

文章编号:1001-5078(2007)10-1067-04

# 聚氨酯涂料红外发射率性能研究

程从亮, 李 萍

(安徽建筑工业学院材料与化学工程学院, 安徽 合肥 230022)

**摘 要:**文中主要通过对聚氨酯作为成膜物质时其红外性能和物理化学性能研究,通过加入纳米改性填料和改变涂装工艺的方法来降低其红外发射率,同时涂膜具有优良的物理化学性能。通过研究,用聚氨酯作为成膜物质,纳米 NiO 包覆片状铝粉和 SiO<sub>2</sub> 粉等为填料,得到了浅绿色涂层的红外发射率仅为 0.39,具有一定的红外隐身与可见光隐身、雷达隐身相兼容效果,同时发现涂层的电导率、磁导率对涂层的红外发射率的影响也很大。

**关键词:**聚氨酯;纳米复合填料;红外发射率;成膜物质

**中图分类号:**TN929.11;TN492

**文献标识码:**A

## Study on Infrared Emittance Property of Polyurethane Coatings

CHENG Cong-liang, LI Ping

(Department of Materials Science and Engineering, Anhui Institute of Architecture & Industry, Hefei 230022, China)

**Abstract:**In this paper, polyurethane coatings is selected as infrared stealth film-builder. By the method of adding fillers to polyurethane coatings and changing coatings techniques, low infrared emittance can be gained. Using polyurethane coatings as film-builder and nanometer NiO composite sheet aluminium, SiO<sub>2</sub> power and so on as fillers, aqua coat is gotten and its infrared emissivity is 0.39. At the same time it is found that conductance and reluctivity are high effect on infrared emittance of coating.

**Key words:**polyurethane; nanometer composite filler;infrared emittance;film-builder

### 1 引言

红外隐身涂料在热红外隐身技术研究中占有重要的地位。通常,涂覆低红外发射率的涂层能显著降低目标的红外发射率。由于大多数涂料的成膜物质在红外波长范围内不透明,即发射率较高,所以低红外发射率涂料的研制是红外隐身涂料研制的一大难点。作为红外隐身涂料必须满足一定的物理和化学性能,因此在红外隐身涂料的成膜物质以及填料、颜料颗粒的红外隐身效果研究中,必须对红外隐身涂料成膜物质本身的物理化学性能进行研究。同时,涂层涂装工艺的研究在降低涂层的红外发射率研究中有重要的研究价值。

### 2 实验过程

#### 2.1 实验原料及测试仪器

涂料基体树脂:聚氨酯清漆,为市售。

添加剂:片状铝粉,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 粉,Ni 粉,ITO 粉,SiO<sub>2</sub> 粉,Cu 粉,Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 粉,酞青绿等,均为市售。纳米 NiO 包覆片状铝粉,纳米 NiO 包覆 Ni 粉,纳米 NiO 包覆 Cu 粉均为自制。

测试仪器:QCJ 型漆膜冲击器、QBY 型摆杆式漆膜硬度计、螺旋测微器、红外发射率测量仪 IR-1 型、BROOKFIELD 流变仪等。

#### 2.2 测试方法及标准

漆膜附着力测定,漆膜耐冲击性测定,漆膜柔韧性测定,漆膜硬度测定。按 GB/T1727—1992 标准制备涂膜。按 GB1720—1979 的标准测试漆膜附着力;按 GB/T1732—1993 标准测试漆膜耐冲击性;按

**作者简介:**程从亮(1975—),男,硕士,讲师,安徽建筑工业学院,现从事隐身涂料研究。E-mail:ccl8888858@163.com

**收稿日期:**2007-04-17

GB/T1731—1993 测试漆膜柔韧性;按 GB/T1730—1993 的标准测试。

红外发射率的测定,采用中国科学院上海技术物理研究所研制的 IR-1 型发射率测量仪,待仪器预热 20min 以后,使温度保持在 40℃ 下测量试样在 8~14μm 的红外发射率。

3 结果与讨论

3.1 填料对聚氨酯涂层的红外发射率影响

在常温条件下,按 GB/T1727—1992 《漆膜一般制备法》在马口铁板上制备漆膜,涂层厚 30~35μm,测在 8~14μm 的平均红外发射率。填料由 5% Ni 粉,5% Cu 粉,其余成分按表 1 所示比例加入,涂层的填料含量为 30%,比例为质量百分比。

表 1 聚氨酯为基体树脂不同填料含量的变化对其红外性能影响

Tab. 1 the effects of different fillers content on the infrared characterization of polyurethane coatings

| 参数<br>实验序号 | SiO <sub>2</sub> 粉<br>含量/% | 片状铝粉<br>含量/% | ITO 粉<br>含量/% | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 粉<br>含量/% | 红外<br>发射率 |
|------------|----------------------------|--------------|---------------|------------------------------------------|-----------|
| 1          | 10                         | 10           | 5             | 5                                        | 0.88      |
| 2          | 10                         | 20           | 10            | 10                                       | 0.89      |
| 3          | 10                         | 30           | 15            | 15                                       | 0.88      |
| 4          | 10                         | 40           | 20            | 20                                       | 0.87      |
| 5          | 20                         | 10           | 5             | 20                                       | 0.91      |
| 6          | 20                         | 20           | 5             | 20                                       | 0.89      |
| 7          | 20                         | 30           | 20            | 5                                        | 0.85      |
| 8          | 20                         | 40           | 15            | 10                                       | 0.83      |
| 9          | 30                         | 10           | 15            | 20                                       | 0.90      |
| 10         | 30                         | 20           | 20            | 15                                       | 0.87      |
| 11         | 30                         | 30           | 5             | 10                                       | 0.84      |
| 12         | 30                         | 40           | 10            | 5                                        | 0.86      |
| 13         | 40                         | 10           | 20            | 10                                       | 0.91      |
| 14         | 40                         | 20           | 15            | 5                                        | 0.89      |
| 15         | 40                         | 30           | 10            | 20                                       | 0.90      |
| 16         | 40                         | 40           | 5             | 15                                       | 0.88      |

由表 1 可以看出,发射率都偏大,主要是因为配成涂料时黏度很低,在涂覆过程中,填料由于重力的作用下沉,表面主要是聚氨酯树脂,同时填料选择也有问题,所以红外发射率较高。但可以看出片状铝粉含量高时涂层红外发射率低。

3.2 第二涂层对整个涂层的物理力学及红外性能的影响

按 3.1 制备涂膜,测在 8~14μm 的平均红外发射率及物理化学性能。第一涂层厚 15~20μm,第二涂层 25~30μm。第一涂层填料为 30%,第二涂层分别为以下几种情况(见表 2)。填料是由 40%

SiO<sub>2</sub> 粉,40% 片状铝粉,5% Ni 粉,5% Cu 粉,10% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 粉组成。比例为质量百分比。

表 2 第二涂层对整个涂层的物理力学及红外特性的影响

Tab. 2 the effects of second coating on mechanical chemical and infrared property of the whole coating

| 性<br>填<br>料<br>能<br>含<br>量 | 红外<br>发射率 | 附着力 | 耐冲击性/<br>(kg·cm) | 耐盐水性        | 耐酸性         | 耐碱性         |
|----------------------------|-----------|-----|------------------|-------------|-------------|-------------|
| 30%                        | 0.91      | 2 级 | ≥50              | 漆膜完好        | 漆膜起泡        | 漆膜起泡        |
| 35%                        | 0.90      | 2 级 | ≥50              | 漆膜完好        | 漆膜起泡        | 漆膜起泡        |
| 40%                        | 0.88      | 2 级 | ≥50              | 漆膜完好        | 漆膜起泡        | 漆膜起泡        |
| 45%                        | 0.83      | 2 级 | ≥50              | 漆膜完好        | 漆膜起泡        | 漆膜起泡        |
| 50%                        | 0.75      | 3 级 | ≥50              | 漆膜完好,<br>失光 | 漆膜起泡,<br>失光 | 漆膜起泡,<br>失光 |
| 55%                        | 0.68      | 3 级 | 冲击点<br>有损伤       | 漆膜完好,<br>失光 | 漆膜起泡,<br>失光 | 漆膜起泡,<br>失光 |

通过本实验可以看出第二涂层的填料的含量对整个涂层的附着力影响较小,对涂层的红外发射率、耐酸性、耐碱性影响较大。一般随涂层填料的含量增加,涂层的红外发射率降低。涂层耐酸性,耐碱性变差。红外发射率降低是因为涂层的填料的红外发射率比成膜物质聚氨酯低的缘故。耐酸性、耐碱性变差主要是由于填料组成含有耐酸性、耐碱性差的成分所引起的。所以第二涂层填料的含量不能太大,不超过 45% 为宜。

3.3 不同填料对比对聚氨酯涂层红外发射率影响

不同填料配比做正交实验,按 3.1 制备涂膜,测在 8~14μm 的平均红外发射率。第一涂层厚 15~20μm,第二涂层 25~30μm。第一涂层用填料的含量为 30%,第二涂层用的填料为 45%。得到的实验结果如表 3 所示。比例为质量百分比。

表 3 聚氨酯为基体树脂两层涂覆时不同填料含量的变化对红外性能影响

Tab. 3 the effects of different fillers content of the second coating on the infrared characterization of polyurethane coatings

| 参数<br>实验号 | SiO <sub>2</sub> 粉<br>含量/% | 片状铝粉<br>含量/% | ITO 粉<br>含量/% | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 粉<br>含量/% | 红外<br>发射率 |
|-----------|----------------------------|--------------|---------------|------------------------------------------|-----------|
| 1         | 10                         | 10           | 5             | 5                                        | 0.64      |
| 2         | 10                         | 20           | 10            | 10                                       | 0.70      |
| 3         | 10                         | 30           | 15            | 15                                       | 0.68      |
| 4         | 10                         | 40           | 20            | 20                                       | 0.71      |
| 5         | 20                         | 10           | 5             | 20                                       | 0.74      |
| 6         | 20                         | 20           | 5             | 20                                       | 0.70      |
| 7         | 20                         | 30           | 20            | 5                                        | 0.63      |

| 续表  |                        |          |           |                                      |       |
|-----|------------------------|----------|-----------|--------------------------------------|-------|
| 实验号 | SiO <sub>2</sub> 粉含量/% | 片状铝粉含量/% | ITO 粉含量/% | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 粉含量/% | 红外发射率 |
| 8   | 20                     | 40       | 15        | 10                                   | 0.66  |
| 9   | 30                     | 10       | 15        | 20                                   | 0.73  |
| 10  | 30                     | 20       | 20        | 15                                   | 0.72  |
| 11  | 30                     | 30       | 5         | 10                                   | 0.68  |
| 12  | 30                     | 40       | 10        | 5                                    | 0.63  |
| 13  | 40                     | 10       | 20        | 10                                   | 0.73  |
| 14  | 40                     | 20       | 15        | 5                                    | 0.68  |
| 15  | 40                     | 30       | 10        | 20                                   | 0.77  |
| 16  | 40                     | 40       | 5         | 15                                   | 0.68  |

用 STATISTIC6.0 对表 3 进行方差分析,如图 1~图 4 所示。

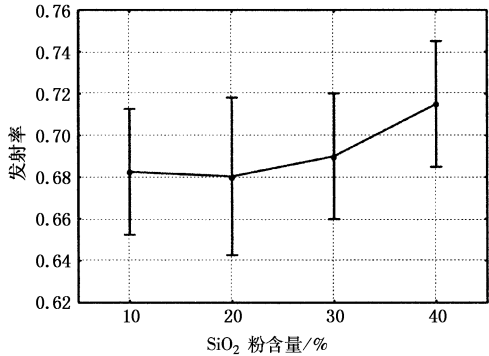


图 1 SiO<sub>2</sub> 对涂层红外发射率影响  
Fig.1 effects on infrared emittance of coatings of SiO<sub>2</sub>

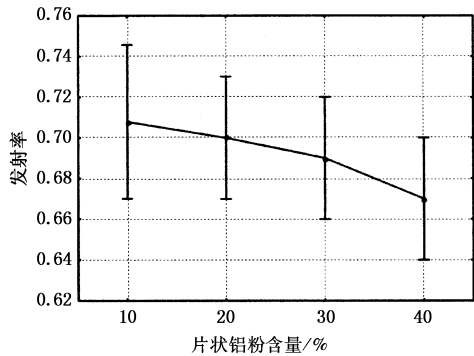


图 2 片状铝粉对涂层红外发射率影响  
Fig.2 effects on infrared emittance of sheet-shaped Al

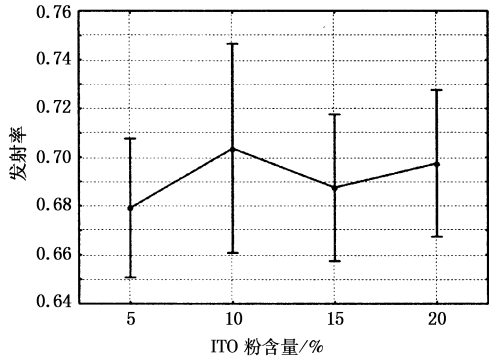


图 3 ITO 对涂层红外发射率影响  
Fig.3 effects on infrared emittance of coatings of ITO

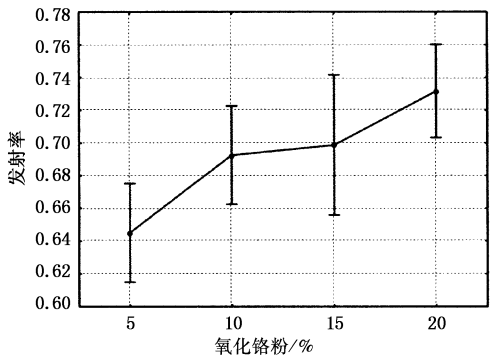


图 4 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 对涂层红外发射率影响  
Fig.4 effects on infrared emittance of coatings of Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

通过上面的图可以看出 SiO<sub>2</sub> 粉含量对红外发射率的影响在小于 30% (质量百分比) 时影响不大。片状铝粉含量的增加,红外发射率降低,在其体系里 ITO 粉含量对红外发射率的影响不是很明显。Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 粉的含量对红外发射率的影响较大,随着 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 粉的含量的增加,红外发射率明显增加。对于单独的 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 粉其红外发射率达到 0.870<sup>[9]</sup>,其涂料的发射率达到 0.932,所以尽量不用 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 粉做绿色防红外涂料的着色剂。

通过比较表 1 和表 3 可以看出,表 3 的红外发射率要比表 1 低 0.1~0.2 左右。说明改变涂层的填料含量,采用两层涂覆的方法进行涂覆,得到的效果要好。说明了不同涂层工艺对红外发射率的影响很大。采用多层涂覆可以使涂层表面的成膜物质含量降低,填料含量增加,在不影响涂层物理化学性能的前提下,减小涂层红外发射率。

3.4 低红外发射率聚氨酯涂层制备及分析  
按 3.1 制备涂膜,测在 8~14μm 的平均红外发射率。第一涂层厚 15~20μm,第二涂层 25~30μm。第一涂层用填料的含量为 30%,第二涂层用的填料为 45%,比例为质量百分比。涂层表面粗糙度按 3.1 制备工艺来控制得到的实验结果如表 4 所示。

表 4 聚氨酯为基体树脂两层涂覆时不同填料含量的变化对红外性能影响

| Tab.4 the effects of different fillers content of the second coating on the infrared characterizati on of polyurethane coatings |                            |              |               |             |              |              |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|--------------|---------------|-------------|--------------|--------------|-----------|
| 参<br>数<br>实<br>验<br>号                                                                                                           | SiO <sub>2</sub> 粉<br>含量/% | 片状铝粉<br>含量/% | ITO 粉<br>含量/% | 酞青绿<br>含量/% | Ni 粉<br>含量/% | Cu 粉<br>含量/% | 红外<br>发射率 |
| 1                                                                                                                               | 30                         | 40           | 15            | 15          | 0            | 0            | 0.62      |
| 2                                                                                                                               | 30                         | 40           | 10            | 5           | 5            | 10           | 0.33      |
| 3                                                                                                                               | 30                         | 40           | 10            | 10          | 5            | 5            | 0.45      |
| 4                                                                                                                               | 30                         | 35           | 10            | 15          | 5            | 5            | 0.54      |

将  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  粉换成酞青绿,红外发射率明显降低,说明  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  粉对红外发射率的影响很大。通过以上方法可以得到浅绿色的涂层,且发射率很低。加入 Cu 粉和 Ni 粉发射率降低,其原因可以用红外物理光学来解释:对不透明材料来说(通常涂层是不透明的)有:

$$\varepsilon = 1 - \gamma$$

其中,  $\varepsilon$  为材料的红外发射率;  $\gamma$  为材料对红外的反射率。对从空气中  $n = 1$  入射的非偏振的红外线和入射角为零( $\phi = 0$ )的特殊情况来说,被电介质材料光滑平面反射的部分是:

$$\gamma = \left( \frac{n - 1}{n + 1} \right)^2$$

按照光的基本定律来说:

$$n^2 = \frac{\mu}{2} \left\{ \sqrt{\varepsilon_{\text{介}}^2 + \frac{4\sigma^2}{h^2}} + \varepsilon_{\text{介}} \right\}$$

式中,  $n$  为折射率;  $\varepsilon_{\text{介}}$  为材料的介电常数;  $\sigma$  为材料的电导率;  $\mu$  为材料的磁导率;  $h$  为普朗克常数。显然,将上面公式联系起来,可以得出材料对红外线的反射、透射性能与电学、磁学性能的关系,分析出影响材料发射率性能的各种因素。通过以上公式可知材料的红外发射率与材料的介电常数、材料的电导率、材料的磁导率等有关。一般来说,材料的电导率越大,材料的磁导率越大,这样材料的红外发射率越小。所以加入 Cu 粉使其涂层的电导率增加,加入 Ni 粉使其涂层的磁导率增加,故涂层的红外发射率减小。

### 3.5 低红外发射率聚氨酯涂层物理及化学性能分析

按 3.1 制备涂膜,测在  $8 \sim 14\mu\text{m}$  的平均红外发射率。第一涂层厚  $15 \sim 20\mu\text{m}$ ,第二涂层  $25 \sim 30\mu\text{m}$ 。第一涂层用填料的含量为 30%,第二涂层用的填料为 45%,比例为质量百分比。得到的实验结果如表 5 所示。

表 5 低红外发射率聚氨酯涂层物理及化学性能分析物理化学及红外特性

Tab. 5 the characterization of mechanical, chemical of polyurethane coatings of low infrared emittance

| 性能<br>填料<br>含量 | 红外<br>发射率 | 附着力 | 耐冲性/<br>( $\text{kg} \cdot \text{cm}$ ) | 耐盐水性 | 耐酸性  | 耐碱性  |
|----------------|-----------|-----|-----------------------------------------|------|------|------|
| 1              | 0.36      | 2 级 | $\geq 50$                               | 漆膜完好 | 漆膜起泡 | 漆膜起泡 |
| 2              | 0.39      | 2 级 | $\geq 50$                               | 漆膜完好 | 漆膜起泡 | 漆膜起泡 |

注:实验编号:1. 填料组成  $\text{SiO}_2$ :片状铝粉:ITO 粉:酞青绿:Ni 粉:Cu 粉比为 30:40:10:5:5:10。2. 填料组成  $\text{SiO}_2$  粉:纳米 NiO 包覆片状铝粉:ITO 粉:酞青绿:纳米 NiO 包覆 Ni 粉:纳米 NiO 包覆 Cu 粉比为 30:40:10:5:5:10。

从表 5 可以看出经过纳米包覆处理后有效地解决了涂层耐酸性、耐碱性不好的问题,为涂层的使用提供了可能。同时涂层的红外发射率受到影响很小,主要是因为填料高的比表面积造成多重散射,其次纳米包覆层尺寸远小于红外波长,对红外的透过率比常规材料要强得多。纳米 NiO 包覆降金属粉有效地降低了金属粉(铝粉、铜粉、镍粉)颜料高反射性,且涂层的颜色为浅绿色,这对于解决实现红外隐身与可见光隐身、雷达隐身兼容问题提供了一种途径。

### 4 结论与展望

聚氨酯涂料不仅具有优良的耐热、耐酸碱性能,而且漆膜坚硬耐磨、光亮丰满、附着力优秀、施工方便等优点,但其本身红外发射率较高。本论文通过对填料的改性和改变涂装工艺的方法,不仅使涂层物理机械性能、化学性能符合要求,而且使涂层的发射率降低很多,达到 0.39。同时具有一定的红外隐身与可见光隐身、雷达隐身相兼容效果。纳米复合填料在红外隐身涂料的使用将是红外隐身涂料发展的重要方向。在研究过程中发现涂层的电导率、磁导率对涂层的红外发射率的影响很大,这也是研究红外隐身涂料的一种方法。

### 参考文献:

- [1] 邓安仲. 低发射率伪装涂料研究[D]. 解放军工程兵工程学院, 1990.
- [2] Chesonis G, Harris D. Low emissivity camouflage coating [R]. AD - A 286226, 1985.
- [3] 王自荣,等. ITO 涂料在  $8 \sim 14\mu\text{m}$  波段红外发射率的研究[J]. 红外技术, 1999, (1): 41 - 45.
- [4] Wake L V, Brady R F. Formulating infrared coating for defence applications [R]. AD - A 267555, 1987.
- [5] 潘祖仁,等. 高分子化学[M]. 北京: 化学工业出版社, 1997, 6.
- [6] 李新华,等. 国外涂料型红外隐身材料研制现状和发展方向分析[J]. 红外技术, 1994, (1): 5 - 11.
- [7] 王自荣,余大斌,孙晓泉. 红外隐身涂料颜料发射率研究[J]. 上海航天, 2000, (1): 24 - 26.
- [8] 杨毅,刘永峙,李凤生,等. 纳米氧化亚镍包覆铝复合粒子的制备[J]. 化工学报, 2005, (11): 2228 - 2232.
- [9] 王廷慰,程从亮.  $8 \sim 14\mu\text{m}$  波长低红外发射率涂料的研究[J]. 光学技术, 2005, 31(4): 598 - 600.