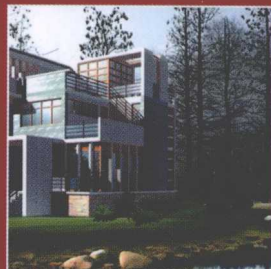




全国高等院校工程管理专业
应·用·型·系·列·规·划·教·材

土木工程材料

柯昌君 马可栓 主 编
杨晶杰 董 祥 副主编



科学出版社
www.sciencep.com

全国高等院校工程管理专业应用型系列规划教材



土木工程材料

柯昌君 马可栓 主 编
杨晶杰 董 祥 副主编

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书以高等院校土木工程专业指导委员会 2001 年 11 月制定的本科课程教学大纲为依据,参照最新的国家标准、规范,以加强基础、注重实用为原则编写而成。书中绪论与第 1 章主要阐述土木工程材料的基础知识。第 2 章至第 12 章按照土木工程材料的化学属性进行编排,其中,第 2 章至第 6 章主要介绍无机非金属材料,包括气硬性无机胶凝材料、水泥、水泥混凝土、建筑砂浆、墙体材料;第 7 章主要介绍金属材料,以介绍建筑钢材为主;第 8 章至第 11 章主要介绍有机材料,包括沥青材料、沥青混合料、木材、合成高分子材料等;第 12 章介绍建筑功能材料;书末附有附录,主要介绍土木工程材料试验。

本书可作为普通高等院校土木工程类各专业的教学用书或参考书,也可供土木工程设计、施工、科研、管理和监理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程材料/柯昌君,马可栓主编. —北京:科学出版社,2010
(全国高等院校工程管理专业应用型系列规划教材)
ISBN 978-7-03-027628-5

I. ①土… II. ①柯…②马… 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 090560 号

责任编辑:童安齐 王晶晶 / 责任校对:王万红
责任印制:吕春珉 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 7 月第 一 版 开本:787×1092 1/16
2010 年 7 月第一次印刷 印张:22 3/4
印数:1—3 000 字数:490 000

定价:36.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

前 言

本书以高等院校土木工程专业指导委员会 2001 年 11 月制定的本科课程教学大纲为基本依据,参照最新的国家标准、规范,以加强基础、注重实用为原则编写而成。

编写本书的指导思想是尽可能反映国内外土木工程学科的新成就和我国相关的新标准、新规范,紧密结合人才培养模式的改革,在学生掌握有关专业知识的同时,培养其分析问题、解决问题的能力。根据高等院校土木工程类各专业对土木工程材料知识的要求,本书对土木工程材料的各部分内容进行精心编排,力求满足各专业的教学要求。不同专业在使用本书时,可根据本专业的教学大纲要求进行取舍。

本书的具体编写分工为:长江大学柯昌君负责编写绪论、第 7 章、第 11 章,龚平负责编写第 1 章、第 6 章;新疆农业大学杨晶杰负责编写第 2 章,第 3 章 3.3 节、3.4 节,附录;荆州市散装水泥办公室尹新平负责编写第 3 章 3.1 节、3.2 节;南阳师范学院马可栓负责编写第 4 章;南京工程学院董祥负责编写第 8 章、第 9 章;南阳理工学院任海洋负责编写第 10 章、第 12 章。全书由柯昌君、杨晶杰整理、统稿。

由于土木工程材料品种繁多,新材料、新品种不断涌现,加之编者水平的局限性,本书难免存在不足之处,恳请广大读者批评指正。

目 录

绪论	1
0.1 土木工程材料的范畴和分类	1
0.1.1 土木工程材料的范畴	1
0.1.2 土木工程材料的分类	1
0.2 土木工程材料的发展	1
0.3 材料在土木工程中的地位	2
0.3.1 材料是保证土木工程质量的基础	2
0.3.2 材料对土木工程造价的影响	2
0.3.3 材料对土木工程技术进步的促进作用	2
0.4 土木工程材料的标准	2
0.5 土木工程材料的选择	3
0.5.1 材料的功能性	3
0.5.2 材料的耐久性	3
0.5.3 材料的经济性	3
0.5.4 材料的环保性	3
0.6 本课程的学习方法	4
第1章 材料的基本性质	5
1.1 材料的物理性质	5
1.1.1 材料的密度、表观密度和堆积密度	5
1.1.2 材料的孔隙率与空隙率	6
1.1.3 材料与水有关的性质	7
1.1.4 材料与热有关的性质	9
1.2 材料的力学性质	11
1.2.1 材料的强度	11
1.2.2 弹性与塑性	12
1.2.3 脆性和韧性	12
1.2.4 硬度和耐磨性	13
1.3 材料的耐久性能	13
1.4 材料的组成与结构	13
1.4.1 材料的组成	14
1.4.2 材料的结构	14
思考题与习题	16

第 2 章 无机气硬性胶凝材料	17
2.1 建筑石膏	17
2.1.1 石膏胶凝材料的生产	17
2.1.2 建筑石膏的水化与硬化	18
2.1.3 建筑石膏的技术性质	19
2.1.4 建筑石膏的应用	21
2.2 石灰	21
2.2.1 生石灰的生产	21
2.2.2 石灰的熟化与硬化	22
2.2.3 石灰的技术性质	23
2.2.4 石灰的应用	25
2.2.5 石灰的储存	25
2.3 其他无机气硬性胶凝材料	26
2.3.1 菱苦土	26
2.3.2 水玻璃	26
思考题与习题	28
第 3 章 水泥	29
3.1 通用硅酸盐水泥	29
3.1.1 通用硅酸盐水泥的生产	30
3.1.2 硅酸盐水泥熟料	31
3.1.3 硅酸盐水泥的水化与硬化	31
3.2 其他通用硅酸盐水泥	34
3.2.1 混合材料	34
3.2.2 其他通用硅酸盐水泥	37
3.2.3 水泥石的腐蚀与防腐	39
3.2.4 通用硅酸盐水泥的选用	41
3.3 通用硅酸盐水泥的技术要求	42
3.3.1 化学指标	42
3.3.2 物理指标	43
3.3.3 碱含量	45
3.3.4 其他技术性质	45
3.4 其他水泥	46
3.4.1 铝酸盐水泥	46
3.4.2 抗硫酸盐硅酸盐水泥	47
3.4.3 白色和彩色硅酸盐水泥	48
3.4.4 膨胀水泥	48
3.4.5 道路硅酸盐水泥	50

3.4.6 砌筑水泥	50
思考题与习题	51
第4章 水泥混凝土	54
4.1 概述	54
4.1.1 水泥混凝土的定义和分类	54
4.1.2 水泥混凝土的性能特点	54
4.1.3 水泥混凝土的发展方向	55
4.2 水泥混凝土的组成材料	55
4.2.1 水泥	55
4.2.2 集料	56
4.2.3 混凝土拌和及养护用水	63
4.2.4 混凝土外加剂	64
4.2.5 混凝土掺和料	69
4.3 新拌混凝土的性能	72
4.3.1 混凝土拌和物的和易性	72
4.3.2 混凝土拌和物的凝结时间	77
4.4 混凝土的强度	78
4.4.1 混凝土受力变形及破坏过程	78
4.4.2 混凝土强度	78
4.5 硬化混凝土的变形性能	85
4.5.1 非荷载作用变形	86
4.5.2 荷载作用下的变形	87
4.6 混凝土的耐久性	89
4.6.1 混凝土的抗渗性	90
4.6.2 混凝土的抗冻性	90
4.6.3 混凝土的抗侵蚀性	91
4.6.4 混凝土的抗碳化性	91
4.6.5 混凝土的碱-集料反应	92
4.6.6 提高混凝土耐久性的途径	93
4.7 普通混凝土质量控制及配合比设计	94
4.7.1 混凝土的基本要求和质量控制	94
4.7.2 普通混凝土配合比设计	98
4.7.3 混凝土配合比设计实例	103
4.8 特种混凝土	106
4.8.1 轻集料混凝土	106
4.8.2 纤维混凝土	106
4.8.3 高性能混凝土	108

4.8.4	泵送混凝土	108
4.8.5	聚合物混凝土	109
	思考题与习题	110
第5章	建筑砂浆	112
5.1	砂浆的主要技术性质	112
5.1.1	新拌砂浆的和易性	112
5.1.2	硬化砂浆的强度及强度等级	113
5.2	砌筑砂浆	114
5.2.1	砌筑砂浆的组成材料	114
5.2.2	砌筑砂浆的技术条件	115
5.2.3	砌筑砂浆的配合比设计	116
5.3	抹面砂浆	118
5.3.1	普通抹面砂浆	118
5.3.2	装饰砂浆	119
5.4	特种砂浆	120
5.4.1	防水砂浆	120
5.4.2	保温砂浆和吸声砂浆	120
5.4.3	耐腐蚀砂浆	121
5.4.4	防辐射砂浆	121
	思考题与习题	122
第6章	墙体材料	123
6.1	砌墙砖	123
6.1.1	烧结普通砖	123
6.1.2	烧结多孔砖	126
6.1.3	烧结空心砖	127
6.1.4	蒸养(压)砖	127
6.2	砌块	128
6.2.1	蒸压加气混凝土砌块	128
6.2.2	普通混凝土小型空心砌块	130
6.2.3	轻集料混凝土小型空心砌块	130
6.3	墙用板材	131
6.3.1	石膏板材	131
6.3.2	水泥类墙体板材	132
6.3.3	复合墙板	133
6.4	砌筑石材	134
6.4.1	石材的分类	134
6.4.2	石材的技术性质	135

6.4.3 石材的应用	136
思考题与习题	138
第7章 建筑钢材	139
7.1 钢材的冶炼与分类	139
7.1.1 钢材的冶炼	139
7.1.2 钢材的分类	139
7.2 建筑钢材的技术性质	140
7.2.1 抗拉性能	141
7.2.2 冲击韧性	142
7.2.3 耐疲劳性	143
7.2.4 冷弯性能	144
7.2.5 焊接性能	144
7.3 化学成分对钢材性能的影响	145
7.3.1 钢材的晶体结构	145
7.3.2 钢材的基本晶体组织	145
7.3.3 化学成分对钢材性能的影响	145
7.4 钢材的冷加工与热处理	147
7.4.1 钢材的冷加工	147
7.4.2 钢材的热处理	148
7.5 土木工程用钢材的技术标准与选用	149
7.5.1 土木工程用钢材的主要类别	149
7.5.2 钢结构用钢材	154
7.5.3 混凝土结构用钢	156
7.6 钢材的腐蚀与防护	160
7.6.1 钢材的腐蚀	160
7.6.2 钢材的防护	161
思考题与习题	162
第8章 沥青材料	164
8.1 概述	164
8.2 石油沥青的组成与结构	165
8.2.1 石油沥青的组分	165
8.2.2 沥青的胶体结构	167
8.3 石油沥青的技术性质	168
8.3.1 沥青的技术性质	168
8.3.2 沥青胶结料评价方法	181
8.4 其他沥青	188
8.4.1 改性沥青	188

8.4.2	乳化沥青	194
8.4.3	煤沥青	196
8.4.4	冷底子油与沥青胶	196
	思考题与习题	197
第9章	沥青混合料	199
9.1	沥青混合料的分类	199
9.1.1	按矿料级配类型分类	199
9.1.2	按矿料空隙率分类	200
9.1.3	按矿料公称最大粒径分类	200
9.1.4	按沥青混合料路面成型特性分类	200
9.1.5	按沥青混合料施工温度分类	201
9.2	沥青混合料的强度构成	201
9.2.1	沥青混合料的结构类型	201
9.2.2	沥青混合料的强度及其影响因素	204
9.3	沥青混合料的技术性质	206
9.3.1	沥青混合料的高温稳定性	207
9.3.2	沥青混合料的低温抗裂性	210
9.3.3	沥青混合料的水稳定性	215
9.3.4	沥青混合料的抗疲劳性	217
9.3.5	沥青混合料的表面抗滑性	218
9.3.6	沥青混合料的施工和易性	220
9.4	沥青混合料的配合比设计	221
9.4.1	沥青混合料配合比设计阶段	221
9.4.2	沥青混合料配合比设计方法	222
9.5	新型沥青混合料	226
9.5.1	沥青稀浆封层与微表处混合料	226
9.5.2	再生沥青混合料	227
9.5.3	桥面铺装沥青混合料	228
9.5.4	乳化沥青水泥复合砂浆	229
9.6	工程案例	231
9.6.1	设计任务与要求	231
9.6.2	材料的密度测试	231
9.6.3	矿质集料配合比设计	232
9.6.4	马歇尔试验	233
9.6.5	设计混合料路用性能检验	236
9.6.6	目标配合比设计成果汇总	236
	思考题与习题	237

第 10 章 木材	238
10.1 木材的分类和构造	238
10.1.1 木材的分类	238
10.1.2 木材的构造	238
10.2 木材的性质	239
10.2.1 木材的物理性质	239
10.2.2 木材的力学性质	240
10.3 木材在土木工程中的应用	242
10.3.1 木材的特性	242
10.3.2 木材的等级	243
10.3.3 木材的应用	243
10.4 木材的防腐与防火	246
10.4.1 木材的防腐	246
10.4.2 木材的防火	247
思考题与习题	247
第 11 章 合成高分子材料	248
11.1 合成高分子材料的分子特征及性能特点	248
11.1.1 合成高分子材料的分子特征	248
11.1.2 合成高分子材料的性能特点	249
11.2 合成高分子材料在土木工程中的应用	250
11.2.1 建筑塑料	250
11.2.2 胶黏剂	256
思考题与习题	259
第 12 章 建筑功能材料	260
12.1 防水材料	260
12.1.1 防水卷材	260
12.1.2 防水涂料	263
12.1.3 密封材料	267
12.2 绝热材料	268
12.2.1 绝热材料的绝热原理	268
12.2.2 绝热材料的性能	269
12.2.3 常用绝热材料及其特性	271
12.3 吸声材料与隔声材料	274
12.3.1 吸声材料	274
12.3.2 隔声材料	277
12.4 装饰材料	278
12.4.1 建筑陶瓷	279

12.4.2 建筑玻璃	282
12.4.3 铝合金	285
12.4.4 建筑涂料	286
思考题与习题	288
附录 土木工程材料试验	290
试验一 土木工程材料基本性质试验	290
试验二 水泥性能试验	292
试验三 混凝土原材料(砂、石)试验	306
试验四 水泥混凝土性能试验	331
试验五 钢材性能试验	340
试验六 沥青性能试验	344
主要参考文献	350

绪 论

0.1 土木工程材料的范畴和分类

0.1.1 土木工程材料的范畴

土木工程材料是指土木工程中使用的各种材料,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所有的材料,包括:一是构成建(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。本书所介绍的是狭义土木工程材料。

0.1.2 土木工程材料的分类

土木工程材料种类繁多,按化学成分来分,可以分为无机材料、有机材料和复合材料三大类,各大类又可分为许多小类(表 0.1),也可按其使用功能分为结构材料、墙体材料和功能材料。

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	钢纤维混凝土、钢筋混凝土等
	无机非金属-有机材料	玻璃纤维增强塑料、聚合物混凝土、沥青混凝土等

0.2 土木工程材料的发展

作为工程的物资基础,土木工程材料对土木工程的发展起着关键作用。每当出现新

的土木工程材料时,土木工程的结构形式就会有飞跃发展。

烧制材料的出现是土木工程材料的第一次飞跃。随着烧制黏土砖瓦的出现和石灰等气硬性胶凝材料在土木工程中的应用,人类第一次冲破了天然土木工程材料的束缚,成为人类建筑史上的一个里程碑。在长达三千多年的时间里,砖、瓦和石灰一直是土木工程领域重要的建筑材料。

混凝土的大量应用是土木工程的第二次飞跃。19世纪初硅酸盐水泥的出现,为混凝土的应用提供了物质条件,而钢筋混凝土为土木工程提供了更多的结构形式。

钢材的大规模使用是土木工程的第三次飞跃。由钢材应用于简单的梁、拱结构发展到后来的桁架、框架、网架和悬索结构,出现了结构形式百花争艳的局面,而建筑物跨径由砖、石、木结构的几十米发展到钢结构的上千米,创造出史无前例的奇迹。

随着居住、工作和出行环境的不断改善,对土木工程材料提出了更高的要求,轻质高强、高耐久性、智能化和环境协调的土木工程材料成为今后的发展趋势。

0.3 材料在土木工程中的地位

0.3.1 材料是保证土木工程质量的基礎

材料不仅是构成土木工程建(构)筑物的物质基础,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。

0.3.2 材料对工程造价的影响

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。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,在确保优质的同时降低工程成本。

0.3.3 材料对土木工程技术进步的促进作用

在土木工程建设过程中,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,是决定土木工程结构设计形式和施工方法的主要因素。因此,材料性能的改进、材料技术的进步都会直接促进土木工程技术的进步,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、土木,使得钢筋混凝土结构占据土木工程材料的主导地位。

0.4 土木工程材料的标准

我国土木工程材料的技术标准分为国家标准、部委行业标准、地方标准和企业标准。

国家标准和部委行业标准是全国通用标准,是国家指令性文件,生产、设计和施工部门应严格遵照执行,可分为强制性标准和推荐标准。对于强制性国家标准,任何技术(或产品)不得低于其规定的要求;对于推荐性国家标准,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。

与土木工程材料有关的标准及代号有国家标准 GB 或 GB/T、建筑工程国家标准 GBJ、建筑工程行业标准 JG、建筑材料行业标准 JC、交通行业标准 JT、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 和企业标准 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《低合金高强度结构钢》(GB/T 1591—2008)。

0.5 土木工程材料的选择

土木工程材料种类繁多,即使是同一类建筑物,也会因设计不同,对材料的要求也不一样。为确保工程质量,满足设计要求,在选择材料时,应从以下几个方面考虑。

0.5.1 材料的功能性

材料所具有的功能应该与材料使用场所的特点结合起来考虑。例如,在人流密集的公共场所地面上,应采用耐磨性好、易清洁的地面装饰材料,影剧院的地面材料还需要考虑有一定的吸声性能;厨房和卫生间的墙面和顶面宜采用耐污性和耐水性良好的装饰材料,地面则用防水和防滑性能优异的地面砖;大型餐厅的地面尽可能不用地毯进行装饰;商场吊顶采用浅色调的穿孔铝板,既可使室内空间宽敞明亮,又可有效地降低嘈杂声,增加购物时的舒适感。

0.5.2 材料的耐久性

耐久性是材料要考虑的重要内容。材料的耐久性主要包括以下三个方面的要求:力学性能,主要包括强度、受力变形、黏结性、耐磨性及可加工性等;物理性能,主要包括密度、吸水性、耐水性、抗渗性、抗冻性、耐热性、绝热性、耐火性、绝缘性、吸声性、隔声性、光亮度、光吸收性、光反射性等;化学性能,主要包括耐酸碱盐、大气侵蚀等。

0.5.3 材料的经济性

土木工程材料的费用占建设项目总投资的比例很高,应将工程的设计效果与投资综合起来考虑,从长远性、经济性的角度来考虑,充分利用有限的资金取得最佳的使用效果。

0.5.4 材料的环保性

以往人们选择使用土木工程材料时,考虑较多的是材料的功能性和装饰性,而忽略了材料的环保要求。

除了人类活动的影响外,造成室内污染有两大因素,即通风和土木工程材料。由于

越来越多的家庭与办公场所使用空调设备,使建筑装饰材料释放的 VOC(甲醛、苯、甲苯、二甲苯和芳烃类化合物)被大量浓缩,对人体健康产生较大的威胁。

0.6 本课程的学习方法

土木工程材料种类繁多,需要学习和研究的内容范围很广。“土木工程材料”是一门实用性较强的课程,应以材料的组成、结构、性能与应用为主线,重点掌握材料的性能与应用,对材料的生产只需进行一般性的了解;并注意对各材料的性能比较其异同点,而具体的数据懂得查找即可。学习本课程不仅是为了掌握有关的专业知识,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。建议结合身边的工程实际问题,理论联系实际地学习。

第 1 章 材料的基本性质

在不同的使用环境和使用部位,土木工程材料必须具有与之相适应的性质,如用于承受各种荷载的主体结构部分,材料必须具有足够的力学性能;在一定的环境介质中,材料会受到各种腐蚀性介质的作用,必须具有足够的耐腐蚀性;居住建筑工程需要功能完善、方便舒适,材料还要具备保温隔热、防火阻燃、耐水防水、隔声吸声等功能要求。因此,土木工程师必须熟悉和掌握材料的基本性质,才能在土木工程设计和施工中正确选择和合理使用材料。

1.1 材料的物理性质

1.1.1 材料的密度、表观密度和堆积密度

1. 密度

密度是指材料在绝对密实状态下单位体积的质量,用下式表示为

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1.1)$$

式中: ρ ——密度, g/cm^3 ;

m ——材料的质量(固体材料为干燥至恒定的质量), g ;

V ——材料在绝对密实状态下的体积, cm^3 。

绝大多数土木工程材料都含有一定孔隙,测密度时,将其磨成粒径小于 0.20mm 的细粉,干燥至恒量后用李氏瓶测定体积并计算密度。材料磨得越细,测得的密度值越精确。

2. 表观密度

表观密度是材料在自然状态下单位体积的质量,用下式表示为

$$\rho_0 = \frac{m}{V_0} \quad (1.2)$$

式中: ρ_0 ——表观密度, g/cm^3 ;

m ——材料的质量, g ;

V_0 ——材料的表观体积,包括材料的实体体积和孔隙体积, cm^3 或 m^3 。

一般情况下,表观密度是指气干状态下的表观密度。在含水状态下测定的表观密度,应注明其含水情况,烘干状态下的表观密度称为干表观密度。对于不规则形状材料的表观体积,可用排液法或蜡封排液法测得。