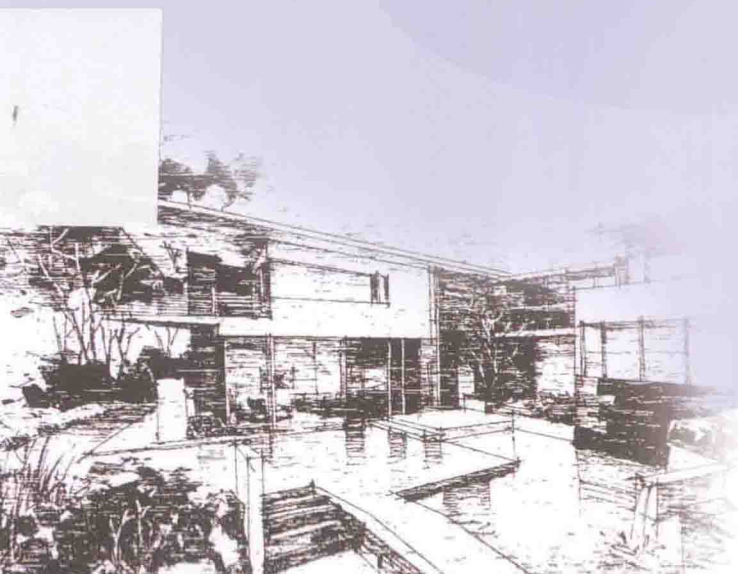




普通高等教育“十二五”规划教材

土木工程材料

乔宏霞 主 编
周茗如 曹 辉 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材

土木工程材料

主 编	乔宏霞	
副主编	周茗如	曹 辉
编 写	李 琼	李水鱼
主 审	霍曼琳	



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十二五”规划教材。全书共 11 章, 主要内容包括材料的基本性质、工程石材、气硬性胶凝材料、水泥、混凝土、建筑砂浆、金属材料、沥青与防水材料、木材、合成高分子材料、建筑功能材料等, 附录 A 为土木工程材料实验, 附录 B 为习题答案。

本书根据最新颁布的技术标准和规范编写, 注意不同专业对材料性能的要求, 重点关注和介绍各行业的公共材料的性能特点, 与工程实际相结合, 有利于学生的创造性学习, 也便于自学。

本书可作为高等学校土建类专业教材, 也可作为从事水利水电工程、建筑学、无机非金属、土木工程设计、施工、科研和管理技术人员的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

土木工程材料/乔宏霞主编. —北京: 中国电力出版社, 2014. 8

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5123-5924-6

I. ①土… II. ①乔… 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 (2014) 第 108671 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2014 年 8 月第一版 2014 年 8 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 19.5 印张 474 千字

定价 39.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签, 刮开涂层可查询真伪

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

土木工程材料是构成各种土木工程建筑物的物质基础,其课程是土木工程专业的专业基础课。由于近几年土木工程中各种材料的规范和规程大多进行了修订和更新,所以本书根据土木工程专业的基本要求,参考了国家和行业的最新规范和规程,系统地介绍了土木工程材料的基本性质、工程石材、气硬性胶凝材料、水泥、混凝土、建筑砂浆和砌筑材料、金属材料、沥青材料、木材、高分子材料、功能材料等的基本理论和基本知识,适合土木工程专业、工程管理专业、水利水电工程专业、建筑学专业、无机非金属专业教学,也可供教学科研人员及专业技术人员参考。

学习本课程的目的使学生掌握主要土木工程材料的性质、用途、检测和质量控制,能针对不同工程合理地选用、使用材料,同时与后续课程密切配合,理解材料与工程设计、施工的相互关系。本课程为建筑学、结构工程、工程管理等课程的学习提供必要的材性知识,具有基础课特征,同时用所学知识直接指导工程实践,也具有专业课的特征,所以作为工程类专业的专业基础课,本书在编写时尽可能反映本学科国内外的新成就和我国有关的新标准、新规范,并对土木工程各行业的公共材料进行重点介绍。

本书由兰州理工大学乔宏霞主编,周茗如、曹辉副主编。绪论及第4、5、8、10、11章由乔宏霞(兰州理工大学)编写;第1、7章由李琼(兰州理工大学)编写;第2、6章及附录由曹辉(兰州理工大学)编写;第3章由周茗如(兰州理工大学)编写;第9章(木材)由李水鱼(山东交通学院)编写。兰州理工大学程千元、王金磊在本书的编写、整理、统稿、核对过程中也做了大量工作。兰州交通大学的霍曼琳教授承担了本书的审稿工作,提出了宝贵的意见,在此表示感谢!

由于土木工程材料品种繁多,新材料发展快,行业标准不完全一致且更新速度快,故限于编者水平,书中如有不妥之处,恳请广大读者批评指正!

编者

2014.5

目 录

前言

0 绪论	1
0.1 土木工程材料的定义和分类	1
0.2 土木工程与材料的关系	2
0.3 土木工程材料发展方向	2
0.4 土木工程材料的学习方法与建议	3
1 材料的基本性质	6
1.1 材料的组成	6
1.2 材料的物理性质	9
1.3 材料与水有关的性质	13
1.4 材料的力学性质	16
1.5 材料的耐久性	20
1.6 材料的装饰性	20
习题	21
2 工程石材	23
2.1 岩石的形成与分类	23
2.2 石材的技术性质	25
2.3 砌筑石材	27
2.4 装饰石材	28
2.5 人造石材	30
2.6 建筑石材的选用	32
习题	33
3 气硬性胶凝材料	34
3.1 石灰	34
3.2 石膏	37
3.3 水玻璃	39
3.4 镁质胶凝材料	40
习题	41
4 水泥	42
4.1 硅酸盐水泥	42
4.2 掺混合材料的硅酸盐水泥	52
4.3 其他品种水泥	57
习题	61

5 混凝土	62
5.1 混凝土的组成材料	63
5.2 普通混凝土的主要技术性质	82
5.3 普通混凝土的配合比设计	103
5.4 普通混凝土的质量控制	113
5.5 其他品种混凝土	114
习题	132
6 建筑砂浆	133
6.1 砌筑砂浆	133
6.2 抹灰砂浆	137
6.3 特种砂浆	139
6.4 预拌砂浆	140
习题	142
7 金属材料	144
7.1 钢材的冶炼与分类	144
7.2 钢材的技术性质	148
7.3 钢材的晶体结构、化学成分对钢材性能的影响	152
7.4 钢材的冷加工和热处理	155
7.5 建筑钢材的品种与选用	157
7.6 钢材的腐蚀与防治	165
7.7 其他金属材料与制品	166
习题	168
8 沥青与防水材料	169
8.1 沥青与沥青混合料	169
8.2 防水卷材	182
8.3 防水涂料	188
8.4 建筑密封材料	191
习题	194
9 木材	195
9.1 木材的分类及构造	195
9.2 木材的物理性质	197
9.3 木材在建筑上的应用	201
9.4 木材的防腐和防火	202
习题	203
10 合成高分子材料	204
10.1 合成高分子化合物的基本知识	204
10.2 合成高分子材料在土木工程中的应用	206
习题	211

11 建筑功能材料	212
11.1 绝热材料.....	212
11.2 吸声隔声材料.....	214
11.3 建筑装饰材料.....	217
11.4 建筑涂料.....	223
习题.....	224
附录 A 土木工程材料实验	225
附录 B 习题答案	296
参考文献	303

0 绪 论

0.1 土木工程材料的定义和分类

0.1.1 土木工程材料的定义

土木工程材料是指各项土木工程所使用的各种无机材料、有机材料及复合材料,可分为广义土木工程材料和狭义土木工程材料。广义土木工程材料是指用于建筑工程中的所有材料,包括三个部分:一是构成建筑物、构筑物的材料,如石灰、水泥、混凝土、钢材、防水材料、墙体与屋面材料、装饰材料等;二是施工过程中所需要的辅助材料,如脚手架、模板等;三是各种建筑器材,如消防设备、给水排水设备、网络通信设备等。狭义土木工程材料是指直接构成土木工程实体的材料。本书所介绍的土木工程材料是指狭义土木工程材料。

0.1.2 土木工程材料的分类

1. 按化学组成分类

土木工程材料种类繁多,分类方法多样。最基本的分类方法是根据组成物质的化学成分分类,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。各大类又可细分为许多小类,具体分类见表0-1。

表0-1

土木工程材料按化学组成分类

无机材料	金属材料	黑色金属:铁、碳素钢、合金钢等 有色金属:铝、铜等及其合金等
	非金属材料	天然石材:石板、碎石、砂等 烧结制品:陶瓷、砖、瓦等 玻璃及熔融制品:玻璃、玻璃棉、矿棉等 胶凝材料:石灰、石膏、水泥等
有机材料	植物材料	木材、竹材、植物纤维及其制品
	高分子材料	有机涂料、橡胶、胶黏剂、塑料
	沥青材料	石油沥青、煤沥青、沥青制品
复合材料	金属—非金属材料 无机非金属—有机材料	钢纤维混凝土、钢筋混凝土等 玻璃纤维增强塑料、聚合物混凝土、沥青混凝土等

2. 按使用功能分类

按使用功能分类,通常分为承重结构材料、非承重结构材料、功能材料三大类。

(1) 承重结构材料。主要指梁、板、基础、墙体和其他受力构件所用的建筑材料。最常用的有钢材、混凝土、砖、砌块等。

(2) 非承重结构材料。主要包括框架结构的填充墙、内隔墙和其他围护材料等。

(3) 功能材料。主要有防水材料、防火材料、装饰材料、绝热材料、吸声隔声材料等。

0.2 土木工程与材料的关系

0.2.1 材料是保证土木工程质量的基礎

材料是构成土木工程建（构）筑物的物质基础，当然也是其质量基础。在土木工程中，从材料的生产、选择、使用和检验评定，到材料的储存、保管，任何环节的失误都可能造成工程的质量缺陷，甚至导致重大质量事故。因此，合格的土木工程技术人员必须准确熟练地掌握有关材料的知识。

为了确保土木工程的质量，必须实行土木工程材料的标准化。世界范围内使用的是 ISO 国际标准。我国的常用标准有三大类：①国家标准，包括强制性标准（代号 GB）和推荐性标准（代号 GB/T）；②行业标准，如建工行业标准（代号 JG）、建材行业标准（代号 JC）、交通行业标准（代号 JT）等；③地方标准（代号 DB）和企业标准（代号 QB）。

对强制性国家标准，任何技术（或产品）不得低于其规定的要求；对推荐性标准，表示也可执行其他标准的要求；地方标准或企业标准所制定的技术要求应高于国家标准。

0.2.2 材料对土木工程造价的影响

在一般土木建筑工程的总造价中，与材料有关的费用占 50% 以上，而在实际工程中，材料的选择、使用及管理，对工程成本影响很大。学习并准确熟练地掌握土木建筑工程材料知识，可以优化选择和正确使用材料，充分利用材料的各种功能，在优质的同时显著降低工程成本。因此，从工程技术经济的角度来看，学好本课程也十分重要。

0.2.3 材料对土木建筑工程技术进步起促进作用

在土木建筑工程建设过程中，工程的设计方法、施工方法都与材料密切相关。从根本上说，材料是基础，是决定土木建筑工程结构设计形式和施工方法的因素。因此，材料性能的改进，材料应用技术的进步都会直接促进土木建筑技术的进步。例如，钢材及水泥的大量应用和性能改进，取代了过去的砖、石、木材，使得钢筋混凝土结构已占领了土木工程结构材料的主导地位。现代玻璃、陶瓷、塑料、涂料等新型材料的大量应用，又把许多建筑物装扮得绚丽多彩。

0.3 土木工程材料发展方向

十一届三中全会以后，建设形势欣欣向荣，土木工程材料的需要量迅猛增加，土木工程材料工业是当前国民经济中急需加强的一个重要环节。近年来建材的科研、生产发展是比较快的，水泥品种已研制成功 60 余种，各种混凝土材料产量年年提高，同时，发展了很多种不同性能的混凝土（高强快硬、防水、防油、耐酸、防辐射、聚合物浸渍、彩色、轻质、大体积，以及预应力、自应力、纤维配筋混凝土和高性能混凝土、泵送混凝土等）。目前外加剂品种、牌号有 300 多个，在水泥混凝土使用中取得显著效果，是混凝土发展史上继钢筋混凝土、预应力混凝土后的第三次飞跃，也是混凝土科学技术上的又一次突破。20 世纪 90 年代的混凝土工程中，如果不使用外加剂，应该说这个混凝土就不科学。混凝土科学技术近代发展的主攻方向是轻质、高强、耐久、快硬、高流动性、流态混凝土、高性能的研究，都与外加剂，特别是减水剂的应用技术密切相关，商品混凝土、泵送混凝土的研究应用就是建立

在外加剂的基础上。

目前,土木工程材料的需求量很大,因而研究和使用的材料方面应该因地制宜、就地取材。改进地方材料的性能及充分利用工业废料制造新型的土木工程材料,就成为科研、生产与合理使用的主要问题。各地为使建筑工业化研制了各种新材料,推广各种建筑体系,从各方面条件综合考虑,全国绝大部分建筑的主要结构仍将是钢筋混凝土结构及砖混结构,各种砖、小砌块以及混凝土、砂浆目前仍然是主要材料。保护农田良土,推广使用灰砂砖、煤渣砖、粉煤灰砖、尾矿粉砖、泡沫混凝土砖块等来取代部分黏土砖,或不再使用红砖,同时发展空心砖、空心砌块,充分利用砂子、石灰和工业废料,大力发展水泥生产,节约黏土,不与农业争土,仍是发展方向。

不同土木工程材料的生产,其单位能耗悬殊,而建筑物在使用期间又是长期耗能较大的场所,为节约能耗,墙体、屋面、地面材料均应充分考虑绝热效果,在选用材料时应作综合热工计算,务求生产、施工与使用期间减少能耗。

为满足工农业大规模建设的需要,研制新型材料与制品,合理地使用材料也是必要的。特别是随着生产发展,人民生活水平不断提高,在居住方面除了满足基本面积要求外,建筑物的保温绝热、吸音隔声、美观实用等功能日益显得重要,塑料、铝合金材料制品等在建筑材料中的比重逐渐加大,而工业建筑方面要求提供有耐热、耐腐蚀、耐磨、抗污、防爆、防辐射的各种复合性能的材料。

土木工程材料今后的发展趋势:

(1) 轻质高强。普遍使用加气混凝土、轻集料混凝土、增强塑料型材、管材及铝合金型材等,以减轻结构材料的重量,发展高性能混凝土、高耐久性高强混凝土,并能节省运输费用,利于节能、抗震。

(2) 大力研制开发各种类型的混凝土外加剂,改善混凝土性能。

(3) 发展复合材料及制品,提高材料使用效能。

(4) 构件及制品尺寸大型化、标准化,便于工业化生产,加快施工进度。

(5) 充分利用地方材料及工业废渣,保护自然资源,开发装饰材料,提高材料装饰效果。

(6) 利用材料科学的知识与技能进行研究,设计与制造特殊功能和高效能的土木工程材料。

一种新材料的开发,需要有一个过程,包括研究、技术上成熟的过程,还有社会上的认识和适应过程。作为一名工程技术人员,应该积极而慎重地推广和采用新型材料,结合地区特点与工程性质,合理地发挥新材料优势。

0.4 土木工程材料的学习方法与建议

0.4.1 土木工程材料课程的性质和任务

本课程为专业基础课,学好本课程是为配合土木工程建筑结构的设计、施工和后续相关课程,合理选择和使用土木工程材料打下基础。土木工程材料又是建筑物重要的物质基础,为此,必须了解各种材料的组织构造和成分等特点,从本质上理解材料的配制过程,在不同施工条件下及在应用过程中发生的变化和各种条件之间的相互关系。在学习过程中要掌握各

种现象发生的原因、硬化机理、材料试验方法及验收、储存、运输、保管等方面的基本知识和技能,了解节约材料、改善性能和防腐处理的原则和方法。

0.4.2 学习土木工程材料课程的基本要求

土木工程材料的品种和内容较多,对学生只要求掌握最基本的生产工艺、技术性能、试验方法和合理使用技术知识。

各种材料需要研究的内容范围很广,涉及原料、生产、组成、构造、性质、应用、检验、运输、验收和储存等各个方面。在学习时,要着重学好主要内容,包括材料的建筑性质和合理应用。对于同一类属的不同品种的材料,不但要学习它们的共性,更重要的是了解各自的特性和具备这些特性的原因。

学习时注意了解事物的本质和内在联系。对材料从微观、亚微观到宏观结构进行分析研究,洞察各种性质之间的内在联系和在不同条件下的变化规律。

一切材料的性质,在使用过程中,甚至在储运过程中,都在不断变化。为了保证工程的耐久性和控制材料在使用前的质变问题,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。

0.4.3 土木工程材料课程的学习建议

土木工程材料是研究各种材料的组成、结构、组织构造、生产工艺、加工原理、技术性能、质量检验及应用范围等内容的科学技术。

学生在学习本课程时要有一定的数学、物理、化学、材料力学等方面的基本知识。另外,学生对土木工程材料在有一定感性知识的基础上可获得下面有关的知识。

- (1) 土木工程材料的技术性质及应用的基本知识。
- (2) 生产工艺及加工原理的一般知识。
- (3) 必要的基本理论知识。
- (4) 主要土木工程材料试验的基本技能。
- (5) 一般技术经济分析。

通过学习,要求学生能用辩证唯物主义观点分析各种因素对土木工程材料技术性质的影响,为正确选择与使用土木工程材料提供必要的基础知识。

土木工程材料试验:土木工程材料是一门与实际联系较紧密的学科,土木工程材料试验是这门课的一个重要环节。通过材料试验可以巩固所学的理论知识,并使学生能熟悉各种材料试验、操作技术、国家标准和技术规范。对于各种试验数据能进行科学的分析和整理,可培养学生进行科学研究的能力。在学习过程中要求学生密切联系实际,结合工程实际,参观有关的建筑工地,如混凝土工程的施工、防水工程的施工、混凝土预制厂等,这样不仅能学到实际的施工知识,而且能掌握如何保证工程材料的质量。

认识主要的土木工程材料样品,通过典型的材料样品的认识,可运用对比的方法,进一步了解土木工程材料的共性和特性,便于掌握和理解其技术性能。

(1) 按主线有重点地学习。土木工程材料是一门实用性较强的课程,学习时需以材料组成、结构、性能与应用为主线,重点是掌握性能与应用,而对材料的生产只作一般性的了解。土木工程材料种类繁多,需要学习和研究的内容范围很广。因此,对其学习不必面面俱到,平均分配力量,而应有重点地、点面结合地进行学习。本课程的学习重点是掌握土木工程材料的性能及其应用。但不可满足于知道该材料具有哪些性质、有哪些表象,重要的是理

解形成这些性质的内在原因、外部原因和这些性能之间的相互关系,从而更好地应用,并注意对各材料的性能进行比较,注意其异同点,具体的数据懂得查找即可。

(2) 知识、能力和素质的有机统一。学习本课程不仅仅是为了掌握有关的专业知识和基本技能,更重要的是培养分析、解决问题的能力,培养创新精神,提高综合素质。建议多参考工程实例分析,这对引导学生理论联系实际,培养分析、解决实际问题的能力有很大好处。建议在阅读案例的基本情况后,先联系有关的知识独立思考,然后阅读其原因分析,且应当多观察身边的工程实际问题,理论联系实际地学习本课程。

在学习完每一章后,对习题与讨论亦应认真思考,并可对照所附参考答案。此过程有助于加深基本原理、基本知识的理解,有利于培养分析解决工程实际问题能力。

实验部分为综合设计实验,其目的是不仅掌握基本的实验技能,更重要的是培养综合素质,为日后的工作打下基础。

学习本课程还需充分注意土木工程材料的环保问题,强化环保意识,提高工程综合素质。

1 材料的基本性质

在土木工程各类建（构）筑物中，土木工程材料要承受各种不同因素的作用，这就要求土木工程材料具有相应的性质。如用于梁、板、柱的材料应具有良好的力学性能；墙体材料应具有绝热、隔声性能；屋面及道路工程材料应具有抗渗、防水性能；地面材料应具有耐磨损性能；某些工业建筑材料应具有抗酸、碱、盐等介质腐蚀的性能；对于长期暴露在大气中的材料，要求材料能经受风吹、日晒、雨淋、冰冻等引起温度变化、湿度变化及反复冻融循环等的破坏作用。土木工程材料的基本性质主要包括材料的物理性质、力学性质、耐久性、装饰性、防火性、防辐射性能等。

在工程设计与施工中，正确地选择和合理地使用材料，必须熟悉和掌握各种材料的基本性质，理解这些性质的涵义以及不同性质之间的相互联系，掌握影响这些性质的因素和改进方法，优化材料在工程中的实际使用性能。

1.1 材料的组成

材料的组成、结构及构造决定着材料的各种性质。不同的材料，由于组成不同而呈现不同的性质；同一种材料由于结构及构造的差异也会表现出不同的性质。为了深入了解材料的基本性质，就必须了解其组成、结构与构造。

1.1.1 材料组成的分类

材料的组成是指材料所含物质的种类及含量，是区别物质种类的主要依据，包括材料的化学组成、矿物组成和相组成。

1. 材料的化学组成

材料的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。当材料与自然环境以及各类物质相接触时，它们之间必然按化学规律发生作用。例如材料受到酸、碱、盐类物质的侵蚀作用，材料遇到火焰时的可燃性，以及钢材和其他金属材料的锈蚀等都属于化学作用。材料这些方面的性质都是由其化学组成所决定的。

2. 材料的矿物组成

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。某些土木工程材料如天然石材、无机胶凝材料等，其矿物组成是决定材料性质的主要因素。例如硅酸盐水泥中熟料矿物的组成比例发生变化时，水泥的性质会随之改变。提高硅酸三钙的含量，可以制得高强水泥；提高铁铝酸四钙含量，可获得抗折强度较高的水泥，如道路水泥。

3. 材料的相组成

材料中结构相近，具有相同的物理、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、固相三种形态。即使是同种物质在不同的温度、压力等条件下，也常常会转变其存在状态，如由气相变为液相或固相。凡是由两相或两相以上的物质组成的材料称为复

合材料。复合材料可以克服单一材料的弱点,发挥其综合性能。土木工程材料大多数是复合材料,例如钢筋混凝土、沥青混合料、轻质金属夹芯板等。

复合材料的性质与材料的相组成及界面特性有密切的关系。所谓界面,从广义来讲是指多相材料中相与相之间的分界面。在实际材料中,界面是一个薄弱区,它的成分及结构与相是不一样的,它们之间是不均匀的,可以将其看作是“界面相”。对于土木工程材料,通过改变和控制其相组成和界面特性,可以改善和提高材料的技术性能。例如对混凝土材料,选用级配良好的集料并增加集料与水泥石间的黏结力,可提高混凝土的强度和耐久性。

1.1.2 材料的结构

材料的性能除与其组成成分有关外,还与其组织结构有着密切的关系。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用放大镜能够分辨的粗大组织,其尺寸在 10^{-3}m 以上。

土木工程材料的宏观结构,按其孔隙特征可分为以下几种:

(1) 致密结构。致密结构是指在外观上和结构上都是致密而无孔隙(或孔隙极少)存在的结构。土木工程中常用的致密结构材料主要有钢材、致密天然石材、玻璃、塑料、橡胶等。

(2) 多孔结构。多孔结构是指在材料内部具有大致呈均匀分布的独立或部分相通的孔隙。这种材料内孔隙的多少,孔尺寸大小及分布均匀程度等结构状态,对其性质有重要的影响。土木工程中的许多材料为多孔结构,例如加气混凝土、泡沫塑料、人造轻质多孔材料等。

(3) 微孔结构。微孔结构是指在材料中存在均匀分布的微孔隙。某些材料在生产时,由于掺入可燃性物质或增加拌和用水量,在生产过程中水分蒸发或可燃性物质燃烧后都可形成微孔结构。土木工程中的微孔结构有石膏制品、烧土制品等。

材料的宏观结构,按其组织构造特征可分为:

(1) 堆聚结构。堆聚结构是由集料与具有胶凝性或黏结性物质胶结而成的结构。这种材料的性质除了与其中各颗粒本身的性质有关外,还与颗粒间的接触程度、黏结性质等有关。土木工程中常用的堆聚结构有水泥混凝土、砂浆、沥青混合料、陶瓷砌块及其他颗粒黏结材料等。

(2) 纤维结构。纤维结构是由天然或人工合成纤维物质构成的结构。同一细纤维沿轴线方向上各质点连接紧密,而相邻纤维间的横向连接疏松,从而表现为不同方向的物理力学性质有明显的各向异性。土木工程中常用的纤维结构材料有木材、玻璃纤维、矿物棉等纤维制品。

(3) 层状结构。层状结构是由天然形成或人工黏结等方法将材料叠合而成的双层或多层结构。其每一层材料的性质可能不同,但叠合成层状结构的材料后,可获得平面各向同性,扩大材料的使用范围。土木工程中常用的层状结构材料有胶合板、纸面石膏板、复合墙板等。

(4) 散粒结构。散粒结构是由松散颗粒状物质形成的结构。土木工程中常用的散粒结构有砂石材料、膨胀蛭石、膨胀珍珠岩等。

2. 细观结构

细观结构也称亚微观结构,是指用光学显微镜所能观察到的材料结构,其尺寸范围在 $10^{-3}\sim 10^{-6}\text{m}$ 之间。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。如天然岩石可分为矿物、晶体颗粒、非晶体组织;混凝土可分为基相、集料相、界面相;钢材可分为铁素体、渗碳体、珠光体;木材可分为木纤维、导管髓线、树脂道等。

材料细观结构层次上的各种结构差别情况十分复杂,这些组织结构特征、数量、分布及界面性质对土木工程材料的性能有重要的影响。

3. 微观结构

微观结构是指原子、分子层次的结构。可用电子显微镜或射线来进行分析研究。材料的微观结构可分为晶体、玻璃体和胶体。

(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所形成的结构称为晶体结构。按晶体的质点及化学键的不同,晶体可分为如下几种:

- 1) 原子晶体:中性原子以共价键结合而成的晶体,如 SiO_2 等。
- 2) 离子晶体:正负离子以离子键结合而成的晶体,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,如生铁、钢材等。

晶体具有如下特点:

- 1) 晶体内部各质点按规定规则排列,故具有特定的几何外形。
- 2) 具有各向异性。
- 3) 具有固定的熔点和化学稳定性。
- 4) 结晶接触点和晶面是晶体破坏或变形的薄弱环节。

无机非金属材料中的晶体,通常不是单一的结合键,而是既存在共价键又存在离子键。在土木工程材料中占有重要地位硅酸盐类材料,其最基本的结构单元为硅氧四面体,如图1-1所示。 SiO_4 四面体与其他金属离子相结合,形成一系列硅酸盐矿物。 SiO_4 四面体单元相互连接时,可形成不同结构类型的矿物,如黏土、云母、滑石等。这类材料层与层之间是由范德华力结合,键合力较弱,故易剥成薄片。当 SiO_4 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。这类材料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,所以容易分散成纤维状。当 SiO_4 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。这类材料在三维空间上均以共价键相连,故其结构强度较大,质地坚硬。

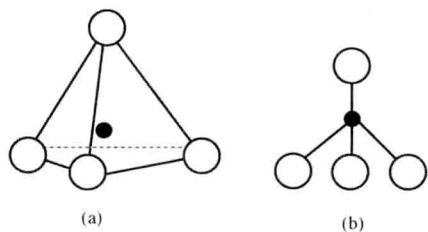


图 1-1 硅氧四面体示意

(a) 透视图; (b) 侧视图

(2) 玻璃体。将熔融物质急速冷却,内部质点来不及按一定的规则排列便凝固的固体物质所形成的结构称为玻璃体。玻璃体又称无定形体或非晶体。玻璃体没有一定的几何外形,且各向同性。因玻璃体是在快速急冷下形成的,故其内应力较大,具有明显的脆性。玻璃体在凝固时由于内部质点未能达到能量最低位置,化学能未能充分释放,导致其结构具有明显的化学不稳定性。在一定的条件下,容易与其他物质发生

化学反应,故玻璃体类物质的化学活性较高。土木工程中的玻璃体材料有水泥、玻璃、陶瓷等。

(3) 胶体。以胶粒(粒径为 $10^{-7} \sim 10^{-9} \text{m}$ 的固体颗粒)作为分散相,分散在连续相介质(如水、气、溶剂)中所形成的分散体系称为胶体。在胶体结构中,若胶粒数量较少,则胶粒悬浮、分散在液体连续相中,此时液体性质对胶体的强度及变形性质影响较大,这种结构称为溶胶结构。若胶粒数量较多,则胶粒在表面能(又称表面自由能)作用下发生凝聚,或由于物理化学作用而使胶粒彼此相连,形成空间网络结构,从而使胶体的强度增大,变形性能减小,形成固态或半固体状态,此胶体结构称为凝胶结构。在特定的条件下,胶体也可形成溶胶——凝胶结构。胶体结构与晶体及玻璃体结构相比,强度较低,变形较大。

1.1.3 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相互组合搭配的情况。构造概念与结构概念相比,更加强调了相同材料或不同材料间的搭配与组合关系。例如,木材的宏观构造和微观构造,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。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。这种构造赋予墙板良好的隔热保温、隔声吸声、防火抗震、坚固耐久等整体功能和综合性质。

随着材料科学的日益发展,深入研究材料的组成、结构、构造以及与材料性质之间的关系,不仅有利于在工程中正确地选用材料,而且为研制出现代工程所需的新型土木工程材料奠定理论基础。

1.2 材料的物理性质

1.2.1 材料的基本物理参数

1. 材料的密度

材料在绝对密实状态下单位体积的质量称为材料的密度,按式(1-1)计算

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1-1)$$

式中 ρ ——材料的密度, 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 。

材料在绝对密实状态下的体积是指不包括材料孔隙在内的体积。在土木工程材料中,除钢材、玻璃等少数接近于绝对密实的材料外,绝大多数材料都有一些孔隙。在测定含孔材料的密度时,为了排除其内部孔隙,须将材料磨成细粉(粒径 $<0.2\text{mm}$),经干燥后用李氏瓶测定其体积。材料磨得越细,测得的密度值越精确。

2. 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,按式(1-2)计算

$$\rho_0 = \frac{m}{V_0} \quad (1-2)$$

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体积, m^3 。

材料在自然状态下的体积是指材料的实体积与材料内所含全部孔隙体积之和。对外形规则的材料, 只需测得材料的质量和体积 (用尺度量), 表观密度即可算得; 对外形不规则的材料, 体积要求用排水法求得, 但材料表面应先涂上蜡, 以防水分渗入材料内部而使测值不准。对于混凝土用的砂石骨料, 直接用排液法测量体积, 此时的体积是实体积与闭口孔隙体积之和, 即不包括与外界连通的开口孔隙体积。由于砂石比较密实, 孔隙很少, 开口孔隙体积更少, 所以用排液法测得的密度也称为表观密度, 过去称为视密度, 以前也称容重。

当材料的孔隙内含有水分时, 其质量和体积均有所变化, 故测定材料的表观密度时, 应注明其含水情况。在烘干状态下的表观密度, 称为干表观密度。

3. 材料的堆积密度

散粒 (粉状、粒状或纤维状) 材料在自然堆积状态下单位体积的质量称为材料的堆积密度, 按式 (1-3) 计算

$$\rho'_0 = \frac{m}{V'_0} \quad (1-3)$$

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。测定散粒材料的堆积密度时, 材料的质量是指填充在一定容积的容器内的材料质量, 其堆积体积是指所用容器的体积。测定砂子、石子的堆积密度即用此法求得。

堆积密度的大小不但取决于材料颗粒的表观密度, 而且还与堆积的密实程度、材料的含水状态有关。在土木工程中, 计算材料的用量、构件的自重、配料计算、确定材料的堆放空间及运输量时, 经常要用到材料的密度、表观密度和堆积密度等参数。常用土木工程材料的有关参数见表 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)
石灰岩	2.60	1800~2600	—
花岗岩	2.80	2500~2900	—
碎石	2.60	—	1400~1700
砂	2.60	—	1450~1650
黏土	2.60	—	1600~1800
普通黏土砖	2.50	1600~1800	—
空心黏土砖	2.50	1000~1400	—
水泥	3.10	—	1200~1300
普通混凝土	—	2100~2600	—
轻骨料混凝土	—	800~1900	—
木材	1.55	400~800	—
钢材	7.85	7850	—
玻璃	2.55	—	—
泡沫塑料	—	20~50	—