

第一章 导 言

一、土木建筑工程材料的分类

任何建（构）筑物都是用材料按一定的要求构筑而成的，土木建筑工程中使用的各种材料，或构成建（构）筑物的各种材料，都是土木建筑工程材料。几乎世界上的各种材料都可用作土木建筑工程材料，为便于区分和应用，工程中常从不同角度对其分类。

1. 按基本成分分类

有机材料：以有机物构成的材料，包括天然有机材料（如木材等）和人工合成有机材料（如塑料等）。

无机材料：以无机物构成的材料，包括金属材料（如钢材等）和非金属材料（如水泥等）。

复合材料：包括有机-无机复合材料（如玻璃钢）和金属-非金属复合材料（如钢纤维混凝土）。材料复合后能够克服单一材料的某些缺点，可以发挥复合材料的综合优点，从而满足当代土木建筑工程对材料各种性能的要求。因此，复合材料是未来建筑材料发展的主要方向。

2. 按功能分类

结构材料：承受荷载作用的材料（如构筑物的基础、柱、梁所用的材料）。

功能材料：具有其它功能的材料。如起围护作用的材料，起防水作用的材料，起装饰作用的材料，起保温隔热作用的材料等。

3. 按用途分类

建筑结构材料，桥梁结构材料，水工结构材料，路面结构材料，建筑墙体材料，建筑装饰材料，建筑防水材料，建筑保温材料等。

二、材料在土木建筑工程中的作用

1. 材料对保证土木建筑工程质量的作用

材料是构成土木建筑工程建（构）筑物的物质基础，当然也是其工程质量基础。在土木建筑工程中，从材料的选择、生产、使用、检验评定，到材料的贮运、保管等，任何环节的失误都可能造成工程的质量缺陷，甚至是重大质量事故。国内外土木建筑工程的重大质量事故，无不与材料的质量不良或使用不当有关。因此，合格的土木建筑工程技术人员，必须准确、熟练地掌握有关材料的知识，能够正确地选择和使用有关材料。土木建筑工程材料是土木建筑工程类专业学生一门重要的专业基础课，要学好后续的专业课，为以后的工作打下良好的专业基础，就必须掌握好本课程中的知识。

2. 材料对土木建筑工程造价的影响

在一般土木建筑工程的总造价中，与材料有关的费用占 50% 以上。在实际工程中，材料的选择、使用与管理是否合理，对土木工程成本影响很大。学习并准确、熟练地掌握土木建筑工程材料知识，可以优化选择和正确使用材料，充分利用材料的各种功能。在满足工程各项使用要求的条件下节约材料费用，从而显著降低工程的成本。因此，从工程技术经济

的角度来看，学好本课程，对以后的工程技术与管理工作的十分必要的。

3. 材料对土木建筑工程技术进步的促进作用

在土木建筑工程建设过程中，工程的设计方法、施工方法都与材料密切相关。从根本上说，材料是基础，是决定土木建筑工程结构设计形式和施工方法的主要因素。因此，材料性能的改进和应用技术的进步，将会直接促进土木建筑工程技术的进步，例如：钢材及水泥的大量应用和性能改进，取代了过去的砖、石、土、木，使得钢筋混凝土结构已占领了土木建筑工程结构材料的主导地位。现代玻璃、陶瓷、塑料、涂料等新型材料的大量应用，才把许多建（构）筑物装扮得绚丽多彩。

三、材料在土木建筑工程中的应用现状及发展要求

1. 当代土木建筑工程中材料的应用现状

现代土木建筑工程中，尽管传统的土、石等材料仍在基础工程中广泛应用，砖瓦、木材等传统材料在工程的某些方面应用也很普遍。但是，这些传统的材料在土木建筑工程中的主导地位已逐渐为新型材料所取代。在当代土木建筑工程中，水泥混凝土、钢材、钢筋混凝土，已是不可替代的结构材料。新型合金、有机材料及其它人工合成材料，各种复合材料等在土木工程中也占有愈来愈重要的位置。

2. 土木建筑工程的发展对材料的要求

人们对建筑物的要求体现在多个方面。首先，各种建筑物必须坚固，满足人们对安全性的要求，这就应选择性能可靠的结构材料。此外，还要求建筑物必须有良好的使用性能，漂亮的外观，这就要求材料具有良好的装饰性及其它物理性能。为此，对于不同的建筑物必须选择相适应的材料，才能满足各种不同的要求。

从土木建筑工程本身的发展来说，为适应工程结构形式的变化，满足人们对使用功能不断提高的要求，应该发展高性能工程材料。这些高性能材料应该包括轻质高强、多功能，良好的工艺性和良好的耐久性。就材料类别来说，应该发展改性无机材料，特别是高性能的复合材料，最有发展前景。

就全社会的发展来说，将来的土木建筑工程材料应该向再生化、利废化、节能化方向发展。为给人类提供有益健康的生活环境，必须大力提倡发展绿色建材，同时，大宗材料还应不断降低成本。这是因为土木建筑工程对材料的消耗极大，历史发展到今天，使得可利用的自然资源和能源已非常有限，由于以往为生产土木建筑工程材料对自然资源的攫取，已使自然环境遭到了巨大的破坏，节约资源和能源对土木建筑工程行业来说，也是一项重要的历史责任。

四、工程技术标准及其在土木建筑工程中的应用

1. 土木建筑工程材料的技术标准分类

标准就是对重复性事物和概念所做出的统一规定。它以科学技术和实践经验的综合成果为基础，经有关方面协商一致，由主管机构批准，以特定形式发布，作为共同遵守的准则和依据。简而言之，标准就是对某项技术或产品实行统一执行的要求。土木建筑工程标准，是指对各类工程的勘察、规划、设计、施工、安装、验收等，需要协调统一的事项所制定的规范。建筑材料标准是工程中检验所使用材料质量的依据，只有掌握了材料标准，才能正确地选择、验收和使用材料。按照适用范围，目前，我国现行常用的标准有三大类：

第一类是国家标准，如“GB 175—1999 硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥”。其中“GB”为国家标准的代号；“175”为标准编号；“1999”为标准颁布年代号；“硅酸盐水泥、普通硅

酸盐水泥”为该标准的技术（产品）名称。上述标准为强制性国家标准，任何技术（产品）不得低于此标准规定的技术指标。此外，还有推荐性国家标准，以“GB/T”为标准代号，它表示也可以执行其它标准，为非强制性。

第二类是行业标准，如 JC/T 479—92 建筑生石灰。其中“JC”为颁布此标准的行业标准。代号“JC”，为建材行业的标准代号，其它行业标准代号见表 1-1：“T”表示为推荐标准；“479”为此技术标准的二级类目顺序号；“—92”为标准颁发年代号。

几个行业的标准代号

表 1-1

行业名称	建工行业	冶金行业	石化行业	交通行业	建材行业	铁路行业
标准代号	JG	YB	SH	JT	JC	TB

第三类是企业标准，代号为“QB”，其后分别注明企业代号、标准顺序号、制定年代号。国家鼓励地方和企业制定技术指标要求高于国家标准的地方标准或企业标准。

工程中可能采用的其它技术标准还有，国际标准（代号 ISO）、美国国家标准（ANS）、美国材料与试验学会标准（ASTM）、英国标准（BS）、德国工业标准（DIN）、日本工业标准（JIS）、法国标准（NF）等。目前我国许多标准都向采用 ISO 标准过渡。

2 材料技术标准在土木建筑工程中的应用

每种材料必须适应相应的使用环境，满足相应的使用条件。因此，材料的技术性质就应达到相应的要求，这个要求就是材料的技术标准。土木建筑工程材料在使用前，必须根据工程要求通过验证试验，检验其部分或全部技术性质指标，这些指标能否达到技术标准规定的要求，就决定了材料是否合格和能否使用。

要了解材料的某一技术性质，就必须要求使用统一的方法，并在统一的条件下检测其技术参数，这种统一的要求，就是材料的试验标准（或称试验规程）。在检验材料的技术指标时，必须按试验标准要求的条件和方法进行试验，其结果方为有效。

为充分发挥材料的功能，还制定了有关土木建筑工程的施工规范（标准），其中规定了材料的贮运、使用要求。只有按照其标准进行操作和使用，才能确保工程质量。

五、本课程的主要内容及学习任务

1. 本教材的主要内容

本教材除介绍了土木建筑材料的一些基本性质以外，还重点介绍了当前土木建筑工程中常用的材料，如水泥、石灰、沥青等胶凝材料；砖、石等砌体材料；钢材等结构材料；水泥混凝土、沥青混凝土、砂浆等现场配制材料。此外，还介绍了玻璃、陶瓷、木材、塑料及其它有机高分子材料、各种新型复合材料等。针对上述常用材料的主要技术性质，本书中还介绍了这些材料的结构和性能特点、技术标准，检测这些技术性能指标的试验及质量评定方法，这些材料的使用要求与应用。

2. 本课程的理论课学习任务

本课程在理论学习方面，以掌握常用土木建筑材料的性能为主要宗旨，并掌握常用材料的标准及应用。为达到此目的，必须了解材料的生产，熟悉材料的组成、结构、构造及其与性能的关系。还应掌握材料的用途和使用方法及其与材料的结构、组成、性能之间的关系。

为了打好学习后续课程及以后从事土木建筑工程实践的基础，本课程要求学生掌握常用土木建筑材料的主要品种、规格、选择及应用、贮运和管理等方面的知识。

3. 本课程的实验课学习任务

材料在订货前或使用前，必须经验证试验合格后方可使用；现场配制的材料，必须经标准试验合格，并确定了材料配比及配制操作标准后，方可进行配制和使用。材料在工程使用过程中，也应按规定抽样试验，检验工程实际中使用的材料质量是否稳定，性能是否合格。在工程验收中，工程实体的验收试验也是鉴定工程质量的重要手段之一。由此可见，材料试验检验工作，是一项经常化的、责任性很强的工作。材料试验检验在土木建筑工程施工的各个环节都十分重要。

本课程中实验课的主要任务，就是验证已学有关材料的基本理论，学习试验鉴定、检验和评定材料质量的方法。通过实验课，一方面加深学生对理论知识的理解，培养学生严谨的科学态度和实事求是的工作作风；另一方面，培养学生的实践技能，掌握材料基本性能的试验检验和质量评定方法，为从事土木工程实践工作打下坚实的基础。

第二章 土木建筑工程材料的基本性质

土木建筑材料在工程中所起的作用，从根本上来讲就是其性质的表现。选择、应用、分析和评价材料，也都以其性质为依据。使用材料，就必须掌握其性质。本课程所指的材料基本性质，是指材料处于不同的使用条件和使用环境时，通常必须考虑的最基本的、共有的性质。因为土木建筑材料处于建（构）筑物的部位不同、使用环境不同、人们对材料的使用功能要求不同，要求材料所起的作用就不同，所要求的性质也会有所不同；所以，对不同种类的材料，应考虑的基本性质也不尽相同。

本章的课程就是学习在不同的使用环境下，各类土木建筑材料的基本性质，并掌握各性质的涵义，影响这些性质的因素，它们彼此间的关系，以便联系工程中的实际和应用，去加深理解、研究和改进这些性质。

第一节 材料的物理状态参数

一、材料的体积

体积是物体占有的空间尺寸。由于材料的物理状态不同，同一种材料可表现出不同的体积。

1. 材料的绝对密实体积：材料内部没有孔隙时的体积，或不包括内部孔隙的材料体积。一般以 V 表示材料的绝对密实体积。由于材料自然状态下并非绝对密实，所以绝对密实体积一般难以直接测定，只有玻璃等材料可近似地直接测定。

2. 材料的表观体积：整体材料（包括内部孔隙）的外观体积。一般以 V_0 表示材料的表观体积。外形规则材料的表观体积，可直接以尺度量后计算求得；外形不规则材料的表观体积，必须用排水法或排油法测定。

3. 材料的堆积体积：散粒状材料堆积状态下的总体外观体积。根据其堆积状态不同，同一材料表现的体积大小可能不同，松散堆积下的体积较大，密实堆积状态下的体积较小。一般以 V 表示材料的堆积体积。材料的堆积体积，常以材料填充容器的容积大小来测量。

体积的度量单位通常以立方厘米（ cm^3 ）或立方米（ m^3 ）表示。

二、材料的密度

材料的密度，是指材料所具有的质量（ M ）与其绝对密实体积（ V ）之比。这里的质量是指材料所含物质的多少，工程实际中常以重量多少来衡量质量的大小；但从概念上讲，重量是材料所受地球引力的大小，质量与重量的概念有本质的区别。

材料的密度通常以 ρ 表示，其计算公式为：

$$\rho = M/V$$

式中 ρ ——材料的密度（ g/cm^3 ）；

M ——材料的质量（ g ）；

V ——材料的绝对密实体积（ cm^3 ）。

常用的土木建筑材料中多含有内部孔隙，除钢材、玻璃及沥青等外，绝大多数材料不能直接测定其密度（必要时须将材料磨成细粉后测定）。因为材料的密度仅由其微观结构和组成所决定，与其所处的环境或状态无关，要想知道某材料的密度只需查表即可求得。土木建筑工程常用材料的密度见表 2-1。

土木建筑常用材料的密度、表观密度、堆积密度

表 2-1

材料名称	密度 (g/cm ³)	表观密度 (kg/cm ³)	堆积密度 (kg/cm ³)
钢材	7.85	7 800~7 850	—
石灰石 (碎石)	2.48~2.76	2 300~2 700	1 400~1 700
砂	2.5~2.6	—	1 500~1 700
水泥	2.8~3.1	—	1 600~1 800
粉煤灰 (气干)	1.95~2.40	1 600~1 900	550~800
烧结普通砖	2.6~2.7	2 000~2 800	—
普通水泥混凝土	—	(常取 2 500)	—
红松木	1.55~1.60	400~600	—
普通玻璃	2.45~2.55	2 450~2 550	—
铝合金	2.7~2.9	2 700~2 900	—

三、材料的表观密度

表观密度也称视密度，它是指材料所具有的质量 (M) 与其表观体积 (V_0) 之比。表观密度通常以 ρ_0 表示，其度量单位是 kg/m^3 ，计算公式为：

$$\rho_0 = M/V_0$$

式中 ρ_0 ——材料的表观密度 (kg/m^3)；

M ——材料的质量 (kg)；

V_0 ——材料的表观体积 (m^3)。

因为大多数材料的表观体积 V_0 中多包含有内部孔隙，其孔隙的多少，孔隙中是否含有水及含水的多少，都可能影响其总质量（有时还影响其表观体积）。所以材料的表观密度除了与其微观结构和组成有关外，还与其内部构成状态及含水状态有关。同一种材料在不同的状态或环境下，表观密度的大小可能不同，但一般都在某一范围内。土木建筑工程常用材料的表观密度见表 2-1。

四、材料的堆积密度

材料的堆积密度，是指材料所具有的质量 (M) 与其堆积体积 (V') 之比。堆积密度通常以 ρ' 表示，其度量单位是 kg/m^3 ，计算公式为：

$$\rho' = M/V'$$

式中 ρ' ——材料的堆积密度 (kg/m^3)；

M ——材料的质量 (kg)；

V' ——材料的堆积体积 (m^3)。

散粒状堆积材料的堆积体积 V' 中，既包括了材料颗粒内部的孔隙，也包括了颗粒间的空隙，除了颗粒内孔隙的多少及其含水多少外，颗粒间空隙的大小也影响堆积体积的大小。因此，材料的堆积密度与散粒状材料自然堆积时的颗粒间空隙、颗粒内部结构、含水状态、

颗粒间被压实的程度有关。土木工程常用材料的堆积密度见表 2-1。

五、材料的孔隙率及孔特征

已经知道，多数土木工程材料内部含有孔隙，这些孔隙的存在会影响材料的性能。

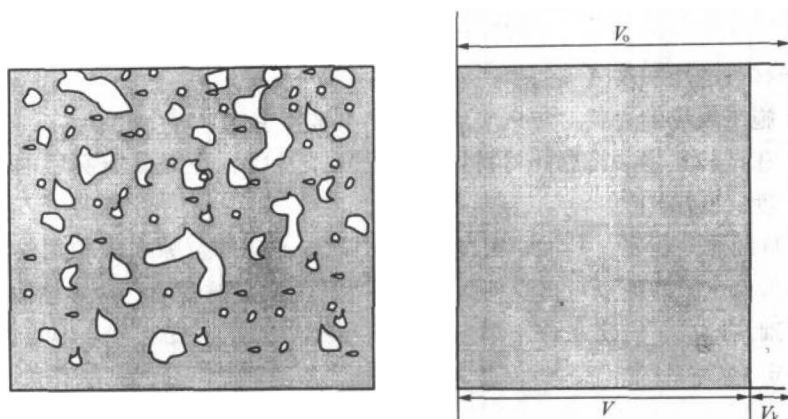


图 2-1 含孔材料体积组成图

材料的孔隙率，是指材料内部孔隙的体积占材料总体积的百分率（见图 2-1 含孔材料体积组成图），它以 P 表示。孔隙率 P 的计算公式为：

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

孔隙率反映了材料内部孔隙的多少，它会直接影响材料的多种性质。

材料内部除了孔隙的多少以外，孔隙的特征状态也是影响其性质的重要因素之一。材料的孔特征表现为，孔隙是在材料内部被封闭的，还是在材料的表面与外界连通。前者为闭口孔，后者为开口孔。有的孔隙在材料内部是被分割为独立的，还有的孔隙在材料内部相互连通。此外，单个孔隙尺寸的大小，孔隙在材料内部的分布均匀程度等都是孔隙在材料内部的特征表现。这些孔特征对材料的性质有重要影响，在以后的各节内容中会经常涉及到这些孔特征。

与材料孔隙率相对应的另一个概念是材料的密实度。密实度表示材料内被固体所填充的程度，它在量上反映了材料内部固体的含量，对于材料性质的影响正好与孔隙率的影响相反。

六、材料的空隙率

材料空隙率，是指散粒状材料堆积体积（ V' ）中，颗粒间空隙体积所占的百分率，它以 P' 表示。空隙率 P' 的计算公式为：

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

空隙率考虑的是材料颗粒间的空隙，这对填充和粘结散粒材料时，研究散粒状材料的空隙结构和计算胶结材料的需要量十分重要。

七、材料的压实度

材料的压实度，是指散粒状材料被压实的程度。已经知道同一材料的堆积密度是可变的， ρ' 的大小与材料被压实的程度有很大关系，当散粒状材料经充分压实后，其堆积密度值为最大，此时的干堆积密度值被定义为 ρ_m ，也称为最大干密度。对于未被充分压实的同一

材料来说，其 ρ' 值显然小于 ρ_m

散粒状材料的压实度，是指经压实后的干堆积密度 (ρ') 值与该材料经充分压实后的干堆积密度 (ρ'_m) 值的比率百分数。压实度通常以 K_y 表示：

$$K_y = \rho' / \rho'_m \times 100\%$$

式中 K_y ——材料的压实度 (%)；

ρ' ——施工现场的材料，经压实后的实测干堆积密度 (kg/m^3)；

ρ'_m ——在试验室内，将相同材料试样在一定条件下，经充分压实后的最大干堆积密度 (kg/m^3)。

散粒状材料经充分压实，其堆积密度达到 ρ'_m 后，相应的空隙率 P 值已达到最小值，此时的堆积体较为稳定，即使以后再受到压力也不会产生明显的变形，这对结构物的稳定性打下了良好的基础。因此，一定条件下散粒状材料压实后的压实度 (K_y) 值愈大，其构成的结构物就愈稳定。

第二节 材料的基本物理性质

一、材料的亲水性与憎水性

与水接触时，有些材料能被水润湿，而有些材料则不能被水润湿，对这两种现象来说，前者为亲水性，后者为憎水性。

材料具有亲水性或憎水性的根本原因在于材料的分子结构（是极性分子或非极性分子）。亲水性材料与水分子之间的分子亲和力，大于水分子本身分子间的内聚力。反之，憎水性材料与水分子之间的亲和力，小于水分子本身分子间的内聚力。

工程实际中，材料是亲水性或憎水性，通常以润湿角的大小划分，如图 2-2。其中润湿角 θ 愈小，表明材料愈易被水润湿。当材料的润湿角 $\theta \leq 90^\circ$ 时，为亲水性材料；当材料的润湿角 $\theta > 90^\circ$ 时，为憎水性材料。水在亲水性材料表面可以铺展开，且能通过毛细管作用自动将水吸入材料内部。水在憎水性材料表面不仅不能铺展开，而且，水分不能渗入材料的毛细管中，见图 2-3。

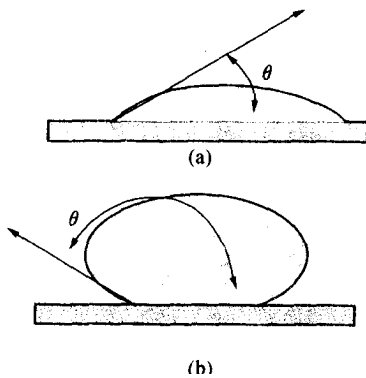


图 2-2 材料润湿示意图
(a) 亲水性材料 (b) 憎水性材料

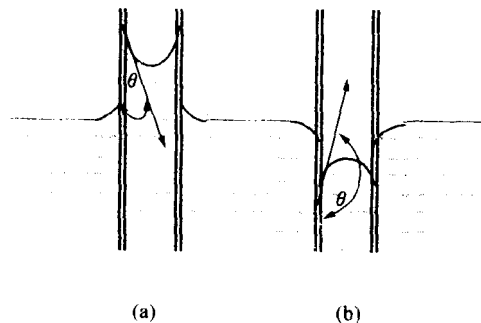


图 2-3 材料毛细管吸水性示意图
(a) 亲水性毛细管 (b) 憎水性毛细管

二、材料的吸水性

亲水性材料在水中吸收水分的能力，称为材料的吸水性，并以吸水率表示该能力。材料吸水率的表达方式有两种：

1. 质量吸水率

质量吸水率，是指材料在吸水饱和时，所吸水量占材料干质量的百分比，并以 W_m 表示。质量吸水率 W_m 的计算公式为：

$$W_m = \frac{M_b - M}{M} \times 100\%$$

式中 M_b ——材料吸水饱和状态下的质量 (g 或 kg)；

M ——材料在干燥状态下的质量 (g 或 kg)。

2. 体积吸水率

体积吸水率，是指材料在吸水饱和时，所吸水的体积占材料自然体积的百分率，并以 W_v 表示。体积吸水率 W_v 的计算公式为：

$$W_v = \frac{M_b - M}{V_0} \times \frac{1}{\rho_w} \times 100\%$$

式中 M_b ——材料吸水饱和状态下的质量 (g 或 kg)；

M ——材料在干燥状态下的质量 (g 或 kg)；

V_0 ——材料在自然状态下的体积 (cm^3)；

ρ_w ——水的密度 (g/cm^3)，常温下取 $\rho_w = 1.0 \text{ g}/\text{cm}^3$ 。

材料的质量吸水率与体积吸水率之间的关系为：

$$W_m = W_v \times \rho_0$$

其中 ρ_0 ——材料在干燥状态下的表观密度 (g/cm^3)。

材料的吸水率与其孔隙率有关，更与其孔特征有关。因为水分是通过材料的开口孔吸入，并经过连通孔渗入内部的。所以，材料内与外界连通的孔隙愈多，其吸水率可能就愈大。

三、材料的吸湿性

材料的吸湿性，是指材料吸收潮湿空气中水分的性质。当较干燥的材料处在较潮湿的空气中时，便会吸收空气中的水分；而当较潮湿的材料处在较干燥的空气中时，便会向空气中放出水分。前者是材料的吸湿过程，后者是材料的干燥过程（此性质也称为材料的还湿性）。由此可见，在空气中，某一材料的含水多少是随空气的湿度变化的。材料在任一条件下含水的多少称为材料的含水率，并以 W_h 表示，其计算公式为：

$$W_h = \frac{M_s - M_g}{M_g} \times 100\%$$

式中 W_h ——材料的含水率 (%)；

M_s ——材料在吸湿状态下的质量 (g 或 kg)；

M_g ——材料在干燥状态下的质量 (g 或 kg)。

显然，材料的含水率受所处环境中空气湿度的影响，当空气中湿度在较长时间内稳定时，材料的吸湿和干燥过程处于平衡状态，此时材料的含水率则保持不变，其含水率被称为材料的平衡含水率。在某一湿度下，材料的平衡含水率只与其本身的性质有关，一般亲水性

强的材料，含有开口孔隙多的材料，其平衡含水率高，它在空气中的质量变化也大。

材料吸水或吸湿后，除了本身的质量增加外，还会降低其绝热性、强度及耐久性，造成体积的增减和变形，多对工程产生不利的影响。

四、材料的耐水性

材料的耐水性，是指材料长期在水的作用下不破坏，强度也不显著降低的性质。衡量材料耐水性的指标是材料的软化系数，并以 K_R 表示：

$$K_R = \frac{f_b}{f_g}$$

式中 K_R ——材料的软化系数；

f_b ——材料饱水状态下的抗压强度 (MPa)；

f_g ——材料干燥状态下的抗压强度 (MPa)。

软化系数反映了材料饱水后强度降低的程度，是材料吸水后性质变化的重要特征之一。其实，许多材料吸水（或吸湿）后，即使未达到饱和状态，其强度及其它性质也会有明显的变化。这是因为材料吸水后，水分会分散在材料内微粒的表面，削弱了微粒间的结合力，其强度则有不同程度的降低。当材料内含有可溶性物质时（如石膏、石灰等），吸入的水还可能溶解部分物质，造成强度的严重降低。

材料耐水性这一性质限制了材料的使用环境，软化系数小的材料耐水性差，其使用环境尤其受到限制。工程中通常将 $K_R > 0.85$ 的材料称为耐水性材料，可以用于水中或潮湿环境中的重要结构。用于受潮较轻或次要结构时，材料的 K_R 值也不得小于 0.75。

耐水性与材料的亲水性、可溶性、孔隙率、孔特征等均有关，工程中常从这几个方面改善材料的耐水性。

五、材料的抗渗性

材料的抗渗性，是指材料抵抗压力水渗透的性质。土木建筑工程中许多材料常含有孔隙、孔洞或其它缺陷，当材料两侧的水压差较高时，水可能从高压侧通过内部的孔隙、孔洞或其它缺陷渗透到低压侧。这种压力水的渗透，不仅会影响工程的使用，而且渗入的水还会带入能腐蚀材料的介质，或将材料内的某些成分带出，造成材料的破坏。因此，长期处于有压水中时，材料的抗渗性也是决定工程使用寿命的重要因素之一。

表示材料抗渗性的指标有两个：

1. 渗透系数

按照达西定律，在一定的时间 t 内，透过的水量 W ，与材料垂直于渗水方向的渗水面积 A 和材料两侧的水压差 H 成正比，与渗透距离（材料的厚度） d 成反比，以公式表示为：

$$W = K_s \frac{A \cdot t \cdot H}{d}$$

式中 K_s ——材料的渗透系数 (cm/h)；通过试件的试验可求得：

$$K_s = \frac{W \cdot d}{A \cdot t \cdot H}$$

W ——时间 t 内的渗水总量 (cm³)；

A ——材料垂直于渗水方向的渗水面积 (cm²)；

H ——材料两侧的水压差 (cm)；

t ——渗水时间 (h)；

d ——材料的厚度 (cm)。

材料的 K_s 值愈小, 则其抗渗能力愈强。 工程中一些材料的防水能力就是以渗透系数表示的。

2. 抗渗等级

土木建筑工程中, 为直接反映材料适应环境的 (防水) 能力, 对一些常用材料 (如混凝土、砂浆等) 的抗渗 (防水) 能力常以抗渗等级表示。

材料的抗渗等级是指材料用标准方法进行透水试验时, 规定的试件在透水前所能承受的最大水压力, 并以符号 “P” 及可承受的水压力值 (以 0.1 MPa 为单位) 表示抗渗等级。如防水混凝土的抗渗等级为 P6、P8、P12、P16、P20, 表示其分别能够承受 0.6 MPa、0.8 MPa、1.2 MPa、1.6 MPa、2.0 MPa 的水压而不渗水。因此, 材料的抗渗等级愈高, 其抗渗性愈强。

材料的抗渗性与其亲水性、孔隙率、孔特征、裂缝等缺陷有关, 在其内部孔隙中, 开口孔、连通孔是材料渗水的主要通道。工程中一般采用对材料进行憎水处理、减少孔隙率、改善孔特征 (减少开口孔和连通孔)、防止产生裂缝及其它缺陷等方法来增强抗渗性。

六、材料的抗冻性

材料的抗冻性, 是指材料在饱水状态下, 能经受多次冻融循环作用而不破坏, 强度也不严重降低的性质。

有些工程常接触水, 经常处于饱水状态。在冬天寒冷的季节, 温度降为负温时, 材料由表及里逐渐结冰, 阻止了内部水分的外溢; 同时当内部水分结冰时, 产生的体积膨胀 (约增大 9%) 受到材料的约束, 造成冰对材料内孔壁的静水压力 (即冰晶压力)。此压力可能很大, 往往使孔壁胀裂。当温度回升, 冰被融化后, 某些被冻胀的裂缝中还可能再渗入水分, 再次受冻结冰时, 材料会受到更大的冻胀和裂缝扩张。如此反复冻融循环, 最终导致材料破坏。

工程中通常按规定的方法对材料的试件进行冻融循环试验, 例如: 对于混凝土常以试件质量损失不超过 5%、强度下降不超过 25% 时, 所能承受的最多冻融循环次数来确定混凝土的抗冻性, 并以抗冻等级表示。材料的抗冻等级, 以字符 “F” 及材料可承受的最多冻融循环次数表示, 如 F25、F50、F100 等, 分别表示此材料可承受 25 次、50 次、100 次的冻融循环。通常根据工程的使用环境和要求, 确定对材料抗冻等级的要求。

就材料本身来说, 材料的抗冻性主要与其孔隙率、孔特征、吸水性及抵抗胀裂的强度有关, 工程中常从这些方面改善材料的抗冻性。

七、材料的热工性质

材料的热工性包括导热性、热容性和热变形性。

1. 材料的导热性

材料的导热性, 是指材料两侧有温差时, 材料将热量由温度高的一侧向温度低的一侧传递的能力, 也就是传热的能力。

材料的导热性以导热系数 λ 表示, 其含义是, 当材料两侧的温差为 1 K 时, 在单位时间 (1 h) 内, 通过单位面积 (1 m²), 并透过单位厚度 (1 m) 的材料所传导的热量。以公式表示

$$\lambda = \frac{Q \cdot a}{(t_1 - t_2) \cdot A \cdot Z}$$

式中 λ ——材料的导热系数 (W/ (m·K));

Q ——传导的热量 (J);

a ——材料的厚度 (m);

A ——材料的传热面积 (m²);

Z ——传热时间 (h);

$(t_1 - t_2)$ ——材料两侧的温度差 (K)。

导热系数大的材料, 则导热性强, 绝热性差。不同土木工程材料的导热性差别很大, 通常把 $\lambda < 0.23 \text{ W/(m·K)}$ 的材料称为绝热性材料。

材料的导热性与其结构和组成、含水率、孔隙率及孔特征等有关, 与材料的表观密度有很大的相关性。一般非金属材料的绝热性优于金属材料。材料的表观密度小, 孔隙率大, 闭口孔多, 孔分布均匀、孔尺寸小、含水率小时, 则表现出导热性差、绝热性好。通常所说的材料导热系数是指干燥状态下的导热系数。当材料一旦吸水或受潮时, 导热系数会显著增大, 绝热性明显变差。

2. 材料的热容性

材料的热容性, 是指材料受热时吸收热量或冷却时放出热量的能力, 它以材料升温或降温时热量的变化来表示, 也称热容量。其计算公式为:

$$Q = M \cdot C \cdot (t_1 - t_2)$$

式中 Q ——材料的热容量 (kJ);

M ——材料的质量 (kg);

$(t_1 - t_2)$ ——材料受热或冷却前后的温度差 (K);

C ——材料的比热 [kJ/(kg·K)]。

其中比热 (C) 值是真正反映不同材料间热容性差别的参数。可以在实验室条件下检测材料在温度变化时的热量释放量, 再由下式求出:

$$C = \frac{Q}{M \cdot (t_1 - t_2)}$$

C 值的物理意义是, 质量为 1 kg 的材料, 在温度每改变 1 K 时所吸收或放出热量的大小。

材料的比热值大小与其组成和结构有关, 比热值大的材料对缓冲建 (构) 筑物的温度变化有利, 工程中常优先选择热容量大的材料。因为水的比热值最大, 当材料含水率高时, 比热值则大。通常所说材料的比热值是指其干燥状态下的比热值。

3. 材料的温度变形性

材料的温度变形性, 是指温度升高或降低时材料的体积变化。

除个别材料 (如 277 K 以下的水) 以外, 多数材料在温度升高时体积膨胀, 温度下降时体积收缩。这种变化表现在单向尺寸时, 为线膨胀或线收缩, 相应的技术指标为线膨胀系数 (α)。材料的单向线膨胀量或线收缩量计算公式为:

$$\Delta L = (t_1 - t_2) \cdot \alpha \cdot L$$

式中 ΔL ——线膨胀或线收缩量 (mm 或 cm);

$(t_1 - t_2)$ ——材料升 (降) 温前后的温度差 (K);

α ——材料在常温下的平均线膨胀系数 (1/K);

L ——材料原来的长度 (mm 或 cm)。

土木建筑工程中，对材料的温度变形大多关心其某一单向尺寸的变化。因此，研究其平均线膨胀系数具有实际意义。材料的线膨胀系数与材料的组成和结构有关，常选择合适的材料来满足工程对温度变形的要求。几种常见土木建筑材料的热工参数见表 2-2。

几种常见土木建筑材料的热工参数

表 2-2

材料名称	导热系数[W/(m·K)]	比热[J/(g·K)]	线膨胀系数($\times 10^{-6}/K$)
钢材	55	0.63	10~20
普通混凝土	1.28~1.51	0.48~1.0	5.8~15
烧结普通砖	0.4~0.7	0.84	5~7
木材(横纹)	0.17	2.51	—
水	0.60	4.187	—
花岗岩	2.91~3.08	0.716~0.787	5.5~8.5
玄武岩	1.71	0.766~0.854	5~75
石灰岩	2.66~3.23	0.749~0.846	3.64~6.0
大理石	3.45	0.875	4.41
沥青混凝土	1.05	—	(负温下) 20

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的表现或抵抗外力的能力。它主要是材料在外力作用下所表现的强度和变形性。

一、材料的强度与比强度

1. 材料的强度

根据材料在工程中的表现，材料的强度，是指材料在外力作用下抵抗破坏的能力。从本质上来说，材料的强度应是其内部质点间结合力的表现。

受外力作用时，在材料内部便产生应力，此应力随外力的增大而增大，当应力增大到材料内部质点间结合力所能承受的极限时，应力再增加便会导致内部质点间的断开，此极限应力值就是材料的极限强度，通常简称为强度。工程实际中建(构)筑物的受力破坏，往往被认为是材料的断裂，此时材料的极限强度就是确定建(构)筑物承载能力的依据。但是，也有些工程的破坏并非是材料的断裂，例如在工程实际中，钢材受力的程度致使内部质点间产生明显的滑移，表现为材料的塑性变形时，就认为建(构)筑物已失去使用性能，此时，尽管材料尚未断裂，也被认为已经破坏，其破坏时的强度并非极限强度，而是屈服强度。

根据所受外力的作用形式不同，材料的强度可分为抗压强度、抗拉强度、抗弯(抗折)强度、抗剪强度等。其受力形式已在材料力学中讲述，此处只将各种受力形式的强度计算公式列于表 2-3。

材料的强度与其组成及结构有密切的关系。即使材料的组分相同，若构造不同，强度可能差别很大。其主要原因在于其内部质点间的结合键、孔隙率、孔特征及内部缺陷等的差别。材料内质点间的结合键愈强孔隙率愈小，各孔隙的尺寸愈小且分布均匀，内部缺陷愈少时，则材料的强度愈高。对于内部构造非匀质的材料，其不同方向的强度，抵抗不同形式外力作用的强度也不同。例如木材内部为纤维状结构，其顺纹方向的抗拉强度较高，横纹方向的抗拉强度很低。水泥混凝土、砂浆、砖、石材等非匀质材料的抗压强度较高，而抗拉、抗折强度却很低。

工程中为弥补非匀质材料的某些强度不足，常利用多种材料复合的方法来满足工程的需要。土木建筑工程常用结构材料的强度值范围见表 2-4。

土木建筑工程常用结构材料的强度值范围 (MPa)

表 2-4

材 料	抗压强度	抗拉强度	抗弯 (折) 强度	抗剪强度
钢材	215~1 600	215~1 600	215~1 600	200~355
普通混凝土	7.5~60	1~4	0.7~9	2.5~3.5
烧结普通砖	5~30	—	1.8~4.0	1.8~4.0
花岗岩	100~250	7~25	10~40	13~19
石灰岩	30~250	5~25	2~20	7~14
玄武岩	150~300	10~30	—	20~60
松木 (顺纹)	30~50	80~120	60~100	6.3~6.9

2. 材料的比强度

结构材料在土木建筑工程中的主要作用，就是承受结构荷载。对大部分建 (构) 筑物来说，相当一部分的承载能力用于承受材料本身的自重。因此，欲提高结构材料承受外荷载的能力，一方面应提高材料的强度，另一方面应减轻材料本身的自重，这就要求材料应具备轻质高强的特点。反映材料轻质高强的力学参数是比强度，比强度是指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 (f/ρ_0)。在高层建筑及大跨度结构工程中常采用比强度较高的材料。这类轻质高强的材料，也是未来土木建筑材料发展的主要方向，几种材料的比强度值见表 2-5。

几种结构材料的参考比强度值表

表 2-5

材料 (受力状态)	强度 (MPa)	表观密度 (kg/m ³)	比强度
玻璃钢 (抗弯)	450	2 000	0.225
低碳钢	420	7 850	0.054
铝材	170	2 700	0.063
铝合金	450	2 800	0.160
花岗岩 (抗压)	175	2 550	0.069
石灰岩 (抗压)	140	2 500	0.056
松木 (顺纹抗拉)	10	500	0.200
普通混凝土 (抗压)	40	2 400	0.017
烧结普通砖 (抗压)	10	1 700	0.006

二、材料的弹性与塑性

材料在外力作用下会产生变形，不同的材料或同一种材料所受外力的大小不同，就会表现出不同的变形。材料的两种最基本力学变形是弹性变形和塑性变形，此外，还有黏性流动变形和徐变变形等。

1. 材料的弹性与弹性变形

材料在外力作用下产生变形，外力去除后能恢复为原来形状和大小的性质就是弹性，这种可恢复的变形称为弹性变形。

弹性变形大小与其所受外力的大小成正比，其比例系数对某种理想的弹性材料来说为一常数，这个常数被称为该材料的弹性模量，并以符号“ E ”表示，其计算公式为：

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

其中 σ ——材料所受的应力 (MPa)；

ϵ ——在应力 σ 作用下的应变。

弹性模量 E 是反映材料抵抗变形能力的指标， E 值愈大，表明材料的刚度愈强，外力作用下的变形较小。 E 值是土木建筑工程结构设计和变形验算所依据的主要参数之一。几种常用土木建筑工程材料的弹性模量 (E) 值见表 2-6。

几种常用土木建筑工程材料的弹性模量值 E ($\times 10^4$ MPa)

表 2-6

材料	低碳钢	普通混凝土	烧结普通砖	木材	花岗岩	石灰岩	玄武岩
弹性模量	21	1.45~3.60	0.3~0.5	0.6~1.2	200~600	600~1 000	100~800

2. 材料的塑性与塑性变形

材料在外力作用下产生非破坏性变形，外力去除后不能完全恢复到原来形状和大小的性质就是塑性，这种不可恢复的变形称为塑性变形。一般认为，材料的塑性变形是因内部质点间受剪应力作用，使某些质点间相对滑移所致。当所受外力很小时，理想的塑性材料应是不变形的。只有当外力的大小致使材料内质点间的剪应力超过某些质点间相对滑移所需要的应力时，才会产生塑性变形。而且只要该外力不去除，塑性变形会继续发展。在土木建筑工程的施工和材料加工过程中，经常利用塑性变形使材料获得所需要的形状。

工程实际中，理想的弹性材料或塑性材料很少见，大多数材料的力学变形既有弹性变形，也有塑性变形。只是不同的材料或同一材料的不同受力阶段，是以弹性变形为主还是以塑性变形为主。它们的主要区别就是变形能否恢复。

三、材料的脆性与韧性

外力作用下，材料未产生明显的变形而发生突然破坏的性质就是脆性，具有这种性质的材料为脆性材料。一般脆性材料的抗静压强度很高，但抗冲击能力、抗振动作用、抗拉及抗折（弯）强度很差，使用范围受到限制。土木建筑工程中常用的脆性材料有天然石材、普通混凝土、砂浆、普通砖、玻璃及陶瓷等。

材料在振动或冲击等荷载作用下，能吸收较多的能量，并产生较大的变形而不突然破坏的性质就是韧性。材料韧性的主要特点是破坏时能吸收较大的能量，其主要表现为在荷载作用下能产生较大的变形。衡量材料韧性的指标是材料的冲击韧性值，即破坏时单位断面所能吸收的能量，并以符号“ α_k ”表示，其计算公式：

$$\alpha_k = \frac{A_k}{A}$$

式中 α_k ——材料的冲击韧性值（J/mm²）；

A_k ——材料破坏时所吸收的能量（J）；

A ——材料受力截面积（mm²）。

土木建筑工程中对用于桥梁、路面、工业厂房的吊车梁等受振的结构部位，应选用韧性较好的材料。常用的韧性材料有低碳钢、低合金钢、铝材、橡胶、木材、竹材、玻璃钢等复合材料。

四、材料的硬度与耐磨性

1. 材料的硬度

材料的硬度，是指材料表面抵抗硬物压入或刻划的能力。土木建筑工程中为保持建（构）筑物的使用性能或外观，常要求材料具有一定的硬度，如部分表面材料、预应力钢筋混凝土锚具等。

工程中用于表示材料硬度的指标有多种，对金属、木材等材料以压入法检测其硬度。其方法分别有，洛氏硬度（HRA、B、C，以金刚石圆锥或圆球的压痕深度计算求得）；布氏硬度（HB，以压痕直径计算求得）等。天然矿物材料的硬度常用摩氏硬度表示，它是两种矿物相互对刻的方法确定矿物的相对硬度，并非材料绝对硬度的等级。其硬度的对比标准分为十级，由软到硬依次分别为：滑石、石膏、方解石、莹石、磷灰石、正长石、石英、黄玉、刚玉、金刚石。混凝土等材料的硬度常用肖氏硬度检测（以重锤下落回弹高度计算求得）。

2 材料的耐磨性

材料的耐磨性，是指材料表面抵抗磨损的能力。土木建筑工程中有些部位经常受到磨损的作用，如路面、地面等。选择这些部位的材料时，其耐磨性应满足工程的使用寿命要求。材料的耐磨性可用磨损率（G）表示，其试验计算公式为：

$$G = \frac{M_1 - M_2}{A}$$

式中 G ——材料的磨损率（g/cm²）；

$M_1 - M_2$ ——材料磨损前后的质量损失（g）

A——材料试件受磨面积 (cm^2)。

材料的磨损率 G 值越低,表明该材料的耐磨性越好。一般硬度较高的材料,耐磨性也较好。工程实际中也可通过选择硬度合适的材料来满足对耐磨性的要求。

材料的硬度与耐磨性均与其内部结构、组成、孔隙率、孔特征、表面缺陷等有关。

第四节 材料的装饰性、化学性与耐久性

一、材料的装饰性

材料的装饰性,是指材料对所覆盖建筑物外观美化的改善效果。人们除了要求各种建筑物具备安全与适用的条件外,还会追求其外观状态的美观性。随着生活水平的不断提高,人们往往对建筑物一些外露的表面进行适当的装饰,这些表面装饰不仅改善了建筑物本身及环境的外观,而且往往还能对建筑主体具有保护作用,有时还兼有其它功能(如保温、防水、防冻、抗腐蚀),甚至可明显地改善建筑物的表面强度。

因为不同的工程及使用环境对装饰材料性能的要求差别很大,难以用具体的参数反映其装饰性的优劣,所以当用于装饰时,对于材料的选择与使用一般可参考以下原则。

1. 建筑物对材料装饰效果的要求:主要体现在材料的颜色、质感、光泽、外观形状等方面。这些要求往往与建筑物的类型、所处环境、立体或空间尺寸等有关。

2. 建筑物寿命对材料耐久性的要求:主要表现在装饰材料本身对环境条件的抵抗能力,其次是对主体结构保护作用的持久性。对于表面装饰材料的耐久性来说,主要体现在其力学性能、物理性能、化学性能等多方面的综合性能。其力学性能如抗变形能力、变形恢复能力、耐磨能力、耐擦洗能力、抗冲击疲劳能力等。物理性能主要包括吸水性、耐水性、抗渗性、抗冻性、耐热性、保温性、隔音性、光学性等。化学性主要包括耐酸碱能力、抗环境腐蚀能力、耐污染能力、抗风(老)化能力、阻燃能力等。

3. 建筑综合投资对材料经济性的要求:装饰材料的经济性要求主要体现在两个方面:一是对建筑物外观要求的重要性,它不仅考虑外观效果,而且应考虑材料耐久性与建筑物寿命的一致性,使其在一次性建设投资允许的条件下,尽可能降低综合费用;二是在满足技术要求的条件下,应选择使用成本较低的装饰材料。

此外,还应考虑装饰材料与环境的协调性,与主体材料的相互匹配性,可维修或翻新性等。

对不同类别的装饰材料有不同的技术要求。对于无机类装饰材料常要求具有一定的抗风化能力、抗裂能力和强度性、耐腐蚀性、耐水性、耐磨性、加工性与表面致密程度。对于有机类装饰材料常要求具有良好的化学稳定性(抗老化能力)、阻燃或耐热性、抗污染性、强度或刚度、耐磨性等。

二、材料的化学性质与耐久性

1. 材料的化学性质

已经知道,土木建筑工程材料的各种性质几乎都与其化学组成或化学结构有关。材料组成或结构的变化,很可能造成某些性质的改变,从而影响工程的使用性能,甚至导致工程的破坏。

材料化学性质的范畴很广,就其在土木建筑工程中的应用来说,主要关心它在使用中可能发生的化学变化与化学稳定性。