

学校编码: 10384

学号: 20620081151593

分类号 \_\_\_\_\_ 密级 \_\_\_\_\_

UDC \_\_\_\_\_

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

# 新型太阳热反射涂料的研究

## Study of New Type Solar Heat-reflective Paint

李国栋

指导教师姓名: 肖宗源 副教授

专业名称: 化学工程

论文提交日期: 2011 年 月

论文答辩时间: 2011 年 月

学位授予日期: 2011 年 月

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评 阅 人: \_\_\_\_\_

2011 年 6 月

## 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

## 摘要

太阳热反射涂料可形成对太阳的热辐射具有高反射率的涂层，从而阻止热能传导，其应用对于改善工作环境、节约能源等具有重要意义。太阳热反射涂料中，起到热反射作用的主要有两部分：成膜物质和颜填料。用于太阳热反射涂料的树脂，必须对可见光和近红外光有较低的吸收率，而常用涂料的树脂基本上均可以满足该要求，因此涂层的反射太阳热能力主要与涂层中的反射材料（颜填料）有关。

本文采用溶胶-凝胶法等方法制备纳米二氧化硅和二氧化钛，利用紫外-可见-近红外分光光度计测定样品在 400~2500 nm 的反射率，深入研究了制备条件对样品反射率的影响，获取最佳制备条件。与此同时，系统研究了纳米热反射填料的种类和形态等对热反射涂料热反射性能的影响，获得一种优化的热反射涂料制备方法，最后通过可见、近红外反射光谱和红外灯照射效果研究涂层的热反射性能。

实验结果表明，反应温度、pH 值、反应物的体积比、溶胶的分散方式、老化和干燥方式等对纳米二氧化钛和二氧化硅粉体的反射率具有影响作用。当钛酸丁酯醇溶液滴加到水的乙醇溶液时，滴加速度越慢、反应温度越低、pH 值越小和乙醇用量越多，则形成凝胶的时间越长，TiO<sub>2</sub> 粉体的漫反射率越高。同时，采用超声分散法和提高粉体的煅烧温度也能提高 TiO<sub>2</sub> 粉体的漫反射率。最终获得了制备高漫反射率二氧化钛粉体的较为合适条件，即：温度  $T = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ， $\text{pH} = 1$ ，反应物的体积比  $V(\text{钛酸丁酯}) : V(\text{乙醇}) : V(\text{冰乙酸}) : V(\text{水}) = 1 : 6 : 2 : 0.3$ ，采用超声分散法， $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  真空干燥 24 h，煅烧条件为  $800\text{ }^{\circ}\text{C}$  (3 h)。由于球形二氧化钛在涂料中易于分散，本文也对球形二氧化钛的制备进行了研究，并制备了较好的球形二氧化钛。

本文也深入研究了纳米二氧化硅粉体的优化工艺条件。通过考察反应物添加量、酸碱催化剂用量、反应温度、水解时间、老化时间的正交实验，获得纳米二氧化硅粉体的较优工艺条件为：原料摩尔比为  $n(\text{正硅酸乙酯}) : n(\text{水}) : n(\text{乙醇}) : n(\text{氯化氢}) : n(\text{氨气}) = (1\sim 1.2) : (24\sim 25) : (38\sim 40) : (1.3\times 10^{-3}\sim 1.5\times 10^{-3}) : (0.08\sim 0.16)$ ，反应温度为  $50\sim 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，水解反应时间 12~16 min，老化时间 10~24 h。本文同时考察了干燥方式对二氧化钛粉体热反射率的影响。

最后, 本论文对具有不同热反射率的粉体填加至涂料后的降温效果进行了研究。利用自制简易装置分别测定了不同热反射率的二氧化硅粉体、球形二氧化钛和无规则形状的二氧化钛粉体填加至涂料后的降温效果, 并用紫外-可见-近红外分光光度计测定了所制涂料板在 400~2500 nm 光谱范围内的热反射比。

**关键词:** 纳米粒子; 太阳热反射; 溶胶-凝胶法

厦门大学博硕士论文摘要库

## Abstract

Solar heat-reflective paint can improve the heat insulation by forming coating with high solar heat reflectance, which is significant to improve work environment and save energy. Two main parts, which include film-forming substance and pigment filler, play a role of heat reflection in the solar heat-reflective paint. The resin used for solar heat-reflective coating must have low absorptivity for visible and near infrared light, and nearly all the resins used for coatings meet the requirement. Thus, the capability of reflecting solar heat depends mainly on reflective materials (pigment filler) in coatings.

In this study,  $\text{TiO}_2$  and nano- $\text{SiO}_2$  were prepared with sol-gel method et al, and the reflectance of nano- $\text{TiO}_2$  and nano- $\text{SiO}_2$  in the range of 400-2500 nm were determined by UV-VIS-NIR spectrophotometer. The effects of preparation conditions on reflectance were systematically investigated, and the optimum preparation conditions were obtained. With the testing device, the influence of pigment, filling kind and particle morphology on coating performance was investigated and discussed. Then an optimal preparation method of heat reflective coating was obtained. Finally the coating performance was studied by testing the effect of the visible and near infrared spectrogram and direct solar radiation.

The results show the influence of the reaction temperature, pH, the volume ratio of reactants, sol dispersion method, aging and drying method on the reflectivity of the titanium dioxide and silica powder. When the mixture of tetrabutyl titanate and ethanol was dropped to the mixture of water and ethanol, slower dropping rate, lower reaction temperature, smaller pH value and more alcohol can delay the formation of the gel, which made the reflectivity of  $\text{TiO}_2$  powder much higher. At the same time, the use of ultrasonic dispersion and the increase of the calcination temperature can also improve the reflectivity of  $\text{TiO}_2$  powder. Eventually the optimum preparation conditions were obtained, as follows: the reaction mixture was heated at  $40\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\text{pH} = 1$ ,  $V(\text{tetrabutyl titanate}): V(\text{ethanol}): V(\text{acetic acid}): V(\text{water}) = 1: 6:$

2: 0.3, ultrasonic dispersion, vacuum dried at 60 °C for 24 h, the calcined temperature 800 °C and the calcined time 3 h. Since spherical TiO<sub>2</sub> is dispersed in coating very easily, the optimum preparation conditions of spherical TiO<sub>2</sub> powder were also investigated in this study. Eventually we obtained the spherical TiO<sub>2</sub> dispersed very well.

The optimum preparation conditions of nano-silica powder were also investigated in this study. The effect factors include the dosages of reactants, the dosages of alkali and acid, the reaction temperature and the reaction time. According to the orthogonal design experiment, the optimal reaction conditions were obtained as follows: n(TEOS):n(water) : n(ethanol):n(hydrogen chloride): n ( ammonia ) = (1~1.2): (24~25): (38~40): (1.3×10<sup>-3</sup>~1.5×10<sup>-3</sup>): ( 0.08 ~0.16), reaction temperature 50~60 °C, the hydrolysis time 12~16 min and the aging time 10~24 h. The optimum drying conditions of silica gel were also investigated in this study.

Finally, the cooling performance of solar reflective coatings with the addition of powders with different reflectivity was also investigated in this study. The cooling performance of coatings with the addition of silica powder with different reflectivity, spherical TiO<sub>2</sub> and ruleless TiO<sub>2</sub> was investigated with simple device made by ourselves. And the reflectance of coatings in the range of 400-2500 nm were determined by UV-VIS-NIR spectrophotometer.

**Key Words:** Nano-particles; Solar-reflective; Sol-gel Method

目 录

|                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| 摘 要.....                              | I   |
| Abstract.....                         | III |
| 第一章 前言 .....                          | 1   |
| 1.1 隔热涂料的研究现状 .....                   | 1   |
| 1.1.1 国内隔热涂料的研究现状 .....               | 1   |
| 1.1.2 国外隔热涂料的研究现状 .....               | 2   |
| 1.2 隔热涂料的分类 .....                     | 2   |
| 1.2.1 阻隔型隔热涂料 .....                   | 2   |
| 1.2.2 辐射型隔热涂料 .....                   | 3   |
| 1.2.3 反射型隔热涂料 .....                   | 3   |
| 1.2.4 复合型隔热涂料 .....                   | 4   |
| 1.3 影响热反射涂料性能的因素 .....                | 4   |
| 1.4 目前可见光-近红外热反射涂料存在的问题 .....         | 5   |
| 1.5 本课题研究意义及主要内容 .....                | 6   |
| 第二章 文献综述 .....                        | 8   |
| 2.1 TiO <sub>2</sub> 及其制备方法简介 .....   | 8   |
| 2.1.1 TiO <sub>2</sub> 简介 .....       | 8   |
| 2.1.2 纳米TiO <sub>2</sub> 的制备方法 .....  | 9   |
| 2.2 纳米SiO <sub>2</sub> 及其制备方法简介 ..... | 13  |
| 2.2.1 纳米SiO <sub>2</sub> 简介 .....     | 13  |
| 2.2.2 纳米SiO <sub>2</sub> 的制备方法 .....  | 14  |
| 2.3 可见光—近红外反射的有关成果 .....              | 18  |
| 2.3.1 粉末样品对光的漫反射 .....                | 18  |
| 2.3.2 漫反射率的推导 .....                   | 18  |
| 2.3.3 颜填料对涂层热反射率的影响 .....             | 20  |
| 2.3.4 不同粒径颗粒的散射衰减规律 .....             | 21  |



|  |    |
|--|----|
| <b>第三章 高反射率TiO<sub>2</sub>粉体的制备</b> .....      | 23 |
| <b>3.1 实验药品和仪器</b> .....                       | 23 |
| <b>3.2 溶胶-凝胶法制备纳米TiO<sub>2</sub>粉体</b> .....   | 24 |
| 3.2.1 溶胶-凝胶法制备原理 .....                         | 24 |
| 3.2.2 纳米TiO <sub>2</sub> 的制备 .....             | 25 |
| 3.2.3 结果与讨论 .....                              | 26 |
| <b>3.3 四氯化钛水解法制备TiO<sub>2</sub>粉体</b> .....    | 35 |
| 3.3.1 四氯化钛水解法制备TiO <sub>2</sub> 粉体的机理 .....    | 35 |
| 3.3.2 实验过程 .....                               | 37 |
| 3.3.3 结果与讨论 .....                              | 37 |
| <b>3.4 球形TiO<sub>2</sub>的制备</b> .....          | 43 |
| 3.4.1 球形TiO <sub>2</sub> 制备原理 .....            | 43 |
| 3.4.2 球形TiO <sub>2</sub> 的制备 .....             | 43 |
| 3.4.3 结果与讨论 .....                              | 45 |
| <b>3.5 小结</b> .....                            | 51 |
| <b>第四章 高反射率纳米SiO<sub>2</sub>粉体的制备</b> .....    | 54 |
| <b>4.1 实验药品和仪器</b> .....                       | 54 |
| <b>4.2 溶胶-凝胶法制备纳米SiO<sub>2</sub>粉体</b> .....   | 55 |
| 4.2.1 溶胶-凝胶法制备原理 .....                         | 55 |
| 4.2.2 纳米二氧化硅的制备 .....                          | 56 |
| 4.2.3 太阳热反射比的计算方法 .....                        | 57 |
| <b>4.3 结果与讨论</b> .....                         | 58 |
| 4.3.1 氨水催化制备纳米SiO <sub>2</sub> .....           | 58 |
| 4.3.2 酸碱两步催化法制备纳米SiO <sub>2</sub> 正交实验设计 ..... | 59 |
| 4.3.3 干燥方式对纳米SiO <sub>2</sub> 粉体热反射率的影响 .....  | 65 |
| <b>4.4 小结</b> .....                            | 66 |
| <b>第五章 新型太阳热反射涂料的制备</b> .....                  | 67 |
| <b>5.1 试验药品和仪器</b> .....                       | 67 |
| <b>5.2 太阳热反射涂料的制备和性能检测</b> .....               | 68 |

---

|                          |           |
|--------------------------|-----------|
| 5.2.1 太阳热反射涂料的制备 .....   | 68        |
| 5.2.2 太阳热反射涂料的性能测定 ..... | 68        |
| 5.3 小结 .....             | 72        |
| <b>第六章 结论与展望</b> .....   | <b>73</b> |
| 6.1 结论 .....             | 73        |
| 6.2 展望 .....             | 74        |
| 参考文献 .....               | 75        |
| 攻读硕士学位期间发表的论文 .....      | 80        |
| 致 谢 .....                | 81        |

## Contents

|  |     |
|--|-----|
| <b>Abstract (in Chinese)</b> .....   | I   |
| <b>Abstract (in English)</b> .....   | III |
| <b>Chapter 1 Introduction</b> .....  | 1   |
| <b>1.1 Current research situation of thermal insulation coatings</b> .....             | 1   |
| 1.1.1 Current research situation at home.....  | 1   |
| 1.1.2 Current research situation at abroad.....  | 2   |
| <b>1.2 The types of thermal insulation coatings</b> .....                              | 2   |
| 1.2.1 Obstructing thermal insulation coatings.....                                     | 2   |
| 1.2.2 Radiating thermal insulation coatings.....                                       | 3   |
| 1.2.3 Reflecting thermal insulation coatings.....                                      | 3   |
| 1.2.4 Composite thermal insulation coatings.....                                       | 4   |
| <b>1.3 Factors affecting the performance of the thermal reflective coatings</b> .....  | 4   |
| <b>1.4 Problems of current visible-near infrared thermal reflective coatings</b> ..... | 5   |
| <b>1.5 Research contents and significance</b> .....                                    | 6   |
| <b>Chapter 2 Literature review</b> .....   | 8   |
| <b>2.1 Introduction of TiO<sub>2</sub> and its preparation methods</b> .....           | 8   |
| 2.1.1 Introduction of TiO <sub>2</sub> .....   | 8   |
| 2.1.2 Preparation methods of nano-TiO <sub>2</sub> .....                               | 9   |
| <b>2.2 Introduction of nano-SiO<sub>2</sub> and its preparation methods</b> .....      | 13  |
| 2.2.1 Introduction of nano-SiO <sub>2</sub> .....                                      | 13  |
| 2.2.2 Preparation methods of nano-SiO <sub>2</sub> .....                               | 14  |
| <b>2.3 Achievements in visible-near-infrared reflectance area</b> .....                | 18  |
| 2.3.1 Diffuse of powders.....  | 18  |
| 2.3.2 Deduction of diffuse reflectance.....  | 19  |
| 2.3.3 Effect of pigments and fillers on reflectivity of coatings.....                  | 21  |
| 2.3.4 Scattering decay law of different sizes of particles.....                        | 21  |
| <b>Chapter 3 Preparation of TiO<sub>2</sub> powders</b> .....                          | 23  |
| <b>3.1 Reagent and apparatus</b> .....   | 23  |
| <b>3.2 Preparation of nano-TiO<sub>2</sub> powders by sol-gel method</b> .....         | 24  |
| 3.2.1 Principle of sol-gel method.....   | 24  |
| 3.2.2 Preparation of nano-TiO <sub>2</sub> .....                                       | 25  |
| 3.2.3 Results and discussion.....  | 26  |

|   |  |    |
|---|--|----|
| <b>3.3</b>  | <b>Preparation of TiO<sub>2</sub> powders by hydrolysis of TiCl<sub>4</sub></b> .....  | 35 |
| 3.3.1   | Reaction mechanism of TiO <sub>2</sub> powders prepared by hydrolysis of TiCl <sub>4</sub> .....                             | 35 |
| 3.3.2   | Process of the experiments.....  | 37 |
| 3.3.3   | Results and discussion.....  | 37 |
| <b>3.4</b>  | <b>Preparation of spherical TiO<sub>2</sub></b> .....  | 43 |
| 3.4.1   | Reaction mechanism of spherical TiO <sub>2</sub> .....   | 43 |
| 3.4.2   | Preparation of spherical TiO <sub>2</sub> .....  | 43 |
| 3.4.3   | Results and discussion.....  | 45 |
| <b>3.5</b>  | <b>Conclusion</b> .....  | 51 |
| <b>Chapter 4 Preparation of nano-SiO<sub>2</sub> powders</b> .....            |  | 54 |
| <b>4.1</b>  | <b>Reagent and apparatus</b> .....   | 54 |
| <b>4.2</b>  | <b>Preparation of nano-SiO<sub>2</sub> powders by sol-gel method</b> .....   | 55 |
| 4.2.1   | Principle of sol-gel method.....   | 55 |
| 4.2.2   | Preparation of nano-SiO <sub>2</sub> .....   | 56 |
| 4.2.3   | Methods for calculating solar heat reflectance.....  | 57 |
| <b>4.3</b>  | <b>Results and discussion</b> .....  | 58 |
| 4.3.1   | Preparation of nano-SiO <sub>2</sub> by catalysis of NH <sub>3</sub> ·H <sub>2</sub> O.....                                  | 58 |
| 4.3.2   | Orthogonal experiment of preparation of nano-SiO <sub>2</sub> by catalysis of HCl and NH <sub>3</sub> ·H <sub>2</sub> O..... | 59 |
| 4.3.3   | Effect of drying method on heat reflectivity of nano-SiO <sub>2</sub> powders.....   | 64 |
| <b>4.4</b>  | <b>Conclusion</b> .....  | 66 |
| <b>Chapter 5 Preparation of new type solar heat reflective coatings</b> ..... |  | 67 |
| <b>5.1</b>  | <b>Reagent and apparatus</b> .....   | 67 |
| <b>5.2</b>  | <b>Preparation and determination of solar heat reflective coatings</b> .....   | 68 |
| 5.2.1   | Preparation of solar heat reflective coatings.....   | 68 |
| 5.2.2   | Determination of solar heat reflective coatings.....   | 68 |
| <b>5.3</b>  | <b>Conclusion</b> .....  | 72 |
| <b>Chapter 6 Conclusion and recommendation</b> .....                          |  | 73 |
| <b>6.1</b>  | <b>Conclusion</b> .....  | 73 |
| <b>6.2</b>  | <b>Recommendation of future work</b> .....   | 74 |
| <b>References</b> .....   |  | 75 |
| <b>Publications</b> .....   |  | 80 |
| <b>Acknowledgements</b> .....   |  | 81 |

## 第一章 前言

太阳热反射涂料可形成对太阳的热辐射具有高反射率的涂层。自 20 世纪 70 年代以来,随着建筑业、石油工业、运输业、兵器工业等行业的迅速发展,要求使用反射太阳能的新型涂料,以降低暴露在太阳辐射热下的装备的表面温度,从而阻止热能传导,达到改善工作环境、提高安全性等目的。目前,国外在太阳热反射涂料方面的理论研究较为完善,已广泛应用于许多领域,例如建筑物的屋顶和玻璃幕墙;海上钻井平台、油罐、石油管道;汽车、火车、飞机表面;船壳、甲板;以及坦克、军舰、火箭、宇宙飞船等。然而,国内关于太阳热反射涂料的报道相对较少<sup>[1]</sup>。

### 1.1 隔热涂料的研究现状

#### 1.1.1 国内隔热涂料的研究现状

在国内,针对石油储罐和船舶用的红外热反射涂料进行研究的主要机构有天津大学<sup>[2-3]</sup>,侧重于石油储罐反射涂料反射率测试装置的研究;孙明华等人<sup>[4]</sup>对储罐用防腐反射涂料进行了研究;中科院广州能源所的研究者们<sup>[5-6]</sup>,侧重于海灰色热反射涂料的研究初探,给出了海灰色甲板热反射涂料传热层的传热分析及其降温极限;化工部青岛海洋研究所,对红外热反射涂料机理进行了初探<sup>[7]</sup>,讨论深灰色船壳反射涂料的研究方法。目前,热反射涂料的研究主要侧重于其所用的乳液、检测手段、热反射率的计算方法、涂敷后能量节约以及涂料的耐久性问题。

我国建筑保温隔热涂料是在20世纪80年代末开始发展和应用的,当时主要研制应用于一些形状不规则的高温管道、设备表面的保温热反射涂料。投入应用的商品有“涂敷型复合硅酸盐绝热材料”、“复合硅酸盐保温涂料”、“硅酸镁保温材料”和“稀土保温涂料”等。由于这类涂料需要耐高温,因而一般不能使用有机基料,而是使用能够耐一定温度的无机硅酸盐类材料,例如水泥和水玻璃等,再加上所使用的绝热填料也主要是一些硅酸盐类材料,例如石棉纤维、膨胀珍珠岩和海泡石粉等,因而这类涂料被称为“硅酸盐复合保温隔热涂料”。1998年5月,国家质量技术监督局颁布了国家标准《硅酸盐复合保温隔热涂料》(GB/T 17571-1998)。

郭年华<sup>[8]</sup>研制了聚氨酯改性高氯化聚乙烯热反射涂料,介绍了该涂料的配方及其性能指标,讨论了涂料用基料树脂和颜填料对热反射率的影响。试验结果表明,涂料的热反射率与面漆所用的基料和颜填料、面漆膜厚有关,而与是否使用铝粉底漆无关。他还介绍了聚氨酯固化含羟基的丙烯酸改性氯乙烯树脂的热反射涂料的研制情况,简述了涂料组成中各种材料的选择原理及其配方和产品技术指标。涂料的热反射率与面漆所用的基料、颜填料的折光指数、颜填料的粒径、纯度、膜厚及 PVC 值有很大的关系。

### 1.1.2 国外隔热涂料的研究现状

国外的研究者在利用隔热涂层降低建筑能耗方面做了较多的工作<sup>[9-10]</sup>。美国、意大利、日本对隔热涂料进行了较系统的研究,成果中红外热反射涂料已经有少部分在若干领域取得应用。同时隔热涂料的研究报道也比较多,且比较深入,N. M. Nahar<sup>[11]</sup>等在干旱地区太阳光的冷却技术进行研究后发现,涂有反射涂层的测试室内的温度比未涂反射层的测试室内的温度低的多。日本研制出了一种粒径在1 nm 以下的陶瓷填料(由二氧化钛、氧化锌、氧化镁、二氧化硅、氧化铝组成),这种材料具有低导热系数和低比热的特点,粒径在0.2-0.5 nm 时隔热性能最理想<sup>[12]</sup>。美国太阳能集团公司的研究人员宣称,他们研制出一种隔热油漆,它的隔热效果是标准金属薄膜的85%-95%,用到楼顶层房间,可以把室内的温度降低5.5-14.5 °C,也就意味着可以节约8%-12%的空调费,而在冬季,可以阻止热辐射流逸出屋外,这样就又可以节约1%-2%的取暖费用<sup>[13]</sup>。

从2000年起,美国房屋所消耗能源超过了交通业和产业界,消耗美国能源总供应的1/3。近年来为了节能和环保,美国能源部正在大力推广“零能耗住宅”新技术。所谓“零能耗住宅”技术是将以下因素进行最优组合:根据不同气候特点确定房屋设计;住宅采用太阳能供暖、降温系统和自然照明;先进的节能建筑设计和材料;节电的家用电器和照明设备;太阳能热水供应和发电系统。通过改进建筑设计和材料,美国房屋能耗已比1980年减少了30%。

## 1.2 隔热涂料的分类

隔热涂料依据隔热机理,可以分为阻隔型隔热涂料、反射型隔热涂料及辐射型隔热涂料等<sup>[14]</sup>。

### 1.2.1 阻隔型隔热涂料

阻隔型隔热涂料是通过对热传递(对流、辐射及分子振动热传导)的显著阻抗性来实

现隔热的涂料<sup>[15]</sup>，目前应用最广泛的是硅酸盐类复合涂料<sup>[16-17]</sup>。受历史和社会经济条件等因素的影响，阻隔性隔热涂料主要用来制作用发动机、铸造模具等的工业用隔热涂层。阻隔型隔热涂料通常具有堆积密度比较小，导热性能低、介电常数小、耐化学腐蚀性强等特点。但是，由于受附着力、耐候性、耐水性、装饰性等多方面的限制，这类隔热涂料较少用于外墙的涂装<sup>[18]</sup>。

### 1.2.2 辐射型隔热涂料

辐射型隔热涂料 (Infrared radiation coatings)<sup>[19-20]</sup>，即通过辐射的形式把建筑物吸收的日照光线和热量以一定的波长发射到空气中，从而达到良好隔热降温效果的涂料。辐射型隔热涂料可以将抵达建筑物表面的辐射转化为热反射电磁波辐射到大气中，因此，此类涂料的关键技术是制备具有高热发射率的涂料组分，其以  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  基红外辐射材料为代表<sup>[21]</sup>。

目前，辐射型隔热涂料基料的选取和功能性填料的烧结工艺比较复杂，要想达到稳定的发射率还需要进一步地深入研究。

### 1.2.3 反射型隔热涂料

反射型隔热涂料也称为太阳热反射涂料，是最近几年研究较多、效果显著的隔热涂料。主要是根据太阳光谱能量分布，将太阳光中产生热量的部分能量反射掉。太阳是地球的主要热源之一，以电磁辐射形式给地球带来光与热。地球上所能接受到的太阳辐射能的波长主要分布在250-2500 nm 范围内，大于2500 nm 或者小于250 nm 的辐射能均小于5%<sup>[22-23]</sup>。在250- 2500 nm 的范围内，太阳光热辐射按照波长的不同可以划分为四个部分。各部分的波长总和在总能量中占的份额如表1-1所示<sup>[24]</sup>：

表 1-1 太阳光辐射能分布  
Tab.1-1 Distribution of solar radiation

| 光区     | 波长范围(nm)    | 所占能量比例(%) |
|--------|-------------|-----------|
| 紫外光区   | 10-400      | 5         |
| 可见光区   | 400-720     | 45        |
| 近红外光区  | 720-2500    | 45        |
| 中远红外光区 | $\geq 2500$ | 5         |

反射性隔热涂料与各种基材附着力好,与底漆和中间漆具有良好的亲合性、耐候性强,一般使用的溶剂无刺激性气味,大大减少了施工对环境的影响,隔热效果较阻隔性隔热涂料明显<sup>[25]</sup>。其现实存在的问题是大多反射型隔热涂料是有机溶剂体系,而当前建筑涂料中广泛使用的是水性涂料,因此,如何制得具有广泛应用前景的水性反射型隔热涂料是广大涂料工作者新的研究课题。

### 1.2.4 复合型隔热涂料

从传热角度而言,上述三类隔热涂层的隔热机理可以归纳为以下两种:

- (1)通过降低涂料导热系数来增加涂层的隔热性能;
- (2)通过降低涂层表面太阳能吸收率与发射率之比来改善涂层表面的热辐射性能。

隔热涂层的上述两种隔热机理各有优势,因此若能综合这两种机理,使其发挥协同作用,便有可能研制出效果更好的隔热涂料,这种涂料可以称之为复合隔热涂料。

郑其俊等<sup>[26-27]</sup>人综合利用上述两种隔热机理制成了具有高辐射率的薄层隔热保温涂料。该涂料以液态涂料方式存在,干燥后的涂层热阻较大,特别是热反射率高,可有效降低辐射传热、施工方便、涂层薄、无接缝、附着力好,并且集防水隔热外护于一体。由此可见,高效隔热、涂膜机械及化学性能优良的复合型隔热涂料代表了未来隔热涂料的发展趋势。

## 1.3 影响热反射涂料性能的因素

热反射节能涂料主要的节能途径是对可见光-近红外光线起反射作用,在不消耗能量的情况下抑制涂层表面温度上升(被动降温),从而起到节能和隔热作用。其应用广泛,如储罐、船舶、建筑和车辆等物体外表面的降温处理。

反射率取决于颜填料与涂料树脂折光指数的比值、涂层厚度、颜填料的光学属性、颜填料的外形和粒径、纯度以及涂料的颜填料体积浓度(PVC)值<sup>[28]</sup>。热反射的强弱主要是用物质的折光指数来表征。折光指数越大,对阳光的反射能力越强。涂料中的颜填料主要以散射为主。颜填料的折光指数与树脂的折光指数相差越大对太阳光的反射能力越强<sup>[29]</sup>。树脂的折光指数范围一般为1.45-1.5<sup>[30]</sup>,这意味着选择不同的合成树脂对涂层的太阳热反射效果不会有显著的影响。因此,可选择透明度高,不含或少含吸热基团,对



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