

第一章 自然採光

1-1 概說及名詞解

1-1-1 概說

人類運用光來運作各種工作，諸如看、讀、寫及其它，但光也藉著眼睛的視覺能力幫助我們界定空間，沒有光線就沒有視覺感受力。人類的歷史發展至今，自然光依然是光的最主要供應者，它使我們感受到空間、造型、色彩、紋理等重要建築元素。同樣的，光線使人類能在建築環境中運作，從歷史之發展中可知，從原始的牆壁上挖洞使自然光進入室內，到現代建築設計中慣常使用的人工照明系統，都是為了人類活動能順暢的進行。但是隨著自然資源（煤、石油）的不斷耗用，人類已開始領悟到儘量利用自然資源的重要，因此建築師或者工程設計者開始著重於設計構想同時，亦將採光、通風、或熱傳等因素納入設計考慮因素之中。

太陽是人類主要的自然資源，它可提供足夠的光線與熱能供人類使用，設計者因此必須考慮對太陽能源的最佳使用，在自然光利用或者熱能配合方面，從結構體與建築物本身運作上考慮，雖然電能仍然是建築物採光、空調之主要能源，但是設計者仍然需要站在自然資源有限的觀點下，儘量使自然資源能夠充分利用，不足的部分方以人工能源配合，達到提供人類舒適環境之目的。事實上，建築設計對自然能源的利用，不僅只從單一之效能中出發，它必須是將通風、採光、空調等物理環境做一整合性之考量，並配合空間之使用特質、週遭環境之影響關連等做全盤性之設計衡量，但此非為本章之探討範圍。

本章之主要目的有二，最主要的目的是幫助讀者能了解自然光之特性，其次則是提供一能評估之法則，它可經由詳細的計算或者概念式的觀念，達到設計者或使用者對自然採光利用效能評估。

1-1-2 名詞解說

A. 光度 (Luminance) (註一)

光度指的是任一光源，不一定是原始光源，所散發之光通量，也就是說在任一特定視點，對任一方向之任一實體，該實體面到達視點之光通量謂之光度，如圖 8-1 所示，以立體角 (Solid Angle) 之幾何觀念，經由該立體角，從平面 dA 到達 L 點之光通量為該平面之光度為 $L = d^2\Phi / (dw dA \cos \theta)$ 光度之強度則可以 $I = dI / (dA \cos \theta)$ 表達。

B. 照度 (Illuminance) (註二)

照度指的是到達任一表面之光通量強度，它可用光通量除以受照面積表達，其數學式為 $E = d\Phi / dA$ ，如圖 1-2 所示。

C. 平方反比定律 (Inverse-Square Law) 與餘弦定律 (Cosine Law) (註三)

任一點之照度與光源之距離之平方成反比謂之平方反比定律，但在一平面之照度則必須考慮平面法線與光源之角度關係，其角度則需以餘弦角修正，如圖 1-3 所示。

D. 光損失係數 (Light Loss Factor) (註四)

光損失係數指的是在計算照度時，因考慮時間、地域、或氣候因素之影響照度而減弱，修正此減弱部分之係數，光損失係數亦有稱之為維護係數 (Maintenance Factor)，維護係數多使用在自然採光計算。

E. 眩光 (Glare) (註五)

眩光指的是當燈具、窗戶、或其它光源與室內一般亮度的比較，其亮度比值過大，而超出視覺器官所能接受之程度，此種現象之產生可由光線直接或者反射到達視覺器官，如圖 1-4 所示，眩光又可分為

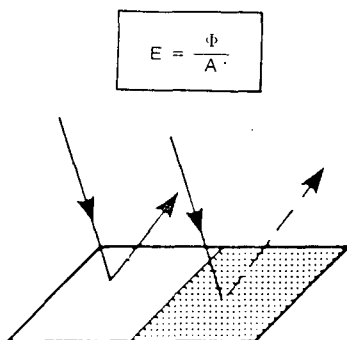


圖 1-1 光度幾何示意圖

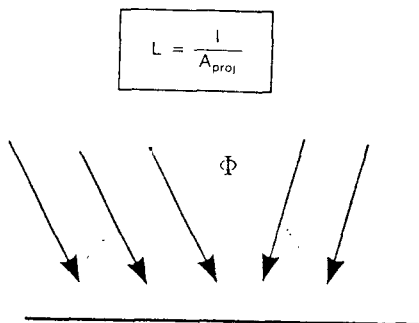


圖 1-2 照度幾何示意圖

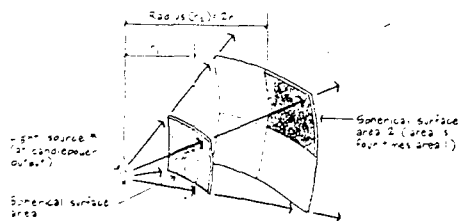


圖 1-3 平方反比定律與餘弦定律

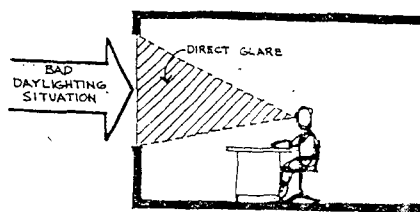


圖 1-4 眩光現象

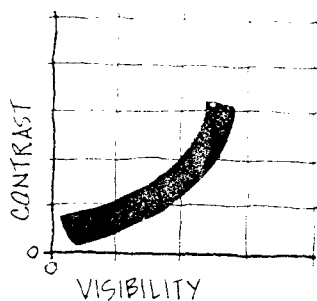


圖 1-5 可見度與照度之對比關係

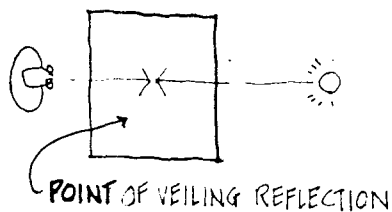
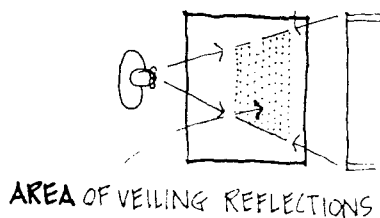


圖 1-6 鏡面反射

對比眩光．斜照眩光．反射眩光．光幕眩光．順應眩光，及過照眩光等六種（註六），分述於后：

- a. 對比眩光：對象物其本身之對比過大時，而無法分辨，如面對太陽而無法辨識來人之臉孔．
- b. 斜照眩光：對某物體觀視時，在視線之近旁有較高亮度光源出現時，則時常發生無法清晰辨視物體之現象．
- c. 反射眩光：金屬面或其他光滑之表面因反射而無法看清之現象者．
- d. 光幕眩光：亦稱為表膜眩光，眼睛對被視物觀視時所發生被視物側多餘之強烈反光，即視線中有塵埃．煙霧等發亮物質出現，猶如玻璃膜之存在．
- e. 順應眩光：在黑暗處來到明亮處，人眼未能及時順應其明暗對比程度而眩眼刺目，須經短暫時間後方能恢復之現象．
- f. 過照眩光：直接投射於視覺器官之光通量過大所產生，如太陽或高照度之發光體在視線前方時，無法清晰辨認光源與視點間之物體或景物即屬過照眩光．

F. 可見度 (Visibility)

可見度是眼睛對被視物的知覺程度．通常可見度常被認為是隨著光強度之增大而加大；也就是光線越強可見度亦相對提高；此種判定方式，一般而言是正確的，但是可見度除了光線強弱有關之外，亦和視覺敏銳度 (Visual Acuity) 及對比感光度 (Contrast Sensitivity) 相關．

視覺敏銳度，指的是區別被視物細部之能力；對比感光度，指的是區別光度或亮度之能力．兩者都隨著工作面之光強度而改變；它們取決於入射光之強度，入射光之角度，以及工作面之反射能力；通常而言，若對比感光度降低了百分之一，而仍欲維持同等的可見度，則需增加百分之十五的照度方能達到．舉例而言；你閱讀之文字是白紙和黑色字體之對比感光度造成它的可見度；倘若黑字印在黑紙上則無

可見度可言；相對的對比程度愈強則可見度愈高，類似的實驗可在色盲檢查時得到證驗。

視覺敏銳度亦隨著被視體尺寸之大小（諸如文字等）及其精微度而改變；另外時間亦是影響視覺敏銳度一要素。假若閱讀工作之字體大，則視覺敏銳度高；這點可以從幼稚園的童話故事書和新聞紙張得到明顯的比較，同樣的被視物體的精微度及工作性質所要求的精密性（諸如電子儀器裝配工廠）會相對的提高視覺敏銳度；而閱讀時間的長短或對時間的要求亦為影響視覺敏銳度之一要素，給予充分之時間，只要視覺正常，都可得到視覺效果的傳達。另外需提到的是人因為能力的不同，在視覺能力的影響亦應考慮，這點容後說明。本小節所述之可見度、光強度、對比感光度、尺寸或時間之關係可簡易的經由圖 1-5 (a, b)中表示。

G. 鏡面反射與對比 (Veiling Reflections and Contrast)

欲了解光（或視覺環境）的品質則需對“對比感光度”作一比較，此時的對比感光度是被視主體之亮度比較，亦即討論被視主體之亮度與其週遭背景亮度之關係，例如白紙為背景，黑體字為被視主體。另外亦應考慮的則是“鏡面反射”，所謂鏡面反射，又可之稱為“反射眩光效應”(Reflected Glare Effect)，指的是工作面與光源之相對位置不當，而造成被視主體表面。光源與視覺器官三者之關係正好成為入射角等於反射角關係；此時被視主體面因光反射關係，先提高整體被視面亮度，而造成降低對比層次，使視覺困難度提高，此種狀況可經由面對窗戶閱讀或燈源置於工作面前側上方發生；倘若主要光源是經由側方或背後上方進入工作面則相對減少鏡面反射現象。此種現象可經由圖 1-6之光反射效應得到，鏡面反射之入射角或反射角稱為“鏡面角”(Mirror Angle)。

H. 亮度 (Brightness)

有關“光”或“光線”的知識，通常都是以光達到被視物體的量表達，它的單位是呎燭光 (Footcandle, FC) 或是勒克司 (lux, lx)，在數學上的意義則是每平方呎一流明 (lumen)，或是每平方米一流明。事實上，我們無法看到勒克司或呎燭光，我們之所以會看到物體是因為光線到達被視物體後，再反射到我們眼睛之光線，我們看到的是亮度。也就是說光到達物，物反射光，反射光之量度為光度 (Luminance)，它的單位是燭光 (Candela, CD) 或呎南柏特 (Footlambert, FT)；而我們眼睛知覺到物體反射光線為亮度。假若在建築設計將光納入考慮因素的是亮度而非照度 (Illuminance)，那才是最理想的。果真如此，那麼從視、知覺角度去衡量其美學效果或者心理感受來決策視功能、建築及光三者之關係與其機能豈非更完美。不幸的事實是，截至目前為止仍然無法作到。

人的視覺系統對光度的接受範圍非常大，從百分之八燭光到一萬燭光，如此大的彈性範圍亦一以亮度作為考慮，也就是隨著亮度比值的大小與感官的接受力作程度上的調整；諸如在鑾陽天下進入電影院，光度的差異，只有在場地轉換的短暫時間才可調整過來，調整時間需求則是視覺器官所無法接受的亮度比值範圍；同樣的體驗可在從陽光下看建築物中得到，如果建築物室內光線弱，則由亮度比值過高而無法看清室內，但是從室外進入室內的過程中，則不因亮度的不同而失去視覺敏銳度，主要的原因則是應為亮度比值隨著人行進不斷的改變，而此類比值的改變均在人眼視力範圍。也就是說，光度強度雖然可以用量測的方式表達，但此種量測並不能代表光度比值和人眼的適應能力。

1-2 臺光

1-2-1 自然光源 --- 太陽

一般而言，太陽直射光在自然採光利用中並未被設計者作為設計光源探討，主要的原因是因為直射光本身的強度高，相對的亦製造眩光現象，而直射光亦會帶來熱效應處理問題。雖然如此，本節仍就直射光之影響略作討論。

在緯度低的區域，因其氣候較溫暖或炎熱，建築使用者通常都不欲直接光直接進入室內或工作場所干擾其生活或工作，因此設計者常利用開口部設計，建築方位考慮，遮陽設計，或開口部材料等各種設計技巧來達到避免或降低直射光進入室內的可能性。但在緯度較高之區域，因其氣候溫和或較寒冷，直接光常隨著季節之不同而對使用者扮演排斥或接受之角色，因此設計者可能考慮採用可調節性之遮陽裝置來達到控制直射光適時的進入室內；此種處理手法，相隨而來的則是要注意眩光現象或者熱輻射效應。

太陽提供了足夠的輻射能，但在自然採光的光譜能量分析中，太陽輻射能到達地球表面的可見光能量大概只佔了一半，事實上，上述之能量亦涵蓋了短波（紫外線）及長波（紅外線）之非可見光波能量，一旦這些光波被任何介質吸收，它都會轉變成熟能，因此在討論太陽能（Solar Energy）時，必須了解到陽光（Sunshine）與太陽熱量（Solar Heat）兩者雖然都是太陽輻射能（Solar Radiation Energy），但其物理意義則是不同的。可見光譜或光之能量，在太陽輻射能之整體比例上，則是依據光線所透過的太氣層深度而異，因此它也與太陽高度角及大氣係數（Atmospheric Factor）之變化而異，大氣係數指的是大氣層之組成因素，諸如含塵量，濕度，及密度等。

天體運轉，真正的軌跡是地球圍繞著太陽作 360 度運轉，現今若假設以地球上之任一點為中心，而太陽則以此中心作 360 度運轉（相對性之假設），則太陽會依著季節與時間的不同而與假設點呈現相對性之座標變化，由相對座標可分別定義出太陽高度角（Solar Altitude

）與太陽方位角（Solar Azimuth），如圖 1-7所示。而太陽所提供給地表之照度則是由太陽高度角，大氣含塵量所決定，此量可經由 1-1 式表達。式中之 E_{dh} 為水平日射照度， E_{xt} 為

$$E_{dh} = E_{xt} e^{(-cm)} \times \sin A_t \text{ ----- (1-1)}$$

太陽光未到達地球大氣層之照度， C 為大氣減損係數（Atmospheric Extinction Coefficient）（註七）， C 值隨著天空狀態而改變，晴天為 0.21，半陰天為 0.8，陰天為 1.0，有關天空狀態說明，請參閱 1-2-2 小節。若欲以數學式表達太陽到達垂直面之照度，則式 1-1 可修正為式 1-2，圖 1-8, 1-9 分別為到達水平及垂直面之太陽直射光之強度與太陽高度角之關係。

$$E_{dv} = E_{xt} e^{(-cm)} \times \cos A_t \text{ ----- (1-2)}$$

E_{dv} 則是太陽直射到地球任一點之垂直面日照光強度。

1-2-2 全天空漫射晝光

自然採光之主要光源為太陽，而太陽直射光之強度往往因為過強而導致設計者無法直接利用來作為自然採光，但是太陽直射光經由大氣層，穿過大氣層本身所具有之水蒸氣，灰塵及其它氣體分子，在接受直射光之同時，除了吸收部份光能轉變成熱能造成“溫室效應”外，亦會對部分光能進行漫射作用向四面八方反射出光能，此時整個天空就形成一可被利用之第二光源，亦即所謂的全天空漫射晝光（DIFFUSE DAYLIGHT），此漫射性晝光通常即被設計者採用作為自然採光之主要光源。漫射性晝光源（整個可見之天空）若與直射光源（太陽）作比較，則在強度上相差甚遠，一般而言，直射光約為漫射光之 100 倍左右強度，但若將光源面積納入考慮做一比較，則直接光源對地

表所提供的光通量已不若其強度那麼凸顯，若僅只討論任一點所接受的直射光通量與漫射光通量作一比較，則直射光大概是漫射光的 5 至 10 倍左右。

因此在探討天空所提供的漫射光通量時，須先了解的是，隨著太陽高度角之不同會有不同之漫射光強度。同樣的，隨著大氣層之組合變化亦會影響到漫射光強度，但因大氣層之變化仍屬理論階段，且其本身之變化並不大，對漫射光強度影響度相對性較弱（註八），一般而言，此部分之差異目前並未被詳細計算。影響漫射光強度最大的是天空狀態（Sky Condition），因天空之雲層改變導致光線之折射、透射之改變而影響漫射光強度，依據北美照明協會（IES）之天空狀態分類（註九），將天空分成三種類型，即晴天（Clear Sky）、半陰天（Partly Cloudy Sky）、與陰天（Cloudy Sky）。此三種天空狀態是依據天空中含雲層面積之百分比多寡來決定的，若天空之雲層覆蓋面積小於全天空面積之百分之三十則為晴天；若大於百分之八十則為陰天，若介於百分之三十與百分之八十則為半陰天。除上述之變數影響到全天空漫射光之外，方位之改變亦有些微之影響。有關此三種天空狀態下之漫射光可及度則於 1-3 小節敘述。圖 1-10 至圖 1-12 分表示三種天空狀態下之全天空漫射晝光之近似數值。

1-2-3 反射光

自然採光除了光線能經由天空直接透過開口部進入室內之外，亦可經由地表或鄰棟建築物之反射而進入室內，此種類型之反射光除了可增加室內之亮度外，有時亦會帶來視覺舒適度干擾之現象，諸如眩光、對比強度過大等不良影響，因此設計者在發展採光計畫時，亦應將此反射光之現象列入考慮，尤其是在鄰棟建築之影響，在此反射玻璃材料盛行之同時，鄰棟建築之壁面可能造成將天空之漫射光與直接光同時反射至室內。如圖 1-13 所示。

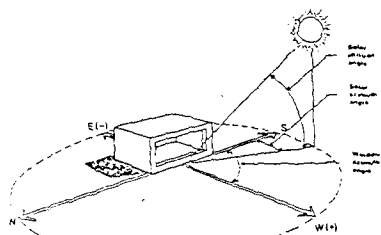


圖 1-7 太陽高度角，方位角

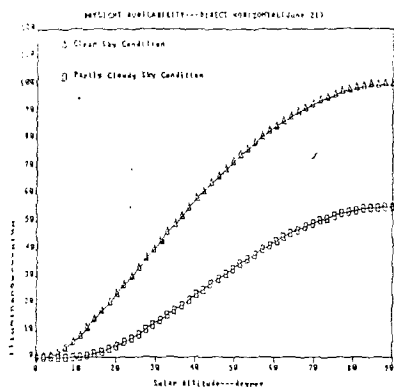


圖 1-8 太陽高度角與地表水平面照度關係

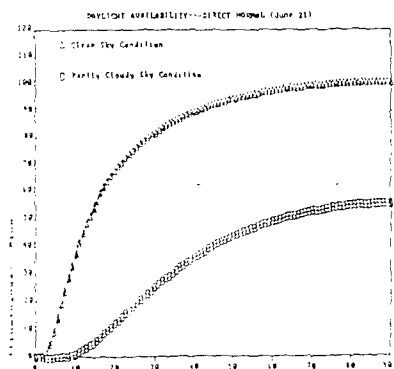


圖 1-9 太陽高度角與地表垂直面照度關係

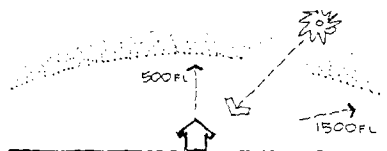


圖 1-10 晴天之全天空漫射光

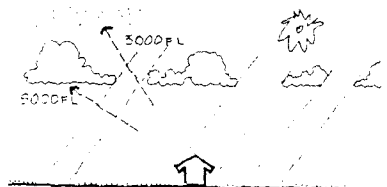


圖 1-11 半陰天之全天空漫射光

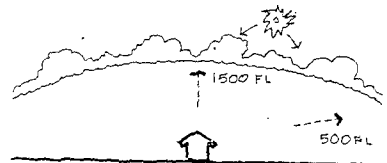


圖 1-12 陰天之全天空漫射光

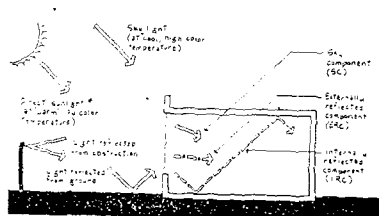


圖 1-13 鄰棟建築之反射光



圖 1-14 地表反射現象

1-2-4 地表

光線經由室外地表或室外之任一牆面反射至室內之現象，在自然採光設計中是相當重要的。通常經由地表反射至開口部之光通量大約佔了到達開口部之全部光通量的10-15%，如果室外地表之材料反射係數高時，其比例尚不僅於此。倘若是在無直射光之存在時（陰天或半陰天），大約反射光會佔到達開口部之光通量的一半。因此如何有效的運用並利用室外地表反射光進入室內達到自然採光之目的相當重要的。通常地表反射光經由窗戶反射至室內天花部分，再由天花反射到達工作面，此類型之反射光，除了可提高室內照度之外，亦可因其反射效果，使室內深遠之空間能接受到自然光線，符合了採光均勻度（Daylight Distribution）之需求（註十），因此在設計上應考慮室外地表材料之反射係數。地表反射現象可由圖1-14得知。

1-3-5 眩光之眩光

任何過強之光源落在視覺器官之視野中，都會產生不舒適感或者喪失視覺敏銳度，此種現象很容易從窗戶往天空看或向太陽之方向觀察中得知。如果一被視物體置於一背景光線非常強之環境中，則此被視物體則很難被精確的分辨，這是因為視覺器官所能接受的亮度對比（Brightness Contrast）有其一定限度，大約是在二十倍以內（註十一），上述之現象即為晝光之眩光。

若欲避免眩光之產生，最直接之考慮則是避免視線與天空或太陽之方位直接接觸，因此在設計時可考慮水平羽板之使用。植栽之配置或百葉窗式之遮陽設置（如圖1-15），此類設計除了可降低眩光現象之發生外，亦可對太陽輻射熱能之傳遞有著阻擋之作用，間接的改善了室內之熱環境，但也因為此類之設置防止眩光，相對的使室內自然採光利用降低。

1-3 漫射晝光可及性

1-3-1 概說

建築設計中，只要牽涉到自然採光，就會連想到自然光從天空至透過大氣層到達地球水平表面的光度會有多少？它的量是否可被預測？從節能以及人類生理和心理需求的觀點，自然採光是不能被忽視的，但站在設計者立場不僅會問，系統化且能量化分析的自然採光設計步驟是否存在，俾能使設計者能將建築開窗法與採光效果及節能互相配合，答案當然是肯定的，本節擬將近年來世界各地在漫射晝光可及性(Diffuse Daylight Availability)模型預測的各種研究作一比較分析。

漫射晝光可及性的定義是“對一特定地點，日期，時間，以及天空狀況，太陽提供給無遮蔽狀態之地球水平表面的漫射光度。”(註十二)

世界各地有許多學者專家對漫射晝光可及性研究並提出他們的預測模型。基本上，這些研究可分成下列三種型態。第一種是氣象學的模型，它是依據長時間的氣象紀錄到達地表之全部輻射量與漫射光度；諸如此類的研究有 Secker (註十三)，Kingsburg (註十四)，Hunt (註十五)，Ruch (註十六)，與 Gillette (註十七)。第二種研究方向是針對自然採光需求，提出典型化之日照氣候環境模型，此類的研究多半是國際照明協會 (Commission Internationale De l'Eclairage)，簡稱 CIE (註十八、十九、二十)，與北美照明工程學會 (Illuminating Engineering Society of North America)，簡稱 IES (註二一、二二)，兩個學術組織所贊助的研究計劃。第三種研究則綜合了理論與實驗，針對某一特定城市，氣候區域，或者季節特性為研究主題，提出漫射晝光可及性之預測模型；此類的研究有 Tregenza (註二三)，

Littlefair (註二四), Kittler(註二五), Oki (註二六), Nakamura (註二七), 與 Selkowitz(註二八)。

上述三類研究中，氣象學模型往往會受到地域性的應用限制，而它本身並不具備代表性，並不能表達不同區域的氣候環境，提供設計者在不同地域對漫射光度的預測；因此，此類模型被採光設計者採用的情況較少。同樣的，第三類研究所提出的預測模型亦有上述之缺點，它並不適合自然採光設計中所應有的比較特性；通常此類模型被用在季節性的自然採光省能研究較多，在自然採光設計過程中，通常會考慮到最低的漫射晝光可及性條件，並配合照明設計規範以達到最大可行性的自然採光利用。因此，在上述三種研究當中，典型化的氣候環境模型是較適用於自然採光設計中對日照可及漫射光度的預測；歐美地區廣泛的使用此類模型，尤其是氣候特性變化小且幅員廣的地區。

1-3-2 天空狀況分類

太陽光經由外太空到達地面，這其中透過大氣層中水蒸氣，灰塵，或其他分子所產生的各種折射現象，最後以輻射方式到達地表，而自然光就是到達地表輻射能量的一部分。到達地表的自然光強度又與天空雲層的多寡有著密切的關係；因此如何界定天空狀態及分類來典型化表達天空狀況與自然光強度的關係為研究者所關切的。

依據美國國家標準局 (National Bureau of Standard)，簡稱為 NBS，所提供的天空比例法 (Sky Ratio Method)，與國家天氣海洋管理局 (National Oceanic and Atmospheric Administration) 簡稱 NOAA，所使用的天空覆蓋法 (Sky Cover Method)，將天空分成三類，即晴天 (Clear Sky)，半陰天 (Partly Cloudy Sky)，與陰天 (Cloudy Sky)。

天空比例法是採用輻射比的關係界定天空狀況，天空覆蓋法是以雲層佔有天空比例關係界定天空狀況；事實而言，兩種方法的基本精神是一致的，其界定方式如 1-2-2 節所述。

1-3-3 漫射晝光可及性模型分析

A. IES 採用模型

雖然各國的研究都分別針對三種不同的天空狀況提出他們的模型；綜歸而論，所有的日照可及漫射光度預測模型都是以太陽高角為最主要的變數，其他的影響變數因隨著研究方法不同也有著明顯的差異，諸如大氣層的混亂度、海拔高度、雲層模式、密度、及覆雪面積比等。儘管影響漫射光度預測的變數很多，但從各個不同方式研究結果證明，在不考慮地域氣候及緯度的條件下，除了太陽高度角是最重要的影響因子之外，其餘的變數在整個日照可及漫射光度預測過程中之影響是可忽略的（註二九）。此種現象可從後面之討論比較中得證。

北美照明工程師協會中的運算過程委員會（IES Calculation Procedures Committee 簡稱 IES-CPC）在 1984 年提出他們認為合理的日照可及漫射光度模型（註十二），此模型係完全依據太陽高度角與天空到達地球水平表面光度（不含直射光）之關係發展而來。IES-CPC 針對三種天空狀況提出一標準預測模型，此模型可依據天空狀況而賦予不同的常數，唯一的變數則是太陽高度角。按 IES-CPC 宣稱，此通用模型分別用來預測晴天、半陰天、與陰天的漫射光度效果非常良好。事實上，IES-CPC 模型和其他學者所提出的模型可依天空狀況，分別從圖 1-16, 1-17, 1-18 中比較中得到下述之概念，因天空狀況不同，模型之間的一致性也不同，一般而言，晴天最佳，陰天次之，半陰天最差。IES-CPC 之通用模型如下列公式所示。

$$E_d = A + B \sin^c A_t \text{ -----(1-3)}$$

E_d : 天空到達水平面之可及漫射光度 (單位: Klux)

A : 日出及日落之可及漫射光度常數

B : 太陽高度角漫射光度係數

C : 太陽高度角漫射光度指數

A_t : 太陽高度角 (單位: 度)

上述 IES-CPC之通用模型依天空狀況不同而分別賦予之係數如表 1-1所示。

B. 晴天模型比較

晴天的漫射光度模型，由於從事研究的單位與學者相當多，而他們的預測模型也多半是依據太陽高度角做唯一的變數，因此結果也都相當吻合。就另一研究觀點而言，不同的研究針對不同的地域氣候，所收集的數據卻不因地域的差別而對預測模型造成過大的差異度。從圖 1-16可明顯的看出，每個模型都落入一相當接近的預測帶中；也就是說在晴天的日照可及漫射光度模型預測時，受到緯度及氣候差別的影響相當小。

下面則是各家所提出預測模型， A_t 代表太陽高度角； E_{d-cr} 代表晴天之日照可及漫射光度 (單位: Klux)。

$$E_{d-cr} = 0.8 + 15.5 \sin^{0.5} A_t \text{ -----IES CPC(註十二)}$$

$$E_{d-cr} = 1.1 + 15.5 \sin^{0.5} A_t \text{ -----Krochmann(註三十)}$$

$$E_{d-cr} = 3.0 + 0.17 A_t \text{ -----Chroscicki(註三一)}$$

$$E_{d-cr} = 1.0 + 14.7 \sin^{0.7} A_t \text{ -----Pierpoint(註七)}$$

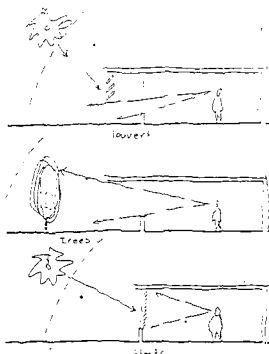


圖 1-15 防止眩光設置

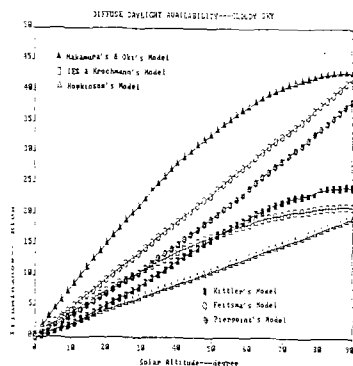


圖 1-18 陰天之漫射晝光可及性模型比較

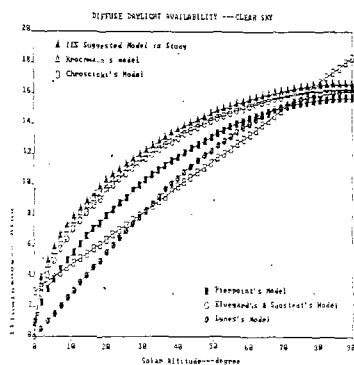


圖 1-16 晴天之漫射晝光可及性模型比較

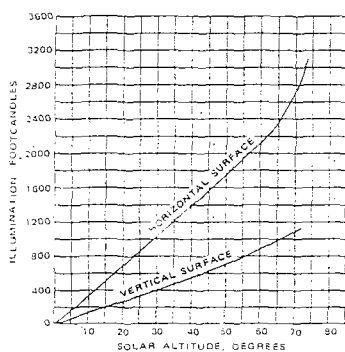


圖 1-19a 陰天漫射晝光

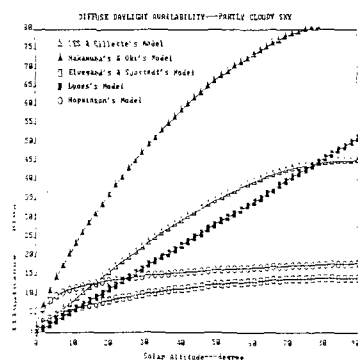


圖 1-17 半陰天之漫射晝光可及性模型比較

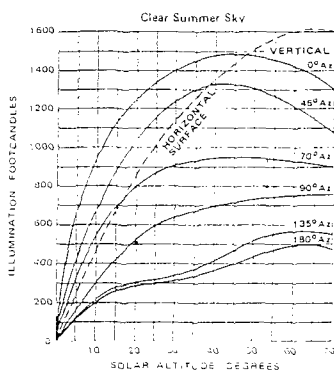


圖 1-19b 晴天漫射晝光(夏季)

$$E_{a-cr} = 16.25 \sin \theta \cdot A_t \text{ ----Elvegard \& Sjostedt (註三二)}$$

$$E_{a-cr} = 16.1 \sin A_t \text{ -----Lynes (註三三)}$$

將上述六種模型以圖形表示，即如圖 1-16 所示，除了 Elvegard 與 Lynes 兩位未將日出之前與日落之後的可及光度考慮在預測模型內，其餘的模型都已將日出日落的狀況納入考慮；亦即當太陽在水平面之下的情況，從天空到達水平地表的可及光度非為零。另外，只有 Chroscicki 的模型是以線性的方式表達；也因為這個原因，他的模型在太陽高度角最低（0 度）時與最高（90 度）時會與其他的模型出入最大。事實上，對一個採光設計者而言，最關心的不是太陽高度角，而是可被用來作為自然採光的可利用光度之“量”的預估準確性，利用可行性，與採光考慮所設計的依據光度。

設計者首先要考慮的即是對當地氣候的天空狀況分配比做一分析，再在設計過程中採用一較具說服力的預測模型；針對選用的模型考量因太陽高度角不同而提供的利用可行性，此項考慮亦是針對不同性質的空間機能使用而會有所不同之依據，當可及光度低至某種程度，此時自然採光在利用價值上已無正面意義，而必須藉重人工照明輔助達到使用需求。因此，在這種條件時的可及光度已無利用可行性（可調節自動控制照明系統不在內），此時模型對低太陽高度角時之光度預測準確性已不具意義，所以圖 1-16 所示的六種模型，因日出日落狀況對可及光度的影響在採光設計中並沒有扮演重大的角色，但是在 IES-CPC 及另外三種模型當中，將日出日落之天空可及光度以恆常數表示，它的基本精神係針對外太空光線經由大氣層折射可到達地表的基本可及光度，在實質意義上指的是此種基本光度是不因太陽高度角之變化而改變，這也是依據實驗數據以統計分析所得到的結果。

如果將此六種模型與 1981 年 IES 手冊（註三十四）中的數據比較

，每個模型都能符合 IES 對日照可及光度模型的需求；針對不同地點之可及光度實驗數據，在晴天的條件下，圖 1-16 的模型都具代表性。

6. 半陰天模型比較

在過去二十多年中，有不少學者致力於半陰天狀況的可及漫射光度研究，但是結果並不理想，主要的原因是半陰天定義的範圍過大。在實驗的過程中，天空狀況是一個不在控制之內的重大的變化的因子，因此每個數據的抽樣分配 (Sampling Distribution) 很難達到常態分配；更何況在研究的本身就先有一個大前提是相當無奈的，那就是假設整個天空的光度是均勻對稱的半球表面，這個假設在半陰天狀況更難與實際情形吻合，因此要將半陰天的可及漫射光度以單一的數學預測模型提出遠較另二種天空狀況困難，所以各研究學者之間所提出的模型彼此差異度亦較大，此點可從圖 1-17 明顯的比較出來，模型之間的預測值差異度可高達兩倍以上。

茲將各研究學者所提供之模型分述於后， E_{d-po} 代表半陰天之日照可及漫射光度 (單位：Klux)。

$$E_{d-po} = 0.3 + 45.0 \sin^{1.0} \theta_t \text{ ----- IES-CPC (註十二)}$$

$$E_{d-po} = 2.0 + 80 \sin^{0.0} \theta_t \text{ ----- Nakamura & Oki (註三五)}$$

$$E_{d-po} = 0.89 + (16.25 \sin^{0.0} \theta_t \text{ ----- Elvegard & Sjøstedt (註三二)})$$

$$E_{d-po} = 10 (0.434 + 0.31 \log \theta_t \text{ ----- Hopkinson (註三六)})$$

$$E_{d-po} = 0.3 + 45.0 \sin^{1.0} \theta_t \text{ ----- IES-CPC (註十二)}$$

$$E_{d-po} = 0.57 \theta_t \text{ ----- Lynes (註三三)}$$

從採光設計者的觀點，雖然半陰天狀況在可及漫射晝光可及性預測模型中是最不穩定的，但它所扮演的份量卻最不容被忽略，因為半陰天是 NBS與 NOAA所區分的三種天空狀況中提供漫射光度量最高的，從圖 1-16和 1-17的比較，半陰天的可及光度平均約是晴天的可及光度三倍，這也是平常易被人類的直覺錯誤判斷的。

3. 陰天模型比較

陰天本來說是一種複雜的氣象結構，它的構成是由於幾個不同的雲層與密度排列在不同的高度，地表的漫射晝光可及性端視太陽光本身藉著雲層的穿透性，雲層間的相互反射，與雲層和地表間的相互反射而決定。在前述的定義當中，陰天被定義成雲層覆蓋面積超過天空面積的百分之八十，這種狀況可以說是天空幾乎已被雲層佔滿；如果和半陰天狀況相比較，相對的，陰天的穩定度可以說是相對的提高了很多，但是也是因為雲的面積比高，在漫射日光可及性模型的研究考慮因子也較多，諸如雲層密度，水蒸氣密度，雲層高度，與大氣壓力都會改變地表的可及光度；還有就是在緯度低的地區，地表漫射光度因受積雪的影響可較正常狀況高出三倍。

陰天的可及漫射光度模型比較有下列數種，其中 E_d-cd 表示陰天之可及漫射光度（單位：Klux）。

$$E_d-cd = 0.3 + 21.0 \sin^{1.5} \theta_s A_t \quad \text{-----IES-CPC(註十二)} \\ \text{與 Krochmann (註三十)}$$

$$E_d-cd = 9.75 (1 + \sin A_t) \sin A_t \quad \text{-----Kittler(註三七)}$$

$$E_d-cd = 0.215 A_t \quad \text{-----Hopkinson(註三六)}$$

$$E_d-cd = 0.5 + 42.5 \sin A_t \quad \text{-----Nakamura & Oki(註三五)}$$

	A	B	C
Clear Sky	0.8	15.5	0.5
Partly Cloudy Sky	0.3	45.0	1.0
Cloudy Sky	0.3	21.0	1.0

表 1-1 日照係數

照度 [Lx]	場 所		作 業
2,000			◦設計
1,500			◦製圖
1,000	(1)	(2)	◦打字
750	事務所 a, 營業室, 設計室, 製圖室, 門口大廳 (白天)		◦計算
500	—	事務所 b、經理室、會議室、印刷室、電話總機、電子計算機室、控制室、診療室、配電盤、收交室。	◦打卡
300	會議室、客廳、餐廳、廚房、研討室、守衛室、門口大廳 (夜) 電梯大廳	書庫、作業室、電機室、機械室、大禮堂、電梯	
200	—	洗手間、浴室、走廊、樓梯、廁所	
150	休息室、飲茶室、值班室		
75	更衣室、倉庫、門口 (停車處)		
50			
30	屋 內 緊 急 梯		
30			

註：(1) a 是積極作業之場所，或受晝光之影響，致感覺室內陰暗，窗外明亮之處。

(2) 門口大廳 (白天) 因白天之屋外自然光，其光照度達數萬 Lx，並且眼睛已習慣此照度，故大廳內部會感覺太暗，故須提高光照度。

又門口大廳 (夜間) 與 (白天) 可以步級點減來調節。

表 1-2 辦公空間照明規範

2. 工廠

作業面照度 [Lx]	工 廠 作 業	工 廠 場 所
3000	精密機械、電子零件製造、印刷工業等極精細作業	控制室的儀器盤、控制盤
2000	○檢查 a. ○設計 ○選別 a. ○裝配 ○試驗 a. ○應付的工廠管理、控制等	
1500	纖維工業的選別、廢棄、印刷工業的版字校正 化學工業的分析等細小作業	
1000	○檢查 b. ○選別 b. ○試驗 b.	設計室 製圖室
750	一般製造工程等普通作業	控制室
500	○檢查 c. ○包裝 a ○選別 c. ○倉庫內事務 ○試驗 c.	
300	小製品包裝的作業	
200	包裝 b. , 調整 a	變電室、機械房、倉庫
150	大製品包裝的作業	出入口、走廊、通道、 樓梯、洗手間、倉庫
100	包裝 c. , 調整 b.c.	
70		
50		太平梯、 屋外動力設備、倉庫
30		屋外放置場或通路 (警備需要)
20		
15		

(1) 照度面：一般為地板上 85 cm，廠址作業為地板上 40 cm，走廊、屋外為地板面。

(2) ○：指採用局部照明。此時全廠照明的局部照明的 1/10 為佳。

(3) a：指對象極細小，暗色，弱對比，誤讀、精密、愈生有誤。

(4) c：指對象物極粗大，明色，強對比，誤讀，耐時。

(5) b：指對象物係真摺 a 與 c 中間。

表 1-3 工廠空間照明規範

$$E_{a-\text{out}} = 0.26 (123.2 \sin A_t \times 10^{-0.18 A_t} / \sin A_t) + 0.54 (16.25 \sin^{0.8} A_t) \quad \text{---Elvegard \& Sjøstedt (註三二)}$$

$$E_{a-\text{out}} = 0.2 + 0.31 A_t + 10.3(1 - \cos A_t) \quad \text{----Lynes (註三三)}$$

從圖 1-18 所示，預測模型之間，最大和最小的差異度約在兩倍左右，這是因為雲層為影響可及光度的主要因子，而雲層本身的變化因子並未能於 NBS 及 NOAA 的定義中界定。這些模型都是經由近年累月的實驗數據加以統計分析整理出來；而其中以 Krechmann 的模型是從四十年的累積數據中得到的，無怪乎 IES-CPC 會毫不保留的採用它的原始模型，事實上 Krechmann 的模型和 IES 手冊中之數據是相當接近的。

綜合各種預測模型與天空狀況的界定意義，不難發現各預測結果迥異的程度與天空狀況的定義清晰度有著正向的關係，按 NBS 與 NOAA 對三種天空狀況的定義，在晴天和陰天之定義範圍較窄，即雲層覆蓋比例較小，因此各預測模型所得到的預測值迥異度較小；相對的半陰天的預測模型則因定義範圍過大而失去研究之控制性，導致各研究相互間結果之差異度大，這點可由三種圖形比較中獲得。

1-4 自然採光設計計算

1-4-1 概說

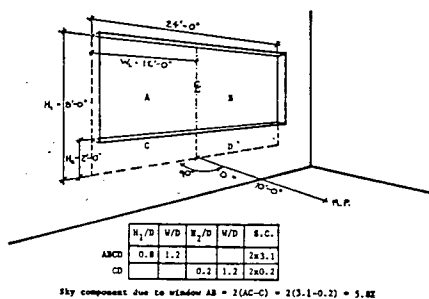
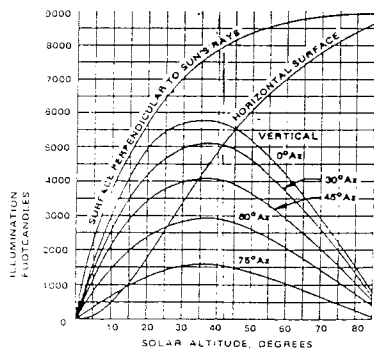
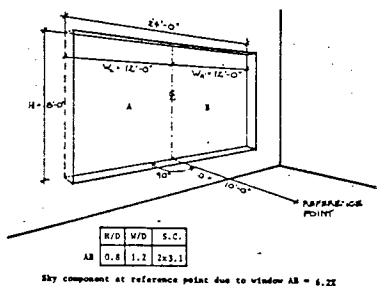
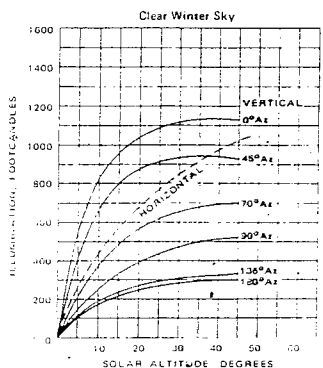
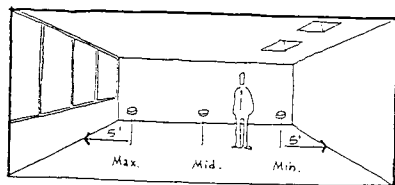
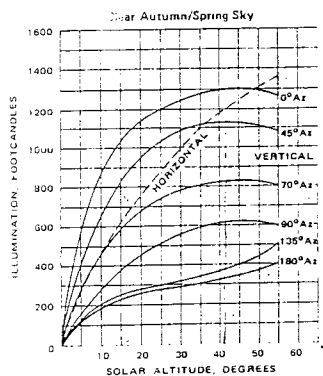
建築設計者在考慮自然採光設計時，首先要確定的就是設計空間之視覺環境，而依據此視覺環境及其空間活動需求訂定基本的照明量，此量可由表 1-2 及 1-3 之辦公空間與工廠之照明基準（註三九）中查出，亦可經由北美照明學會（IES）所製定之室內照明規範中得到（註四十）；其次設計者必須決定建築基地之日照環境，搜集有關直射或漫射日光可及性資料，有了上述兩種了解，則可以從事不同設計計劃案的自然採光計算，以預測室內空間之照度是否能符合原先之照明基準。

通常設計者並非真正想知道他所設計空間之各點照度，設計者所想得到的是那一個設計草案是較能達到自然採光之效能，及該設計案之室內最大或最小照度大概是多少，而非想要精確的計算出室內各點之照度。若欲得到精確的照度，先要知道的就是該建築地點之天空所呈現的晝光強度，通常此類資料得到不易，除了晝光強度外，另外亦須以精確之計算方法，經過冗長之計算方能得到，此類計算大多為照明工程師所用，本節所提是自然採光之計算，因此建築設計過程中應以自然採光設計期間之適度定為計，以取簡略之計算，還提供設計者能適當地作決斷，達到輔助設計之目的。

提供室內照度計算之方法，源起於十九世紀後末期，從那以後，自然採光計算始被重視，且計算方法之討論亦逐漸增多，基本上，自然採光計算之方法不脫兩種範疇，一為流明法(Lumen Method註四一)，另一則是晝光係數法(Daylight Factor Method註四二)，流明法通常可被用來被計算任何天氣狀況(陰天，晴天)，但是它受到計算空間之幾何形限制，而且計算自然採光下之室內位置數目亦有限，晝光係數法是受 CIE (Commission International de l'Eclairage)所推薦，它正好彌補流明法之不足，對計算空間之形狀較具彈性，可計算室內任何點之照度，但是它最大的限制是只能針對陰天之狀況計算，此兩種自然採光計算主流，隨著後續學者之不斷研究改進，已改進不少缺失，茲分述於後面小節。

1-4-2 流明法

流明法是最早被普魯林氏(Fruhling)在1928年所提出，他是依據很多的實驗數據求得從室外進到室內的總光通量與預測之受照光通量之比值，普魯林氏按照不同尺寸之空間，窗戶與室內表面材料之反射係數去預測上述之比值，而基於簡化之理由，他建議此比值為 0.2-0.5，並推薦 0.4 為計算基準，隨後在1955年，格瑞佛氏(註四一)以實驗



建築物及比例模型實驗重新修改了富氏之流明法，此亦為現今北美照明協會（IES）所採用之流明法，本小節即為以格氏之流明法為主，參照IES之計算流程，分述於後。

A. 建立室內採光條件

依據設計空間之不同會有不同的採光需求，諸如表 1-2，1-3 所示之辦公室及廠房之空間，此空間之採光需求即為往後計算之評估標準，採光條件亦包含空間對採光之改變彈性，諸如開窗面積，材料，牆壁或室表面材料，亦即依空間機能之不同，所容許的改變程度以改善採光效能。

B. 建立地域性之天空晝光可及能力

天空之可及晝光可說是相當不穩定之變數，從早到晚，一年四季或還著的改變，都會有不同的晝光強度，因此天空之可及晝光可說這一恆常之變數，而且有關地域性之天空晝光可及能力資料，亦須經過經年累月之實際測試方可完成，有鑑於此，IES 依據各研究結果訂出可及晝光數學模型，並以圖形表達，此圖形表達係依據太陽直射光，漫射光兩種狀況分開表示，其中漫射光又區分成陰天與晴天兩種天候，晴天之狀況又依季節之不同分成春秋、夏及冬天三種，圖 1-19(a, b, c, d) 分別為漫射晝光，圖 1-20 為直射晝光。

C. 室內照度預測

流明法之計算過程是依據內插法之方式進行室內照度預測，而室空間之形狀指的是一般性的長方形，開窗法亦指窗高，天花板高度，窗檯高度則是以 90cm 為基準點之狀況下進行計算，若室空間之尺寸及開窗法與上述有所出入，則必須做修正，在計算之過程中，可分別針對任一種採光來源進行計算，諸如側窗，天窗與室外地表反射光線，再綜合各項計算結果得到室內照度預測值。

Room Length	20'		30'		40'	
	70%	30%	70%	30%	70%	30%
Room Width						
MAX 20'	0.275	0.251	0.191	0.173	0.143	0.137
30'	0.272	0.248	0.188	0.172	0.137	0.131
40'	0.269	0.246	0.182	0.171	0.133	0.130
MID 20'	0.159	0.117	0.101	0.087	0.081	0.071
30'	0.058	0.050	0.054	0.040	0.034	0.032
40'	0.039	0.027	0.030	0.023	0.022	0.019
MIN 20'	0.087	0.053	0.063	0.043	0.050	0.037
30'	0.032	0.019	0.029	0.017	0.020	0.014
40'	0.019	0.009	0.016	0.009	0.012	0.008

C Coefficients of utilization for room length and width, illuminated by overcast sky.

表1-4a 陰天漫射光使用係數(無任何遮陽裝置;室天花反射率80%;室地板反射率30%)

Room Length	20'		30'		40'	
	70%	30%	70%	30%	70%	30%
Room Width						
MAX 20'	0.206	0.173	0.143	0.123	0.110	0.098
30'	0.203	0.173	0.137	0.120	0.098	0.092
40'	0.200	0.168	0.131	0.119	0.096	0.091
MID 20'	0.153	0.104	0.100	0.079	0.083	0.067
30'	0.082	0.054	0.062	0.043	0.046	0.037
40'	0.052	0.032	0.040	0.028	0.029	0.023
MIN 20'	0.106	0.060	0.079	0.049	0.067	0.043
30'	0.054	0.028	0.047	0.023	0.032	0.021
40'	0.031	0.014	0.027	0.013	0.021	0.012

C Coefficients of utilization for room length and width, illuminated by clear sky (with or without direct sun).

表1-4b 晴天漫射光使用係數(無任何遮陽裝置;室天花反射率80%;室地板反射率30%)

Room Length	20'		30'		40'	
	70%	30%	70%	30%	70%	30%
Room Width						
MAX 20'	0.147	0.112	0.102	0.088	0.081	0.071
30'	0.141	0.112	0.098	0.088	0.077	0.070
40'	0.137	0.112	0.093	0.086	0.072	0.069
MID 20'	0.128	0.090	0.094	0.071	0.073	0.060
30'	0.083	0.057	0.062	0.048	0.050	0.041
40'	0.055	0.037	0.044	0.033	0.042	0.026
MIN 20'	0.106	0.071	0.082	0.054	0.067	0.044
30'	0.051	0.026	0.041	0.023	0.033	0.021
40'	0.029	0.018	0.026	0.012	0.022	0.011

C Coefficients of utilization for room length and width, illuminated by uniform ground light.

表1-4c 室外均勻地表漫射光使用係數(無漫射性遮陽裝置;室天花反射率80%;室地板反射率30%)

表1-4d 均勻天空漫射光使用係數(無漫射性遮陽裝置;室天花反射率80%;室地板反射率30%)

Room Length	20'		30'		40'	
	70%	30%	70%	30%	70%	30%
Room Width						
MAX 20'	0.247	0.217	0.174	0.152	0.128	0.120
30'	0.241	0.214	0.166	0.151	0.123	0.116
40'	0.237	0.212	0.151	0.150	0.118	0.113
MID 20'	0.188	0.122	0.110	0.092	0.089	0.077
30'	0.073	0.060	0.067	0.048	0.044	0.041
40'	0.053	0.033	0.039	0.028	0.029	0.024
MIN 20'	0.108	0.066	0.080	0.052	0.063	0.047
30'	0.047	0.025	0.042	0.022	0.029	0.020
40'	0.027	0.012	0.022	0.012	0.018	0.011

C Coefficients of utilization for room length and width, illuminated by uniform sky light through diffuse window shade.

Ceiling Ht.	8'		10'		12'		14'	
	70%	30%	70%	30%	70%	30%	70%	30%
Room Width								
MAX 20'	1.25	1.19	1.21	1.20	1.11	1.11	0.991	0.973
30'	1.22	1.21	1.22	1.21	1.11	1.11	0.945	0.973
40'	1.15	1.33	1.31	1.26	1.11	1.11	0.973	0.982
MID 20'	0.908	0.932	1.07	1.15	1.11	1.11	1.05	1.22
30'	1.55	1.02	0.939	1.13	1.11	1.11	1.21	1.24
40'	1.06	0.948	1.23	1.07	1.11	1.11	1.25	1.27
MIN 20'	0.908	1.02	0.951	1.14	1.11	1.11	1.13	1.24
30'	0.924	1.19	1.01	1.14	1.11	1.11	1.25	1.25
40'	1.11	0.926	1.25	1.09	1.11	1.11	1.23	1.30

K Coefficients of utilization for ceiling height and room width, illuminated by overcast sky.

Ceiling Ht.	8'		10'		12'		14'	
	70%	30%	70%	30%	70%	30%	70%	30%
Room Width								
MAX 20'	1.15	1.55	1.29	1.32	1.11	1.11	1.01	0.982
30'	1.11	1.49	1.25	1.30	1.11	1.11	0.954	1.01
40'	1.57	1.57	1.35	1.34	1.11	1.11	0.954	0.991
MID 20'	1.10	1.28	1.16	1.26	1.11	1.11	1.03	1.08
30'	1.06	1.25	1.10	1.29	1.11	1.11	1.12	1.20
40'	1.17	1.18	1.22	1.18	1.11	1.11	1.23	1.22
MIN 20'	1.05	1.29	1.12	1.20	1.11	1.11	1.11	1.16
30'	0.994	1.44	1.07	1.26	1.11	1.11	1.07	1.24
40'	1.19	1.16	1.20	1.18	1.11	1.11	1.20	1.18

K Coefficients of utilization for ceiling height and room width, illuminated by clear sky (with or without direct sun).

Ceiling Ht.	8'		10'		12'		14'	
	70%	30%	70%	30%	70%	30%	70%	30%
Room Width								
MAX 20'	1.24	2.06	1.40	1.35	1.11	1.11	0.909	0.859
30'	1.32	1.88	1.40	1.43	1.11	1.11	0.918	0.878
40'	1.24	1.82	1.40	1.42	1.11	1.11	0.936	0.879
MID 20'	1.23	1.45	1.22	1.29	1.11	1.11	1.00	0.945
30'	0.966	1.04	1.07	1.12	1.11	1.11	1.10	1.05
40'	0.790	0.786	0.999	1.06	1.11	1.11	1.18	1.18
MIN 20'	0.994	1.08	1.10	1.14	1.11	1.11	1.07	1.04
30'	0.816	0.822	0.984	1.05	1.11	1.11	1.21	1.16
40'	0.700	0.656	0.946	0.986	1.11	1.11	1.25	1.32

K Coefficients of utilization for ceiling height and room width, illuminated by uniform ground light.

Ceiling Ht.	8'		10'		12'		14'	
	70%	30%	70%	30%	70%	30%	70%	30%
Room Width								
MAX 20'	1.15	1.54	1.23	1.28	1.11	1.11	0.991	0.964
30'	1.11	1.51	1.26	1.28	1.11	1.11	0.945	0.964
40'	1.59	1.57	1.37	1.27	1.11	1.11	0.973	0.964
MID 20'	1.01	1.16	1.15	1.25	1.11	1.11	1.01	1.10
30'	0.952	1.10	1.05	1.22	1.11	1.11	1.10	1.22
40'	1.11	1.05	1.24	1.07	1.11	1.11	1.20	1.24
MIN 20'	0.974	1.11	1.07	1.21	1.11	1.11	1.12	1.19
30'	0.955	1.25	1.02	1.17	1.11	1.11	1.15	1.25
40'	1.11	1.05	1.25	1.11	1.11	1.11	1.23	1.24

K Coefficients of utilization for ceiling height and room width, illuminated by uniform sky light through diffuse window shade.

Room Length		20'		30'		40'	
Wall Reflectance		70%	30%	70%	30%	70%	30%
Room Width							
MAX	20	0556	0556	0392	0397	0298	0317
	30	0522	0533	0367	0389	0278	0311
	40	0506	0528	0359	0381	0270	0306
MID	20	0556	0556	0418	0411	0320	0361
	30	0572	0339	0270	0286	0220	0256
	40	0571	0211	0192	0186	0139	0164
MIN	20	0556	0556	0420	0456	0320	0409
	30	0294	0233	0272	0203	0189	0194
	40	0139	0110	0133	0108	0120	0100

C Coefficients of utilization for room length and width illuminated by sun and sky through horizontal louvers

Ceiling Ht.	8'		10'		12'		14'		
Wall Reflectance	70%	30%	70%	30%	70%	30%	70%	30%	
Room Width									
MAX		.154	.170	.129	.131	.107	.112	.091	.091
MID	20'	.100	.106	.101	.106	.099	.102	.091	.091
	30'	.074	.080	.076	.080	.071	.073	.061	.061
	40'	.070	.074	.073	.074	.068	.071	.059	.059
MIN	20'	.080	.080	.091	.091	.092	.093	.091	.091
	30'	.068	.068	.079	.079	.081	.087	.091	.091
	40'	.064	.064	.076	.076	.084	.084	.091	.091

K Coefficients of utilization for ceiling height and room width illuminated by sun and sky through horizontal louvers

表 1-4e 天空直射光使用係數(角度調節百葉窗;室天花反射率80%;室地吸反射率30%)

	Window Position				
	Office*		Factory**		
	Vertical	Vertical	30° from Vertical	60° from Vertical	Horizontal
Ave value over 6 mo period	83%	71%	57%	58%	54%
Value end of 3 mo period	82	69	62	54	50
Value end of 6 mo period	73	55	45	39	34

*Typical clean location

**Typical dirty location

表 1-5 平均光損失係數(清玻璃) -

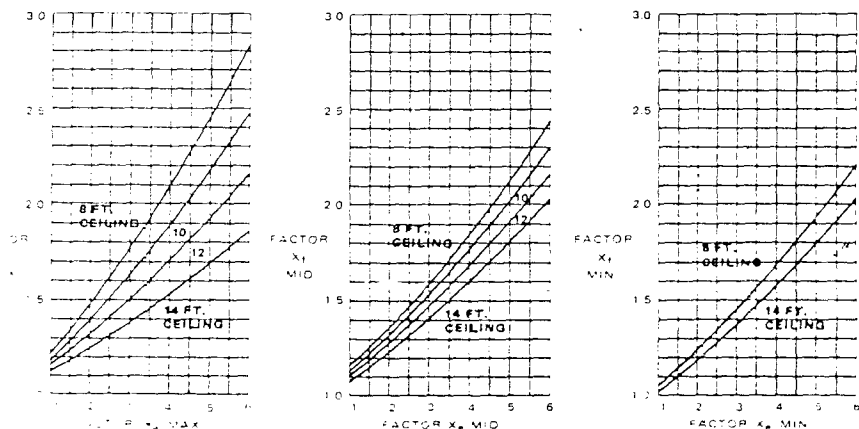


表 1-6 遮陽修正係數

流明法所使用的表格係專為室內主要三點之照度預測設計的，此三點均在開窗寬度中心點的垂直面上，其水平位置分別在該垂直面之中心線，及距離窗戶與牆壁各 1.5m 處之垂直線上，其高度則為作業面之高度，約為 76cm，預測三點（外側點，中間點，內側點）之位置如圖 1-11 所示。

a. 側窗

$$I = I_v \text{ 或 } I_g / A_w \times CU_s \times CU_r \times LLF \times TFG \times TF$$

I：室內預測點照度

I_v：天空到達窗戶垂直面之晝光強度

I_g：天空到達地表面反射到窗戶垂直面之晝光強度

A_w：開窗淨面積

CU_s：室長室寬使用係數（表 1-4）

CU_r：室高室寬使用係數（表 1-4）

LLF：光損失係數（表 1-5）

TF_g：窗戶透射率

TF：遮陽修正係數（表 1-6）

若為兩側同時開窗時，則須分別對兩側之開窗計算後再相加，若開窗之型式不同，有天窗存在時，亦應單獨計算後再相加。

b. 天窗

$$I = I_s \times A_w \times CU \times LLF / A_f$$

I_s：天空到達天窗之水平晝光強度

A_f：室內受照樓地板面積

CU：天窗使用係數

流明法之天窗照度計算係採用平均照度 (Average Illuminance) 之觀念，並無針對任一特定點予以計算。

C. 室外地表反射光

地表反射光會因地表材料之不同而有不同之反射效果，此地表反射光線經由窗戶進入室內達到自然採光效果，通常若地表材料距離窗戶面超過 12 m，則反射光線已對室內採光不具實質之效益（註四三），因此在計算光線經由室外地表反射至窗戶面之光強度時則以公式表示，得到的光強度則可依測窗之計算方式求得因地表反射之效果對室內照度之影響。

$$I_{vg} = (I_{h1} + I_{h2}) \times R_g \times 0.5$$

I_{vg} ：地表反射至窗戶垂直面之光強度

I_{h1} ：太陽直射到達地表之光強度（圖 1-19）

I_{h2} ：天空漫射到達地表之光強度（圖 1-20）

R_g ：地表材料反射係數

1-4-3 晝光係數法 (Daylight Factor Method) (註四四)

晝光係數法源起於 1920 年代，經過後來多次修正方趨完整，其主要觀念即是以晝光係數表達自然採光效果，而非單存地只以室內預測點之照度表達，晝光係數之定義為室內任一點之照度與室外無遮蔽狀況下之水平照度比值（含太陽直射光強度）。

$$DF = SC + ERC + IRC$$

DF：晝光係數

SC：天空到達計算點之晝光係數

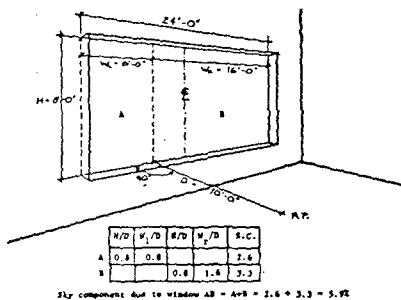


圖 1-24 計算點高度未正對窗寬中心點之晝光係數

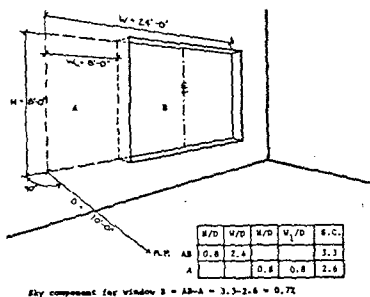


圖 1-25 計算點位置偏離窗戶寬度之晝光係數

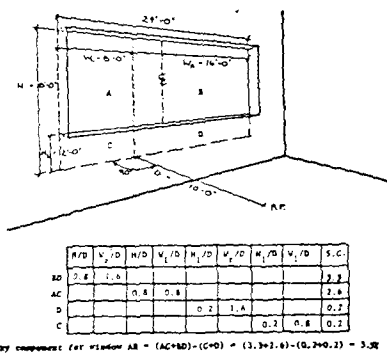


圖 1-26 計算點低於窗檯高且未正對窗寬中心點之晝光係數

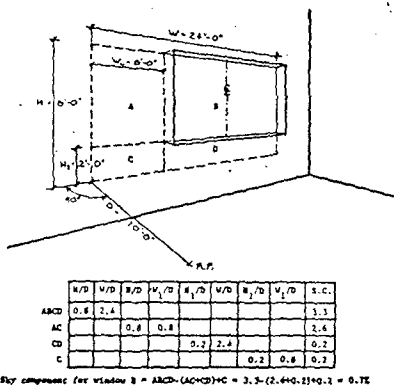


圖 1-27 計算點低於窗檯高且偏離窗戶寬度之晝光係數

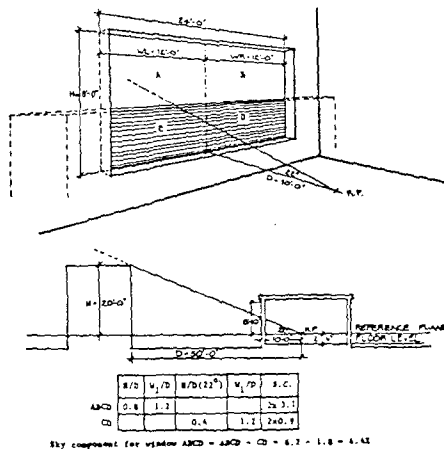


圖 1-28 外部空間建築物遮蔽窗戶之晝光係數

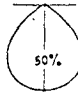
Net Toplight Transmittance (Including Light Well Effect, Controls, Etc.)	Room Ratio	Ceiling Reflectance			
		75 Per cent		50 Per cent	
		Wall Reflectance			
		50 Per cent	30 Per cent	50 Per cent	30 Per cent
	0.6	.37	.34	.26	.34
	0.8	.45	.42	.44	.41
	1.0	.49	.46	.48	.45
	1.25	.52	.50	.51	.49
	1.5	.55	.53	.54	.51
	2.0	.58	.56	.57	.55
	2.5	.61	.59	.60	.58
	3.0	.63	.61	.62	.60
	4.0	.65	.62	.63	.61
	0.6	.26	.24	.26	.24
	0.8	.32	.30	.31	.29
	1.0	.35	.33	.34	.32
	1.25	.37	.36	.36	.35
	1.5	.39	.38	.38	.36
	2.0	.41	.40	.41	.39
	2.5	.43	.42	.43	.41
	3.0	.45	.44	.44	.43
	4.0	.46	.44	.45	.44
	0.6	.16	.15	.16	.15
	0.8	.19	.18	.19	.18
	1.0	.21	.20	.21	.20
	1.25	.22	.21	.22	.21
	1.5	.24	.23	.24	.23
	2.0	.25	.24	.25	.24
	2.5	.26	.25	.26	.25
	3.0	.27	.26	.27	.26
	4.0	.28	.27	.27	.26
	0.6	.05	.05	.05	.05
	0.8	.06	.06	.06	.06
	1.0	.07	.07	.07	.06
	1.25	.07	.07	.07	.07
	1.5	.08	.08	.08	.07
	2.0	.08	.08	.08	.08
	2.5	.09	.08	.09	.08
	3.0	.09	.09	.09	.09
	4.0	.09	.09	.09	.09

表 1-7 天寶使用係數

SKY COMPONENTS (C.I.E. OVERCAST SKY) FOR VERTICAL GLAZED RECTANGULAR WINDOWS

		Ratio R/D = height of window above working plane: Distance from window																																				
		0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.5	4.0	5.0	∞						
Ratio WD = Depth of window in an aisle of normal height from window	0.1	0	0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2				
	0.2	0	0	0.1	0.1	0.2	0.4	0.5	0.7	0.8	1.0	1.1	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.0	2.1	2.2	2.2	2.3	2.3	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.5					
	0.3	0	0	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1.0	1.2	1.5	1.7	1.9	2.1	2.3	2.4	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.4	3.5	3.6	3.6	3.7	3.7	3.7	3.7					
	0.4	0	0	0.1	0.3	0.4	0.7	1.0	1.3	1.6	1.9	2.2	2.5	2.7	2.9	3.2	3.3	3.4	3.6	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.5	4.6	4.7	4.8	4.8	4.9					
	0.5	0	0	0.1	0.3	0.5	0.8	1.2	1.5	1.9	2.2	2.6	3.0	3.3	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.7	4.8	5.0	5.2	5.3	5.4	5.5	5.7	5.8	5.9	5.9	5.9	5.9					
	0.6	0	0	0.1	0.3	0.6	1.0	1.3	1.7	2.2	2.6	3.0	3.4	3.8	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0	5.3	5.4	5.6	5.8	6.0	6.2	6.3	6.4	6.6	6.7	6.8	6.9	6.9	6.9					
	0.7	0	0	0.2	0.4	0.7	1.0	1.3	1.9	2.4	2.8	3.3	3.8	4.2	4.5	4.8	5.1	5.4	5.6	5.8	6.0	6.2	6.4	6.6	6.8	7.0	7.1	7.3	7.4	7.6	7.6	7.7	7.7					
	0.8	0	0	0.2	0.4	0.7	1.1	1.6	2.1	2.6	3.1	3.6	4.1	4.5	4.9	5.2	5.6	5.8	6.1	6.3	6.5	6.7	7.0	7.3	7.5	7.6	7.8	8.0	8.2	8.3	8.4	8.4	8.5					
	0.9	0	0	0.2	0.4	0.8	1.2	1.7	2.2	2.7	3.3	3.8	4.4	4.8	5.2	5.6	5.9	6.2	6.5	6.7	6.9	7.1	7.4	7.7	7.9	8.1	8.2	8.3	8.5	8.7	8.8	8.9	8.9					
	1.0	0	0	0.2	0.4	0.8	1.3	1.8	2.3	2.9	3.4	4.0	4.6	5.0	5.3	5.7	6.2	6.5	6.8	7.1	7.3	7.5	7.9	8.1	8.4	8.6	8.7	9.0	9.2	9.4	9.6	9.8	9.8					
1.1	0	0	0.2	0.5	0.9	1.4	1.9	2.5	3.1	3.7	4.3	4.9	5.4	5.9	6.4	6.8	7.2	7.5	7.8	8.1	8.3	8.7	9.1	9.3	9.6	9.8	10.1	10.3	10.5	10.7	10.9	11.1	11.3					
1.2	0	0	0.2	0.5	0.9	1.4	1.9	2.5	3.1	3.7	4.3	4.9	5.4	5.9	6.4	6.8	7.2	7.5	7.8	8.1	8.3	8.7	9.1	9.3	9.6	9.8	10.1	10.3	10.5	10.7	10.9	11.1	11.3					
1.3	0	0	0.2	0.5	0.9	1.4	1.9	2.5	3.1	3.7	4.3	4.9	5.4	5.9	6.4	6.8	7.2	7.5	7.8	8.1	8.3	8.7	9.1	9.3	9.6	9.8	10.1	10.3	10.5	10.7	10.9	11.1	11.3					
1.4	0	0	0.2	0.5	0.9	1.4	1.9	2.5	3.1	3.7	4.3	4.9	5.4	5.9	6.4	6.8	7.2	7.5	7.8	8.1	8.3	8.7	9.1	9.3	9.6	9.8	10.1	10.3	10.5	10.7	10.9	11.1	11.3					
1.5	0	0	0.2	0.5	0.9	1.4	1.9	2.5	3.1	3.7	4.3	4.9	5.4	5.9	6.4	6.8	7.2	7.5	7.8	8.1	8.3	8.7	9.1	9.3	9.6	9.8	10.1	10.3	10.5	10.7	10.9	11.1	11.3					
1.6	0	0	0.2	0.5	0.9	1.4	1.9	2.5	3.1	3.7	4.3	4.9	5.4	5.9	6.4	6.8	7.2	7.5	7.8	8.1	8.3	8.7	9.1	9.3	9.6	9.8	10.1	10.3	10.5	10.7	10.9	11.1	11.3					
1.7	0	0	0.2	0.5	0.9	1.4	1.9	2.5	3.1	3.7	4.3	4.9	5.4	5.9	6.4	6.8	7.2	7.5	7.8	8.1	8.3	8.7	9.1	9.3	9.6	9.8	10.1	10.3	10.5	10.7	10.9	11.1	11.3					
1.8	0	0	0.2	0.5	0.9	1.4	1.9	2.5	3.1	3.7	4.3	4.9	5.4	5.9	6.4	6.8	7.2	7.5	7.8	8.1	8.3	8.7	9.1	9.3	9.6	9.8	10.1	10.3	10.5	10.7	10.9	11.1	11.3					
1.9	0	0	0.2	0.5	0.9	1.4	1.9	2.5	3.1	3.7	4.3	4.9	5.4	5.9	6.4	6.8	7.2	7.5	7.8	8.1	8.3	8.7	9.1	9.3	9.6	9.8	10.1	10.3	10.5	10.7	10.9	11.1	11.3					
2.0	0	0	0.2	0.5	0.9	1.4	1.9	2.5	3.1	3.7	4.3	4.9	5.4	5.9	6.4	6.8	7.2	7.5	7.8	8.1	8.3	8.7	9.1	9.3	9.6	9.8	10.1	10.3	10.5	10.7	10.9	11.1	11.3					
2.1	0	0	0.2	0.5	0.9	1.4	1.9	2.5	3.1	3.7	4.3	4.9	5.4	5.9	6.4	6.8	7.2	7.5	7.8	8.1	8.3	8.7	9.1	9.3	9.6	9.8	10.1	10.3	10.5	10.7	10.9	11.1	11.3					
2.2	0	0	0.2	0.5	0.9	1.4	1.9	2.5	3.1	3.7	4.3	4.9	5.4	5.9	6.4	6.8	7.2	7.5	7.8	8.1	8.3	8.7	9.1	9.3	9.6	9.8	10.1	10.3	10.5	10.7	10.9	11.1	11.3					
2.4	0	0	0.2	0.5	0.9	1.4	1.9	2.5	3.1	3.7	4.3	4.9	5.4	5.9	6.4	6.8	7.2	7.5	7.8	8.1	8.3	8.7	9.1	9.3	9.6	9.8	10.1	10.3	10.5	10.7	10.9	11.1	11.3					
2.6	0	0	0.2	0.5	0.9	1.4	1.9	2.5	3.1	3.7	4.3	4.9	5.4	5.9	6.4	6.8	7.2	7.5	7.8	8.1	8.3	8.7	9.1	9.3	9.6	9.8	10.1	10.3	10.5	10.7	10.9	11.1	11.3					
2.8	0	0	0.2	0.5	0.9	1.4	1.9	2.5	3.1	3.7	4.3	4.9	5.4	5.9	6.4	6.8	7.2	7.5	7.8	8.1	8.3	8.7	9.1	9.3	9.6	9.8	10.1	10.3	10.5	10.7	10.9	11.1	11.3					
3.0	0	0	0.2	0.5	0.9	1.4	1.9	2.5	3.1	3.7	4.3	4.9	5.4	5.9	6.4	6.8	7.2	7.5	7.8	8.1	8.3	8.7	9.1	9.3	9.6	9.8	10.1	10.3	10.5	10.7	10.9	11.1	11.3					
3.5	0	0	0.2	0.5	0.9	1.4	1.9	2.5	3.1	3.7	4.3	4.9	5.4	5.9	6.4	6.8	7.2	7.5	7.8	8.1	8.3	8.7	9.1	9.3	9.6	9.8	10.1	10.3	10.5	10.7	10.9	11.1	11.3					
4.0	0	0	0.2	0.5	0.9	1.4	1.9	2.5	3.1	3.7	4.3	4.9	5.4	5.9	6.4	6.8	7.2	7.5	7.8	8.1	8.3	8.7	9.1	9.3	9.6	9.8	10.1	10.3	10.5	10.7	10.9	11.1	11.3					
5.0	0	0	0.2	0.5	0.9	1.4	1.9	2.5	3.1	3.7	4.3	4.9	5.4	5.9	6.4	6.8	7.2	7.5	7.8	8.1	8.3	8.7	9.1	9.3	9.6	9.8	10.1	10.3	10.5	10.7	10.9	11.1	11.3					
∞	0	0	0.2	0.5	0.9	1.4	1.9	2.5	3.1	3.7	4.3	4.9	5.4	5.9	6.4	6.8	7.2	7.5	7.8	8.1	8.3	8.7	9.1	9.3	9.6	9.8	10.1	10.3	10.5	10.7	10.9	11.1	11.3					

表 1-8 陰天天空日照係數表

ERC: 室外反射到達計算點之晝光係數

IRC: 平均室內相互反射之晝光係數

晝光係數法是經由實驗測試建立之查表方式得到天空到達計算點之晝光係數，由於是由英國房屋研究中心(Britain's Building Station)發展出，它目前只能針對陰天之天候進行計算。

A. 天空到達計算點之晝光係數(SC)

計算陰天天空到達計算點之晝光係數是以表 1-8 為查詢方式，先求得下述兩種比值，再依表得到 SC。

- a. { 有效開窗高度 --- 高出計算點之開窗高度 H } 對 { 計算點到窗戶之垂直距離 D } 之比值 H/D 。
- b. { 開窗寬度 W } 對 { 計算點到窗戶之垂直距離 D } 之比值 W/D

針對計算點與窗戶之相對位置之不同，可將 W/D 之比值依不同面積之窗戶區域予以分離計算，同樣的，亦可對 H/D 之比值予以區域劃分，單獨計算其晝光係數，再綜合其計算結果，詳細之計算方式則以圖 1-22 至圖 1-28 說明。

B. 室外反射到達計算點之晝光係數(ERC)

室外反射效果導至計算點晝光係數之增加量是以建築物之遮蔽角度決定，若角度大於 20 度（如圖 1-28），則因反射效果增加之晝光係數為遮蔽窗戶面積之天空到達計算點之晝光係數的 1/10，若角度小於 20 度，則 1/5。以圖 1-28 為例，室外反射所增加點之晝光係數為 $2 \times 0.9 / 10 = 0.18$

C. 平均室內相互反射之晝光係數(IRC)

因室內相互反射所增加之晝光係數可經由下式予以計算得到：

Angle of obstruction measured from center of window	Coefficient* C
no obstruction	.39
10°	.35
20°	.31
30°	.25
40°	.20
50°	.14
60°	.10
70°	.07
80°	.05

*For CIE Overcast Sky only

表 1-9 室外建築物遮蔽角度係數

Table 4. MINIMUM INTERNALLY REFLECTED COMPONENT *

Ratio of window area to floor area	Window area as percentage of floor area	Floor Reflectance											
		10%				20%				40%			
		Wall Reflectance											
		10%	40%	60%	80%	10%	40%	60%	80%	10%	40%	60%	80%
1:50	2	-	-	0.1	0.2	-	0.1	0.1	0.2	-	0.1	0.2	0.2
1:20	5	0.1	0.1	0.2	0.4	0.1	0.2	0.3	0.5	0.1	0.2	0.4	0.6
1:14	7	0.1	0.2	0.3	0.5	0.1	0.2	0.4	0.6	0.2	0.3	0.6	0.8
1:10	10	0.1	0.2	0.4	0.7	0.2	0.3	0.6	0.9	0.3	0.5	0.8	1.2
1:8.7	15	0.2	0.4	0.6	1.0	0.2	0.5	0.8	1.3	0.4	0.7	1.1	1.7
1:5	20	0.2	0.5	0.8	1.4	0.3	0.6	1.1	1.7	0.5	0.9	1.5	2.3
1:4	25	0.3	0.6	1.0	1.7	0.4	0.8	1.3	2.0	0.6	1.1	1.8	2.8
1:3.3	30	0.3	0.7	1.2	2.0	0.5	0.9	1.5	2.4	0.8	1.3	2.1	3.3
1:2.9	35	0.4	0.8	1.4	2.3	0.5	1.0	1.8	2.8	0.9	1.5	2.4	3.8
1:2.5	40	0.5	0.9	1.6	2.6	0.6	1.2	2.0	3.1	1.0	1.7	2.7	4.2
1:2.2	45	0.5	1.0	1.8	2.9	0.7	1.3	2.2	3.4	1.2	1.9	3.0	4.6
1:2	50	0.6	1.1	1.9	3.1	0.8	1.4	2.3	3.7	1.3	2.1	3.2	4.9

* Assuming ceiling reflectance = 70%, angle of external obstruction = 30°

表 1-10 室內反射晝光係數之下限值

AVERAGE INTERNALLY REFLECTED COMPONENT *

Ratio of window area: floor area	Window area as percentage of floor area	Floor Reflectance											
		10%				20%				40%			
		Wall Reflectance											
		20%	40%	60%	80%	20%	40%	60%	80%	20%	40%	60%	80%
1:50	2	-	-	0.1	0.2	-	0.1	0.1	0.2	-	0.1	0.2	0.2
1:20	5	0.2	0.2	0.3	0.5	0.2	0.3	0.4	0.6	0.2	0.3	0.5	0.7
1:14	7	0.2	0.3	0.4	0.6	0.2	0.3	0.5	0.7	0.3	0.4	0.7	0.9
1:10	10	0.2	0.3	0.5	0.8	0.4	0.4	0.6	1.1	0.5	0.7	1.0	1.3
1:8.7	15	0.4	0.6	0.8	1.2	0.4	0.7	1.0	1.6	0.6	1.0	1.3	1.9
1:5	20	0.4	0.8	1.0	1.7	0.5	0.8	1.4	2.0	0.8	1.3	1.8	2.5
1:4	25	0.6	0.9	1.3	2.0	0.7	1.1	1.7	2.4	1.0	1.5	2.2	3.1
1:3.3	30	0.6	1.1	1.6	2.4	0.9	1.3	2.0	2.9	1.3	1.8	2.5	3.6
1:2.9	35	0.8	1.2	1.8	2.8	0.9	1.4	2.3	3.4	1.4	2.1	2.9	4.2
1:2.5	40	1.0	1.4	2.1	3.1	1.1	1.7	2.6	3.7	1.6	2.4	3.2	4.6
1:2.2	45	1.0	1.5	2.3	3.5	1.3	1.8	2.9	4.1	1.9	2.7	3.6	5.1
1:2	50	1.1	1.7	2.5	3.7	1.4	2.0	3.0	4.4	2.1	2.9	3.8	5.4

* Assuming ceiling reflectance = 70%, angle of external obstruction = 30°

表 1-11 室內反射晝光係數之平均值

$$IRC = [0.85W / A (1-R)] (R_{fw} + 0.5R_{cw}) \times 100\%$$

W : 窗互面積

A : 全部室表面積

R : 全部室表面積反射係數平均值

R_{fw}: 低於窗戶高度中心點之室表面積反射係數平均值

R_{cw}: 高於窗戶高度中心點之室表面積反射係數平均值

C : 室外建築物遮蔽角度係數(表 1-9)

另外就最低下限或平均室內相互反射所增加之晝光係數，亦可藉替開窗面積與樓地板面積之比值，牆壁反射係數之關係，經由表 1-10，1-11 中查詢得到。

晝光係數之計算仍未將窗框比值，區域修正係數與維護係數納入考慮，因此仍然必須將上述之變化因子納入計算修正晝光係數，依晝光係數之定義，DF 只是一百分比值，仍然須依據季節之不同，從圖 1-19 中取得室外無遮蔽之水平面照度，乘上晝光係數，得到計算點之照度。

参考文献

- 註一. "IES Lighting Handbook," 1981 Reference Volume, Illuminating Engineering Society, New York, N.Y., p. 1-19, 1981
- 註二. Ibid., p.1-15
- 註三. Egan, David, "concepts in Architectural Lighting," McGraw-Hill Book Company, New York, p.81, 1984
- 註四. Clark, F., "Light Loss Factor in the Design Process," Illuminating Engineering Vol. 63, p.515, November, 1968
- 註五. Illuminating Engineering Society, "Interior Lighting," Illuminating Engineering Society, London, p.25, 1977
- 註六. 楊耀士編, "建築物理及環境實務," 昭勝圖書, p.71, 七十年六月
- 註七. "Proposed American National Nomenclature and Definitions for Illuminating Engineering," Proposed Revision of Z7.1-R1973, Journal of the Illuminating Engineering Society, Vol.9, No.1, pp.7 & 35, October 1979
- 註八. Chou, C.P., "A Mathematical Model of Building Daylighting Based on First Principles of Astrometry, Solid Geometry and Optical Radiation Transfer," Ph.D. Dissertation, VPI&SU, Blacksburg, Virginia, p.10, 1987
- 註九. Illuminating Engineering Society, "Recommended Practice for the Calculation of Daylight Availability," Journal of IES, Vol.13, No.4, p.392, 1984
- 註十. Griffith, J.W., Wenzler, O.F., and Conover, E.W., "The Importance of Ground Reflection in Daylighting," Illuminating Engineering, Vol.48, No.1, p.35, January, 1953
- 註十一. Evans, B.H., "Daylight In Architecture," McGraw-Hill Book Company, New York, 1981
- 註十二. "Recommended Practice for the Calculation of Daylight Availability," Journal of the Illuminating Engineering Society, Vol. 13, No. 4, pp. 381-392, 1984.
- 註十三. Secker, S. M., "Regional Variations of Daylight Availability—a review of measured data and estimating methods," Journal of Lighting Research & Technology, Vol. 15, No. 3, pp. 151-155, 1983
- 註十四. Kingsbury, H. L., Anderson, H. H., and Bizzaro, V. U., "Availability of Daylight, Illuminating Engineering," pp. 77-85, February 1957
- 註十五. Hunt, D. R. G., "Availability of Daylight," Building Research Establishment, Department of the Environment, 1979
- 註十六. Ruck, N. C., "Daylight Climate in Australia," International Commission on Illumination (CIE), 20th Session, Amsterdam, August 31 - September 8, 1983
- 註十七. Gillette, G., Pierpoint, W., and Treado, S., "A General Illuminance Model for Daylight Availability," Journal of the Illuminating Engineering Society, Vol. 13, No. 4, pp. 330-339, July 1984
- 註十八. "Daylight International Recommendations for the Calculation of Natural Daylight," CIE Publication No. 16, Commission Internationale de l'Eclairage, Paris, 1970
- 註十九. "Standardization of Luminance Distribution on Clear Skies," CIE Publication No. 22, Commission Internationale de l'Eclairage, Paris, 1972
- 註二十. Dogniaux, R., "The Availability of Daylight," CIE Technical Report NR, Prepared for the Daylighting Committee of the International Commission on Illumination (CIE), 1975
- 註二一. IES Daylighting Committee, "Recommended Practice of Daylighting," IES-RP-5-1978, Lighting Design and Application, Vol. 9, No. 2, p.25, February, 1979
- 註二二. "IES Lighting Handbook," 1981 Reference Volume, New York: Illuminating Engineering Society of North America, Section 7, 1981
- 註二三. Tregenza, P. R., "A Simple Mathematical Model of Illumination From a Cloudy Sky," Lighting Research Technology, Vol. 12, No. 3, 1980
- 註二四. Littlefair, P. J., "The Luminance Distribution of an Average Sky," Lighting Research Technology, Vol. 13, No. 4, 1980
- 註二五. Kittler, R., "Definitions of Characteristic Daylight Climates in Various Climatic Zones," Seminar on Daylighting and Energy Conservation, University of New South Wales, Kensington, 1982
- 註二六. Oki, M., "Calculations of Daylight Factor Nominated by Intermediate Sky," 1983 International Daylighting Conference, Phoenix, AZ. 1983, AIA Service Corporation, Washington

- 註二七. Nakamura, H., and Oki, M., "Composition of Mean Sky and its Application to Daylight Prediction," International Commission on Illumination (CIE), 20th Session, Amsterdam, August 31 - September 8, 1983
- 註二八. Selkowitz, S., Karayel, M., Navvab, M., and Ne'Eman, E., "Zenith Luminance and Sky Luminance Distributions for Daylighting Calculation," Journal of Energy and Buildings, Vol. 6, pp. 281-293, 1984
- 註二九. Chou, C.P., "A Mathematical Model of Building Daylighting Based on First Principles of Astrometry, Solid Geometry and Optical Radiation Transfer," Ph.D. Dissertation, Virginia Polytechnic Institute and State University, 1987
- 註三十. Krochmann, J., Muller, K., and Retzow, U., "The Horizontal Illuminance Intensity and the Zenith Luminance of Clear Sky," Lichttechnik, Vol. 22, pp. 551-554, 1970 (in German)
- 註三一. IES Technical committee E3.2, "International Recommendations for the Calculation of Natural Daylight," Commission Internationale de L'Eclairage, Paris, Publication No. 16, 1970
- 註三二. Elvegard, E., and Sjustedt, G., "The Calculation of Illumination from Sun and Sky," Illuminating Engineering, Vol. 35, pp. 333-342, April 1940
- 註三三. Lynes, J., "Principles of Natural Lighting," Applied Science Publishers, LTD., London, 1968
- 註三四. "IES Lighting Handbook," Reference Volume, The Illuminating Engineering Society, New York, 1981
- 註三五. Nakamura, H., and Oki, M., "Study on the Statistic Estimation of the Horizontal Illuminance from Unobstructed Sky," Journal of the Illuminating Engineering Institute of Japan, pp. 23-31, 1979
- 註三六. Hopkinson, R.G., Petherbridge, P., and Longmore, J., "Daylighting," University College, London, and Building Research Station, Garston, Watford, England, Heinemann(London), 1968
- 註三七. Kittler, R., "Standardization of the Solar Radiation with Regard to the Prediction of Insulation and Shading of Buildings," teaching the Teachers on Building climatology Conference, Stockholm, 2, (45), 1972
- 註三八. Feitsma, B., "Daylight Illumination Measurements at Katwijk (I)," TNO, Delft, Report E51, 1971
- 註三九. 經濟部能源委員會編印, "節約能源技術手冊," 經濟部能源委員會, pp 270-271, 七十七年
- 註四十. IES, "Interior Lighting," IES, pp. 62-88, February 1977
- 註四一. Griffith, J.W., Arner, W.G., and Conover, E.W., "A Modified Lumen Method for Daylighting Design," Illuminating Engineering, March 1955
- 註四二. Dufton, A.F., "Protractors for the Computation of Daylight Factors," D.S.I.R. Building Research Technical Paper No.28, H.M.S.O. London 1946
- 註四三. Reed, B.H., "Effects of Nearby Walks and Concrete Areas on Indoor Natural Lighting," Illuminating Engineering, Vol.51, No.7, July 1956, p.532
- 註四四. Hopkinson, R.G., Petherbridge, P., and Longmore, J., "Daylighting," Heinemann, London, p.68, 1966

第二章 人工照明

2-1 概說

隨著工業與科技文明的演進，建築設計亦涵蓋了新的技術，材料，及理念，因而建築物或結構體與科技的相互轉換，材料，技術與設計構想的相互改變就提供了設計者習練創造力或構想的新範疇。同樣的，因為技術的複雜程度提高與不斷的改進亦使設計者在設計過程中對專家顧問諮詢的依賴程度提高，所以設計者會同時扮演著兩種角色，一為就其本身的專業知識訂定其本身之職責，並界定其設計所欲達成之目標，另一則是設計者必需擔當協調者的工作，在各種建築相關技術的專業之間溝通觀念，進而輔助其設計構想之完成。

本章之重點亦即針對建築設計之理念，以涵蓋人工照明系統之前提下予以探討，建築設計成果的整体表現是仰賴於原始設計者之構想，設計者所強調的空間特質亦唯有設計者能掌握，照明模式配合結構體內部或者外部空間所營塑的氣氛亦視設計者之意圖而展現，但若欲將此意圖與照明工程師溝通，則溝通之共同觀念與專門術語使雙方能相互了解是必需的，因此設計者就應具備人工照明的基本知識，觀念，及技術方能達到溝通以完成設計意圖。

為了達成設計之照明需求，設計者會利用其視覺觀念配合照明器具設備完成特定之空間特質；依據設計空間所提供的行為活動與機能條件反應在不同照明模式的決定與照明器具的選定。當然，光最主要的功能就是輔助人類之視覺，但是視覺的本身的複雜度相當高，除了要滿足生理上之視覺需求外，亦應將心理之視覺需求納入考慮。

建築本身就是視覺的表現，自然光本來就是建築設計元素之一，傳統的建築往往將光影視為建築之表現方式；近年來人工照明系統的發展及其進步，提供了不少製造“視覺環境”的設備系統，相對的亦提

高了設計目標完成之可及性，光成了一種可被設計者採用的表達媒介，同時也因人工照明系統的不斷改進，視覺效果亦可被設計者控制而符合其所欲達成之空間視覺品質。設計者因此不必侷限於自然採光的時間因素，更無需受到自然採光之不穩定性阻礙其建築語彙表達。值得注意的是人工照明系統所提供的設計範疇亦應考慮未來人類世界所面臨的能源問題，因此設計者除了明瞭人工照明系統及其設備的同時，亦應以其相隨而來的耗能，散熱問題做為決策及使用依據。

2-2 照明計算

本節係針對現有之人工照明計算理論給予探討，由於現存之計算理論相當廣泛，本文擬以 IES(Illuminating Engineering Society)與 CIE(Commission Internationale De L'Eclairage)兩大國際照明組織所認同之計算理論予以回顧，而有關電腦模擬照明計算程式部份之研究，因現有之模擬程式多半係以自然採光為主，諸如 "QUICKLITE 1"(註一)，"DALITE & RMLITE"(註二)，"DOE-2"(註三)，"BLAST"(註四)，"NBSLD"(註五)，與 "MICROLITE-1"(註六)，等。而以人工照明系統設計之模擬程式不多，其中又以 "COPHOS"之商業軟體為主，因此本節並不就電腦模擬部份予以討論。

2-2-1 流明法(Lumen Method)

流明法是人工照明系統設計中最常用之方法(註七)，它是以計算作業面之平均照度為主，其基本概念可以下式表達。

$$\text{平均照度 (Lux)} = \text{燈源之散發光度 (Lumen)} / \text{面積 (SQ-M)}$$

通常燈源所散發之光度並非全部投射在工作業面上，它亦有相當之光通量投射在室內之垂直面後，再反射至工作業面，因此燈具使用係數(Luminaire Coefficient of Utilization 註八)，區間比值(Cavity

Ratio 註九)，區域區間法 (Zonal-Cavity Method 註十)，與光損失係數 (Light Loss Factor 註十一)等輔助理論的產生，配合流明法之計算觀念，預測點之照度可以簡略的以下式表達。

$$IL = (L \times CL \times LLF \times N) / A$$

IL: 計算之平均照度

L: 每支燈源散發之光度

CU: 燈具使用係數

LLF: 光損失係數

N: 燈具數量

A: 受照面積

雖然流明法為一相當盛行之計算理論，但它亦有些限制使其無法作為精確計算照度之依據。首先，它是以平均照度之觀念表達計算結果，因此計算之空間必須是以要求均勻照度為前題之狀況下方符合該法之精神；第二則是流明法中之燈具使用係數理論是以室內表面均為完全漫射材料為依據，且室內為無任何傢俱之狀況下推導，而此條件，均與現實狀況有所出入；第三則是流明法對燈源尺寸之大小並未予以界定，而是將人工照明器具視為一點光源討論，此點和現實之人工照明器具無法完全配合，尤其是以大面積之作業空間狀況。綜合上述之限制，流明法通常都被用來作為初步之照明效果評估。若欲得到較精確之計算值，並對同一作業空間之不同預測點計算其照度層次差異，以供照明係統評估，流明法並無法滿足設計構想及其目標。

2-2-2 平均光度法 (Average Luminance Method)

平均光度法(註十二)之基本觀念與流明法不同，它是針對室內表面因受燈源之照度而產生的第二光源照度討論。也就是將室內表面之

反射光之強度予以考慮，而非對作業面之特定點予以計算得到使用者運作時之照度。此法之精神係以平均值之方式表達。室表因受燈源之照射，主要計算之表面涵蓋牆壁之垂直面與天花之水平面，其數學計算可分別以下二式表達。

$$LAW = (LTB \times LC) / (\pi \times Af)$$

$$LAC = (LTB \times LCC) / (\pi \times Af)$$

LAW: 垂直面(牆壁)之平均照度

LTB: 全部燈源散發之總流明值

LC: 牆壁之光度係數

Af: 樓地板面積

LAC: 水平面(天花板面)之平均照度

LCC: 天花板面之光度係數

平均光度法與流明法類似，即需藉著光損失係數觀念去計算垂直面與水平面之平均照度。平均照度法亦有其計算理論之限制，它和流明法一樣均將室表材料假想為全漫射特性之材料，但在真實情況，此類材料特性不易存在，因此此法可視實際受照狀況之面積，與材料之反射係數予以修正。

2-2-3 基本通量傳遞法(Elements of Flux Transfer Theory)

基本通量傳遞法(註十三)是以光為輻射能為出發點探討室內光通量傳遞之現象。它是將室空間之六個面因受燈源照射後之受照強度為起始點，進而探討面與面之間之光傳遞現象。在討論光輻射傳遞現象之同時亦配合“形係數之區域區間系統”(Form Factor for Zonal Cavity System 註十四)，使用係數(Coefficient of Utilization 註十五)，直接輻射係數(Direct Radiation Coefficient 註十六)與室

區間指數 (Room Cavity Ratio 註十七)之觀念執行計算理論。

基本通量傳遞法之主要重點係對室表面因受彼此之間之漫射現象所增加的照度計算，以數學之觀念即為以一次反射，二次反射等延續之無窮反射現象，直至面與面之間之光輻射達到平衡之狀況的討論，由於相互之反射現象是同時發生的，但在討論此光通量傳遞時，則須依次序先求得第一次相互反射所增加之受照度後再陸續討論延續之相互反射。基本通量傳遞法依然和前述之法類似，它是將室表材料假設為一全漫射性之材料，再依此材料特性分別求得室表面相互之間因相互之間反射所增加的光通量，得到此增加之光通量之後再去討論工作業面之照度計算。從通量傳遞之觀念可得到室內各面之相互反射會因反射次數之增加而加大各面本身之到達光通量，但隨著反射次數之增加會慢慢使到達各面之光通量增加值降低，因此其數學關係可以用收斂集數之模型表達。

2-2-4 點計算法 (Point Calculation Method)

點計算法(註十八)是對室內空間之任意點照度經由數學關係計算理論推導，它能夠將室內各點對垂直面或水平面之受照度予以預測，基本上它是將計算理論分成兩部份討論，一為從光源直接到達計算點之照度，另一則是因室表相互反射再到達計算點之間接照度。

點計算法之理論計算部份係以平方反比定律 (Inverse Square Law 註十九)，區間比值，燈具裝置高度比值 (Spacing-to-Mounting Height Ratio 註二十)，與平面比例法 (Plan-Scale Method 註二十一) 等綜合理論探討室內任意點之照度。它是光強度和距離平方成反比為出發點，配合投射角度之不同影響計算點因直接受光源所增加之照度，再配合 IES 所建立之燈具分類與其投射角度差異之強度分析表格 (註二十一)，完成計算理論部份，對室表壁材之反射特性，點計算法

亦是以材料為全漫射性為假設計算。

2-2-5 角度座標法 (Angular Coordinate-DIC Method)

角度座標法(註二十二)是用來討論光源直接到達計算點之照度計算(Direct Illuminance Component---DIC)。它可以用來計算線形光源(日光燈等長條形之光源)，也可以用來計算燈距系統組合之光源。基本上，它是以三角幾何之觀念將線形光源對計算點以三角之數學關係解析，再配合平方反比定律與餘弦定律(註二十三)；針對光源之發光強度計算，此法必須籍重燈具製造廠商所提供的燈具發光強度分類資料，亦即針對每一燈具與計算點之間所形成之夾角提供其發光強度係數分析，供給設計者執行計算。此法之人工照明計算有兩項限制，一為它只能計算從燈源直接到達計算點之投射強度，而對於室內表面彼此相互反射再到達計算點之照度則未能討論，因此在計算結果只能表達計算點之直接照度，此結果對人工照明設計並不具其實質效益，因此必須籍著其他方法去討論室表面相互反射之照度效果，方能完整得到實質效果。另外的限制則是角度座標法是假設燈具裝設高度與工作業面(計算點高度)之距離為 1.8 米，倘若工作業面與燈具高度之距離不為 1.8 米，則必須以距離比例修正，此修正之方法則是將距離對照度之影響為一次方之反比例，而非為平方反比之關係，因此計算結果與精確度之要求並無法同時配合。

2-2-6 方向係數法 (Aspect Factor Method)

方向係數法(註二十四)是依據 IES 所建立之方向係數表格(註二十五)，配合角度座標之觀念延伸發展而成。它是一種直接，快速之計算方法，可分別就與燈源平行，垂直，或呈某一傾斜角度之平面上之任意點計算其照度。同樣的，它可就不同的燈源予以分析討論，此點亦為此法之假設狀況之一，也就是此法認為所有的燈具系統均可依其

發光投射方式予以分類，此分類之方式亦和 IES 之分類方法相同，此法之另一假設則是各燈具之軸斷面極曲線強度資料是隨著燈具產品同時存在的，此部份細節則敘述於下節，此小節不再申述。方向係數法之優點是它可計算各種不同型式之燈具設計；在計算預測點之照度同時，亦可將光損失係數，燈源受塵衰竭係數，燈蕊衰竭係數，室表受塵衰竭係數等影響因子納入計算考慮。

2-2-7 光輻射法 (Light Radiation Transfer Method)

光輻射法(註二十六)係以光為輻射能之方式討論光線在室內空間傳遞之現象，此法是以三角之座標觀念，探討光源對計算點之三度空間立體角之關係(註二十七)；配合光源強度之理論值，分別計算燈源直接到達計算點之光通量，與燈源到達室表面之光通量，再計算因室表相互漫射後到達計算點之光通量，最後再將直接光通量與間接光通量綜合而得計算點之照度。此法在計算直接光通量時係以光源為點光源作為計算之假設，此假設之主要原因則是該法原來是用來發展自然採光(以太陽為光源)之計算理論，因此在討論人工照明系統之光源時，倘若光源為線形燈具，則此法並不適用，但光輻射法在計算間接照度時則是以區域法(Zoning Method 註二十八)將室內表面以分區之觀念，配合計算點對光反射面積積分之觀念綜合計算而成，因此在討論人工照明系統或自然採光系統之室表相互漫射對計算點之照度影響時，此法可提供一相當精確之結果供參考，與前述之其他計算理論相同，此法也是將室表之材料反射特性視為全漫射，所不同者，此法將室內各面先以區域分割之方式劃分成若干小區域，並非以各面全部平均照度值為其計算基礎，而是以小區域中心點之座標為其計算基準，此點之照度則代表該小區域之照度平均值，若將小區域之面積分割愈細，則其平均照度值之數學意義愈低，相對的可提高其相互漫射計算結果之精確度，進而降低平均照度計算理論之誤差。

2-2-8 其他計算理論

除了上述之人工照明計算理論，尚有多種計算理論提出，諸如線形光源計算 (Calculations with Linear Sources 註二十九)，它是方向係數法之前身，此法是以較簡單之數學方式計算。線形光源計算之數學模型關係將距離與照度呈一次方反比，而其預測點與照度之距離比亦有其限制，因此較不精確，通常只被用來作為概略性之評估。

另外尚有形狀係數法 (Configuration-Factor Method 註三十)，此法是基本通量傳遞法之前身，它是以空間形狀與計算點之關係比值推導計算點之照度，並以室位置倍量 (Room Position Multipliers 註三十一) 之關係表達計算點之形狀係數。

2-3 照明理論計算

2-3-1 概說

在照明之光通量計算中，針對計算面之任一點照度，其基本理論觀念是依據平方反比定律與餘弦定律 (註三二) 而來。在現實環境中，任何人工照明之發光體，如日光燈管，電燈泡....等，它們的大小均是有固定尺寸，因此當發光體之尺寸對計算點距離之比值大到某一程度時，平方反比定律的計算精確度亦相對的降低。換句話說，當照明理論延伸到一般辦公大樓通常所採用的長形日光燈具計算中，傳統的流明法 (Lumen Method) (註三三) 或點光源計算法 (Point Method) (註三四) 或座標系統分析法 (Angular Corrdinate Meteed) (註三五) 均已失去精確度之需求，而必需採用方向係數法 (Aspect Factor Method) (註三六) 方能較精確的計算出工作面各測點之照度。

在一般公共建築物所採用的長形發光照明光源計算理論中，直接光從一線形的發光面到達計算點之強度，通常可用兩種方式得到，一

為輻射傳遞法(Radiation Transfer Method)(註三七)此法為以工作面之任一計算點對發光面積分，積分結果計算各燈源之發光強度得到發光體對該點之直射光照度；另一法則是北美照明協會所發展出之方向係數法，該法是以平方反比定律和餘弦定理為基本觀念，配合發光體之線性關係得到，兩種方式均可達到預測效果，前者計算較複雜，但較精確；後者較便捷且普遍，但精確度較前者低，就 IES 實驗證明，方向係數法仍然為一可靠且符合實測之計算方法。

計算理論係以各光源對各預測點之直接照度，再加上室內各面反射到預測點之間接照度（漫射光相互反射之照度），因此亦對各光源直接到達室內各面之照度予以討論，從理論之計算推導得到理想狀況下的預測值之後，再配合實際使用狀態下應納入考慮的因素，諸如燈源受塵衰竭係數(Luminaire Dirt Depreciation, 簡稱 LDD)，燈蕊流明衰竭係數(Lamp Lumen Depreciation, 簡稱 LLD)，室表面受塵衰竭係數(Room Surface Dirt Depreciation, 簡稱 RSDD)，與燈蕊耐久係數(Lamp Burnouts Factor, 簡稱 LBO)等影響照明效果因子。經修正後之計算值再以 IES 所認定之照明器具型式(註三八)分類計算並判定照明效率。

2-3-2 長條形光源強度分佈

A. 軸斷面之極曲線強度分佈(Axial Polar Curve Intensity Distribution)

對任一長條形之日光燈管，若其發光強度為均勻條件下，其任一小截之軸斷面發光強度分佈應與整條燈管之軸斷面發光強度分佈成一固定比例關係，如圖 2-1 所示。一般而言，等燭光曲線圖(Isocandela Diagram)通常對點光源之光強度表達具代表性，而對線性光源則較無法實用；但在軸斷面之極曲線強度分佈上則與光源之型式並無太大影

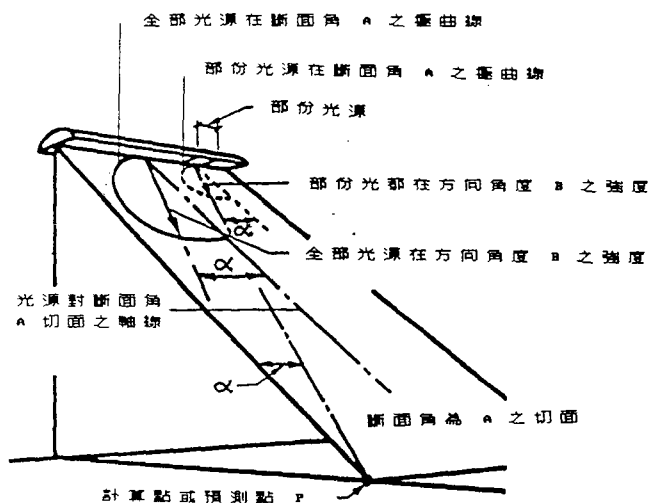


圖 2-1 線性光源 光強度分佈示意圖

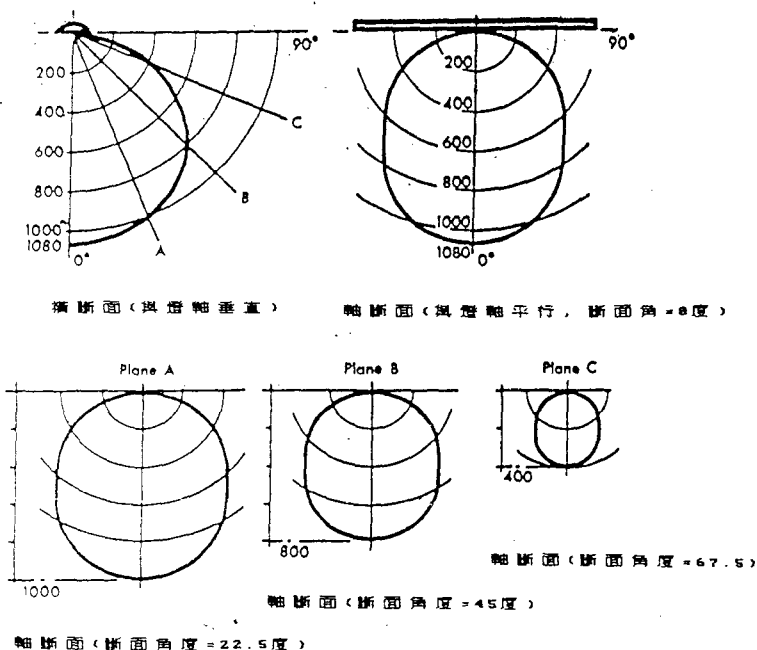


圖 2-2 軸断面, 橫断面之極曲線光強度分佈

響，也就是說對光源為中心軸之任一橫斷面之極曲線強度分配並無太大差別。在決定計算點對光源長軸所形成之軸斷面極曲線強度分佈之前，應該先對與光源長軸垂直的橫斷面之極曲線光強度分佈圖了解，如圖 2-2(a)所示，此斷面光強度分佈係根據光源正下方測試得到，它所表達的是燈源下方橫斷面正負 90 度之光強度分佈（以正下方為 0 度）。隨著正負角度之變化表達光強度之變化。軸斷面之極曲線強度分佈圖則是以橫斷面成正交角度切下來之各斷面，此斷面係與燈源長軸平行，如圖 2-2(b)至 2-2(c)所示，四斷面分別表示 0, 22.5, 45, 67.5 度的軸斷面之極曲線強度分佈圖。

從圖 2-1 中可看出，軸斷面之極曲線強度分佈和餘弦角度呈一比例關係，此種比例關係是以光源正下方為零度，分別向左右兩側往上移動，直至與水平位置為 90 度為止；隨著燈具型式發光效率功能之不同，強度和餘弦角之關係亦可分別以餘弦關係之冪（次方）乘積表達，圖 2-3 則顯示耳種不同餘弦關係與不同之燈具設計所表達的軸斷面之極曲線光強度分佈。

圖 2-3 中之光強度曲線分佈除了以 A.B.C.D.E 五條曲線表達標準分類之狀況外，亦以各種不同之燈具設計所造成之分佈效果與標準做一比較。A 線為餘弦一次方之強度分佈，它和燈具反射板設計成均勻漫射之形式非常相似。C 線為餘弦之二次方強度分佈，它和燈具反射板為白色系列並呈 45 度之羽板 (Louver) 相似。D.E 線分別為餘弦三次方及四次方之強度分佈，它和燈具利用光學或稜鏡效果設計之羽板底部之強度分佈相似。上述之比較效果可從圖 2-4 之實際燈具表達之軸斷面極曲線之強度分佈圖中得到比較。圖 2-5 則是將圖 2-3 以二度空間座標表達光強度分佈比率與餘弦角度之關係，光強度比率是以餘弦角度為 0 度時之光強度為基準，只具備比較參考意義，而非為燈具發光強度型式之間之實際值比較。

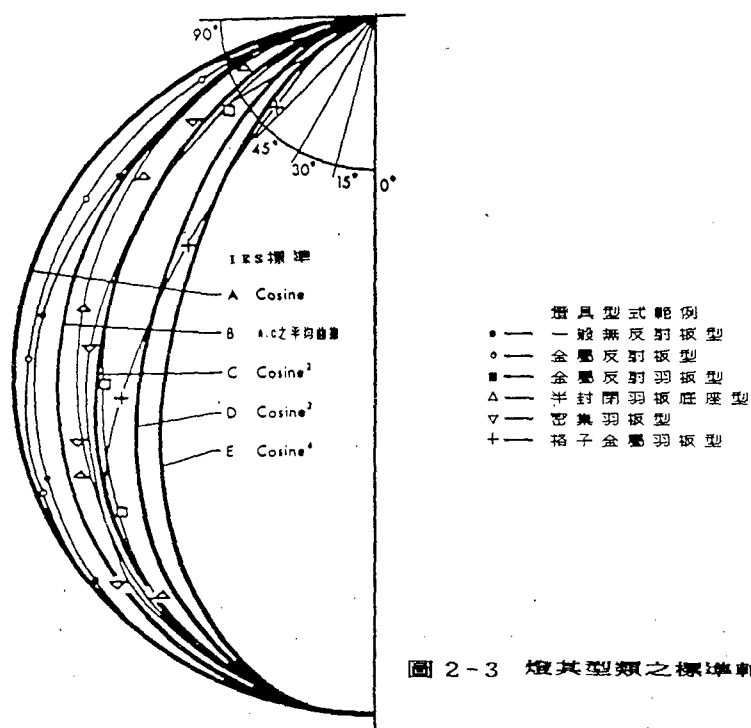


圖 2-3 燈具型類之標準軸斷面

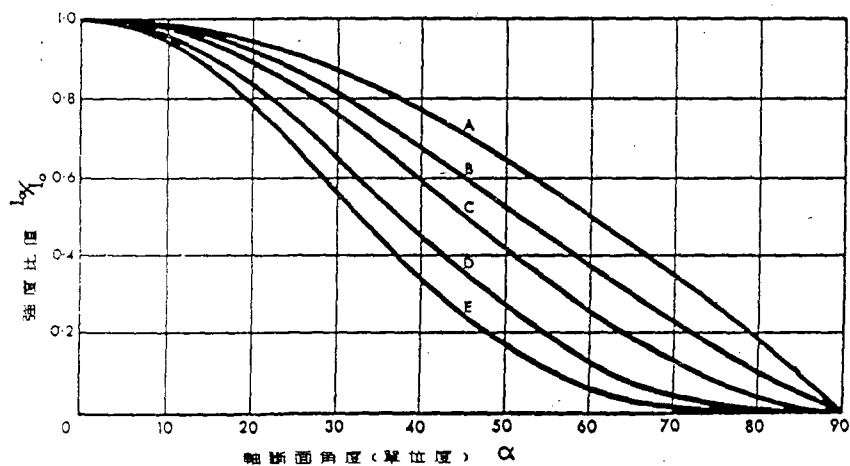


圖 2-4 軸斷面角度與發光強度比值關係

B. 軸斷面分佈之燈具分類

軸斷面之極曲線光強度分佈雖能表達因燈具不同所造成強度分佈之不同而分類，但仍不能清晰的比較標準分類與實際燈具之間之同異度，因此圖 2-5 則是為燈具分類所設計之圖形比較，如上小節所述。圖 2-6 是將標準分佈和類舉燈具型式之分佈作一比較。從圖 2-6 中比較可得到下列三點：

- a. 依據餘弦之次方曲線可知任一類型之燈具之強度分佈有可能和標準餘弦曲線吻合，如圖 2-6 中之 C 曲線和金屬反射面配合羽板類型之照明器具，從 0 到 90 度之間均相當契合；或者
- b. 標準曲線可以間段式之方式和燈具光強度分佈曲線吻合，如 A 線之 0 到 55 度加上 B 線之 55 到 90 度曲線可和一般類型之軸斷面極曲線強度分佈類似；或者
- c. 既使有吻合或類似之強度分佈曲線存在，但並無法滿足 IES 所分類的人工照明器具型式，因此除了要依據統計求得各型式之方向係數外，亦應針對非為 IES 型式之照明器具提供一精確之計算方式求得該器具之方向係數。

C. 方向角度決定 (Determination of Aspect Angle)

預測點之方向角度決定可經由兩種方式得到，一為三角幾何之計算，另一則是依據圖形辨定，分別敘述於後：

a. 三角幾何計算判定

如圖 2-7(a) 所示，測點 P 對燈源 AB 長度中之一間段 AQ 之長度為 d 所形成之方向角度可經由三角幾何之數學關係得到。即

$$\tan \alpha = d \times \cos \theta / h$$

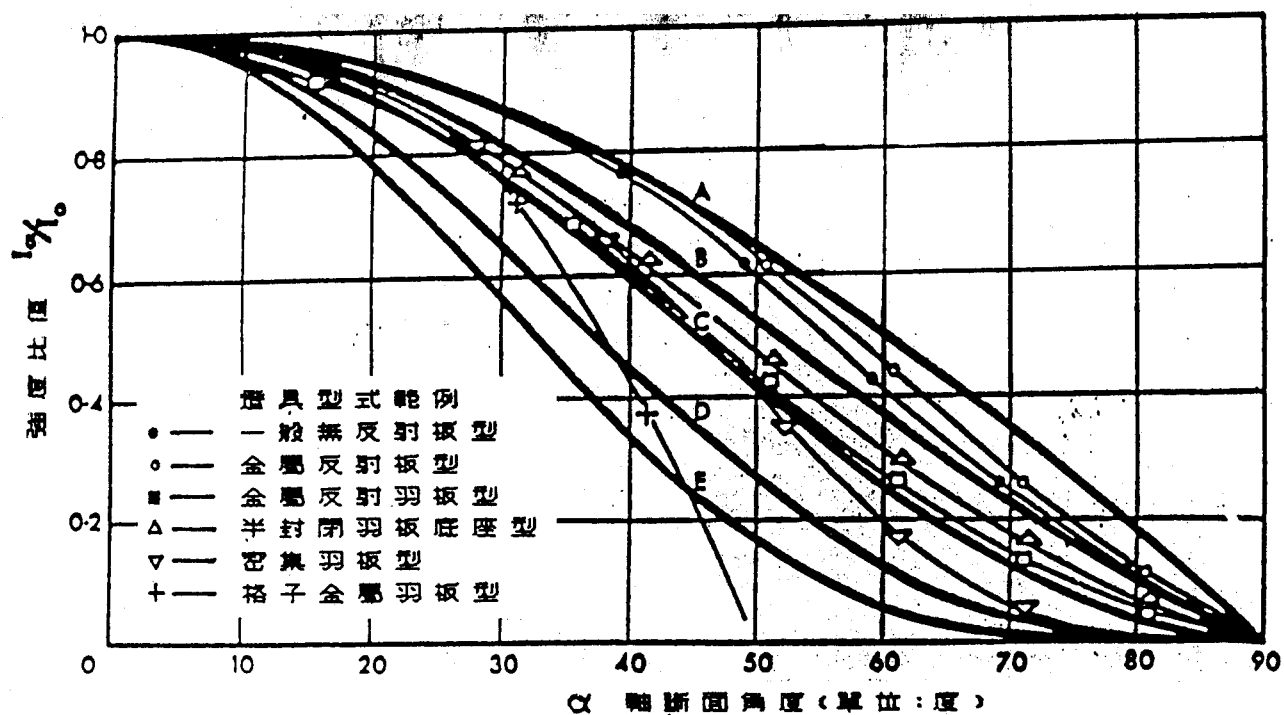


圖 2-5 軸斷面角度與發光強度比值關係
(標準型與範例比較)

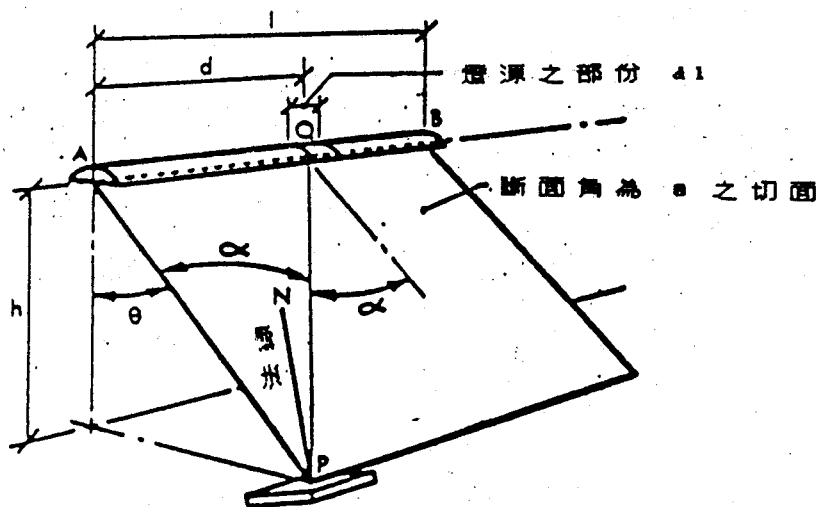


圖 2-6 計算點，燈源位置之方向角度示意

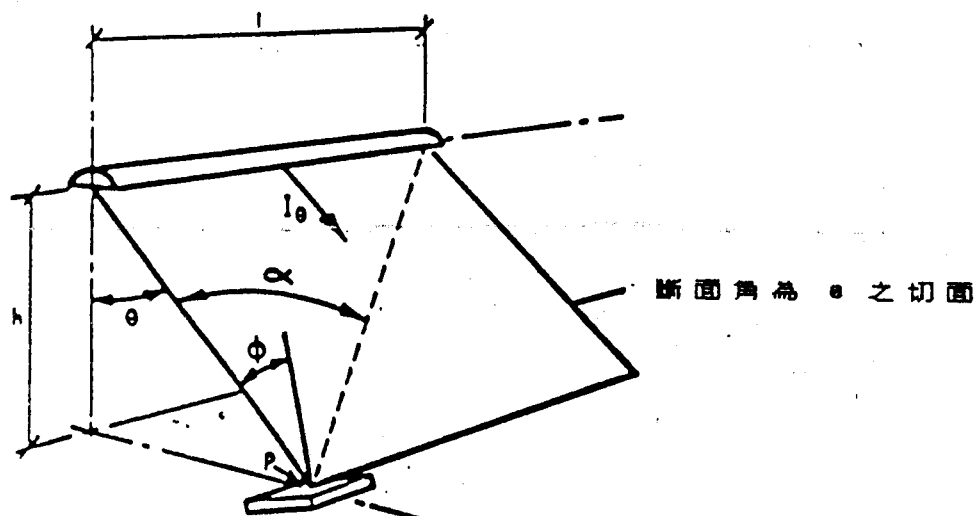


圖 2-7 計算點之平面與燈軸平行且在燈源邊緣垂直面上

α : 方向角度

d : 燈源 AQ 之長度

θ : 燈源正下方之面與 P, Q, A 三點構成面之夾角

h : 燈源與測點 P 之水平面之距離

b. 圖形判定

如圖 2-6 所示，取 A 點之橫截面，並將 AP 長度以 A 點為圓心旋轉，旋轉後與 A 點下方之垂直線交於 P' 點，此時 AQP' 三點成一面，角 AP'Q 即為方向角度。

本小節只就燈源中之一小段 AQ 為例討論方向角度之計算，同理，可分別就燈源之任一小段或整段討論，甚或可累加不同燈源而求得全部方向角度，或者就不同燈源之軸斷面之極曲線強度分佈分別討論，後節中加予探討。

2-3-3 方向係數與光輻射法 (Aspect Factor & Light Radiation Transfer Methods)

A. 方向係數推導

從圖 2-7 中，燈源 AB 對測點 P 之光強度為 $(dl \times I_\alpha / l)$ ， I_α 表示全部燈源對 P 點所造成之光強度分佈，此分佈是依據 P 點對燈源之方向夾角得到。因此，對任一接受光強度之平面，若與燈源軸長成平行且接受面之法線與入射光線亦為平行，此時 P 點之照度可用下式表達。

$$dE_{Pl} = \frac{dl}{l} \times I_\alpha \times \frac{\cos^2 \alpha}{(AP)^2} \quad \text{----- (2-1)}$$

假若接受面與燈源長軸平行，但其法線不與入射光線平行，而成一夾角，其夾角為 θ ，如圖 2-6 所示，此時 P 之照度則需經由夾角之關係表達，如式 (2-2)

$$dE_{p1} = \frac{dl}{l^2} \times I\alpha \times \frac{\cos^3 \alpha}{(AP)^2} \times \cos \theta \quad \text{----- (2-2)}$$

由圖 2-12 中可知 $h / AP = \cos \theta$ 因此式 (2-2) 可以式 (2-3) 表示，

$$dE_{p1} = \frac{dl}{l^2} \times I\alpha \times \frac{\cos^3 \alpha}{(h^2)} \times \cos^2 \theta \times \cos \theta \quad \text{----- (2-3)}$$

同理，對一接受面，若與燈源軸向成垂直相交，在接受面之照度則可以用下式表示。

$$dE_{pr} = \frac{dl}{l^2} \times I\alpha \times \frac{\cos^3 \alpha}{(h^2)} \times \sin \alpha \times \cos^2 \theta \quad \text{----- (2-4)}$$

為方便後式對 α 角度之積分，此時需將 dl 部份以已知之變數表達，因 $l = AP \times \tan \alpha = h \sec \theta \times \tan \alpha$ 所以 $dl = h \times \sec \theta \times \sec^2 \alpha \times d\alpha$ 再以上式分別代入式 (2-3) 及 (2-4) 分別可得到式 (2-5) 及 (2-6)

$$dE_{p1} = \frac{\cos \theta}{l \times h} \times \cos \theta \times I\alpha \times \cos \alpha \times d\alpha \quad \text{----- (2-5)}$$

$$dE_{pr} = \frac{\cos \theta}{l \times h} \times I\alpha \times \sin \alpha \times d\alpha \quad \text{----- (2-6)}$$

IES 標準型	I_{α}/I_0 強度分佈	方向係數 AF
A	$\cos \alpha$	$\frac{1}{2} (\sin \alpha \cos \alpha + \alpha)$
B	$\frac{(\cos \alpha + \cos^2 \alpha)}{2}$	
C	$\cos^2 \alpha$	$(\sin \alpha - \frac{1}{3} \sin^3 \alpha)$
D	$\cos^3 \alpha$	$\frac{1}{4} \sin \alpha (\cos^3 \alpha + \frac{3}{2} \cos \alpha)$ $+ \frac{3}{8} \alpha$
E	$\cos^4 \alpha$	$\frac{1}{5} \sin \alpha (\cos^4 \alpha + 4$ $- \frac{4}{3} \sin^2 \alpha)$

表 2-1 計算點之平面與燈軸平行之方向係數數學模型

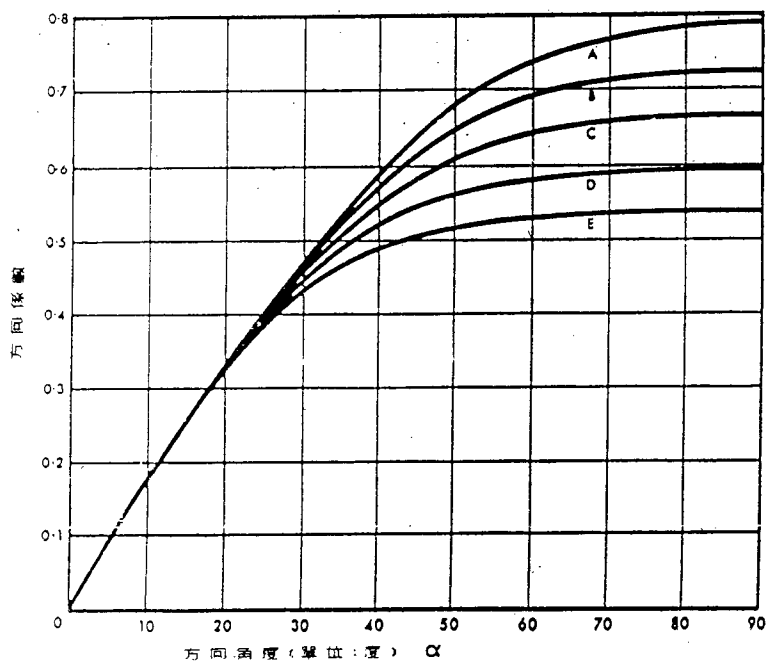


圖 2-8 方向角度與方向係數關係(計算點之平面與燈軸平行)

標準型	強度分佈 I_a/I_b	方向係數 μ_r
A	$\cos \alpha$	$\frac{1}{2}(1 - \cos^2 \alpha)$
B	$\frac{(\cos \alpha + \cos^2 \alpha)}{2}$	
C	$\cos^2 \alpha$	$\frac{1}{3}(1 - \cos^3 \alpha)$
D	$\cos^3 \alpha$	$\frac{1}{4}(1 - \cos^4 \alpha)$
E	$\cos^4 \alpha$	$\frac{1}{5}(1 - \cos^5 \alpha)$

表 2-2 計算點之平面與燈軸垂直之方向係數數學模型

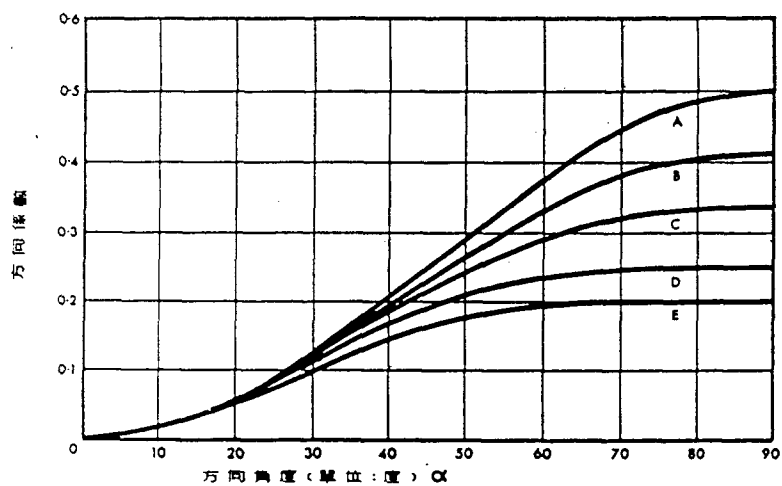


圖 2-9 方向角度與方向係數關係 (計算點之平面與燈軸垂直)

因此，

$$dE_{pl} = \frac{\cos \theta}{l \times h} \times \cos \theta \times \int I_{\alpha} \times \cos \alpha \times d\alpha \quad (2-7)$$

$$dE_{pr} = \frac{\cos \theta}{l \times h} \times \int I_{\alpha} \times \sin \alpha \times d\alpha \quad (2-8)$$

從 2-3-2-A 小節與圖 2-10 中可知，A 至 E 五種軸斷面之極曲線光強度分佈可以用 I_{θ} 及 α 角度表達，就是說 I_{α} 可以用 I_{θ} 及 α 之函數形式存在，諸如 A 曲線可以表示為 $I_{\alpha} = I_{\theta} \times \cos \alpha$ ，因此 A 至 E 五條曲線可以一通用式 $I_{\alpha} = I_{\theta} \times F(\alpha)$ 表示，而 I_{θ} 對 α 角度而言是獨立變數，亦即因計算平面之法線與入射光線角度不同所造成的差異，由此關係式 (2-7) 及 (2-8) 亦可由下列二式表示。

$$dE_{pl} = \frac{I_{\theta}}{l \times h} \times \cos \theta \times \cos \theta \times \int [F(\alpha) \times \cos \alpha \times d\alpha] \quad (2-9)$$

$$dE_{pr} = \frac{I_{\theta}}{l \times h} \times \cos \theta \times \int [F(\alpha) \times \sin \alpha \times d\alpha] \quad (2-10)$$

上二式中之積分部份，隨著方向角度與燈源長度之不同會得到不同之數值，此積分值則是本小節中之方向係數，簡稱 AF，如前述 $F(\alpha)$ 會因標準軸斷面之極曲線不同而異，但其均為 $\cos \alpha$ 之冪的變化；而 B 線則是 A 線及 C 線之平均值。若欲求得與燈源長軸呈平行面之計算點之方向係數，則依其燈具之型式，長度，代入式 (2-9) 中之積分部份便可得到，表 2-1 為與燈源長軸平行之五種標準形式之方向係數函數表示，圖 2-8 則是方向係數與方向角度之圖形表達。同理，對與長軸呈垂直之面的計算，亦可將式 (2-10) 之積分部份計算，其結果分別如表

2-2及圖 2-9所示。

B. 方向係數計算

前小節中已說明了如何以方向係數計算燈源對預測點之強度傳遞；但在現實環境中人工照明系統與計算點位置之相對關係呈多種方式存在，而且每具燈源都對計算點具影響效果，因此除了了解方向角度，方向係數，與燈源之型式及發光強度之外，亦應對不同座標關係之狀況予以討論，本節將此討論分成五部份分述於下：

- a. 計算點位於燈具邊緣之垂直面上；
- b. 計算點位於燈具邊緣之垂直面外側；
- c. 計算點位於燈具兩邊緣之垂直面中間。
- d. 連續燈源之計算
- e. 計算點之平面與燈源軸向呈垂直之計算

- a. 計算點位於燈具邊緣之垂直面上

從 2-3-3-A 小節可知，平行於燈具長軸之面上計算點之照度可以公式 (2-9) 表示，式 (2-9) 中之積分部份可以該點之方向係數 (AF) 表示，而方向係數則可從 IES 手冊中查出，因此圖 2-8 中 P 點之照度可以用式 (2-11) 表示。

$$E_{p1} = \frac{I_{\theta} \times \cos \theta \times \cos \phi \times (AF)}{L_{xh}^2} \text{-----} (2-11)$$

式 (2-11) 中之 AF 為照明系統中之全部燈具對測試點之方向係數總和；AF 之計算如前節所述，係依據燈具之軸斷面之極曲線強度分佈及與計算之相關位置得到。I_θ 可直接從燈具強度分佈之橫斷面得到 (如

圖 2-7(a))，而 l 、 h 、 θ 及 ϕ 等變數可直接從預測點和燈具排列之幾何關係中得到，因此式 (2-11) 便可由 AF 之值決定該測點之照度；在一般狀況下，測點均為一水平面，並和照明燈具呈平行排列，因此 $\theta = 0$ ，故式 2-11 可修正為

$$E_{p1} = \frac{I_{\theta}}{l^2 h} \times \cos^2 \theta \times (AF) \text{-----} (2-12)$$

2-12 式中之 $h = S \cos \theta$ ，故可再修正為

$$E_{p1} = \frac{I_{\theta}}{l^2 h} \times \cos \theta \times (AF) \text{-----} (2-13)$$

AF 值可依據燈具之五種型式從 IES 手冊中得到，須注意的是 AF 值依據測點與燈具之相對位置決定，因此必須依燈具之單一位置分別計算 AF 值，再將所有之 AF 值相加得到，此類計算可藉著微電腦程式簡化運算時間。

b. 計算點位於燈具邊緣之垂直面外側

當計算點位於燈具邊緣之垂直面外側時，可將計算過程中之燈源假想成為計算點位於燈具邊緣之垂直面上，如圖 2-10 所示，原來燈源長度為 BA ，現今假設其長度為從 BA 延長至 C 。因此計算中將燈源分成兩部份，一部份為燈源長度為 AC 部份，此部份之方向角度為 α_1 ；另一部份為燈源長度 BC 部份，此部份之方向角度為 α_2 ，以方向角度之不同從 IES 手冊中得到方向係數之不同，分別以式 (2-13) 求得兩種狀況下計算點之照度，所以 BC 段之結果減去 AC 段之結果即為計算點 P 之照度。需注意的是假想之燈源總長度 BC 與假想段 AC 所使用

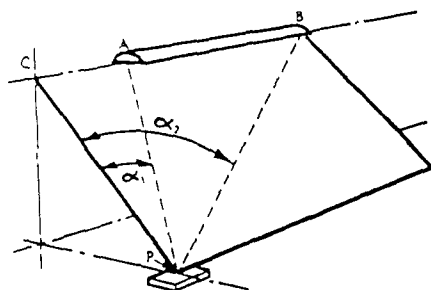


圖 2-10 計算點之平面與燈軸平行且在燈軸邊緣垂直面外側

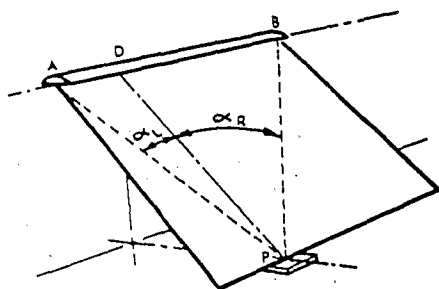


圖 2-11 計算點之平面與燈軸平行且在燈軸邊緣垂直面內側

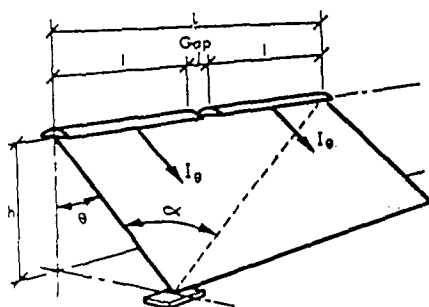


圖 2-12 計算點之平面與燈軸平行且為連續長形燈源之狀況

之燈長不同，而原式 2-13 中之其餘變數 I_{θ} , h , $\cos\theta$ 均為相同；今假設 BC 之長度為 L , AC 之長度為 l , α_1 方向角度之方向係數為 af , α_2 方向角度之方向係數為 AF , 故當計算點位於燈具邊緣之垂直面外側時之計算式如下。

$$E_{pl} = \frac{I_{\theta}}{S} \times \cos\theta \times \left[\left(\frac{1}{L} \times A \right) - \left(\frac{1}{l} \times af \right) \right] \text{-----} (2-14)$$

c. 計算點位於燈具兩邊緣之垂直面中間

當計算點位於燈具邊緣之垂直面中間時，通過計算點 P 之垂直面必然切過燈源並與燈源交於點 D，如圖 2-11 所示。此時計算點之照度可依 D 點將燈源分成兩部份計算，即 AD 與 BD，其計算式則依式 (2-13) 將燈源分成左右兩側分別對 P 點計算；計算中之變數 I_{θ} , h , $\cos\theta$ 均為相同，今假設 BD 之長度為 l , 方向角度為 α_1 , 方向係數為 af ; 而 AD 之長度為 L , 方向角度為 α_2 , 方向係數為 AF ; 則 P 點之照度可用下式表達。

$$E_{pl} = \frac{I_{\theta}}{S} \times \cos\theta \times \left[\left(\frac{1}{L} \times AF \right) + \left(\frac{1}{l} \times af \right) \right] \text{-----} (2-15)$$

d. 連續燈源之計算

當長條形燈源呈連續式排列時，計算點 P 之照度可用兩種方式求得，一為將此連續燈源一一分開，單獨對 P 點計算照度，此部份之計算則依式 (2-13) 至 (2-15) 中之條件討論，再將各燈源對此點之照度相加得到 P 點之照度。另一方式則是將此一連續燈源視為一大而長之發光體，如圖 2-12 所示，忽略兩燈源之間距部份，只討論計算點和燈源之位置關係以符合式 (2-13) 至 (2-15) 之條件代入即可。兩種計算之方

式所得到之精確度不同，前式先針對單一燈源對 P 點之照度後，再分別累加，因此其精確度高，並無累積誤差存在；而後者之計算，因燈源之燈距大小不一，且燈源之連續總長度大到某一程度時，其方向係數並下因其長度加大而加大，故其精確度較前者低，且其累積誤差值亦相對性的提高。

e. 計算點之平面與燈源軸向呈垂直之計算

通常計算或預測點所在之平面都與燈源軸向呈平行，如前述之四種狀況，主要的原因是工作業面通常為水平，且照明系統亦呈水平配置之故；但因對測點之計算，除了考慮燈源之光通量直接投射到達計算點外，亦應將燈源之光通量在到達室內各面之後，經由面與面彼此間的相互漫射，再到達計算點之光通量納入討論，因此在考慮計算點的同時，亦須對計算點之平面與燈源軸向呈垂直之計算。有關面與面之間的相互漫射效果，與計算點從各面之漫射得到之光通量計算在下節中說明。

從式(2-10)中，積分部份代表與燈源軸向呈垂直面之方向係數，此方向係數可由 IES 手冊中查出，因此式(2-10)可簡化成下式。

$$E_{pr} = \frac{I_0}{l \times h} \times \cos \theta \times (AF) \quad \text{----- (2-16)}$$

從圖 2-13 中可知 $\cos \theta = h / s$ ，故式(2-16)可再簡化成

$$E_{pr} = \frac{I_0}{l \times s} \times (AF) \quad \text{----- (2-17)}$$

式(2-17)則是用來計算室內任一垂直面因燈源直射所獲得之照度。

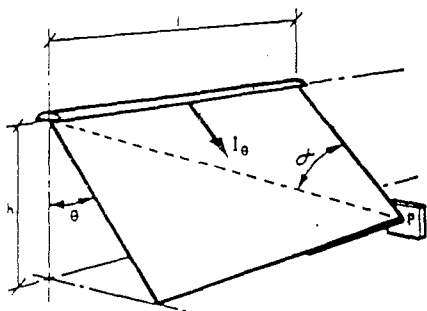


圖 2-13 計算點之平面與燈軸垂直之狀況

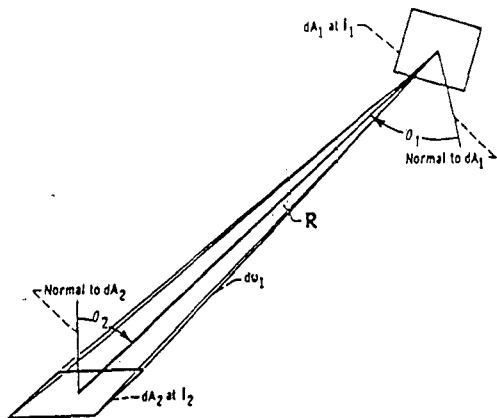


圖 2-14 空間中任意兩之光輻射解析

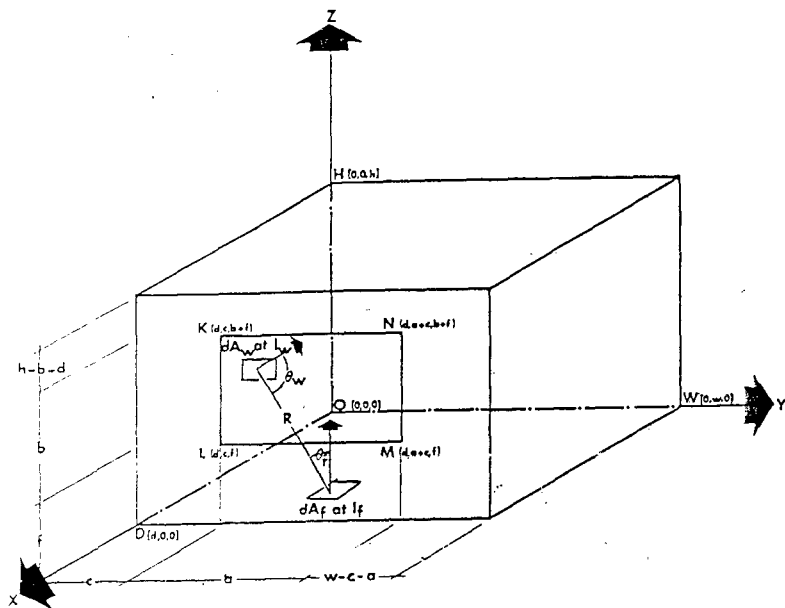


圖 2-15 室內垂直，水平兩面之光輻射相互反射解析

C. 室內面之相互反射

光為輻射能，欲了解兩個面之間彼此在光通量輻射傳遞下的關係，則需先了解光輻射原理。圖 2-14 則是對三度空間中任意兩個面之輻射能量相互傳遞圖解。由於空間中任意兩個面之面積不等，且每個面本身所受之直接光通量（從燈源直接到達此面之光通量）亦非均量，因此在計算面與面之間的相互反射時需考慮此種現象，所以區域法（Zoning Method註二九）的採用是用來解說上述之複雜輻射傳遞現象的數學模式。

區域法之原理是將任一個面分成若干小區域，若小區域之面積愈小則表示愈能精確的表達該面之輻射傳遞特性，但相對的亦增加了計算推演的困難度；在每一被分割的小區域內取其中心點為此區域之代表，可求得此點之直接照度，同樣的情形可用來區分空間中之任一面，在這空間中區分的小區域彼此對其它區域所反射的光通量可用圖 2-15 說明，並以式(2-18)計算出。

$$dE_{aw-f} = E_{aw} \cos \theta_w \cos \theta_f d\omega_f \text{-----} (2-18)$$

$d\omega_f$: 水平面對垂直面之立體角

E_{aw} : 垂直之直射照度

$\cos \theta_w$: 兩小區域之法線與其區域中心點連線之交角

$\cos \theta_f$: 兩小區域之法線與其區域中心點連線之交角

dE_{aw-f} : 垂直面區域到達水平面區域之光通量

依上式之原理，將垂直面之小區域擴大為整個垂直面，亦即對整個垂直面積分，可求得整個垂直面對水平小區域反射之總光通量，此數學計算方式可由式(2-19)表達。

$$E_{aw-af} = \int_0^{1+\tau} \int_d^{d+f} \frac{E_{aw} \cos \theta_w \cos \theta_f}{R^2 \pi} dy dz \quad \text{----- (2-19)}$$

E_{aw-af} : 由垂直面之反射光到達水平面之光通量

E_{aw} : 由光源到達垂直面之光通量

$\cos \theta_w$: 垂直面之法線與計算中之兩區域中心點連線之夾角

R : 計算中之兩區域中心點連線之長度

按上述分區法及立體角之觀念，可依照空間中任何面之彼此相互反射之光通量計算得到其各小區域之照度；也就是室內任何一點除了能以方向係數法計算光源到達此點之光通量外，亦可藉著分區法及光輻射原理得到因室內各面彼此相互反射增加的光通量。

2-3-4 作業面之照度

依前之敘述，室內任何一實質平面上之任一點均可經由方向係數法計算該點因燈源之直接照射得到的照度，亦可經由光輻射原理而以分區法之概念得到因室內各面之相互反射增加的光通量，也就是說室內實質面上之任一點在人工照明系統下所受之照度均可被精確的計算出，但在實際的環境之下，作業面上之照度方是照明工程師所欲明瞭的，因此必須假設一作業面，先以方向係數法求得該作業面受燈源之直射所得到的照度，再以區域法將作業面上之計算點分別對天花板及四個牆面計算因反射效果到達計算點之光通量，由於直接照度在 2-3-2 節中討論，本節不再細述，只就天花板及四面牆之反射方以討論。

一般空間之作業面為 80 公分（註四十），約為 2.5 英尺，因此在未論及壁面反射之前，須先假設一水平面，其高度為 2.5 呎，在考慮作

業面之照度時，只就作業面以上之燈源及壁面部份考慮，其主要原因為作業面以下之光線無法穿透作業面得到照明效果，從上而下之光線才是可利用的光線，（少數例外狀況，諸如幻燈片工作拍則非本文討論範圍），因此本節的計算係依據作業面之高度作為基準面，分別討論四牆面及天花部份對計算點之反射，有關座標系統請參照圖 2-20。

下列各式係以區域法對計算點之數學關係，式 (2-20) 至 (2-24) 分別代表左面牆，前面牆，右面牆，後面牆，及天花板部份對計算點之計算式。

$$E_{wl} = \int_0^h \int_0^d \frac{E_{ll} R_l \cos \theta_w \cos \theta_l}{r^2 w_l \pi} dx dz \quad \text{-----} (2-20)$$

$$E_{wr} = \int_0^h \int_0^d \frac{E_{rr} R_r \cos \theta_w \cos \theta_r}{r^2 w_r \pi} dx dy \quad \text{-----} (2-21)$$

$$E_{wb} = \int_0^h \int_0^w \frac{E_{bb} R_b \cos \theta_w \cos \theta_b}{r^2 w_b \pi} dy dz \quad \text{-----} (2-22)$$

$$E_{wc} = \int_0^w \int_0^d \frac{E_{cc} R_c \cos \theta_w \cos \theta_c}{r^2 w_c \pi} dx dy \quad \text{-----} (2-23)$$

$$E_{wf} = \int_0^w \int_0^d \frac{E_{ff} R_f \cos \theta_w \cos \theta_f}{r^2 w_f \pi} dx dy \quad \text{-----} (2-24)$$

h: 室淨高

d: 室深度

w: 室寬度

E: 代表各牆面及天花之光度

R: 各牆面之反射係數

r: 計算點對各牆面之小區域中心點之距離

cos 角度: 計算面之法線與計算點連線之夾角。

從式(2-20)至(2-24)可分別得到各壁面對作業面上任一點之反射效果所增加之光通量，因此計算點受牆面及天花板反射之照度可以式(2-25)表示，式(2-25)之值加上計算點受燈源直接照射之照度即為該點在整個照明系統下之實際照度。

$$E_w = E_{w1} + E_{wr} + E_{wb} + E_{wc} + E_{wf} \text{ ----- (2-25)}$$

2-3-5 光損失係數(Light Loss Factor)

前面已經就燈具發光之光配圖，發光效率，空間尺寸關係，室表面之反射，與燈具種類等人工照明系統予以討論，並就上述之內容可依據數學模型推導出室內任一實質面或假設面上之任一點照度，此類計算為一理想狀況下之運算，但在實際照明工具使用中，仍有不少因素影響到作業面之照度，此類影響因子通稱為光損失係數。

光損失係數簡稱 LLF，基本上可分成兩大部份，一為“非可恢復光損失係數---Nonrecoverable LLF”，另一部份為“可恢復光損失係數---Recoverable LLF”。所謂非可恢復係數係指在特定條件下，燈源之發光效率降低，而且此降低部份無法經由週期性之維護而恢復其發光效率，此部份之影響因子可分成下述四種狀況。

A. 燈源包被溫度(Luminaire Ambient Temperature)

燈源包被溫度指的是因燈具設計之不同，按裝方式的差異，或者地域氣候之溫差影響到燈源四周之溫度，一般而言，燈源與照明區域之溫差約為5-10度攝氏溫度，而隨著溫差之大小，或者燈源包被溫度之提高而降低的發光效率，此因素不受人為因素之維護而可被恢復，且其包被溫度亦無法經由理論方式精確計算，故此影響因子只有被視為一均質效果，有關包被溫度，發光相對效率，及使用電功率三者之

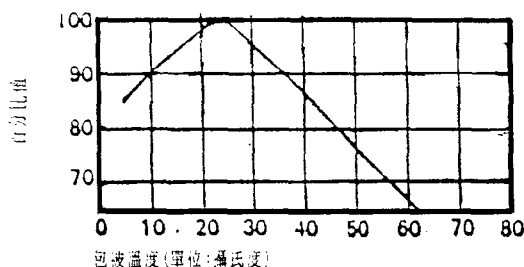


圖 2-16 燈源包被溫度，相對發光效率之關係

IES 類型	B	A				
		非常清潔	清潔	普通	污垢	非常污垢
I	.69	.038	.071	.111	.162	.301
II	.62	.033	.068	.102	.147	.188
III	.70	.079	.106	.143	.184	.236
IV	.72	.070	.131	.216	.314	.452
V	.53	.078	.128	.190	.249	.321
VI	.88	.076	.145	.218	.284	.396

表 2-3 室表受塵衰減係數 (註十二)

IES 類型		I				II				III				IV				V			
污染受塵期望百分比		10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40
室 塵 比 值	1	98	96	94	92	97	92	89	84	94	87	80	76	94	87	80	73	90	80	70	60
	2	98	96	94	92	96	92	88	83	94	87	80	75	94	87	79	72	90	80	69	59
	3	98	95	93	90	96	91	87	82	94	86	79	74	94	86	78	71	90	79	68	58
	4	97	95	92	90	95	90	85	80	94	86	79	73	94	86	78	70	89	78	67	56
	5	97	94	91	88	94	90	84	79	93	86	78	72	93	86	77	69	89	78	66	55
	6	97	94	91	88	94	89	83	78	93	85	78	71	93	85	76	68	89	77	66	54
	7	97	94	90	87	93	88	82	77	93	84	77	70	93	84	76	68	89	76	65	53
	8	96	93	89	86	93	87	81	75	93	84	76	69	93	84	76	68	88	76	64	52
	9	96	92	88	85	93	87	80	74	93	84	76	68	93	84	75	67	88	75	63	51
	10	96	92	87	83	93	86	79	72	93	84	75	67	92	83	75	67	88	75	62	50

表 2-5 室表受塵衰減係數

關係可從圖 2-16 比較出。圖中可明顯看出發光效率隨著溫度昇高而提高，直至包被溫度接近華氏 100 度時，發光效率曲線呈一反曲點，相反的隨著溫度上升而下降。

B. 電壓變化 (Voltage Variation---VV)

電壓的改變可直接影響到發光效率，一般而言，電壓如果改變在 3% 左右，發光效率亦會相對性的改變 1%，由於電壓的輸入對任何場所之間斷變化是不可預期且無法控制的，因此在討論發光效率時，只有將其視為一無法控制之係數。

C. 燈具表面材料衰竭 (Luminaire Surface Depreciation---LSD)

燈具製造之表面材料本身隨著時間因素改變導致發光效率的降低，謂之燈具表面材料衰竭。燈具表面之材料中含有金屬片，塑膠片，合成纖維等，這些材料會因在空氣中曝光過久而降低當初採用此類材料之目的，諸如色澤本身的變化改變，影響發光後之燈具本身之反射效果，此項衰竭指的因材料本身之變化，而非外在灰塵之影響。同樣的，此種材料本質的物理變化亦非為可控制因子。

D. 安定器係數 (Ballast Factor---BF)

照明系統之安定器裝置有著限制開啓燈源時之電流效應，它同樣的亦可提供足夠之電壓啓動燈極；但相對的因安定器本身品質的優劣會直接影響到發光效率。依據美國國家標準局 (ANSI) 判斷安定器之品質是按照一參考安定器與使用安定器作測試比較得到安定器係數；亦即

安定器係數 = (使用安定器 / 參考安定器) 之發光效率比值

因此安定器係數亦非為一可控制因子，一般製造廠商並未提供此一係數供設計者參考，故亦為一非可修正之光損失係數。

上述四種因素欲會影響到燈源之發光效率，此種影響可說是藉著燈具本身存在而相隨的，以現有之科技並無法有效的掌握其影響發光效率之程度，而亦都無法在燈具被裝置之後做有效之控制，因此在一般討論照明效能中，視其為不可控制之因子，在計算推演中並不予以考慮。

除了非可恢復光損失係數外，另外尚有可恢復光損失係數，此類影響因子，在照明系統按裝後，仍可以藉著實驗而提出數學模型修正發光效率。可修正光損失係數共計有四種，分述於後：

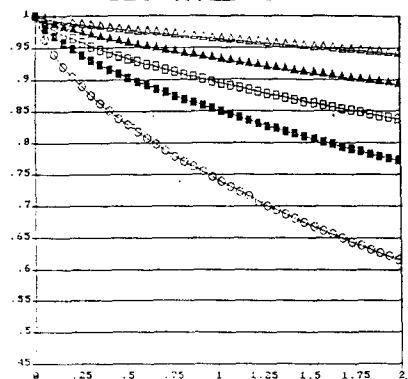
D. 燈源受塵衰竭係數 (Luminaire Dirt Depreciation---LDD)

發光效率之降低往往主要導因為燈源本身受塵之污染而使材料失去原有之透射(燈管)及反射(燈具反射板)效果。此項因子為發光效率損失之最大原因，它可隨著燈具型式之不同，設計場所之地理位置，與設計場所之工作性質而變化。燈具的型式往往因反射板設計之水平垂直面積比率而影響受塵量多寡，另外亦會因為空間使用性質(辦公，製造業，鋸木廠等)之不同影響燈具之受塵程度。

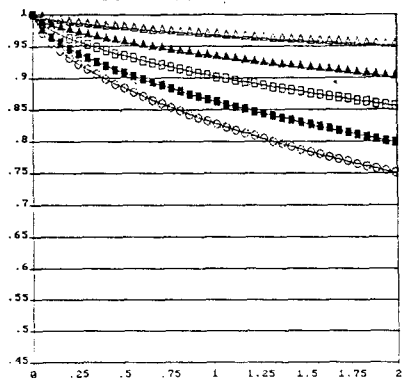
決定燈源受塵衰竭係數可分成二個步驟，分述於後：

- a. 決定燈具之型式，此型式與從 IES 之燈具型式分類中得到(請參閱下節)
- b. 決定當地空氣含塵量之多寡，含塵量依據 IES 之分類，共分成五個等級，並按圖2-17 中之IES 規範(註四一)決定燈源之受塵衰竭係數。

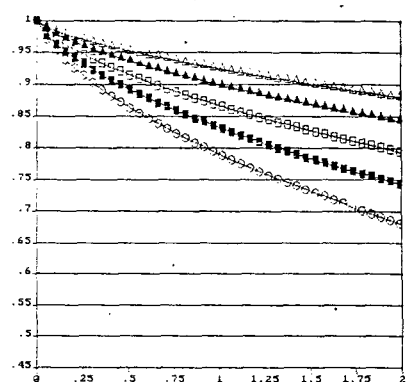
IES 類型 I.



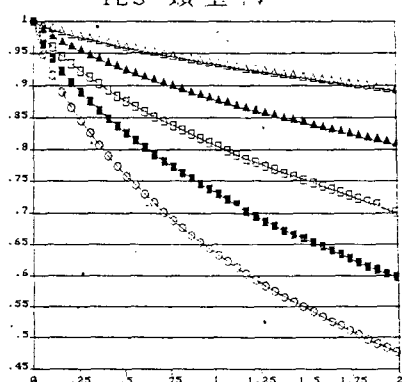
IES 類型 II.



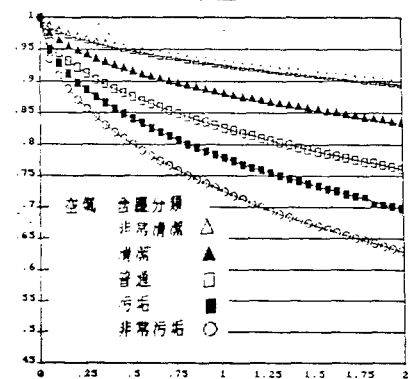
IES 類型 III.



IES 類型 IV.



IES 類型 V.



IES 類型 VI.

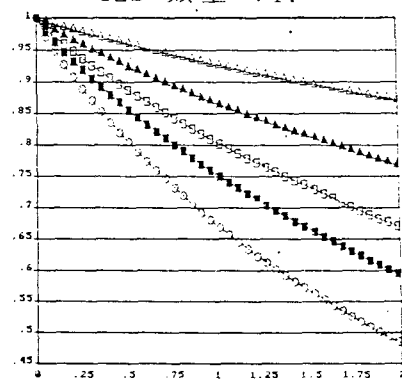


圖 2-17 燈具受塵衰減係數 (型式 I-VI)

上述兩個步驟並未將時間之因素考慮，燈具本身並非從按裝開始就不去清除塵垢，故若欲將定期清理燈具受塵之因素考慮，式(2-26)(註四一)可用來直接計算LDD。

$$LDD = e^{-a \cdot t^b} \text{-----} (2-26)$$

式(2-26)中 e 為自然對數 ($e=2.718282$)； A 及 B 值可由表 2-3 (註四二)中查出， t 值則是以年為單位之時間，經由上述數學模型可精確得到燈源受塵衰場係數。表 2-4(a, b, c, d)則為依據式(2-26)並配合表 2-3 以 3 個月，6個月，1年，2年之計算結果。

F. 室表面受塵衰場係數 (Room Surface Dirt Depreciation---RSDD)

室內表面因時間及地域之因素受到空氣中含塵之影響而降低了原有壁材之反射係數，因而導致室內相互反射效應降低，此降低之比率謂之室表面受塵衰場係數。決定 RSDD 之因子有兩個，一為污染受塵期望面分比 (Percent Expected Dirt Depreciation)；另一則是室區間比值 (Room Cavity Ratio)；有關室區間比值容後節中敘及，待此二因子決定後，再判定燈具之型式，利用表 2-5(註四三)查詢便可得到室表面受塵衰場係數。

G. 燈絲流明衰場係數 (Lamp Lumen Depreciation---LLD)

任何一種照明器具均有其壽命限制，如果配合 CBM (Certified Ballast Manufacture) 標準安定器，燈絲又符合 ANSI之標準，以及氣候和電流的穩定度，燈絲之壽命是可如製造廠所聲稱之長久，但在現實環境中，上述狀況是不易發生的，尤其當燈源被開啓之一刹那

。由於陰極射線需足夠之電壓方能啟動燈絲，高壓易使燈絲受損而逐漸降低發光效率，此降低之比率則是燈絲衰竭係數，此係數則和每次開啓照明器具之使用時間長短有關，若使用時間長則衰竭速率慢，反之亦然。圖 2-18b 說明燈具製造廠保證燈絲使用壽命與發光效率之關係（註四四），由於各燈絲製造廠對不同型式之燈絲壽命之期限不同，而照明系統使用之燈具數量亦非為在第一次使用後採全部更換燈絲方式維護，一般均為損壞後更換，故一般均採燈絲流明衰竭係數之下限值（0.8）作為計算基準，此基準值亦為一般燈絲之壽命期限時之衰竭係數。

H. 燈絲耐久係數 (Lamp Burnouts Factor --- LBO)

燈絲耐久係數指的是使用中之人工照明系統中，發光之燈絲數量對全部系統正常運作之總燈絲數量之比值，也就是說隨著燈絲之壽命，當其無法正常運作時之更換速率可決定其係數大小，圖 2-18a 為廠商宣稱之燈絲壽命與燈絲實際壽命之關係，由圖中可明瞭燈絲耐久度約有一半均符合原製造廠之宣稱，而燈絲耐久係數又和維護更換損壞

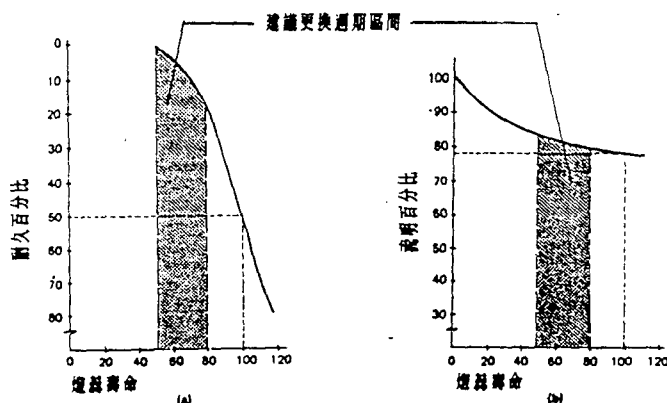


圖 2-18 燈絲耐久係數 (a) 與標準燈絲流明 (b)

表 2-4a 燈源受塵衰減係數 LDD

清洗週期 : 3 個月

燈具受塵等級分類					
類型	非常清潔 10%	清潔 20%	普通 30%	污垢 40%	非常污垢
I	0.98550570	0.97308920	0.95824840	0.93965410	0.89078710
II	0.98612590	0.97162110	0.95773520	0.93966120	0.92349120
III	0.97050820	0.96062950	0.94725510	0.93265210	0.91445480
IV	0.97453020	0.95286480	0.92347590	0.89071560	0.84654460
V	0.96327980	0.94045360	0.91289890	0.88742760	0.85730470

表 2-6a 光損失係數 LLF

清洗週期 : 3 個月

燈具 類型	污染 衰減期望百分比	室內 表面受塵 衰減係數 RSDD	燈具流明衰減係數 LDD=0.8				
			燈具耐久係數 L80=1.0				
			燈具受塵等級分類				
			非常清潔 10%	清潔 20%	普通 30%	污垢 40%	非常污垢
I	10	0.976	0.76948	0.75979	0.74820	0.73368	0.69553
	20	0.952	0.75056	0.74110	0.72980	0.71584	0.67842
	30	0.928	0.73164	0.72242	0.71140	0.69760	0.66132
	40	0.906	0.71429	0.70530	0.69454	0.68108	0.64564
II	10	0.956	0.75419	0.74310	0.73248	0.71865	0.70629
	20	0.910	0.71790	0.70734	0.69723	0.68407	0.67230
	30	0.866	0.68319	0.67314	0.66352	0.65100	0.63979
	40	0.816	0.64374	0.63427	0.62521	0.61341	0.60286
III	10	0.938	0.72827	0.72086	0.71082	0.69986	0.68621
	20	0.864	0.67082	0.66399	0.65474	0.64465	0.63207
	30	0.792	0.61491	0.60865	0.60018	0.59093	0.57940
	40	0.740	0.57454	0.56869	0.56078	0.55213	0.54136
IV	10	0.938	0.73129	0.71503	0.69298	0.66839	0.63525
	20	0.864	0.67360	0.65862	0.63831	0.61566	0.58513
	30	0.784	0.61123	0.59764	0.57920	0.55866	0.53095
	40	0.710	0.55353	0.54123	0.52453	0.50593	0.48084
V	10	0.896	0.69048	0.67412	0.65437	0.63611	0.61452
	20	0.790	0.60879	0.59437	0.57695	0.56085	0.54182
	30	0.680	0.52402	0.51161	0.49682	0.48276	0.46637
	40	0.576	0.44388	0.43336	0.42066	0.40893	0.39505

表 2-4b 燈源受塵衰減係數 LDD

清洗週期：6 個月

燈具受塵等級分類					
類型	非常清潔 10%	清潔 20%	普通 30%	污垢 40%	非常污垢
I	0.97872080	0.95884470	0.93350980	0.90446080	0.82979550
II	0.97875880	0.95671890	0.93578610	0.90878330	0.88485970
III	0.95253320	0.93883280	0.91573630	0.89291380	0.86478440
IV	0.95839360	0.92355080	0.87710110	0.82643950	0.76002200
V	0.94741390	0.91516880	0.87670440	0.84180360	0.80068710

表 2-8b 光損失係數 LLF

清洗週期：6 個月

燈具 類型	污染 衰減 週期 百分比	室內 表面 受塵 衰減 係數 RSDD	燈具流明衰減係數 LDD=0.8				
			燈具耐久係數 LBO=1.0				
			燈具受塵等級分類				
			非常清潔 10%	清潔 20%	普通 30%	污垢 40%	非常污垢
I	10	0.976	0.76262	0.74718	0.72888	0.70620	0.64790
	20	0.952	0.74387	0.72881	0.71096	0.68884	0.63197
	30	0.928	0.72512	0.71044	0.69304	0.67147	0.61604
	40	0.906	0.70793	0.69359	0.67661	0.65555	0.60144
II	10	0.956	0.74855	0.73170	0.71589	0.69504	0.67674
	20	0.910	0.71253	0.69649	0.68125	0.66159	0.64413
	30	0.866	0.67808	0.66281	0.64831	0.62961	0.61303
	40	0.816	0.63893	0.62455	0.61088	0.59325	0.57764
III	10	0.938	0.71478	0.70300	0.68717	0.67004	0.64893
	20	0.864	0.65839	0.64754	0.63296	0.61718	0.59774
	30	0.792	0.60353	0.59358	0.58021	0.56575	0.54793
	40	0.740	0.56390	0.55480	0.54212	0.52861	0.51195
IV	10	0.938	0.71918	0.69303	0.65818	0.62016	0.57032
	20	0.864	0.66244	0.63838	0.60825	0.57124	0.52533
	30	0.784	0.60110	0.57925	0.55012	0.51834	0.47669
	40	0.710	0.54437	0.52458	0.49819	0.46942	0.43169
V	10	0.896	0.67911	0.65599	0.62842	0.60326	0.57392
	20	0.790	0.59877	0.57839	0.55408	0.53139	0.50802
	30	0.680	0.51539	0.49785	0.47693	0.45783	0.43558
	40	0.578	0.43857	0.42171	0.40399	0.38781	0.36895

表 2-4c 燈源受塵衰減係數 LDD

清洗週期：1 年

燈具受塵等級分類					
類型	非常清潔 10%	清潔 20%	普通 30%	污垢 40%	非常污垢
I	0.98271290	0.93146190	0.89493870	0.85044120	0.74007780
II	0.98753880	0.93426050	0.90302960	0.86329400	0.82881470
III	0.92403990	0.89942460	0.88675410	0.83193580	0.78978070
IV	0.93239380	0.87721780	0.80573540	0.73051910	0.63635420
V	0.92496440	0.87985340	0.82695910	0.77958000	0.72542320

表 2-6c 光損失係數 LLF

清洗週期：1 年

燈具 類型	污 染 衰 竭 期 望 百 分 比	室 內 表 面 受 塵 衰 減 係 數 RSDD	燈 源 流 明 衰 減 係 數 LDD=0.8				
			燈 源 耐 久 係 數 LBO=1.0				
			燈 具 受 塵 等 級 分 類				
			非常清潔 10%	清潔 20%	普通 30%	污垢 40%	非常污垢
I	10	0.976	0.75189	0.72729	0.69877	0.66402	0.57785
	20	0.952	0.73320	0.70940	0.68159	0.64770	0.56384
	30	0.928	0.71472	0.69152	0.66440	0.63137	0.54943
	40	0.906	0.69777	0.67512	0.64865	0.61640	0.53641
II	10	0.956	0.73997	0.71452	0.69064	0.66025	0.63372
	20	0.910	0.70437	0.68014	0.65741	0.62848	0.60323
	30	0.868	0.67031	0.64726	0.62562	0.59809	0.57406
	40	0.816	0.63161	0.60989	0.58950	0.56356	0.54092
III	10	0.938	0.69340	0.67493	0.65041	0.62428	0.59265
	20	0.864	0.63870	0.62168	0.59910	0.57503	0.54590
	30	0.792	0.58547	0.56988	0.54918	0.52711	0.50041
	40	0.740	0.54703	0.53246	0.51312	0.49251	0.46755
IV	10	0.938	0.69987	0.65828	0.60462	0.54818	0.47752
	20	0.864	0.64447	0.60633	0.55692	0.50493	0.43985
	30	0.784	0.58480	0.55019	0.50538	0.45818	0.39912
	40	0.710	0.52980	0.49828	0.45768	0.41493	0.36145
V	10	0.896	0.66301	0.63068	0.59276	0.55880	0.51998
	20	0.790	0.58458	0.55607	0.52264	0.49269	0.45847
	30	0.680	0.50318	0.47864	0.44987	0.42409	0.39463
	40	0.576	0.42622	0.40544	0.38106	0.35923	0.33428

表 2-4d 燈源受塵衰燭係數 LDD

清洗週期：2 年

燈具受塵等級分類					
類型	非常清潔 10%	清潔 20%	普通 30%	污垢 40%	非常污垢
I	0.94053660	0.89177340	0.83604360	0.77000990	0.61532900
II	0.95054780	0.90076810	0.85490810	0.79778150	0.74906280
III	0.87955790	0.84181290	0.79270500	0.74162700	0.68155180
IV	0.89109640	0.80591190	0.70061880	0.59617860	0.47495930
V	0.89348430	0.83125150	0.76008860	0.69799850	0.62907730

表 2-6d 光損失係數 LLF

清洗週期：2 年

燈具 類型	污染 衰燭 期 望 百 分 比	室內 表面 受 塵 衰 燭 係 數 RSDD	燈絲流明衰燭係數 LDD=0.8				
			燈絲耐久係數 LBO=1.0				
			燈具受塵等級分類				
			非常清潔 10%	清潔 20%	普通 30%	污垢 40%	非常污垢
I	10	0.976	0.73437	0.69630	0.65278	0.60122	0.48045
	20	0.952	0.71631	0.67917	0.63873	0.58644	0.46863
	30	0.928	0.69825	0.66205	0.62068	0.57166	0.45682
	40	0.908	0.68170	0.64636	0.60596	0.55810	0.44599
II	10	0.956	0.72698	0.68891	0.65383	0.61014	0.57288
	20	0.910	0.69200	0.65576	0.62237	0.58079	0.54532
	30	0.866	0.65854	0.62405	0.59228	0.55270	0.51895
	40	0.816	0.62052	0.58802	0.55868	0.52079	0.48899
III	10	0.938	0.66002	0.63170	0.59485	0.55652	0.51144
	20	0.864	0.60795	0.58186	0.54792	0.51261	0.47109
	30	0.792	0.55729	0.53337	0.50226	0.46989	0.43183
	40	0.740	0.52070	0.49835	0.46928	0.43964	0.40348
IV	10	0.938	0.66868	0.60476	0.52574	0.44737	0.35641
	20	0.864	0.61593	0.55705	0.48427	0.41208	0.32829
	30	0.784	0.55890	0.50547	0.43943	0.37332	0.29789
	40	0.710	0.50614	0.45778	0.39795	0.33383	0.26978
V	10	0.896	0.64045	0.59584	0.54482	0.50037	0.45092
	20	0.790	0.56468	0.52535	0.48038	0.44114	0.39758
	30	0.680	0.48608	0.45220	0.41348	0.37911	0.34222
	40	0.576	0.41172	0.38304	0.35024	0.32164	0.28988

燈絲速率關係密切，倘若一發現損壞則立即更換，則圖 2-18a 則不具任何意義影響燈絲耐久係數，反之亦然。依據台灣地區對辦公室人工照明之調查顯示，平均損壞率約為 6%（註四五）。

上述四種可恢復光損失係數為一般照明設計計算考慮之光損失係數，本小節擬將此四項因子納入預測點之受照度計算，並以式（2-27）表示其總光損失係數（Total Light Loss Factor）

$$LLF = LDD \times RSD \times LLD \times LBO \text{ ----- (2-27)}$$

依據上式並針對不同之燈具型類，地區性之污染衰竭百分比，室內表面受塵衰竭係數（此項因子已將表 2-5 配合室區間比值以迴歸分析建立線性模型計算），配合燈具受塵等級分類計算可得到表 2-6，該表係直接以數值說明因照明器具清洗週期之不同所得到之光損失係數。

2-4 室區間比值(Room Cavity Ratio)

室區間比值是 IES設計的特殊比值，它的用途是幫助光損失係數中之室表面受塵衰竭係數（RSDD）的計算。室區間比值，簡稱 RCR，它的基本概念是將室空間區分成三主要部份，即天花區間比值，作業區間比值與樓地板區間比值，而 RCR 就是指作業區間比值，其計算式如下。

$$RCR = 5h \times (\text{室寬} + \text{室長}) / (\text{室寬} \times \text{室長}) \text{ ----- (2-28)}$$

以方形空間為例，室長寬和等於室長寬積之狀況，若其長寬各為 2 米，則 RCR = 10，當室面積愈大時，則 RCR 愈小，室面積為 16 米平方之空間而言，RCR 從 10 降為 5；若室空間形狀非為方形，則 RCR 比值會略有上升，事實上當空間之長寬比愈大時，則 RCR 愈大。但在實際

空間之應用上，則此類空間較不符合一般工作需求，故本文不多加討論。辦公空間面積小於16米平方之狀況可謂較少，而一般大樓辦公空間，若欲討論到人工照明系統設計，一般均大於16米平方之空間為多。

2-5 人工照明設備

2-5-1 燈源效能考慮 (Lamp Performance Considerations)

燈源效能考慮指的是燈源本身之製造設計方式與運作之關係。從燈源本身之電能輸入到運作之光能表達關係，此類燈源特性應由製造廠商以實驗統計之方式提出數據供使用者參考，下列五點為燈源效能之考量因子。

- A. 照明效率
- B. 燈管壽命
- C. 光輸出衰竭
- D. 光色能量分析
- E. 能量分佈

另有它項因子可能影響燈源效能，因影響過程較複雜且不具直接判斷依據本節不予討論，此類因子諸如長短波影響，電子頻振動影響，及水銀蒸氣溫差效應等。

A. 照明效率 (Luminous Efficacy)

照明效率指的是每瓦能量所提供的流明，其單位為 $\text{Lumen} / \text{Watt}$ 。日光燈之發光過程，從電能轉換成光能，中間經過動能，熱能，再以紫外線之方式放射，加上材料本身之吸收率，穿透率之損失，最後方以可見光之能量方式達到照明效應。在理想狀況下每瓦之能量與光譜

中之黃色光波之比值應為每瓦可產生 683 流明（註四六），但因能量轉換損耗，真正可提供的流明約為 75 流明，此類損耗與燈管之設計有著密切之關係，影響照明效率之因素有燈管截面面積，若截面積小則因陰離子撞擊燈表損耗能量比率大而照明效率降低，因此燈管截面積以直徑約為 3.8 公分左右較佳，另外燈管之長度亦會影響發光效率，長度愈長，效率愈高，此項因子可藉由勞瑞（Lowry 註四七）等人之實驗圖表得到，如圖 2-19 所示。

B. 燈管壽命 (Lamp Life)

燈管壽命和製造廠商有著密切之關係，但真正影響燈管壽命的則是安定器之設計，安定器本身提供燈管照明之穩定電壓，若因安定器之不佳而使電壓呈現不穩定狀態，致使極放射之電子量不均勻會使燈管使用時間短，通常製造廠商會提出燈管壽命資料，此項資料是依據每次使用三小時之方式測試的方式收集的數據，以統計之方式提出平均值，如圖 2-20 所示。

C. 光輸出衰竭

影響光輸出衰竭之最主要因子為燈管包被溫度，此點已於前節中論及，燈管運作時之包被溫度影響發光效能，若溫度過高或過低則衰竭程度大，如圖 2-21、2-22 所示；另外因使用空間之空調風速亦會改變燈管包被溫度，故亦間接影響輸出衰竭。

D. 光色能量分佈 (Chromaticity Power Distribution)

燈管之製造結構不同時，產生之可見光波亦不同，在選擇適當之光色表現空間同時，便需注意燈管之光色能量分佈，此項因子可提供設計者針對不同空間需求而決定燈管之選定，有關光色能量之分佈係

經過製造廠商對燈管之效能以光色分析法作效能分析提供使用者參考。光色分析法可參考IES 室內照明法規(註四八)。

E. 能量分佈 (Energy Distribution)

從電能到光能之轉換過程之能量損失，在這能量分配上之狀況謂之燈源能量分佈，一般而言，日光燈管之能量分序光能光佔了21%，而熱能卻佔了42%，紅外線約佔了37%。

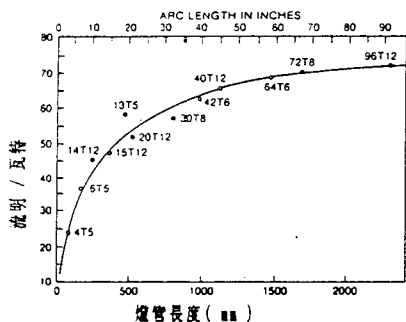


圖 2-19 燈管長度與發光效率

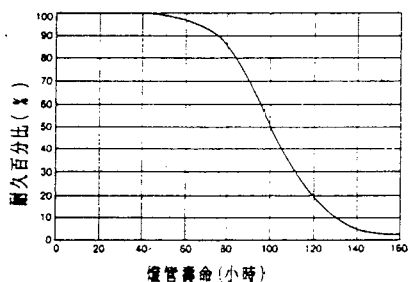


圖 2-20 燈管壽命與燈絲耐久百分比

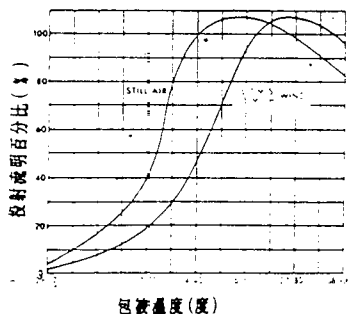


圖 2-21 包被溫度與投射流明百分比(日光燈)

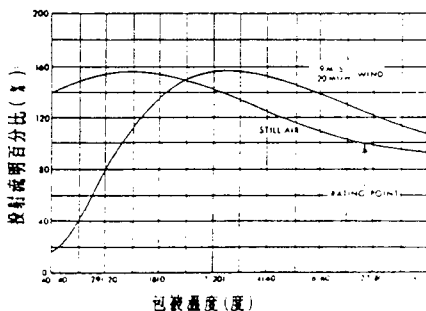


圖 2-22 包被溫度與投射流明百分比(水銀燈)

隨著人工照明之普及，對設計者而言，如何採用不同的照明器具去表達其設計目標是相當重要的。器具的選擇不僅只在達到光線“量”的滿足，更要考慮視覺環境之“質”的問題。諸如選擇無燈具之電燈泡，它所散發出來的光度能符合照明所需之量，但對於視覺舒適及空間視覺效果則無法充分滿足；因此設計者除了要考慮量之外，尚需充實對光源賦予控制及可改變的觀念，方能針對使用機能達到適當的視覺環境。

設計者依據其設計目標，同時對光線，空間，及視覺三者之間的關係加以評估，決定其照明分佈，方能對燈具型式及種類有所抉擇，而不是單一的只為彌補自然採光之不足而安排人工照明。為期表達設計之光影及空間效果，燈具及配合的照明系統知識是不可或缺的，本節即針對燈具之特性予以討論。

為達到設計之需求，燈具之設計依其所散發之光線方向及其分佈成下述六種：

A. 向上漫射分佈

如圖 2-23 所示，光線之方向為向上漫射，而燈具下方則無光線。此類燈具通常把天花部份視為光線照明主体或者視為光線反射主要面。上方漫射分佈燈具可用來強調獨特的結構及裝飾細部，它能提供均勻且光對比低的視覺環境，其原因為室內表材之間的相互反射為其光線傳遞的主要因素。此類系統的採用是為達到均勻且對比不大的視覺環境提供，若欲使地板面之照度高或者利用此類照明供應工作面之光線則並不恰當，除非能有效的提高燈具效率及發光量。

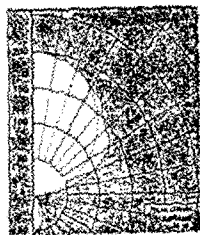
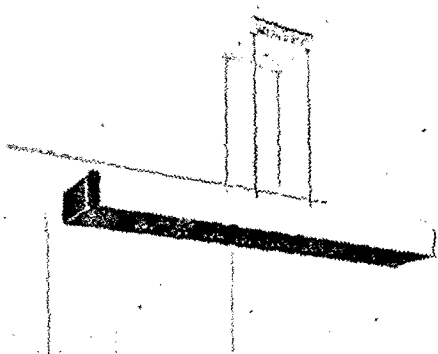


圖 2-23
向上漫射
分佈燈具

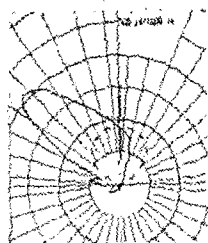
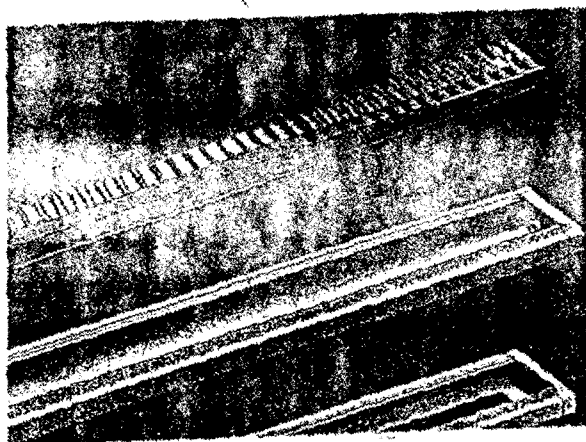


圖 2-24
向上集中
分佈燈具

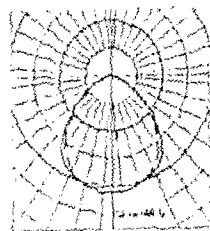
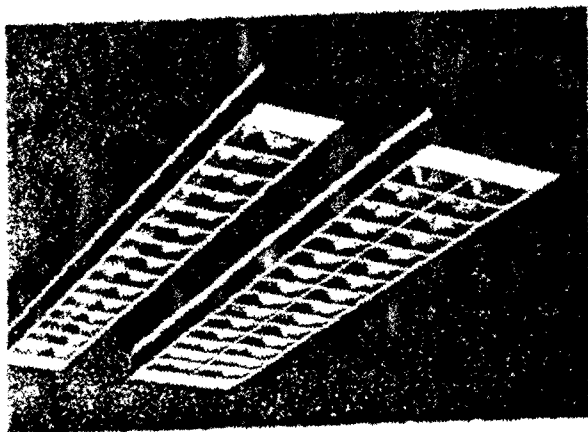


圖 2-25
向下漫射
分佈燈具

B. 向上集中分佈

如圖 2-24 所示，從燈具上部其方向性之光束投射，其照明效果為非均勻之亮度呈現。此類燈具適用於強調天花之結構或裝飾，而以高對比呈現；光線之傳遞不採室內壁材相互反射，而是以天花板材料為主要反射面，隨著燈具離天花之距離可產生不同之光線效果；亦可藉著燈具之數量調整，使光束之投射呈重疊或分散製造照明環境。

C. 向下漫射分佈

如圖 2-25 所示，利用燈具本身之反射板將光線向下且呈大角度之漫射投出。因此在照明效果上增加了室內壁面或垂直面之照度，而減少光度集中於某一區域之特性；同樣的，因燈具為向下投射光線，天花板部份無法直接接受光線，其照度只依賴於室內壁材之重覆反射，故呈相對性低的明亮度。此類燈具之整體照明效果端視於材料之反射係數及燈具數量與位置。

D. 向下集中分佈

如圖 2-26 所示，此類燈具和“B”為類似，其光束呈集中且具方向性之投射。使用向下集中分佈之燈具通常為達到強調某一特定垂直或水平區域之重要性，諸如畫展，雕塑展或珠寶展示之光環境，亦有針對精細工作之作業面裝置此型燈具。

E. 上下集中分佈

如圖 2-27 所示，此類燈具因向上及向下之光束呈方向性之投射，會產生非均勻性之光影效果。向上投射之光束經由天花板材料反射後雖可降低室內之光對比程度，但因向下光束呈集中方向性之投射，故

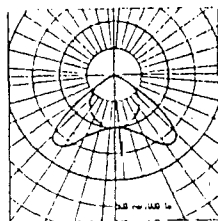
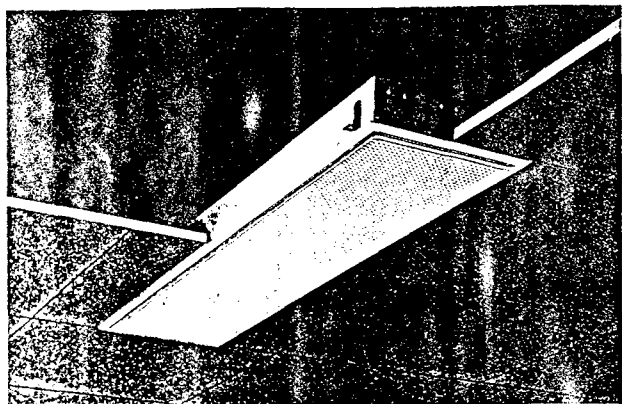


圖 2-26
向下集中
分佈燈具

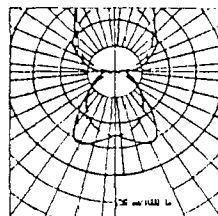
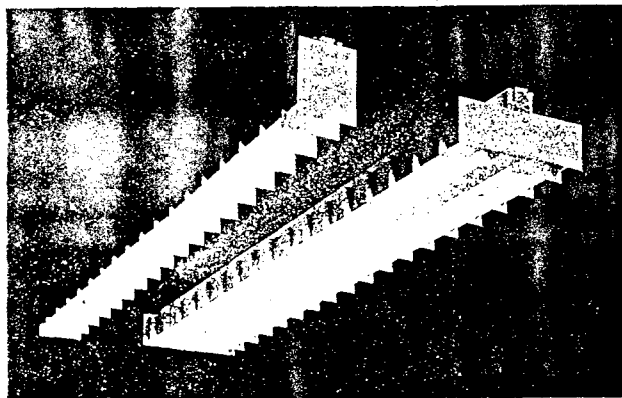


圖 2-27
上下集中
分佈燈具

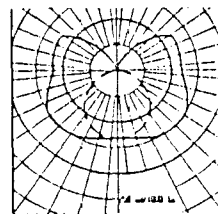
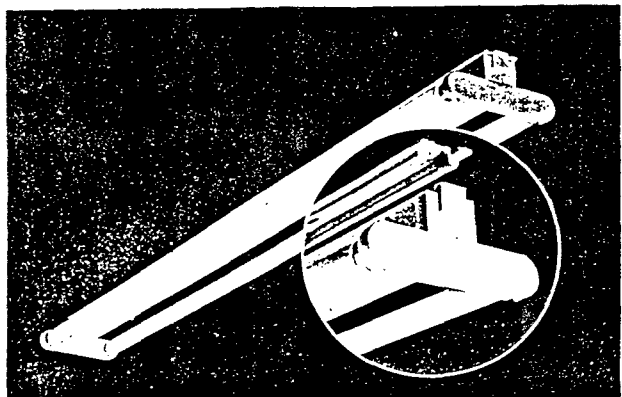


圖 2-28
上下漫射
分佈燈具

明亮與陰影之對比性仍然存在，兩種方向同時投射可製造一強調性之明亮區域而又不因對比值過高而造成視覺敏銳度之困難。

F. 向下漫射分佈燈具

如圖 2-28 所示，此型燈具在設計上利用各種角度之反射片將燈泡散發之光束以漫射之形式向四面八方投射，所製造之光效果易使空間下半部成均勻光度之分配，相對的降低光對比之程度，提供一照度平均之視覺環境，降低室內陰暗之角落或明顯呈現陰影之面積。

除了上述六種基本的照明器具功能分類外，事實上，隨著照明工業的發展與建築物之需求，此六種光線投射型態亦可互相混合呈多元性之變化，如圖 2-29 所示，因此設計者若欲全然了解燈具之特性，則需對燈具生產公司所提供的光度測定報表 (Photometrics Candlepower Distribution) 先行了解。

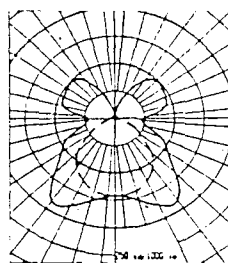
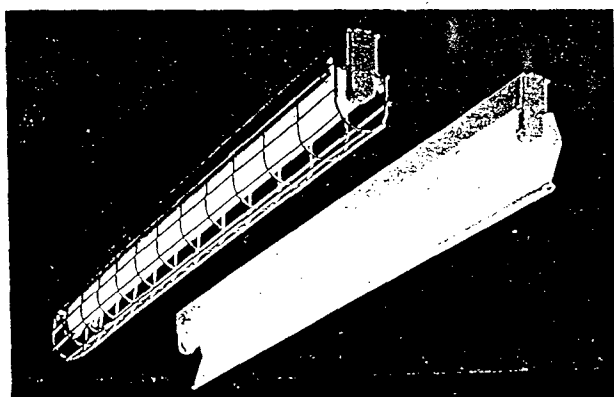


圖 2-29
混合投射
分佈燈具

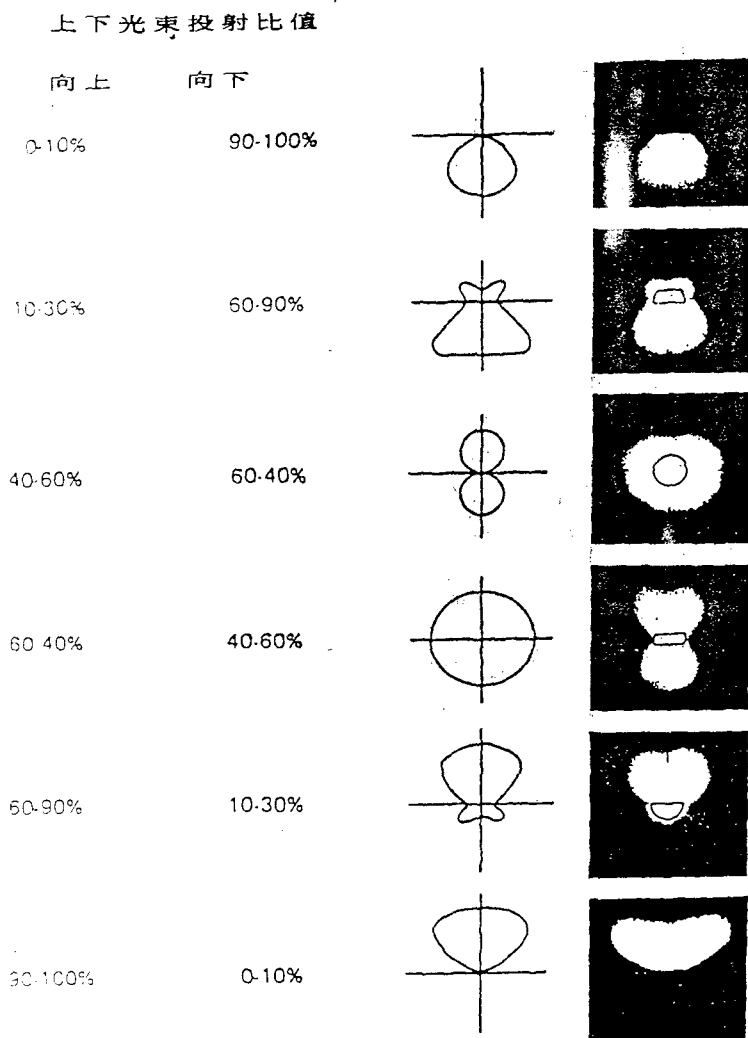
另外就國際照明學會與北美照明學會，共同製訂了一燈具分類系統，此系統係根據發光源與燈具組合後之發光效果分類，按發光向上及向下之光配曲線 (Candlepower Distribution Curve) 分成六種型式 (註四九)，分述於後：

- a. 直接型 (Direct)
- b. 半直接型 (Semi-Direct)
- c. 直接-----間接型 (Direct -Indirect)
- d. 全漫射型 (General Diffuse)
- e. 半間接型 (Semi-Indirect)
- f. 間接型 (Indirect)

上述六型之發光向上及向下之配比分類關係可由圖 2-30 中得到，值得注意的是“直接---間接型”之燈具系統並未被 CIE 所承認，而是被 IES 所接受的型式。一般而言，IES 與 CIE 的分類較被照明工程師所接受。

2-5-3 光度測定法分析 (Photometric Analysis)

好的照明設計需針對設計場所對光需求之“質”與“量”同時考慮，再配合正確的照明器具選擇方能達成。因此，當選擇照明器具時，燈與燈具之特性了解是必要的。光度測定法 (Photometric) 就是以照明器具之運作性能觀點分析發光體之各種特性，進而達到輔助照明設計者在設計過程中所需之照明器具了解度。一般而言，每種型式之燈具設計都是針對使用功能之特定需求，配合實際運作環境之條件加以設計，因此不同的燈具配上相同的發光體 (燈泡或燈管) 會有不同的運作特性，所塑造之照明空間氣氛亦不同。反之，相同之燈具配上不同之發光體亦然。因此，對發光體之運作效能與各型燈具之配合之了解在照明設計中是非常重要的，各燈具製造廠對其產品 (燈具與發光體) 所



■ 2-30 IES與CIE燈具分類

提供的基本資料是必需的。北美照明工程師協會曾將測試實驗範圍訂出，此類測試之技術資料係針對室內照明系統而言，其範圍涵蓋如後：

- A. 燈具之認定及描述
- B. 發光能力分佈曲線
- C. 發光能力敘述摘要
- D. 區域光通量及其百分比值
- E. 照明器具發光效率
- F. 燈具分類
- G. 遮蔽保護角度
- H. 間距準則比值
- I. 使用係數

A. 燈具之認定及描述 (Luminaire Identification And
General Description)

此項範圍所提供正如標題所示，它所涵蓋的範圍有：

- a. 燈具之製造廠商與燈具之型號。
- b. 燈具本身之結構，使用材料，與各細部之詳細尺寸，通常以燈具之剖面圖示之。
- c. 配合燈具之燈管及燈管數目，以及燈管本身之消耗功率，發光效率，色光型式。
- d. 燈具之啟動方式與安定器 (Ballast) 之數目

上述之燈具認定及描述可由表 2-7 中之 A 部份得到。

B. 發光能力分佈曲線 (Candlepower Distribution Curve)

發光能力分佈曲線指的是該燈具之發光強度以極座標系統 (Polar

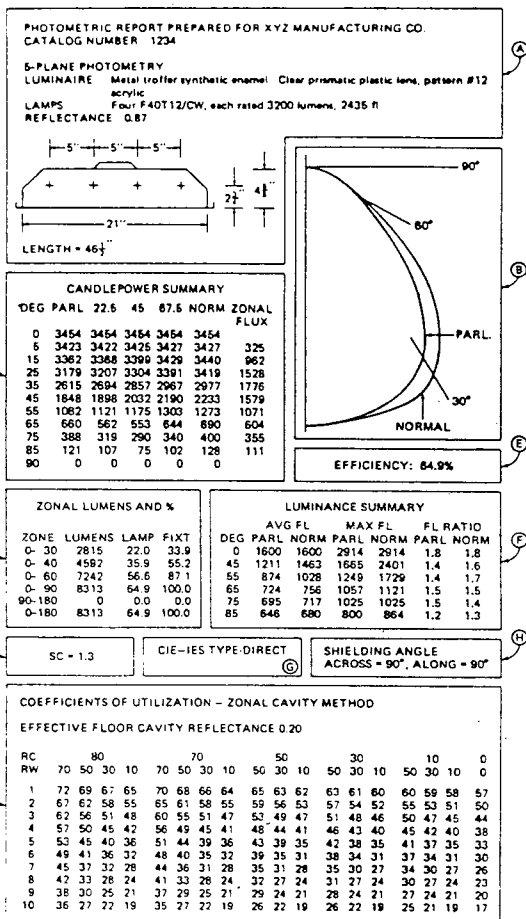


表 2-7 光度測定法分析資料

Coordinate System) 的圖解說明。此種曲線亦有被稱為光強度分佈曲線 (Luminous Intensity Distribution Curve)。曲線的分佈是將燈具置於假想的半球球心，根據光強度平方反比定律量測等距離條件下不同角度方向的受光強度繪製而成。此種方法只適用於測試點光源之燈具，諸如燈泡或者圓形燈管之日光燈。表 2-7 中之 B 部份則為發光能力分佈曲線圖。

C. 發光能力敘述摘要 (Candlepower Summary)

此項摘要係指將發光能力分佈曲線依據不同角度之投射表達，並依據各極曲線之軸斷面分佈敘述投射角度差異對光通量之影響。表 2-7 中之 C 部份即為發光能力之敘述摘要。C 中之第一列是以角度界定發光能力之差異，第 2 至 6 列則是以 22.5 度之間隔度之間隔分別表示軸斷面極曲線之發光強度，此部份已於前節中論及，本節不再重述。C 表中之第 7 列則是說明照明器具投射角度所造成之光通量差異，如圖 2-31 所示。先將燈源置於一假想之球體中心，再以三角及面積之關係求得光通量因投射角度之變化而產生之差異度，即是圖 2-31 中之陰

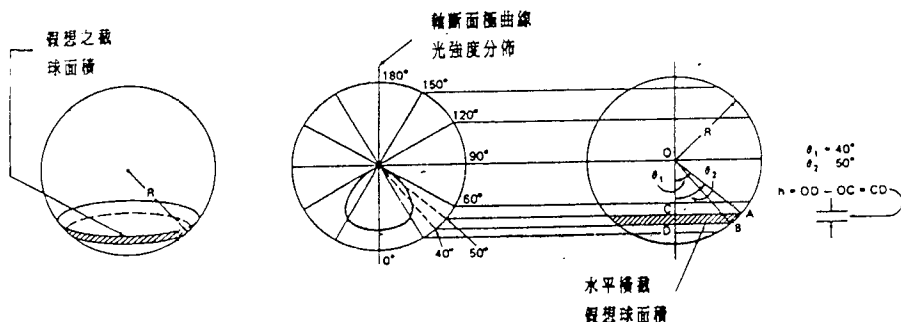


圖 2-31 投射角度與光通量之關係

影涵蓋部份，其數學關係可由下式表達，

$$\text{區域光通量差異} = \text{斷面角度之平均光通量} * 2\pi (R \cos \theta_1 - R \cos \theta_2)$$

上式中之區域光通量，差異即為表 2-7 之 C 部份第 7 列所示；而 θ_1 與 θ_2 分別表示二不同投射角度之上下差異 R 為假想球體之半徑；斷面角度之平均光通量則表示截面角度之不同橫斷面之光通量投射平均值，其值可由下式求得，

$$8CP(\text{平均}) = CP(0^\circ) + 2CP(22.5^\circ) + 2CP(45^\circ) + 2CP(67.5^\circ) + CP(90^\circ)$$

若照明器具非為單向之光線投射(如上下集中投射型式)，則必須將 0 至 90 度之橫斷面擴大至 180 度討論。

D. 區域光通量及其百分比值 (Zonal Lumens And Percentage)

區域光通量及其百分比值是依照明設計之投射角度考慮，將燈具所提供之光通量按照不同角度區間分別表達，並將此區間之光通量值與無燈具存在之燈源散射光通量以百分比表示，同時亦將各角度分區之光通量與無燈具情形下之總光通量比較。一般說來，角度區間係依據直射光區域(90至180度)大致區分，表 2-7 之 D 部份中第一列為角度區間，第二列為各角度區間之光通量之比值，第四列則是角度區間光通量和該型燈具之總光通量之比值。此類資料之提供除了可說明該型燈具散射光束之型式外，並可詳細的說明其散射光束與投射角度之直接關係。

E. 照明器具發光效率 (Luminaire Efficiency)

照明器具發光效率指的是照明器具之散射總光通量與無器具存在燈源散射之總光通量比值。表 2-7 之 E 部份即為照明器具發光效率，此類只提供器具設計本身對發光效率之關係，並未提供該型器具之發光投射角度與光通量之關係，對設計者而言，則是依據同類型式之需求而選擇較高效率之燈具。

F. 燈具分類 (Luminaire Classification)

燈具分類已於前節中論及，亦可由圖 2-30 中明白 IES 與 CIE 之分類依據，任何燈具部可經由測試依據發光能力分佈曲線，及區域光通量及其百分比值而分類，表 2-7 之 G 部份即為燈具分類。(註四九)

G. 遮蔽保護角度 (Shielding Angle)

燈具設計之燈管部份雖然經過鍍膜處理 (Coating)，但若直接與人眼視線接觸，亦會因過強之亮度而使視覺器官不舒適，因此遮蔽保護角度資料的提供是給設計者了解空間機能之需求配合適當之燈具，避免視覺之不舒適。遮蔽保護角度是以燈具下方邊緣之水平線，與燈具下方邊緣和燈管下方之連線的夾角，因此角度愈大，愈不易使視覺器官直接看到燈源，若為照度均勻之需求，則可在燈具下方以格子狀之反射板或散射板設計，如此，更加大了遮蔽保護角度。

H. 間距準則比值 (Spacing Criterion) (註五十)

間距準則比值指的是兩燈源之間之距離與燈具到工作面距離之比值。此類資料之提供係根據使用空間均勻照度之要求而提出，為了使空間之光線均勻，而燈具按裝之數量亦希望能被設計者所控制，間距準

則比值則是針對該型燈具設計之數量的最大限制，亦即燈具之距離與燈具到工作面之距離比值大於該型燈具之間距準則比值則無法達到照度均勻效果，從上可知當燈具能呈漫射之型式投射光通量，則其間距準則比值大，反之則小，表 2-7 之 I 部份即為間距準則比值。

I. 使用係數 (Coefficient of Utilization)

前小節中提供了照明器具發光效率，事實上器具之發光效率只提供了發光之總量因燈具存在所達到的利用效率，它並無法直接表達在使用中之能源效率觀念，而使用係數則是配合能源消耗觀念提供更佳的發光使用效率，使用係數之計算可從兩方面討論，一為光線直接從燈源投射到工作面之光束利用比值，另一則是因室空間大小及室內天花與牆壁材料反射係數不同所造成的相互反射到達工作業面之光束利用比值，因此討論使用係數除了涵蓋燈具本身之發光能力分佈曲線之外，亦應將室空間之大小與材料之反射係數納入考慮。

有關室空間大小與使用係數之關係則必須藉著室區間比值觀念申述(註五一)。此部份已於 2-4 小節論及，而材料之反射係數則可按照天花與壁材之反射係數關係製成表格，如表 2-7 之 J 部份所示，所配合室區域比值及發光能力敘述摘要之關係製定使用係數表。

綜上所述，任何燈具都應在了解其特性後才能被設計者充分掌握，其效率方能配合設計目標及其需求予以發揮，達到視覺上質與量之效果，而又能符合能源效率，因此，設計者必需先掌握上述之資料，方能依照明要求選擇適當之照明器具。

参考文献：

- 註一. Bryan, H., Clear, R., Rosen, J., and Selkowitz, S., "Quicklite I: New Procedure for Daylighting Design," Solar Age, pp.37-47, August 1981
- 註二. Gillette, G., and Kusuda, T., "A Daylighting Computation Procedure for Use in DOE-2 and Other Dynamic Building Energy Analysis Program," Journal of IES, pp.78-85, January 1983
- 註三. U.S. Department of Energy, "DOE-2 Users Guide: Vol. 1, Lawrence Berkeley Laboratory, Berkeley, Cal., February 15, 1979
- 註四. Hittle, D., "The Building Loads Analysis and System Thermo-Dynamics (BLAST) Program, Version 2.0 Users Manual, Vol. 1 and Vol.2, Technical Report E-153/ADA 072272 and ADA 722730, U.S. Army Construction Engineering Research Laboratory, June 1979
- 註五. Kusuda, T., "NBSLD: The Computer Program for Heating and Cooling Loads in Buildings," NBS Building Science Series 69, National Bureau of Standards, Washington, D.C., 1976
- 註六. Bryan, H.J., and Krinkel, D.L., "Micorlite I: A Microcomputer Program for Daylighting Design," Department of Architecture, MIT, 1982
- 註七. Lighting Design Practice Committee of the IES, "General Procedure for Calculating Maintained Illumination," Illum. Eng. Vol.65, p.602, October, 1970
- 註八. "IES Lighting Handbook," 1981 Reference Volume, Illuminating Engineering Society, New York, 1981
- 註九. Le Vere, R. C., Levin, R. E., and Primrose, W., "Spacing Criteria for Interior Luminaires--the Practice and Pitfalls," J. Illum. Eng. Soc., Vol.3, p.41, October, 1973
- 註十. Jones, B.F., "Zonal-Cavity---A Three-Level Approach," Illum. Eng., Vol. 64, p.149, March, 1969
- 註十一. Clark, F., "Light Loss Factors in the Design Process," Illum. Eng., Vol. 63, p.515, November, 1968
- 註十二. Levin, R.E., "Luminance---A Tutorial Paper," J. of the SMPLE, Vol. 77, p.1005, October, 1968
- 註十三. O'Brien, P.F., "Numerical Analysis for Lighting Design," Illum. Eng., Vol. LX, p. 169, April, 1965
- 註十四. Design Practice Committee of the IES, "Zonal-Cavity Method of Calculating and Using Coefficients of Utilization," Illum. Eng., Vol. LIX, p.309, May, 1964
- 註十五. Design Practice Committee of the IES, "Calculation of Luminance Coefficients Based Upon the Zonal-Cavity Methods," Illum. Eng., Vol.63, P.423, August, 1963
- 註十六. CIE Committee TC-1.5, "Calculations of Interior Lighting---Basic Method," CIE Publication No.40, 1978
- 註十七. Lighting Design Practice Committee of the IES, "Zonal-Cavity Method of Calculating and Using Coefficients of Utilization," Illum. Eng., Vol. LIX, p.309, May, 1964
- 註十八. Lighting Design Practice Committee of the IES, "The Determination of Illumination at a Point in Interior Spaces," Illum. Eng. Soc., Vol.3, p.170, January, 1974
- 註十九. Egna, D., "Concepts in Architectural Lighting," McGraw-Hill Book Company, New York, N.Y., p.81, 1981

- 註二十. Levin, R.E., "Revision of the S/MH Concept," Light Des. Appl., Vol.7, p.22, August, 1977
- 註二一. "IES Lighting Handbook," 1981 Reference Volume, Illu., Eng. Soc., New York, pp. 9-49-51, 1981
- 註二二. Jones, J.R., LeVere, R.C., Ivanicki, N., and Chesebrough, P., "Angular Coordinate System for Computing Illumination at a Point," Illum. Eng., Vol. LXIV, Section I, p.296, April, 1969
- 註二三. 同註十九.
- 註二四. "The Calculation of Direct Illumination from Linear Sources," IES(London) Technical Report No.11, The Illuminating Engineering Society, York House, Westminster Bridge Road, London S.E. 1, England
- 註二五. 同註二一.
- 註二六. Chou, C.P., "A Mathematical Model of Building Daylighting Based on First Principles of Astrometry, Solid Geometry and Optical Radiation Transfer," Ph.D. Dissertation, VPI&SU, Blacksburg, Virginia, Chapter III & IV, 1987
- 註二七. Siegel, R., and Howell, J.R., "Thermal Radiation Heat Transfer," Hemisphere Publishing Corporation, McGraw-Hill Book Company, New York, N.Y., p.175, 1981
- 註二八. Hottel, H.C., and Sarofim, A.F., "Radiative Transfer," McGraw-Hill Book Company, New York, N.Y., 1967
- 註二九. Spencer, D.E., "Exact and Approximate Formulae for Illumination from Troffers," Illum. Eng., Vol. XXVII, p.596, November, 1942
- 註三十. 同註十三.
- 註三一. 同註二一.
- 註三二. Egan, David, "Concepts In Arcuitectural Lighting", McGraw-Hill Book Company, New York, N.Y., 1983, P.81
- 註三三. Griffith, J.W., Arner, W.G., And Conover, E.W., "A Modified Lumen Method", Illuminating Engineering, March, 1955.
- 註三四. Lighting Design Practice Committee of IES: "The Determination of Illumination at A Point in Interior Space", J.IES, Vol.3, P130, January, 1974.
- 註三五. Jones, J.R., Le Vere, R.C., Ivanicki, N., And Chesebrough, P., "Angular Coordinate System for Computing Illumination at A Point", Illum. Engt., Vol. LSIV, Section I, P.296, April, 1969
- 註三六. "The Calculation of Direct Illumination from linear Sources", IES (London) Technical Reprot No.11, IES, York House, London, Engl and, 1968
- 註三七. Chou, C.P., "A Mathematical Model of Building Daylighting Based on First Principles of Astrometry, Solid Geometry and Optical Radiation Transfer", Dissertation, VPI&SU, 1987
- 註三八. IES Lighting Hand book, 1981 Appucation Volumn, P.1-12-15, IES 1981.
- 註三九. Hottel, H.C., And Sarofim, A.F., "Radiative Transfer", McGraw-Hill Book Company, New York, NY., 1967
- 註四十. IES, "Intenion Lighting", IES(London), P.64-87, February 1977
- 註四一. IES, Lighting Hand Book, 1981 Reference Volume, P.9-3-5, IES 1981
- 註四二. Ibid, P.9-5
- 註四三. Ibid, P.9-6

- 註四四. General Electric Company, Ballasts for High Intensity Discharge Lamps, Rating and Data, Gea-8928c, December 1977
- 註四五. 周鼎金, 台灣地區辦公建築採光照明節約能源之研究, 經濟部能源委員會, 1987, P.70
- 註四六. IES Reference Volume, 1981, IES, p.8-25
- 註四七. Lowry, E.F., Frohock, W.S., and Meyers, G.A., "Some Fluorescent Lamp Parameters and their effect on Lamp Performances," Illum. Eng., Vol XLI, p.859
- 註四八. IES Interior Lighting, IES, London, 1977
- 註四九. IES, Design Practice Committee, "Classification of Interior Luminaires by Distribution: Luminaire Spacing Criteria", Lighting Design & Application, August 1977, pp.20-21
- 註五十. Le Vere, Richard C., Levin, Robert E., and Primrose, William C., "Spacing Criteria for Interior Luminaire --- The Practice and Pitfalls," Journal of the IES, October 1973, pp.41-49
- 註五一. Lewin, Robert E., "Revision of S/MH Concept," Lighting Design & Application, August 1977, pp.22-25

第二篇 光環境

第一章 自然採光

1-1	概說及名詞解說	1
1-1-1	概說	1
1-1-2	名詞解說	2
1-2	晝光	6
1-2-1	自然光源 --- 太陽	6
1-2-2	全天空漫射晝光	8
1-2-3	反射光	9
1-2-4	地表	11
1-2-5	晝光之眩光	11
1-3	漫射晝光可及性	12
1-3-1	概說	12
1-3-2	天空狀況分類	13
1-3-3	漫射晝光可及性模型分析	14
1-4	自然採光設計計算	22
1-4-1	概說	22
1-4-2	流明法	23
1-4-3	晝光係數法	29

第二章 人工照明

2-1	概說	37
2-2	照明計算	37
2-2-1	流明法	38
2-2-2	平均光度法	39
2-2-3	基本通量傳遞法	40

2-2-4	點計算法	41
2-2-5	角座座標法	42
2-2-6	方向係數法	42
2-2-7	光輻射法	43
2-2-8	其他計算理論	44
2	照明理論計算	44
2-1	概說	44
2-1-2	長條形光源強度分佈	45
2-1-3	方向係數與光輻射法	51
2-2-4	工作業面之照度	63
2-3-5	光損失係數	65
2-4	室區間比值	76
2-5	人工照明設備	77
2-5-1	燈源效能考慮	77
2-5-2	照明器具模式	80
2-5-3	光度測定法分析	85

圖目錄

圖 1-1	光度幾何示意圖	3
圖 1-2	照度幾何示意圖	3
圖 1-3	平方反比定律與餘弦定律	3
圖 1-4	眩光現象	3
圖 1-5	可見度與照度之對比關係	3
圖 1-6	鏡面反射	3
圖 1-7	太陽高度角、方位角	10
圖 1-8	太陽高度角與地表水平面照度關係	10
圖 1-9	太陽高度角與地表垂直面照度關係	10
圖 1-10	晴天之全天空漫射晝光	10
圖 1-11	半陰天之全天空漫射晝光	10
圖 1-12	陰天之全天空漫射晝光	10
圖 1-13	鄰棟建築之反射光	10
圖 1-14	地表反射現象	10
圖 1-15	防止眩光設置	16
圖 1-16	晴天之漫射晝光可及性模型比較	16
圖 1-17	半陰天之漫射晝光可及性模型比較	16
圖 1-18	陰天之漫射晝光可及性模型比較	16
圖 1-19a	陰天漫射晝光	16
圖 1-19b	晴天漫射晝光(夏季)	16
圖 1-19c	晴天漫射晝光(春、秋季)	24
圖 1-19d	晴天漫射晝光(冬季)	24
圖 1-20	直射晝光	24
圖 1-21	流明法室內預測點位置	24
圖 1-22	計算點高度等於窗檯高度之晝光係數	24
圖 1-23	計算點高度高於窗檯高度之晝光係數	24
圖 1-24	計算點高度未正對窗寬中心點之晝光係數	30

圖 1-25	計算點位置偏離窗戶寬度之晝光係數	-----30
圖 1-26	計算點低於窗檯高且未正對窗寬中心點之晝光係數	-----30
圖 1-27	計算點低於窗檯高且偏離窗戶寬度之晝光係數	-----30
圖 1-28	外部空間建築物遮蔽窗戶之晝光係數	-----30
圖 2-1	線性光源之光強度分佈示意圖	-----46
圖 2-2	軸斷面，橫斷面之極曲線光強度分佈	-----46
圖 2-3	燈具型類之標準軸斷面	-----48
圖 2-4	軸斷面角度與發光強度比值關係	-----48
圖 2-5	軸斷面角度與發光強度比值關係(標準型與範例比較)	---50
圖 2-6	計算點，燈源位置之方向角度示意	-----50
圖 2-7	計算點之平面與燈軸平行且在燈源邊緣垂直面上	-----50
圖 2-8	方向角度與方向係數關係(計算點之平面與燈軸平行)	---53
圖 2-9	方向角度與方向係數關係(計算點之平面與燈軸垂直)	---54
圖 2-10	計算點之平面與燈軸平行且在燈軸邊緣垂直面外側	-----58
圖 2-11	計算點之平面與燈軸平行且在燈軸邊緣垂直面內側	-----58
圖 2-12	計算點之平面與燈軸平行且為連續長形燈源之狀況	-----58
圖 2-13	計算點之平面與燈軸垂直之狀況	-----61
圖 2-14	空間中任意兩之光輻射解析	-----61
圖 2-15	室內垂直，水平兩面之光輻射相互反射解析	-----61
圖 2-16	燈源包被溫度，相對發光效率之關係	-----66
圖 2-17	燈具受塵衰竭係數(型式 I)	-----59
圖 2-17	燈具受塵衰竭係數(型式 II)	-----59
圖 2-17	燈具受塵衰竭係數(型式 III)	-----59
圖 2-17	燈具受塵衰竭係數(型式 IV)	-----59
圖 2-17	燈具受塵衰竭係數(型式 V)	-----59
圖 2-17	燈具受塵衰竭係數(型式 VI)	-----59
圖 2-18	課室耐久係數(a)與標準燈流明(b)	-----71
圖 2-19	燈管長度與發光效率	-----79
圖 2-20	燈管壽命與燈管耐久百分比	-----79

圖 2-21 包被溫度與投射流明

圖 2-22 包被溫度與投射約明

圖 2-23 向上漫射分佈燈具

圖 2-24 向上集中分佈燈具

圖 2-25 向下漫射分佈燈具

圖 2-26 向下集中分佈燈具

圖 2-27 向下集中分佈燈具

圖 2-28 上下漫射分佈燈具

圖 2-29 混合投射分佈燈具

圖 2-30 IES與CIE燈具分類

圖 2-31 投射角度與光通量之

表目 錄

表 1-1	日照係數	-----20
表 1-2	辦公室空間照明規範	-----20
表 1-3	工廠空間照明規範	-----21
表 1-4a	陰天漫射光使用係數(無任何遮陽裝置; 室天花反射率 80% ;室地板反射率 30%)	-----26
表 1-4b	晴天漫射光使用係數(無任何遮陽裝置; 室天花反射率 80% ;室地板反射率 30%)	-----26
表 1-4c	室外均勻地表漫射光使用係數(無漫射性遮陽裝置; 室天花反射率 80% ;室地板反射率 30%)	-----26
表 1-4d	均勻天空漫射光使用係數(無漫射性遮陽裝置; 室天花反射率 80% ;室地板反射率 30%)	-----26
表 1-4e	天空直射光使用係數(角度調節百葉窗; 室天花反射率 80% ;室地板反射率 30%)	-----27
表 1-5	平均光損失係數(清玻璃)	-----27
表 1-6	遮陽修正係數	-----27
表 1-7	天窗使用係數	-----31
表 1-8	陰天天空日照係數表	-----31
表 1-9	室外建築物遮蔽角度係數	-----33
表 1-10	室內反射晝光係數之下限值	-----33
表 1-11	室內反射晝光係數之平均值	-----33
表 2-1	計算點之平面與燈軸平行之方向係數數學模型	-----53
表 2-2	計算點之平面與燈軸垂直之方向係數數學模型	-----54
表 2-3	室表受塵衰竭係數	-----66
表 2-4a	燈原受塵衰竭係數(清洗週期: 3 個月)	-----72
表 2-4b	燈原受塵衰竭係數(清洗週期: 6 個月)	-----73
表 2-4c	燈原受塵衰竭係數(清洗週期: 1 年)	-----74

表 2-4d 燈源受塵衰竭係數(清洗週期：2 年)	75
表 2-5 室表受塵衰竭係數	66
表 2-6a 光損失係數(清洗週期：3個月)	72
表 2-6b 光損失係數(清洗週期：6個月)	73
表 2-6c 光損失係數(清洗週期：1年)	74
表 2-6d 光損失係數(清洗週期：2年)	75
表 2-7 光度測定法分析資料	88