

工廠照明設計

登羣等編



機械工業出版社

目 次

(所註數字指所根據的主要參考書的序號)

序.....	8
第一章 概論.....	9
1 光照上的名詞及單位[1].....	9
2 各光照量間的關係[3].....	14
3 配光曲線[1].....	17
4 對稱光源的光通[1].....	19
5 平面上各點的照度[1].....	21
6 材料的光學性質[1].....	27
第二章 光源及照明器.....	31
1 光源的種類[3].....	31
2 燈照器的性能及分類[1].....	39
3 幾種常用的照明器[1].....	42
4 B3Г-200 型防爆照明器[11].....	47
5 按光照質量選擇照明器[1].....	48
6 按環境條件選擇照明器[1].....	53
7 熒光燈照明器[6].....	58
第三章 照明系統及種類.....	64
1 照明系統[1].....	64
2 照明的種類[1].....	68
第四章 人工照明規則及照度標準.....	72
1 眼睛及其作用[3].....	72
2 人工照明照度標準[3].....	77
3 眩光作用的限制[3,1].....	82
第五章 照明器的佈置.....	93
1 照明器佈置的研究和分析[1].....	93
2 照明器的排列[2].....	106
3 熒光燈照明器的佈置.....	118
第六章 利用係數計算法.....	120
1 公式的導出及應用[1].....	120

2 利用係數表的製法〔1〕	1
3 單位面積安裝功率〔1,1〕	1
第七章 逐點計算法	1
1 公式概述〔1〕	14
2 計算方法〔1〕	14
3 逐點計算法的應用範圍〔1〕	15
4 傾斜面及垂直面照度的計算〔1〕	1
5 不對稱配光照明器的計算〔1〕	16
第八章 投光燈	16
1 投光燈概述〔3,1〕	16
2 投光燈的照度計算及等照度曲線的繪製〔1〕	17
3 投光燈安裝高度的選擇〔1〕	18
4 投光燈光軸俯角的選擇〔1〕	1
5 投光燈塔桿在被照廣場上的佈置〔1〕	1
第九章 螢光燈照明的計算	19
1 一點上照度的計算〔1〕	19
2 螢光燈照明的幾種實用計算方法〔6〕	203
3 近似的照度計算方法〔6〕	233
4 耶帕聶什尼科夫計算法〔7〕	237
第十章 線路電壓、供電方式的選擇及線路佈置	245
1 線路電壓的選擇〔2〕	245
2 供電方式的選擇〔2〕	247
3 照明線路的佈置〔1,2〕	253
4 普遍照明技術經濟指標〔2〕	261
第十一章 照明線路的計算	266
1 計算的一般條件〔5〕	266
2 實需照明負荷的計算〔5〕	266
3 燈泡端電壓的容許偏差〔5〕	267
4 容許的電壓波動〔5〕	268
5 照明線路中的容許電壓損失〔5,1〕	268
6 銅導線及鋁導線交流線路的阻抗〔5〕	271
7 直流兩線線路電壓損失的計算〔5〕	274
8 線路末端帶負荷的三相線路電壓損失的計算〔5〕	275

129 線路沿線有若干負荷的三相線路電壓損失的計算〔5〕	280
130 各相負荷平衡的帶中性線線路的電壓損失計算〔5〕	284
131 計算電壓損失的簡單公式〔5〕	286
132 照明控制線路電壓損失的計算〔5〕	287
133 鋼導線線路電壓損失的計算〔5〕	288
134 線路導體材料消耗最小的計算〔5,1〕	290
135 閉合線路的計算〔5〕	304
136 根據溫升條件計算導線截面〔5〕	308
137 根據機械強度決定導線的最小截面〔5〕	315
138 負荷不平衡的三相線路的計算〔1〕	315

第十二章 照明裝置中預防觸電的防護措施

1 觸電的危險性〔5〕	321
2 房屋按觸電危險程度的分類〔5〕	322
3 預防觸電的防護措施〔5〕	323
4 防護接地及接中性線的裝設〔5〕	329

第十三章 照明線路的裝設

1 配電板、配電箱及分電箱〔1〕	332
2 照明器的安裝〔1〕	342
3 導線型號及敷設法的選擇〔1,4〕	344
4 照明線路的敷設〔1〕	352
5 中性點接地線路敷線的特點〔1〕	362

第十四章 局部照明及事故照明

1 金屬冷加工機床及普通工作台上的局部照明器及其支架〔2〕	365
2 金屬冷加工車間內技術檢驗工作台上的局部照明〔2〕	374
3 局部照明電壓的選擇	380
4 局部照明的供電方式	381
5 局部照明的設計及安裝〔2,9〕	384
6 事故照明〔1〕	397

第十五章 輔助建築物的照明

1 吹砂室及木材乾燥間〔2〕	403
2 水泵站〔2〕	404
3 氧氣站〔2〕	404
4 電廠及變電站〔1〕	406

5 汽車庫〔2〕	409
6 易燃物倉庫〔2〕	411
7 工具存放室、存衣室、走廊及樓梯間〔2〕	412
8 有爆炸危險的場房的照明〔1〕	414
9 乙炔站〔2〕	418
第十六章 工廠外部的照明	419
1 照度及照明燈具的選擇〔2〕	419
2 照明燈具的佈置〔2〕	422
3 外部照明的電源及其控制〔2〕	427
4 外部照明線路的計算〔2〕	432
5 外部照明線路的構成〔2〕	433
附錄	437
1 場房分類	437
2 爆炸性混合物的分類	438
3 酸類鹼類及氣體對電工材料的影響	440
4 幾種架空線的電阻及感抗(一)	441
表 1 採用銅導線的架空線路的電阻及感抗	441
表 2 架空銅導線的 $r \cos \theta + x \sin \theta$ 值	442
表 3 採用鋁導線的架空線路的電阻及感抗	443
表 4 採用銅導線的架空線路的歐姆(直流)電阻及外感抗	443
表 5 隨負荷電流而定的銅導線的有效電阻及內感抗(歐姆/公里)	444
5 導線及電纜的容許持續負荷與最小截面(二)	445
表 1 導線及電纜的容許持續負荷	445
表 2 視自動開關動作電流及熔絲額定電流而定的照明線路導線及電纜的最小截面	446
表 3 空間敷設的電纜及導線容許持續負荷的溫度校正係數	447
表 4 地下電纜敷設於平行敷設時容許持續負荷的校正係數	447
表 5 地下電纜容許持續負荷的溫度校正係數	447
6 照明器的性能	449
7 三相 380 伏特銅導線及銅芯電纜的電壓損失	450
表 1 三相 380 伏特銅芯電纜線路每安培·公里的電壓損失	450
表 2 三相 380 伏特銅導線明線敷設線路當導線中心距為 15 公分時每安培·公里的電壓損失	451
8 照明器開關接線圖	452

9 最通用的敷線方式及其應用範圍.....	453
10 照明設計圖例.....	454
參考文獻.....	456
中俄名詞對照表.....	457

序

隨着國家大規模經濟建設的開展，新建及改建企業的照明設計，已成為一項繁重的任務。在兩年多從事工廠照明設計的工作過程中，我們深深感到國內目前這一方面參考書籍的貧乏，因此我們一直十分注意經驗和資料的積累。本書就是積累資料的一部分。其中大部分是由蘇聯幾種照明設計書籍翻譯過來的。在編譯時，我們選擇了各書精采而又實用的部分，全書從光學基本知識起，至具體設計止，理論與實際兩方面都有較全面的闡述。本書是在業餘時間從事翻譯整理的。雖然在編譯時主觀上已經作了最大的努力，但由於業務知識和俄文水平的限制，錯誤和不妥當的地方在所難免，希望讀者多多提出意見，以便改正。

編 譯 者

第一章 概 論

工廠內部燈光是否合適，對產品質量和工作效率有着密切的關係。如能在工廠照明設計上予以講求，則對工作效率的增進，產品質量的提高，成本的降低，以及保健條件的改善等，都會收到顯著的效果。就一般人看來，以為照明設計只需在各個工作場所裝上幾盞燈，能看見東西就行了，不必去研究考察其質量與效果。這種粗枝大葉的做法，往往使得照度不夠，亮度不勻，眩光太甚。致使工作人員眼部肌肉和神經過度緊張，眼睛容易疲倦，引起眼病，增加缺勤率，甚至發生工傷事故；並會使工人在工作中發生錯誤，增加廢品，減低產品質量。這些將嚴重地影響生產任務的完成。因此，對照明設計，必須予以應有的重視。

照明一科涉及光學、電學，學理相當深，門類也很多，應用範圍極廣，內容錯綜複雜，本書不能一一加以討論。本書所討論的，以工廠照明為主，偶而涉及其他方面的照明，也只是使讀者得以舉一反三，讀此一書，對其他方面的照明不至茫無所知罷了。

在討論照明設計前，本章先敘述在設計中所必需了解的一般光學上的知識，以便讀者能在光學上先得一輪廓概念。

1 光照上的名詞及單位

光通量(簡稱光通) 輻射體(光源)向其四周空間發射輻射能。在單位時間內發射的輻射能值，叫做輻射能通量。

輻射能具有電磁波動的性質，其本身具有各種不同的特性。無線電波，紅外線，光線，紫外線，X線等，就是各種不同性質的輻射能。這些輻射能的波長各不相同。

不同的感受器官對同一輻射能通量所具有的不同感覺，視這些感受器官如何接受以及接受輻射能通量的哪一部分而定。能引起光的感覺的一部分輻射能通量就叫做光通量(簡稱光通)，為光照上主要的值，

用符號 E 表示。

上述光通量的定義是籠統而不够完備的，因為不同的觀察者的眼睛在不同的條件下，具有不同的性質。用下述方式可以得出光通量的完全的定義。

波長為 $0.38\sim 0.76$ 公忽(μ ，即百萬分之一公尺)的輻射能可在人眼內引起光的感覺。各種不同波長的光波，並能引起各種不同顏色的感覺(見圖 1-1)。

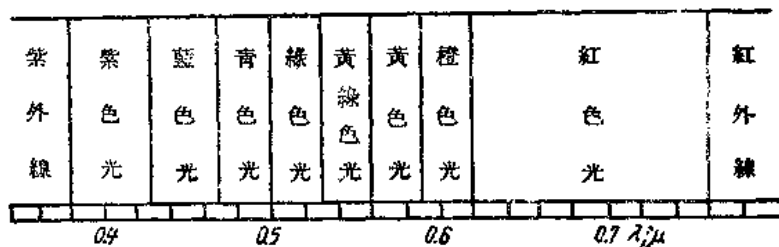


圖1-1 光譜中各色光的大致分界情況

發光體發出各種波長的輻射能；尤其是發熱的固體，由於在某一定範圍內，有各種波長的輻射能發出，故具有連續不斷的光譜。在圖 1-2 中橫坐標為波長 λ 值，縱坐標則為發熱體相應的輻射功率 P_λ 值。

P_λ 曲線與橫坐標間所包的面積 S 由下式求得：

$$S = \int_{\lambda=0}^{\lambda=\infty} P_\lambda d\lambda。$$

式中 S 值等於輻射能通量值。

眼睛對輻射能的感覺因波長的不同而異。設當波長為 λ 時的視見率為 V_λ ， V_λ 值係根據多次之試驗確定的。

劃一規定 V_λ 值與規定光照單位時相同，都是取普通人眼作

為統一的標準。波長 $\lambda = 0.555\mu$ 的輻射線的視見率最大($\lambda = 0.555\mu$ 的輻射線呈帶綠色的黃光)。取 $\lambda = 0.555\mu$ 的輻射線的視見率為1，則其

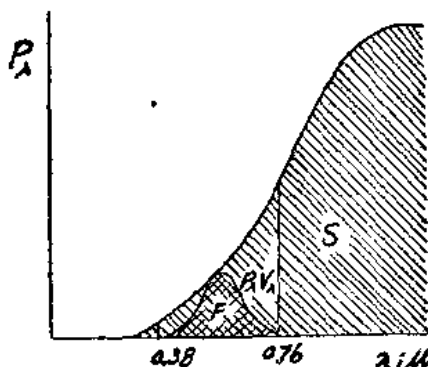


圖1-2 光通的定義

他波長的輻射線的視見率對 $\lambda = 0.555 \mu$ 的輻射線的視見率之比值稱爲其相對視見率。其值可參看

表1-1 相對視見率

波 長 (μ)	相 對 視 見 率	波 長 (μ)	相 對 視 見 率
0.40	0.0004	0.60	0.631
0.42	0.004	0.62	0.381
0.44	0.023	0.64	0.175
0.46	0.06	0.66	0.061
0.48	0.139	0.68	0.017
0.50	0.323	0.70	0.0041
0.52	0.71	0.72	0.001
0.54	0.954	0.74	0.00025
0.56	0.997	0.76	0.00006
0.58	0.87		

表1-1。

再看圖 1-2 上，波長爲 λ 的輻射線在人眼所引起的光的感覺的大小等於 P_λ 與 V_λ 的乘積，而光源所發光通 F 的值，就等於 $P_\lambda V_\lambda = f(\lambda)$ 曲線所包的面積，因此：

$$F = \int_{\lambda=0.38}^{\lambda=0.76} P_\lambda V_\lambda d\lambda$$

這一定義將以前所講的作一數學上的解釋，是十分

全面的，而且在確定 V_λ 值時，更指明是對「普通」人眼來說的。

視見率爲光照單位與絕對單位間的聯系值，正如磁導率將電磁單位與絕對單位聯系起來一樣。光通的絕對單位的因次爲 $ML^2T^{-3}V$ 。

光通的單位爲流明(lm)。國際會議規定每瓦特功率完全化爲 $\lambda = 0.555 \mu$ 的光波時，其光通爲683流明。光通的較大單位爲仟流明(klm)。

光度(發光強度) 光度是光通的導出值，用符號 I 表示。它說明在空間各方向光通的密度。光度值等於光通與光通所散佈的立體角的比值：

$$I = \frac{\Delta F}{\Delta \omega}。$$

(上式如不用微分形式表示，即得極小立體角內的平均光度。)

光度這一概念僅可應用於「點」狀光源。當光源的最大尺寸與研究該光源性質時所取的距離的比值甚小時，該光源即可視爲「點」狀光源。實際上所取距離只要大於光源最大尺寸的4~5倍即可。光度的定義還可用圖 1-3 說明。

光度定義中所指的立體角 ω ，等於該立體角在任一半徑的球面上所割的面積與球半徑平方之比：

$$\omega = \frac{S}{r^2} \text{。}$$

立體角的單位為球徑。一點周圍的總立體角為：

$$\omega_0 = \frac{4\pi r^2}{r^2} = 4\pi \text{球徑。}$$

以一點為中心的上半球及下半球的立體角，分別用符號 ω_{Δ} 及 ω_{∇} 表示，並各等於 2π 球徑。

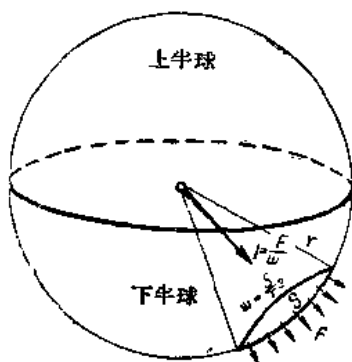


圖1-3 光度之定義

光源總光通除以 $\omega_0 = 4\pi$ ，即得平均球面光度 L_0 。同樣上半球或下半球的光通除以 2π ，即得上半球或下半球球面光度 I_{Δ} 或 I_{∇} 。

光度的單位為燭光，即等於 1 流明/球徑的光通密度。

照度 照度為照射到被照面上的光通與該被照面面積之比，用符號 E 表示。

$$E = \frac{dF}{dS} \text{ (一點的照度)}$$

或
$$E = \frac{F}{S} \text{ (極小面積的平面的平均照度)。}$$

由上式可知，被照面的照度與該平面的性質及人眼視線對該平面的方向無關。如並列放置的白紙、黑絲絨及鏡子，其給予眼睛的視覺雖然完全不同，但它們的照度仍可能彼此相等。因此，照度雖然是最主要的計算值，但其本身並不能決定所注視的平面給予視覺器官以視覺的程度。

照度的單位為流克司 (lx)，即等於 1 流明/公尺²。需要較大的單位時，可採用仟流克司 (klx，等於 1000 流克司) 或福特 (ft，等於 10000 流克司)。

亮度 照射在被照面上的光通，有一部分為被照面反射回來。當反射回來的一部分光通照射到人眼中去，在眼的網膜上便會現出物體的像而引起視覺。被照面每單位面積反射到人眼的光通愈大，即被照體在向人眼方向反射的光通密度愈大，則所引起的視覺就愈清楚。

由上所述，可知光通的空間密度即為光度。因此被照物體面上每單

位面積向人眼方向所發射的光度值愈大，則被照體就看得愈清楚。在最簡單的情況下，當我們從垂直的方向看一平坦的面時，該平面的能見度，就視垂直方向的光度與該平面的面積的比值而定，這一比值就叫做亮度：

$$B_n = \frac{I_n}{S} \quad c$$

式中 B 及 I 的右下角加一符號 n ，表示該式僅可應用於與反射平面垂直的方向上。如果人眼從與該反射面垂直線成 α 角度的方向看該平面，則看到的不是 S 面，而是 S 面在與視線相垂直的方向的投影，即 $S \cos \alpha$ 面。

因此，上述公式可寫作下述通用的形式：

$$B = \frac{dI}{dS \cos \alpha} \quad \text{或} \quad B = \frac{I}{S \cos \alpha}$$

由上述公式可知：半徑為 r ，向四周發射光度為 I 的均勻輻射球體的亮度將為：

$$B = \frac{I}{\pi r^2} = \text{常數}。$$

也就是說，輻射球體的亮度等於其光度除以經過球心的剖面的圓面積（不是球面積）而得的商數。

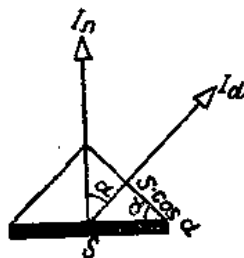


圖1-4 平面之亮度

當光度以燭光為單位，發光面的投影面積以平方公分為單位時，所得亮度即為每平方公分的燭光數，以此為亮度的單位。這一單位叫做斯蒂伯(sb)，根據標準光照單位規定，一斯蒂伯就是每平方公分面積在垂直方向有一燭光光度的均勻發光表面在該垂直方向的亮度。千分之一斯蒂伯叫做千分斯蒂伯($mc6$)。

在垂直方向每平方公尺所發出的光度為一燭光的平面所具有的亮度叫做萬分斯蒂伯($mc6$)。

1 萬分斯蒂伯 = 10^{-4} 斯蒂伯。

亮度這一光照量，不僅可用於被照體，而且可用於發光體及透光體上。當用於被照體上時，被照體的亮度隨照度及被照面的性質而定。通常發光體（反光體或透光體）在各方向的亮度是不同的。因此亮度與光

度一樣，不僅要知道它的數值，而且必須指明方向。人眼視覺的強弱，視人眼網膜上的照度而定，而網膜上的照度，則與所視物體或平面的亮度成正比。因此從這一觀點說來，亮度可說是光照上最重要的單位。

理想的漫射體在各方向的亮度均相同。對這類漫射體而言，可以得出在各方向的光度與在發光平面垂直方向的光度間的關係式。根據以上公式，光度值等於亮度與發光面積的投影的乘積：

$$I = BS \cos \alpha_0$$

對理想的漫射平面而言，在各方向的 B 值均相等。故 BS 乘積即為在垂直方向的光度（用 I_n 表示），因此，上述公式可寫成：

$$I = I_n \cos \alpha_0$$

明度 明度用符號 R 表示。如果一物體在各方向均具有相同的亮度，則其輻射強度可用該物體所發出的表面光通密度計算。該光通密度就叫做明度。任一發光體的明度等於其表面所發出的光通與其面積之比：

$$R = \frac{F}{S} \text{。}$$

如果其表面的明度並不均勻，則應將其表面微分為極小的面積單位來計算，即：

$$R = \frac{dF}{dS} \text{。}$$

明度這一概念與亮度相同，不僅適用於發光體，也適用於反光體及透光體。

明度的單位是拉特流克司 (pilk, 等於 1 流明/公尺²) 及拉特福特 (pft, 等於 1 流明/公分²，也就是 10000 拉特流克司)。

在大發光面照明的計算中，常用到明度這一光照量。明度與方向無關，但與表面的性質有關。

2 各光照量間的關係

照度與光度 照度與光度之間的關係在前面已有較詳細的敘述，這裏不再重複。

照度與明度 照度 E 和明度 R 都等於光通與面積的比值。兩者間

的差別在於：照度為照射到物體上的光通的平面密度，而明度則為發光體或反光體發出之光通的平面密度。知道了照射到一物體上的光通與為該物體所反射的光通或透射該物體的光通間的關係之後，便可很容易地得出照度與明度間的關係。

為光通 F 所均勻照射的平面 S 的照度為：

$$E = \frac{F}{S}。$$

物體所反射的光通可利用反射係數求得：

$$F_p = \rho F_0。$$

由於有反射光通，所以該物體平面具有明度，其值為：

$$L = \frac{F_p}{S} = \frac{\rho F}{S} = \rho E。$$

照度與亮度 具有理想的漫射性質的物體在所有方向的亮度都相同。對這種物體而言，可以定出光度與光通以及亮度與照度間的關係。為了闡明其間的關係，取一具有漫射性質平面的薄片（例如石膏薄片），用一光源照射它，再以該薄片為中心作一半徑為 $r=1$ 公尺的半球（圖 1-5），明顯地薄片所反射的全部光通都照射在半球的內部面上。在半球面上取一極小面積 ΔS 可以算出由石膏片反射光通所產生的照度。該照度值就等於石膏片在 ΔS 面積方向所發出的光度與距離的平方（即半徑的平方）的比值：

$$E = \frac{I_\alpha}{r^2}。$$

前面已經說過，一理想的漫射物體，在與其垂直線成 α 角的方向所反射的光度 I_α 與其在垂直線方向反射的光度 I_n 間的關係如下：

$$I_\alpha = I_n \cos \alpha。$$

因為 $r=1$ （公尺），所以：

$$E = I_n \cos \alpha。$$

照射在 ΔS 面積上的部

分光通等於照度與 ΔS 面積的乘積：

$$\Delta F = I_n \Delta S \cos \alpha。$$

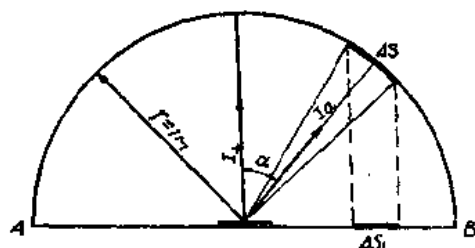


圖1-5 漫反射性質平面之反射

式中 $\Delta S \cos \alpha$ 即為 ΔS 面在半球底面 AB 面上的投影:

$$\Delta S_1 = \Delta S \cos \alpha;$$

照射在半球上的總光通等於部分光通 ΔF 之和:

$$F = \sum \Delta F = I_n \sum \Delta S_1.$$

$\sum \Delta S_1$ 即為整個半球在 AB 面上的投影面積, 也就是半徑為 1 公尺的圓面積, 其值等於 π , 故得:

$$F = \pi I_n.$$

將石膏片的反射光通 F 除以反射面 S , 即得該石膏片的明度 R :

$$R = \frac{F}{S} = \frac{\pi I_n}{S}.$$

$\frac{I_n}{S}$ 即為該石膏片的亮度 B , 故:

$$R = \pi B \quad \text{或} \quad B = \frac{R}{\pi}.$$

因 $R = \rho E$, 代入上式得:

$$B = \frac{E \rho}{\pi}.$$

該式中的照度單位為流克司, 亮度單位為萬分斯蒂伯。如照度單位

表1-2 光照量及其單位表

名稱及符號	計 算 公 式	計算單位之名稱及符號
光通 F	$F = I \omega = 4\pi I_0$	流明 (lm)
明度 R	$R = \frac{F}{S} = E \rho = \pi B^*$	拉特流克司 (p.lx)
照度 E	$E = \frac{F}{S} = \frac{I \cos \alpha}{r^2} = \frac{\pi B \times 10^4}{\rho}$	流克司 (lx)
光度 I	$I = \frac{F}{\omega} = \frac{E r^2}{\cos \alpha}$	國際燭光 (cd)
平均球面光度 I_0	$I_0 = \frac{F}{4\pi}$	同 上
亮度 B	$B = \frac{I_0}{S \cos \alpha} = \frac{E \rho}{\pi \times 10^4} = \frac{R^*}{\pi}$	斯蒂伯 (sb)
立體角 ω	$\omega = \frac{S}{r^2}$	球徑

標 * 1 號的表示該關係式僅對理想的漫射體而言方屬正確。

爲流克司而亮度單位爲斯蒂伯則該式應變爲:

$$B = \frac{E\rho}{\pi \times 10^4}。$$

該漫射體的漫射性質愈接近於理想, 則該式與實際的情況愈符合。

爲了便於查考起見, 今將上述所有光照量及光照單位間的關係式綜合起來列如表 1-2。

3 配光曲線

由於絕大多數的光源發射到空間去的光通並不均勻, 因此其在空間各方向的光度值也就各不相同。爲了明顯地表示出光源在各方向的光度, 最好的方法就是繪製配光曲線(或稱光度分配曲線)。

測出光源在空間所有各方向的光度值, 然後取一點作爲光源所在之點, 從該點將這些測得的光度值按一定的比例用向量表示出來, 將這些無數的向量末端用面連接起來便形成一立體, 該立體便叫做配光體。

一般通用的光源的配光體, 大多具有一對稱軸, 即其配光體爲一旋轉體。這種光源叫做對稱配光光源或簡稱爲對稱光源(但如光源的對稱軸並不在鉛垂方向而是傾斜的時, 就照度計算的觀點說來, 應當作爲非對稱光源)。

通過對稱光源的對稱軸, 在任何方向將配光體切開, 均得到完全相同的配光曲線。這些在通過對稱軸的平面上的配光曲線, 叫做縱斷面配光曲線。

縱斷面配光曲線通常用極坐標制繪製。爲了使用方便起見, 極坐標上還畫上許多同心圓, 供直接查出各方向的光度之用。並且爲了節省地位起見, 對稱光源的縱斷面配光曲線通常只繪於 $0 \sim 180^\circ$ 的象限內。因爲其餘一半與此完全對稱。

因此, 所謂縱斷面配光曲線就是 $I_e = f(\alpha)$ 採用極坐標制的圖解。

圖 1-6 中右圖所示即爲一縱斷面配光曲線。通常照明器說明書上所示配光曲線, 均屬這一形式。

非對稱光源的配光情況, 在平面上的表示方法是多種多樣的。最簡單實用的一種, 是作出若干方位角不同的縱斷面配光曲線。方位角用 β