

● 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 4 版

东南大学出版社



内 容 提 要

本书是在原《土木工程材料》第3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. —4版. —南京:东南大学出版社,2013.1

ISBN 978-7-5641-4060-1

I. ①土… II. ①张… III. ①土木工程—建筑材料 IV. ①TU5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 318794 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1月第4版 2013年1月第1次印刷

印数:0001~6 000册 定价:38.00元

(凡因印装质量问题,可直接与营销部联系。电话:025—83791830)

第 4 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)出版以来,已经第 19 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 4 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),秦皇岛建筑工程学院赵庆新教授(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。

在本书前三版中,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不吝指正。

编 者

2012 年 10 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,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 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(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。

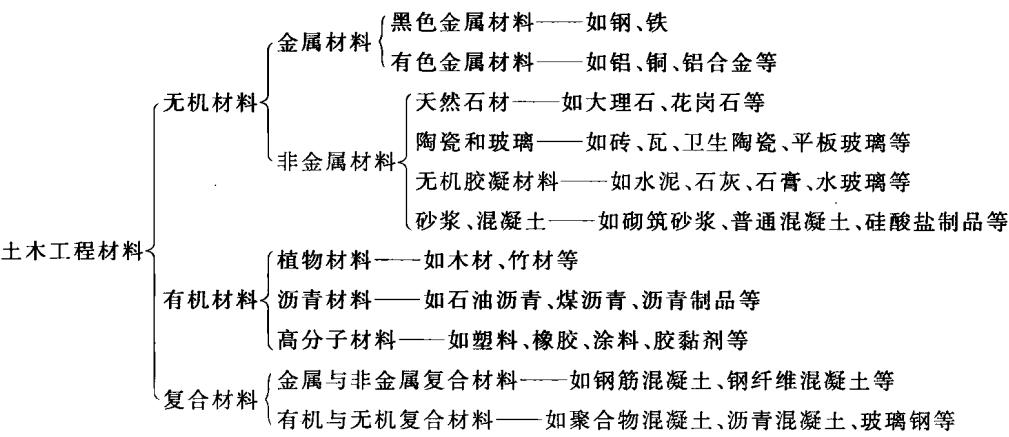
高性能建筑材料是指比现有材料的性能更为优异的建筑材料。其具有高强、高耐久性、力学性能稳定等特点。其适用于各种超高、超长、超大型的混凝土建筑物及在各种严酷条件下使用的混凝土建筑物之中,比如高层建筑物、跨海大桥、跨江大桥、海上采油平台、海港工程等建筑物。

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 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 碱激发矿渣硅酸盐水泥	(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	(147)
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 含聚合物的混凝土	(176)
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	(181)
第十节 装饰混凝土	(182)
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/m³);
 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(m³)。

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/(g·cm ⁻³)	表观密度/(kg·m ⁻³)	堆积密度/(kg·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。

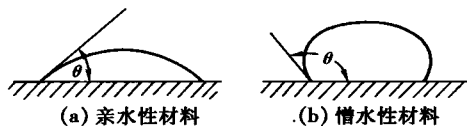


图 1-1 材料润湿示意图

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(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:

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

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(m^3);

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

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

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

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。材料吸水后会导致其自重增大、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,如黏土 $K_R=0$,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 P_4 、 P_6 、 P_8 等分别表示材料最大能承受 0.4 MPa、0.6 MPa、0.8 MPa 的水压力而不渗水。

材料的抗渗性与其孔隙率和孔隙特征有关。细微连通的孔隙水易渗入,故这种孔隙愈多,材料的抗渗性愈差。闭口孔水不能渗入,因此闭口孔隙率大的材料,其抗渗性仍然良好。开口大孔水最易渗入,故其抗渗性最差。

抗渗性是决定土木工程材料耐久性的重要因素。在设计地下建筑、压力管道、容器等结构时,均要求其所用材料必须具有良好的抗渗性能。抗渗性也是检验防水材料产品质量的重要指标。

(五) 材料的抗冻性

材料在水饱和状态下,能经受多次冻融循环作用而不破坏,也不严重降低强度的性质,称为材料的抗冻性。材料的抗冻性用抗冻等级表示。抗冻等级是以规定的试件、在规定试验条件下,测得其强度降低不超过规定值,并无明显损坏和剥落时所能经受的冻融循环次数来确定,用符号“ F_n ”表示,其中 n 即为最大冻融循环次数,如 F_{25} 、 F_{50} 等。

材料抗冻等级的选择,是根据结构物的种类、使用条件、气候条件等来决定的。例如烧结普通砖、陶瓷面砖、轻骨料混凝土等墙体材料,一般要求其抗冻等级为 F_{15} 或 F_{25} ;用于桥梁和道路的混凝土应为 F_{50} 、 F_{100} 或 F_{200} ,而水工混凝土要求高达 F_{500} 。

材料受冻融破坏主要是因其孔隙中的水结冰所致。水结冰时体积增大约 9%,若材料孔隙中充满水,则结冰膨胀对孔壁产生很大应力,当此应力超过材料的抗拉强度时,孔壁将产生局部开裂。随着冻融次数的增多,材料破坏加重。所以材料的抗冻性取决于其孔隙率、孔隙特征及充水程度。如果孔隙不充满水,即远未达饱和,具有足够的自由空间,则即使受冻也不致产生很大冻胀应力。极细的孔隙,虽可充满水,但因孔壁对水的吸附力极大,吸附在孔壁上的水其冰点很低,它在很大负温下才会结冰。粗大孔隙当水分不充满其中,对冰胀破坏可起缓冲作用。闭口孔隙水分不能渗入,而毛细管孔隙既易充满水分,又能结冰,故其对材料的冰冻破坏作用最大。材料的变形能力大、强度高、软化系数大时,其抗冻性较高。一般认为软化系数小于 0.80 的材料,其抗冻性较差。

另外,从外界条件来看,材料受冻融破坏的程度,与冻融温度、结冰速度、冻融频繁程度等因素有关。环境温度愈低、降温愈快、冻融愈频繁,则材料受冻破坏愈严重。材料受冻融破坏作用后,将由表及里产生剥落现象。

抗冻性良好的材料,对于抵抗大气温度变化、干湿交替等风化作用的能力较强,所以抗冻性常作为考查材料耐久性的一项重要指标。在设计寒冷地区及寒冷环境(如冷库)的工程建筑物时,必须要考虑材料的抗冻性。处于温暖地区的土木工程,虽无冰冻作用,但为抵抗大气的风化作用,确保建筑物的耐久性,也常对材料提出一定的抗冻性要求。

四、材料的热工性质

为了保证建筑物具有良好的室内气候,同时能降低建筑物的使用能耗,必须要求土木工程材料具有一定的热工性能。土木工程材料常用的热工性质有导热性、热容量、比热等。

(一) 导热性

当材料两侧存在温度差时,热量将由温度高的一侧、通过材料传递到温度低的一侧,材