

从材料科学角度围绕孔隙问题浅谈 如何教好《建筑材料》课程

刘雪吟

衢州学院建筑工程学院, 浙江 衢州

收稿日期: 2022年3月7日; 录用日期: 2022年4月11日; 发布日期: 2022年4月19日

摘要

《建筑材料》作为建筑工程及其相关专业一门重要的专业基础课程, 普遍被学生认为枯燥无味, 需要死记硬背。再加上通常机械性灌输的教学模式, 这些问题变得尤为突出。针对这一现象, 结合材料科学的基本原理, 把一些简单的底层逻辑引入到该门课程的教学中来, 将有利于学生摆脱死记硬背的学习方法而掌握原理, 这样既能更好地掌握应用常用的建筑材料, 又具备拓展到新型建筑材料的能力。本文围绕材料的一个共性参数——“孔隙”, 从其概念的引入、与其它性能的作用和关系到在实际工程问题中的应用三个层次来论述, 由易到难, 层层递进, 不断加深学生对孔隙及其对其它性能影响规律的理解。本文引入的材料科学的基本原理和逻辑为《建筑材料》课程教学提供了新的思路, 提高了学生学习该门课程的兴趣和掌握的程度。

关键词

建筑材料, 孔隙, 性能, 新教学方法, 土木工程

Discussion on How to Improve the Teaching of “Building Materials” from the Perspective of Material Science and around the Issue of Porosity

Xueyin Liu

College of Civil Engineering and Architecture, Quzhou University, Quzhou Zhejiang

Received: Mar. 7th, 2022; accepted: Apr. 11th, 2022; published: Apr. 19th, 2022

文章引用: 刘雪吟. 从材料科学角度围绕孔隙问题浅谈如何教好《建筑材料》课程[J]. 创新教育研究, 2022, 10(4): 652-657. DOI: 10.12677/ces.2022.104107

Abstract

As an important specialized basic course for architectural engineering and its related subjects, "Building Materials" is generally considered by the students to be boring, requiring rote memorization, which is further exacerbated by the conventional "cramming" teaching method. To address this issue, based on the fundamental principles of material science, some simple underlying logic is introduced into the teaching of this course, to help the students to avoid the rote learning and master better the relevant principles. This will not only enable them to have sufficient knowledge about the commonly used building materials, but also enable them to apply it to deal with a newly developed building material. This paper presents discussions around a common parameter of materials, "porosity", in three levels, from its concept introduction, to its classification, roles and relationships with other properties, to its use in practical engineering applications. Such a "from the easiest to the hardest" or "step by step" methodology, would make the students easily follow and understand better the relationships between porosity and other important physicochemical properties. Such a novel teaching strategy based on the fundamental principles and underlying logic of material science has been proven feasible and effective in the teaching of "Building Materials", increasing significantly the students' interest and engagement in this course study.

Keywords

Building Materials, Porosity, Property, New Teaching Method, Civil Engineering

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

目前,我国高校在建筑工程及其相关的专业中均开设有《建筑材料》或《土木工程材料》的课程。对于相关专业的学生和老师而言,该门课程是非常重要的专业基础课,是建筑行为的科学基础。建筑材料在其运用过程中有其自身的客观行为和规律,但在教学和学习的过程中,该课程被普遍认为枯燥乏味、缺乏系统性及逻辑性,需要死记硬背的内容特别多[1][2][3]。

材料是人类赖以生存和发展的物质基础。建筑材料,即建筑工程中所使用的各种材料,是建筑工程的物质基础。从历史上看,建筑材料种类繁多形式各异,随着材料的发展,建筑形式也发生了翻天覆地的变化。例如目前最广泛使用的水泥混凝土,其历史尚不足两百年,而新型建筑材料仍在不断涌现。《建筑材料》是涵盖水泥、混凝土、建筑钢材、石膏、石灰、沥青等最常用的建筑材料的一门课程。该课程除了要求熟知一般常用建筑材料的原料、生产过程、性能、运输和贮存、应用等之外,还要求能够合理选择材料,并了解新型建筑材料的发展趋势等。建筑材料种类繁多且各品种的制备工艺、性能和应用等都有着较大的差异,即便只是简单掌握和记忆都显得不甚容易。而涉及到一些具体的工程问题,例如水泥石侵蚀及防治、混凝土的颗粒级配等问题,学生常常知其然而不知其所以然。另外,由于课程学时的限制,教学集中在常用建筑材料,课程很难扩展到新型的建筑材料,对于从事相关专业学生未来工作的发展相当不利。

《建筑材料》通常的教学模式是对每个材料品种的各个性能参数直接无条理性地、机械性地灌输给学生,这使得上述问题变得更加突出。事实上,作为材料大类中与人类社会息息相关的一个部分,材料

科学使用的研究方法和技巧大多可被直接或间接地应用到建筑材料体系中来。结合材料科学的一些基本原理,把一些简单的底层逻辑引入到《建筑材料》课程的教学中来,既有利于学生更好地理解原来死记硬背的知识背后的原理,有机地串联一些看似无关的知识,又可以将其灵活推广到新出现的任何材料体系中,使学生掌握更为基础的原理和能力,未来能够更好地胜任建筑工程领域的工作。

有鉴于此,本文拟简述作者近年来在采用“以点带面,提纲挈领”的新方法教授《建筑材料》课程方面的一些初步实践和体会。以材料的一个至关重要的结构及性能参数——“孔隙”为切入点和基点,从介绍其主要特点出发,自然地引入与其相关的其它重要的材料性能参数,之后再进一步拓展到与其相关的实际工程问题。如此,从感性出发便于理解,从理性分析便于应用,深入浅出,由易到难,层层递进,更符合学生学习和接受新知识的一般规律,对《建筑材料》课程的教授和学习两个方面而言都可带来较为显著的改进和益处。

2. 深入浅出直观引入“孔隙”的概念

首先给学生展示几种典型的建筑材料的实际微观形貌图像(如图1所示的水化后水泥[4]及沙石[5]的扫描电子显微镜照片),让学生直接观察到材料中孔洞的存在,使其取得感性认识的同时,可直观地引入孔隙的概念。任何材料从微观形貌的角度上来看,均可分为实体部分和孔洞部分。这些孔洞也就是我们所定义的孔隙。基于实际的微观形貌图像还可进一步归纳、概括、抽象画出一般建筑材料典型结构示意图,使学生了解到书本上的材料体积组成示意图从何而来,然后就可结合示意图来进一步拓展介绍孔隙的分类。

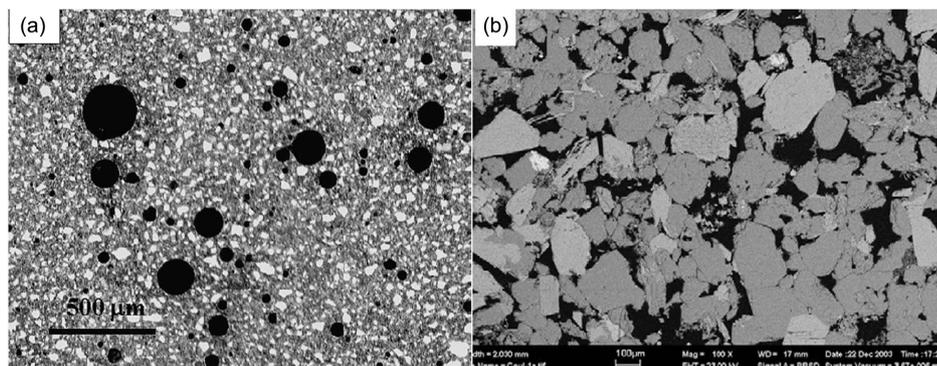


Figure 1. Scanning electron microscope images of hydrated cement (a) and sandstone (b)
图1. 水化水泥(a)及沙石(b)扫描电子显微镜照片

一种分类是根据孔隙的尺寸来进行,尽管针对不同的材料尺寸的界限标准也不尽相同。具体到建筑材料,通常简单地把其孔隙分为大孔($D > 1 \text{ mm}$)、毛细孔($0.01 \text{ mm} < D < 1 \text{ mm}$)和微孔($D < 0.01 \text{ mm}$)三种。采取该分类方法主要是基于不同尺寸的孔隙具有不同的性质,因而对材料的整体结构、重要物理化学性能及工程行为等产生不同的影响。这在下面也会做更具体的分析。

另外一种分类方法是根据孔隙与外界的连通关系。基于此分类方法,建筑材料里面的孔隙可简单地分为开口孔(与材料的外界环境连接)和闭口孔(孤立封闭在材料内部,不与外界有物质交换)两种。孔隙中存在的是空气,或者与外界连通的交换的物质,这与孔隙的特点和外界的连通情况有非常重要的关系。

3. 系统性引入建筑材料其它重要性能参数及其与孔隙之间的重要关系

在直观地引入孔隙的概念并初步了解其分类之后,可进一步介绍建筑材料的其它与其相关的一系列重要性能参数,以进一步使学生加深对材料中的孔隙的影响和作用的理。首先以树形示意图展示受孔

隙影响的主要的性能参数(图 2),使学生概观性系统性地了解孔隙对材料其它重要性能及其将来服役表现的重要意义。之后即可从学生最熟悉的性能参数——“密度”入手提纲挈领、按部就班地展开这部分属于《建筑材料》核心内容的教学。

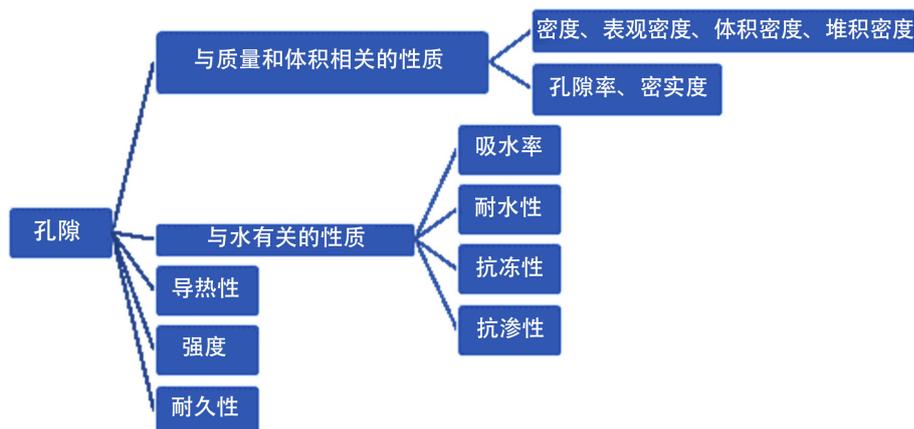


Figure 2. Relationships between porosity and other important properties
图 2. 孔隙与其它主要性能之间的关系

1) 密度

密度是高中物理已经学习过的一个重要的物理概念。一提到它,学生往往第一直观反应就是 ρ (密度) $=m$ (质量)/ V (体积)。高中物理针对的物质对象是一种理想的材料,密度是其本征特性之一,是由其内在元素种类及组成所决定的。在实际的材料中,特别是在建筑材料中,除钢材及玻璃等,密度的概念需要进一步细分成其它几个特定的概念参数,即,表观密度、体积密度和堆积密度。然而,唐突引入这些意义不同但表观上看起来相似的概念,极易造成学生混淆。这已明显体现在学生的作业、课堂测验和期末考试中。

在此,质量是固定的,基于不同的体积,可计算出相对应的特定密度。而这里的体积就与材料实物体积加上哪部分的孔隙体积密切相关。在教学过程中,可以让学生画出有关的示意图然后各自完善下列表 1,从而使他们更好地理解、区分和掌握这几个看起来类似的概念参数。

Table 1. Relationships between different densities of a material and volumes, and the calculation equations
表 1. 材料各种密度与体积之间的对应关系及计算公式

概念	计算的体积	对应示意图中的部分	公式	单位
密度				
表观密度				
体积密度				
堆积密度				

这里可以顺便简单补充介绍一下空隙的概念并提醒学生注意区分其与孔隙的不同。孔隙是材料内部的,而空隙是散粒材料颗粒之间的。

基于以上内容,可以就密度相关概念简单小结,非常容易判别出一个材料的各个密度之间的大小关系是呈规律性降低的。这点也将有助于定性判定计算出的“ $\times\times$ 密度”的值是否合理有效。

2) 与水有关的性质

吸水性也是与孔隙有着密切关系的性能参数。首先，材料吸水，实质上就是水进入到材料的孔隙之中，这个必然是通过开口孔来实现的，因为闭口孔没有与外界物质交换的通道。其次，在开口孔中，材料的吸水能力与孔隙的大小有着密切的关系。大孔中容易进水，但不容易被充满；极细孔隙由于材料表面张力和润湿性等的缘故，不容易进水；而细小孔隙(毛细管孔隙)易进水也易饱和。

因此，孔隙的开闭口和孔径分布对吸水性的影响非常显著，根据孔隙的数量、形貌和孔径分布，吸水率是比较容易分析出来的。一般来说，孔隙率增加，开口孔增加，则吸水率增大；而同样的孔隙率，如果闭口孔多，则吸水率降低，以此类推。理解了孔隙的分类及其特点，学生掌握起来就非常容易，也不需要再死记硬背。另一方面，如果不理解这些，死记硬背也是根本不现实的。

另外一个与水有关的重要性能参数是耐水性。其定义是材料在饱和水作用下其强度保持不显著下降的性能。通常用“软化系数”来衡量。水分子会削弱材料分子间的结合力，材料内也会存在易溶成分等，因此软化系数的范围在 0~1 之间，越是接近 1，材料的耐水性越好。与吸水性的分析雷同，当孔隙为闭口孔时，水不能进入材料内部，则水分子对材料强度的削弱作用减小，则耐水性好。而造成耐水性较差，软化系数较低，分析可知是由较大的孔隙率、较多的开口孔等因素引起的。

3) 其它受孔隙影响的重要性能参数

根据以上的分析，学生已经能够很容易地类比孔隙与性能影响的规律。之后，可让他们根据同样的原理和方法自己分析建筑材料的孔隙与其它一些重要性能参数，如抗渗性、抗冻性、导热性、强度和耐久性等之间的关系。在课堂上可以小组的方式，让每个小组总结一个特定性能与孔隙的关系，并进行表述和讨论。最后可由老师做进一步的指导、补充和总结。如此也额外地既培养了学生独立分析问题的习惯，提高了其归纳总结的能力，同时又改进了其语言表达及交流方面的技能。

为进一步加深学生对重要性能与孔隙之间关系的理解，作为课后作业，可让他们小结孔隙率和材料各性能之间的变化关系，可根据孔隙率 P 、开口孔隙率 P_K 、闭口孔隙率 K_B 的变化，以表格的方式列出各性能相对应的变化，例如表 2。

Table 2. Variation relationships between porosity and various properties of a material

表 2. 孔隙率与材料各性能之间的变化关系

孔隙率 P	密度	体积密度	表观密度	吸水性	抗冻性	抗渗性	导热性	强度	吸声性
$P \uparrow$									
P 不变	$P_K \uparrow$								

通过上述对性能是如何受孔隙影响的分析，学生已经 1) 掌握或至少是比较熟悉孔隙的特征包括大小、孔径的分布及特点、与外界的连通关系。2) 对各个性能和孔隙的关系有比较多的感性认识。具体到某个特定性能，可简单分析其与孔隙的关系，对孔隙变化后该性能的变化可以简单判别。3) 在面对一个新材料时，有能力借助孔隙的概念来帮助自己理解和分析其相关性能和行为。

4. 孔隙与性能之间的变化关系在实际工程问题中的推广应用

在《建筑材料》后续学习过程中涉及到某种具体建筑材料时，还可把上述孔隙与性能之间的重要关系进一步推广应用到一些实际的工程问题中，如此可进一步加深对孔隙作用的理解，比如石膏的质轻强度低但隔热吸声性能优良，水泥石的腐蚀及其相应的防治措施，混凝土中骨料的颗粒级配、水灰比的确立、外加剂的引入，混凝土结构的冻融破坏及防治，多孔绝热材料的结构设计等等，都应用到了孔隙的作用原理。如果课程时间充裕，且有学生有进一步深入学习的愿望，更可布置一个开放性的作业：选择一个工程实例，让学生仔细考虑在具体材料的应用中，哪些地方运用到了材料中孔隙和结构、性能的关系。

系，然后可以做出论述的 PPT，作为展示和提高能力的窗口。

在此特举一个某小组学生针对孔隙及其与性能的关系解析具体土木工程材料的应用实例：“水泥石的腐蚀及防治措施”。水泥石出现腐蚀的情况很多，包括有软水侵蚀、盐类腐蚀、酸类腐蚀、强碱腐蚀和综合腐蚀。结合这些情况，可总结出水泥石腐蚀背后的根本原因有：1) 环境中存在着对水泥石具有腐蚀性的物质；2) 水泥石本身含有较多的水化铝酸钙、氢氧化钙等易被腐蚀的产物；3) 水泥石的结构中存在非常多的孔隙，这些孔隙提供了腐蚀物质与水泥石内部接触的通道。学生就此分析，此时在水泥石结构中给腐蚀提供便利的孔隙，首先是开口孔，与外界环境有物质的交换；其次作用比较明显的应该是毛细孔，因为容易进水也比较饱和，为酸、强碱、盐等物质通过水进入水泥石内部提供了便利。学生的这些分析非常正确。那基于此考虑，如何提高水泥石的抗腐蚀性呢？工程材料使用的环境是难以改变的。虽然通过水泥品种的选用可在一定程度上改变易被腐蚀的水化产物的含量，但这个也受其它一些因素的制约。故为了提高水泥石的抗腐蚀性，最高效和简便的方式就是降低孔隙率，提高致密程度，封闭腐蚀物质与水泥石内部接触的通道。为此，一方面可考虑降低水灰比、采用高效减水剂、改善施工工艺，另一方面还可采用防腐层在水泥石表面进行防护处理。学生就水泥石的防腐蚀问题，就此有了非常清晰完整的认识，也对孔隙与性能之间的重要关系及其应用有了更进一步的体会和掌握。

5. 结语

本文介绍了作者近年来在以新改进的方法教授《建筑材料》课程方面的一些经验和体会。改进的教学模式更符合学生学习的规律，使他们能够将整个《建筑材料》课程中看似零散的要点有机地联系起来。这有助于他们从单纯的记忆转化为感性的认识和理性的归纳分析，可有效地避免其产生《建筑材料》只是一门枯燥需要死记硬背的课程的错误认知。甚至推及以后，当学生将来接触到任何一个新品种的材料时，他们将能够遵循同样的逻辑灵活应用所学的方法，针对孔隙的影响及作用以及新材料的整体服役行为及表现进行详细的分析。如此，无论是在教师教学方面还是学生学习方面，都可达到事半功倍的效果。

参考文献

- [1] 张春惠. 课程思政融入土木工程材料课程的实践与思考[J]. 黑龙江科学, 2021(9): 41-42.
- [2] 郑慧君. 《建筑材料与检测》课程思政教学探索与实践[J]. 砖瓦, 2020, 9(10): 195-196.
- [3] 王刚. 建筑材料课教学新方法探讨[J]. 成都大学(自然科学版), 2005, 24(3): 27-29.
- [4] Diamond, S. (2004) The Microstructure of Cement Paste and Concrete—A Visual Primer. *Cement and Concrete Composites*, 26, 919-933. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2004.02.028>
- [5] Tsakiroglou, C.D., Ioannidis, M.A., Amirtharaj, E. and Vizika, O. (2009) A New Approach for the Characterization of the Pore Structure of Dual Porosity Rocks. *Chemical Engineering Science*, 64, 847-859. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2008.10.046>