

● 高等学校土木工程专业教材

土木工程材料

TUMU
GONGCHENG
CAILIAO

主 编 / 符 芳
副主编 / 张亚梅 孙道胜

第 3 版

东南大学出版社



高等学校土木工程专业教材

土木工程材料

(第三版)

主 编 符 芳
副主编 张亚梅 孙道胜

东南大学出版社

内 容 提 要

本书是在原《建筑材料》第二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:金属材料、石材、石灰、石膏、水泥、混凝土、砂浆、墙体材料、沥青及沥青混合料、木材、建筑塑料与涂料、玻璃与陶瓷、防水材料、绝热材料和吸声材料等。对于新型建筑材料和装饰材料也在相应的章节中作了较多的介绍。

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/符芳主编.—3版.—南京:东南大学出版社,2006.10

ISBN 7-5641-0582-8

I. 土… II. 符… III. 土木工程—建筑材料
IV. TU5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 121952 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 溧阳晨明印刷有限公司印刷

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:20.5 字数:512千字

1995年12月第1版

2006年10月第3版 2006年10月第1次印刷

印数:0001~5000册 定价:30.00元

(凡图书印装质量问题,可直接向读者服务部调换。电话:025-83792328)

第三版前言

《建筑材料》第一版(1995年)和第二版(2001年)出版以来,已经第12次印刷,一直受到许多学校师生和广大读者的欢迎与厚爱。

近几年来,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,原有的建筑材料教材已跟不上新的发展。高校专业设置调整以后,教学体系、课程设置均已改变,原有教材也不能满足新的教学要求。2001年以来,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、标准有的也作了更新,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,并更名为《土木工程材料》。修订后的《土木工程材料》第三版具有以下特点:

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。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。

本书由符芳主编,张亚梅和孙道胜为副主编。参加编写的有同济大学刘巽伯教授(第六章第四节、第七章第一节)和杨正宏副教授(第十二章),安徽建筑工业学院孙道胜教授(第二、三、十、十三章),东南大学符芳教授(绪论、第一、六、八、十一章)、张亚梅教授(第四、五、七、十四章)和秦鸿根高级工程师(第九、十五章)。全书由符芳统稿。

在本书第一、二版中,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均为本书作出了很大贡献,刘巽伯教授还担任了一、二版主审。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,加之我们水平所限,书中疏漏和不妥之处难免,谨请广大读者和老师不吝指正。

编者

2006年9月

目 录

绪 论	(1)
第一章 土木工程材料的基本性质	(5)
第一节 材料的物理性质	(5)
第二节 材料的力学性质	(12)
第三节 材料的耐久性	(16)
第四节 材料的装饰性	(17)
第五节 材料的组成、结构、构造及其对材料性质的影响	(18)
复习思考题	(21)
第二章 金属材料	(22)
第一节 钢材的冶炼与分类	(22)
第二节 钢材的技术性质	(24)
第三节 钢材的组织、化学成分及其对钢材性能的影响	(28)
第四节 钢材的冷加工强化与时效处理	(31)
第五节 钢材的热处理与焊接	(32)
第六节 建筑钢材的技术标准及选用	(33)
第七节 钢材的锈蚀与防止	(41)
第八节 建筑装饰用钢材制品	(42)
第九节 铝和铝合金	(44)
复习思考题	(47)
第三章 石 材	(48)
第一节 岩石的形成与分类	(48)
第二节 天然石材的技术性质	(50)
第三节 建筑装饰常用天然石材	(52)
第四节 建筑石材的加工成品及选用	(56)
第五节 人造石材	(57)
复习思考题	(60)
第四章 无机气硬性胶凝材料	(61)

第一节 建筑石膏	(61)
第二节 建筑石灰	(65)
第三节 水玻璃	(70)
复习思考题	(71)
第五章 水 泥	(72)
第一节 硅酸盐水泥与普通硅酸盐水泥	(72)
第二节 掺大量混合材料的硅酸盐水泥	(83)
第三节 特性水泥	(89)
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 普通混凝土的组成材料	(98)
第三节 混凝土外加剂	(108)
第四节 混凝土掺合料	(119)
第五节 混凝土拌合物的和易性	(122)
第六节 混凝土的强度	(128)
第七节 混凝土的变形性能	(136)
第八节 混凝土的耐久性	(140)
第九节 混凝土的质量控制与评定	(145)
第十节 普通混凝土配合比设计	(148)
复习思考题	(155)
第七章 特种混凝土	(157)
第一节 轻混凝土	(157)
第二节 高强混凝土与高性能混凝土	(165)
第三节 自密实混凝土	(167)
第四节 纤维混凝土	(168)
第五节 含聚合物的混凝土	(171)
第六节 防水混凝土	(172)
第七节 耐热、耐酸和防辐射混凝土	(174)
第八节 泵送混凝土和喷射混凝土	(175)
第九节 道路水泥混凝土及水工混凝土	(176)
第十节 装饰混凝土	(177)
复习思考题	(179)

第八章 建筑砂浆	(180)
第一节 砌筑砂浆.....	(180)
第二节 抹面砂浆.....	(184)
第三节 装饰砂浆.....	(185)
第四节 特种砂浆.....	(187)
第五节 预拌砂浆.....	(189)
第六节 灌浆材料.....	(191)
复习思考题.....	(192)
第九章 沥青及沥青混合料	(193)
第一节 沥青材料.....	(193)
第二节 沥青混合料.....	(203)
第三节 沥青混合料配合比设计.....	(209)
复习思考题.....	(213)
第十章 墙体材料	(214)
第一节 砌墙砖.....	(214)
第二节 建筑砌块.....	(220)
第三节 建筑墙板.....	(224)
复习思考题.....	(229)
第十一章 木材	(230)
第一节 木材的分类和构造.....	(230)
第二节 木材的物理力学性质.....	(231)
第三节 木材在土木工程中的应用.....	(236)
第四节 木材的综合利用.....	(239)
第五节 木材的防腐与防火.....	(240)
复习思考题.....	(242)
第十二章 建筑塑料、涂料及胶粘剂	(243)
第一节 高分子化合物概述.....	(243)
第二节 建筑塑料.....	(244)
第三节 建筑涂料.....	(248)
第四节 胶粘剂.....	(252)
复习思考题.....	(253)

第十三章 建筑玻璃与陶瓷	(254)
第一节 建筑玻璃	(254)
第二节 建筑陶瓷	(261)
复习思考题	(266)
第十四章 功能材料	(267)
第一节 防水材料	(267)
第二节 绝热材料	(276)
第三节 吸声与隔声材料	(279)
复习思考题	(282)
第十五章 土木工程材料试验	(283)
试验一 材料基本性质试验	(283)
试验二 砌墙砖试验	(286)
试验三 水泥试验	(288)
试验四 混凝土用砂、石试验	(295)
试验五 普通混凝土配合比试验	(300)
试验六 混凝土性能与非破损试验	(303)
试验七 建筑砂浆试验	(309)
试验八 钢筋试验	(311)
试验九 石油沥青试验	(314)
试验十 沥青混合料试验	(317)
参考文献	(320)

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,年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

土木工程材料是伴随着人类社会的不断进步和社会生产力的发展而发展的。在远古时代,人类居于天然山洞或树巢中,以后逐步采用粘土、石块、木材等天然材料建造房屋。18 000年前的北京周口店龙骨山山顶洞人(旧石器时代晚期),仍是住在天然岩洞里。在距今约6 000年的西安半坡遗址(新石器时代后期),已是采用木骨泥墙建房,并发现有制陶窑场。河南安阳的殷墟,是商朝后期的都城(约公元前1401~公元前1060),建筑技术水平有了明显提高,并有制陶、冶铜作坊,青铜工艺也已相当纯熟。烧土瓦在西周(公元前1060~公元前711)早期的陕西凤雏遗址中已有发现,并有了在土坯墙上采用三合土(石灰、黄砂、粘土混合)抹面。说明我国劳动人民在3 000年前已能烧制石灰、砖瓦等人造建筑材料,冶铜技术亦相当高明。到战国时期(公元前475~公元前221),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(约公元前850~公元前221)中,发现有炼

铜、冶铁作坊,说明当时铁器已有应用。

在欧洲,公元前 2 世纪已有用天然火山灰、石灰、碎石拌制天然混凝土用于建筑,直到 19 世纪初,才开始采用人工配料,再经煅烧、磨细制造水泥,因它凝结后与英国波特兰岛的石灰石颜色相似,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. Aspdin)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。钢材在土木工程中的应用也是 19 世纪的事。1823 年英国建成世界上第一条铁路;1850 年法国人朗波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。1983 年在纽约建成布鲁克林悬索桥,主跨 486 m;1889 年建造的巴黎埃菲尔铁塔高达 320 m。由此可知,水泥和钢材这两种材料的问世,为后来大规模建造高层建筑和大跨度桥梁提供了物质基础。

在半封建、半殖民地的旧中国,建材工业发展缓慢,19 世纪 60 年代在上海、汉阳等地相继建成炼铁厂,1867 年建成上海砖瓦锯木厂,1882 年建成中国玻璃厂,1890 年才建成我国第一家生产水泥的工厂——唐山水泥厂。

新中国成立以后,由于大规模经济建设的需要,建材工业开始迅速发展,先后建成太钢、包钢、武钢和上海宝钢等大型钢铁企业,各大城市普遍建成混凝土预制构件厂、大型砌块厂。特别是 20 世纪 80 年代以后,为满足现代工程建设的需要,一些特殊功能(如保温、隔热、吸声、防水、耐火等)的土木工程材料也应运而生。为适应现代建筑装饰的需要,玻璃、陶瓷、塑料、铝合金、铜合金等建筑装饰材料更是层出不穷。

随着土木工程材料生产和应用的发展,材料科学已形成为一门独立的新学科。采用现代的电子显微镜、X 衍射分析、测孔技术等先进仪器设备,可从微观和宏观两方面对材料的形成、组成、构造与材料性能之间的关系及其规律性和影响因素等进行研究。应用现代技术已可以实现按指定性能来设计和制造某种材料,以及对传统材料按要求进行各种改性。

在工程建设中,材料费用一般要占工程总造价的 50% 左右,有的甚至高达 70%,因此,发展材料工业意义十分重大,在我国现代化建设中,是一个必须先行的行业。为适应国民经济可持速发展的要求,土木工程材料的发展趋向是研制和开发高性能材料和绿色材料等新型材料。

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。例如:轻质、高强、高耐久性、优异装饰性和多功能性的材料,以及充分利用和发挥各种材料的特性,采用复合技术,制造具有特殊功能的复合材料。

绿色建筑材料又称生态建筑材料或健康建筑材料。它是指采用清洁生产技术,不用或少用天然资源和能源,大量使用工农业或城市固态废弃物生产的无毒害、无污染、无放射性,达到使用周期后,可回收利用,有利于环境保护和人体健康的建筑材料。总之,绿色建材是既能满足可持续发展之需,又做到发展与环保统一;既满足现代人需要、安居乐业、健康长寿,又不损害后代人利益的一种材料。因此,绿色建材已成为世界各国 21 世纪建材工业发展的战略重点。

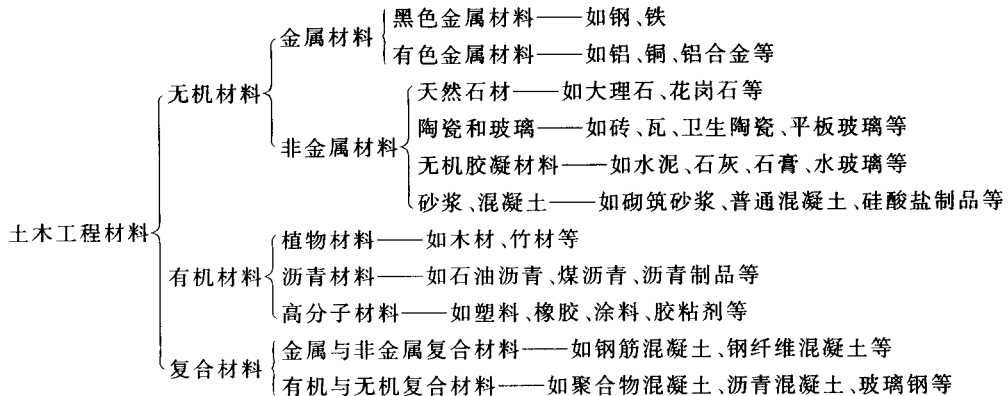
最近,我国颁布了《绿色建筑评价标准》(GB/T 50378-2006),标准规定建筑材料中有害物质含量应符合现行国家标准 GB18580~GB18588 和《建筑材料放射性核素限量》(GB6566)的要求。室内游离甲醛、苯、氨、氡和 TVOC 等空气污染物浓度应符合现行国家标准《民用建筑室内环境污染控制规范》(GB 50325)的规定。

应该指出,新型土木工程材料的发展除了应有优良的技术效果和环境效益外,还应同时具有经济效益。

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,如下表所示:



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订有产品的技术标准,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》(GB50119-2003)。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/T50081-2002)。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。

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要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好的耐久性能。

土木工程材料的基本性质主要包括物理性质、力学性质、耐久性、装饰性、防火性、防辐射性等,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(g/cm^3);

m ——材料在干燥状态下的质量(g);

V ——干燥材料在绝对密实状态下的体积(cm^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 0.20mm),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

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

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。

材料被水湿润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 1-1a,材料表面容易吸附水,材料能

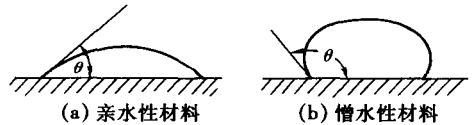


图 1-1 材料润湿示意图

被水润湿而表现出亲水性。当 $\theta > 90^\circ$ 时,如图 1-1b,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(g);

m_g ——材料在干燥状态下的质量(g)。

(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:

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

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(cm^3);

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

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:

$$W_v = W_m \cdot \rho_0$$

式中, ρ_0 为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%,烧结粘土砖的吸水率达 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

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

式中 W_h ——材料的含水率(%);

m_s ——材料在吸湿状态下的质量(g);

m_g ——材料在干燥状态下的质量(g)。

材料的吸湿性随空气的湿度和环境温度的变化而改变,当空气湿度较大且温度较低时,材料的含水率就大,反之则小。材料中所含水分与空气的湿度相平衡时的含水率,称为平衡含水率。具有微小开口孔隙的材料,吸湿性特别强,如木材及某些绝热材料,在潮湿空气中能吸收很多水分,这是由于这类材料的内表面积大,吸附水分的能力强所致。

材料的吸水性和吸湿性均会对材料的性能产生不利影响。材料吸水后会致其自重增大、绝热性降低、强度和耐久性将产生不同程度的下降。材料吸湿和还湿还会引起其体积变形,影响使用。不过,利用材料的吸湿可起除湿作用,常用于保持环境的干燥。

(三) 材料的耐水性

材料长期在水作用下不破坏,强度也不显著降低的性质称为耐水性。材料的耐水性用软化系数表示,如下式:

$$K_R = \frac{f_b}{f_g}$$

式中 K_R ——材料的软化系数;

f_b ——材料在饱水状态下的抗压强度(MPa);

f_g ——材料在干燥状态下的抗压强度(MPa)。

K_R 的大小表明材料在浸水饱和后强度降低的程度。一般来说,材料被水浸湿后,强度均会有所降低。这是因为水分被组成材料的微粒表面吸附,形成水膜,削弱了微粒间的结合力所致。 K_R 值愈小,表示材料吸水饱和后强度下降愈大,即耐水性愈差。材料的软化系数 K_R 在0~1之间。不同材料的 K_R 值相差颇大,如粘土 $K_R=0$,而金属 $K_R=1$ 。土木工程中将 $K_R>0.85$ 的材料,称为耐水的材料。在设计长期处于水中或潮湿环境中的重要结构时,必须选用 $K_R>0.85$ 的土木工程材料。对用于受潮较轻或次要结构物的材料,其 K_R 值不宜小于0.75。

(四) 材料的抗渗性

材料抵抗压力水渗透的性质称为抗渗性,或称不透水性。材料的抗渗性通常用渗透系数表示。渗透系数的物理意义是:一定厚度的材料,在单位压力水头作用下,在单位时间内透过单位面积的水量。用公式表示为

$$K_S = \frac{Qd}{AtH}$$

式中 K_S ——材料的渗透系数(cm/h);

Q ——渗透水量(cm^3);

d ——材料的厚度(cm);

A ——渗水面积(cm^2);

t ——渗水时间(h);

H ——静水压力水头(cm)。

K_S 值愈大,表示材料渗透的水量愈多,即抗渗性愈差。

材料的抗渗性也可用抗渗等级表示。抗渗等级是以规定的试件、在规定的条件和标准试验方法下所能承受的最大水压力来确定,以符号“ P_n ”表示,其中 n 为该材料所能承受的最大水压力MPa数的10倍值,如P4、P6、P8等分别表示材料最大能承受0.4MPa、0.6MPa、