

普通高等教育“十二五”规划教材

土木工程材料

程云虹 陈四利 主 编
丛树民 副主编

TUMU GONGCHENG
CAILIAO



化学工业出版社



土木工程系列教材

- | | |
|-----------------|-----|
| ■ 土木工程概论 | 姜晨光 |
| ■ 土木工程概论 | 李文虎 |
| ■ 土木工程施工 | 宁宝宽 |
| ■ 土木工程施工 | 周国恩 |
| □ 土木工程材料 | 程云虹 |
| ■ 工程测量 | 刘玉梅 |
| ■ 土木工程测量简明教程 | 吴友平 |
| ■ 高等测量学 | 姜晨光 |
| ■ 实验力学 | 宁宝宽 |
| ■ 结构力学(上、下册) | 王新华 |
| ■ 弹性力学与有限元法简明教程 | 蒋玉川 |
| ■ 建筑结构 | 王琼梅 |
| ■ 建筑结构设计原理 | 李章政 |
| ■ 建筑结构原理与设计初步 | 陈孟诗 |
| ■ 建筑结构试验与检测 | 吴晓枫 |
| ■ 道路勘测设计 | 何晓鸣 |
| ■ 土木工程专业英语 | 张亮平 |
| ■ 组合结构设计 | 王静峰 |

ISBN 978-7-122-10997-2



9 787122 109972 >

定价: 36.00元

普通高等教育“十二五”规划教材

土木工程材料

程云虹 陈四利 主 编
丛树民 副主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书是普通高等教育“十二五”规划教材。

全书共分为 11 章, 内容包括土木工程材料的基本性质、水泥混凝土、砂浆、砌筑材料、土木工程钢材、沥青及沥青混合料、木材、合成高分子材料、建筑功能材料、常用土木工程材料的试验方法。

本书可作为高等学校土木工程及其相关专业本科生的教材, 也可供从事土木工程设计、施工、科研及管理等工作的人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

土木工程材料/程云虹, 陈四利主编. —北京:
化学工业出版社, 2011. 7

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-122-10997-2

I. 土… II. ①程…②陈… 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 (2011) 第 064438 号

责任编辑: 满悦芝
责任校对: 顾淑云

文字编辑: 荣世芳
装帧设计: 尹琳琳

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: 北京市兴顺印刷厂

787mm×1092mm 1/16 印张 16 字数 403 千字 2011 年 6 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

本书以土木工程专业培养目标、课程设置及教学大纲为基本依据编写,适应“大土木”的需求,同时兼顾建筑工程、道路工程、桥梁工程及地下工程等多学科要求,有较宽的专业知识面。教材紧紧围绕专业需求,从课程实际学时数出发,在保证内容完整的基础上,力求简明、实用、重点突出;着重于基本概念、基本理论及基本技能,注重理论联系实际。本书全部采用国家或行业颁布的最新标准、规范或规程,同时在内容上力求推陈出新。每章后附有适量的复习思考题,以方便学生对所学知识的理解、巩固和提高;同时,设置了开放讨论内容,以提高学生分析问题和解决问题的能力,拓展学生的知识面。

本书由程云虹(东北大学)和陈四利(沈阳工业大学)担任主编,丛树民(沈阳大学)担任副主编。程云虹负责编写绪论,第1章,第2章2.2节,第3章3.2节、3.3节、3.5节),第4章,第5章,第6章6.3节、6.4节、第7章7.1.1节、7.1.2节、7.2.3节、7.2.5节、7.2.7节,第10章10.1节及第11章;陈四利负责编写第2章2.1节,第3章3.4节、3.6节、3.7节,第6章6.5节、6.6节,第7章7.2.1节、7.2.2节、7.2.4节、7.2.6节,第8章,第9章,第10章10.2节,10.3节;丛树民负责编写第2章2.3节,第3章3.1节、3.8节、3.9节,第6章6.1节、6.2节,第7章7.1.3~7.1.6节,第10章10.4节。另外,李亚洲、秦志生、刘佳、侯建龙及徐龙硕等参加了书稿的整理及校对工作。

由于土木工程材料发展非常快,不断有新材料出现,国家及行业技术标准在不断更新,再加上编者水平和时间有限,书中疏漏之处在所难免,诚恳欢迎广大读者批评指正。

编者
2011年5月

目 录

绪论	1
0.1 土木工程与土木工程材料	1
0.2 土木工程材料分类	1
0.3 土木工程材料发展	2
0.4 土木工程材料标准化	2
0.5 本课程的性质和任务	3
第 1 章 土木工程材料的基本性质	4
1.1 材料的组成、结构和构造	4
1.1.1 材料的组成	4
1.1.2 材料的结构	5
1.1.3 材料的构造	6
1.2 材料的基本物理性质	7
1.2.1 密度、表观密度与堆积密度	7
1.2.2 密实度与孔隙率	8
1.2.3 填充率与空隙率	8
1.2.4 材料与水有关的性质	9
1.2.5 热工性质	11
1.3 材料的基本力学性质	12
1.3.1 强度和比强度	12
1.3.2 弹性与塑性	13
1.3.3 脆性与韧性	13
1.3.4 硬度与耐磨性	14
1.4 材料的耐久性	14
复习思考题	15
开放讨论	15
第 2 章 无机胶凝材料	16
2.1 气硬性胶凝材料	16
2.1.1 石灰	16
2.1.2 石膏	19
2.1.3 水玻璃	21
2.2 水泥	23
2.2.1 通用硅酸盐水泥	23
2.2.2 通用硅酸盐水泥的生产	24
2.2.3 通用硅酸盐水泥的组成	24
2.2.4 硅酸盐水泥的水化	25
2.2.5 硅酸盐水泥的凝结和硬化	26
2.2.6 影响硅酸盐水泥凝结硬化的主要因素	27
2.2.7 通用硅酸盐水泥的技术要求	28
2.2.8 水泥混合材料	30
2.2.9 通用硅酸盐水泥石的腐蚀与防止	31
2.2.10 通用硅酸盐水泥的技术性质及应用	33
2.2.11 通用硅酸盐水泥的运输与贮存	35
2.3 其他品种水泥	35
2.3.1 白色硅酸盐水泥与彩色硅酸盐水泥	35
2.3.2 抗硫酸盐硅酸盐水泥	36
2.3.3 中热硅酸盐水泥、低热硅酸盐水泥及低热矿渣硅酸盐水泥	37
2.3.4 道路硅酸盐水泥	38
2.3.5 铝酸盐水泥	38
复习思考题	40
开放讨论	41
第 3 章 水泥混凝土	42
3.1 普通混凝土的组成材料	42
3.1.1 水泥	43
3.1.2 骨料	43
3.1.3 水	49
3.1.4 外加剂	50
3.1.5 掺和料	54
3.2 混凝土拌和物的主要性能	56
3.2.1 和易性	56

3.2.2 凝结时间	60	3.6.2 路面水泥混凝土配合比设计 步骤	80
3.3 硬化混凝土主要性能	61	3.7 粉煤灰混凝土配合比设计	84
3.3.1 混凝土的强度	61	3.7.1 等量取代法配合比设计	84
3.3.2 混凝土的变形	67	3.7.2 超量取代法配合比设计	85
3.3.3 混凝土的耐久性	70	3.7.3 外加法配合比设计	85
3.4 普通混凝土的质量控制与评定	72	3.8 有特殊要求的混凝土的配合比设计	85
3.4.1 混凝土的质量控制	72	3.8.1 抗渗混凝土配合比设计的相关 规定	85
3.4.2 混凝土的质量评定	73	3.8.2 抗冻混凝土配合比设计的相关 规定	86
3.5 普通水泥混凝土配合比设计	75	3.8.3 泵送混凝土配合比设计的相关 规定	86
3.5.1 普通水泥混凝土配合比设计的基本 要求	75	3.9 其他混凝土	87
3.5.2 普通水泥混凝土配合比设计的基本 参数	75	3.9.1 高性能混凝土	87
3.5.3 普通水泥混凝土配合比设计的算料 基准	75	3.9.2 轻骨料混凝土	88
3.5.4 普通水泥混凝土配合比设计 步骤	76	3.9.3 纤维混凝土	89
3.5.5 普通水泥混凝土配合比设计 实例	78	3.9.4 聚合物混凝土	89
3.6 路面水泥混凝土配合比设计	80	3.9.5 泵送混凝土	90
3.6.1 路面水泥混凝土配合比设计的基本 要求	80	3.9.6 喷射混凝土	91
		复习思考题	91
		开放讨论	93

第4章 砂浆

4.1 砂浆的组成材料	94	4.4 抹面砂浆	99
4.1.1 胶凝材料	94	4.4.1 普通抹面砂浆	100
4.1.2 细骨料	94	4.4.2 装饰砂浆	100
4.1.3 水	95	4.5 其他砂浆	101
4.1.4 掺加料	95	4.5.1 防水砂浆	101
4.1.5 外加剂	95	4.5.2 绝热砂浆	102
4.2 砂浆的主要技术性质	95	4.5.3 吸声砂浆	102
4.2.1 新拌砂浆的和易性	95	4.5.4 耐酸砂浆	102
4.2.2 硬化砂浆的主要性能	96	4.5.5 自流平砂浆	102
4.3 砌筑砂浆	97	4.5.6 干拌砂浆	102
4.3.1 砌筑砂浆配合比设计	97	复习思考题	102
4.3.2 砌筑砂浆配合比设计实例	98	开放讨论	103

第5章 砌筑材料

5.1 砌墙砖	104	5.3 砌筑石材	119
5.1.1 烧结砖	104	5.3.1 岩石的分类	120
5.1.2 非烧结砖	111	5.3.2 天然石材的主要技术性质	120
5.2 砌块	115	5.3.3 用于砌筑的石材	121
5.2.1 普通混凝土小型空心砌块	115	复习思考题	122
5.2.2 轻骨料混凝土小型空心砌块	116	开放讨论	122
5.2.3 蒸压加气混凝土砌块	118		

第 6 章 土木工程用钢材	123
6.1 钢的冶炼与分类	123
6.1.1 钢的冶炼	123
6.1.2 钢的分类	124
6.2 钢的晶体组织和化学成分	125
6.2.1 钢的晶体组织	125
6.2.2 钢的化学成分	126
6.3 钢材的主要技术性能	126
6.3.1 力学性能	126
6.3.2 工艺性能	129
6.4 钢材的冷加工与热处理	130
6.4.1 冷加工强化	130
6.4.2 时效处理	131
6.4.3 热处理	131
6.5 土木工程用钢种类与选用	132
6.5.1 土木工程用钢主要钢种	132
6.5.2 混凝土结构用钢材	136
6.5.3 钢结构用钢材	142
6.6 钢材的防护	143
6.6.1 钢材的防火	143
6.6.2 钢材的防腐蚀	144
复习思考题	145
开放讨论	145
第 7 章 沥青及沥青混合料	146
7.1 沥青材料	146
7.1.1 石油沥青的组分与结构	146
7.1.2 石油沥青的主要技术性质	147
7.1.3 石油沥青的技术标准	150
7.1.4 石油沥青的选用	151
7.1.5 石油沥青的改性	154
7.1.6 煤沥青	154
7.2 沥青混合料	155
7.2.1 沥青混合料的分类	155
7.2.2 沥青混合料的组成材料	156
7.2.3 沥青混合料的组成结构	159
7.2.4 沥青混合料的强度	160
7.2.5 沥青混合料的技术性质	161
7.2.6 沥青混合料技术指标及技术标准	163
7.2.7 热拌沥青混合料配合比设计	166
复习思考题	177
开放讨论	177
第 8 章 木材	178
8.1 木材的分类与构造	178
8.1.1 木材的分类	178
8.1.2 木材的构造	178
8.2 木材的主要物理和力学性质	180
8.2.1 含水量	180
8.2.2 湿胀与干缩	181
8.2.3 木材的强度	181
8.3 木材的防护	184
8.3.1 木材的干燥	184
8.3.2 木材的防腐	184
8.3.3 木材的防火	185
8.4 木材的应用	185
8.4.1 木材的初级产品	185
8.4.2 人造板材	185
8.4.3 木地板	186
复习思考题	186
开放讨论	186
第 9 章 合成高分子材料	187
9.1 高分子材料基础知识	187
9.1.1 高分子化合物的分类	187
9.1.2 高分子材料的性能特点	188
9.2 高分子材料在土木工程中的应用	189
9.2.1 塑料	189
9.2.2 胶黏剂	191
9.2.3 涂料	192
复习思考题	193
开放讨论	193
第 10 章 建筑功能材料	194
10.1 防水材料	194
10.1.1 防水卷材	194
10.1.2 防水涂料	199
10.1.3 密封材料	200

10.1.4 刚性防水材料	200	10.4 装饰材料	204
10.2 绝热材料	200	10.4.1 装饰材料的基本要求	204
10.2.1 绝热材料的绝热机理	200	10.4.2 装饰材料的分类	205
10.2.2 绝热材料的性能	201	10.4.3 装饰材料的选用原则	205
10.2.3 常用绝热材料	202	10.4.4 常用装饰材料	206
10.3 吸声与隔声材料	203	复习思考题	210
10.3.1 吸声材料	203	开放讨论	210
10.3.2 隔声材料	204		
第 11 章 土木工程材料试验	211		
试验 1 材料基本物理性质试验	211	1. 参照的标准	225
1. 试验目的	211	2. 混凝土拌和物拌制方法	225
2. 参照的标准	211	3. 稠度试验 (坍落度与坍落扩展度 法)	226
3. 主要试验设备	211	4. 稠度试验 (维勃稠度法)	227
4. 试样及其制备	211	5. 混凝土立方体抗压强度试验	228
5. 试验步骤	211	6. 混凝土劈裂抗拉强度试验	229
6. 结果计算	212	7. 混凝土抗折强度试验	230
试验 2 水泥试验	212	试验 5 建筑砂浆试验	231
1. 试验目的	212	1. 参照的标准	231
2. 参照的标准	213	2. 取样及试样制备	231
3. 一般规定	213	3. 稠度试验	232
4. 水泥细度检验	213	4. 分层度试验	232
5. 水泥标准稠度用水量测定 (标准 法)	214	5. 立方体抗压强度试验	233
6. 水泥标准稠度用水量测定 (代用 法)	215	试验 6 钢筋试验	234
7. 凝结时间的测定	215	1. 参照的标准	234
8. 安定性的测定 (标准法)	216	2. 一般规定	234
9. 安定性的测定 (代用法)	217	3. 拉伸试验	235
10. 水泥胶砂强度检验	217	4. 冷弯试验	236
试验 3 骨料试验	219	试验 7 沥青试验	236
1. 参照的标准	219	1. 参照的标准	236
2. 取样与缩分方法	219	2. 取样方法	236
3. 砂的筛分析试验	220	3. 试样制备	236
4. 砂的表观密度试验	221	4. 沥青针入度试验	237
5. 砂的堆积密度试验	222	5. 沥青延度试验	238
6. 砂的含水率试验	222	6. 沥青软化点试验 (环球法)	239
7. 碎石或卵石的筛分析试验	223	试验 8 沥青混合料试验	240
8. 碎石或卵石的表观密度试验	223	1. 参照的标准	240
9. 碎石或卵石的堆积密度试验	224	2. 试验目的	240
10. 碎石或卵石的含水率试验	225	3. 试件制备	240
试验 4 普通混凝土试验	225	4. 沥青混合料物理指标测定及计算	242
		5. 沥青混合料马歇尔稳定度试验	244
参考文献	246		

绪 论

0.1 土木工程与土木工程材料

土木工程泛指建筑工程、道路桥梁工程、水利工程等建设性工程。在我国现代化建设中，土木工程占有极为重要的位置。土木工程材料是指土木工程中使用的各种材料及制品。土木工程材料是土木工程建设中不可缺少的原材料，是一切土木工程的物质基础。

土木工程材料品种繁多，性能各异，价格相差悬殊，而且用量巨大，因此，正确选择和合理使用土木工程材料，对土木工程的安全、适用、美观、耐久及经济都有着重大的意义。

土木工程对土木工程材料的基本要求是，必须具备足够的强度，能够安全地承受设计荷载；自身的质量（表观密度）以轻为宜，以减少下部结构和地基的负荷；具有与使用环境相适应的耐久性，以便减少维修费用；用于装饰的材料应能美化建筑，产生一定的艺术效果；用于特殊部位的材料，应具有相应的特殊功能。同时，土木工程材料在生产过程中应尽可能节约资源和能源，实现可持续发展。

材料、结构、施工是土木工程建设得以实现的物质技术条件，三者密切相关，缺一不可。从根本上说，材料是基础，是决定结构形式和施工方法的主要因素。新材料的出现，会促使结构设计方法的改进和施工技术的革新，如钢材和水泥的大量应用，使混凝土结构成为土木工程的主导结构，同时，混凝土结构的设计理论和施工技术应运而生，并日趋完善。

0.2 土木工程材料分类

土木工程材料可按不同原则进行分类。根据材料来源，分为天然材料和人工材料；根据材料功能，分为结构材料、非结构材料和功能材料；根据材料的化学成分，分为无机材料、有机材料和复合材料，见表 0.1。

表 0.1 土木工程材料按化学成分分类

无机材料	金属材料	黑色金属材料——钢、铁等 有色金属材料——铝、铜、铝合金等
	非金属材料	天然石材——砂、石、石材制品等 烧土制品——砖、瓦、玻璃、陶瓷等 胶凝材料——石灰、石膏、水玻璃、水泥等 混凝土及硅酸盐制品——混凝土、砂浆、硅酸盐制品等
有机材料	植物材料——木材、竹材等 沥青材料——石油沥青、煤沥青、沥青制品等 高分子材料——塑料、涂料、胶黏剂、橡胶等	
复合材料	金属材料与无机非金属材料复合材料——钢筋混凝土、钢纤维混凝土等 金属材料与有机材料复合材料——轻质金属夹芯板等 非金属材料与有机材料复合材料——沥青混凝土、聚合物混凝土等	

0.3 土木工程材料发展

土木工程材料是伴随着人类社会的进步和社会生产力的发展而逐步发展起来的。经历了从无到有，从天然材料到人工材料，从手工业生产到工业化生产等几个阶段。

人类最早穴居巢处，随着社会生产力的发展，人类进入能制造简单工具的石器、铁器时代，便开始挖土、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。随着对火的认识和利用，人类开始用黏土烧制砖、瓦，用岩石烧制石灰、石膏，在我国秦汉时期，砖瓦已经成为主要的土木工程材料，故有“秦砖汉瓦”之称。同时，这也意味着土木工程材料由天然材料进入了人工生产阶段，为较大规模建造土木工程创造了条件。

18~19 世纪，资本主义兴起，工商业、交通运输业等各行各业蓬勃发展，以此为契机，土木工程材料进入了一个新的发展阶段。钢材、水泥、混凝土等的相继问世，一方面打破了传统材料的某些限制，使建筑向高层、大跨度发展有了可能；另一方面，新材料的性能远远优于传统材料，使土木工程更加坚固、耐久。这是土木工程材料发展史上的一次大革命，为现代土木工程建设奠定了良好的基础。

进入 20 世纪以后，土木工程材料不仅性能和质量不断改善，而且品种也在不断增加，先后出现了一大批具有特殊功能的新型土木工程材料，如绝热材料、吸声隔声材料、防水材料、装饰材料等，这些材料的出现，使建筑物的功能和外观发生了根本性的变化。

21 世纪土木工程材料将向着轻质高强、耐久性、功能性、智能化的高性能材料和环保型绿色材料的方向发展。

0.4 土木工程材料标准化

为保证土木工程材料的质量，世界各国均采用标准化管理，即通过制定相关的标准来规范土木工程材料的生产及使用。土木工程材料的标准，既是企业生产产品的技术依据，也是供需双方对产品质量进行验收的重要依据。

我国的标准分为国家标准、行业（或部级）标准、地方标准和企业标准四级，各级标准分别由相应的标准化管理部门批准并颁布。

国家标准是由国家标准局发布的全国性的指导技术文件。国家标准有强制性标准（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标准，产品的技术指标不得低于标准中规定的要求。推荐性标准在执行时也可采用其他相关标准的规定。

行业标准也是全国性的指导技术文件，是各行业（或主管部门）为了规范本行业的产品而制定的技术标准，由主管生产部门发布，如建材行业标准（代号 JC）、建工行业标准（代号 JG）、交通行业标准（代号 JT）等。

地方标准是地方主管部门发布的地方性指导技术文件（代号 DB），适于在该地区使用，且所制定的技术要求应高于类似（或相关）产品的国家标准。

企业标准是由企业制定发布的指导本企业生产的技术文件（代号 QB），仅适用于本企业。凡没有制定国家标准、部级标准的产品，均应制定企业标准。而企业标准所制定的技术要求应高于类似（或相关）产品的国家标准。

我国的技术标准全称由标准名称、部门代号、编号和批准年份等组成。例如,国家 2007 年颁布的 175 号国家强制性标准为《通用硅酸盐水泥》(GB 175—2007), 建设部 2006 年颁布的 52 号行业标准为《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》(JGJ 52—2006), 等等。

世界各国均有自己的标准, 如美国的“ASTM”标准、德国的“DIN”标准、英国的“BS”标准、日本的“JIS”标准等。另外, 还有在世界范围统一使用的“ISO”国际标准。

0.5 本课程的性质和任务

“土木工程材料”是土木工程类专业的专业基础课。学生学习的重点在于了解常用土木工程材料的性质及其应用。在本课程学习过程中, 应注意了解事物的本质和内在联系。首先, 学习某一种材料的性质时, 不能只满足于知道该材料具有哪些性质, 有哪些表象, 更重要的是应当知道形成这些性质的内在原因以及这些性质之间的相互关系。其次, 对于同一类属的不同品种的材料, 不但要了解它们的共性, 还要了解它们的个性以及具备这些性质的原因。另外, 材料的性质不是固定不变的, 在运输、储存及使用过程中, 它们的性质都会发生不同程度的变化, 为此, 应了解材料性质变化的内在和外在原因, 掌握变化规律, 采取相应的应对措施。在充分了解材料的性质的基础上, 重点掌握常用材料的合理应用, 对于一些需要配制的材料, 如混凝土, 应掌握材料的配合设计原理及方法。

试验课是本课程的重要教学环节。试验课的目的是验证基本理论, 学习试验方法, 培养科学研究能力和严谨的科学态度。试验过程中, 应严肃认真, 规范操作; 试验结束后, 应对试验结果做出正确的分析和判断。

第 1 章 土木工程材料的基本性质

【学习要点】

1. 了解土木工程材料的组成、结构和构造及其与材料基本性质之间的关系。
2. 掌握土木工程材料的基本物理性质。
3. 掌握土木工程材料的基本力学性质。
4. 了解土木工程材料的耐久性。

土木工程材料是构成土木工程的物质基础。所有的建筑物、桥梁、道路都是由各种不同的材料经设计、施工建造而成的。这些材料所处的环境和部位不同，所起的作用也各不相同，为此要求材料必须具备相应的基本性质。例如，用作受力构件的结构材料，要承受各种力的作用，因此必须具有良好的力学性能；墙体材料应具有绝热、隔声等性能；屋面材料应具有防水等性能；路面材料应具有防滑、耐磨损等性能等。另外，由于土木工程在长期的使用过程中，经常要受到风吹、雨淋、日晒、冰冻和周围各种有害介质的侵蚀，故还要求材料具有良好的耐久性能。

可见，材料的应用与其所具有的性质密切相关，为了在工程设计与施工中正确选择和合理使用材料，应该熟悉和掌握各种材料的基本性质。

1.1 材料的组成、结构和构造

根据材料科学的基本理论，材料的组成、结构和构造是决定材料性质的基本因素。

1.1.1 材料的组成

1.1.1.1 化学组成

化学组成是指材料的化学成分，即指构成材料的化学元素及化合物的种类和数量。不同种类材料的化学组成的表示方法不同。无机非金属材料的化学组成常用各种氧化物的含量来表示，如石灰的主要化学成分是 CaO ；金属材料的化学组成常以化学元素的含量来表示，如不同的碳素钢碳元素含量不同；合成高分子材料的化学成分常以其链节重复形式表示，如聚乙烯的链节是 C_2H_4 ，等等。

土木工程材料的很多性质都与其化学组成有关，如木材的燃烧，钢材的腐蚀，高分子材料的老化等，即这些材料与环境中的物质接触时，按化学变化规律发生作用。

1.1.1.2 矿物组成

材料中具有特定的晶体结构和特定物理力学性能的组织结构称为矿物。矿物组成是指构成材料的矿物种类和数量。天然石材、无机胶凝材料等的矿物组成是决定其性质的重要因素。例如，硅酸盐水泥中，熟料矿物硅酸三钙含量高，则硬化速度较快，强度较高。

1.1.1.3 相组成

材料中结构相近、性质相同的均匀部分称为相。相组成是指构成材料的相的种类和数量。同一种材料可由多相物质组成,例如,钢中有铁素体、渗碳体和珠光体三相,它们的比例不同,钢的强度和塑性将发生变化。复合材料是宏观层次上的多相组成材料,如混凝土等。

1.1.2 材料的结构

1.1.2.1 宏观结构

宏观结构是指用肉眼或放大镜能够分辨的粗大组织。材料宏观结构主要有密实结构、多孔结构、纤维结构、层状结构、散粒结构和纹理结构。

(1) 密实结构 密实结构的材料内部基本上无孔隙,结构致密。这类材料的特点是吸水性小,抗渗性较好,强度较高,如钢材、天然石材等。

(2) 多孔结构 多孔结构的材料内部存在大体上呈均匀分布的、独立或部分连通的孔隙,孔隙率较高,孔隙有大孔和微孔之分。这类材料质轻,吸水率较高,抗渗性较差,强度较低,但绝热性较好,如石膏制品、加气混凝土、烧结普通砖等。

(3) 纤维结构 纤维结构的材料由纤维状物质构成,其内部组成具有方向性,纵向较紧密而横向较疏松,纤维之间存在相当多的孔隙。这类材料的性质具有明显的方向性,一般平行纤维方向的强度较高,导热性较好,如木材、玻璃纤维、矿棉等。

(4) 层状结构 层状结构的材料具有叠合结构,即胶结料将不同的片状材料胶合成整体,各层材料性质不同,但叠合后材料的综合性能较好,从而扩大了材料的适用范围,如胶合板、纸面石膏板等。

(5) 散粒结构 散粒结构是指呈松散颗粒状的材料。砂子、石子等密实颗粒,常用于做混凝土骨料;陶粒、膨胀珍珠岩等轻质多孔颗粒,常用于做绝热材料。

(6) 纹理结构 纹理结构是指天然材料在生长或形成过程中,自然形成有天然纹理的结构,如木材、大理石、花岗石等;或人工制造材料时特意造成的纹理,如人造石材、瓷砖等。不同的纹理结构装饰效果不同。

1.1.2.2 细观结构

细观结构是指在光学显微镜下能观察到的结构。土木工程材料的细观结构,应根据具体材料分类研究。对于水泥混凝土,通常是研究水泥石的孔隙结构及界面特性等结构;对于金属材料,通常是研究其金相组织,即晶界及晶粒尺寸等;对于木材,通常是研究木纤维、管胞、髓线等组织的结构。材料在细观结构层次上的差异对材料的性能有着显著的影响。例如,混凝土中毛细孔的数量、大小等显著影响混凝土的强度和抗渗性;钢材的晶粒尺寸越小,钢材的强度越高。

1.1.2.3 微观结构

微观结构是指用电子显微镜或X射线来分析研究的原子、分子层次的结构。按微观结构材料可分为晶体、玻璃体和胶体。

(1) 晶体 质点(离子、原子、分子)在空间上按特定的规则呈周期性排列的固体称为晶体。晶体具有特定的几何形状和固定的熔点,且具有化学稳定性。根据组成晶体的质点及化学键的不同,晶体可分为原子晶体、金属晶体、离子晶体和分子晶体。

① 原子晶体:中性原子以共价键结合而成的晶体,如石英。

② 金属晶体:金属阳离子排列成一定形式的晶格,由自由电子与金属阳离子间的金属键结合而成的晶体,如钢铁材料。

③ 离子晶体：正负离子以离子键结合而成的晶体，如 NaCl。

④ 分子晶体：以分子间的范德华力即分子键结合而成的晶体，如有机化合物。

晶体质点间结合键的特性决定着晶体材料的特性。从键的结合力来看，共价键和离子键最强，金属键较强，分子键最弱。如纤维状矿物材料，纤维与纤维间的分子键结合力要比纤维内链状结构方向上的共价键结合力弱得多，所以这类材料容易分散成纤维；层状结构材料的层与层之间是范德华力，结合力较弱，故这类材料容易被剥离成薄片；岛状结构材料如石英，硅氧原子以共价键结合成四面体，四面体在三维空间形成立体空间网架结构，该结构强度较大，因此，这类材料具有坚硬的质地。

(2) 玻璃体 玻璃体是熔融的物质经急冷而形成的无定形体。由于冷却速度较快，质点来不及按一定规律进行排列就已经凝固成固体。玻璃体是非晶体，质点排列无规律（图 1.1），因而玻璃体没有固定的几何形状，具有各向同性。玻璃体没有固定的熔点，加热时会出现软化。

在急冷过程中，质点来不及做定向排列，故未达到能量最低位置，质点间的能量以内能的形式储存起来。因而，玻璃体具有化学不稳定性，即具有潜在的化学活性，在一定条件下容易与其他物质发生化学反应。粉煤灰、火山灰、粒化高炉矿渣等都含有大量玻璃体成分，这些成分赋予它们潜在的活性。

(3) 胶体 胶体是指以粒径为 $10^{-10} \sim 10^{-7} \text{m}$ 的固体颗粒作为分散相（称为胶粒），分散在连续相介质中，形成的分散体系。在胶体结构中，若胶粒较少，则胶粒悬浮、分散在

连续相介质中，此时连续相介质的性质对胶体的性质影响较大，这种胶体结构称为溶胶结构。若胶粒数量较多，则胶粒在表面能作用下发生凝聚，彼此相连形成空间网络结构，从而胶体强度增大，变形减少，形成固体或半固体状态，这种胶体结构称为凝胶结构。介于两者之间的是溶胶-凝胶结构。

胶体的分散相（胶粒）很小，比表面积很大。因而胶体表面能大，吸附能力很强，质点间具有很强的黏结力。如硅酸盐水泥水化形成的水化产物中的凝胶将砂和石黏结成整体，形成人工石材。凝胶结构具有固体性质，但在长期应力作用下会具有黏性液体的流动性质。这是由于胶粒表面有一层吸附膜，膜层越厚，流动性越大。如混凝土中含有大量水泥水化时形成的凝胶体，混凝土在应力作用下具有类似液体的流动性质，会产生不可恢复的塑性变形。

与晶体及玻璃体结构相比，胶体结构的强度低、变形能力大。

1.1.3 材料的构造

材料的构造是指具有特定性质的材料结构单元间的互相组合搭配情况。构造与结构相比，更强调相同材料或不同材料间的搭配组合关系。如某材料从结构上来说是多孔的，但如果孔隙是开口、细微且连通的，则材料易吸水、吸湿，耐久性差；如果孔隙是封闭的，其吸水性会大大下降，抗渗性提高。又如某墙板是由具有不同性质的材料经一定组合搭配而成的一种复合墙板，各材料间合理的组合搭配将赋予墙板良好的绝热、隔声、防水、坚固耐用等性能。

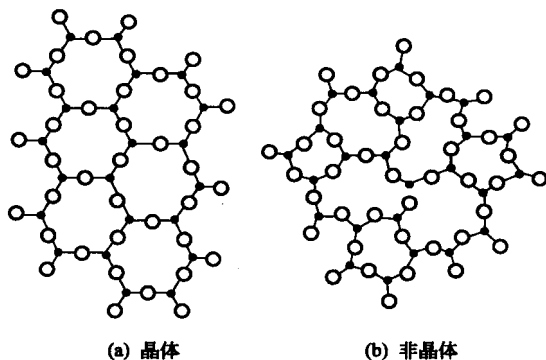


图 1.1 晶体与非晶体的原子排列示意图

1.2 材料的基本物理性质

1.2.1 密度、表观密度与堆积密度

1.2.1.1 密度

密度是指材料在绝对密实状态下单位体积的质量，按下式计算：

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

式中， ρ 为密度， g/cm^3 ； m 为材料的质量， g ； V 为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孔隙在内的体积。除了钢材、玻璃等少数材料外，绝大多数材料都有一些孔隙。测定有孔隙材料的密度时，应将材料磨成细粉，干燥后，用李氏瓶测定其体积。砖、石等都用这种方法测定其密度。材料磨得越细，测得的数值就越准确。

1.2.1.2 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。按下式计算：

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

式中， ρ_0 为表观密度， g/cm^3 或 kg/m^3 ； m 为材料的质量， g 或 kg ； V_0 为材料在自然状态下的体积，或称表观体积， cm^3 或 m^3 。

表观体积是指包含内部孔隙的体积。土木工程中用的粉状材料，如水泥等，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其密度值可视为相等。砂、石等骨料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（在混凝土拌和物中，这部分孔隙被水占据）和颗粒间隙，计算结果称为视密度或近似密度。块状材料采用几何外形计算体积或用静水天平置换法求体积，包括材料全部体积即实体体积与所含全部孔隙体积之和，计算结果称为体积密度。

当材料内部孔隙含水时，其质量和体积均将变化，故测定材料的表观密度时，应注意其含水情况。一般情况下，表观密度是指气干状态下的表观密度；而在烘干状态下的表观密度，称为干表观密度。

1.2.1.3 堆积密度

堆积密度是指散粒状材料（如粉状、颗粒状材料等）在堆积状态下单位体积的质量，按下式计算：

$$\rho'_0 = \frac{m}{V'_0}$$

式中， ρ'_0 为堆积密度， kg/m^3 ； m 为材料的质量， kg ； V'_0 为材料的堆积体积， m^3 。

测定散粒状材料的堆积密度时，材料的质量是指填充在一定容器内的材料质量，其堆积体积是指所用容器的容积，因此，材料的堆积体积包括了颗粒之间的空隙。

常用土木工程材料的密度、表观密度与堆积密度见表 1.1。

表 1.1 常用土木工程材料的密度、表观密度与堆积密度

材 料	密度/(g/cm ³)	表观密度/(kg/m ³)	堆积密度/(kg/m ³)
石灰岩	2.60	1800~2600	—
花岗岩	2.60~2.80	2500~2900	—
碎石(石灰岩)	2.60	1800~2600	1400~1700
砂	2.60	1800~2900	1450~1650
黏土	2.60	—	1600~1800
普通黏土砖	2.50~2.80	1600~1800	—
黏土空心砖	2.50	1000~1400	—
水泥	3.10	—	1200~1300
普通混凝土	—	2100~2600	—
钢材	7.85	7850	—
木材	1.55	400~800	—
泡沫塑料	—	20~50	—

1.2.2 密实度与孔隙率

1.2.2.1 密实度

密实度是指材料体积内被固体物质充实的程度，按下式计算：

$$D = \frac{V}{V_0} \times 100\% = \frac{\rho_0}{\rho} \times 100\%$$

1.2.2.2 孔隙率

孔隙率是指材料体积内孔隙体积所占的比例。按下式计算：

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

显然， $D + P = 1$ 。

材料的孔隙率或密实度反映了材料的密实程度。材料的孔隙率高，则表示密实程度小。

大多数土木工程材料内部都含有孔隙，这些孔隙会对材料的性能产生不同程度的影响。通常认为，孔隙对材料性能的影响，一方面是孔隙的多少，另一方面是孔隙的特征。孔隙的多少用孔隙率表示，孔隙的特征是指孔隙的大小、形状、分布、连通与否等孔隙构造方面的特征。按孔隙尺寸大小，可把孔隙分为微孔、细孔和大孔；按孔隙之间是否相互贯通，把孔隙分为互相隔开的孤立孔和互相贯通的连通孔；按孔隙与外界之间是否连通，把孔隙分为与外界相连通的开口孔隙（简称开孔）和与外界不连通的封闭孔隙（简称闭孔）。

在一般浸水条件下，连通的开口孔隙能吸水饱和，故此种孔隙能提高材料的吸水性、透水性、吸声性，并降低材料的抗冻性；孤立的闭口孔隙能提高材料的绝热性能和耐久性。

1.2.3 填充率与空隙率

1.2.3.1 填充率

填充率是指散粒状材料在自然堆积状态下，颗粒体积占自然堆积状态下体积的百分率。按下式计算：

$$D' = \frac{V_0}{V_0'} \times 100\% = \frac{\rho_0'}{\rho_0} \times 100\%$$

1.2.3.2 空隙率

空隙率是指散粒状材料在自然堆积状态下，颗粒之间的空隙占自然堆积状态下体积的百分率。按下式计算：

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

显然， $D' + P' = 1$ 。