

# Study on Preparation of Porous Geopolymer Materials

Jun-li Yu, Le-ping Liu, Xue-min Cui

School of Chemistry and Chemical Engineering, Guangxi University, Guangxi, Nanning, 530004

Email: cui-xm@tsinghua.edu.cn

**Abstract:** Aluminum powder foaming method is adapted to fabricate porous geopolymer materials. The influence of different content and modulus of water-glass, content of aluminum powder on the compressive strength and open porosity has been systematically studied. In addition, the open porosity increases but the compressive strength decreases with the increment of aluminum powder content. Porous materials with high porosity and high strength are successfully prepared when the ratio of MK/WG (wt%) is 1, the modulus of water-glass is 1.2, the content of aluminum powder is 0.20% (wt%) at foaming temperature of 80°C. The compressive strength of porous materials with porosity rate of 75% can over 1.6 MPa, and the largest pore diameter is less than 2mm.

**Keywords:** Geopolymer; porous materials; open porosity; compressive strength

## 地聚物基多孔材料的制备研究

郁军丽, 刘乐平, 崔学民<sup>1</sup>

广西大学化学化工学院, 广西 南宁 530004

Email: cui-xm@tsinghua.edu.cn

**摘要:** 本文采用铝粉发泡剂制备了地聚物基多孔材料。系统研究了水玻璃含量、模数及铝粉含量对多孔材料的气孔率和抗压强度影响; 并且, 随铝粉含量的增加气孔率增大, 抗压强度减小; 在 80°C 下, 偏高岭土 (MK) / 水玻璃 (WG) (wt%) 为 1:1、水玻璃模数为 1.2、铝粉含量为 0.24% (wt%) 时可获得高强度和高气孔率的多孔材料, 此时气孔率达到 75% 以上, 抗压强度在 1.6MPa 以上, 大孔孔径尺寸小于 2mm。

**关键词:** 地质聚合物; 多孔材料; 孔隙率; 抗压强度

### 1 引言

地质聚合物 (简称地聚物) 材料是一类高性能无机聚合材料, 是不同于普通硅酸盐材料的新型碱激发凝胶材料<sup>[1-2]</sup>, 具有节能环保、强度高、耐腐蚀、耐高温、耐久性好、制备工艺简单、用途广泛等特点<sup>[2-5]</sup>, 在国内外受到材料学界极大的关注<sup>[6]</sup>。进入 21 世纪, 可持续发展已成为全人类共同关注的话题, 如何开发新能源和新材料、减少已有能源与材料的消耗是其中一个重要方面, 多孔陶瓷材料应运而生。文献表明, 大多数多孔陶瓷体的获得都要经过 1000°C 甚至更高温度的焙烧。本课题组在综合国内外研究成果的基础上, 以偏高岭土为主要原料, 借鉴多孔陶瓷材料的制备工

艺, 采用了直接发泡工艺与添加造孔剂复合技术, 与传统多孔陶瓷制备工艺相比, 地质聚合物多孔材料的制备具有成本低、工艺简单的优势; 特别是地质聚合物材料可以在较低温度下甚至室温反应就能获得较高强度高气孔率的多孔材料, 免除了高温烧结工艺, 而且能制造复杂形状制品, 因而具有明显的技术优势。

本文以地聚物为基体材料, 铝粉做发泡剂制备了高性能的多孔材料, 系统研究了地聚物多孔材料的制备工艺。

### 2 实验过程

首先将高岭土在马弗炉中 800°C 下煅烧 2h 使之成为偏高岭土, 准确称取偏高岭土 (MK) 与水玻璃 (WG) 混合搅拌 30min 以上, 然后将该浆体倒入铝粉水溶液中, 随后注入 2cm×2cm×2cm 钢质模具中放置恒温干燥箱中养护 6h, 取出拆模。研究中用阿基米德排油法

通讯作者: 崔学民 (1971-), 广西大学化学化工学院研究员, 博士生导师, 主要从事先进无机非金属材料制备及精细工艺研究; 电话: 0771-3232834 ; 传真: 0771-3233718 ; E-mail: cui-xm@tsinghua.edu.cn

测定多孔材料的气孔率和体积密度，采用长春试验机电子万能试验机测试抗压强度，并通过体视显微镜观察孔结构及孔径大小。

### 3 实验结果与讨论

#### 3.1 水玻璃含量的影响

经过前期研究，确定发泡工艺的最佳温度为80℃。图1是在MK:WG (wt%) = 0.5: 1、0.8: 1、1: 1、1.2: 1、1.4: 1, Al占MK的0.08%(wt%)不变的情况下，WG模数为1.2的实验结果。

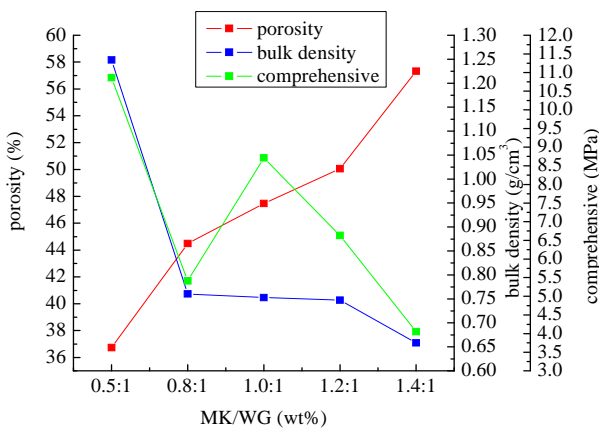


Figure 1. the effect of porous material property on different MK/WG

图1 MK/WG 对多孔材料性能的影响

从图1中可知，随MK:WG比例的增大，气孔率显著增大，体积密度减小，抗压强度在1:1时达到最佳。在pH值一定范围内，气孔的形成与黏度和浆料表面张力有关，(0.5:1)的试样在发泡时严重塌陷，造成气孔率很低。随粉体加入量增大，浆料黏度增大，能把产生的气泡稳定住，不会造成塌陷；从而气孔率逐渐增大，体积密度减小。抗压强度受气孔率分布影响也与地聚物形成有关，在小于1:1时导致气孔率低，抗压强度大，当大于1:1时因粉体量多，未参与反应的偏高岭土会影响聚合物骨架的形成，从而导致抗压强度的减小。综合考虑后采用1:1的用于下一步的实验。

#### 3.2 水玻璃模数的影响

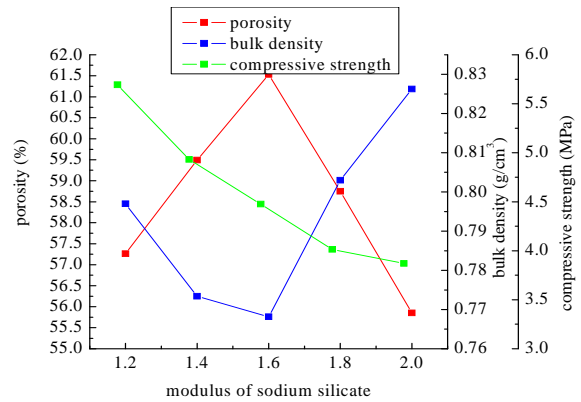


Figure 2. the effect of porous material property on different water-glass modulus

图2. 水玻璃模数对多孔材料性能的影响

图2是在MK:WG (wt%) = 1: 1, Al占MK的0.08%(wt%)不变的情况下，改变WG模数的实验结果。

由图2可知随WG模数的增大，孔隙率在水玻璃模数为1.6时达到最大，体积密度在此时最小，强度逐渐减小。这是因为WG模数大于1.6时因水玻璃模数高，SiO<sub>2</sub>的初始聚合度高，不利于地聚物缩聚反应；在小于1.6模数的水玻璃中SiO<sub>2</sub>聚合状态不高，有利于缩聚反应<sup>[7-9]</sup>，随着解聚-缩聚反应的进行，解聚出来的水增多，黏度减小，pH值越来越小，使气孔率越来越小，强度越来越大。

#### 3.3 铝粉含量的影响

图3是在MK:WG (wt%) = 1: 1, WG模数为1.2的情况下，改变Al粉含量的实验结果。

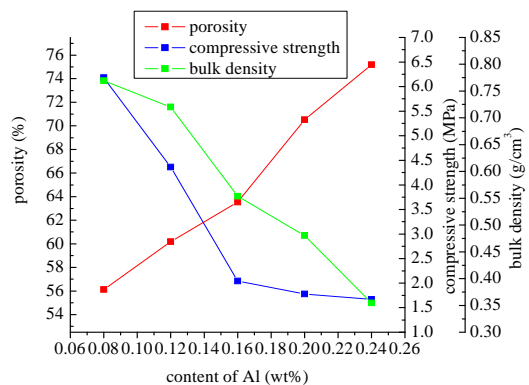


Figure 3. the effect of porous material property on different aluminum powder content

图3. 铝粉含量对多孔材料性能的影响

从图3可知，随铝粉含量的增加气孔率增大，强度与体积密度减小。因为铝粉含量越高，反应放出的

气体越多，气孔率就越大，从而体积密度就越小，而且在有限的体积空间内气孔越多，气孔越大，气孔壁越薄，从而抗压强度越小。从图3实验结果可知，当偏高岭土（MK）/水玻璃（WG）（wt%）为1:1、水玻璃模数为1.2、铝粉含量为0.24%（wt%）时可获得高强度和高气孔率的多孔材料，此时气孔率达到75%以上，抗压强度在1.6MPa以上。

### 3.4 地聚物基多孔材料的微观结构分析

图4为优选出MK:WG（wt%）=1:1，反应温度为80℃左右时，不同模数、不同铝粉含量的体视显微镜照片。其中，A、B是模数为1.4、1.2，C、D是模数为1.2时铝粉含量分别为0.20%、0.24%的体视显微镜照片。

由A、B可知，模数不同，发泡后气孔率不一样，孔径也不一样；模数越小，气孔率越大，孔径越小，孔分布越均匀，孔壁越厚，抗压强度越高；由C、D可知，铝粉含量越大，气孔率越大，开孔越多，孔壁明显减薄，强度降低。从图4中可知，该材料中的孔大多为闭孔，孔的形态较规则，以三维交错、贯穿其中的圆形孔为主，呈典型的蜂窝状，孔径在0-2mm间。从显微结构图中可明显的看到孔的大小不均匀，孔分布也不均匀，这可能是由于造孔剂分布不均匀造成的。

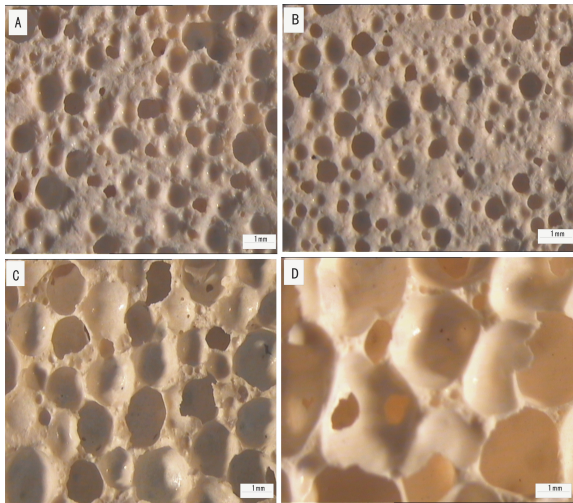


Figure 4. the micrograph of the porous material

图4. 多孔地聚物材料的显微镜照片

## 4 结论

以地聚物为基体，加入一定的铝粉为造孔剂，在80℃发泡后可制得气孔率在75%以上，抗压强度大约在1.6MPa左右的地聚物基多孔材料。通过体视显微镜观察，该多孔材料中的孔大都是呈圆形孔，且孔径小于2mm

水玻璃含量和模数不同对多孔材料的气孔率和强度影响不同。并且，随铝粉含量的增加气孔率增大，抗压强度减小。若合适控制黏度和造孔剂的用量，可制备出高气孔率和较小孔径的多孔材料。

## References (参考文献)

- [1]Zhang Shuzheng, Gong Kecheng. Geopolymer [J]. Materials Science and Engineering, 2003, 21(3): 430-436.  
张书政, 龚克成. 地聚物 [J]. 材料科学与工程学报, 2003, 21(3): 430-436.
- [2]Daeik Kim, Hsuan-Ting Lai, George V. Chilingar. Geopolymer formation and its unique Properties [J]. Environ Geol, 2006, 51: 103-111.
- [3] Wu Hao, Guan Xuemao, Study state of geopolymeric cement and the development future of its application [J].Cement Engineering, 2004: 27-32.  
吴浩, 管学茂. 土聚水泥的研究现状及应用发展前景[J]. 水泥工程. 2004, (2): 27-32.
- [4]Shi Huisheng. Advanced research and application of Kaolin[J].China Non-Metallic Mining Industry Herald,2002:11-16.  
施惠生, 袁玲. 高岭土应用研究的新进展[J]. 中国非金属矿业工程导刊. 2006, (4): 11-16.
- [5] Hongling Wang, Haihong Li, Fengyuan Yan. Synthesis and mechanical properties of metakaolinite based geopolymer [J]. Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects. 2005, 268: 1-6.
- [6]Wang Ronghua, Mo Xianzhong, Su Feng, Pang Jinying, Cui Xue-min. Study on preparation and conductivity of geopolymer composites [J]. Journal of Synthetic Crystals, 2009, (38): 390-393.  
王荣华, 莫羨忠, 苏锋, 庞锦英, 崔学民. 地聚物基复合材料制备及其电导率的研究 [J]. 人工晶体学报. 2009, (38): 390-393.
- [7]Dai Xinxiang, Wen Ziyun. Geopolymeric cement [J]. Cypsum and Cement for Building. 2001, (6): 34-35.  
代新祥, 文梓芸. 土壤聚合物水泥 [J]. 建筑石膏与胶凝材料. 2001, (6): 34-35.
- [8] Ma Hongwen, Yang Jing. Mineral polymer: current developments and prospects [J]. Earth Science Frontiers, 2002, 9(4): 397-407.  
马鸿文, 杨静, 任玉峰, 凌发科. 矿物聚合材料: 研究现状与发展前景 [J]. 地学前沿, 2002, 9(4): 397-407.
- [9] Zhen Juanrong, Qin Weizu. The setting and hardening characteristics of alkali-activated metakaolin cementitious materials [J]. Journal of Hunan University, 2004, 31(04): 60-64.  
郑娟荣, 覃维祖, 张涛. 碱-偏高岭土胶凝材料的凝结硬化性能研究 [J]. 湖南大学学报, 2004, 8(4): 60-64.