



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

土木工程 材料

(第3版)

主编 吴科如 张雄



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS



土木工程系列丛书

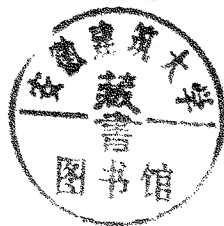


“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

土木工程材料

(第3版)

主编 吴科如 张 雄



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

本书为“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材,主要介绍常用的土木工程材料的基本组成、结构与材料性能;土木工程材料产品的标准、品质要求及检验方法。内容包括:土木工程用金属材料、木材、石材、气硬性胶凝材料、水泥、混凝土、建筑砂浆;墙体材料和屋面材料、高分子建筑材料、沥青与沥青混合料;土木工程材料试验等。

本书根据教育部有关高等教育技术基础课程基本要求编写,供大专院校土建类专业作为教学用书,也可供建筑设计、施工、管理、监理等技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程材料/吴科如,张雄主编. —3版. —上海:
同济大学出版社,2013.11
ISBN 978-7-5608-5143-3

I. ①土… II. ①吴… ②张… III. ①土木工程—
建筑材料—高等职业教育—教材 IV. ①TU5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 077727 号

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

土木工程材料 (第3版)

主 编 吴科如 张 雄

责任编辑 缪临平 责任校对 徐春莲 封面设计 潘向葵

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn

(地址:上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 常熟市大宏印刷有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 25

印 数 1—5100

字 数 624000

版 次 2013 年 11 月第 3 版 2013 年 11 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5608-5143-3

定 价 54.00 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

第3版前言

《土木工程材料》问世迄今已有18个年头了,它的前身是《建筑材料》(1996年第1版、1998年第2版);2003年更名为《土木工程材料》(2003年第1版、2008年第2版)。本书出版以来,颇受广大读者的欢迎,被全国不少高等院校土建类专业选为教学用书,已成为建筑设计、施工、管理和监理等土木建筑工程相关专业技术人员的日常查阅参考书籍。本书长期作为教学用书,随着时间的推移进行了多次修订和改版,在此过程中编者听取了全国各地兄弟院校同行的反馈意见,并根据两代土木工程材料教师教学实践积累的经验,不断地修改和改善,使本书从内容和风格上日趋成熟。

《土木工程材料》(第3版)一如既往以住房和城乡建设部高等土木工程专业委员会制定的土木工程专业培养目标、培养规格和土木工程专业课程设置方案为指导原则,以专业委员会审定的土木工程材料课程教学大纲为基本依据编写。《土木工程材料》(第3版)与时俱进,及时吸纳了近年土木工程材料领域的新技术、新材料、新成果知识,并根据土木工程领域最新标准和规范版本修订了各章节内容。

本书由同济大学吴科如、张雄主编,各章节编写人员为:绪论——吴科如;第一章——管小军;第二章——王中平;第三章——王劲;第四章——张永娟;第五章——张雄;第六章——吴科如、张永娟;第七章——张雄;第八章——刘斯凤、杜红秀;第九章——钟世云;第十章——管小军;第十一章——马一平;土木工程材料试验——王劲。本书由同济大学出版社缪临平副编审组稿、策划并任责编,在此我们表示衷心感谢。

由于编者水平的局限性,本书难免有谬误之处,诚请广大读者批评指正。

编 者

2013年9月

目 录

CONTENTS

第3版前言

诸论	(1)
----	-----

第一章 土木工程材料的基本性质	(1)
-----------------	-----

第一节 材料的组成与结构	(1)
第二节 材料的物理性质	(3)
第三节 材料的力学性质	(9)
第四节 材料的耐久性	(12)
第五节 绿色土木工程材料	(15)

第二章 钢材和铝合金	(19)
------------	------

第一节 概 述	(19)
第二节 钢的生产和分类	(20)
第三节 化学成分对钢材性能的影响	(23)
第四节 钢材的技术性质	(24)
第五节 钢材的冷加工和热处理	(28)
第六节 钢材(结构)的连接	(29)
第七节 土木工程用钢、钢材的标准和选用	(32)
第八节 钢材的腐蚀防护和防火	(45)
第九节 铝及铝合金	(48)

第三章 木 材	(52)
---------	------

第一节 概 述	(52)
第二节 木材的分类和构造	(53)
第三节 木材的性质	(56)
第四节 木材的保护	(62)
第五节 木材产品	(64)

第四章 气硬性无机胶凝材料	(72)
第一节 石 灰	(72)
第二节 石 膏	(77)
第三节 镁质胶凝材料——菱苦土	(82)
第四节 水玻璃	(84)
第五章 水 泥	(87)
第一节 概 述	(87)
第二节 硅酸盐水泥	88
第三节 掺混合材的硅酸盐水泥	(89)
第四节 其他品种水泥	(103)
第六章 混 凝 土	(111)
第一节 普通混凝土的组成材料	(111)
第二节 混凝土的性能	(132)
第三节 混凝土质量控制与强度评定	(144)
第四节 普通混凝土配合比设计	(148)
第五节 功能水泥混凝土	(158)
第七章 建 筑 砂 浆	(170)
第一节 建筑砂浆基本组成与性质	(170)
第二节 常用建筑砂浆	(177)
第三节 预拌砂浆	(184)
第八章 石材、墙体材料和屋面材料	(193)
第一节 石材及其工程应用	(193)
第二节 墙体材料	(204)
第三节 屋面材料	(232)
第九章 高分子建筑材料	(235)
第一节 概 述	(235)
第二节 高分子材料的基本组成	(237)
第三节 高分子材料的结构和性能	(239)
第四节 常用高分子材料	(248)
第五节 高分子材料在土木工程中的应用	(260)
第十章 沥青与沥青混合料	(277)
第一节 石油沥青	(277)
第二节 石油沥青的技术性质和要求	(281)

第三节	沥青混合料·····	(285)
第四节	热拌沥青混合料的配合比设计·····	(290)
第十一章	建筑功能材料·····	(296)
第一节	防水材料·····	(296)
第二节	绝热材料·····	(309)
第三节	吸声、隔声材料·····	(320)
第四节	装饰材料·····	(325)
第五节	防火材料·····	(338)
试验一	材料密度、吸水率试验·····	(352)
试验二	钢筋拉伸、弯曲试验·····	(355)
试验三	木材抗弯强度、含水率试验·····	(358)
试验四	水泥凝结时间、安定性和强度试验·····	(360)
试验五	砂石筛分析、密度和针片状颗粒含量试验·····	(366)
试验六	普通混凝土稠度、强度试验·····	(371)
试验七	砂浆稠度、分层度、保水性和强度试验·····	(377)
试验八	砌墙砖抗压强度试验·····	(380)
试验九	石油沥青针入度、延度和软化点试验·····	(382)
试验十	建筑材料可燃性试验·····	(386)
参考文献	·····	(389)

绪 论

一、土木工程材料定义

土木工程材料指土木工程中使用的各种材料及制品,它是一切土木工程的物质基础。在土建工程建设中,土木工程材料占有极为重要的地位。由于组分、结构和构造不同,土木工程材料品种门类繁多、性能各不相同、价格悬殊,同时在土木工程中用量巨大。因此,正确选择和合理使用土木工程材料,对整个土木工程的安全、实用、美观、耐久及造价有着重大的意义。一般来说,优良的土木工程材料必须具备足够的强度,能够安全地承受设计荷载;自身的重量(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,应能美化房屋并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,例如:建筑外围护材料要求保温隔热,屋面材料除保温外还要能防水,楼板和内墙材料要能隔声等。除此之外,土木工程材料在生产过程中还应尽可能保证低能耗、低物耗及环境友好,土木工程材料在施工、使用过程还必须具有可靠性和安全性。

二、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,可分为天然材料及人造材料;根据使用部位,可分为承重材料、屋面材料、墙体材料和地面材料等;根据其功能,可分为结构材料、装饰材料、防水材料、绝热材料等。目前,通常根据组成物质的种类及化学成分,将土木工程材料分为无机材料、有机材料和复合材料三大类,各大类中又可进行更细的分类,如图 0-1 所示。

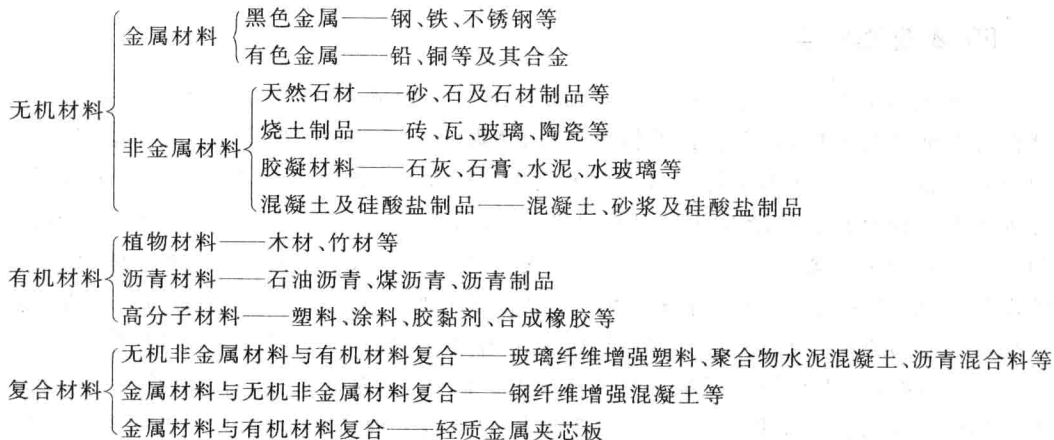


图 0-1 土木工程材料的分类

三、土木工程材料发展历程

土木工程材料是随着人类社会生产力和科学技术水平的提高而逐步发展起来的。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,才开始挖土、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。到了人类能够用黏土烧制砖、瓦,用岩石烧制石灰、石膏之后,土木工程材料才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基本条件。18世纪至19世纪,资本主义兴起,促进了工商业及交通运输业的蓬勃发展,原有的土木工程材料已不能与此相适应,在其他科学技术进步的推动下,土木工程材料进入了一个新的发展阶段,钢材、水泥、混凝土及其他材料相继问世,为现代土木工程建筑奠定了基础。进入20世纪后,由于社会生产力突飞猛进,以及材料科学与工程学的形成和发展,土木工程材料不仅性能和质量不断改善,而且品种不断增加,以有机材料为主的化学建材异军突起,一些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、各种装饰材料、耐热防火材料、防水抗渗材料以及耐磨、耐腐蚀、防爆和防辐射材料等应运而生。

既然土木工程材料是土木工程的物质基础,土木工程材料的发展必然与土木工程建造技术的进步有着不可分割的联系,它们相互制约、相互依赖和相互推动。新型土木工程材料的诞生推动了土木工程设计方法和施工工艺的变化,而新的土木工程设计方法和施工工艺对土木工程材料品种和质量提出更高和多样化的要求。随着人类的进步和社会的发展,更有效地利用地球有限的资源,全面改善及迅速扩大人类工作与生存空间势在必行,未来的土木工程建筑必将需要在各种苛刻的环境条件下,实现多功能化,甚至智能化,满足愈来愈高的安全、舒适、美观、耐久的要求,土木工程材料在原材料、生产工艺、性能及产品形式诸方面均将面临可持续发展和人类文明进步的严酷挑战。今后,在原材料方面要最大限度地节约有限的自然资源,充分利用再生资源及工农业废料;在生产工艺方面要大力引进现代技术,改造或淘汰陈旧设备,降低原材料及能源消耗,减少环境污染;在性能方面要力求轻质、高强、耐久、多功能及结构-功能(智能)一体化;在产品形式方面要积极发展预制技术,逐步提高构件化、单元化的水平。当前具有自感知、自调节、自修复能力的土木工程材料的开发研制以及各种机敏或智能材料在土木工程中应用的研究正在蓬勃开展。

四、本课程特点

各种土木工程材料,在原材料、生产工艺、结构及构造、性能及应用、检验及验收、运输及储存等方面既有共性,也有各自的特点,全面掌握土木工程材料的知识,需要学习和研究的内容范围很广,涉及众多学科。对于从事土木工程设计、施工、科研和管理的专业人员,掌握各种土木工程材料的性能及其适用范围,以便在种类繁多的土木工程材料中选择最合适的加以应用是至关重要的。除了那些在施工现场直接配制或加工的材料(如砂浆、混凝土、金属焊接等)需要深入学习其原材料、生产工艺以及它们与材料结构和性能的关系外,对于以产品形式直接在施工现场使用的材料,也需了解其原材料、生产工艺及结构、构造的一般知识,以明了这些因素是如何影响材料的性能的。此外,作为有关生产、设计应用、管理和研究等部门应共同遵循的依据,对于绝大多数常用的土木工程材料,均由专门的机构制定并发布了相应的“技术标准”,对其质量、规格和验收方法等作了详尽而明确的规定。

在我国,技术标准分为四级:国家标准、行业标准、地方标准和企业标准。国家标准是由国家标准局发布的全国性的指导技术文件,其代号为 GB;行业标准也是全国性的指导技术文件,但它由主管生产部门(或总局)发布,如建材行业标准代号为 JC,建工行业标准的代号为 JG,交通行业标准代号为 JT;地方标准是地方主管部门发布的地方性指导技术文件,其代号为 DB;企业标准则仅适用于本企业,其代号为 QB。凡没有制定国家标准、行业标准的产品,均应制定企业标准。随着我国对外开放和加入世界贸易组织(WTO),常常还涉及一些与土木工程材料关系密切的国际或外国标准,其中主要有:国际标准,代号为 ISO;美国材料试验学会标准,代号为 ASTM;日本工业标准,代号为 JIS;德国工业标准,代号为 DIN;英国标准,代号为 BS;法国标准,代号为 NF 等。熟悉有关的技术标准并了解制定标准的科学依据,也是十分必要的。

本课程作为土木工程类各专业基础课,将通过课堂教学,结合现行的技术标准,以土木工程材料的性能及合理使用为中心,进行系统讲述。在本课程的学习过程中,要注意了解事物的本质和内在联系。例如:学习某一种材料的性质时,不可满足于甲、乙、丙、丁地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和这些性质之间的相互关系。对于同一类属的不同品种的材料、不但要学习它们的共性,更重要的是要了解它们各自的特性和具备这些特性的原因。例如:学习各种水泥时,不仅要知道它们都能在水中变硬等共同性质,更要注意它们的各自质的区别及因而反映在性能上的差异。一切材料的性质都不是固定不变的,在使用过程中,甚至在运输和储存过程中,它们的性质都在或多或少、或快或慢、或显或隐地不断起着变化,因而影响它的耐久性。为了控制材料在使用前和使用中的变质问题,我们还必须了解引起变化的外界条件和材料本身的内在原因,从而了解变化的规律,以保证工程的耐久性。

在教学中除了课堂教学,还应安排必要的试验课。试验课是本课程必不可少的重要教学环节,其任务是验证基本理论、学习试验方法和技术、培养严谨缜密的科学态度和科学研究能力。进行试验时,要严肃认真,一丝不苟,即使对操作简单的一些实验,也不应例外。特别应注意了解试验条件对试验结果的影响,并对试验结果做出正确的分析和判断。

第一章

土木工程材料的基本性质

土木工程所用的材料是构成土木工程的物质基础。所有的住宅、厂房、桥梁、道路等都是由各种不同的土木工程材料经设计、施工、建造而成。这些材料由于所处环境和部位的不同,必然要求它们具备相应的基本性质,以起到应有的作用。

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质;根据土木工程功能的需要,还要求材料同时具有相应的防水、保温、隔声、防火、装饰、健康安全等性质,如用作住宅的墙体材料应具有保温、隔声性质;屋面材料应具有防水性质;路面材料应具有防滑、耐磨损性质等。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质。

可见,土木工程材料的应用与其所具有的性质是密切相关的。根据材料科学的基本理论,材料的性质又是由材料的组成、结构(或构造)等因素所决定的。所以,为了合理地选用材料,确保工程项目能安全、经济、美观和经久耐用,并有利于节约资源和生态环境保护,就需要我们全面掌握材料的性质,了解材料的性质与其组成、结构的关系。

第一节 材料的组成与结构

一、材料的组成

材料的组成是指材料的化学组成和矿物组成。它们既决定土木工程材料的物理、力学性质,也决定它们的耐久性。

1. 化学组成

化学组成指构成土木工程材料的基本元素与化合物。习惯上,金属材料的化学组成采用主要元素的含量来表示;无机非金属材料则采用各种氧化物的含量来表示。

当材料在使用过程中与周围环境及各类物质接触时,将按照化学变化规律发生作用。如混凝土的碳化、钢材的锈蚀、木材的遇火燃烧等性质,都是由构成材料的化学组成所决定的。

2. 矿物组成

所谓矿物指的是在无机非金属材料中,某些元素或化合物以特定的结合形式存在、并具

有特定的物理化学性质的组织结构。矿物组成是指构成材料的矿物种类和数量。例如水泥,即使化学组成相同,如果其熟料矿物组成不同或含量不同,会使水泥的力学强度、硬化速度、水化热、耐腐蚀性等性质产生很大的差异;又如石灰与砂,它们的主要化学组成为 CaO 与 SiO_2 ,将它们加水搅拌混合后,在常温下会硬化成石灰砂浆、而在高温高湿条件下将硬化成灰砂砖,由于二者的矿物组成不同,它们的物理性质和力学性质也截然不同。

二、材料的结构

材料的结构同样决定着材料的性质。一般从宏观、细观和微观三个层次来分析研究材料的结构与性质的关系。

1. 宏观结构

宏观结构(或称构造)是指材料宏观存在的状态,即用肉眼或放大镜就可分辨的粗大组织。其尺寸在 10^{-3}m 以上。

材料的性质与其宏观结构有着密切的关系。如土木工程材料中孔隙的大小、分布、开口连通或封闭等特征的改变,都会使材料的强度、抗冻性、保温隔热性、吸声性等工程性质发生变化。

土木工程材料的构造状态指材料是处于致密结构、多孔结构或层状结构等,它同样决定着材料的使用性质,而且材料的宏观构造状态较易改变。为此,根据不同的使用要求,可以将材料加工成致密结构,如钢材、玻璃、沥青、部分塑料等,使材料强度高、吸水性小、抗渗和抗冻性好;也可以将材料加工成多孔结构,如泡沫塑料、加气混凝土、烧结普通砖、石膏制品等,使材料质量轻、保温性能好。当然也可以将材料加工成层状、纤维、散粒等不同构造状态。

2. 细观结构

细观结构(也称显微或亚微观结构)是指用光学显微镜所能观察到的材料结构。其尺寸范围在 $10^{-3}\sim 10^{-6}\text{m}$ 。

材料在细观结构层次上,各种组织的性质是各不相同的,这些组织的特征、数量、分布以及界面之间的结合情况等,都对土木工程材料的整体性质起着重要的影响。如混凝土内部的微裂缝,以及金属材料的金相组织,木材的木纤维、导管、髓线、树脂道等显微组织等。

3. 微观结构

微观结构是指材料原子、分子层次的结构。可借助电子显微镜、扫描电子显微镜和 X 射线衍射仪等手段来分析研究该层次上的结构特征。其尺寸范围在 $10^{-6}\sim 10^{-10}\text{m}$ 。材料的许多物理、力学性质,如强度、硬度、熔点、导热性、导电性等都是由材料内部的微观结构所决定的。

土木工程材料的使用状态均为固体,其微观结构可分为晶体、玻璃体和胶体三类。

晶体结构的特征是由其内部质点(离子、原子、分子)按特定的规则在空间呈有规律的排列。因此,晶体具有一定的几何外形,并显示各向异性。然而,晶体材料又是由大量排列不规则的晶粒所组成,因此在宏观上材料整体又具有各向同性的性质。材料的化学成分相同,但形成的晶体结构可以不同,其性能也就大有差异。如石英、石英玻璃和硅藻土,化学成分同为 SiO_2 ,但性能各不相同。

玻璃体是熔融物在急速冷却时形成的无定形体。其质点来不及作有规则的排列就凝固

了,大量的化学能未能释放出来,故其具有化学不稳定性,即存在化学潜能,容易和其他物质反应或自行缓慢向晶体转换。如在水泥、混凝土中使用的粒化高炉矿渣、火山灰、粉煤灰等活性掺合料均属玻璃体。另外,由于质点排列无规律,玻璃体具有各向同性,而且没有固定的熔点。

胶体是物质以极微小的质点(粒径为 $1\sim 100\mu\text{m}$)分散在介质中所形成的结构。由于胶体的质点很微小,其总的表面积很大,因而表面能很大,有很强的吸附力,所以胶体具有较强的黏结力。胶体可以经脱水或质点的凝聚作用而形成凝胶,凝胶具有固体的性质,但在长期应力作用下,又具有黏性液体的流动性质。硅酸盐水泥的主要水化产物是凝胶体,混凝土的徐变就是由于水泥凝胶体而产生的。

另外,当材料在三维空间中至少有一维处于纳米尺度范围($1\sim 100\text{nm}$, $1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$,这大约相当于 $10\sim 100$ 个原子紧密排列在一起的尺度)或由它们作为基本单元构成时,即为纳米材料。纳米材料具有许多奇异的特性。

例如:普通玻璃在使用过程中会吸附空气中的有机物,形成难以清洗的有机污垢。而通过在普通玻璃的两面镀上一层 TiO_2 纳米薄膜则形成纳米玻璃,能有效解决上述缺陷,可免去麻烦的人工清洗过程;同时 TiO_2 光催化剂在阳光作用下,可以分解甲醛、氨气等有害气体。

第二节 材料的物理性质

一、与质量状态有关的物理性质

1. 密度(ρ)

密度(又称真密度)是材料在绝对密实状态下,单位体积的质量。按下式计算:

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

式中 ρ ——密度(g/cm^3)或(kg/m^3);

m ——材料在干燥状态下的质量(g)或(kg);

V ——材料在绝对密实状态下的体积(cm^3)或(m^3)。

所谓绝对密实状态下的体积,是指不含有任何孔隙的体积。土木工程材料中除了钢材、玻璃等少数材料外,绝大多数材料都含有一定的孔隙,如混凝土、砖、石材等常见的块状材料。对于这些有孔隙的材料,测定其密度时,须先把材料磨成细粉,经干燥至恒重后,用李氏瓶测定其体积,然后按上式计算得到密度值。材料磨得越细,测得的数值就越准确。

材料的密度(ρ)大小取决于组成物质的原子量和分子结构。重金属材料的密度为 $7.50\sim 9.00\text{g}/\text{cm}^3$;硅铝酸盐的密度一般在 $1.80\sim 3.30\text{g}/\text{cm}^3$ 之间;有机高分子材料的密度小于 $2.50\text{g}/\text{cm}^3$ 。同为碳原子组成,石墨的分子结构较松散,密度为 $2.20\text{g}/\text{cm}^3$,而金刚石则极为密实,密度高达 $3.50\text{g}/\text{cm}^3$ 。

2. 表观密度(ρ')

表观密度(又称视密度、近似密度)是指材料在自然状态下,不含开口孔时单位体积的质

量,按下式计算:

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

式中 ρ' ——表观密度(g/cm^3)或(kg/m^3);

V' ——材料在自然状态下不含开口孔隙时的体积(cm^3)或(m^3);

V_b ——材料内部闭口孔隙的体积(cm^3)或(m^3)。

材料在自然状态下,由于内部孔隙的存在,当材料含有水分时,它的质量和体积都会发生变化,因而表观密度亦不相同,故在测定材料表观密度时,材料必须绝对干燥。

3. 容积密度(ρ_0)

容积密度(又称体积密度,俗称容重)是指材料在自然状态下,单位宏观外形体积的质量,按下式计算:

$$\rho_0 = \frac{m}{V_0} = \frac{m}{V + V_b + V_k} \quad (1-3)$$

式中 ρ_0 ——容积密度(g/cm^3)或(kg/m^3);

V_0 ——材料在自然状态下的宏观外形体积(cm^3)或(m^3);

V_k ——材料内部开口孔隙的体积(cm^3)或(m^3)。

材料在自然状态下的宏观外形体积指包含材料内部所有孔隙(含开口和闭口孔隙)的体积。对材料进行容积密度试验时,其质量可以是在任意含水状态,但应注明其含水情况;未特别标明时,常指气干状态下的容积密度。在材料对比试验时,则应在绝对干燥状态下进行。

粉状材料如水泥、消石灰粉等,其平均颗粒粒径甚小,与一般块体材料测定密度时所研碎制作的试样粒径相近,因而它们在绝干状态下的容积密度与密度值很接近,可视为相等。对于形状不规则的材料,可涂蜡后采用排水法测定其体积。

4. 堆积密度(ρ'_0)

堆积密度是指散粒材料或粉状材料,在自然堆积状态下单位体积的质量,按下式计算:

$$\rho'_0 = \frac{m}{V'_0} = \frac{m}{V_0 + V_v} \quad (1-4)$$

式中 ρ'_0 ——堆积密度(g/cm^3)或(kg/m^3);

V'_0 ——材料的堆积体积(cm^3)或(m^3);

V_v ——散粒材料或粉状材料间空隙的体积(cm^3)或(m^3)。

这里,材料的堆积体积指在自然、松散状态下,按一定方法装入一定容器的容积,包括颗粒体积和颗粒之间空隙的体积。若以捣实体积计算时,则称紧密堆积密度。

常用的散粒材料或粉状材料,如砂、石子、水泥等,它们都直接以颗粒状态使用,不再加工成块状材料,这些材料也可按上述方法求出它们的密度,但工程意义不一样。如在土木工程中,当需计算散粒材料的堆放空间时,不需考虑每个颗粒内部的孔隙,而是要知道其堆积密度。

二、与构造状态有关的物理性质

1. 孔隙率与密实度

孔隙率是指材料内部孔隙体积占其总体积的百分率,按下式计算:

$$P = \frac{V_0 - V}{V_0} \times 100\% = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right) \times 100\% \quad (1-5)$$

式中, P 为材料的孔隙率(%)。

与孔隙率相对应的密实度,即材料体积内被固体物质充实的程度,用下式表示:

$$D = \frac{V}{V_0} \times 100\% = \frac{\rho_0}{\rho} \times 100\% = 1 - P \quad (1-6)$$

式中, D 为材料的密实度(%)。

材料孔隙率或密实度大小直接反映材料的密实程度。材料的孔隙率大,则表示密实程度小。

必须指出,材料内部的孔隙是各式各样的,十分复杂,如有大小、形状、分布、连通与否等,以上均属孔隙构造上的特征,统称为孔隙特征。孔隙特征对材料的物理、力学性质均有显著影响。通常在一般工程应用上,材料的孔隙特征主要是指孔隙的连通性,按此可将孔隙分为开口孔隙和闭口孔隙。

开口孔隙(简称开孔)是指材料内部孔隙不仅彼此互相贯通,并且与外界相通,如常见的毛细孔。在一般浸水条件下,开孔能吸水饱和。开口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。

闭口孔隙(简称闭孔)是指材料内部孔隙彼此不连通,而且与外界隔绝。闭口孔隙能提高材料的保温隔热性能和材料的耐久性。

由此可见,材料的孔隙率 P 也可分为开口孔隙率(P_k)和闭口孔隙率(P_b),即:

$$P = P_k + P_b \quad (1-7)$$

2. 空隙率和填充率

空隙率是指散粒材料或粉状材料颗粒之间的空隙体积占其自然堆积体积的百分率,用下式表示:

$$P' = \frac{V'_0 - V_0}{V'_0} \times 100\% = \left(1 - \frac{\rho'_0}{\rho_0}\right) \times 100\% \quad (1-8)$$

式中, P' 为材料的空隙率(%)。

与空隙率相对应的填充率,即散粒材料堆积体积中,颗粒填充的程度,按下式计算:

$$D' = \frac{V_0}{V'_0} \times 100\% = \frac{\rho'_0}{\rho_0} \times 100\% = 1 - P' \quad (1-9)$$

式中, D' 为材料的填充率(%)。

在上述各参数中,密度并不能反映材料的性质,但可以大致了解材料的品质,并可用它计算材料的孔隙率。

容积密度建立了材料自然体积与质量之间的关系,在土木工程中可用来计算材料用量、构件自重、确定材料堆放空间,以及进行混凝土配合比的计算等。

孔隙率和孔隙特征反映材料的密实程度,并和材料的许多性质都有密切关系,如强度、吸水性、保温性、耐久性等。

空隙率在配制混凝土时可作为控制砂、石级配与计算配合比时的重要依据。

常用土木工程材料的密度、表观密度和堆积密度如表 1-1 所示。

表 1-1

常用土木工程材料的密度、表观密度和堆积密度

材料名称	密度/(g/cm ³)	表观密度/(kg/m ³)	堆积密度/(kg/m ³)
钢	7.85	—	—
花岗岩	2.60~3.00	2500~2900	—
石灰石	2.60~2.80	1600~2400	1400~1500(碎石)
砂	2.40~2.70	—	1400~1700
黏土	1.80~2.00	—	1350~1600
水泥	2.80~3.10	—	1250~1600
烧结普通砖	2.00~2.70	1600~1900	—
烧结多孔砖	2.00~2.70	900~1450	—
普通混凝土	—	1950~2500	—
红松木	—	400~500	—
泡沫塑料	—	20~50	—

三、材料与水有关的性质

1. 亲水性与憎水性

材料在使用过程中,经常会与水接触。然而水与材料表面的亲和情况是不同的。

材料与水接触时能被水润湿的性质称为亲水性。具备这种性质的材料称为亲水性材料。大多数的土木工程材料,如钢材、混凝土、木材等都属于亲水性材料。

材料与水接触时不能被水润湿的性质称为憎水性。具备这种性质的材料称为憎水性材料,如石蜡、聚氯乙烯管材、沥青基防水材料等。

材料的亲水性与憎水性可用润湿角 θ 来表示,如图1-1所示。 θ 愈小,表明材料愈易被水润湿。一般认为,当润湿角 $\theta \leq 90^\circ$ 时,这种材料称为亲水性材料,表明水分子之间的内聚力小于水分子与材料分子间的吸引力;当润湿角 $\theta > 90^\circ$ 时,这种材料称为憎水性材料,表明水分子之间的内聚力大于水分子与材料分子间的吸引力。

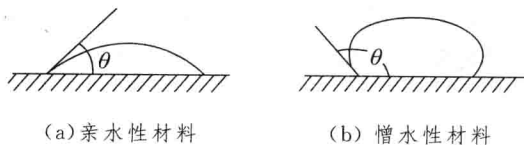


图 1-1 材料润湿角

亲水性材料可以被水润湿,即水可以在材料表面铺展开,而且当材料存在孔隙时,水分能通过孔隙的毛细作用自动渗入材料内部;而憎水性材料则不能被水润湿,水分不易渗入材料毛细管中。憎水性材料常用作防水材料。而对亲水性材料表面进行憎水处理,可改善其耐水性能。

2. 吸水性与吸湿性

材料在水中吸收水分的能力称为吸水性。吸水性的的大小常以吸水率表示。有以下两种表示方法:

(1) 质量吸水率

指材料吸水饱和时,所吸水量占材料绝干质量的百分率。用公式表示如下:

$$W_m = \frac{m_{\text{饱}} - m}{m} \times 100\% \quad (1-10)$$

式中 W_m ——材料的质量吸水率(%);

$m_{\text{饱}}$ ——材料吸饱水时的质量(g)或(kg)。

(2) 体积吸水率

指材料吸水饱和时,所吸水分的体积占绝干材料自然体积的百分率。用公式表示为:

$$W_v = \frac{m_{\text{饱}} - m}{V_0} \cdot \frac{1}{\rho_w} \times 100\% \quad (1-11)$$

式中 W_v ——材料的体积吸水率(%);

ρ_w ——水的密度。常温下取 $\rho_w = 1 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ 。

质量吸水率与体积吸水率的关系为:

$$W_v = W_m \cdot \rho_0 \quad (1-12)$$

W_v 可用来说明材料内部孔隙被水充满的程度。实际上,材料的吸水率与孔隙构造有很大关系。若材料具有微细而连通的孔隙,则吸水率就较大;若具有封闭孔隙,则水分就难以渗入,吸水率就较小;若是较粗大开口的孔隙,水分虽容易进入,但不易在孔内保留,仅起到润湿孔壁的作用,吸水率也较小。所以,不同的材料或同种材料不同的内部构造,其吸水率会有很大的差别。

材料在潮湿空气中吸收水分的性质称为吸湿性。材料的吸湿性常以含水率表示。可用以下公式表示:

$$W_{\text{含}} = \frac{m_{\text{含}} - m}{m} \times 100\% \quad (1-13)$$

式中 $W_{\text{含}}$ ——材料的含水率(%);

$m_{\text{含}}$ ——材料含水时的质量(g)或(kg)。

含水率表示材料在某一状态的含水能力,它随环境温度和空气湿度的变化而改变,当环境温度较低且空气湿度较大时,材料的含水率就大。与空气温湿度相平衡时的含水率称为平衡含水率(或称气干含水率)。

材料吸水或吸湿后,对材料性质将产生一系列不良影响,它会使材料的表观密度增大、体积膨胀、强度下降、保温性能降低、抗冻性变差等,所以材料的含水状态对材料性质有很大的影响。

四、材料与热有关的性质

1. 导热性

材料传导热量的性质称为导热性。即当材料两侧存在温度差时,热量从温度高的一侧向温度低的一侧传导。常用导热系数表示材料的导热性。匀质材料的导热系数计算公式为:

$$\lambda = \frac{Q\delta}{(T_1 - T_2)A t} \quad (1-14)$$

式中 λ ——材料的导热系数(W/(m·K));

Q ——传热量(J);