

中等专业学校市政工程施工专业系列教材

# 工程材料

黑龙江省建筑工程学校 李业兰 主编



中国建筑工业出版社



中等专业学校市政工程施工专业系列教材

# 工 程 材 料

黑龙江省建筑工程学校 李业兰 主 编

中国建筑工程工业出版社

**图书在版编目 (CIP) 数据**

工程材料/李业兰编. -北京: 中国建筑工业出版社, 1998

中等专业学校市政工程施工专业系列教材

ISBN 7-112-03399-3

I. 工… II. 李… III. 工程材料-专业学校-教材 IV. TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 20951 号

本书是根据建设部颁发的中等专业学校市政工程施工和给水与排水两专业的教育标准、培养方案 (试行) 和工程材料课程教学大纲以及现行最新的有关国家标准、规范、规程编写的, 突出了专业特点和内容先进性。

全书共分十一章, 分别为: 工程材料的基本性质, 水泥, 普通混凝土, 其他水泥混凝土, 建筑砂浆与道路基层稳定土, 沥青, 沥青混合料, 钢材, 木材, 砖, 密封材料、绝热材料、涂料及粘结剂。每章后均附有复习思考题。本书最后有工程材料试验。

本书除可供中等专业学校市政工程施工专业及其他相关专业师生使用外, 还可供施工企业技术人员阅读参考。

中等专业学校市政工程施工专业系列教材

**工 程 材 料**

黑龙江省建筑工程学校 李业兰 主编

\*

中国建筑工业出版社出版 (北京西郊百万庄)

新华书店总店科技发行所发行

北京市彩桥印刷厂印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 15 字数: 362 千字

1998 年 6 月第一版 1999 年 12 月第三次印刷

印数: 8,001—12,000 册 定价: 15.40 元

ISBN 7 - 112 - 03399 - 3

G · 277 (8558)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

## 前 言

本书是根据建设部颁发的中等专业学校市政工程施工和给水与排水两专业的教育标准、培养方案（试行）和工程材料课程教学大纲以及现行最新的有关国家标准、规范、规程编写的，突出了专业特点和内容先进性。

本书从中专特点出发，密切结合工程实践需要，着重叙述了市政和给排水工程中常用的各种主要材料的基本性质、技术性能、质量标准、检验方法以及验收和保管知识。

全书分理论叙述和材料试验两大部分，以水泥、混凝土、砂浆与道路基层稳定土、沥青与沥青混合料、钢材等为重点，石材分别编入相应章节之内。试验部分详尽列出了试验目的，取样及试件制备、仪器设备、试验步骤及试验结果评定等内容，可供学生据此进行材料试验。

全书力求内容精炼、概念清楚、简明实用，除满足中专层次的有关专业教学需要外，同时可供从事建设工程的技术人员参考。

本书由黑龙江省建筑工程学校李业兰高级讲师主编，并编写了绪论、第二、三、五、七、八章和试验二、三、七部分。哈尔滨市建筑材料工业设计研究院李晓春编写了第一、四、六、九、十、十一章及试验一、四、五、六、八、九部分。全书插图由李晓嵩绘制。本书由武汉市城乡建设学校刘欣余高级讲师主审，谨此表示衷心感谢！

由于编者水平所限，书中可能有不妥之处，欢迎使用本书的广大师生和读者指正，以便在再版时修改补充。

# 目 录

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 绪论.....                 | 1  |
| 第一章 工程材料的基本性质.....      | 4  |
| 第一节 材料的物理性质 .....       | 4  |
| 第二节 材料的力学性质 .....       | 9  |
| 复习思考题 .....             | 11 |
| 第二章 水泥 .....            | 13 |
| 第一节 硅酸盐系水泥的主要原料 .....   | 13 |
| 第二节 硅酸盐水泥.....          | 15 |
| 第三节 其他品种通用水泥 .....      | 20 |
| 第四节 专用水泥与特性水泥 .....     | 23 |
| 第五节 硫铝酸盐水泥和铁铝酸盐水泥.....  | 28 |
| 第六节 水泥的验收与保管 .....      | 30 |
| 复习思考题 .....             | 33 |
| 第三章 普通混凝土 .....         | 34 |
| 第一节 普通混凝土的组成材料 .....    | 34 |
| 第二节 混凝土的主要技术性质及评定 ..... | 46 |
| 第三节 混凝土配合比设计 .....      | 56 |
| 第四节 普通混凝土配合比设计例题.....   | 63 |
| 第五节 混凝土质量控制与评定 .....    | 66 |
| 复习思考题 .....             | 72 |
| 第四章 其他水泥混凝土 .....       | 73 |
| 第一节 高强混凝土及预拌混凝土 .....   | 73 |
| 第二节 道路混凝土.....          | 75 |
| 第三节 抗渗混凝土.....          | 80 |
| 复习思考题 .....             | 81 |
| 第五章 建筑砂浆与道路基层稳定土 .....  | 82 |
| 第一节 石灰 .....            | 82 |
| 第二节 砌筑砂浆 .....          | 85 |
| 第三节 其他品种砂浆 .....        | 90 |
| 第四节 石灰粉煤灰稳定土 .....      | 92 |
| 复习思考题 .....             | 97 |
| 第六章 沥青 .....            | 98 |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 第一节 石油沥青 .....              | 98  |
| 第二节 工程中常用的石油沥青 .....        | 103 |
| 第三节 煤沥青 .....               | 107 |
| 复习思考题 .....                 | 108 |
| 第七章 沥青混合料 .....             | 109 |
| 第一节 沥青混合料分类及选用 .....        | 109 |
| 第二节 沥青混凝土组成材料的技术要求 .....    | 112 |
| 第三节 沥青混凝土主要性质 .....         | 118 |
| 第四节 沥青混凝土配合比 .....          | 122 |
| 复习思考题 .....                 | 129 |
| 第八章 钢材 .....                | 130 |
| 第一节 钢的分类 .....              | 130 |
| 第二节 钢材的力学性能与工艺性能 .....      | 131 |
| 第三节 钢的技术标准与选用 .....         | 134 |
| 第四节 钢筋、钢丝与钢绞线 .....         | 137 |
| 第五节 钢板与型钢 .....             | 146 |
| 复习思考题 .....                 | 148 |
| 第九章 木材 .....                | 149 |
| 第一节 木材的物理与力学性能 .....        | 149 |
| 第二节 木材的缺陷及对材质的影响 .....      | 152 |
| 第三节 原木与锯材 .....             | 154 |
| 复习思考题 .....                 | 157 |
| 第十章 砖 .....                 | 158 |
| 第一节 烧结粘土砖 .....             | 158 |
| 第二节 铺地砖 .....               | 161 |
| 复习思考题 .....                 | 164 |
| 第十一章 密封材料、绝热材料、涂料及粘结剂 ..... | 165 |
| 第一节 密封材料 .....              | 165 |
| 第二节 绝热材料 .....              | 168 |
| 第三节 涂料 .....                | 171 |
| 第四节 粘结剂 .....               | 179 |
| 复习思考题 .....                 | 181 |
| 工程材料试验 .....                | 183 |
| 试验一 水泥试验 .....              | 183 |
| 试验二 混凝土的集料试验 .....          | 194 |
| 试验三 水泥混凝土拌和物试验 .....        | 200 |
| 试验四 水泥混凝土强度与耐久性试验 .....     | 203 |
| 试验五 砌筑砂浆试验 .....            | 209 |
| 试验六 沥青试验 .....              | 212 |

|     |                 |     |
|-----|-----------------|-----|
| 试验七 | 沥青混合料试验 .....   | 217 |
| 试验八 | 钢筋工艺性能试验 .....  | 227 |
| 试验九 | 烧结普通砖强度试验 ..... | 229 |

## 绪 论

《工程材料》是市政工程施工专业和给水与排水专业的重要相关课程,是研究材料性能及其应用的一门科学。

### 一、工程材料的发展及作用

工程材料是道路、桥梁工程和给水与排水工程的重要物质基础。对这些工程发展起关键作用的,首先是工程材料。每当出现新的优良的工程材料时,这些工程就有飞跃式的发展。

人们在早期使用泥土、石块、木料等天然材料从事营造活动<sup>①</sup>。我国在公元前 16~前 11 世纪的商朝,已经懂得夯土筑路,并利用石灰稳定土壤,还出现了大型的木桥。公元 595~605 年建成的净跨 37.02m 的石拱桥(赵州桥)至今已历时 1300 多年仍安然无恙。我们的先人在使用天然材料方面,取得了辉煌的成就。

砖和瓦以及其他烧土制品的出现,使人类第一次冲破了天然材料的束缚。据考证我国在龙山文化时期(公元前 2800~2300 年)的古城下就埋有陶质排水管。商朝殷墟的发掘,发现有碎陶片和砾石铺筑的路面。约在公元前 11 世纪西周初期制造出瓦,砖出现在公元前 5 世纪至公元前 3 世纪。砖瓦等烧土制品具有比土优越的力学性能,可以就地取材,又易于加工制作,使人们开始广泛地、大量地修造各种工程。

17 世纪 70 年代开始使用生铁,19 世纪初开始使用熟铁建造桥梁,从 19 世纪中叶开始出现强度高、延性好、质量均匀的建筑钢材,从而使钢结构得到了蓬勃发展。除应用原有的梁、拱结构外,桁架、框架、网架、悬索结构逐渐发展,工程的跨径从砖、石、木结构的几米、几十米发展到百米、几百米,直到现代的千米以上。我国钢桥建造始自 1876 年。1905 年建成的郑州黄河铁路桥,总长三千多米,共 102 孔,最大跨度 31.50m。1909 年建成的兰州黄河公路桥,包括 5 孔跨度各为 45.90m 的桁架梁。中华人民共和国成立以后,1957 年建成了武汉长江桥,总长 1155.50m,正桥每孔跨度为 128m。1968 年建成南京长江大桥,总长 1576m,正桥最大跨度达 160m。跻身于世界建桥的先进行列。

19 世纪 20 年代制成水泥,产生了混凝土。混凝土不仅集料可以就地取材,还具有其他材料不能比拟的可塑性,但由于它的抗拉强度很小,用途受到限制。19 世纪中叶以后,钢铁产量激增,随之出现了钢筋混凝土这种复合型材料。在钢筋混凝土中,钢筋承担拉力,混凝土承担压力,发挥各自的优点。30 年代出现了预应力混凝土。由于预应力混凝土的抗裂性能,刚度和承载能力,大大高于钢筋混凝土,因而用途更为广泛。从此土木工程进入了钢筋混凝土和预应力混凝土占统治地位的历史时期。混凝土结构的出现,给土木工程带来了新的经济、美观的工程结构形式,使土木工程又一次飞跃发展。我国从 1956 年开始应用

① “土木工程”一词即源于此。在现代“土木工程”指用工程材料建造房屋、道路、铁路、桥梁、隧道、给水与排水等工程的生产活动、生产技术和建筑物。

预应力混凝土建造桥梁,从跨度为 23.8m 的陇海铁路新沂河桥开始,技术水平不断提高。重庆长江公路桥跨度 174m; 济南黄河斜拉桥跨度达 220m; 贵州乌江江界河大桥全长 461m,主跨 330m,是目前世界上跨度最大的混凝土桁式组合拱桥。

我国 20 世纪 20 年代末开始在道路上铺设混凝土路面,大大提高了道路的质量。

随着化工技术的发展,人们开始使用沥青。我国 20 世纪 20 年代开始在上海铺设沥青路面。1949 年以后随着我国自产路用沥青材料工业的发展,沥青路面已广泛应用于城市道路与公路干线,成为目前我国铺筑面积最多的一种高级路面。

今后工程材料将朝着高强、质轻、多功能,并且能适应机械化施工方向发展。同时要综合利用工业三废,化害为利、变废为宝、节约能源、改善环境、造福于人类。

二、工程材料的分类

工程材料可按其性质和用途分类,详见表 0-1。

工 程 材 料 的 分 类 表 0-1

|                       |                       |                           |                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-----------------------|-----------------------|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 按<br>性<br>质<br>分<br>类 | 非<br>金<br>属<br>材<br>料 | 无机材料                      | 天然石材（砂子、石子、各种岩石加工的石材）<br>烧土制品（粘土砖、瓦、空心砖、锦砖等）<br>胶凝材料（石灰、石膏、菱苦土、水玻璃、水泥等）<br>混凝土（普通混凝土、轻混凝土、特种混凝土等）<br>砂浆（抹面砂浆、砌筑砂浆、防水砂浆等）<br>硅酸盐制品（粉煤灰砖、粉煤灰砌块、煤矸石砖、煤矸石砌块等）<br>碳化制品（碳化砖、碳化板等）<br>保温材料（石棉、矿物棉、玻璃棉、膨胀蛭石、膨胀珍珠岩、泡沫玻璃等）<br>玻璃（窗玻璃、彩色玻璃、镀膜玻璃、热反射玻璃、中空玻璃等） |
|                       |                       | 有机材料                      | 木材、竹材、苇材<br>胶结材料（石油沥青、煤沥青等）<br>绝热材料（软木板、毛毡等）<br>涂料<br>塑料（壁纸、地板、门窗等）                                                                                                                                                                               |
|                       | 金属材料                  | 黑色金属                      | 碳钢、合金钢                                                                                                                                                                                                                                            |
|                       |                       | 有色金属                      | 铝及其合金等                                                                                                                                                                                                                                            |
| 按用途分类                 |                       | 结构材料、装修材料、保温材料、防水材料、吸声材料等 |                                                                                                                                                                                                                                                   |

三、工程材料产品标准

为了适应工程建设的需要,确保材料的质量,我国对各种材料制定了专门的技术标准。这些标准是材料生产、质量检验、验收等方面的技术准则和技术依据。目前我国工程材料技术标准有国家标准（国标）、行业标准（部标）及企业标准（企标）三类。国家标准的代号见表 0-2,行业标准的代号见表 0-3。

凡没有制定国家标准、行业标准的产品,都应制定企业标准,其代号为 QB。

上述标准编号的基本方法,一般是由标准代号、发布标准的顺序号和发布标准的年号三部分组成。如 JTJ058—94 是 1994 年发布的第 58 号交通部行业标准。

国家标准的种类与代号

表 0-2

| 说 明                                 | 标 准 种 类        | 标 准 代 号                                |
|-------------------------------------|----------------|----------------------------------------|
| 国家标准是指对全国经济、技术发展有重要意义而必须在全国范围内统一的标准 | 工程建设国家标准       | 用 GBJ 和 TJ; 也有些标准用 ZBJ, 推荐性标准用 CECS 表示 |
|                                     | 工农业产品及其他方面国家标准 | 用 GB 与 ZB 表示, 推荐性标准用 GB/T 表示           |

现行工程建设部（行业）标准的代号

表 0-3

| 部门（行业）名称 | 标准代号 | 部门（行业）名称 | 标准代号 |
|----------|------|----------|------|
| 建设部 城建   | CJJ  | 铁道部      | TBJ  |
| 建设部 建工   | JGJ  | 交通部      | JTJ  |
| 能源部 石油   | SYJ  | 林业部      | LYJ  |
| 冶金部      | YBJ  | 国家建材工业总局 | JCJ  |
| 化工部      | HGJ  | 有色金属总公司  | YSJ  |
| 水利部      | SLJ  | 石化总公司    | SHJ  |

注：行业标准主要是指全国性的各专业范围内统一的标准。由主管部门组织制订、审批和发布，并报送国家技术监督局备案。行业标准分为强制性标准和推荐性标准两类。

#### 四、工程材料课程的任务与学习方法

工程材料课程的主要内容是研究材料的组成、结构、物理力学性能、技术标准、检验方法以及验收与保管方面的知识。课程的任务是使学生领会材料的技术性能、检验方法及验收保管知识，具有合理选用材料的能力和对常用材料检验的能力。

工程材料品种繁多、性质各异，在学习过程中应注意学习方法。学习过程中要在领会材料个性的同时，注意总结其共性，提高对材料技术性质的认识。工程材料课程，本身属于应用技术，实践性很强，学习中应注意理论联系实际。要充分利用各种机会参观和参加工程实践，以获取感性认识。试验课是工程材料课程的重要组成部分。上课前应做到充分复习有关内容，预习试验方法；课堂上严格按标准规定的试验方法进行操作，并做好记录；课后认真及时填写试验报告。还要注意阅读有关的报刊杂志，及时了解新材料及制品的发展动向，学习掌握有关新技术、新规程及新材料标准，不断丰富工程材料知识。

#### 复 习 思 考 题

1. 工程材料在工程建设中的作用是什么？
2. 工程材料如何分类？每类包括哪些主要材料？
3. 为什么要制定工程材料产品标准？标准分哪几类？标准如何编号？
4. 工程材料课程的主要内容是什么？主要任务是什么？

# 第一章 工程材料的基本性质

用于土木工程中的材料其基本性质主要包括物理性质、化学性质和力学性质三个方面。本章主要介绍带有共性的、重要的物理性质及力学性质。

## 第一节 材料的物理性质

### 一、与质量有关的性质

#### (一) 密度

单位体积（不含闭口、开口孔隙及颗粒间空隙的体积）物质的干质量。可按下式计算：

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

式中  $\rho$ ——材料的密度（g/cm<sup>3</sup> 或 kg/m<sup>3</sup>）；

$m$ ——材料的干质量（g 或 kg）；

$V$ ——材料无孔隙、完全致密状态下的体积（cm<sup>3</sup> 或 m<sup>3</sup>）。

#### (二) 视密度

视密度是指单位体积（含颗粒固体及其闭口孔隙体积）物质颗粒的干质量。

对于外形不规则的散粒材料，如配制混凝土所用的砂、石等材料，可用排水法测其体积的近似值（颗粒内部所含的封闭孔隙并未排除）。这样所得的密度称为视密度。可按下式计算：

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

式中  $\rho'$ ——视密度（g/cm<sup>3</sup> 或 kg/m<sup>3</sup>）；

$m$ ——材料的干质量（g 或 kg）；

$V'$ ——包括封闭孔隙在内的颗粒体积（cm<sup>3</sup> 或 m<sup>3</sup>）。

#### (三) 毛体积密度

毛体积密度是指单位体积（含颗粒固体及其闭口、开口孔隙体积）颗粒的干质量或湿质量。可用下式计算：

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

式中  $\rho_0$ ——毛体积密度（g/cm<sup>3</sup> 或 m<sup>3</sup>）；

$m$ ——颗粒的干质量或湿质量（g 或 kg）；

$V_0$ ——毛体积（cm<sup>3</sup> 或 m<sup>3</sup>）。

#### (四) 堆积密度

堆积密度是指单位体积（含物质颗粒固体及其闭口、开口孔隙体积及颗粒间空隙体积）物质颗粒的质量（原名容重）。有干堆积密度及湿堆积密度之分。可按下式计算：

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

式中  $\rho'_0$ ——堆积密度 (g/cm<sup>3</sup> 或 kg/m<sup>3</sup>);

$m$ ——材料的质量 (g 或 kg);

$V'_0$ ——堆积体积 (cm<sup>3</sup> 或 m<sup>3</sup>)。

对于配制混凝土用的碎石、卵石及砂等松散颗粒状材料的堆积密度测定是在特定条件下,用容量筒测得的体积,称为堆积体积;测其密度称为堆积密度。在工程中常用上述诸密度计,算材料用量、自重、运输量及堆积空间等。另外,材料的毛体积密度会影响材料的其他性质,如强度、隔声、导热性等。一般情况下,毛体积密度大,则强度高,隔声效果好,导热系数大,保温性能差。

### (五) 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。可按下式计算:

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

式中  $D$ ——材料的密实度 (%)。

凡含孔隙的固体材料的密实度均小于1。密实度愈接近1,材料就愈密实。材料的很多性质,如强度、吸水性、耐水性、导热性等均与其密实度有关。若提高混凝土密实度。其强度、抗渗、抗蚀等性能均会提高。

#### 2. 孔隙率

孔隙率是指材料体积内,孔隙(开口的和封闭的)体积所占的比例。按下式计算:

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

式中  $P$ ——材料的孔隙率 (%)。

材料孔隙率与密实度是从两个不同方面反映材料的同一个性质。通常采用孔隙率表示。孔隙率可分为开口孔隙率和闭口孔隙率。

开口孔隙率 ( $P_k$ ):是指能被水所饱和的孔隙体积与材料体积之比的百分数。

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

式中  $m_1$ ——材料干质量 (g 或 kg);

$m_2$ ——水饱和状态材料的质量 (g 或 kg);

$\rho_{H_2O}$ ——水的密度 (g/cm<sup>3</sup> 或 kg/m<sup>3</sup>)。

闭口孔隙 ( $P_B$ ):是指总孔隙率 ( $P$ ) 与开口孔隙率 ( $P_k$ ) 之差。即  $P_B = P - P_k$ 。

开口孔隙能提高材料的吸水性、透水性,而降低抗冻性。减少开口孔隙、增加闭口孔隙可提高材料的耐久性。材料的许多性质(如毛体积密度、强度、导热性、透水性、抗冻性、抗渗性、耐蚀性等)均与孔隙的大小、形状有关,见图1-1。一般情况下,材料的孔隙率小,且封闭孔多,其吸水性小,强度高,抗渗和抗冻性好;开口孔多,则吸声性好。

### (六) 填充率与空隙率

#### 1. 填充率

填充率是指颗粒材料的堆积体积内,被颗粒所填充的程度。按下式计算:

$$D' = \frac{V'}{V_0} \cdot 100\%$$

或 
$$D' = \frac{\rho_0}{\rho} \cdot 100\%$$

## 2. 空隙率

空隙率是指散粒(砂、石)材料的堆积体积内,颗粒之间的空隙体积所占的百分率。

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

即:  $D' + P' = 1$  或  $P' = 1 - D'$

## 二、与水有关的性质

### (一) 吸水性

吸水性是指亲水材料在水中吸收水分的性质,用吸水率表示。有质量吸水率和体积吸水率之分。可按下式计算:

$$W_{\text{质}} = \frac{m_{\text{湿}} - m_{\text{干}}}{m_{\text{干}}} \cdot 100\%$$

或 
$$W_{\text{体}} = \frac{m_{\text{湿}} - m_{\text{干}}}{V_0} \cdot \frac{1}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}} \cdot 100\%$$

式中  $W_{\text{质}}$ ——材料的质量吸水率(%) ;

$W_{\text{体}}$ ——材料的体积吸水率(%) ;

$m_{\text{湿}}$ ——材料吸水饱和后的质量(g) ;

$m_{\text{干}}$ ——材料干质量(g) ;

质量吸水率与体积吸水率存在如下关系:

$$W_{\text{体}} = W_{\text{质}} \cdot \rho_0$$

材料的吸水率大小与材料的孔隙率和孔隙特征有关。材料的体积吸水率常小于孔隙率。

### (二) 吸湿性

亲水材料在潮湿的空气中吸收空气中水分的性质称为吸湿性。用含水率表示。

含水率是指材料所含水分的质量与其干质量之比,以百分率表示。按下式计算:

$$W_{\text{含}} = \frac{m_{\text{含}} - m_{\text{干}}}{m_{\text{干}}} \cdot 100\%$$

式中  $W_{\text{含}}$ ——材料含水率(%) ;

$m_{\text{含}}$ ——材料含水时质量(g) ;

$m_{\text{干}}$ ——材料干质量(g)。

某些材料和制品,如木材、纤维制品、多孔混凝土的含水率对其物理性质影响较大,如含水率增大,材料的毛体积密度增大,体积膨胀,导热系数增大,强度及抗冻性能降低。另外,含水率受环境(温、湿度)影响而变化。

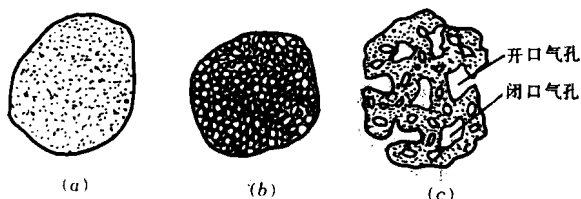


图 1-1 颗粒的气孔与孔隙的类型

(a) 密实的颗粒(如河砂); (b) 具有封闭气孔的颗粒(如人造轻集料); (c) 具有开口气孔和封闭气孔的颗粒(如火山高炉渣)

### (三) 耐水性

材料长期在饱和水作用下不破坏, 其强度也不显著降低的性质称为耐水性。耐水性用软化系数表示, 可按式计算:

$$K_{\text{软}} = \frac{R_{\text{饱}}}{R_{\text{干}}}$$

式中  $K_{\text{软}}$ ——材料的软化系数;

$R_{\text{饱}}$ ——材料饱和水状态下的抗压强度 (MPa);

$R_{\text{干}}$ ——材料在干燥状态下的抗压强度 (MPa)。

材料的软化系数范围在 0~1 之间, 软化系数值越大, 耐水性越好。软化系数大于 0.8 的材料称为耐水材料。软化系数在 0.85~0.9 之间的材料, 适用于严重受水侵蚀或潮湿环境中, 用于受潮较轻的或次要的结构材料, 软化系数不宜小于 0.7~0.85。

### (四) 抗冻性

材料在吸水饱和状态下, 经多次冻结和融化作用 (冻融循环) 而不破坏, 同时也不严重降低强度的性质称为抗冻性。通常用抗冻等级表示。如 F 10、F 15、F 25、F 50、F 100 等等。其所注数字为冻融循环次数。

对于水工建筑或经常处于水位变化的结构, 由于交替受水饱和和冻融作用, 尤其是冬期气温达 -15℃ 以下的地区, 一定对所使用的材料进行抗冻性检验。材料的抗冻性大小与材料本身组织、构造、强度、吸水性、耐水性等因素有关。

### (五) 抗渗性

材料抵抗水及其他液体压力作用而不渗透的性质称为抗渗性。用渗透系数或抗渗等级表示。渗透系数按下式计算:

$$K = \frac{Wd}{AtH}$$

式中  $K$ ——渗透系数 [mL/(cm<sup>2</sup>·h)];

$W$ ——透过材料试件的水量 (mL);

$d$ ——试件厚度 (cm);

$A$ ——渗水面积 (cm<sup>2</sup>);

$t$ ——渗水时间 (h);

$H$ ——水头差 (cm)。

抗渗等级用 P 表示, 所注数字为压力值。有 P4、P6、P8 等。抗渗等级是指按标准试验方法测得的抗渗试件不透水时, 单位面积上承受的最大压力值 (MPa)。材料抗渗试验见图 1-2。

抗渗性与材料内部孔隙的数量、大小及特征 (封闭或贯通) 有关。例如混凝土的密实度愈高, 与外界相连的毛细管孔道和缝隙愈少, 则抗渗性愈好。混凝土的抗渗性一般用抗渗等级表示。材料的抗渗性对地下建筑物、水工构筑物及防水工程结构的影响较大, 因此, 这类工程所需材料应具有足够的抗渗性能。

## 三、与热有关的性质

### (一) 导热性

热量由材料的一面传至另一面的性质称为导热性。

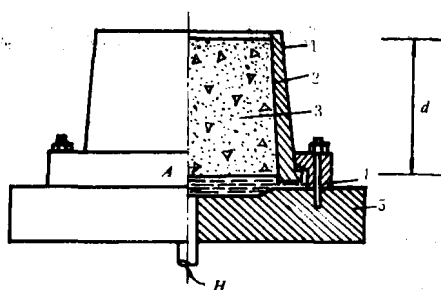


图 1-2 材料抗渗试验示意图

- 1—金属圆筒；2—止水材料；3—试件；  
4—橡皮垫圈；5—底座

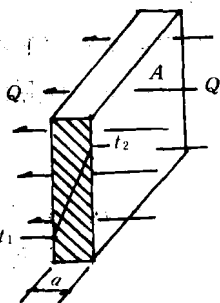


图 1-3 材料导热示意图

导热性是材料的一个非常重要的热物理指标，它说明材料传递热量的一种能力（见图 1-3）。材料的导热能力用导热系数“ $\lambda$ ”表示。

导热系数指单位厚度的材料，当两侧温差为 1K 时，在单位时间内通过单位面积的热量。按下式计算：

$$\lambda = \frac{Q \cdot d}{AZ(t_2 - t_1)}$$

式中  $\lambda$ ——导热系数 [W/(m·K)]；

$Q$ ——传导热量 (J)；

$d$ ——材料厚度 (m)；

$A$ ——传热面积 (m<sup>2</sup>)；

$Z$ ——传热时间 (h)；

$t_2 - t_1$ ——材料传热时两面的温度差 (K)。

材料导热系数约在 0.035~3.5W/(m·K) 之间。导热系数愈小，则材料的保温绝热性能愈好。通常将  $\lambda < 0.23\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$  的材料，称为保温绝热材料。材料的导热系数大小主要与材料结构特征、化学成分、毛体积密度、材料的温度、湿度状况有关。如孔隙率大，孔尺寸小且封闭的材料， $\lambda$  值则小；当材料由于气候、施工水分和使用的影响，一旦受潮，湿度增大，其  $\lambda$  值随之增大。水的  $\lambda = 0.58\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ，比静态空气的  $\lambda$  值 (0.023W/(m·K)) 大 20 倍，如果孔隙中的水分冻结成冰，其  $\lambda = 2.33\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ，约是水的 4 倍，材料  $\lambda$  值将会更大。因而，材料受潮或受冻将严重影响其保温效果。所以在运输、使用和保管过程中对保温绝热材料应特别注意防潮。

## (二) 热容量

材料在温度变化 1K 时所吸收或放出的热量 (J/K) 称为热容量。用比热表示。

单位质量材料的热容量称为比热 [又称质量比热，J/(kg·K)]。可按下式计算：

$$c = \frac{Q}{m(t_2 - t_1)}$$

式中  $c$ ——比热 [J/(kg·K)]；

$Q$ ——材料吸收或放出的热量；

$m$ ——材料质量 (kg)；

$t_2 - t_1$ ——材料受热或冷却前后的温差 (K)。

材料的比热是反映材料吸热或放热能力大小的物理量。不同材料的比热不同,即使是同一种材料,由于所处物态不同,比热也不同。例如,水  $c = 4.186 \times 10^3 \text{ J} / (\text{kg} \cdot \text{K})$ , 而结冰后的  $c = 2.093 \times 10^3 \text{ J} / (\text{kg} \cdot \text{K})$ 。比热大的材料对于建筑物内部温度稳定性有利。

### (三) 热膨胀系数

材料随温度升高或降低,体积会有膨胀或收缩,其比率如果是以两点之间的距离计算时,称为线膨胀系数,如果以材料的体积去计算时,则称为体膨胀系数,其单位是  $1/^\circ\text{C} = 274.5\text{K}$ 。

线膨胀系数是材料由于温度上升或下降  $1^\circ\text{C}$  所引起的长度增长或收缩与其在  $0^\circ\text{C}$  时的长度之比值。如钢筋线膨胀系数为  $(10 \sim 12) \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ , 混凝土线膨胀系数为  $(5.8 \sim 12.6) \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 。线膨胀系数是计算材料在温度变化时,所引起的变形以及计算温度应力等的常用参数。

## 第二节 材料的力学性质

### 一、强度

材料在外力(荷载)作用下抵抗破坏的能力称为强度。

用于工程中的材料所受的外力主要有拉力、压力、弯矩及剪力等(见图 1-4)。材料抵抗这些外力破坏的能力,分别称为抗拉、抗压、抗弯、抗剪强度。材料抗拉、抗压、抗剪强度可按下式计算:

$$R = \frac{F}{A}$$

式中  $R$ ——抗拉、抗压、抗剪强度 (MPa);

$F$ ——材料受拉、受压、受剪破坏时的荷载 (N);

$A$ ——材料的受力面积 ( $\text{mm}^2$ )。

材料的抗弯强度(也称抗折强度)与材料受力情况有关。试验时将试件放在两支点上,中间作用一集中荷载,对矩形截面试件,抗弯强度可按下式计算:

$$R_m = \frac{3FL}{2bh^2}$$

式中  $R_m$ ——抗弯强度 (MPa);

$F$ ——受力时破坏荷载 (N);

$L$ ——两支点间的距离 (mm);

$b$ 、 $h$ ——材料截面宽度、高度 (mm)。

材料的强度和它的成分、构造有关。不同种类的材料,有不同的抵抗外力的能力。同一种材料随其孔隙率及构造特征不同,强度也有较大差异。一般情况下,毛体积密度愈小、孔隙率愈大、愈疏松的材料,其强度就愈低。

强度是评定其力学性能的主要技术指标。可根据强度值的大小将材料划分为若干强度等级或标号,以作为鉴定,选材及验收材质的技术依据。材料的强度,可按规定的标准试验方法通过试验确定。

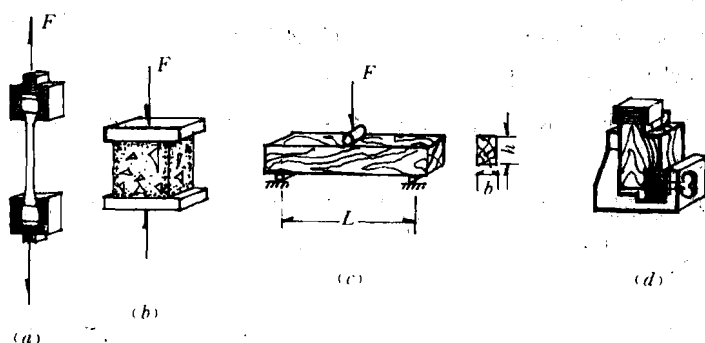


图 1-4 材料承受各种外力示意图

(a) 抗拉; (b) 抗压; (c) 抗弯; (d) 抗剪

道路与桥梁工程用的石料的抗压强度,是采用单轴抗压试验方法,将道路用天然石料(岩块)制备成边长为 50mm 立方体或直径与高均为 50mm 的圆柱体试件,经吸水饱和后,在单轴受压,并按规定的加荷条件下,测其抗压强度。

用于道路与桥梁工程中的石料,除受各种自然因素影响外,还要受到车辆荷载的作用,因此,石料不仅要满足强度要求,还应满足耐久性能的要求(如耐磨性、冲击韧性、磨光性等)。

## 二、耐磨性

耐磨性(又称耐磨硬度)是指材料抵抗磨损的性能。可用磨耗率表示。

磨耗率是指石料抵抗摩擦、撞击和边缘剪切等联合作用的能力。可采用洛杉矶法、狄法尔法和道瑞法测定。计算式如下:

$$N = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\%$$

式中  $m_1$ ——试件磨耗前的质量;

$m_2$ ——试件磨耗后的质量;

$N$ ——石料磨耗率(%)。

人行道等地的材料,必须考虑其硬度与耐磨性。

## 三、磨光性

磨光性是指石料抵抗轮胎磨光作用的能力。用磨光值表示。

石料磨光值即石料被磨光后用摆式仪测得的摩擦系数(PSV)。

路面抗滑(抗磨光)是公路城市道路特别是高速公路、一级公路的关键技术之一。要保证路面有足够的抗滑性能,并保证抗滑性能的耐久,就应选用抗磨光性好的石料,使石料具有较好的抵抗车轮磨光的性能。石料磨光值是修建道路抗滑表层必须用的指标。对于高级公路,一级公路抗滑表层的石料的摩擦系数  $PSV \geq 42$ ,其它公路抗滑表面石料的摩擦系数  $PSV \geq 35$ 。

用于道路桥梁中的岩石,按其成因、造岩矿物成分、含量及组成结构的不同,可分为岩浆岩、沉积岩和变质岩三大类:

1. 岩浆岩(即火成岩) 是熔融岩浆在地下或喷出地面后冷凝固晶而成的岩石。按其化学成分分为以硅、铝为主的酸性、中性,以钙、镁为主的基性及超基性。一般认为,二