

文章编号: 1000-5013(2013)01-0096-04

# 扩散材料光反射比简易测试新原理与方法

冉茂宇, 赵红利

(华侨大学 建筑学院, 福建 厦门 361021)

**摘要:** 基于圆盘扩散材料在其盘轴上形成的照度特性, 提出一种简单可行的, 较为准确的测试材料光反射比的原理和方法, 并就 7 种盘面的亮度和光反射比进行测试和原理、方法的验证. 结果表明: 将照度计探头置于光场外能有效地避免探头对入射照度的影响, 克服了传统方法的缺陷; 对于不同盘面, 在两种不同的条件下进行测试, 表面亮度或光反射比具有相当好的一致性, 最大相对误差未超过 2.1%, 说明所提出的测量原理和方法具有相当好的可行性和准确性.

**关键词:** 光反射比; 照度; 扩散材料; 表面亮度; 圆盘

**中图分类号:** TU 113.2

**文献标志码:** A

建筑环境中绝大部分材料对光的反射可视为漫反射. 材料光反射比是指材料对光的反射部分与入射部分的比值, 它不仅对人眼视觉和室内外光环境营造有很大影响, 而且对于建筑外表的隔热和照明节能有重大影响<sup>[1-2]</sup>. 目前, 材料光反射比测试方法主要有分光光度计测试<sup>[3-4]</sup>、积分球测试<sup>[5]</sup>两种方法. 分光光度计测试方法采用亮度计和照度计同时测出材料表面入射照度和物理亮度, 通过相关公式计算表面光反射比. 显然, 这种方法的优点在于可测试非均匀扩散材料的光反射率, 缺点在于同时需要多种设备配合, 对于不具备条件的单位或个人, 难以进行测试. 积分球测试方法是在一定直径的球壳内安装标准光源, 球壳内壁涂以漫反射白色涂层, 并在球壳上开有两个小孔, 一个孔用于安装试件, 另一个孔用于安装照度探头, 通过探测的照度值和光源光通量之间的关系计算材料光反射率. 这种方法只适于测试扩散材料的光反射率, 同时要求光源发光稳定. 在上述两种测试方法中, 被测试件受到光照的面积都比较小, 对于大面积利用的建筑材料来讲, 其真实性有一定不足. 为了能对较大的试样进行测试, 文献[2]提出一种简单的测试方法. 该方法首先将照度计探头贴在试件上, 测出入射照度, 再将照度计探头反过来正对试件测出反射照度, 然后计算反射照度与入射照度之比值, 得到材料的光反射率. 但这种方法中有一个不可克服的缺点, 就是测量反射照度时, 探头位于光场中会在测试表面形成阴影. 为了减少反射照度探头造成的影响, 文献[3]建议将此探头逐渐平行远离测试表面, 直至探头读数稳定不再变化为止. 显然, 这个“远离距离”有个“度”, 测试结果不会很准确. 为了克服传统测试方法的缺陷, 本文基于扩散材料圆盘在其盘轴上形成的照度特性, 提出了一种简单可行, 较为准确地测试材料反光比的原理和方法, 并用实实验证了这一原理和方法的正确性.

## 1 测试原理和方法

图 1 为测试原理及物理模型. 图 1 中: 漫反光材料圆盘的半径为  $R$ ; 圆盘轴心线上点  $P$  距盘面距离为  $H$ . 考察盘面对  $P$  点形成的照度  $E_p$  与盘面亮度  $L$  之间的关系. 在盘面内任取半径为  $r$  的圆环, 则其

**收稿日期:** 2012-02-27

**通信作者:** 冉茂宇(1967-), 男, 教授, 主要从事建筑室内外物理环境、建筑节能与建筑热工的研究. E-mail: ranmaoyu@yahoo.com.cn.

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(51078156); 福建省自然科学基金资助项目(2010J01297); 福建省小发明、小创造专项基金资助项目(2009 年度); 华南理工大学亚热带建筑科学国家重点实验室科研基金资助项目(2009KB13); 华侨大学基本科研业务费专项基金资助项目(JB-JC1006)

面积为  $dA = 2\pi r dr$ , 其对  $P$  点的视角面积为  $dA = 2\pi r \cos \theta dr$ . 根据表面亮度产生照度的关系<sup>[2]</sup>, 圆环面积  $dA$  在  $P$  点产生的照度为

$$dE_P = \frac{L dA}{H^2 + r^2} \cos^2 \theta = \frac{2\pi L r dr}{H^2 + r^2} \left( \frac{H}{\sqrt{H^2 + r^2}} \right)^2 = \frac{\pi L H^2}{(H^2 + r^2)^2} dr^2. \quad (1)$$

对式(1)中的  $r$  从 0 到  $R$  进行积分, 可得

$$E_P = \int_0^R \frac{\pi L H^2}{(H^2 + r^2)^2} dr^2 = \int_0^R \frac{\pi L H^2}{(H^2 + r^2)^2} d(H^2 + r^2). \quad (2)$$

令  $x = H^2 + r^2$ , 则  $x|_{r=0} = H^2$ ,  $x|_{r=R} = H^2 + R^2$ , 对式(2)积分可得

$$E_P = \int_{H^2}^{H^2+R^2} \frac{\pi L H^2}{x^2} dx = \frac{\pi L R^2}{H^2 + R^2} = \pi L \sin^2 \alpha, \quad (3)$$

经整理后可得

$$L = \frac{E_P}{\pi \sin^2 \alpha}. \quad (4)$$

从式(4)可知, 盘面在  $P$  点产生的照度  $E_P$  只与盘面亮度  $L$  和盘面在  $P$  点形成的半锥角  $\alpha$  有关, 只要测试出  $P$  点的照度  $E_P$ , 就可计算出盘面亮度  $L$ . 由于距离  $H$  和盘面半径  $R$  可很准确测定, 因此, 测得的盘面亮度误差主要取决于照度计的测量误差. 用照度计同样可测出盘面的入射照度  $E_0$ , 则盘面材料表面光反射比  $\rho$  为

$$\rho = \frac{\pi L}{E_0} = \frac{E_P}{E_0 \sin^2 \alpha}. \quad (5)$$

为了克服传统反光比测试方法的缺陷, 提出用平行光源和照度计探头测试的方法. 平行光源既可用抛物形反射面罩来实现, 也可用凸凹透镜对发射光进行适当调整使其保持平行.

平行光源与盘面及照度测点探头安排, 如图 2 所示. 图 2 中, 圆盘斜对平行光源, 位于整个光场中, 多余的光越过圆盘, 不再反射, 照度探头处只有盘面的反射光. 圆盘可以根据平行光照的分布调整, 以使其受照度尽量均匀. 照度测点探头安排在圆盘轴心线上, 位于平行光旁边. 这样, 照度探头就不会在圆盘上形成阴影, 从而消除传统测量方法的缺陷. 变换圆盘材料可以对不同材料的反光比进行测试, 而变换圆盘角度、增减圆盘大小、伸缩照度探头与圆盘间距, 可对同一表面的反光比进行多次测量. 通过对比同一表面在不同条件下的测试结果, 可以验证该实验原理和方法的正确性.

## 2 原理与方法的验证

将水溶性白色涂料与黑色色精按不同比例进行配制, 涂刷在 1 mm 厚的硬纸板上. 纸板干后, 可以得到 7 种不同灰度的表面, 再利用激光切割机将纸板切割为直径 15 cm 的原盘, 如图 3 所示. 图 3 中: 上排 4 个从左到右编号 1#~4#, 下排 3 个从左到右编号 5#~7#. 将圆盘用双面胶粘在直径为 11 cm 的塑料圆筒上, 用支架固定斜对平行光源, 实验验证示意图如图 4 所示.

测试与验证实验在长×宽×高为 12 m×8 m×3.6 m 的空房间中进行, 房间所有窗户为不透光窗帘遮挡, 但门上透明部分没有遮挡. 不开任何光源时, 测试处照度约为 10 lx. 测试时, 首先将盘面斜对平行光源, 测出盘面入射照度  $E_0$ , 测 3 次平均值  $E_0$  为 5 620 lx; 然后调整照度计探头使其在盘面轴线上适当位置, 用激光测距仪测出两种条件下探头距盘面距离  $H$  分别为 36.3, 62.5 cm, 并从照度计读出测点处的照度, 结果如表 1 所示.

依据照度测试结果, 利用式(5)对材料光反射比进行计算, 结果如表 2 所示. 表 2 中:  $\delta_1, \delta_2$  分别为相对于亮度和光反射比平均值的相对误差.

从表 2 可知: 相对于亮度和光反射比的平均值而言, 其相应的相对误差均小于 2.1%, 即所提出的

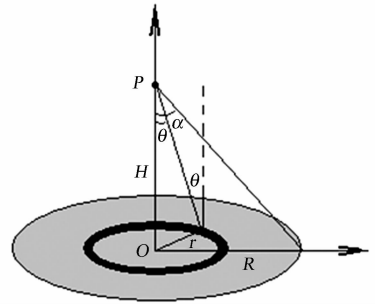


图 1 测试原理及物理模型

Fig. 1 Test principle and physical model

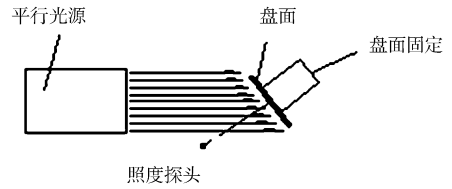


图 2 测试装置平面布置图

Fig. 2 Plane layout of the test apparatus

反光比测试原理和方法十分可行且有很好的准确度.

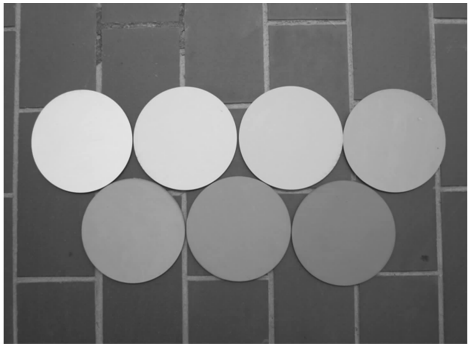


图 3 不同灰度的表面圆盘

Fig. 3 Disc surface with various gray degree

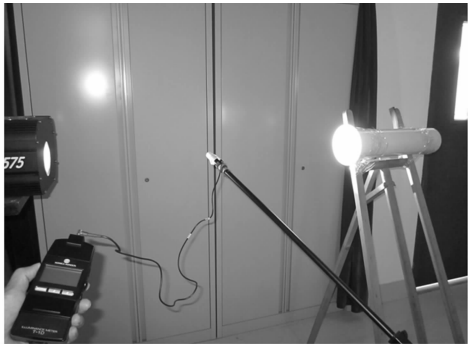


图 4 实验验证示意图

Fig. 4 Verification of the test principle and method

表 1 不同探头距盘面距离的测试结果

Tab. 1 Test results of different distances between probe and disc

盘号	$H/\text{cm}$	$E_p/\text{lx}$				$\alpha/(^{\circ})$
		第 1 次	第 2 次	第 3 次	平均值	
1 #	36.3	229.40	230.40	230.00	229.93	11.674
2 #		181.90	181.10	181.90	181.63	11.674
3 #		146.10	146.00	146.00	146.03	11.674
4 #		110.60	110.60	109.60	110.27	11.674
5 #		100.90	101.70	101.30	101.30	11.674
6 #		82.50	83.40	83.50	83.13	11.674
7 #		71.10	71.20	70.90	71.07	11.674
1 #	62.5	77.90	78.00	78.30	78.07	6.843
2 #		61.80	61.80	62.20	61.93	6.843
3 #		49.60	49.70	49.70	49.67	6.843
4 #		38.10	38.20	38.00	38.10	6.843
5 #		35.30	35.10	35.10	35.17	6.843
6 #		28.87	28.96	29.07	28.97	6.843
7 #		24.99	25.08	25.11	25.06	6.843

对比表 2 中两种距离下测试亮度结果,如图 5 所示.图 5 中: $\gamma$ 为两种距离下亮度的比值.从图 5 可知:不同盘号两种条件下的测试结果具有相当好的一致性,这说明了原理方法的正确性.

表 2 亮度和光反射比的计算结果及相对误差

Tab. 2 Calculation result and relative error of luminance and light reflectivity

盘号	$L/\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$				$\rho$			
	$H=36.3\text{ cm}$	$H=62.5\text{ cm}$	平均值	$\delta_1$	$H=36.3\text{ cm}$	$H=62.5\text{ cm}$	平均值	$\delta_2$
1 #	1 787.69	1 750.50	1 769.09	0.021	0.999 3	0.978 5	0.988 90	0.021
2 #	1 412.16	1 388.74	1 400.45	0.017	0.789 4	0.776 3	0.782 85	0.017
3 #	1 135.37	1 113.68	1 124.53	0.019	0.634 7	0.622 6	0.628 65	0.019
4 #	857.34	854.32	855.83	0.004	0.479 3	0.477 6	0.478 45	0.004
5 #	787.60	788.55	788.07	0.001	0.440 3	0.440 8	0.440 55	0.001
6 #	646.33	649.52	647.93	0.005	0.361 3	0.363 1	0.362 20	0.005
7 #	552.56	561.92	557.24	0.017	0.308 9	0.314 1	0.311 50	0.017

需要指出的是,文中对原理和方法的验证是在房间中进行的,而房间内表面对平行光源的光和门透明部分的进光有多次反射,增加了环境照度,进而对材料光反射比测量的精确性造成一定影响.如果将房间内壁涂成黑色,或者将实验测试在室外黑夜进行,平行光源发出的光不再在测试点周围进行反射,则可消除周围照度的影响,进一步提高测试精确度.

另外,在测试过程中,对于盘面与光源、盘面与照度探头的相对位置,只是凭视角判断进行安排,如

果是基于更准确的方法来调节安排相对位置和测试距离, 相信测试准确度会得到极大的提高.

### 3 结论

基于扩散材料对光的漫反射特性, 推导出了材料圆盘亮度与其在轴心线上形成的照度关系式. 表明盘面在其轴心线上形成的照度只与其亮度和半椎角有关, 通过测试轴心线上照度、半椎角和入射照度, 可以计算盘面亮度和光反射比.

根据照度和盘面材料表面光反射比计算式, 就 7 种盘面的亮度和光反射比进行了测试和原理方法的验证. 结果表明: 将照度计探头置于光场外能有效避免探头对入射照度的影响, 从而克服传统方法的缺陷. 对于不同盘面, 在两种不同的条件下进行测试, 其结果具有相当好的一致性, 最大相对误差未超过 2.1%. 这说明所提出的测量原理和方法具有相当好的可行性和准确性.

如果能根据此原理研发专用反光比检测仪, 则能使该方法更简便易行; 如果能在仪器中消除周围反射光对照度探头的影响, 则可进一步提高检测精度. 此外, 这种方法只用一种设备——小照度计, 就可以得到很准确的结果, 方便于相关教学实践和科学研究.

#### 参考文献:

[1] 杨春宇, 郑文崇, 陈士群. 夜景亮度及建筑材料光反射特性与照明节能[J]. 土木建筑与环境工程, 2009, 31(5): 90-94.

[2] 华南理工大学. 建筑物理[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2008: 310-311.

[3] 杨春宇, 张青文. 建筑材料反射光亮度实验与照明计算方法[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2009, 37(8): 1019-1023.

[4] 杨春宇, 陈仲林, 张青文. 建筑饰面材料不同方向反射光亮度测量误差研究[J]. 照明工程学报, 2003, 14(4): 35.

[5] 吴栋, 管荷兰, 方锡武. 一种材料反射比测量装置的设计[J]. 仪表技术, 2001(2): 41-42.

## New Principle and Method for Simple Test of the Light Reflectivity of Diffusive Material

RAN Mao-yu, ZHAO Hong-li

(College of Architecture, Huaqiao University, Xiamen 361021, China)

**Abstract:** Based on the illumination characteristic formed by a diffusive material disc along on its axis, a new principle and method was proposed to test the light reflectivity of diffusive material, which is simple and accurate, and is also verified by practical test in a dark room. The results show that the test values of surface brightness or light reflectivity of the same disc material have good consistency for two different cases, the maximum relative error is not more than 2.1% for the 7 sample discs. This study is conducive to develop new device to test light reflectivity, and to guide relevant investigation.

**Keywords:** light reflectivity; illumination; diffusive material; surface brightness; disc

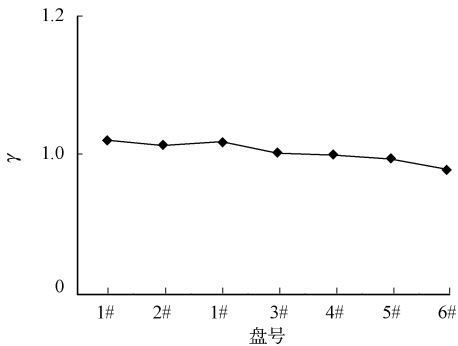


图 5 两种条件下测试亮度比与盘号关系  
Fig. 5 Test ratios of luminance under two conditions for same disc

(责任编辑: 钱筠 英文审校: 方德平)