

中等专业学校教材



建筑材料

(第二版)

辽宁省水利学校 张丕和 主编



第二版前言

本教材按照1990~1995年《中等专业学校水利水电类专业教材选题和编审出版规划》和水利电力部教育司1988年4月颁布的中等专业学校水利水电专业的4年制建筑材料教学大纲编写的。

本教材是综合水利水电工程建筑、水利工程、农田水利工程、水利工程管理、水利工程管理与经济管理等专业建筑材料教学大纲内容编写的,教学时可按专业要求选用。

编写过程中贯彻理论与实践相结合的原则,为加强学生基本理论、基本技能和基本知识的训练,促进学生分析问题、解决问题能力的提高,力争做到内容精炼、叙理清楚、特色鲜明、文字通俗流畅、插图形神兼备,涉及到标准和规范的内容均采用现行国标、部标和规范。为便于学习,各章均设有思考与练习。为达到学以致用,在材料试验部分除编写了试验方法外,还在某一种原材料试验后编写了材料质量评定报告。兼顾某些专业需要,在单项试验之后增加了综合试验指导。

本教材由辽宁省水利学校张丕和主编,并编写绪论、第三、四、六章;郑州水利学校方秀凤编写第二、七、八章及建筑材料试验一、四、五;黄河水利学校李修亭编写第一、五、九章及建筑材料试验二、三、六。

本教材是由建材课程组教学研讨会编写大纲充分研究讨论修改后开始编写的,成稿后由编写组、课程组长、主审等汇稿讨论修改,并由黄河水利学校副教授王应鼎主审。

在编写过程中,兄弟学校的同行在课程教研会上对编写大纲提出了很多宝贵意见,黄河水校崔长江还提供部分手写材料,建材课程组副组长柳家鼎同志参加主持了汇稿讨论,为编写教材尽了不少力,辽宁水校崔瑞也参加了汇稿讨论,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者的水平有限,教材中的缺点和不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编者

1995年1月

第一版前言

1982年水利电力部颁发的中等专业学校水利工程建筑、农田水利工程专业教学计划和教学大纲规定,建筑材料作为技术基础课单独开课,并相应增加了课时。近几年我国相继颁发了新的标准、规范和规程。因此,1980年版的中专教材《水利工程施工》中有关建筑材料的内容,就不能适应需要。

本教材按照1983年水利电力部《一九八三~一九八七年中等专业学校水利电力类专业教材编审出版规划》和教学计划、教学大纲的要求,重新进行了编写。

编写过程中,参照我国现行的有关标准、规范、规程和参考资料,结合中等专业学校的教学实践,对课程体系和内容做了较大的改动。增加了材料的基本性质和砂浆两章内容,删去了陈旧、繁琐的内容,适当运用一些材料科学的基本理论,分析、类比、归纳了各类材料的性能,指出了发展趋向,并适当地引用了有关新的标准、规范、规程中有关建筑材料的技术要求和检验方法。为了便于学习,各章均设有思考与习题。

本教材按照兼顾水利工程建筑、农田水利工程专业教学大纲的要求编写,使用时可按专业要求选用。

本教材由黄河水利学校王应鼎主编,并编写绪论、第二、三、六章;辽宁水利学校张丕和编写第一、四、五章及附Ⅲ、附Ⅳ;福建水利电力学校方永钦编写第七、八章及附Ⅰ、附Ⅱ。

本教材初稿经课程教研会的教材研究会讨论修改后,由山东省水利学校邱忠良主审。

在编写过程中,水利水电科学研究院,特别是关英俊同志及时而热情地提供了宝贵的资料,兄弟学校对教材编写大纲和教材初稿也提出了宝贵意见,李修亭同志还参加了汇编讨论会。在此一并致以衷心的感谢。

限于编者的水平,遗漏和错误在所难免,请读者批评指正。

编者

1983年5月

目 录

第二版前言	
第一版前言	
绪 论	1
第一章 建筑材料的基本性质.....	3
第一节 材料的组成、结构和构造.....	3
第二节 材料的物理性质.....	4
第三节 材料的力学性质.....	8
第四节 材料的耐久性.....	10
第二章 砖石材料	13
第一节 烧结普通砖.....	13
第二节 天然石材.....	15
第三章 无机胶凝材料	18
第一节 石灰.....	18
第二节 水玻璃.....	20
第三节 石膏.....	20
第四节 硅酸盐水泥.....	21
第五节 掺混合材料水泥.....	31
第六节 其他品种水泥.....	36
第七节 水泥的保管.....	41
第四章 混凝土	44
第一节 混凝土组成材料.....	45
第二节 混凝土的主要技术性质.....	53
第三节 混凝土外加剂.....	68
第四节 混凝土配合比设计.....	76
第五节 混凝土质量控制.....	84
第六节 其他水泥混凝土.....	90
第五章 砂浆	95
第一节 砂浆的技术性质.....	95
第二节 砌筑砂浆配合比选择.....	98
第三节 其它砂浆.....	99
第六章 沥青及沥青防水材料	102
第一节 沥青材料.....	102
第二节 沥青防水材料.....	108
第三节 水工沥青混合料.....	112
第七章 合成树脂	122
第一节 合成树脂的概念及分类.....	122

第二节	水工常用的合成树脂·····	123
第三节	聚合物混凝土·····	124
第四节	化学灌浆材料·····	127
第五节	建筑胶粘剂及涂料·····	128
第八章	建筑钢材·····	130
第一节	钢的冶炼与分类·····	130
第二节	建筑钢材的技术性质·····	131
第三节	化学元素对钢性能的影响·····	134
第四节	建筑钢的技术标准及应用·····	135
第五节	钢筋和钢丝·····	138
第九章	木材·····	143
第一节	树木的分类及木质组织构造·····	143
第二节	木材的物理力学性质·····	144
第三节	木材的缺陷·····	147
第四节	木材的应用·····	147
建筑材料试验	·····	150
试验一	水泥试验·····	150
试验二	水泥混凝土试验·····	160
试验三	砂浆试验·····	181
试验四	沥青牌号鉴定试验·····	185
试验五	钢筋试验·····	190
试验六	综合试验指导书·····	195
附录	我国法定计量单位与公制的换算关系·····	198
参考文献	·····	200

绪 论

建筑材料是指各项建筑工程中所应用的材料，如水泥、木材、钢材等。建筑材料可分为三大类：第一类为非金属材料，它又分为无机材料（如水泥、砖、瓦、石材等）和有机材料（如木材、竹材、沥青、合成高分子材料等）；第二类为金属材料，它包括黑色金属（如钢铁材料）和有色金属材料（如铝、铜、锌、锡等钢铁以外的金属材料）；第三类为复合材料（如混凝土、建筑塑料、层压板等）。

建筑业是国民经济的支柱之一，而建筑材料是建筑业重要的物质基础，因此，建筑材料产品的数量及质量直接影响着建筑业的进步和国民经济的发展。在各项建筑工程总造价中，材料费占很大的比重，可达50%~70%。建筑材料的性能、质量、品种及规格，直接影响着建筑结构形式、使用年限和施工方法，各种建筑物的质量和造价在很大程度上取决于正确地选择和合理地使用建筑材料。建筑工程中许多技术问题的突破，往往依赖于建筑材料问题的解决；而新建筑材料的出现，又往往促进了结构设计及施工技术的革新和发展。因此，建筑材料生产及科学技术的迅速发展，对于社会主义现代化建设，具有十分重要的意义。

建筑材料是随着人类社会的发展而发展的，建筑材料在社会发展的所有阶段中，成为人类物质文明的重要标志之一。在漫长的奴隶社会和封建社会中，建筑材料的进步都是相当缓慢的，直到19世纪，资本主义各国先后发生工业革命之后，建筑材料工业才出现较快的发展，钢材、水泥被广泛地用于建筑工程，使建筑业的发展进入一个新阶段。进入20世纪，新建筑材料（如塑料、复合材料等）陆续出现，传统材料的性能不断地得到改进，大大加速了建筑业的发展。

我国古代在建筑材料的生产和使用方面，曾经取得重大成就，在金属冶炼、木材防腐和陶瓷工艺等方面，都曾居世界领先地位。2000多年前用粘土、砖、石等修建了举世闻名的万里长城；用粘土、石料、木材、竹材等修建了灌溉川西平原的都江堰，为世界建筑材料的进步和建筑业的发展作出了巨大的贡献。但是，由于长期的封建社会和半封建半殖民地社会，严重阻碍了生产力的发展，直到解放前夕，还只能生产品种不多，质量较低、数量很少的建筑材料，远落后于工业先进国家。1949年解放后，才逐步建立起一个初具规模的建筑材料工业体系，建筑材料的研究和生产得到了较快的发展。特别是在党的十一届三中全会以来，执行改革和开放政策，发展更为迅速。例如，水泥已由1个品种发展到70多个品种，到1985年年产量已居世界之首，由解放前最高不过320万t提高到1991年的2.48亿t，增加70多倍；钢已由解放前最高年产量的92万t提高到1991年的7000多万t，增加70多倍，居世界第四位。新型材料、装饰材料、防水材料、建筑塑料等都得到较大发展。虽然与工业先进国家相比，不论在生产工艺、产品质量、人均产值和品种配套等方面仍然存在较大差距，但随着科学技术的发展，建筑材料必将有更大的发展，正在向轻质、高强、耐久、

开发利用工业废料和地方材料发展。另一方面坚持自力更生、勤俭建国的方针，在保证工程质量的前提下，尽量节约材料。这就要求做到因地制宜、就地取材、合理选用材料，提高材料效能，减少材料用量，加强管理、减少材料损耗。

本课程在教学计划中是一门技术基础课，主要阐述水利工程常用建筑材料。本课程的任务：一方面为学习专业课提供必要的基础知识，另一方面为建筑材料的调查、合理使用、性能改进，提供一定的理论知识和基本试验技能。

学习时应着重掌握材料的性质及其应用。在材料性质上，应了解建筑材料在建筑物中的作用及应用具备的性能，了解材料组成及结构和外界因素对材料技术性质的影响，各主要技术性质间的相互关系以及改进途径等，初步掌握常用建筑材料质量鉴定的原理和技能。在材料应用上，能根据工程要求合理地选用、运输和保管材料。

在学习过程中，要贯彻理论联系实际的原则，加强实践环节，重视试验课，把习题与解决工程中实际问题结合起来，注意提高分析问题、解决问题的能力。

第一章 建筑材料的基本性质

建筑材料在建筑物中，要承受各种外力及环境的物理、化学等因素的作用。如承重材料要受到力的作用；防水材料经常受水的侵蚀等等。这些都是促使材料破坏的因素。在选择和使用材料时，必须了解材料在建筑物中所处的条件，从而在性能上满足使用要求。因此，掌握各种材料的技术性质是非常重要的。

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性的基本性质，列举一些初步概念，为深入讨论各种材料的技术性质打好基础。

第一节 材料的组成、结构和构造

一、材料的组成成分

材料的性质取决于材料的成分。如在炼钢时，加入适量的铬和镍，钢材就不易生锈；在混凝土中掺入外加剂或混合材料，可改善混凝土的性能。由此可见，掌握成分对材料性质的影响，就可在制造或使用过程中调整材料的成分，以达到符合技术要求的性能。

二、材料的结构

材料的结构是指其微观组织而言，可分为晶体、玻璃体和胶体三种结构形式。

（一）晶体结构

晶体结构是由离子、原子或分子等质点在空间按照规则的几何形状排列而成的固体格子组成的，称为晶格。组成晶格的最基本单元叫晶胞。晶格具有各向异性的性质。而在晶体材料中由大量晶胞形成的晶粒是杂乱排列的，所以晶体材料又是各向同性的。材料的性质受晶粒的排列方式、晶格中质点密集程度和各质点的相互结合力的影响。晶格中质点密集程度很高的材料，其塑性变形能力很强（如钢材）呈现塑性。反之，则材料的变形能力很小，呈现脆性（如天然石料）。从晶体材料的整体看，晶粒越小，分布的越均匀，材料的强度越高。所以在使用钢材时常采用热处理的方法使晶粒细化，或对钢筋进行冷加工使晶体滑动和晶格扭曲，都能达到提高强度的目的。

（二）玻璃体结构

玻璃体结构是晶体物质经加热熔融后，使其骤然冷却到低于凝固点温度时，熔融体内部质点来不及有规则的排列，便凝固成固体，这种结构形态称为玻璃体。因玻璃体的质点排列没有一定规律性，无固定的几何形状，显示各向同性，没有固定的熔点，熔融时只出现软化现象。

玻璃体形成时没有结晶放热过程，在其内部储存着大量的内能，因而呈现出化学不稳定性，故具有较高的化学活性。如硅酸盐水泥中掺用的粒化高炉矿渣、火山灰、粉煤灰、硅灰等都属于这类物质。

(三) 胶体结构

胶体结构是指含有粒径为 $10^{-6} \sim 10^{-4} \text{ m}$ 的固体颗粒分散在介质中的分散体系组成的结构。分散介质为液体时的胶体称为溶胶。

胶体的微小胶粒其总表面积很大，因此具有很大的表面能，吸附能力很强；胶粒之间也有相互吸引凝聚的能力；所以胶体有很大的粘结力。当胶粒凝聚后构成连续的网状结构，包围了全部液体，使分散体系失去流动性，成为半固体状态时，称为凝胶。

一般凝胶体均有触变性，即在搅拌、振动力作用下凝胶变成溶胶而恢复其流动性。当外力除去后，则又缓慢恢复为凝胶。新拌的水泥浆、石灰浆等都具有触变性。

三、材料的构造

材料的构造是指材料的宏观组织状态。由于材料的质点排列不同，有层状、纤维状、致密状及多孔状等构造。

材料的性质除受成分及结构的影响外，还与材料的构造有密切关系。材料构造越密实、越均匀，其表面密度越大、强度越高。如混凝土的孔隙率每增加1%，其强度降低3%~5%。具有层状或纤维状构造的材料，由于质点排列是有方向性的，常表现为各向异性。如木材顺纹与横纹的强度相差很大，云母很易分离成薄片等。

第二节 材料的物理性质

一、与质量有关的性质

(一) 密度与视密度

(1) 密度(比重) 密度是材料在绝对密实状态下单位体积的质量。按下式计算：

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

式中 ρ ——材料的密度， g/cm^3 或 kg/m^3 ；

m ——材料在干燥状态下的质量， g 或 kg ；

V ——材料在绝对密实状态下的体积，称绝对体积， cm^3 或 m^3 。

(2) 视密度(视比重) 视密度是指散粒材料的密度。当测定散粒材料(砂子、石子等)的密度时，其计算体积是指颗粒的体积(包括颗粒内部所含的封闭孔隙)，算得的密度称为视密度。计算公式与密度相同。

(二) 表现密度及堆密度

表现密度(容重)是指材料在自然状态下单位体积的质量。按下式计算：

$$\rho_0 = \frac{m}{V_0} \quad (1-2)$$

式中 ρ_0 ——材料的表现密度， g/cm^3 或 kg/m^3 ；

V_0 ——材料在自然状态下的体积， cm^3 或 m^3 ；

m ——材料的质量， g 或 kg 。

对于块体材料，其自然状态下的体积是包含内部孔隙在内的外观体积；而对于散粒材

料，其自然状态下的体积是包含颗粒及颗粒之间的空隙在内的总体积。因散粒材料呈松散堆积状态，故所测的密度称为堆密度。

当材料含有水分时，影响表观密度的测定值，因此测定材料的表观密度，必须注明其含水情况。如含水饱和状态、饱和面干状态、风干状态及干燥状态等。

(三) 孔隙率及空隙率

(1) 孔隙率 孔隙率是指材料孔隙体积占总体积的百分率。按下式计算：

$$P = \frac{V_0 - V}{V_0} \times 100\%$$

式中 P ——材料的孔隙率， $\%$ ；

V_0 ——材料在自然状态下的体积， cm^3 或 m^3 ；

V ——材料在绝对密实状态下的体积， cm^3 或 m^3 。

将式 (1-1) 及式 (1-2) 代入上式简化后得：

$$P = \left(1 - \frac{\rho_s}{\rho} \right) \times 100\% \tag{1-3}$$

(2) 空隙率 是指散粒材料颗粒之间的空隙体积与总体积之比的百分率。计算时仍可用式 (1-3)，只是式中 ρ 为视密度、 ρ_0 为堆密度、 P 为空隙率。

材料的密度决定于材料的成分及微观结构。表观密度及孔隙率决定于材料的构造。材料的密度、表观密度和孔隙率是材料最基本的物理性质。

密度和表观密度除用来计算材料的体积、孔隙率外，还可以衡量材料质量。材料孔隙率的大小及孔隙特征（开口、闭口、是否连通）是影响同种材料的强度、耐久性和热学性质的主要因素。表1-1列出几种常用材料的密度、表观密度及孔隙率。

表 1-1 几种常用材料的密度、表观密度及孔隙率

材 料	密 度 (g/cm^3)	表 观 密 度 (kg/m^3)	孔 隙 率 ($\%$)
花 岗 岩	2.6~2.9	2500~2800	0.5~1.0
普通粘土砖	2.5~2.8	1500~1800	20~40
普通混凝土		2300~2500	5~20
沥青混合料		2300~2400	2~4
松 木	1.55	380~700	55~75
钢 材	7.85	7850	0

二、与水有关的性质

(一) 亲水性与憎水性

建筑材料在使用过程中，常遇到水。不同的材料与水的相互作用是不一样的。有的材料遇水后，能够很快将水吸入内部或使水滴在材料表面摊开，被水润湿，这种性质称为亲水性。如图1-1(a)。另一些材料遇水后水滴在材料表面呈水珠状态存在，不易被水润湿，这种性质称为憎水性。如图1-1(b)。

当材料、水和空气接触平衡时，在三相交点处，沿水滴表面引切线与材料和水所形成

的夹角 (θ) 称湿润角。当 $0^\circ < \theta < 90^\circ$ 时, 说明材料分子与水分子之间的相互吸引力大于水分子的内聚力, 材料易被水湿润; 当 $90^\circ < \theta < 180^\circ$ 时, 说明材料分子与水分子之间的相互吸引力小于水分子的内聚力, 材料不易被水湿润。前者属于亲水性材料, 后者属于憎水性材料。建筑工程中使用的木材、砖、混凝土、砂、石等都是亲水性材料; 沥青、石蜡、合成树脂、橡胶等是憎水性材料。亲水性材料能将水分吸入毛细孔内部, 吸水性较大, 并且容易使其强度降低或遭受腐蚀; 憎水性材料能阻止水的渗入, 吸水性差。



图 1-1 材料润湿示意图

(a) 亲水性材料; (b) 憎水性材料

(二) 吸水性和吸湿性

吸水性是指材料在水中吸水的能力。由于材料的亲水性与开口孔隙的存在, 大多数材料具有吸水性。吸水性的用吸水率表示。有质量吸水率与体积吸水率之分。

质量吸水率是指材料所吸水的质量占材料干质量的百分数。按下式计算:

$$w_s = \frac{m_s - m_d}{m_d} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中 w_s ——材料的质量吸水率, %;

m_s ——材料吸水饱和后的质量, g;

m_d ——干燥材料的质量, g。

体积吸水率是指材料孔隙被水充满的程度。对于某些轻质材料, 因质量吸水率常超过 100%, 最好用体积吸水率表示吸水性。

材料的吸水性与孔隙率大小及孔隙特征有关。一般说材料的孔隙率越大, 吸水性越强。但封闭的孔隙, 水分不易进入; 粗大的孔隙水分不易存留, 吸水率均较小; 具有很多开口且微小孔隙的材料, 其吸水率较大。

材料在空气中具有吸收空气中水分的性质, 称为吸湿性。吸湿性大小用含水率表示, 按下式计算:

$$w_h = \frac{m_h - m_d}{m_d} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中 w_h ——材料的含水率, %;

m_h ——材料含水时的质量, g;

m_d ——材料烘干至恒重时的质量, g。

材料的吸水率对某一种材料为一定值, 而含水率则随空气的湿度而改变。干的材料能够吸收空气中的水分而变湿; 湿的材料在空气中能够失去水分, 而逐渐变干; 最终使材料中的水分与周围空气中的湿度达到平衡, 而处于气干状态, 这时的含水率称为平衡含水率。平衡含水率随温度、湿度的变化而改变。

材料吸水后, 性能会改变。如材料的强度下降、体积膨胀、表观密度增加等。

(三) 抗渗性

在压力水作用下, 材料抵抗水渗透的能力, 称为抗渗性。材料的抗渗性常以渗透系数表示。根据达西定律, 压力水通过试件流出时, 在一定时间 t 内, 透过材料试件的水量 Q

与试件的断面积 A 及水头 H 成正比, 与试件高度 d 成反比。可按下式计算:

$$K = \frac{Q}{At} \cdot \frac{d}{H} \quad (1-6)$$

式中 K ——渗透系数, $\text{mL}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$ 或 cm/s ;

Q ——渗水量, mL ;

d ——试件高度, cm ;

H ——作用水头, cm 。

材料的抗渗性也可用抗渗标号表示。详见第四章。

材料的抗渗性与材料的孔隙率、孔隙特征及亲水性质有关。绝对密实的材料或具有封闭孔隙的材料, 基本上是不透水的。憎水性材料抗渗性较强; 亲水性材料抗渗性较差。

地下建筑及水利工程, 因常受压力水的作用, 要求具有较高的抗渗性。

(四) 耐水性

材料在长期饱和水作用下不破坏, 强度也不显著降低的性质, 称为耐水性。一般材料在含有水分时, 会减弱材料内部质点间的结合力, 从而使强度降低。材料的耐水性用软化系数 K_s 表示。

$$K_s = \frac{f_s}{f_d} \quad (1-7)$$

式中 f_s ——材料在含水状态下的抗压强度, MPa ;

f_d ——材料在干燥状态下的抗压强度, MPa 。

软化系数越大, 表明材料的耐水性越强。对于水中建筑物, 常要求软化系数大于 0.85 ~ 0.90, 位于潮湿环境中的建筑物软化系数也不宜小于 0.70 ~ 0.80。

三、与热有关的性质

(一) 导热性

材料传导热量的性质, 称为导热性, 其大小用导热系数表示。单位厚度的材料, 当两面温度差为 1 K 时, 在单位时间内通过单位面积的热量称为导热系数, 按下式计算:

$$\lambda = \frac{Qd}{(t_2 - t_1)AZ} \quad (1-8)$$

式中 λ ——导热系数, $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$;

Q ——传导的热量, J ;

$t_2 - t_1$ ——材料两侧温度差, K ;

d ——材料厚度, m ;

A ——传热面积, m^2 ;

Z ——导热时间, h 。

材料的导热系数除与材料的成分有关外, 还取决于材料孔隙率、孔隙特征及含水量。材料的孔隙率越大, 其导热系数越小; 具有微细或封闭空隙的材料比具有粗大或连通孔隙的材料导热系数要小。当材料的含水量增加时, 其导热系数也随之增大。材料导热系数大小是衡量保温材料性能优劣的主要依据。一般将导热系数小于 $0.15 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 的材料称为保

温或绝热材料。

(二) 蓄热性

材料受热时吸收热量, 冷却时放出热量的性质称为蓄热性。其大小用比热表示。即1 g 材料温度升高(或降低) 1 K 时所吸收(或放出) 的热量。不同材料的比热不同, 即使是成分相同的材料, 由于形态不同, 比热也不相同。如水的比热为 $4.186 \times 10^3 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$, 而结成冰后的比热则是 $2.093 \times 10^3 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 。

材料的比热, 对保持建筑物内温度稳定有一定的意义。比热大的材料, 能在热流变动或采暖不均匀时, 缓和建筑物内的温度变化。

(三) 热胀性

材料受热时膨胀, 冷却时收缩的性质, 称为热胀性。热胀性的大小用线膨胀系数表示。

线膨胀系数是材料由于温度上升(或下降) 1 K 所引起的长度增长(或缩短) 与其在273 K 时的长度的比值。如钢筋的线膨胀系数为 $10 \times 10^{-6} \sim 12 \times 10^{-6}/\text{K}$, 混凝土的线膨胀系数为 $5.8 \times 10^{-6} \sim 12.6 \times 10^{-6}/\text{K}$ 。

线膨胀系数是计算材料在温度变化时, 所引起的变形及温度应力时的参数。

第三节 材料的力学性质

材料的力学性质, 是指材料在外力作用下, 抵抗破坏的能力和产生形变的性质。

一、强度

材料在外力作用下抵抗破坏的能力, 称为强度。

(一) 理论强度

从材料的微观分析, 材料的质点间(离子、原子)都存在着相互吸引力与排斥力, 并与质点间的距离有关, 如图1-2所示。以 f 表示两质点间的相互作用力, 以 s 表示两质点间的距离, 上曲线为引力, 下曲线为斥力, 中间曲线为净作用力(合力 f)。当材料处于自然状态时, 由于质点间吸引力与排斥力相等而净作用力 $f=0$, 质点间的距离 $s=s_0$, s 称为平衡距离。当材料受压时, 两质点间的距离缩短, 使 $s < s_0$, 此时排斥力使质点具有抵抗压缩的能力; 当材料受拉时, 使 $s > s_0$, 质点间吸引力使质点具有抵抗拉伸的能力。当拉力增大, s 达到 s_m 时, 拉力达到最大值 f_m , 对于材料的单位面积来说, f_m 即是材料的理论抗拉极限强度。

(二) 实际强度

由于实际材料的结构及构造上往往存在着许多缺陷, 如晶体缺陷和裂缝, 特别是材料内部的微细裂纹, 受力时在其边缘上会出现应力集中, 使材料的实际强度远小于其理论强度。这是材料学的重要研究课题。

根据外力作用方式不同, 材料的强度有抗拉、抗压、抗弯及抗剪等, 如图1-3。

材料抗拉、抗压、抗剪强度按下式计算:

$$f_c = \frac{F}{A} \quad (1-9)$$

式中 f_c ——抗压、抗拉、抗剪强度, MPa;
 F ——材料受压、拉、剪破坏时的荷载, N;
 A ——材料的受力面积, mm²。

材料的抗弯强度 (即抗折强度) 的计算与材料的受力情况有关。当外力是作用于试件中心的集中荷载, 而试件断面是矩形时, 如图1-3 (c)所示, 抗弯强度可按式计算:

$$f_m = \frac{3FL}{2bh^2} \quad (1-10)$$

式中 f_m ——抗弯强度, MPa;
 F ——受弯时破坏荷载, N;
 L ——两支点间的距离, mm;
 b, h ——材料截面的宽、高, mm。

材料强度的大小除决定于材料的成分、结构和构造外, 还与试验条件及试件形状、尺寸有关。例如脆性材料轴心受压时, 一般大试件较小试件强度低; 棱柱体试件比立方体试件强度低。试验时温度高、湿度大时, 材料强度偏低。加荷速度过快, 试件的应变增加速度

滞后于应力增加速度时, 则试件的强度较高。

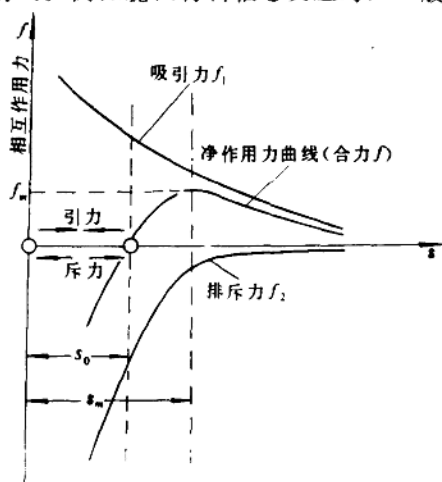


图 1-2 质点间相互作用力曲线

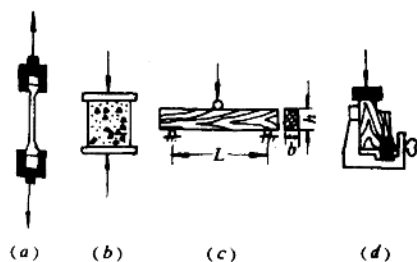


图 1-3 材料承受外力示意图

(a) 抗拉; (b) 抗压; (c) 抗弯; (d) 抗剪

强度是材料的主要技术性质, 不同种类材料的强度, 可按规定的不同标准试验方法通过试验确定。

(三) 其它强度

(1) 冲击韧性 材料抵抗冲击力破坏的能力, 称为冲击韧性。韧性大小以材料受冲击破坏时所消耗的能量表示。韧性大的材料抗震性能好, 用于桥梁、桩等的材料, 应具有较高的抗冲击韧性。

(2) 硬度 材料抵抗其它较硬物体压入的能力, 称为硬度。硬度与强度有关, 硬度较大的材料, 其强度也较高。因此, 当有些材料因条件所限, 不能直接测强度时, 可间接用硬度推算其强度近似值。如测定混凝土结构的强度时, 可采用回弹硬度值来推算其强度,

而无需进行破坏试验。硬度大的材料耐磨性强,但不易加工。

(3) 抗冲磨性 材料抵抗水砂等冲击磨损的能力称为抗冲磨性。抗冲磨性的大小与材料的硬度、强度、内部构造及表面特征等有密切关系。硬度大、强度高、构造均匀、致密、表面光滑的材料抗冲磨性强。

处于水工建筑物的溢流坝面、输水隧洞、溢洪道等部位的材料,经常受高速挟砂水流的冲刷作用,因此应采用抗冲磨性强的材料。

二、变形

材料在外力作用下,发生的体积和形状的变化,称为材料的变形。

(一) 弹性变形

材料在外力作用下产生变形,当外力除去后能够恢复到原有形状的变形称为弹性变形。产生弹性变形是由于外力改变了材料内部质点间的平衡位置。当外力尚未超过一定限度时,外力仅能改变质点间的位置而转变成内能,当外力除去后,内能做功,质点可恢复到原有位置,变形消失。

(二) 塑性变形

材料在外力作用下产生变形,当外力除去后,材料不能恢复到原有形状的变形,称为塑性变形。产生塑性变形是由于作用于材料的外力超过了一定限度,造成材料内部结构发生破坏,外力所做的功未转变为内能,而是消耗于部分结构的破坏,因而变形不会恢复。

根据材料在破坏前塑性变形的显著与否,将材料分为塑性材料与脆性材料两类。塑性材料是指在破坏前有显著变形的材料,如低碳钢、有色金属及沥青等。在破坏前无显著塑性变形的材料,称为脆性材料,如石料、混凝土及生铁等。脆性材料的抗拉强度比抗压强度小的多,常用于受压构件。

(三) 徐变

固体材料在恒定持续荷载长期作用下,变形随时间增加而缓慢增加的性能,称为徐变。徐变开始增长很快,以后渐慢。

产生徐变的原因对于晶体材料是由于长期荷载作用下晶格错动或滑移;非晶体材料则是由于粘性物质产生流动的结果。徐变现象还与温度有关。一般情况下,温度越高,则其徐变越大。如金属材料、沥青材料等在较高温度下,将会产生显著的徐变。

第四节 材料的耐久性

材料在使用过程中,除受到各种外力作用外,还会受到各种自然因素的破坏作用。这些破坏作用可归纳为物理作用、化学作用及生物作用等。

物理作用包括干湿交替、温度变化及冻融循环等。干湿交替及温度变化会引起材料收缩或膨胀,时间久了就会使材料逐渐破坏。在寒冷地区,冻融变化对材料的破坏作用甚为严重。

化学作用包括酸、碱、盐等物质的水溶液及气体与材料发生作用,逐渐生成新物质而使材料的强度降低或破坏。

生物作用是昆虫、菌类对材料的蛀蚀、腐蚀所引起的破坏作用。

一般矿质材料，如石料、砖、混凝土及砂浆等主要是受物理破坏作用。当处于水中或水位变化区时，还要受到环境的化学侵蚀作用。对于各种金属材料，主要是受化学侵蚀作用。木材及其它纤维质有机材料，常由于昆虫、细菌等生物的蛀蚀和腐蚀而破坏。而沥青材料及合成高分子材料，则是在阳光、空气及热的作用下，逐渐老化而破坏。

综上所述，所谓材料的耐久性，就是指材料在上述综合因素作用下，经久不易破坏，也不易失去原有性能的性质。耐久性是材料的一种综合性质。水工建筑物中常用的材料的耐久性，主要包括抗冻性、大气稳定性和抗化学侵蚀性等。

一、抗冻性

材料在饱和含水状态下，经受多次冻融循环不破坏，强度也不严重降低的性质，称为抗冻性。冻结对材料的破坏作用，主要是由于材料毛细管孔隙内的水结冰所引起的。水在结冰时体积增大约9%，当材料毛细管孔隙中充满水，受冻结冰时，将对孔壁产生巨大压力，致使孔壁受到相应的拉应力，当此拉应力超过材料的抗拉强度时，毛细管壁将发生开裂，导致强度降低或破坏。

材料抗冻性的大小用抗冻标号表示。即将含水饱和状态下的试件，按标准方法进行冻融循环试验，以强度降低不超过25%的最大冻融循环次数来确定抗冻标号。常分为 D_{90} 、 D_{100} 、 D_{150} 、 D_{200} 等。材料的抗冻性主要取决于材料的成分、孔隙率及孔隙的特征，同种材料孔隙率小、孔隙多是封闭的，其抗冻性就高。

在水工建筑物中，用于水位经常变化部位的材料，在寒冷季节将交替地受水的饱和与冻融作用。在这种情况下，建筑物的耐久性主要取决于材料的抗冻性。

二、抗化学侵蚀性

材料抵抗周围环境水及大气化学侵蚀的性能，称为抗化学侵蚀性。在水工建筑物中，经常受到环境水的侵蚀。一般河水、海水、地下水或工业污水等都会对材料引起侵蚀作用。一方面是材料中的某些成分被水溶蚀；另一方面是材料中的某些成分与水中酸、碱、盐等起化学反应，生成有害物质，使结构发生破坏。

三、大气稳定性

材料在热、空气、阳光等因素的长期综合作用下，性能不显著降低的性质，称为大气稳定性。一般有机胶凝材料，在大气的综合因素作用下，均会产生性能的改变。其性能变化快的材料，大气稳定性差。大气稳定性是影响建筑物能否经久耐用的一个重要因素。在选用有机胶凝材料时，必须检验它的大气稳定性是否满足要求。

思考与习题

1. 材料的结构、构造和成分对其性质有何影响？
2. 同一种材料的密度和表观密度之差的大小，说明了什么问题？
3. 散粒材料的密度、表观密度和空隙率的概念与块状材料有何不同？
4. 材料理论强度和实际强度的概念。影响实际强度的因素有哪些？
5. 常见的几种变形的概念。材料产生变形的主要原因是什么？

6. 何谓材料的耐久性？包括哪几个方面？

7. 材料孔隙率大小及孔隙特征对表观密度、吸水率、含水率、耐水性、抗冻性、导热性及强度有什么影响？

8. 计算下列各题

1) 已知块状花岗岩的烘干质量为350g, 自然状态体积为 135cm^3 , 绝对密实状态下体积为 125cm^3 , 试求其密度、表观密度及孔隙率。

2) 经计算, 混凝土拌合机每罐拌合一次需干砂200kg, 已测得砂的含水率为3%, 问需湿砂多少？

3) 配制混凝土的卵石, 测其密度为 $2.7\text{g}/\text{cm}^3$, 干堆密度为 $1.58\text{g}/\text{cm}^3$, 试求卵石的空隙率？如配制混凝土的用砂量（松散体积）按卵石空隙率的1.2倍计算, 试问每 m^3 卵石需砂若干？