

普通高等教育规划教材

土木工程材料

蔡丽朋 赵磊 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

蔡丽朋 赵磊 主编

赵红玲 黄家骏 副主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书是根据高等学校土木工程专业的培养目标和教学要求,为适应土木工程专业应用型人才培养需求而编写的教材。本书叙述了常用土木工程材料的成分、生产工艺、性质、应用、试验方法等基本理论和基本知识,介绍了土木工程材料的新技术和发展方向。全书共12章,具体内容包括土木工程材料的基本性质、胶凝材料、混凝土、砂浆、墙体材料、沥青及沥青混合料、金属材料、合成高分子材料、木材、功能材料以及土木工程材料试验。全书采用最新的规范、标准编写,并附有复习思考题。

本书为高等学校土木工程、道路桥梁工程、水利工程、给水排水工程、建筑学等土木建筑类专业的教材,也可供土木工程设计、施工、工程管理、科研和监理人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程材料/蔡丽朋,赵磊主编. —北京:化学工业出版社,2011.7

普通高等教育规划教材

ISBN 978-7-122-11168-5

I. 土… II. ①蔡…②赵… 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076166号

责任编辑:王文峡
责任校对:边涛

文字编辑:张赛
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:三河市延风印装厂
787mm×1092mm 1/16 印张16 $\frac{3}{4}$ 字数414千字 2011年7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:30.00元

版权所有 违者必究

前 言

随着国家基本建设的快速发展，土木工程行业已成为国民经济的支柱行业之一，土木工程行业对实用型人才的需求也逐年剧增。本书根据宽口径土木工程专业的培养目标和教学要求，以适应土木工程专业应用型人才培养需求而编写，主要内容包括土木工程材料的基本性质、胶凝材料、混凝土、砂浆、墙体材料、沥青及沥青混合料、金属材料、合成高分子材料、木材、功能材料以及土木工程材料试验。

本书由一批长期在教学一线并具有多年丰富教学经验和工程实践经验的教师编写。在内容编排上，强调应用型人才的培养，力求贯彻理论联系实际和少而精的原则；编写时深入浅出，言简意赅，图文并茂，结合工程实践对专业理论进行阐述，以利于学生的学习和学以致用；采用我国最新修订的新规范、新标准和新规程编写，力求反映当前最先进的土木工程材料知识和技术；贯彻可持续发展的理念，有代表性地介绍了土木工程材料的新理论、新技术、新方法和发展方向，突出了土木工程材料与节约能源、环境保护、可持续发展的关系。章之后附有复习思考题，便于复习和巩固相应的内容，也可供教学选择、参考。

本书由蔡丽朋、赵磊担任主编，赵红玲、黄家骏担任副主编。具体编写分工如下：蔡丽朋（第一、四、五章）、赵磊（第十、十一章）、赵红玲（第三、六、八章）、黄家骏（第七、十二章）、杨萃娜（第二、九章）。

由于土木工程材料品种繁多，新材料、新品种不断涌现，再加上编者水平有限，时间仓促，书中难免有疏漏、不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编者

2011 年 5 月

目 录

第一章 绪论	1	趋势	2
一、土木工程材料的分类	1	四、土木工程材料的技术标准	3
二、土木工程材料在土木建筑工程中的 作用和重要性	1	五、本课程的主要内容及学习方法	4
三、土木工程材料的发展现状及未来发展			
第二章 土木工程材料的基本性质	6		
第一节 材料的组成、结构及构造	6	第三节 材料的力学性质	16
一、材料的组成	6	一、强度	16
二、材料的结构	7	二、弹性与塑性	18
三、材料的构造	9	三、脆性与韧性	18
第二节 材料的基本物理性质	9	四、硬度与耐磨性	19
一、密度、表观密度与堆积密度	9	第四节 材料的耐久性与环境协调性	19
二、孔隙率与密实度、空隙率与填充率 ..	10	一、耐久性	19
三、材料与水有关的性质	11	二、环境协调性	20
四、材料的热工性能	14		
第三章 胶凝材料	21		
第一节 气硬性胶凝材料	21	第三节 特性水泥和专用水泥	40
一、石灰	21	一、快硬硅酸盐水泥	40
二、石膏	24	二、铝酸盐水泥	40
三、水玻璃	27	三、白色和彩色硅酸盐水泥	41
第二节 通用硅酸盐水泥	28	四、道路硅酸盐水泥	41
一、硅酸盐水泥	29	五、抗硫酸盐硅酸盐水泥	42
二、其他通用硅酸盐水泥	36	六、砌筑水泥	42
三、通用硅酸盐水泥的选用	39	七、膨胀水泥和自应力水泥	42
四、水泥的储存和运输	39		
第四章 混凝土	44		
第一节 概述	44	二、混凝土的强度	62
一、混凝土的分类	44	三、混凝土的变形性能	66
二、混凝土材料的特点	45	四、混凝土的耐久性	69
第二节 混凝土的组成材料	45	第四节 混凝土的质量控制与强度评定	72
一、水泥	46	一、混凝土的质量控制	72
二、细骨料	46	二、混凝土的强度评定	72
三、粗骨料	49	第五节 混凝土配合比设计	76
四、水	52	一、混凝土配合比设计的基本知识	76
五、外加剂	53	二、混凝土配合比设计前的资料准备	77
六、矿物掺合料	55	三、混凝土配合比设计的步骤和方法	77
第三节 混凝土的主要技术性能	57	四、混凝土配合比设计实例	81
一、混凝土拌合物的和易性	57	第六节 其他混凝土	84

一、轻混凝土	84	六、耐热混凝土	90
二、泵送混凝土	87	七、聚合物混凝土	91
三、高强混凝土	88	八、纤维混凝土	92
四、高性能混凝土	89	九、防辐射混凝土	92
五、抗渗混凝土	90		
第五章 砂浆	94		
第一节 砂浆的组成材料和技术性质	94	二、装饰砂浆	102
一、砂浆的组成材料	94	第四节 其他种类砂浆	104
二、砂浆的技术性质	95	一、干混砂浆	104
第二节 砌筑砂浆及其配合比设计	97	二、防水砂浆	104
一、常用砌筑砂浆的种类	97	三、绝热砂浆	104
二、砌筑砂浆配合比设计	98	四、吸声砂浆	104
三、砌筑砂浆配合比设计实例	100	五、防辐射砂浆	105
第三节 抹面砂浆	101	六、聚合物砂浆	105
一、普通抹面砂浆	101		
第六章 墙体材料	106		
第一节 砌墙砖	106	三、轻骨(集)料混凝土小型空心	
一、烧结普通砖	106	砌块	114
二、烧结多孔砖和空心砖	109	四、粉煤灰砌块	115
三、非烧结砖	111	五、墙用板材	115
第二节 墙用砌块及板材	112	第三节 砌筑石材	117
一、蒸压加气混凝土砌块	112	一、砌筑石材的分类	117
二、普通混凝土小型空心砌块	113	二、砌筑石材的主要技术性能	118
第七章 沥青及沥青混合料	120		
第一节 沥青材料	120	一、沥青混合料的定义和分类	131
一、石油沥青的组分	120	二、沥青混合料的结构组成	133
二、石油沥青的胶体结构	121	三、沥青混合料的组成材料	136
三、石油沥青的主要技术性质	122	四、影响沥青混合料抗剪强度的因素	137
四、石油沥青的技术要求与选用	126	五、沥青混合料的技术性质	140
五、沥青的掺配、改性及主要制品	129	六、沥青混合料配合比设计	142
第二节 沥青混合料	131		
第八章 金属材料	150		
第一节 钢的基本知识	150	第四节 钢材的标准与选用	158
一、钢的冶炼	150	一、钢材的主要钢种	158
二、钢的分类	150	二、钢筋混凝土用钢材	163
第二节 钢材的主要技术性能	151	三、钢结构用钢材	165
一、力学性能	151	第五节 钢材的防腐与防火	167
二、工艺性能	154	一、钢材的腐蚀	167
三、钢材的化学成分对钢材性能的影响	155	二、钢材的防腐	167
第三节 钢材的冷加工及热处理	156	三、钢材的防火	168
一、钢材的冷加工及时效处理	156	第六节 铝合金材料及其制品	169
二、钢材的热处理	157	一、铝合金的特性及分类	169
第九章 合成高分子材料	171	二、常用铝合金制品	169

第一节 建筑塑料	171	二、涂料的分类	176
一、塑料的基本组成	171	三、常用的土木工程涂料	177
二、塑料的主要特性	172	第三节 胶黏剂	180
三、常用的建筑塑料及制品	173	一、胶黏剂的组成与分类	180
第二节 涂料	175	二、胶黏机理	181
一、涂料的组成	175	三、常用胶黏剂	181
第十章 木材	184	第三节 木材的防腐与防火	189
第一节 木材的分类与构造	184	一、木材的腐朽与防腐	189
一、木材的分类	184	二、木材的防火	190
二、木材的构造	184	第四节 木材的综合利用	191
第二节 木材的主要性质	185	一、木质人造板材	191
一、木材的基本物理性质	185	二、木地板	192
二、木材的含水率	186	三、木装饰线材	193
三、木材的湿胀干缩变形	186	四、旋切微薄木	193
四、木材的强度	187		
五、木材的装饰性	189		
第十一章 功能材料	195	四、绝热材料与建筑节能	206
第一节 防水材料	195	第三节 吸声、隔声材料	207
一、防水卷材	195	一、吸声材料	207
二、防水涂料	199	二、隔声材料	209
三、密封材料	202	第四节 建筑装饰材料	210
四、屋面工程防水等级和防水材料 选用	203	一、建筑装饰石材	210
第二节 绝热材料	204	二、建筑装饰陶瓷	212
一、绝热材料的工作原理	204	三、建筑装饰玻璃	213
二、绝热材料的基本要求	204	四、金属装饰材料	217
三、常用绝热材料	205	五、纤维装饰材料	218
第十二章 土木工程材料试验	222	三、砂的颗粒级配试验	233
试验一 材料基本性质试验	222	四、碎石或卵石的颗粒级配试验	234
一、密度试验	222	五、碎石或卵石的表观密度试验 (标准法)	234
二、表观密度试验	223	试验四 普通混凝土基本性能试验	235
三、堆积密度试验	223	一、采用标准	235
四、材料吸水率试验	224	二、一般规定	236
试验二 水泥性能试验	225	三、混凝土拌合物和易性试验	236
一、采用标准	225	四、混凝土立方体抗压强度试验	238
二、水泥性能试验的一般规定	225	五、混凝土劈裂抗拉强度试验	240
三、水泥细度试验(筛析法)	225	试验五 砂浆性能试验	241
四、水泥标准稠度用水量试验	226	一、采用标准	241
五、水泥净浆凝结时间试验	228	二、试样制备	241
六、水泥安定性试验	229	三、砂浆稠度试验	242
七、水泥胶砂强度试验(ISO法)	230	四、砂浆分层度试验	242
试验三 混凝土用骨料性能试验	232	五、砂浆立方体抗压强度试验	243
一、采用标准	232		
二、材料取样	232		

试验六 石油沥青性能试验	244	实法)	248
一、采用标准	244	三、压实沥青混合料密度试验 (表	
二、取样方法	244	干法)	251
三、取样数量	244	四、沥青混合料马歇尔稳定度试验	253
四、针入度试验	244	试验八 钢筋力学与工艺性能试验	254
五、延度试验	246	一、采用标准	254
六、软化点试验	247	二、取样方法	254
试验七 沥青混合料试验	248	三、钢筋拉伸试验	254
一、采用标准	248	四、钢筋冷弯试验	257
二、沥青混合料试件制作方法 (击			
参考文献	259		

第一章 绪 论

土木工程材料是构成土木工程的各种材料的总称。它包括地基基础、板、梁、柱、墙体、屋面、桥梁、道路、水坝、码头等所用到的各种材料。土木工程材料是土木工程的物质基础，土木工程材料对土木工程的质量、使用功能、使用寿命、工程造价以及土木工程技术进步等都有着重要的影响。因此，掌握土木工程材料的基本知识，在工程中正确选择和合理使用土木工程材料至关重要。

一、土木工程材料的分类

土木工程材料种类繁多，性能差别悬殊，用途也各不相同。为便于学习、记忆和应用，工程中常从不同的角度对土木工程材料进行分类。

（一）按化学成分分类

按化学成分不同，土木工程材料分为无机材料、有机材料和复合材料三大类，如图 1-1 所示。

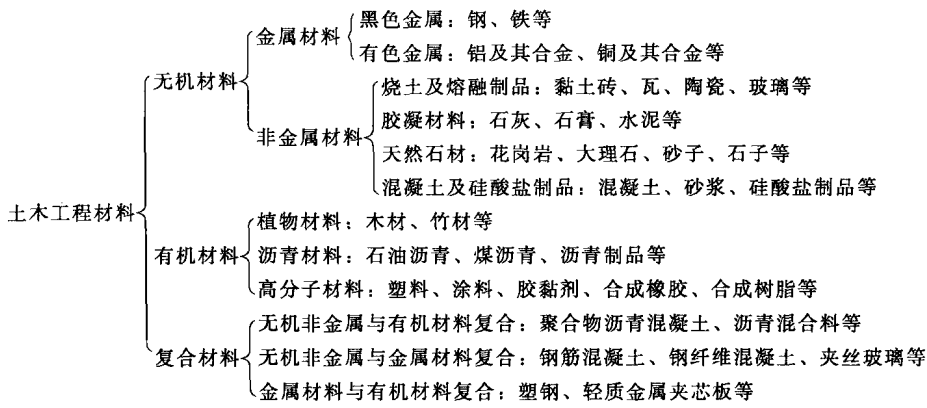


图 1-1 土木工程材料按化学成分分类

（二）按功能和用途分类

按功能和用途的不同，土木工程材料分为结构材料 and 功能材料两大类。

结构材料是指承受荷载作用的材料，如建筑物的梁、板、柱、基础及其他受力构件所用的材料。结构材料是决定土木工程结构的安全与可靠性的关键因素，常用的结构材料主要有钢筋混凝土、钢材、砖、石材等。

功能材料是指担负某些使用功能、非承重用的材料，如满足防水要求使用的防水材料，满足美观要求使用的装饰材料，满足建筑节能要求使用的保温隔热材料，满足建筑隔声要求、改善音响效果使用的吸声材料等。功能材料决定了建筑物的适用性和美观效果。

二、土木工程材料在土木建筑工程中的作用和重要性

土木工程材料是一切土木工程的物质基础，在土木工程中有着举足轻重的作用和地位。

（一）材料对保证土木工程质量、使用功能和使用寿命的作用

土木工程的质量主要取决于材料的质量控制。在材料的选用、生产、储运、保管、使用和检验评定等各个环节中，任何一个环节的失误都有可能导致土木工程的质量缺陷，甚至是重大质量事故。工程实践证明，国内外土木工程的重大质量事故，都与材料的质量缺陷和使用不当有关。同时，土木建筑工程的使用功能和使用寿命在很大程度上是由土木工程材料的性能决定的。如建筑装饰材料的装饰效果、绝热材料的节能效果、钢材的锈蚀、混凝土的劣化、防水材料的老化等问题，这些材料的特性直接影响工程的使用功能和寿命。房屋建筑、水利、道路、桥梁、港口等工程要求能够长期安全地使用，除了正确设计和合理施工外，关键环节是要保证土木工程材料的耐久性。因此，在土木工程建设中要保证工程质量，提高建筑物的使用功能和使用寿命，就必须准确、熟练地掌握土木工程材料的相关知识，正确选择和合理使用土木工程材料。

（二）材料对工程造价的影响

土木工程材料的用量巨大，其经济性直接影响工程造价。在一般土木工程的总造价中，与材料有关的费用通常占工程总造价的 50% 以上。在工程建设过程中，在满足相同的技术指标和质量要求前提下，选用不同的材料对工程的成本影响很大；相同的材料如果储存、运输、保管和使用方法不当，会造成材料的浪费，提高工程的造价。在工程中只有通过合理选择、正确使用、科学管理材料，才能够充分发挥每种材料的长处，提高材料的利用率和节约材料，从而显著降低工程造价。土木工程建设中，工程技术人员通常采用降低材料损耗的方法来控制工程成本。

（三）材料对土木工程技术进步的影响

一个国家、地区土木工程技术的发展水平，都与该地区土木工程材料的发展情况密切相关。土木工程材料与工程设计、结构形式和施工方法之间存在着相互依存、相互促进的密切关系。材料性能的变化是决定土木工程结构形式和施工方法的主要因素，选择性能相适的材料是更好地实现设计意图的前提。新材料的出现可以促使建筑形式的变化、结构形式的改进和施工技术的革新。例如，钢筋和水泥的出现，产生了钢筋混凝土结构；轻质高强材料的出现，推动了现代建筑向高层和大跨度方向发展；各种装饰材料、保温材料等功能材料的广泛应用，把现代建筑物装扮得富丽堂皇，绚丽多彩，且有利于建筑在使用过程中的节约能源。同时，随着社会发展和人民生活水平的提高，人们对土木工程提出各种新的要求，这反过来又将促进土木工程材料的发展。例如建筑节能需要保温隔热材料，高层建筑和大跨度结构需要轻质高强材料，严寒地区的建筑需要高抗冻性材料等。

三、土木工程材料的发展现状及未来发展趋势

随着人类文明和科学技术的不断进步，土木工程材料也在不断发展和更新换代。远古时期，人们利用天然材料建造简陋的房屋；后来，人类能够利用黏土烧制砖、瓦，由天然材料进入到人工生产材料阶段，为较大规模地建造房屋创造了基本条件；18 世纪以后，钢筋、水泥、混凝土、钢筋混凝土等材料相继问世，为现代土木工程奠定了坚实的物质基础；进入 20 世纪后，社会生产力的高速发展和材料科学的形成，使土木工程材料在性能上不断得到改善和提高，而且品种大大增加。目前，水泥混凝土、钢材已经成为不可替代的结构材料，新型陶瓷、玻璃、有机材料及其各种复合材料等在土木工程中占有越来越重要的地位。新的 21 世纪里，土木工程材料日益向着轻质、高强、多功能、节能、利废、绿色环保方向发展，随着人类环保意识的不断加强，人类将用性能更优良的材料来营造自己的“绿色家园”。

土木工程材料构筑了人类的物质文明,极大地改善了人类的生存和生活环境。但是必须清醒地认识到,土木工程材料的大量生产和使用加速了资源、能源的消耗,并严重污染了环境。到目前为止,全球可利用的自然资源和能源已非常有限。为保证源源不断地为工程建设提供质量可靠的材料,减轻材料的生产和使用对生态环境的影响,土木工程材料的发展必须遵循可持续发展的战略方针,大力发展绿色材料。展望未来,土木工程材料将向以下几个方向发展。

1. 高性能、多功能

开发研制轻质高强、高保温性、高耐久性、高防火性、高抗震性等高性能的材料以及大力推广多功能的土木工程材料,如承重材料同时具有保温、隔热、隔声等功能,玻璃可同时起装饰、隔声、吸热、防辐射等作用,对提高土木工程的安全性、舒适性、经济性和使用寿命都有着极其重要的作用。

2. 节约资源和能源

土木工程材料的生产要充分利用工农业废料、再生资源和建筑垃圾等,以节约天然资源和能源,维护生态环境的平衡和社会可持续发展。土木工程材料的生产过程和使用过程应有利于节约能源,要采用低能耗的生产工艺,大力开发和推广使用节能材料,以减少建筑物在使用与维护过程中的能源消耗。

3. 智能化

所谓智能化材料,是指材料本身具有自我诊断、预告破坏和自我修复的功能以及可重复利用性。土木工程材料向智能化方向发展,是人类社会向智能化社会发展过程中降低成本的需要。

4. 绿色环保

土木工程材料应采用清洁、无污染的生产技术,生产出的材料产品应无毒、无污染、不危害人体健康。材料在使用过程中不具有放射性,不能释放甲醛、苯、挥发性有机物、氨气、粉尘等对人体健康有害的物质,而且还要具有抗菌、除臭、防辐射、调温等有益于人体健康的功能。工程拆除后的材料要能再生循环和回收利用,不会对环境造成二次污染。大力发展绿色环保材料是世界各国人民的共同愿望,也是土木工程材料发展亘古不变的趋势。

四、土木工程材料的技术标准

土木工程材料的技术标准是材料产品质量的技术依据。对于材料生产企业,必须按照相关标准生产材料,控制材料的质量。对于材料使用部门,则需要按照标准验收产品。通过按标准合理选用材料,使设计、施工等也相应标准化,从而加快施工速度,降低工程造价。

目前,土木工程材料的技术标准有国家标准、行业标准、地方标准和企业标准,各级标准分别由相应的标准化管理部门批准并颁布。技术标准代号按照标准名称、部门代号、编号和颁发年份的顺序编写。标准按照要求执行的程度分为强制性标准和推荐性标准(在部门代号后加“T”),强制性标准是必须执行的技术指导文件,任何产品的指标均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。

(一) 国家标准

国家标准有强制性标准(代号 GB)和推荐性标准(代号 GB/T)。例如:《通用硅酸盐水泥》GB 175—2007,其中“GB”为国家标准的代号,“175”为标准的编号,“2007”为标准的颁发年份;《混凝土强度检验评定标准》(GB/ T 50107—2010),其中“GB”为国家标准的代号,“T”为推荐性标准,“50107”为标准的编号,“2010”为标准的颁发年份。

（二）行业标准

行业标准有建材行业标准（代号 JC）、建筑工程行业标准（代号 JG）、交通行业标准（代号 JT）、建筑工程行业工程建设标准（代号为 JGJ）等。例如：《混凝土用水标准》（JGJ 63—2006），“JGJ”为建筑工程行业工程建设标准的代号，“63”为标准的编号，“2006”为标准的颁发年份；《建筑砂浆基本性能试验方法》（JGJ/T 70—2009），“JGJ”为建工行业工程建设标准的代号，“T”为推荐性标准，“70”为标准的编号，“2009”为标准的颁发年份。

（三）地方标准和企业标准

地方标准（代号 DBJ）是由地方主管部门发布的地方性技术指导文件，企业标准（代号 QB）仅适用于本企业。凡没有制定国家标准和行业标准的產品，均应制定企业标准。地方标准或企业标准所制定的技术要求应高于国家标准，地方标准和企业标准的表示方法同国家标准。

随着我国对外开放和加入世界贸易组织，还经常能涉及一些与土木工程材料密切相关的国际和国外标准，常用的有国际标准（代号 ISO）、美国材料与试验协会标准（代号 ASTM）、德国标准（代号 DIN）、英国标准（代号 BS）、日本标准（代号 JIS）、法国标准（代号 NF）等。

技术标准是根据一定时期的技术水平制定的，随着科学技术的发展和对材料性能要求的不断提高，需要对标准进行不断地修订，修订标准实施后，旧标准自动作废。如《通用硅酸盐水泥》GB 175—2007 颁发实施后，《硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥》GB 175—1999 自动废除。本书全部按照最新的标准和规范编写。

五、本课程的主要内容及学习方法

“土木工程材料”是高等学校土木工程专业及土木建筑类相关专业的专业基础课，通过本课程的学习，可掌握有关土木工程材料的基本理论、基本知识和基本技能，为房屋构造、施工技术、工程结构、工程预算等后续各专业课程的学习提供土木工程材料的基础知识，并为以后从事工程建设和材料科学研究等工作奠定良好的基础。

根据本课程的特点与要求，本书讲述了常用土木工程材料的成分、生产工艺、性质、应用、试验方法等基本理论和基本知识，介绍了土木工程材料的新技术和发展方向。全书共 12 章，具体内容包括土木工程材料的基本性质、无机胶凝材料、混凝土、砂浆、墙体材料、沥青和沥青混合料、金属材料、合成高分子材料、木材、功能材料以及土木工程材料试验。

土木工程材料的品种繁多、内容庞杂，名词、概念和专业术语多，涉及多个学科和领域，各章内容之间的联系较少。课程内容多为实践规律的总结，以叙述为主，逻辑连贯性不强，在学习时应注意以下几点。

1. 掌握材料的组成、结构和性质之间的关系

材料的组成和结构决定了材料的性质和应用，而掌握土木工程材料的性质和应用是学习的目的，因此要把材料的组成、结构和性质联系起来学习，不能把它们孤立起来死记硬背。应特别注意掌握的是，材料的组成及内部的孔隙数量、孔隙特征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和性质的影响。

2. 运用对比的方法

土木工程材料种类多，每种材料的组成、结构和性质各不相同，在学习过程中，要学会应用对比的方法。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，必要时可列表对比。对比的方法在学习胶凝材料、混凝土、沥

青混合料等时尤为重要。

3. 密切联系工程实际

土木工程材料是一门实践性很强的课程，在学习时应注意理论联系实际。平时应多观察已建成的工程和参观实习正在施工的工程，看这些工程的各个部位都采用了哪些种类的材料，思考采用这种材料的原因是什么。通过观察，还能认识一些材料，加深对所学理论知识的理解。在观察的过程中多提出问题，在学习中寻求答案，并在实践中验证课本上所学的内容。

4. 重视试验课并做好试验

土木工程材料试验是本课程的重要教学环节，通过对试验课的学习，掌握常用土木工程材料的试验方法和质量评定方法，加深对材料基本理论知识的理解。另一方面，通过试验还能掌握一定的试验技能，培养严谨的科学态度与工作能力，提高分析问题和解决问题的能力。

第二章 土木工程材料的基本性质

土木工程材料在土木工程中发挥各种不同的作用，要求其具有相应的性质：如承重构件的材料要求有一定的强度和刚度；防水材料要有不透水的性质；隔热保温材料应具有不易传热的性质等。同时，工程在使用过程中，还受到各种环境因素的影响，使材料逐渐遭受破坏，例如：风、雨、雪和日晒等大气因素的作用；水流和泥沙的冲刷作用；温度、湿度变化及冻融作用；环境水和空气中所含有害成分的化学侵蚀作用等。因此，材料在满足工程所要求的功能性质的同时，还需要有抵抗这些破坏作用的性质，以保证在所处环境中经久耐用。

土木工程材料的各项性质主要由材料的组成、结构及构造等因素决定的。为了保证工程的安全和经久耐用，就需要掌握土木工程材料的基本性质，并了解它们与材料的组成、结构及构造的关系，从而正确选择和合理使用土木工程材料。

第一节 材料的组成、结构及构造

一、材料的组成

材料的组成是指材料的化学成分或矿物成分。它不仅影响着材料的化学性质，而且也是决定材料物理力学性质的重要因素。

（一）化学组成

化学组成是指构成材料的化学元素或化合物的种类与数量。当材料与外界环境介质接触时，它们之间必然要按照化学变化规律发生作用。例如混凝土受到酸、碱、盐的侵蚀作用，钢筋的锈蚀，沥青的老化等都属于化学作用。不同的化学成分构成了不同的材料，因而也表现出不同的性质。例如，木材质轻高强，但易于燃烧和腐朽；钢材密度大，强度较高，但易于锈蚀。材料的这些特性都与其化学组成密切相关。

（二）矿物组成

矿物组成是指组成材料的矿物种类和数量。矿物是指无机非金属材料中具有特定化学成分和特定的晶体结构及物理力学性能的单质或化合物。矿物是构成岩石及各类无机非金属材料的基本单元。材料中的天然石材、无机胶凝材料，其矿物组成是决定其性质的主要因素。例如天然石材，由于其矿物组成不同，所以构成了不同的岩石品种。水泥也因其熟料的矿物组成不同而表现出不同的性能，如水泥熟料中硅酸三钙含量高，则水泥强度较高。

（三）相组成

材料中具有相同物理、化学性质的均匀部分称为相。凡有两相或两相以上物质组成的材料称为复合材料。自然界中的物质可分为气相、液相和固相，土木工程复合材料大多是多相固体。例如混凝土可以认为是骨料颗粒（骨料相）分散在水泥浆基体（基相）中所组成的复合材料。复合材料取各组成材料之长，避免了单一材料的某些缺陷，一般综合性能较好。

复合材料的性质与材料的相组成及界面特性有密切关系。所谓界面是指多相材料中相与相之间的分界面。在实际材料中，界面是一个薄弱区，它的成分和结构与相内是不一样的，

可作为“界面相”来处理。许多材料的破坏往往首先发生在界面,可通过控制原材料的质量、改变原材料的配合比例,来控制 and 改变材料的相组成,从而改善材料的性能。例如设计混凝土的配合比,就是为了改善混凝土的相组成,尽量使混凝土结构均匀密实,从而保证其强度和耐久性。

二、材料的结构

材料的性能除与其组成成分有关外,还与其组织结构有着密切的关系。材料的结构一般分为宏观结构、亚微观结构和微观结构三个层次。

(一) 宏观结构

材料的宏观结构通常指可用肉眼或低倍放大镜可以观察到的粗大组织,其尺寸在 10^{-3}m 以上。土木工程材料的宏观结构形式,按其孔隙特征和结构特点可分为以下几种。

1. 密实结构

密实结构的材料内部基本上无孔隙,结构致密。这类材料的特点是强度和硬度较高,吸水性小,抗渗性和抗冻性较好,但绝热性差,如钢材、天然石材、玻璃等。

2. 多孔结构

多孔结构的材料中含有大量的、均匀分布的孔隙,孔隙率较高,孔隙又有大孔和微孔之分。具有多孔结构的材料,其性质决定于孔隙的多少、特征、大小及分布情况,一般来说,多孔材料的强度低,抗渗性和抗冻性较差,绝热性较好,如加气混凝土、泡沫混凝土、泡沫塑料、石膏制品、烧结普通砖等。

3. 纤维结构

纤维结构是指由纤维状物质组成的材料结构,如木材、玻璃棉、岩棉、矿棉等。纤维结构的材料内部组成有方向性,纵向较紧密而横向较疏松,因此这类材料的性质具有明显的方向性,即各向异性。纤维结构的材料组织中存在相当多的孔隙,在干燥状态下质轻,隔热性和吸声性强。

4. 层状结构

层状结构(又称叠合结构)是板材常见的结构,它是用胶结材料将不同的片材胶合成整体,如胶合板、纸面石膏板、塑料贴面板等。层状结构其每一层的材料性质可能不同,但叠合成层状结构的材料后,可获得平面各向同性,更重要的是可以显著提高材料的强度、硬度、绝热性或装饰性等性质,扩大其使用范围。例如胶合板,由于每层木片的方向是相互正交的,因而可减少收缩、强度等性质在不同方向上的差别;纸面石膏板由于表层纸的保护和增强作用,可提高石膏板的抗折强度。

5. 散粒结构

散粒结构是指呈松散颗粒状的材料,有密实颗粒与轻质多孔颗粒之分。前者如砂子、石子等,因其致密、强度高,适合作混凝土骨料;后者如陶粒、膨胀珍珠岩等,具有多孔结构,适合做绝热材料。粒状结构的材料颗粒间存在大量的空隙,其空隙率主要取决于颗粒的级配情况。用作混凝土骨料时,要求紧密堆积,空隙率要小;而轻质多孔粒状材料用作保温填充料时,则希望空隙率大些比较好。

6. 聚集结构

聚集结构是指材料中的颗粒通过胶凝材料彼此牢固结合在一起而形成的结构,根据需要还可以用纤维等材料来加强。具有这种结构的材料有水泥混凝土、砂浆、沥青混凝土及烧土制品等。

（二）亚微观结构

亚微观结构又称显微结构，一般是指用光学显微镜所能观察到的微米级的组织结构，其尺度范围在 $10^{-6} \sim 10^{-3} \text{m}$ 。土木工程材料的显微结构，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和界面特性等结构；对于金属材料，通常是研究其金相组织，即晶体组织及晶粒尺寸等；对于木材，通常是研究木纤维、管胞、髓线等组织的结构。材料在显微结构层次上的差异对材料的性能有着显著的影响。例如，钢材的晶粒尺寸越小，钢材的强度越高；混凝土中毛细孔的数量减少、孔径减小，将使混凝土的强度和抗渗性等提高。因此，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。

（三）微观结构

微观结构又称微细结构，是指借助电子显微镜或 X 射线等手段可以观察到的原子、分子级的结构，其尺度范围在 $10^{-10} \sim 10^{-6} \text{m}$ 。材料的强度、硬度、弹塑性、熔点、导电性、导热性等性能都是由其微观结构所决定的。材料微观结构可分为晶体、玻璃体和胶体三种形式。

1. 晶体

晶体是物质中的质点（原子、离子、分子）在空间呈周期性规则排列的结构。晶体结构具有一定的几何外形，显示各向异性。但实际应用的晶体材料，通常是由许多细小的晶粒杂乱排列组成，故晶体材料在宏观上显示为各向同性。

晶体内质点的相对密集程度和质点间的结合力，对晶体材料的性质有着重要的影响。例如碳素钢，其晶体的质点相对密集程度较高，质点间又是以金属键结合，结合力强，故钢材有较高的强度和较大的塑性变形能力。又如在硅酸盐矿物材料（如陶瓷）的复杂晶体结构（基本单元为硅氧四面体）中，质点的相对密集程度不高，且质点间大多是以共价键结合，变形能力小，呈现脆性。另外，晶粒的大小和分布情况对材料性质也有重要影响，一般晶粒越细、分布越均匀，材料的强度就越高。如钢材经热处理后可使晶粒更细小、更均匀，可提高钢材的强度。

2. 玻璃体

将熔融的物质进行迅速冷却（急冷），使其内部质点来不及作有规则的排列就凝固了，这时形成的物质结构即为玻璃体，又称为非晶体或无定形体。玻璃体与晶体的区别在于质点呈不规则排列，无固定的几何外形，加热时无固定的熔点，但具有较大的硬度。同时，因玻璃体是在快速急冷下形成的，故内应力较大，具有明显的脆性。

由于玻璃体在凝固时质点来不及作定向排列，质点间的能量只能以内能形式储存起来，因此玻璃体具有化学不稳定性，即存在化学潜能，在一定的条件下，易与其他物质发生化学反应。例如水淬粒化高炉矿渣、火山灰等均属于玻璃体，常被大量用作硅酸盐水泥的掺合料，以改善水泥的性能。

3. 胶体

胶体是指粒径为 $10^{-6} \sim 10^{-4} \text{mm}$ 的颗粒分散在连续相介质中（水或油）形成的分散体系结构。胶体具有很大的表面能，具有很强的吸附力和粘接力，土木工程中常利用胶体材料来黏结其他材料。

在胶体结构中，若胶粒较少，对胶体的物理力学性质起决定作用的是介质时，此种胶体称为溶胶结构，如含水较多的水泥浆体等。溶胶具有好的流动性和塑性，土木工程材料中的

涂料就是利用这一性质配制而成的。若胶粒数量较多,则胶粒在表面能的作用下或由于物理化学作用使胶粒相互吸附凝聚,形成空间网状结构,从而使胶体结构的强度增大,变形性能减小,形成固态或半固态,称为凝胶结构。凝胶具有触变性,即在搅拌、振动等外力作用下,胶粒间的结合键很容易断裂,使凝胶变成溶胶,黏度降低,重新具有流动性。但静置一段时间后,溶胶又会慢慢地恢复成凝胶。水泥浆、新拌混凝土、胶黏剂等均表现出触变性。

胶体结构与晶体及玻璃体结构相比,强度较低,变形较大。

三、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相互组合搭配情况。如岩石的层理,木材的纹理,钢材中的裂纹等。胶合板、夹心板等复合材料则具有叠合构造。材料的性质与其构造有密切关系。构造致密的材料,强度高;疏松多孔的材料密度小,强度也较低;层状或纤维状构造的材料,是各向异性的。

构造概念与结构概念相比,更强调了相同材料或不同材料间的搭配组合关系。如具有特定构造的节能墙板,就是利用不同性质的材料组合搭配而成的一种复合材料。这种构造赋予了墙板良好的保温隔热、吸声隔声、防火抗震、坚固耐久等综合性能。

综上所述,材料由于组成、结构和构造不同,使材料的性质各具特色。随着材料科学理论和技术的发展,深入研究和探索材料的组成、结构、构造与材料性能之间的关系,不仅有利于为工程合理选用材料,而且对于进一步改善和提高材料的性能,开发研制性能优良的土木工程材料都是非常重要的。

第二节 材料的基本物理性质

一、密度、表观密度与堆积密度

(一) 密度

密度是指材料在绝对密实状态下单位体积的质量。密度按式(2-1)计算:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2-1)$$

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, 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,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,烘干后用李氏密度瓶测定其密实状态下的体积。材料粉磨得越细,测得的密度值越精确。

(二) 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,俗称容重。表观密度按式(2-2)计算:

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

式中 ρ_0 ——材料的表观密度, g/cm^3 或 kg/m^3 ;

m ——材料的质量, g 或 kg ;