

新世纪土木工程专业系列教材

# 土木工程材料

黄晓明 潘钢华 赵永利 编著

东南大学出版社

## 内 容 提 要

本书分上、下两篇,上篇主要介绍基本材料的性质和技术指标,分别包括集料、沥青、水泥、无机胶凝材料、钢材、高分子材料等;下篇主要介绍混合材料的性质、技术指标和应用等,主要包括建筑砂浆、水泥混凝土、沥青混合料、无机结合料稳定材料和功能材料。

在本书的编写中,适当地介绍了当代重点工程使用的新材料,如纤维混凝土、高强混凝土、浇注式沥青混凝土、环氧沥青混凝土、改性沥青与沥青等。在编写形式上,着重土木工程材料基本概念、基础理论和试验的介绍。每章开头部分均明确提出了学习目的和教学要求;每章后均编有复习思考题和创新设计,便于学生复习和巩固本章的内容。

本书可作为高等学校土木工程专业或其他相关专业的教材,既适用本科和专科的教学,也适用于电大、职大、函大、自学考试及各类培训班的教学,并可供有关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程材料 韩晓明等编著 南京:东南大学出版社

2007.12

ISBN 978-7-305-05111-1

I. ①土... II. ①韩... III. ①土木工程—材料 IV. ①TB307

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第121111号

东南大学出版社出版发行

(南京四牌楼 2 号 邮编 210096)

出版人 宋增民

江苏省新华书店经销 扬中市印刷厂印刷

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 15.5 字数 360千字

2007年12月第1版 2007年12月第1次印刷

印数 1500册 定价 35.00元

(凡因印装质量问题,可直接向发行科调换。电话 025-83792363)

# 新世纪土木工程专业系列教材编委会

顾 问 丁大钧 容柏生 沙庆林

主 任 吕志涛

副主任 蒋永生 陈荣生 邱洪兴 黄晓明

委 员 (以姓氏笔画为序)

丁大钧 王 炜 冯 健 叶见曙 石名磊 刘松玉 吕志涛

成 虎 李峻利 李爱群 沈 杰 沙庆林 邱洪兴 陆可人

舒赣平 陈荣生 单 建 周明华 胡伍生 唐人卫 郭正兴

钱培舒 曹双寅 黄晓明 龚维民 程建川 容柏生 蒋永生

# 前 言

本书是《新世纪土木工程专业系列教材》之一。

土木工程材料是土木工程专业的主干课程之一。由于国家本科专业目录的调整,现有的土木工程专业涵盖原有的建筑工程、交通土建工程、桥梁工程、地下工程等专业,原有的《道路建筑材料》、《建筑材料》等教材不能满足国家拓宽专业口径的要求。为了适应土木工程专业材料课程教学的要求,编写本书。

由于土木工程材料涉及面广,同时建筑工程与交通土建工程的材料标准和试验方法不尽相同,工程中使用的主要材料的种类也不同,本教材着重从基本概念、基础理论和试验方法等角度讲解主要使用的土木工程材料。同时,由于相关专业材料的书籍也较多,学习时可以结合参考文献课外阅读其他的教材或专著。

编著者根据土木工程材料的实际,将重要的内容编写在本书中,同时适当介绍当代重点工程使用的新材料,如纤维混凝土、高强混凝土、浇筑式沥青混凝土、环氧沥青混凝土、改性沥青与乳化剂等。本书分上、下两篇,上篇主要介绍基本材料的性质和技术指标,分别包括集料、沥青、水泥、无机胶凝材料、钢材、高分子材料等;下篇主要介绍混合材料,主要包括建筑砂浆、水泥混凝土、沥青混合料、无机结合料稳定材料和功能材料等。

本书绪论、第1章~第4章由黄晓明编写,第5章~第8章由潘钢华编写,第9章~第12章由赵永利编写,全书由黄晓明统编。

希望读者在使用过程中多提意见,使本书日臻完善。

黄晓明 潘钢华 赵永利

2008年 缘月

# 序

东南大学是教育部直属重点高等学校,在 20 世纪 90 年代后期,作为主持单位开展了国家级“21 世纪土建类专业人才培养方案及教学内容体系改革的研究与实践”课题的研究,提出了由土木工程专业指导委员会采纳的“土木工程专业人才培养的知识结构和能力结构”的建议。在此基础上,根据土木工程专业指导委员会提出的“土木工程专业本科(四年制)培养方案”,修订了土木工程专业教学计划,确立了新的课程体系,明确了教学内容,开展了教学实践,组织了教材编写。这一改革成果,获得了 2000 年教学成果国家级二等奖。

这套新世纪土木工程专业系列教材的编写和出版是教学改革的继续和深化,编写的宗旨是:根据土木工程专业知识结构中关于学科和专业基础知识、专业知识以及相邻学科知识的要求,实现课程体系的整体优化,拓宽专业口径,实现学科和专业基础课程的通用化,将专业课程作为一种载体,使学生获得工程训练和能力的培养。

新世纪土木工程专业系列教材具有下列特色:

1. 符合新世纪对土木工程专业的要求

土木工程专业毕业生应能在房屋建筑、隧道与地下建筑、公路与城市道路、铁道工程、交通工程、桥梁、矿山建筑等的设计、施工、管理、研究、教育、投资和开发部门从事技术或管理工作,这是新世纪对土木工程专业的要求。面对如此宽广的领域,只能从终身教育观念出发,把对学生未来发展起重要作用的基础知识作为优先选择的内容。因此,本系列的专业基础课教材,既打通了工程类各学科基础,又打通了力学、土木工程、交通运输工程、水利工程等大类学科基础,以基本原理为主,实现了通用化、综合化。例如工程结构设计原理教材,既整合了建筑结构和桥梁结构等内容,又将混凝土、钢、砌体等不同材料结构有机地综合在一起。

2. 专业课程教材分为建筑工程类、交通土建类、地下工程类三个系列

由于各校原有基础和条件的不同,按土木工程要求开设专业课程的困难较大。本系列专业课教材从实际出发,与设课群组相结合,将专业课程教材分为建筑工程类、交通土建类、地下工程类三个系列。每一系列包括有工程项目的规划、选型或选线设计、结构设计、施工、检测或试验等专业课系列,使自然科学、工程技术、管理、人文学科乃至艺术交叉综合,并强调了工程综合训练。不同课群组可以交叉选课。专业系列课程十分强调贯彻理论联系实际的教学原则,融知识和能力为一体,避免成为职业的界定,而主要成为能力培养的载体。

3. 教材内容具有现代性,用整合方法大力精减

对本系列教材的内容,本编委会特别要求不仅具有原理性、基础性,还要求具有现代性,纳入最新知识及发展趋向。例如,现代施工技术教材包括了当代最先进的施工技术。

在土木工程专业教学计划中,专业基础课(平台课)及专业课的学时较少。对此,除了少而精的方法外,本系列教材通过整合的方法有效地进行了精减。整合的面较宽,包括了土木工程

各领域共性内容的整合,不同材料在结构、施工等教材中的整合,还包括课堂教学内容与实践环节的整合,可以认为其整合力度在国内是最大的。这样做,不只是为了精减学时,更主要的是可淡化细节了解,强化学习概念和综合思维,有助于知识与能力的协调发展。

### 发挥东南大学的办学优势

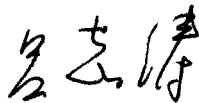
东南大学原有的建筑工程、交通土建专业具有悠久的历史,有一批国内外著名的专家、教授。他们一贯严谨治学,代代相传。按土木工程专业办学,有土木工程和交通运输工程两个一级学科博士点、土木工程学科博士后流动站及教育部重点实验室的支撑。近十年已编写出版教材及参考书百余本,其中多本教材获国家和部、省级奖,多门课程列为江苏省一类优秀课程,多本教材被列为全国推荐教材。在本系列教材编写过程中,实行了老中青相结合,老教师主要担任主审,有丰富教学经验的中青年教授、教学骨干担任主编,从而保证了原有优势的发挥,继承和发扬了东南大学原有的办学传统。

新世纪土木工程专业系列教材肩负着“教育要面向现代化,面向世界,面向未来”的重任。因此,为了出精品,一方面对整合力度大的教材坚持经过试用修改后出版,另一方面希望大家在积极选用本系列教材中,提出宝贵的意见和建议。

愿广大读者与我们一起把握时代的脉搏,使本系列教材不断充实、更新并适应形势的发展,为培养新世纪土木工程高级专门人才作出贡献。

最后,在这里特别指出,这套系列教材,在编写出版过程中,得到了其他高校教师的大力支持,还受到作为本系列教材顾问的专家、院士的指点。在此,我们向他们一并致以深深的谢意。同时,对东南大学出版社所作出的努力表示感谢。

中国工程院院士



二〇〇五年 九月

# 绪 论

**学习目的** 理解土木工程材料在专业学习中的重要性,了解我国在土木工程材料方面的创造、贡献与地位。

**教学要求** 纵观国内外古代、现代的著名土木建筑(房屋、桥梁、道路、古迹等),说明土木工程材料在各种建筑工程中的地位与作用;

阐述土木工程材料的教授与学习方法,强调实践的重要性与方法;

结合实际工程,简述各专业方向与材料科学的关系。

## 一、土木工程材料

任何土木工程建筑物都是用各种材料组成的,这些材料总称为土木工程材料。

随着土木工程技术的发展,用于土木工程建筑的材料不仅在品种上日益增多,而且对其质量也不断提出新的要求。

### 一、砂石材料

砂石材料有的是由地壳上层的岩石经自然风化得到的(天然砂砾),有的是经人工开采或再经轧制而得(如各种不同尺寸的碎石和砂)。这类材料可以直接用于土木工程结构物。同时,也是配制水泥混凝土或沥青混合料的矿质集料。

### 二、无机结合料及其制品

在土木工程中最常用到的无机结合料,主要是石灰和水泥。特别是水泥,它与集料配制的水泥混凝土是钢筋混凝土和预应力混凝土结构的主要材料。此外,水泥砂浆是各种圬工结构物砌筑的重要结合料。

随着高级路面的发展,水泥混凝土路面已经成为高等级公路的主要路面类型之一。

无机结合料稳定材料作为路面底基层或基层的主要材料类型,已经取得了良好的使用效果。

### 三、有机结合料及其混合料

有机结合料主要是指沥青类材料,如石油沥青、煤沥青等。这些材料与不同粒径的集料组配,可以修筑成各种类型的沥青混凝土路面。现代高速公路路面绝大部分采用沥青混凝土修筑,所以沥青混合料是现代路面工程中极为重要的一种材料。

### 四、钢材和木材

钢材是桥梁、钢结构及钢筋混凝土或预应力钢筋混凝土结构的重要材料。木材是土木工程施工拱架、模板及装饰的主要材料。

### 五、新型材料

随着现代材料科学的进步,在常用材料的基础上,又发展了新型的“复合材料”、“改性材料”等。复合材料是两种或两种以上不同化学组成或组织相的物质,以微观和宏观的物质形式

组合而成的材料。复合材料可以克服单一材料的弱点,而发挥其综合性能。改性材料是通过物理或化学的途径对其使用性能进行综合处理,使其更能满足实际的使用要求,如改性沥青等。同时一些添加剂材料也在不断出现,为土木工程建设服务。

## 二、土木工程材料在土木工程中的地位

土木工程材料和建筑设计、建筑结构、公路、城市道路、建筑经济及建筑施工等学科分支一样,是土木和交通运输工程学科极为重要的一部分。因为土木工程材料是土木工程的物质基础,一个优秀的土木工程师总是把建筑艺术和以最佳方式选用的土木工程材料融合一起。土木工程师只有在很好地了解土木工程材料的性能后,才能根据力学计算,准确地确定土建构件的尺寸和创造出先进的结构型式,使土建结构的受力特性和材料特性有机统一,合理地使用土木工程材料。目前,在我国土木工程的总造价中,土木工程材料的费用约占  $\frac{1}{3}$  左右。而土木工程施工的全过程实质上是按设计要求把土木工程材料逐步变成建筑物的过程,它涉及材料的选用、运输、储存以及加工等诸方面。总之,从事土木工程的技术人员都必须了解和掌握土木工程材料有关技术知识,并使所采用的材料最大限度地发挥其效能,合理、经济地满足土木工程的各种要求。

设计、施工、管理三者是密切相关的。从根本上说,材料是基础,材料决定了土建构造物的形式和施工方法。新材料的出现,可以促使土建构造物形式的变化、设计方法的改进和施工技术的革新。

## 三、我国土木工程材料的发展

材料科学和材料(含土木工程材料)本身都是随着社会生产力和科技水平的提高而逐渐发展的。自古以来,我国劳动者在土木工程材料的生产和使用方面曾经取得了许多重大成就。如始建于公元前 7 世纪的万里长城,所使用的砖石材料就达 1 亿 3 千万块;福建泉州的洛阳桥是 1000 多年前用石材建造的,其中一块石材的重量就达 100 吨;山西五台山木结构的佛光寺大殿已有千余年历史仍完好无损,等等。这些都有力地证明了中国人在土木工程材料生产、施工和使用方面的智慧和技巧。

建国以来,特别是改革开放以后,我国土木工程材料生产得到了更迅速的发展。钢材已跻身于世界生产大国之列,水泥工业已由解放前年产量不足百万吨的单一品种,发展为品种、强度等级齐全,年产量突破 1 亿吨的水平,陶瓷材料也由过去的单一白色瓷器发展到有上千花色品种的陶瓷产品,而且生产的高档配套建筑卫生陶瓷已可满足高标准建筑的需要,我国的玻璃工业也发展很快,普通玻璃已由建国初期年产仅 1 万吨标箱发展到 1 亿余标箱,且能生产功能各异的新品种,随着生活水平的提高和住房条件的改善,装饰材料更是丰富多彩,产业蓬勃兴旺。

我国道路沥青的生产从无到有,目前有三个方面的生产力量。(1)中国石化总公司系统所属的炼油厂,这是主要的沥青供应渠道,生产的沥青约占全国的  $\frac{1}{3}$  左右,其中道路沥青占  $\frac{1}{4}$  左右。(2)中国石油天然气总公司系统的沥青厂,分属于各个油田,主要是几个稠油处理厂。近年来沥青总产量增长了 1 倍,道路沥青增长了 1 倍,已占全国的  $\frac{1}{3}$  左右。(3)地方化工部门及其他沥青厂(包括辽宁省交通厅所属盘锦市沥青厂)。进口沥青与改性沥青也是我国沥青路面的主要品种之一。

到 2005 年,我国的水泥、平板玻璃、建筑卫生陶瓷和石墨、滑石等部分非金属矿产品的产量已跃居世界第一。我国的水泥产量已占世界总产量的 1/3,建筑陶瓷占 1/3,卫生陶瓷占 1/3,是名副其实的土木工程材料生产大国。但是,必须看到,我国土木工程材料企业的总体科技水平、管理水平还比较落后。主要表现在:能源消耗大;劳动生产率低;产业结构落后、环境污染严重;集约化程度低;市场应变能力差等。因此,我国土木工程材料工业还处于“大而不强”的状态。针对此情况,我国土木工程材料主管部门提出了土木工程材料工业“由大变强,靠新出强”的发展战略。其总目标是:从现在起力争用 3~5 年时间,逐步把建筑业建设成为具有国际竞争能力、适应国民经济发展的现代化原材料及制品工业,与交通土建及建筑工程一起,成为国民经济的支柱产业。这个总目标的内容包括:①建设有中国特色的现代化的新技术结构,着力发展新技术、新工艺、新产品;②建设高效益的新产业结构,实现由一般产品向高质量产品,低档产品向中、高档产品,单一产品向配套产品的转变,使产品结构适应需求变化;③建设起新的现代化管理体制;④塑造一支适应现代化建设要求的新队伍。因此,我国的土木工程材料必将会发展更快,其品种、质量和产量可极大地满足我国建设事业蓬勃发展的需要。

#### 四、本课程的内容和任务

本课程是土木工程或其他有关专业的一门技术基础课,并兼有专业课的性质。课程的任务是使学生通过学习,获得土木工程材料的基础知识,掌握土木工程材料的技术性能、应用方法及其试验检测技能,同时对土木工程材料的储运和保护也有所了解,以便在今后的工作实践中能正确选择与合理使用土木工程材料,亦为进一步学习其他有关专业课打下基础。

本书各章分别主要讲述各类土木工程材料的基本组成、组成设计、技术性能和技术指标。为了教学方便,将按下述顺序对各种常用的土木工程材料进行讲授:土木工程材料的基本性质、石材与集料、烧土制品与玻璃、无机胶凝材料、沥青材料、建筑钢材与木材、高分子材料、建筑砂浆、水泥混凝土、沥青混合料、无机结合料稳定材料、功能材料等。

实验和试验课是本课程的重要教学环节。为了加深了解材料的性能和掌握试验方法,培养科学研究能力,树立严谨的科学态度,必须结合课堂讲授的内容,加强对材料试验的实践。本课程根据课堂教学,安排了有关课外试验内容,并要求学生进行试验设计,取得相应的试验成果。同时,本教材还配有主要材料试验的网络演示软件。

#### 创新设计

通过调查国内外某一著名建筑,说明土木工程材料的类型及历史地位,要求写出科技小论文,题目自拟。

# 目 录

绪论 .....	( 员 )
----------	-------

## 上 篇

第 员章 土木工程材料的基本性质 .....	( 源 )
异员原员 土木工程材料的分类 .....	( 源 )
异员原圆 土木工程材料的物理性质 .....	( 缘 )
异员原猿 土木工程材料的力学性质 .....	( 员 )
异员原源 土木工程材料的耐久性 .....	( 员 )
复习思考题 .....	( 员 )
创新设计 .....	( 员 )
第 圆章 石材与集料 .....	( 员 )
异圆原员 常用的天然岩石 .....	( 员 )
异圆原猿 天然石材的技术性质、加工类型及选用原则 .....	( 员 )
异圆原缘 人造石材及制品 .....	( 圆 )
异圆原缘 集料的技术性质 .....	( 猿 )
异圆原缘 集料的级配设计理论 .....	( 源 )
复习思考题 .....	( 缘 )
创新设计 .....	( 缘 )
第 猿章 烧土制品与玻璃 .....	( 缘 )
异猿原员 烧结普通砖的生产与技术指标 .....	( 缘 )
异猿原圆 建筑陶瓷的生产与技术指标 .....	( 缘 )
异猿原猿 建筑玻璃的生产与技术指标 .....	( 远 )
复习思考题 .....	( 苑 )
创新设计 .....	( 苑 )
第 源章 无机胶凝材料 .....	( 苑 )
异源原员 建筑石膏 .....	( 苑 )
异源原圆 石灰 .....	( 苑 )
异源原猿 硅酸盐水泥的生产 .....	( 愿 )
异源原源 硅酸盐水泥的水化反应与凝结硬化 .....	( 愿 )
异源原缘 硅酸盐水泥的技术性质与应用 .....	( 愿 )
异源原远 掺混合材硅酸盐水泥的组成与性能 .....	( 怨 )
异源原苑 特种水泥 .....	( 怨 )
异源原愿 新型水泥 .....	( 员 )
复习思考题 .....	( 员 )
创新设计 .....	( 员 )
第 缘章 沥青材料 .....	( 员 )

异源原	沥青的分类与生产 .....	( 员韵)
异源原	石油沥青的组成与结构 .....	( 员韵)
异源原	石油沥青的主要技术性质 .....	( 员韵)
异源原	石油沥青的技术标准 .....	( 员韵)
异源原	石油沥青的老化与改性 .....	( 员韵)
异源原	沥青基防水卷材 .....	( 员韵)
复习思考题	.....	( 员韵)
创新设计	.....	( 员韵)
<b>第 远章</b>	<b>建筑钢材</b> .....	( 员韵)
异源原	钢材的冶炼与分类 .....	( 员韵)
异源原	钢材的化学组成与金相结构 .....	( 员韵)
异源原	钢材的物理力学性能 .....	( 员韵)
异源原	钢材的热加工与冷加工 .....	( 员韵)
异源原	建筑钢材的标准与选用 .....	( 员韵)
异源原	钢材的锈蚀与保护 .....	( 员韵)
复习思考题	.....	( 员韵)
创新设计	.....	( 员韵)
<b>第 苑章</b>	<b>高分子材料</b> .....	( 员韵)
异源原	高分子材料的合成与分类 .....	( 员韵)
异源原	高分子材料的聚集状态与性能 .....	( 员韵)
异源原	高分子材料在土木工程中的应用 .....	( 员韵)
复习思考题	.....	( 员韵)
创新设计	.....	( 员韵)

## 下 篇

<b>第 愿章</b>	<b>砂浆</b> .....	( 员韵)
异源原	砂浆的分类与性质 .....	( 员韵)
异源原	砌筑砂浆配合比设计 .....	( 员韵)
异源原	特种砂浆 .....	( 员韵)
复习思考题	.....	( 员韵)
创新设计	.....	( 员韵)
<b>第 怨章</b>	<b>水泥混凝土</b> .....	( 员韵)
异源原	水泥混凝土的应用与分类 .....	( 员韵)
异源原	普通水泥混凝土的原材料组成 .....	( 员韵)
异源原	新拌水泥混凝土的性质 .....	( 员韵)
异源原	水泥混凝土的力学性质 .....	( 员韵)
异源原	混凝土的耐久性 .....	( 员韵)
异源原	普通水泥混凝土的配合比设计 .....	( 员韵)
异源原	水泥混凝土外加剂 .....	( 员韵)
异源原	水泥混凝土的施工与质量控制 .....	( 员韵)
异源原	特种水泥混凝土 .....	( 员韵)
复习思考题	.....	( 员韵)

创新设计 .....	( 猿园 )
<b>第 7 章 沥青混合料 .....</b>	<b>( 猿猿 )</b>
<b>异题原员 沥青混合料的应用与分类 .....</b>	<b>( 猿猿 )</b>
<b>异题原猿 沥青混合料的强度构成 .....</b>	<b>( 猿猿 )</b>
<b>异题原源 沥青混合料的技术性质 .....</b>	<b>( 猿猿 )</b>
<b>异题原缘 沥青混合料的技术指标 .....</b>	<b>( 猿猿 )</b>
<b>异题原缘 沥青混合料的配合比设计 .....</b>	<b>( 猿猿 )</b>
复习思考题 .....	( 猿猿 )
创新设计 .....	( 猿猿 )
<b>第 8 章 无机结合料稳定材料 .....</b>	<b>( 猿猿 )</b>
<b>异题原员 无机结合料稳定材料的应用与分类 .....</b>	<b>( 猿猿 )</b>
<b>异题原猿 无机结合料稳定材料的力学性能 .....</b>	<b>( 猿猿 )</b>
<b>异题原源 无机结合料稳定材料的疲劳性能 .....</b>	<b>( 猿猿 )</b>
<b>异题原缘 无机结合料稳定材料的干缩与温缩 .....</b>	<b>( 猿猿 )</b>
<b>异题原缘 无机结合料稳定材料的配合比设计 .....</b>	<b>( 猿猿 )</b>
复习思考题 .....	( 猿猿 )
创新设计 .....	( 猿猿 )
<b>第 9 章 功能材料 .....</b>	<b>( 猿猿 )</b>
<b>异题原员 吸声材料 .....</b>	<b>( 猿猿 )</b>
<b>异题原猿 绝热材料 .....</b>	<b>( 猿猿 )</b>
<b>异题原源 防水材料 .....</b>	<b>( 猿猿 )</b>
<b>异题原缘 装饰材料 .....</b>	<b>( 猿猿 )</b>
复习思考题 .....	( 猿猿 )
创新设计 .....	( 猿猿 )
<b>参考文献 .....</b>	<b>( 猿猿 )</b>

# 第 1 章 土木工程材料的基本性质

**学习目的** 土木工程材料包括无机材料、有机材料及复合材料,它具有结构或功能的作用。而土木工程包括建筑工程、道路工程、桥梁工程、地下工程、岩土工程等,土木工程材料为这些工程服务。通过学习材料的基本性质,了解土木工程结构物的基本性质与工程特性的关系。

**教学要求** 通过工程实例说明土木工程材料的分类;  
通过分析各种土木工程的特点,说明土木工程材料的物理、力学性质及耐久性;  
重点讲解土木工程材料的密度、与水有关的性质、强度、弹性、粘性与塑性。

## 1.1 土木工程材料的分类

土木工程材料是指在土木工程中所使用的各种材料及其制品的总称。它是一切土木工程的物质基础。由于组成、结构和构造不同,土木工程材料品种繁多,性能各不相同,在土木工程中的功能各异,价格相差悬殊,在土木工程中的用量也很大,因此,正确选择和合理使用土木工程材料,对土木工程结构物安全、实用、美观、耐久及造价有着重大的意义。

由于土木工程材料种类繁多,为了研究、使用和论述方便,常从不同角度对它进行分类。最通常的是按材料的化学成分及其使用功能分类。

### 一、按化学成分分类

根据材料的化学成分,可分为有机材料、无机材料以及复合材料三大类,如表 1-1 所示。

表 1-1 土木工程材料按化学成分分类

分 类		实 例	
无机材料	金属材料	黑色金属	钢、板及其合金、合金钢、不锈钢等
		有色金属	铝、铜、铝合金等
	非金属材料	天然石材	砂、石及石材制品
		烧土制品	粘土砖、瓦、陶瓷制品等
		胶凝材料及制品	石灰、石膏及制品、水泥及混凝土制品等
		玻璃	普通平板玻璃、特种玻璃等
无机纤维材料	玻璃纤维、矿物棉等		
有机材料	植物材料	木材、竹材、植物纤维及制品等	
	沥青材料	煤沥青、石油沥青及其制品等	
	合成高分子材料	塑料、涂料、胶粘剂、合成橡胶等	
复合材料	有机与无机非金属材料复合	聚合物混凝土、玻璃纤维增强塑料等	
	金属与无机非金属材料复合	钢筋混凝土、玻璃纤维混凝土等	
	金属与有机材料复合	钢化玻璃、有机涂层铝合金板等	

## 二、按使用功能分类

根据材料在土木工程中的部位或使用性能,大体上可分为两大类,即土木工程结构材料(如钢筋混凝土、预应力混凝土、沥青混凝土、水泥混凝土、墙体材料、路面基层及底基层材料等)和土木工程功能材料(如吸声材料、耐火材料、排水材料等)。

### 土木工程结构材料

土木工程结构材料主要指构成土木工程受力构件和结构所用的材料。如梁、板、柱、基础、框架、墙体、拱圈、沥青混凝土路面、无机结合料稳定基层及底基层和其他受力构件、结构等所用的材料都属于这一类。对这类材料主要技术性能的要求是强度和耐久性。目前所用的土木工程结构材料主要有砖、石、水泥、水泥混凝土、钢材、钢筋混凝土和预应力钢筋混凝土、沥青和沥青混凝土。在相当长的时期内,钢材、钢筋混凝土及预应力钢筋混凝土仍是我国土木工程中的主要结构材料,沥青、沥青混凝土、水泥混凝土、无机结合料稳定基层及底基层则是我国交通土建工程中的主要路面材料。随着土建事业的发展,轻钢结构、铝合金结构、复合材料、合成材料所占的比重将会逐渐加大。

### 土木工程功能材料

土木工程功能材料主要是指担负某些建筑功能的非承重用材料。如防水材料、绝热材料、吸声和隔声材料、采光材料、装饰材料等。这类材料的品种、形式繁多,功能各异,随着国民经济的发展以及人民生活水平的提高,这类材料会越来越多地应用于土建结构物上。

一般地说,土建结构物的可靠度与安全度主要由土木工程材料组成的构件和结构体系所决定,而土建结构物的使用功能与品质主要取决于土木工程功能材料。此外,对某一种具体材料来说,它可能兼有多种功能。

## 异质原圆 土木工程材料的物理性质

在土建结构物中,土木工程材料要承受各种不同的作用,因而要求土木工程材料具有相应的不同性质,如用于土建结构物的材料要受到各种外力的作用,因此,选用的材料应具有所需要的力学性能。又如根据土建结构物各种不同部位的使用要求,选用的材料应具有防水、绝热、吸声、粘结等性能。对于某些土建结构物,要求材料具有耐热、耐腐蚀等性能。此外,对于长期暴露在大气中的材料,如路面材料,要求材料能经受风吹、日晒、雨淋、冰冻等引起的温度变化、湿度变化及反复冻融等的破坏作用。为了保证土建结构物的耐久性,要求土木工程师必须熟悉和掌握各种材料的物理性质和力学性质,在工程设计与施工中正确地选择和合理地使用材料。

### 一、材料的真实密度、表观密度与堆积密度

密度是指物质单位体积的质量,单位为  $\text{kg/m}^3$  或  $\text{g/cm}^3$ 。由于材料所处的体积状况不同,故有真实密度、表观密度和堆积密度之分。同时,不同材料密度测定方法也不尽相同,希望学生结合各章的学习,深刻理解不同密度的测定原理。

#### 真实密度(绝对密度)

真实密度是指材料在规定条件(无空隙)烘干至恒重,温度(绝对)绝对密实状态下(绝对密度状态是指不包括任何孔隙在内的体积)单位体积所具有的质量,按式(1-1)计算:

式中  $\rho$  ——真实密度(早<sup>灾</sup>);  
 皂——材料矿质实体的质量(早);  
 灾——材料矿质实体的体积(皂<sup>灾</sup>)。

除了钢材、玻璃等少数接近于真实密度的材料外,绝大多数材料都有一些孔隙。在测定有孔隙的材料密度时,应把材料磨成细粉(粒径小于园皂皂),经干燥后用李氏密度瓶测定其实际体积。材料磨得愈细,测定的密度值愈精确。

圆表观密度(皂灾)

表观密度是单位体积(含材料的实体矿物及不吸水的闭口孔隙,但不包括能吸水的开口孔隙在内的体积)所具有的质量,按式(员原圆)计算:

$$\rho_{皂灾} = \frac{皂}{灾垣灾} \quad (员原圆)$$

式中  $\rho_{皂灾}$  ——表观密度(早<sup>皂灾</sup>);  
 皂灾——意义同式(员原员);  
 灾——材料不吸水的闭口孔隙的体积(皂<sup>灾</sup>)。

猿堆积密度(皂灾)

堆积密度(旧称松散容重)是指粉状、粒状或纤维在自然堆积状态下单位体积(包含了颗粒的孔隙及颗粒之间的空隙)所具有的质量,按式(员原猿)计算:

$$\rho_{皂灾} = \frac{皂}{灾} \quad (员原猿)$$

式中  $\rho_{皂灾}$  ——堆积密度(早<sup>皂灾</sup>);  
 皂——材料的质量(早);  
 灾——材料的堆积体积(皂<sup>灾</sup>)。

在土木工程中,计算材料用量、构件自重、配料计算及确定堆放空间时经常要用到材料的密度、表观密度和堆积密度等数据。常用土木工程材料的有关数据见表(员原圆)

表 员原圆 常用土木工程材料的密度、表观密度和孔隙率

材料	密度 $\rho$ 皂灾 (早 <sup>灾</sup> )	表观密度 $\rho_{皂灾}$ (早 <sup>皂灾</sup> )	孔隙率 孕灾
石灰岩	圆皂灾	员皂灾-圆皂灾	原
花岗岩	圆皂灾	圆皂灾-圆皂灾	园灾-猿灾
碎石(石灰岩)	圆皂灾	原	原
砂	圆皂灾	原	原
粘土	圆皂灾	原	原
普通粘土砖	圆皂灾	员皂灾-员皂灾	园灾-源灾
粘土空心砖	圆皂灾	员皂灾-员皂灾	原
水泥	圆皂灾	原	原
普通混凝土	猿皂灾	圆皂灾-圆皂灾	缘灾-园灾
轻骨料混凝土	原	愿灾-员灾	原
木材	员灾缘	源灾-愿灾	缘灾-灾
钢材	苑灾缘	苑灾	园
泡沫塑料	原	园灾-缘灾	原
玻璃	圆灾缘	原	原

## 二、材料的密实度与孔隙率

### 1. 密实度

密实度是指材料体积内被固体物质所充实的程度,也就是固体物质的体积  $V_s$  占总体积  $V_0$  的比例。密实度反映了材料的致密度,以  $D_s$  表示:

$$D_s = \frac{V_s}{V_0} \quad (1.1.1)$$

含有孔隙的固体材料的密实度均小于 1。材料的很多性能如强度、吸水性、耐久性、导热性等均与其密实度有关。

### 2. 孔隙率

孔隙率是指材料孔隙体积(包括不吸水的闭口孔隙,能吸水的开口孔隙)与总体积之比,以  $P$  表示,可用下式计算:

$$P = \frac{V_p}{V_0} \quad (1.1.2)$$

孔隙率与密实度的关系为

$$P = 1 - D_s \quad (1.1.3)$$

孔隙率的大小直接反映了材料的致密程度。材料内部的孔隙又可分为连通的孔隙和封闭的孔隙,连通孔隙不仅彼此贯通且与外界相通,而封闭孔隙彼此不连通且与外界隔绝。孔隙按其尺寸大小又可分为粗孔和细孔。孔隙率的大小及孔隙本身的特征与材料的许多重要性质,如强度、吸水性、抗渗性、抗冻性和导热性等都有密切关系。一般而言,孔隙率小,且连通孔较少的材料,其吸水性较小,强度较高,抗渗性和抗冻性较好。几种常用土木工程材料的孔隙率见表 1.1.1。

## 三、材料与水有关的性质

### 1. 亲水性与憎水性

材料在空气中与水接触时,根据其是否能被水润湿,可将材料分为亲水性和憎水性(或称疏水性)两大类。

材料被水润湿的程度可用润湿角  $\theta$  表示,如图 1.1.2 所示。润湿角是在材料、水和空气三相的交点处,沿水滴表面切线 ( $\gamma_{LV}$ ) 与水与固体接触面 ( $\gamma_{SL}$ ) 之间的夹角,角愈小,则该材料能被水所润湿的程度愈高。一般认为,润湿角  $\theta \leq 90^\circ$  的材料为亲水性材料。反之,  $\theta > 90^\circ$  表明该材料不能被水润湿,称为憎水性材料(如图 1.1.3 所示)。

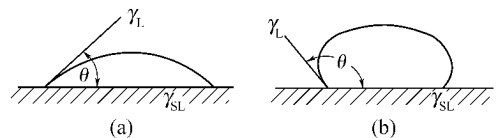


图 1.1.2 材料润湿示意图  
(a) 亲水性材料 (b) 憎水性材料

大多数土木工程材料,如石料、集料、砖、混凝土、木材等都属于亲水性材料,表面均能被水润湿,且能通过毛细管作用将水吸入材料的毛细管内部。

沥青、石蜡等属于憎水性材料，表面不能被水润湿。该类材料一般能阻止水分渗入毛细管中，因而能降低材料的吸水性。憎水性材料不仅可用作防水材料，而且可用于亲水性材料的表面处理，以降低其吸水性。

### 质量吸水性

材料在浸水状态下吸入水分的能力为吸水性。吸水性的大小，以吸水率表示。吸水率有质量吸水率和体积吸水率。

质量吸水率：材料所吸收水分的质量占材料干燥质量的百分数，按下式计算：

$$\text{宰质} = \frac{\text{皂湿} - \text{皂干}}{\text{皂干}} \times 100\% \quad (\text{员原苑})$$

式中 宰质——材料的质量吸水率(豫)；

皂湿——材料饱水后的质量(皂)；

皂干——材料烘干到恒重的质量(皂)。

体积吸水率：材料吸收水分的体积占材料干燥自然状态下体积的百分数，是材料体积内被水充实的程度。按下式计算：

$$\text{宰体} = \frac{\text{灾水} - \text{灾质}}{\text{灾质}} \cdot \frac{\text{皂干}}{\rho_{\text{憎}}} \times 100\% \quad (\text{员原愿})$$

式中 宰体——材料的体积吸水率(豫)；

灾水——材料在饱水时，水的体积(糟)；

灾质——干燥材料在自然状态下的体积(糟)；

$\rho_{\text{憎}}$ ——水的密度(早糟)。

质量吸水率与体积吸水率存在如下关系：

$$\text{宰体} = \text{宰质} \cdot \frac{\text{皂干}}{\rho_{\text{葬}}} \quad (\text{员原怨})$$

式中  $\rho_{\text{葬}}$ ——材料在干燥状态下的表观密度(早糟)。

材料的吸水性，不仅与材料的亲水性或憎水性有关，而且与孔隙率的大小及孔隙特征有关。一般孔隙率愈大，吸水性也愈强。封闭的孔隙，水分不易进入；开口的大孔，水分又不易存留，故材料的体积吸水率常小于孔隙率。

对于某些轻质材料，如加气混凝土、软木等，由于具有很多开口而微小的孔隙，所以它的质量吸水率往往超过员原怨，即湿质量为干质量的几倍，在这种情况下，最好用体积吸水率表示其吸水性。

水在材料中对材料性质将产生不良的影响，它使材料的表观密度和导热性增大，强度降低，体积膨胀。因此，吸水率大对材料性能不利。

### 质量吸湿性

材料在潮湿的空气中吸收空气中水分的性质称为吸湿性。吸湿性的大小用含水率表示。

材料所含水的质量占材料干燥质量的百分数，称为材料的含水率，可按下式计算：

$$\text{宰含} = \frac{\text{皂含} - \text{皂干}}{\text{皂干}} \times 100\% \quad (\text{员原园})$$