

高等学校试用教材

建筑材料

王 浩 主编

中国铁道出版社

高等学校试用教材

建筑材料

王 浩 主编

中国铁道出版社

1980年·北京

高等学校试用教材

建筑材料

王 浩 主编

中国铁道出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本: 787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张: 12 字数: 297 千

1980年5月第1版 1980年5月第1次印刷

印数: 0001—18,000 册 定价: 1.25 元

前 言

本书是按照1978年4月全国铁道院校铁道工程专业《建筑材料》统编教材编写会议拟订的“建筑材料教材编写大纲”进行编写的。参加编写的教师，在总结过去多年教学经验的基础上，积极地吸收和精选了国内外同类教材的优点和材料科学方面新的研究成果，使得本书在理论和实验内容上，有了一个较大的改进。为了教与学的方便，本书将理论教学与实验教学两个部分合编为一册。

本书由长沙铁道学院王浩担任主编，西南交通大学郑盛娥、凤凌云负责主审。担任各章编写工作的是：

第一章 张绍麟（长沙铁道学院）

第二章 吴科如（上海铁道学院）

第三章 第一、二、四、五节 张绍麟、周士琼（长沙铁道学院）；第三节 吴科如（上海铁道学院）

第四章 第一节 吴科如（上海铁道学院）

第二节 王永逵（兰州铁道学院）

第五章 凤凌云（西南交通大学）、王采玉（长沙铁道学院）

第六章 王永逵（兰州铁道学院）

第七章 方佩莉（上海铁道学院）

建筑材料试验 张绍麟、王采玉、彭雅雅（长沙铁道学院），刘婉珍、吴科如（上海铁道学院）

在本书最后审稿和定稿期间，主审凤凌云与主编一同定稿，做了大量的工作。

由于我们的水平和经验有限，加之编写时间仓促，在内容和编排上，可能会出现不少的缺点和错误，希望使用本书的同志，提出宝贵意见。

编 者

1979年7月

目 录

第一篇 建筑材料

第一章 概论	1
§ 1—1 建筑材料与材料科学	1
§ 1—2 建筑材料的基本性质	2
§ 1—3 材料质量的波动	11
第二章 水泥	14
§ 2—1 硅酸盐水泥	14
§ 2—2 掺混合材料的硅酸盐水泥	26
§ 2—3 特种水泥	31
第三章 普通混凝土	36
§ 3—1 混凝土的组成材料	36
§ 3—2 混凝土的主要技术性质	44
§ 3—3 混凝土外加剂	63
§ 3—4 混凝土配合比设计	69
§ 3—5 混凝土的质量控制	77
第四章 其他混凝土与砌筑砂浆	83
§ 4—1 其他混凝土	83
§ 4—2 砌筑砂浆	89
第五章 建筑钢材	94
§ 5—1 钢的生产与分类	94
§ 5—2 铁碳合金的晶体组织与热处理概念	97
§ 5—3 钢的加工硬化与时效	102
§ 5—4 建筑钢材的技术性质	104
§ 5—5 建筑钢材的技术标准与选用	111
§ 5—6 钢的腐蚀与防锈	119
第六章 沥青与防水材料	122
§ 6—1 石油沥青	122
§ 6—2 煤沥青	125
§ 6—3 沥青防水材料	128
§ 6—4 沥青混凝土与沥青砂浆	133
第七章 建筑塑料	134
§ 7—1 建筑塑料简介	134
§ 7—2 几种常用粘结材料和嵌缝材料	139

第二篇 建筑材料试验

第一章 材料基本性质试验	145
§ 1—1 比重、容重和孔隙率的测定	145
§ 1—2 抗压强度试验	147
第二章 水泥试验	150
§ 2—1 水泥试验的一般规定	150
§ 2—2 水泥比重测定	150
§ 2—3 水泥细度检验	151
§ 2—4 水泥净浆标准稠度试验	152
§ 2—5 水泥凝结时间的测定	153
§ 2—6 水泥体积安定性检验	154
§ 2—7 水泥软练胶砂强度检验	155
附：水泥硬练胶砂强度检验	157
第三章 混凝土试验	159
§ 3—1 砂石材料试验	159
§ 3—2 新拌混凝土试验	166
§ 3—3 混凝土力学性能试验	172
附：混凝土非破损强度试验方法简介	176
第四章 建筑钢材试验	180
§ 4—1 钢的显微组织观察	180
§ 4—2 硬度试验	181
§ 4—3 冲击试验	185
§ 4—4 冷弯试验	186

第一篇 建筑材料

第一章 概 论

§ 1—1 建筑材料与材料科学

建筑材料的生产与使用，是随着社会生产力和材料科学水平的提高而逐步得到发展的。在原始社会里，人类只能依赖于大自然的赐予，利用泥土、砂石和树木来修建简单的房屋和桥梁。后来随着社会生产力的发展，人类懂得利用粘土来烧砖、瓦，利用岩石来烧石灰和石膏，从此才有最初的建筑材料生产。与此同时，木材的加工技术与金属的冶炼和应用，也都了一定的发展。延续到十八、十九世纪，随着社会生产力和自然科学的进一步发展，新型工业部门纷纷建立起来，推动了矿山、铁路、港口和城市建设工程的兴起和迅速发展。这些部门对建筑材料的巨大需求，使得建筑材料生产走向新的发展阶段，促使由手工业生产方式转向大型的工业生产方式。于是，先后出现了建筑钢材、水泥、混凝土和钢筋混凝土等材料。近几十年来，随着社会生产力更大的发展以及材料科学的迅速进步，建筑材料品种逐渐增多，质量不断提高，数量也是逐年增长。许多种具有特殊性能的钢材、水泥、混凝土、有机合成材料、防水材料以及各种复合材料等，都纷纷出现并得到发展和应用。建筑材料工业现已成为国民经济中的一个重要部门，因此任何一项建设工程都需要及时地提供数量多、质量好、品种齐全的建筑材料，才能保证各项基本建设的顺利进行。以铁路建设为例，修建一条Ⅰ级干线，在平原地区每一延长公里，平均需要各项材料6千余吨，山岳地区则需要1万5千余吨，材料费占工程总价的60~70%。从对材料的要求来说，严寒地区，材料应具有足够的耐冻性；有侵蚀性介质的地区，则要求材料具有良好的耐蚀性；对特大桥用的结构材料，则要求具有较高的强度；对一些特殊工厂和建筑，则需要具有特殊性能的材料。

由于建筑材料的质量，直接影响着建筑工程质量，因此，在选择和使用材料时，必须高度重视材料质量的检验。铁路工程结构物，暴露在严寒酷暑和大气雨水之中，如果局部遭到损坏，就可能牵动全线，影响通车。为了确保工程结构物的安全耐久，必须切实注意材料质量检验和经常的防护。对于新材料和代用材料的选用，要采取积极而又慎重的态度，使用前必须经过严格的技术鉴定。

为此，必须要求每一个工程技术人员了解各项材料的成分、结构以及生产、加工原理，掌握各种常用材料的技术性质、应用范围和检验方法，并能够查阅有关各种建筑材料的标准规范，同时，对材料的储运和防护方法，也应有所了解，以期切实做好本职工作。

在培养铁路工程专业技术人员的教育计划中，“建筑材料”是一门技术基础课。它的主要任务主要为建筑结构设计和施工等专业课程，提供建筑材料方面的理论知识，另一方面，为学生今后从事专业技术工作时，就材料选择、材料验收、质量鉴定、材料试验、储存运输、防腐处理以及试验研究等方面，打下必要的基础。

本课程着重讲述铁路工程中常用的几类主要建筑材料。在学习过程中，应以材料的技术

性质、应用范围和质量检验方法为重点，但也应注意了解材料成分、构造和生产加工过程对其性能的影响，注意各种性能间的有机联系；同时还必须重视试验课的学习，通过试验课，结合实际观察，加深和巩固理论知识，学习试验操作技术。

建筑材料的品种繁多，必须注意分析和比较同类材料不同品种的共性和特性，以及异类材料之间的显著相异点，以利于在选择材料时，能针对实际条件，作出明确的抉择。

按照化学成分建筑材料通常分为三大类：

无机质材料

金属材料包括黑色金属（如钢、铸铁等），有色金属（如铝、铜、镍等）

非金属材料，如砖、天然石料、水泥、混凝土等

有机质材料

植物质材料，如木材、竹材等

沥青材料，如石油沥青、煤沥青等

高分子材料，如橡胶、塑料等

复合材料，如钢筋混凝土、纤维配筋混凝土、玻璃钢等

§ 1—2 建筑材料的基本性质

建筑结构物是由多种建筑材料组合而成的。建筑材料在建筑结构物中所起的作用，因其所受荷载种类、所处部位和环境的不同而各有所侧重，例如，有的材料主要是承受荷载，有的起围护作用，有的则起隔热保温、装饰表面、防水防潮或防腐防火作用。工程设计、施工人员选用材料时，必须熟悉和掌握各种建筑材料技术性质的特点，才能合理选择，适当配合，以求符合建筑结构物安全、适用、耐久而又经济的设计要求。

建筑材料的技术性质是多种多样的，现从各种材料性能中选择一些带共同性的基本性质，引述一些初步概念，为结合具体材料深入讨论各项技术性质时打好基础。对建筑材料技术性质的要求，主要有下列两个方面：

（1）符合使用要求的物理性能和力学性能；

（2）在使用环境中保持性能安定的耐久性。

一、材料的物理性质

材料的物理性质，主要包括材料与重量、水、热有关的性质。

（一）与重量有关的性质

比重（ γ ）是材料在密实状态下单位体积的重量，可按下式计算。

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad (\text{克/厘米}^3 \text{或公斤/米}^3) \quad (1-1)$$

式中 G ——材料在干燥状态下的重量（克或公斤）；

V ——材料在密实状态下的体积（厘米³或米³）。

块体材料的“密实体积”，是指其中物质所占的体积，它不包括物质内部的孔隙。而混凝土所用的砂子、砾石、碎石等松散材料的密实体积，是指包括颗粒内部孔隙而不包括颗粒之间的空隙体积。为了加以区别，一般把前一方法测定的比重，叫做“真比重”；用后一种

方法测定的比重，称为“视比重”。

容重 (γ_0) 是材料在自然状态下 (包括孔隙或空隙在内) 单位体积的重量，可按下列式计算

$$\gamma_0 = \frac{G}{V_0} \quad (\text{克/厘米}^3 \text{ 或 公斤/米}^3) \quad (1-2)$$

式中 G ——材料重量 (克或公斤)；

V_0 ——材料在自然状态下的体积 (厘米³或米³)。

材料含有水分时，它的重量和体积都会发生变化。通常所指的材料容重，都以干燥状态为准，如果是在含水状态下测定的，就须注明含水状态。

砂、石等散粒材料，在颗粒间存在着空隙，故把这种材料的单位体积重量称为松散容重。

表 1—1 列举了几种常用建筑材料的容重。

几 种 常 用 建 筑 材 料 容 重

表 1—1

材 料	容重 (kg/m ³)	材 料	容重 (kg/m ³)	材 料	容重 (kg/m ³)
钢、铸 钢	7850	混 凝 土	2300~2400	沥 青 混 凝 土	2300
铸 铁	7250	钢 筋 混 凝 土	2400~2500	石 料	2400~2600
铝	2800	水 泥 砂 浆	2100~2200	道 床 砂、碎 石	1300~1700

孔隙率是指块体材料中的孔隙体积与总体积的百分比。

密实度是块体材料的密实体积与总体积之比。材料的孔隙率和密实度均可利用比重和容重计算出来。孔隙率的计算式如下

$$\rho = \left(1 - \frac{\gamma_0}{\gamma} \right) \times 100\% \quad (1-3)$$

式中的 $\frac{\gamma_0}{\gamma}$ ，即为密实度。容重 γ_0 与比重 γ 越接近，即 $\frac{\gamma_0}{\gamma}$ 越接近于 1，表明材料越密实。对同种材料来讲，较密实的材料，其强度较高，吸水率较小，导热系数较大。

散粒材料可用式 (1—3) 来计算空隙率，只是式中的容重，要以散粒材料的松散容重代入，比重要以视比重代入。这样算得的空隙率，是散粒材料颗粒之间的空隙百分率，而不是颗粒内部的孔隙百分率。

(二) 与水有关的性质

用作桥墩和基础等处于地下、水中或潮湿环境中的材料，以及用作屋面的防水材料，都是与水接触的。为了防止结构物或建筑物受到水介质的侵蚀而影响它的使用性能，必须研究材料与水有关的性质，以便正确地选用防水材料。

研究材料与水有关的性质，首先需要了解材料表面对水的吸附现象。材料能否被水润湿，与材料本身的性质，即亲水性或憎水性有关。

材料与其它介质接触的界面上具有表面能，表现为表面张力。每种材料都力图使这种表面能减至最小。当材料与水接触时，如果材料与原介质 (空气) 接触界面上的表面能，大于材料与水分接触界面上的表面能，则水分就能代替原介质而被材料表面所吸附。亦即当材料

分子与水分子间的相互作用力（吸附力），大于水分子之间的作用力（内聚力）时，则材料表面就能够吸附水而被水所湿润，反之亦然。材料表面对水分的吸附程度，可用润湿角来说明。

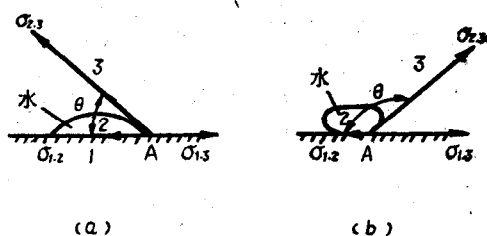


图 1—1 材料的亲水性和憎水性
a) 亲水性材料；b) 憎水性材料。

图 1—1 中的 A 点表示材料、水和空气三相的交点。在这个交点上有三种力在起作用：材料表面对空气介质的表面张力 $\sigma_{1,3}$ ，水分对空气介质的表面张力 $\sigma_{2,3}$ 和材料表面对水分的表面张力 $\sigma_{1,2}$ 。这三个力平衡的等式为：

$$\sigma_{1,3} = \sigma_{2,3} \cos \theta + \sigma_{1,2}$$

$$\cos \theta = \frac{\sigma_{1,3} - \sigma_{1,2}}{\sigma_{2,3}} \quad (1-4)$$

从式 (1—4) 可以看出，当 $\sigma_{1,2}$ 小于 $\sigma_{1,3}$ 时，则 $0 \leq \theta \leq 90^\circ$ ，这时材料表现出亲水性，即这种材料表面是可润湿的，因而被称为**亲水性**材料。如果 $\sigma_{1,2}$ 大于 $\sigma_{1,3}$ ，则 $90^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ ，材料表现为憎水性，即这种材料表面是不可润湿的，故而被称为**憎水性**材料。建筑材料中的木材，混凝土，砂、石等均为亲水性材料，沥青、石蜡等为憎水性材料。一般防水材料，必须是憎水性材料。

亲水性材料浸入水中时，其毛细管孔隙会吸收水分。毛细管的孔径越细，吸入的水分就越深，这种吸收水分的性质称为**吸水性**。吸水性的以吸水率表示。材料的吸水率常常以材料吸入的水量，占材料干燥重量或体积的百分数来表示：

$$\text{重量吸水率} \quad B = \frac{G_1 - G}{G} \times 100\% \quad (1-5)$$

$$\text{体积吸水率} \quad B' = \frac{G_1 - G}{V_0} \times 100\% \quad (1-6)$$

如果将以上两式相除，则可求得两者之间的关系：

$$B' = B \cdot \frac{G}{V_0} = B \cdot \gamma_0 \quad (1-7)$$

式中 G ——材料干燥状态下的重量（克或公斤）；

G_1 ——材料吸水后的重量（克或公斤）；

γ_0 ——材料的容重（克/厘米³或公斤/米³）；

V_0 ——材料的体积（厘米³或米³）。

在实用上，一般采用重量吸水率。吸水率通常是指吸水饱和状态下的饱和吸水率，非饱和状态下的吸水率，称为含水率。

材料的**吸水性**，主要取决于材料的亲水性还是憎水性，而且与孔隙率的大小和孔隙特征有关。水碰到憎水性材料，会形成水滴而流掉，不能润湿材料的表面。表面亲水而孔隙率又较大的材料，一般吸水性较大。分散而封闭的孔隙，水不能进入。大的开口孔隙或气泡，水能进入但却不易充满。因此按体积计算的吸水率，常较材料的孔隙率为小。具有很多开口而微小孔隙的材料，吸水能力特别大，例如，普通粘土砖的重量吸水率可达20%，而木材的重量吸水率甚至可达100%以上。密实的材料吸水率却很小，例如花岗岩的吸水率为0.5~0.7%，普通混凝土为2~3%。材料吸水后，对材料性能可能产生一系列的影响，例如使体积膨

胀，容重增加，强度降低，导热性能增大等等。有些材料（如混凝土），长期浸在没有压力的水中，反而有利于强度的继续增长。

在压力水作用下，材料抵抗水分渗透的性能，称为**抗渗性**。材料被压力水渗透，是在压力的作用下，水分透过材料内部孔隙的现象；而材料吸水是内部毛细管自然吸水的现象。一般地说，地下建筑物所用的防水材料以及屋面所用的材料，都要求具有较高的抗渗性。水下结构物或水工建筑物，经常处于一定的水压力作用下，所用材料的抗渗性往往都不够大，因而有必要采用抗渗性较大的防水材料来作防水层。

材料抗渗性的大小，与其孔隙率和孔隙特征有关。绝对密实的材料或具有封闭孔隙的材料，实际上是不透水的。具有连通孔隙且孔隙率较大的材料，一般抗渗性都较低。

材料在水作用下不发生破坏，同时强度也不显著降低的性质称为**耐水性**。材料的耐水性质用软化系数 K 来表示。

$$K = \frac{\text{材料在吸水饱和状态下的抗压强度}}{\text{材料在干燥状态下的抗压强度}}$$

K 值愈小，说明材料吸水后强度降低愈多，亦即耐水性愈差； K 值愈大，则表明耐水性愈好。故软化系数的大小，有时成为选用材料的主要依据。一般位于水中或潮湿环境中的重要结构物，其所用主要结构材料的软化系数 K 不得小于0.85~0.95；次要结构物或受潮较轻的结构物，要求材料的软化系数不得小于0.75~0.85。

（三）与热有关的性质

材料与热有关的性质，包括热传导性、比热和热膨胀系数等等。

材料或构件两侧表面存在着温度差时，热量可以由材料的一面传导到另一面的性质，叫做材料的**热传导性**。其大小一般用导热系数 λ 来表示。

设材料两侧的温度差为 $\Delta t = t_1 - t_2$ ，材料厚度为 D ，面积为 A ，则在稳定热流的传导下， Z 小时内通过材料内部的热量 Q 与温度差 Δt 、面积 A 以及时间 Z 成正比，与壁厚 D 成反比，即

$$Q = \lambda \cdot \frac{\Delta t}{D} \cdot Z \cdot A \quad \text{或} \quad \lambda = \frac{Q \cdot D}{\Delta t \cdot Z \cdot A} \quad (1-8)$$

由此可见，导热系数的物理意义乃是：厚度为1米，表面积为1平方米的材料，当两表面的温度差为 1°C 时在1小时内所传导的热量（大卡）。

对于密实材料来说，导热系数随着比重的提高而增大。多孔隙的材料则主要取决于容重。容重愈大，导热系数也愈大，但也与孔隙特征（孔隙的大小，是否封闭、分散还是连通等）有关。分散密闭的空气，导热系数最小， $\lambda = 0.02$ 大卡/米·度·小时；水的导热系数比它大25倍（ $\lambda = 0.50$ 大卡/米·度·小时），故隔热材料应尽量防止吸水受潮。当材料吸水受冻时，将更容易导热，因为冰的导热系数比密闭空气大100倍（ $\lambda = 2.0$ 大卡/米·度·小时）。

材料的导热性对于建筑物的外墙、楼盖和冷藏室等特殊结构物，具有重大意义。房屋建筑或北方冬季施工进行热工计算时，都要考虑材料的导热性。

重量为1克的材料在热的作用下，其温度升高 1°C 所需要的热量，称为这种材料的

几种材料的比热与导热系数 表 1—2

物 质	比热 C (cal/g·°C)	导热系数 λ (Kcal/m·°C·h)
水 (4°C)	1.00	0.50
铁、 钢	0.115	50
砖	0.19~0.21	0.60~0.75
混 凝 土	约0.20	1.1~1.3
木 材	约0.60	0.15~0.35
密闭空气	0.24	0.02

比热。水的比热最大, 约为 1 卡/克·度。常用的几种建筑材料的比热及导热系数列入表 1—2。

材料由于温度上升 1°C (或下降 1°C) 所引起的线度增长 (或线度缩短) 与它在 0°C 时的线度之比值, 叫做线膨胀系数。

线膨胀系数是计算材料在温度变化时引起的变形以及计算温度应力等的常用参数。

钢筋、混凝土及骨料岩石的线膨胀系数如下:

钢筋 $(10\sim 12) \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

混凝土 $(5.8\sim 12.6) \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

骨料岩石 $(6.3\sim 12.4) \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

二、材料的力学性质

(一) 强度的微观概念

材料的力学性质, 指的是材料在外力作用下有关强度和变形的性质。

材料的力学性质, 起源于材料质点之间既存在吸引力而又有排斥力。因此, 在自然状态下, 质点在整个系统中处于平衡状态。图 1—2 (a) 以 f 表示两质点间的相互作用力, 以 r 表示两质点间的距离。当 $r=r_0$ 时相互作用力为零, 这就是所谓的平衡点, 也就是材料不受外力作用时的初始平衡状态。如果加一外力, 使材料受到拉应力或压应力, 此时材料质点间的 f 与 r 的关系也会发生变化。这反映到宏观上来, 也就成为应力和应变的关系。具体地说, 当材料受压时, 两质点间的距离缩小, 使 $r < r_0$, 这时, 质点间的排斥力占优势, 这种排斥力使材料具有抵抗压缩的能力; 当材料受拉时, 两质点间的距离增大, 使 $r > r_0$, 这时, 两质点间的吸引力占优势, 这使得材料内部产生抵抗拉伸的内力而与外力相抗衡。直到 r 增大到 r_m , 这时抵抗拉伸的内力达到最大值 R_{max} 。这个最大值 R_{max} 就是材料的理论抗拉极限强度, 而 δ_{max} 则是其极限拉伸值, $\tan \alpha$ 是弹性模量。

理论研究还指出, 图 1—2 (a) 所示的两质点间相互作用力曲线, 可以通过能量计算把它变为图 1—2 (b) 的能量变化曲线。由图 1—2 (b) 可以看出, 当 $r=r_0$ 时, 两质点间净相互作用能量是一个最低值, 这个能量最低值 (V_{min}) 叫做两质点处于平衡状态的自然结合能。由此可知, 当加一外力使材料产生拉伸或压缩变形时, 两质点间的距离将会被拉开或缩短, 这时质点间的吸引力、排斥力与外力之间将建立新的平衡, 而当外力卸除后, 这种新的平衡又遭到破坏, 质点间富余的净相互作用能量将转化为功, 迫使质点回到原来的平衡位置, 亦即使质量间的距离发生回缩或回伸。这反映到宏观上, 也就出现材料外观形状的恢复。

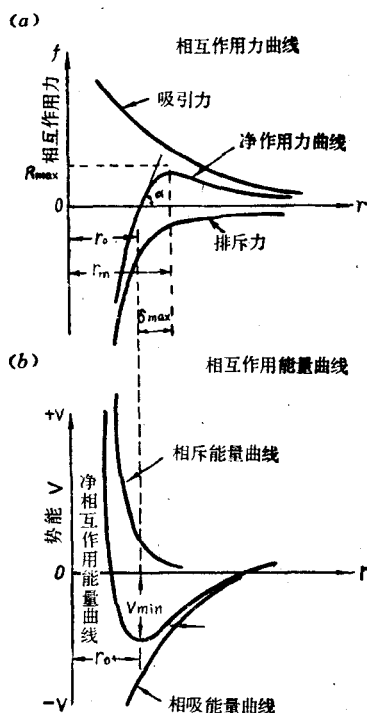


图 1—2 相互作用力曲线和相互作用能曲线

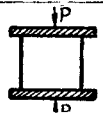
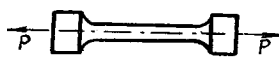
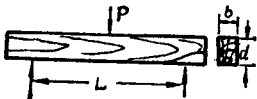
(二) 静力强度与比强度

材料实际上抵抗外力破坏的强度与上节所讲的理论强度之间存在着巨大的差异，这是由于各种材料在物质结构和构造上存在许多缺陷和疵病的缘故。其中特别是内部的微裂纹，受力时，在其边缘上会出现应力集中高峰，这使得材料在平均应力远小于理论强度的时候就发生断裂。材料在建筑物中所承受的外力，主要有拉、压、弯、剪四种，因此，材料抵抗外力破坏的强度也分为抗拉、抗压、抗弯和抗剪四种。这些强度一般是通过静力试验来测定的，故而总称为静力强度。表 1—3 列出各种强度的试验装置和计算公式。

脆性材料如砖、石、混凝土等，它们的抗压强度较高，而抗拉强度则很低，一般只有抗压强度的 $1/5 \sim 1/50$ 。弹塑性材料如金属，其抗压强度与抗拉强度接近相等。

静 力 强 度 分 类

表 1—3

强 度 类 别	试 验 装 置 举 例	计 算 式	附 注
抗压强度 (R_p)	混凝土 	$R_p = \frac{P}{A}$	P —破坏荷载 (kgf) A —受荷面积 (cm^2) L —跨度 (cm)
抗拉强度 (R_L)	钢 	$R_L = \frac{P}{A}$	b —断面宽度 (cm) d —断面高度 (cm)
抗剪强度 (R_z)	木材 	$R_z = \frac{P}{A}$	
抗弯强度 (R_w)	木材 	$R_w = \frac{3}{2} \frac{PL}{bd^2}$	

材料的静力强度主要决定于材料的成分、结构和构造。不同种类的材料，其静力强度不一样。就是同一类的材料，由于构造有所不同，其强度也会有所差异，例如疏松和孔隙率较大的材料，因受力的有效面积减小以及孔隙附近存在着应力集中，它们的强度一般都较低；又如某些具有层状或纤维状构造的材料在受力时将会表现出各向异性，即在不同方向其强度会显出较大的差异。至于结晶质材料，细晶质材料的强度往往高于粗晶质材料的强度。

除了内因以外，外界的因素对材料强度的试验结果也有很大的影响，例如试件的尺寸和形状、试验时的加荷速度、试验温度和湿度，以及试验时材料本身的含水量等等，均对试验结果有影响。以混凝土材料为例，同一种混凝土，其棱柱体的抗压强度试验值较同截面立方体试件的抗压强度值低，而同是立方体试件，截面尺寸越小所测得的抗压强度值越高，此外，加荷速度越快，测得的强度值越高。

因此，材料的静力强度，实际上只是在特定条件下测定的强度值，只能提供一定程度的相对强度指标。为了使试验结果比较准确而且具有互相比较的意义，每个国家都规定有统一的标准试验方法。测定材料强度时，必须严格按照规定的标准试验方法进行。

为了对不同的材料强度进行比较，可以采用比强度。比强度就是按单位重量计算的材料强度，其值等于材料的强度对其容重之比。它是衡量材料轻质高强性能的一个主要指标。以钢材、木材和混凝土的抗压强度来作比较，我们可求得三者的比强度如表 1—4 所示。

由表 1—4 可以看到，从比强度来看，钢材比混凝土强，而松木又比钢材强。这里值得

钢材、木材和混凝土的强度比较

表 1—4

材 料	容 重 (kg/m^3)	抗压强度 (kgf/cm^2)	比 强 度
低 碳 钢	7860	4200	0.53
松 木	500	350 (顺纹)	0.70
普 通 混 凝 土	2400	300	0.12

注意的是普通混凝土的比强度很低，这是由于它的容重过大，而强度又不高的缘故。因此，混凝土朝着轻质高强的方向发展，是非常必要而且又是可能做到的。

(三) 其它强度

冲击韧性 材料对于冲击荷载所表现的抵抗能力叫做冲击韧性。它有冲击抗拉，冲击抗压和冲击抗弯等等不同的形式。通常所作的冲击试验，是一种采用带有缺口的试件来进行的冲击弯曲试验。这是为了判定材料韧性而进行的试验。通过这种试验，可以根据破坏试件所需消耗的能量来判定材料韧性的大小。材料的韧性越大，表示它抵抗冲击荷载的破坏能力越强。

硬度是衡量材料力学性质的指标之一。因为测定方法比较简单而又无需破坏被测材料，所以在材料研究工作中常常被广泛采用。硬度实际上是材料表面的局部抗压强度，其定义是：材料在抵抗其它较硬物体压入时所显示的抵抗能力的大小。

测定材料硬度的方法有很多种，由于测定方法不同，硬度的涵义也有所不同，如根据测定方法可将硬度分为：压痕硬度、冲击硬度、回弹硬度、刻痕硬度等等。在材料检验方面，压痕硬度应用最广，但在用非破损方法测定混凝土强度时，有时就采用回弹硬度。利用材料硬度与其它力学性质的相互关系，可以由硬度大致推知其它力学性质。

(四) 材料的变形

各种材料在外力作用下，或在作用力改变时，都会出现变形。当外力卸除后，凡是能够完全恢复到原来状态的变形，称为**弹性变形**；不能恢复的变形，则称为**塑性变形**。而就材料的应力与应变的关系来说，大都可以根据它们的内部结构和质点结合的类型来加以预测。

弹性变形，对于某些材料来说，它们的弹性变形属于线型，而另一些材料都是属于非线性型的。图 1—3 列举三类典型材料的应力与应变曲线，其中阴影部分表示弹性变形。

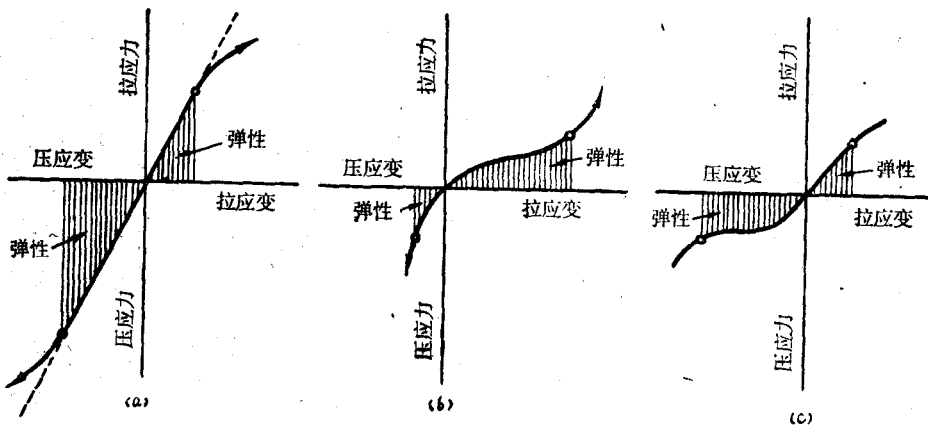


图 1—3 各类材料的弹性变形

(a) 晶体材料；(b) 弹性体材料；(c) 细胞质材料。

晶体材料如金属表现出线型弹性，它的应力与应变之比即弹性模量是很高的，这是由于作用应力受到很强的主价键（离子键、共价键和金属键）的抵抗的缘故。非晶体材料例如玻璃和具有交联链的高分子材料，如果变形从开始起就与主要化学键的方向相对时，也可能表现出线型弹性。

弹性体材料大都是带着少量交联链或不带交联链的长分子链聚合物，它们都表现出很高的非线性弹性，对它们施加很小的拉应力，就能够使它们产生很大的弹性变形，其原因这是由于其中弯曲的分子链容易被拉直。但是当分子链被拉直之后，再要拉伸，就会受到分子链之间的次价键结合力以及分子链内部的主价键结合力的抵抗。同样，很小的压应力，就能产生很大的弹性变形，其原因是弯曲的分子链很容易被卷曲而填充在内部间隙中。当内部有效空间减小之后，进一步压缩，就会受到分子链中主价键结合力的抵抗。这样一来，不论是受拉还是受压，它们的应力应变曲线的斜率，都会随着应力的增长而增大。

细胞质材料如木材，是由管状细胞顺着纵向排列组合而成的。当顺着纵向施加压力时，开始它在一定应力下产生较小的弹性变形，但当细胞壁开始向内发生横向的弹性弯曲后，它就很容易增大变形，而当细胞被压实之后，它就开始表现塑性变形。在纵向拉力作用下，由于细胞壁不会发生横向弯曲，因而它的弹性变形是接近于线型的。

塑性变形 对某些固体材料来说，它的弹性变形由于发生断裂而终结，而另一些材料，则在弹性变形之后，接着出现塑性变形。材料承受塑性变形的能力，使得结构物的构件在荷载超过弹性界限以屈服来代替断裂。碳素钢经过拉力或压力加工而变为钢丝、钢筋、型钢或钢板，就是因为碳素钢具有很大的塑性变形能力的缘故。正如图 1—4 所示，在 P 点以下为弹性范围，超过 P 点开始出现塑性变形，卸荷后所残留的一段变形 oa ，即为塑性变形。

塑性变形产生的原因与材料的组成、结构和构造有关，晶体材料多数是由于晶体内部的滑移；而细胞质材料在横向多数是由于管孔的压实等所引起。

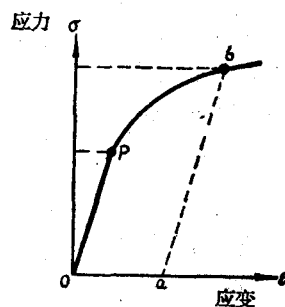


图 1—4 弹塑性变形

三、材料的耐久性

材料在使用过程中，除受到各种外力作用外，还要长期受到各种自然因素的破坏作用。这些破坏作用可概括为物理、化学和生物作用。

物理作用 包括材料所受的干湿变化，温度变化和冻融循环作用。这些变化会使材料发生体积的收缩和膨胀，或者使材料内部裂缝逐渐开展，久而久之，就会使材料发生破坏。

化学作用 包括酸、碱、盐等物质的水溶液和有害气体的侵蚀作用。这些侵蚀作用使材料逐渐发生质变而引起破坏。

生物作用 主要是指由于昆虫或菌类的危害所引起的破坏作用。

就使用中的建筑材料来说，它们所受到的破坏作用，常常不是一种，而是上述几种因素的联合作用。

无机质的非金属材料如石料和混凝土，在大气中主要是受到物理破坏作用。当处于水中

时,除物理作用外,还可能受到环境水的化学侵蚀作用。在严寒地区,还要受到冻害。在这几种因素的共同作用下往往使材料很快就发生严重的破坏。

无机质的金属材料,在大气和水中,主要是受到化学腐蚀作用,其后果是发生锈蚀。

有机质材料如木材,常常由于虫蛀或菌类所造成的腐朽而引起破坏。沥青材料在阳光、空气和热的作用下,常常由于老化而变脆开裂。

综上所述,所谓材料的耐久性,实际是指材料在上述各种因素的单独或联合作用下,经久而不易破坏也不易丧失原有性能的一种性质。耐久性实际上是一种综合性质,一般把材料的耐冻性、大气稳定性,抗化学侵蚀性都归入耐久性的范围。

四、材料的组成、结构、构造与性能的关系

影响材料性能的因素很多,有外界的,也有材料内部的,而材料的内部因素,即材料的组织结构对材料性质的影响是最基本的因素,起着决定性的作用。材料的组织结构,具体的讲,应包括材料的组成、结构与构造三方面的内容。

(一) 材料的组成

材料的组成是指材料的化学成分而言。各种建筑材料都具有一定的化学成分。材料所含的成分及其含量的多少既影响材料的物理力学性能,也影响材料抵抗外界侵蚀作用的化学稳定性。例如建筑钢材是用铁炼成的,容易生锈,如果炼钢时,加入适量的铬和镍,就可提高钢材的防锈能力;又如,在新拌混凝土中适当掺入某种外加剂,就可以改善或提高混凝土的某些技术性能。由此可见,材料的组成直接影响着材料的性能。在生产时,可以根据对材料性能的要求,调整其化学成分或改变其含量。使用时,应该结合使用条件,考虑材料的组成对性能的影响,根据材料组成来选用材料。

(二) 材料的结构

材料的许多物理力学性质如强度、弹性和塑性变形等都跟材料的结构状态有着密切关系。材料的结构可以分为晶体、玻璃体和胶体三种。

晶体结构 是由质点(离子、原子或分子)按照规则的几何形状排列而成的固体格子,具有各向异性,但是,由于材料通常是由许多细小晶体(称为晶粒)杂乱排列组成的,故往往显示出各向同性。晶体的另一个特点是具有很多滑移面。当晶体材料受到外力作用时,容易沿着这些滑移面滑动。晶体的外形、晶体内质点的密集程度和质点间的相互作用力,决定着晶体材料的基本性质。例如建筑钢材,晶格中的质点密集程度很高,质点间有金属键连结着,这使得钢材具有很大的塑性变形能力,也使得金属具有良好的导热性和导电性。如果晶格中质点的密集程度不高,则材料的变形能力很小,呈现出脆性固体的性质,如天然石料等。质点间的相互作用力与化学键的性质有关,一般是共价键(质点是原子)的结合力最大,离子键(质点是正负离子)次之,分子之间的结合力(质点是分子)最小。金属键(质点是正离子)的结合力则视电子数目而异,电子愈多,结合力愈大。至于晶粒的形状,一般是晶粒愈小,分布愈均匀,材料的强度愈高,因此,改变晶体的粗细和结构,可以使材料的性质发生变化,如,钢材通过热处理可以使晶粒细化,从而提高强度;钢筋冷拉可使金属晶体滑移或晶格歪扭,也可以达到提高强度的目的。

玻璃体结构 是属于无定形的物质,其中质点(原子或分子)的排列呈不规则形状。其特点是形状没有固定的几何特征,具有各向同性,破坏时没有解理面。它没有固定的熔点,

熔融时只出现软化现象。

玻璃体是由于熔融物冷却速度较快而形成的。当到达凝固温度时，它还具有很大的粘度，致使原子来不及按照一定的规则排列起来，就已经凝固成为固体，因而形成玻璃体结构。这种结构虽然是无定形的，但实际上也是由许多极微小的晶体——微晶体集合而成，只不过在凝固时，来不及定向排列而已。由于质点间的能量以内能的形式储存起来，这就使得玻璃体具有化学不稳定性。有些玻璃体物质表现具有一定的化学活性，就是这个道理。在建筑工程中具有玻璃体结构的火山灰、粒状高炉矿渣、烧粘土和某些天然岩石，由于具有一定的化学活性而常常被用来作为水泥的掺合料。

胶体结构 是一种细小的固体粒子（直径 $1\sim 100$ 微米）分散在介质中所组成的结构。由于胶体的质点很微小，其总的表面积很大，因而表面能也很大，故吸附能力很强，这就是胶体具有很大粘结力的原因。

胶体脱水或质点凝聚而产生凝胶。凝胶体具有固体的性质，而在长期应力作用下，却又具有粘性液体的流动性质。这是由于固体微粒为很薄的吸附薄膜所包围，这种薄膜越薄，凝胶体的刚性越大；吸附膜越厚，则流动性越大。混凝土的强度与变形等力学性能，都与水泥水化后所形成的凝胶体密切相关。天然岩石中的硅质砂岩，也是由硅胶的凝胶体作用将石英砂粒胶结而成的。

非晶体的材料，其体态与性质变化都比较大，它可以是变形能力很大的塑性胶体如沥青，也可以是变形能力很小的脆性固体如玻璃。这类材料的弹性变形和塑性变形，没有明显的划分界限，一般是同时产生可恢复的弹性变形和不可恢复的塑性变形。

（三）材料的构造

材料的构造是指它的宏观的组织状态而言，例如石料中的孔隙和层理等，就是指它的构造来说的。材料的性质除与材料的组成和结构有关外，也与材料的构造有着密切的关系。

同一种材料，构造越密实、越均匀，其强度越高。如果材料内部含有孔隙，则不但减少了有效的受力面积，而且受力时会在孔隙尖端出现应力集中现象，因而使强度降低，例如混凝土的孔隙率每增加 1% ，其强度就相应地降低 $3\sim 5\%$ 。层状和纤维状构造使材料具有各向异性，如木材的物理、力学性质均随木纹方向而改变。疏松多孔的材料则容重较小，强度较低，不容易导热。但材料性能又与孔隙的构造特征有关，开口连通的孔隙容易吸水，使侵蚀性介质容易侵入材料内部，故而耐冻性和耐久性都较差。

建筑材料的构造状态常常决定着它的使用性能。人们常常根据使用性能的要求，做成不同构造状态的材料，例如泡沫塑料和多孔的加气混凝土是很好的隔热保温材料，而要求承重的混凝土结构物或高强度混凝土则要求混凝土均匀密实。玻璃丝与塑料复合制成的增强塑料可以大大提高材料的抗拉强度。

综合上述，可见了解材料的组成、结构、构造与材料性质的关系是很重要的，这对于掌握材料性质、合理选用材料，或者进一步改善或提高材料的性能，都是必要的基本知识。

§ 1—3 材料质量的波动

建筑材料的质量，通常以它某一种或几种主要性质的试验数据来反映。例如普通混凝土一般以抗压强度和耐久性来反映；桥梁结构钢，则以抗拉强度和冲击韧性来反映。

建筑材料的技术性质，绝大多数可以通过试验来定量地测定。但是，用多个同种材料试