



普通高等教育土建学科专业“十二五”规划教材

高等学校土木工程学科专业指导委员会规划教材
(按高等学校土木工程本科指导性专业规范编写)

土木工程材料

白宪臣 主编

朱乃龙 主审

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

土木工程材料/白宪臣主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2011. 11
普通高等教育土建学科专业“十二五”规划教材. 高等学校土木工程学科
专业指导委员会规划教材(按高等学校土木工程本科指导性专业规范编写)
ISBN 978-7-112-13754-1

I. ①土… II. ①白… III. ①土木工程-建筑材料 IV. ①TU5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 226689 号

本书根据高等学校土木工程学科专业指导委员会制定颁布的《高等学校土木工程本科指导性专业规范》编写, 全书共 10 章, 内容包括土木工程材料的基本性质、气硬性胶凝材料、水泥、混凝土及砂浆、钢材、砌筑材料、木材料、沥青及沥青混合料、其他工程材料和土木工程材料试验。每章均列有知识点、重点和难点, 并附有思考题与习题。

本书可作为高等学校土木工程类相关本科专业教学用教材, 也可供从事土木工程勘测、设计、施工、监理、科研和管理等相关人员学习参考。

为更好地支持本课程教学, 本书作者制作了精美的多媒体教学课件, 请有需要的读者发送邮件至 jiangongkejian@163.com 免费索取。

责任编辑: 王 跃 吉万旺

责任设计: 陈 旭

责任校对: 姜小莲 赵 颖

普通高等教育土建学科专业“十二五”规划教材
高等学校土木工程学科专业指导委员会规划教材
(按高等学校土木工程本科指导性专业规范编写)

土 木 工 程 材 料

白宪臣 主编

朱乃龙 主审

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京天成排版公司制版

北京凌奇印刷有限责任公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 16 1/4 字数: 417 千字

2011 年 12 月第一版 2011 年 12 月第一次印刷

定价: 36.00 元(赠送课件)

ISBN 978-7-112-13754-1

(21517)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本系列教材编审委员会名单

主 任：李国强

常务副主任：何若全

副 主 任：沈元勤 高延伟

委 员：(按拼音排序)

白国良 房贞政 高延伟 顾祥林 何若全 黄 勇
李国强 李远富 刘 凡 刘伟庆 祁 皓 沈元勤
王 燕 王 跃 熊海贝 阎 石 张永兴 周新刚
朱彦鹏

组 织 单 位：高等学校土木工程学科专业指导委员会
中国建筑工业出版社

出版说明

从 2007 年开始高校土木工程学科专业教学指导委员会对全国土木工程专业教学现状的调研结果显示, 2000 年至今, 全国的土木工程教育情况发生了很大变化, 主要表现在: 一是教学规模不断扩大。据统计, 目前我国有超过 400 余所院校开设了土木工程专业, 但是约有一半是 2000 年以后才开设此专业的, 大众化教育面临许多新的形势和任务; 二是学生的就业岗位发生了很大变化, 土木工程专业本科毕业生中 90% 以上在施工、监理、管理等部门就业, 在高等院校、研究设计单位工作的大学生越来越少; 三是由于用人单位性质不同、规模不同、毕业生岗位不同, 多样化人才的需求愈加明显。《高等学校土木工程本科指导性专业规范》(以下简称《规范》)就是在这种背景下开展研究制定的。

《规范》按照规范性与多样性相结合的原则、拓宽专业口径的原则、规范内容最小化的原则和核心内容最低标准的原则, 对专业基础课提出了明确要求。2009 年 12 月高校土木工程学科专业教学指导委员会和中国建筑工业出版社在厦门召开了《规范》研究及配套教材规划会议, 会上成立了以参与《规范》编制的专家为主要成员的系列教材编审委员会。此后, 通过在全国范围内开展的主编征集工作, 确定了 20 门专业基础课教材的主编, 主编均参与了《规范》的研制, 他们都是各自学校的学科带头人和教学负责人, 都具有丰富的教学经验和教材编写经历。2010 年 4 月又在烟台召开了系列规划教材编写工作会议, 进一步明确了本系列规划教材的定位和编写原则: 规划教材的内容满足建筑工程、道路桥梁工程、地下工程和铁道工程四个主要方向的需要; 满足应用型人才培养要求, 注重工程背景和工程案例的引入; 编写方式具有时代特征, 以学生为主体, 注意 90 后学生的思维习惯、学习方式和特点; 注意系列教材之间尽量不出现不必要的重复等编写原则。为保证教材质量, 系列教材编审委员会还邀请了本领域知名教授对每本教材进行审稿, 对教材是否符合《规范》思想, 定位是否准确, 是否采用新规范、新技术、新材料, 以及内容安排、文字叙述等是否合理进行全方位审读。

本系列规划教材是贯彻《规范》精神、延续教学改革成果的最好实践, 具有很好的社会效益和影响, 住房和城乡建设部已经确定本系列规划教材为《普通高等教育土建学科专业“十二五”规划教材》。在本系列规划教材的编写过程中得到了住房和城乡建设部人事司及主编所在学校和学院的大力支持, 在此一并表示感谢。希望使用本系列规划教材的广大读者提出宝贵意见和建议, 以便我们在重印、再版及规划和出版专业课教材时得以改进和完善。

高等学校土木工程学科专业指导委员会
中国建筑工业出版社
2011 年 6 月

前 言

本书根据新修订的《高等学校土木工程本科指导性专业规范》，按照大土木学科背景、应用型人才培养目标、教材内容最小化的编写原则，围绕专业规范要求的材料科学基础知识领域中的核心知识单元和知识点，按土木工程材料种类编排章节，以各类材料的技术性质为中心内容，对重要知识点辅以必要的工程案例，同时结合土木工程材料研究新成果和国家及行业新标准(规范)，力求语言简练、重点突出、图文并茂，以满足专业规范设定的课程教学要求。

本书由河南大学白宪臣教授主编，西安建筑科技大学尚建丽教授任副主编。各章编写人员为：白宪臣(绪论)，尚建丽(第1章)，白宪臣(第2章)，尚建丽(第3章)，贺东青(第4章)，岳建伟(第5章)，李运华(第6章、第7章)，白宪臣(第8章、第9章)，白宪臣、李运华(第10章)。

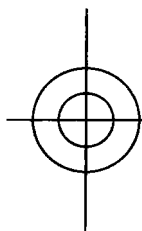
限于作者水平，书中疏漏与不妥之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

目 录

绪论	1	2.1.5 石灰的技术标准	24
0.1 土木工程材料与土木工程的关系	1	2.1.6 石灰的主要用途	25
0.1.1 土木工程材料是土木工程建设的 质量基础与保证	1	2.1.7 工程案例	26
0.1.2 土木工程材料对土木工程建设的 经济性具有重要影响	2	2.2 石膏	27
0.1.3 土木工程材料与土木工程技术相互 依存, 相互促进	2	2.2.1 石膏的生产	27
0.2 土木工程材料分类	3	2.2.2 建筑石膏的凝结硬化	28
0.3 土木工程材料学习方法	3	2.2.3 建筑石膏的主要技术性质	28
第1章 土木工程材料的基本性质	5	2.2.4 建筑石膏的技术标准	29
本章知识点	5	2.2.5 石膏的主要用途	29
1.1 材料的物理性质	5	2.3 水玻璃	30
1.1.1 与质量有关的性质	5	2.3.1 水玻璃的生产	30
1.1.2 与水有关的性质	9	2.3.2 水玻璃的硬化	30
1.1.3 与热有关的性质	13	2.3.3 水玻璃的技术性质特点	31
1.2 材料的力学性质	15	2.3.4 水玻璃的应用	31
1.2.1 强度与比强度	15	思考题与习题	32
1.2.2 弹性与塑性	16	第3章 水泥	33
1.2.3 脆性与韧性	17	本章知识点	33
1.2.4 硬度与耐磨性	17	3.1 硅酸盐水泥	34
1.3 材料的耐久性	17	3.1.1 硅酸盐水泥的生产	34
1.3.1 材料所受的环境作用	18	3.1.2 硅酸盐水泥的矿物组成	35
1.3.2 材料耐久性的评定	18	3.1.3 硅酸盐水泥的水化与凝结 硬化	35
1.4 材料的组成与结构	19	3.1.4 硅酸盐水泥的技术性质	38
1.4.1 材料的组成	19	3.1.5 水泥石的腐蚀与防止	40
1.4.2 材料的结构	19	3.1.6 硅酸盐水泥的特性与应用	42
思考题与习题	20	3.2 掺混合材料的硅酸盐水泥	43
第2章 气硬性胶凝材料	21	3.2.1 水泥混合材料	43
本章知识点	21	3.2.2 普通硅酸盐水泥	44
2.1 石灰	22	3.2.3 矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸 盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥和 复合硅酸盐水泥	45
2.1.1 石灰的生产	22	3.2.4 通用硅酸盐水泥的性能比较与 选用	45
2.1.2 石灰的熟化	22	3.2.5 通用硅酸盐水泥的验收与 保管	47
2.1.3 石灰的硬化	23	3.3 其他品种水泥	48
2.1.4 石灰的主要技术性质	24		

3.3.1 道路硅酸盐水泥	48	5.1.1 钢的冶炼	104
3.3.2 白色硅酸盐水泥	49	5.1.2 钢的分类	105
3.3.3 铝酸盐水泥	50	5.2 钢材的主要技术性质	106
思考题与习题	51	5.2.1 钢材的力学性能	106
第4章 混凝土及砂浆	53	5.2.2 钢材的工艺性能	110
本章知识点	53	5.2.3 工程案例	112
4.1 混凝土的分类与性能特点	53	5.3 钢中化学成分对其性能的影响	112
4.1.1 混凝土的分类与质量要求	53	5.4 土木工程用钢的技术标准与选用	114
4.1.2 混凝土的性能特点	54	5.4.1 土木工程常用钢种	114
4.2 普通混凝土的组成材料及质量要求	54	5.4.2 钢筋混凝土结构用钢材	118
4.2.1 水泥	55	5.4.3 钢结构用钢材	121
4.2.2 骨料	55	5.4.4 钢材的选用	123
4.2.3 混凝土用水	61	5.5 钢材的防锈与防火	123
4.2.4 混凝土外加剂	62	5.5.1 钢材的锈蚀及防护	123
4.3 混凝土的主要技术性质	64	5.5.2 钢材的防火	124
4.3.1 混凝土拌合物的和易性	64	思考题与习题	125
4.3.2 混凝土的强度	67	第6章 砌筑材料	126
4.3.3 混凝土的耐久性	73	本章知识点	126
4.3.4 混凝土的变形性能	75	6.1 砖	126
4.4 混凝土的质量检验与评定	78	6.1.1 烧结砖	127
4.4.1 混凝土的质量波动	78	6.1.2 非烧结砖	134
4.4.2 混凝土质量评定参数	79	6.2 砌块	136
4.4.3 混凝土质量评定方法及标准	81	6.2.1 混凝土空心砌块	136
4.5 普通混凝土配合比设计	81	6.2.2 蒸压加气混凝土砌块	138
4.5.1 基本要求和资料准备	81	6.2.3 粉煤灰砌块	139
4.5.2 三个基本参数及确定原则	82	6.3 砌筑石材	140
4.5.3 混凝土配合比设计步骤	82	6.3.1 天然石材	140
4.5.4 混凝土配合比设计实例	85	6.3.2 人造石材	142
4.6 其他混凝土简介	88	思考题与习题	142
4.6.1 轻质混凝土	88	第7章 木材料	143
4.6.2 高性能混凝土	89	本章知识点	143
4.6.3 纤维混凝土	90	7.1 木材的分类与构造	143
4.6.4 聚合物混凝土	92	7.1.1 木材的分类	143
4.7 砂浆	92	7.1.2 木材的构造	144
4.7.1 砂浆的组成材料	93	7.2 木材的主要性质和用途	144
4.7.2 砌筑砂浆	95	7.2.1 木材的主要性质	144
4.7.3 抹面砂浆	99	7.2.2 木材及人造板材的用途	147
4.7.4 其他砂浆	101	7.3 木材的防护	148
思考题与习题	102	7.3.1 木材的干燥	148
第5章 钢材	104	7.3.2 木材的防腐	149
本章知识点	104	7.3.3 木材的防火	149
5.1 钢的冶炼与分类	104		

思考题与习题	150	10.1.5 水泥体积安定性检验	197
第8章 沥青及沥青混合料	151	10.1.6 水泥胶砂强度试验	199
本章知识点	151	10.2 骨料试验	202
8.1 沥青材料	151	10.2.1 试验取样与缩分	202
8.1.1 石油沥青的组分与结构	151	10.2.2 砂筛分析试验	203
8.1.2 石油沥青的主要技术性质	153	10.2.3 砂含泥量试验	205
8.1.3 石油沥青的技术标准与 选用	155	10.2.4 砂中泥块含量试验	206
8.1.4 沥青的掺配与改性	156	10.2.5 砂的坚固性试验	206
8.2 沥青混合料	158	10.2.6 砂的近似密度试验	208
8.2.1 沥青混合料组成材料的质量 要求与选用	159	10.2.7 砂的堆积密度及空隙率 试验	209
8.2.2 沥青混合料的结构与强度	161	10.3 混凝土拌合物试验	210
8.2.3 沥青混合料技术性质	162	10.3.1 混凝土拌合物制备与 取样	210
8.2.4 沥青混合料技术性能指标	164	10.3.2 混凝土拌合物稠度试验	211
8.2.5 沥青混合料配合比设计	165	10.3.3 混凝土拌合物表观密度 测定	214
思考题与习题	168	10.3.4 混凝土拌合物凝结时间 测定	215
第9章 其他工程材料	169	10.4 混凝土强度试验	217
本章知识点	169	10.4.1 混凝土强度试验一般规定	217
9.1 合成高分子材料	169	10.4.2 混凝土抗压强度试验	218
9.1.1 塑料	170	10.4.3 混凝土静力受压弹性模量 试验	220
9.1.2 胶粘剂	172	10.4.4 混凝土抗折强度试验	222
9.2 防水材料	173	10.4.5 混凝土劈裂抗拉强度试验	223
9.2.1 防水卷材	173	10.4.6 回弹法检测混凝土强度	225
9.2.2 防水涂料	177	10.5 砂浆试验	230
9.2.3 密封材料	181	10.5.1 新拌砂浆稠度试验	230
9.2.4 刚性防水材料	183	10.5.2 新拌砂浆分层度试验	231
9.3 保温隔热材料	183	10.5.3 砌筑砂浆抗压强度试验	232
9.3.1 保温隔热材料的类别	183	10.6 钢材试验	234
9.3.2 常用保温隔热材料	184	10.6.1 钢筋拉伸试验	234
9.3.3 保温隔热材料的选用	185	10.6.2 钢筋弯曲试验	237
9.4 吸声隔声材料	185	10.6.3 钢材冲击韧性试验	238
9.4.1 吸声材料	185	10.7 沥青试验	240
9.4.2 隔声材料	187	10.7.1 沥青针入度试验	240
思考题与习题	188	10.7.2 沥青延度试验	242
第10章 土木工程材料试验	189	10.7.3 沥青软化点试验	243
本章知识点	189	10.7.4 沥青闪点及燃点试验	245
10.1 水泥试验	189	思考题与习题	247
10.1.1 水泥试验的一般规定	189	附录 实验报告样表	249
10.1.2 水泥密度试验	190	参考文献	259
10.1.3 水泥细度检验	191		
10.1.4 水泥标准稠度用水量和凝结 时间试验	194		



绪 论

房屋、道路、桥梁、隧道、港口、矿井等土木工程都是用各种材料按一定要求建成的。通常把土木工程建设中所使用的各种材料及其制品统称为土木工程材料，它是一切土木工程的物质基础，在土木工程建设中具有重要地位。

0.1 土木工程材料与土木工程的关系

0.1.1 土木工程材料是土木工程建设的质量基础与保证

百年大计，质量为本，所有土木工程建设项目的设计、生产施工、使用管理等环节都应以最优的工程质量为根本。土木工程材料既是土木工程建设的基础，也是土木工程建设的质量基础与保证。从材料角度讲，土木工程的建造过程即是通过工程师的智慧，将土木工程材料进行有机“集合”的过程。在土木工程建设中，材料的生产、检验评定、选择使用、贮存保管等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。优秀的设计师总是把精美的空间环境艺术与科学合理地选用工程材料融合在一起；结构工程师也只有在很好地了解工程材料的技术性能之后，才能根据工程力学原理准确计算并确定工程构件的形状与尺寸，从而创造先进的工程结构形式。因此，土木工程技术人员必须熟练地掌握土木工程材料的有关知识、理论与技能。

为了确保土木工程材料及土木工程生产建设质量，作为有关材料研究、生产、使用和管理等部门应共同遵循的工作依据，绝大多数土木工程材料均由专门机构制订并发布了相应的“技术标准”，对其产品规格、质量要求、检验方法、验收规则、运输与保管等作出了明确规定。在我国，技术标准分为四级，即国家标准、行业标准、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指导技术文件，包括强制性标准(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，产品的技术指标必须满足标准规定的有关要求，推荐性标准在执行时也可采用其他相关标准之规定。行业标准是为了规范本行业产品质量而制定的技术标准，也是全国性的技术指导文件，但它是各行业主管部门发布的，如建工行业标准(代号 JG)、建材行业标准(代号 JC)、交通行业标准(代号 JT)、石油行业标准(SY)等。地方标准(代号 DB)是地方主管部门发布的地方性技术指导文件，在本地区使用，所制定的技术要求应高于国家标准。企业标准(代号 QB)是由企业制

定发布的指导本企业生产的技术文件,仅适用于本企业。凡没有制定国家标准和行业标准的产品,均应制定企业标准,且技术要求应高于类似或相关产品的国家标准。

近年来,随着改革开放的不断深化,涉外土建工程及国际合作项目逐渐增多,因此,工程技术人员和土建类大学生也应对国外的相关技术标准有所了解,如世界范围统一使用的“ISO”国际标准、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。

0.1.2 土木工程材料对土木工程建设的经济性具有重要影响

土木工程材料种类繁多,使用量很大,按照有关技术标准合理地选择和工程材料,不仅关系工程建设的安全性、适用性和耐久性,而且直接关系工程建设的造价与成本,对工程建设的经济性具有重要影响。在土木工程造价诸多构成因素当中,材料是构成土木工程造价的主要内容,材料费用在土木工程造价中占有较大比重,一般情况下材料费用要占工程总造价的50%~60%。我国作为发展中国家,从当前及今后相当长一段时间来看,社会需求持续旺盛,土建基本建设量大面广,任务繁重。因此,为了降低工程造价,节省投资,应在材料生产、选用、运输、贮存以及管理过程中,统筹考虑土木工程材料的技术性和经济性,以最大限度地发挥土木工程材料的综合效能。

0.1.3 土木工程材料与土木工程技术相互依存,相互促进

土木工程材料的发展与土木工程技术的进步有着密切联系,它们之间相互依存、相互促进。材料作为土木工程的物质基础,在一定程度上决定土木工程的结构形式及施工方法。新型土木工程材料的研发与应用以及传统土木工程材料性能的改进与完善,都将直接促使工程结构设计方法和施工技术的不断变化与革新,而新颖的结构形式与施工方法又不断向工程材料提出更高的性能要求。如钢材、水泥的大量应用和性能改进,取代了传统的土、木、石材料,使高耸、大跨度、大体量的土木工程成为可能;高性能、多功能、复合型土木工程材料的不断涌现,使现代化的装配式工程施工技术成为主导。同时,节能舒适、生态环保、安全高效的土木工程可持续发展要求,对土木工程材料的研发与应用提出了许多崭新命题。目前,具有自感知、自调节、自修复能力的土木工程材料研发以及各种机敏或智能材料,在土木工程中的应用研究正蓬勃开展。碳纤维机敏混凝土、水泥基压电机敏复合材料对结构内部的应力状态进行自觉监测并消除有害应力,仿生自愈合混凝土对结构中出现的损伤进行自觉修复等研究已经得到证实;光纤材料、压电材料、形状记忆合金和电(磁)流变体等机敏或智能材料,已尝试作为传感器或驱动器应用于土木工程领域。

基于有限的地球物质资源和人类的持续发展需求,未来的土木工程必将在更加苛刻的环境条件下实现多功能化、智能化和生态化,土木工程材料也

将在原材料提供、生产技术与工艺、产品形式与性能等诸方面，面临可持续发展和科学技术不断进步的严峻挑战。可以预见，土木工程材料与土木工程的关系将更加密切，土木工程材料的发展空间会更加广阔，对土木工程技术的支持与促进作用将会更加显著。

0.2 土木工程材料分类

由于土木工程种类和土木工程材料的性质、功能及用途各不相同，因此，为了研究、论述、选用和管理方便，常从不同角度按一定原则对土木工程材料进行分类。

按照工程性质，土木工程材料可分为建筑工程材料、道路桥梁工程材料和岩土工程材料；按照材料来源，土木工程材料可分为天然材料和人工材料；按照使用功能，土木工程材料可分为结构材料、装饰材料、防水防腐材料、保温隔热材料和其他功能材料。目前，最常用的分类方法是根据材料的物质组成与化学成分进行分类，土木工程材料可分为无机材料、有机材料和复合材料，见表 0-1。无机材料、有机材料是指其化学组分分别为无机物质和有机物质的工程材料；复合材料是指由两种及两种以上的有机或无机材料按照一定的工艺制成的新材料，例如：聚合物混凝土、钢纤维混凝土、PVC 钢板、有机涂层铝合金板等。

土木工程材料分类 表 0-1

材料分类			材料实例
土木工程材料	无机材料	金属材料	黑色金属：钢、铁、不锈钢等
			有色金属：铝、铜等及其合金
		非金属材料	石材料：砂、石及各种石料制品
			烧土制品：砖、瓦、陶瓷、玻璃等
			胶凝材料：石膏、石灰、水泥、水玻璃等
			混凝土及硅酸盐制品：混凝土、砂浆及硅酸盐制品
		无机纤维材料：玻璃纤维、矿物棉等	
	有机材料	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、合成橡胶等
		植物质材料	木材、竹材等
复合材料	无机非金属与有机材料复合	聚合物混凝土、沥青混合料、玻璃钢等	
	金属材料与无机非金属材料复合	钢筋混凝土、钢纤维混凝土、钢管混凝土等	
	金属材料与有机材料复合	PVC 钢板、有机涂层铝合金板、轻质金属夹芯板等	

0.3 土木工程材料学习方法

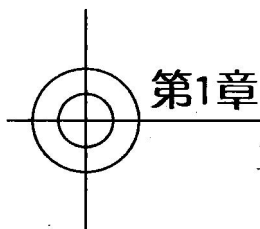
本课程属于土木工程类的专业技术基础课，其教学任务主要是使学生获

得有关土木工程材料的基本知识、基本理论和基本技能,掌握常用土木工程材料的技术性能和选用原则,熟悉土木工程材料的生产制造过程、组成结构与性能变化原理以及试验检测方法,了解土木工程材料的发展趋势,构建与土木工程学科专业相适应的土木工程材料知识体系,并为学习专业后续课程奠定扎实基础。

土木工程材料课程是在土建类专业教学计划中开设较早的专业基础课,书中的许多概念、名词及专业术语都是同学们第一次接触。另外,土木工程材料的品种繁多,内容庞杂,并涉及较多学科与课程,各章之间相对独立,内容以叙述为主,有些内容属于工程实践规律与经验的总结。因此,本课程的学习方法不同于同期的力学、数学等课程。

首先,要抓住“一个中心,两条线索”。就专业培养目标及建立课程知识体系而言,学习本课程的目的旨在合理地应用各种土木工程材料,而应用的前提条件则是熟练掌握各种材料的技术性质。本教材按照土木工程材料的种类编排章节,各种土木工程材料的技术性质即为课程及各章的“中心内容”,当然也是学习的重点,应牢固掌握。土木工程材料的种类很多,其性质各异,且相差悬殊。材料的组成、结构和构造是材料技术性质的内在决定性因素,各类材料具有不同的技术性质的主要原因也正因如此,这是学习掌握土木工程材料技术性质的第一条线索。然而,材料的技术性质不是固定不变的,对同一种材料来讲,在不同的温度、湿度、压力等环境条件及使用工况下,还会表现出不同的性质与性状,这些外在的影响因素是学习掌握土木工程材料技术性质的第二条线索。所以,要想真正理解并掌握土木工程材料的技术性质,就必须深入探究材料性质与材料组成、结构、构造以及外在环境条件的关系。否则,只能知其然而不知其所以然,就会陷入死记硬背的学习教条。

其次,要运用对比的方法并密切联系工程实际。材料的种类很多,通过对比各种材料的组成、结构及性能特点等内容,罗列并理清它们之间的共性与个性,不仅可以提高学习效率,做到事半功倍,而且也将增强所学知识的综合运用能力,这在学习气硬性胶凝材料、水泥、混凝土、沥青混合料等内容时尤为重要。土木工程材料是一门实践性很强的课程,学习时要注重理论联系实际,充分利用见习、实习等一切机会,细心观察周围已经建成或正在施工的各种土木工程,在生产、生活实践中寻求答案,并在实践中验证和补充所学的书本知识。实验也是本课程的重要教学环节,通过实验可以验证所学的基本理论,提高所学知识的扎实程度,并培养严谨求实的科学态度。



土木工程材料的基本性质

本章知识点

【知识点】密度、表观密度、堆积密度、孔隙率、空隙率、密实度、填充率等材料的物理性质概念及表征，亲水性、憎水性、吸湿性、吸水性、耐水性、抗渗性、抗冻性等材料与水有关性质的概念与区别，材料强度、比强度、弹性、塑性、脆性、韧性、硬度、耐磨性等材料的力学性质概念与计算，材料耐久性的环境作用及评定。

【重点】材料基本性质的概念含义及公式表达，各性质之间的区别与联系，材料性质与其组成、结构、构造以及环境因素的关系，材料强度的计算与测定。

【难点】材料基本性质的影响因素及其作用机理。

在土木工程建设中，工程的类型、功能、施工方法、环境条件等众多因素的影响与作用，都对工程建设所使用的各类材料提出了多样化的性能要求，如用于工程结构的材料须具有抵抗外力作用而不破坏的能力；当建筑物或构筑物受到周围化学介质（水、腐蚀性气体、液体等）及物理环境（干湿、冻融交替等）作用时，材料须具有抵抗介质物理化学作用的能力。由于土木工程材料的种类很多，每种材料的技术性质体现在很多方面，而材料的基本性质则是反映其技术性能的基本状态参数。因此，为了营建安全可靠、美观舒适、节能环保、经久耐用的各类建筑物和构筑物，必须掌握土木工程材料的基本性质。

1.1 材料的物理性质

1.1.1 与质量有关的性质

1. 密度、表观密度与堆积密度

(1) 密度

密度是指材料在绝对密实状态下，单位体积所具有的质量。按下式计算：

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1-1)$$

式中 ρ ——材料的密度(g/cm^3);

m ——材料在干燥状态下的质量(g);

V ——材料在绝对密实状态下的体积(称为绝对体积或实体积)(cm^3)。

材料密度的大小主要取决于材料的物质组成与结构。材料的物质组成不同,其密度一般不同;材料的物质组成相同,当材料的结构与构造不同时,其密度往往也不同,甚至会有较大差异。如钢材的密度为 $7.85\text{g}/\text{cm}^3$,水泥的密度为 $2.80\sim 3.20\text{g}/\text{cm}^3$,红松木的密度为 $2.50\text{g}/\text{cm}^3$ 。常用土木工程材料的密度见表 1-1。

常用土木工程材料的密度、表观密度、堆积密度和孔隙率 表 1-1

材料	密度(g/cm^3)	表观密度(kg/m^3)	堆积密度(kg/m^3)	孔隙率(%)
石灰石	2.60	1800~2600	—	—
花岗石	2.60~2.90	2500~2800	—	0.5~3.0
碎石(石灰石)	2.60	—	1400~1700	—
砂	2.60	—	1450~1650	—
黏土	2.60	—	1600~1800	—
普通黏土砖	2.50~2.80	1600~1800	—	20~40
黏土空心砖	2.50	1000~1400	—	—
水泥	3.10	—	1200~1300	—
普通混凝土	—	2000~2800	—	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	—	—
玻璃	2.55	2550	—	0

在自然界和现实工程中,绝对密实状态的材料是不存在的,有些材料(如钢材、玻璃等)可视为接近绝对密实,而绝大多数材料内部都含有一定量的孔隙。因此,当测量含有孔隙材料(图 1-1)的密度时,须将其磨成细粉(粒径小

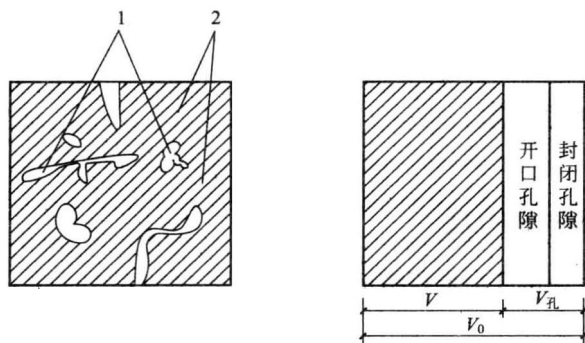


图 1-1 材料组成示意图

1—孔隙; 2—固体物质

于0.20mm)以排除材料内部的孔隙体积,经干燥后用李氏密度瓶测定其绝对体积。材料磨得越细,受测材料内部的孔隙体积排除越彻底,测得的实体体积就越接近绝对体积,所得到的密度值就越精确。

对于某些结构致密而形状不规则的散粒材料,在测定其密度时,可以不磨成细粉,直接用排水置换法测其绝对体积的近似值(因颗粒内部的封闭孔隙体积没有排除),按式(1-1)计算所求得的密度称为近似密度。混凝土用砂、石等散粒状材料常按此法测定其近似密度。

(2) 表观密度

表观密度是指材料在自然状态下,单位体积所具有的质量。按下式计算:

$$\rho_0 = \frac{m}{V_0} \quad (1-2)$$

式中 ρ_0 ——材料的表观密度(kg/m^3);

m ——材料的质量(kg);

V_0 ——材料在自然状态下的体积(简称自然体积或表观体积,包括材料的实体和所含孔隙的体积)(m^3)。

对于形状规则材料的自然状态体积,可直接测量其外观尺寸,用几何公式求出其体积;对于形状不规则材料的自然状态体积,则需在材料表面涂蜡后(封闭开口孔隙),用排水置换法测定其体积。

材料的表观密度除取决于材料的组成外,还与材料的孔隙率和孔隙的含水程度有关。材料孔隙率越大,其表观密度越小。当孔隙中含有水分时,其质量和体积均有所变化。因此,在测定材料表观密度时,须同时测量并注明材料的含水率。通常情况下的材料表观密度是指材料在气干状态下的表观密度,在烘干状态下的表观密度称为干表观密度。常用土木工程材料的表观密度见表1-1。在实际工程中,常依据材料的表观密度值,推算材料用量、计算构件自重、确定运输荷载和材料堆放空间等。

(3) 堆积密度

堆积密度是指散粒状或粉状材料在自然堆积状态下,单位体积所具有的质量。按下式计算:

$$\rho'_0 = \frac{m}{V'_0} \quad (1-3)$$

式中 ρ'_0 ——材料的堆积密度(kg/m^3);

m ——材料的质量(kg);

V'_0 ——散粒或粉状材料的自然堆积体积(包括颗粒体积和颗粒之间的空隙体积,如图1-2所示)(m^3)。

测定散粒或粉状材料的堆积密度时,材料的质量是指填充在一定容积容器内的材料质量,其堆积体积是指所用容器的容积,包括材料的实体、颗粒内部的孔隙体积和颗粒之间的空隙体积。

材料的堆积密度取决于材料的表观密度以及测定时材料装运方式和疏密程度。材料在松散堆积状态下测得的堆积密度值小于紧密堆积状态下测得的

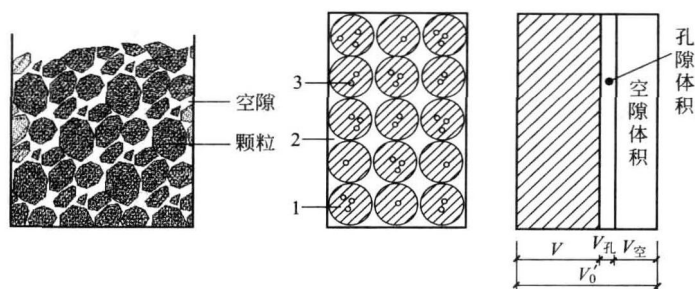


图 1-2 散粒材料堆积体积示意图

1—固体物质；2—空隙；3—孔隙

堆积密度值。常用土木工程材料的堆积密度见表 1-1。工程中常依据材料的松散堆积密度，确定颗粒状材料的堆放空间。

2. 密实度与孔隙率

(1) 密实度

密实度是指材料体积内被固体物质所充实的程度，即材料中固体物质的体积占材料总体积的百分率。按下式计算：

$$D = \frac{V}{V_0} \times 100\% = \frac{\rho_0}{\rho} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中 D ——材料的密实度(%)。

(2) 孔隙率

孔隙率是指材料内部孔隙的体积占材料总体积的百分率。可用下式计算：

$$P = \frac{V_0 - V}{V_0} \times 100\% = \left(1 - \frac{V}{V_0}\right) \times 100\% = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right) \times 100\% = 1 - D \quad (1-5)$$

式中 P ——材料的孔隙率(%)。

密实度和孔隙率分别从不同角度反映了材料的致密程度。材料密实度和孔隙率的大小主要取决于材料的组成、结构及制造工艺。材料的许多工程性质(如强度、吸水性、抗渗性、抗冻性、导热性、吸声性等)都与材料的孔隙率或密实度有关，这些性质不仅取决于孔隙率的大小，还与孔隙的类型、形状、大小、分布等构造特征密切相关。工程上常按孔隙的连通性，将孔隙分为开口孔隙(简称开孔)和闭口孔隙(简称闭孔)。开孔是指那些彼此连通，并与外界也相通的孔隙，如常见的毛细孔。当开口孔隙率增大时，材料的吸水性、吸湿性、透水性和吸声性增强，材料的抗冻性和抗渗性则因此变差。闭孔是指那些彼此不连通，而且与外界隔绝的孔隙。当闭口孔隙率增大时，材料的保温隔热性能和耐久性增强。

3. 填充率与空隙率

(1) 填充率

填充率是指颗粒或粉状材料在堆积体积内，被颗粒材料表观体积所填充的程度。按下式计算：

$$D' = \frac{V}{V_0} \times 100\% = \frac{\rho_0'}{\rho_0} \times 100\% \quad (1-6)$$

式中 D' ——材料的填充率(%)。

(2) 空隙率

空隙率是指颗粒或粉状材料在堆积体积内, 颗粒之间的空隙体积所占总体积的百分率。可用下式计算:

$$P' = \frac{V_0' - V}{V_0'} \times 100\% = \left(1 - \frac{V}{V_0'}\right) \times 100\% = \left(1 - \frac{\rho_0'}{\rho_0}\right) \times 100\% = 1 - D' \quad (1-7)$$

式中 P' ——材料的空隙率(%)。

填充率和空隙率分别从不同角度反映了颗粒或粉状材料堆积的紧密程度。空隙率在配制混凝土时可作为控制混凝土骨料配料以及计算混凝土含砂率的依据。

材料的密度、表观密度、堆积密度、孔隙率及空隙率等概念, 都是认识与掌握材料性能以及选择应用材料的重要指标。常用土木工程材料的基本物性能参数见表 1-1。

1.1.2 与水有关的性质

1. 亲水性与憎水性

土木工程材料在使用过程中经常会与水或潮湿的空气接触, 有些材料能够被水润湿, 即具有亲水性; 而有些材料则很难或不能被水润湿, 即具有憎水性。所谓润湿是水被材料表面吸附的过程, 它与材料自身的性质有关。在材料、水与空气的三相交点上存在材料与空气的表面张力、水与空气的表面张力和材料与水的表面张力。

材料的亲水或憎水程度用润湿角 θ 来表示。润湿角是在材料、水和空气三相的交点处, 沿水滴表面的切线与水与固体的接触面之间的夹角, 如图 1-3 所示。润湿角 θ 越小, 说明水分子之间的内聚力越小于材料表面分子与水分子之间的相互吸引力, 水分越容易被材料表面吸附, 材料被水润湿的程度越高, 即材料的亲水性越强。当润湿角 $\theta = 0^\circ$ 时, 表明该材料完全被水所润湿。通常将润湿角 $\theta \leq 90^\circ$ 的材料称为亲水性材料, 如砖、混凝土、砂浆、木材等; 将润湿角 $\theta > 90^\circ$ 的材料称为憎水性材料, 如沥青、石蜡、塑料等。憎水性材料常用作防水、防潮及防磨材料, 也可用作亲水性材料的表面处理, 以提高其耐久性。

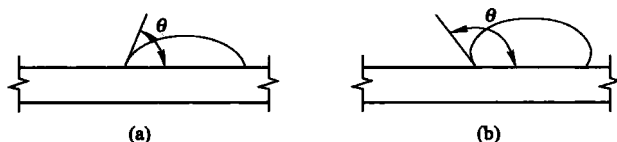


图 1-3 材料的润湿示意图

(a) 亲水性材料; (b) 憎水性材料