

# 绪 论

如果你是一位原始人,刚刚逃过剑齿虎的追杀,心有余悸地跑回山洞,为了阻挡猛兽的进攻,赶紧搬了几块岩石堵住洞口——恭喜你,也许你就是史上最早使用建筑材料的人。

建筑材料既不神秘,也不复杂。从爱斯基摩人的冰房,到非洲原始部落的土屋,还有我们现在居住的钢筋混凝土“丛林”都离不开建筑材料。它们就是我们身边最普通、最平凡的存在,平凡得甚至经常忽略它们,却不知它们是多么的重要和伟大。

## 0.1 常见的建筑材料

衣食住行是人类生活的基本要素,而住和行都离不开各种建筑、桥梁和道路,构建它们的基础就是建筑材料。

什么是建筑材料? 建筑材料是指在土木工程建设中用于构成建筑物或构筑物的各种材料的总称,如水泥、钢材、木材、混凝土、石材、砖、石灰、石膏、建筑塑料、沥青、玻璃及建筑陶瓷等,其品种达数千种,如图 0-1 所示。

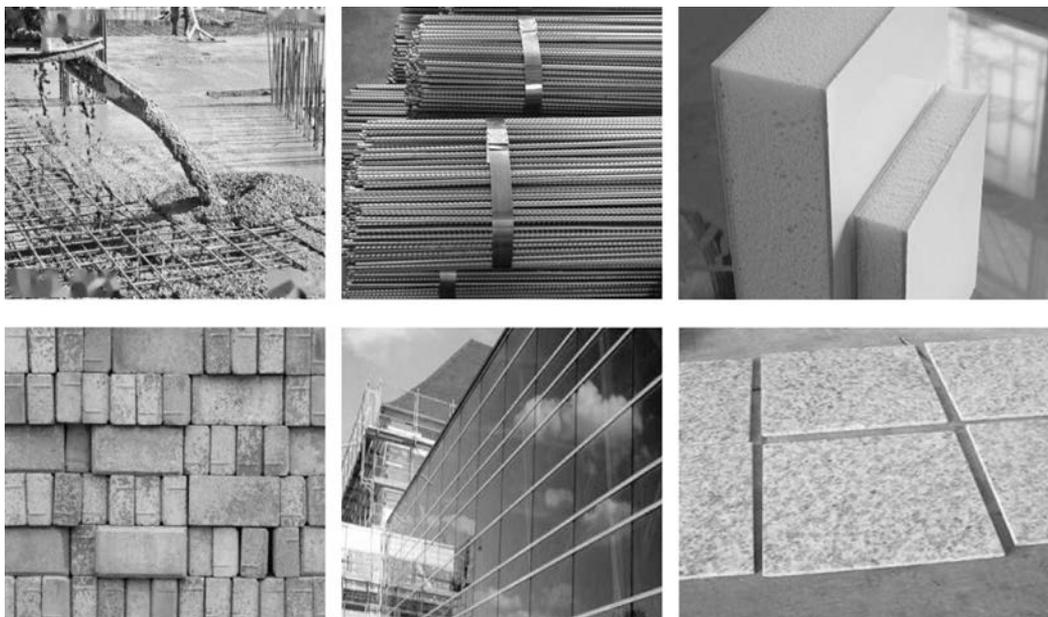


图 0-1 常见的建筑材料

## 0.2 建筑材料的分类

简单来说,材料大体可以分为无机材料和有机材料。另外,两种或两种以上材料复合使用的复合材料,其性能优于材料单独使用时的性能。

无机材料包括无机非金属材料及金属材料。无机非金属材料包括混凝土、水泥、玻璃、陶瓷等,金属材料包括钢材、铝合金等。

有机材料包括天然有机材料(如木材、竹材),以及合成高分子材料(如塑料、橡胶、涂料及胶黏剂)。

以钢筋混凝土为代表的无机材料、无机复合材料构成了建筑材料的主体,但同时形形色色的有机材料也以各种姿态登上了建筑材料的舞台,如防水材料、保温材料、装饰材料及部分混凝土外加剂等,它们给建筑赋予了更多的功能和美感。

## 0.3 各类建筑材料的性质及应用

建筑为人们提供了一个安全、舒适、美观的环境,它为人们遮风挡雨,因此要求建筑材料冬暖夏凉、抗风抗震、防火、安全环保。这些要求就是建筑材料所需要具备的性质,如力学性质、与热和水有关的性质、基本物理性质等。

不同的建筑材料具有不同的性质。为了更好地学习不同建筑材料所具有的性质,可以将它们进行分类,了解不同种类建筑材料的共性和特性,从而对建筑材料建立一个清晰且完整的概念。

林林总总的建筑材料具有不同的性质,应用在不同的场合。以房屋建筑为例,按照功能的不同可以分成结构材料、墙体材料及功能材料,具体如表 0-1 所示。

表 0-1 结构材料、墙体材料和功能材料

分类	主要功能
结构材料	主要是指构成结构物受力构件的材料,用于承受载荷,如梁、板、柱、基础、框架及其他受力构件和结构等使用的材料
墙体材料	是指建筑物内、外及分隔墙体所采用的材料,分承重和非承重两类
功能材料	是指具有某些特殊功能的材料,用于满足建筑物或构筑物的适用性,如防水材料、保温材料、隔音吸声材料、装饰材料、耐火材料、耐腐蚀材料以及防辐射材料等

## 思 考 题

1. 什么样的材料适合作为结构材料?
2. 功能材料有哪些? 什么样的材料能满足这些功能?
3. 墙体材料有哪些特点?

学习建筑材料的目的,就是要学会使用这些建筑材料,而只有掌握这些建筑材料的性质,才能合理地使用它。

## 本章小结



### 【拓展阅读】 材料,人类进步的阶梯

人类的文明史,就是材料的发展史。

从手持石矛、穴居洞藏的原始人,到数字时代、豪屋美居的现代人,材料成了人类文明进步的标志;从石器时代、青铜时代、铁器时代,到现在以计算机信息为主的硅基时代,材料构成了人类生存和发展的主要物质基础。

一百万年前,原始人以石头作为工具和武器,称为旧石器时代。一万年前,人类学会对石器进行加工,使工具和武器更加好用,称为新石器时代。在新石器时代后期,人类制造了陶器,并在寻找石头的过程中认识了矿石,在烧陶生产中学会了冶铜术。公元前5000年,人类进入青铜器时代。公元前1200年,人类学会铸铁,之后学会炼钢。18世纪到19世纪中叶,钢铁工业成为产业革命的重要内容和物质基础,随着现代平炉和转炉炼钢技术的出现,人类真正进入了钢铁时代。从20世纪初开始,随着半导体材料的应用和发展,人类进入了以硅基材料为基础的信息时代。而建筑材料也从传统的土木砖瓦,发展到了如今品种繁多、功能齐全的各式建筑材料。

商周时代已经有了较成熟的夯土技术,建造了相当规模的宫室和陵墓,木构架结构和瓦也开始出现并使用。战国时期,出现了砖和彩画。秦汉时期,高台建筑仍然盛行,多层建筑逐步增加。东汉时石料的使用逐渐增多,出现了全部石造的建筑物,如祠、石阙和石墓。

自从20世纪80年代以来,中国新型建筑材料发展迅速,除了常用的水泥、混凝土、砂、钢筋、石材、玻璃、陶瓷、石膏、石灰等无机材料,有机高分子材料和复合材料也走上前台。林林总总的材料,构成了丰富多彩的建筑材料世界,也为建筑的多样化提供了无限可能。

# 第 1 章 建筑材料的性质

## 【学习目标】

1. 掌握和建筑材料有关的各种性质。
2. 掌握相关的物理概念。

对建筑材料所要求的性质和建筑的功能有关,而建筑材料所需要的具体性质取决于建筑材料所应用的场景。为了准确评估建筑材料的性质,我们制定出各种物理指标以及标准的测试方法。不同形式的混凝土如图 1-1 所示。

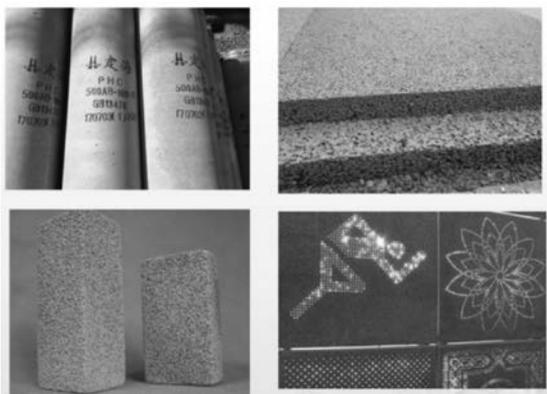


图 1-1 不同形式的混凝土

虽然图 1-1 中的建筑材料都属于混凝土,配方也大致相同,但是其用途和性能却有着天壤之别,而这仅仅是因为改变了材料的组成与结构。因此要想了解建筑材料的性质,还需要对建筑材料的组成与结构有一定的了解。

建筑材料的应用场景对建筑材料的性质提出了要求,而建筑材料的组成与结构决定了建筑材料的性质。

我们学习一种建筑材料,就是要了解它用在什么地方?它需要什么性质?怎样的组成与结构使它具有这样的性质?对于任何一种材料,只要明白了这三个问题,也就了解了这种材料。

下面首先学习材料中和建筑有关的性质,包括基本物理性质、与水有关的性质、与热有关的性质、力学性质和耐久性。

## 1.1 基本物理性质

### 1. 密度

密度又称真实密度,是指材料在绝对密实状态下单位体积的质量。其计算公式为

$$\rho = m/V$$

式中,  $\rho$ ——密度( $\text{g}/\text{cm}^3$  或  $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$m$ ——材料在干燥状态下的质量( $\text{g}$  或  $\text{kg}$ );

$V$ ——材料在绝对密实状态下的体积( $\text{cm}^3$  或  $\text{m}^3$ )。

材料的密度只与构成材料的固体物质的化学成分和分子结构有关, 所以对于同种物质构成的材料, 其密度为恒量。

## 2. 表观密度

表观密度是指材料的质量与表观体积之比。表观体积是实体体积与闭口孔隙体积之和, 此体积即材料排开水的体积。表观密度的计算公式为

$$\rho_0 = m/V_0$$

式中,  $\rho_0$ ——表观密度( $\text{g}/\text{cm}^3$  或  $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$m$ ——材料在干燥状态下的质量( $\text{g}$  或  $\text{kg}$ );

$V_0$ ——材料在自然状态下的体积( $\text{cm}^3$  或  $\text{m}^3$ )。

## 3. 堆积密度

堆积密度是指散粒状材料在规定装填条件下单位体积的质量。堆积体积是指自然状态下颗粒的体积与颗粒之间的空隙之和。堆积密度的计算公式为

$$\rho'_0 = m/V'_0$$

式中,  $\rho'_0$ ——堆积密度( $\text{g}/\text{cm}^3$  或  $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$m$ ——材料的质量( $\text{g}$  或  $\text{kg}$ );

$V'_0$ ——材料的堆积体积( $\text{cm}^3$  或  $\text{m}^3$ )。

材料的堆积体积可用容积筒进行测量。

## 4. 体积密度

体积密度是指材料在自然状态下单位体积的质量。其计算公式为

$$\rho''_0 = m/V''_0$$

式中,  $\rho''_0$ ——体积密度( $\text{g}/\text{cm}^3$  或  $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$m$ ——材料的质量( $\text{g}$  或  $\text{kg}$ );

$V''_0$ ——材料的自然体积( $\text{cm}^3$  或  $\text{m}^3$ )。

## 5. 密实度

材料的密实度是指材料在绝对密实状态下的体积与在自然状态下的体积之比, 用  $D$  表示。其计算公式为

$$D = V/V_0 \times 100\% = \rho_0/\rho \times 100\%$$

## 6. 孔隙率

孔隙率是指材料中孔隙体积与材料在自然状态下的体积之比的百分率, 用  $P$  表示。其计算公式为

$$P = (V_0 - V)/V_0 \times 100\% = (1 - \rho_0/\rho) \times 100\%$$

## 7. 比重

比重是物质的密度与  $4^\circ\text{C}$  的纯净水的密度( $1\text{g}/\text{cm}^3$ )之比, 无量纲。比重的概念经常被使用, 数值上等于材料的表观密度。常见建筑材料的大致比重见表 1-1。

表 1-1 常见建筑材料的大致比重

材料	钢材	混凝土	玻璃	塑料	陶瓷	石灰石
比重	7.8	2.4	2.5	1	2.3	2.6

**注意：**除密度概念仅取决于材料本身的性质外，其他的概念不仅与材料性质有关，也和材料是否多孔和密实有关，我们可以统称为材料“与孔有关的性质”。这些与孔有关的性质，不仅会影响建筑材料与水有关的性质，也会影响建筑材料与热有关的性质，还会影响建筑材料的力学性质及耐久性。

## 1.2 与水有关的性质

由于建筑材料在实际使用过程中很多都要接触水，因此需要了解建筑材料与水有关的性质，如亲水性和憎水性、吸水性和吸湿性、耐水性、抗渗性和抗冻性等。

### 1.2.1 亲水性和憎水性

**亲水性：**材料在空气中与水接触时能被水润湿的性质。

**憎水性：**材料在空气中与水接触时不能被水润湿的性质。

在材料、水和空气的交点处，沿水滴表面的切线与材料表面所成的夹角称润湿角，用  $\theta$  表示。若  $\theta \leq 90^\circ$ ，材料呈现亲水性；若  $\theta > 90^\circ$ ，材料呈现憎水性，如图 1-2 所示。

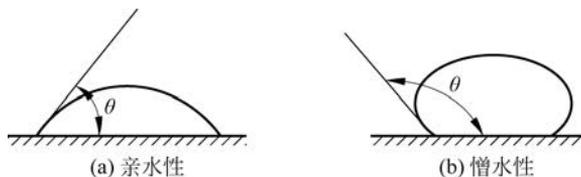


图 1-2 润湿角与亲水性和憎水性关系示意图

润湿角越小，则材料润湿性能越好。一般而言，无机材料表现为亲水材料，而有机材料表现为憎水材料。同时，工程上比较常用的还有亲油憎油概念，亲水则憎油，憎水则亲油。

亲水和憎水表现的是材料的表面特性，通过改性，材料表面的亲水和憎水特性可以改变。比如通过有机硅防水剂处理过的混凝土表面，可以使本来亲水的混凝土表现为憎水，如图 1-3 所示。

### 1.2.2 吸水性和吸湿性

吸水性是指材料浸在水中，吸收并保持其水分的性质。吸水性用吸水率表示。材料在吸水饱和时，所吸收水分的质量占材料干燥时质量的百分率，称为质量吸水率。一般的建筑材料吸水率用质量吸水率表示，但对于一些疏松多孔的轻质材料，其质量吸水率往往超过 100%，一般采用体积吸水率来表示。

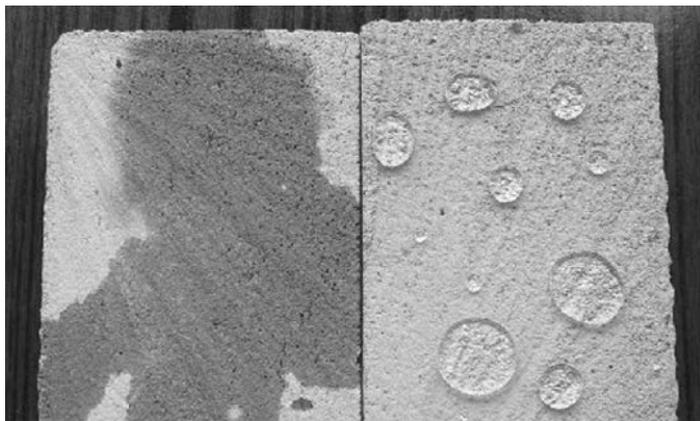


图 1-3 有机硅处理混凝土前后效果对比

质量吸水率计算公式为

$$W_{\text{质}} = (M_{\text{湿}} - M_{\text{干}}) / M_{\text{干}} \times 100\%$$

式中,  $W_{\text{质}}$ ——材料的质量吸水率;

$M_{\text{湿}}$ ——材料吸水饱和后的质量(g 或 kg);

$M_{\text{干}}$ ——材料烘干到恒重的质量(g 或 kg)。

体积吸水率计算公式为

$$W_{\text{体}} = V_{\text{水}} / V_0 \times 100\%$$

式中,  $W_{\text{体}}$ ——材料的体积吸水率(%);

$V_{\text{水}}$ ——材料在吸水饱和时的体积( $\text{cm}^3$  或  $\text{m}^3$ );

$V_0$ ——干燥材料在自然状态下的体积( $\text{cm}^3$  或  $\text{m}^3$ )。

吸湿性是指材料在空气中吸附水蒸气的能力。吸湿性的大小用含水率表示。材料所含水的质量占材料干燥质量的百分率,称为材料的含水率。其计算公式为

$$W = (m_k - m_1) / m_1 \times 100\%$$

式中,  $W$ ——材料的含水率(%);

$m_k$ ——材料吸湿后的质量(g 或 kg);

$m_1$ ——材料在绝对干燥状态下的质量(g 或 kg)。

吸水性和吸湿性与材料的亲水性及与孔有关的性质有关。一般而言,材料的亲水性越强,孔隙率越高;开孔越多,材料的吸水性和吸湿性越大。

在建筑工程上,吸水性和吸湿性分别有不同的意义。比如,对石材的评估会考察它的吸水性;对石膏则会考察它的吸湿性。

### 1.2.3 耐水性

材料的耐水性主要是评估材料在浸水情况下,承受荷载的能力。耐水性即材料长期在吸水饱和的状态下,不发生破坏,强度也不明显降低的性能,用软化系数表示,其计算公式为

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

式中,  $K_{\text{软}}$ ——材料的软化系数;

$f_{\text{饱}}$ ——材料在吸水饱和状态下的抗压强度(Pa 或 MPa);

$f_{\text{干}}$ ——材料在干燥状态下的抗压强度(Pa 或 MPa)。

软化系数的大小表明材料浸水后强度降低的程度,一般波动范围为 0~1。软化系数越小,说明材料饱水后的强度降低越多,其耐水性越差。对于经常位于水中或受潮严重的重要结构物所使用的建筑材料,其软化系数不宜小于 0.85;受潮较轻或次要结构物所使用的建筑材料,其软化系数不宜小于 0.75。

#### 1.2.4 抗渗性

材料抵抗压力水渗透的性质称为抗渗性,或称不透水性。材料的抗渗性通常用渗透系数  $K_s$  表示。 $K_s$  值愈大,表示材料渗透的水量愈多,即抗渗性愈差。

材料的抗渗性也可用抗渗等级表示。抗渗等级是以 28d 龄期的标准试件,按标准试验方法进行实验时所能承受的最大水压力来确定,以符号  $P_n$  表示,如  $P_4$ 、 $P_6$ 、 $P_8$  分别表示材料能承受 0.4MPa、0.6MPa、0.8MPa 的水压而不渗水。材料的抗渗性与其孔隙率和孔隙特征有关。

抗渗性是决定材料耐久性的重要因素。在设计地下建筑、压力管道、容器等结构时,均要求其使用材料具有一定的抗渗性。抗渗性也是检验防水材料质量的重要指标。

#### 1.2.5 抗冻性

材料在饱水状态下,能经受多次冻结和融化(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。冻融破坏的原因为:孔隙中水冻结时体积增大 9%左右,对孔壁产生压力从而使孔壁开裂。由此可见,材料抗冻性的高低,取决于材料的吸水饱和程度以及材料对水结冰时体积膨胀所产生的压力的抵抗能力。

抗冻等级用符号“F”表示,通过冻融循环实验进行确定。将材料吸水饱和后,按规定的方法在  $-15\sim 20^{\circ}\text{C}$  的温度进行冻融循环,其质量损失不超过 5%,强度下降不超过 25%,所能经受的最大冻融循环次数即为抗冻等级。

### 1.3 与热有关的性质

建筑材料与热有关的性质,包含导热性、热容量、热阻、耐火性、耐燃性和温度变形性等。

#### 1.3.1 导热性

当材料两侧存在温度差时,热量将由温度高的一侧通过材料传递到温度低的一侧,材料的这种传导热量的能力,称为导热性。

材料的导热性用导热系数  $\lambda$  来表示,即厚度为 1m 的材料,当温度改变 1K 时,在 1s 内

通过  $1\text{m}^2$  面积的热量。材料的导热系数愈小,表示其绝热性能愈好。各种土木工程材料的导热系数差别很大,一般为  $0.035\sim 3.5\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 。

密闭空气的导热系数很小,为  $0.023\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ,水为  $0.58\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ,冰为  $2.2\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 。隔热保温材料多采用封闭多孔结构,既利用了空气低导热率的特点,又可形成封闭孔,防止空气对流带走热量。水和冰的导热系数较高,因此,隔热保温材料应当做好防水,以免热量流动。

### 1.3.2 热容量

材料加热时吸收热量,冷却时放出热量的性质称为热容量。热容量的大小用比热容  $C$ (也称热容量系数,简称比热)表示。

比热容表示  $1\text{g}$  材料温度升高  $1\text{K}$  时所吸收的热量,或降低  $1\text{K}$  时放出的热量。

### 1.3.3 耐燃性和耐火性

材料的耐燃性是指材料对火焰和高温的抵抗能力。它是影响建筑物防火、结构耐火等级的重要因素。按照耐燃性等级,建筑材料分为不燃材料、难燃材料和易燃材料。一般而言,无机材料为不燃材料,包括钢材、玻璃、混凝土、陶瓷等;有机材料中,除聚氯乙烯为难燃材料之外,其他材料如未经阻燃处理,通常为易燃材料,如塑料、橡胶、沥青、木材等。这些材料经阻燃处理后,可成为难燃材料,但是一般无法成为不燃材料。我们对有机材料的使用,一定要注意其防火等级,要根据需求进行阻燃处理。

材料的耐火性是材料在火焰和高温作用下,保持其不被破坏、性能不明显下降的能力。耐火材料一般用于工业用途,如各类耐火砖等。

需要注意的是,无机材料虽然是不燃材料,但绝大多数却不能用作耐火材料,并且耐火性能比较差,典型的例子是钢材。钢材虽然不燃,但是它的耐火性差,高温之下力学强度损失很快,从而丧失其承受荷载的能力。

## 1.4 力学性质

建筑材料的力学性质包括强度、弹性与塑性、脆性与韧性、硬度与耐磨性等。

### 1.4.1 强度和比强度

材料的强度是材料在外力作用下抵抗破坏的能力,数值上等于材料受力破坏时单位受力面积上所承受的力,通常以材料在应力作用下失去承载能力时的极限应力来表示。

根据外力作用方式的不同,材料强度主要有抗拉、抗压、抗剪、抗弯(抗折)强度。常用的建筑材料受力情况如图 1-4 所示。

常用的建筑材料强度值见表 1-2。

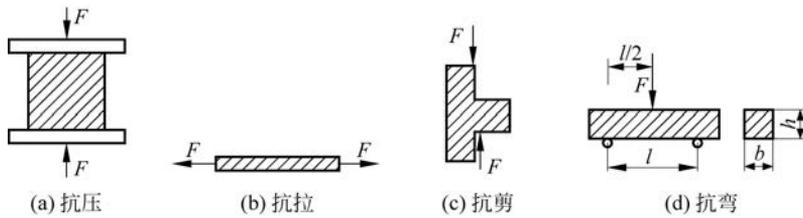


图 1-4 建筑材料受力示意图

表 1-2 常用的建筑材料强度值

单位: MPa

建筑材料名称	抗压强度	抗拉强度	抗弯强度	抗剪强度
钢材	215~1600	215~1600	215~1600	200~350
普通混凝土	10~100	1~8		2.5~3.5
普通烧结砖	7.5~30		1.8~4.0	1.8~4.0
花岗岩	100~250	5~8	10~14	13~19
松木(顺纹)	30~50	80~120	60~100	6.3~6.9

由表 1-2 可知,砖、石材、混凝土等建筑材料的抗压强度较高,而其抗拉及抗弯强度很低;木材则抗拉强度高于抗压强度;钢材的抗拉、抗压强度都很高。因此,砖、石材、混凝土等多用于房屋的墙和基础构件,钢材则适用于承受各种外力的构件。

相同种类的建筑材料,随着其孔隙率及构造特征的不同,其强度也有较大的差异。一般孔隙率越大的建筑材料强度越低,其强度与孔隙率具有近似直线的比例关系。

材料的比强度是按单位体积质量计算的材料强度,即材料的强度与其表观密度之比,是衡量材料轻质高强的一项重要指标。比强度越大,材料轻质高强的性能越好。优质的结构材料要求具有较高的比强度。轻质高强的材料是未来建筑材料发展的主要方向。几种常见建筑材料的比强度值见表 1-3。

表 1-3 几种常见建筑材料的比强度值

建筑材料	拉伸强度/MPa	表观密度/ $\text{kg} \cdot \text{cm}^{-3}$	比强度
环氧玻璃钢	500	1730	0.28
A3 钢	400	7850	0.05
高级合金钢	1280	8000	0.16
LY12 铝合金	420	2800	0.16
松木(顺纹抗拉)	10	500	0.20

### 1.4.2 弹性和塑性

材料在外力作用下产生变形,当外力取消后,材料变形消失并完全恢复原来形状的性质称为弹性。

材料在外力作用下产生变形,当外力消失后,仍保持变形后的形状尺寸,并且不产生裂缝的性质称为塑性,这种不能消失的变形称为塑性变形。

弹性变形属于可逆变形,其数值的大小等于应力除以应变,称为弹性模量。在弹性变形