

高等学校应用型本科土木工程专业教材

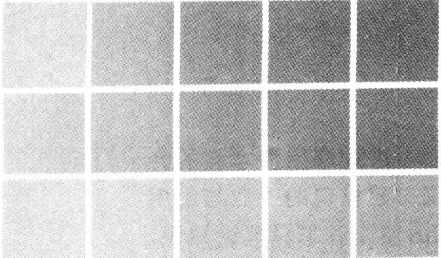
黄显彬 侯超平 朱占元 主编

# 土木工程材料

TU MU GONG CHENG CAI LIAO



西南交通大学出版社  
SWJUP <http://press.swjtu.edu.cn>



高等学校应用型本科土木工程专业教材



# 土木工程材料

TU MU GONG CHENG CAI LIAO

主 编：黄显彬 侯超平 朱占元

副主编：邹祖银 莫 忧 郭子红 孟晓文

参 编：申 琼 赵中国 李 静 解文峰 陈 佳

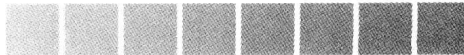
赵守勇 赵林儒 陈凤辉 王 文 王 毅

蒋志军 雷文明 杨术荣 李 林 张 琴

彭胜涛 鲁小将 雷 波 杨志刚 陈思屹

莫林林

西南交通大学出版社  
·成 都·



## 内容提要

本书重点讲述的是土木工程重要材料,次要材料未作过多阐述。同时,考虑到应用型本科的特点,本书对土木工程材料的重要试验也进行了尽可能详细的介绍。本书不仅对建设口的工业与民用建筑材料作了介绍,而且对交通口的公路与桥梁的材料也作了介绍。不仅试图使读者掌握理论知识,还力求使读者在实际应用及试验检测方面有所突破。本书最大特点就是应用性强,减少读者脱离实际的盲目性。

本书的内容包括:材料的基本性质;金属材料;集料;无机气硬性胶凝材料;水泥;普通混凝土;特种混凝土;建筑砂浆;沥青及沥青混合料;墙体材料;土木工程材料试验。

本书可作为高等院校土木工程本科专业教材,也可作为高等院校土木工程职业教育本科教材;可作为工民建专业、道路与桥梁专业等及相关专业教学用书;也可作为自学考试、职业教育用书。本书也可供从事土木工程工作的科研、教学、设计、施工人员参考。

---

### 图书在版编目(CIP)数据

土木工程材料 / 黄显彬,侯超平,朱占元主编. —  
成都:西南交通大学出版社,2011.8  
高等学校应用型本科土木工程专业教材  
ISBN 978-7-5643-1327-2

I. ①土… II. ①黄… ②侯… ③朱… III. ①土木工程—工程材料—高等学校—教材 IV. ①TU5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 162211 号

---

## 土木工程材料

黄显彬 侯超平 朱占元 主编

|       |                                                                   |
|-------|-------------------------------------------------------------------|
| 责任编辑  | 高平                                                                |
| 特邀编辑  | 孙中华                                                               |
| 封面设计  | 品诚文化                                                              |
| 出版发行  | 西南交通大学出版社<br>(成都二环路北一段 111 号)                                     |
| 发行部电话 | 028-87600564 028-87600533                                         |
| 邮政编码  | 610031                                                            |
| 网 址   | <a href="http://press.swjtu.edu.cn">http://press.swjtu.edu.cn</a> |
| 印 刷   | 成都蓉军广告印务有限责任公司                                                    |
| 成品尺寸  | 210mm×285 mm                                                      |
| 印 张   | 25                                                                |
| 字 数   | 754 千字                                                            |
| 版 次   | 2011 年 8 月第 1 版                                                   |
| 印 次   | 2011 年 8 月第 1 次                                                   |
| 书 号   | ISBN 978-7-5643-1327-2                                            |
| 定 价   | 55.00 元                                                           |

图书如有印装质量问题 本社负责退换  
版权所有 盗版必究 举报电话:028-87600562

# 前 言

随着社会的不断进步，基本建设投资 and 规模越来越大，土木工程材料在土木工程中所起的作用更突出。土木工程材料越来越专业化，从事土木工程材料及其试验检测方面的专业人员日益增多，这就为土木工程技术人员提供了广阔的技术空间、就业前景，“土木工程材料”不仅仅作为土木工程专业课程的基础课，还直接是从事土木工程材料及其试验检测工作的专业课程。本书具有实用性强，结合实际，重点突出，紧紧把握规范、标准和试验检测规程等等特点。

不少设计单位、施工单位、监理单位、试验检测单位应市场竞争不断扩大实力和提高资质等级，工程招标与承包不仅局限于本行业，铁字头的施工企业不少已经进入公路领域，公路口的不少已经进入隧道领域、市政领域，建筑口的不少已经进入市政领域、公路领域。跨行业的建筑口的工业与民用建筑、铁道口的铁路与桥梁、城市建设口的市政、交通口的公路与桥梁不断相互渗透，本书试图将建筑口的工业与民用建筑和交通口的公路与桥梁两大专业的所常用的土木工程材料进行讲述。特别是工程中最为重要又不好把握质量的混凝土和混凝土所用的砂、石、水泥，公路路面沥青及其沥青混合料，及其相关试验检测，作为最重点介绍；尤其是基本建设量加大后，地方材料特别是天然砂、石材料不断减少，人工砂、石材料不断增加，这就为控制混凝土质量增加了难度，本书对天然砂、石和人工砂、石均进行了比较介绍。钢材比如土木工程用钢筋和钢绞线也非常重要，但是它们容易控制，试验检测比较好把握，本书作为重点但不是最重点进行介绍，其余材料本书仅仅作为一般性介绍，有的次要材料限于篇幅没有介绍。

本书由四川农业大学黄显彬、侯超平、朱占元主编；由四川农业大学邹祖银、莫忧、郭子红，内蒙古呼伦贝尔学院孟晓文任副主编；四川农业大学申琼、赵中国、李静、解文峰、陈佳、赵守勇、赵林儒、陈凤辉、王文、王毅，重庆市建筑科学研究院蒋志军，四川省建筑设计院雷文明；成都职业技术学院杨术荣，四川广安职业技术学院李林、张琴、彭胜涛、鲁小将、雷波，四川泸州职业技术学院杨志刚，四川双流县建设职业技术学校陈思屹，四川南部县职业技术学校莫林林等参编。

由于土木工程材料发展很快，部分行业标准、规范也不统一，加之我们水平有限，书中难免出现疏漏或不妥之处，请广大读者批评指正，将不胜感激。

编 者

2011 年 8 月

# 目 录

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| <b>0 绪 论</b> .....             | 1  |
| 0.1 概 述 .....                  | 1  |
| 0.2 土木工程材料的发展 .....            | 2  |
| 0.3 土木工程材料的分类 .....            | 3  |
| 0.4 土木工程材料的标准化 .....           | 3  |
| 0.5 本课程学习目的与方法 .....           | 4  |
| <br>                           |    |
| <b>1 土木工程材料的基本性质</b> .....     | 6  |
| 1.1 材料的物理性质 .....              | 6  |
| 1.2 材料的力学性质 .....              | 11 |
| 复习思考题 .....                    | 16 |
| <br>                           |    |
| <b>2 金属材料</b> .....            | 17 |
| 2.1 钢材的冶炼与分类 .....             | 17 |
| 2.2 钢材的技术性质 .....              | 19 |
| 2.3 钢材的组织、化学成分及其对钢材性能的影响 ..... | 24 |
| 2.4 钢材的冷加工强化与时效处理 .....        | 26 |
| 2.5 钢材的连接 .....                | 27 |
| 2.6 建筑钢材的技术标准及选用 .....         | 35 |
| 2.7 钢材的锈蚀与防止措施 .....           | 42 |
| 复习思考题 .....                    | 43 |

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| <b>3 集 料</b> .....           | 44  |
| 3.1 集料的技术性质 .....            | 44  |
| 3.2 矿质混合料组成设计 .....          | 49  |
| 3.3 细集料 .....                | 57  |
| 3.4 粗集料 .....                | 64  |
| 3.5 公路沥青路面用集料 .....          | 71  |
| 复习思考题 .....                  | 75  |
| <br><b>4 无机气硬性胶凝材料</b> ..... | 76  |
| 4.1 建筑石膏 .....               | 76  |
| 4.2 建筑石灰 .....               | 80  |
| 4.3 水玻璃 .....                | 85  |
| 复习思考题 .....                  | 86  |
| <br><b>5 水 泥</b> .....       | 88  |
| 5.1 硅酸盐水泥 .....              | 89  |
| 5.2 普通硅酸盐水泥 .....            | 100 |
| 5.3 掺大量混合材料的硅酸盐水泥 .....      | 100 |
| 5.4 特性水泥 .....               | 106 |
| 5.5 道路硅酸盐水泥 .....            | 110 |
| 5.6 通用水泥包装标志及贮运 .....        | 111 |
| 复习思考题 .....                  | 111 |
| <br><b>6 普通混凝土</b> .....     | 113 |
| 6.1 混凝土概述 .....              | 113 |
| 6.2 普通混凝土的组成材料 .....         | 115 |
| 6.3 混凝土外加剂 .....             | 117 |
| 6.4 混凝土掺和料 .....             | 126 |
| 6.5 混凝土拌和物的和易性 .....         | 130 |
| 6.6 混凝土的强度 .....             | 136 |
| 6.7 混凝土的变形性能 .....           | 144 |

|                            |            |
|----------------------------|------------|
| 6.8 混凝土的耐久性 .....          | 147        |
| 6.9 混凝土的质量控制与评定 .....      | 152        |
| 6.10 普通混凝土配合比设计 .....      | 156        |
| 6.11 混凝土强度综合评定 .....       | 165        |
| 复习思考题 .....                | 166        |
| <br>                       |            |
| <b>7 特种混凝土 .....</b>       | <b>168</b> |
| 7.1 高强混凝土与高性能混凝土 .....     | 168        |
| 7.2 自密实混凝土 .....           | 170        |
| 7.3 泵送混凝土和喷射混凝土 .....      | 171        |
| 7.4 道路水泥混凝土及水工混凝土 .....    | 172        |
| 复习思考题 .....                | 173        |
| <br>                       |            |
| <b>8 建筑砂浆 .....</b>        | <b>174</b> |
| 8.1 砌筑砂浆 .....             | 174        |
| 8.2 抹面砂浆 .....             | 179        |
| 8.3 装饰砂浆 .....             | 180        |
| 复习思考题 .....                | 182        |
| <br>                       |            |
| <b>9 沥青及沥青混合料 .....</b>    | <b>183</b> |
| 9.1 沥青材料 .....             | 183        |
| 9.2 沥青混合料 .....            | 214        |
| 9.3 沥青混合料配合比设计（马歇尔法） ..... | 233        |
| 复习思考题 .....                | 247        |
| <br>                       |            |
| <b>10 墙体材料 .....</b>       | <b>248</b> |
| 10.1 砌墙砖 .....             | 248        |
| 10.2 建筑砌块 .....            | 254        |
| 10.3 建筑墙板 .....            | 258        |
| 复习思考题 .....                | 262        |

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| <b>11 土木工程材料主要试验</b> ..... | 263 |
| 11.1 材料基本性质试验 .....        | 263 |
| 11.2 砌墙砖试验 .....           | 265 |
| 11.3 水泥试验 .....            | 267 |
| 11.4 混凝土用砂、石试验 .....       | 286 |
| 11.5 普通混凝土试验 .....         | 299 |
| 11.6 建筑砂浆试验 .....          | 313 |
| 11.7 金属试验 .....            | 327 |
| 11.8 沥青试验 .....            | 361 |
| 11.9 沥青混合料试验 .....         | 373 |
| <b>参考文献</b> .....          | 389 |

# 0 绪 论

## 0.1 概 述

土木工程包括房屋、桥梁、道路、水工和环境工程等，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，又称为建筑材料。土木工程材料是土木工程建设的基础。

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性和抗冻性材料；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。

土木工程材料品种繁多，但又性能各异。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。

土木工程材料数量大、特点各异，尽管近年来涌现了不少新结构、新材料，但是涉及结构安全的还是传统钢筋混凝土结构中的材料，即钢筋混凝土和混凝土用砂、石、水泥，本书使用大量篇幅着力在这些涉及结构安全的材料技术性质、取样、试验检测、结果评定等方面详尽阐述。施工现场相关技术人员和监督检查单位对钢筋比较容易控制，特别容易出结构安全问题的是水泥混凝土，水泥混凝土除了要把握好水泥的技术标准外，由于施工现场的差异性，砂、石材料是不易控制的，加之近年来我国基本建设发展迅猛，不少地方已经没有什么或者根本就没有合格的天然砂、石可以开采了，而人工机制砂、石品质又不易把握，所以对混凝土用砂、石的技术标准的把控就显得尤其重要。本书除了具有一定的理论深度外，更注重实际应用。

## 0.2 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,人类居住于天然山洞或巢穴中,以后逐步采用黏土、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),仍然住在天然岩洞里。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(公元前 1 401 年~公元前 1 060 年),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 1 060 年~公元前 711 年)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、黏土混合)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,冶铜技术也相当高明。到战国时期(公元前 475 年~公元前 221 年),铜瓦、板瓦已被广泛使用,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 年~公元前 221 年)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、磨细制造成水泥,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在 19 世纪。1823 年英国建成世界第一条铁路;1850 年法国人郎波制造了第一只钢筋混凝土小船;1872 年在纽约出现了第一间钢筋混凝土房屋。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。

建筑材料的发展概括来说:穴居巢处(约 18 000 年前);凿石成洞,伐木为棚(距今约 6 000 年);筑土、垒石演变为秦砖汉瓦(虽然普通黏土砖瓦已经逐渐淡出历史舞台,但在当时它们是建筑材料史上的一次革命,巨大地推动了建筑业的发展);十八、十九世纪建筑钢材、水泥、混凝土相继问世,出现了钢筋混凝土(钢筋混凝土是建筑材料史上的又一次革命,为人类住上楼房、高楼提供了可能);二十世纪出现了预应力混凝土(可以说预应力混凝土是建筑材料史上的再一次革命,它保证了大跨度、大荷载,经济、可靠)。

随着土木工程材料生产和应用的发展,材料科学已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,材料工业是一个必须先行的行业。为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的要求,又能做到发展与环保相统一;既满足现代人安居乐业、健康长寿的需要,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。

应该指出,新型土木工程材料的发展除了具有优良的技术效果和环境效益外,还应同时具有经济效益,当然结构材料的发展方向是轻质高强。

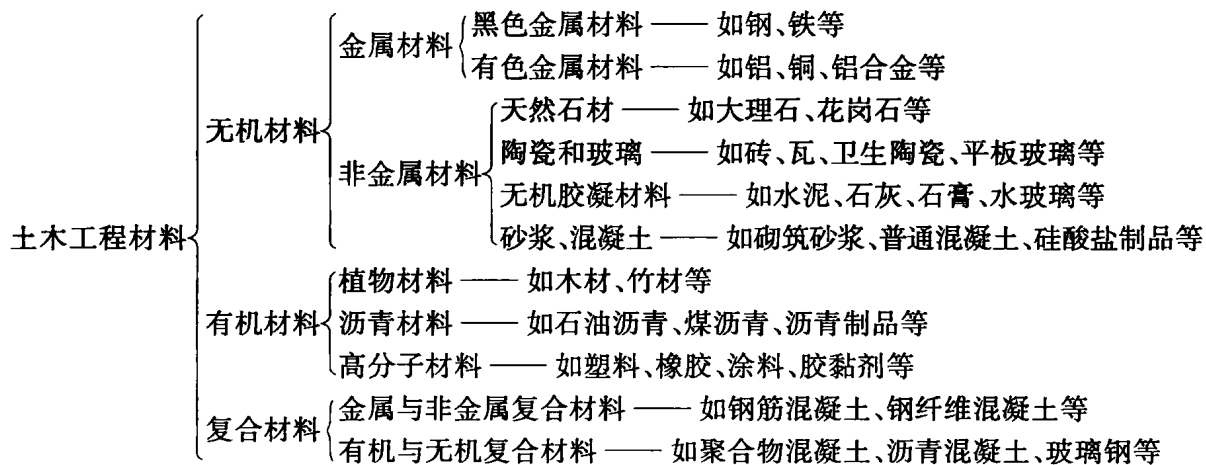
### 0.3 土木工程材料的分类

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。

(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、防水材料和装饰材料等。

(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。



### 0.4 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,必须按照标准生产合格的产品,同时它还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,则应按照规定标准选用材料,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。

我们祖先很早就注意到了材料的标准化,如在咸阳和秦始皇兵马俑墓穴陪葬佣坑中,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 年建造的,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 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,在规定的使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,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》(GB 50119—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/T 50081—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”。

材料标准化就必须与建筑模数联系起来。模数分基本模数和导出模数,导出模数又分扩大模数和分模数。其中基本模数是模数协调中的基本单位尺寸,其值为100 mm,符号为M,即1 M=100 mm,整个建筑物和建筑物的一部分以及建筑物组合件的模数化尺寸,应是基本模数的倍数。扩大模数是基本模数的整倍数,例如3 M、6 M、12 M、15 M、60 M,相应尺寸为300 mm、600 mm、1 200 mm、1 500 mm、6 000 mm。分模数是整数除以基本模数的数值,例如 $\frac{1}{10}$  M、 $\frac{1}{5}$  M、 $\frac{1}{2}$  M,相应尺寸为10 mm、20 mm、50 mm。

## 0.5 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,同时它还还为今后从事工程实践和科学研究打下必要的专业基础。随着基本建设的增加,直接或间接的材料试验检测工作量的增大,需要更多的试验检测人员从事试验检测工作,学好本课程也可在建筑材料和试验检测方向就业。

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、使用材料、检测材料。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。

试验课是本课程的重要教学环节。因此，不仅要学好理论知识，还要利用理论知识进行材料的试验检测，后者显得尤为重要。通过试验，一方面要学会各种常用土木工程材料的检验方法，能对材料进行个性判断和验收；另一方面是提高实践技能，能对试验数据、试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。

# 1 土木工程材料的基本性质

土木工程建筑和构筑物是由各种建筑材料建造而成的，它们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。另外，由于建筑物长期暴露在大气中，经常要受到风吹、日晒、雨淋、冰冻等自然因素的影响，所以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物理性质、力学性质、耐久性、装饰性、防火性和防辐射性等。

## 1.1 材料的物理性质

### 1.1.1 材料的密度、表观密度和堆积密度

#### 1. 材料的密度

材料在绝对密实状态下单位体积的质量称为材料的密度，用公式（1.1）表示为：

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1.1)$$

式中  $\rho$ ——材料的密度（g/cm<sup>3</sup>）；

$m$ ——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<sup>3</sup>）。

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，也称实体体积。建筑材料中除钢材、玻璃等外，绝大多数材料均含有一定的孔隙。作为理论研究，测定含孔隙材料的密度时，须将材料磨成细粉（粒径小于 0.02 mm），经干燥后用李氏瓶测得其实体体积。材料磨得愈细，测得的密度值愈精确。有关材料的密度试验见第 11 章。

#### 2. 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），用公式（1.2）表示为：

$$\rho_0 = \frac{m}{V_0} \quad (1.2)$$

式中  $\rho_0$ ——材料的表观密度（kg/m<sup>3</sup>）；

$m$ ——材料的质量（kg）；

$V_0$ ——材料在自然状态下的体积（m<sup>3</sup>）。

材料在自然状态下的体积是指材料的实体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单，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。

### 3. 材料的堆积密度

散粒材料在自然状态下单位体积的质量称为堆积密度（或称松装密度）。用公式（1.3）表示。

$$\rho_0' = \frac{m}{V_0'} \quad (1.3)$$

式中  $\rho_0'$ ——散粒材料的堆积密度（ $\text{kg}/\text{m}^3$ ）；

$m$ ——散粒材料的质量（ $\text{kg}$ ）；

$V_0'$ ——散粒材料在自然堆积状态下的体积（ $\text{m}^3$ ）。

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。

大多数材料或多或少的均有一些孔隙，故一般材料的表观密度总是小于其密度。

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。

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/ ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ) | 表现密度/ ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ) | 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                               | —                                         |

## 1.1.2 材料的孔隙率与空隙率

### 1. 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（ $P_0$ ），用公式（1.4）表示为：

$$P_0 = \frac{V_0 - V}{V} \quad (1.4)$$

式中符号意义同前。

材料的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。

## 2. 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( $P_0'$ ),用公式(1.5)表示为:

$$P_0' = \frac{V_0 - V}{V} \times 100\% = \left( \frac{1 - \rho_0'}{\rho_0} \right) \times 100\% \quad (1.5)$$

相关符号意义同前。

在配制混凝土时,砂、石子的空隙率是作为控制混凝土骨料级配与计算混凝土含砂率的重要依据。

## 1.1.3 材料与水有关的性质

### 1. 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,后者称材料具有憎水性。

材料产生亲水性是因其与水接触时,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。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,材料表现为憎水性。

材料被水润湿的情况可用润湿边角 $\theta$ 表示。当材料与水接触时,在材料、水、空气三者相交处,作沿水滴表面的切线,此切线与材料和水接触面的夹角 $\theta$ ,称为润湿边角,如图1.1所示。 $\theta$ 角愈小,表明材料越易被水润湿。试验证明,当 $\theta \leq 90^\circ$ 时,如图1.1(a)所示,材料能被水润湿而表现出亲水性;当 $\theta > 90^\circ$ 时,如图1.1(b)所示,材料表面不易吸附水,表现为憎水性;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,相应表现为亲液材料和憎液材料。

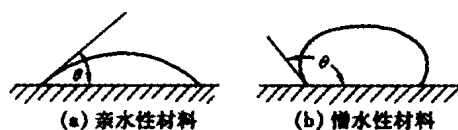


图 1.1 材料润湿示意图

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。憎水性材料常被用做防水材料,或用做亲水性材料的覆层,提高其防水、防潮性能。土木工程材料中大多数为亲水性材料,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。不同材料的毛细水沿毛细管上升的高度不一样,一般说来亲水性材料毛细水上升高度较大,憎水性材料毛细水上升的高度较小,比如黏土毛细水上升高度0.5~0.7 m,砂砾石毛细水上升高度0.2~0.5 m,所以砂砾石填料比黏土更透水、更防潮,砂砾石是建筑工程和公路工程中很好的填料和换填材料,也是透水性材料。

### 2. 材料的吸水性和吸湿性

#### (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

(1.6) 表示为:

$$W_m = \frac{m_b - m_g}{m_g} \times 100\% \quad (1.6)$$

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 (1.7) 表示为:

$$W_v = \frac{m_b - m_g}{V_0} \times \frac{1}{\rho_w} \times 100\% \quad (1.7)$$

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 ( $\text{cm}^3$ );

$\rho_w$ ——水的密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ), 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:

$$W_v = W_m \times \rho_0 \quad (1.8)$$

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, 称此为还湿性。材料的吸湿性用含水率 (或含水量) 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。含水率是建筑材料中的一个重要概念, 具有重要的理论意义和实际意义。分母强调的是干材料的质量而不是干材料和含水的总质量。含水率用公式 (1.9) 表示为:

$$W_h = \frac{m_s - m_g}{m_g} \times 100\% \quad (1.9)$$

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, 利用材料的吸湿性可起除湿作用, 常用于保持环境干燥。

## 3. 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, 软化系数用公式 (1.10) 表示为: