

# 反 光 膜 的 研 制

任 兵 杨满蓉

**摘要** 指出了研制反光膜中的关键问题, 提出了解决办法, 并研制成功高质量反光膜样品。

## 一、前 言

反光膜或更确切地说广角回归反光膜, 是一种能将光源发出的光按原光路成一小的锥体状反回的反光材料。它不同于常见的镜面反射和漫反射, 它能更好地从光源附近观察到贴有反光膜的物体, 使之非常醒目。这种材料广泛地用于交通标志的制造, 它能使司机在夜间开车时及早地、更加清楚地观看标志内容, 避免交通事故, 提高行车安全性。此外, 在机场、码头、激光跟踪、广告牌、摄影等广阔的领域也有一定的应用价值。我国每年都需进口大量的反光膜用于修建高等级公路上的标志牌, 为此在“七·五”期间国家把此种材料的研制列入国家攻关项目。但是, 到目前为止我国也没有厂家能够生产出合格产品, 现在国内市场仍被 3 M 公司垄断, 所以开展此项工作的意义是重大的。

反光膜的研制和生产在国外已有几十年的历史了。早在四十年代, 人们是在纸基底上涂上金属粉作反光层, 再在上面撒上玻璃微珠的方法制造反光膜。这样的反光膜质量较差, 因为玻璃微珠露在外面易粘污垢, 下雨时因雨水附着而失去反光效果。从五十年代到六十年代中期, 由于玻璃微珠的折射率可达 2.2 以上, 这样人们就能够制造埋入式反光膜了, 它主要采用真空镀铝或化学镀银的办法镀制反光层, 玻璃微珠用透明树脂封在里面, 因此它能防尘、防雨、抗老化性能也有较大的提高。在这以后, 反光膜的质量虽然有所提高, 但其基本结构没有什么改变, 现在用量最大的就是这种埋入式反光膜。七十年代, 美国 3 M 公司又推出了新一代高强级反光膜, 它是一种气囊式结构, 其反光性和耐久性都较前者有一定的提高, 目前这种产品也有一定的市场, 它主要用于修建高速公路。

## 二、原 理

如图 1 所示, 光线被埋在树脂中的高折射率玻璃微珠聚焦, 在焦点附近的反光层使光线反射, 并使反射光线通过玻璃微珠的另一侧按原光路成一小的锥体状反回光源附近。在制做反光膜时, 玻璃微珠和反光层之间的粘合层厚度  $b$  决定反光层的位置, 如果反光层偏离焦点, 就会使反回光发散度增

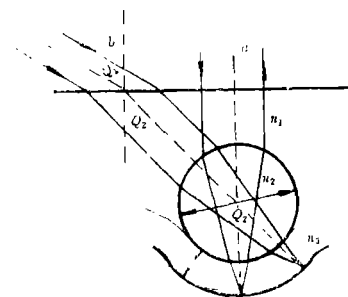


图 1 回归反射原理

加,影响垂直反光强度。在由表面层,玻璃微珠和粘合层组成的三透镜光学系统中, $h$ 值可由下式给出:

$$h = d \frac{n_3(n_2 - n_1)}{2[n_1(n_3 - n_2) + n_3(n_1 - n_2)]}$$

其中 $d$  = 玻璃微珠直径;

$n_1$  = 表面层树脂折射率;

$n_2$  = 玻璃微珠折射率;

$n_3$  = 粘合层树脂折射率。

要想使反光膜有广角性,必须使反光层包覆玻璃微珠,包覆角的大小可由光的折射定律计算得出:

$$n_1 \sin Q_1 = n_2 \sin Q_2$$

如要使以 $50^\circ$ 入射的光得到回归反射,如图1中入射光 $b$ ,则包覆角 $2Q_2$ 为:

$$2Q_2 = 2 \arcsin \frac{n_1 \sin Q_1}{n_2} \approx 60^\circ$$

由前面可知:反光膜的反光强度是由粘合层厚度 $h$ 的控制精度决定的,而反光膜的广角性是由反光层的包覆角 $2Q_2$ 决定的。

### 三、研制方法

反光膜的完整结构如图2所示,国外一般采用的制作工艺路线为:在不锈钢带上涂表面层,撒玻璃微珠、涂粘合层、真空镀铝、涂不干胶(或热熔胶),压合剥离纸。这种制作方案的难点是控制粘合层厚度,因为粘合层厚度只有十几 $\mu\text{m}$ ,允许误差仅有 $\pm 1\mu\text{m}$ ,这样高的精度在大的涂布机上很难做到。除此之外还要同时考虑包覆角,这也是一个难题,因为涂上去的粘合层树脂溶液有流水平的倾向,干燥后形成的包覆角较小,不易达到要求,如图3中虚线所示。

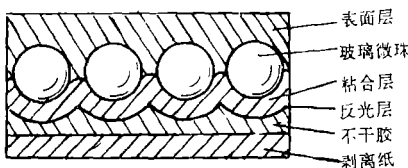


图2 反光膜结构

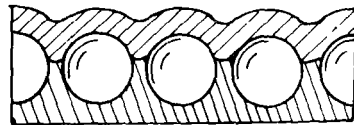


图3 不同工艺形成的包覆角

我们在研制反光膜时考虑到上述困难和我们的具体情况,而采用了一种新的技术方案。它主要由预制粘合层、涂胶粘剂、撒布玻璃微珠,热吸塑定型、涂表层、镀反射铝层、涂不干胶和压合剥离纸等工序组成。预制粘合层的制做方法是:将选定的高分子材料溶入溶剂中,调整固体高分子材料和溶剂的配比,使溶液达到一定的粘度,将这种溶液倒在浮法玻璃上,而后用一刮板将其均匀地涂到玻璃表面上,控制好温度和湿度,待溶剂挥发掉后便形成一个厚度均匀的透明薄膜。控制刮板与玻璃之间的距离可精确地调整膜层厚度,它一般在 $(25 \sim 40) \mu\text{m}$ 之间。在预制好的粘合层上均匀地涂上一层 $3 \sim 5 \mu\text{m}$ 厚的高弹性胶粘剂,而后撒上玻璃微珠,形成图4所示的结构。接下去进行关键的热吸塑定型工序,在预制粘合层

一面用红外线加热器加热，使粘合层塑化，而在玻璃微珠一面用真空泵抽成真空，由于大气压差和热塑化的同时作用使预制粘合层均匀地包覆在玻璃微珠上面，并且具有较大的包覆角和均匀的厚度，形成如图 5 所示的结构。因热吸塑时的压力作用，使大部份胶粘剂被挤到玻璃珠之间，将玻璃珠连接起来，同时由于它是高弹性的，这可以保证制成的反光膜具有一定的柔韧性。在涂反光膜表层时，表层高分子材料的选择非常重要，因为它决定反光膜的主要理化性质，一般要求耐阳光老化、耐磨、耐一定的溶剂和化学试剂，此外还有一定的柔韧性，这种材料主要选择丙烯酸酯类和脂肪族聚氨酯类。在表层材料中溶入不同的染料便可以得到不同的反光颜色，制成不同颜色的反光膜。涂上表层的结构如图 3 中实线图。在完成其它各工序后就可以制成图 2 所示的完整反光膜。

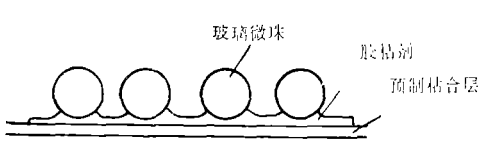


图 4 玻璃微珠撒布工艺

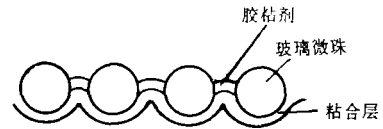


图 5 热吸塑后的半成品

## 四、性能检测

我们做出的样品经国家光学产品质量检测中心，交通部交通科学研究院和吉林省塑料产品质量检测中心等有关单位对如下性能进行检测：

1. 回归反射系数 ( $R$ ): 回归反射面向观测角方向反射光强度 ( $I$ ) 除以入射光方向垂直放置时回归反射面受到的照度 ( $E_s$ ) 与其面积 ( $A$ ) 的乘积所得的商:

$$R = \frac{I}{E_s \cdot A} \quad (\text{cd} \cdot \text{lux}^{-1} \cdot \text{m}^{-2})$$

此值是衡量反光膜光学性能的重要指标，我们采用  $-4^\circ$  入射， $0.2^\circ$  观察，其测量值为  $90 \sim 120$ 。日本 JIS Z9117 (1984) 中规定一级品值为 70。

2. 广角性: 是指在入射角比较大时的回归反射系数的大小。因为交通标志牌的摆放位置与车灯光的入射方向并不固定在某一角度上，需要反光膜有较大的入射角度适应性。我们的样品经测量的结果为:  $30^\circ$  入射时反射系数下降不低于 50%， $50^\circ$  入射时不低于 20%，此项指标也符合美国、日本等国的国家标准。

3. 耐候性: 我们的试样经户外一年的自然老化，其性能基本上没有什么变化。

4. 机械性能: 反光膜在加工和使用过程中要求反光膜具有一定的机械性能，使加工和使用不易被破坏，而有人想从反光标志牌上剥反光膜时，反光膜又不能整块地撕下来。

抗张强度: 17.1 (MPa); 延伸率: 14 (%); 曲挠性: 绕  $\phi 0.5\text{mm}$  钢丝  $180^\circ$  无裂纹;

5. 表面抗溶剂性 (滴表面  $25\text{mm}$ ): 甲醇: 无变化; 硫酸 (5%): 无变化; 汽油: 无变化; 甲苯: 无变化。

## 五、结 论

1. 经研究证明，只要选用合适的制做方案，在不采用国外先进设备和原材料的情况下，也能做出反光性和广角性均较好的反光膜。我们的样品实际已达到国外工程级水平。

2. 如要使反光膜实现国产化，必须有有机高分子材料，无机玻璃材料和精密机械设计制造等方面的专业人员进行联合攻关。

### A Study of Optical Reflecting Films

Ren Bing Yang Manrong

#### Abstract

This paper disusses the essential problems in making reflecting films, and presents the method to solve them. High optical quality reflecting films have been developed.