

全国高等院校**土木工程类**应用型系列规划教材

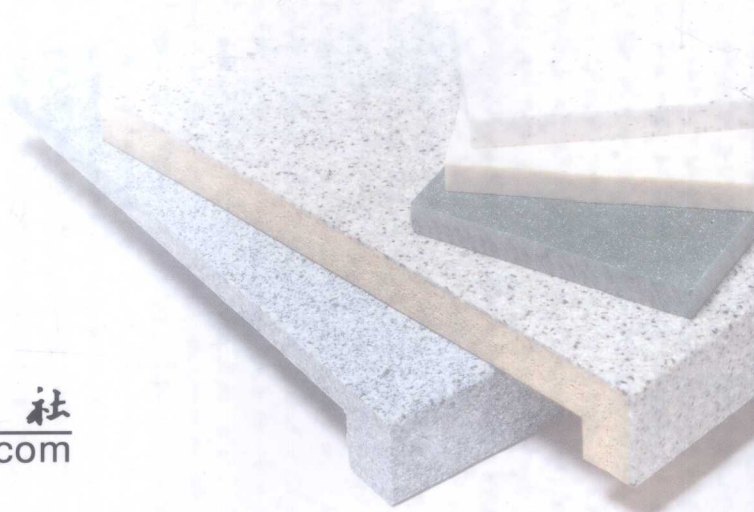
土木工程材料

柳俊哲 谭忆秋 张 利 主编



科学出版社

www.sciencep.com



全国高等院校土木工程类应用型系列规划教材



土木工程材料

柳俊哲 谭忆秋 张利 主编

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书共分13章,首先阐述了土木工程材料及其基本性质,随后分别介绍了气硬性胶凝材料、水泥、沥青、水泥混凝土、建筑砂浆、沥青混合料、建筑钢材、墙体材料、高分子材料、保温隔热材料与吸声材料、建筑装饰材料,最后又介绍了土木工程材料试验等。

本书主要适用于高等学校、成人高校土木工程专业的教学,也可作为土木工程类专业及其继续教育的培训教材。对从事土木工程事业的技术人员也是非常好的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程材料 / 柳俊哲,谭忆秋,张利主编. —北京:科学出版社,2009

(全国高等院校土木工程类应用型系列规划教材)

ISBN 978-7-03-024846-6

I. 土… II. ①柳… ②谭… ③张… III. 土木工程-建筑-材料-高等学校-教材 IV. TU5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 103626 号

责任编辑:童安齐 任加林 / 责任校对:耿耘
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>

铭浩彩色印装有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009年8月第一版 开本:787×1092 1/16

2009年8月第一次印刷 印张:22

印数:1—3 000 字数:503 800

定价:32.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

销售部电话 010-62134988 编辑部电话 010-62137026(BA08)

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229 010-64034315; 13501151303

前 言

本书在编写过程中以土木工程专业指导委员会制定的《土木工程材料》教学大纲为基本依据,参考了各种版本的《土木工程材料》、《建筑材料》和《道路建筑材料》,吸收了本学科国内外的最新成果和我国相关的新技术、新规范。在内容取舍上,注意突出常用材料和基本理论,删去或缩减了已过时的或不常用的一部分传统材料,更新和补充了部分常用新型材料;在材性论述中,力求概念准确、条理清晰、层次分明;在论证方法上,注意贯彻理论联系实际的原则,运用深入浅出的表述方法。每章之后附有复习思考题,以便学生复习和自学。

本书由柳俊哲、谭忆秋、张利任主编,贺智敏、李振国、杜红伟、刘红宇、吴建任副主编。具体编写分工为:绪论由宁波大学柳俊哲编写;第1章、第3章由华北科技学院张利编写;第2章、第9章及第10章由南洋理工学院杜红伟编写;第4章、第7章由哈尔滨工业大学谭忆秋编写;第五章由宁波大学贺智敏编写;第6章由山西大学刘红宇编写;第8章、第11章及第12章由哈尔滨理工大学李振国编写;附录由东北林业大学吴建编写。

为了提高本教材水平,在编写过程中,编者尽量吸收了国内外最新的研究成果,力求反映现代材料技术的进展和水平,并在教材体系上努力做到系统性、科学性、完整性和实践性,在文字阐述上力求做到严密性。但由于我国基础建设的迅猛发展,土木工程材料随之也涌现出很多新品种和新材料,标准和规范繁多且更新快,本书未能涵盖所有工程材料,同时由于编者水平有限,加之时间仓促,书中缺点和差错在所难免,欢迎广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言	
绪论	1
第 1 章 土木工程材料的基本性质	4
1.1 材料的组成、结构与性能的关系	4
1.1.1 材料的组成对材料性能的影响	4
1.1.2 材料的结构对材料性能的影响	4
1.2 材料的物理性质	6
1.2.1 与质量有关的性质	6
1.2.2 与水有关的性质	9
1.2.3 与热有关的性质	13
1.3 材料的力学性质	14
1.3.1 强度的定义及种类	14
1.3.2 影响材料强度的因素	15
1.3.3 材料的比强度	16
1.3.4 弹性与塑性	17
1.3.5 脆性和韧性	17
1.3.6 硬度	18
1.4 耐久性	18
复习思考题	19
第 2 章 气硬性胶凝材料	20
2.1 石膏	20
2.1.1 石膏胶凝材料的原料、生产及品种	20
2.1.2 半水石膏的水化与凝结硬化	20
2.1.3 建筑石膏的技术性质,质量要求和作用	21
2.2 石灰	23
2.2.1 石灰的原料及生产	23
2.2.2 石灰的熟化与硬化	23
2.2.3 石灰的技术性质,质量要求及应用	24
2.3 水玻璃	26
2.3.1 水玻璃的生产	26
2.3.2 水玻璃的硬化	26
2.3.3 水玻璃的技术性质和应用	27

复习思考题	28
第3章 水泥	29
3.1 通用硅酸盐水泥	29
3.1.1 通用硅酸盐水泥的定义、类型和代号	29
3.1.2 通用硅酸盐水泥的组成	30
3.1.3 通用硅酸盐水泥的技术要求	32
3.1.4 通用硅酸盐水泥的水化与凝结硬化	35
3.1.5 硬化水泥石的性质	39
3.1.6 通用硅酸盐水泥的特性与应用	41
3.2 特性水泥	43
3.2.1 白色硅酸盐水泥及彩色硅酸盐水泥	43
3.2.2 高铝水泥	44
3.2.3 膨胀水泥及自应力水泥	46
3.2.4 其他水泥	46
复习思考题	47
第4章 沥青	49
4.1 石油沥青	49
4.1.1 沥青的概述	49
4.1.2 石油沥青的组成与结构	50
4.1.3 石油沥青的技术性质	52
4.1.4 石油沥青的技术标准	62
4.1.5 石油沥青的改性	63
4.2 乳化沥青	67
4.2.1 乳化沥青与乳化剂	67
4.2.2 乳化沥青的乳化机理	68
4.2.3 乳化沥青的技术标准	69
4.3 煤沥青	70
4.3.1 煤沥青的定义	70
4.3.2 煤沥青的化学组成	71
4.3.3 煤沥青的技术性质与技术标准	71
复习思考题	74
第5章 水泥混凝土	75
5.1 概述	75
5.2 混凝土的组成材料	76
5.2.1 混凝土的组成材料	76
5.2.2 混凝土中各种组成材料的技术要求	76
5.2.3 矿物掺和料	92
5.3 新拌混凝土的技术性质	96

5.3.1	混凝土拌和物的和易性	96
5.3.2	影响和易性的主要因素	97
5.3.3	改善混凝土和易性的措施	100
5.3.4	拌和物浇筑后的性能	100
5.4	混凝土硬化体的性质	102
5.4.1	混凝土的力学性质	102
5.4.2	混凝土的尺寸稳定性	108
5.4.3	混凝土的耐久性	112
5.5	混凝土的质量控制与强度评定	117
5.5.1	混凝土强度的质量评定	118
5.5.2	混凝土质量评定的数理统计方法	120
5.5.3	混凝土配制强度	122
5.6	普通混凝土配合比设计	122
5.6.1	配合比设计的任务	122
5.6.2	配合比设计的原理	123
5.6.3	混凝土配合比设计的三个参数	123
5.6.4	混凝土配合比设计步骤	123
5.7	其他品种混凝土	132
5.7.1	轻混凝土	132
5.7.2	大体积混凝土	136
5.7.3	道路混凝土	137
5.7.4	纤维混凝土	137
5.7.5	耐热混凝土	139
5.7.6	耐酸混凝土	140
5.7.7	聚合物混凝土	141
5.7.8	泵送混凝土	142
5.7.9	高强混凝土	144
5.7.10	高性能混凝土	147
	复习思考题	149
第6章	建筑砂浆	151
6.1	砌筑砂浆	151
6.1.1	砌筑砂浆的组成材料	151
6.1.2	砌筑砂浆的技术性质	152
6.1.3	砌筑砂浆的配合比设计	155
6.2	抹面砂浆	158
6.2.1	普通抹面砂浆	158
6.2.2	装饰抹面砂浆	159
6.2.3	特种抹面砂浆	161

6.3	商品砂浆	162
6.3.1	商品砂浆的分类	162
6.3.2	商品砂浆的特点	162
6.3.3	商品砂浆的储运	163
	复习思考题	163
第7章	沥青混合料	165
7.1	概述	165
7.2	沥青混合料的组成结构与强度理论	166
7.2.1	沥青混合料的组成结构	166
7.2.2	沥青混合料的强度理论	168
7.3	沥青混合料组成材料的技术要求	170
7.3.1	粗集料	170
7.3.2	细集料	172
7.3.3	矿粉	173
7.4	沥青混合料的技术性质	174
7.4.1	高温稳定性	174
7.4.2	低温抗裂性	175
7.4.3	耐久性	176
7.4.4	抗滑性	177
7.4.5	施工和易性	177
7.5	沥青混合料的配合比设计	178
	复习思考题	188
第8章	建筑钢材	190
8.1	钢材的冶炼与分类	190
8.1.1	钢的冶炼	190
8.1.2	钢的分类	190
8.2	钢材的技术性质	192
8.2.1	抗拉性能	192
8.2.2	抗弯性能	194
8.2.3	冲击性能	195
8.2.4	耐疲劳性	195
8.2.5	硬度	196
8.3	钢材的冷加工强化与时效	196
8.3.1	钢材冷加工与时效处理的过程与机理	196
8.3.2	钢材冷加工时效在工程中的应用与效果	197
8.4	钢材的热处理与焊接	197
8.4.1	钢材的热处理	197
8.4.2	钢材的焊接	198

8.5	建筑钢材的技术标准及选用	198
8.5.1	建筑钢材的主要品种	198
8.5.2	钢筋混凝土结构用钢	202
8.6	建筑钢材的防锈与防火	205
8.6.1	钢材锈蚀作用的机理	205
8.6.2	钢材的防锈蚀措施	206
8.6.3	钢材的防火措施	207
	复习思考题	207
第9章	墙体材料	208
9.1	砌墙砖	208
9.2	蒸养(压)砖	214
9.2.1	蒸压灰砂砖(LSB)	214
9.2.2	粉煤灰砖(FAB)	214
9.3	砌块	215
9.3.1	普通混凝土小型空心砌块(NHB)	215
9.3.2	轻骨料混凝土小型空心砌块(LHB)	217
9.3.3	蒸压加气混凝土砌块(ACB)	219
	复习思考题	219
第10章	合成高分子材料	220
10.1	高分子化合物概述	220
10.1.1	基本知识	220
10.1.2	聚合物的结构与性质	221
10.1.3	常用的聚合物	223
10.2	建筑塑料	227
10.2.1	塑料的基本组成	228
10.2.2	土木工程常用的塑料制品及其应用	229
10.3	建筑涂料	231
10.3.1	涂料的基本组成	231
10.3.2	常用的建筑涂料	232
10.4	胶黏剂	233
10.4.1	胶黏剂的基本概念	233
10.4.2	土木工程常用的胶黏剂	234
10.5	土工合成材料	235
10.6	新型防水卷材	236
10.6.1	防水卷材的基本要求	236
10.6.2	新型防水卷材的应用	236
10.7	密封材料	239
10.7.1	非定形密封材料	239

10.7.2 定型密封材料	240
复习思考题	241
第 11 章 保温隔热材料与吸声材料	242
11.1 保温隔热材料	242
11.1.1 材料的热传递行为分析	242
11.1.2 保温隔热材料的技术指标与影响因素	242
11.1.3 建筑上常用的保温隔热材料	243
11.2 吸声材料	245
11.2.1 材料的吸声原理及其技术指标	245
11.2.2 影响多孔材料吸声性能的因素	245
11.2.3 建筑上常用的吸声材料	246
复习思考题	247
第 12 章 建筑装饰材料	248
12.1 建筑玻璃	248
12.2 常用建筑饰面陶瓷制品	249
12.3 木材及其制品	250
12.3.1 木材的优缺点	250
12.3.2 木制品及其应用	250
12.3.3 木材的防腐与防火	252
12.4 建筑装饰用饰面石材及其选用	253
复习思考题	254
附录 土木工程材料试验	255
试验一 材料基本性质试验	255
试验二 石料试验	259
试验三 石灰试验	265
试验四 水泥实验	269
试验五 混凝土用集料试验	284
试验六 普通混凝土试验	299
试验七 钢筋试验	315
试验八 沥青材料试验	317
试验九 沥青混合料试验	328
参考文献	340

绪 论

土木工程材料是指土木工程中所使用的各种材料及制品,它是土木工程的物质基础。在我国现代化建设中,土木工程占有极为重要的地位。正确选择和使用工程材料,不仅与构筑物的坚固、耐久和适用性有密切关系,而且直接影响到工程造价,因此,在选材时应充分考虑材料的技术性和经济性。土木工程材料在生产过程中还应尽可能保证低能耗、低物耗及亲环境性。

土木工程材料有各种不同的分类方法。例如,根据用途可将工程材料分为结构主体材料和辅助材料;根据工程材料的功能又可分为结构材料、防水材料、装饰材料、功能材料等;根据工程材料组成物质的种类及化学成分,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细的分类,如表 0.1 所示。

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、铜等及其合金
	非金属材料	天然石材:砂石及各种石材制品 烧土制品:黏土砖、瓦、陶瓷及玻璃等 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
有机材料	植物质材料 沥青材料 高分子材料	木材、竹材等 石油沥青、煤沥青、沥青制品 塑料、涂料、胶黏剂
复合材料	无机材料基复合材料	水泥刨花板、混凝土、砂浆、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)

土木工程中使用的各种材料及其制品,应具有满足使用功能和所处环境要求的某些性能,而材料及其制品的性能或质量指标必须用科学方法所测得的确切数据来表示。为使测得的数据能在有关研究、设计、生产、应用等各部门得到承认,有关测试方法和条件、产品质量评价标准等均由专门机构制定并颁发“技术标准”,并做出详尽明确的规定作为共同遵循的依据。这也是现代工业生产各个领域的共同需要。

技术标准,按照其适用范围,可分为国家标准、行业标准、地方标准和企业标准等。

(1) 国家标准。指对全国经济、技术发展有重大意义,必须在全国范围内统一的标准,简称“国标”。国家标准由国务院有关主管部门提出草案、报国家标准总局审批和发布。

(2) 行业标准。专业产品的技术标准,主要是指全国性各专业范围内统一的标准,简称“行标”。这种标准由国务院所属各部和总局组织制定、审批和发布,并报送国家标准总

局备案。

(3) 企业标准。凡没有制订国家标准、行业标准的产品或工程,都要制订企业标准。这种标准是指仅限于企业范围内适用的技术标准,简称“企标”。为了不断提高产品或工程质量,企业可以制定比国家标准或行业标准更先进的产品质量标准。现将国家标准及部分行业标准列于表 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	JT
建材行业	JC	冶金行业	YB
建工行业	JG	石化行业	SH
铁道部	TB	林业行业	LY

随着国家经济技术的迅速发展和对外技术交流的增加,我国还引入了不少国际和外国技术标准,现将常见的标准列入表 0.3 中,以供参考。

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	CSA
法国标准	NF	瑞典标准	SIS

土木工程材料的生产和使用是随人类社会生产力的发展和科学技术水平的提高而逐步发展起来的。随着社会生产力的发展,人类进入石器、铁器时代,利用简单的生产工具能够挖土、凿石为洞,伐木搭竹为棚,从巢穴居进入了稍经加工的土、石、木、竹构成的棚屋,为简单地利用材料迈出了可喜的一步。以后人类学会用黏土烧制砖、瓦,用岩石烧制石灰、石膏。与此同时,木材的加工技术和金属的冶炼与应用,也有了相应的发展。此时材料的利用才由天然材料进入到人工生产阶段,居住条件有了新的改善,砖石、砖木混合结构成了这一时期的主要特征。以后人类社会进入漫长的封建社会阶段,生产力发展缓慢,工程材料的发展也缓慢,长期停留在“秦砖汉瓦”水平上。人类社会活动范围的扩大、工商业的发展和资本主义的兴起,城市规模的扩大和交通运输的日益发达,都需要建造更多、更大、更好以及具有某些特殊性能的建筑物和附属设施,以满足生产、生活和工业等方面的需要,如大型公共建筑、大跨度的工业厂房、海港码头、铁路、公路、桥梁以及给水排水、水库电站等工程。显然,原有的工程材料在数量、质量和性能方面均不能满足上述的新要求。供求矛盾推动工程材料的发展进入了新的阶段。水泥、混凝土的出现,钢铁工业的发展,钢结构、钢筋混凝土结构也就应运而生。这是十八九世纪结构和材料的主要特征。进入 20 世纪以后,随着社会生产力的更大发展和科学技术水平的迅速提高,以及材料科学的形成和发展,工程材料的品种增加、性能改善、质量提高,一些具有特殊功能的材

料也相继发展了。在工业建筑上,根据生产工艺、质量要求和耐久性的需要,研制和生产了各种耐热、耐磨、抗腐蚀、抗渗透、防爆或防辐射材料;在民用建筑上,为了室内温度的稳定并尽量节约能源,制造了多种有机和无机的保温绝热材料;为了减少室内噪声并改善建筑物的音质,也制成了相应的吸声、隔声材料。因此,可以这样说,没有工程材料的发展,也就没有土木工程的发展。有鉴于此,土木工程材料的发展方向有着以下一些趋势:在材料性能方面,要求轻质、高强、多功能和耐久;在产品形式方面,要求大型化、构件化、预制化和单元化;在生产工艺方面,要求采用新技术和新工艺,改造和淘汰陈旧设备和工艺,提高产品质量;在资源利用方面,既要研制和开发新材料,又要充分利用工农业废料和地方材料;在经济效益方面,要降低材料消耗和能源消耗,进一步提高劳动生产率和经济效益。

土木工程材料在土木工程专业里是一门专业基础课,学习本课程的目的为进一步学习专业课提供有关材料的基础知识,并为今后从事设计、施工和管理工作中合理选择和正确使用材料奠定基础。

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、检验及验收、运输及储存等方面既有共性,也有各自的特点,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,品种繁多,涉及许多学科或课程,其名词、概念和专业术语多,各种土木工程材料相对独立,即各章之间的联系较少。此外公式推导少,而以叙述为主,许多内容为实践规律的总结。因此其学习方法与力学、数学等完全不同。学习土木工程材料时应从材料科学的观点和方法及实践的观点来进行,否则就会感到枯燥无味,难以掌握材料组成、性质、应用以及它们之间的相互联系。学习土木工程材料时,应从以下几个方面来进行:

(1) 了解或掌握材料的组成、结构和性质间的关系。掌握土木工程材料的性质与应用是学习的目的,但孤立地看待和学习,就免不了要死记硬背。材料的组成和结构决定材料的性质和应用,因此学习时应了解或掌握材料的组成、结构与性质间的关系。应特别注意掌握的是材料内部的孔隙数量、孔隙大小、孔隙状态及其影响因素,它们对材料的所有性质均有影响,同时还应注意外界因素对材料结构与性质的影响。

(2) 运用对比的方法。通过对比各种材料的组成和结构来掌握它们的性质和应用,特别是通过对比来掌握它们的共性和特性。这在学习水泥、混凝土、沥青混合料等时尤为重要。

(3) 密切联系工程实际,重视试验课并做好实验。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,利用一切机会注意观察周围已经建成的或正在施工的工程,提出一些问题,在学习中寻找答案,并在实践中验证和补充书本所学内容。试验课是本课程的重要教学环节,通过试验可验证所学的基本理论,学会检验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

土木工程材料是土木工程的物质基础, 直接关系建筑物及构筑物的安全性、功能性以及使用寿命和经济成本。土木工程材料的性质是多方面的, 某种材料应具备何种性质, 要根据它在建筑物及构筑物中的作用和所处的环境来决定。土木工程材料的基本性质指土木工程材料在工程应用中那些基本的、具有共性的性质, 包括材料的物理性质、力学性质、耐久性等, 掌握这些性质对于初步判断材料的性能和应用场合, 从而正确地选择与合理地使用建筑材料具有十分重要的意义。

1.1 材料的组成、结构与性能的关系

土木工程材料所具有的各种性质是由材料内部的组成、结构等所决定的。只有科学地认识材料组成、结构、构造与性能的关系, 才能更好地理解材料各种性质的涵义, 从而获得材料改性的方法, 提高材料在土木工程中应用的效能。

1.1.1 材料的组成对材料性能的影响

材料的组成是指材料的化学成分或矿物成分。它不仅影响材料的化学性质, 同时也是决定材料物理性质、力学性质和耐久性的重要因素。

化学组成是指构成材料的基本化合物或元素的种类和数量。当材料与外界自然环境及各类物质相接触时, 必然要按照化学变化规律发生作用。例如, 水泥石的腐蚀、混凝土的腐蚀、钢材的锈蚀等多属于化学作用。材料的化学组成在决定着材料的化学性质的同时, 也影响着材料的物理力学性质。

矿物组成是指构成材料的矿物的种类和数量。矿物是指无机非金属材料中具有特定的晶体结构及物理力学性能的组织结构。化学组成相同但矿物组成不同的材料往往表现出不同的性质。例如, 水泥中熟料矿物的组成比例发生变化时, 水泥的性质会随之改变。钢材的金相组织发生变化时, 钢材的性质也会发生变化。

材料的组成对材料性质的影响需结合具体材料的特性进行研究和分析。

1.1.2 材料的结构对材料性能的影响

材料的结构是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。按材料的结构和构造的尺度范围, 可分为宏观结构、介观结构和微观结构。

1. 宏观结构

材料的宏观结构是指用肉眼或放大镜可分辨出的毫米级的结构。土木工程材料常见的宏观结构形式有致密结构、多孔结构、纤维结构、散粒结构和层状结构, 各类结构主要特

征如下:

(1) 致密结构。基本上是无孔隙的材料,如钢材、玻璃、沥青、部分塑料等。这类材料强度高、吸水性小、抗渗和抗冻性好。

(2) 多孔结构。材料内部存在大体分布均匀的孔隙,且孔隙率较高,如泡沫塑料、加气混凝土、烧结普通砖、石膏制品等。这类材料质量轻、保温性能好。

(3) 纤维结构。材料内部质点排列具有方向性,其平行纤维方向与垂直纤维方向的强度和导热性等性质有明显的不同,即各向异性,如木材、玻璃纤维、钢纤维、石棉等。

(4) 散粒结构。指常态下呈松散颗粒状的材料,如砂、石、陶粒、膨胀珍珠岩等。这类材料依自身密实程度不同,在强度、硬度、保温性能等方面存在较大的差异。

(5) 层状结构。将各向异性的同种片材叠合成具有平面各向同性的层状的结构,材料的强度、硬度、保温等综合性能显著提高且具有不同的特性,如胶合板、纸面石膏板及各种夹心板等。

2. 亚微观结构

材料的亚微观结构是指用光学显微镜和一般扫描透射电子显微镜所能观察到的微米及纳米级的结构,是介于宏观和微观之间的结构。其尺度范围在 $10^{-3} \sim 10^{-9} \text{m}$ 。

亚微观结构涉及材料内部的晶粒等的大小和形态、晶界或晶面、孔隙、微裂纹等。不同类型的土木工程材料,其亚微观结构特征各不相同。例如,水泥混凝土中水泥石的孔隙结构及界面,金属材料中的金相组织、晶界及晶粒尺寸,木材中的木纤维、管胞、髓线等组织结构均属于亚微观结构。

任何材料都是以各种性质的界面相邻接的,界面(及表面)性质对材料的化学反应特征、物理力学性质等具有决定性的影响,而界面特征正是亚微观结构研究的范畴。一般来说,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。对于土木工程材料而言,从显微结构层次上研究并改善材料的性能十分重要。

3. 微观结构

材料的微观结构是指借助电子显微镜、扫描电镜和 X 射线衍射仪等手段来研究材料的原子或分子层次的结构,其尺寸范围在 $10^{-6} \sim 10^{-10} \text{m}$ 。

根据排列有序与无序,微观结构分为晶体结构和非晶体结构。

1) 晶体结构

晶体是质点(原子、分子、离子)按一定规律在空间重复排列的固体,具有一定的几何形状和物理性质。晶体质点间键能的大小以及结合键的特性决定晶体材料的特性如强度、硬度、熔点、导热性等。

2) 非晶体结构

(1) 玻璃体。玻璃体是熔融物在急冷时,质点来不及作有规则的排列而形成的内部质点无序排列的固体或固态液体。玻璃体结构的材料没有固定的熔点和几何形状,且各向同性。由于内部质点未达到能量最低位置,大量化学能储存在材料结构中,因此,其化

学稳定性差,易与其他物质发生化学反应。例如,在水泥、混凝土中使用的粒化高炉矿渣、火山灰、粉煤灰等均属玻璃体。

(2) 胶体。物质以极微小的质点(粒径为 $1\sim 100\mu\text{m}$)分散在介质中所形成的结构称为胶体。由于胶体的质点很微小,其总的表面积很大,因而表面能很大,有很强的吸附力,所以胶体具有较强的黏结力。

胶体中分散的微粒作布朗运动时,这种胶体称溶胶,溶胶具有较大的流动性,建筑材料中的涂料就是利用这一性质配制而成的。当溶胶脱水或微粒产生凝聚,使分散质点不能再按布朗运动自由移动时,称为凝胶,凝胶具有触变性,即将凝胶搅拌或振动,又能变成溶胶。水泥浆、新拌混凝土、胶黏剂等均表现有触变性。当凝胶完全脱水则成干凝胶体,它具有固体的性质,即产生强度。硅酸盐水泥主要水化产物的最后形式就是凝胶体。凝胶一方面具有固体的性质,但在长期应力作用下又具有黏性液体的流动性。混凝土的徐变是由于水泥凝胶体的黏性流动产生的。

研究材料的微观(及亚微观)结构与材料宏观性能间的关系对于改进与提高材料的性质具有重要意义。

1.2 材料的物理性质

1.2.1 与质量有关的性质

1. 密度

密度是指材料在绝对密实状态下单位体积的质量,即

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

式中: ρ ——密度, g/cm^3 ;

m ——材料的质量, g ;

V ——材料在绝对密实状态下的体积,简称为绝对体积或实体积, cm^3 。

材料密度的大小取决于其组成物质的相对原子质量和分子结构。相对原子质量越大,分子结构越紧密,材料的密度则越大。

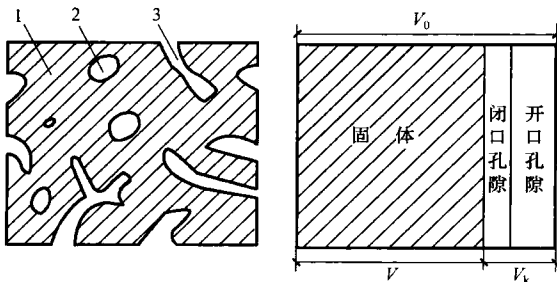


图 1.1 材料组成示意图

1. 固体; 2. 闭口孔隙; 3. 开口孔隙

土木工程材料中除少数材料(钢材、玻璃等)接近绝对密实外,绝大多数材料内部都包含有一些孔隙。在自然状态下含孔块体材料的体积(V_0)是由固体物质的体积(即绝对密度状态下材料的体积, V)和孔隙体积(V_k)两部分组成的(图 1.1)。

在测定这些含孔块体材料的密度时,需将其磨成细粉(粒径小于 0.2mm)

以排除其内部孔隙,经干燥后用李氏密度瓶测定其绝对体积。材料磨得越细,被测材料孔隙排除越充分,测得的实体体积越接近绝对体积,所得到的密度值越精确。对于某些较为致密但形状不规则的散粒材料,可以不必磨成细粉,而直接用排水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),这时所求得的密度为视密度。混凝土所用砂、石等散粒状材料常按此法测定它的密度。

利用材料的密度可以初步了解材料的品质,并可用它进行材料的孔隙率计算和混凝土配合比计算。

2. 表观密度

表观密度是指材料在自然状态下,单位体积的质量,即

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

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, m^3 (包括材料的实体积和所含孔隙体积)。

表观密度的大小除取决于密度外,还与材料孔隙率及孔隙的含水程度有关。材料孔隙越多,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。因此在测定表观密度时,必须注明含水情况,没有特别标明时常指气干状态下的表观密度,在进行材料对比试验时,则以绝对干燥状态下测得的表观密度值(干表观密度)为准。

工程上可以利用表观密度推算材料用量,计算构件自重,确定材料的堆放空间。

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的质量,即

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

式中: ρ'_0 ——材料的堆积密度, kg/m^3 ;

m ——材料的质量, kg ;

V'_0 ——材料的自然堆积体积, m^3 ,包括了颗粒体积和颗粒之间空隙的体积(图 1.2),也即按一定方法装入容器的容积。

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填方式和疏密程度。松堆积方式测得的堆积密度值要明显小于紧堆积时的测定值。工程中通常采用松散堆积密度,确定颗粒状材料的堆放空间。

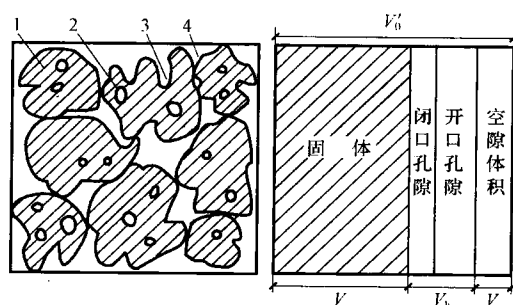


图 1.2 散粒材料堆积及体积示意图

1. 固体; 2. 闭口孔隙; 3. 开口孔隙; 4. 空隙