

高等教育应用型本科土建类课改教科书

土木工程材料

TUMU GONGCHENG CAILIAO

任胜义 赖伶 编著



中国建材工业出版社

高等教育应用型本科土建类课改教科书

土木工程材料

任胜义 赖 伶 编著

中国建材工业出版社

1/4

图书在版编目(CIP)数据

土木工程材料/任胜义, 赖伶编著. —北京: 中国建材工业出版社, 2015. 3

高等教育应用型本科土建类课改教科书

ISBN 978-7-5160-1151-5

I. ①土… II. ①任… ②赖… III. ①土木工程-建筑材料-高等学校-教材 IV. ①TU5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 032218 号

内容简介

本书为高等教育应用型本科土建类课改教科书, 书中吸收了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最新规范、应用情况和创新成果而编写。全书共 12 章, 主要介绍土木工程材料的基本性质, 无机气硬性胶凝材料, 水泥, 混凝土, 砂浆, 建筑钢材, 墙体、屋面及门窗材料, 建筑塑料与胶粘剂, 防水材料, 木材, 建筑装饰材料, 绝热材料和吸声材料。

为了方便教学, 每章后备有复习思考题, 书后安排有土木工程材料试验。

土木工程材料

任胜义 赖伶 编著

出版发行: 中国建材工业出版社

地址: 北京市海淀区三里河路 1 号

邮编: 100044

经销: 全国各地新华书店

印刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开本: 787mm×1092mm 1/16

印张: 15.75

字数: 386 千字

版次: 2015 年 3 月第 1 版

印次: 2015 年 3 月第 1 次

定价: 43.00 元

本社网址: www.jccbs.com.cn 微信公众号: zgjcgycbs

本书如出现印装质量问题, 由我社市场营销部负责调换。联系电话: (010) 88386906

前 言

为了全面落实国家中长期教育改革和发展规划纲要的部署,深化高校应用型本科土建类课程改革,使大学生具备社会所需要的创新能力和就业能力,我们编著了这本《土木工程材料》,目的是通过土木工程材料学的课程改革,使学生在掌握土建类专业所必需的土木工程材料基础知识和基本技能的基础上,主动练就实践能力和创新创业能力。为此,本教科书从知识与技能、过程与方法、情感态度与价值观等三方面着手,采用“学与问”“思考与交流”和“实践与探究”的设疑方式,引导学生主动思考,积极实践;在渴望求知的氛围中,用“探索与发现”的方式向学生介绍知识来源于实践,反过来又指导实践的辩证关系,进而阐述掌握知识与培养能力的必要性;在主动学习和追求新异的氛围中,用“实践与探究”的方式引领学生发挥想象,以“实例示范”指导学生进行创新性试验;用“科学视野”的方式,展示土木工程材料的技术标准与规范。这样既可以引导学生进行自主学习、探究学习与合作学习,又可以帮助学生培养就业能力和终身学习能力。

本书根据高校应用型本科的土建类《土木工程材料》教学大纲编写而成,为土木工程、建筑结构工程、地下建筑工程等专业用书。本书吸收了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规范及应用情况进行编写。对学生实践能力与创新创业能力的培养贯穿于整个教学过程中。

本书内容包括:土木工程材料的基本性质,无机气硬性胶凝材料,水泥,混凝土,砂浆,建筑钢材,墙体、屋面及门窗材料,建筑塑料与胶粘剂,防水材料,木材,装饰材料,绝热材料和吸声材料以及土木工程材料试验。

本书由大连海洋大学应用技术学院任胜义教授和营口职业技术学院赖伶教授编著,任胜义编著绪论、第一章、第二章、第三章、第四章、第五章、第六章、第九章,赖伶编著第七章、第八章、第十章、第十一章、第十二章,土木工程材料试验部分由大连海洋大学应用技术学院张福燕老师编写。限于编者水平,书中难免有不妥或错误之处,尚请广大师生、读者提出宝贵意见。

编 者

2015年2月

出版说明

为了全面落实国家中长期教育改革和发展规划纲要的部署,改革、创新高校育人机制,教育部力推应用型本科层次的教育教学改革,以强化大学生创新实践能力的培养,进而全面实施素质教育。应用型本科教育,是我国社会发展进步的产物,是高等教育的重要组成部分。应用型本科教育教学改革发展,除了具备一般高等教育的特征外,还具有其自身的特色,即培养适应生产、建设、管理、服务第一线需要的高等技术应用型人才,倡导学生学习的主体性、实践性、多样性和创新性。为了能够使这一特色在具体教育教学过程中得以凸显,我们编著了这本高校应用型本科土建类课改教科书《土木工程材料》,其目的是探索在应用型本科教育教学过程中,行之有效地实施素质教育,使学生具有解决实际问题的能力和创新实践能力,进而提高人才培养质量。

希望本书能起到抛砖引玉之功效,为应用型人才的培养探索有效途径。



中国建材工业出版社
China Building Materials Press

我们提供

图书出版、图书广告宣传、企业/个人定向出版、设计业务、企业内刊等外包、代选代购图书、团体用书、会议、培训，其他深度合作等优质高效服务。

编辑部
010-88385207

宣传推广
010-68361706

出版咨询
010-68343948

图书销售
010-88386906

设计业务
010-68361706

邮箱：jccbs-zbs@163.com

网址：www.jccbs.com.cn

发展出版传媒 服务经济建设

传播科技进步 满足社会需求

(版权专有，盗版必究。未经出版者预先书面许可，不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。举报电话：010-68343948)

目 录

绪论	1
第一章 土木工程材料的基本性质	4
第一节 材料的组成、结构和构造	4
第二节 土木工程材料的基本物理性质	7
第三节 材料的力学性质	17
第四节 材料的耐久性	20
思考复习题	21
第二章 无机气硬性胶凝材料	22
第一节 概述	22
第二节 建筑生石灰	22
第三节 石膏	28
第四节 水玻璃	31
思考复习题	33
第三章 水泥	34
第一节 硅酸盐水泥	34
第二节 掺大量混合材料的硅酸盐水泥	46
第三节 其他品种水泥	51
思考复习题	54
第四章 混凝土	56
第一节 概述	56
第二节 普通混凝土的组成材料	57
第三节 普通混凝土的技术性质	67
第四节 混凝土外加剂	83
第五节 混凝土的质量控制与评定	86
第六节 普通混凝土的配合比设计	90
第七节 其他品种的混凝土	99
思考复习题	106
第五章 砂浆	107
第一节 砌筑砂浆的组成材料	107
第二节 砌筑砂浆的主要技术性质	109
第三节 砌筑砂浆配合比的确定和要求	112
第四节 其他砂浆	116
思考复习题	118

第六章 建筑钢材	119
第一节 钢材的分类	119
第二节 钢材的技术性质	121
第三节 钢材的化学成分及其对钢材性能的影响	125
第四节 钢材的冷加工、时效和焊接	126
第五节 建筑钢材的技术标准与选用	127
第六节 钢材的腐蚀与防护	142
思考复习题	143
第七章 墙体、屋面及门窗材料	145
第一节 墙体材料	145
第二节 屋面材料	155
第三节 门窗材料	157
思考复习题	158
第八章 建筑塑料与胶粘剂	159
第一节 建筑塑料	159
第二节 胶粘剂	164
思考复习题	166
第九章 防水材料	167
第一节 沥青防水材料	167
第二节 防水卷材	173
第三节 防水涂料	176
第四节 建筑密封材料	177
思考复习题	179
第十章 木材	180
思考复习题	186
第十一章 建筑装饰材料	187
第一节 概述	187
第二节 天然装饰石材	188
第三节 建筑装饰陶瓷	189
第四节 玻璃装饰制品	191
思考复习题	194
第十二章 绝热材料和吸声材料	195
第一节 绝热材料	195
第二节 吸声材料	196
思考复习题	199
土木工程材料试验	200
概述	200
试验一 土木工程材料的基本性质试验	201
试验二 水泥试验	206

试验三	砂、石试验.....	216
试验四	混凝土试验.....	223
试验五	砂浆试验.....	228
试验六	钢筋试验.....	232
试验七	烧结多孔砖抗压强度试验.....	235
试验八	石油沥青试验.....	236
参考文献		239

绪 论

一、土木工程材料的定义

【思考与交流】 当我们步入教学楼（图 0-1）时，你是否想过建造它时使用了哪些材料？观看下列图片，试说出教学楼不同部位所使用材料的名称。如，基础工程（图 0-2）、钢筋混凝土结构工程（图 0-3）、砌筑工程（图 0-4）、防水工程（图 0-5）、装饰工程（图 0-6）中所使用的具体材料。

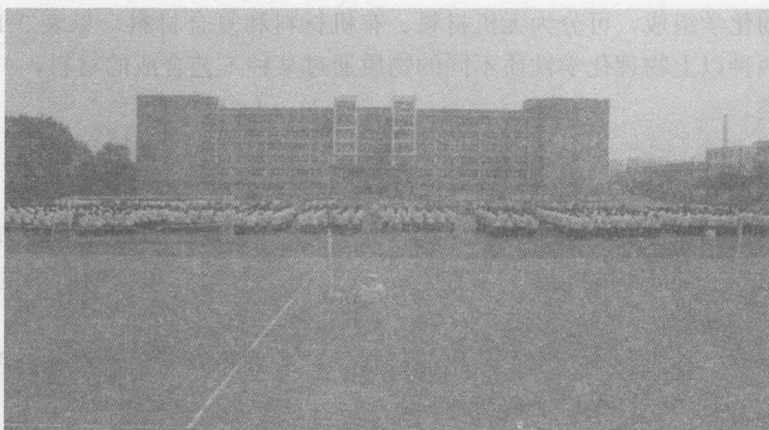
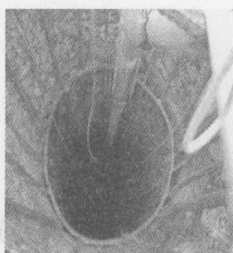


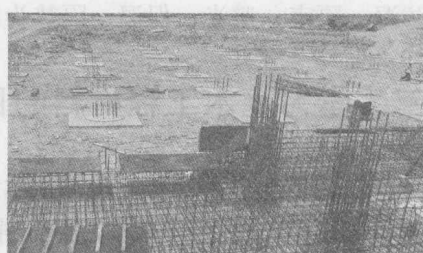
图 0-1 教学楼



(a)



(b)



(c)

图 0-2 基础工程

(a) 桩孔；(b) 桩帽；(c) 筏形基础



图 0-3 结构工程

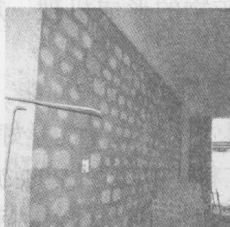


图 0-4 砌筑工程

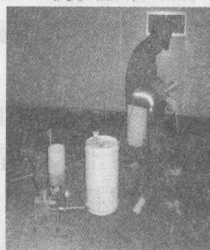


图 0-5 防水工程



图 0-6 装饰工程

〔探索与发现〕 土木工程材料是指用于土木工程中所有材料的总称。土木工程材料除用于土木工程本身的各种材料外,还包括盥洗、冷暖、通风等设备器材以及施工过程中的临时工程围护结构的墙、板、桩、架等材料。

二、土木工程材料分类

〔思考与交流〕 将上述交流讨论中所提到的材料依次记录下来,利用已掌握的化学知识,初步判断上述材料中哪些材料属于无机材料?哪些材料属于有机材料?哪些材料属于复合材料?

〔探索与发现〕 土木工程材料品种繁多,分类庞杂,有多种分类方法。

1. 按化学组成分类

根据材料的化学组成,可分为无机材料、有机材料和复合材料,见表 0-1。所谓复合材料是指两种或两种以上物理化学性质不同的物质通过某种工艺合成的材料,一般按基材或复合方式进行分类。

2. 按使用功能分类

土木工程材料根据其在土木工程中用途分为三大类:结构材料、墙体材料和功能材料。

(1) 结构材料 建筑物的骨架,是指构成建筑物受力构件和结构所用的材料,如混凝土、建筑钢材、木材等。

(2) 墙体材料 建筑物的外围护所用的材料,有承重和非承重围护材料之分,如混凝土制品、混凝土空心砌块、烧结空心砖等。

(3) 功能材料 承担建筑物功能的非承重材料,如以装饰为目的装饰材料,以防水、防潮、防湿、隔声、避光、保温、隔热为目的绝热材料等。

三、学习土木工程材料的目的

〔学与问〕 土建类各专业学习土木工程材料的目的是什么?

〔科学视野〕 1. 掌握土木工程材料的技术性能,能够按照使用目的与使用条件,安全、合理地选用材料;

2. 掌握土木工程材料试验的基本技能;

3. 理解土木工程材料的最基本的生产工艺及加工原理的一般知识;

4. 了解材料的组成、结构、组织构造及其矿物的形成机理,加深对材料性质的理解和选用。

5. 学会在实践中不断改进、创新土木工程材料的品种和性能。

〔学与问〕 我们为什么要学习土木工程材料?怎样做才能学好土木工程材料?

〔探索与发现〕 土木工程材料是一切土木工程中必不可少的物质基础。土木工程材料的品种、质量及其“组合”制约着建筑的结构形式和施工方法,影响着建筑的使用寿命和节能效率。可以说,世界上所有的土木建筑都是由土木工程材料构成的,没有土木工程材料就没

有土木建筑物。

四、学习土木工程材料的必要性和方法

[学与问] 学习土木工程材料有何必要性？

[探索与发现] 土木工程技术现代化，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研发与使用，对增强土木工程的技术、经济效益具有重大意义。

表 0-1 土木工程材料按化学组成分类

建筑材料	无机材料	非金属材料	天然石材：碎石，卵石，砂，毛石，料石 烧土制品：黏土砖，瓦，黏土空心砖，建筑陶瓷 玻璃：平板玻璃，浮法玻璃 胶凝材料：石灰，石膏，水玻璃，各种水泥 混凝土：普通混凝土，轻混凝土，特种混凝土 各种砂浆：水泥砂浆，水泥混合砂浆 硅酸盐制品：粉煤灰砖，灰砂砖，硅酸盐砌块 绝热材料：石棉，矿棉，玻璃棉，膨胀珍珠岩
		金属材料	黑色金属：生铁，碳素钢，合金钢 有色金属：铝，钛，铜及其合金
	有机材料	植物质材料	木材 竹材 软木 毛毡
		沥青材料	石油沥青 煤沥青 沥青防水制品
		高分子材料	塑料 橡胶 涂料 胶粘剂
	复合材料	无机非金属材料	聚合物混凝土 沥青混凝土
		有机材料的复合	水泥刨花板 玻璃钢

土木工程材料是一门联系实际较强的学科，土木工程材料试验是这门课的一个重要环节。主动进行材料试验，既可以加深对所学的理论知识的理解，又可以练就实践技能。

在学习过程中要理论联系实际，参观土木工程材料样品间和建筑工地，通过实地调查和实践，了解土木工程材料的共性和特性，进而掌握和理解其技术性质，做到学以致用。

第一章 土木工程材料的基本性质

[学与问] 土木工程材料的组成、结构和构造与材料的基本性质之间有什么关系？学习掌握土木工程材料各种性质有何意义？

[探索与发现] 在土木工程中，处于不同部位的材料承受各种不同的外界因素作用，需要具有不同的性质。土木工程材料的性质是指土木工程实体或土木工程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。如：结构材料主要承受不同外力作用；基础材料除承受建筑物上部荷载作用外，还要承受冰冻和地下水的作用；外围护材料常受到风、雨和日晒等大气因素的作用；功能材料承受各种外界因素而尽最大可能地发挥相应功能和效用。为了保证建筑物或构筑物的耐久性，要求在工程设计与施工中能够正确选择和合理使用材料，因此，必须熟悉和掌握各种土木工程材料的性质。

第一节 材料的组成、结构和构造

[学与问] 决定材料性质的基本因素有哪些？

[探索与发现] 根据材料学的基本理论，材料的组成、结构和构造是决定材料性质的基本因素。

一、材料的组成

[学与问] 材料的组成对其自身的物理性质和化学性质有何影响？

[探索与发现] 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。

(一) 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和数量。无机非金属材料的化学组成常用各种氧化物的含量来表示，如石灰的主要化学成分是 CaO ；金属材料的化学组成常以化学元素的含量来表示，如不同的碳素钢碳元素含量不同；合成高分子材料的化学成分常以其链节重复形式表示，如聚乙烯的链节是 C_2H_4 ，等。

土木工程材料的很多性质都与其化学组成有关。如钢材与环境中的物质接触时，按化学变化规律发生锈蚀。

(二) 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。

(三) 相组成

材料中结构相近、性质相同的均匀部分称为相。自然界中的物质可以分为气相、液相和固相。

相组成是指构成材料的相的种类和数量。同一种材料可由多相物质组成,例如钢中有铁素体、渗碳体和珠光体三相,它们的比例不同,钢的强度和塑性将发生变化。复合材料是宏观层次上的多相组成材料,如混凝土。

二、材料的结构

[学与问] 为什么材料的结构决定着材料的性质呢?

[探索与发现] 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。

(一) 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。材料的宏观结构主要有密实结构、多孔结构、纤维结构、层状结构、散粒结构和纹理结构。

1. 密实结构。密实结构的材料内部基本上无孔隙,结构密实。这类材料的特点是吸水率小,抗渗性较好,强度较高,如钢材、天然石材、玻璃等。

2. 多孔结构。多孔结构的材料内部存在大体上呈均匀分布的、独立或部分连通的孔隙,孔隙率较大,孔隙有大孔和微孔之分。这类材料质轻,吸水率较高,抗渗性较差,强度较低,但绝热性较好,如石膏制品、加气混凝土、烧结普通砖等。

3. 纤维结构。纤维结构的材料由纤维状物质组成,其内部组成具有方向性,纵向较紧密而横向较疏松,纤维之间存在相当多的孔隙。这类材料的性质具有明显的方向性,一般平行纤维方向的强度较高,导热性较好,如木材、玻璃纤维、矿棉等。

4. 层状结构。层状结构的材料具有叠合结构,它用胶结料将不同的片状材料胶合成整体,各层材料性质不同,但叠合后材料的综合性能较好,从而扩大了材料的适用范围,如胶合板、纸面石膏板等。

5. 散粒结构。散粒结构的材料是指呈松散颗粒状的材料。颗粒有密实颗粒与松散颗粒之分。前者如砂子、石子等密实颗粒,后者如陶粒。

6. 纹理结构。纹理结构是指天然材料在长期或形成过程中,自然形成有天然纹理的结构,如木材、大理石、花岗岩等;或人工制造材料时特意造成的纹理,如人造石材、瓷砖等。不同的纹理结构装饰效果不同。

(二) 细观结构

细观结构是指在光学显微镜下能观察到的结构。土木工程材料的细观结构,应根据具体材料分类研究。对于水泥混凝土,通常是研究水泥石的孔隙结构及界面特性结构;对于金属材料,通常研究其金属相组织,即晶界及晶粒尺寸等;对于木材,通常研究木纤维、管胞、髓线等组织的结构。材料在细观结构层次上的差异对材料的性能有显著的影响。例如:混凝土中毛细孔的数量、大小等显著影响混凝土的强度和抗渗性;钢材的晶粒尺寸越小,钢材的强度越高。

(三) 微观结构

微观结构是指用显微镜或X射线来分析研究的原子、分子层次的结构。微观结构材料分为晶体、玻璃体和胶体。

1. 晶体。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。晶

体具有特定的几何形状和固定的熔点，且具有化学稳定性。根据组成晶体的质点及化学稳定性的不同，晶体可分为原子晶体、金属晶体、离子晶体和分子晶体。

(1) 原子晶体：中性原子以共价键结合而成的晶体，如石英。

(2) 金属晶体：金属阳离子排列成一定形式的晶格，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。

(3) 离子晶体：正负离子以离子键结合而成的晶体，如氯化钠 (NaCl)。

(4) 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。

晶体质点间结合键的特性决定着晶体材料的特性。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。

2. 玻璃体。玻璃体是熔融的物质经急冷而形成的无定形体。由于冷却速度较快，质点来不及按一定规律进行排列就已经凝固成固体。玻璃体是非晶体，质点排列无规律，因而玻璃体没有固定的几何形状，具有各向同性。玻璃体没有固定的熔点，加热时会出现软化。

在急冷过程中，质点来不及做定向排列，故未达到能量最低位置，质点间的能量以内能的形式储存起来。因而，玻璃体具有化学不稳定性，即具有潜在的化学活性，在一定条件下容易与其他物质发生化学反应。粉煤灰、火山灰、粒化高炉矿渣等都含有大量玻璃体成分，这些成分赋予它们潜在的活性。

3. 胶体。胶体是指以粒径为 $10^{-10} \sim 10^{-7} \text{m}$ 的固体颗粒作为分散相（称为胶粒），分散在连续相介质中，形成的分散体系。在胶体结构中，若胶粒较少，则胶粒悬浮、分散在连续相介质中，此时连续相介质的性质对胶体的性质影响较大，这种胶体结构称为溶胶结构。若胶粒数量较多，则胶粒在表面能作用下发生凝聚，彼此相连形成空间网状结构，从而胶体强度增大，变形较少，形成固体或半固体状态，这种胶体结构称为凝胶结构。介于两者之间的是溶胶—凝胶结构。

胶体的分散相（胶粒）很小，比表面积较大。因而胶体表面能大，吸附能力很强，质点间具有很强的粘结力。如硅酸盐水泥水化形成的水化产物中的凝胶将砂和石子粘结成整体，形成人工石材。凝胶结构具有固体性质，但在长期应力作用下会具有黏性液体的流动性。这是由于胶体表面有一层吸附膜，膜层越厚，流动性越大。如混凝土中含有大量水泥水化时形成的凝胶体，混凝土在应力作用下具有类似液体的流动性质，会产生不可恢复的塑性变形。

与晶体及玻璃体结构相比，胶体结构的强度低、变形能力大。

三、材料的构造

【学与问】 材料的结构与构造有什么不同？

【探索与发现】 材料的构造是指具有特定性质的材料结构单元间的互相结合搭配情况。构造与结构相比，更强调相同材料或不同材料间的搭配组合关系。如某材料从结构上来说是多孔的，但如果孔隙是开口、细微且连通的，则材料易吸水、吸湿，耐久性差；如果孔隙是封闭的，其吸水性会大大下降，抗渗性得以提高。又如，某墙板是由具有不同性质的材料经一定组合搭配而成的一种复合墙板，各材料间合理的组合搭配将赋予墙板良好的绝热、隔声、防水、坚固耐用等性能。

第二节 土木工程材料的基本物理性质

一、材料的状态参数

(一) 密度

〔思考与交流〕 图 1-1 是铜质立方体试块，图 1-2 是混凝土立方体试块，试说出测量铜质立方体试块和混凝土立方体试块密度的方法有什么不同。

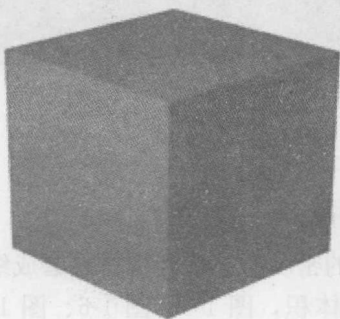


图 1-1 铜质立方体

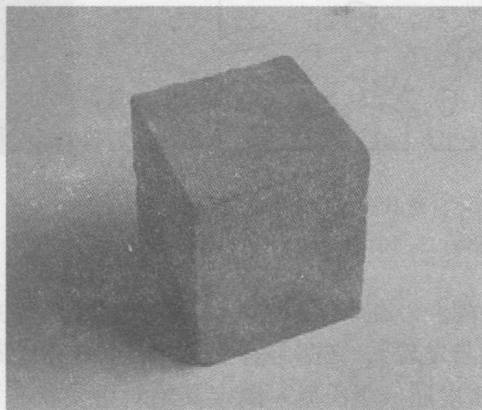


图 1-2 混凝土立方体

〔探索与发现〕 按照惯性思维方式思考，有人会提出“首先用天平称出铜质立方体试块的质量和混凝土立方体试块的质量，其次用刻度尺量出铜质立方体试块和混凝土立方体试块的长度、宽度和厚度，求出其体积，再用铜质立方体试块和混凝土立方体试块的质量除以各自的体积即可求得铜质立方体试块和混凝土立方体试块的密度”。该观点是否正确？请大家观察下面试验：把铜质立方体试块和混凝土立方体试块分别放进盛有水的盆中，能观察到什么现象？如何解释所看到的现象？

通过观察看到的现象是铜质立方体试块放到水中，其表面没有气泡溢出；混凝土立方体试块放到水中，其表面有气泡溢出。这是为什么呢？从外貌看，二者形状相似，但仔细观察就会发现：铜质立方体试块表面没有孔隙，混凝土立方体试块表面存在很多孔隙，将混凝土立方体试块剖开看得更清晰（图 1-3）。当把表面没有孔隙的铜质试块浸入水中时，看不到有什么现象发生；当把表面有诸多孔隙的混凝土试块浸入水中，就会发现混凝土试块表面有气泡溢出。这是因为水的密度比空气密度大，当水浸入材料的孔隙中，孔隙中原有的空气被挤出，因此有气泡溢出。如果大家仍然按照中学物理课本中测量密度的模式测量铜质立方体试块和混凝土立方体试块的密度，则会得出不同的结论。因为中学物理课本中所涉及的材料（如金属铜）内部是无孔隙（绝对密实状态）的，在此前提条件下，密度的定义为“材料单位体积的质量”。然而，我们现在研究的对象不仅仅是铜（内部不存在孔隙），还有混凝土（内部存在孔隙）。由于混凝土立方体试块内部存在诸多孔隙，所以忽略“绝对密实状态”这一前提条件，测量出混凝土密度的方法是错误的。

在自然状态下，大部分材料的体积内都含有孔隙（图 1-4），而只有少部分材料的体积

内不含有孔隙。把不包括材料内部孔隙的固体物质本身的体积称为绝对密实状态。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。为了便于试验，我们用黏土砖替代混凝土立方体试块，来探索内部存在诸多孔隙材料的密度测量方法。

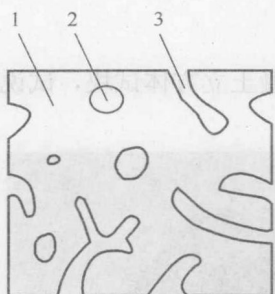


图 1-3 自然状态下材料体积示意图

1—固体；2—闭口孔隙；3—开口孔隙

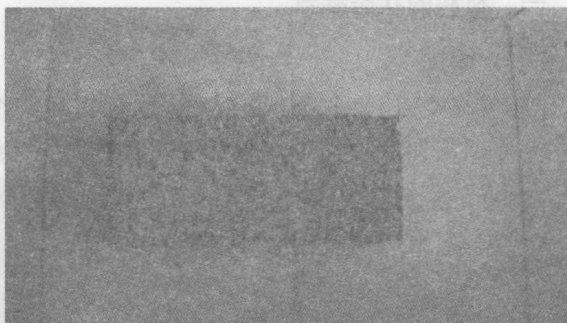


图 1-4 黏土砖

[学与问] 在现实中怎样才能测出黏土砖的密度呢？

[探索与发现] 在测定有孔隙材料（如黏土砖）的密度时，应当把材料磨成细粉，经干燥后，用密度瓶（李氏瓶）测定其绝对密实状态下的体积，图 1-5、图 1-6、图 1-7、图 1-8 为同学们测定黏土砖的绝对密实状态下的体积。在测出黏土砖在绝对密实状态下的体积之后，再按照“材料单位体积的质量”计算其密度。

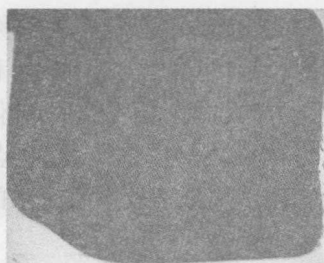


图 1-5 将黏土砖研磨成粉末



图 1-6 称取烘干后粉末的质量

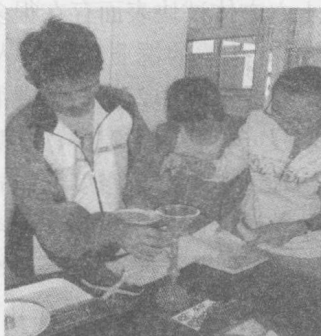


图 1-7 用排水法测粉末的体积



图 1-8 观察李氏瓶的刻度