

土木工程材料

苏 锋 杨海东 编著

TUMU
GONGCHENG
CAILIAO



化学工业出版社

土木工程材料

苏 锋 杨海东 编著

TUMU
GONGCHENG
CAILIAO



化学工业出版社

· 北 京 ·

土木工程材料

图书在版编目 (CIP) 数据

土木工程材料/苏锋, 杨海东编著. —北京: 化学工业出版社, 2008. 6

ISBN 978-7-122-03379-6

I. 土… II. ①苏…②杨… III. 土木工程-建筑材料
IV. TU5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 104927 号

责任编辑: 刘丽宏 王晓云

装帧设计: 尹琳琳

责任校对: 周梦华

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 三河市延风印装厂

720mm×1000mm 1/16 印张 11¼ 字数 219 千字 2008 年 9 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 29.00 元

版权所有 违者必究

土木工程材料是应用于土木工程建设中的无机材料、有机材料和复合材料的总称。随着现代化建筑向高层、大跨度、节能、美观、舒适的方向发展,以及人民生活水平的提高、国家经济实力的增强,特别是由于新型土木工程材料具有自重轻、抗震性能好、能耗低、大量利用工业废渣等优点,研究开发和应用土木工程新材料已成为必然。一本能适应土木工程材料发展的图书对于土木工程技术人员的正确选择和合理使用土木工程材料,尽可能降低材料的消耗是非常必要的。

土木工程材料的质量直接影响建筑工程的质量。建筑物经常受温度、大气、荷载、冻融、化学侵蚀等破坏作用,要使建筑坚固、耐久、适用,必须了解土木工程材料的性能、规格、质量,从而科学合理地选用材料。

本书主要介绍了土木工程中常用建筑材料的基本组成、材料性能、质量要求及检验方法,适当反映了近年来国内外在土木工程材料方面的新技术、新产品,并结合了相关新的国家标准、规范。本书为学习土木工程专业的人员提供必要的基础知识,并为合理选用材料、降低工程成本、对材料进行改进提供一定的理论知识。本书还可用作土木工程设计、科研、施工和管理等单位的技术人员的参考书。

由于编者水平有限,书中不当之处难免,敬请读者批评指正。

编著者

第 1 章 土木工程材料基本性质

1.1 概述	1
1.2 土木工程材料的组成与结构状态	2
1.3 土木工程材料的物理状态参数	5
1.4 土木工程材料的物理性质	8
1.5 土木工程材料的力学性质	13
1.6 土木工程材料的耐久性、装饰性、化学性	15
1.7 土木工程材料的环保要求	16

第 2 章 建筑钢材

2.1 钢材的微观结构及化学组成	19
2.2 建筑钢材的主要力学性质	21
2.2.1 抗拉性能	22
2.2.2 硬度	24
2.2.3 冷弯性能	25
2.2.4 冲击韧度	25
2.2.5 耐疲劳性	25
2.2.6 钢材的强化	26
2.3 建筑钢材的标准与选用	29
2.3.1 钢结构用钢	29
2.3.2 钢筋混凝土结构用钢	31
2.3.3 钢材的选用原则	32
2.3.4 钢材的防火和防腐蚀	33

第 3 章 无机胶凝材料

3.1 建筑石膏	36
3.1.1 石膏的原料、生产及品种	36
3.1.2 建筑石膏的凝结与硬化	37
3.1.3 建筑石膏的特性、质量要求及应用	38
3.2 石灰	39
3.2.1 石灰的原料与生产	39
3.2.2 石灰的熟化	40

3.2.3	石灰的硬化	40
3.2.4	石灰的特性、质量及应用	41
3.3	水玻璃	42
3.3.1	水玻璃的组成	42
3.3.2	水玻璃的凝结固化	42
3.3.3	水玻璃的主要技术性质	43
3.3.4	水玻璃的应用	43
3.4	水泥	44
3.4.1	水泥分类	44
3.4.2	硅酸盐水泥的生产工艺	46
3.4.3	硅酸盐水泥的水化与凝结硬化	49
3.4.4	影响水泥凝结硬化的主要因素	51
3.4.5	硅酸盐水泥的技术性质	52
3.4.6	水泥的腐蚀及防止	53
3.4.7	掺混合材料的硅酸盐水泥	55
3.5	其他品种水泥	58
3.5.1	白色水泥和彩色硅酸盐水泥	58
3.5.2	快硬硅酸盐水泥	58
3.5.3	高铝水泥	59
3.5.4	抗硫酸盐硅酸盐水泥	59
3.5.5	道路水泥	60
3.5.6	中热硅酸盐水泥和低热矿渣硅酸盐水泥	60

第4章 水泥混凝土及砂浆

4.1	混凝土概述	61
4.2	普通混凝土的组成材料	62
4.2.1	细骨料(砂)	63
4.2.2	粗骨料(石子)	67
4.2.3	混凝土拌和及养护用水	71
4.3	普通混凝土的主要技术性能	72
4.3.1	混凝土拌和物的和易性	72
4.3.2	混凝土的强度	76
4.3.3	混凝土的变形性能	81
4.3.4	混凝土的耐久性	83
4.4	混凝土外加剂	86
4.4.1	混凝土外加剂的分类	86

4.4.2	减水剂	87
4.4.3	引气剂	88
4.4.4	早强剂	88
4.4.5	防冻剂	89
4.4.6	膨胀剂	90
4.5	混凝土配合比设计	90
4.5.1	普通混凝土配合比设计	90
4.5.2	粉煤灰混凝土配合比设计	95
4.5.3	配合比设计要领	96
4.6	混凝土的质量控制	96
4.6.1	混凝土强度概率的正态分布	96
4.6.2	混凝土强度平均值、标准差、变异系数	97
4.6.3	混凝土强度保证率 P	98
4.6.4	混凝土的配制强度	99
4.7	其他特殊用途的混凝土	99
4.7.1	轻质混凝土	99
4.7.2	大体积混凝土	100
4.7.3	高性能混凝土	101
4.8	建筑砂浆	101
4.8.1	砌筑砂浆	101
4.8.2	抹面砂浆	105
4.8.3	装饰砂浆	105

第5章 砌筑材料

5.1	砌墙砖	106
5.1.1	烧结砖	106
5.1.2	非烧结硅酸盐砖	110
5.2	砌块	111
5.3	砌筑用石材	112
5.3.1	岩石的基本知识	112
5.3.2	天然石材的性质与技术要求	113

第6章 沥青材料及沥青混合料

6.1	沥青材料	115
6.1.1	沥青的分类与生产	115
6.1.2	石油沥青的组成与结构	116

6.1.3	石油沥青的胶体结构	118
6.1.4	石油沥青的技术性质	119
6.1.5	石油沥青的应用	121
6.1.6	改性石油沥青	122
6.2	沥青基防水材料	123
6.2.1	沥青防水卷材	123
6.2.2	沥青基防水涂料	124
6.2.3	沥青胶与冷底子油	125
6.2.4	建筑防水沥青嵌缝油膏	125
6.3	沥青混合材料	125
6.3.1	沥青混合料概述	125
6.3.2	热拌沥青混合料	126
6.3.3	沥青混合料的技术性质	127
6.3.4	沥青混合料组成材料的技术要求	128

第 7 章 建筑塑料与涂料

7.1	建筑塑料	130
7.1.1	树脂	132
7.1.2	改性添加剂	132
7.1.3	常用工程塑料	133
7.2	有机黏结剂	135
7.3	建筑涂料	136
7.4	建筑塑料的应用	138

第 8 章 木材

8.1	木材的分类与构造	139
8.2	木材的物理力学性质	142
8.2.1	木材的物理性质	142
8.2.2	木材的力学性质	144
8.3	木材的防腐与防火	148
8.3.1	木材的腐朽与防腐	148
8.3.2	木材的防火	149
8.3.3	木材的破坏	150
8.4	木材的加工与应用	150

第 9 章 建筑功能材料

9.1	绝热材料	153
-----	------------	-----

9.2	防水材料	156
9.2.1	防水卷材	156
9.2.2	防水涂料	158
9.2.3	建筑密封涂料	161
9.3	吸声材料	164
9.3.1	材料吸声的原理及技术指标	164
9.3.2	材料吸声性能的评价	164
9.3.3	建筑上常用吸声材料	165
9.3.4	吸声材料未来展望	167
9.3.5	隔声材料	168

参考文献

第1章 土木工程材料基本性质

1.1 概述

(1) 土木工程材料的分类 材料是构成各种土木工程建筑的物质基础，其性能表现对于建筑的各种性能具有重要影响。土木工程材料是指土木工程中使用的各种材料和制品，在土木工程建设过程中，建筑物实体是由材料堆砌或连接而成的，建筑物的许多性质也都以材料作为基本载体体现出来。因此，选择与使用材料是各项土木工程建设中的首要任务之一。土木工程材料的品种繁多、作用和功能各异，为方便应用，常按照不同原则分类。按材料来源，可分为天然材料和人造材料；按使用功能，可分为结构材料和功能材料。按组成材料的物质和化学成分，可分为无机材料、有机材料和复合材料三大类，详见表 1-1。

表 1-1 土木工程材料按基本成分的分类

无机材料	金属材料	黑色金属	钢、铁	
		有色金属	铝、铜及其合金等	
	非金属材料	天然石材	花岗岩、石灰岩、砂岩、大理岩等	
		烧土及熔融制品	烧结砖、烧结瓦、陶瓷、玻璃、铸石等	
		胶凝材料	气硬性胶凝材料	石灰、石膏、苛性菱苦土、水玻璃等
			水硬性胶凝材料	各种水泥
		无机人造石材	混凝土、砂浆、硅酸盐建筑制品等	
有机材料		木材、沥青、合成高分子材料等		
复合材料		金属-非金属材料、非金属-金属材料、有机-无机材料、无机-有机材料		

(2) 土木工程材料的作用 土木工程建筑物形成的过程，主要是根据材料性能而设计成适当的结构形式，并按照设计要求将材料进行构筑或组合的过程。在此过程中，材料的选择是否正确，材料的使用是否科学，材料的构筑和组合是否合理，不仅直接决定了建筑物的质量或使用性能，也直接影响着工程的成本。因此，材料的性能直接决定了工程的设计方法和准则，也决定着工程的建造技术与构筑方法，对土木工程建设各方面都具有重要的影响。

① 材料对保证土木工程质量的影响。在土木工程建设中工程质量优良是人们追求的第一目标，而工程质量的优劣通常与所采用材料的优劣及使用的合理与否有



直接关系。以往工程实践表明,从材料的选择、生产、使用、检验评定,到材料的贮运、保管等都必须做到科学合理。否则,任何环节的失误都可能造成工程质量缺陷,甚至是重大质量事故。

② 材料对土木建设工程造价的影响。在一般土木建设工程的总造价中,与材料有关费用占一半以上。在实际的建设工程中,材料的选择、生产、使用与管理是否合理,对土木工程成本影响很大。学习并准确、熟练地掌握土木建设工程材料知识,可以优化选择和正确使用材料,充分利用材料的各种功能,在满足工程各项使用要求的条件下节约材料费用,从而显著降低工程成本。

③ 材料对土木建设工程技术进步的促进作用。在土木工程建设过程中,工程的设计方法、施工方法都与材料密切相关。从根本上说,材料是基础,是决定土木建设工程结构设计形式和施工方法的主要因素。因此,材料性能的改进和应用技术的进步将会直接促进土木工程的进步。

(3) 材料在当代土木建设工程中的应用及发展要求 从某种程度上说,土木工程采用的材料往往标志着一个时代的特点。随着人类文明及科学技术的不断进步,土木工程材料也在不断进步与更新换代。在现代土木工程中,尽管传统的土、石等材料仍在基础工程中广泛应用,砖瓦、木材等在工程的某些方面应用也很普遍,但新材料在土木工程中也占有愈来愈重要的位置。

人们对建筑物的要求体现在多个方面。首先,各种建筑物必须坚固,满足人们对安全性的要求,这就应选择性能可靠的材料。此外,还要求建筑物必须有良好的使用性能,漂亮的外观,这就要求材料具有良好的装饰性及其他物理性能。为此,对于不同的建筑物必须选择相适应的材料,才能满足各种不同的要求。

从土木建筑工程本身的发展来说,为适应工程结构形式的变化,满足人们对安全性的要求,应该发展高性能工程材料。这些高性能材料应该包括轻质高强、多功能,良好的工艺性和良好的耐久性。就材料类别来说,应该发展改性无机材料,特别是高性能的复合材料,最具有发展前景。

1.2 土木工程材料的组成与结构状态

材料的组成分为化学组成与矿物组成。前者是通过化学分析获得的,表明组成材料的化学成分及其含量;后者是通过测试手段获得的,表明材料所含矿物的种类和含量。

(1) 化学组成 化学组成即化学成分,是决定材料化学性质(耐腐蚀性、燃烧性等)、物理性质(耐水性、耐热性、保温性等)、力学性质(强度、变形

等)的主要因素之一。无机非金属材料的化学成分常用各氧化物的含量来反映,如石灰的化学成分是 CaO 。金属材料则常以化学元素的含量来表示,如碳素钢以碳元素含量来划分。合成高分子材料常以其链节表示,如聚乙烯的链节是 C_2H_4 等。

(2) 矿物组成 化学组成不同,其材料性质不同;化学组成相同的材料,也可以表现出不同的性质,这是由于其矿物组成不同的缘故。矿物是具有一定化学成分和结构特征的单质或化合物。矿物组成是决定无机非金属材料化学性质、物理性质、力学性质和耐久性的重要因素。

(3) 材料的组成与结构分类 依据不同的层次,材料的组成与结构可分为以下几类。

① 材料的微观组成与结构

a. 原子晶体。由中性原子直接构成的晶体。原子晶体组成的材料,其质点(原子)之间主要依靠原子间的共价键相互结合为整体。这类材料通常具有较高的强度和硬度,在一般使用环境条件下的稳定性较好。土木工程中常用的原子晶体类材料有石英及某些碳化物等。

b. 金属晶体。金属原子团依靠自由电子的库仑引力所构成的晶体。在金属晶体材料中,不同的晶格或晶格间不同的组合方式,可构成不同的晶体结构,从而使其性质也有所差别。金属晶体类材料也具有较高的高度和硬度,有些还具有较好的韧性与加工性;但在某些使用环境条件下的稳定性不及原子晶体材料,如耐高温性、耐腐蚀性等较差。土木工程中常用的金属晶体类材料有生铁、铝材、钢材等。

c. 离子晶体。正、负离子间依靠离子键的结合引力构成的晶体。离子晶体中质点(离子)间不同的离子键特性决定了离子晶体材料的性质。土木工程中许多无机非金属材料多是以离子晶体为主构成的材料,如石膏、石灰、某些天然石材及人工材料等。

d. 分子晶体。分子或分子团间依靠非对称的电子极化引力而形成的晶体。分子晶体结构材料中质点间的结合键(也称为范德华分子键)较弱,只能在某些环境条件下才具有较可靠的物理力学性能,一般环境中其强度、硬度较低,温度敏感性较强,密度较小。土木工程中常用的水及水性乳液、石蜡等具有分子晶体类材料的典型特征。

② 材料的细观组成与结构 材料的细观结构是指以利用显微镜可以观察到的质点所构成的结构。土木工程材料的许多性质与微观结构关系并不大,而主要是由其细观结构所决定的。材料的细观结构差别往往是因为构成材料的细观粒子类型不同,或粒子间结合方式不同所造成的结果。由于大部分材料都是多种类型的粒子所构成,且粒子间的结合又是由多种结合力共同作用的结果,因此,材料的细观结构差别情况十分复杂,从细观层次上分析研究材料的性质具有重要的实



际意义。

根据构成方式的不同,材料的细观结构主要有以下几种。

a. 晶体材料。晶体质点间以不同结合力相互连接构成的细观结构材料。其性质与质点(晶粒)的晶型结构、质点间的排列方式、晶格中存在的缺陷状况有关。

有些晶体材料是由单一晶体构成的(也称为单晶体),它们具有较规则的排列方式和明显的界面特征,从而表现为明显的各向异性。大部分晶体材料是由多种晶体以无序形式排列的(也称为多晶体),如花岗岩等天然石材。这种无序的排列使其难以根据质点结合键预测材料的性质。多晶体材料的性质通常取决于质点间的排列方式及缺陷情况,而它们又与材料的形成条件有关,因此,可以通过改变其形成条件来优化材料的细观结构状态,从而获得所需要的技术性质。多晶体材料在宏观状态下通常具有各向同性的性质。

b. 非晶体材料。质点粒子的排列和分布处于随机无序状态的细观结构材料,也称为无定形体或玻璃体结构材料。非晶体结构通常是高温熔融物质急速冷却造成的结果,其化学能未能充分释放,这种现象导致其结构具有较明显的化学不稳定性。这种材料一旦遇到适当的环境就可能产生化学反应或产生重新结晶,这一性质也称为材料的潜在化学活性。土木工程中的非晶体材料有水泥、玻璃、陶瓷等材料。

c. 胶体结构材料。细小颗粒质点分散于介质中形成的结构。通常分散于流体介质中的细小颗粒的总表面积很大。且具有很强的吸附能力;当介质减少到一定程度后,粒子间容易自行凝聚而产生凝胶结构,并具有固体的性质。因此,这类材料也称为胶凝材料。土木工程中常利用胶凝材料的这种吸附能力来粘接其他材料。胶体结构的物理力学性质与其凝胶粒子的物理化学性质、粒子间黏结的紧密程度、凝胶结构内部的缺陷等有关。研究与优化胶体的构成、凝胶过程或状态,可以改善其性能。

③ 材料的宏观组成与结构。宏观结构是指用肉眼或放大镜就能够观察到的粗大组织,其尺寸在 10^{-3}m 级以上。土木工程材料的宏观结构,按其孔隙尺度可分为以下几种。

a. 致密结构。致密结构是指在外观上和结构上都是致密而无孔隙存在(或孔隙极少)的结构,在使用时均为单一的板材、方料、棒材和其他各种形状的材料,如金属材料、致密岩石和玻璃等。

b. 多孔结构。多孔结构是指在材料中存在均匀分布的孤立或适当连通的粗大孔隙,如加气混凝土、泡沫混凝土及泡沫塑料等。

c. 微孔结构。微孔结构是指在材料中存在均匀分布的微孔隙。某些材料在生产时,由于掺入可燃性物质或增加拌和用水量,在生产过程中水分蒸发或可燃性物质燃烧后都可形成微孔结构。如石膏制品、黏土砖瓦等均为微孔结构。

土木工程材料的宏观结构,按构成形态可分为以下几种。

a. 复合聚集结构。复合聚集结构是指由集料和胶凝材料结合而成的结构,按照需要还可以用纤维等材料加以补强。水泥混凝土、砂浆、沥青混凝土、石棉水泥制品以及烧土制品等均属此类。

b. 纤维结构。纤维结构是指植物纤维、矿物棉和人工纤维(主要是玻璃纤维)等纤维材料所具有的结构。纤维结构的性质既受纤维的成分、性质(无机、有机、天然、人工)的影响,也按纤维配置情况及密实度等而变化。如平行纤维方向与垂直纤维方向的强度与导热性就有明显的差异。使用时可以制成毯子、垫子、纺织品以及各种纤维板等。

c. 层状结构。层状结构是将材料叠合成层状,以黏结或其他方法结合成为整体的结构,使具有层状结构的材料获得单一材料不能得到的性质,如胶合板、纸面石膏板、层状填料塑料板等。

d. 散粒结构。散粒结构是指松散颗粒状结构,如砂子、卵石、碎石和珍珠岩等。

1.3 土木工程材料的物理状态参数

(1) 材料的体积 材料体积是指材料占据的空间的大小,同一种材料由于所处的物理状态不同,能表现不同的体积。

① 材料的堆积体积。散料状材料除了矿质料颗粒占有体积外,颗粒间还有间隙或空隙,二者体积之和就是材料的堆积体积,故堆积体积就是散粒状材料堆积状态下总体外观体积。同一种材料堆积状态不同,堆积体积大小也不一样,松散堆积下的体积较大,密实堆积状态下的体积较小。材料的堆积体积,常以材料填充容器的溶剂大小来测量。

② 材料的表观体积。单个颗粒内部有孔隙,包括开口孔和闭口孔,这样一个整体材料的外观体积称为材料的表观体积。规则外形材料的表观体积,可通过测量体积尺度后计算得到,不规则外形材料的表观体积,用排水法或排油法测得。用排水法测材料的表观体积,实际上扣除了材料内部的开口孔隙的体积,故称用排水法测得材料的体积为近似表观体积,也称为视体积。材料颗粒表面裹覆石蜡,采用蜡封法能避免排水法测定体积时开口孔进水对测定表观体积带来的影响。

③ 材料的绝对密实体积。材料内部没有孔隙时的体积,或不包括内部孔隙的材料体积称为材料的绝对密实体积。玻璃、钢铁、沥青等少数材料在自然状态下绝对密实,能直接测定其绝对密实体积。大多数材料在自然状态下或多或少含有孔隙,一般先将材料粉碎磨细成粉状,消除材料内部孔隙,再测定材料的绝对密实体积。材料粉磨得越细,测定结果越准确。

(2) 材料的密度、表观密度与堆积密度



① 密度。材料在绝对密实状态下，单位体积的质量。按式(1-1) 计算

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

式中 ρ ——密度， g/cm^3 ；

m ——材料在干燥状态的质量， g ；

V ——材料的绝对密实体积， cm^3 。

材料在绝对密实状态下的体积，指不包括材料孔隙在内的体积。钢材、玻璃等少数密实材料可根据外形尺寸求得体积，按式(1-1) 求得密度。

大多数有孔隙的材料，在测定材料的密度时，应把材料磨成细粉，干燥后用李氏瓶测定其体积。材料磨得越细，测得的密度数值就越精确。砖、石等块状材料的密度即用此法测得。在测定某些致密材料（如卵石、碎石等）的密度时，直接以颗粒状材料为试样，用排水法测定其体积，材料中部分与外部不连通的封闭的孔隙无法排除，这时所求得的密度称为视密度或近似密度。

② 表观密度。材料在自然状态下，单位体积的质量。按式(1-2) 计算

$$\rho_0 = \frac{m}{V_0} \quad (1-2)$$

式中 ρ_0 ——材料的表观密度， g/cm^3 或 kg/m^3 ；

m ——材料的质量， g 或 kg ；

V_0 ——材料在自然状态下的体积，指包含材料内部孔隙的体积， cm^3 或 m^3 。

外形规则的材料，可直接按外形尺寸计算出体积，按式(1-2) 求得表观密度。外形不规则的材料可加工成规则外形后求得体积。当材料孔隙内含有水分时，其质量和体积均有所变化，故测定表观密度时，须注明其含水情况。表观密度一般是指材料在气干状态下（长期在空气中干燥）的测定值。

③ 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。见式(1-3)

$$\rho'_0 = \frac{m}{V'_0} \quad (1-3)$$

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，是指既含颗粒内部的孔隙，又含颗粒之间空隙在内的总体积。散粒材料的体积可用已标定容器测得。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含有一些孔隙，故一般材料的表观密度总是小于其密度。在土木工程中，计算材料用量、构件自重、配料、材料堆放的体积或面积时，常用到材料的密度、表观密度和堆积密度，见表 1-2。

表 1-2 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	7850	
花岗岩	2.80	2500~2900	
碎石		2650~2750	1400~1700
砂		2630~2700	1450~1700
黏土	2.60		1600~1800
水泥	3.10		1100~1300
烧结普通砖	2.70	1600~1900	
烧结空心砖(多孔砖)	2.70	800~1480	
红松木	1.55	400~800	
泡沫塑料		20~50	
玻璃	2.55		
普通混凝土		2100~2600	

(3) 材料的孔隙率及孔隙特征 材料的孔隙率是指材料内部孔隙的体积与材料总体积的比值。孔隙率的计算公式如下

$$P = \frac{V_0 - V}{V_0} = 1 - \frac{\rho_0}{\rho} \quad (1-4)$$

式中 V ——材料的绝对密实体积, cm³ 或 m³;

V_0 ——材料的表观体积, cm³ 或 m³;

ρ_0 ——材料的表观密度, g/cm³ 或 kg/m³;

ρ ——密度, g/cm³ 或 kg/m³。

材料的孔隙特征包括材料孔隙开口与闭口状态下孔的大小。材料孔隙特征直接影响材料的多种性质。一般情况下孔隙率大的材料宜选择作为保温隔热材料和吸声材料, 同时还要考虑材料开口与闭口状态, 开口孔与大气相连, 空气、水能进出, 闭口孔在材料内部, 是封闭的, 有的孔在材料内部被分割成独立的, 有的孔在材料内部又是相通的。材料的开口孔隙除对吸声有利外, 对材料的强度、抗渗、抗冻和耐久性均不利; 微小而均匀的闭口孔隙对材料的强度、抗渗、抗冻和耐久性均无害, 可降低材料表观密度和热导率使材料具有轻质绝热的性能。可见, 对于同种材料, 孔隙率相同时, 其性质不一定相同。孔隙尺寸大小又将孔隙分为大孔、中孔(毛细孔)和小孔, 其中毛细孔对材料性质影响最大, 毛细水的去与留影响材料的干缩与湿胀。孔隙率的大小直接反映了材料的致密程度, 它对材料的物理、力学性质均有影响。材料内部孔隙的构造, 可分为连通的与封闭的两种。连通孔隙不仅彼此贯通且与外界相通, 而封闭孔隙则不仅彼此不连通且与外界相隔绝。孔隙按尺寸又分为极微细孔隙、细小孔隙、较粗大孔隙。孔隙的大小及其分布, 特征对材料的性能影响较大。



(4) 材料的空隙率 材料的空隙率是指散粒状材料堆积体积中, 颗粒间空隙体积所占的百分率, 以 P' 表示。空隙率的计算公式如下

$$P' = \frac{V'_0 - V_0}{V'_0} = 1 - \frac{V_0}{V'_0} = 1 - \frac{\rho'_0}{\rho_0}$$

式中 ρ'_0 ——材料的堆积密度, g/cm^3 或 kg/m^3 。

空隙率的大小反映了散粒材料的颗粒互相填充的致密程度。空隙率可作为控制混凝土骨料级配与计算含砂率的依据。材料的空隙率与其颗粒的形状、大小颗粒的搭配情况、相互间挤密的程度等有关, 它在一定程度上反映了颗粒状材料的堆积状态。显然, 材料的空隙率越大, 则表明材料颗粒间的相互嵌挤的紧密程度就越差。

(5) 材料的密实度 工程实践表明, 堆积材料的空隙率较小时, 说明其颗粒间相互填充的程度较高或接触连接的状态较好, 其堆积体的结构稳定性也较好。通常采用压实或振实的效果。

密实度是指材料体积内被固体物质充实的程度。密实度的计算式如下

$$D = \frac{V}{V_0} = \frac{\rho_0}{\rho} \quad (1-5)$$

对于绝对密实材料, 因 $\rho_0 = \rho$, 故密实度 $D = 1$ 或 100% 。对于大多数土木工程材料, 因 $\rho_0 < \rho$, 故密实度 $D < 1$ 或 $D < 100\%$ 。

1.4 土木工程材料的物理性质

(1) 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的分子结构。亲水性材料与水分子之间的分子亲和力大于水分子本身之间的内聚力; 反之, 憎水性材料与水分子之间的亲和力小于水分子本身之间的内聚力。工程实际中, 材料是亲水性或憎水性, 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, 沿水滴表面的切线与水和固体接触面所成的夹角。润湿角 θ 愈小, 表明材料愈易被水润湿。当材料的润湿角 $\theta < 90^\circ$ 时, 为亲水性材料; 当材料的润湿角 $\theta > 90^\circ$ 时, 为憎水性材料。水在亲水性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; 水在憎水性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 1-1 所示。

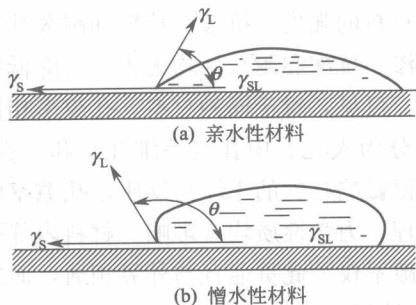


图 1-1 材料润湿示意图