

普通高等教育土木工程专业“十二五”规划教材

土木工程材料

TUMU GONGCHENG CAILIAO

(第二版)

张粉芹 主编

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

普通高等教育土木工程专业“十二五”规划教材

土木工程材料

(第二版)

张粉芹 主 编

王起才 主 审

中国铁道出版社

2015年·北京

内 容 简 介

本教材在介绍土木工程材料基本性质的基础上,对土木工程常用的材料(包括无机胶凝材料、混凝土、砂浆、钢材、墙体材料、木材、防水材料及沥青混合料等)从原材料、生产工艺、组成、结构及构造、性能及应用等方面做了重点介绍,对具有一定功能的保温材料、隔热材料、光学材料、装饰材料、声学材料、防火材料也做了概括性介绍,另外还介绍了常用土木工程材料技术性能指标检测的试验方法。本书采用最新国家或行业标准,并尽可能地将土木工程材料近期研究成果编入相应章节。

本书为高等院校土木工程、工程管理、水利水电、建筑学、城市规划、材料科学与工程等专业教学用书,也可供从事土木工程设计、科研、施工、生产的人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程材料/张粉芹主编. —2版. —北京:中国铁道出版社,2015.8

普通高等教育土木工程专业“十二五”规划教材
ISBN 978-7-113-20781-6

I. ①土… II. ①张… III. ①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(2015)第 174669 号

书 名:土木工程材料(第二版)

作 者:张粉芹 主编

责任编辑:李丽娟

编辑部电话:(010)51873135

电子信箱:llj704@163.com

封面设计:郑春鹏

责任校对:王 杰

责任印制:李 佳

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)

印 刷:河北新华第二印刷有限责任公司

版 次:2008年10月第1版 2015年8月第2版 2015年8月第1次印刷

开 本:787 mm×1092 mm 1/16 印张:18 字数:450 千

书 号:ISBN 978-7-113-20781-6

定 价:38.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社读者服务部联系调换。电话:(010)51873174(发行部)

打击盗版举报电话:(市电)(010)51873659,路电(021)73659,传真(010)63549480

第二版前言

FOREWORD

近年来,土木工程材料的部分标准及规范有了较大变化,一些材料的技术与工艺也得到发展,尤其出现了不少新材料、新技术、新工艺,为了适应现代土木工程发展对工程技术人员培养的需求,有必要对 2008 年出版的《土木工程材料》一书进行修订,以满足教学要求。本书修订时继承了第一版的特色。修订分工如下:兰州交通大学霍曼琳修订了绪论、第 6 章及第 7 章,周立霞修订了第 1 章及第 4 章,于本田修订了第 2 章及第 3 章,张粉芹修订了第 8 章及第 10 章,孟芳修订了第 11 章;江苏淮阴工学院张颖修订了第 5 章及第 9 章。本书由张粉芹主编,王起才主审。

由于土木工程材料品种繁多,新材料层出不穷,各类标准有一定差异,加之编者水平有限,不妥之处敬请读者批评指正。

另外,对本书参考文献的作者,网上所查阅资料的单位、作者及中国铁道出版社的编辑致以最衷心的感谢。

编者

2015 年 7 月

第一版前言

FOREWORD

土木工程材料是土木工程的物质基础,从事土木工程有关专业的人员,需要熟悉这些常用土木工程材料的品种、特点及质量要求。因此,土木工程材料是土木工程、工程管理等专业必修的专业技术基础课。常用土木工程材料中,混凝土、钢材、砖、砌块等为结构材料及墙体材料,除此之外,还有起防水、防火、装饰、保温、吸声、采光作用的功能材料。

本书由兰州交通大学张粉芹主编,王起才主审。具体编写分工如下:兰州交通大学霍曼琳编写了绪论及第6章和第7章,周立霞编写了第1章和第8章,于本田编写了第2章和第3章,张粉芹、周立霞共同编写了第4章,张粉芹编写了第5章和第10章,孟芳编写了第11章;江苏淮阴工学院张颖编写了第9章。本书具有如下特点:

(1)土木工程材料种类、品种、规格繁多,但常用的品种有限,本书重点介绍水泥、混凝土、钢材、墙体材料、防水材料及沥青混合料等常用材料的内容。

(2)力求从工程应用的目的为出发点,分析各类材料的性能、成分、结构和构造、所处环境条件等的关系,力图使学生掌握较为实用的基础知识,为后续专业课程的学习打下良好的基础。

(3)教材的编写注重学生能力的培养,如通过归纳总结、对比分析的方法讲解不同类型、不同品种材料的共性和各自的特性,使学生不但学到材料的基础知识,而且学会一些常用的分析问题、解决问题的方法。

(4)实验内容的编写注重创新素质的培养。增加了一些设计性、开放性实验内容,可为今后从事既有材料的改性、新材料的研制以及材料方面的科学研究奠定基础。

在教材编写过程中,编写人员尽可能地做到深入浅出、言简意赅、图文并茂,便于读者理解。但由于时间仓促、水平有限,书中的缺点和不妥之处在所难免。恳请广大读者在使用过程中提出宝贵意见,以便本书不断完善。

编者

2008年7月

目 录

CONTENTS

绪 论	1
第 1 章 土木工程材料的基本性质	6
1.1 材料的组成、结构与构造及其对材料性质的影响	6
1.2 材料的物理性质	10
1.3 材料的力学性质	17
1.4 材料的耐久性	21
复习思考题	22
第 2 章 气硬性胶凝材料	23
2.1 石 灰	23
2.2 石 膏	28
2.3 水 玻 璃	31
复习思考题	33
第 3 章 水 泥	34
3.1 硅酸盐水泥	34
3.2 其他品种硅酸盐水泥	44
3.3 特性水泥和专用水泥	48
复习思考题	54
第 4 章 混 凝 土	56
4.1 混凝土的概述	56
4.2 混凝土的组成材料	58
4.3 混凝土的技术性质	74
4.4 混凝土的质量控制	88
4.5 混凝土配合比设计	92
4.6 特种混凝土	98
复习思考题	103
第 5 章 砂 浆	105
5.1 砂浆组成材料	105
5.2 砂浆的主要技术性质	107
5.3 砌筑砂浆及其配合比设计	109

5.4 普通抹面砂浆	111
5.5 特种砂浆	111
复习思考题	114
第 6 章 建筑钢材	115
6.1 钢材的生产及钢的分类	115
6.2 建筑钢材的主要技术性质	117
6.3 钢的组成与结构	122
6.4 钢材的冷加工和热处理	128
6.5 建筑用钢及钢材的标准和选用	130
6.6 钢材的防护	141
复习思考题	143
第 7 章 墙体材料	144
7.1 墙体材料概述	144
7.2 砖	144
7.3 建筑砌块	151
7.4 墙 板	154
复习思考题	159
第 8 章 木材	161
8.1 木材的分类和构造	161
8.2 木材的物理力学性质	165
8.3 木材的防腐与防火	167
8.4 木材的综合利用	169
复习思考题	171
第 9 章 防水材料及沥青混合料	172
9.1 石油沥青与煤沥青	173
9.2 防水卷材	178
9.3 防水涂料	184
9.4 密封材料	188
9.5 沥青混合料	190
复习思考题	198
第 10 章 其他功能材料	199
10.1 建筑保温、隔热材料	199
10.2 建筑光学材料	204
10.3 建筑防火材料	208
10.4 建筑装饰材料	212

10.5 建筑声学材料.....	226
10.6 胶黏剂.....	227
复习思考题.....	230
第 11 章 土木工程材料试验	231
11.1 概 述.....	231
11.2 水泥试验.....	236
11.3 混凝土用砂、石集料试验	244
11.4 混凝土试验.....	254
11.5 砂浆试验.....	260
11.6 钢筋试验.....	263
11.7 沥青试验.....	265
11.8 塑性体改性沥青防水卷材试验.....	269
11.9 掺外加剂混凝土拌和物性能试验.....	273
11.10 高性能混凝土和易性研究	278
参考文献.....	280

绪 论

各种土建工程皆由材料构成,这些构成材料的性质决定了工程的使用性能。为使土建工程获得结构安全可靠、使用状态良好及美观、经济的性能,就必须合理选择与正确使用材料。作为土木工程领域的工程技术人员,无论从事研究、生产、设计、施工还是管理工作,学习与掌握材料的有关知识,对于从事建筑工程建设、保证工程质量、促进技术进步和降低工程成本等都至关重要。

一、土木工程材料及其分类

广义上的土木工程材料是人类建造建筑物时所用一切材料和制品的总称,种类极为繁多。其不仅外观、形态各异,而且加工、结构、性质、用途等各方面均有显著差别。为了研究、应用和叙述的方便,常从不同的角度对其进行分类。

(1)按主要组成成分分类

可分为无机材料、有机材料、复合材料三大类,如图 0.1 所示。其中复合材料指两种或两种以上的物质复合在一起形成的材料,它能够克服单一材料的弱点,发挥各材料的优点,目前已成为应用最多的土木工程材料。

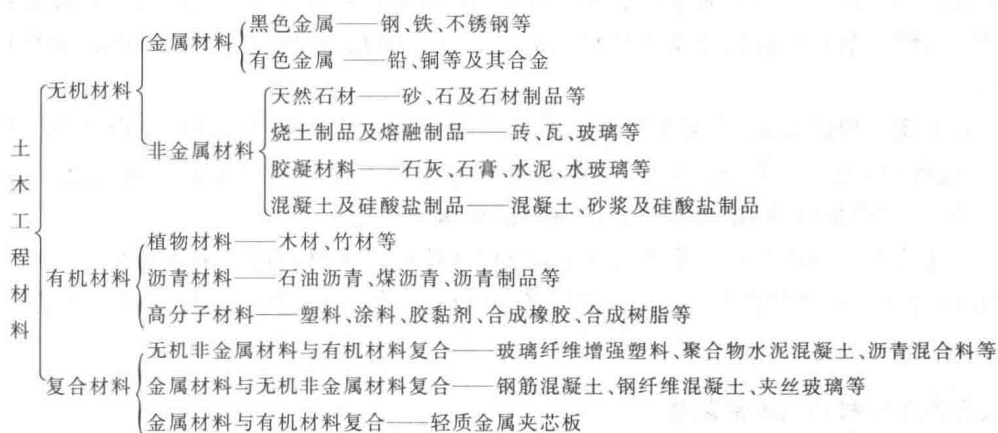


图 0.1 土木工程材料的分类

(2)按使用功能分类

根据土木工程材料在建筑物中的部位或使用性能,大体可分为建筑结构材料、墙体材料、建筑功能材料三大类。建筑结构材料主要指建筑物中在梁、板、柱、基础、框架及其他受力构件和结构中所用的材料,主要技术性能要求的是力学性能和耐久性;墙体材料指用于建筑物内、外及分隔墙体所用的材料,分为承重墙材和非承重墙材两类,前者有力学性能要求,后者起围护作用并满足部分建筑功能要求;建筑功能材料则主要指担负某些建筑功能、非承重用的材

料,它们赋予建筑物防水、防火、保温、隔热、采光、隔声、装饰等功能,决定着建筑物的使用功能和建筑品质。

(3)按材料来源分类

根据材料来源,可分为天然材料与人造材料。而人造材料又可按冶金、窑业(水泥、玻璃、陶瓷等)、石油化工等材料制造部门来分类。

一般把各种分类方法经适当组合后对材料种类进行划分,如装饰砂浆、沥青防水材料等。

二、土木工程材料在土木工程中的地位

土木工程材料在土木建筑工程中有着举足轻重的地位。

首先,土木工程材料是一切土木工程的物质基础。建造的建筑物或构筑物本质上都是所用土木工程材料的一种“排列组合”。它用量巨大,目前在我国的土木建筑工程总造价中,土木工程材料的费用一般约占50%~60%。所以,选用的材料是否经济适用,直接影响到工程造价和建设投资。

第二,土木工程材料与建筑、结构和施工之间存在着相互依存、相互促进的密切关系。各种建筑物与构筑物皆是由各种土木工程材料经合理设计、精心施工而成。土木工程材料的品种、规格及质量都直接关系到建筑物的形式、建筑施工的质量和建筑物的适用性、艺术性及耐久性。建筑工程中许多技术问题的突破,往往依赖于土木工程材料问题的解决。新材料的出现,将促进建筑形式的变化、结构设计及施工技术的革新;而新的建筑形式、工程设计方法和施工工艺又对土木工程材料的品种和质量提出了更高和多样化的要求。

第三,建筑物和构筑物的功能和使用寿命在很大程度上由土木工程材料的性能决定。如装饰材料的装饰效果、钢材的锈蚀、混凝土的劣化、防水材料的老化问题等,无一不是材料的问题,也正是这些材料特性构成了建筑物和构筑物的整体性能。房屋建筑要求坚固耐用,而水利工程、铁道、桥梁、港口等更是要求能长期安全使用,满足这些要求的途径,除了正确设计和合理施工外,关键环节是要提高土木工程材料的耐久性。因此,强度设计理论开始向耐久性设计理论转变。

第四,土建工程的质量,主要取决于材料的质量控制。在材料的选择、生产、储运、使用和检验评定过程中,任何环节的失误,都可能导致土木建筑工程的质量事故。事实上,国内外土木建筑工程中的质量事故,绝大部分都与材料的质量缺损相关。

最后,建筑物和构筑物的可靠度评价,相当程度地依存于材料的可靠度评价。材料信息参数是构成构件和结构性能的基础,在一定意义上“材料—构件—结构”组成了宏观上的“本构关系”。

三、土木工程材料的发展趋势

随着现代化建筑向高层、大跨度、节能、美观、舒适的方向发展和人民生活水平、国民经济实力的提高,研究开发和应用新型土木工程材料已成为必然。遵循可持续发展战略,土木工程材料的发展趋势表现为:

(1)高性能化。产品要求综合性能优良,如结构材料轻质、高强、高抗震性。

(2)高耐久性。材料有高的预期寿命,且综合单价低(含运营期维护费)。

(3)多功能化。如承重材料同时还具有良好的保温、隔热、隔声等功能;多功能玻璃墙可起到装饰、隔声、吸热、防辐射、单面透光等作用。建材产品应不仅对人畜无害,而且能净化空气、

抗菌、防静电、防电磁波等。

(4)绿色环保。生产所用的原材料要求充分利用工业废料、能耗低、可循环利用,不破坏生态环境,有效保护天然资源;生产和使用过程不产生环境污染,即废水、废气、废渣、噪声等零排放;做到产品可再生循环和回收利用。

(5)智能化。某些土木工程重要部位的材料在发生破坏前能产生自救功能,或发出警示信号等。

另外,主产品和配套产品应同步发展,并解决好利益平衡关系。同时,为满足现代土木工程结构性能和施工技术的要求,材料的应用应向着工业化方向发展。如水泥混凝土等结构材料向着预制化和商品化方向发展,材料向着成品或半成品的方向延伸,材料的加工、储运、使用及其他施工操作的机械化、自动化水平不断提高,劳动强度逐渐下降。这不仅改变着材料在使用过程中的性能表现,也在逐渐改变着人们对于土木工程材料使用的手段和观念。

四、土木工程材料的检验方法及标准化

材料的质量是影响土木工程质量和结构物使用功能最直接和最重要的因素之一,掌握和控制好材料的质量对于保证工程质量具有非常重要的作用。材料质量的控制通常按照标准要求采用一定的检验方法进行。

技术标准是材料质量保障的依据。不论是生产企业还是使用部门,都应严格按照技术标准来控制质量,这样土木工程结构物的质量和耐久性才有保证。

(1) 土木工程材料的质量检验方法

土木工程材料性能的检验,必须通过适当的测试仪器和正确的检验方法来进行。通常可采用实验室内原材料性能检验、实验室内模拟结构鉴定及现场鉴定等方法。本课程主要介绍实验室内材料性能的检验,包括下列内容:

①物理性能检验。测定材料的物理常数,不仅可以从材料的物理常数了解材料内部的组成结构,间接推断材料的力学性能,还可以得到配合比设计时需用的基础资料。

②力学性能检验。现阶段土木工程材料的力学性质主要是通过各种试验机测定其抗压、抗剪、抗拉等静态力学性能。

③材料与水有关的性能检验。水对结构物的强度和耐久性有重要影响。主要检测的项目有抗渗性和抗冻性等。

(2) 土木工程材料的标准化

标准是指对重复事物和概念所作的统一规定,它以科学技术和实践经验的综合成果为基础,经有关方面协商一致,由主管机构批准,以特定形式发布,作为共同遵守的准则和依据。简而言之,标准就是对某项技术或产品的各项技术指标的要求所实行的统一规定。任何技术或产品必须符合相关标准才能生产和使用。标准涵盖到各行各业。标准化为生产技术和科学发展建立了最佳秩序,并带来了社会效益。

土木工程材料涉及的标准主要包括两类:一是产品标准。为了加强土木工程材料工业的现代化生产和科学管理、保证产品的质量和适用性,必须从生产设备到产品的所有环节实行标准化,对材料产品的各项技术要求制定统一的执行标准,其内容主要包括:产品规格、分类、技术要求、检验方法、验收规则、应用技术规程等。二是工程建设标准。它是对基本建设中各类勘察、规划、设计、施工、安装、验收等需要协调统一的事项所制定的标准。

土木工程材料的标准,是检验企业生产的产品质量是否合格的技术文件,也是供需双方对产品质量进行验收的依据。没有标准化,则工程的设计、产品的生产及质量的检验就失去了共同的依据和准则。通过产品标准化,就能按标准合理地选用材料,从而使设计、施工相应标准化,同时可加快施工进度,降低造价。

目前,我国常用的标准按适用领域和有效范围分为四级:

①国家标准。是由国家技术监督局发布的全国性技术指导性文件,分强制性标准(代号为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,任何技术(或产品)的指标均不得低于标准中规定的要求;推荐性标准则在执行时也可采用其他相关标准的规定。

②行业标准。是各行业为规范本行业的产品质量而制定的技术标准,也分强制性标准和推荐性标准,仍属于全国性技术指导文件,但由主管生产部门(或总局)发布。某些行业标准代号见表 0.1。

表 0.1 几个行业的标准代号

行业名称	建工行业	黑色冶金行业	石化行业	交通行业	建材行业	铁路行业
标准代号	JG	YB	SH	JT	JC	TB

③地方标准。为地方主管部门发布的地方性技术指导文件(代号 DB),适于在该地区使用。

④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、行业标准的产品,均应制定企业标准。

有关工程建设方面的技术标准的代号,应在部门代号后加 J。地方标准或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。

标准一般由标准名称、部门代号(以汉语拼音字母表示)、标准编号和颁发年份等来表示。例如,2013 年制定的建材行业推荐性 479 号建筑生石灰的标准为:《建筑生石灰》(JC/T 479—2013)。

随着我国对外开放和加入世界贸易组织(WTO),还常涉及一些与土木工程材料关系密切的国际标准和外国标准。ISO 国际标准是由国际标准化组织(ISO, International Standard Organization)负责组织制定的,在世界范围里统一使用。外国的标准主要分为两类:一类是国际上有影响的团体标准和公司标准,如美国材料与试验协会标准 ASTM (American Society for Testing and Materials)等;另一类是区域性标准,也可以说是工业先进国家的标准,如美国国家标准 ANS(American National Standard)、德国“DIN(Deutsche Industrie Normen)”标准、英国“BS(British Standard)”标准、日本“JIS(Japanese Industrial Standard)”标准、法国“NF(Normes Francaises)”标准等。

五、课程学习的目的和要求

(1)课程学习的目的与主要内容

土木工程材料课程是针对土木工程、工程管理、水利电力等专业开设的专业技术基础课。它是从工程使用的角度去研究材料的生产、成分、结构和构造、环境条件等对材料性能的影响以及其相互关系的一门应用学科。通过学习,使学生掌握材料的基本理论和基础知识,为后续专业课程的学习及以后从事土木工程正确选用材料打下良好的基础。

虽然土木工程材料种类、品种、规格繁多,但常用的品种有限,通过对常用的、有代表性的材料的学习,就可以对其他土木工程材料进行了解和运用。因此,本教材重点介绍当前土木工程常用的材料,如水泥、石灰、混凝土、钢材、沥青材料等,并简要介绍建筑功能材料。对于各类材料,除重点介绍了技术性质外,对材料的生产、组成、结构与构造、技术标准也做了简要介绍,另外还简要介绍了检测这些技术性能指标的试验方法。

(2) 课程的理论课学习任务

学习时,可把相关内容分成三个层次:第一层次是土木工程材料基础理论知识。所谓基础理论知识是指每类材料的生产工艺,材料的组成、结构、构造,该部分要重点领会其对材料性能的影响。第二层次是土木工程材料的基本性质。这一层次要求学生重点掌握,在了解基本概念的基础上,要能运用已有的理论知识对基本性质的改善进行分析,并能够结合工程实际,正确选用材料。对于现场制作的材料,要能根据材料性能要求设计计算材料配比。第三层次为土木工程材料质量检验的内容,需要结合试验理解基本技术性质要求的意义。

(3) 课程的实验课学习任务

本课程实践性很强,实验是课程的重要教学环节。通过实验可验证所学的基础理论,增加感性认识,加深对理论知识的理解,熟悉试验鉴定、检验和评定材料质量的方法,掌握一定的试验技能,这对培养学生分析与判断问题的能力、试验工作能力以及严谨的科学态度十分有益,也为今后从事既有材料的改性、新材料的研制以及材料方面的科学研究奠定基础。

第 1 章

土木工程材料的基本性质

土木工程材料在各种建筑物中都承受着不同的力学的、化学的、物理的和环境介质的作用,要求其具有相应的不同性质。所谓土木工程材料的基本性质是指通常必须考虑的最基本的、共有的性质。为了能够在工程中科学合理地使用材料,必须掌握有关材料的基本性质以及影响这些性质的因素与规律。因此,为了便于学习和掌握,本章重点介绍材料的物理性质、力学性质和耐久性,另外简单讲述材料的化学性质。

1.1 材料的组成、结构与构造及其对材料性质的影响

影响材料性质的因素有外部因素和内部因素,内部因素是指材料的组成、结构和构造,外部因素是指外界环境介质。外部因素影响材料性质要通过内部因素才能起作用,所以对材料性质起决定性作用的是其内部因素。因此,下面重点分析材料的组成、结构和构造与材料性质的关系。

1.1.1 材料的组成

材料的组成包括材料的化学组成、矿物组成和相组成。它不仅影响材料的化学稳定性,而且也是决定材料物理及力学性质的重要因素。

(1) 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及数量。

当材料与外界环境介质接触时,它们之间必然按化学变化规律发生作用。比如混凝土受到酸、碱、盐的侵蚀作用,钢材的锈蚀等都属于化学作用。材料有关这方面的性质都是由化学组成所决定的。

对于化合物,一般用氧化物的形式表示,包括酸性氧化物和碱性氧化物。

(2) 矿物组成

矿物组成是指构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一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。

化学组成相同的材料,由于矿物组成不同,其性质有可能不同。例如,由石灰(CaO)、砂(SiO_2)和水在常温下硬化而成的石灰砂浆与在高温高湿条件下硬化而成的灰砂砖性能有较大差别。

对于某些土木工程材料来说,如天然石材、无机胶凝材料等,决定材料性质的关键因素是其矿物组成。比如水泥的矿物成分有 $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ 、 $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ 、 $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$,改变这四种矿物成分相对比例,可以制成不同性能水泥。

(3) 相组成

材料中具有相同物理、化学性质的均匀部分称为相。自然界中的物质可分为气相、液相和

固相。土木工程材料复合材料可看作是多相固体。例如,混凝土可认为是集料颗粒(集料相)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,它们之间是不均匀的,可作为“界面相”来处理。通过改变和控制材料的相组成,可以改善和提高材料的技术性能。

1.1.2 材料的结构

材料的结构对材料的性质有重要影响。材料的结构一般分为宏观、细观和微观三个层次。

(1) 宏观结构

土木工程材料的宏观结构是指肉眼可以看到或借助放大镜可观察到的粗大组织,其尺寸在 10^{-3} m级(毫米级)以上。这是最粗的一种结构形式,可按孔隙特征和构造特征分为多种结构形式。

① 散粒结构

散粒结构的材料是由单独的松散颗粒组成。颗粒有密实颗粒与轻质多孔颗粒之分。前者如砂子、石子等,因其结构致密、强度高,适合做承重的混凝土集料。后者如陶粒、膨胀珍珠岩等,为多孔结构,适合做绝热材料。散粒结构的材料,颗粒间多存在大量的空隙,其空隙率主要取决于颗粒级配。

② 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地结合在一起而形成的结构形式。具有这种结构的材料种类繁多,如各种水泥混凝土、砂浆、沥青混凝土,某些天然岩石等;建筑陶瓷和烧结砖也属于这种结构,陶瓷是焙烧过程中玻璃相结合晶体颗粒形成的材料,而烧结砖是玻璃相结合未熔融的黏土颗粒形成的材料。

③ 多孔结构

多孔结构的材料中含有大量的、粗大或微小的($10^{-3} \sim 1$ mm)、均匀分布的孔隙,这些孔隙或者封闭,或者连通。这是加气混凝土、泡沫混凝土、发泡塑料、石膏制品、黏土砖瓦等所特有的结构。具有多孔结构的材料,其性质决定于孔隙的特征、多少、大小及分布情况。一般来说,这类材料的强度较低,抗渗性和抗冻性较差,吸水性较大,保温隔热性较好。

④ 致密结构

致密结构的材料在外观上和内部结构上都是致密的。如钢材、玻璃、天然石材、塑料等材料具有这种结构特征。这种材料内部基本上无孔隙,其特点是强度和硬度高,吸水性小,抗渗性和抗冻性较好,耐磨性较好,保温隔热性差。

⑤ 纤维结构

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,组织中存在相当多的孔隙。这类材料在平行纤维方向和垂直纤维方向上的强度、导热性及其他一些性质明显不同,即各向异性,如木材、玻璃纤维、石棉等。

⑥ 层状结构

层状结构(或称叠合结构)是板材常见的结构。它是将材料叠合成层状,用胶结材料或其他方法将它们结合成整体。如木胶合板、纸面石膏板、塑料贴面板等。层状结构每一层的材料性质不同,但叠合成层状构造的材料后,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。比如木胶合板,由于每层木片的纤维方向是相互正交的,因而可减少收缩率、强度等性质在不同方向上的差别;又如纸面石膏板,由于表层纸的护面和增强作用,提高了石膏板的抗折强度。

(2) 细观结构

细观结构(原称亚微观结构)是指用光学显微镜可以观察到的微米级的组织结构。其尺寸范围在 $10^{-3} \sim 10^{-6}$ m。该结构主要研究材料内部晶粒的大小和形态、晶界或界面,孔隙与微裂纹的大小、形状及分布。土木工程材料的细观结构,只能针对某种具体材料来进行分类研究。如对混凝土可分为基相、集料相、界面相;对天然岩石可分为矿物、晶体颗粒、非晶体组织;对钢材可分为铁素体、珠光体、渗碳体;对木材可分为木纤维、导管、髓线、树脂道。研究金属材料亚微观结构的方法称为金相分析,通过显微镜可以观察到金属的显微形貌图像。研究非金属材料(岩石、水泥、陶瓷等)亚微观结构的方法称为岩相分析,通过显微镜可以分析出其亚微观结构,包括:

- ① 晶相种类、形状、颗粒大小及其分布情况;
- ② 玻璃相的含量及分布;
- ③ 气孔数量、形状及分布。

材料细观结构层次上的这些组织的特征、数量、分布和界面性质对材料的强度、耐久性等性能有很大的影响。一般而言,材料内部的晶粒越细小、分布越均匀,则材料的受力状态越均匀、强度越高、脆性越小、耐久性越高;晶粒或不同组成材料之间的界面黏结越好,则材料的强度和耐久性越好。

(3) 微观结构

微观结构是指借助电子显微镜或 X 射线,可以观察到的材料的原子、分子级的结构,微观结构的尺寸范围在 $10^{-10} \sim 10^{-6}$ m。材料的许多性质如强度、硬度、弹塑性、熔点、导热性、导电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、胶体三种形式。

① 晶体

晶体是内部质点(原子、离子、分子)在空间上按特定的规则呈周期性排列时所形成的结构。借助于点线将质点连接起来所构成的几何空间格架称为晶格,而把构成晶格的最基本单元称为晶胞,晶胞的各边尺寸称为晶格常数。按晶格的几何形状不同,自然界中的晶体共包括 24 种晶格,比如最常见的立方晶格、正方晶格、斜方晶格、六方晶格等。

晶体分为单晶体和多晶体,土木工程材料大多为多晶体材料。单晶体及多晶体材料具有如下特点:

- a. 具有固定的熔点和化学稳定性,这是晶体内部质点按能量最小原则排列所决定的。
- b. 单晶体具有规则的几何外形,这是晶体内部质点呈规则排列的外部表现。但多晶体材料由于是由大量晶胞形成的晶粒呈杂乱无章排列而形成的,它的几何外形是多变的。
- c. 单晶体具有各向异性的性质,但多晶体材料则是各向同性的。

晶体的各种物理力学性质,除与各质点的排列方式有关外,还与组成晶体的质点类型及质点间的结合键有关。根据组成晶体的质点及结合键的不同,晶体可分为如下几类:

- a. 原子晶体。若质点为中性原子,则由中性原子以共价键结合而成的晶体称为原子晶体(亦称共价键晶体),其强度、硬度及熔点均最高,而密度小,如石英、金刚石、刚玉等。
- b. 离子晶体。若质点为离子,则由正负离子以离子键结合而成的晶体称为离子晶体,其

强度、硬度及熔点均较高,密度中等,但不耐水。土木工程材料中许多无机非金属材料多是以离子晶体为主构成的材料,如石膏、石灰、某些天然石材及人工材料等。

c. 分子晶体。若质点为分子,则分子或分子团之间依靠分子间范德华力结合而成分子晶体。分子晶体结构材料中质点间范德华力这种结合键较弱,只能在某些环境条件下才具有较可靠的物理力学性能,一般环境中其强度、硬度及熔点都很低,温度敏感性强,密度较小。如土木工程中常用的水及水性乳液、石蜡及部分有机化合物等。

d. 金属晶体。以金属阳离子为晶格,由自由电子与金属阳离子间的金属键结合而成的晶体称为金属晶体。由于电子在材料中可以自由穿梭,所以金属的导热性和导电性好;电子既然可到处穿梭,就可以与阳离子任意结合,所以说它有良好的键结合性,即金属的延展性良好,不易被撕裂。土木工程中常用的金属晶体材料有生铁、钢材、铝材、铜材等。

②玻璃体

将熔融物质迅速冷却(急冷),使其内部质点来不及按规则排列就凝固,这时形成的物质结构即为玻璃体,又称为无定形体或非晶体。玻璃体的结合键为共价键或离子键。玻璃体无固定的几何外形,具有各向同性,破坏时也无清晰的解理面,加热时无固定的熔点,只出现软化现象。

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的形式储存起来,因此,玻璃体具有化学不稳定性,亦即存在化学潜能,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、火山灰等均属玻璃体,经常大量用作硅酸盐水泥的掺合料,以改善水泥性能。玻璃体在烧土制品或某些天然岩石中,起着胶黏剂的作用。

③胶体

物质以极其微小的颗粒(粒径为 $10^{-9} \sim 10^{-7}$ m)分散在连续相介质中形成的结构,称为胶体。其中分散粒子一般带有电荷(正电荷或负电荷),而介质带有相反的电荷,从而使胶体保持稳定。由于胶体的质点很微小,表面积很大,因而表面能很大,有很强的吸附力,土木工程中常利用胶体材料的这种吸附能力来黏结其他材料。

在胶体结构中,若胶粒较少,则液体性质对胶体结构的强度及变形性质影响较大,这种胶体结构称为溶胶结构。溶胶具有较大的流动性,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产生凝聚作用或由于物理化学作用而使胶粒产生彼此相连,形成空间网络结构,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,此胶体结构称为凝胶结构。凝胶具有触变性,即凝胶被搅拌或振动,又能变成溶胶。水泥浆、新拌混凝土、胶黏剂等均表现出触变性。当凝胶完全脱水硬化变成干凝胶,它具有固体的性质,即产生强度。硅酸盐水泥的主要水化产物最后形成的物质就是干凝胶体。

胶体结构与晶体及玻璃体结构相比,强度较低、变形较大。

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相互组合搭配情况。构造概念与结构概念相比,更强调了相同材料或不同材料的搭配组合关系。如木材的宏观构造和微观构造,就是指具有相同材料结构单元(木纤维管胞)按不同的形态和方式在宏观和微观层次上的组合和搭配情况。它决定了木材的各向异性等一系列物理力学性能。又如具有特定构造的节能墙板,就是由不同性质的材料经特定组合搭配而成的一种复合材料,这种构造赋予墙板良好的保