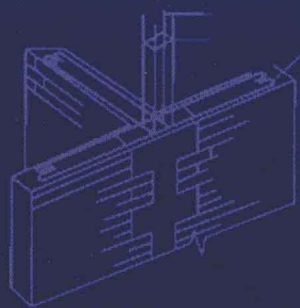




普通高等教育土木与交通类“十二五”规划教材

土木工程材料



TUMU GONGCHENG CAILIAO

主 编 霍洪媛 赵红玲



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



普通高等教育土木与交通类“十二五”规划教材

土木工程材料

主 编 霍洪媛 赵红玲
副主编 杨中正 刘焕强 苏丽娜
徐东升



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书根据全国高等学校土木工程专业指导委员会编制的《土木工程材料》教学大纲要求编写。全书共分12章,包括土木工程材料的基本性质、无机胶凝材料、水泥混凝土、新型混凝土、建筑砂浆、砌体材料、建筑钢材、沥青及沥青混合料、合成高分子材料、木材、建筑功能材料、土木工程材料试验等。主要介绍常用土木工程材料的基本组成、性能、技术要求及应用特点等内容,并配有习题及案例讲解。本书全部按现行国家及行业标准和规范编写。

本书可作为高等学校土木、交通、建筑、水利等相关专业教学用书,也可作为其他设计、施工、研究等相关人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程材料 / 霍洪媛, 赵红玲主编. — 北京 :
中国水利水电出版社, 2012.6
普通高等教育土木与交通类“十二五”规划教材
ISBN 978-7-5084-9886-7

I. ①土… II. ①霍… ②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(2012)第127160号

书 名	普通高等教育土木与交通类“十二五”规划教材 土木工程材料
作 者	主 编 霍洪媛 赵红玲
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京嘉恒彩色印刷有限责任公司
规 格	184mm×260mm 16开本 26.25印张 622千字
版 次	2012年6月第1版 2012年6月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	48.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

编 委 会

主 编 霍洪媛 赵红玲

副主编 杨中正 刘焕强 苏丽娜 徐东升

参 编 王 静 张旭芳 严 亮

前言

土木工程材料是高等学校土木、交通、建筑类本科专业课程中设置的专业基础课程。本书依据全国高等学校土木工程专业指导委员会编制的《土木工程材料》课程教学大纲编写。在编写上力求做到知识的连贯性、渐进性、合理性，以抓住学生学习的动力点，锻炼和提高学生获取知识的能力。在讲清讲透基本理论的基础上，强调教学内容的实用性，注重理论联系实际，并配以实际工程案例讲解。本书力求能反映土木工程材料领域新材料、新技术、新发展，介绍了目前常用的土木工程材料及发展中的相关材料和新技术，以利于开阔学生新思路。每章后面配有适量习题，便于学生自学。本书采用最新标准、规范和规程编写。

本书主要介绍了土木工程材料的基本性质、无机胶凝材料、混凝土、建筑砂浆、砌体材料、建筑钢材、沥青及沥青混合料、合成高分子材料、木材、绝热材料、吸声材料、装饰材料、复合材料、土木工程材料试验等内容。

本书由华北水利水电学院霍洪媛、洛阳理工学院赵红玲主编。各章编写分工如下：霍洪媛编写绪论、第1章；华北水利水电学院刘焕强编写第2章、第12章第9节；洛阳理工学院苏丽娜编写第3章；华北水利水电学院张旭芳编写第4章、第10章；华北水利水电学院严亮编写第5章、第6章、第9章第5、6节；廊坊师范学院建筑工程学院徐东升编写第7章、第9章第1~4节；赵红玲编写第8章；华北水利水电学院杨中正编写第11章、第12章第8节；华北水利水电学院王静编写第12章。全书由霍洪媛负责统稿、修编定稿。

本书在编写过程中，参考了近年来出版的相关教材和科研成果资料，在此表示诚挚的谢意！同时感谢中国水利水电出版社的编辑们为本书出版付出的辛勤劳动！感谢广大同仁们的大力支持和帮助！

由于我们的水平有限，书中难免有缺点和不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编者

2012年3月

前言

绪论	1
0.1 土木工程材料的定义与分类	1
0.2 土木工程材料在工程建设中的作用	2
0.3 土木工程材料的发展	3
0.4 土木工程材料的技术标准	4
0.5 本课程的特点和学习方法	6
思考与习题	6
第1章 土木工程材料的基本性质	7
1.1 土木工程材料的组成、结构和构造	7
1.2 土木工程材料的物理性质	11
1.3 土木工程材料的力学性质	22
1.4 土木工程材料的耐久性	28
1.5 土木工程材料的装饰性	29
1.6 土木工程材料的安全性	30
工程实例与分析	32
思考与习题	32
第2章 无机胶凝材料	34
2.1 气硬性胶凝材料	34
2.2 通用硅酸盐水泥	44
2.3 其他品种水泥	58
2.4 水泥的储运与验收	65
工程实例与分析	67
思考与习题	68
第3章 水泥混凝土	70
3.1 混凝土的组成材料	71
3.2 混凝土的主要技术性质	86
3.3 混凝土的质量控制与强度评定	100
3.4 普通水泥混凝土的配合比设计	106
3.5 路面水泥混凝土	115
工程实例与分析	123

思考与习题	123
第4章 新型混凝土	125
4.1 高强高性能混凝土	125
4.2 泵送混凝土	130
4.3 商品混凝土	134
4.4 轻混凝土	136
4.5 其他品种混凝土	142
工程实例与分析	152
思考与习题	153
第5章 建筑砂浆	154
5.1 砌筑砂浆	154
5.2 抹面砂浆	161
5.3 商品砂浆	164
5.4 其他种类砂浆	168
工程实例与分析	169
思考与习题	169
第6章 砌体材料	171
6.1 砌墙砖	171
6.2 砌块	179
6.3 砌筑石材	184
工程实例与分析	192
思考与习题	192
第7章 建筑钢材	194
7.1 钢的冶炼与分类	194
7.2 钢材的主要技术性质	195
7.3 钢的组织 and 化学成分	199
7.4 钢材的强化与加工	202
7.5 建筑钢材的技术标准与选用	205
7.6 建筑钢材的腐蚀与防护	216
工程实例与分析	217
思考与习题	218
第8章 沥青及沥青混合料	219
8.1 石油沥青与煤沥青	219
8.2 改性沥青	238
8.3 沥青防水材料	240
8.4 沥青混合料	244
工程实例与分析	278

思考与习题	279
第 9 章 合成高分子材料	280
9.1 合成高分子材料基本知识	280
9.2 建筑塑料	283
9.3 建筑防水材料	287
9.4 建筑涂料与胶粘剂	292
9.5 合成橡胶与合成纤维	300
9.6 土工合成材料	304
工程实例与分析	307
思考与习题	307
第 10 章 木材	308
10.1 木材的分类与构造	308
10.2 木材的主要性质	310
10.3 木材的干燥、防腐与防火	316
10.4 木材的应用	318
工程实例与分析	320
思考与习题	321
第 11 章 建筑功能材料	322
11.1 绝热材料	322
11.2 吸声、隔音材料	327
11.3 装饰材料	337
11.4 复合材料	343
11.5 建筑功能材料的发展	345
工程实例与分析	347
思考与习题	347
第 12 章 土木工程材料试验	348
12.1 土木工程材料基本性质试验	348
12.2 水泥性能试验	350
12.3 混凝土骨料试验	366
12.4 水泥混凝土拌和物性能试验	374
12.5 水泥混凝土物理力学性能试验	379
12.6 建筑砂浆性能试验	386
12.7 钢筋力学与机械性能试验	390
12.8 石油沥青性能试验	397
12.9 沥青混合料试验	403
参考文献	411

绪 论

0.1 土木工程材料的定义与分类

土木工程材料是指用于土木工程中的各种材料及其制品，英文名称为 Materials in civil engineering，或者 Civil engineering materials。土木工程材料包括构成土木工程实体的材料（如砂石、水泥、石灰、混凝土、钢材、沥青、沥青混合料、装饰材料）、施工过程的辅助材料（如脚手架、模板）和建筑器材（如消防设备、给排水设备、网络通信设备）等。本课程中主要讲述构成土木工程实体（基础、地面、墙体、承重结构、屋面、路、桥梁、水坝等）结构物的这一类材料。也称为狭义上的土木工程材料。

土木工程材料种类繁多，为了方便研究和使用，常从不同的角度对土木工程材料进行分类。常用的分类主要有以下 3 种。

- (1) 根据材料来源，可分为天然材料和人工材料。
- (2) 根据材料的化学成分，可以分为无机材料、有机材料和复合材料三大类，如表 0.1 所示。
- (3) 根据材料在土木工程中的应用部位或使用性能，可分为结构材料、墙体材料和功能材料。

表 0.1 土木工程材料的分类

无机材料	金属材料	黑色金属	钢、铁及其合金
		有色金属	铝、铜等及其合金
	非金属材料	天然石材	砂石料及石材制品
		烧土制品	砖、瓦、玻璃等
		胶凝材料	石灰、石膏、水泥等
有机材料	植物材料		木材、竹材等
	沥青材料		石油沥青、煤沥青及沥青制品
	高分子材料		塑料、合成橡胶等
复合材料	非金属材料与非金属材料复合		水泥混凝土、砂浆等
	无机非金属材料与有机材料复合		玻璃纤维增强塑料、聚合物水泥混凝土、沥青混合料等
	金属材料与无机非金属材料复合		钢纤维增强混凝土等
	金属材料与有机材料复合		轻质金属夹芯板等

结构材料指主要用作承重结构的材料。如梁、板、柱、基础、框架及其他受力构件和结构等所用的材料都属于这一类。这类材料要有比较好的强度和耐久性。目前所用的结构材料主要有砖、石、水泥混凝土、钢材、钢筋混凝土和预应力钢筋混凝土等。根据我国



情,现在和将来相当长的时期内,钢筋混凝土和预应力钢筋混凝土将是我国工程建设的主要结构材料。随着工业的发展,轻钢结构和铝合金结构将会逐渐发展。结构材料性能的优劣决定了工程结构的安全性及可靠度。

墙体材料是指建筑物中起围护、分隔作用的墙体所用的材料,有承重和非承重两类。目前,我国大量采用的墙体材料为砌墙砖、混凝土及加气混凝土砌块等。此外,还有混凝土墙板、石膏板、金属板材和复合墙板等新型墙体材料。新型墙体材料具有工业化生产水平高、施工速度快、绝热性能好、节省资源能源、保护耕地的特点。

功能材料是指担负某些建筑功能的非承重材料。如防水材料、防火材料、绝热材料、吸声和隔声材料、采光材料、装饰材料等。这些功能材料的选择与使用是否科学合理,往往决定了工程使用的适用性以及美观效果等。

此外,工程中还有一些其他的分类,如按照使用部位,分有建筑结构材料、桥梁结构材料、水工结构材料、路面结构材料、建筑墙体材料、表面装饰与防护材料、屋面或地下防水材料等。

0.2 土木工程材料在工程建设中的作用

1. 土木工程材料对工程造价的影响

土木工程材料是各项工程建设的重要物质基础,在工程建设过程中,材料的选择、使用与管理是否合理,对其工程成本的影响很大。一项工程中用于材料购买与加工的费用,通常占工程总造价的比例高达60%以上。在有些工程或工程的某些部位,在满足相同技术指标和质量要求的前提下,如何从品种繁多的材料中,选择质优价廉的材料,对降低工程造价具有重要意义。就是选择了相同的材料,使用方法不同,也可能产生不同的经济效果。因此,从工程技术经济及可持续发展的角度来看,正确选择和使用材料,在土木工程建设工作中对于创造良好的经济效益与社会效益都是十分重要的。

2. 土木工程材料对工程质量的影响

工程质量的优劣,通常与其采用材料的好坏以及材料使用的合理与否有直接的关系。要保证工程质量,就要从材料的选择、生产、运输、保管,到材料的出库、检测和使用,每个环节都严格按照国家相关标准,尤其是强制性标准进行科学管理。否则,任何环节的失误,都有可能导导致工程质量事故。大量的事实表明,多数建筑物的病害和工程质量事故都与建筑材料有关,材料选择不当、质量不符合要求,建筑物的正常使用和耐久性就得不到保障。而许多重要的工程建设项目亦是建立在高质量的工程材料基础上,例如,青藏铁路工程采用的抗冻高性能混凝土,三峡大坝工程采用的低水化热高性能混凝土,2008年北京奥运会国家体育中心“鸟巢”工程采用的高强优质钢材。因此,从事土木工程建设,就必须准确熟练地掌握材料知识,正确地选择和使用土木工程材料。

3. 土木工程材料对工程技术的影响

土木工程材料和建筑、结构、施工一起构成建筑工程学科的主体,其中材料是基础。材料品种、质量及规格,直接影响着各项建筑工程的坚固、耐久、适用、美观和经济性,也是影响土木工程结构设计形式和施工方法的主要因素。工程中许多技术问题的突破,往



往依赖于土木工程材料问题的解决；而新的土木工程材料的出现，又将促进结构设计形式及施工技术的革新。例如水泥和钢筋的出现，导致钢筋混凝土结构的产生；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；混凝土减水剂、尤其是高效减水剂的问世与使用，使混凝土强度等级可以提高到 C60~C80，甚至 C100 以上；混凝土的高强度化，推动了现代建筑向高层和大跨度方向发展；高效减水剂的推广应用，可使混凝土流动性大大提高，促进了泵送混凝土施工技术快速发展，近年来越来越多的土木工程材料在工程施工中发挥着越来越大的作用。建筑设计理论的进步和施工技术的革新不但受到建筑材料发展的制约，亦受到建筑材料发展的推动。大跨度预应力结构、薄壳结构、悬索结构、空间网架结构、节能型绿色环保建筑的出现无疑都是与新材料的产生密切相关的。因此，土木工程材料生产及其科学技术的迅速发展，对于工程技术的进步，具有重要的推动作用。

0.3 土木工程材料的发展

土木工程材料的发展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的。其发展历经了从天然材料到人工材料，从手工业生产到工业化生产，从单一材料到复合材料几个阶段。

原始社会，人们只能简单使用一些天然材料如泥土、砂石和树木。火的使用，导致了砖、瓦和石灰等烧土制品的产生。在学会用黏土烧制砖瓦，用岩石烧制石灰、石膏后，土木工程材料由天然进入到人工生产阶段，并建成了保存至今的万里长城、赵州桥、古埃及金字塔等。在公元初，人类学会了使用水硬性胶凝材料，建造了罗马圣庙与庞贝城。进入 18 世纪、19 世纪，工业革命兴起，促进了工商业和交通运输业的蓬勃发展，原有的土木工程材料已经不能满足社会的需要，在其他科学技术的推动下，土木工程材料进入了一个新的发展时期，钢铁、水泥和混凝土这些具有优良性能的无机材料相继问世，为现代的大规模工程建设奠定了基础。近代土木工程材料方面具有划时代意义的几个事件有：1824 年英国人 J. Aspdin 获得了人工配料生产硅酸盐水泥的专利，开启了近现代的水泥混凝土时代；19 世纪中叶出现的工业化炼钢技术，催生了钢结构技术，从而使结构物跨度从砖木结构时代的几十米增加到超过百米，并出现了钢筋混凝土结构；20 世纪初出现的合成高分子材料至今已进入了人类社会的方方面面；1928 年法国人 E. Freysinet 获得预应力钢筋混凝土的专利，开始了预应力钢筋混凝土的应用，弥补了钢筋混凝土结构抗裂性能、刚度和承载能力差的缺点。20 世纪材料科学的另一个明显的进步，就是各种复合材料的出现和使用，大大地改善了材料的工程性能。例如纤维增强混凝土，提高了混凝土的抗拉强度和抗冲击韧性，改善了混凝土材料脆性大、容易开裂的缺点，使混凝土材料的适用范围得到扩大；聚合物混凝土制造的仿大理石台面，既有天然石材的质地和纹理，又具有良好的加工性。

进入 21 世纪，土木工程材料进一步向高性能化、多功能化、智能化、工业规模化、绿色化等方向发展。



(1) 高性能化。从土木工程本身的发展来说,应发展高性能工程材料。其高性能包括轻质、高强、高耐久、高抗渗、高保温等性能。新型高性能土木工程材料,就材料类别而言,应发展改性无机材料,特别是高性能的复合材料最有发展前景。

(2) 多功能化。新型土木工程材料应是具有多种功能或智能的材料。如墙体材料应向节能、隔热、高强发展;装饰材料应向装饰性、功能性、环保性、耐久性方向发展;防水材料应向耐候性、高弹性、环保性发展。例如:具有抗菌、防霉、防污、除臭功能的室内装饰材料;具有除臭、抗菌、防射线的镀膜调光节能功能的玻璃窗;具有空气净化功能的内墙材料及涂料等。

(3) 智能化。所谓智能化材料,是指本身具有自我诊断和预告破坏、自我修复功能的材料。土木工程材料向智能化方向发展,是人类社会向智能化社会发展过程中降低成本的需要。例如作为最主要的工程材料的混凝土材料,研究和开发具有主动、自动地对结构进行自诊断、自调节、自修复、自恢复的智能混凝土已成为结构——功能一体化的发展趋势。国内外学者于20世纪80年代中后期提出了机敏材料与智能材料概念。机敏材料能够感受外界环境的变化,而智能材料要求材料体系集感知、驱动和信息处理于一体,形成类似于生物材料那样的具有智能属性的材料,具有自感知、自诊断、自修复等功能。1989年,美国的D. D. L. Chuug发现将一定形状、尺寸和掺量的短切碳纤维掺入到混凝土中;可以使混凝土具有自感知内部应力、应变和损伤程度的功能。将碳纤维应用于机场跑道、桥梁路面等工程中,利用混凝土的电热效应,可实现自动融雪和除冰功能。

(4) 工业规模化。从土木工程材料使用方式的变化来看,为满足现代土木工程结构性能和施工技术的要求,材料的使用必然向着机械化与自动化的方向发展,材料的供应向着成品或半成品的方向延伸。例如,水泥混凝土等结构材料向着预制化和商品化的方向发展。此外,材料的加工、储运、使用以及施工操作的机械化、自动化水平也在不断提高,劳动强度逐渐下降。土木工程材料的生产要实现现代化、工业化,而且为了降低成本、控制质量、便于机械化施工,生产还要实现标准化、大型化、商品化等。

(5) 绿色化。绿色建材又称生态建材、环保建材和健康建材,是指采用低能耗制造工艺和对环境无污染的生产技术,产品配制和生产过程中,不使用对人体和环境有害的污染物质,少用天然资源、大量使用工业或城市固体废弃物等,生产无毒、无污染、无放射性、环保和有利于人类健康的材料。绿色建材代表了21世纪土木工程材料的发展方向,是符合世界发展趋势和人类要求的土木工程材料,必然在未来的建材行业中占主导地位,成为今后土木工程材料发展的必然趋势。

0.4 土木工程材料的技术标准

为了保证土木工程材料的质量,保证现代化生产和科学管理,必须对材料产品的各项技术制定统一的执行标准。这些标准一般包括:产品规格、分类、技术要求、检验方法、验收规则、标志、运输和贮存注意事项等方面内容。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,必须按照标准生产,控制其质量;同时它可促进企业改善管理,提高生产技术和生产效率。对于使用部门,则按照标准选用、设计、施工,并按标准



验收产品。按标准合理地选用材料,从而使设计、施工也相应标准化。

1. 技术标准的分类

技术标准通常分为基础标准、产品标准和方法标准。

(1) 基础标准。基础标准是指在一定范围内作为其他标准的基础,并普遍使用的具有广泛指导意义的标准,如《水泥命名定义和术语》(GB4131—1997)。

(2) 产品标准。产品标准是衡量产品质量好坏的技术依据,如《通用硅酸盐水泥》(GB175—2007)。

(3) 方法标准。方法标准是指以试验、检查、分析、抽样、统计、计算、测量等各种方法为对象制定的标准,如《水泥胶砂强度检验方法(ISO)》(GB17671—1999)。

2. 技术标准的等级

根据发布单位与适用范围,土木工程材料技术标准分为国家标准、行业标准(含协会标准)、地方标准和企业标准4级。

各级标准分别由相应的标准化管理部门批准并颁布,我国国家质量监督检验检疫总局是国家标准化管理的最高机关。国家标准和行业标准都是全国通用标准,分为强制性标准和推荐性标准;省、自治区、直辖市有关部门制定的工业产品的安全、卫生要求等地方标准在本行政区域内是强制性标准;企业生产的产品没有国家标准、行业标准和地方标准的,企业应制定相应的企业标准作为组织生产的依据。企业标准由企业组织制定,并报请有关主管部门审查备案。

3. 技术标准的代号与表示方法

各级标准都有自己的部门代号,与土木工程材料技术标准有关的部门代号有:GB——国家标准、GBJ——建筑工程国家标准、JG——建筑工业行业标准、JC——国家建材局标准、SL——水利部行业标准、SH——石油化学工业部行业标准、YB——冶金部行业标准、HG——化工部行业标准、ZB——国家级专业标准、CECS——中国工程建设标准化协会标准、DB——地方标准、QB——企业标准等。对于强制性国家标准,任何产品不得低于其规定的要求;推荐性国家标准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,对于国家尚未制定标准的新产品企业标准要注意参照国外标准要求。

工程中还可能采用国际标准和其他先进国家的国外技术标准,例如ISO——国际标准、ANS——美国国家标准、ASTM——美国材料与试验学会标准、JIS——日本工业标准、BS——英国标准、NF——法国标准、DIN——德国工业标准。我国是国际标准化协会会员国,当前我国各项技术标准都正在向国际标准靠拢,以便于科学技术的交流与提高。例如我国制定的《水泥胶砂强度检验方法(ISO)》(GB17671—1999),其主要内容与ISO679完全一致,其抗压强度检验结果与ISO679:1989等同。

技术标准按标准名称、部门代号、编号和批准年份的顺序书写,按要求执行的程度分为强制性标准和推荐性标准(在部门代号后加“/T”表示“推荐”)。例如我们常用的国家标准《通用硅酸盐水泥》(GB175—2007)。标准名称为通用硅酸盐水泥,部门代号为GB,编号为175,批准年份为2007年。

无论是国家标准还是部门行业标准,都是全国通用标准,属国家指令性技术文件,均



必须严格遵照执行，尤其是强制性标准。在学习有关标准时应注意到黑体字标志的条文为强制性条文。另外还应注意，标准规范如有更新，则应以最新版本为准。

0.5 本课程的特点和学习方法

土木工程材料课程是土木工程类专业的一门技术基础课程，学习该课程的目的是使学生获得土木工程材料的基本理论、基本知识和实验检验技能，为后续的专业课程提供材料的基础知识，并为今后从事设计、施工、管理和科研工作能够合理选择和正确使用土木工程材料奠定基础。

土木工程材料种类繁多，课程内容繁杂，各章之间的联系较少；内容以叙述为主，名词、概念、专业术语、经验公式多；与工程实际联系紧密，有许多定性的描述或经验规律的总结。因而要学好本门课程，掌握良好的学习方法是至关重要的。在学习过程中，要注意了解事物的本质和内在联系，了解形成这些性质的内在原因和性质之间的相互关系。对于同一类属的材料，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。学习中应以材料的技术性质、材料的性能特点及其在工程中的应用为重点，并注意材料的成分、结构构造、生产过程等对其性能的影响，掌握各项性能之间的联系。对于现场配制的材料（如水泥混凝土），应掌握其配合比设计的原理及方法。

要重视理论联系实际，培养综合应用知识的能力，重视实验课和习题作业。实验课是本课程的重要教学环节，通过实验可验证所学的基本理论，学会检验常用建筑材料的实验方法，掌握一定的实验技能，并能对试验结果进行正确的分析和判断，培养学生学习与分析能力及严谨的科学态度。

思考与习题

1. 何谓土木工程材料？土木工程材料如何分类？
2. 简述土木工程材料在工程建设中的作用。
3. 简述土木工程材料的发展趋势。

第 1 章 土木工程材料的基本性质

土木工程材料的性质通常是指其对环境作用的抵抗能力或在环境条件作用下的表现。例如：结构材料主要承受各种荷载作用；基础材料除承受建筑物或构筑物上部荷载作用外，还要承受地下水以及外界温度变化引起的冻融循环破坏作用；外部围护结构材料常常受到日光、雨水、风等大气因素的作用；这些就要求材料具有相应的力学性质和耐久性等。材料的性质与质量很大程度上决定了工程的性能与质量。

土木工程材料的性质，可分为基本性质和特殊性质两大部分。材料的基本性质是指土木工程中通常考虑的最基本的、共有的性质。归纳起来主要有物理性质、力学性质、耐久性质等。材料的特殊性质则是指材料本身的不同于别的材料的性质，是材料的具体使用特点的体现。本章仅就土木工程材料共有的基本性质进行讲解，对于各类材料的特殊性质将在有关章节进行叙述。

1.1 土木工程材料的组成、结构和构造

材料是由原子、分子或分子团以不同结合形式构成的物质。材料的组成或构成方式不同，其性质可能有很大的差别。材料的组成、结构和构造是影响材料性质的内因。只有了解材料的组成、结构及构造，才能更好地掌握材料的基本性质，更好地了解材料的各种性质及其变化规律。

1.1.1 材料的组成

材料的组成包括材料的化学组成、矿物组成和相组成。它不仅影响着材料的化学性质，而且也是决定材料物理力学性质和耐久性的最基本因素。

1.1.1.1 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及数量。无机非金属材料常用其组成的各氧化物或化合物的含量来表示；金属材料常用其组成的各化学元素的含量来表示；有机材料则常用其组成的各化合物含量来表示。当材料与自然环境或各类物质相接触时，它们之间必然按化学变化规律发生作用。例如石膏、石灰和石灰石的主要化学组成分别是 CaSO_4 、 CaO 和 CaCO_3 ，这些化学组成就决定了石膏、石灰易溶于水而耐水性差，而石灰石较稳定。木材主要由 C、H、O 形成的纤维素和木质素组成，故易于燃烧；石油沥青则由多种 C—H 化合物及其衍生物组成，故决定了其易于老化等。因此，化学成分（或组成）是材料性质的基础，它对材料的性质起着决定性作用。

1.1.1.2 矿物组成

矿物组成是指构成材料的矿物种类和数量。矿物是指具有一定化学成分和结构特征的稳定单质或化合物。无机非金属材料是由各种矿物组成的。材料的化学组成不同，其矿物



组成不同,其性质也不同。相同的化学组成,可组成不同的矿物。如硅酸盐水泥中, CaO 和 SiO_2 是其主要化学成分,它们组成的主要矿物是硅酸三钙 (C_3S) 和硅酸二钙 (C_2S), 这两者的性质相差很大。某些土木工程材料如天然石材、无机胶凝材料等,其矿物组成是决定其材料性质的主要因素。

1.1.1.3 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。即使是同种物质,在温度、压力等条件发生变化时常常会转变其存在状态,例如气相变为液相或固相。凡是由两相或两相以上物质组成的材料称为复合材料。例如,混凝土是由骨料颗粒(骨料相)分散在水泥浆基体(基相)中组成的两相复合材料。土木工程材料大多数可看作复合材料。如钢筋混凝土、沥青混凝土等。

复合材料的性质与材料的组成及界面特性有密切关系。所谓界面从广义来讲是指多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内的部分是不一样的,可将其作为“界面相”来处理。实际中,通过改变和控制材料的相组成和界面特性,可改善材料的技术性能。

1.1.2 材料的结构与构造

材料的性质除与材料组成有关外,还与其结构和构造有密切关系。材料的结构和构造泛指材料各组成部分之间的结合方式及其在空间排列分布的规律。因此,研究材料的结构和构造以及它们与性能的关系,无疑是材料科学的主要任务之一。通常,按材料的结构的尺度范围,材料的结构大体上可以分为宏观结构、亚微观结构和微观结构3个层次。

1.1.2.1 宏观结构

材料的宏观结构通常是指用肉眼或放大镜能够观察到的粗大组织,其尺寸在 10^{-3}m 级以上。

宏观结构不同的材料具有不同的特性。例如,玻璃与泡沫玻璃的组成相同,但宏观结构不同,前者为致密结构,后者为多孔结构,其性质截然不同,玻璃用作采光材料,泡沫玻璃用作绝热材料。

土木工程材料的宏观结构常见的结构形式有致密结构、多孔结构、微孔结构、堆聚结构、纤维结构、层状结构、散粒结构等。

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存在(或孔隙极少)的结构。土木工程中常用的致密结构材料主要有钢材、玻璃、沥青、密实塑料、花岗岩、瓷器材料等。致密结构材料的性能主要取决于材料的组成与细观结构。

2. 多孔结构

多孔结构是指在材料中存在均匀分布的孤立的或适当连通的粗大孔隙,如加气混凝土、泡沫混凝土及泡沫塑料等。这种材料孔隙的多少、孔尺寸大小及分布均匀程度等结构状态,对其性质都具有影响。

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。如石膏制品、烧土制品等均为微孔结构。

4. 堆聚结构

堆聚结构是指材料内部以宏观颗粒间的相互黏结而形成的结构。这种材料的许多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。土木工程中材料水泥混凝土、砂浆、沥青混凝土、炉渣砌块、陶粒砌块等均属此类。

5. 纤维结构

纤维结构是指材料内部组成具有方向性，沿轴线方向上各质点间的连接紧密，而相邻纤维间的横向连接疏松，从而表现为物理力学性质有明显的各向异性。如平行纤维方向与垂直纤维方向的强度与导热性就有明显的差异。土木工程中常用的纤维结构材料有木材、矿物棉及各种纤维制品等。

6. 层状结构

层状结构是指天然形成或人工黏结等方法将材料叠合成层状整体的结构。层状结构的材料获得了单一材料不能得到的性质，提高了材料的强度、硬度、保温及装饰等性能，如胶合板、纸面石膏板、层状填料塑料板及各种叠合复合材料等。

7. 散粒结构

散粒结构是指材料呈松散颗粒状结构，如沙子、卵石、碎石和珍珠岩等。

1.1.2.2 亚微观结构

亚微观结构又称细观结构，指用光学显微镜所能观察到的结构，其尺度介于微观和宏观之间，范围在 $10^{-3} \sim 10^{-6} \text{m}$ 。亚微观结构主要研究材料内部的晶粒、颗粒等的大小和形态、晶界或界面的形态、孔隙与微裂纹的大小形状及分布。如天然岩石的矿物组织；金属材料的晶粒大小与金相组织；木材的纤维、导管、髓线等。

材料的亚微观结构对材料的性质影响很大。例如，钢材的晶粒尺寸越小，钢材的强度越高。又如混凝土中毛细孔的数量减少、孔径减小，将使混凝土的强度和抗渗性等提高。因此，对于土木工程材料而言，从亚微观结构层次上改善材料的性能，具有十分重要的意义。

1.1.2.3 微观结构

微观结构是指用电子显微镜、X射线衍射仪等手段来分析研究的材料的原子和分子层次上的结构，其尺寸范围为 $10^{-6} \sim 10^{-10} \text{m}$ 。材料的许多物理、力学性质，如强度、硬度、熔点、导热性、导电性等，都是由材料内部的微观结构所决定的。

材料在微观结构层次上可分为晶体结构、玻璃体结构、胶体结构。

1. 晶体结构

(1) 质点（离子、原子或分子）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，晶体具有如下特点：

1) 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，如图 1.1.1 所示。

2) 各向异性，这是晶体的结构特征在性能上的反映。

3) 固定的熔点和化学稳定性，这是由晶体键能和质点所处最低的能量状态所决定的。