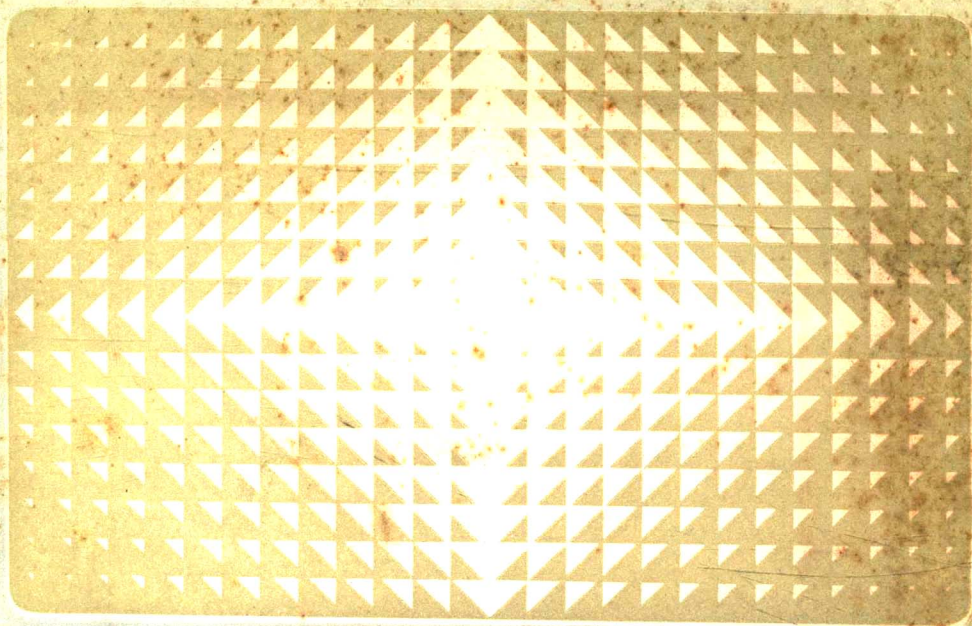




〔日〕石野 幸三 著
肖辉乾 庞蕴凡 译

SHi Nei ZHao Ming Ji Suan Fang Fa

室内照明计算方法

计 量 出 版 社

室内照明计算方法

[日] 石野幸三 著

肖辉乾 庞蕴凡 译

计量出版社

1984·北京

内 容 提 要

本书较全面、系统地介绍了国际上对于室内人工照明的主要计算方法,分析了各方法的特点及适用范围,是有关照明计算方面的一部专著。书中列举了利用各种方法进行具体计算的例子,并附有大量的图表,以供进行设计计算时参考和查阅。

本书可供从事建筑采光照明、电气设计的设计和科研人员,大专院校有关专业的师生以及照明计量人员参考。

室内照明設計法

【日】石 野 幸 三 著

森北出版株式会社 1972

室内照明计算方法

【日】石 野 幸 三 著

肖辉乾 庞蕴凡 译

*

计量出版社出版

(北京和平里11区7号)

中图公司上海印刷厂排版

北京市密云县印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16

印张 17

字数 409 千字

印数 1—15000

1984 年 10 月第一版

1984 年 10 月第一次印刷

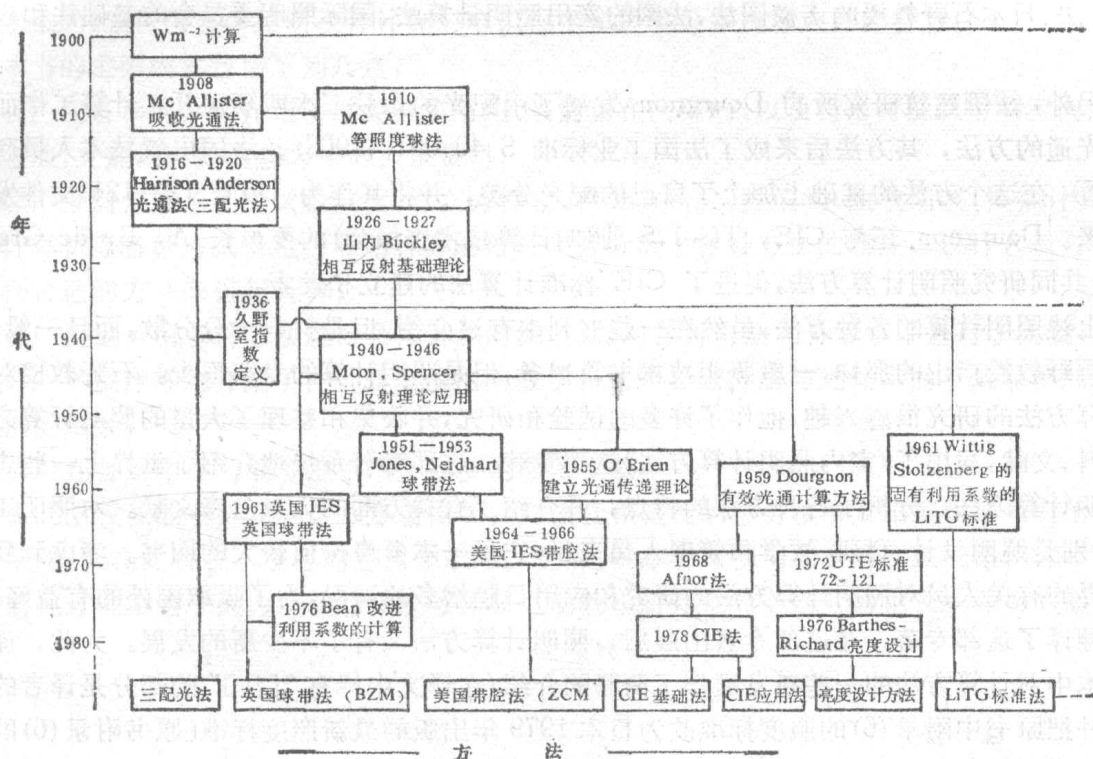
统一书号 15210·288

定价 3.10 元

译者序

照明计算是室内照明设计的一个重要组成部分。在照明设计中,通过照明计算,不仅可以求出室内所需安装的灯数和灯的功率,还可以对照明效果进行预测。

长期以来,照明工作者对室内照明作过许多的研究和试验,提出了不少的照明计算方法(见图)。



早在 1908 年, Mc Allister 就研究并提出了照明的能量守恒法则。该法则可表述为:照明器发射出的总光通量,等于被室内各表面所吸收的光通量的总和。Mc Allister 根据这一法则提出了吸收光通法;1910 年, Mc Allister 又提出了等照度球算法。这些方法在照明设计中虽然未被推广应用,但对研究照明计算方法是很有意义的。

1916 年,美国的 W. Harrison 和 E. Anderson 作了室内照明的试验并提出了利用系数的概念,发表了有名的而且直到现在还被应用的三配光曲线法。但由于这是由实验总结出来的计算方法,计算的精度和应用范围都受到了一定的限制。

为了寻找新的照明计算方法,不少学者进行了一系列的理论研究。Lambert 研究并提出了照明光源为矩形时的照度及光通的计算方法;Fock (1924 年),山内二郎 (1927 年), V. Genkin (1931 年) 等人先后研究发表了照明光源为不同形状时的照明算法;山内 (1926 年), H. Buckley (1927—1928 年), J. Dourgnon (1928 年) 等人对照明的相互反射理论进行了研究,指出光的相互反射可用积分方程来描述,为后来的相互反射计算方法的建立奠定

了基础;1940—1946年, Moon, Spencer 应用积分方程式计算了光的相互反射,提出了相互反射的基本计算方法。

1951—1953年, Jones, Neidhart 引入了假想空间有效反射率的概念,用球带法计算了从灯具直接入射到工作面上的光通量;1955年, O' Brien 把相互反射问题归结为求解一组联立方程式或积分方程式,并提出了光通传递函数的概念和理论;1961年,英国照明学会根据 Jones 的球带系数法和 Moon, Spencer 的相互反射理论提出了英国球带法 (BZM);1964—1966年,美国照明学会根据 Jones 与 O' Brien 的方法和理论提出了带腔法 (ZCM);1976年, Bean 对英国球带法作了改进,他把有效反射率和 O' Brien 的光通传递函数的数据引了进来,形成了现在的平均照度的计算方法;在这期间,人们所提出的照明计算方法还有苏联的 МЭИ 法、日本石野教授的诺模图法、法国的实用照明算法、国际照明委员会的基础法和应用法等。

另外,法国建筑研究所的 Dourgnon 发展了用配光的余弦三次四项展开式计算工作面的直射光通的方法,其方法后来成了法国工业标准 S 40.001 (1968)。法国电气技术人员联盟 (UTE) 在这个方法的基础上加上了自己的配光分类,并将其作为 UTE 72—121 文件发表了出来。Dourgnon 还与 CIE, TC-1.5 (照明计算技术委员会)的委员长 A. B. de Graaff 协作,共同研究照明计算方法,促进了 CIE 标准算法的建立和发表。

上述照明计算的各种方法,虽然在一些书刊中有过介绍,但是材料十分分散,而且一般化。正如石野教授指出的那样,一般照明技术书籍很多,但是照明计算的专著很少。石野教授对照明计算方法的研究很感兴趣,他作了许多的试验和研究,并收集和整理了大量的照明计算方法的资料、文献,写出了《室内照明计算方法》这部专著。这部专著系统地介绍了世界上一些主要的照明计算方法,分析了各种方法的特点,并介绍了有关方面的大量参考文献。对照明工作者,特别是照明设计、科研、教学和管理人员来说,它是一本参考价值较大的图书。考虑到我国照明界的有关人员对照明计算方法的研究和应用日趋增多的情况,为了吸取国外的有益经验,我们翻译了这部专著。在这部专著出版后,照明计算方法又有了不少新的发展。为此,译者在译本中对计算方法的一些新发展作了简略的介绍(在译文中标有“[注]”的部分是译者的介绍),并把原书中附录(6)的照度标准改为日本1979年出版的最新照度标准[原书附录(6)的照度标准已经过时]。由于译者的水平所限,译文中的错误及不妥之处在所难免,为此望获读者批评指正。

我们在翻译此书的过程中,得到了北京建筑工程学院高履泰副教授的热情帮助;另外,计量出版社的陈艳春和陈小林等同志在出版过程中付出了辛勤的劳动。在此我们一并表示诚挚的谢意。

译者

1982年2月于北京

序 言

有关照明工程方面的书籍很多,但往往都是对光源、灯具、测光和照明计算等各方面作一般性综合论述的,而有关照明的具体计算,特别是考虑到相互反射的照明计算的书籍却完全没有。作者对照明计算颇感兴趣,收集了一些有关这方面的资料,并应用照明模拟计算机和数字计算机进行过各种各样的计算。本书是将迄今为止作者收集到的有关资料和著作加以研究而整理出来的,它可供从事照明设计计算的电工技术和建筑设备技术人员作参考。

本书的主要内容包括下列几点:

(1) 在各章中分别介绍了过去曾采用的、当前正在使用的、以及将来可能使用的室内照明计算方法,并提供有关这些方法的大量资料;

(2) 分别介绍了利用试验数据、联立方程式、积分方程式、数值表、曲线图表、模拟计算机、数字计算机等各种方式来进行照明计算的方法,并分析了各种方法的特点。设计人员可以从中选择合适的方法来进行计算;

(3) 提供了用各种方法进行具体计算的例子,并对各种方法的计算结果进行了比较;

(4) 尽量详细地介绍了在计算中使用的数学公式的导出方法与过程,而不是只单纯地给出它们的结果;

(5) 在各章中尽可能多地引用了必要的参考文献。

森北出版社能安排我的这本专著出版,对该社和该社的常务董事太田编辑部长所给予的多方关照,我在此特表示衷心的感谢和敬意。另外,对本书所引用的参考文献的诸位作者和曾经在研究过程中给予大力协助的我校飯塚昌之助教和研究生的辛勤劳动也表示深切的谢意。

著 者

1971年12月1日

目 录

第一章 总论	1
第二章 室形指数与室系数	5
2.1 概论	5
2.2 单纯化尺度的定义	6
2.3 从天棚面射向地面的直射光通	6
2.4 天棚为光源时在墙面产生的直射照度	7
2.5 从点光源或其他光源射向地面的直射光通	8
2.6 室形指数与室系数	9
第三章 三配光法	12
3.1 概论	12
3.2 三配光法(或三曲线分割法)	12
3.3 球带系数法与(固有)利用系数表	17
第四章 用代数方法作相互反射计算的算法	32
第五章 模拟计算机法	34
5.1 照明模拟计算机 (L.A.C.)	34
5.2 操作方法	38
5.3 矩形房间与圆筒形房间的等效变换	41
第六章 固有入射光通系数	51
6.1 固有入射光通系数(S.M.)的定义	51
6.2 交角为 Φ 的二矩形面间的 S.M.	52
6.3 二平行矩形面间的 S.M.	67
6.4 S.M. 值的几何求法	71
6.5 S.M. 值的图解求法	73
第七章 积分方程法	87
7.1 Moon 计算式	87
7.2 Moon 与 Wiseman 的简略计算式	91
7.3 计算方法	96
第八章 英国照明学会的球带法	129
8.1 一般的计算方法	129
8.2 配光按 BZ 分类的计算法	138
第九章 美国照明学会的带腔法	153
9.1 空间系数	153
9.2 有效反射率	159
9.3 利用系数的计算方法	160
9.4 平均照度的计算	174
第十章 应用诺模图的带腔法	175
10.1 美国照明学会的带腔法	175

10.2	配光的分类(英国的 BZ 分类)	175
10.3	有效反射率,向下光通固有利用系数和向上光通固有利用系数的诺模图	176
10.4	计算方法	194
第十一章	亮度的计算	196
11.1	美国照明学会 (IES) 的亮度算法	196
11.2	利用 BZ 分类的亮度算法	196
第十二章	利用万能固有利用系数表的算法	222
12.1	配光的分类	222
12.2	万能固有利用系数表	222
12.3	配光类型的确定方法	227
12.4	计算方法	228
第十三章	逐点法	230
13.1	逐点法	230
13.2	小区分格点照度的计算	231
第十四章	CIE 法	233
附录		237

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^①)还提出了所谓 CIE 法(见第十四章)。

[注]

目前室内照明计算法简介

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。

① 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

计算方法	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室空间系数的概念； 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的一般照明的标准； 2. 计算所需照明用电量	
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	
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	

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 4 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^①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:

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

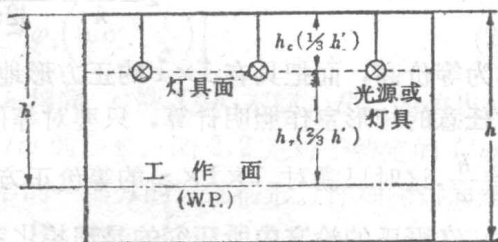


图 2.1

对间接照明方式及半间接照明方式来说^[1], 则

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

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) 的调和中项 (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。

① 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形的直六面体室(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]:

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

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:

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

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^①。(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。

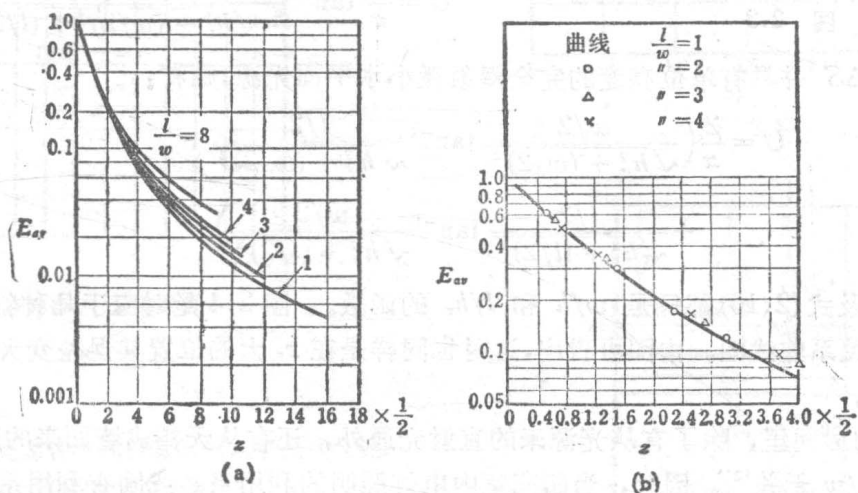


图 2.2

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:

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

① 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。

② 此式的证明见附录(2)。

它与天然照度系数 $\textcircled{1}D$ 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。

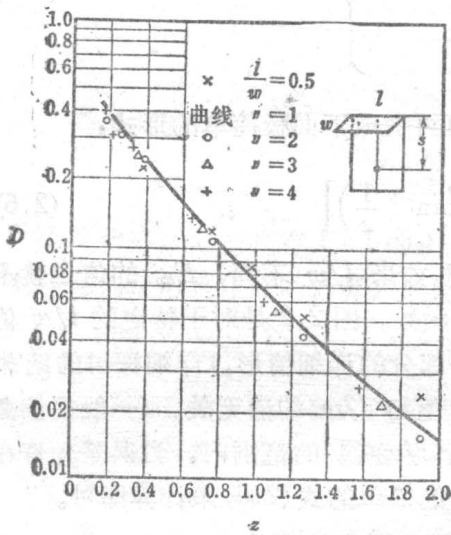


图 2.3

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 $z_r \left(= \frac{h_r}{l} \right)$ 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:

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

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:

$$U = \frac{2}{\pi} \left(\frac{w/2}{\sqrt{h_r^2 + (w/2)^2}} \tan^{-1} \frac{l/2}{\sqrt{h_r^2 + (w/2)^2}} + \frac{l/2}{\sqrt{h_r^2 + (l/2)^2}} \tan^{-1} \frac{w/2}{\sqrt{h_r^2 + (l/2)^2}} \right) \quad (2.10) \textcircled{3}$$

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 $U = \text{固有利用系数 } U' \times \text{照明器效率 } \eta$), 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 $\textcircled{A}$ 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 $\textcircled{B}$ 、 $\textcircled{C}$ 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:

^① 天然照度系数 $D = \frac{\text{室内某点照度}}{\text{同时室外照度}} = \frac{E}{\pi B_0}$ ($B_0 = \text{天空亮度}$)。
^② 证明见附录 (3) 或参考第六章表 6.9, No. 31。
^③ 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。

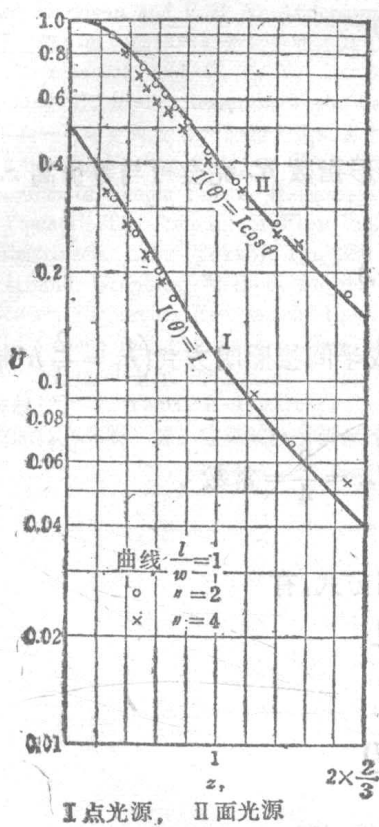


图 2.4

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

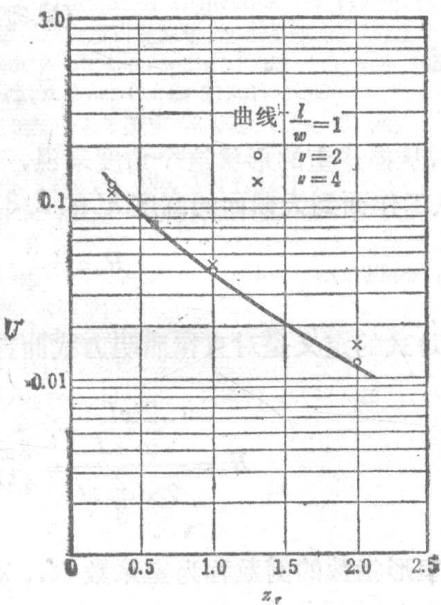
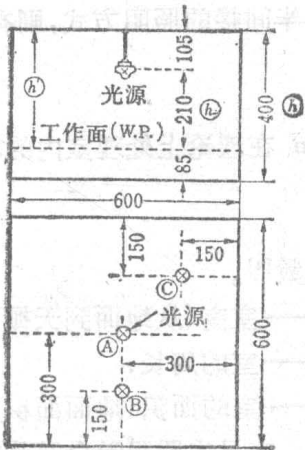


图 2.5



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: