

学校编码: 10384

分类号 \_\_\_\_\_ 密级 \_\_\_\_\_

学 号: 20720101150056

UDC \_\_\_\_\_

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

纳米孔硅质隔热板的制备

Preparation of Nano-pore Insulation Panels  
Based on Fumed Silica

钟德源

指导教师姓名: 余煜玺 副教授

专业名称: 材 料 工 程

论文提交日期: 2013 年 5 月

论文答辩时间: 2013 年 5 月

学位授予日期: 2013 年 月

答辩委员会主席:

评 阅 人:

2013 年 5 月

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## 厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下，独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果，均在文中以适当方式明确标明，并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范（试行）》。

另外，该学位论文为( )课题(组)的研究成果，获得( )课题(组)经费或实验室的资助，在( )实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称，未有此项声明内容的，可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

# 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，  
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## 摘要

本文以纳米多孔 SiO<sub>2</sub> 粉末和两种玻璃纤维作为原料采用湿法工艺制备不同系列的隔热板，并选择  $\gamma$ -氨丙基三乙氧基硅烷(KH-550)、 $\gamma$ -（甲基丙烯酰氧）丙基三甲氧基硅烷(KH-570)作为表面修饰剂，对所制备的纳米孔隔热板进行表面修饰改性研究。

本文主要研究了制备工艺对试样成型的影响、纳米多孔 SiO<sub>2</sub> 粉末和玻璃纤维质量比与材料机械性能之间的关系、SiO<sub>2</sub> 粉末和玻璃纤维质量比与材料隔热性能之间的关系、不同直径的玻纤对材料隔热性能的影响，还研究了表面修饰剂种类与溶液浓度、溶液 pH 值、修饰时间、修饰温度等因素对试样表面疏水性能的影响。研究发现：

1. 制备工艺对试样成型效果影响较大。研究结果表明，制备纳米孔高效隔热板的最优条件为：加水量为 100 g，干燥温度为 120℃，干燥时间为 5 h。

2. 纳米多孔 SiO<sub>2</sub> 粉末和玻璃纤维质量比对隔热板的力学性能和导热系数均有较大影响。当 SiO<sub>2</sub> 粉末和玻璃纤维的质量比为 5:1 时隔热板的力学性能达到最优值；隔热板导热系数随着 SiO<sub>2</sub> 粉末用量的增加而降低，玻纤直径越小其组成的隔热板导热系数越小。25℃，当 SiO<sub>2</sub> 粉末与玻纤-2(6  $\mu$ m)的质量比为 15:1 时，导热系数达到最低，为 0.03 W/(m·K)。

3. 对所制备的试样进行表面修饰后发现，增加表面修饰剂浓度，延长修饰时间，提高修饰温度，可获得更好的疏水效果。与 KH-550 相比较，使用 5% KH-570 溶液，溶液 pH 值为 4、反应温度为 80℃、修饰时间为 3h 时，隔热板的接触角为 150.1°，具有超疏水性能。因此，纳米孔高效隔热板表面修饰的最优条件为：硅烷偶联剂 KH-570 溶液浓度为 5%、溶液 pH 值为 4、反应温度为 80℃、反应时间为 3h。

**关键词：**气相法二氧化硅；导热系数；疏水改性

厦门大学博硕士学位论文摘要库



## Abstract

In this paper, a series of different mass ratio thermal insulation boards based on fumed silica powder and two kinds of glass fibers was prepared. The boards were modified with  $\gamma$ -Aminopropyl triethoxysilane (KH-550) and  $\gamma$ -Methacryloxypropyl trimethoxysilane (KH-570), respectively.

The effects of preparing technology on specimen molding were studied. The optimal preparation parameters were determined to be: the amount of water was 100 g, the heat treatment temperature was 120°C and the heat treatment time was 5 h.

The influence factors of the fracture strength of thermal insulation board were investigated. As a result, the fracture strength of thermal insulation board may be determined by both the content of fibers and the compressive stress applied to make the board. It has been observed that the composites with the highest strength were fabricated when the mass ratio of fumed silica and glass fiber is 5:1.

The results showed the thermal conductivity at room temperature decreases gradually with the increase of amount of fumed silica. The sample exhibited thermal conductivity of 0.03 W/mK at room temperature when the mass ratio of fumed silica and glass fiber-2(6  $\mu$ m) is 5:1.

It was found that better hydrophobic effect was achieved when the surfaces of board were modified with larger concentration of surface modifying agent, longer modified time, and higher modified treatment temperature. The contact angle of the board surface was 150.1° when the surface modification was carried out by using the concentration of 5wt% KH-570 and the modifying time of 3h at 80°C. The optimal preparation parameters were determined to be: the concentration of KH-570 solution was 5 wt%, the pH value of KH-570 solution was 4, the heat treatment time was 3h and the heat treatment temperature was 80°C.

**Key Words:** fumed silica; thermal conductivity; hydrophobic modification.

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## 目 录

摘 要.....	I
Abstract.....	III
<b>第一章 绪论 .....</b>	<b>1</b>
1.1 保温隔热材料研究的背景 .....	1
1.2 保温隔热材料研究的意义 .....	2
1.3 保温隔热材料的传热方式 .....	3
1.4 保温隔热材料的分类 .....	4
1.4.1 有机保温隔热材料.....	5
1.4.2 无机保温隔热材料.....	6
1.5 气相法二氧化硅绝热材料 .....	9
1.5.1 气相法二氧化硅简介.....	9
1.5.2 气相法二氧化硅绝热材料研究现状.....	10
1.5.3 气相法二氧化硅绝热材料制备工艺.....	11
1.6 论文选题依据及研究内容 .....	12
1.6.1 论文选题的目的.....	12
1.6.2 论文的研究内容.....	13
<b>第二章 实验材料及实验方法 .....</b>	<b>15</b>
2.1 实验原料 .....	15
2.2 仪器与设备 .....	16
2.3 实验内容 .....	16
2.3.1 制备样品.....	16
2.3.3 疏水改性.....	18
2.4 性能测试与分析方法 .....	18
2.4.1 场发射扫描电子显微镜表征(FESEM) .....	18
2.4.2 透射电子显微镜表征(TEM).....	19
2.4.3 X 射线粉末衍射定性分析(XRD).....	19

2.4.4 力学性能测试.....	19
2.4.5 导热性能测试.....	19
2.4.6 孔结构分析.....	20
2.4.7 疏水性能表征.....	20
2.4.8 傅里叶变换红外光谱表征(FT-IR).....	20
<b>第三章 结果与讨论 .....</b>	<b>21</b>
<b>3.1 原材料表征 .....</b>	<b>21</b>
3.1.1 FESEM 分析.....	21
3.1.2 TEM 分析.....	22
3.1.3 XRD 分析.....	23
<b>3.2 制备工艺研究 .....</b>	<b>23</b>
3.2.1 水量对隔热板的影响.....	26
3.2.2 温度对隔热板的影响.....	26
<b>3.3 力学与隔热性能研究 .....</b>	<b>27</b>
3.3.1 力学性能分析.....	27
3.3.2 隔热性能分析.....	31
<b>3.4 疏水性能研究 .....</b>	<b>36</b>
3.4.1 使用 KH-550 表面修饰.....	37
3.4.2 使用 KH-570 表面修饰.....	40
3.4.3 硅烷偶联剂改性机理.....	43
3.4.4 FT-IR 分析.....	45
<b>第四章 结论 .....</b>	<b>49</b>
<b>参考文献.....</b>	<b>51</b>
<b>致 谢.....</b>	<b>55</b>

## Contents

<b>Abstract in chinese</b> .....	<b>I</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>III</b>
<b>Chapter 1 Introduction</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Research background of thermal insulation materials</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 Research meaning of thermal insulation materials</b> .....	<b>2</b>
<b>1.3 Heat transfer modes of thermal insulation materials</b> .....	<b>3</b>
<b>1.4 Classification of thermal insulation materials</b> .....	<b>4</b>
1.4.1 Organic thermal insulation materials .....	5
1.4.2 Inorganic thermal insulation materials .....	6
<b>1.5 Fumed silica thermal insulation materials</b> .....	<b>9</b>
1.5.1 Brief introduction of fumed silica .....	9
1.5.2 Current status of study of fumed silica thermal insulation materials.....	10
1.5.3 Preparation process of fumed silica thermal insulation materials.....	11
<b>1.6 Origin and contents of the study</b> .....	<b>12</b>
1.6.1 The purpose of this study .....	12
1.6.2 The contents of study .....	13
<b>Chapter 2 Experimental and testing methods</b> .....	<b>15</b>
<b>2.1 Reagents</b> .....	<b>15</b>
<b>2.2 Instruments</b> .....	<b>16</b>
<b>2.3 Experimental</b> .....	<b>16</b>
2.3.1 Preparation of samples .....	16
2.3.3 Surface modification of samples.....	18
<b>2.4 Testing methods</b> .....	<b>18</b>
2.4.1 Field emission scanning electron microscope (FESEM).....	18
2.4.2 Transmission electron microscopy (TEM).....	19
2.4.3 X-ray powder diffraction (XRD) .....	19
2.4.4 Mechanical test.....	19

2.4.5 Thermal conductivity test.....	19
2.4.6 Pore structure analysis.....	19
2.4.7 Hydrophobic Characterization .....	20
2.4.8 Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR).....	20
<b>Chapter 3 Experimental results.....</b>	<b>21</b>
<b>3.1 Characterization of raw materials .....</b>	<b>21</b>
3.1.1 FESEM analysis.....	21
3.1.2 TEM analysis .....	22
3.1.3 XRD analysis .....	23
<b>3.2 Study on Preparation .....</b>	<b>23</b>
3.2.1 Water influence on thermal insulation materials.....	26
3.2.2 Temperature influence on thermal insulation materials.....	26
<b>3.3 Mechanical and thermal insulation properties .....</b>	<b>27</b>
3.3.1 Mechanical properties .....	27
3.3.2 Thermal insulation properties .....	31
3.3.2.1 Measurement of Thermal Conductivity .....	31
3.3.2.2 Pore structure analysis.....	33
<b>3.4 Hydrophobic Characterization.....</b>	<b>36</b>
3.4.1 Surface modification by KH-550.....	37
3.4.2 Surface modification by KH-570.....	40
3.4.3 The mechanism of silane coupling agent.....	43
3.4.4 FT-IR analysis .....	44
<b>Chapter 4 Conclusions.....</b>	<b>49</b>
<b>References .....</b>	<b>51</b>
<b>Acknowledgement.....</b>	<b>55</b>

## 第一章 绪论

### 1.1 保温隔热材料研究的背景

随着全球经济快速发展，全球能源消耗急剧增长，能源紧缺已经成为世界各国高度重视的问题。能源紧缺制约社会经济的发展，成为社会可持续发展所面临的不可忽视的重大问题之一，已上升为我国发展战略问题。“十五”规划以来，我国经济迅猛发展，对能源需求量极大。根据世界知名能源公司 BP 统计<sup>[1]</sup>，2011 年中国一次能源消费总量为 26.132 亿吨油当量，占世界一次能源消费总量的 21.3%。根据中国石油集团经济技术研究院的报告显示<sup>[2]</sup>，2012 年中国石油净进口达 2.84 亿吨，石油对外依存度达 58%，比上年提高 1.5 个百分点，石油对外依存度一直在国际警戒线之上。中石油经济技术研究院副院长钱兴坤说，油气进口依存度的上升，在国际原油价格高位震荡、进口天然气价格大幅上涨的情况下，为国内经济发展带来巨大压力。过多依靠海外进口资源，也加剧了我国能源保障的不稳定性。

当前，随着我国经济快速发展，城市化水平不断加快和人民生活水平不断提高，建筑行业得到迅猛发展，房屋建筑规模扩大，建筑能耗占全社会总能耗的比例不断增长。建筑耗能已与工业耗能、交通耗能并列成为我国能源消耗的三大“耗能大户”，特别是建筑耗能伴随着建筑面积的不断增长和人们对居住舒适度要求的提升，呈现出急剧上扬趋势。

根据相关数据统计分析，2011 年我国已有房屋面积 460 亿平方米<sup>[3]</sup>。被称为“世界头号工地”的中国正处于建设旺期，建筑群还在迅速膨胀，每年新增建筑面积高达 20 亿平方米左右，接近全球年建筑总量的一半，几乎超过了所有发达国家年建筑面积总和。这些居住建筑每年冬季采暖增温，夏季空调降温，都要消耗大量能源，有数据显示，每年新增空调耗电量相当于三峡大坝发电总量。随着人民生活水平的提高和对居住舒适度的要求，此比例还在不断增加。这对社会造成了沉重的能源负担和严重的环境污染，制约了我国的可持续发展。因此，实现建筑物的节能降耗成了当务之急。显而易见，就节约能源而言，大力推广建筑节能无疑是节约能源最有效、最经济的方法之一，也是建筑业发展必须重视的根本问题。

建筑围护结构的保温隔热性能直接影响建筑物的采暖能耗。根据有关技术统

计，围护结构各部位散热热损失比例为：墙体结构的传热热损失约占 60%-70%、门窗的传热热损失约占 20%-30%、屋面的传热热损失约占 10%。可见，墙体节能是建筑节能发展的一个关键环节，加强墙体结构的保温隔热措施，是建筑节能的重要组成部分。所以，建筑节能的首要任务是建筑墙体材料的保温隔热，开发和应用轻质高效的保温隔热墙体材料是保证建筑节能的有效措施。

## 1.2 保温隔热材料研究的意义

### 1. 功不可没的环保作用

节约自然资源是所有地区和人类的共同原则。随着人类社会与科学技术的不断发展，低碳已成为城市发展的要求，节能环保已成为建筑设计与施工的重要控制指标。在建筑物中使用隔热材料有助于在保持建筑物舒适的减少对电气系统的依赖，因此，可以节约能源和相应的自然资源。节能不仅是节约自然资源，还能够保护环境，减少污染，改善人类生存空间的环境质量，是功在当代，荫及子孙，造福人类的头等大事。

建筑节能是改善空间环境的重要途径之一。建筑物实施保温隔热之后，可有效减少能源消耗，减少了能源燃烧后废气的排放，就能减轻  $\text{CO}_2$ ， $\text{NO}_x$ ， $\text{SO}_2$ ，悬浮颗粒物对大气的污染。 $\text{CO}_2$  浓度的增加使得全球气候变暖，冰川消失，海平面升高，全球气候异常，灾害频繁。 $\text{NO}_x$  与  $\text{SO}_2$  容易引起光化学污染，破坏臭氧层，形成酸雨，对人类的生活环境造成了极大的破坏<sup>[4]</sup>。

### 2. 长远可观的经济效益

能源成本是使用成本，通过较少的保温隔热材料基本建设费用（只是建筑物建设成本的 5%）就可达到较大的节能。在 460 多亿平方米的既有建筑中，城市建筑普遍存在着围护结构保温隔热性和气密性差供热空调系统效率低下等问题，节能潜力巨大。以占我国城市建筑总面积约 60%的住宅建筑为例，采暖地区城镇住宅面积约有 40 亿平方米，2000 年的采暖季平均能耗约为 25 公斤标煤/平方米，如果在现有基础上实现 50%的节能，则每年大约可节省 0.5 亿吨标煤。目前全国公共建筑面积大约为 45 亿平方米左右，其中采用中央空调的大型商厦，办公楼，宾馆为 5 亿到 6 亿平方米。如果按节能 50%的标准进行改造，总的节能潜力约为 1.35 亿吨标准煤，为消费者节省一笔非常可观的费用，并且长期受益。

空调是住宅能耗的另一个重要方面，空调电耗在建筑能耗中所占的比例迅速



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库