

● 高等学校土木工程专业规划教材

土木工程材料

TUMU
GONGCHENG
CAILIAO

主 编 / 张亚梅
副主编 / 孙道胜 秦鸿根
主 审 / 符 芳

第 5 版



东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

高等学校土木工程专业规划教材

土木工程材料

(第5版)

主 编 张亚梅

副主编 孙道胜 秦鸿根

主 审 符 芳

东南大学出版社

• 南京 •

内 容 提 要

本书是在原《土木工程材料》第4版的基础上修订而成,主要讲述土木工程常用材料的基本成分、生产工艺、技术性能、选配应用、材料试验等基本理论及实用技术。内容包括:建筑钢材与FRP、木材、石材、石灰、石膏、水泥、各种混凝土、砂浆、建筑围护材料、沥青及沥青混合料、合成高分子材料、建筑装修与装饰材料、建筑功能材料等。对于材料的基本性质和常用材料的试验方法也作了详细的介绍。

本书具有较宽的专业适应面,既有较完整的理论,又注重工程实用性,并能较多地反映当代材料科学的最新技术。

本书可用作高等院校土木工程专业教材,也可作为土木、建筑类其他相关专业教学用书,以及自学考试、职业教育等用书。本书还可供从事土建工作的科研、设计、施工人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程材料/张亚梅主编. —5版. —南京:东南大学出版社,2013.6

高等学校土木工程专业教材

ISBN 978-7-5641-4296-4

I. ①土… II. ①张… 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127642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:江建中

网 址 <http://www.seupress.com>

电子邮箱 press@seupress.com

江苏省新华书店经销 常州市武进第三印刷有限公司印刷

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:23 字数:568千字

1995年12月第1版

2013年6月第5版 2013年6月第1次印刷

印数:0001~6000册 定价:40.00元

(凡因印装质量问题,可直接与营销部联系。电话:025-83791830)

第 5 版 前 言

《建筑材料》第 1 版(1995 年)、第 2 版(2001 年)和《土木工程材料》第 3 版(2006 年)、第 4 版(2012 年)出版以来,已经第 20 次印刷,一直受到许多高校师生和广大读者的欢迎与厚爱。

随着大型工程、新型建筑、高级住宅的建设和新的设计、施工技术的应用,建材工业也出现了新的面貌,新材料层出不穷,新品种日新月异,老标准不断被更替,老版的教材已跟不上新的发展。高校专业教学体系的调整、课程教学计划更新以后,原有教材也不能满足新的教学要求。近几年来,国家又有一批新的设计、施工规范和材料标准出台,原有的规范、标准多数都作了更新,这些内容亦需及时反映到新教材中去。为此,我们再一次对该书进行了全面修订。修订后的《土木工程材料》第 5 版具有以下特点:

1. 本书是按高等学校土木工程专业委员会制定的《土木工程材料教学大纲》的要求编写,并兼顾建筑学专业及土建类其他相关专业建筑材料课程的需要,具有较宽的专业适用面。

2. 删除和缩减了已显陈旧的或不常用的一些传统材料,更新和补充了大量新型土木工程材料,如增补了碱激发矿渣水泥、混凝土耐久性设计、FRP 等内容。全书按照国家 and 行业现行最新标准、规范编写。

3. 本书力求做到既有较完整的理论,又注重工程实用性,并能较多地反映当代材料科学的最新技术。

本书由张亚梅主编,孙道胜和秦鸿根为副主编,参加编写的有东南大学张亚梅教授(绪论、第一章第四节、第六章第七~九节),安徽建筑工业学院孙道胜教授(第四章),合肥工业大学詹炳根教授(第五章),扬州大学杨鼎宜教授(第十章),燕山大学赵庆新教授(第三章、第七章第六~十节),东南大学赵永利教授(第九章),潘钢华教授(第八章),高建明教授(第七章第一~四节),张云升教授(第十二章),陈惠苏教授(第六章第一~六节),秦鸿根教授级高工(第六章第十节、第十五章),郭丽萍副教授(第一章第一~三节),庞超明高级工程师(第七章第五节、第十一章),张萍博士(第二章),蒋金洋副教授(第十三章),戎志丹博士(第十四章),潘金龙教授(第十四章第五节)。全书由张亚梅、孙道胜、秦鸿根负

责统稿,由东南大学符芳教授主审。

在本书前四版中,符芳教授作为主编倾注了大量心血,作者浙江大学郑立教授、南京理工大学金钦华教授、同济大学刘巽伯教授等均为本书作出了很大贡献。在新版《土木工程材料》中传承了他们的优秀成果,在此深表感谢。

由于材料科学发展迅速,新材料、新制品、新工艺不断涌现,有一些行业技术标准也不统一,加之我们的水平所限,书中疏漏和不妥之处难免,谨请广大读者和老师们的不吝指正。

编 者

2013年4月

绪 论

一、土木工程与土木工程材料

土木工程包括房屋、桥梁、道路、水工、环境工程等,它们是用各种材料建成的,用于这些工程的建筑材料总称为土木工程材料。所以说土木工程材料是土木工程建设的物质基础。

土木工程材料与工程的建筑形式、结构构造、施工工艺之间存在着相互促进、相互依存的密切关系。一种新的土木工程材料的出现,必将促进建筑形式的再创新,同时,结构设计和施工工艺也将相应地进行改进和革新。例如,钢材及混凝土强度的提高,预应力技术的应用,在同样承载力下构件的截面尺寸可以缩小,自重也随之降低;采用多孔砖、空心砌块、轻质墙板等取代实心砖,不仅可以减轻墙体自重、改善墙体绝热功能,还减轻了下部结构和基础的负荷,增强了结构抗震能力,也有利于机械化施工。反过来,新的建筑形式、复杂的结构布置、众多的功能要求,又会促进材料科学的新发展。例如:现代高层建筑和大跨度桥梁工程需要高强轻质材料;化学工业厂房、港口工程、海洋工程等需要耐化学腐蚀材料;建筑物地下结构、地铁和隧道工程等需要高抗渗防水材料;建筑节能需要高效保温隔热材料;严寒地区的工程需要高抗冻性材料;核工业发展需要防核辐射材料;为使建筑物装修得更美观,则需要各种绚丽多彩的装饰材料等等。

土木工程材料品种繁多,又性能各异。因此,在土木工程中,按照建筑物和构筑物对材料功能的要求及其使用时的环境条件,正确合理地选用材料,做到材尽其能、物尽其用,这对于节约材料、降低工程造价、提高基本建设的技术经济效益,具有十分重要的意义。

土木工程建设是人类对自然、资源、环境影响最大的活动之一。我国正处于经济建设快速发展阶段,土建工程总量居世界第一位,资源消耗逐年快速增长。因此,必须牢固树立和认真落实科学发展观,坚持以人为本、可持续发展的理念,大力发展绿色工程、绿色建筑、绿色材料。

二、土木工程材料的发展

土木工程材料是随着人类生活水平的不断提高及社会生产力的不断发展而发展的。在距今 18 000 年前的北京周口店龙骨山山顶洞人(旧石器时代晚期),利用天然岩洞作为屋舍。在 6 000~10 000 年前的新石器时代,人类刚开始利用树木和苇草来搭建简单的房屋取代天然岩洞,随后利用天然的木材或竹材作为骨架结构,木骨抹泥作为墙体材料。但这种房屋屏蔽和防御功能都较低且保温隔热性能差。随着人类生产力的不断提高,人们开始用天然的石材建筑房屋和纪念性结构物。比如公元前 2500 年建造的埃及金字塔。

天然石灰是最早的胶凝材料。很早以前,人类在烧火的残堆中偶然发现天然的贝壳烧过之后或是石灰岩上烧过火之后残留的灰,用水拌合固化后具有胶结能力。人类开始利用

这种灰与植物、砂、土等拌合,制成三合土。人类利用三合土使构筑物整体性更强,防御能力增加。在西周(公元前 1060~前 711)早期的陕西凤雏遗址中发现在土坯墙上采用三合土(石灰、黄砂、黏土混合)抹面。说明我国劳动人民在 3 000 年前已具备烧制石灰胶凝材料的能力。到战国时期(公元前 475~前 211),筒瓦、板瓦已广泛使用,并出现了大块空心砖和墙壁装修用砖。在齐都临淄遗址(公元前 850~前 221)中,发现有炼铜、冶铁作坊,说明当时铁器已有应用。

到 18 世纪为止,虽然人类经过了漫长的发展历程,但是工业生产一直是以手工业为基础,几千年来没有根本性的变革。传统的土木工程材料无论是量上还是质上,都没有出现很大的飞跃。19 世纪以后,工业生产的土木工程材料才取得了巨大的进展,特别是第二次世界大战之后,更加有了令人瞩目的进步。

19 世纪初,在欧洲就出现了采用人工配料,再经煅烧、磨细制造水泥。因它凝结后与英国波特兰岛生产的一种淡黄色石材颜色相似,故称波特兰水泥(即我国的硅酸盐水泥)。此项发明于 1824 年由英国人阿斯普定(J. Aspding)取得专利权,并于 1925 年用于修建泰晤士河水下公路隧道工程。波特兰水泥的出现,可以说是土木工程材料史上的一个新的里程碑。

世界各国意识到了水泥的适用性及优良性能,先后大量生产水泥用于各项建设活动。例如 1848 年的法国、1850 年的德国、1871 年的美国、1875 年的日本相继开始生产波特兰水泥。在半封建、半殖民地的旧中国,建材工业发展缓慢。于 1890 年在河北唐山建立了我国第一家水泥厂,当时称为“启新洋灰公司”,正式生产水泥。直到新中国成立以后,由于大规模经济建设的需要,建材工业开始迅猛发展,水泥工业得到飞速的发展。如今我国已经是世界上水泥产量最高、使用量最多的国家。

19 世纪,钢材正式应用于土木工程中。混凝土具有较高的抗压强度,但其抗拉强度极低,容易开裂。在实际使用中,两者的结合可以相互弥补缺点,发挥各自所长。1850 年法国人 J. L. Lambot 制造了第一只钢筋混凝土小船;1872 年在纽约出现了第一所钢筋混凝土房屋;1887 年, M. Koenen 给出了钢筋混凝土梁的计算方法;1892 年,法国的 Hennebique 给出了梁的剪切增强配筋方法。

进入 20 世纪以来,钢筋混凝土材料有了两次较大的飞跃。其一:1908 年,由 C. R. Steiner 提出了预应力钢筋混凝土的概念;1928 年法国使用高拉力钢筋和高强度混凝土使预应力混凝土实用化。其二:1934 年,美国发明了减水剂在混凝土中的应用,使混凝土的耐久性、流动性得到前所未有的提高。以上两个方面的突破使混凝土和钢筋混凝土的性能得到进一步提高,应用范围进一步扩大。

在资源与环境成为当今世界亟须解决的两大问题的背景下,土木工程材料的发展意义重大,特别是在我国处于现代化建设中。适应国民经济可持续发展的要求,土木工程材料的发展趋向是研制和开发高性能建筑材料和绿色建筑材料等新型材料。

高性能建筑材料是指比现有材料的性能更为优异的建筑材料。其具有高强、高耐久性、力学性能稳定等特点。其适用于各种超高、超长、超大型的混凝土建筑物及在各种严酷条件下使用的混凝土建筑物之中,比如高层建筑物、跨海大桥、跨江大桥、海上采油平台、海港工程等建筑物。

绿色建筑材料又称生态建筑材料或健康建筑材料。它是指在原料采取、产品制造、应用过程和使用以后的再生循环利用等环节中对地球环境负荷最小和对人类身体健康无害的建筑材料。例如,利用工业废料(粉煤灰、矿渣、煤矸石等)作为掺合料制备混凝土、免烧砖等建筑材料,利用废旧的车轮胎制成橡胶颗粒掺入混凝土中提高其抗冲击性能,利用废弃泡沫塑料生产保温墙体板材,利用废玻璃生产贴面材料等。这些做法既利用工业废料,减轻环境污染,又可节约自然资源。2010年,大量的绿色建筑材料应用于上海世博会展馆、张江科文交流中心、浦江智谷招商服务大厦、绿洲仕格维花园酒店、青浦别墅、普陀区旧房改造项目等一系列新建、改建建筑物中,其整个工程建筑能耗低于上海的普通建筑能耗75%。因此,绿色建筑材料已成为各国21世纪建材工业发展的战略重点。

三、土木工程材料的分类

土木工程材料的种类繁多、组分各异、用途不一,可按多种方法进行分类。

1. 按材料化学成分分类。通常可分为有机材料、无机材料和复合材料三大类,如下图所示:



2. 按材料在建筑物中的功能分类。可分为承重材料、非承重材料、保温和隔热材料、吸声和隔声材料、防水材料、装饰材料等。

3. 按使用部位分类。可分为结构材料、墙体材料、屋面材料、地面材料、饰面材料,以及其他用途的材料等。

四、土木工程材料的标准化

土木工程材料的技术标准,是产品质量的技术依据。对于生产企业,必须按标准生产合格的产品,同时它可促进企业改善管理,提高生产率,实现生产过程合理化。对于使用部门,则应当按标准选用材料,才可使设计和施工标准化,从而加速施工进度,降低工程造价。技术标准又是供需双方对产品质量验收的依据,是保证工程质量的先决条件。

我国祖先很早就注意材料的标准化。如在咸阳和秦始皇兵马俑墓穴陪葬俑坑中,以及明代修建的长城山海关段,所用砖的规格已向条砖转化,长宽厚之比接近4:2:1,与目前普通砖的规格比例相近。河北蓟县独乐寺,是公元984年的建筑,其观音阁的梁枋斗拱种类多达几十种,构件上千件,但规格仅为6种。

目前我国绝大多数的建筑材料都制定有产品的技术标准,这些标准一般包括:产品规格、分类、技术要求、检验方法、验收规则、标志、运输和贮存等方面的内容。

我国土木工程材料的技术标准分为国家标准、行业标准、地方标准和企业标准四级,各级标准分别由相应的标准化管理部门批准并颁布,我国国家技术监督局是国家标准化管理的最高机关。国家标准是全国通用标准,是国家指令性技术文件,各级生产、设计、施工等部门,均必须严格遵照执行,行业标准是在全国某一行业范围内使用的标准。

各级标准都有各自的部门代号,例如:GB——国家标准;GBJ——国家工程建设标准;JGJ——建设部行业标准;JC——国家建材行业标准;JG——建筑工业行业标准;YB——冶金标准;JT——交通标准;SD——水电标准;ZB——国家级专业标准;CCES——中国土木工程学会标准;CECS——中国工程建设标准化协会标准;DB——地方标准;QB——企业标准。

我国的土木工程标准还分为强制性标准和推荐性标准两类:强制性标准具有法律属性,在规定的适用范围内必须严格执行;推荐性标准具有技术上的权威性、指导性,是自愿执行的标准,它在合同或行政文件确认的范围内也具有法律属性。

标准的表示方法,系由标准名称、部门代号、编号和批准年份等组成,例如:国家标准《混凝土外加剂应用技术规范》(GB 50119—2003)。标准的部门代号为GB,编号为50119,批准年份为2003年。国家推荐标准《普通混凝土力学性能试验方法标准》(GB/T 50081—2002)。其中GB为标准部门代号,T为推荐性标准代号,编号为50081,批准年份为2002年。

各个国家均有自己的国家标准,例如“ANSI”代表美国国家标准、“ASTM”是美国试验与材料协会标准、“JIS”代表日本国家标准、“BS”代表英国标准、“NF”代表法国标准、“DIN”代表德国标准等。另外,在世界范围内统一执行的标准称为国际标准,其代号为“ISO”。

五、本课程学习目的与方法

土木工程材料是土木工程类专业的专业基础课。它是以数学、力学、物理、化学等课程为基础,而又为学习建筑、结构、施工等后续专业课程提供建材基本知识,同时它还还为今后从事工程实践和科学研究打下必要的专业基础。

书中对每一种土木工程材料的叙述,一般包括原材料、生产、组成、构造、性质、应用、检验、运输和贮存等方面的内容,以及现行的相关技术标准。学习本课程的学生,多数是材料的使用者,所以学习重点应是掌握材料的基本性质和合理选用材料。要达到这一点,就必须了解各种材料的特性,在学习时,不但要了解每一种材料具有哪些基本性质,而且还应对不同类属、不同品种材料的特性相互进行比较,只有掌握其特点,才能做到正确合理地选用材料。同时,还要知道材料之所以具有某种基本性质的基本原理,以及影响其性质变化的外界条件。此外,材料的运输和贮存等注意事项,也是根据该材料的性质所规定的。

实验课是本课程的重要教学环节。通过实验,一方面要学会对各种常用土木工程材料的检验方法,能对材料进行合格性判断和验收;另一方面是提高实践技能,能对实验数据、实验结果进行正确的分析和判别,培养科学认真的态度和实事求是的工作作风。

目 录

绪 论	(1)
第一章 土木工程材料的基本性质	(1)
第一节 材料的物理性质	(1)
第二节 材料的力学性质	(8)
第三节 材料的耐久性	(13)
第四节 材料的组成、结构、构造及其对材料性质的影响	(14)
复习思考题	(16)
第二章 建筑钢材	(18)
第一节 钢材的冶炼与分类	(18)
第二节 钢材的技术性质	(20)
第三节 钢材的组织、化学成分及其对钢材性能的影响	(24)
第四节 钢材的冷加工强化与时效处理	(27)
第五节 钢材的热处理与焊接	(28)
第六节 建筑钢材的技术标准及选用	(29)
第七节 钢材的锈蚀与防腐	(40)
复习思考题	(41)
第三章 石材	(42)
第一节 石材的形成与分类	(42)
第二节 天然石材的技术性质	(45)
第三节 人造石材的种类与技术性质	(48)
第四节 建筑装饰用石材	(49)
复习思考题	(55)
第四章 无机气硬性胶凝材料	(56)
第一节 建筑石膏	(56)
第二节 建筑石灰	(61)
第三节 水玻璃	(65)
第四节 镁质胶凝材料	(67)

复习思考题	(70)
第五章 水泥	(71)
第一节 水泥概述	(71)
第二节 硅酸盐水泥与普通硅酸盐水泥	(71)
第三节 混合材料的种类与特性	(82)
第四节 大掺量混合材料的硅酸盐水泥	(85)
第五节 特性水泥	(88)
第六节 碱激发矿渣水泥	(94)
复习思考题	(95)
第六章 普通混凝土	(96)
第一节 混凝土概述	(96)
第二节 胶凝材料	(98)
第三节 砂、石骨料	(102)
第四节 混凝土外加剂与水	(113)
第五节 新拌混凝土的性能	(124)
第六节 混凝土的力学性能	(130)
第七节 混凝土的变形性能	(139)
第八节 混凝土的耐久性能	(142)
第九节 混凝土的质量控制与评定	(148)
第十节 普通混凝土配合比设计	(151)
复习思考题	(158)
第七章 特种混凝土	(160)
第一节 轻混凝土	(160)
第二节 高强混凝土与高性能混凝土	(168)
第三节 泵送混凝土	(170)
第四节 纤维增强混凝土	(171)
第五节 自密实混凝土	(174)
第六节 聚合物混凝土	(175)
第七节 耐热、耐酸和防辐射混凝土	(177)
第八节 喷射混凝土	(179)
第九节 道路水泥混凝土及水工混凝土	(180)
第十节 装饰混凝土	(181)
复习思考题	(183)

第八章 建筑砂浆	(184)
第一节 砌筑砂浆	(184)
第二节 抹面砂浆	(190)
第三节 装饰砂浆	(191)
第四节 特种砂浆	(193)
第五节 预拌砂浆	(196)
第六节 灌浆材料	(199)
复习思考题	(201)
第九章 沥青及沥青混合料	(202)
第一节 沥青材料	(202)
第二节 沥青混合料	(211)
第三节 沥青混合料配合比设计	(217)
复习思考题	(221)
第十章 围护结构材料	(223)
第一节 砌墙砖	(223)
第二节 建筑砌块	(229)
第三节 建筑墙板	(232)
第四节 屋面材料	(235)
复习思考题	(236)
第十一章 木材	(237)
第一节 木材的分类和构造	(237)
第二节 木材的物理力学性质	(239)
第三节 木材在土木工程中的应用	(244)
第四节 木材的防腐与防火	(249)
复习思考题	(251)
第十二章 建筑功能材料	(252)
第一节 防水材料	(252)
第二节 保温隔热材料	(261)
第三节 吸声与隔声材料	(265)
复习思考题	(267)
第十三章 建筑装修与装饰材料	(269)
第一节 材料的装饰性	(269)

第二节	建筑装饰用钢材制品	(270)
第三节	铝和铝合金	(272)
第四节	建筑玻璃	(275)
第五节	建筑陶瓷	(282)
复习思考题		(288)
第十四章	建筑用高分子材料	(289)
第一节	高分子化合物概述	(289)
第二节	建筑塑料	(295)
第三节	建筑涂料	(300)
第四节	胶黏剂	(304)
第五节	纤维增强树脂基复合材料	(306)
复习思考题		(312)
第十五章	土木工程材料试验	(313)
试验一	材料基本性质试验	(313)
试验二	砌墙砖试验	(316)
试验三	水泥试验	(318)
试验四	混凝土用砂、石试验	(325)
试验五	普通混凝土配合比试验	(330)
试验六	混凝土性能与非破损试验	(334)
试验七	建筑砂浆试验	(342)
试验八	钢筋试验	(344)
试验九	石油沥青试验	(349)
试验十	沥青混合料试验	(352)
参考文献		(355)

第一章 土木工程材料的基本性质

土木工程建筑物和构筑物是由各种建筑材料建造而成的,这些材料用在建筑物的各个部位,承受各种不同的作用,为此,要求土木工程材料必须具备相应的基本性质。例如结构材料必须具有良好的力学性能;墙体材料应具有绝热、隔声性能;屋面材料应具有抗渗防水性能;地面和路面材料应具有防滑、耐磨损性能等等。另外,由于建筑物长期暴露在大气中,经常要受到风吹、雨淋、日晒、冰冻等自然条件的影响,故还要求土木工程材料应具有良好的耐久性能。

土木工程材料的基本性质主要包括基本物理性质、力学性质、与水有关的性质、热工性、耐久性、装饰性等,现分别讨论如下。

第一节 材料的物理性质

一、材料的密度、表观密度和堆积密度

(一) 材料的密度

材料在绝对密实状态下单位体积的质量(俗称重量)称为材料的密度(又称质量密度)。可用公式表示如下:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

式中 ρ ——材料的密度(kg/m^3);
 m ——材料在干燥状态下的质量(kg);
 V ——干燥材料在绝对密实状态下的体积(m^3)。

材料在绝对密实状态下的体积,是指不包括材料内部孔隙的固体物质本身的体积,亦称实体积。建筑材料中除钢材、玻璃、沥青等外,绝大多数材料均含有一定的孔隙。测定含孔材料的密度时,须将材料磨成细粉(粒径小于 0.20 mm),经干燥后用李氏瓶测得其实体积。材料磨得愈细,测得的密度值愈精确。

(二) 材料的表观密度

材料在自然状态下单位体积的质量称为材料的表观密度(原称容重),亦称体积密度。用公式表示为

$$\rho_0 = \frac{m}{V_0}$$

式中 ρ_0 ——材料的表观密度(kg/m^3);
 m ——材料的质量(kg);
 V_0 ——材料在自然状态下的体积(m^3)。

材料在自然状态下的体积是指材料的实体积与材料内所含全部孔隙体积之和。对于外形规则的材料,其表观密度测定很简便,只要测得材料的质量和体积(用尺量测),即可算得。不规则材料的体积要采用排水法求得,但材料表面应预先涂上蜡,以防水分渗入材料内部而使测值不准。土木工程中常用的砂、石材料,其颗粒内部孔隙极少,用排水法测出的颗粒体积与其实体积基本相同,所以,砂、石的表观密度可近似地视作其密度,常称视密度。

材料表观密度的大小与其含水情况有关。当材料含水时,其质量增大,体积也会发生不同程度的变化。因此测定材料表观密度时,须同时测定其含水率,并予以注明。通常材料的表观密度是指气干状态下的表观密度。材料在烘干状态下的表观密度称干表观密度。

(三) 材料的堆积密度

散粒材料在自然堆积状态下单位体积的质量称为堆积密度(或称容装密度)。可用下式表示为

$$\rho'_0 = \frac{m}{V'_0}$$

式中 ρ'_0 ——散粒材料的堆积密度(kg/m^3);
 m ——散粒材料的质量(kg);
 V'_0 ——散粒材料在自然堆积状态下的体积(m^3)。

散粒材料在自然堆积状态下的体积,是指其既含颗粒内部的孔隙又含颗粒之间空隙在内的总体积。测定散粒材料的体积可通过已标定容积的容器计量而得。测定砂子、石子的堆积密度即用此法求得。若以捣实体积计算时,则称紧密堆积密度。

由于大多数材料或多或少均含有一些孔隙,故一般材料的表观密度总是小于其密度,即 $\rho_0 < \rho$ 。

土建工程中在计算材料用量、构件自重、配料、材料堆场体积或面积,以及计算运输材料的车辆时,均需要用到材料的上述状态参数。常用土木工程材料的密度、表观密度和堆积密度见表 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	密度/($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	表观密度/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	堆积密度/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
钢	7.8~7.9	7 850	—
花岗岩	2.7~3.0	2 500~2 900	—
石灰石	2.4~2.6	1 600~2 400	1 400~1 700(碎石)
砂	2.5~2.6	—	1 500~1 700
水泥	2.8~3.1	—	1 100~1 300
烧结普通砖	2.6~2.7	1 600~1 900	—
烧结多孔砖	2.6~2.7	800~1 480	—
红松木	1.55~1.60	400~600	—
泡沫塑料	—	20~50	—
玻璃	2.45~2.55	2 450~2 550	—
铝合金	2.7~2.9	2 700~2 900	—
普通混凝土	—	1 950~2 600	—

二、材料的孔隙率与空隙率

(一) 孔隙率

材料内部孔隙的体积占材料总体积的百分率,称为材料的孔隙率(P_0)。可用下式表示:

$$P_0 = \frac{V_0 - V}{V_0} \times 100\% = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right) \times 100\%$$

材料孔隙率的大小直接反映材料的密实程度,孔隙率大,则密实度小。孔隙率相同的材料,它们的孔隙特征(即孔隙构造与孔径)可以不同。按孔隙构造,材料的孔隙可分为开口孔和闭口孔两种,两者孔隙率之和等于材料的总孔隙率。按孔隙的尺寸大小,又可分为微孔、细孔及大孔三种。不同的孔隙对材料的性能影响各不相同。

土木工程中对需要保温隔热的建筑物或部位,要求其所用材料的孔隙率要较大。相反,对要求高强或不透水的建筑物或部位,则其所用的材料孔隙率应很小。

(二) 空隙率

散粒材料(如砂、石子)堆积体积(V'_0)中,颗粒间空隙体积所占的百分率称为空隙率(P'_0)。可用下式表示为

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

在配制混凝土时,砂、石子的空隙率是作为控制混凝土中骨料级配与计算混凝土含砂率时的重要依据。

三、材料与水有关的性质

(一) 亲水性与憎水性

当材料与水接触时可以发现,有些材料能被水润湿,有些材料则不能被水润湿,前者称材料具有亲水性,后者称具有憎水性。

材料产生亲水性的原因是因其与水接触时,材料与水之间的分子亲和力大于水本身分子间的内聚力所致。当材料与水接触,材料与水之间的分子亲和力小于水本身分子间的内聚力时,则材料表现为憎水性。

材料被水润湿的情况可用润湿边角 θ 表示。

当材料与水接触时,在材料、水、空气三相的交点处,作沿水滴表面的切线,此切线与材料和水接触面的夹角 θ ,称为润湿边角,如图 1-1 所示。

θ 角愈小,表明材料愈易被水润湿。实验证明,当 $\theta \leq 90^\circ$ 时,如图 1-1(a),材料表面容易吸附水,材料能被水润湿而表现出亲水性。当 $\theta > 90^\circ$ 时,

如图 1-1(b),材料表面不易吸附水,此称憎水性材料。当 $\theta = 0^\circ$ 时,表明材料完全被水润湿。上述概念也适用于其他液体对固体的润湿情况,相应称为亲液材料和憎液材料。

亲水性材料易被水润湿,且水能通过毛细管作用而被吸入材料内部。憎水性材料则能阻止水分渗入毛细管中,从而降低材料的吸水性。憎水性材料常被用作防水材料,或用作亲水性材料的覆面层,以提高其防水、防潮性能。土木工程材料大多为亲水性材料,如水泥、混

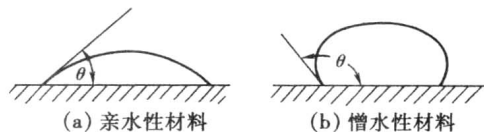


图 1-1 材料润湿示意图

凝土、砂、石、砖、木材等,只有少数材料如沥青、石蜡及某些塑料等为憎水性材料。

(二) 材料的吸水性与吸湿性

1. 吸水性

材料在水中能吸收水分的性质称为吸水性。材料的吸水性用吸水率表示,吸水率有以下两种表示方法:

(1) 质量(重量)吸水率

质量吸水率是指材料在吸水饱和时,内部所吸水分的质量占材料干质量的百分率。用公式表示如下:

$$W_m = \frac{m_b - m_g}{m_g} \times 100\%$$

式中 W_m ——材料的质量吸水率(%);

m_b ——材料在吸水饱和状态下的质量(kg);

m_g ——材料在干燥状态下的质量(kg)。

(2) 体积吸水率

体积吸水率是指材料在吸水饱和时,其内部所吸水分的体积占干燥材料自然体积的百分率。用公式表示如下:

$$W_v = \frac{m_b - m_g}{\rho_w} \cdot \frac{1}{V_0} \times 100\%$$

式中 W_v ——材料的体积吸水率(%);

V_0 ——干燥材料在自然状态下的体积(m^3);

ρ_w ——水的密度(kg/m^3),在常温下取 $\rho_w = 1\,000\text{ kg}/\text{m}^3$ 。

土木工程用材料一般均采用质量吸水率。质量吸水率与体积吸水率存在下列关系:

$$W_v = W_m \rho_0$$

式中 ρ_0 ——材料在干燥状态下的表观密度(g/cm^3)。

材料中所吸水分是通过开口孔隙吸入的,开口孔隙率愈大,材料的吸水量愈多。由此可知,材料吸水达饱和时的体积吸水率,即为材料的开口孔隙率。

材料的吸水性与材料的孔隙率和孔隙特征有关。对于细微连通孔隙,孔隙率愈大,则吸水率愈大。闭口孔隙水分不能进去,而开口大孔虽然水分易进入,但不能存留,只能润湿孔壁,所以吸水率仍然较小。各种材料的吸水率很不相同,差异很大,如花岗岩的吸水率只有0.5%~0.7%,混凝土的吸水率为2%~3%,烧结黏土砖的吸水率达8%~20%,而木材的吸水率可超过100%。

2. 吸湿性

材料在潮湿空气中吸收水分的性质称为吸湿性。潮湿材料在干燥的空气中也会放出水分,此称还湿性。材料的吸湿性用含水率表示。含水率系指材料内部所含水的质量占材料干质量的百分率。用公式表示为

$$W_h = \frac{m_s - m_g}{m_g} \times 100\%$$