

# 透射光谱法测试 汽车车身涂层的UV隔离性能

基于Beer-Lambert定律，提出了用透射光谱法对涂层UV穿透率进行测试的技术方案，确定了涂层厚度与UV穿透率间的关系，从而能够快速检测涂层质量并确定涂层的经济膜厚，指导涂膜体系设计和确定生产线相关工艺参数。

■ 中国第一汽车集团公司技术中心 王纳新 周胜蓝

■ 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所 王亚军 王希军

汽车涂装技术多元化时代的到来带动了现代测试技术的深入研究，围绕涂装新材料、新工艺的快速检测技术备受关注。

近年来，光谱被广泛用于检测领域。通常将295~400 nm波长的光谱视为日光光谱紫外（UV）部分，虽然其能量仅占太阳光总能量的10%左右，但它对高分子材料造成的老化极其严重。尤其对阴极电泳漆而言，即使是较少的紫外线和可见光，也会对其环氧树脂体系造成不可逆的断键、劣化作用。因此，要求中涂和面漆具有良好的耐候性，同时其透光率尽可能地低，即具有优良的UV隔离性能，从而保证整体涂膜体系的耐候性满足基本要求。

本文将介绍采用透射光谱法对涂层UV穿透率进行测试的技术方案，从而快速、简单、准确地评价涂层的UV隔离性能，进而确定涂层的经济膜厚，指导涂膜体系的设计。

## 1 试验部分

### 1.1 试验原理

设定光强通过介质（涂层）时

的吸收系数为 $\alpha(\lambda)$ ， $\alpha(\lambda)$ 是所用测试光源波长的函数，与介质（涂层）的厚度 $L$ 无关。当测试光通过被测介质（涂层）后，测试光源的强度由 $I_0(\lambda)$ 减小到了 $I(\lambda)$ 。根据Beer-Lambert定律可推导出 $\alpha(\lambda)$ 和光强透过率及 $L$ 的关系，见式（1）。

$$\alpha(\lambda) = \frac{1}{L} \ln \frac{I_0(\lambda)}{I(\lambda)} = -\frac{\ln T(\lambda)}{L} \quad (1)$$

式中， $\alpha(\lambda)$ 为涂层的吸收系数； $L$ 为涂层厚度， $\mu\text{m}$ ； $T(\lambda)$ 为光强透过率，%。

### 1.2 主要仪器及材料

Lambda9 UV/可见光谱仪中采用氙灯作为UV/可见波段光源，探测器为光电倍增管。 $\text{BM}_1$ 和 $\text{BM}_2$ 为50%分束镜， $\text{M}_1$ 和 $\text{M}_2$ 为全反射镜。为了减小载物片对测量的影响，载物片选择UV石英材料。

测试涂层的制备采用翁开尔RDS8线棒涂布，湿漆膜厚度为20.5  $\mu\text{m}$ 。

### 1.3 测试方案

涂层测试光路原理如图1所示。

光源发出的光经一个分束镜被

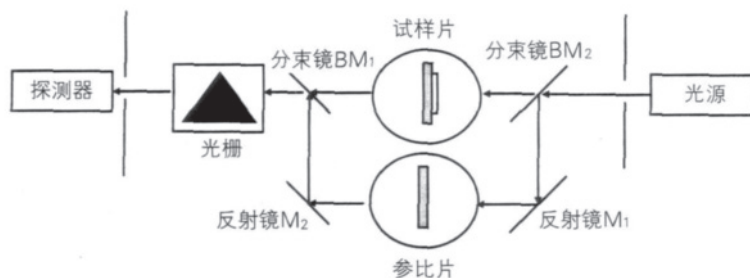


图1 测试光路原理图

由此，通过对涂层透射光谱的测量，得到了涂层的吸收系数 $\alpha(\lambda)$ 。 $\alpha(\lambda)$ 标志着该涂层对光强的吸收能力，反应出涂层对光强的隔离能力，从而判断涂层的UV隔离性能。

分为两束，其中一束照射到有介质（涂层）的试样片上（作为物光）；另一束照射到无涂层的参比片上（作为参考光）。先测量试样片的透过率，得到试样片的吸收系数 $\alpha_1(\lambda)$ ，然后测量参比片的透过

率, 得到吸收系数  $\alpha_2(\lambda)$ , 由下式得到涂层的吸收系数  $\alpha(\lambda)$ :

$$\alpha(\lambda) = \alpha_1(\lambda) - \alpha_2(\lambda) \quad (2)$$

取两片表面状态一致的UV石英载物片, 按照待测涂料的施工技术条件, 将涂料均匀涂布于其中一片上, 干燥成膜, 膜厚控制在设定的范围, 误差 $\pm 0.5 \mu\text{m}$ , 将有涂层的UV石英载物片作为试样片, 另一片作为参比片。

在紫外光波段, 参比片的吸收是影响涂层吸收系数测量精度的主要因素。通过以上光路去除了参比片的影响, 得到的涂层吸收系数比较精确。

#### 1.4 测试步骤

a. 将一束经过光栏的光分成两路, 一路作为测试光束, 另一路作为参考光束;

b. 将准备好的试样片放置在测试光路中, 将与其一组的参比片置入参考光路中;

c. 测试光束和参考光束都经过单色器并被相同的色散, 然后通过出口狭缝聚焦到探测器上;

d. 通过光谱仪得到透过率光谱, 见图2。

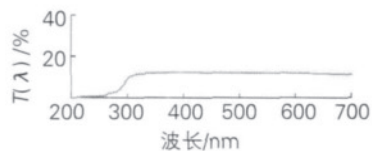


图2 涂层透过率光谱图

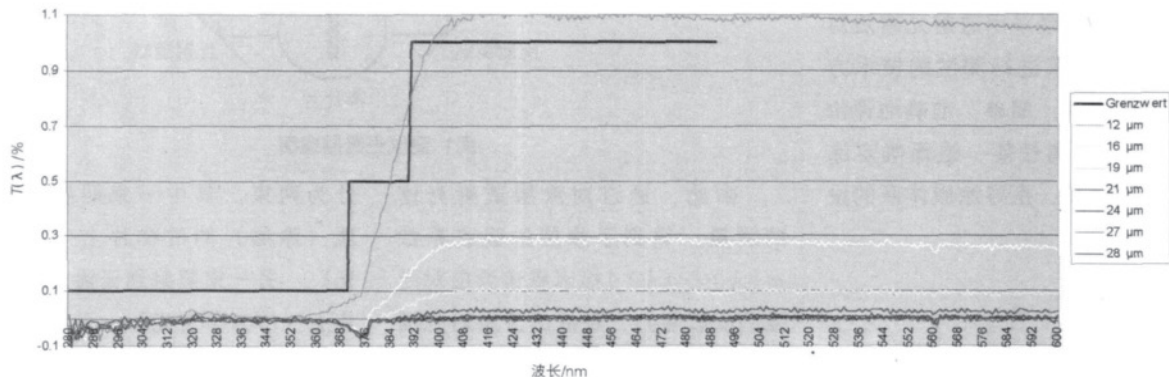


图4 UV穿透率的光谱模型及技术要求

#### 1.5 影响试验结果的因素

试验中发现有许多因素影响测试结果, 故在以下几个方面做了限定。

- 采用UV石英载物片。
- 涂层厚度精度控制在 $0.5 \mu\text{m}$ 。
- 光源发射光谱的矫正。
- 强度起伏的影响。
- 探测器响应曲线的影响。
- 参比光路的设计及参比片的准备。

## 2 结果与讨论

#### 2.1 试样的测定

根据涂层厚度和透过率, 利用式(1)计算得到  $\alpha_1(\lambda)$  和  $\alpha_2(\lambda)$ 。根据式(2)得到涂层吸收系数  $\alpha(\lambda)$ , 见图3。

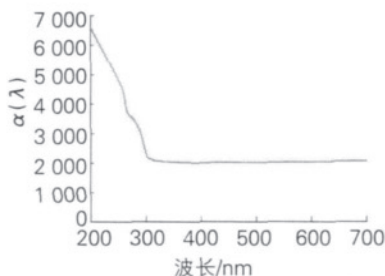


图3 涂层吸收系数

如果已知某种材料特定波长的吸收系数, 可建立膜厚(根据涂装生产的特点, 精度设为 $2 \mu\text{m}$ )、入射波长与涂层UV穿透率间关系的光谱模型, 如图4。

在一定的波长范围内,  $\alpha(\lambda)$

应当读取此波段范围对应的最小值。

由式(1)变化得:

$$L_s = - \frac{\ln T(\lambda)}{\alpha(\lambda)} \quad (3)$$

故可建立膜厚、入射波长与涂层UV穿透率间关系的光谱模型。例如, 对于图2的涂层, 在200~300 nm波段内, 指定透过率为10%, 那么在图3中取  $\alpha(\lambda) = 2100$ , 由式(3)得到, 涂层厚度  $L_s = 10.96 \mu\text{m}$ ; 同波段指定透过率1%, 得到涂层厚度  $L_s = 21.9 \mu\text{m}$ 。

#### 2.2 光谱模型的应用

图4为某涂层UV穿透率的光谱模型, 折线是某标准中规定的涂层UV穿透率的技术要求。对于290~380 nm波长范围内的光波, 涂层的UV穿透率技术要求为 $\leq 0.1\%$ ; 380~400 nm波长范围内的光波, UV穿透率技术要求为 $\leq 0.5\%$ ; 400~450 nm波长范围内的光波, UV穿透率技术要求为 $\leq 1\%$ 。

例如, 某涂料工艺膜厚为15~25  $\mu\text{m}$ 。经测试, 涂层透过率光谱图见图2, 在340~700 nm波段内, 在图3中取涂层吸收系数  $\alpha(\lambda) = 2000$ , 代入式(1)得:

$$T(\lambda) = e^{-\alpha(\lambda)L} \quad (4)$$

得到膜厚与涂层透过率对应关系的数据见表1。当膜厚为15  $\mu\text{m}$ , 涂层透过率为5.0%; 当膜厚为

表1 某涂层膜厚与透过率对应关系

UV穿透率/%	膜厚/ $\mu\text{m}$	技术要求	判定
5.0	15		
3.3	17	(1) 380 ~400 nm波长范围内的光波, UV穿透率 $\leq$ 0.5%	膜厚为15~22 $\mu\text{m}$ 的涂层不能满足对电泳漆层的保护要求
2.2	19		
1.5	21		
1.0	23	(2) 400 ~450 nm波长范围内的光波, UV穿透率 $\leq$ 1%	膜厚23~27 $\mu\text{m}$ 的涂层满足对电泳漆的保护要求, 为此种材料的经济膜厚
0.7	25		
0.5	27		
0.3	29		

25  $\mu\text{m}$ , 涂层透过率为0.7%。


由表1可知, 根据涂层的UV穿透率技术要求, 判定此涂料所规定的工艺膜厚(15~25  $\mu\text{m}$ )不能满足整体涂层耐候性要求。膜厚23~27  $\mu\text{m}$ 的涂层可满足对电泳漆的保护, 为此种材料的经济膜厚。故可以将此方法用于新材料配方的筛选和新工艺方案的制定过程中。

### 3 结束语

a. 涂层UV穿透率的测试方法建立了涂层UV穿透率的光谱模型, 操作简单、方便、快速。

b. 利用透射光谱法测试涂层UV穿透率, 得到了涂层透过率光谱图, 建立了涂层UV穿透率的光谱模型, 为新涂料的涂膜体系设计和

膜厚参数设计提供了基础, 反映了涂层经济厚度下对紫外光的隔离性能。

c. 涂层UV穿透率的测试方法简化了涂料开发与工艺设计的繁杂步骤, 可大量节约试验费用和原材料。同时, 为生产市场营销对路的新型车辆提供了知识保障, 体现了现代快速反应系统的设计能力。 

(上接第8页)

#### 参考文献:

- [1] 梁盛文. 汽车铸造技术的现状与发展趋势见: 世界汽车技术发展跟踪研究. 北京理工大学出版社, 2007.
- [2] 严春雨, 熊云奇. 汽车装试技术跟踪研究报告见: 世界汽车技术发展跟踪研究. 北京理工大学出版社, 2007.
- [3] 朱伟成, 徐成林等. 冲压技术发展动态见: 世界汽车技术发展跟踪研究. 北京理工大学出版社, 2007.
- [4] 张连玉. 无损检测技术在汽车生产中的应用与发展见: 世界汽车技术发展跟踪研究. 北京理工大学出版社, 2007.
- [5] 朱彦峰, 陆东元. 未来我国锻造业将如何发展见: 世界汽车技术发展跟踪研究. 北京理工大学出版社, 2007.
- [6] 徐关庆, 林胜荣. 汽车防护性电

镀技术发展见: 世界汽车技术发展跟踪研究. 北京理工大学出版社, 2007.

[7] 孙凤池. 汽车齿轮制造技术发展见: 世界汽车技术发展跟踪研究. 北京理工大学出版社, 2007.

[8] 朱正德. 现代汽车制造业中的检测技术及其应用前景展望见: 世界汽车技术发展跟踪研究. 北京理工大学出版社, 2007.

[9] 吴建军. 现代汽车制造技术与工具技术进步见: 世界汽车技术发展跟踪研究. 北京理工大学出版社, 2007.

[10] 朱蕴策. 汽车工业热处理技术现状及展望见: 世界汽车技术发展跟踪研究. 北京理工大学出版社, 2007.

[11] 崔凯. 汽车零部件感应热处理技术见: 世界汽车技术发展跟踪研究. 北京理工大学出版社, 2007.

[12] 彭振国. 汽车制造中焊接技术现

状及发展趋势见: 世界汽车技术发展跟踪研究. 北京理工大学出版社, 2007.

[13] 吴涛. 汽车及零部件涂装技术见: 世界汽车技术发展跟踪研究. 北京理工大学出版社, 2007.

[14] 李喜咏. 汽车制造机械加工技术现状及发展趋势见: 世界汽车技术发展跟踪研究. 北京理工大学出版社, 2007.

[15] 姚远. 激光焊接技术在汽车工业中应用现状及前景展望见: 世界汽车技术发展跟踪研究. 北京理工大学出版社, 2007. 