

高等学校建筑类专业“十三五”规划教材

土木工程材料

主编 贾淑明 赵永花

CIVIL
ENGINEERING
MATERIALS



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

高等学校建筑类专业“十三五”规划教材

土木工程材料

主 编 贾淑明 赵永花

副主编 王生廷 胡 愈

山水龙 王宏东 杨苏宁

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书依据高等学校土木工程专业指导委员会编写的《土木工程材料教学大纲》和最新修订的相关规范、标准编写而成。全书共十三章，分别为绪论、土木工程材料的基本性质、气硬性胶凝材料、水泥、混凝土、建筑砂浆、墙体和屋面材料、金属材料、木材、建筑功能材料、建筑塑料、装饰材料和土木工程材料试验等。

本书适用面宽，可作为高职高专、应用型本科院校土木工程类各专业的教学用书，也可作为土木工程设计、施工、科研、工程管理、监理等人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程材料/贾淑明,赵永花主编. —西安:西安电子科技大学出版社,2019.2

高等学校建筑类专业“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5606-5245-0

I. ① 土… II. ① 贾… ② 赵… III. ① 土木工程—建筑材料—高等学校—教材

IV. ① TU5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 023725 号

策 划 秦志峰

责任编辑 买永莲

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2019年2月第1版 2019年2月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印 张 21

字 数 499千字

印 数 1~3000册

定 价 48.00元

ISBN 978-7-5606-5245-0/TU

XDUP 5547001-1

如有印装问题可调换

前 言

本书以高等学校土木工程专业指导委员会编写的《土木工程材料教学大纲》为依据编写而成。全书的编写风格和内容结构体现了高等学校教材编写的指导思想、原则和特色，符合高等教育的方向和社会对应用型人才培养的需求。本书主要讲述了常用土木工程材料的基本成分、原料及生产工艺、技术性质、应用、材料试验等基本理论及应用技术。通过对本书的学习，读者将能掌握主要土木工程材料的性质、用途、制备、使用方法以及检测和质量控制方法，并了解土木工程材料性质与材料结构的关系以及性能改善的途径；能针对不同工程合理选用材料，了解材料与设计参数及施工措施选择的相互关系。

本书突出一个“新”字，采用了最新的国家标准和行业规范，内容充实，理论联系实际，应用性强，并介绍了土木工程材料的新技术和发展方向。在内容组织上，本书突出能力培养，以基本理论和基本知识为基础，重点阐述各建筑材料的性能特点和应用。同时，为了帮助读者更好地理解土木工程材料的内容体系，本书的每章开头均有教学提示和教学要求，供读者参考。

本书由兰州工业学院的贾淑明和赵永花担任主编。全书共 13 章，其中，贾淑明编写了绪论和第 4 章，王生廷编写了第 1 章，山水龙编写了第 2 章，胡愈(河南工程学院)编写了第 3 章，王宏东编写了第 5 章，赵永花编写了第 6~11 章，杨苏宁编写了第 12 章。全书由贾淑明进行统稿。

鉴于土木工程材料涉及的范围广，相关的标准众多，加上编者水平有限，书中的不妥及疏漏之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编 者

2018 年 10 月

目 录

绪论	1	2.3.2 水玻璃的硬化	33
0.1 土木工程材料的定义及分类	1	2.3.3 水玻璃的性质	34
0.2 土木工程材料在工程中的地位和作用	2	2.3.4 水玻璃的应用	34
0.3 土木工程材料的历史、现状及发展	3	2.4 菱苦土	35
0.4 土木工程材料的技术标准	5	2.4.1 菱苦土的硬化	36
0.5 本课程的特点、学习目的和学习方法	6	2.4.2 菱苦土的技术指标	36
第 1 章 土木工程材料的基本性质	8	2.4.3 菱苦土的性质与应用	36
1.1 材料的组成与结构	8	思考与练习	37
1.1.1 材料的组成	8	第 3 章 水泥	38
1.1.2 材料的结构	9	3.1 硅酸盐水泥	38
1.2 材料的物理性质	10	3.1.1 硅酸盐水泥的生产工艺	38
1.2.1 与质量和体积有关的性质	11	3.1.2 硅酸盐水泥的材料及	
1.2.2 与水有关的性质	13	主要矿物组成	39
1.2.3 热工性质	17	3.1.3 硅酸盐水泥的水化与凝结硬化	41
1.3 材料的力学性质	18	3.1.4 硅酸盐水泥的技术性质和	
1.3.1 材料的强度与比强度	18	技术标准	44
1.3.2 材料的弹性与塑性	20	3.1.5 水泥石的侵蚀和防止	46
1.3.3 材料的脆性与韧性	21	3.1.6 硅酸盐水泥的特性及应用	49
1.3.4 材料的硬度与耐磨性	21	3.1.7 硅酸盐水泥的包装、标志与储运	50
1.4 材料的耐久性	22	3.2 掺加混合材料的硅酸盐水泥	50
思考与练习	23	3.2.1 混合材料	50
第 2 章 气硬性胶凝材料	24	3.2.2 掺加混合材料的硅酸盐水泥	
2.1 石灰	24	种类	51
2.1.1 石灰的品种和生产	24	3.3 其他品种水泥	54
2.1.2 石灰的熟化和硬化	25	3.3.1 铝酸盐水泥	54
2.1.3 石灰的技术要求	26	3.3.2 快硬硅酸盐水泥	57
2.1.4 石灰的技术性质和应用	28	3.3.3 道路硅酸盐水泥	58
2.2 石膏	29	3.3.4 白色硅酸盐水泥及彩色	
2.2.1 石膏的生产与品种	29	硅酸盐水泥	59
2.2.2 石膏的凝结与硬化	30	3.3.5 膨胀水泥及自应力水泥	60
2.2.3 建筑石膏的技术要求	31	3.3.6 抗硫酸盐硅酸盐水泥	61
2.2.4 石膏的性质与应用	31	3.3.7 中、低热硅酸盐水泥	62
2.3 水玻璃	32	思考与练习	63
2.3.1 水玻璃的生产与组成	32		

第4章 混凝土	65	4.7.7 泵送混凝土.....	128
4.1 普通混凝土的组成材料.....	66	4.7.8 纤维混凝土.....	130
4.1.1 水泥.....	67	4.7.9 喷射混凝土.....	131
4.1.2 细骨料——砂子.....	68	4.7.10 绿化混凝土.....	132
4.1.3 粗骨料——石子.....	72	4.7.11 智能混凝土.....	134
4.1.4 拌和及养护用水.....	75	思考与练习.....	135
4.2 混凝土外加剂与掺合料.....	76	第5章 建筑砂浆	137
4.2.1 混凝土外加剂的定义和分类.....	76	5.1 砌筑砂浆.....	137
4.2.2 常用的混凝土外加剂.....	76	5.1.1 砌筑砂浆的组成材料.....	137
4.2.3 使用外加剂的注意事项.....	81	5.1.2 砌筑砂浆的技术性质.....	138
4.2.4 混凝土掺合料.....	82	5.1.3 砌筑砂浆配合比设计.....	139
4.3 普通混凝土的主要技术性质.....	85	5.1.4 砌筑砂浆的工程应用.....	143
4.3.1 混凝土拌合物的和易性.....	85	5.2 抹面砂浆.....	143
4.3.2 硬化混凝土的强度及提高混凝土 强度的主要措施.....	90	5.3 装饰砂浆.....	144
4.4 混凝土的变形性能.....	99	5.4 其他品种砂浆.....	145
4.4.1 混凝土在非荷载作用下的变形.....	99	思考与练习.....	147
4.4.2 混凝土在荷载作用下的变形.....	100	第6章 墙体和屋面材料	148
4.5 混凝土的耐久性.....	102	6.1 砌墙砖.....	148
4.5.1 混凝土的抗渗性.....	102	6.1.1 烧结砖.....	149
4.5.2 混凝土的抗冻性.....	103	6.1.2 非烧结砖.....	158
4.5.3 混凝土的抗侵蚀性.....	103	6.2 砌块.....	162
4.5.4 混凝土的碳化.....	103	6.2.1 混凝土小型空心砌块.....	162
4.5.5 混凝土碱—骨料反应.....	104	6.2.2 混凝土中型空心砌块.....	164
4.5.6 提高混凝土耐久性的措施.....	105	6.2.3 轻集料混凝土小型空心砌块.....	165
4.6 普通混凝土的配合比设计.....	106	6.2.4 蒸压加气混凝土砌块.....	166
4.6.1 混凝土配合比设计的基本要求.....	106	6.2.5 粉煤灰混凝土小型空心砌块.....	167
4.6.2 混凝土配合比设计的资料准备.....	106	6.2.6 泡沫混凝土小型砌块.....	168
4.6.3 混凝土配合比设计中的 三个重要参数.....	106	6.3 墙用板材.....	169
4.6.4 混凝土配合比设计的步骤.....	107	6.3.1 水泥类墙板.....	169
4.6.5 普通混凝土配合比设计实例.....	114	6.3.2 石膏类墙板.....	170
4.7 其他品种混凝土.....	118	6.3.3 植物纤维类墙板.....	171
4.7.1 高性能混凝土.....	118	6.3.4 复合墙板.....	172
4.7.2 轻骨料混凝土.....	122	6.4 屋面材料.....	173
4.7.3 抗渗混凝土.....	124	6.4.1 烧结类瓦材.....	173
4.7.4 大体积混凝土.....	125	6.4.2 水泥类屋面瓦材.....	175
4.7.5 碾压混凝土.....	127	6.4.3 高分子类复合瓦材.....	176
4.7.6 防辐射混凝土.....	127	6.4.4 轻型板材.....	177
		思考与练习.....	177

第7章 金属材料	178	9.4.1 隔音材料的性质.....	249
7.1 建筑钢材.....	178	9.4.2 常用的隔音材料.....	250
7.1.1 钢的冶炼和分类.....	178	9.5 建筑防火材料.....	250
7.1.2 建筑钢材的技术性能.....	182	9.5.1 建筑防火涂料.....	251
7.1.3 建筑钢材的种类和选用.....	188	9.5.2 建筑防火板材.....	251
7.1.4 钢材的锈蚀及防止.....	204	9.5.3 防火门窗及其他防火制品.....	252
7.2 铝材和铝合金.....	205	思考与练习.....	253
7.2.1 铝及铝合金.....	205	第10章 建筑塑料	254
7.2.2 常用的铝合金制品.....	206	10.1 塑料的基本知识.....	254
思考与练习.....	207	10.1.1 塑料的组成.....	254
第8章 木材	208	10.1.2 塑料的分类.....	254
8.1 木材的分类与构造.....	208	10.1.3 塑料的特性.....	255
8.1.1 木材的分类.....	208	10.2 常用建筑塑料品种.....	256
8.1.2 木材的构造.....	210	10.2.1 聚乙烯.....	256
8.2 木材的物理与力学性质.....	211	10.2.2 聚氯乙烯.....	256
8.2.1 木材的物理性质.....	211	10.2.3 聚丙烯.....	257
8.2.2 木材的力学性质.....	212	10.2.4 聚苯乙烯.....	257
8.3 木材在建筑工程中的应用.....	214	10.2.5 丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物.....	257
8.3.1 木材的优良特性.....	214	10.2.6 不饱和聚酯树脂.....	257
8.3.2 木材在建筑中的应用.....	214	10.2.7 聚甲基丙烯酸甲酯.....	258
8.3.3 木质地板.....	216	10.2.8 聚碳酸酯.....	258
8.4 木材的防腐与防火.....	217	10.2.9 玻璃钢.....	258
8.4.1 木材的腐朽.....	218	10.3 建筑塑料制品及应用.....	258
8.4.2 木材的防火.....	218	10.3.1 UPVC 塑料扣板.....	258
思考与练习.....	219	10.3.2 PVC 地板.....	259
第9章 建筑功能材料	220	10.3.3 三聚氰胺板.....	259
9.1 防水材料.....	220	10.3.4 铝塑复合板.....	259
9.1.1 沥青.....	220	10.3.5 聚碳酸酯板.....	260
9.1.2 防水卷材.....	228	10.3.6 塑料壁纸.....	260
9.1.3 防水涂料、防水油膏和防水粉.....	242	10.3.7 塑料门窗.....	260
9.2 绝热材料.....	244	思考与练习.....	261
9.2.1 绝热材料的性质.....	244	第11章 装饰材料	262
9.2.2 建筑工程对保温、绝热材料的基本 基本要求.....	244	11.1 装饰材料的基本要求及选用原则.....	262
9.2.3 常用绝热材料.....	245	11.1.1 装饰材料的基本要求.....	262
9.3 吸声材料.....	247	11.1.2 装饰材料的选用原则.....	263
9.3.1 吸声材料的性质.....	247	11.2 常用的装饰材料.....	264
9.3.2 常用的吸声材料.....	248	11.2.1 建筑装饰石材.....	264
9.4 隔音材料.....	249	11.2.2 建筑陶瓷.....	267
		11.2.3 建筑装饰玻璃.....	270

11.2.4	建筑装饰涂料	272	12.3	普通混凝土试验	301
11.2.5	建筑木装饰	274	12.3.1	混凝土拌合物取样及试样制备	301
11.2.6	金属装饰材料	275	12.3.2	普通混凝土拌合物的 和易性测定	302
11.2.7	建筑装饰织物	276	12.3.3	混凝土拌合物表观密度测定	305
	思考与练习	277	12.3.4	普通混凝土抗压强度试验	306
第 12 章	土木工程材料试验	278	12.3.5	混凝土非破损检验	308
12.1	水泥试验	278	12.4	建筑砂浆试验	311
12.1.1	水泥试验的一般规定	278	12.4.1	砂浆取样及试样制备	311
12.1.2	水泥细度测定	279	12.4.2	砂浆的稠度试验	312
12.1.3	水泥标准稠度用水量的 测定(标准法)	281	12.4.3	砂浆分层度试验	313
12.1.4	水泥净浆凝结时间的测定	284	12.4.4	砂浆立方体抗压强度试验	314
12.1.5	水泥安定性检验	285	12.5	钢筋试验	315
12.1.6	水泥胶砂强度检验(ISO 法)	287	12.5.1	试验依据	315
12.2	混凝土用骨料试验	292	12.5.2	取样方法及验收规定	315
12.2.1	概述	292	12.5.3	低碳钢拉伸试验	316
12.2.2	砂的颗粒级配试验	293	12.5.4	冷弯试验	319
12.2.3	砂的表观密度试验	294	12.6	沥青试验	321
12.2.4	砂的堆积密度试验	295	12.6.1	试验依据	321
12.2.5	砂的含水率试验	296	12.6.2	取样方法	321
12.2.6	石子颗粒级配试验	297	12.6.3	沥青针入度试验	321
12.2.7	石子的表观密度 试验(广口瓶法)	298	12.6.4	延度(延伸度)试验	323
12.2.8	石子堆积密度试验	299	12.6.5	沥青软化点试验(环球法)	325
12.2.9	石子的含水率试验	300	参考文献	327	

绪 论

教学提示 “土木工程材料”是土木工程专业的一门专业基础课程，其任务是使学生掌握常用土木工程材料的基本知识，在工程实践中具有合理选择与使用土木工程材料的能力，并为学习后续有关专业课程打下良好基础。学习中应注意本课程的特点和学习方法，一般应从材料的基本组成、原料及生产工艺、技术性质和工程应用等几个方面着手，重点放在材料的基本性质与应用上。

教学要求 掌握土木工程材料的定义，土木工程材料在土木工程中的地位与作用，土木工程材料的分类及其标准化；了解土木工程材料的发展，以及本课程的特点、学习目的和学习方法。

建筑业是国民经济的支柱产业之一，而土木工程材料是建筑业必不可少的物质基础，是构成房屋建筑的主体结构，也是每一个零部构件的原材料和重要组成部分。

在建筑工程总造价中，材料费用占有很大的比重，一般占工程总造价的60%左右。土木工程材料的性能、质量、品种和规格，直接影响到建筑工程的结构形式和施工方法，直接关系到建筑质量、建筑功能和建筑形式，对国民经济的发展、城乡建设及人民居住条件的改善，有着十分重要的影响。

建筑技术的现代化，在很大程度上是与传统土木工程材料的改造和新土木工程材料的研制分不开的，新结构形式的出现也往往是新土木工程材料产生的结果。因此，土木工程材料的科学研究及其生产工艺的迅速发展，对于现代化的经济建设，具有十分重要的意义。

0.1 土木工程材料的定义及分类

1. 土木工程材料的定义

从广义上讲，所谓的土木工程材料，是指用于建筑物或构筑物的所有材料，它是建筑工程(工业与民用建筑、水利、道路桥梁、港口等)中所有材料的总称。土木工程材料不仅包括构成建筑本身的材料(如钢材、木材、水泥、砂石等)，而且还包括在建筑施工过程中应用和消耗的材料(如脚手架、组合钢模板、安全防护网等)以及各种配套器材(如水、电、暖设备等)。从狭义上讲，所谓的土木工程材料，是指构成建筑物本身的材料。本课程讨论的是狭义的土木工程材料。

2. 土木工程材料的分类

为了方便使用和研究，常按一定的原则对土木工程材料进行分类。

土木工程材料根据来源，可分为天然材料和人工材料；根据其在土木工程中的功能，

可分为结构材料和非结构材料、保温材料和隔热材料、吸声材料和隔声材料、装饰材料、防水材料等；根据其在土木工程中的使用部位，可分为墙体材料、屋面材料、地面材料、饰面材料等。最常见的分类原则是按照其化学成分来分类的，有无机材料、有机材料和复合材料三大类，如图 0-1 所示。

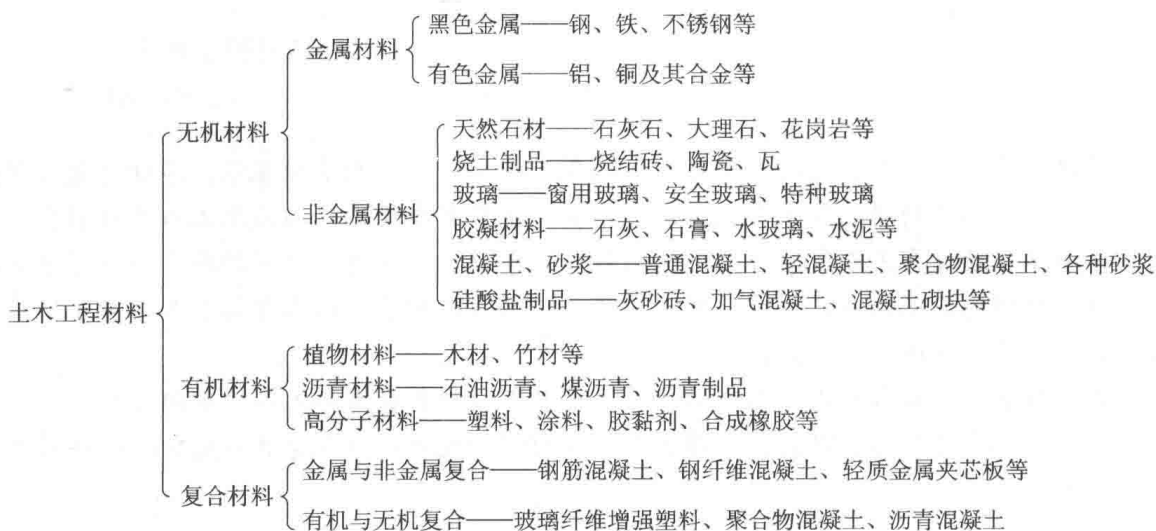


图 0-1 土木工程材料按材料的化学成分来分类

0.2 土木工程材料在工程中的地位和作用

1. 土木工程材料在工程中的地位

任何一种建筑物或构筑物都是将土木工程材料按某种方式组合而成的，没有土木工程材料就没有土木工程。因此，土木工程材料是一切土木工程的物质基础。土木工程材料在土木工程中应用量巨大，材料费用占工程总造价的 40%~70%。如何从品种和门类繁多的材料中选择物优价廉的材料，对降低工程造价具有重要意义。

土木工程材料的性能影响到土木工程的坚固性、耐久性和适用性。不难想象木结构、砌体结构、钢筋混凝土结构和砖混结构的建筑物性能之间的明显差异。例如，砖混结构建筑物的坚固性一般优于木结构建筑物，而舒适性不及后者。对于同类材料，性能也会有较大差异，例如用矿渣水泥制作的污水管较普通水泥制作的污水管耐久性好。因此，选用性能相适应的材料是土木工程质量的重要保证。

2. 土木工程材料在工程中的作用

任何一个土木工程都由建筑、材料、结构、施工四个方面组成，这里的“建筑”指建筑物(构筑物)，它是人类从事土木工程活动的目的，材料、结构、施工是实现这一目的的手段。其中，材料决定了结构形式，如木结构、钢结构、钢筋混凝土结构等，结构形式一经确定，施工方法也随之而定。土木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。新材料的出现，往往会促使建筑设计、结构设计和施工技术产生革命性的变化。例如黏土砖的出现，产生了砖木结构；水泥和钢筋的出现，产生了钢筋混凝土结构；轻质高强度材料的出现，推动了现代建筑向高层和大跨度方向发展；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重要的作用,并推动了节能建筑的发展。

总之,新材料的出现远比通过结构设计与计算和采用先进施工技术对土木工程的影响大。土木工程归根到底是围绕着土木工程材料来开展的生产活动,土木工程材料是土木工程的基础和核心。

0.3 土木工程材料的历史、现状及发展

随着人类文明及科学技术的不断发展,土木工程材料也在不断改进。现代土木工程中,传统的土、木、石等材料的主导地位已逐渐被新型材料所取代,新型合金、陶瓷、玻璃、有机材料及其他人工合成材料等在土木工程中占有越来越重要的位置。

1. 土木工程材料的历史

土木工程材料是随着社会生产力和科学技术水平的发展而发展的。

上古时期,人类居住于天然山洞或树巢中,以后逐步采用黏土、石块、木材等天然材料建造房屋。一万八千年前的北京龙骨山山顶洞人,住在天然岩洞里。在距今约六千年的西安半坡遗址中,发现已经采用木骨架泥墙建房,并有制陶窑场。当人类掌握了煅烧加工技术以后,就使用红烧土、白灰粉及土坯等建房,并逐渐懂得使用草筋泥和混合土等复合材料。河南安阳的殷墟是商朝后期的都城(约公元前 1401 年—公元前 1060 年),其建筑技术有了明显提高,并有制陶、冶铜作坊,青铜工艺也已相当纯熟。烧土瓦在西周(公元前 1060 年—公元前 711 年)早期的陕西凤雏遗址中已有发现,并有了在土坯墙上采用三合土(石灰、黄砂、黏土混合)抹面。到战国时期(公元前 475 年—公元前 221 年),筒瓦、板瓦已广泛使用,并且出现了大块空心砖和墙壁装修用砖。中国古代房屋建筑主要采用木结构,后来发展为砖石结构,其代表为著名的石拱桥——赵州桥(位于河北省石家庄市赵县)和密檐砖塔——嵩岳寺塔(位于河南省登封市)。欧洲于公元前 2 世纪已采用天然火山灰、石灰、碎石拌制天然混凝土用于建筑,直到 19 世纪初,才开始采用人工配料,再经煅烧、磨细制造水泥,由于它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)。此项发明于 1824 年由英国人阿斯普定(J·Aspdin)取得专利权,并于 1825 年用于泰晤士河水下公路隧道工程。钢材在建筑中的应用发生于 19 世纪中叶。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。水泥和钢材这两种新材料的问世,为后来建造高层建筑和大跨度桥梁提供了物质基础。

新中国成立前,我国土木工程材料工业发展缓慢,19 世纪 60 年代在上海、汉阳等地相继建成炼铁厂,1865 年建成上海砖瓦锯木厂,1882 年建成中国玻璃制造厂,1890 年建成我国生产水泥的第一家工厂——唐山水泥厂。

新中国成立以后,为适应大规模经济建设的需要,建材工业迅速发展;尤其自改革开放以来,为满足现代工程建设的需要,一些特殊功能(如保温、隔热、吸声、防水、耐火等)的土木工程材料应运而生。近年来为适应现代建筑装修的需要,玻璃、陶瓷、塑料、铝合金、铜合金等建筑装饰材料更是层出不穷。

在我国上海、北京和沈阳等地现已能供应 C80 以上的商品预拌混凝土，这标志着我国混凝土技术正向着高性能的方向发展。此外，铝合金、镀膜玻璃、石膏板和合成高分子建材等工程材料发展迅速，特别是伴随着我国经济的崛起和奥运会的主办，土木工程领域新材料和新技术不断迈上新的台阶。如用钢铁编织成的国家体育场“鸟巢”，作为世界最大的钢结构工程，其外部钢结构的钢材用量为 4.2 万吨，整个工程包括混凝土中的钢材和螺纹钢等，总用钢量达到了 11 万吨，全部为国产钢。其中，大厚度 Q460E-Z35 钢板属世界首创。奥运游泳馆“水立方”采用了国际上最先进的 ETFE 膜(乙烯—四氟乙烯共聚物)材料，这是一种轻质新型材料，具有优秀的热学性能和透光性，可以调节室内环境，冬季保温、夏季隔热，而且还能避免建筑结构受到游泳中心内部环境的侵蚀。如果 ETFE 膜产生了破洞，不必更换，只需打上补丁，它便可自行“愈合”，即过一段时间后就会恢复原貌。这些都是现代土木工程材料飞速发展的结果。

随着土木工程材料生产和应用的发展，土木工程材料科学也已成为一门独立的新学科。采用现代的电子显微镜、X 衍射分析仪等先进仪器设备，可从微观和宏观两方面对材料的形成、组成、构造与性能之间的关系及其规律性和影响因素等进行研究。应用现代技术已可以按指定性能来设计和制造某些材料，以及对传统材料按要求进行各种改性。在不久的将来，更多高级的新型多功能土木工程材料将被研制出。

2. 土木工程材料的现状及要求

与以往相比，当代土木工程材料的物理力学性能已获得明显改善；随着施工工艺的改进和生产力的发展，其应用范围也有明显的变化。尽管目前土木工程材料在品种与性能上已有很大的进步，但与人们对于其性能要求的期望值还有较大差距。现从以下三方面说明当代对土木工程材料的要求。

1) 土木工程材料的来源

历史发展到今天，以往大量采用的黏土、砖瓦和木材等已经给社会的可持续发展带来了沉重的负担。从另一方面来看，由于人们对于各种建筑物性能的要求不断提高，传统土木工程材料的性能也越来越不能满足社会发展的需求。为此，以天然材料为主要材料的时代即将结束，取而代之的将是各种人工材料，这些人工材料将会向着再生化、利废化、节能化和绿色化等方向发展。

2) 土木工程材料的技术性能

土木工程对材料技术性能的要求越来越多，对其各种物理性能指标的要求也越来越高，从而表现为未来土木工程材料将具有多功能和高性能的特点。具体来说，就是土木工程材料将向着轻质高强、多功能、良好的工艺性和优良耐久性的方向发展。

3) 土木工程材料应用的发展趋势

为满足现代土木工程结构性能和施工技术的要求，材料应用也向着工业化的方向发展。例如，水泥混凝土等结构性能向着预制化和商品化的方向发展，材料向着半成品或成品的方向延伸，材料的加工、储存、使用、运输及其他施工技术的机械化、自动化水平不断提高，劳动强度逐渐下降等。这不仅改变着材料在使用过程中的性能表现，也逐渐改变着人们对于土木工程使用的手段和观念。

3. 土木工程材料的发展方向

众多迹象表明,进入 21 世纪以后,在我国甚至是全世界范围内,土木工程材料将向着以下方向发展:

1) 高性能

现今的钢筋混凝土结构材料的自重大(每立方米约 2500 kg),限制了建筑物向高层、大跨度方向的进一步发展。减轻材料自重,从而减轻结构物自重,可提高经济效益。目前,世界各国都在研制轻质、高强、高耐久性、优异装饰性和多功能的材料,并充分利用和发挥各种材料的特性,采用复合技术,以制造出具有特殊功能的复合材料。

2) 节能化

土木工程材料的生产能耗和建筑物使用能耗在国家总能耗中一般占 20%~35%,研制和生产低能耗的新型节能材料,是构建节约型社会的需要。因此,应采用低能耗、无污染的生产技术,优先开发、生产低能耗的材料以及能降低建筑物使用能耗的节能型材料。

3) 利废化

充分利用工业废渣、生活废渣、建筑垃圾生产土木工程材料,将各种废渣尽可能资源化,以保护环境、节约自然资源,使人类社会向可持续方向发展。

4) 智能化

所谓智能化材料,是指材料本身具有自我诊断和预告破坏、自我修复的功能,以及可重复利用性。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。

5) 多功能化

利用复合技术生产的多功能材料、特殊性能材料及高性能材料,对提高建筑物的使用功能、经济性及加快施工进度等有着十分重要的作用。

6) 绿色化

绿色建材又称生态建材、环保建材等,它是指采用清洁生产技术、少用天然资源和能源、大量使用工业或城市固态废弃物生产的无毒害、无污染、无放射性、有利于环境保护和人体健康的建筑材料。

0.4 土木工程材料的技术标准

目前,我国绝大多数土木工程材料都有相应的技术标准。这些技术标准涉及产品的规格、分类、技术要求、验收规则、代号与标志、运输与储存及抽样方法等内容。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,这些标准又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,应按照规定标准选用、设计、施工,并按标准验收产品。

我国常用的有关土木工程材料的技术标准有以下三大类。

1. 国家标准

国家标准有强制性标准(代号 GB)和推荐性标准(代号 GB/T)。强制性标准是全国必须执行的技术指导文件,产品的技术指标不能低于标准中的规定。推荐性标准是指在执行时也

可以采用的其他标准。

2. 行业(或部颁)标准

行业(或部颁)标准是由某一行业制定并在本行业内执行的标准。如中国建筑业行业标准(代号 JG)、中国建筑材料行业标准(代号 JC)、中国黑色冶金行业标准(代号 YB)、中国建筑工程标准(代号 JZ)、中国测绘行业标准(代号 CH)和中国石油化工行业标准(代号 SH)。

3. 地方标准和企业标准

地方标准(代号 DB)和企业标准(代号 QB)是由地方或企业制定并经有关部门批准的产品(技术)标准。根据国家标准化法规定,对同一产品或技术,其企业标准的技术指标要求不低于国家标准或行业标准。

4. 标准的表示方法

标准的一般表示方法:由标准名称、部门代号、标准编号和颁布年份等构成。例如:国家标准(强制性)——《通用硅酸盐水泥》(GB 175—2007)

建工行业标准——《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》(JGJ 52—2006)

甘肃省地方标准——《建筑节能外墙保温施工技术规范》(DBJT 25—3035—2006)

自我国对外开放和加入世界贸易组织后,还涉及了一些与土木工程材料相关的国际标准和外国标准,具体内容见表 0-1。

表 0-1 常用的国际标准和外国标准及代号

名 称	代 号	名 称	代 号
国际标准化组织标准	ISO	法国国家标准	NF
国际标准化组织建议标准	ISO/R	意大利国家标准	UNI
欧洲标准化委员会标准	EN	俄罗斯国家标准	GOST
欧洲无损检测联盟标准	EFNDT	澳大利亚国家标准	AS
美国材料试验协会标准	ASTM	加拿大国家标准	CSA
美国国家标准	ANSI	日本标准	JIS
美国混凝土学会标准	ACI	英国标准	BS

0.5 本课程的特点、学习目的和学习方法

1. 本课程的特点

本课程的内容庞杂,各章之间的联系较少,且名词、概念和专业术语较多,公式的推导或定律的论证与分析方面的内容较少,与工程实际联系紧密。课程中常会遇到定性的描述或经验及规律的总结,讨论的内容涉及了土木工程专业并不开设的课程等。对于初学者来说,常常抓不住重点,不好掌握。鉴于本课程的内容特点,要想系统掌握,必须抓住重点,即材料的性能与应用。由于各材料的组成与结构不同而导致性能各异,因此在学习时必须把握不同材料之间所具有的共性及不同材料的个性,了解决定材料性能的内在因素和影响材料性能的外部环境条件,把握变化规律,有效采取应对措施。此外,还要学习并掌

握材料检测技能和评定方法，培养和锻炼动手能力。

2. 本课程的学习目的

本课程分为理论课和实验课两部分，目的在于使学生掌握主要土木工程材料的性质、用途、材料的制备和使用方法以及检测和质量控制方法；了解土木工程材料性质与材料结构的关系，以及材料性能改善的途径。通过本课程的学习，应能针对不同工程合理选用材料，并能与后续课程密切配合，了解材料与设计参数及不同施工措施的关系。

3. 本课程的学习方法

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。为了深刻理解课堂讲授的知识，应利用一切机会观察周围已经建成的或正在施工的土木工程，在实践中理解和验证所学内容。

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。学会检验常用土木工程材料的实验方法，掌握一定的实验技能，并能对实验结果进行正确的分析和判断，对培养学习与工作能力及严谨的科学态度十分有利。

第 1 章 土木工程材料的基本性质

教学提示 土木工程材料的基本性质是土木工程各材料的共同性质。本章主要讲述土木工程材料的各项基本力学性质、物理性质、化学性质、耐久性等，材料之间的相互关系和在工程实践中的应用是应着重掌握的。

教学要求 了解材料的组成与结构及其与材料性质的关系；掌握材料的基本物理性质、与水有关的性质、与热有关的性质及其表示方法，并能熟练地运用；了解材料力学性质及耐久性的基本概念；熟悉本课程经常涉及到的有关材料性质的基本概念，为之后各章的学习打下良好的基础。

1.1 材料的组成与结构

土木工程材料的基本性质是指土木工程材料在实际工程使用中所表现出来的普遍的、最一般的性质。由于材料本身的工作状态和所处的环境不同，外界对它的作用和影响方式也不同，使得材料表现出的性质也综合体现在多个方面，具体包括物理性质、力学性质和耐久性。

1.1.1 材料的组成

材料的组成为化学组成和矿物组成。

1. 化学组成

化学组成是指材料的化学成分，是构成材料的化学元素及化合物的种类及数量。无机非金属材料的化学组成以各种氧化物的形式表示。金属材料以元素含量来表示。化学组成决定着材料的化学性质，影响着其物理性质和力学性质。如碳素钢随着含碳量的增加，强度、硬度增大，而塑性、韧性降低。

2. 矿物组成

矿物是指由地质作用所形成的天然单质或化合物，它们具有相对固定的化学组成，呈固态者还具有确定的内部结构，在一定的物理化学条件范围内稳定，是组成岩石和矿石的基本单元。材料中的元素或化合物以特定的结合形式存在着，并决定着材料的许多重要性质。

矿物组成是无机非金属材料中化合物存在的基本形式。化学组成不同，矿物组成也就不同。即使化学组成相同，在不同的条件下结合成的矿物往往也是不同的。例如，化学组成为 CaO 、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 的水泥，其熟料的矿物组成为 $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 、 $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 、

$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ 。原料的配合比、生产工艺决定了水泥熟料的矿物组成，而矿物组成决定了水泥的主要性能。由此可见，水泥性能的决定因素是其矿物成分。所以，掌握各类材料的基本组成，是了解材料本质的基础。

1.1.2 材料的结构

材料的性质除与其组成有关外，还与其结构和构造有密切的关系。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。目前，材料不同层次的结构和构造的名称及划分，在不同学科间尚未统一。通常，按材料的结构和构造的尺度范围，可将其分为宏观结构、亚微观结构和微观结构。材料的结构是决定材料性能的重要因素之一。

1. 宏观结构

宏观结构，亦称构造，是指用肉眼或放大镜即可分辨的毫米级组织，如材料内部的大孔隙、裂纹、岩石的层理及木材的纹理等。材料宏观结构的分类及其主要特性见表 1-1。

表 1-1 材料宏观结构的分类及其主要特性

结构类型	常见材料	主要特性
致密结构	钢材、玻璃、塑料	强度、硬度高，吸水性弱，抗渗、抗冻性好
多孔结构	泡沫塑料、加气混凝土	强度低，吸水性强，保温隔热性能好
微孔结构	烧结砖、石膏制品	孔隙尺寸小，强度低，吸水性强，保温隔热性能好
纤维结构	木材、竹材、石棉纤维及钢纤维制品	纤维的平行方向与垂直方向的性能差异较大(各向异性)
片状或层状结构	胶合板等人工板材、部分岩石(大多沉积岩)	综合性能好，具有解理、层理性质
散粒结构	砂子、石子、水泥	具有空隙，空隙的大小取决于颗粒形状、级配

2. 亚微观结构

亚微观结构(显微或细观结构)是指由光学显微镜所看到的微米级组织结构，是介于宏观和微观之间的结构。该结构主要涉及材料内部晶粒等的大小和形态、晶界或界面、孔隙、微裂纹等。

亚微观结构的尺度范围为 $10^{-9} \text{ m} \sim 10^{-3} \text{ m}$ 。根据其尺度范围，还可将其分为显微结构和纳米结构。其中，显微结构是指用光学显微镜所能观察到的结构，其尺度范围为 $10^{-7} \text{ m} \sim 10^{-3} \text{ m}$ 。

土木工程材料的显微结构，应根据具体材料来分类研究。对于水泥混凝土，通常是研究水泥石的孔隙结构及界面特性等；对于金属材料，通常是研究其金相组织、晶界及晶粒尺寸等；对于木材，通常是研究木纤维、管胞和髓线等组织结构。

一般而言，材料内部的晶粒越细小、分布越均匀，则材料的强度越高、脆性越小、耐久性越好。不同材料组成间的界面黏结或接触越好，则材料的强度、耐久性等越好。例如，钢材的晶粒越小，钢材的强度就越高；混凝土中毛细孔的数量越少，孔径越小，则混凝土