

第一章 总 论

室内照明的计算(主要是求工作面上的平均照度)有以下的几种方法:

- (1) 根据 Harrison 和 Anderson 的实验结果建立的三配光法,或称三曲线分割法(TCM)。
- (2) 用代数方法来计算相互反射的方法。
- (3) 由 O'Brien 研究出的应用照明模拟计算机来进行计算的方法(其中应用到山内二郎的基础方程式)。
- (4) Moon 的相互反射法,即应用积分方程式表示相互反射的计算方法(IFM)。
- (5) 在 Moon 的相互反射法的基础上考虑 Jones 的球带倍数的球带系数法(ZFM)。
- (6) 利用球带倍数和有效反射率,以及 O'Brien 的光通传递函数数据来进行计算的带腔法(ZCM)。
- (7) 在山内二郎的基础方程式的基础上考虑配光的 BZ 分类的英国球带法(BZM)。

在美国,照明计算过去采用三配光法,而现在采用的是 Moon 的相互反射法、球带系数法和带腔法,并认为带腔法无论在理论或实验方面都是最好的方法;在英国,曾采用过山内二郎的基础方程式和三配光法,现在采用的是英国球带法;在日本,一直采用三配光法,但是在一部分研究人员之中采用过利用 Moon 和 Wiseman 的相互反射公式、山内二郎的联立一次方程式、O'Brien 的照明模拟计算机(即用电子网络表示照明系统的计算机)等来进行计算的方法,最近采用的是在美国照明学会的带腔法的基础上考虑配光的 BZ 分类的方法(即将上述(6)法与(7)法合并使用),而成为迄今为止最简单而且接近实际的照明计算方法。

在以前的照明计算中,只是考虑照度问题。但是平时我们感到某一表面是光亮的,乃是由于反射光进入眼睛里的缘故。因此,在最近的照明计算中已经考虑到光出射度(等于照度乘以反射系数)。根据 Luckiesh 的明视理论及 Moon 和 Spencer 的“在不均匀的视野里的视效应”的研究,普通视野里的最大适应光出射度(最大适应光出射度处当然是光源)应不得超过对工作适应的光出射度的三倍;对工作适应的光出射度无论对哪种视野都不得超过最小适应光出射度的三倍(换句话说,最小适应光出射度不得在对工作适应的光出射度的 $1/3$ 以下)。

上面所介绍的主要是直接求出工作面上的平均照度的方法;此外还有先求出工作面上的一些特定点的照度,再求工作面上的平均照度的方法(即逐点法,见第十三章);最近国际照明委员会(CIE●)还提出了所谓 CIE 法(见第十四章)。

[注]

目前室内照明计算方法简介

关于目前国际上具有代表性的室内照明计算方法,日本《照明学会誌》1981年第1期上发表了“室内人工照明计算方法标准化调查委员会的报告”一文,该文对各种主要的计算方法进行了分析比较,并对今后发展趋向和有待研究解决的课题作了扼要介绍(见表1,2)。

中国建筑科学研究院建筑物理研究所李亚璋和徐和最近对室内平均照度计算方法进行了研究,提出了利用系数的简化计算方法,同时还研究并编出了用电子计算机计算利用系数的程序。

● 国际照明委员会(Commission Internationale de l'Eclairage)

表 1 具有代表性的室内照明计算法的比较

计算法	CIE 基础法	CIE 应用法	美国的带腔法	英国的球带法
用途	1. 计算天棚面、墙面和工作面的平均照度和平均亮度; 2. 计算灯具任意布置时的平均照度; 3. 计算室内照明设施的光通密度	1. 计算天棚面、墙面和工作面的平均照度和平均亮度; 2. 计算灯具任意布置时的平均照度; 3. 对指定天棚面、墙面和工作面的平均照度的场所, 用此法能确定满足要求的灯具和灯具布置方式	计算工作面的平均照度和天棚面、墙面的平均亮度	计算工作面的平均照度和天棚面、墙面的平均亮度
计算方法要点	1. 利用有 GM 系数的一次式计算出的室内各表面的平均照度来计算照明设施的光通密度; 2. 应用累加球带光通的方法和 GM 系数计算灯具的直射光通分量(直射比); 3. 可利用计算机进行计算	1. 引用了表示灯具特性的光通指数数列的概念; 2. 把灯具向下配光分为10类; 3. 照明设施按 RC 分类; 4. 用光通指数数列和 GM 系数计算灯具的直射比; 5. 理论基础是 CIE 基础法	1. 引用了代替室指数的空间系数的概念; 2. 使用球带系数法计算灯具的直射光通分量(直射比); 3. 计算利用系数时引用了有效反射率的概念	1. 按 BZ 分类法, 把灯具的向下配光分成 10 类; 2. 使用球带系数法计算灯具的直射光通分量(直射比); 3. 计算利用系数时, 引用了有效反射率的概念; 4. 应用光通传递函数计算室内各表面的利用系数

表 2 目前室内照明的主要计算方法和今后的研究课题

计算方法及课题	计算对象	目的	光通量和辐射通量的利用
Harrison 和 Anderson 以来的光通法	工作面上的平均照度	1. 检查是否达到规定的视觉工作和工作面上的一般照明的标准; 2. 计算所需照明用电量	<pre> graph TD A[光通] --> B[光的分配] B --> C[被照明的空间] B --> D[照度] </pre>
美国的带腔法 英国的球带法 CIE 法	天棚面和墙面的亮度, 工作面的平均照度	1. 根据指定的空间表面的亮度和工作面上的平均照度计算工作空间的光通密度; 2. 考虑如何满足人的心理和生理的要求; 3. 计算照明所需用电量	<pre> graph TD A[光通] --> B[光的分配] B --> C[被照明的空间] B --> D[照度] E[心理和生理的制约条件] --> C C --> F[亮度] F --> D </pre>
80 年代的课题	空间的光通密度, 照明 矢量亮度	1. 直接计算空间的光通密度; 2. 确定特殊的工作和活动场所的一般照明; 3. 从主、客观两方面研究场所的照明环境; 4. 用最少的能量创造良好的视觉空间	<pre> graph TD A[辐射通量] --> B[辐射量的分配] B --> C[物理的照明空间] B --> D[辐射量] E[心理和生理的制约条件] --> C C --> F[心理的视觉空间] </pre>

参 考 文 献

- [1] Ward Harrison and Earl A. Anderson: Illumination Efficiencies as determined in an Experimental Room, Transactions of the Illuminating Engineering Society, **11** (1916) 67, Part II-Papers: Coefficient of Utilization, **15** (1920) 97
- [2] J.R. Jones and J.J. Neidhart: Algebraic Interflectance Computations, Illum. Engng, **52** (1957) 199
- [3] Z. Yamauti: The Light Flux Distribution of a System of Interreflecting Surfaces, J.O.S.A. **13** (1926) 561
- [4] P.F. O'Brien: Interreflections in Rooms by a Network Method, J.O.S.A. **45** (1955) 419, Network Representation of the Integrating Sphere, J. O. S. A. **46** (1956) 343, Interreflections in Asymmetrical Rooms, Illum. Engng, **53** (1958) 131, Lighting Calculations for 35,000 Rooms, Illum. Engng, **55** (1960) 215
- [5] H. Backley: On the Radiation from the Inside of a Circular Cylinder, Phil. Mag. **4** (1927) 753, **6** (1928) 447, **17** (1934) 576
 H. Backley: The Blackness of Blackbodies and the Illumination of Lightwells, J.O.S.A. **18** (1929) 216
 H.C. Hottell and F. Keller: Effect of Radiation on Heat Transmission in Furnaces and through Openings, A.S.M. E. Annual Meeting (Dec. 1932)
- [6] Z. Yamauti: Further Study of Geometrical Calculation of Illumination due to Light from Luminous Surface Sources of Simple Forms, Researches of the Electrotechnical Laboratory, (Tokyo), No. 194 (1927)
 A.D. Moore: Interreflection by the Increment Method as applied to a Light Court, T.I.E.S. **24** (1929) 629
 山内二郎: 半無限円筒内の相互反射, 照学誌, **16** (昭7) 117
 山内二郎: 有限円筒黒体の黒さ(1), 照学誌, **18** (昭9) 141
 山内二郎: 有限円筒黒体の黒さ(2), 照学誌, **18** (昭9) 159
 山内二郎: 有限円筒黒体の黒さ(3), 照学誌, **18** (昭9) 185
 山内二郎: 円筒内の相互反射論(1), 照学誌, **19** (昭10) 30
 山内二郎: 円筒内の相互反射論(2), 照学誌, **19** (昭10) 137
 山内二郎: 円筒型黒体の黒さに就いて, 電気試験所研報, 第378号(昭9)
 山内二郎: 無限長円筒内の相互反射論, 照学誌, **19** (昭10) 180
 K. Hisano: Fundamental Problems on Daylight Lighting, Researches Electrotech. Lab. (Tokyo), No. 397 (1936)
 H. F. Meacock and G.E.V. Lambert: The Efficiency of Lightwells, Dept. Sci. and Ind. Research, London, Illum. Research, Tech. Paper, No. 11 (1930), Proc. C. I. E. (1931) 1236
 久野 清: 矩形中庭の照度分布, 照学誌, **20** (昭11)
 伊東恒治: 室内反射による昼光水平照度増加に就いて, 建築学研究, **83**, (昭11)
 平山 嵩: 中庭壁面の相互反射に関する実験的研究, 建築学会論文集, **8** (昭11) 44
- [7] 久野 清: 直六面体内の光束分布と其の単純化尺度, 電気試験所研報, 第394号(昭11)
- [8] Parry Moon: On Interreflections, J.O.S.A. **30** (1940) 195
 Parry Moon: Interreflections in Finite Cylinders, J.O.S.A. **31** (1941) 223
 Parry Moon: Interreflections in Lightwells, J. O.S.A. **31** (1941) 301
 Parry Moon: Interreflections in Rooms, J.O.S.A. **31** (1941) 374
 Parry Moon and Domina E. Spencer: Light Distributions in Rooms, Journal of the Franklin Institute (J.F.I.), **242** (1946) 111
 Parry Moon and Domina E. Spencer: Lighting Design by the Interflection Method, J.F.I. **242** (1946) 465
 "The Interflection Method of Predetermining Brightnesses and Brightness Ratios", Report No. 3 of the Committee on Standards of Quality and Quantity for Interior Illumination, Illum. Engng, **41** (1946) 361
 "Brightness Distribution in Rooms", Report No. 4 of the Committee on Standards of Quality and Quantity for Interior Illumination, Illum. Engng, **42** (1947) 180
 Robert S. Wiseman: Brightness and Illumination by Interreflections in Enclosures, Illum. Engng, **50** (1955) 227
 W.T. White: Calculation of the Light Distribution in Lightwells, J.O.S.A. **31** (1941) 308
- [9] J.R. Jones and John J. Neidhart: Coefficients of Utilization for Luminaires with Concentrating Distributions, Illum. Engng, **46** (1951) 601
 A Report of the Committee on Lighting Design Practice of the Illuminating Engineering Society "Calculating Coefficients of Utilization," Illum. Engng, **51** (1956) 385
- [10] Zonal-Cavity Method of Calculating and Using Coefficients of Utilization, Prepared by the Lighting Design Practice Committee of the Illuminating Society. Approved by the Council of the I.E.S. Illum. Engng, **59** (1964) 309
 J. R. Jones and B.F. Jones: Using the Zonal-Cavity System in Lighting Calculations, Illum. Engng, **59** (1964) 413, 448, 501, 556

- アメリカ I.E.S.: I.E.S. Lighting Handbook, 4th Edition, Illum. Engng Society, (New York) (1966)
P.F. O'Brien: Transfer Functions for Symmetrical Enclosures, Illum. Engng, **62** (1967) 187
- [11] イギリス I.E.S.: I.E.S. Technical Report No. 2 "The Calculation of Coefficients of Utilization" Illum. Engng Society, (London) (1961)
- [12] P. Moon and D. E. Spencer: The Visual Effect of Non-Uniform Surrounds, J.O.S.A. **35** (1945) 233
- [13] 寺村 修: 平均照度算出の基礎理論, 照学誌, **49** (昭 40) 288
寺村 修: 平均照度の算出誤差について, 照学誌, **50** (昭 41) 196
研究部光波研究室: 平均照度の測定方法について, 東京都電気研究所研究報告 第 9 巻 第 1 号 P.15, 第 2 号 P.77, 第 3 号 P.116, 平均照度法の基礎, 第 4 号 P.196
J. R. Jones: Point by Point Calculations in Interiors, Illum. Engng, **59** (1964) 357
- [14] J. Dourgnon, A. de Graaff et A. Godfert: Calcul du flux envoyé dans un rectangle par une source de révolution, C.R. 16e CIE Session (1967) 292, P-67-09
高橋・石野ら: 室内照明における照度予測の電子計算化, 照学誌, **54** (昭 45) 697
- [15] 佐土根・猪野原: 屋内照明器具照明率の各種計算法の比較, 昭 42, 電気学会連合大会 No. 828

第二章 室形指数与室系数

2.1 概 论

在 Harrison 和 Anderson 的三配光法 (或称三曲线分割法) 中, 当决定照明装置的利用系数●时, 必须首先求出由室的形状所决定的所谓室形指数 R_r 。室形指数有这样的特点, 就是即使室的大小不同, 只要室形指数相等, 利用系数就是相等的。按严密的定义来说, 室形指数仅是对正方形房间而言的, 如图 2.1 所示的房间。对直接照明方式来说, 室形指数为:

$$R_r = \frac{\text{正方形的边长}}{2 \times (\text{工作面到光源的高度})} = \frac{x}{2h_r}$$

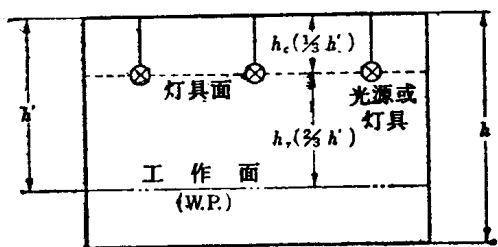


图 2.1

对间接照明方式及半间接照明方式来说^[1], 则

$$R_r = \frac{\text{正方形的边长}}{2 \times \frac{2}{3} (\text{工作面到天棚的高度})} = \frac{x}{1 \frac{1}{3} h'} \\ (h_r = \frac{2}{3} h')$$

当房间为矩形时, Harrison 和 Anderson 提出了如下的三个利用系数计算的方案:

- (1) 先求出长边和短边的平均值, 把以此值为边长的正方形室的利用系数作为该矩形室的利用系数;
- (2) 分别考虑把长边作为一边以及把短边作为一边的正方形室, 把这两个正方形室的利用系数的平均值作为矩形室的利用系数;
- (3) 将以短边作为一边的正方形的利用系数加上以长边作为一边的正方形室的利用系数的 1/3, 把其和作为矩形室的利用系数。

以上的这三种利用系数计算的方案的误差都是大的。关于这点, 久野氏^[2], C. L. Crouch 和 Eve Freyer^[3]都指出过。

昭和 11 年 (1936 年), 久野清氏在电气试验所的第 394 号研究报告中发表了题为“直六面体内的光通分布及其单纯化尺度”的论文。该文提出了把矩形室当作是以二边 (长边和短边, 其长度分别记为 w 和 l) 的调和项 (即用 w 和 l 的平均值去除 w 和 l 之积所得的商), 即

$$\lambda = \frac{wl}{\frac{w+l}{2}} = \frac{2wl}{w+l}$$

作为边长的正方形室的方案。该方案的误差比较小, 这点为久野氏的计算及试验所证明; Crouch 和 Freyer 也证实了这一点; Moon 还在理论上对此进行了论证^[4]。

下面介绍久野氏方案概要。

● 利用系数即为入射到工作面上的光通量与光源所发出的全部光通量之比。

2.2 单纯化尺度的定义

久野氏的方案是利用所谓单纯化尺度,把任意的直六面体室(矩形室)等价变换为底为正方的直六面体室(正方形室)。其正确性已被计算及实验所证明。

所谓单纯化尺度,就是指矩形室的二边 w 及 l 的调和中项,即

$$\lambda = \frac{wl}{\frac{w+l}{2}} = \frac{2wl}{w+l} \quad (2.1)$$

当室高为 h 时,把

$$z = \frac{h}{\lambda} = \frac{h(w+l)}{2wl} \quad (\text{即 } k_r, \text{ 见 2.6 节}) \quad (2.2)$$

称为等价高,而把具有 1×1 的正方形地面、高度为 z 的正方形室称为等价正方形室。若要对任意的矩形室作照明计算,只要对等价正方形室进行研究即可。(对于 $x \times x$ 的正方形室, $z = \frac{h}{x}$, 这时只需对 $1 \times 1 \times z$ 的等价正方形室进行研究即可)。

久野氏的论文中所研究的是理想化室,即作了下述假定的室:

- (1) 室内各面均为完全漫射表面;
- (2) 天棚面、墙面及地面诸表面的反射率都是一样的;
- (3) 天棚面各处的亮度都一样;
- (4) 在墙面上同一高度的各点的照度相同;
- (5) 地面各处的照度都一样。

2.3 从天棚面射向地面的直射光通

由实际建筑物的室形资料可知, z 一般在 2 以下,而 l/w 则在 4 以下,所以问题的研究范围可以限定在 $z \leq 2, l/w \leq 4$ 范围内。

山内二郎指出,当整个天棚面(面积为 $w \times l$) 的亮度相同并均为单位亮度时,入射到与天棚面距离为 h 的地面的光通量可用下式表示^[5]:

$$\begin{aligned} \phi' = 4 \left\{ l^2 \left[\varphi_2 \left(\tan^{-1} \frac{l}{\sqrt{w^2 + h^2}} \right) - \varphi_2 \left(\tan^{-1} \frac{l}{h} \right) \right] + \right. \\ \left. + w^2 \left[\varphi_2 \left(\tan^{-1} \frac{w}{\sqrt{l^2 + h^2}} \right) - \varphi_2 \left(\tan^{-1} \frac{w}{h} \right) \right] \right\} \quad (2.3) \bullet \end{aligned}$$

式中
$$\varphi_2(\omega) = \frac{1}{2} \left(\omega \cot \omega - \frac{1}{2} \log \sin \omega + \frac{1}{2} \cot^2 \omega \cdot \log \cos \omega \right)$$

因为从单位亮度的天棚面发射出的光通中,直接入射于地面的部分是 ϕ' (平均照度)*,因此,当天棚面发射的光通量为一个单位光通时,地面的平均照度(直射照度) E_{av} 为 $\phi' / \pi w l$, 所以:

$$\begin{aligned} E_{av} = \frac{4}{\pi} \left\{ \frac{l}{w} \left[\varphi_2 \left(\tan^{-1} \frac{l}{\sqrt{w^2 + h^2}} \right) - \varphi_2 \left(\tan^{-1} \frac{l}{h} \right) \right] + \right. \\ \left. + \frac{w}{l} \left[\varphi_2 \left(\tan^{-1} \frac{w}{\sqrt{l^2 + h^2}} \right) - \varphi_2 \left(\tan^{-1} \frac{w}{h} \right) \right] \right\} \quad (2.4) \bullet \end{aligned}$$

① 此式的证明见文献[5]的 P.17 及 P.18, 或本书附录(1)。

* 对于等价正方形室,地面面积为 $1 \times 1 = 1$, 所以平均照度也就等于入射光通——译者注

② E_{av} 值可由第六章中(6.26)式中求出。

从上式可以看到, E_{av} 是由 w/h 和 l/h 来决定的, 而 w/h 和 l/h 又是由等价高 z , 二边的比 l/w 来决定的:

$$\left. \begin{aligned} \frac{w}{h} &= \frac{w}{z\lambda} = \frac{w}{z \frac{2wl}{w+l}} = \frac{w+l}{2zl} = \frac{1+l/w}{2z \frac{l}{w}} \\ \frac{l}{h} &= \frac{w+l}{2zw} = \frac{1+l/w}{2z} \end{aligned} \right\} \quad (2.5)$$

所以, 对于正方形房间, $l/w=1$, $w/h=l/h=\frac{1}{z}$, 式(2.4)可变成下面极简单的形式:

$$E_{av} = \frac{8}{\pi} \left[\varphi_2 \left(\tan^{-1} \frac{1}{\sqrt{1+z^2}} \right) - \varphi_2 \left(\tan^{-1} \frac{1}{z} \right) \right] \quad (2.6)$$

由式(2.4)知 E_{av} 是 w 和 l 的函数, 所以即使 h 相同, 如果 l/w 不同, E_{av} 的值也就不同。利用式(2.5)所示的关系, 可把 E_{av} 表为 z 和 l/w 的函数。图 2.2 是对于特定的 l/w 值的 E_{av} 与 z 的关系曲线图●。(其中图(b)是图(a)中的一部分的详细情形。)详细探讨的结果证明, 在上述 $z \leq 2$, $l/w \leq 4$ 实用范围内, 同一 z 的 E_{av} 值与 l/w 的值无关。(一般把偏离不超出 10% 的数值视为相吻合的数值。)因此, 在 $z \leq 2$, $l/w \leq 4$ 的范围内, 当误差允许在 10% 以内时, 可把 E_{av} 看成只是 z 的函数, 用 $l/w=1$ 时的简单的式(2.6)来计算即可。

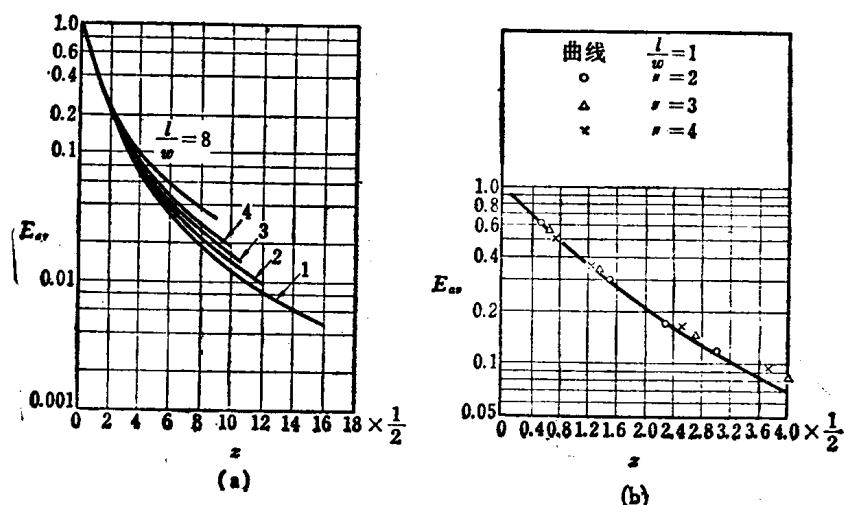


图 2.2

对于边长为 x 的正方形室, $\lambda=x$, 所以它的等价正方形室是地面为 1×1 , 高为 $z=\frac{h}{x}$ 的室。可见, 在求平均照度时, 任意的直六面体室均可作为等价正方形室来处理。

2.4 天棚为光源时在墙面产生的直射照度

当天棚面为光源时(发光天棚), 假定整个天棚面的亮度相同并均为单位亮度, 则与天棚面距离为 s 的墙面上的直射照度可用下式表示:

$$E_{ws} = \tan^{-1} \frac{l/2}{s} - \frac{s}{\sqrt{w^2 + s^2}} \tan^{-1} \frac{l/2}{\sqrt{w^2 + s^2}} \quad (2.7) \bullet$$

● 此图以及后面的图 2.3—2.5, 因原论文印刷不清, 也可能或多或少有些出入。
● 此式的证明见附录(2)。

它与天然照度系数 $\bullet D$ 的关系如下:

$$D = \frac{E_{ws}}{\pi} = \frac{1}{\pi} \left(\tan^{-1} \frac{l/2}{s} - \frac{s}{\sqrt{w^2 + s^2}} \tan^{-1} \frac{l/2}{\sqrt{w^2 + s^2}} \right) \quad (2.8)$$

式中 s 若以 h 表示, 则 D 便只是 w/h , l/h 的函数。如把 D 表为 z 及 l/w 的函数, 则可描出如图 2.3 的曲线。在上述 z 及 l/w 的实用范围之内, 只要 z 相同 (在 z 大的位置其误差要变大), D 也几乎与 l/w 没有关系, 其误差限制在 10% 之内。这时, 任意的矩形室也可以作为等价正方形室来处理。

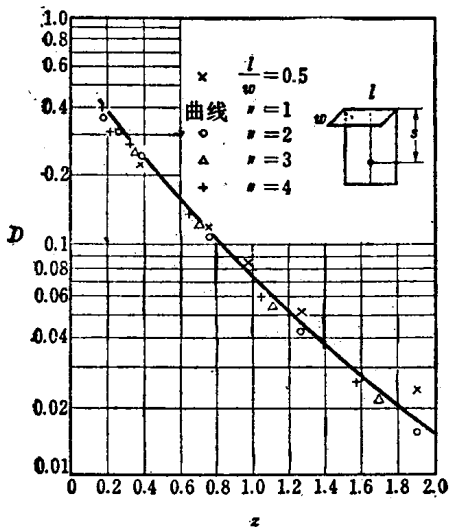


图 2.3

2.5 从点光源或其他光源射向地面的直射光通

假定点光源 (或完全漫射的微小面光源) 在室的中央 (如微小面光源则为水平放置), 离工作面的高度为 h_r 。这时, 入射到工作面上的光通量与从光源发射出的总光通量之比 (即利用系数 U) 同 z_r ($= \frac{h_r}{\lambda}$) 及 l/w 究竟有什么关系呢? 通过分析研究知道, 对于发光强度为 I 的点光源, 其关系为:

$$U = \frac{1}{\pi} \tan^{-1} \frac{w/2 \cdot l/2}{h_r \sqrt{h_r^2 + (w/2)^2 + (l/2)^2}} \quad (2.9) \bullet$$

对于面积为 ΔS 并具有单位亮度的完全漫射微小水平面光源, 则有:

$$U = \frac{2}{\pi} \left(\frac{w/2}{\sqrt{h_r^2 + (w/2)^2}} \tan^{-1} \frac{l/2}{\sqrt{h_r^2 + (w/2)^2}} + \frac{l/2}{\sqrt{h_r^2 + (l/2)^2}} \tan^{-1} \frac{w/2}{\sqrt{h_r^2 + (l/2)^2}} \right) \quad (2.10) \bullet$$

式 (2.9) 及式 (2.10) 都只是 w/h 和 l/h_r 的函数。图 2.4 是对应于几种特定的 l/w 值的 U 和 z_r 的关系曲线图。由图可看出, 这时也同样是在 z_r 大的位置其误差变大, 但误差限制在 10% 以内。

在实际的房间里, 除了有从光源来的直射光通外, 还有从天棚或墙面来的反射光通, 它们都几乎与 l/w 无关^[2]。因此, 当研究室内电灯照明的利用系数或固有利用系数 (利用系数 $U =$ 固有利用系数 $U' \times$ 照明器效率 η), 计算从光源入射到工作面的光通量时, 将直六面体室 (矩形室) 变换为等价正方形室, 其误差也不会超出实用上所允许的误差范围。图 2.5 是根据使用一般常用的照明器时的测定结果作成的。此图只适用于 z_r 不大、误差较小的情况。

以上的理论研究以及实际测定的结果都是针对光源位于矩形室的中央而言的; 光源不在中央时的影响见表 2.1, 其中光源于室中不同位置详见图 2.6。光源在④位置时, 出射光经相互反射后入射到工作面的总光通量看作 1; 光源在③、⑤位置时入射到工作面的光通量有所减少, 它与在中央的情况时的光通量之比在表中给了出来。图中房间的 z_r 为:

● 天然照度系数 $D = \frac{\text{室内某点照度}}{\text{同时室外照度}} = \frac{E}{\pi B_0}$ ($B_0 =$ 天空亮度)。

② 证明见附录 (3) 或参考第六章表 6.9, No. 31。

● 参考第六章表 6.9, No. 12。

$$z_r = \frac{h_r}{\lambda} = \frac{h_r}{\frac{2wl}{w+l}} = \frac{2.1}{\frac{2 \times 6 \times 6}{6+6}} = 0.35$$

在这样的室内,虽然光源不是在室中央,而把它当作是在室中央来考虑,工作面上的入射光通很明显不会产生大的误差。

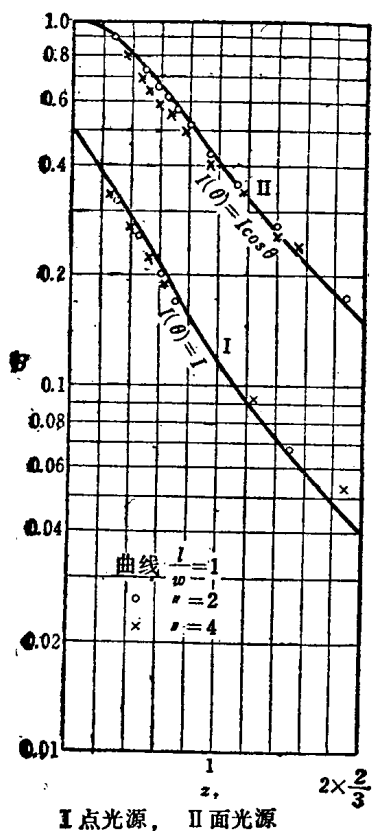


图 2.4

表 2.1 光源在不同位置时的入射光通之比
(A的情况为1)

A	1
B	0.996
C	0.977

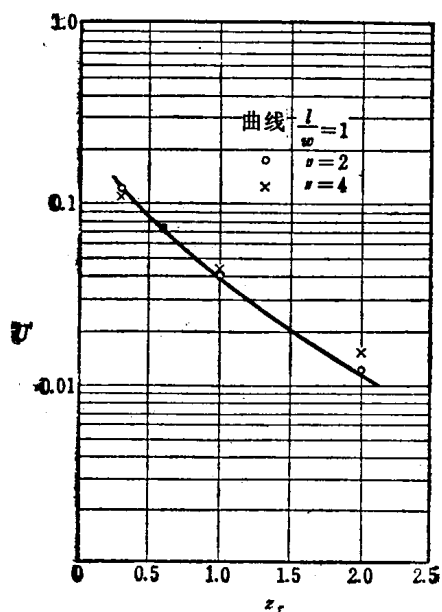
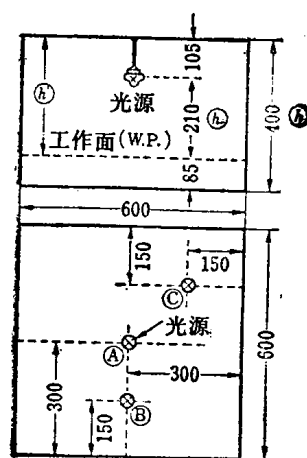


图 2.5



单位:cm

图 2.6

2.6 室形指数与室系数

据上述可知,直六面体内的一次光通分布(从天棚面向地面、墙面,或从所采用的点光源、微小水平面光源及任意灯具的光源入射到工作面的光通的分布)和总光通量在实用的范围与精确度之内,只是 z 或 z_r 的函数而与 l/w 无关。容易想到,这一结论对于天然光源、面光源、面光源的集合、点光源和面光源共存等情况也是成立的。对于正方形室,若其边长为 x ,对直接照明来说,室形指数为:

$$R_r = \frac{\frac{2wl}{w+l}}{2h_r} = \frac{x}{2h_r} \quad (2.11)$$

而等价高为:

$$z_r = \frac{h_r}{\lambda} = \frac{h_r}{x} = \frac{1}{\frac{x}{h_r}} \quad (2.12)$$

(单纯化尺度 $\lambda = x$)

由此可得:

$$R_r z_r = \frac{1}{2} = \text{常数} \quad (2.13)$$

这就是说,从描述室的形状这个角度来说,正方形室的室形指数 R_r 完全可与等价高 z_r 更换。若 h_r 为从工作面到天棚面的高度 h' 的 $2/3$, 则

$$R_r z_r = \frac{3}{4} = \text{常数} \quad (z_r \neq z_r) \quad (2.14)$$

(2.11)式的定义是对直接照明方式而言的,对间接或半间接照明方式($h_r = \frac{2}{3} h'$ 时),则为

$$R_r = \frac{\frac{2wl}{w+l}}{2 \times \frac{2}{3} h'} = \frac{3x}{4h'}, \quad z_r = \frac{h'}{x}, \quad R_r z_r = \frac{3}{4} = \text{常数} \quad (2.15)$$

若把室形指数的倒数称为室系数 K_r , 对于直接照明方式,有

$$K_r = \frac{1}{R_r} = \frac{h_r(w+l)}{wl} \quad (2.16)$$

对间接或半间接的照明方式,则有

$$K_r = \frac{1}{R_r} = \frac{2h'(w+l)}{3wl} \quad (2.17)$$

Moon 在理论上处理室内的相互反射时,以 $k_r = K_r/2$, 即

$$k_r = \frac{h(w+l)}{2wl} = \frac{hp}{4S} \quad (2.18)$$

作为室系数^[4]。

式中 h ——室高(从地面到天棚面的高度);

p ——室的周长;

S ——室的面积(地面面积)。

另外,在日本照明学会及英国照明学会中,不管照明方式是直接的还是间接的,室指数均采用

$$R_r = \frac{wl}{h_r(w+l)} \quad (2.19)$$

式中 h_r 为工作面到灯具的高度。选用 R_r 值时,通常推荐如下的 10—11 个数值:

$$\begin{array}{cccccc} 0.6 & (0.7) & 0.8 & 1.0 & 1.25 & 1.5 \\ 2.0 & 2.5 & 3.0 & 4.0 & 5.0 & \end{array}$$

为了计算方便起见,有些作者采用 R_r 的倒数(即 K_r)的 $1/2$ 作为室系数。

此外,美国照明学会的带腔法中采用的是 K_{re} , 其表式为

$$K_{re} = (RCR) = \frac{5h_{re}(w+l)}{wl}$$

(参看第九章和第十一章), 请注意不要把它与上面的室系数混同起来。

参 考 文 献

- [1] Ward Harrison and Earl A. Anderson: Part II Papers, Coefficient of Utilization, **15** (1920) P. 104~105
- [2] 久野 清: 直六面体内の光束分布と其の光単純化尺度, 電気試験所研究報告, 第 394 号 (昭 11)
H. F. Meacock and G. E. V. Lambert: The Efficiency of Lightwells, Dept. Sci and Ind. Research, (London), Illum. Research, Tech. Paper, No. 11 (1930), Proc. C.I.E. (1931) 1236
尾本義一: 等光輝度多角形面光源による照度および直線光源による照度, 照学誌, **8** (大 13) 285
Z. Yamauti: Further Study of Geometrical Calculation of Illumination due to Light from Luminous Surface Sources of Simple Forms, Researches Electrotech. Lab. (Tokyo), No. 194 (1927)
Z. Yamauti: The Amount of Flux Incident to Rectangular Floor through Rectangular Windows, Researches Electrotech. Lab. (Tokyo), No. 250 (1929)
K. Hisano: Graphical Methods for the Calculation of Light Flux incident to Illuminated Plane from Surface Source, Researches Electrotech. Lab. (Tokyo), No. 367 (1934)
- [3] C. L. Crouch and Eve Freyer: New Formula for Room Index, Illum. Engng, **48** (1953) 203
- [4] Parry Moon: Interreflection in Finite Cylinders, **31** (1941) P. 232~233
- [5] 見文献[2]. Z. Yamauti: Researches Electrotech. Lab. (Tokyo), Mo. 250 (1920) P. 17~18
見文献[2], 久野 清: 電気試験所研報, 第 394 号 (昭 11) P. 3~4

第三章 三配光法

3.1 概论

Harrison 和 Anderson^[1] 采用模型试验求出了室内的利用系数 (1916 年), 利用它并根据光通法确立了室内照明计算法的基础。其试验用的实体模型和舞台装置相似, 宽 13.5 ft (4.11m), 长 27 ft (8.22m), 高 14 ft (4.26m), (高度可以任意变化, 最大高度为 14 ft); 采用所谓饰面板 [边长为 40 in (1.21m) 的正方形板], 象预制装配式住宅那样组装; 室内表面的反射率和室的高度可以改变; 适当地选择天棚出口位置 (即灯具安装的电气配线的引出口, 即使灯数变更, 其位置也要选择成对称的形式); 天棚和墙面的板上涂上白、黑、灰等色的漫射性油漆, 所以反射率可以适当地加以组合变化; 地板表面的反射率为 14%; 而且从天棚悬吊下来的灯具采用直接式、间接式和全扩散式等三种形式。

在同一大小的室内, 采用不同型式的灯具以及使室内表面的反射率作各种变化, 对在不同的情况下的结果作利用系数的比较; 还可使室的大小作各种变化 (表 3.1 所示的是室的大小的五种变化类型)。使室的大小、照明灯具的型式和室内反射率等作种种变化, 取得了约 200 组在

表 3.1

类 型	尺寸	宽 (w)	长 (l)	高 (h)	工作面高
①		13.5 ft	13.5 ft	14.0 ft	3 ft
②		13.5	13.5	14.0	5
③		13.5	27.0	9.0	3
④		13.5	27.0	6.0	3
⑤		13.5	27.0	12.0	3

不同条件下的数据。工作面各点的照度利用韦伯便携式光度计 (Weber portable photometer) 进行测定。由于这种光度计的试验板不是完全漫射的, 产生了 12% 的负误差, 不过这误差是可以修正的。

在上述方法中, 灯具的安装间隔 S 与工作面至灯具的高度 MH_{wp} (h_r) 之比 S/MH_{wp} 的数值取在 1.5—2.0 之间, 所以此法如用于 S/MH_{wp} 的数值在这范围外的场合将是有问题的; 还有, 地面的反射率取 $\rho_f=14\%$, 如用于地面反射率与此不同的场合 (特别是高反射率的场合), 同样也是有问题。

3.2 三配光法 (或三曲线分割法)

Harrison 和 Anderson 的三配光法是先把光源或灯具发出的总光通分为三部分: 间接部分 ϕ_I , 水平部分 ϕ_H , 直接部分 ϕ_D ; 由室形指数和天棚面、墙面的反射率 (地面反射率是固定的, 为 14%) 求出对应于各部分的分布系数, 把所求得的分布系数 U_I , U_H , U_D 分别乘上 ϕ_I , ϕ_H , ϕ_D , 然后把这三个积相加, 其和 ($U_I\phi_I + U_H\phi_H + U_D\phi_D$) 就是入射于工作面的有效光通。由此就可以求出利用系数以及工作面上的平均照度。下面对这一方法作一些说明。

从光源或照明器向工作面● 投射的光通的比例,是由光源或照明器的配光和安装(或悬吊)位置、室的大小(宽 w , 长 l , 高 h);天棚面和墙面的反射率等因素所确定的。因此,要改变光源或照明器的配光形式、室的大小、天棚面和墙面的反射率(地面的反射率不变)等,进行多次的模型实验,用其数据来计算工作面上的平均照度。

在 Harrison 和 Anderson 的研究中,采用正方形室的室形指数 $R_r = x/2h_r$ (宽=长= x , h_r 为光源离工作面的高度)作为表征室的大小的函数;对于矩形室的场合,为了求出光源在工作面上产生的光通分布,久野氏^[2]的方案是利用调和中项把矩形室换算为利用系数相等的等价正方形室(参见第二章),这时,

$$R_r = \frac{x}{2h_r} = \frac{\frac{wl}{(w+l)/2}}{2h_r} = \frac{wl}{h_r(w+l)} \quad (3.1)$$

室形指数的倒数称为室系数,用 K_r 表示,即

$$K_r = \frac{1}{R_r} = \frac{h_r(w+l)}{wl} \quad (3.2)$$

在一般情况下,是采用室形指数作为表征室的大小的函数。(CIE, 日本及英国照明学会都采用它。)然而,如要用诺模图表示各分布系数时,有必要采用室形指数的倒数即室系数。(如果用室形指数,当室变成非常大的场合,室形指数也变成非常大,这时如要用图来表示将变得很困难。)分布系数最初是由 Harrison 和 Anderson 用表格给出的;后来,Boast^[3] 对之作了一些修正,并以在使用上方便的图来表示。

Harrison 与 Anderson^[1], 还有美国照明学会, Boast^[3], 对于间接照明方式采用的室系数是:

$$K_{r,i} = \frac{2h'(w+l)}{3wl} \quad (3.3)$$

式中 h' 为从工作面到天棚面的高度。对于直接照明方式则为:

$$K_{r,d} = \frac{h_r(w+l)}{wl} \quad (3.4)$$

式中 h_r 为工作面到灯具面高度。对于全扩散照明方式来说,为了顾及向上光通 $\phi_{\text{向上}}$ 和向下光通 $\phi_{\text{向下}}$ 之间的比例,而把 K_r 改变为:

$$K_r = \frac{\phi_{\text{向上}}}{\phi_{\text{向上}} + \phi_{\text{向下}}} \times K_{r,i} + \frac{\phi_{\text{向下}}}{\phi_{\text{向上}} + \phi_{\text{向下}}} \times K_{r,d} \quad (3.5)$$

虽然室系数应视照明方式不同而采用不同的表式,但因为 h_r 大体上接近 $2/3 h'$, 所以在我国和 CIE, 认为对间接和直接照明方式没有必要作特殊的区别,从而在各种情况下都可以应用式(3.4)●。日本照明学会采用的是室形指数;作者所采用的是室系数,其表达式为:

$$K_r = \frac{h_r(w+l)}{wl}$$

或

$$k_r = \frac{h(w+l)}{2wl} \quad (3.6)$$

● 这里所说的工作面是指被照面,其高度在一般的房间里是指桌面的高度,为 75 cm; [在日本照明学会以及英国照明学会,工作面的高度取普通室高的 1/4 (85 cm); 但我认为 75 cm 比较妥当。然而,在一般情况下,桌面高度的不同对其平均照度不会有多大的影响。] 在日本式房间内,工作面在地面上 40 cm; 在走廊、大厅、庭院、道路工作面为地板面或地面。

● 参见黑沢凉之助:万能照明率表,照学誌,49 (昭40) 23。

式中 h_r ——从工作面到光源或灯具的高度；
 h ——从地面到天棚面的高度。

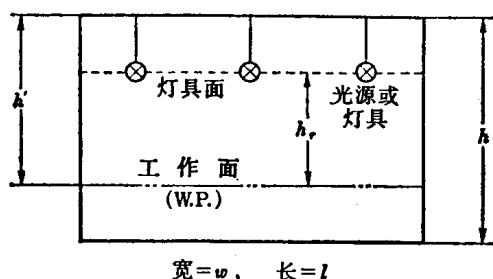


图 3.1

在本章的三配光法中，对于全扩散照明方式是采用式(3.5)。

三配光法也称为三曲线分割法。见本节例题，计算时是首先把原配光曲线分为水平、间接、直接等三条配光曲线，分别根据各配光曲线求出光通量。换句话说，就是把从光源发出来的总光通分成三部分，分别根据各部分的配光曲线求出光通量。当把配光曲线分成三条配光曲线时，首先要决定水平部分的

配光曲线，它是以 90° 方向的光强度 (cd) 的大小作为直径的一个圆，其理由是当初 Harrison 和 Anderson 的实验数据的获得，是基于这一假定进行的。

求入射到工作面上的有效光通时，考虑到室系数的大小和天棚面、墙面的反射率的影响，所以必须将各部分的光通量乘上对应的分布系数 U'_I , U'_H , U'_D 。求出有效光通后，就可算出利用系数。

三个部分的光通量可由下式算出：

$$\phi_H = \pi^2 I(90^\circ) = 9.87 I(90^\circ) \quad (3.7)$$

$$\phi_I = \phi(90^\circ - 180^\circ) - \frac{\phi_H}{2} = \phi(90^\circ - 180^\circ) - 4.93 I(90^\circ) \quad (3.8)$$

$$\phi_D = \phi(0^\circ - 90^\circ) - \frac{\phi_H}{2} = \phi(0^\circ - 90^\circ) - 4.93 I(90^\circ) \quad (3.9)$$

在使用直接照明灯具时，则只有 ϕ_D ；使用间接照明灯具时，只有 ϕ_I ；也有变成负的情况。

分布系数 U'_I , U'_H , U'_D 可分别从图 3.2 的 (a), (b), (c) 中求出。其中 U'_D 是在 $0^\circ - 40^\circ$ 之间配光的，并要根据是宽或是窄配光而适当地加以修正。方法是先考察如下值：

$$\frac{0^\circ - 40^\circ \text{ 间的总光通量 } \phi(0^\circ - 40^\circ) - 0.65 I(90^\circ)}{0^\circ - 90^\circ \text{ 间的总光通量 } \phi(0^\circ - 90^\circ) - 4.93 I(90^\circ)} \times 100\% \quad (3.10)$$

而后按其值的大小确定配光类型：

35%—40% (或者 35% 以下) ……宽配光

40%—45% ……中间配光

45%—50% (或者 50% 以上) ……窄配光

(中间配光的情况没必要修正)

从光源或照明器入射于工作面上的总光通量是用如下公式算出：

$$\phi_T = U'_I \phi_I + U'_H \phi_H + U'_D \phi_D \quad (3.11) \bullet$$

进而可求出利用系数：

$$U = \frac{\phi_T}{\phi_L} \quad (3.12)$$

式中 ϕ_L 为裸光源发射的总光通量。

工作面上的平均照度则由公式

● 对 ϕ_I 或 ϕ_D 变成“负”的情况，则 $U'_I \phi_I$ 或 $U'_D \phi_D$ 变为减项。

$$E_{av} = \frac{\phi_L UNM}{A} = \frac{\phi_L UN}{AD} \quad (3.13)$$

给出。其中 ϕ_L 为单灯所需的光通量：

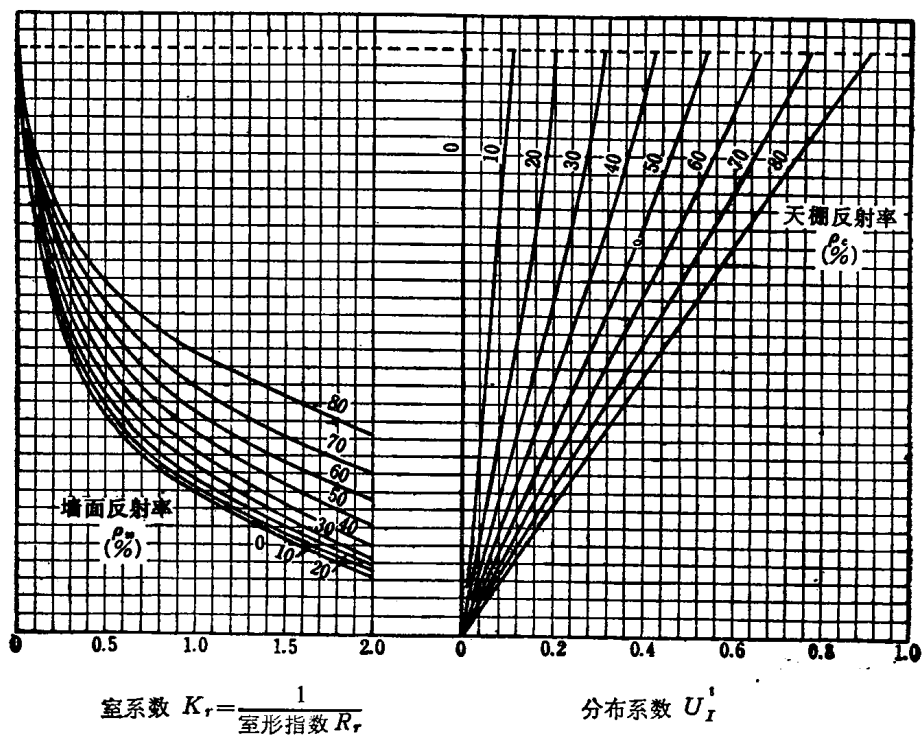


图 3.2 (a) 间接部分的分布系数

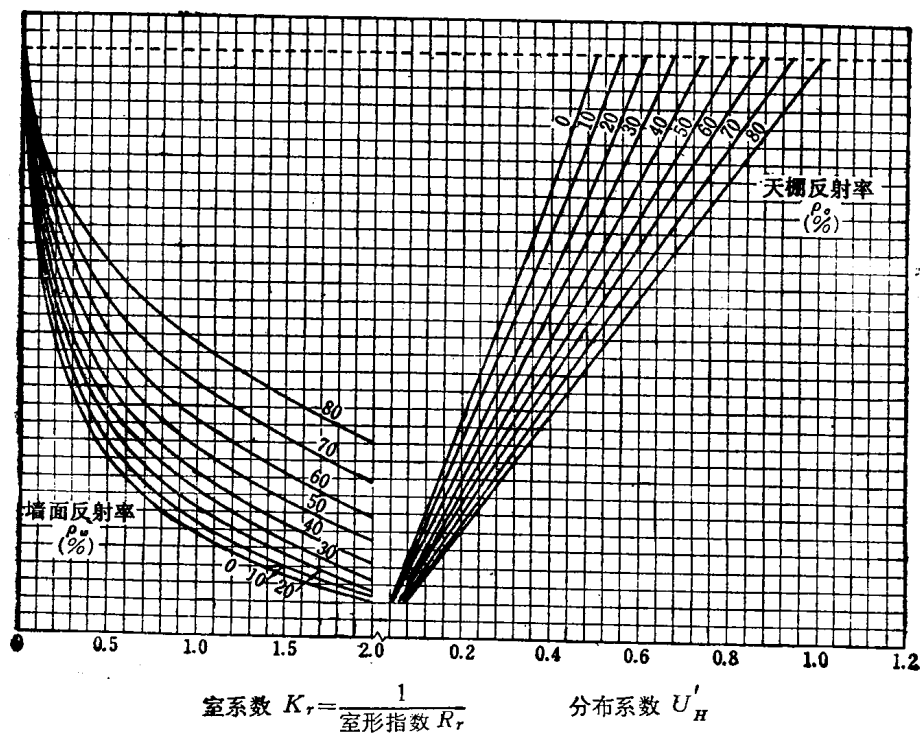


图 3.2 (b) 水平部分的分布系数

$$\phi_L = \frac{E_{av} A}{UNM} = \frac{E_{av} AD}{UN} \quad (3.14)$$

式中 E_{av} ——工作面的平均照度(lx);
 ϕ_L ——未装入灯具时单灯的总光通量(lm);
 A ——室的面积(m²);
 N ——灯数;
 U ——利用系数;
 M ——照明维护系数;
 D ——减光补偿系数($=1/M$)。

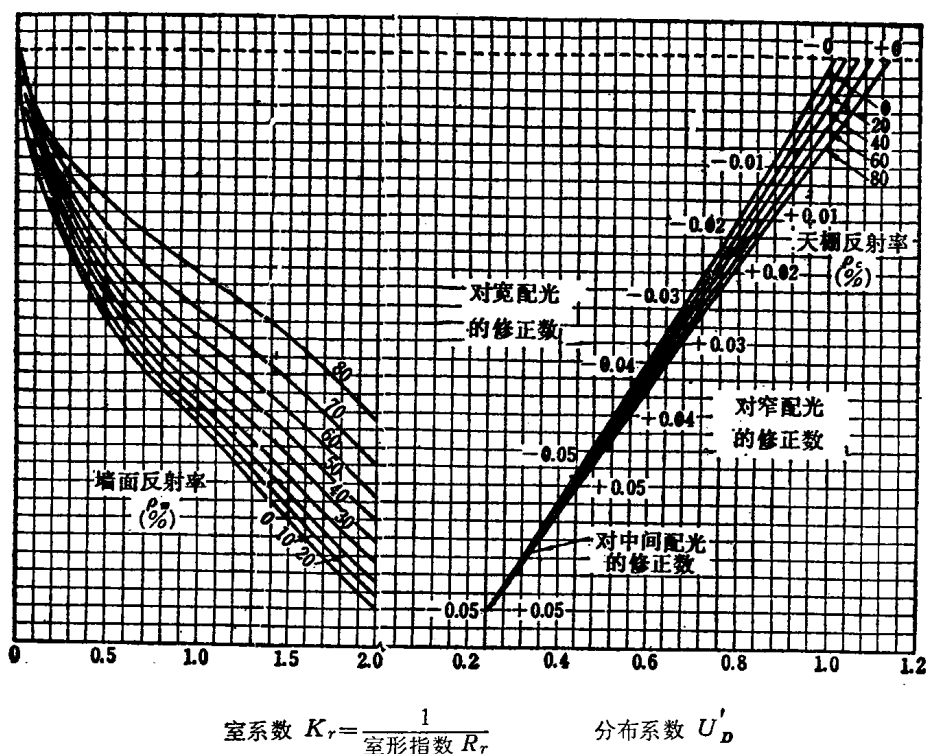


图 3.2 (c) 直接部分的分布系数

【例题】

一室宽 $w=6\text{m}$, 长 $l=10\text{m}$; 工作面至光源的高度 $h_r=3.8\text{m}$; 工作面至天棚面的高度 $h'=4.5\text{m}$; 天棚面反射率 $\rho_c=80\%$; 墙面反射率 $\rho_w=40\%$; 室内装有 30 个电灯 ($\phi_L=3000\text{lm}$), 其配光曲线如图 3.3 所示。求工作面上的平均照度(lx)。分布系数 U_I, U_H, U'_D 可由图 3.2 中的 (a), (b), (c) 求出; 维护系数为 $M=65\%$ 。

● 在美国, 此系数以前称为维护系数(maintenance factor), 最近则称为减光保守系数(depreciation factor), 或简称保守系数。它与日本至今仍采用的减光补偿系数 (为大于 1.0 的数值) 不同, 而与日本以前的维护系数 (为小于 1.0 的数值) 相同。维护系数可表为:

$$M = M_a \times M_d \times M_f \times M_w$$

式中 M_a ——光源的光衰减系数;
 M_d ——光源与灯具的污染系数;
 M_f ——光源的熄灭系数;
 M_w ——室内表面的污染系数。

【解】

$$K_{rI} = \frac{2h'(w+l)}{3wl} = \frac{2 \times 4.5 \times (6+10)}{3 \times 6 \times 10} = 0.800$$

$$K_{rD} = \frac{h_r(w+l)}{wl} = \frac{3.8 \times (6+10)}{6 \times 10} = 1.013$$

$$K_r = \frac{\phi_{\text{向上}}}{\phi_{\text{向上}} + \phi_{\text{向下}}} \times K_{rI} + \frac{\phi_{\text{向下}}}{\phi_{\text{向上}} + \phi_{\text{向下}}} \times K_{rD}$$

$$= \frac{1622}{2529} \times 0.800 + \frac{907}{2529} \times 1.013 = 0.877$$

$$\phi_H = 9.87I(90^\circ) = 9.87 \times 105 = 1036 \text{ lm}$$

$$\phi_I = \phi(90^\circ - 180^\circ) - 4.93I(90^\circ) = 1622 - 518 = 1104 \text{ lm}$$

$$\phi_D = \phi(0^\circ - 90^\circ) - 4.93I(90^\circ) = 907 - 518 = 389 \text{ lm}$$

由 $\rho_c = 80\%$, $\rho_w = 40\%$, 从图 3.2 (a), (b) 得

$$U_I = 0.30 \quad U_H = 0.32$$

由 $\frac{\phi(0^\circ - 40^\circ) - 0.65I(90^\circ)}{\phi(0^\circ - 90^\circ) - 4.93I(90^\circ)} \times 100\% = \frac{254 - 0.65 \times 105}{907 - 4.93 \times 105} \times 100\% = 48\%$, 知属于窄配光情况。

由图 3.2 (c) 得

$$U_D = 0.64 + 0.03 = 0.67$$

于是可求出:

$$\phi_T = U_I \phi_I + U_H \phi_H + U_D \phi_D = 0.30 \times 1104 + 0.32 \times 1036 + 0.67 \times 389 = 924 \text{ lm}$$

$$U = \frac{\phi_T}{\phi_L} = \frac{924}{3000} = 0.308$$

$$E_{av} = \frac{\phi_L U N M}{A}$$

$$= \frac{3000 \times 0.308 \times 30 \times 0.65}{6 \times 10}$$

$$= 300 \text{ lx}$$

3.3 球带系数法与(固有)利用系数表

图 3.3 所示的各球带(带域)的光通量, 是用球带系数法, 由公式 $\phi = \sum Z(\theta_m) I_\theta$ 求得的。其中 $Z(\theta_m)$ 为球带系数。表 3.2 和表 3.3 给出了球带系数 $Z(\theta_m)$ 的数值。其中表 3.2 的 $\Delta\theta$ 取为 10° , I_θ 为 I_{5° , I_{15° , I_{25° ...; 表 3.3 的 (1) — (8) 的 $\Delta\theta$ 分别为 1° , 2° , 3° , 5° , 7.5° , 10° , 20° , 30° 。

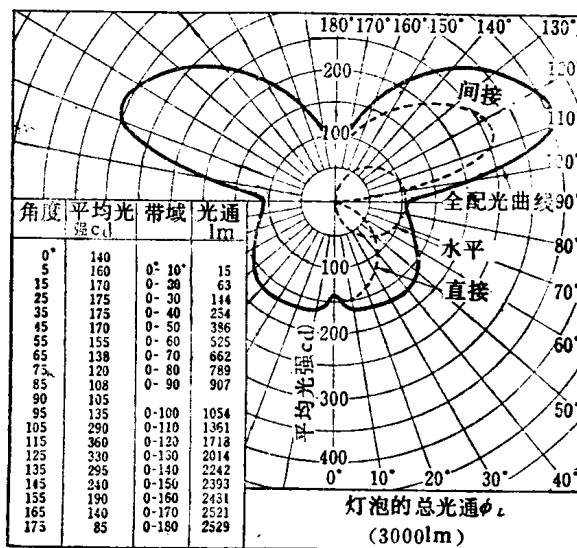


图 3.3 配光曲线的三曲线分割法

表 3.2 球带系数 $Z(\theta_m)$ ($\Delta\theta = 10^\circ$)

θ	5° 175°	15° 165°	25° 155°	35° 145°	45° 135°	55° 125°	65° 115°	75° 105°	85° 95°
$Z(\theta_m)$	0.0955	0.284	0.463	0.628	0.774	0.897	0.993	1.058	1.091