



透明材質霧度量測規範之分析與比較

The Analysis and Comparison of the Standard Test Methods for Haze of Transparent Mediums

于學玲 H.L. Yu；蕭金釵 C.C. Hsiao；劉玟君 W.C. Liu；
工研院量測中心 Center for Measurement Standards / ITRI

摘要

由於顯示器相關產業的蓬勃發展與激烈競爭，為提昇顯示器的亮度及均勻性，霧度(Haze)量測漸漸受到重視。霧度可分為反射和穿透兩種，針對目前顯示器產業需求，本文將著重在擴散穿透方面的霧度量測之探討。在擴散穿透方面，目前在國際間較為應用的霧度量測相關規範至少有三種，各規範之量測架構與方法略有不同，依不同規範所得到的霧度值亦不盡相同。然每種方法各有其優缺點，故本文將以理論計算分析比較這些規範，同時說明造成不同廠牌但依同一規範設計的霧度計，霧度量測結果不同的原因，以及未來在霧度量測上系統設計的方向和將面臨的問題。

Abstract

Due to the fast development and intense competition of LCD these years, as well as the need to increase the quality of LCD, such as the luminance and uniformity, haze measurement attracts more and more attention. Haze can be classified into two types: one for opaque and one for transparent materials. According to the demands of LCDs, this paper focuses on the haze of transparent mediums. Nowadays haze measurement is practiced and based on at least three different standard test methods, and each method has different structure thus getting different results. This paper presents the theoretical analysis and comparison of different test methods.



The reasons of the inconsistency of currently used haze meters and the difficulties for designing a haze measurement system are also discussed in this paper.

關鍵詞 Key Words

霧度(Haze)、液晶顯示器(LCD)、亮度(Luminance)、擴散穿透率(Diffuse Transmittance)、全光穿透率(Total Transmittance)

簡介

霧度(Haze)之度量被用來衡定特定光源，因懸浮在透明介質中的粒子所導致的散射情形，其介質可為液體、氣體或固體。一些塑膠、玻璃、藥品溶液等透明或半透明物質，常會以霧度作為其透明度或清晰度的標示，也因此這些物質常把霧度值列在其所要求規格上。過去在傳統工業應用上，對霧度量測的準確度要求並不高。近年來影像顯示被列為國家發展兩兆雙星產業的重點之一，其應用包括手機、手提電腦、LCD 電視、投影機、MP3、隨身碟或數位相機螢幕等產業。由於各廠間競爭激烈以及客戶對產品要求日益嚴苛，在期待擁有一個高品質畫面的前提下，如何提高面板亮度，並使其發光分佈達到均勻的擴散效果便成為一個重要課題，也使面板內薄膜材料如偏光膜、擴散膜等的霧度量測漸漸受到重視。霧度可分為鏡面反射所造成的霧度，和半透明物質（擴散）穿透所造成的霧度，基於顯示器等相關產業目前的需求，本文將只針對穿透的霧度進行討論，因此以下所稱的霧

度均指穿透的霧度。

穿透試樣的光學穿透特性分為兩種，一為直接穿透，即光由 0° 入射且由 180° 接收，如透明物體之清晰度或化學物品之吸收度量測。另一為擴散穿透，如偏光片及塑膠膜等材料特性之量測。而總穿透率在此稱為全光穿透率。霧度的定義則為擴散穿透率(Diffuse Transmittance)與全光穿透率(Total Transmittance)的比值。實際量測時，無法直接測得待測件的霧度值，而是必須先分別量測該件的擴散穿透率及全光穿透率後，再計算求得該待測件之霧度值。

有關霧度量測的相關國際規範目前主要有 ASTM D1003⁽¹⁾ (JIS K 7105⁽²⁾)，BS 2782-5⁽³⁾、ISO 13468⁽⁴⁾ (JIS K 7361) 及 ISO 14782⁽⁵⁾ (JIS K 7136) 等三種。其中 ASTM D1003 為三者中最早的霧度量測國際規範，一些國家標準實驗室如美國 NIST⁽⁶⁾、英國 NPL 等，在早期所建立之霧度量測系統即是採用與該規範類似之方法。ASTM D1003 的方法是利用積分球來進行全光穿透與擴散穿透的量測。但該規範之方法不論在全光穿透與擴散穿透的量測值或霧度的計算，結果均與



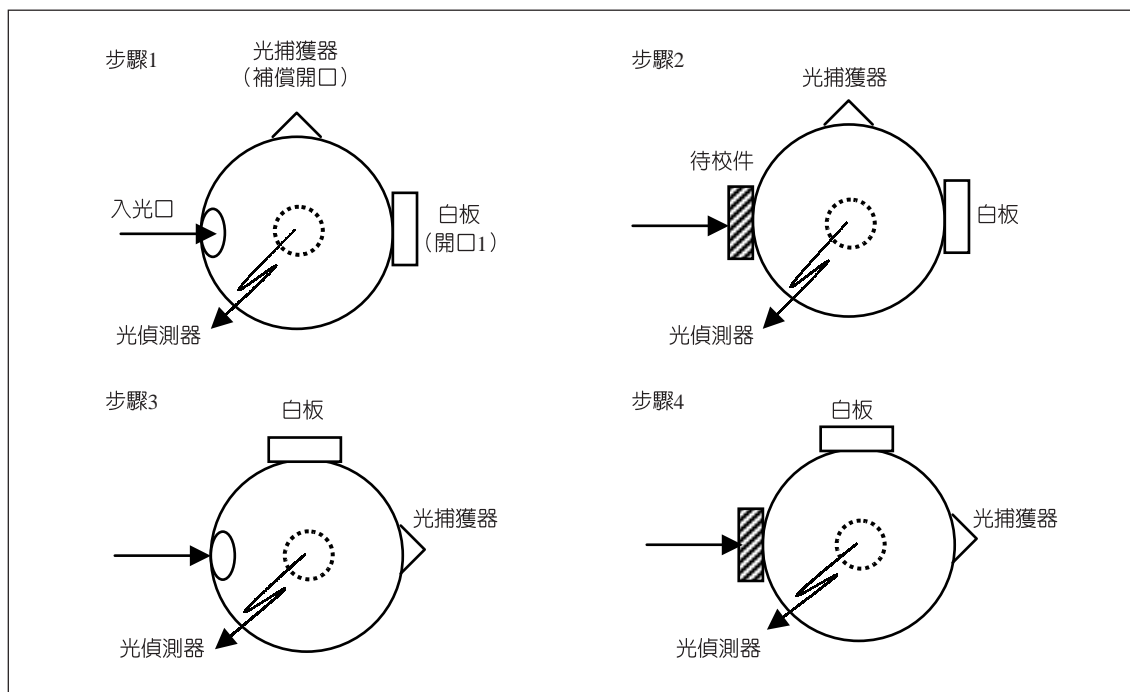
理論值有偏差，因此後來陸續有由 ISO 13468 衍生出的 JIS K 7361 與 ISO 14782 的出現，最大的不同是這些規範所用的積分球比 ASTM D1003 多了一個補償開口，以期能得到更接近理論值的量測結果。在理想的設計條件下，ISO 13468 與 JIS K 7361 可得到全光穿透之理論值，而 ISO 14782 的全光穿透和擴散穿透雖與理論值不同，但依定義將兩者相除後卻可得到霧度的理論值。除了量測方法與步驟略有不同，導致各規範的霧度量測結果也有所差異外，規範中所採用的 D65 與 C 光源在實際設計上亦有很大的困難。由於在量測上仍有爭議，因此目前霧度仍然不是國際度量衡委員會 (CIPM) 光輻射領域的正式認可項目。

上述三種規範在量測全光穿透率與

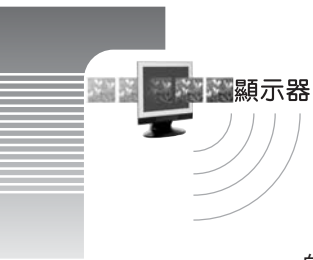
霧度值上各有其優缺點，本文將以理論計算分析的方式，剖析三種規範在量測擴散穿透率、全光穿透率以及霧度時的差異，並提出依同一規範設計的霧度計，但不同廠牌間量測結果不同的原因，以及介紹未來在霧度量測上可以發展的方向。

理論分析與比較

以下將以 ISO 14782 為例來說明霧度量測原理。圖一為 ISO 14782 的量測步驟，光偵測器位於積分球上與其他三個開口均呈 90° 的位置上。假設由步驟 1 至 4 分別可得到光訊號為 I_1 、 I_2 、 I_3 和 I_4 ，則全光穿透率等於 I_2/I_1 ，擴散穿透率等於 $[I_4 - I_3(I_2/I_1)]/I_1$ ，依據霧度定義，將擴散穿透率除以全光穿透率，所得到



▲圖一 ISO 14782 量測方法



的式子經化簡後，可推得霧度值等於 $I_4/I_2 - I_3/I_1$ ⁽⁵⁾。與 ASTM D1003 不同的是，ISO 14782 多了一個補償開口，其目的在使步驟 2 和 4 以及步驟 1 和 3 之積分球上放置的物件一致（雖然可能位於不同開口上），因此在理想的設計條件下，ISO 14782 的霧度值可等於理論值，底下將用圖二以理論計算分析的方法說明。

圖二中各符號所代表的意義如下：

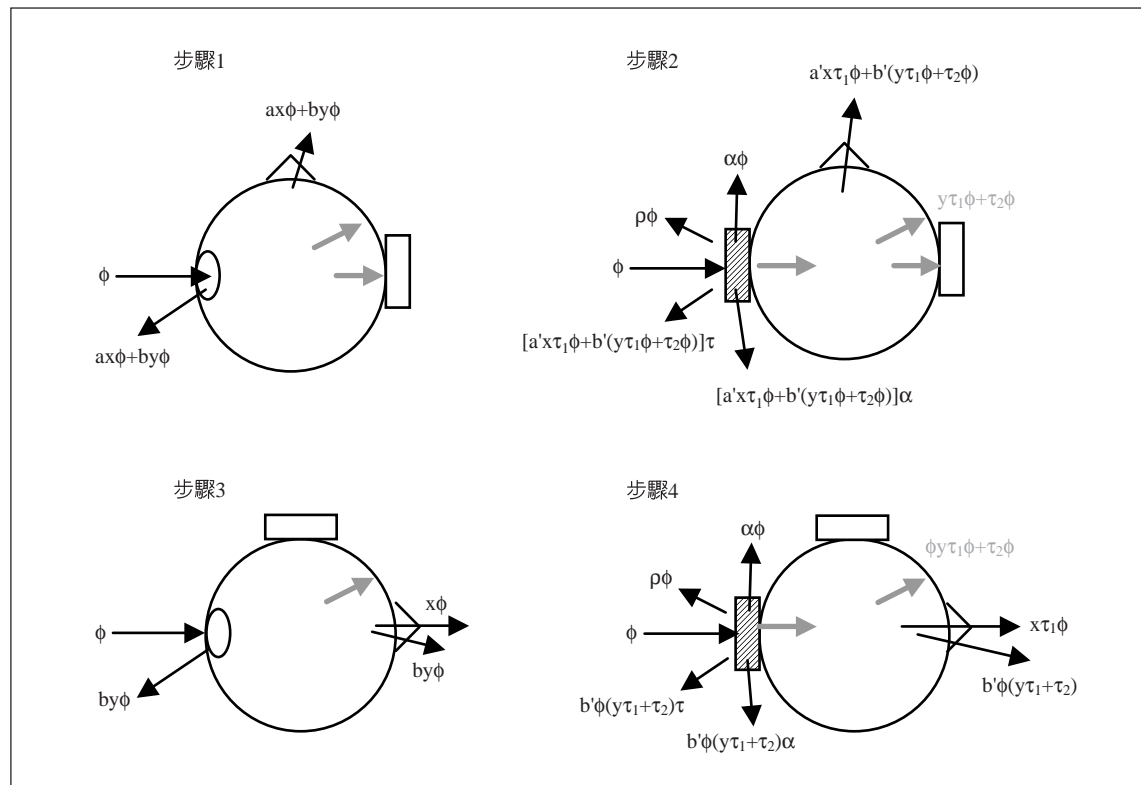
- ϕ ：入射光量
- α ：待校件吸收率
- ρ ：待校件反射率
- τ ：待校件全光穿透率
- τ_1 ：待校件直接穿透率
- τ_2 ：待校件擴散穿透率

a 、 b ：光直接進入積分球，在積分球內經多次反射的相關參數

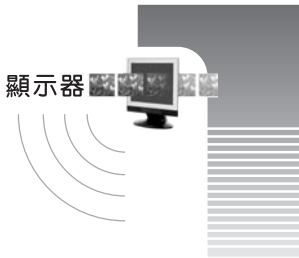
a' 、 b' ：光線經試片進入積分球，在積分球內經多次反射的相關參數，若白板特性與積分球內壁材料特性相同，則 $a=b$ ， $a'=b'$

x ：可視為未經積分球反射，入射光落於開口 1 的比例；或步驟 3 中， x 可視為入射光被光捕獲器(Light Trap)捕獲的比例， y 為光殘留於積分球中的比例。其中 $x + y = 1$ ， $\alpha + \rho + \tau = 1$ 。以下將依序分析步驟 1 至 4 的量測結果。

步驟 1 中，直接打在白板上的光 ($x\phi$)，假設在積分球內經多次反射後，



▲圖二 ISO 14782 量測方法之理論分析



光呈均勻分布，則在積分球壁上的光分布量為 $ax\phi$ 。同樣的，未直接打在白板上的光 ($y\phi$)，在積分球內經多次反射後，在積分球壁上的光分布量為 $by\phi$ 。因此有從入光口跑出積分球及被光捕獲器所捕獲的光量均為 $(ax\phi + by\phi)$ 。假設 g 為與電路相關的放大常數，因此 I_1 可表示為：

$$I_1 = g[\phi - 2\phi(ax + by)] = \phi g(1 - 2ax - 2by) \\ = \phi g[1 - 2a - 2(b - a)y]$$

若白板材料特性與積分球內部塗層的特性相同，則 $a=b$ ，因此上式中的 I_1 可簡化為：

$$I_1 = \phi g(1 - 2b)$$

步驟 2 中，入射光在進入積分球前，有部分被待校件吸收 ($\alpha\phi$)，部分被反射 ($\rho\phi$)，只有 $\tau\phi$ 的光進入積分球中。而進入積分球的光量中，有 $x\phi\tau_1$ 的部分是直接先打在白板上，再反射於積分球內，此部份的光經反射後在積分球壁上的光量分佈為 $a'x\phi\tau_1$ 。其餘 $y\phi\tau_1 + \phi\tau_2$ 部分則是先打在積分球內壁，再反射均勻分佈於積分球內，其在積分球壁上的光量分佈為 $b'(y\phi\tau_1 + \phi\tau_2)$ 。因此最後在積分球壁上的光量分佈為 $a'x\phi\tau_1 + b'(y\phi\tau_1 + \phi\tau_2)$ 。同樣的，有 $a'x\phi\tau_1 + b'(y\phi\tau_1 + \phi\tau_2)$ 的光會分別被光捕獲器所捕獲，以及 $\tau[a'x\phi\tau_1 + b'(y\phi\tau_1 + \phi\tau_2)]$ 的光會穿過待校件由入光口跑出積分球。在穿過待校件從入光口跑出積分球前，又有 $\alpha[a'x\phi\tau_1 + b'(y\phi\tau_1 + \phi\tau_2)]$ 的光被待校件吸收。最後 I_2 正比於 ϕ 減去所有跑出積分的光以及被待校件吸收、

反射的部分，意即：

$$I_2 = \{\phi - \alpha\phi - \rho\phi - [a'x\phi\tau_1 + b'(y\phi\tau_1 + \phi\tau_2)](1 + \alpha + \tau)\}g = \{\phi\tau - \phi[a'x\tau_1 + b'(y\tau_1 + \tau_2)](2 - \rho)\}g$$

同樣的，當白板材料特性與積分球內部塗層的特性相同，則 $a'=b'$ ，因此 I_2 可簡化為：

$$I_2 = [\phi\tau - \phi b'(\tau_1 + \tau_2)(2 - \rho)]g = \phi\tau g[1 - b'(2 - \rho)]$$

類似步驟 1 與步驟 2 的分析方法， I_3 與 I_4 可表示為：

$$I_3 = (\phi - x\phi - 2yb\phi)g = \phi g(1 - x - 2by) = \phi yg(1 - 2b)$$

$$I_4 = [\phi - \phi\rho - \phi\alpha - x\phi\tau_1 - b'\phi(y\tau_1 + \tau_2)(1 + \alpha + \tau)]g \\ = \phi\tau g - b'\phi(y\tau_1 + \tau_2)(2 - \rho)g - gx\phi\tau_1 \\ = \phi(\tau_2 + y\tau_1)g - b'\phi g(\tau_2 + y\tau_1)(2 - \rho) \\ = \phi g(\tau_2 + y\tau_1)[1 - b'(2 - \rho)]$$

依照規範的定義，全光穿透率等於

$$\frac{I_2}{I_1} = \tau \frac{1 - b'(2 - \rho)}{1 - 2b}$$

擴散穿透等於

$$\frac{I_4 - I_3(I_2/I_1)}{I_1} = (\tau_2 - y\tau_1) \frac{1 - b'(2 - \rho)}{1 - 2b}$$

雖然由上述計算所得的光穿透和擴散穿透與理論值 τ 和 τ_2 不同，但當 $y=0$ 時，將上兩式相除，卻可得到霧度的理論值 τ_2/τ 。經由上述分析後不難了解到，規範中一再強調白板的材質與特性要與積分球內壁一致的原因所在，因為唯有如此 a 才會等於 b ， a' 才會等於 b' ，所得到的



霧度也才會等於理論值。此外要使上述分析結果成立， y 必須等於 0，也就是說，光捕獲器必須要有很好

的吸光能力，使光進入光捕獲器後，不會再反射回積分球中。同時入射光束的擴散角度與光束直徑也必須審慎設計，以便使步驟 3 中沒有殘餘的光留在積分球內^(6,7)。也就是說在正常情況下， I_3 讀值必須近乎於 0。

以類似上述方法，可進一步分析得到以下的推論，即在理想設計條件下（白板與積分球內部塗層特性相同以及光捕獲器可完全吸光），ISO 13468 和 JIS K 7361 的全光穿透率與理論值相同，但 JIS K 7361 霧度值與理論值有差異；而 ASTM D1003 則是全光穿透率、擴散穿透率與霧度三者均和理論值有偏差。上述三種規範在量測全光穿透率、擴散穿透率及霧度計算值之比較如表一所列，表中之相對高與相對低是指與理論值之比較，該相對值會因設計條件（ a 、 b 、 a' 、 b' 與 y 等值）之不同而有高低的變化。但從表一中仍可對三種規範之差異得到基本概念。

討論

雖然不同規範霧度量測結果不同，但就業界而言，其困擾之處不在於規範的不一致，而是在於即使依照同一規範

表一 ASTM D1003、JIS K 7361 與 ISO 14782 之全光穿透率、擴散穿透率及霧度量測結果比較表

量測項目	ASTM D1003 (JIS K 7105)	ISO13468 (JIS K 7361)	ISO 14782 (JIS K 7163)
全光穿透率	相對高	理論值	相對高（相對低）
擴散穿透率	相對低	相對低（相對高）	相對高（相對低）
霧度	相對低	相對低（相對高）	理論值

去設計霧度計，不同廠牌間的霧度量測結果常存有很大的差異。此外霧度標準片穩定性不佳，以及國內尚無霧度校正的追溯管道，則是業界在使用霧度計時的另一項不便之處。造成不同廠牌霧度量測結果不同的原因除了上述光捕獲器、白板、光束等幾何設計的差異外，其他重要原因還包括各廠所設計的 A、C、D65 光源及人眼視效函數 $V(\lambda)$ (Luminous Efficiency Functions)，光偵測器與國際照明委員會 CIE (International Commission On Illumination) 所規定的 A、C、D65 標準照明體 (Standard Illuminants⁽⁸⁾) 及人眼視效函數 $V(\lambda)$ 曲線不同所造成的誤差。一般霧度計是以鹵素燈加上濾片來模擬 C 和 D65 光源，以矽光偵測器加上濾片來模擬 $V(\lambda)$ 曲線，或以氙燈來模擬 D65 光源也是常有的做法，因此各廠在濾片設計上的技術將直接影響到霧度量測結果，推論這也是造成各廠牌霧度量測結果不同的主要原因。

為解決業界霧度量測與追溯問題，量測中心未來將建立能同時符合三種規範的霧度量測系統，因為雖然依照 ISO 14782 的架構可得到較為準確的霧度值，但是早期廠商所製造的霧度計多依照



ASTM D1003 所設計，目前仍有為數不少的該類霧度計為業界所使用中，因此若只針對 ISO 14782 來建立霧度量測標準，則將無法校正依另外兩種規範所設計的霧度計。此外為了消靡模擬光源與光偵測器所帶來的誤差，未來的霧度系統擬採用雙光束分光的量測方式，在量測待校件的分光穿透分佈後，直接以 CIE 所規定的 A、C、D65 標準照明體及 $V(\lambda)$ 曲線代入程式計算待校件霧度值，如此可免去因設計 A、C、D65 光源及 $V(\lambda)$ 光偵測器所造成的量測誤差，且可改善由於濾鏡式偵測器無法獲得各波長之全光穿透率值，而需要分別購置霧度量測儀器及分光穿透率量測儀器的困擾。另外雙光束的設計則能做為光源穩定性的補償，提升該系統的量測準確性。但

可預期到的困難點將會在微弱訊號的量測，因此如何提高訊噪比將是未來設計上的重點。

參考資料

1. Standard test method for haze and luminous transmittance of transparent plastics, ASTM D 1003.
2. Testing methods for optical properties of plastics, JIS K 7105.
3. Methods of testing plastics-part 5: optical and colour properties, weathering-method 521A: determination of haze of film and sheet, BS 2782-5.
4. Plastics-Determination of the total luminous transmittance of transparent materials, ISO 13468.
5. Plastics-Determination of haze of transparent materials, ISO 14782.
6. Victor R. Weidner and Jack J. Hsia, "NBS reference hazemeter: its development and testing," applied optics, 18, 1619-1626, 1979.
7. Fred W. Billmeyer and Jr. Yuan Chen, "On the measurement of haze," color research and application, 10, 219-224, 1985.
8. Colorimetry, CIE publication, No.15.2, 1986.

市場瞭望台

Toppan Forms 公司將量產可彎曲電子紙

電子紙是為可如紙一般捲曲且輕的顯示裝置，製作方法是將薄膜放置於 Roller 上，再於其上製作一直徑 30mm 的凹槽，將含有無數奈米大小粒子（數 nm）的液體注入凹槽後，用另一張薄膜覆蓋其上。

Toppan Forms 公司從美國 Sipix 公司取得製造、販賣權，並且利用印刷技術可以低價格量產，預計可用於超市的價格標籤或廣告看板等用途，若使用於超市的生鮮食品上，則可以依照時間帶調整商品價格且可清楚標示出商品產地等詳細資料，不需人工作業，若以製作成商品標籤來販賣，則成本是為關鍵，一但量產則成本可以下降。

商品化的電子紙厚度約等於普通一枚紙張的厚度，約為 200 μm ，施加電壓使粉體粒子移動顯示出單色的文字與靜止畫面，解析度為與雜誌的漫畫同水準的 200dpi，即使切斷電源，粉體粒子也會留在原來的地方，所以顯示內容不會消失。Toppan Forms 更利用獨自開發的彩色濾光片使其彩色化。

Toppan Forms 預計在各展示會上展出試作品，確認顧客反應後，將於 2006 年第一季進行量產並決定其使用用途。（日經產業新聞，第 3 版，2005/10/13）