



普通高等教育土木与交通类“十二五”规划教材



市政工程材料

陈宝璠 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



普通高等教育土木与交通类“十二五”规划教材

市政工程材料

陈宝璠 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书详细介绍了市政工程常用材料的分类、作用、技术性能和工程应用。全书共 11 章, 主要内容包括: 绪论、市政工程材料的基本性质、砂石材料、土的工程性质和工程分类、石灰和水泥、水泥混凝土和砂浆、钢材、沥青材料、沥青混合料、市政给排水管道材料、电力电缆与通信电缆等。本书内容翔实, 力求体现市政工程的新技术和新标准, 以工程应用为目的, 注重理论与实践结合, 适用面广。

本书可作为高等院校市政工程技术、工程造价、工程管理等相关专业的教材使用, 也可供广大市政工程设计人员、施工技术人员、科研人员以及市政工程施工管理人员、监理技术人员参考使用。

图书在版编目 (C I P) 数据

市政工程材料 / 陈宝璠编著. — 北京: 中国水利水电出版社, 2012. 3

普通高等教育土木与交通类“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5084-9503-3

I. ①市… II. ①陈… III. ①市政工程—建筑材料—高等学校—教材 IV. ①TU5

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第030448号

书 名	普通高等教育土木与交通类“十二五”规划教材 市政工程材料
作 者	陈宝璠 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、62202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16 开本 20.75 印张 492 千字
版 次	2012 年 3 月第 1 版 2012 年 3 月第 1 次印刷
印 数	0001—3000 册
定 价	39.00 元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前言

随着我国国民经济的快速发展，人们对城市生活水平与质量的要求在不断提高，城市功能在不断增强，市政基础设施也日臻完善。根据我国当前一些大中城市的实际市政情况，市政基础设施工程内涵不断拓宽，已包括城市道路、桥梁、给排水、电力、通信等多个领域，这正需大量的市政工程技术人员。而无论是进行市政工程设计还是进行市政工程施工或管理，首先都必须熟悉市政工程材料基本知识，为此，编写了《市政工程材料》一书。本书的主要内容包括：绪论，市政工程材料的基本性质，砂石材料，土的工程性质和工程分类，石灰和水泥，水泥混凝土和砂浆，钢材，沥青材料，沥青混合料，市政给排水管道材料，电力电缆与通信电缆等。

本书编写思路清晰，逻辑缜密，内容详尽，简明易懂，力求循序渐进地帮助读者分析并解决阅读中遇到的问题。

本书在编写过程中，承蒙黎明职业大学教授、博士林松柏同志的大力支持和指导，也承蒙蔡振元、蔡小娟、陈璇祺、卓玲、朱海平、陈玉庆、李志彬、吴良友、连顺金、戴汉良、陈乙江、李晓耕、蔡益兴、陈远宏、陈金聪、庄碧蓉、杨白菡、李云龙、欧阳娜和柯爱茹等同志的大力帮助，在此深表谢意！

由于市政工程的新材料、新技术、新设备、新工艺的不断涌现，各行各业的技术标准不统一，加之笔者水平有限，不妥与疏漏之处敬请读者批评指正。

编者

2011年10月

前言

第1章 绪论	1
1.1 市政工程材料的概念	1
1.2 工程材料的分类	2
1.3 工程材料的标准化	3
1.4 工程材料的发展趋势	4
第2章 市政工程材料的基本性质	6
2.1 市政工程材料的物理性质	6
2.2 市政工程材料与水有关的性质	9
2.3 市政工程材料的热工性质	12
2.4 市政工程材料的力学性质	14
2.5 市政工程材料的耐久性	19
第3章 砂石材料	21
3.1 岩石的组成与分类	21
3.2 岩石的主要技术性质	24
3.3 集料的技术性质和技术标准	31
3.4 工业废渣	37
3.5 矿质混合料	40
第4章 土的工程性质和工程分类	49
4.1 土的三相组成与粒度成分	49
4.2 土的物理性质	57
4.3 土的力学性质	67
4.4 土的工程分类	69
4.5 稳定土	75
第5章 石灰和水泥	81
5.1 石灰	81
5.2 水泥	86
第6章 水泥混凝土和砂浆	105
6.1 概述	105
6.2 混凝土的组成材料	108

6.3	水泥混凝土主要技术性能	130
6.4	混凝土的质量控制与强度评定	150
6.5	水泥混凝土配合比设计	154
6.6	路面水泥混凝土	162
6.7	其他功能混凝土	171
6.8	建筑砂浆	177
第7章	钢材	186
7.1	概述	186
7.2	市政工程用钢材的主要技术性能	188
7.3	钢材的化学成分对钢材性能的影响	193
7.4	钢材的冷加工及热加工	194
7.5	钢材的标准和选用	196
7.6	钢材的腐蚀与防护	210
第8章	沥青材料	213
8.1	石油沥青	213
8.2	煤沥青	224
8.3	乳化沥青	227
8.4	改性沥青	232
第9章	沥青混合料	236
9.1	概述	236
9.2	沥青混合料的组成材料	239
9.3	沥青混合料的结构与强度理论	244
9.4	沥青混合料的技术性质和技术要求	250
9.5	沥青混合料的配合比设计	256
第10章	市政给排水管道材料	265
10.1	给水管道材料.....	265
10.2	排水管道材料.....	291
第11章	电力电缆与通信电缆	310
11.1	电力电缆.....	310
11.2	通信电缆.....	316
11.3	通信光缆简介.....	317
	参考文献	323

第 1 章 绪 论

随着我国国民经济的快速发展，人们对城市生活水平与质量要求在不断提高，城市功能在不断增强，市政基础设施日臻完善，内涵也在不断拓宽，现已包括城市道路、桥梁、给排水、电力、通信、燃气、供热等多个工程领域。

1.1 市政工程材料的概念

1.1.1 市政工程的定义

市政工程是一个相对的概念，随着社会经济的发展和城市化的推进，城市的功能日益增加，市政工程也在不断拓展其内涵和外延。这些市政工程都是由国家投资（包括地方投资）兴建，是城市的基础设施，是供城市生产和人民生活的公用工程，通常称为市政公用设施，简称市政工程。市政工程也可称为支柱工程、骨干工程、血管工程，它属于社会主义国家的基本建设。

市政设施则是城市的重要基础设施，是城市必不可少的物质技术基础，是城市经济发展和实行对外开放的基本条件。国家的工业化都是以大力发展基础设施为前提，伴随着市政、交通、能源等基础设施发展起来的。建设现代化的城市必须有相适应的基础设施，使之与生存和发展各项建设事业相适应，以创造良好的生活环境，提高城市经济效益和社会效益。它既输送经济建设中的养料，如城市供水设施向企业提供生产用水、向居民提供生活用水，又排除废料，如城市排水设施排放、处理工业废水和生活污水；城市防洪设施既保证生产安全，又保障人民生活安全；城市道路、桥梁保证生产用车和生活用车的通行，沟通城乡物资交流，对于促进农业生产及科学技术的发展，改善城市面貌，使国家经济建设和人民物质文明生活提高，有着极为重要的作用。

1.1.2 市政工程研究范围

随着市政工程内涵和外延的不断发展，市政工程的研究范围也在不断扩展。目前，凡是与城市基础设施工程有关的内容都是市政工程所研究的范围，它主要包括城市的道路、桥涵、隧道、给排水、供电、物资供应、防洪堤坝、燃气、邮政电信、防灾工程、集中供热及绿化等工程。其研究对象主要是城市基础设施工程的规划、设计、施工和维修等。

1.1.3 市政工程研究的内容

市政工程一般属于国家的基础建设，是指城市建设中的道路、桥梁、给水、排水、燃气、城市防洪、环境卫生及照明等基础设施建设，是城市生存和发展必不可少的物质基础，是提高人民生活水平和对外开放的基本条件。



市政工程也称为市政公用设施或城市公共设施，内容十分广泛，有广义和狭义之分。广义的市政工程基础设施，主要包括给水工程、排水工程、交通桥梁工程、电力工程、燃气工程、集中供热工程、消防工程、防洪工程、环境保护工程、城市绿化工程、城市防空工程、环境卫生工程等。狭义的市政工程基础设施，主要是指城市建成区及规划区范围内的道路、桥梁、排水、给水、电力、供热、环卫设施等工程，这些是城市基础设施最主要、最基本的内容。

城市市政基础设施是建设城市物质文明和精神文明的重要保证。城市市政基础设施是保证正常运转和城市发展的基础，是持续地保障城市可持续发展的关键设施。它主要由交通、排水、给水、供电、供热、环卫、通信、防灾等各项工程系统构成。

城市公用设施和城市基础设施、城市的发展规划、城市的环境保护、城市的卫生管理等方面都属于市政，都需要政府把这些事务综合起来，设立相应不同的市政部门，运用各种法律规章和行政手段对其进行管理和规范，保证社会公共事务的正常运行，促使市政及市政管理朝着良性运行的方向发展。

1.1.4 市政工程材料的概念

市政工程材料就是构成市政工程的所有材料的统称。它包括道路、桥梁、排水、给水、电力、供热、环卫设施等工程所用到的各种材料。市政工程材料种类繁多，性能差别悬殊，使用量很大，正确选择和使用市政工程材料，不仅与市政工程的坚固、耐久和适用性有密切关系，而且直接影响到市政工程造价（因为材料费用一般要占市政工程总造价的50%~60%）。因此，在选材时应充分考虑材料的技术性能和经济性，在使用中加强对材料的科学管理，无疑会对提高市政工程质量 and 降低工程造价起重要作用。

1.2 工程材料的分类

工程材料按一定的原则有各种不同的分类方法。根据材料来源，可分为天然材料和人工材料；根据材料在工程结构物中的使用部位，可分为饰面材料、承重材料、屋面材料、墙体材料和地面材料等；根据材料在工程中的功能，又可分为承重结构材料和非承重结构材料、功能（防水、装饰、防火、声、光、电、热、磁等）材料等。

目前，工程材料最基本的分类方法是根据组成物质的种类和化学成分分类，可分为无机材料、有机材料和复合材料，各大类中又可细分，见表1-1。

表 1-1 工 程 材 料 分 类

无机材料	金属材料	黑色金属：钢、铁
		有色金属：铝、铜等及其合金
	非金属材料	天然石材：砂石及各种石材制品
		烧土及熔融制品：陶瓷及玻璃等
		胶凝材料：石膏、石灰、水泥、水玻璃等
		混凝土及硅酸盐制品：混凝土、砂浆及硅酸盐制品



续表

有机材料	植物质材料	木材、竹材等
	沥青材料	石油沥青、煤沥青、沥青制品
	高分子材料	塑料、涂料、胶黏剂
复合材料	无机材料基复合材料	水泥刨花板、混凝土、砂浆、纤维混凝土
	有机材料基复合材料	沥青混凝土、玻璃纤维增强塑料（玻璃钢）

1.3 工程材料的标准化

各类工程使用的各种材料及其制品，应具有满足使用功能和所处环境要求的某些性能，而材料及其制品的性能或质量指标必须用科学方法所测得的确切数据来表示。为使测得的数据能在有关研究、设计、生产、应用等各部门得到承认，有关测试方法和条件、产品质量评价标准等均由专门机构制定并颁发“技术标准”，并对包括产品规格、分类、技术要求、验收规则、代号与标志、运输与储存及抽样等作出详尽、明确的规定作为共同遵循的依据。工程材料的技术标准是产品质量的技术依据。

技术标准，按照其适用范围，可分为国家标准、行业标准、地方标准和企业标准等。
国家标准，是指对全国经济、技术发展有重大意义，必须在全国范围内统一的标准，简称“国标”。国家标准由国务院有关主管部门（或专业标准化技术委员会）提出草案，报国家标准总局审批和发布。

行业标准，也是专业产品的技术标准，主要是指全国性各专业范围内统一的标准，简称“行标”。这种标准由国务院所属各部和总局组织制定、审批和发布，并报送国家标准总局备案。

企业标准，凡没有制定国家标准、行业标准的产品或工程，都要制定企业标准。这种标准是指仅限于企业范围内适用的技术标准，简称“企标”。为了不断提高产品或工程质量，企业可以制定比国家标准或行业标准更先进的产品质量标准。现将国家标准及部分行业标准列于表 1-2 中。

表 1-2 国家及行业标准代号

标准名称	代 号	标准名称	代 号
国家标准	GB	交通行业	JT
建材行业	JC	冶金行业	YB
建工行业	JG	石化行业	SH
铁道部	TB	林业行业	LY
中国工程建设标准化协会	CECS	中国土木协会	CCES

随着国家经济技术的迅速发展和对外技术交流的增加，我国还引入了不少国际和外国技术标准，现将常见的标准列于表 1-3 中，以供参考。



表 1-3 国际组织及几个主要国家标准

标 准 名 称	代 号	标 准 名 称	代 号
国际标准	ISO	德国工业标准	DIN
国际材料与结构试验研究协会	RILEM	韩国国家标准	KS
美国材料试验协会标准	ASTM	日本工业标准	JIS
英国标准	BS	加拿大标准协会	CSA
法国标准	NF	瑞典标准	SIS

1.4 工程材料的发展趋势

1.4.1 工程材料的发展阶段

工程材料的生产和使用是随着人类社会生产力的发展和科学技术水平的提高而逐步发展起来的。根据建筑物或构筑物所用的结构材料，大致分为 3 个阶段。

1. 天然材料

远古时代人类只能依赖大自然的恩赐，“巢处穴居”。随着社会生产力的发展，人类进入石器、铁器时代，利用简单的生产工具能够挖土、凿石为洞，伐木搭竹为棚，从巢处穴居进入了稍经加工的土、石、木、竹构成的棚屋，为简单地利用材料迈出了可喜的一步。

2. 烧土制品

以后人类学会用黏土烧制砖、瓦，用岩石烧制石灰、石膏。与此同时，木材的加工技术和金属的冶炼与应用，也有了相应的发展。此时材料的利用才由天然材料进入到人工生产阶段，居住条件有了新的改善，砖石、砖木混合结构成了这一时期的主要特征。以后人类社会进入漫长的封建社会阶段，生产力发展缓慢，工程材料的发展也缓慢，长期停留在“秦砖汉瓦”水平上。人类社会活动范围的扩大、工商业的发展和资本主义的兴起，城市规模的扩大和交通运输的日益发达，都需要建造更多、更大、更好以及具有某些特殊性能的建筑物和附属设施，以满足生产、生活和工业等方面的需要，如大型公共建筑、大跨度的工业厂房、海港码头、铁路、公路、桥梁以及给水排水、水库电站等工程。

3. 钢筋混凝土

显然，原有的工程材料在数量、质量和性能方面均不能满足上述的新要求。供求矛盾推动工程材料的发展进入了新的阶段。水泥、混凝土的出现，钢铁工业的发展，钢结构、钢筋混凝土结构也就应运而生。这是 18~19 世纪结构和材料的主要特征。进入 20 世纪以后，随着社会生产力的更大发展和科学技术水平的迅速提高，以及材料科学的形成和发展，工程材料的品种增加、性能改善、质量提高，一些具有特殊功能的材料也相继发展了。在工业建筑上，根据生产工艺、质量要求和耐久性的需要，研制和生产了各种耐热、耐磨、抗腐蚀、抗渗透、防爆或防辐射材料；在民用建筑上，为了室内温度的稳定并尽量节约能源，制造了多种有机和无机的保温绝热材料；为了减少室内噪声并改善建筑物的音质，也制成了相应的吸声、隔声材料。

随着社会的进步、环境保护和节能降耗的需要，对工程材料提出了更高、更多的要



求。因而，今后一段时间内，工程材料将向以下几个方向发展。

1.4.2 工程材料的发展方向

1. 轻质高强

现今钢筋混凝土结构材料自重大，限制了建筑物向高层、大跨度方向进一步发展。通过减轻材料自重，以尽量减轻结构物自重，可提高经济效益。目前，世界各国都在大力发展高强混凝土、加气混凝土、轻集料混凝土、空心砖、石膏板等材料，以适应各类工程发展的需要。

2. 节约能源

工程材料的生产能耗和建筑物使用能耗，在国家总能耗中一般占 20%~35%。研制和生产低能耗的新型节能釉面工程材料，是构建节约型社会的需要。

3. 利用废渣

充分利用工业废渣、生活废渣、建筑垃圾生产各类工程材料，将各种废渣尽可能资源化，以保护环境、节约自然资源，使人类社会可持续发展。

4. 智能化

所谓智能化材料，是指材料本身具有自我诊断和预告破坏、自我修复的功能，以及可重复利用性。工程材料向智能化方向发展，是人类社会向智能化社会发展过程降低成本的需要。

5. 多功能化

利用复合技术生产多功能材料、特殊性材料及高性能材料，这对提高建筑物的使用功能、经济性及加快施工速度等有着十分重要的作用。

6. 绿色化

产品的设计是以改善生产环境，提高生活质量为宗旨，产品具有多功能，不仅无损而且有益于人的健康；产品可循环或回收再利用，或形成不污染环境的废弃物。因此，生产材料所用的原料尽可能少用天然资源，大量使用废渣、垃圾、废液等废弃物；采用低能耗制造工艺和对环境无污染的生产技术；生产配制和生产过程中，不使用对人体和环境有害的污染物质。

第 2 章 市政工程材料的基本性质

一切市政工程都是由市政工程材料组成的。不同的市政工程材料在市政工程中起着不同的作用。例如,用于桥梁的材料主要受到各种外力的作用;结构材料除了承受结构物上部荷载的作用外,还可能受到地下水及冰冻的作用;道路工程材料经常受到风吹、日晒、雨淋、紫外线照射等大气因素的作用;地面、机场跑道和路面遭受磨损作用;有些市政工程项目还受到光、热的影响;某些市政工程如给排水、管道工程等还可能受到酸、碱、盐等介质的侵蚀作用等。为了保证市政工程的使用功能、安全性和耐久性,市政工程材料应具有抵御上述各种作用的性质。这些性质是多种多样的,又是互相影响的,归纳起来包括材料的物理性质、力学性质、热工性质、声学性质、光学性质和耐久性质等。

2.1 市政工程材料的物理性质

表征材料的质量与其体积之间相互关系的主要参数——密度、表观密度、体积密度、堆积密度以及孔隙率、密实度、空隙率及填充率等,是市政工程材料最基本的物理性质。

2.1.1 市政工程材料的密度、表观密度、体积密度与堆积密度

1. 密度

市政工程材料在绝对密实状态下,单位体积的质量称为密度,即

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2-1)$$

式中 ρ ——市政工程材料的密度, g/cm^3 ;

m ——市政工程材料在干燥状态下的质量, g ;

V ——市政工程材料在绝对密实状态下的体积, cm^3 。

绝对密实状态下的体积是指不包括市政工程材料内部孔隙在内的体积。除钢材和玻璃等少数材料外,绝大多数市政工程材料都含有一定的孔隙。在密度测定中,应把含有孔隙的材料破碎并磨成细粉,烘干后用李氏比重瓶测定其密实体积。材料粉磨得越细,测得的密度值越精确。对砖、石等材料常采用此种方法测定其密度。

2. 表观密度

市政工程材料单位表观体积所具有的质量称为表观密度。表观体积包括两个部分:一部分是绝对密实的固体体积;另一部分则是指封闭孔隙体积。表观密度为

$$\rho' = \frac{m}{V'} = \frac{m}{V + V_c} \quad (2-2)$$

式中 ρ' ——市政工程材料的表观密度, g/cm^3 或 kg/m^3 ;

m ——市政工程材料的质量, g 或 kg ;



V' ——市政工程材料的表观体积（包括固体物质所占体积 V 和封闭孔隙体积 V_c ）， cm^3 或 m^3 ；

V_c ——市政工程材料体积内封闭孔隙体积， cm^3 或 m^3 。

3. 体积密度

市政工程材料在自然状态下，单位体积的质量称为体积密度，即

$$\rho_0 = \frac{m}{V_0} = \frac{m}{V + V_c + V_B} \tag{2-3}$$

式中 ρ_0 ——市政工程材料的体积密度， g/cm^3 或 kg/m^3 ；

V_B ——市政工程材料的开口孔隙体积， cm^3 或 m^3 ；

V_0 ——市政工程材料的自然体积，即市政工程材料在自然状态下的体积（包括固体物质所占体积 V 、开口孔隙体积 V_B 和封闭孔隙体积 V_c ）， cm^3 或 m^3 。

市政工程材料的自然状态体积包括孔隙在内，当开口孔隙内含有水分时，材料的质量将发生变化，因而会影响材料的体积密度。材料在烘干至恒量状态下测定的表观密度称为干体积密度。一般测定体积密度时，以干体积密度为准，而对含水状态下测定的容重，必须注明含水情况。

4. 堆积密度

散粒状市政工程材料（指粉料和粒料）在自然堆积状态下，单位体积的质量称为堆积密度，即

$$\rho'_0 = \frac{m}{V'_0} \tag{2-4}$$

式中 ρ'_0 ——散粒状市政工程材料堆积密度， kg/m^3 ；

m ——散粒状市政工程材料的质量， kg ；

V'_0 ——散粒状市政工程材料的堆积体积， m^3 。

测定散粒状市政工程材料的堆积密度时，散粒状市政工程材料的质量是指填充在一定容器内的材料质量，而堆积体积则是指堆积容器的容积而言。所以，材料的堆积体积既包含颗粒的体积，又包含颗粒之间的空隙体积。在市政工程中，计算材料和构件的自重、材料的用量，以及计算配料、运输台班和堆放场地时，经常要用到材料的密度、表观密度及堆积密度等数据。现将常用市政工程材料的密度、表观密度及堆积密度列于表 2-1 中。

表 2-1 常用市政工程材料的密度、表观密度及堆积密度

材料名称	密度 ρ (g/cm^3)	表观密度 ρ' (kg/m^3)	堆积密度 ρ'_0 (kg/m^3)	孔隙率 P (%)
石灰岩	2.60	1800~2600	—	—
花岗岩	2.80	2500~2900	—	0.50~3.00
碎石	2.60	—	1400~1700	—
砂	2.60	—	1450~1650	—
水泥	3.10	—	1200~1300	—
水泥混凝土	—	2100~2600	—	5~20



续表

材料名称	密度 ρ (g/cm^3)	表观密度 ρ' (kg/m^3)	堆积密度 ρ'_0 (kg/m^3)	孔隙率 P (%)
轻集料混凝土	—	800~1900	—	—
木材	1.55	400~800	—	55~75
钢材	7.85	7850	—	0
泡沫塑料	—	20~50	—	—
沥青(石油)	≈ 1.0	≈ 1000	—	—

2.1.2 市政工程材料的密实度与孔隙率

1. 密实度

市政工程材料体积内被固体物质所充实的程度称为密实度 D ，即

$$D = \frac{V}{V_0} \times 100\% \quad \text{或} \quad D = \frac{\rho_0}{\rho} \times 100\% \quad (2-5)$$

2. 孔隙率

市政工程材料的孔隙率是指材料内部孔隙体积占材料在自然状态下体积的百分率，又称真气孔率，即

$$P = \frac{V_0 - V}{V_0} \times 100\% = \left(1 - \frac{V}{V_0}\right) \times 100\% = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right) \times 100\% \quad (2-6)$$
$$D + P = 1$$

式中 P ——市政工程材料的孔隙率，%。

孔隙率的大小反映了材料的致密程度。材料的许多性能，如强度、吸水性、耐久性、导热性等均与其孔隙率有关。此外，还与材料内部孔隙的结构有关。孔隙结构包括孔隙的数量、形状、大小、分布以及连通与封闭等情况。

市政工程材料内部孔隙有连通与封闭之分，连通孔隙不仅彼此连通且与外界相通，而封闭孔隙则不仅彼此互不连通，且与外界隔绝。孔隙本身有粗细之分，即粗大孔隙、细小孔隙和极细微孔隙。粗大孔隙虽然易吸水，但不易保持。极细微孔隙吸入的水分不易流动，而封闭的不连通孔隙，水分及其他介质不易侵入。因此说孔隙结构及孔隙率对材料的表观密度、强度、吸水率、抗渗性、抗冻性及声、热、绝缘等性能都有很大影响。

2.1.3 散粒状市政工程材料的空隙率

散粒状市政工程材料的空隙率是指散粒状材料在堆积状态下，颗粒间的空隙体积占堆积体积的百分率，即

$$P' = \left(\frac{V'_0 - V_0}{V'_0}\right) \times 100\% = \left(1 - \frac{V_0}{V'_0}\right) \times 100\% = \left(1 - \frac{\rho'_0}{\rho_0}\right) \times 100\% \quad (2-7)$$
$$D' + P' = 1$$

式中 P' ——市政工程材料的空隙率，%。

空隙率的大小表征着散粒材料颗粒间相互填充的致密程度。空隙率可作为控制混凝土集料级配与计算砂率的依据。



2.2 市政工程材料与水有关的性质

在市政工程中，绝大多数建筑物和构筑物在不同程度上都要与水接触，有的建筑物本身就是用来装水的，如水池、水塔等。一些构筑物是建在水中的，像桥梁的墩台、拦水大坝等。水与市政工程材料接触后，将会出现不同的物理与化学变化，所以要研究在水的作用下市政工程材料所表现出的各种特性及其变化。

2.2.1 亲水性与憎水性

建筑物和构筑物经常与水或大气中的水汽接触，固体材料与水接触后，出现如图 2-1 所示的两种情况。当液滴与固体在空气中接触且达到平衡时，从固、液、气三相界面的交点处，沿着液滴表面作切线，此切线与材料和水接触面的夹角 θ 称为湿润边角（或接触角）。由图 2-1 可知， $\sigma_{\text{固-气}}$ 、 $\sigma_{\text{液-气}}$ 和 $\sigma_{\text{固-液}}$ 分别表示固-气、液-气和固-液各界面间的界面张力。当 3 力达到平衡时具有下列关系，即

$$\sigma_{\text{固-气}} = \sigma_{\text{固-液}} + \sigma_{\text{液-气}} \cos\theta \tag{2-8}$$

或

$$\cos\theta = \frac{\sigma_{\text{固-气}} - \sigma_{\text{固-液}}}{\sigma_{\text{液-气}}}$$

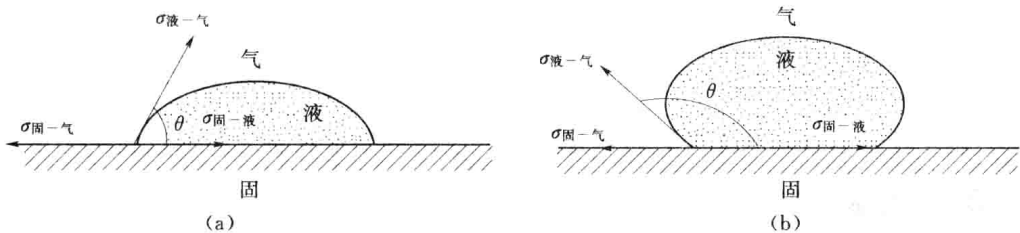


图 2-1 材料的润湿示意图
(a) 亲水性材料；(b) 憎水性材料

显然，液体能否润湿固体与接触角 θ 的大小有关。当 $\sigma_{\text{固-气}} - \sigma_{\text{固-液}} = \sigma_{\text{液-气}}$ 时， $\cos\theta = 1$ ， $\theta = 0^\circ$ ，则液体完全润湿固体。当液体与固体界面上的张力小于固体与气体的表面张力，即 $\sigma_{\text{固-气}} - \sigma_{\text{固-液}} > 0$ 时，固体能被润湿。当 $\sigma_{\text{固-气}} - \sigma_{\text{固-液}} < 0$ 时， $\cos\theta < 0$ ， $\theta > 90^\circ$ ，则液体不能润湿固体。或者说，液体与固体接触面上的界面张力大于固体的表面张力时，则固体不能被润湿。

一般认为，当 $\theta \leq 90^\circ$ 时，水分子之间的内聚力小于水分子与材料分子间的相互吸引力，这种材料具有亲水性；当 $\theta > 90^\circ$ 时，水分子之间的内聚力大于水分子与材料分子间的吸引力，这种材料具有憎水性。这一概念可以推广到其他液体对固体的润湿情况，并分别称其为亲液性材料或憎液性材料。

亲水性材料能通过毛细管作用，将水分吸入材料内部。憎水性材料一般能阻止水分渗入毛细管中，从而降低材料的吸水作用。所以，憎水性材料不仅可用作防水材料，而且还可以用于亲水性材料的表面处理，以降低其吸水性。



大多数市政工程材料都是亲水性材料，如石料、砖瓦、水泥混凝土和木材等，而沥青、建筑塑料、多数有机涂料等则为憎水性材料。

须指出的是，孔隙率较小的亲水性材料同样也具有较好的防水性或防潮性，如水泥砂浆、水泥混凝土等。

2.2.2 市政工程材料的含水状态

亲水性材料的含水状态可分为4种基本状态（图2-2）：

- (1) 干燥状态——材料的孔隙中不含水或含水极微。
- (2) 气干状态——材料的孔隙中含水时其相对湿度与大气湿度相平衡。
- (3) 饱和面干状态——材料表面干燥，而孔隙中充满水达到饱和。
- (4) 表面润湿状态——材料不仅孔隙中含水饱和，而且表面上被水润湿附有一层水膜。

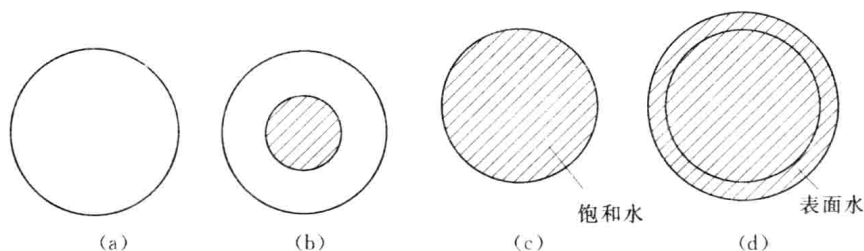


图2-2 材料的含水状态

(a) 干燥状态；(b) 气干状态；(c) 饱和面干状态；(d) 表面润湿状态

除上述4种基本含水状态外，材料还可以处于两种基本状态之间的过渡状态中。

2.2.3 吸水性与吸湿性

1. 吸水性

市政工程材料在水中吸收水分的性质称为吸水性。市政工程材料吸水能力的大小用吸水率表示，即

$$W_{\text{吸}} = \frac{m_1 - m}{m} \times 100\% \quad (2-9)$$

式中 $W_{\text{吸}}$ ——市政工程材料的质量吸水率，%；

m ——市政工程材料在干燥状态下的质量，g；

m_1 ——市政工程材料吸水饱和状态下的质量，g。

$W_{\text{吸}}$ 称为质量吸水率，有时也用体积吸水率来表示市政工程材料的吸水性。材料吸入水分的体积占干燥材料自然状态下体积的百分率，称为体积吸水率。

由于市政工程材料的亲水性及开口孔隙的存在，大多数市政工程材料都具有吸水性，所以市政工程材料中通常均含有水分。

市政工程材料的吸水性不仅与其亲水性及憎水性有关，也与其孔隙率的大小及孔隙特征有关。一般孔隙率越高，其吸水性越强。封闭孔隙水分不易进入；粗大开口孔隙，不易吸满水分；具有细微开口孔隙的材料，其吸水能力特别强。

各种市政工程材料因其化学成分和结构构造不同，其吸水能力差异极大，如致密岩石



的吸水率只有 0.50%~0.70%，普通混凝土为 2.00%~3.00%；木材及其他多孔轻质材料的吸水率则常超过 100%。

2. 吸湿性

湿空气中吸收水分的性质称为吸湿性。用含水率表示，即

$$W_{\text{含}} = \frac{m_{\text{含}} - m}{m} \times 100\% \quad (2-10)$$

式中 $W_{\text{含}}$ ——市政工程材料的含水率，%；

m ——市政工程材料在干燥状态下的质量，g；

$m_{\text{含}}$ ——市政工程材料含水时的质量，g。

市政工程材料的吸湿性随空气湿度大小而变化。干燥材料在潮湿环境中能吸收水分，而潮湿材料在干燥的环境中也能放出（又称蒸发）水分，这种性质称为还水性，最终与一定温度下的空气湿度达到平衡。多数材料在常温常压下均含有一部分水分，这部分水的质量占材料干燥质量的百分率称为材料的含水率。与空气湿度达到平衡时的含水率称为平衡含水率。木材具有较大的吸湿性，吸湿后木材制品的尺寸将发生变化，强度也将降低；保温隔热材料吸入水分后，其保温隔热性能将大大降低；承重材料吸湿后，其强度和形状也将发生变化。因此，在选用材料时，必须考虑吸湿性对其性能的影响，并采取相应的防护措施。

2.2.4 耐水性

市政工程材料长期在饱和水的作用下抵抗破坏，保持原有功能的性质称为耐水性。材料的耐水性常用软化系数 K_R 表示，即

$$K_R = \frac{f_{\text{饱}}}{f_{\text{干}}} \quad (2-11)$$

式中 K_R ——市政工程材料的软化系数；

$f_{\text{饱}}$ ——市政工程材料在吸水饱和状态下的极限抗压强度，MPa；

$f_{\text{干}}$ ——市政工程材料在绝干状态下的极限抗压强度，MPa。

由上式可知， K_R 值的大小表明材料浸水后强度降低的程度。一般材料在水的作用下，其强度均有所下降。这是由于水分进入材料内部后，削弱了材料微粒间的结合力所致。如果材料中含有某些易于被软化的物质如黏土等，这将更为严重。因此，在某些工程中，软化系数 K_R 的大小成为选择材料的重要依据。一般次要结构物或受潮较轻的结构所用的材料， K_R 值应不低于 0.75；受水浸泡或处于潮湿环境的重要结构物的材料，其 K_R 值应不低于 0.85；特殊情况下， K_R 值应当更高。

2.2.5 抗渗性

市政工程材料在压力水作用下，抵抗渗透的性质称为抗渗性。市政工程材料的抗渗性一般用渗透系数 K 表示，即

$$K = \frac{Qd}{AtH} \quad (2-12)$$

式中 K ——渗透系数，cm/h；

Q ——渗水总量，cm³；