



魏鸿汉 等编

建筑材料

建筑施工与管理专业系列教材

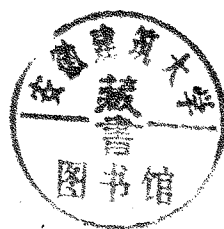
中央广播电视大学出版社

教育部人才培养模式改革和开放教育试点教材
建筑施工与管理专业系列教材

取

建 筑 材 料

魏鸿汉 等编



中央广播电视大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑材料 / 魏鸿汉等编. —北京: 中央广播电视大学出版社, 2006. 1

教育部人才培养模式改革和开放教育试点教材. 建筑施工与管理专业系列教材

ISBN 7 - 304 - 02189 - 6

I. 建… II. 魏… III. 建筑材料—电视大学—教材
IV. TU5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 000853 号

版权所有, 翻印必究。

教育部人才培养模式改革和开放教育试点教材

建筑施工与管理专业系列教材

建筑材料

魏鸿汉 等编

出版·发行: 中央广播电视大学出版社

电话: 发行部: 010 - 68519502

总编室: 010 - 68182524

网址: <http://www.crtvup.com.cn>

地址: 北京市海淀区西四环中路 45 号

邮编: 100039

经销: 新华书店北京发行所

策划编辑: 何勇军

责任编辑: 吴国艳

印刷: 北京宏伟双华印刷有限公司

印数: 0001 ~ 11000

版本: 2006 年 1 月第 1 版

2006 年 1 月第 1 次印刷

开本: 787 × 1092 1/16

印张: 15.25

字数: 348 千字

书号: ISBN 7 - 304 - 02189 - 6/TU · 63

定价: 21.00 元

(如有缺页或倒装, 本社负责退换)

**建筑施工与管理专业教学资源
建设咨询委员会**

主 任：李竹成 李林曙

成 员：(以姓氏笔画为序)

王作兴	王晓明	任 岩	刘其淑
吴汉德	何勇军	何树贵	郝 俊
姚谨英	陶水龙	旷天鑑	胡兴福

**建筑施工与管理专业教学资源
建设委员会**

主 任：杜国成

副主任：郭 鸿 张 明 魏鸿汉

吴国平 傅刚辉 王 圻

成 员：(以姓氏笔画为序)

方绪明	刘 薇	刘 鹰	吕文晓
李 峥	李永光	李自林	李延和
杜 军	陈 丽	沈先荣	张 卓
杨 斌	郑必勇	武继灵	徐道远
郭素芳	高玉兰	银 花	章书寿
董晓冬	余 宁	李晓芳	杨力斌
徐 悦	彭 卫		

前 言

本书是中央广播电视大学建筑施工与管理专业系列教材之一，是建筑材料课程多种媒体教材中的主教材。本书根据 2005 年制定的“建筑材料”教学大纲和多种媒体一体化设计方案编写。

本教材按照中央广播电视大学建筑施工与管理专业专科培养目标的要求，结合教育部面向 21 世纪工学科课程教学和教学内容改革的有关精神，配合“广播电视大学开展人才培养模式改革”的研究成果编写，旨在以职业为导向，以学生为中心；在教学中以“必需”、“够用”为度，以适应电大远距离学习的特点，满足业余自学为主的学生需求。

本课程是一门理论性和实践性都较强的专业基础课，涉及的知识面较广。本教材突出建筑材料的性质与应用的讲解，并特别注重施工现场实际问题的解决。根据本专业培养目标的定位，对于理论性较强的问题以够用为度，不做过多、过深的阐述。

近年来，建筑材料的技术标准和规范有较大变化，本书一律采用最新标准和规范。根据建筑材料工业的不断发展和新技术、新工艺的不断涌现，本书在内容上注意反映新型建筑材料，以体现建筑材料工业发展的新趋势。

本书各章节根据材料的种类而划分。在教材体例的设计上，在各章加设“学习目标”、“学习重点”、“学习建议”、“本章小结”和“思考题与习题”，供教师组织教学和指导学生自主学习使用。

本书第 1 章、第 2 章、第 6 章由天津广播电视大学建筑工程学院魏鸿汉编写，第 7 章、第 8 章、第 13 章由徐州建筑职业技术学院林丽娟编写，第 3 章、第 4 章、第 5 章由四川建筑职业技术学院杨魁编写，第 9 章、第 12 章由内蒙建筑职业技术学院李晓芳编写，第 10 章、第 11 章由广东建筑职业技术学院肖利才编写。魏鸿汉负责全书的统稿和定稿。天津城建学校张卓担任本书的主审，参与审定的还有天津建工科研院高育海、中央电大王圻。在本书的编写过程中还得到了中央电大、中国建设教育协会、江苏电大、杭州电大和天津电大有关

领导和专家的大力支持，在此一并表示感谢。

本教材适用于高等职业教育土建类各专业教学和自学的使用，也可作为有关技术人员的参考用书。

由于编者水平和经验有限，书中难免存在疏漏和错误，衷心希望使用本书的读者批评指正。

编 者
2005 年 9 月

目 录

1 绪 论	(1)
1.1 建筑材料在建筑工程中的重要作用	(1)
1.2 建筑材料的分类	(1)
1.3 建筑材料的发展趋势	(2)
1.4 建筑材料的技术标准	(3)
1.5 本课程的学习目的及方法	(4)
2 建筑材料的基本性质	(5)
2.1 材料的化学组成、结构和构造	(6)
2.2 材料的物理性质	(8)
2.3 材料的力学性质	(16)
2.4 材料的耐久性	(19)
3 建筑石材	(22)
3.1 岩石的基本知识	(23)
3.2 常用的建筑（装饰）石材	(25)
4 气硬性胶凝材料	(29)
4.1 石 灰	(30)
4.2 石 膏	(34)
4.3 水玻璃	(37)

5	水 泥	(41)
5.1	硅酸盐水泥	(42)
5.2	掺混合材料的硅酸盐水泥	(54)
5.3	其他品种水泥	(60)
6	混 凝 土	(65)
6.1	概 述	(66)
6.2	混凝土的组成材料	(67)
6.3	混凝土拌合物的技术性质	(79)
6.4	硬化混凝土的技术性质	(84)
6.5	混凝土外加剂	(93)
6.6	普通混凝土的配合比设计	(100)
6.7	混凝土质量的控制	(111)
7	建筑砂浆	(119)
7.1	砌筑砂浆	(120)
7.2	抹面砂浆	(125)
8	烧土制品及熔融制品	(128)
8.1	块体材料	(129)
8.2	建筑饰面陶瓷制品	(138)
8.3	建筑玻璃	(140)
9	建筑钢材	(145)
9.1	钢的冶炼和分类	(146)
9.2	建筑钢材的主要技术性能	(147)
9.3	钢材的化学成分及其对性能的影响	(151)
9.4	钢材的冷加工及时效	(152)
9.5	建筑钢材的标准及使用	(153)

9.6 钢材的锈蚀及防止	(162)
10 高分子建筑材料	(165)
10.1 高分子化合物的基本知识	(166)
10.2 建筑塑料	(167)
10.3 建筑涂料	(173)
10.4 建筑胶粘剂	(175)
11 防水材料	(179)
11.1 沥青材料	(180)
11.2 其他防水材料	(187)
11.3 防水卷材	(189)
11.4 防水涂料、防水油膏、防水粉	(193)
12 木材及制品	(198)
12.1 木材的构造	(199)
12.2 木材的物理力学性质	(201)
12.3 木材的腐朽与防止	(205)
12.4 木材的综合利用及常用木材制品	(205)
12.5 关于人造木板材的甲醛释放量控制问题	(208)
13 建筑材料试验	(211)
13.1 建筑材料基本性质检测	(211)
13.2 水泥试验	(215)
13.3 普通混凝土试验	(221)
13.4 建筑砂浆试验	(224)
13.5 钢筋试验	(225)
13.6 石油沥青试验	(229)
参考文献	(234)

1 绪 论

1.1 建筑材料在建筑工程中的重要作用

建筑材料是指组成建筑物或构筑物各部分实体的材料。随着历史的发展、社会的进步,特别是科学技术的不断创新,建筑材料的内涵也在不断丰富。从人类文明发展早期的木材、石材等天然材料到近代以水泥、混凝土、钢材为代表的主体建筑材料进而发展到现代由金属材料、高分子材料、无机硅酸盐材料互相结合而产生的复合材料,形成了建筑材料丰富多彩的大家族。纵观建筑历史的长河,建筑材料的日新月异无疑对建筑科学的发展起到了巨大的推动作用。

首先,建筑材料是建筑工程的物质基础。不论是高达 420.5 m 的上海金贸大厦,还是普通的一幢临时建筑,都是由各种散体建筑材料经过设计和施工最终构建而成的。建筑材料的物质性还体现在其使用的巨量性,一幢单体建筑一般重达几百至数千吨甚至可达数万、几十万吨,这形成了建筑材料的生产、运输、使用等方面与其他门类材料的不同。其二,建筑材料的发展赋予了建筑物以时代的特性和风格。西方古典建筑的石材廊柱、中国古代以木架构为代表的宫廷建筑、当代以钢筋混凝土和型钢为主体材料的超高层建筑,都呈现了鲜明的时代感。其三,建筑设计理论不断进步和施工技术的革新不但受到建筑材料发展的制约,同时亦受到其发展的推动。大跨度预应力结构、薄壳结构、悬索结构、空间网架结构和节能型特色环保建筑的出现无疑都是与新材料的产生密切相关的。其四,建筑材料的正确、节约、合理的使用直接影响到建筑工程的造价和投资。在我国,一般建筑工程的材料费用要占到总投资的 50%~60%,特殊工程的这一比例还要提高。对于中国这样一个发展中国家,对建筑材料特性进行深入了解和认识,最大限度地发挥其效能,进而达到最大的经济效益,无疑具有非常重要的意义。

1.2 建筑材料的分类

建筑材料种类繁多,随着材料科学和材料工业的不断发展,新型建筑材料不断涌现。为了研究、应用和阐述的方便,可从不同角度对其进行分类。如按其在建筑物中的所处部位,

可将其分为基础、主体、屋面、地面等材料。按其使用功能可将其分为结构（梁、板、柱、墙体）材料、围护材料、保温隔热材料、防水材料、装饰装修材料、吸声隔音材料等。本书是按材料的化学成分和组成的特点进行分类的，即将材料分为无机材料、有机材料和由这两类材料复合而形成的复合材料，如表 1-1 所示。

表 1-1 建筑材料的分类

无机材料	金属材料	黑色金属：铁、非合金钢、合金钢 有色金属：铝、锌、铜及其合金
	非金属材料	石材（天然石材、人造石材） 烧结制品（烧结砖、陶瓷面砖） 熔融制品（玻璃、岩棉、矿棉） 胶凝材料（石灰、石膏、水玻璃、水泥） 混凝土、砂浆 硅酸盐制品（砌块、蒸养砖、碳化板）
有机材料	植物材料	木材、竹材及制品
	高分子材料	沥青、塑料、涂料、合成橡胶、胶粘剂
复合材料	金属非金属复合材料	钢纤维混凝土、铝塑板、涂塑钢板
	无机有机复合材料	沥青混凝土、塑料颗粒保温砂浆、聚合物混凝土

1.3 建筑材料的发展趋势

1.3.1 根据建筑物的功能要求研发新的建筑材料

建筑物的使用功能是随着社会的发展、人民生活水平的不断提高而不断丰富的，从其最基本的安全（主要由结构设计和结构材料的性能来保证）、适用（主要由建筑设计和功能材料的性能来保证）要求，发展到当今的轻质高强、抗震、高耐久性、无毒环保、节能等诸多新的功能要求，使建筑材料的研究从被动的以研究应用为主向开发新功能、多功能材料的方向转变。

1.3.2 高分子建筑材料应用日益广泛

石油化工工业的发展和高分子材料本身优良的工程特性促进了高分子建筑材料的发展和应用。塑料上下水管、塑钢、塑铝门窗、树脂砂浆、胶粘剂、蜂窝保温板、高分子有机涂料、新型高分子防水材料广泛应用于建筑物，为建筑物提供了许多新的功能和更高的耐

久性。

1.3.3 用复合材料生产高性能的建材制品

单一材料的性能往往是有限的,不足以满足现代建筑对材料提出的多方面的功能要求。如现代窗玻璃的功能要求是采光、分隔、保温隔热、隔声、防结露、装饰等。但传统的单层窗玻璃除采光、分隔外,其他功能均不尽如人意。近年来广泛采用的中空玻璃,由玻璃、金属、橡胶、惰性气体等多种材料复合,发挥各种材料的性能优势,使其综合性能得到明显改善。据预测,低辐射玻璃、中空玻璃、钢木组合门窗、塑铝门窗和用复合材料制作的建筑部件及高性能混凝土的应用范围将不断扩大。

1.3.4 充分利用工业废渣及廉价原料生产建筑材料

建筑材料应用的巨量性,促使人们去探索和开发建筑材料原料的新来源,以保证经济与社会的可持续发展。粉煤灰、矿渣、煤矸石、页岩、磷石膏、热带木材和各种非金属矿都是很有应用前景的建筑材料原料。由此开发的新型胶凝材料、烧结砖、砌块、复合板材将会为建材工业带来新的发展契机。

1.4 建筑材料的技术标准

标准一词广义上讲是指对重复事物和概念所作的统一规定,它以科学、技术和实践的综成果为基础,经有关方面协商一致,由主管部门批准发布,作为共同遵守的准则和依据。

与建筑材料的生产和选用有关的标准主要有产品标准和工程建设标准两类。产品标准是为保证建筑材料产品的适用性,对产品必须达到的某些或全部要求所制定的标准。其中包括:品种、规格、技术性能、试验方法、检验规则、包装、储藏和运输等内容。工程建设标准是对工程建设中的勘察、规划、设计、施工、安装、验收等需要协调统一的事项所制定的标准,其中结构设计规范、施工及验收规范中有与建筑材料的选用相关的内容。

本课程主要依据的是国内标准。它分为国家标准、行业标准两类。国家标准由各行业主管部门和国家质量监督检验检疫总局联合发布,作为国家级的标准,各有关行业都必须执行。国家标准代号由标准名称、标准发布机构的组织代号、标准号和标准颁布时间四部分组成。如《硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥》(GB175—1999)为国家标准,标准名称为硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥,标准发布机构的组织代号为GB(国家标准),标准号为175,颁布时间为1999年。行业标准由各行业主管部门批准,在特定行业内执行,其分为建筑材料(JC),建筑工程(JGJ),石油工业(SY),冶金工业(YB)等,其标准代号组成与国家标

准相同。除此两类外,国内各地方和企业还有地方标准和企业标准供使用。

我国加入 WTO 后,采用和参考国际通用标准和先进标准是加快我国建筑材料工业与世界步伐接轨的重要措施,对促进建材工业的科技进步,提高产品质量和标准化水平,扩大建筑材料的对外贸易有着重要作用。

常用的国际标准有以下几类:

- ① 美国材料与试验协会标准 (ASTM) 等,属于国际团体和公司标准;
- ② 联邦德国工业标准 (DIN),欧洲标准 (EN) 等,属区域性国家标准;
- ③ 国际标准化组织标准 (ISO) 等,属于国际性标准化组织的标准。

1.5 本课程的学习目的及方法

建筑材料是土木工程类专业的一门重要专业基础课,它全面系统地介绍建筑工程施工和设计所涉及的建筑材料的性质与应用的基本知识,为今后继续学习其他专业课,如建筑结构、施工技术、建筑工程预算等打下基础,同时也使学生掌握建筑材料试验的基本技能。

建筑材料的种类繁多,各类材料的知识既有联系又有很强的独立性。该门课程涉及到化学、物理、应用等方面的基本知识,因此要掌握好理论学习和实践认识两者间的关系。

在理论学习方面,要重点掌握材料的组成、技术性质和特征、外界因素对材料性质的影响和应用的原则,各种材料都应遵循这一主线来学习。理论是基础,只有牢固掌握好基础理论知识,才能应对建筑材料科学的不断发展,并在实践中加以灵活正确地应用。

建筑材料是一门应用技术学科,特别要注意实践和认知环节的学习。学生要注意把所学的理论知识落实在材料的检测、验收、选用等实践操作技能上。在理论学习的同时,要在教师的指导下,随时到工地或试验室穿插进行材料的认知实习,并完成课程所要求的建筑材料试验,以高质量地完成该门课程的学习。

2 建筑材料的基本性质

学习目标

1. 掌握材料的密度、表观密度、体积密度、堆积密度、孔隙率和密实度的概念；材料与水有关的性质及指标；材料的导热性及导热系数；材料的强度与强度等级；弹性和塑性、脆性和韧性的概念；材料的各种基本性质的有关计算；材料的耐久性及影响因素。
2. 理解材料的组成结构和构造；影响材料强度试验结果的因素；影响导热性的因素。
3. 了解材料的耐燃性和耐火性；材料的热容和热容量；材料的硬度和耐磨性。

学习重点

1. 材料的密度、表观密度、体积密度、堆积密度、孔隙率和密实度的概念、表达式及各密度指标的不同所表达的材料构造的特点。
2. 材料吸水率、含水率、耐水性的概念及指标；材料导热性的影响因素及导热系数的表达式。
3. 材料的强度与强度等级的概念及区别；弹性和塑性、脆性和韧性的概念。
4. 材料的各种基本性质的有关计算。
5. 材料耐久性的概念及耐久性的影响因素。

学习建议

1. 从材料的体积构成去掌握和理解材料的各密度指标概念及其区别。
2. 从材料吸水率、含水率影响因素的不同去理解两者的区别及联系。
3. 以材料的孔隙率为基础去理解材料各基本性质间的变化关系。

建筑物要保证其正常使用,就必须具备基本的强度、防水、保温、隔声、耐热、耐腐蚀等项功能,而这些功能往往是由所采用的建筑材料提供的。本章主要介绍各类建筑材料所具有共性的基本性能及其指标,并将其作为我们研究各类建筑材料性能的出发点和工具。通常建筑材料的基本性质可归纳为以下几类:

物理性质:包括材料的密度、孔隙状态、与水有关的性质、热工性能等。

化学性质:包括材料的抗腐蚀性、化学稳定性等。

力学性质:材料的力学性质应包括在物理性质中,但因其对建筑物的安全使用有重要意义,故对其单独研究;其包括材料的强度、变形、脆性和韧性、硬度和耐磨性等。

耐久性:材料的耐久性是一项综合性质,虽很难对其量化描述,但对建筑物的使用至关重要。

2.1 材料的化学组成、结构和构造

2.1.1 材料的化学组成

材料化学组成的不同是造成其性能各异的主要原因。化学组成通常从材料的元素组成和矿物组成两方面分析研究。

材料的元素组成主要是指其化学元素的组成特点,例如,不同种类合金钢的性质不同,主要是其所含合金元素如 C, Si, Mn, V, Ti 的不同所致。硅酸盐水泥之所以不能用于海洋工程,主要是因为硅酸盐水泥中所含的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 与海水中的盐类 (Na_2SO_4 , MgSO_4 等) 会发生反应,生成体积膨胀或疏松无强度的产物所致。

材料的矿物组成主要是指元素组成相同,但分子团组成形式各异的现象。如黏土和由其烧结而成的陶瓷中都含 SiO_2 和 Al_2O_3 两种矿物,其所含化学元素相同,均为 Si, Al 和 O 元素,但黏土在焙烧中由 SiO_2 和 Al_2O_3 分子团结合生成的 $3\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ 矿物,即莫来石晶体,使陶瓷具有了强度、硬度等特性。

2.1.2 材料的微观结构

材料的微观结构主要是指材料在原子、离子、分子层次上的组成形式。材料的许多性质与材料的微观结构都有密切的关系。建筑材料的微观结构主要有晶体、玻璃体和胶体等形式。晶体的微观结构特点是组成物质的微观粒子在空间的排列有确定的几何位置关系。如纯铝为面心立方体晶格结构,而液态纯铁在温度降至 1.535°C 时,可形成体心立方体晶格。强度极高的金刚石和强度极低的石墨,虽元素组成同为碳,但由于各自的晶体结构形式不同,而形成了性质上的巨大反差。一般来说,晶体结构的物质具有强度高、硬度较大、有确定的

熔点、力学性质各向异性的共性。建筑材料中的金属材料（钢和铝合金）和非金属材料中的石膏及水泥石中的某些矿物等都是典型的晶体结构。

玻璃体微观结构的特点是组成物质的微观粒子在空间的排列呈无序混沌状态。玻璃体结构的材料具有化学活性高、无确定的熔点、力学性质各向同性的特点。粉煤灰、建筑用普通玻璃都是典型的玻璃体结构。

胶体是建筑材料中常见的一种微观结构形式，通常是由极细微的固体颗粒均匀分布在液体中所形成。胶体与晶体和玻璃体最大的不同点是可呈分散相和网状结构两种结构形式，分别称为溶胶和凝胶。溶胶失水后成为具有一定强度的凝胶结构，可以把材料中的晶体或其他固体颗粒黏结为整体。如气硬性胶凝材料水玻璃和硅酸盐水泥石中的水化硅酸钙和水化铁酸钙都呈胶体结构。

2.1.3 材料的构造

材料在宏观可见层次上的组成形式称为构造，按照材料宏观组织和孔隙状态的不同可将材料的构造分为以下类型：

1. 致密状构造

该构造完全没有或基本没有孔隙。具有该种构造的材料一般密度较大，导热性较高，如钢材、玻璃、铝合金等。

2. 多孔状构造

该种构造具有较多的孔隙，孔隙直径较大（mm级以上）。该种构造的材料一般都为轻质材料，具有较好的保温隔热性和隔音吸声性能，同时具有较高的吸水性。如加气混凝土、泡沫塑料、刨花板等。

3. 微孔状构造

该种构造具有众多直径微小的孔隙，该种构造的材料通常密度和导热系数较小，有良好的隔音吸声性能和吸水性，抗渗性较差。石膏制品、烧结砖具有典型的微孔状构造。

4. 颗粒状构造

该种构造为固体颗粒的聚集体，如石子、砂和蛭石等。该种构造的材料可由胶凝材料黏结为整体，也可单独以填充状态使用。该种构造的材料性质因材质不同相差较大，如蛭石可直接铺设作为保温层，而砂、石可作为骨料与胶凝材料拌合形成砂浆和混凝土。

5. 纤维状构造

木材、玻璃纤维、矿棉都是纤维状构造的代表。该种构造通常呈力学各向异性，其性质与纤维走向有关，一般具有较好的保温和吸声性能。

6. 层状构造

该种构造形式最适合于制造复合材料，可以综合各层材料的性能优势，其性能往往呈各向异性。胶合板、复合木地板、纸面石膏板、夹层玻璃都是层状构造。

2.1.4 建筑材料的孔隙

材料实体内部和实体间常常部分被空气所占据，一般称材料实体内部被空气所占据的空间为孔隙，而材料实体之间被空气所占据的空间称为空隙。孔隙状况对建筑材料的各种基本性质具有重要的影响。

孔隙一般由材料自然形成或人工制造过程中各种内、外界因素所致而产生，其主要形成原因有水的占据作用（如混凝土、石膏制品等）、火山作用（浮石、火山渣等）、外加剂作用（如加气混凝土、泡沫塑料等）、焙烧作用（如陶粒、烧结砖等）等。

材料的孔隙状况由孔隙率、孔隙连通性和孔隙直径三个指标来说明。

孔隙率是指孔隙在材料体积中所占的比例。一般孔隙率越大，材料的密度越小、强度越低、保温隔热性越好、吸声隔音能力越高。

孔隙按其连通性可分为连通孔和封闭孔。连通孔是指孔隙之间、孔隙和外界之间都连通的孔隙（如木材、矿渣）；封闭孔是指孔隙之间、孔隙和外界之间都不连通的孔隙（如发泡聚苯乙烯、陶粒）；介于两者之间的称为半连通孔或半封闭孔。一般情况下，连通孔对材料的吸水性、吸声性影响较大，而封闭孔对材料的保温隔热性能影响较大。

孔隙按其直径的大小可分为粗大孔、毛细孔和极细微孔三类。粗大孔指直径大于 mm 级的孔隙，其主要影响材料的密度、强度等性能。毛细孔是指直径在 $\mu\text{m} \sim \text{mm}$ 级的孔隙，这类孔隙对水具有强烈的毛细作用，主要影响材料的吸水性、抗冻性等性能。极细微孔的直径在 μm 级以下，其直径微小，对材料的性能反而影响不大。矿渣、石膏制品、陶瓷锦砖分别以粗大孔、毛细孔、极细微孔为主。

2.2 材料的物理性质

2.2.1 材料与质量有关的性质

材料与质量有关的性质主要是指材料的各种密度和描述其孔隙与空隙状况的指标，在这些指标的表达式中都有质量这一参数。为更简洁准确地学习有关的概念，先介绍一下材料的体积构成。

如图 2-1 所示。单体材料的体积主要由绝对密实的体积 V ，开口孔隙体积（之和） $V_{\text{开}}$ ，闭口孔隙体积（之和） $V_{\text{闭}}$ 组成。为研究问题的方便起见，我们又将绝对密实的体积 V 与闭口孔隙体积 $V_{\text{闭}}$ 的

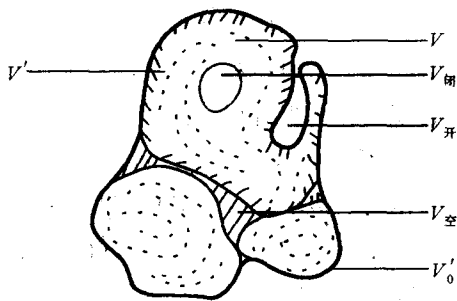


图 2-1 材料的体积构成