



21世纪全国本科院校土木建筑类**创新型**应用人才培养规划教材

土木工程材料

主 编 赵志曼 张建平

赠送电子课件

- 增加材料的质量鉴别、管理和成本分析等内容
- 解读新规范修订内容，便于熟练掌握最新知识
- 实物图片代替传统示意图，加强读者感性认识



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国本科院校土木建筑类创新型应用人才培养规划教材

土木工程材料

主 编	赵志曼	张建平
副主编	虞 波	祝海雁
	赵 敏	戴必辉



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书依据我国现行最新相关规范和标准编写,对建筑石料、无机胶凝材料、普通混凝土与建筑砂浆、建筑金属材料、墙体材料与屋面材料、沥青与沥青混合料、建筑木材、合成高分子材料、土木工程材料试验等内容进行了系统的介绍。本书还增加了“高性能混凝土简介”等扩展知识,以引导学生关注土木工程材料学科前沿发展动态。

本书在各章节中有大量的“知识要点提醒”、“应用实例”和“小思考”等,以及形式多样的习题。这些可使学生在学习土木工程材料过程中较快地掌握、熟悉和了解各层次的知识点,做到学以致用,为后续课程的学习打下良好的基础。

本书可作为高等学校土木工程、工程管理和工程造价专业及其他相关专业的教科书,也可作为土木工程设计、施工、科研和监理人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程材料/赵志曼, 张建平主编. —北京: 北京大学出版社, 2012. 9

(21 世纪全国本科院校土木建筑类创新型应用人才培养规划教材)

ISBN 978 - 7 - 301 - 16792 - 2

I. ①土… II. ①赵… 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(2012)第 202602 号

书 名: 土木工程材料

著作责任者: 赵志曼 张建平 主编

策 划 编 辑: 卢 东 吴 迪

责 任 编 辑: 卢 东 林章波

标 准 书 号: ISBN 978 - 7 - 301 - 16792 - 2/TU • 0276

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.cn>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电 子 邮 箱: pup_6@163.com

印 刷 者: 北京鑫海金澳胶印有限公司

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 20.75 印张 478 千字

2012 年 9 月第 1 版 2012 年 9 月第 1 次印刷

定 价: 39.00 元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: 010 - 62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

前 言

本书是按照高等学校土木工程学科专业指导委员会 2011 年制定的“土木工程材料教学大纲”和“卓越工程师”培养计划进行编写的,在现行土木工程材料教材编写体例的基础上,为了满足施工组织设计、工程管理和工程造价相关人员在提高工程质量、降低成本、合理选用材料等方面的需求,本书在部分章节增加了相关材料的质量鉴别、管理和成本分析等内容。

目前,由于各高校专业课学时的大幅度缩减,使土木工程材料课堂教学质量受到一定的影响。本书编写的目的就是使学生能够在有限的学时内对主要的土木工程材料有比较系统和深入的了解,而相应各章节的扩展知识则放在“附录”中留给学生课后自行学习。这样不但使课堂教学内容重点、难点突出,而且也可以让学生根据个人兴趣和需要了解到其他相关知识,从而避免多年来土木工程材料教材内容庞杂、系统性和逻辑性不强的弊端。本书具有如下特点。

(1) 本书基本上依据我国现行最新相关规范和标准进行编写,如《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ 55—2011)、《混凝土质量控制标准》(GB 50164—2011)、《混凝土强度检验评定标准》(GB/T 50107—2010)、《混凝土耐久性检验评定标准》(JGJ/T 193—2009)、《通用硅酸盐水泥》(GB 175—2007)、《用于水泥中的粒化高炉矿渣》(GB/T 203—2008)、《用于水泥中的火山灰质混合材料》(GB/T 2847—2005)、《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》(GB 1596—2005)、《建筑砂浆基本性能试验方法》(JGJ 70—2009)、《低合金高强度结构钢》(GB/T 1591—2008)、《碳素结构钢》(GB/T 700—2006)和《冷轧带肋钢筋》(GB 13788—2008)等。

(2) 对水泥和混凝土等章节的主要内容进行了系统而详细的讨论,突出重点和难点,与之相关的扩展知识则放在附录中,从而使相关内容主次分明,便于学生学习和掌握。

(3) 在各章节中有大量的“知识要点提醒”、“应用实例”和“小思考”等,便于学生在学习过程中能够掌握、熟悉和了解各层次的知识点,做到学以致用,为后续课程的学习打下良好的基础。

(4) 本书在各章节后附有类型丰富的习题,帮助学生从不同的角度理解所学知识点,并加强记忆。

(5) 本书在各章节中附有较多的图片和表格,以帮助学生对材料形成感性认识。

本书由赵志曼和张建平主编。绪论、第 1 章、第 3 章、第 4 章、第 5 章、附录 C、试验 1、试验 3、试验 4 由赵志曼(昆明理工大学)编写;第 2 章、第 9 章、附录 A、附录 B、试验 2、试验 5 由张建平(昆明理工大学)编写;第 6 章、试验 6 由祝海雁(云南大学)编写;第 7 章、试验 9 由虞波(云南交通职业技术学院)编写;试验 7 由戴必辉(西南林业大学)编写;第 8 章、试验 8 由赵敏(津桥学院)编写。



本书在编写过程中得到了北京大学出版社、昆明理工大学等单位的大力帮助和支持，在此深表谢意。

由于时间仓促和编者水平有限，如书中有不妥之处，敬请广大师生、读者提出宝贵意见。

编 者

2012年6月

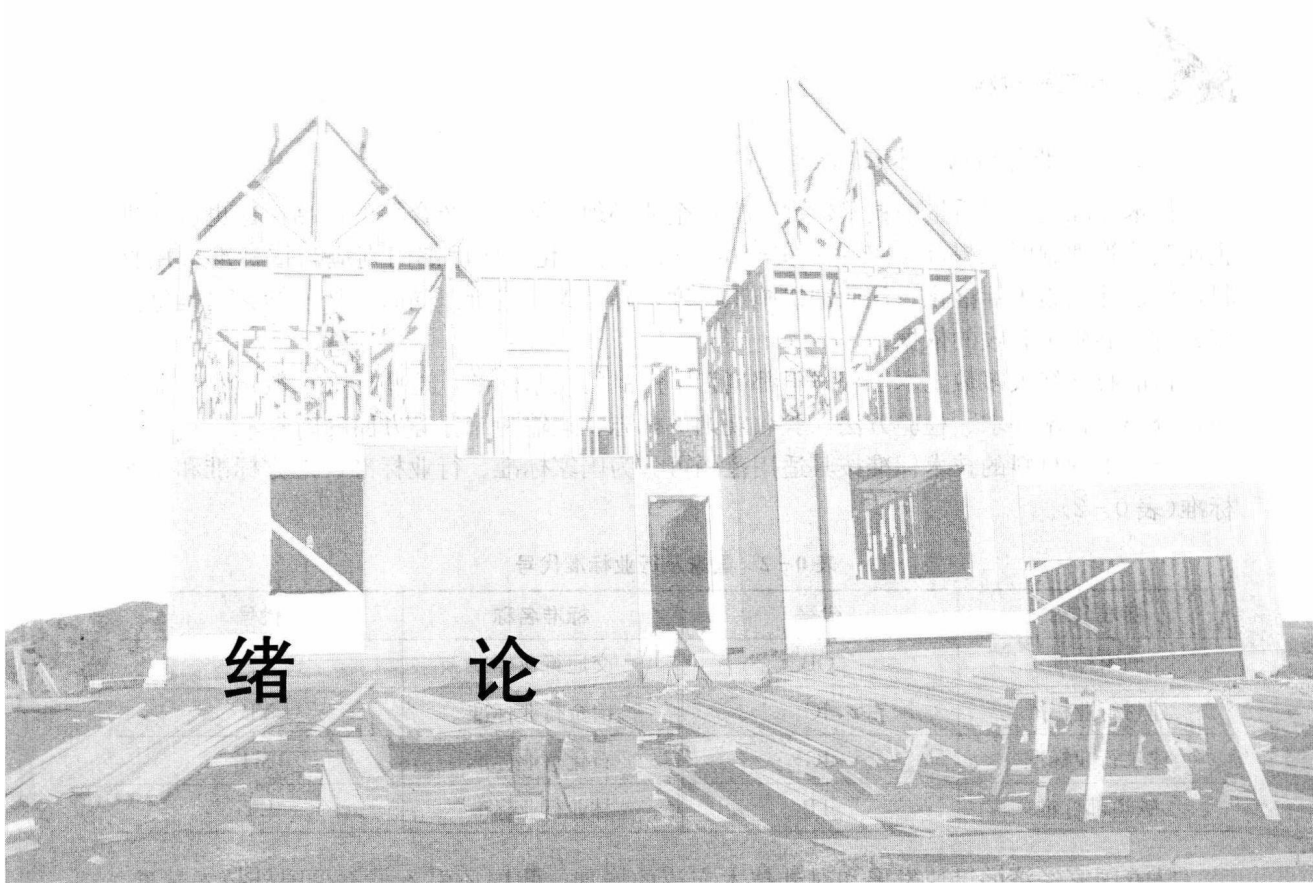
目 录

绪论	1	2.1.2 石料的分类	30
第1章 土木工程材料的基本性质	4	2.2 石料的力学性能	32
1.1 材料的物理性能	5	2.2.1 石料的结构与构造	32
1.1.1 密度、表观密度与堆积密度	6	2.2.2 石料的主要技术性质与要求	33
1.1.2 材料的密实度与孔隙率	8	2.3 常用石料制品	37
1.1.3 散粒材料的填充率与空隙率	9	2.3.1 石料的品种	37
1.2 材料与水有关的性质	10	2.3.2 石料的选用	38
1.2.1 亲水性与憎水性	10	2.4 天然石料的破坏与防护	38
1.2.2 材料的含水状态	11	本章小结	38
1.2.3 吸水性与吸湿性	11	习题	39
1.2.4 耐水性	12	第3章 无机胶凝材料	40
1.2.5 抗渗性	13	3.1 气硬性胶凝材料	41
1.2.6 抗冻性	14	3.1.1 石膏	41
1.3 材料的热工性质	14	3.1.2 石灰	46
1.3.1 导热性	14	3.1.3 水玻璃	50
1.3.2 比热及热容量	15	3.2 水硬性胶凝材料	52
1.3.3 耐燃性	16	3.2.1 水泥的分类	52
1.3.4 耐火性	16	3.2.2 通用硅酸盐水泥	52
1.4 材料的声学及光学性质	16	本章小结	68
1.4.1 材料的声学性质	16	习题	69
1.4.2 材料的光学性质	17	第4章 普通混凝土与建筑砂浆	71
1.5 材料的力学性质	17	4.1 概述	72
1.5.1 强度	18	4.2 混凝土的定义与分类	72
1.5.2 弹性与塑性	21	4.3 普通混凝土的组成材料	74
1.5.3 脆性与韧性	22	4.3.1 水泥	74
1.5.4 疲劳极限	23	4.3.2 拌和及养护用水	75
1.5.5 硬度、磨损及磨耗	24	4.3.3 细骨料——砂	76
1.6 材料的耐久性	24	4.3.4 粗骨料——卵石、碎石	81
本章小结	25	4.3.5 外加剂	86
习题	26	4.3.6 矿物掺合料	92
第2章 建筑石料	28	4.4 新拌混凝土性能	97
2.1 石料的组成与分类	29	4.4.1 混凝土和易性	97
2.1.1 常见的主要造岩矿物	29	4.4.2 和易性的检测方法 with 指标	97



4.4.3 影响和易性的主要因素	99	6.1.2 免烧砖	178
4.5 硬化后混凝土的性能	103	6.2 砌块	180
4.5.1 混凝土的强度	103	6.2.1 蒸压加气混凝土砌块	181
4.5.2 混凝土的变形	111	6.2.2 普通混凝土小型空心砌块	182
4.5.3 混凝土的耐久性	114	6.2.3 轻骨料混凝土小型空心砌块	183
4.6 混凝土生产与施工质量控制	118	6.2.4 粉煤灰硅酸盐中型砌块	184
4.6.1 混凝土生产与施工质量控制的必要性	118	6.3 墙用板材	184
4.6.2 生产控制水平	119	6.3.1 石膏板	185
4.6.3 混凝土的配制强度	120	6.3.2 纤维水泥板	187
4.6.4 混凝土强度检验评定	120	6.3.3 GRC 空心轻质墙板	188
4.6.5 普通混凝土配合比设计	122	6.3.4 预应力混凝土空心墙板	188
4.7 普通混凝土成本分析	129	6.3.5 钢丝网夹芯板	189
4.8 建筑砂浆	132	6.4 屋面材料	190
4.8.1 砌筑砂浆	132	6.4.1 粘土瓦	190
4.8.2 抹面砂浆	138	6.4.2 石棉水泥瓦	190
本章小结	141	6.4.3 钢丝网水泥大波瓦	190
习题	142	6.4.4 聚氯乙烯波纹瓦	191
第5章 建筑金属材料	146	6.4.5 玻璃钢波形瓦	191
5.1 钢材的分类	147	6.4.6 琉璃瓦	191
5.2 钢材的主要技术性能	148	本章小结	191
5.2.1 钢材的力学性能	148	习题	191
5.2.2 钢材的工艺性能	152	第7章 沥青与沥青混合料	193
5.3 钢材的化学成分对钢材性能的影响	153	7.1 沥青的分类及石油沥青的基本结构组成	194
5.4 钢材冷加工与时效	154	7.1.1 沥青的分类	194
5.5 土木工程中常用的钢材	155	7.1.2 石油沥青的基本结构组成	195
5.5.1 主要钢种	155	7.2 沥青的基本性质	196
5.5.2 钢筋混凝土用钢材	162	7.3 沥青的技术要求与选用	199
5.5.3 钢结构用钢材	164	7.4 沥青的掺配、改性及主要制品	201
5.6 钢材的腐蚀与防护	165	7.4.1 石油沥青的掺配	201
5.7 土木工程中的其他金属材料	166	7.4.2 改性石油沥青	201
5.7.1 铸铁	166	7.4.3 石油沥青主要制品	203
5.7.2 铝及铝合金	166	7.5 沥青混合料	209
本章小结	167	本章小结	213
习题	168	习题	214
第6章 墙体材料与屋面材料	170	第8章 建筑木材	216
6.1 砌墙砖	171	8.1 木材的分类与构造	217
6.1.1 烧结砖	171		

8.1.1 木材的分类	217	A.2.4 膨胀水泥与自应力水泥	242
8.1.2 木材的构造	218	A.3 专用水泥	243
8.2 木材的物理力学性质	219	A.3.1 道路硅酸盐水泥	243
8.2.1 密度与表观密度	219	A.3.2 水工硅酸盐水泥	244
8.2.2 含水率与吸湿性	219	A.3.3 砌筑水泥	244
8.2.3 湿胀干缩变形	220		
8.2.4 木材的强度及其影响因素	220		
8.3 木材的防腐与防火	223	附录B 传统常用混凝土及建筑砂浆扩展知识	246
8.3.1 木材的防腐	223	B.1 轻混凝土	246
8.3.2 木材的防火	224	B.2 特细砂混凝土	248
8.4 木材的综合利用	225	B.3 纤维混凝土	249
本章小结	226	B.4 泵送混凝土	250
习题	226	B.5 道路混凝土	250
第9章 合成高分子材料	228	B.6 碾压混凝土	251
9.1 合成高分子化合物的基本知识	229	B.7 耐酸混凝土	252
9.1.1 合成高分子化合物的分类	229	B.8 聚合物混凝土	252
9.1.2 合成高分子化合物的合成方法及命名	230	B.9 自流平混凝土	253
9.1.3 合成高分子化合物的基本性质	230	B.10 特种砂浆	254
9.2 建筑塑料	231	附录C 高性能混凝土简介	256
9.2.1 建筑塑料的特性	231	C.1 高性能混凝土概述	256
9.2.2 塑料的组成	232	C.2 高性能混凝土性能及应用	257
9.2.3 常用建筑塑料	233	C.3 矿物质超细粉、新型高效减水剂功能简介	263
9.3 胶粘剂	234	C.4 耐久性设计	268
9.3.1 胶粘剂的组成、要求及分类	234	C.5 绿色高性能混凝土	270
9.3.2 土木工程中常用的胶粘剂	234	附录D 土木工程材料试验	272
本章小结	235	试验1 土木工程材料基本物理性能试验	272
习题	235	试验2 水泥试验	274
附录A 水泥扩展知识	237	试验3 混凝土用砂、石骨料试验	283
A.1 铝酸盐水泥	237	试验4 混凝土试验	290
A.2 特性水泥	240	试验5 建筑砂浆试验	297
A.2.1 快硬水泥	240	试验6 砌墙砖试验	300
A.2.2 白色硅酸盐水泥	241	试验7 钢筋试验	304
A.2.3 抗硫酸盐硅酸盐水泥	242	试验8 沥青试验	308
		试验9 沥青混合料试验	313
		参考文献	320



绪 论

1. 土木工程材料的范畴和分类

从广义范畴考虑，土木工程材料是指除用于建筑物本身的各种材料之外，还包括卫生洁具、给水排水设备、采暖及空调设备等，以及施工过程中的暂设工程，如围墙、脚手架、板桩、模板等所用的材料。本书讨论的是狭义的土木工程材料，即构成建筑物本体的材料，如地基基础、承重构件(梁、板、柱等)以及地面、墙体、屋面等所用的材料。

土木工程材料可从不同的角度加以分类，比如可按材料在建筑物中的部位分，也可按材料的功能分，还可按化学成分分类。

目前，土木工程材料通常是根据组成物质的种类和化学成分分类(表 0-1)。

表 0-1 土木工程材料分类

无机材料	金属材料	黑色金属：钢、铁 有色金属：铝、铜等
	非金属材料	天然石材：石、砂及各种石材制品 烧土及熔融制品：粘土砖、瓦、陶瓷及玻璃等 胶凝材料：石膏、石灰、水泥、水玻璃等
有机材料	植物质材料	木材、竹材等
	沥青材料	石油沥青、煤沥青、沥青制品
	高分子材料	塑料、涂料、胶粘剂
复合材料	无机材料基复合材料	水泥刨花板、水泥混凝土、砂浆、钢纤维混凝土
	有机材料基复合材料	沥青混凝土、玻璃纤维增强塑料(玻璃钢)



2. 土木工程材料的技术标准分类

技术标准是生产质量的技术依据。生产企业必须按标准生产合格的产品，这也可促进企业改善管理制度，提高生产率，实现生产过程合理化。使用部门则应当按标准选用材料，使设计和施工标准化，从而加快施工进度，降低工程造价。同时，技术标准也是供需双方对产品质量验收的依据。

目前我国绝大多数土木工程材料都制订了产品的技术标准，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、运输和储存等方面的内容。

土木工程材料的技术标准按其适用范围可分为国家标准、行业标准、地方标准和企业标准(表 0-2)。

表 0-2 国家及行业标准代号

标准名称	代号	标准名称	代号
国家标准	GB	交通行业标准	JT
建材行业标准	JC	冶金行业标准	YB
建工行业标准	JG	石化行业标准	SH
铁道部标准	TB	林业行业标准	LY

随着国家经济的迅速发展和对外技术交流的增加，我国还引入了不少国外技术标准，常用的见表 0-3。

表 0-3 国际组织及几个主要国家标准

标准名称	代号	标准名称	代号
国际标准	ISO	德国工业标准	DIN
国际材料与结构试验研究协会	RILEM	韩国国家标准	KS
美国材料试验协会标准	ASTM	日本工业标准	JIS
英国标准	BS	加拿大标准协会标准	CSA
法国标准	NF	瑞典标准	SIS

3. 土木工程材料与工程造价和工程管理的关系

土木工程材料是土木工程建设中构成各种建筑产品的重要元素，它与建筑设计、施工及工程造价之间有着密切的关系。新的施工技术、新材料和新设备的出现必将推动设计方法、施工工艺等发生相应的改变：如轻质高强结构材料的出现，必然推动大跨结构和高层建筑的发展；各种标准化、大型化和预制化构件的出现，必然推动建筑工程标准化作业和高效施工的发展；优质的绝热材料、吸声材料、透光材料、保温材料等多功能材料的出现，必然推动建筑物向节能利废的方向发展。总之，随着社会的进步和建筑工程高科技装备的不断涌现，土木工程材料总的发展趋势是轻质、高强、多功能、机械化、利废和耐久。

在一般土木建筑工程的总造价中，材料的费用约占 50%~60%。因此，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。学习并熟练地掌握主要土木工程材料知识,可以利用各种材料的技术性质合理和正确地选用材料,达到在保证工程质量的基础上降低工程成本。综上所述,从工程技术经济和工程管理的角度来看,学好本课程十分重要。

4. 本课程的学习方法和要求

“土木工程材料”课程是土木工程、工程管理和工程造价专业的专业基础课,学习本课程的目的是为后续相关专业课程如施工组织设计、工程造价和工程管理的學習奠定必要的理论基础。

由于“土木工程材料”的内容庞杂、品种繁多,涉及多学科或课程,且各章节之间联系较少,因此,其知识点的逻辑性与连贯性与许多专业课程存在较大差别。学生如果不能掌握本课程特有的学习规律,常常会感到课程内容枯燥乏味,难以记忆和掌握,所以寻找或获得学习“土木工程材料”知识的规律显得尤为重要。这里给出以下几点建议。

(1) 在学习第1章土木工程材料的基本性质时,学生应重点学习和记忆相关概念的定义、计算公式及适用条件、指标或系数,以及各概念之间的区别等。比如表观密度和堆积密度的区别,吸水性和吸湿性的区别,软化系数、抗渗等级、抗冻等级的确定等。

(2) 在学习第3章无机胶凝材料时,无论是气硬性胶凝材料还是水硬性胶凝材料均可按照“原料→生产→熟化(水化)硬化→技术性质→应用”这几个步骤去学习,在学习石灰和石膏时,还要有意识地进行相互对照,这样就避免了许多学生出现概念混乱的现象。当然对于硅酸盐水泥除了掌握上述几个部分外,还要掌握硅酸盐水泥熟料组成及特点、水泥腐蚀、通用水泥的选择等。总之,有了大的知识构架,再针对不同的材料进行细化学习,这会使学生对课程内容的认识更加清晰。

(3) 在学习第4章普通混凝土与建筑砂浆时,主要掌握以下几点:①混凝土的组成材料;②混凝土的和易性(工作性);③混凝土的强度;④混凝土的变形;⑤混凝土的耐久性。其中,混凝土的配合比计算和混凝土质量检测是必须熟练掌握的,学习建筑砂浆知识点的方法基本与混凝土相同。

(4) 在学习第5章建筑金属材料时,主要掌握建筑钢材的分类、建筑钢材的力学及工艺性、建筑钢材的冷加工、建筑钢材的选用等。

(5) 在学习第7章沥青与沥青混合料时,通过对比各沥青制品的组成和结构掌握它们的性质和应用,尤其是通过对比来掌握它们的个性和共性。

最后,要重视试验课并做好实验。试验课是本课程的重要教学环节,通过试验可以验证所学的基本理论,学会检测常用材料的试验方法,掌握一定的试验技能,并能对试验结果进行正确的分析和判断。这对培养学生学习与工作能力及严谨的科学态度十分有利。



第 / 章

土木工程材料的基本性质

本章教学要点

知识要点	掌握程度	相关知识
材料与质量有关的性质	掌握	材料的密度、表观密度、堆积密度、孔隙率、空隙率等
材料与水有关的性质	重点掌握	材料的吸水性、吸湿性、耐水性、抗冻性、抗渗性等
材料与热有关的性质	熟悉	材料的导热性、热容量、热变形等
材料的力学性质	重点掌握	材料的抗压、抗拉、抗弯、抗剪强度；材料的弹性、塑性、韧性、脆性、硬度、耐磨性等
材料的耐久性	熟悉	材料抵抗化学作用、物理作用、生物作用、机械作用的能力

本章技能要点

技能要点	掌握程度	应用方向
掌握材料的密度、表观密度、堆积密度、孔隙率、空隙率等的定义、计算公式以及相互之间的区别	掌握	材料的选用、运输、管理等

续表

技能要点	掌握程度	应用方向
掌握材料的吸水性、吸湿性、耐水性、抗冻性、抗渗性等的定义、计算公式、技术参数以及相互之间的区别	重点掌握	材料的选用、运输、管理等
熟悉材料的导热性、热容量、热变形等的定义、计算公式以及相互之间的区别	熟悉	材料的选用
掌握材料的抗压、抗拉、抗弯、抗剪强度，材料的弹性、塑性、韧性、脆性、硬度、耐磨性等定义、计算公式以及相互之间的区别	重点掌握	材料的选用
熟悉材料抵抗化学作用、物理作用、生物作用、机械作用的能力	熟悉	材料的选用



小思考 1-1

某土建工程根据施工图预算得砌筑墙体体积为 8463m^3 ，根据当地材料供应情况决定选用标准烧结砖，标准砖尺寸为 $240\text{mm} \times 115\text{mm} \times 53\text{mm}$ ，其表观密度为 $1600\text{kg}/\text{m}^3$ ，现有载重量为 5t 的汽车五辆，每辆车的运价为 1500 元/趟，试问要运完该工程所有砌墙砖共需费用多少？



小思考 1-2

在某市政管道工程施工中，对于砌筑污水检查井壁是否选用已有砖料存在争议，一种方案认为必须选用高强度的烧结砖；另一种方案是强度只要满足设计要求，重点应考虑其软化系数是否满足材料耐水性要求。经测试现有库存砖绝干时极限抗压强度为 42.6MPa ，饱和面干时极限抗压强度为 39.2MPa ，试问选用哪种砖更符合工程需要？



小思考 1-3

某南方城市需修建一座大跨预应力钢筋混凝土桥梁，监理工程师根据设计文件要求施工方提供该桥主体结构混凝土抗冻性指标，而施工方则认为该地区属于亚热带气候，无冰冻侵害，所以不用测试混凝土的抗冻等级，但监理工程师坚持要求施工方测试混凝土的抗冻性，为什么？

由上述三个小思考可看到，对材料基本性能的了解和掌握，是人们在实际工程中正确、合理选用材料，估算工程造价的基础。

1.1 材料的物理性能

表征材料与质量性能的主要参数有密度、表观密度、堆积密度、密实度、孔隙率、空隙率及填充率等，这是土木工程材料最基本的物理性质。



1.1.1 密度、表观密度与堆积密度

1. 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，即：

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

式中 ρ ——密度， g/cm^3 ；

m ——材料在绝干状态下的质量， g ；

V ——材料在绝对密实状态下的体积， cm^3 。

绝对密实状态下的体积是指不包括材料内部孔隙在内的体积。除钢材和玻璃等少数材料外，土木工程材料学科认为绝大多数土木工程材料都含有一定的孔隙。在密度测定中，应把含有孔隙的材料破碎并磨成细粉，烘干至恒重后用李氏比重瓶测定其密实体积。材料磨的程度应符合国家相关规范要求。对砖、石等材料常采用此种方法测定其密度。



知识要点提醒

无论何种材料其密度是唯一的。

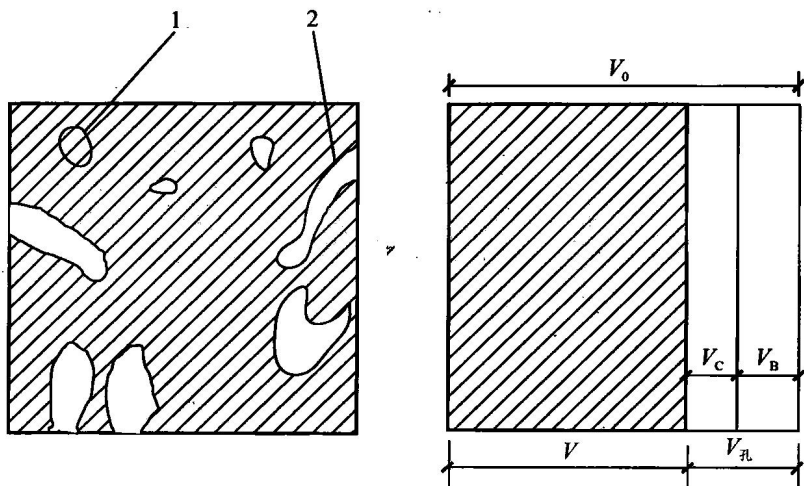
2. 表观密度

材料在自然状态下，单位体积的质量称为材料的表观密度，即：

$$\rho_0 = \frac{m}{V_0} = \frac{m}{V + V_k + V_B} \quad (1.2)$$

式中 ρ_0 ——材料的表观密度， g/cm^3 或 kg/m^3 ；

V_0 ——材料在自然状态下的体积，或称表观体积， cm^3 或 m^3 ，包括固体物质所占体积、开口孔隙体积 V_k 和封闭孔隙体积 V_B ，如图 1.1 所示。



1—闭孔；2—开孔

图 1.1 含孔材料体积组成示意图

材料的自然状态体积包括孔隙在内,当开口孔隙内含有水分时,材料的质量将发生变化,因而会影响材料的表观密度值。材料在烘干至恒重状态下测定的表观密度称为干表观密度。一般测定表观密度时,以干表观密度为准,而对含水状态下测定的表观密度,须注明含水情况。



知识要点提炼

对于烧结砖、石材等无机非金属材料其表观密度可能有4个值,这与其含水状态有关。

3. 堆积密度

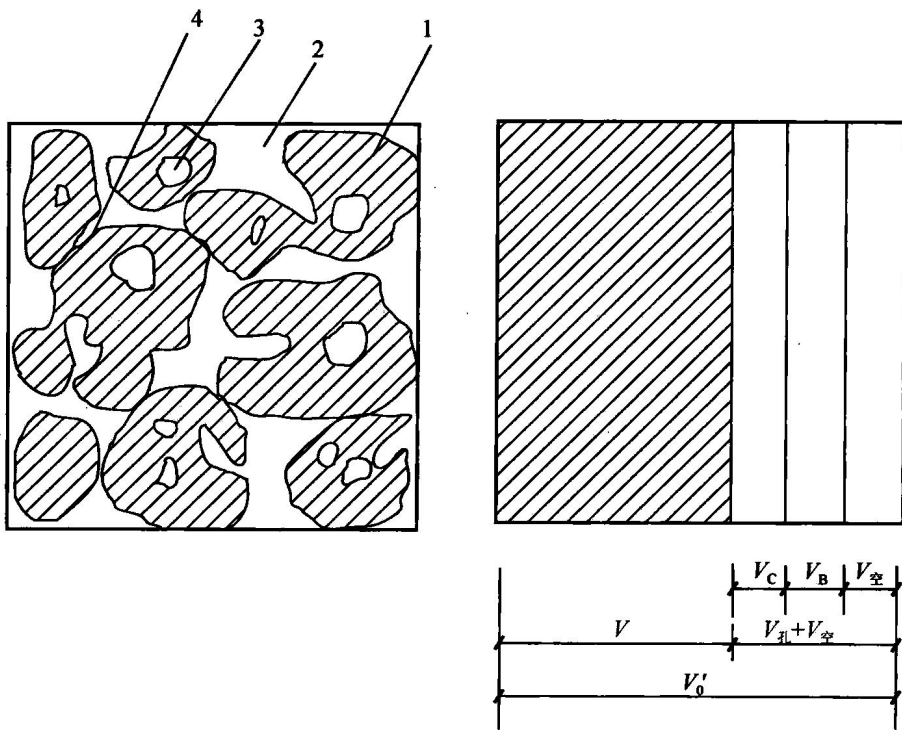
散粒材料(指粉料和粒料)在自然堆积状态下,单位体积的质量称为材料的堆积密度(如图1.2所示),即:

$$\rho'_0 = \frac{m}{V'_0} \quad (1.3)$$

式中 ρ'_0 ——散粒材料堆积密度, kg/m^3 ;

m ——散粒材料的质量, kg ;

V'_0 ——散粒材料的堆积体积, m^3 。



1—颗粒中的固体物质; 2—颗粒的开口孔隙; 3—颗粒的闭口孔隙; 4—颗粒间空隙

图 1.2 散粒材料堆积状态示意图

测定材料的堆积密度时,材料的质量是指填充在一定容器内的材料质量,而堆积体积则是指堆积容器的容积。所以材料的堆积体积既包含颗粒的体积,又包含颗粒之间的空隙体积。



知识要点提醒

对于散粒材料其堆积密度可以有 n 个值,这与其含水状态及材质有关。

在土木工程中,计算材料和构件的自重、材料的用量,以及计算配料、运输台班和堆放场地时,经常要用到材料的密度、表观密度和堆积密度等数据。现将常用土木工程材料的密度、表观密度和堆积密度列于表 1-1 中。

表 1-1 常用土木工程材料的密度、表观密度及堆积密度

材料名称	密度 ρ /(g/cm ³)	表观密度 ρ_0 /(kg/m ³)	堆积密度 ρ'_0 /(kg/m ³)	孔隙率 P /%
石灰岩	2.60	1800~2600	—	—
花岗岩	2.80	2500~2900	—	0.50~3.00
碎石	2.60	—	1400~1700	—
砂	2.60	—	1450~1650	—
粘土	2.60	—	1600~1800	—
普通粘土砖	2.50	1600~1800	—	20~40
粘土空心砖	2.50	1000~1400	—	—
水泥	3.10	—	1200~1300	—
普通混凝土	—	2100~2600	—	5~20
轻骨料混凝土	—	800~1900	—	—
木材	1.55	400~800	—	55~75
钢材	7.85	7850	—	0
泡沫塑料	—	20~50	—	—
沥青(石油)	约 1.0	约 1000	—	—

1.1.2 材料的密实度与孔隙率

1. 密实度

材料体积内被固体物质所充实的程度称为材料的密实度,即:

$$D = \frac{V}{V_0} \times 100\% \quad \text{或} \quad D = \frac{\rho_0}{\rho} \times 100\% \quad (1.4)$$

2. 孔隙率

材料体积内孔隙体积所占的比例,即:

$$P = \frac{V_0 - V}{V_0} \times 100\% = \left(1 - \frac{V}{V_0}\right) \times 100\% = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right) \times 100\% \quad (1.5)$$

即: $D + P = 1$ 。

式中 P ——材料的孔隙率,%。

孔隙率的大小反映了材料的致密程度。材料的许多性能,如强度、吸水性、耐久性、导热性等均与其孔隙率有关。此外,还与材料内部孔隙的结构有关。孔隙结构包括孔隙的数量、形状、大小、分布以及连通与封闭等情况。

材料内部孔隙有连通与封闭之分,连通孔隙不仅彼此连通且与外界相通,而封闭孔隙则不仅彼此互不连通,且与外界隔绝。孔隙本身有粗细之分,粗大孔隙(孔径 $D > n\text{mm}$)、细小孔隙($D = n \times 10^{-4} \sim n\text{mm}$)和极细微孔隙($D = n \times 10^{-7} \sim n \times 10^{-4}\text{mm}$)。粗大孔隙虽易吸水,但不易保持。极细微开口孔隙吸入的水分不易流动,而封闭的不连通孔隙,水分及其他介质不易侵入。因此,我们说孔隙结构及孔隙率对材料的表观密度、强度、吸水率、抗渗性、抗冻性及声、热、绝缘等性能都有很大影响。

【应用实例 1-1】

某标准砌墙砖经测试其密度为 $\rho = 2.6\text{g/cm}^3$, 表观密度为 $\rho_0 = 1700\text{kg/m}^3$, 问该砖的孔隙率和密实度各为多少?

【解】(1) 根据公式 1.5 计算砌墙砖的孔隙率。

$$P = (1 - \frac{\rho_0}{\rho}) \times 100\% = (1 - \frac{1.7}{2.6}) \times 100\% = 34.6\%$$

(2) 计算砌墙砖的密实度。

因为 $D + P = 1$; 所以, $D = 1 - P = 65.4\%$

1.1.3 散粒材料的填充率与空隙率

1. 填充率

散粒材料在堆积状态下,其颗粒的填充程度称为填充率,即:

$$D' = \frac{V}{V_0'} \times 100\% \quad \text{或} \quad D' = \frac{\rho_0'}{\rho} \times 100\% \quad (1.6)$$

2. 空隙率

散粒材料在堆积状态下,颗粒之间的空隙体积所占的比例,即:

$$P' = (\frac{V_0' - V}{V_0'}) \times 100\% = (1 - \frac{V}{V_0'}) \times 100\% = (1 - \frac{\rho_0'}{\rho}) \times 100\% \quad (1.7)$$

即: $D' + P' = 1$ 。

空隙率的大小表征着散粒材料颗粒间相互填充的致密程度。空隙率可作为控制混凝土骨料级配与计算砂率的依据。

【应用实例 1-2】

某混凝土所用碎石经测试其密度为 $\rho = 2.65\text{g/cm}^3$, 堆密度为 $\rho_0' = 1600\text{kg/m}^3$, 问该碎石的空隙率和填充率各为多少?

【解】(1) 根据式(1.7)计算碎石的空隙率。

$$P' = (1 - \frac{\rho_0'}{\rho}) \times 100\% = (1 - \frac{1.6}{2.65}) \times 100\% = 39.6\%$$

(2) 计算碎石的填充率。

因为 $D' + P' = 1$; 所以, $D' = 1 - P' = 60.4\%$