

土木工程材料

● 陈雅福 主编

土

木

工

程

系

列

教

材

华南理工大学出版社

土木工程系列教材

全国高等学校测绘类专业教学指导委员会推荐教材

土木工程材料

陈雅福 主编

华南理工大学出版社

·广州·

图书在版编目(CIP)数据

土木工程材料 / 陈雅福主编. — 广州: 华南理工大学出版社, 2005.12
(土木工程系列教材)

陈雅福 - -

I 土...

II 陈...

III 土木工程材料

IV 陈雅福

华南理工大学出版社出版发行

(广州五山 邮编 510640)

责任编辑 吴兆强

各地新华书店经销

中山新华印刷厂印装

*

2005年 12月 第 1版 2005年 12月 第 1次印刷

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 12.5 字数 320千字

印数 1—5000册

定价 28.00元

前 言

本书为土木工程、建筑结构工程、地下建筑工程、道路桥梁工程、水利水电工程及建筑学等专业用书,是根据高等学校土木类《土木工程材料》教学大纲编写而成。本书吸收国内外土木工程材料的先进技术,并结合我国有关土木工程材料及应用情况进行编写,重视基础理论,力求理论性和实践性相结合,教学内容与实验内容相结合。

本书内容包括:土木工程材料基本性质,石膏、石灰、水玻璃,各种品种水泥、混凝土、砂浆、砌体材料、砌块、建筑石材、屋面材料、建筑钢材、木材、合成高分子材料、沥青材料、建筑功能材料(防水材料、绝热材料和吸声材料、装饰材料等)以及土木工程材料试验。

编写内容力求概念清晰、深入浅出,加强“三基”,即基础理论、基本知识、基本技能。

本书由华南理工大学陈雅福担任主编,第一章由广东工业大学徐桂萍编写,第二章、第七章、第八章由华中科技大学崔崇编写,第三章由华南理工大学李素文编写,绪论、第四章、第五章由华南理工大学陈雅福编写,第六章、第九章由广州大学土木工程学院欧阳东编写,土木工程材料试验由深圳大学邢峰编写,附录之土木工程材料英语词汇由陈雅福、邢峰、崔崇汇编。全书由华南理工大学陈雅福统稿。

限于编者水平,书中如有不妥之处或错误,尚祈广大师生、读者提出宝贵意见。

编 者

二〇一〇年 远月

目 录

绪 论	(员)
第 员章 土木工程材料的基本性质	(远)
员员 材料的组成、结构和构造	(远)
员圆 材料的基本物理性质	(怨)
员猿 材料的基本力学性质	(员远)
员源 材料的耐久性 (阅读参考书)	(员怨)
第 圆章 建筑钢材	(圆圆)
圆圆 钢的冶炼及分类	(圆圆)
圆圆 建筑钢材的力学性能	(圆原)
圆猿 建筑钢材的晶体组织和化学成分	(圆愿)
圆源 钢的冷加工强化时效及其应用	(猿员)
圆缘 建筑钢材的标准和选用	(猿缘)
圆远 钢材的腐蚀及防止	(源圆)
圆苑 铝合金在建筑中的应用	(源愿)
第 猿章 无机胶凝材料	(缘员)
猿员 气硬性胶凝材料	(缘员)
猿圆 各种品种硅酸盐水泥	(远圆)
猿猿 特种硅酸盐水泥和专用硅酸盐水泥	(苑怨)
猿源 高铝水泥	(愿原)
猿缘 硫铝酸盐水泥	(愿圆)
第 源章 混凝土与建筑砂浆	(怨圆)
源员 普通混凝土的组成材料	(怨猿)
源圆 普通混凝土的主要技术性质	(员员猿)
源猿 混凝土的外加剂	(员员怨)
源源 混凝土的质量控制与评定	(员圆圆)
源缘 普通混凝土的配合比设计	(员猿员)
源远 轻集料混凝土	(员员员)
源苑 多孔混凝土	(员员源)
源愿 粉煤灰混凝土	(员员圆)
源怨 特种混凝土	(员员员)
源园 建筑砂浆	(员员猿)
第 缘章 砌体材料和屋面材料	(圆圆怨)
缘员 砌体材料	(圆圆怨)
缘圆 砌块	(圆圆愿)

缘缘	墙用板材	(缘缘)
缘原	砌筑用石材	(缘原)
缘缘	屋面材料	(缘缘)
第 远章	沥青和沥青混合料.....	(缘缘)
远缘	石油沥青	(缘缘)
远缘	沥青混合材料	(缘缘)
第 苑章	合成高分子材料.....	(缘缘)
苑缘	高分子化合物基本知识	(缘缘)
苑缘	塑料	(缘苑)
苑缘	塑料型材及管材	(苑缘)
苑原	胶粘剂	(苑原)
第 愿章	木材.....	(愿缘)
愿缘	木材的构造	(愿缘)
愿缘	木材的物理力学性质	(愿原)
愿缘	木材的等级标准和应用	(愿苑)
愿原	木材的综合利用	(愿缘)
愿缘	木材的防腐与防火	(愿缘)
第 怨章	建筑功能材料.....	(怨苑)
怨缘	防水材料	(怨苑)
怨缘	绝热材料和吸声隔声材料	(怨原)
怨缘	装饰材料	(怨苑)
附录一	土木工程材料试验.....	(猿缘)
试验一	土木工程材料基本物理性质试验.....	(猿缘)
试验二	水泥技术性质检验.....	(猿苑)
试验三	混凝土用砂和石检验.....	(猿缘)
试验四	普通混凝土试验.....	(猿原)
试验五	砂浆试验.....	(猿缘)
试验六	烧结普通砖试验.....	(猿苑)
试验七	钢筋试验.....	(猿原)
试验八	木材试验.....	(猿缘)
试验九	石油沥青试验.....	(猿苑)
试验十	混凝土强度的非破损试验.....	(猿缘)
附录二	.....	( 猿缘)
一、常用土木工程材料英汉名词术语对照	.....	( 猿缘)
二、常用合成高分子材料名词缩写对照表	.....	( 猿苑)
三、掺外加剂混凝土性能指标(附录一怨苑)	.....	( 猿缘)
参考文献	.....	( 猿缘)

绪 论

一、学习土木工程材料的重要性

在我国社会主义经济建设中，特别在开放改革的大好形势下，土木工程材料占着极为重要的地位。各项建设的开始，首先都是基本建设，而土木工程材料则是一切土建工程中必不可少的物质基础。

土木工程材料是指各项土木工程所使用的各种无机材料、有机材料及复合材料。无机材料可分为矿物质非金属材料 and 金属材料两部分；有机材料可分为天然的和人工合成的两类。目前普遍使用的是属于矿物质材料、烧土制品、石灰、石膏、水泥、水玻璃、砂浆、混凝土和硅酸盐制品、混凝土外加剂（减水剂）等。现代化的建筑中，金属材料、高分子材料（树脂、沥青、塑料、橡胶、涂料、人造纤维）、有机无机复合材料（增强塑料、聚合物水泥混凝土或砂浆）以及各种建筑制品也用得较多。

土木工程材料在基本建设总费用中占很大的比例。无论工业与民用建筑，或者纪念性建筑，其土木工程材料费用往往占总投资的 $\frac{1}{3}$ 以上。而且，建筑与结构形式和施工方法常常受土木工程的品种、质量所制约。新型材料的出现与发展，促使建筑形式、结构设计和施工方法的革新；钢铁材料的工业化生产与钢筋混凝土的出现，使高层和大跨度建筑冲破了旧材料的束缚而蓬勃兴起，像广州的广东国际大厦高 262 层，中信广场高 282 层。土木工程材料的质量直接影响建筑工程的坚固、美观与耐久，土木工程材料的生产和应用，对社会主义的建设事业具有重要的作用。

土木工程材料必须选择和合理使用材料。优良的土木工程材料，必须具备足够的强度，能够安全地承受设计荷载；自身的重量以轻为宜，以减少下部结构和地基的负荷；要有与使用环境相适应的耐久性，尽量减少维修费用；用于装饰的材料，应能美化建筑物，有一定装饰效果；用于特殊部位的材料，还要具有相应的特殊功能，例如屋面材料要能绝热和防水，楼板和内墙材料要能隔声等。

建筑技术现代化，在很大程度上是与传统土木工程材料的改造和新品种材料的开发分不开的。高强、轻质和高效能新型材料的创造，对提高房屋工程的技术、经济效果尤其具有重大意义。如果将材料的强度提高，则在同样荷载下，构件的尺寸就可缩小，因而构件自重、材料用量和运输负担都可相应减少。又如用轻质材料代替传统的烧结普通砖作墙体材料，不但为墙体材料增添了新的品种，而且可以减轻墙体自重，改善绝热和吸声效果，提高抗震性能，有利于施工机械化和加快施工进度。如果能创造出一种多功能的屋面材料，既能承重，又能防水、绝热，不但能节省材料，而且设计和施工可大为简化。同时，建筑设计的创新和施工技术的进步又促进了土木工程材料的发展，当前我国对房屋的质量和建筑艺术提出了更高的要求，因而也大大加速了各种新型材料的发展。

二、土木工程材料发展方向

十一届三中全会以后，全党全国力量转移到现代化建设上来，建设形势欣欣向荣，土木工程材料的需要量迅猛增加，为此，土木工程材料工业是当前国民经济中急需加强的一个重要环节。近年来建材的科研、生产发展是比较快的，水泥品种已研制成功 100 余种，各种混凝土材料产量年年提高，同时，发展了很多种不同性能的混凝土（高强快硬、防水、防油、耐酸、防辐射、聚合物浸渍、彩色、轻质、大体积以及预应力、自应力、纤维配筋混凝土和高性能混凝土、泵送混凝土等）。目前外加剂品种、牌号有 100 多个，在水泥混凝土使用中取得显著效果，是混凝土发展史上继钢筋混凝土、预应力混凝土后的第三次飞跃，也是混凝土科学技术上的又一次突破。20 世纪 80 年代在混凝土工程中，如果不使用外加剂，应该说这个混凝土就不科学。混凝土科学技术近代发展的主攻方向——轻质、高强、耐久、快硬、高流动性、流态混凝土、高性能的研究，都与外加剂，特别是减水剂的应用技术密切相关，商品混凝土、泵送混凝土的研究应用就是建立在外加剂基础上的。

目前，土木工程材料的需求量很大，因而研究和材料方面应该因地制宜、就地取材。改进地方材料的性能以及充分利用工业废料制造新型的土木工程材料，就成为科研、生产与合理使用的主要问题。各地为使建筑工业化研制了各种新材料，推广各种建筑体系，从各方面条件综合考虑，全国绝大部分建筑的主要结构仍将是钢筋混凝土结构及砖混结构，各种砖、小砌块以及混凝土、砂浆目前仍然是主要材料。保护农田良土，推广使用灰砂砖、煤渣砖、粉煤灰砖、尾矿粉砖、泡沫混凝土砖块等来取代部分粘土砖或不用红砖，同时发展空心砖、空心砌块，充分利用砂子、石灰和工业废料，大力发展水泥生产，节约熟土，不与农业争土，仍是方向问题。

不同土木工程材料的生产，其单位能耗悬殊，而建筑物在使用期间又是长期耗能较大的场所，为节约能耗，墙体、屋面、地面材料均应充分考虑绝热效果，在选用材料时应作综合热工计算，务求生产、施工与使用期间减少能耗。

为满足工农业大规模建设的需要，研制新型材料与制品，并合理地使用材料也是必要的。特别是随着生产发展，人民生活水平不断提高，在居住方面除了满足基本面积要求外，建筑物的保温绝热、吸音隔声、美观适用等功能日益显得重要，塑料、铝合金材料制品等在建筑材料中的比重逐渐加大。而工业建筑方面要求提供有耐热、耐腐蚀、耐磨、抗污、防爆、防辐射的各种复合性能的材料。土木工程材料今后的发展趋向归纳如下：

① 轻质高强。普遍使用加气混凝土、轻集料混凝土、增强塑料型材管材及铝合金型材等，以减轻结构材料的重量，发展高性能混凝土、高耐久性高强混凝土，并能节省运输费用，利于节能、抗震。

② 大力研制开发各种类型的混凝土外加剂（减水剂），达到改善混凝土性能。

③ 发展复合材料及制品，提高材料使用效能。

④ 构件及制品尺寸大型化、标准化，便于工业化生产，加快施工进度。

⑤ 充分利用地方材料及工业废渣，保护自然资源，开发装饰材料，提高材料装饰效果。

⑥ 利用材料科学的知识与技能进行研究，设计与制造特殊功能和高效能的土木工程材料。

一种新材料的开发,需要有一个过程,包括研究、技术上成熟的过程,还有社会上的认识和适应过程。作为一名工程技术人员,应该积极而慎重地推广和采用新型材料,结合地区特点与工程性质,合理地发挥新材料的优点。

三、土木工程材料课程的性质、任务、方法

(一) 土木工程材料课程的性质和任务

本课程为本专业的一门技术基础课,为配合土木工程建筑结构的设计、施工和房屋建筑学等课程,合理选择和使用土木工程材料打下基础。土木工程材料又是建筑物重要的物质基础,为此,必须了解各种材料的组织构造和成分等特点,从本质上理解材料的配制过程,在不同施工条件下及在应用过程中发生的变化和各种条件之间的相互关系。

在学习过程中要掌握各种现象发生的原因、硬化机理、材料试验方法及验收、储存、运输、保管等方面的基本知识和技能,了解节约材料、改善性能和防腐处理的原则和方法。

(二) 学习土木工程材料课程的基本要求

土木工程材料的品种和内容较多,对学生只要求掌握最基本的生产工艺、技术性能、试验方法和合理使用技术知识。

为教学方便,本教材将按下述各种常用的土木工程材料分别进行论述:气硬性胶凝材料、水泥、混凝土、砂浆、砌墙材料、石材、建筑钢材、木材、建筑塑料、防水材料(包括堵水材料)绝热材料、吸声材料和装饰材料等内容。各种材料需要研究的内容范围很广,涉及原料、生产、组成、构造、性质、应用、检验、运输、验收和储存等各个方面。在学习时,要着重学好主要内容——材料的建筑性质和合理应用。对于同一类属的不同品种的材料,不但要学习它们的共性,更重要的是了解各自的特性和具备这些特性的原因。

学习时注意了解事物的本质和内在联系。对材料从微观、亚微观到宏观结构进行分析研究,洞察各种性质之间的内在联系和在不同条件下的变化规律。

一切材料的性质,在使用过程中,甚至在储运过程中,都在不断变化。为了保证工程的耐久性和控制材料在使用前的质变问题,必须了解引起变化的外界条件和材料本身的内在原因,从而了解变化的规律。

(三) 土木工程材料课程的学习方法

土木工程材料是研究各种材料的组成、结构、组织构造、生产工艺、加工原理、技术性能、质量检验及应用范围等内容的技术科学。

学生在学习本课程时要有-定的数学、物理、化学、材料力学等方面的基本知识。另外,学生对土木工程材料在有一-定感性知识的基础上可获得下面有关的知识。

- ① 土木工程材料的技术性质及应用的基本知识。
- ② 生产工艺及加工原理的一般知识。
- ③ 必要的基本理论知识。
- ④ 主要土木工程材料试验的基本技能。
- ⑤ 一般技术经济分析。

通过学习,要求学生能用辩证唯物主义观点分析各种因素对土木工程材料技术性质的影响,为正确选择与使用土木工程材料提供必要的基础知识。

土木工程材料试验:土木工程材料是一门联系实际较强的科学,土木工程材料试验是

这门课的一个重要环节。通过材料试验可以巩固所学的理论知识，并使学生能熟悉各种材料试验、操作技术、国家标准和技术规范。对于各种试验数据能进行科学的分析和整理，可培养学生进行科学研究的能力。

在学习过程中要求学生密切联系实际，结合工程实际，参观有关的建筑工地，如混凝土工程的施工、防水工程的施工、混凝土预制厂等，这样不仅能学到实际施工知识，而且能掌握怎样才能保证工程材料的质量。

在尽可能的条件下，认识主要的土木工程材料样品，通过典型的材料样品的认识，可运用对比的方法，进一步了解土木工程材料的共性和特性，便于掌握和理解其技术性能。

四、土木工程材料各章的“三基”主要内容

(一) 土木工程材料的基本性质

基础理论：材料的宏观结构、微观结构与材料的主要技术性质的关系。

基本知识：材料主要技术性质的定义和实际意义。

基本技能：材料的密度、表观密度、堆积密度、吸水率及强度的测定，孔隙率、空隙率的计算，密实性、弹性、塑性、韧性、亲水性、憎水性、热工性质等的含义。

(二) 建筑钢材

基础理论：钢材的机械性能、晶体组织、化学成分对其性能的影响。

基本知识：建筑用钢的分类及力学性质；普通碳素钢和普通低合金高强度钢的标准、等级划分的原则；优质钢、高级优质钢、特级优质钢、特性与应用；常用钢材的种类及用途。

基本技能：钢材抗拉性能、冷弯性能、伸长率的测定，钢材的冷加工及时效处理。

(三) 无机胶凝材料

基础理论：硅酸盐水泥的凝结硬化原理及影响因素、强度等级的确定与划分。活性混合材的组成性质与作用。

基本知识：石灰、石膏、水玻璃的技术性质与应用；硅酸盐水泥的技术性质、应用及贮运知识；水泥石在侵蚀介质下的腐蚀及其防止的一般途径；火山灰质硅酸盐水泥的组成性质及应用；粉煤灰硅酸盐水泥的组成、性质及应用；复合硅酸盐水泥、石灰石硅酸盐水泥的组成、性质及应用。

基本技能：水泥主要技术性质及强度测定和等级划分。

(四) 混凝土及砂浆

基础理论：混凝土混合料的和易性及影响和易性的因素；混凝土的强度与密实性、耐久性及其影响因素；混凝土配合比设计的基本原理；轻集料混凝土配制原理、强度及在结构工程的应用，粉煤灰混凝土的配制原理及应用技术，防水混凝土、高强混凝土、高性能混凝土、泵送混凝土、流态混凝土、纤维混凝土等配制原理；混凝土外加剂的原理、分类、应用技术、掺加方法、在工程中应用的实际意义，硅粉、沸石粉及超细微粒矿物掺合料在混凝土中的应用；建筑砂浆的技术性质、配合比设计计算原理。

基本知识：普通混凝土粗细集料的技术要求及选用原则；混凝土混合物的坍落度和维勃稠度的选择、新拌混凝土的性质。硬化混凝土的技术性质及应用；新拌砂浆和硬化砂浆的技术性质；配合比设计计算方法、混合料、粉煤灰、微沫剂等砂浆中的应用技术。

基本技能：粗细集料主要技术性质的鉴定；混凝土配合比的设计计算方法；混凝土混

合料的坍落度及 灾脔维勃稠度的测定与调整；普通混凝土强度及其他性能（等级）的测定；混凝土施工生产工艺、混凝土养护工艺、混凝土震动工艺；砂浆流动性、保水性、强度的测定、等级的划分、应用技术。

（五）砌体材料

基础理论：粘土质材料生产工艺在高温下燃烧的变化及其熔融产物的结构。天然石材的矿物组成、分类。

基本知识：烧结普通砖、粉煤灰砖、空心砖和空心砌块、灰砂砖蒸养材料、常用墙板的（预应力空心墙板 灾砸版）制造原理及技术性质与应用。建筑石材等的技术性质及应用。

基本技能：烧结普通砖的强度、石材强度测定及等级划分。

（六）沥青及沥青混合材料

基础理论：沥青组成与结构，沥青及改性沥青的防水、防潮原理；应用于道路工程中的技术问题。

基本知识：石油沥青的技术性质与应用；石油沥青与煤沥青的比较，沥青溶液、沥青胶的配制与应用；沥青卷材的性质与应用。

基本技能：石油沥青牌号的测定 [包括沥青的针入度、延度及软化点的测定；溶解度、蒸发损失、蒸发后针入度比（豫）闪点、脆点的测定等；石油沥青与煤沥青的识别]

（七）合成高分子材料

基础理论：高分子材料的合成原理、胶粘剂的组成、胶粘剂的胶粘机理（理论）。

基本知识：塑料的分类、基本组成、性能、粘结；嵌缝材料的性能及应用；塑料型材、管材及塑料制品的特点与应用；常用胶粘剂的品种、用途。

（八）木材

基础理论：木材主要物理力学性质与其构造、与含水率的关系。

基本知识：木材的主要物理力学性质，常用针叶树、阔叶树的性质与应用。

基本技能：木材含水率的测定，木材抗弯强度测定，木材顺纹抗压、顺纹抗拉、顺纹抗剪强度的测定。

（九）建筑功能材料

灾隹防水、堵水材料

基础理论：防水、堵水材料使用原理，构造特点。

基本知识：防水、堵水材料基本要求，性能，品种。

基本技能：防水、堵水材料技术性能特点的测定方法、应用技术（施工方法）。

灾隹绝热材料及吸声材料

基础理论：绝热材料和吸声材料的作用原理、一般分类、常用品种的性能及应用。

基本知识：绝热材料和吸声材料的基本要求，材料构造特点与表观密度、温度与湿度、热流方向等的影响关系。

基本技能：绝热材料、吸声材料技术的性能特点、施工应用技术。

灾隹装饰材料

基本知识：装饰材料的基本要求和选用原则；常用品种的性能及应用。

基本技能：装饰材料性能特点、应用技术、装饰效果。

第 4 章 土木工程材料的基本性质

土木工程材料的基本性质是指建筑实体或建筑施工中所采用的各种材料在使用过程中表现出来的一系列普遍的共性，也是材料主要的和基本的性质。在建筑物中，对于不同的土木工程，其材料所受的作用是不同的，房屋建筑工程要求材料具备必要的力学性能外，还必须满足保温、隔热、防水及必要的环境要求；道路与桥梁建筑物，既受到车辆荷载的复杂力系作用，又受到各种复杂的自然因素的恶劣影响，有其专门的工艺性能要求；作为工业建筑或长期暴露于大气环境中或与侵蚀性介质相接触的各种建筑物中的材料，还会受到风霜雨雪、冲刷、磨损、化学侵蚀、生物作用、干湿循环、冻融循环等的破坏作用，为此，要求材料具备一定的耐久性能。可见土木工程材料所受的作用是复杂的，但它们之间又是相互影响的。因此，在工程设计与施工中，对土木工程材料性质的要求应当是严格的和多方面的，掌握土木工程材料的基本性质和性能特点是掌握土木工程材料知识、正确选择与合理使用土木工程材料的基础。

土木工程材料的种类繁多，性能多样，其性质可归纳为三种：

- ①物理性质：包括基本物理性质及各种与物理有关的性质（水、热的作用）。
- ②力学性质：材料在外力作用下的强度及变形性能。
- ③耐久性：材料在各种侵蚀环境中经久耐用的性能。

4.1 材料的组成、结构和构造

由于土木工程材料所具有的各项性质又是由材料的组成、结构和构造等因素所决定的，所以首先要了解它们与材料的组成、结构、构造的关系。

4.1.1 材料的组成

材料的组成包括材料的化学组成、矿物组成和相组成。它不仅影响着材料的化学性质，而且也是决定材料物理力学性质的重要因素。

4.1.1.1 化学组成

化学组成是指构成材料的化学元素及化合物的种类及数量。无机非金属材料的化学组成常以各氧化物的含量表示；金属材料以元素含量表示；有机材料则以各化合物的含量来表示。当材料与外界自然环境以及各类物质相接触时，它们之间必然要按化学变化规律发生作用。所以，化学组成是决定材料化学性质（如耐腐蚀性、燃烧性等），影响物理性质（如耐水性、耐热性、保温性等）、力学性质（强度与变形性能等）的主要因素之一。

4.1.1.2 矿物组成

许多无机非金属材料是由各种矿物组成的。矿物是具有一定的化学成分和结构特征的

单质或化合物。矿物组成是指构成材料的矿物的种类和数量。某些建筑材料如天然石材、无机胶凝材料等，其矿物组成是决定其材料性质的主要因素。

矿物组成是无机非金属材料中化合物存在的基本形式。材料的化学组成不同，则材料的矿物组成也不同。即使有相同的化学组成，在不同的条件下，结合成的矿物往往也是不同的。例如，化学组成同是石灰（ CaO ）、石英（ SiO_2 ）和水（ H_2O ），在常温下硬化成的石灰砂浆与在高温下硬化成的灰砂砖，由于两者的矿物组成不同，其物理和力学性质截然不同。

11.1.1 相组成

材料中具有相同物理、化学性质的均匀部分称为相。自然界中的物质一般可分为气相、液相和固相。对同种物质，当温度、压力等条件不同时，其存在的状态常常会发生转变。如由气相转变为液相或由液相变为固相。土木工程材料大多数是多相固体。凡由两相或两相以上物质组成的材料称为复合材料。因此，土木工程材料大多数可看作复合材料。

复合材料的性质与其相组成和相界面特性有密切关系。在实际材料中，界面是一个薄弱区，它的成分和结构在材料各相内是不一样的，是不均匀的“界面相”。因此，通过改变和控制材料的相组成，可改善和提高材料的技术性能。例如，混凝土的配合比设计，通过调整集料和水灰比的数量，可以改善混凝土的强度和耐久性等。

根据材料的组成可判断出材料的某些性质。如材料组成中易发生酸、碱、盐的化学反应，则其耐腐蚀性差或较差；易溶于水或微溶于水，则材料的耐水性差或较差；有机材料的耐火性、耐热性较差；合金的强度高于非合金的强度等等。所以工程选用材料时，一定要考虑材料的组成，才能充分发挥材料性能。

11.1.2 材料的结构

材料的结构决定着材料的许多性质。一般可从三个层次来观察材料的结构及其与性质的关系。

材料的结构可分为宏观结构、细观结构和微观结构。

11.1.2.1 宏观结构

宏观结构是指用肉眼或放大镜能够分辨的粗大组织。该结构主要研究材料中的大孔隙、裂纹、不同材料的组合与复合方式、组成材料的分布情况等等。按其孔隙特征可分为：

- ①致密结构：指无宏观层次的孔隙存在的材料，如钢材、有色金属、致密天然石材、玻璃、玻璃钢、部分塑料等。主要特性是高强或不透水、耐腐蚀。
- ②多孔结构：指具有粗大孔隙的结构，如加气混凝土、泡沫混凝土、泡沫塑料及人造轻质多孔材料。主要特性是轻质、保温。
- ③微孔结构：是指通过提高拌和水量和掺入可燃材料获得的具有微细孔隙的结构，如石膏制品、烧土制品等，可作为保温、吸声、隔热等材料。

按存在状态或构造特征分为：

- ①聚集结构：由集料与胶凝材料胶结成的结构。具有这种结构的材料种类繁多，如水泥混凝土、砂浆、沥青混合料等均属此类结构的材料。其特点是强度较高。
- ②纤维结构：由纤维状物质构成的材料结构，如木材、玻璃钢、岩棉、钢纤维增强水泥混凝土等。具有此种结构的材料，抗拉强度较高，且多数具有质轻、保温、吸声性能。

③层状结构：天然形成或人工采用粘结等方法将材料叠合而成层状的材料结构，如胶合板、纸面石膏板、蜂窝夹心板、各种新型节能复合墙板等。其特点是能够取长补短，综合性能好。

④散粒结构：指松散颗粒状结构，如混凝土集料、膨胀珍珠岩等。

图 1-1-1 细观结构（亚微观结构或显微结构）

细观结构是指用光学显微镜所能观察到的材料结构，主要用于研究材料内部的晶粒、颗粒等大小和形态、晶界与界面、孔隙与微裂纹等。建筑材料的细观结构，只能针对某种具体材料来进行分类研究。对混凝土可分为基相、集料相、界面；对天然岩石可分为矿物、晶体颗粒、非晶体组织；对钢铁可分为铁素体、渗碳体、珠光体；对木材可分为木纤维、导管髓线、树脂道；材料细观结构层次上的各种组织性质各不相同，这些组织的特征、数量、分布和界面性质对材料性能有重要影响。

一般而言，材料的晶粒越细小，分布越均匀，则材料的强度越高，脆性越小，耐久性越好；不同组成间的界面粘结或连接越好，则材料的强度和耐久性越好。

材料的细观结构相对较易改变。

图 1-1-2 微观结构

微观结构是指原子、分子层次的结构，可用电子显微镜或载射线来分析研究该层次上的结构特征。材料的许多物理性质如强度、硬度、熔点、导热、导电性都是由其微观结构所决定的。

在微观结构层次上，按材料组成质点的空间排列或联结方式，材料可分为晶体和玻璃体。

①晶体。晶体是质点（离子、原子、分子）在空间上按特定的规则呈周期性排列的固体，并具有特定的几何外形和固定的熔点和化学稳定性，由于质点在各方向上排列的规律和数量不同而具有各向异性的特点。而晶体材料是由大量排列不规则的晶粒组成，因此又形成了各向同性的性质。如石英结晶体是各向异性材料，而石英矿物则是各向同性的。晶体的各种物理性质除与质点的排列方式有关外，还与质点间的相互作用力有关，这种作用力称为化学键。根据组成晶体的质点及化学键的不同，晶体可分为：

原子晶体：中性原子以共价键而结合成的晶体，如石英等。

离子晶体：正负离子以离子键而结合成的晶体，如氯化钠等。

分子晶体：以分子间的范德华力即分子键结合而成的晶体，如有机化合物。

金属晶体：以金属阳离子为晶格，由自由电子与金属阳离子间的金属键结合而成的晶体，如钢铁材料。

从键的结合力来看：共价键和离子键最强，金属键较强，分子键最弱。

由于各种材料在微观结构上的差异，所以它们的强度、变形、硬度、熔点、导热性等各不相同。可见微观结构对其物理力学性质影响巨大。

②玻璃体。玻璃体也称无定形体或非晶体，是熔融物在急速冷却时，其质点来不及按规则排列就产生凝固所形成的结构。其没有固定的几何外形，具有各向同性的性质。

玻璃体是化学不稳定的结构，容易与其他物质起化学作用。如火山灰、炉渣、粒化高炉矿渣等玻璃体材料，能与石灰在有水的条件下起硬化作用，常被用作硅酸盐水泥的掺和材料，以改善硅酸盐水泥的性质。

1.1 材料的构造

材料的构造是指具有特定性质的材料结构单元间的相互组合搭配情况。构造这一概念与结构相比，更强调了相同材料或不同材料间的搭配组合关系。如材料的孔隙、岩石的层理、木材的纹理、疵病等，这些构造的特征、大小、尺寸及形态，决定了材料的特有的一些性质。如孔隙是开口、细微且连通，则材料易吸水、吸湿，耐久性较差；若孔隙是封闭的，其吸水性会大大下降，而抗冻、抗渗性则提高。所以，对同种材料来讲，其构造越密实、越均匀，强度越高，表观密度越大；而孔隙特征不同或材料层理、纹理不同时，则其隔热保温、隔声吸声、防火抗震、坚固耐久等整体功能和综合性质都会发生变化。

随着材料科学理论和技术的日益发展，深入研究探索材料的组成、结构、构造与材料性能之间的关系，不仅有利于工程正确选用材料，而且加速研制设计工程所需的特殊性能新型土木工程材料，以适应现代建筑的需要。

1.2 材料的基本物理性质

1.2.1 与单位体积质量有关的参数

(1) 密度 ρ (绝对密度)

密度是指材料在绝对密实状态下单位体积的质量。按下式计算：

$$\rho = \frac{m}{V_0} \quad (1.1)$$

式中 ρ ——密度， g/cm^3 ；

m ——材料的质量， g ；

V_0 ——材料在绝对密实状态下的体积， cm^3 。

绝对密实状态下的体积是指不包括孔隙在内的体积。所以材料的密度大小取决于材料的组成与材料的微观结构，当材料的组成与结构一定时，材料的密度为常数。除了钢材、玻璃等少数材料外，绝大多数材料都有一些孔隙。在测定有孔隙材料的密度时，应把材料磨成细粉，干燥后，用李氏瓶测定其实体积。材料磨得越细，测得的密度数值就越精确。砖、石材等块状材料的密度即用此法测得。

在测量某些致密材料（如卵石等）的密度时，可直接以块状材料为试样，以排液置换法测量其体积，材料中部分与外部不连通的封闭孔隙无法排除，这时所求得的密度称为近似密度。

(2) 表观密度 $\rho_{\text{表}}$ (堆积密度)

表观密度（俗称容重）是指材料在自然状态下单位体积的质量，按下式计算：

$$\rho_{\text{表}} = \frac{m}{V_{\text{表}}} \quad (1.2)$$

式中 $\rho_{\text{表}}$ ——表观密度， g/cm^3 或 t/m^3 ；

m ——材料的质量， g 或 t ；

$V_{\text{表}}$ ——材料在自然状态下的体积，或称表观体积， cm^3 或 m^3 。

材料的表观体积是指材料及所含内部孔隙的总体积，材料在自然状态下的质量与其含水状态关系密切，且与材料孔隙的具体构造特征有关。故测定表观密度时，必须注明其含水情况，一般是指材料在气干状态（长期在空气中干燥）下的表观密度。在烘干状态下的表观密度，称为干表观密度。不含开口孔隙的表观密度称为视密度，以排水法测定其体积（对于致密材料即是近似密度）。

(猿) 堆积密度 $\rho_{\text{堆}}$ (粤) 堆积密度 $\rho_{\text{堆}}$

堆积密度（松散容重）是指粉状或粒状材料在堆积状态下单位体积的质量，按下式计算：

$$\rho_{\text{堆}} = \frac{m}{V_{\text{堆}}} \quad (\text{员 猿})$$

式中 $\rho_{\text{堆}}$ ——堆积密度， kg/m^3 ；
 m ——材料的质量， kg ；
 $V_{\text{堆}}$ ——材料的堆积体积， m^3 。

测定散粒材料的堆积密度时，材料的质量是指填充在一定容器内的、任意含水状态下的质量。但须注明含水率，其堆积体积是指所用容器的容积而言。因此，材料的堆积体积包含了颗粒内部的孔隙及颗粒之间的空隙。材料的堆积密度与材料的表观密度、堆积的紧密程度有关。在捣实状态下测定的堆积密度称为紧密堆积密度。

密度、表观密度和堆积密度是材料的主要物理性质，常用来计算材料的密实度、孔隙率，计算材料用量、构件的自重、配料计算以及确定堆放空间等。常用土木工程材料的数据见表 员-员

表 员-员 常用土木工程材料的密度、表观密度及堆积密度

材 料	密度 ρ (kg/m^3)	表观密度 $\rho_{\text{视}}$ (kg/m^3)	堆积密度 $\rho_{\text{堆}}$ (kg/m^3)
石灰岩	2400~2600	2400~2600	1400~1600 (碎石)
花岗岩	2400~2800	2400~2800	—
石英砂	2400~2600	—	1400~1600
粘土	1400~1600	—	1400~1600
烧结普通砖	1400~1600	1400~1600	—
粘土空心砖	1400~1600	1400~1600	—
水泥	3000~3100	—	1400~1600
普通混凝土	—	2400~2600	—
轻集料混凝土	—	1400~1600	—
木 材	1400~1600	1400~1600	—
钢 材	7800	7800	—
泡沫塑料	—	100~200	—

(源) 材料的密实度 (阅读材料性质) 与孔隙率 (孕) 的关系

① 密实度 阅: 是指材料体积内被固体物质充实的程度, 即材料的密实体积与总体积之比。按下式计算:

$$\text{阅} = \frac{V_{\text{实}}}{V_{\text{总}}} = \frac{\rho_{\text{实}}}{\rho} \quad (11-10)$$

式中 阅——材料的密实度。其他符号意义同前。

对于绝对密实的材料, 阅=1; 而有孔隙的材料其密实度 阅<1。

② 孔隙率 孕: 是指材料体积内, 孔隙体积与材料总体积的比值。用下式表示:

$$\text{孕} = \frac{V_{\text{孔}}}{V_{\text{总}}} = 1 - \frac{V_{\text{实}}}{V_{\text{总}}} = 1 - \frac{\rho_{\text{实}}}{\rho} \quad (11-11)$$

式中 孕——材料的孔隙率。其他符号意义同前。

孔隙率的大小直接反映了材料的致密程度, 孔隙率大, 密实度则小, 即 阅=1-孕。对于同种材料, 孔隙率相同时, 其性质不一定相同。由于材料内部孔隙的构造, 可分为连通的与封闭的两种。连通孔隙不仅彼此贯通且与外界相通, 而封闭孔隙则不仅彼此不连通且与外界相隔绝。另外, 孔隙按尺寸大小又分为极微细孔隙、细小孔隙和较粗大孔隙, 所以孔隙率相同, 而孔隙的大小及其分布不同, 将对材料的性能影响较大。

(缘) 空隙率 孕乙 (孕乙)

空隙率是指散粒材料在某堆积体积中, 颗粒之间的空隙体积占总堆积体积的比例, 用下式表示:

$$\text{孕乙} = \frac{V_{\text{孔乙}}}{V_{\text{总乙}}} = 1 - \frac{V_{\text{实乙}}}{V_{\text{总乙}}} = 1 - \frac{\rho_{\text{实乙}}}{\rho_{\text{总乙}}} \quad (11-12)$$

式中 孕乙——散粒材料的空隙率。其他符号意义同前。

空隙率的大小反映了散粒材料的颗粒互相填充的致密程度。在配制混凝土、砂浆等复合材料时, 为节约水泥等胶凝材料, 改善材料的性能, 空隙率可作为重要的控制依据 (如混凝土集料级配与计算砂率)。

11.1.4 材料与水有关的性质

11.1.4.1 亲水性 (宰) 与憎水性 (宰)

材料与水接触时, 根据材料表面被水是否润湿的情况, 可分为亲水性材料和憎水性材料。

材料的亲水性表现为其表面易被水润湿, 形成原因是材料与水接触时, 材料分子与水分子之间的作用力大于水分子间的内聚力。反过来, 当接触的材料分子与水分子之间的作用力小于水分子间的内聚力时, 则材料表面不易被水润湿, 表现出憎水性。

材料被水润湿的情况可用润湿边角 θ 表示。当材料与水接触时, 在材料、水和空气的三相交点处, 沿水滴表面的切线与水与固体接触面所形成的夹角 θ , 称为润湿边角, 如图 11-1 所示。 θ 角愈小, 浸润性愈好。如果润湿边角 θ 为零, 则表示材料完全被水所浸润。一般认为, 当润湿边角 $\theta \leq 90^\circ$ 时, 水分子之间的内聚力小于水分子与材料分子间的相互吸引力, 此种材料称为亲水性材料, 如图 11-1 所示。当 $\theta > 90^\circ$ 时, 水分子之间的内聚力