

TUMUGONGCHENG CAILIAO



PUTONG GAODENG YUANXIAO
SHIERWU TUMUGONGCHENG LEI GUIHUA XILIE JIAOCAI
普通高等院校“十二五”土木工程类规划系列教材

土木工程材料

TUMUGONGCHENG CAILIAO

主 编 黄双华 陈 伟



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)



PUTONG GAODENG YUANXIAO
SHIERWU TUMUGONGCHENG LEI GUIHUA XILIE JIAOCAI
普通高等院校“十二五”土木工程类规划系列教材

土木工程材料

TUMUGONGCHENG CAILIAO

主 编	黄双华	陈 伟
副主编	贺丽霞	张 茜
	刘红坡	张 璐

西南交通大学出版社
· 成 都 ·

内 容 简 介

本书为应用型本科学校土木工程类专业的专业基础课教材。

本书共十三章, 主要包括: 土木工程材料的基本性质、胶凝材料、水泥、混凝土、砂浆、沥青及沥青混合料、砌体材料、木材、金属材料、高分子合成材料、攀西地区高炉渣在土木工程材料中的应用等。本书在编写上采用最新规范和标准, 吸收和反映了国内外土木工程材料的最新成果和应用技术, 内容简明扼要、通俗易懂, 每章开头提出学习要求、重点, 每章末有习题, 利于学习者巩固知识; 另本书附录还收集了常用的建筑材料规范, 便于使用者查阅。

本书可供高等学校土木工程、工程管理、建筑学、城乡规划等专业的学生学习使用, 也可供土木工程设计、施工、科研、管理等专业人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程材料 / 黄双华, 陈伟主编. —成都: 西南交通大学出版社, 2013.8
普通高等院校“十二五”土木工程类规划系列教材
ISBN 978-7-5643-2605-0

I. ①土… II. ①黄… ②陈… III. ①土木工程—建筑材料—高等学校—教材 IV. ①TU5

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第196351号

普通高等院校“十二五”土木工程类规划系列教材

土木工程材料

主编 黄双华 陈 伟

*

责任编辑 杨 勇

助理编辑 曾荣兵

封面设计 何东琳设计工作室

西南交通大学出版社出版发行

(四川省成都市金牛区交大路146号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

成都市书林印刷厂印刷

*

成品尺寸: 185 mm × 260 mm 印张: 18

字数: 493 千字

2013年8月第1版 2013年8月第1次印刷

ISBN 978-7-5643-2605-0

定价: 36.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

本书为普通高等学校应用型本科土木工程及相关专业的教学用书，内容符合教育部对普通高等学校土木工程专业指导委员会编制的“高等学校土木工程本科指导性专业规范”的要求，并根据现行的国家最新标准、规范和国内外有关的建筑材料新技术、新工艺、新成就编写的。

本书贯彻“少而精”的原则，适应应用型本科土建类专业需要，核心知识点符合最新颁布的“高等学校土木工程本科指导性专业规范”的要求。

本书具有地区区域特色，新增“攀西地区高炉渣在建筑材料中的应用”一章，介绍了含钛高炉渣在土木建筑材料中的应用情况，内容新颖，图文并茂。

参加本书编写的有攀枝花学院黄双华（绪论、第十二章）、陈伟（第十章、第十一章）、贺丽霞（第一、二、七章）、张茜（第四、五、八章）、付建（第三章）、孙金坤（第九章），以及西南交通大学刘红坡（第六章）；此外，成都纺织高等专科学校的张璐老师为本书的编写和插图制作做了大量工作。全书由黄双华、陈伟担任主编，贺丽霞、张茜、刘红坡、张璐任副主编。

由于篇幅限制，土木工程材料试验内容没有列入本教材。此外，由于时间仓促及编者水平有限，书中疏漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

2013年3月

目 录

绪 论	1
0.1 土木工程材料的定义和分类	1
0.2 土木工程材料在工程中的地位和作用	2
0.3 土木工程材料的应用及发展趋势	2
0.4 土木工程材料的技术标准	5
0.5 本课程的任务和学习方法	6
第 1 章 土木工程材料的基本性质	7
1.1 材料的组成与结构	7
1.2 材料的物理性质	9
1.3 材料的力学性质	18
1.4 材料的耐久性	22
本章小结	23
复习与思考题	23
第 2 章 气硬性胶凝材料	25
2.1 石 灰	25
2.2 建筑石膏	30
2.3 水玻璃	33
2.4 菱苦土	35
本章小结	36
复习与思考题	37
第 3 章 水 泥	38
3.1 通用硅酸盐水泥	38
3.2 特性水泥和专用水泥	53
本章小结	59
复习与思考题	59
第 4 章 混凝土	60
4.1 概 述	60
4.2 普通混凝土的组成材料	60
4.3 混凝土拌和物的性能	77
4.4 硬化后混凝土的性能	81
4.5 普通混凝土的配合比设计及质量控制	92

土 木 工 程 材 料 TUMUGONGCHENG CAILIAO

4.6 其他种类混凝土及其新进展	101
本章小结	105
思考与练习题	105
第5章 砂 浆	107
5.1 砂浆的分类、组成及技术性质	107
5.2 砌筑砂浆的配合比设计	110
5.3 抹面砂浆	114
本章小结	115
思考与练习题	116
第6章 沥青及沥青混合物料	117
6.1 沥青材料	117
6.2 沥青混合物料	139
本章小结	169
思考与练习题	170
第7章 砌体材料	171
7.1 砌墙砖	171
7.2 砌块及墙体材料的发展	181
7.3 砌筑石材	185
本章小结	187
复习思考题	188
第8章 木 材	189
8.1 木材的分类与构造	189
8.2 木材的性能及应用	191
8.3 木材的防护与防火	194
本章小结	195
思考与练习题	196
第9章 金属材料	197
9.1 建筑钢材	197
9.2 铝材及铝合金	217
本章小结	219
思考与练习题	219
第10章 高分子合成材料	220
10.1 高分子化合物基本知识	220
10.2 建筑塑料	222
10.3 建筑涂料	226

目 录

10.4 建筑胶黏剂	228
10.5 土工合成材料	231
本章小结	233
复习与思考题	234
第 11 章 攀西地区高炉渣在土木工程材料中的应用	235
11.1 矿渣及全矿渣混凝土	235
11.2 高炉渣的成分、分类和应用	239
11.3 攀钢高炉渣的特点和性质	240
11.4 高钛型高炉渣在建筑材料领域的应用	244
本章小结	248
思考与练习题	248
第 12 章 建筑功能性材料及装饰材料	249
12.1 绝热材料	249
12.2 吸声材料	253
12.3 装饰材料	256
本章小结	265
思考与练习题	265
附录 1	266
附录 2	268
附录 3	270
附录 4	271
附录 5	272
附录 6	274
参考文献	277

绪 论

0.1 土木工程材料的定义和分类

0.1.1 土木工程材料的定义

土木工程材料是指在土木工程建设中用于构成建筑物或构筑物的各种材料的总称。例如：水泥、钢材、木材、混凝土、石材、砖、石灰、石膏、建筑塑料、沥青、玻璃、建筑陶瓷等，其品种达数千种。

0.1.2 土木工程材料的分类

土木工程材料种类繁多、性能各异且用途不同。在工程中，常从不同角度对土木工程材料加以分类。

1. 按化学成分分类

按化学成分来分，土木工程材料分为无机材料、有机材料和复合材料三大类，见表 0.1。

其中，复合材料能够克服单一材料的弱点，集中发挥复合后材料的综合优点，因此，是新型材料的发展方向。

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	铁、钢材及其合金
		有色金属	铜、铝、铝合金
	无机非金属材料	天然石材	砂、石及石材制品
		烧土制品	砖、瓦、玻璃及陶瓷制品
		胶凝材料及制品	石灰、石膏、水泥、砂浆、混凝土及硅酸盐制品
有机材料	植物材料		木材、竹材
	沥青材料		石油沥青、煤沥青及其制品
	合成高分子材料		塑料、涂料、胶黏剂、合成橡胶、部分混凝土外加剂、土工合成材料
复合材料	有机材料-无机非金属材料		聚合物混凝土、玻璃纤维增强塑料等
	金属材料-无机非金属材料		钢筋混凝土、钢纤维混凝土等
	金属材料-有机材料		有机涂层铝合金板、塑钢门窗等

2. 按结构部位和使用功能分类

按材料用于工程的结构部位和使用功能，通常可分为结构材料、墙体材料和功能材料三大类。

土木工程材料 TUMUGONGCHENG CAILIAO

(1) 结构材料。

主要是指构成结构物受力构件,用于承受荷载的材料。如梁、板、柱、基础、框架及其他受力构件和结构等所用的材料。具体包括砖、石、木材、水泥、混凝土、钢筋混凝土、钢材等。

(2) 墙体材料。

指建筑物内、外及分隔墙体所采用的材料,有承重和非承重两类。目前,我国大量采用的墙体材料为砌墙砖、混凝土砌块及加气混凝土砌块等。此外,还有混凝土墙板、石膏板、金属板材料和复合墙体等,特别是轻质多功能的复合墙板发展较快。

(3) 功能材料。

指具有某些特殊功能的材料,用于满足建筑物或构筑物的适用性。如防水材料、保温材料、隔音吸声材料、装饰材料、耐火材料、耐腐蚀材料以及防辐射材料等。这类材料品种繁多,形式多样,功能各异,正越来越多地应用于各种建筑物或构筑物上。

一般来说,建筑物或构筑物的安全可靠程度,主要取决于由结构材料组成的构件和结构体系;而结构物的使用功能,则主要取决于功能材料。有时,单一的一种材料可能会具有多种功能。

0.2 土木工程材料在工程中的地位和作用

任何一种建筑物或构筑物都是用土木工程材料按某种方式组合而成的,没有土木工程材料,就没有土木工程,因此土木工程材料是一切土木工程的物质基础。土木工程材料在土木工程应用量巨大,材料费用在工程总造价中占 40%~70%,如何从品种门类繁多的材料中,选择物优价廉的材料,对降低工程造价具有重要意义。土木工程材料的性能影响到土木工程的坚固、耐久和适用,不难想象木结构、砌体结构、钢筋混凝土结构和砖混结构的建筑物性能之间的差异。例如砖混结构的建筑,其坚固性一般优于木结构和砌体结构建筑,而舒适性不及后者。对于同类材料,性能也会有较大差异,例如用矿渣水泥制作的污水管较普通水泥制作的污水管耐久性好。因此,选用性能相适的材料是土木工程质量的保证。

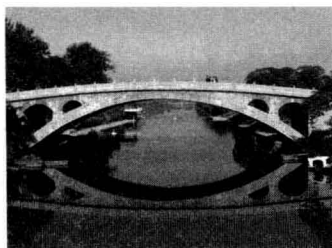
任何一个土木工程都由建筑、材料、结构、施工四个方面组成,这里的“建筑”指建筑物(构筑物),它是人类从事土木工程活动的目的,如“材料”、“结构”、“施工”是实现这一目的的手段。其中,材料决定了结构形式,如木结构、钢结构、钢筋混凝土结构等,结构形式一经确定,施工方法也随之而定。土木工程中许多技术问题的突破,往往依赖于土木工程材料问题的解决,新材料的出现,将促使建筑设计、结构设计和施工技术革命性的变化。例如黏土砖的出现,产生了砖木结构;水泥和钢筋的出现,产生了钢筋混凝土结构;轻质高强材料的出现,推动了现代建筑向高层和大跨度方向发展;轻质材料和保温材料的出现,对减轻建筑物的自重、提高建筑的抗震能力、改善工作与居住环境条件等起到了十分有益的作用,并推动了节能建筑的发展;新型装饰材料的出现,使得建筑物的造型及建筑物的内外装饰焕然一新,生气勃勃。总之,新材料的出现远比通过结构设计、计算和采用先进施工技术对土木工程的影响大,土木工程归根到底是围绕着土木工程材料来开展的生产活动,土木工程材料是土木工程的基础和核心。

0.3 土木工程材料的应用及发展趋势

土木工程材料是随着社会生产力和科学技术水平的发展而发展的,根据建筑物所用的结构材料,大致分为三个阶段。

1. 天然材料

天然材料是指取之于自然界，进行物理加工的材料，如天然石材、木材、黏土、茅草等。早在原始社会时期，人们为了抵御雨雪和防止野兽侵袭，居于天然山洞或树巢中，即所谓“穴居巢处”。进入石器、铁器时代，人们开始利用简单的工具砍伐树木和苇草，搭建简单的房屋，开凿石材建造房屋及纪念性构筑物，比天然巢穴进了一步。进入青铜器时代，出现了木结构建筑及“版筑建筑”（指墙体用木板或木棍作边框，然后在框内浇筑黏土，用木杵夯实之后将木板拆除的建筑物），由此建造出了舒适性较好的建筑物。各类天然材料建筑列举如图 0.1 所示。



(a) 赵州桥（石结构）



(b) 布达拉宫（石木结构）



(c) 甘肃嘉峪关土筑长城（版筑结构）

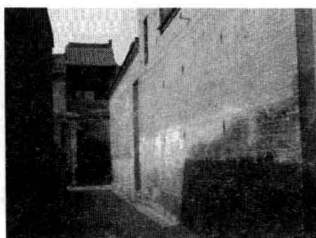
图 0.1 天然材料建筑

2. 烧土制品（人工材料）

到了人类能够用黏土烧制砖、瓦，用石灰岩烧制石灰之后，土木工程材料才由天然材料进入人工生产阶段。在封建社会，虽然我国古代建筑有“秦砖汉瓦”、描金漆绘装饰艺术、造型优美的石塔和石拱桥的辉煌，但实际上这一时期，生产力发展停滞不前，使用的结构材料不过砖、石和木材而已。各类烧土制品建筑列举如图 0.2 所示。



(a) 瓦屋顶



(b) 黏土砖墙



(c) 黄琉璃瓦檐



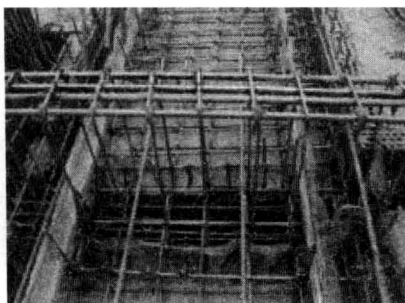
(d) 木材、汉白玉、琉璃瓦和青砖建造的故宫

图 0.2 烧土制品（人工材料）建筑

土木工程材料 TUMUGONGCHENG CAILIAO

3. 钢筋混凝土（复合材料）

18、19 世纪，随着工业化生产的兴起，由于大跨度厂房、高层建筑和桥梁等土木工程建设的需要，旧有材料在性能上已满足不了新的建设要求，土木工程材料在其他有关科学技术的配合下，进入了一个新的发展阶段，相继出现了钢材、水泥、混凝土、钢筋混凝土和预应力钢筋混凝土及其他材料。近几十年来，随着科学技术的进步和土木工程发展的需要，一大批新型土木工程材料应运而生，出现了塑料、涂料、新型建筑陶瓷与玻璃、新型复合材料（纤维增强材料、夹层材料等），但当代主要结构材料仍为钢筋混凝土，如图 0.3 所示。



(a)



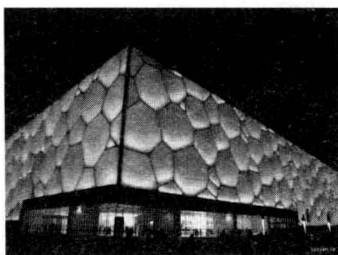
(b)

图 0.3 钢筋混凝土结构

随着社会的进步、环境保护和节能降耗的需要，对土木工程材料提出了更高、更多的要求。因而，今后一段时间内，土木工程材料将向轻质、高强、节能、高性能、绿色等几个方向发展，见图 0.4。



(a) 国家体育场“鸟巢”
(大跨度的曲线结构——
钢结构) 2008 年



(b) 国家游泳中心“水立方”
(首次采用 ETFE 膜材料——
膜结构) 2008 年



(c) 四川雅西高速公路干海子特
大桥(世界上最长的全钢管混
凝土桁架梁公路桥) 2012 年

图 0.4 新型建筑材料（建筑结构）

(1) 轻质高强。

现今钢筋混凝土结构材料自重大（每立方米约重 2 500 kg），限制了建筑物向高层、大跨度方向进一步发展。通过减轻材料自重，以尽量减轻结构物自重，可提高经济效益。目前，世界各国在大力发展高强混凝土、加筋混凝土、轻集料混凝土、空心砖、石膏板等材料，以适应土木工程发展的需要。

(2) 节约能源。

土木工程材料的生产能耗和建筑使用能耗，在国家总能耗中一般占 20%~35%，研制和生产低能耗的新型节能土木工程材料，是构建节约型社会的需要。

(3) 利用废渣。

充分利用工业废渣、生活废渣、建筑垃圾生产土木工程材料，将各种废渣尽可能资源化，以保护环境、节约自然资源，使人类社会可持续发展。

(4) 智能化。

所谓智能化材料，是指材料本身具有自我诊断和预告破坏、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。

(5) 多功能化。

利用复合技术生产多功能材料、特殊性能材料及高性能材料，这对提高建筑物的使用功能、经济性及加快施工速度等有着十分重要的作用。

(6) 绿色化。

产品的设计是以改善生产环境，提高生活质量为宗旨，产品具有多种功能，不仅无损而且有益于人的健康；产品可循环或回收再利用，或者形成无环境污染的废弃物。因此，生产材料所用的原料尽可能少用天然资源，大量使用尾矿、废渣、垃圾、废液等废弃物；采用低能耗制造工艺和对环境无污染的生产技术；产品配制和生产过程中，不使用对人体和环境有害的污染物质。

0.4 土木工程材料的技术标准

土木工程材料的技术标准是对土木工程材料生产、使用及流通中需要协调统一的技术事项所制订的技术规定。它是从事材料生产、工程建设及商品流通的一种共同遵守的技术依据。它具体包括原材料质量、产品规格、等级分类、技术要求、检验方法、验收规则、包装及标志、运输与储存等内容。

产品标准化可以使设计、施工也相应标准化，既能合理选用材料，又能促进企业改善管理，提高生产技术和生产效率；更有利于加快施工进度，降低工程造价。

我国常用的标准主要有国家级、行业（或部级）、地方级与企业级 3 大类。国家标准由国家标准局发布，行业标准由主管生产部（或总局）发布，两者都是国家指令性技术文件，全国通用。地方标准是由地方主管部门制定和发布的地方性指导技术文件，适用于本地区使用。凡是没有相应的国家、行业和地方标准的产品，均应制定企业标准。地方标准和企业标准所制定的相关技术要求应高于类似（或相关）产品的国家标准。

我国常用的标准分为以下三大类：

1. 国家标准

代号 GB 为国家强制性标准，代号 GB/T 为国家推荐性标准。

2. 行业（或部颁）标准

如中国建筑工业行业标准（代号 JG）、中国建筑材料行业标准（代号 JC）、中国黑色冶金行业标准（代号 YB）、中国建筑工程标准（代号 JZ）、中国测绘行业标准（代号 CH）和中国石油化工行业标准（代号 SH）。

3. 地方标准（代号 DB）和企业标准（代号 QB）

标准的一般表示方法是由标准名称、部门代号、标准编号和颁布年份等组成。例如：

土木工程材料
TUMUGONGCHENG CAILIAO

国家标准（强制性）《通用硅酸盐水泥》（GB 175—2007）；
建工行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》（JGJ 52—2006）；
辽宁省地方标准《矿渣混凝土砖建筑技术规程》（DB21/T 1479—2007）。

随着我国对外开放和加入世界贸易组织（WTO），常常还会涉及一些与土木工程材料相关的国际标准和外国标准，具体内容见表 0.2。

表 0.2 常用国际标准和外国标准名称及代号

标准名称	标准代号	标准名称	标准代号
国际标准化组织标准	ISO	意大利国家标准	UNI
国际标准化组织建议标准	ISO/R	欧洲标准化委员会标准	EN
美国材料试验协会标准	ASTM	俄罗斯国家标准	GOST
美国国家标准	ANSI	欧洲无损检测联盟标准	EFNDT
法国国家标准	NF	澳大利亚国家标准	AS
美国混凝土学会标准	ACI	加拿大国家标准	CSASTD
日本标准	JSA		

0.5 本课程的任务和学习方法

本课程是土木类专业的学科基础课程，包括理论课和实验课两大部分。本课程的学习目的在于为后续课程如房屋建筑学、混凝土结构原理以及土木工程施工技术等专业课程的学习提供材料方面的基础知识，并为今后从事设计、施工、工程管理及材料检测等技术工作提供合理选择和使用土木工程材料方面的基本理论和基本技能。

本课程的任务是使学生获得有关土木工程材料的技术性质及应用的基础知识和必要的基础理论，并获得主要土木工程材料性能检测和试验方法的基本技能训练。

本课程内容庞杂，各章之间的联系较少；以叙述为主，名词、概念和专业术语众多，没有多少公式的推导或定律的论证与分析；与工程实际联系紧密，有许多定性的描述或经验规律的总结。为了学好土木工程材料这门课，学习时应从材料科学的观点和方法及实践的观点出发，从以下几个方面来进行：

（1）凝神静气，反复阅读。这门课的特点与力学、数学等完全不同，初次学习难免产生枯燥无味之感，但必须克服这一心理状态，静下心来反复阅读，适当背记，背记后再回想和理解。

（2）及时总结，发现规律。这门课虽然各章节之间自成体系，但材料的组成、结构、性质和应用之间有内在的联系，通过分析对比，掌握它们的共性。每一章节学习结束后，及时总结，使读书“由厚到薄”。

（3）观察工程，认真试验。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，为了及时理解课堂讲授的知识，应利用一切机会观察周围已经建成的或正在施工的土木工程，在实践中理解和验证所学内容。试验课是本课程的重要教学环节，通过实验可验证所学的基本理论，学会检验常用的建筑材料的实验方法，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以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

【学习要求】

- 了解材料的组成、结构及对材料性能的影响。
- 掌握材料物理性质的基本概念、表示方法及与工程的关系。
- 掌握材料力学性质的基本概念及与工程的关系。
- 掌握材料的耐久性所包含的内容,了解其影响因素。

本章的难点是材料的组成及其对材料性质的影响。建议通过学习了解材料科学的基本概念,理解材料的组成结构与性能的关系,及其在工程实践中的意义。

土木工程材料的基本性质是指土木工程材料在实际工程使用中所表现出来的普遍的、最一般的性质,也是最基本的性质。由于材料本身的工作状态和所处的环境不同,外界对它的作用和影响方式也不同,使得材料表现出的性质也综合体现在多个方面,具体包括物理性质、力学性质和耐久性。这些性能在很大程度上决定了工程质量。因此,对于从事土木工程设计、施工和管理的工程技术人员来讲,了解和掌握土木工程材料的基本性质,是合理选择和使用材料的前提和基础。

1.1 材料的组成与结构

1.1.1 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。

1. 化学组成

化学组成是指构成材料的化学元素以及化合物的种类与数量。金属材料以构成的化学元素含量来表示;无机非金属材料以组成它的氧化物的含量来表示;有机高分子聚合物以有机元素链节的重复形式来表示。化学成分是决定材料化学性质、物理性质和力学性质的主要元素。

2. 矿物组成

矿物是指由地质作用所形成的天然单质或化合物,是组成岩石和矿石的基本单元。矿物组成是指构成材料的矿物种类和数量。许多无机非金属材料是由各种矿物组成的,如花岗岩的主要矿物成分有长石、石英和少量云母;硅酸盐水泥的矿物组成有硅酸三钙、硅酸二钙、铝酸三钙和铁铝酸四钙。某些材料的性能是由其矿物成分所决定的,如天然石材和各种水泥。材料的化学成分不同,则材料的矿物组成也不同。有时,即使是化学成分相同,但由于结构不同,使其矿物组成不同,会导致其性能有很大的差异。比如:在硅酸盐水泥中,硅酸三钙和硅酸二钙都含有 CaO 和 SiO_2 两种氧化物,化学成分相同,但由于其矿物组成不同,导致两者的性质相差很大。由此可见,此时决定水泥性质的是它的矿物成分。

土木工程材料 TUMUGONGCHENG CAILIAO

1.1.2 材料的结构

材料的性质除与材料组成有关外，还与其结构和构造密切相关。材料的结构和构造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。目前，材料不同层次的结构和构造的名称和划分，在不同学科间尚未统一。通常，按材料的结构和构造的尺度范围，可分为宏观结构、亚微观结构和微观结构。材料的结构是决定材料性能的重要因素。

1. 宏观结构（构造）

宏观结构（构造）是指用肉眼或放大镜可分辨出的结构和构造状况，其尺度范围在毫米级以上，如材料内部的粗大孔隙、裂纹、岩石的层理及木材的纹理等。材料的某些性能是由宏观构造所决定的。材料的宏观构造包括以下 7 类：

（1）致密结构：材料在外观上和结构上都是致密的，如钢材、致密石材、玻璃、塑料、橡胶等。它们的特点是不吸水，强度较高。

（2）多孔结构：材料结构不密实，孔隙率较大的结构，如石膏制品、加气混凝土和烧结普通等。它们的特点是保温、隔热性较好。

（3）纤维结构：由纤维状物质构成的结构，如木材、玻璃纤维和岩棉等。它们的特点是抗拉强度较高，多数材料保温隔热且吸声性较好。

（4）聚集结构：由集料与胶结材料凝结而成的结构，如混凝土、砂浆和陶瓷制品等。它们的特点是强度较高，综合性能较好。

（5）层状结构：由多层材料叠合构成，如胶合板、纸面石膏板和 GRC 等复合墙板等。它们的特点是各层材料性质不同，但叠合后综合性较好。

（6）散粒结构：由松散颗粒状材料构成，如砂石材料、膨胀蛭石和膨胀珍珠岩等。砂石材料可以作为普通混凝土的集料；膨胀蛭石、膨胀珍珠岩可以作为轻混凝土或轻砂浆的集料。

（7）纹理结构：天然材料在形成过程中自然形成有天然纹理的结构，如木材和天然大理石板材等。由于这些天然纹理呈现不同的颜色以及花纹图案，因此这些材料具有很好的装饰性。

2. 亚微观结构

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结构，是介于宏观和微观之间的结构，其尺度在 $10^{-9} \sim 10^{-3} \text{ m}$ 。亚微观结构根据其尺度范围，还可分为显微结构之间的结构。其中，显微结构是指用光学显微镜所能观察到的结构，其尺度在 $10^{-7} \sim 10^{-3} \text{ m}$ 。土木工程材料中的显微结构，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及界面特性等；对于金属材料，通常是研究其金相组织、晶界及晶粒尺寸等；对于木材，通常是研究木纤维、管胞和髓线等组织结构。材料在显微结构层次上的差异对材料的性能有显著的影响。例如，钢材的晶粒越小，钢材的强度越高；又如混凝土中毛细孔的数量越少，孔径越小，则混凝土的强度和耐久性越高。因此，从显微结构层次上研究并改善土木工程材料的性能十分重要。

材料的纳米结构是指一般扫描透射电子显微镜所能观察到的结构，其尺度在 $10^{-9} \sim 10^{-7} \text{ m}$ 。由于纳米微粒和纳米固体有小尺寸效应、表面界面效应等基本特性，赋予了纳米材料许多奇异的物理和化学特性，也使得纳米技术迅速发展，在土木工程领域得到了应用，如纳米涂料等。通常，胶体中的颗粒直径为 $1 \sim 100 \text{ nm}$ ，是典型的纳米结构。

3. 微观结构

材料的微观结构是指材料物质分子或原子层次的结构，需要用电子显微镜或 X 射线衍射仪来

第1章 土木工程材料的基本性质

分析和研究的结构特征。材料的许多物理性质是由其微观结构所决定的,如强度、硬度、熔点和导电性等。

按材料组成质点的空间排列或连接方式不同,材料可分为晶体、玻璃体和胶体三类。

(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的固体,具有特定的几何外形、固定的熔点和化学稳定性;同时由于质点在不同方向排列的方式不同,故表现为单晶体呈各向异性的特点。但是实际应用的材料常常是由大量排列不规则的多晶粒组成的,又导致其呈现各向同性的性质。根据晶体的质点和化学键的不同,晶体可分为以下几类:

原子晶体:中性的原子以共价键结合而成的晶体,如石英和金刚石等。

离子晶体:正负离子以离子键结合而成的晶体,如氯化钠和硫酸钠等。

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。

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,如钢铁材料。

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。所以,同样是晶体,由于质点间化学键的不同,会导致它们在许多物理性质方面(如强度、硬度和熔点等)有很大的差异,这是由晶体的微观结构所决定的。

(2) 玻璃体。

玻璃体是熔融状态的物质经过快速冷却,其质点来不及按特定的规则排列就凝固而形成的结构。它没有固定的几何外形,质点在空间的排列杂乱无序,具有各向同性的性质。其内部蕴藏着潜在的化学能,使其化学性质很不稳定,很容易与其他物质起化学反应。如粒化高炉矿渣、火山灰和粉煤灰等玻璃体材料,能与石膏、石灰在有水的条件下水化和硬化,生成胶凝性的物质,改善水泥的性能。

(3) 胶体。

胶体是指物质以极微小的质点($1 \sim 100 \mu\text{m}$)分散在介质中所形成的结构。由于胶体粒子颗粒细小,使胶体具有吸附性和黏结性。硅酸盐水泥正是由于水化生成硅酸钙凝胶才能将砂石等散状材料黏结成整体,形成混凝土结构。

1.2 材料的物理性质

土木工程材料的物理性质是指反映材料内部组成结构状态的物理常数,以及与水和温度有关的性质。

常用的物理常数有密度、孔隙率和空隙率等。

1.2.1 材料的孔隙构造

多数材料内部都含有孔隙,由于孔的尺寸与构造不同,使得不同材料表现出不同的性能特点,也决定了它们在工程中有不同的用途。

材料内部的孔隙构造包括孔隙尺寸的大小以及开口孔和闭口孔等。与外界相通的孔叫开口孔;与外界不连通、外界介质进不去的孔叫闭口孔。材料的孔隙构造见图 1.1。

土木工程材料 TUMUGONGCHENG CAILIAO

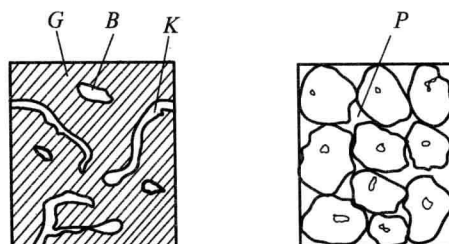


图 1.1 材料内部的孔隙构造示意图

G—固体物质 (体积 V); B—闭口孔隙 (体积 V_B); K—开口孔隙 (体积 V_K); P—颗粒间空隙 (体积 V_P)

1.2.2 材料的密度、表观密度、体积密度和堆积密度

1. 密 度

密度是指材料在绝对密实状态下单位体积的质量, 又称为真密度。

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

式中 ρ ——材料的密度, g/cm^3 ;

m ——材料的质量, g ;

V ——材料在绝对密实状态下的体积 (不包括孔隙的体积), cm^3 。

绝对密实状态下的体积是指纯粹固体物质的体积, 不包含材料内部的孔隙体积。工程中, 除钢材、玻璃等少数材料为致密材料外, 绝大多数材料内部都含有一定的孔隙, 如砂石、砖、混凝土等。

测定材料密度的方法, 即测定材料的体积 V 的方法, 具体如下:

(1) 当材料形状规则且致密, 如钢材、玻璃可直接用尺子量测得到 V 。

(2) 当材料为块状但有孔隙时, 将材料磨成细粉, 干燥后, 用李氏瓶测得体积 V , 材料磨得越细, 测得的密度数值越精确, 如砖、石材。

(3) 对于砂、石等形状不规则密度材料, 常直接用排水法测其体积的近似值 (颗粒内部的封闭孔隙体积无法排除), 这时所求得的密度为近似密度。

2. 表观密度

表观密度是指材料在包含内部闭口孔隙的条件下的单位体积的质量。其计算公式如下:

$$\rho' = \frac{m}{V'} \quad (1.2)$$

式中 ρ' ——材料的表观密度, g/cm^3 ;

m ——材料的质量, g ;

V' ——只包括材料自身及闭口孔隙在内的体积 (cm^3), 即 $V' = V + V_B$ 。

对于砂石材料, 由于其内部孔隙率很小, 通常无须经过磨细, 直接用排水法测定其密度。由于此方法忽略了材料内部的孔隙体积, 故又将此方法测得的密度称为表观密度, 也称为视密度或视比重。