

铁路职业教育铁道部规划教材

工程材料

GONGCHENGCAILIAO

TIELU ZHIYE JIAOYU TIEDAOBU GUIHUA JIAOCAI

闫宏生 主编

中专

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE



铁路职业教育铁道部规划教材

(中 专)

工 程 材 料

闫宏生 主 编
张美琴 主 审

中国铁道出版社

2008年·北京

内 容 简 介

本书为铁路职业教育铁道部规划教材。是根据铁路职业教育建筑工程专业教学指导委员会教材计划而编写。全书共分 11 章, 主要介绍材料的基本性质、天然石材、气硬性胶凝材料、水泥、混凝土、建筑砂浆、建筑钢材、防水材料、木材、合成高分子材料等常用工程材料的种类、技术要求、质量标准、技术性能检测方法和应用范围等方面的内容。为了便于学习和复习, 每章均有学习目标和复习思考题。在编写过程中, 本教材力求体现职业技术教育的特色, 同时注重专业技能的培养。全书采用了现行的最新标准、规范及法定计量单位。

本书可作为中等职业教育建筑工程、铁道工程、工业与民用建筑、桥梁与隧道等专业的教材, 也可作为职业岗位培训教材, 并可供有关技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

工程材料/闫宏生主编. —北京: 中国铁道出版社, 2008. 2

铁路职业教育铁道部规划教材

ISBN 978-7-113-08458-5

I. 工… II. 闫… III. 工程材料—职业教育—教材 IV. TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 206549 号

书 名: 工程材料
作 者: 闫宏生 主编

责任编辑: 李丽娟 电话: (010) 51873135

封面设计: 陈东山

责任校对: 张玉华

责任印制: 金洪泽

出版发行: 中国铁道出版社 (北京市宣武区右安门西街 8 号 邮政编码: 100054)

印 刷: 北京华正印刷有限公司

版 次: 2008 年 1 月第 1 版 2008 年 1 月第 1 次印刷

开 本: 787 mm × 1092 mm 1/16 印张: 16.25 字数: 404 千

书 号: ISBN 978-7-113-08458-5/U · 917

定 价: 31.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 请与本社读者服务部调换。

电 话: 市电 (010) 51873170 路电 (021) 73170 (发行部)

打击盗版举报电话: 市电 (010) 63549504 路电 (021) 73187

前 言

本书为铁路职业教育铁道部规划教材,是根据铁路中专教育“铁道工程(工务)”专业教学计划“工程材料”课程教学大纲编写的。内容涵盖工程材料的基本性质、天然石材、水泥、混凝土、建筑砂浆、建筑钢材、防水材料、木材等方面。

本书在编写过程中,力求体现职业教育的特色,注重理论联系实际与专业技能的培养,实现培养应用型和技能型专业人才的目标。全书深入浅出,语言精练;在内容上推陈出新,侧重介绍工程材料领域的新技术和新材料,并采用了现行的最新标准、规范及法定计量单位;每章均有学习目标和复习思考题,便于使用者查阅和掌握内容重点。

本书由包头铁路工程学校闫宏生主编,合肥铁路工程学校张美琴主审。参加编写工作的人员有:包头铁路工程学校闫宏生(绪论、第4章、第9章、工程材料试验),包头铁路工程学校惠青燕(第1章、第3章),天津铁道职业技术学院蒋君(第5章5.1~5.5节),合肥铁路工程学校李立胜(第5章5.6节、第6章),武汉铁路桥梁学校付恩琴(第7章),齐齐哈尔铁路工程学校张维丽(第2章、第8章8.1~8.4节),成都铁路运输学校周虹(第8章8.5节、第10章、第11章)。

由于编者水平有限,书中难免存在疏漏或不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者
2007年9月

目 录

绪 论	1
复习思考题	5
1 材料的基本性质	6
1.1 材料的物理性质	6
1.2 材料的力学性质	15
1.3 材料的耐久性	17
复习思考题	17
2 天然石材	19
2.1 天然岩石的分类	19
2.2 石材的技术性质	22
2.3 石材的品种和应用	26
复习思考题	28
3 气硬性胶凝材料	29
3.1 石 灰	29
3.2 石 膏	32
3.3 水 玻 璃	35
复习思考题	35
4 水 泥	36
4.1 通用水泥	36
4.2 特性水泥与专用水泥	50
复习思考题	57
5 混 凝 土	59
5.1 普通混凝土的组成材料	60
5.2 混凝土的技术性能	67
5.3 混凝土外加剂	77
5.4 混凝土的配合比设计	82
5.5 混凝土的质量控制	92
5.6 其他混凝土	94
复习思考题	105
6 建筑砂浆	107
6.1 砌筑砂浆	107

6.2 其他建筑砂浆	112
复习思考题	116
7 建筑钢材	117
7.1 钢和铁的冶炼及钢的分类	117
7.2 建筑钢材的技术性质	120
7.3 建筑钢材的技术标准和应用	128
7.4 钢筋和钢丝	131
7.5 桥梁结构钢	136
7.6 钢 轨 钢	138
7.7 建筑钢材的锈蚀与防锈、防火	139
复习思考题	140
8 防水材料	142
8.1 石油沥青	142
8.2 防水卷材	147
8.3 防水涂料	153
8.4 建筑密封材料	156
8.5 合成高分子防水材料	160
复习思考题	163
9 木 材	164
9.1 木材的分类与构造	164
9.2 木材的物理力学性质	165
9.3 木材在建筑工程中的应用	168
9.4 木材的保护处理	170
复习思考题	171
10 合成高分子材料	172
10.1 建筑塑料	172
10.2 橡 胶	176
复习思考题	177
11 其他工程材料	178
11.1 墙体材料	178
11.2 装饰材料	184
11.3 绝热材料	190
复习思考题	192
工程材料试验	194
试验 1 工程材料基本物理性质试验	194
试验 2 石材单轴抗压强度试验	197
试验 3 水泥试验	198
试验 4 混凝土用粗、细骨料试验	212
试验 5 普通混凝土配合比试验	225
试验 6 建筑砂浆试验	233

试验 7 钢材试验	236
试验 8 石油沥青试验	243
试验 9 黏土砖试验	247
参考文献	252

绪 论

【学习目标】本章主要介绍工程材料的定义、分类以及工程材料的发展历程。通过本章的学习,掌握工程材料的定义和分类,了解工程材料在建筑工程中的地位、作用和工程材料的发展现状,明确本课程的任务和基本要求。

0.1 工程材料的定义及其分类

工程材料是指用于土木建筑结构物的所有材料和材料制品的总称,包括砖、石材、石灰、石膏、水泥、砂浆、混凝土、钢材、木材、沥青、玻璃、涂料、塑料等。工程材料是建筑物与构筑物的物质基础,也是人类生活和生产的物质基础。人类社会的发展伴随着材料的发明和发展,经历了石器时代、青铜器时代、铁器时代等,而今人类已跨入了人工合成材料的新时代。

工程材料的种类繁多,常用的分类方法是按材料的化学成分、用途、功能和来源的不同进行分类。

(1)按工程材料的化学成分及组织结构不同,工程材料可分为无机材料、有机材料和复合材料,如表 0-1 所示。

表 0-1 工程材料按化学成分分类表

无机材料	金属材料	黑色金属:钢、铁 有色金属:铝及铝合金、铜及铜合金、金、银等
	非金属材料	天然石材:大理石、花岗岩、石灰岩、页岩等 烧土制品:砖、瓦、陶器、瓷器等 无机胶凝材料及其制品:石灰、石膏、水玻璃、水泥、混凝土、砂浆、硅酸盐制品等 玻璃及其制品:钠玻璃、钾玻璃、钢化玻璃、中空玻璃等
有机材料	植物材料	木材、竹材、植物纤维及其制品
	合成高分子材料	塑料、涂料、合成纤维、胶粘剂、合成橡胶等
	沥青材料	石油沥青及其制品
复合材料	金属材料与非金属材料	钢筋混凝土、钢丝网水泥、钢纤维混凝土等
	有机材料与无机非金属材料	聚合物混凝土、沥青混凝土、玻璃钢等
	其他复合材料	水泥石棉制品、人造大理石、人造花岗岩等

无机材料由小分子化合物构成,分子量较小,又可以分为金属材料和非金属材料。

有机材料由高分子化合物构成,主要化学成分为碳与氢,分子量较大。

复合材料是指由两种或两种以上不同性质的材料经过适当组合成为一体的材料。复合材料可以克服单一材料的不足之处,发挥其综合特性。通过适当的复合手段,可以根据工程所处环境与工程使用要求重新设计和生产材料。可以说,材料的复合化已经成为当今材料科学发展的趋势之一。

(2)按工程材料在建筑物中的功能不同,可以分为承重材料(如钢材、砖、石材、混凝土、木材等)、防水材料(如石油沥青制品、高分子防水涂料等)、保温隔热材料(如石棉制品、植物纤维

制品、膨胀珍珠岩制品等)、吸音材料(如石膏制品、木丝板、泡沫塑料、植物纤维制品等)和装饰材料(如铝合金、铜合金、金、银、石材、木材、竹材、玻璃制品)。

(3)按工程材料的用途不同,可以分为结构材料、围护材料和功能材料。

结构材料是指构成建筑物受力构件和结构所用的材料,如梁、板、柱、基础等构件或结构使用的材料。结构材料应具有足够的强度和耐久性。常用的结构材料有钢材、砖、石材、混凝土、木材等。

围护材料是指用于建筑物围护结构的材料,如墙体、屋面等部位使用的材料。围护材料不仅要求具有一定的强度和耐久性,还要求具有良好的保温、隔热、隔音性能。常用的围护材料有砖、砌块、大型墙板、瓦等。

功能材料是指能够满足各种功能要求所使用的材料,如防水材料、装饰材料、保温隔热材料、吸声隔音材料等。

(4)按工程材料的来源不同,可以分为天然材料和人造材料。

0.2 工程材料在建筑工程中的地位和作用

工程材料是建筑物与构筑物的物质基础,任何一座建筑物与构筑物,都是通过合理地组合各种材料及其制品,构成所需的建筑实体。可以说,如果没有工程材料作为物质基础,就不可能有形态各异、功能不同的建筑产品。

工程材料的种类繁多,性能各异。工程材料的品种、性能和质量,在很大程度上决定着建筑物是否坚固、耐久、经济和美观。在建筑工程实践中,从材料的选择、储运、检测到使用,任何环节的失误,都会降低建筑工程质量,影响工程的使用效果和耐久性能,甚至会造成严重的工程事故。例如在修建兰新铁路时,因施工单位使用了体积安定性不合格的水泥,致使该铁路某段多处涵洞在尚未交付使用时就已开裂、报废,给国家经济建设造成较大的经济损失。

在我国的建筑工程中,工程材料所占的投资比例可达 50%~70%,因此在保证材料质量的前提下,降低材料费用,对降低工程造价,提高企业经济效益,将起到很大的积极作用。大量实践证明:正确选材、合理利用、科学管理、减少浪费是降低工程费用的有效途径。

工程材料的发展与建筑工程技术的进步有着相互依存、相互制约和相互推动的关系。新型高性能材料的诞生和应用,必将推动建筑结构设计方法的改进和施工工艺的革新;而全新的设计理念和施工技术对工程材料的品种、质量和功能,又提出了更高和更多样化的要求。如水泥、钢材的大量应用,取代了传统的砖、石、木材,使结构物的高度、跨度不断增加;而现代高层建筑和大跨度结构,又要求工程材料应具有轻质高强的特点。

总之,材料的性质对建筑物的使用性能、坚固性和耐久性起着决定性的作用;材料的使用与工程造价有着密切的关系;新材料的发展又可以促进结构形式的变化、结构设计方法的改进和施工技术的变革。因此,作为一名从事建筑工程的技术人员,如何合理选用工程材料,对保证结构物的适用性、耐久性和经济性具有十分重要的意义。

0.3 工程材料的发展

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。在很早以前,人们就利用石块、木材、土等天然材料从事建筑活动。如始建于公元前 2700 年古埃及的金字塔、公元前 7 世纪春秋时代的长城、公元 125 年古罗马建造的万神庙和公元 595 年~605 年修建的赵州桥,全部采用石块、砖、土为结构材料。随着社会的不断进步,人们对建筑工程的要

求也越来越高,这种要求与工程材料的数量和质量之间,总是存在着相互依赖、相互矛盾的关系。工程材料的生产和使用,就是在不断解决矛盾的过程中逐渐向前发展的。与此同时,其他相关科学技术的日益进步也为工程材料的发展提供了有利条件。1824年英国J. Aspdin发明了波特兰水泥(即硅酸盐水泥),混凝土随之问世,并首先大规模应用于泰晤士河隧道工程。19世纪中叶人们掌握了工业化炼钢技术,将具有强度高、延性好、质量均匀的建筑钢材作为结构材料。钢结构的运用,使建筑物的跨度、高度由过去的几米、几十米增加到如今的几百米。

20世纪以来,随着科学技术的不断发展,各种高性能的新型材料不断涌现。20世纪初人工合成高分子材料的问世,20世纪30年代预应力混凝土的产生,21世纪高性能混凝土(HPC)的广泛使用,为大跨度结构,特别是大跨度桥梁、水工、海港、道路、高层建筑等工程提供了较为理想的结构材料。与此同时,一些具有特殊功能的材料,如保温绝热、吸声、耐磨、耐热、耐腐蚀、防辐射等材料应运而生。随着人们对工作空间、生活环境和城市面貌的要求越来越高,各种环保型工程材料也越来越受到人们的重视。

工程材料产业不仅是推动建筑业发展的物质基础,也是国民经济的主要基础产业之一。为了适应我国经济建设和发展的需要,工程材料正向研制、开发高性能工程材料和绿色材料的方向发展。

高性能工程材料是指性能及质量更加优异,轻质、高强、多功能、更加耐久和更富有装饰效果的材料,是便于机械化施工和更有利于提高施工生产效率的材料。

绿色材料又称之为生态材料、环保材料。它是采用清洁生产技术,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,在达到使用周期后可以回收利用,有利于环境保护和人们健康的工程材料。

绿色材料具有以下基本特征:

1. 以相对较低的资源、能源消耗和环境污染为代价生产的高性能工程材料,如采用现代先进工艺和生产技术生产的生态水泥。
2. 采用低能耗制造工艺生产的具有轻质、高强、保温、隔音等多功能的新型墙体材料。
3. 具有改善居室生态环境,有益于人体健康和具有功能化的材料,如具有抗菌、灭菌、调湿、消磁、防射线、防静电、阻燃、隔热等功能的玻璃、陶瓷、涂料等。
4. 以工业废弃物为主要原料生产的各种材料制品。
5. 产品可以循环和回收再利用,无污染环境的废弃物。

绿色材料代表了21世纪工程材料的发展方向,是符合世界发展趋势和人类要求的工程材料,是符合科学的发展观和以人为本思想的工程材料。在未来的建筑行业中绿色材料必然会占主导地位,成为今后工程材料发展的必然趋势。

0.4 工程材料的技术标准

为了确保工程材料的产品质量,适应建筑业飞速发展的需要,我国绝大多数的工程材料都制定了相应的技术标准,包括产品规格、分类、技术要求、检验方法、验收规则、标志、运输、储存及使用说明等内容。工程材料的技术标准是材料生产、质量检验、验收及材料应用等方面的技术准则和必须遵守的技术法规。工程材料生产厂家必须依照技术标准生产并控制产品质量;工程材料使用部门要按照技术标准选用、设计和施工,并按标准对材料的质量与性能进行检验和验收。可以说,工程材料的技术标准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,也是使产品与国际接轨的重要依据。

目前我国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。其中国家标准和行业标准是全国通用标准,是国家指令性技术文件。各级材料的生产、设计、施工等部门必须严格遵守执行,不得低于此标准。地方标准是地方主管部门发布的地方性技术文件。企业标准仅适用于本企业,凡是没有制定国家标准和行业标准的產品,均应制定企业标准。

技术标准的表示方法由标准名称、部门代号、标准编号、批准年份四部分组成。各类标准的代号和表示方法见表 0-2 所示。

表 0-2 各类技术标准规定的代号和表示方法

标准种类	代 号		表 示 方 法
国家标准	GB	GB:国家强制性标准 GB/T:国家推荐性标准	标准名称、部门代号、标准编号、批准年份 如:《水泥胶砂强度检验方法(ISO 法)》(GB/T 17671—1999)、 《建筑砂浆基本性能试验方法》(JGJ 70—90)、 《建筑生石灰》(JC/T 479—92)、 《铁路混凝土与砌体工程施工规范》(TB 10210—2001)、 《道路石油沥青》(JTG F40—2004)
行业标准	建材局	JC:建材行业强制性标准 JC/T:建材行业推荐性标准	
	建设部	JGJ:建设部行业强制性标准 JGJ/T:建设部行业推荐性标准	
	铁道部	TB:铁道部行业强制性标准	
	冶金部	YB:冶金部行业强制性标准	
	建筑工业	JG:建筑工业行业强制性标准	
地方标准	DB	DB:地方强制性标准 DB/T:地方推荐性标准	
企业标准	QB	QB:企业标准	

了解并熟悉工程材料的技术标准,对掌握材料性能与质量,合理选用材料是十分必要的。由于工程材料的技术标准是根据一定时期的技术水平制订的,随着科学技术的发展与使用要求的提高,需要对工程材料技术标准不断进行修订,因此要随时注意新修订标准的出现。

0.5 本课程的任务及基本要求

本课程是铁道工程专业及其他相关专业的专业基础课。它的任务是通过本课程的学习,使学生获得有关工程材料的基本理论、基本知识与基本技能。本课程重点讲述建筑工程中常用工程材料的基本性质和试验方法。在材料性质方面,要求掌握材料的组成、技术性质、特性,了解材料的化学成分、结构、外部环境等因素对材料性质的影响;在材料试验方面,要求熟悉常用工程材料的技术规范及其质量检测方法,能够对所用材料品质做出准确判别,为今后学习专业课程提供有关工程材料的基础知识,也为学生今后从事专业技术工作,在材料选用、材料验收、质量鉴定、储存运输、防腐处理等方面打下必要的基础,并获得主要工程材料试验的基本技能训练。

在学习过程中,应以材料的基本性质、应用范围和质量检测方法为重点,但也要了解材料的化学成分、结构、构造、生产加工过程和外部环境等因素对材料性能的影响,注意各项性能之间的有机联系,同时还应重视试验课的学习。由于本课程是一门实践性很强的课程,为配合理论教学,开设了必要的工程材料试验部分教学。旨在通过试验,加深和巩固理论知识,熟悉工程材料的质量检测方法,掌握试验操作技能,并对试验结果做出正确的分析和结论。工程材料

的品种多样,在学习中还必须注意分析和比较同类材料不同品种的共性与特性,以便于在实际工作中能够根据工程要求和工程环境特点,合理选用材料。

复习思考题

1. 工程材料如何进行分类?
2. 何谓复合材料?
3. 何谓绿色材料?
4. 工程材料的技术标准分哪几类? 如何表示?

材料的基本性质

【学习目标】本章主要介绍工程材料的物理性质、力学性质和材料的耐久性。通过本章的学习,掌握材料各项基本性质的含义及其在工程中的实际意义;了解材料的内部组织结构对材料基本性质的影响,以及提高材料耐久性的措施。

在构筑物中,工程材料要经受各种不同的作用,因而要求工程材料具有相应的不同性质。如用于工程结构的材料要承受各种外力的作用,因此,选用此类材料时应使其具有所需要的力学性质。又如,根据建筑物不同部位的使用要求,有些材料应具有防水、绝热、吸声等性质;对于某些构筑物,还要求材料具有一定的耐热、耐腐蚀等性质。此外,对于长期暴露在大气中的材料,要求能经受风吹、日晒、雨淋、冰冻而引起的温度变化、湿度变化及反复冻融的破坏变化。为了保证构筑物的耐久性,以及在工程设计与施工中能够正确地选择、合理地使用工程材料,必须熟悉和掌握材料的基本性质。

工程材料的基本性质是多方面的,某种工程材料应具备何种性质,要根据它在构筑物中所起的作用和所处的环境来决定。一般来说,工程材料的基本性质包括材料的物理性质、力学性质、化学性质及耐久性四个方面。

1.1 材料的物理性质

材料的物理性质包括与材料质量有关的性质、与水有关的性质和与热有关的性质三个方面。

1.1.1 与材料质量有关的性质

1. 密度

密度是指材料在绝对密实状态下单位体积内物质的质量。材料的密度可按下式计算:

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

式中 ρ ——材料的密度, g/cm^3 ;

m ——材料在完全干燥状态下的质量, g ;

V ——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,是指材料不包括孔隙体积在内的固体物质所占的体积。工程材料中,除了钢材、玻璃等材料可近似地直接量取其密实体积外,其他绝大多数材料都含有一定的孔隙。在自然状态下,含有孔隙在内的材料体积是由固体物质的体积(即绝对密实状

态下的材料体积)和孔隙体积两部分组成的。在测定有孔隙的材料密度时,应先把材料磨成细粉以排除其内部孔隙,经干燥至恒重后,再用李氏密度瓶法测定其密实体积。对于某些较为致密但形状不规则的散粒材料,在测定其密度时,可以不必磨成细粉,而直接用排水法测其密实体积的近似值(颗粒内部的封闭孔隙体积没有排除)。混凝土所用砂、石等散粒材料常按此法测定其密度。

2. 表观密度

表观密度是指材料在自然状态下单位体积的质量。材料的表观密度可按下式计算:

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

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,是指包括孔隙体积在内的材料体积。外形规则材料的表观体积,可直接用尺度量后计算求得;外形不规则材料的表观体积,可将材料表面涂蜡后用排水法测定。当材料的孔隙中含有水分时,其质量(包括水的质量)和体积均会发生变化,影响材料的表观密度,所以在测定材料的表观密度时,必须注明其含水状态。在不同的含水状态下,可测得材料的干表观密度、湿表观密度及饱和表观密度。通常情况下所测材料的表观密度,是指材料在气干状态(长期在空气中的干燥状态)下的表观密度。在进行材料对比试验时,则以完全干燥状态下测得的表观密度值为准。

3. 堆积密度

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

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

式中 ρ'_0 ——材料的堆积密度, kg/m^3 ;

m ——材料的质量, kg ;

V'_0 ——材料的自然堆积体积, m^3 。

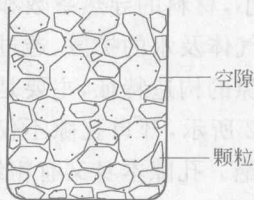


图 1-1 散粒材料堆积体积示意图

材料的自然堆积体积为颗粒的体积与颗粒之间空隙体积之和,如图 1-1 所示。

材料的堆积密度主要取决于材料内部组织结构以及测定时材料的装填方式。松散堆积方式测得的堆积密度值明显小于紧密堆积时的测定值。工程中通常采用松散堆积密度确定颗粒状材料的堆积空间。

在建筑工程中,计算材料用量、构件自重、配料计算以及确定材料堆放空间大小时,经常要用到材料的密度、表观密度和堆积密度等数据。

4. 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,即材料的密实体积与表观体积之比。材料的密实度可按下式计算:

$$D = \frac{V}{V_0} \times 100\%$$

式中 D ——材料的密实度, %;

V ——材料在绝对密实状态下的体积, m^3 ;

V_0 ——材料在自然状态下的体积, m^3 。

密实度也可根据材料的密度与表观密度计算。因为 $\rho = m/V$, $\rho_0 = m/V_0$, 故 $V = m/\rho$, $V_0 = m/\rho_0$, 则有

$$D = \frac{V}{V_0} \times 100\% = \frac{\frac{m}{\rho}}{\frac{m}{\rho_0}} \times 100\% = \frac{\rho_0}{\rho} \times 100\%$$

例如, 烧结多孔砖 $\rho_0 = 1\,640\text{ kg/m}^3$; $\rho = 2\,500\text{ kg/m}^3$, 其密实度为

$$D = \frac{\rho_0}{\rho} \times 100\% = \frac{1\,640}{2\,500} \times 100\% = 66\%$$

材料的 ρ_0 与 ρ 越接近, 即 ρ_0 与 ρ 的比值越大, 说明材料越密实。

(2) 孔隙率

孔隙率是指材料体积内孔隙体积占材料总体积的百分数。孔隙率可按下式计算:

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

密实度和孔隙率的大小, 从不同角度反映了材料的密实程度。密实度和孔隙率的关系为: $P + D = 1$ 。材料密实度和孔隙率的大小取决于材料的组成、结构以及制造工艺。材料的许多性质, 如材料强度、吸水性、抗渗性、抗冻性、导热性、吸声性等都与材料的孔隙率大小有关, 并且与孔隙的构造特征密切相关。

随着材料孔隙率的增大, 则材料密度减小, 材料受力的有效面积减少, 强度也降低; 由于密度的减小, 材料的导热系数和热容量随之减小, 透气性、透水性、吸水性增大。一般来说, 多孔材料对气体及水的扩散、透过较为容易。

孔隙的构造特征, 主要是指孔隙的形状、大小和分布。材料内部孔隙有开口与闭口之分, 如图 1-2 所示, 开口孔隙不仅彼此连通且与外界相通, 而闭口孔隙则不仅彼此互不连通, 且与外界隔绝。孔隙本身又有粗细之分, 粗大孔隙虽易吸水, 但不易保持。细微孔隙吸入的水分不易流动, 而闭口孔隙水分及其他介质不易侵入。因此, 孔隙率又分为开口孔隙率和闭口孔隙率。

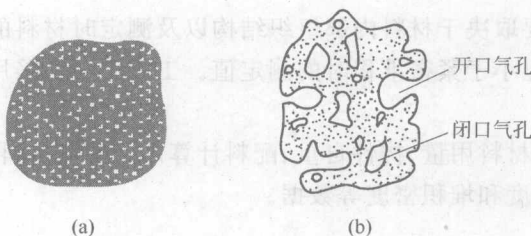


图 1-2 孔隙类型示意图

(a) 具有封闭孔隙的颗粒; (b) 具有开口孔隙和封闭孔隙的颗粒

① 开口孔隙率 P_k 是指常温下能被水所饱和的孔隙体积与材料表观体积之比的百分数, 可按下式计算:

$$P_k = \frac{m_2 - m_1}{V_0} \times \frac{1}{\rho_{H_2O}} \times 100\%$$

式中 P_k ——材料的开口孔隙率, %;

m_1 ——干燥状态下材料的质量, g;

m_2 ——吸水饱和状态下材料的质量, g;

V_0 ——材料在自然状态下的体积, m^3 ;

ρ_{H_2O} ——水的密度, g/cm^3 , 常温下取 $1 g/cm^3$ 。

②闭口孔隙率 P_b 是指总孔隙率与开口孔隙率之差, 即 $P_b = P - P_k$ 。

开口孔隙能增大材料的吸水性、透水性, 降低抗冻性; 内部闭口孔隙的增多可以提高材料的保温隔热性能、抗渗性、抗冻性及耐久性。

常用工程材料的基本物理指标如表 1-1 所示。

表 1-1 常用工程材料的密度、表现密度、堆积密度和孔隙率表

材 料	密度 $\rho(g/cm^3)$	表观密度 $\rho_0(kg/m^3)$	堆积密度 $\rho'_0(kg/m^3)$	孔隙率 (%)
石灰岩	2.60	1 800~2 600	—	—
花岗岩	2.60~2.90	2 500~2 800	—	0.5~3.0
碎石(石灰石)	2.60	—	1 400~1 700	—
砂	2.60	—	1 450~1 650	—
黏 土	2.60	—	1 600~1 800	—
普通黏土砖	2.50~2.80	1 600~1 800	—	20~40
黏土空心砖	2.50	1 000~1 400	—	—
水 泥	3.10	—	1 200~1 300	—
普通混凝土	—	2 000~2 800	—	5~20
轻骨料混凝土	—	800~1 900	—	—
木 材	1.55	400~800	—	55~75
钢 材	7.85	7 850	—	0
泡沫塑料	—	20~50	—	—
玻 璃	2.55	—	—	—

5. 空隙率与填充率

(1) 空隙率

空隙率是指散粒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, 材料空隙率可按下式计算:

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

式中 P' ——材料的空隙率, %;

V'_0 ——材料的自然堆积体积, m^3 ;

V_0 ——材料在自然状态下的体积, m^3 ;

ρ'_0 ——材料的堆积密度, kg/m^3 ;

ρ_0 ——材料的表观密度, kg/m^3 。

空隙率的大小反映了散粒材料的颗粒互相填充的紧密程度。空隙率可作为控制混凝土骨

料级配与计算砂率的依据。

(2) 填充率

填充率是指散粒或粉状材料颗粒体积占其自然堆积体积的百分率,材料填充率可按下式计算:

$$D' = \frac{V_0}{V'_0} \times 100\% = \frac{\rho'_0}{\rho_0} \times 100\%$$

式中 D' ——材料的填充率, %;

V_0 ——材料在自然状态下的体积, m^3 ;

V'_0 ——材料的自然堆积体积, m^3 ;

ρ'_0 ——材料的堆积密度, kg/m^3 ;

ρ_0 ——材料的表观密度, kg/m^3 。

材料空隙率与填充率的关系为 $P' + D' = 1$ 。

材料的密度、表观密度、孔隙率及空隙率是认识材料、了解材料性质与应用的重要指标,常称之为材料的基本物理性质。

1.1.2 材料与水有关的性质

1. 材料的亲水性与憎水性

与水接触时,有些材料能被水润湿,而有些材料则不能被水润湿,对这两种现象来说,前者为亲水性,后者为憎水性。材料具有亲水性或憎水性的根本原因在于材料分子间的作用力。材料与水分子之间的分子亲合力大于水分子本身之间的内聚力时,材料能够被水润湿,使材料具有亲水性;反之,材料与水分子之间的亲合力小于水分子本身之间的内聚力时,材料不能够被水润湿,使材料具有憎水性。

在工程实际中,材料的亲水性或憎水性,通常以润湿角的大小划分。润湿角为在材料、水和空气的交点处,沿水滴表面的切线 γ_L 与水和固体接触面 γ_{SL} 所成的夹角。润湿角 θ 越小,表明材料越被水润湿。当材料的润湿角 $\theta \leq 90^\circ$ 时,为亲水性材料,水在材料表面可以铺展开,且能通过毛细管作用自动将水吸入材料内部;当材料的润湿角 $\theta > 90^\circ$ 时,为憎水性材料,水在材料表面不仅不能铺展开,而且水分不能渗入材料的毛细管中,如图 1-3 所示。

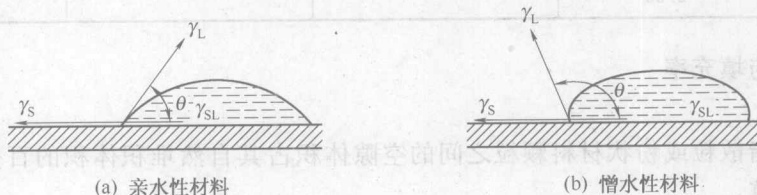


图 1-3 材料润湿示意图

大多数工程材料,如石料、砖、混凝土、木材等都属于亲水性材料,表面都能够被水润湿。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,而且还可用于亲水性材料的表面处理,以降低其吸水性。

2. 吸水性

材料在水中吸收水分的性质称为吸水性。吸水性的以吸水率表示,吸水率有质量吸