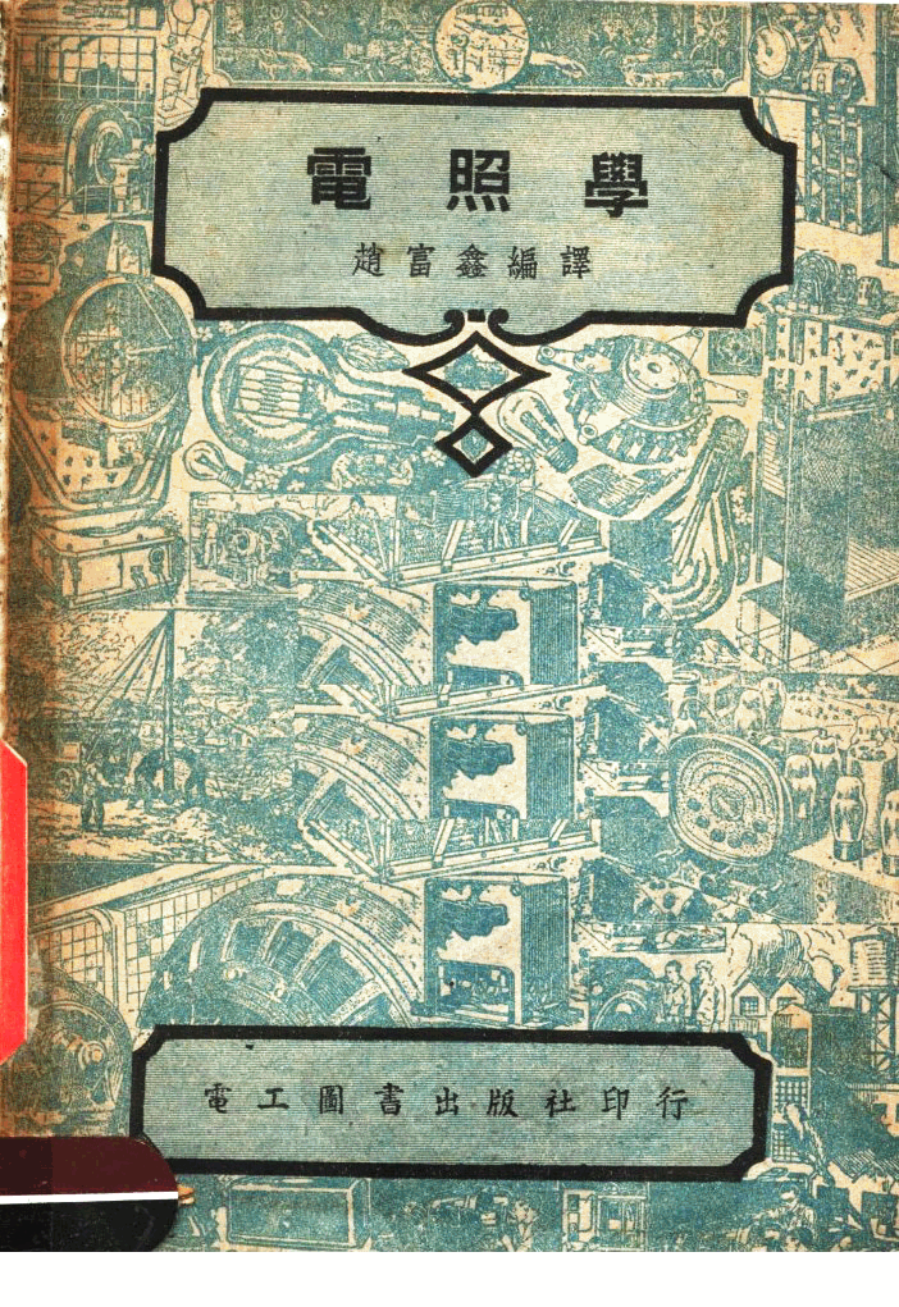




學 照 電

趙富鑫編譯

行 印 社 版 出 書 圖 工 電

凡 例

- (一)本叢書編譯之目的，係爲訓練電機工程事業各項中級工程師及高級技工之用；職業學校，函授學校等採作課本，最爲適合；即爲有志自修者，亦極合用；而大學生備作參考，以補大學教本略於實用之不足，裨益亦非淺鮮。
- (二)本叢書係用美國國際函授學校 (International Correspondence School)所編之教本爲依據，延聘專家，從事編譯；原書優點爲(1)注重實用，(2)說理淺顯；(3)插圖豐富詳明，尤以插圖多經精心繪製，與正文相得益彰，最爲特色。
- (三)本叢書一面採用國外已見成效之書籍爲藍本，一面力求適合國情，盡量加入國內已有之材料及法規，庶免隔閡之弊。
- (四)本叢書對於原書之優點，力爲發揮，惟原書若有舛誤或欠妥，亦不事盲從，而惟求其至是，不憚加以修正，以免遺誤。
- (五)本叢書側重中級電工教育，對於高深精確之理論，大都從略，間有必須牽涉之處，亦祇能取譬於日常切近之事物，出以通俗近似之陳述，精確之度難免犧牲，讀者諒之。
- (六)本叢書中所用各項單位，均取國際制，凡原書用英美制之處，則加註國際制之當量值。

- (七)本叢書在原則上遵用教育部頒之名詞。凡名詞若爲部頒所無者，或部頒名詞在實用上有窒礙者，則有編輯會議商定之。
- (八)本叢書各冊名詞力求統一，惟卷帙甚繁，編輯部同人校訂難免疏漏，所望讀者發現矛盾或不一致之處，惠予指正，以期再版時收統一之效。
- (九)本叢書中重要名詞後均附註英文名詞，並於每冊後附英漢對照名詞彙。
- (十)本叢書爲普及起見，用語體文撰述。
- (十一)本叢書第一集共二十三冊，電工各門大致俱備，其他門類，如電信等，擬陸續另出第二集補成之。
- (十二)本叢書編輯同人均以業餘之暇從事撰述，疏誤在所難免，所望海內方家，不吝見教，俾於再版時得以更正，不獨同人個人之幸，亦中國電工教育之幸也。

譯 者 序

電燈之使用於供給光照，始於十九世紀後半。當時碳極弧燈於歐美各國，即已使用頗廣，尤以路燈爲多。迨愛迪生發生白熾燈，因構造簡單，使用便利，發展極爲迅速。至於今日，雖窮鄉僻壤，亦大都有電燈之裝置。並進而使用各種氣導弧燈，以供特種之需要。然歷來從事裝置光照設備者，非特對於光照設計之理論，每多不事研究；即對於各種電燈之構造，及其適合之用途，亦大都茫然。是以所裝置之光照設備，每多草率從事，用非其長；甚至以爲裝置電燈，祇須使室內光明即已足，不必再考慮其他因素。此種光照設備，對於人之視覺，往往引起不良之影響。此種情形，在我國爲尤甚。是書爲美國通用電器公司(General Electric Co.) 電燈部光照工程師 Weitz 所著，對於光照原理，光源構造，度光測定，及光照設計，均有相當詳細之敘述。雖立論頗爲淺易，然關於普通要點，詳列無遺，且所舉實例頗多；足爲一般從事裝置光照設備工程人員之指南。對於普通鎢絲燈之製造，亦敘述頗詳，可供燈泡製造廠之參考。原書對於螢光燈未述及，特由譯者採取美國通用電器公司所頒小冊中之材料擇要加入。書中謬誤之處，在所不免，尙祈海內專家指正。

中華民國三十四年一月 趙富鑫

目 錄

第一章 光照的淺近原理 1

1.1. 光的本性 1.2. 光源發光的原理 1.3. 光的反射, 折射, 和漫射 1.4. 視覺的過程 1.5. 顏色和亮度 1.6. 物體亮度對於其視見可能的關係 1.7. 發光強度 1.8. 光通量 1.9. 光照度 1.10. 亮度 1.11. 反平方比定律

第二章 白熾電燈 12

2.1. 電照光源的種類 2.2. 白熾燈的概論 2.3. 燈泡的壽命 2.4. 燈泡的發光效率 2.5. 鎢絲的製造 2.6. 真空式和充氣式燈泡 2.7. 燈泡的變黑 2.8. 燈泡內能量的分配 2.9. 螺旋形燈絲 2.10. 燈絲的大小 2.11. 燈絲的形狀 2.12. 玻璃泡的形狀和大小 2.13. 玻璃泡溫度 2.14. 玻璃泡收工處理 2.15. 燈插頭的形狀 2.16. 燈泡服務的品行 2.17. 電壓和頻率變動的影響 2.18. 燈泡電壓的標準 2.19. 電燈線路電壓的調整 2.20. 燈泡平均壽命的意義 2.21. 各種大小燈泡用途的支配 2.22. 晝光燈泡 2.23. 粗用燈泡 2.24. 照相用燈泡 2.25. 映照用燈泡 2.26. 串聯路燈用燈泡 2.27. 離型燈泡

第三章 他種光源 38

3.1. 電弧燈的概論 3.2. 舊式炭極弧燈 3.3. 磁鐵礦弧燈或發光弧燈 3.4. 弧燈的線路 3.5. 映照用弧燈 3.6. 汞汽弧燈的概論

3.7. 汞汽弧燈的啓弧作用 3.8. 直流弧燈 3.9. 交流弧燈 3.10. 汞汽弧燈的運用特性 3.11. 汞汽弧燈的用途 3.12. 氛氣 3.13. 氛氣燈燈的概論的運用特性 3.14. 氛氣燈的色 3.15. 鎢絲汞弧合用燈 3.16. 螢光燈的概論 3.17. 螢光燈的啓弧附件和線路 3.18. 螢光燈的色 3.19. 螢光燈的發光量, 發光效率和壽命 3.20. 發光效率和電壓及溫度的關係 3.21. 螢光燈的不正常發光現象

第四章 光照測定 65

4.1. 度光計的原理 4.2. 發光強度的測定 4.3. 燭光分佈曲線的測定 4.4. 平均球面燭光和光通量的計算 4.5. 光通量的直接測定 4.6. 度光測定的需要附件 4.7. 光照度的測定

第五章 控照器 76

5.1. 控照器的用途 5.2. 各種反射面和透射面的比較 5.3. 治光金屬反射面 5.4. 鏡面玻璃反射面 5.5. 無輝收工金屬反射面 5.6. 無輝反射面 5.7. 乳白玻璃 5.8. 玻璃面金屬反射面 5.9. 蒙砂玻璃 5.10. 棱晶玻璃 5.11. 光學裝置

第六章 光照設計 93

6.1. 正當光照的重要 6.2. 關於光的品質方面的重要因素 6.3. 炫光 6.4. 反射的炫光 6.5. 影 6.6. 光照的均勻度 6.7. 光的色品 6.8. 室內表飾的影響 6.9. 人眼能適應的光照度限程 6.10. 增加光照度的功效 6.11. 光照設計上三個要點 6.12. 光源的佈置 6.13. 光源設備擴光的準備 6.14. 控照器的選擇

6.15. 需用燈泡流明數和瓦特數的估計 6.16. 利用係數和室形指數 6.17. 光照度表的使用法 6.18. 工廠用的光照設備 6.19. 商店用的光照設備 6.20. 陳列櫃內的光照設備 6.21. 陳列櫥窗的光照設備 6.22. 辦公室繪圖室光照設備 6.23. 學校的光照設備 6.24. 家庭的光照設備 6.25. 道路光照設備 6.26. 泛光設備 6.27. 其他特種光照設備

習題及問題..... 130

英漢名詞對照索引..... 136

電 照 學

第 一 章

光照的淺近原理

1.1 光的本性 所謂「光」，是一種電磁波，和廣播電台所發出的射電波（又叫無線電波）一樣，不過牠的波長很短。這種「光波」的波長是從 0.000040 厘米到 0.000076 厘米，就是從 0.40 微米到 0.76 微米（1 微米是 1 米的百萬分之一），而射電波的波長是從 5 米到 25,000 米。光波不過是光源發出的電磁波中很小一部分，但普通人的眼，也像收音機一樣，只能接收波長從 0.000040 厘米到 0.000076 厘米的一部波。人眼接收這種光波，就發生視覺（vision），收到 0.000076 厘米左右的波長的波，就發生紅色的視覺；波長短些是橙色，由此而黃，綠，青，藍到波長最短的光波就生紫色的視覺。倘使各種波長都有，而分佈的方法，和太陽的輻射相似，就生白色的視覺。比紫色光波波長再短的叫紫外波，比紅色光波波長再長的叫紅外波，這兩種波不能發生視覺，那就是所謂「不可見波」。

1.2 光源發光的原理 假使我們拿一根鐵條在爐中燒熱，牠

就先發出紅外波，也就是熱輻射(heat radiation)。等到溫度較高後，鐵條顯出暗紅色，那就是開始發出長波的光波了。繼續拿鐵條加熱，那末波長較短的光波，逐一發出，等到白熱時，人眼所能接收的光波都有發射，合成所謂白光。這就是白熾體(incandescent body)發光的道理，平常鎢絲電燈的發光，就是這種現象。

有種物質，好像各種氣體和金屬的蒸汽，在高溫度時，並不發射在光波限程內所有各種波長的波，而只發射在幾個比較狹窄的波長帶內的光波，那末光就不是白色了。例如汞汽弧燈(就是俗稱水銀燈的)所發的光就是一種青白色，而鈉汽弧燈的光是一種黃色。所以當考慮用那一種光源最適當時，一定先要知道各種光源所發光的性質是怎樣。

還有一種發光現象稱為熒光(fluorescence)。當一種波長的波照射到某一種物質時，這種物質就吸收這波而發出另一種波長的光波。這種物質稱做熒光質，最普通的是鹼土金屬如鈣，鎂，鋇等的鹽類。發出的熒光可以有各種波長，所以能成白光，也能成各種顏色的光；但牠們的波長總比入射光波的波長短些。新近發明的熒光燈，就利用這種現象。

1.3 光的反射，折射和漫射 各種物質對於光或者是透明(translucent)，或者是不透明(opaque)，或者是半透明(translucent)。透明物體，例如玻璃和水晶，對於光的透過沒有什麼阻礙。不透明物體，例如金屬或木料，則不能透光，而只能吸收

或反射。半透明物體，例如薄紙或毛玻璃，則也能透過一部分的光，但是透過的光的方向是漫散的，所以隔着這種物質不能夠很清楚的看見物體。

光波射出時，其路線是一條直線，那就是光線。當光射到一物體的面上時，因為這面的性質的不同，而有吸收，反射，和折射種種現象。倘使光波射到物面時，全部或一部的光變為熱，而不能再發生視覺，那末這現象叫做吸收。光線從一種透明物質到另一種透明物質，牠的方向通常要改變，這現象叫做折射。在前一種物質裏的光線叫入射線，後一種物質裏的光線叫做折射線。入射線、折射線和兩物質間的交界面上法線間的角各叫做入射角和折射角，這兩角的正弦之比叫做折射係數。折射係數的大小和兩物質的密度有關。從密度小的物質到密度大的，折射角小於入射角，而折射係數大於一；否則反是。光線射到一面上後，再折回的現象叫做反射。射到這面的光線叫入射線，折回的光線叫反射線。入射線、反射線和面上法線間的角叫入射角和反射角，這兩角一定相等。倘使折射面和入射面不是絕對光滑，那末折射或反射的光就散佈於各方向；這種現象叫做漫射(diffusion)。

1.4 視覺的過程 要發生視覺，光是必要的。我們要看見各種物體，非但要有這物體存在，而且還要有光從這物體發出，被眼所吸收，方才能發生視覺。這和嗅覺，味覺，觸覺等不同，因為在後者只要有可以發生這種感覺的物便夠，而只有物沒有光却是不能發生視覺。白晝太陽光照射於這物體上而發生反射，夜

間則全靠人工光源所發的光了。所以自從電燈發明以後，人類的視覺本領，增進了不少，因而文化也進步了不少。這就可見電照對於文化的重要性了。

眼的作用，和照相器很像。光經過眼的角膜(cornea)，瞳孔(pupil)，睛珠(crystalline lens)而到網膜(retina)，和經過照相器的透鏡而到感光片一樣。眼內還有彩簾(iris)，和照相器的光圈一樣，可以由變更牠的大小來調節射入的光量。網膜上有許多感光細胞體，由視神經通到腦，所以感光之後腦內就有視見的感覺。與照相器不同的，是睛珠可以隨意變更形狀來調焦，使得在各種距離的物件，都能夠在網膜上現出很清楚的像。這種睛珠形狀的變更，稱做眼的物距調節。在照相器內這種調節，是移動透鏡的位置，而不是變更透鏡的形狀。

1.5 顏色和亮度 我們能夠看清楚一個物體的正確形狀，是因為這物體各部分的顏色和亮度各不相同。眼的網膜非但能夠分別射入眼的光量的不同，而且也能夠正確地區別各種不同的顏色。這一作用，也和現在的彩色照相片一樣，既能顯出光的強弱，又能顯出光的顏色。譬如有一所建築物，太陽光普遍地照於其上，所照射的光波從 0.000040 厘米到 0.000076 厘米都全。但是這建築物的每一部，祇能吸收入射光波的某一部分，而反射其餘的部分。這種反射的光波射到人的眼裏，那末在人的視覺上，這所建築物就顯出各種特有的顏色和亮度。例如紅磚頭只能反射紅黃色的光，而吸收其他部分，所以在眼看來，就顯紅黃色。

其他部分也是同樣。倘使有某一部分，可以吸收全部光波，那就沒有光反射出來，這一部分就顯黑色。倘使某一部分差不多可以全部反射各種波長的波，那末牠就顯白色。物件的凸凹和形狀，則可以從各部亮度的差異看出。例如一個柱的所以顯出圓形，是因為柱上各部分明暗的差別，顯出圓柱的特性。又如牆壁上凹處的所以能夠看見，是因為這部分在陰影之內，反射的光很弱的緣故。所以物體各部分反射光的顏色和亮度的分佈，是決定這物體的外觀形狀的唯一要素。

1.6 物體亮度對於其視見可能的關係 物體發光的強弱和這物體的能否容易看見很有關係。例如檢視錶內的機件，我們必需到近窗或近燈處，使得錶上受到較强的光，因而所反射之光也較强。倘使光太弱，那末物體一定要放得很近於眼；但這樣看法眼的調節太緊張，容易引起疲乏，甚而至於頭痛不安。所以在某種限度以內，光愈强，物件愈易看見，也看得更清楚。這同照相差差不多，光愈强，照相愈快，而所得像片也愈清楚。

但是，我們知道照相時，若照相機正對很亮的光源，則所得的像片，反而朦朧而模糊不清；同樣人眼若正對光源，所得的視像也是朦朧而模糊不清。因為這時眼中的彩籠，一定要自動收縮，使射入之光不致於損傷網膜。但是收縮後，射入光量太少，所以物體反而不易看得清楚。這就是通常燈上必須加罩，使光不能夠直射到眼的原因。這種現象叫做炫光，可以在一張壁畫前放一只沒有罩的燈，正對燈而看畫，然後拿手遮去從燈直射到眼的

光，再看畫而和上次比較，就可以看得比較清楚。在道路上常常因為對面來車的車頭燈的光太強，因而看不清楚路旁物件，也是這個道理。

這樣看來，視覺的過程，是很複雜的。主要的是：我們看見物體是利用物體反射的光，而不是直接利用從光源直射的光，後者反而應該避免。物體反射的光，却是和照射於物體的光量成正比。所以在設計一種光照設備時，我們必需使照於物面之光有適當的質和量，足以發生清楚的視覺，而不致有疲乏或不適的現象。

1.7 發光強度 在光照的計算和設計方面，有三種數量，一定要知道。這三種數量互相有關係，我們應當知道牠們間的關係，尤其要能分別其不同點。第一種數量就是一個光源在某方向的發光強度(luminous intensity)，牠的單位是燭光(candle power)。所謂一燭光，原來的意思，是一種鯨魚油製的燭的發光強度，牠的大小重量，和燃燒的情形，都有規定。這種單位還是電燈沒有發明以前，人家都用燭的時候所規定。等到發明了電燈，電燈的發光強度也就用這種單位來表示，譬如一只電燈的發光強度是15倍於這種鯨魚油燭，那就稱為15燭光。現在雖然照規定製成的標準燭，早已不用，但歐美各國燈泡廠所用的標準燈的發光強度，仍是用燭光來表示。

因為一個光源在各方向的發光強度，大都不均勻，所以某一方向的發光強度，和這光源所發的總光量，沒有一定的關係。但

是如果在各方向的發光強度，都已測定，那末牠們的平均數，就是所謂平均球面燭光數(mean spherical candlepower)。這平均球面燭光數，可以作為總光量的表示。譬如有一只汽車車頭燈，用 20 瓦特燈泡，在某一方方向可以發出 100000 燭光的光注，而在其他方向則差不多沒有光發射。另外一只 1000 瓦特的燈泡，不用反射器，在各方向都有光發射，而在發光強度最大的方向之燭光數只有 2100。但是這 1000 瓦特燈所發的總光量却為車頭燈所發總光量的 100 倍。所以在現代光照計算內，燭光數沒有什麼大用，除非要比較各種光源在同一指定方向的光的強弱時，才有用處。例如探照燈和泛光燈的運用特性，常以發射光注內的燭光數來比較。

1.8 光通量 第二個要知道的數量，是光源所發的總光量，叫做光通量(light flux)。牠的單位叫做流明(lumen)。假定有一個光源，牠在各方向的發光強度都是 1 燭光，放在半徑一呎的球的中心，球的內面塗黑漆，如圖 1.1。球上有一個孔 OR ，射出一部的光。那末因為光源的燭光數和球的半徑不變，射出的光通量和 OR 的面積成正比。倘使在 OR 處的孔的面積是一個單位，則經過這個孔的光通量也可認為一單位。通常所用的面積

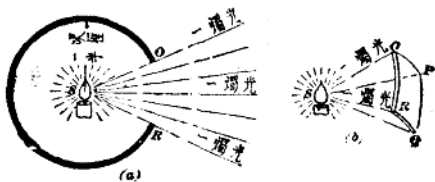


圖 1.1 流明之意義

單位爲1方呎，如 $OPQR$ 面，則通過1方呎面積的單位光通量即所謂1流明。這就是普通光通量的單位。

所以流明的定義，即相等於1方呎面積的面上所受的光，這面的任一部都和燭光數爲1的光源相距1呎。倘使用米制，則面的面積爲1平方米，和光源的距離爲1米。

若 OR 孔的面積爲2方呎，則通過的光爲2流明；若 OR 爲 $\frac{1}{2}$ 方呎，則通過的光爲 $\frac{1}{2}$ 流明。若光源的發光強度爲2燭光，則通過1方呎的孔的光通量爲2流明。因爲半徑1呎的球面的總面積爲 4π 即12.57方呎，若使將球面完全除去，那末發出的光爲 4π 流明；那就是各方向的燭光數都爲1的光源所發的總光通量爲 4π 流明。所以若光源的平均球面燭光數已經知道，則祇要乘以 4π 即12.57，就得着所發出的總流明數。平常用12.5已經夠準確，而且很便於計算，因爲拿12.5去乘，就是先乘100，而再拿8去除。平常白熾鎢絲燈的額定值常用所發的流明數來表示。

在上面流明的定義裏，我們要知道1流明的光不一定均勻分佈在離燭光數爲1的光源1呎的1方呎的面上，只要有等量的光，隨便怎樣分佈，都是1流明。這好像一個斗的定義，是一個規定大小的容器的容積；但1斗米無論放在怎樣的容器裏，其容積總是1斗。

1.9 光照度 第三種數量是照射於一面上的光的強度，即所謂光照度(intensity of illumination)。光源發出的光是因，受照面上的光照度是果。發光強度是這因的量度，牠所生的果要

另用一種數量即光照度來量度。光照度的單位在英美用呎燭光 (foot-candle), 在歐洲用米燭光 (meter candle)。1 呎燭光就是離 1 燭光的光源 1 呎遠而與光線正交的面上的光照度。在圖 1.2

裏, 光源 S 在 SA 方向的發光強度是一燭光, 而 A 離 S 為 1 呎, 那末在正交於 SA 的面 CD 上的 A 點的光照度就是一呎燭光。同樣



圖 1.2 呎燭光之意義

1 米燭光就是離 1 燭光的光源 1 米遠而與光線正交的面上的光照

度, 也叫做勒克司 (lux)。1 呎燭光等於 10.76 米燭光, 或一米燭光等於 0.093 呎燭光。光照度是按面上每一點來算; 倘使各點的光照度不同, 那末牠們的平均數, 就叫平均光照度。我們平常比較一個面上所受光的強弱, 就是比較其光照度; 一張報紙放在離一枝燭 1 呎處閱讀時, 報紙上所受的光照度約為 1 呎燭光。

光照度的意義也可用另一個說法。在圖 1.2 內, A 點的光照度是 1 呎燭光。假如 CD 面的面積是 1 方呎, 而假定 CD 上任一處都和光線正交, 那末 CD 上的總光量是 1 流明。1 方呎的面上有 1 流明的光, 牠的平均光照度就是 1 呎燭光; 所以 1 呎燭光也就是 1 流明 / 方呎。同樣米燭光就是 1 流明 / 方米。這個關係在光照設計時很有用, 因為假定我們知道受照面的面積, 和需要的平均光照度, 那就很容易算出需要的總流明數。譬如要照射 100 方呎面積, 需要的平均光照度是 15 呎燭光, 那就要 1500 流明的

光相當均勻地分佈於這面上。這關係是

$$\text{呎(或米)燭光數} = \frac{\text{流 明 數}}{\text{面積(方呎或方米)}}$$

$$\text{流明數} = \text{呎(或米)燭光數} \times \text{面積(方呎或方米)}$$

1.10 亮度 但是我們要知道一個面上所受的光照度，和這面上明亮的程度不同。這明亮的程度，叫做亮度(Brightness)，也可叫做發光度(luminosity)。一張白色的紙和一張灰色的紙，在同樣 1 呎燭光的光照度下，灰色紙沒有白色紙亮。所以亮度非但和這面上的光照度有關，也和這面的反射本領有關。一個面上反射光量和入射光量的比叫做反射因數(reflection factor)，而亮度就等於反射因數乘入射光照度。同樣光從一個面透射時，透射光量和入射光量的比叫做透射因數(transmission factor)，而透射光的亮度也等於透射因數乘光照度。

1.11 反平方比定律 一個面上的光照度跟光源的發光強度和這面到光源的距離二者都有關係。在圖 1.2 內，倘使在 SA 方向的發光強度不是 1 燭光而是 2 燭光，那末 A 點的光照度當然加倍；倘使發光強度是 5 燭光，那末 A 點的光照度當然是 5 倍。

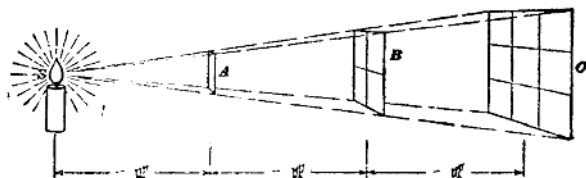


圖 1.3 平方反比定律之意義