

普通高等教育规划教材

土木工程材料

TUMU GONGCHENG CAILIAO

杭美艳 张黎明 主 编 董素芬 副主编



化学工业出版社

普通高等教育规划教材

土木工程材料

TUMU GONGCHENG CAILIAO

杭美艳 张黎明 主 编 董素芬 副主编



化学工业出版社

·北京·

本书围绕着先了解土木工程材料的生产简介、组成,重点掌握土木工程材料体现的重要技术性能,依据最新教学大纲、技术标准及规范编写,突出现代土木工程的新材料。全书共分为12章。内容包括: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、建筑钢材、砌筑材料、沥青与沥青混合料、高分子材料、功能性土木工程材料、土木工程材料试验。为配合教学,各章均附有复习思考题。

在本书编写过程中,有代表性地介绍了土木工程材料的新技术和发展方向。在编写形式上,注重土木工程材料的性质与土木工程材料组成、结构的关系,并将土木工程材料与工程应用紧密联系在一起,有利于加深对土木工程材料基本知识的理解与掌握。

本书可作为高等学校土木工程、建筑学、城市规划、工程管理、房地产管理、测绘工程、城市地下空间工程、交通工程、道路桥梁工程、勘察技术与工程、工程造价、艺术设计、材料科学与工程等专业的教材使用,也可供相关专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程材料/杭美艳,张黎明主编. —北京:化学工业出版社,2014.8

普通高等教育规划教材

ISBN 978-7-122-20874-3

I. ①土… II. ①杭…②张… 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122043号

责任编辑:吕佳丽

装帧设计:张辉

责任校对:王素芹

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印装:大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张17½ 字数434千字 2014年9月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

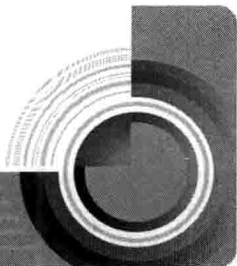
网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:36.00元

版权所有 违者必究

前 言



进入 21 世纪以来,我国城乡建设领域的快速发展对土木工程材料的研究、生产、使用提出了新的要求和挑战。为此,掌握土木工程材料的基本知识和新型土木工程材料的组成、生产与配制原理、性质与应用,了解土木工程材料的发展趋势显得尤为重要。

土木工程材料课程是土木工程类各专业必修的一门专业基础课。通过本课程的学习,使学生掌握土木工程材料的基本知识和基本理论,为学习后续专业课程及课程设计、毕业设计等实践环节课程提供材料方面的专业知识,并为今后能够合理选用土木工程材料、正确使用土木工程材料、研究与开发新型土木工程材料打下理论基础。

本书突出现代土木工程新材料,根据新材料、新技术和新规范的发展,结合土木建筑类高校学科专业的特点,突出新规范、新标准内容。例如,混凝土外加剂依据现行《混凝土外加剂》(GB 8076—2008)、混凝土配合比设计依据现行《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ 55—2011)等内容编写。

本书不仅注重培养学生掌握相关的专业知识和基本技能,而且注重培养其分析问题和解决问题的能力,培养创新精神,提高综合素质,实现“知识、能力、素质”的有机统一,力求使教材内容充实,语言精练,重点突出,紧密联系实际。

本书是结合编者多年从事教学、科研和校企合作的实践经验而编写的,共分为 12 章。内容包括: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、建筑钢材、砌筑材料、沥青与沥青混合料、高分子材料、功能性土木工程材料、土木工程材料试验。

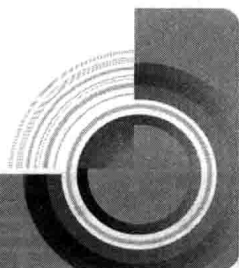
本书由内蒙古科技大学杭美艳教授、张黎明副教授主编,并由杭美艳教授统稿。其中杭美艳编写第 4、6 章;张黎明编写绪论、第 1~3 章;董素芬编写第 7~10 章;黄智德编写第 5、11 章。

鉴于土木工程材料涉及的范围广泛,相关的标准多,编者水平有限,书中不妥之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编者

2014 年 5 月

目 录



绪论 1

- 0.1 土木工程材料及其分类 1
- 0.2 土木工程与材料的关系 1
- 0.3 土木工程材料的发展现状及趋势 2
- 0.4 土木工程材料的检验方法及标准化 3
- 0.5 本课程的主要内容及学习方法 3

1 土木工程材料的基本性质 4

- 1.1 材料的基本物理性质 4
 - 1.1.1 材料的密度、表观密度和堆积密度 4
 - 1.1.2 材料的孔隙与空隙 6
 - 1.1.3 材料与水有关的性质 7
 - 1.1.4 材料的热工性质 10
- 1.2 材料的基本力学性质 11
 - 1.2.1 材料的强度与比强度 11
 - 1.2.2 材料的弹性与塑性 13
 - 1.2.3 材料的韧性与脆性 13
 - 1.2.4 材料的硬度与耐磨性 14
- 1.3 材料的耐久性及环境协调性 14
- 1.4 材料的组成、结构及构造 15
 - 1.4.1 材料的组成 15
 - 1.4.2 材料的结构 16
 - 1.4.3 材料的构造 17
- 复习思考题 18

2 气硬性胶凝材料 19

- 2.1 石灰 19

2.1.1	石灰的生产	19
2.1.2	石灰的消化	20
2.1.3	石灰的硬化	20
2.1.4	石灰的特性和技术标准	21
2.1.5	石灰的应用	22
2.2	建筑石膏	23
2.2.1	建筑石膏生产	23
2.2.2	建筑石膏水化与硬化	24
2.2.3	建筑石膏技术特性和质量要求	25
2.2.4	建筑石膏的应用	26
2.3	水玻璃	27
2.3.1	水玻璃的生产	27
2.3.2	水玻璃硬化	28
2.2.3	水玻璃特性和应用	28
	复习思考题	29

3 水泥

30

3.1	硅酸盐水泥	30
3.1.1	硅酸盐水泥的生产与矿物组成	31
3.1.2	硅酸盐水泥的水化与凝结硬化	33
3.1.3	硅酸盐水泥的技术性质与要求	36
3.1.4	水泥石的腐蚀与防止	38
3.1.5	硅酸盐水泥的特性与应用	41
3.1.6	水泥的风化与储存	42
3.2	掺混合材料的硅酸盐水泥	43
3.2.1	水泥混合材料	43
3.2.2	普通硅酸盐水泥	44
3.2.3	矿渣硅酸盐水泥、火山灰硅酸盐水泥及粉煤灰硅酸盐水泥	45
3.2.4	复合硅酸盐水泥	47
3.2.5	通用硅酸盐水泥性能比较与选用	47
3.2.6	石灰石硅酸盐水泥	48
3.3	其他品种的硅酸盐水泥	49
3.3.1	白色硅酸盐水泥	49
3.3.2	中热硅酸盐水泥、低热硅酸盐水泥和低热矿渣硅酸盐水泥	50
3.3.3	抗硫酸盐硅酸盐水泥	51
3.3.4	道路硅酸盐水泥	52
3.3.5	砌筑水泥	52
3.4	铝酸盐水泥	53
3.4.1	铝酸盐水泥的矿物组成、水化与硬化	53
3.4.2	铝酸盐水泥的技术要求	54

3.4.3 性质与应用	54
3.5 硫铝酸盐水泥	55
3.5.1 快硬硫铝酸盐水泥的矿物组成与水化硬化	55
3.5.2 快硬硫铝酸盐水泥的技术要求	56
3.5.3 快硬硫铝酸盐水泥的特性和应用	56
复习思考题	57

4 混凝土

59

4.1 概述	59
4.1.1 混凝土的定义	59
4.1.2 混凝土的分类	59
4.1.3 混凝土的组成及其应用	60
4.1.4 混凝土的性能特点与基本要求	60
4.1.5 现代混凝土的发展方向	61
4.2 混凝土的组成材料	62
4.2.1 水泥	62
4.2.2 细骨料	63
4.2.3 粗骨料	66
4.2.4 骨料的含水状态	68
4.2.5 拌合用水	69
4.2.6 混凝土外加剂	69
4.2.7 矿物掺合料	77
4.3 新拌混凝土性能	80
4.3.1 和易性的概念	80
4.3.2 和易性的测定方法及指标	81
4.3.3 影响和易性的主要因素	81
4.3.4 改善混凝土和易性的措施	83
4.3.5 拌合物浇筑后的性能	83
4.4 混凝土的力学性能	85
4.4.1 混凝土的受压破坏机理	85
4.4.2 混凝土的力学性能	86
4.5 混凝土的变形	90
4.5.1 化学收缩	90
4.5.2 温度变形	90
4.5.3 干燥收缩	91
4.5.4 塑性收缩	91
4.5.5 在荷载作用下的变形	91
4.6 混凝土耐久性	93
4.6.1 混凝土的抗渗性	93
4.6.2 混凝土的抗冻性	94

4.6.3	碳化与钢筋锈蚀	95
4.6.4	抗侵蚀性	96
4.6.5	碱-骨料反应	97
4.6.6	提高混凝土耐久性的主要措施与要求	97
4.7	混凝土的质量控制与强度评定	98
4.7.1	混凝土强度的质量控制	99
4.7.2	混凝土强度的评定	101
4.8	混凝土配合比设计	102
4.8.1	混凝土配合比设计原则	102
4.8.2	混凝土配合比设计的三个参数	102
4.8.3	混凝土配合比设计步骤	103
4.8.4	普通混凝土配合比设计的实例	108
4.9	泵送混凝土	111
4.9.1	泵送混凝土的定义及特点	111
4.9.2	泵送混凝土的可泵性	111
4.9.3	泵送混凝土坍落度损失	111
4.9.4	泵送混凝土对原材料的要求	112
4.9.5	泵送混凝土配合比设计基本原则	113
4.10	高性能混凝土	113
4.10.1	高性能混凝土的原材料	113
4.10.2	高性能混凝土的性能	114
	复习思考题	116

5 建筑砂浆 117

5.1	砂浆的技术要求	117
5.2	砌筑砂浆	120
5.2.1	砌筑砂浆的材料组成	120
5.2.2	砌筑砂浆的技术要求	121
5.2.3	砌筑砂浆的配合比设计	122
5.2.4	砌筑砂浆配合比设计计算实例	125
5.3	抹面砂浆	126
5.3.1	普通抹面砂浆	126
5.3.2	防水砂浆	127
5.3.3	装饰砂浆	127
5.4	特种砂浆	129
5.4.1	绝热砂浆	129
5.4.2	膨胀砂浆	129
5.4.3	耐酸砂浆	129
5.4.4	吸声砂浆	129
5.4.5	防辐射砂浆	130

5.4.6 聚合物砂浆	130
复习思考题	130

6 建筑钢材 131

6.1 钢材的基本知识	131
6.1.1 钢的冶炼	131
6.1.2 钢的分类	132
6.2 建筑钢材的主要技术性能	133
6.2.1 力学性能	133
6.2.2 工艺性能	137
6.3 钢的化学成分及其对性能的影响	140
6.4 常用钢材的标准与选用	141
6.4.1 常用钢材的主要钢种	142
6.4.2 钢筋混凝土结构用钢材	146
6.4.3 钢材的选用原则	151
6.5 钢材的防火与防锈	152
6.5.1 钢材的防火	152
6.5.2 钢材的锈蚀与锈蚀的防止	153
复习思考题	154

7 砌筑材料 155

7.1 石材	155
7.1.1 岩石的组成和分类	155
7.1.2 岩石的主要技术性质	156
7.1.3 工程中常用岩石的种类及应用	158
7.1.4 人造石材	160
7.2 砖	161
7.2.1 烧结砖	161
7.2.2 非烧结砖	163
7.3 砌块	164
7.3.1 普通混凝土小型空心砌块	165
7.3.2 轻集料混凝土小型空心砌块	165
7.3.3 蒸压加气混凝土砌块	166
7.3.4 泡沫混凝土砌块	166
7.3.5 石膏砌块	167
7.4 板材	167
7.4.1 石膏板	168
7.4.2 玻璃纤维增强水泥复合外墙板	168
7.4.3 预应力空心墙板	169

7.4.4 钢网塑料泡沫墙板	169
7.4.5 轻质隔热夹芯板	169
复习思考题	170

8 沥青与沥青混合料 171

8.1 石油沥青	171
8.1.1 石油沥青的组分	172
8.1.2 石油沥青的胶体结构	172
8.1.3 石油沥青的主要技术性质	173
8.1.4 石油沥青的技术分类标准及选用	175
8.2 煤沥青	176
8.3 改性石油沥青	176
8.3.1 橡胶改性沥青	177
8.3.2 树脂改性沥青	177
8.3.3 橡胶和树脂改性沥青	177
8.3.4 矿物填充料改性沥青	177
8.3.5 乳化沥青	178
8.4 沥青混合料	178
8.4.1 沥青混合料的特点及分类	178
8.4.2 沥青混合料的组成结构及强度理论	179
8.4.3 沥青混合料的主要技术性质	181
8.4.4 沥青混合料的技术标准	183
8.4.5 沥青混合料的组成材料	185
8.4.6 热拌沥青混合料的配合比设计	189
8.4.7 其他沥青混合料	192
复习思考题	194

9 高分子材料 195

9.1 天然高分子材料——木材	195
9.1.1 木材的分类和构造	196
9.1.2 木材的物理性能	198
9.1.3 木材的力学性质	199
9.1.4 木材及制品的应用	200
9.1.5 木材的防护	202
9.2 合成高分子材料	203
9.2.1 合成高分子材料的分类及性能特点	203
9.2.2 工程塑料	204
9.2.3 合成橡胶	207
9.2.4 合成纤维	208

9.2.5 胶黏剂	208
9.2.6 涂料	210
复习思考题	211

10 功能性土木工程材料 212

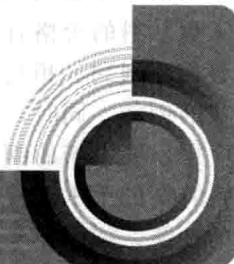
10.1 建筑玻璃	212
10.1.1 建筑玻璃的分类	212
10.1.2 建筑玻璃制品	213
10.2 建筑陶瓷	214
10.2.1 建筑陶瓷的分类	214
10.2.2 常用建筑陶瓷制品	215
10.3 绝热材料	216
10.3.1 绝热材料的分类	216
10.3.2 绝热材料的性能	217
10.3.3 工程常用绝热材料制品	217
10.4 吸声隔声材料	218
10.4.1 吸声材料	218
10.4.2 隔声材料	219
10.5 防水材料	219
10.5.1 防水卷材	220
10.5.2 防水涂料	221
10.5.3 防水密封材料	222
10.5.4 刚性防水材料	224
10.5.5 堵漏止水材料	224
10.6 防火材料	224
复习思考题	225

11 土木工程材料试验 226

11.1 水泥试验	226
11.1.1 水泥试验的一般规定	226
11.1.2 水泥的密度试验	227
11.1.3 水泥细度试验	228
11.1.4 水泥标准稠度用水量和凝结时间试验	230
11.1.5 水泥安定性试验	231
11.1.6 水泥胶砂强度试验	233
11.2 骨料试验	237
11.2.1 试验取样与缩分	237
11.2.2 砂的筛分析试验	238
11.2.3 砂的坚固性试验	239

11.2.4	砂的表观密度试验·····	240
11.2.5	砂的堆积密度和空隙率试验·····	241
11.2.6	石子的筛分析试验·····	242
11.2.7	石子的坚固性试验·····	243
11.2.8	石子的表观密度试验·····	244
11.2.9	石子的堆积密度及空隙率试验·····	244
11.3	混凝土拌合物试验·····	246
11.3.1	混凝土拌合物的制备与取样·····	246
11.3.2	混凝土拌合物稠度试验·····	247
11.3.3	混凝土拌合物表观密度试验·····	250
11.4	混凝土强度试验·····	251
11.4.1	混凝土强度试验的一般规定·····	251
11.4.2	混凝土抗压强度试验·····	252
11.4.3	混凝土抗折强度试验·····	253
11.5	钢材试验·····	254
11.5.1	钢筋拉伸试验·····	254
11.5.2	钢筋弯曲试验·····	257
11.5.3	钢材冲击韧性试验·····	258
11.6	烧结多孔砖抗压强度试验·····	260
11.6.1	烧结多孔砖试验的一般规定·····	260
11.6.2	烧结多孔砖抗压强度试验·····	260
11.7	沥青试验·····	262
11.7.1	沥青针入度试验·····	262
11.7.2	沥青延度试验·····	263
11.7.3	沥青软化点试验·····	264

绪 论

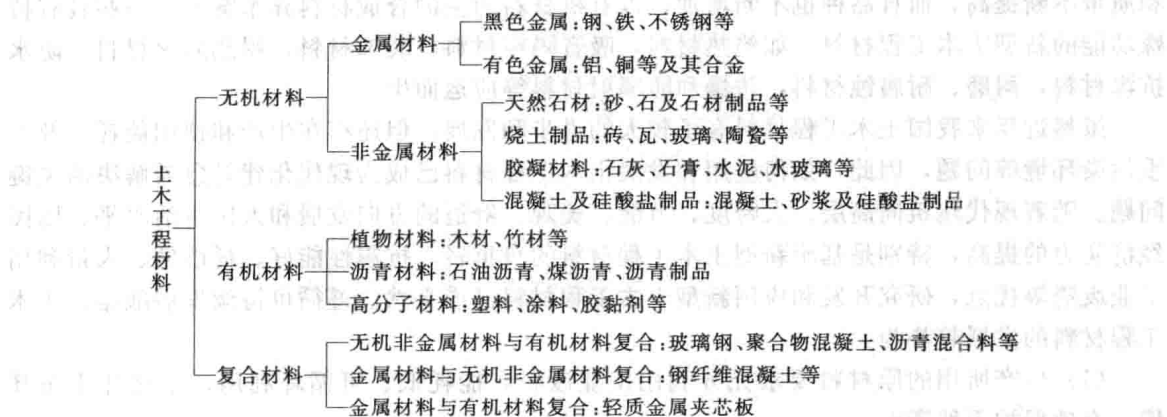


0.1 土木工程材料及其分类

土木工程材料是指用于地基、地面、墙体、屋顶等各个部位的各种构件和结构体并最终构成建筑物的材料。或者说，它是品种多，用量大，具有各种性质、形态且用于建筑物上的一类材料。换句话说，建造建筑物或构筑物本质上都是所有土木工程材料的一种“排列组合”，土木工程材料是土木工程不可缺少的物质基础。

土木工程材料种类繁多，性能差别悬殊，所以有各种不同的分类方法。按使用性能可分为承重结构材料、非承重结构材料及功能材料三大类；按材料来源可分为天然材料和人造材料。按照土木工程材料的化学组成，通常可分为无机材料、有机材料和复合材料三大类，

各大类中又可进行更详细的分类，如下所示：



复合材料是指两种或两种以上不同性质的材料经适当组合为一体的材料。复合材料可以克服单一材料的缺点，发挥其综合性能，通过复合手段，材料的各种性能能够按照需要进行合理设计和调配。复合材料已成为当今材料科学发展的趋势之一。

0.2 土木工程与材料的关系

土木工程材料在土木工程中有着举足轻重的地位。首先，土木工程材料是建设工程的物

质基础,在我国土木工程的总造价中,土木工程材料的费用约占50%~60%。因此,土木工程材料的价格直接影响着建设投资。其次,土木工程材料与工程设计和施工工艺之间存在着相互制约、相互促进、相互依存的关系。一种新型土木工程材料的出现,必将促进建筑形式的创新,同时,结构设计和施工工艺也将要进行相应的改进和提高。如高强混凝土的推广应用,要求新的钢筋混凝土结构设计和施工技术规程。同样,新的建筑形式和结构布置也呼唤着新的土木工程材料。再次,构筑物的功能和使用寿命在很大程度上取决于土木工程材料的性能。如保温隔热材料的使用效果、钢材的锈蚀、防水材料的老化等。因此,正确选择和合理使用土木工程材料,对整个土木工程的安全、实用、美观、耐久及造价有着重大的意义。

0.3 土木工程材料的发展现状及趋势

土木工程材料是随着人类社会生产力和科学技术水平的进步而发展起来的。

人类最早穴居巢处,随着社会生产力的发展,人类社会进入石器时代、青铜器时代、铁器时代,才开始挖土、凿石为洞,伐木搭竹为棚,利用天然材料建造非常简陋的房屋等土木工程。随着人类开始用黏土烧制砖、瓦,用青石烧制石灰、石膏,土木工程材料才由天然材料进入人工生产阶段。18世纪至19世纪,土木工程材料进入了一个新的发展阶段,钢材、水泥、混凝土及其他材料相继问世,为现代土木工程材料的发展奠定了基础。进入20世纪后,由于社会生产力突飞猛进以及材料科学与工程学的形成和发展,土木工程材料不仅性能和质量不断提高,而且品种也不断增加,以有机材料为主的合成材料异军突起,一些具有特殊功能的新型土木工程材料,如绝热材料,吸音隔声材料,装饰材料,耐热防火材料,防水抗渗材料,耐磨、耐腐蚀材料,防爆和防辐射材料等应运而生。

虽然近年来我国土木工程材料有了较大的进步和发展,但还存在生产和使用能耗大及严重污染环境等问题,因此,如何应用和发展土木工程材料已成为现代化建设急需解决的关键问题。随着现代建筑向高层、大跨度、节能、美观、舒适的方向发展和人民生活水平、国民经济实力的提高,特别是基于新型土木工程材料的自重轻、抗震性能好、耗能低、大量利用工业废渣等优点,研究开发和应用新型土木工程材料已成必然。遵循可持续发展战略,土木工程材料的发展趋势为:

(1) 生产所用的原材料要求充分利用工业废料,能耗低、可循环利用,不破坏生态环境,有效保护天然资源。

(2) 生产和使用过程能耗低并不引起环境污染,实现废水、废渣、废气、噪声等零排放。

(3) 做到产品可再生循环和回收利用。

(4) 要求材料轻质、高强、多功能,不仅对人畜无害,而且能净化空气、抗菌、防静电、防电磁波等。

(5) 加强材料的耐久性研究和设计。

(6) 主要产品和配套产品同步发展,并解决好利益平衡关系。

当前,具有自感知、自调节、自修复能力的土木工程材料的开发研制及各种智能材料在土木工程中应用的研究正在蓬勃发展。

0.4 土木工程材料的检验方法及标准化

作为有关生产、设计、施工、管理和研究等部门应共同遵循的依据,对于绝大多数常用的土木工程材料,均由专门的机构制订并颁布了相应的技术标准,对其质量、规格和验收方法等作了详尽明确的规定。在我国,技术标准分为四级:国家标准、部颁标准、地方标准和企业标准。国家标准是由国家标准局发布的全国性的技术指导文件,其代号为 GB。部颁标准也是全国性的技术指导文件,但它由各行业主管部门(或总局)发布,其代号按各部门名称而定。如建材标准代号为 JC,建工标准代号为 JG,与建材相关的部颁标准还有交通标准(JT)、石油标准(SY)、化工标准(HG)、水电标准(SD)等。地方标准(DB)是地方主管部门发布的地方性技术指导文件。企业标准则仅适用于本企业,其代号为 QB。凡没有制定国家标准、部颁标准的产品,均应制订相应的企业标准。随着我国对外开放步伐的加快,还常常涉及一些与土木工程材料关系密切的国际或国外标准,其中主要有国际标准(ISO)、美国材料试验协会标准(ASTM)、日本工业标准(JIS)、德国工业标准(DIN)、英国标准(BS)、法国标准(NF)等。熟悉有关的技术标准,并了解制定标准的科学依据,也是十分必要的。

0.5 本课程的主要内容及学习方法

各种土木工程材料,在原材料、生产工艺、结构及构造、性能及应用、检验、验收运输及储存等方面既有共性,也有各自的特点,因此,全面掌握土木工程材料的知识,需要学习和研究的内容范围很广。对于从事土木工程设计、施工、科研和管理工作的专业人员来说,掌握各种土木工程材料的性能及其适用范围,以及如何选择最合适的应用品种最为重要。除了在施工现场直接配制或加工的材料(如砂浆、混凝土、金属焊接等)需要深入学习其原材料和生产工艺外,对于以产品形式直接在施工现场使用的材料,也需要了解其原材料、生产工艺及结构、构造的一般知识,以了解这些因素是如何影响材料性能的。本课程作为土木工程类的专业基础课,在学习时应结合现行的技术标准,以土木工程材料的性能及合理使用为中心,注意事物的本质和内在联系。例如,在学习某一材料的性质时,不能只满足于简单地知道该材料具有哪些性质,有哪些表象,重要的是应当知道形成这些性质的内在原因、外部因素及这些性能之间的相互关系。对于同一类型的不同品种材料,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。例如,学习各种水泥时,不但要知道它们都能在水中硬化等共性,更要注意它们各自的质的区别及因而反映在性能上的差异。一切材料的性能都不是固定不变的,在使用过程中,甚至在运输和储存过程中,它们的性能都会在一定程度上发生或多或少的变化,为了保证工程的耐久性和控制材料在使用前的变质问题,我们必须了解引起变化的外界条件和材料本身的内在的原因,从而了解变化的规律,确定适当的方案阻碍变质。这对于延长构筑物的使用年限具有十分重要的意义。

实验课是本课程的重要教学环节,其任务是验证基本理论、学习试验方法、培养科学研究能力和严谨缜密的科学态度。做实验时要严肃认真,一丝不苟,了解实验条件对试验结果的严重影响,并对试验结果做出正确的分析和判断。

1 土木工程材料的基本性质



本章知识点

【知识点】材料各种基本性质的定义、表示方法、影响因素及相互关系；材料内部不同层次结构的特性和材料组成的表示方法以及层次构造与材料性质的关系。

【重点】材料物理力学性质及相互关系。

【难点】材料的组成、结构与材料性质之间的关系。

土木工程材料 (civil engineering materials) 的基本性质包括物理性质、力学性质及耐久性方面。土木工程材料要承受不同的作用, 就需具备不同的性质。承受外力的结构材料要求具备必要的力学性质, 房屋建筑围护材料必须满足保温、隔热、防水及必要的环境要求, 道路桥梁材料长期暴露在大气环境或与侵蚀性介质相接触的环境中, 经受风吹、雨淋、日晒、冰冻而引起的温度变化、湿度变化及反复冻融等的破坏作用, 要求材料具备一定的耐久性。土木工程对材料性质的严格要求是多方面的, 为了在工程设计与施工中正确选择和合理使用材料, 必须熟悉和掌握各种材料的基本性质。

1.1 材料的基本物理性质

1.1.1 材料的密度、表观密度和堆积密度

1. 材料的密度

材料的密度 (specific density) 是指材料在绝对密实状态下单位体积的质量。材料内部没有孔隙时的体积, 或不包括内部孔隙的材料体积称为材料的绝对密实体积 (the absolute volume of materials)。玻璃、钢铁、沥青等少数材料在自然状态下绝对密实, 能直接测定其绝对密实体积。大多数材料在自然状态下或多或少含有孔隙, 一般先将材料粉碎磨细成粉状, 消除材料内部孔隙, 再测定材料的绝对密实体积。材料粉磨得越细, 测定结果越准确。计算式如下:

$$\rho = \frac{M}{V}$$

式中 ρ ——材料的密度 (g/cm^3);

M ——材料的质量 (g), 这时的质量是指材料所含物质的多少;

V ——材料的绝对密实体积 (cm^3)。

土木工程中常用材料密度大小见表 1.1。材料密度仅由材料的组成和材料的结构决定, 与材料所处的环境、材料干湿和孔隙无关, 故密度是材料的特征指标, 能用于区分不同的材料。

2. 材料的表观密度

材料的表观密度 (relative density) 是指材料在自然状态下单位体积的质量, 计算式如下:

$$\rho_0 = \frac{M}{V_0}$$

式中 ρ_0 ——材料的表观密度 (kg/m^3);

M ——材料的质量 (kg);

V_0 ——材料的表观体积 (m^3)。

材料的表观体积 (the relative volume of materials): 规则外形材料的表观体积, 可通过测量体积尺寸后计算得到; 不规则外形材料的表观体积, 用排水法测得。用排水法测材料的表观体积, 实际上扣除了材料内部的开口孔隙的体积, 故称用排水法测得材料的体积为视观体积, 也称为视体积。材料颗粒表面裹覆石蜡, 采用蜡封法能避免排水法测定体积时开口孔进水对测定表观体积带来的影响。

材料的自然状态有两种情形: 其一是材料内部有不少孔隙, 包括开口孔隙和闭口孔隙, 有时也区分这两种孔隙体积对表观密度计算带来的影响, 如计算表观体积时包括材料内部闭口孔隙和开口孔隙体积, 按上式计算得到的表观密度也称为体积密度; 如计算表观体积时不包括开口体积, 按上式计算得到的表观密度也称为视密度。其二是材料处在不同的含水状态或环境, 表观密度大小也不同, 有干表观密度和湿表观密度之分, 故表观密度值必须注明含水情况, 未注明者常指气干状态, 绝干状态下的表观密度称为干表观密度。

土木工程中常用材料表观密度大小见表 1.1。粉状材料, 如水泥、粉煤灰、磨细生石灰粉等, 其颗粒很小, 与一般石料测定密度时所研碎制作的试样粒径相近似, 因而它们的表观密度, 特别是干表观密度值与密度值可视为相等。砂石类散粒材料自然状态下的表观密度测定是将其饱水后在水中称量质量, 按排水法计算其体积, 体积包括固体实体体积和闭口孔隙体积, 而不包括其开口孔隙和颗粒间隙, 测得结果为视密度。块状材料体积采用几何外形计算, 体积包括材料全部体积, 即实体积与所含全部孔隙体积之和, 测得结果为体积密度。

表 1.1 土木工程中常用材料的密度

材料名称	密度/(g/cm^3)	表观密度/(kg/m^3)	堆积密度/(kg/m^3)
钢材	7.85	—	—
铝合金	2.7	—	—
碎石(石灰石)	2.6~2.8	2300~2700	1400~1700
碎石(花岗岩)	2.6~2.9	2500~2800	—
砂	2.5~2.8	—	1450~1650
粉煤灰	1.95~2.40	—	550~800
水泥	2.8~3.1	—	1600~1800
普通混凝土	—	2400~2500	—
空心砖	2.6~2.7	—	1000~1400
玻璃	2.45~2.55	2450~2500	—
红松木	1.55~1.60	400~600	—
石油沥青	0.96~1.04	—	—
泡沫塑料	—	20~50	—