

文章编号: 1006-4729(2011)01-0083-04

# 3种照度计算方法的比较

李 想

(国核电力规划设计研究院, 北京 100094)

摘 要: 介绍了利用系数法、逐点计算法和单位容量法 3 种照度算法, 结合火力发电厂和变电站照明设计技术规定附录中的例子, 验证了单位容量法的可行性和准确度, 并对 3 种算法的优缺点进行了分析。

关键词: 照明设计; 利用系数法; 逐点计算法; 单位容量法

中图分类号: TM621.7; TU113.19+2.2 文献标识码: A

## Comparison of Three Illumination Calculation Methods

LIXiang

(State Nuclear Electric Power Planning Design & Research Institute, Beijing 100094, China)

Abstract: Three methods, namely utilization of coefficient method, point-by-point calculation method and unit power method, are introduced, and in connection with the examples in the appendix of the technical code regarding designing fossil fuel power plants and substations, the feasibility and precision of the unit power method are proved, and its advantages and disadvantages are analyzed.

Key words: lighting design; utilization coefficient method; point-by-point calculation method; unit power method

为了保证企业安全生产, 提高生产效率, 保护视看者视力健康, 创造舒适合理的视看环境, 良好的照明条件和合理的照明, 照度设计是必不可少的。照度计算是照明设计中的一项重要任务, 其目的是保证设计完成后能达到所需要的照度值<sup>[1]</sup>。

## 1 光能传播的基本概念

### 1.1 光通量

光通量  $\Phi$  是指光源表面的客观辐射通量对人眼所引起的视觉强度, 它等于辐射通量与视觉函数的乘积。

### 1.2 发光强度

发光体在给定方向上的发光强度 是指该发光体在该方向的立体角元  $d\Omega$  内传输的光通量  $d\Phi$  除以该立体角元所得的商。

### 1.3 照 度

照度  $E$  是指单位被照面面积上的光通量, 它是表征受照面被照明程度的物理量, 即:

$$E = \frac{\Phi}{S} \quad (1)$$

对于点光源,  $\Phi = I d\Omega$ , 受照面上某点的照度

收稿日期: 2010-04-14

通讯作者简介: 李想(1985-), 男, 工程师, 山东泰安人, 主要研究方向为核电厂, 火电厂的电气设计。E-mail: lixiang@snpdri.com

$E$ 与该点至光源距离的平方成反比,与光强  $I$  及入射角的余弦均成正比,即:

$$E = \frac{\Phi}{\sigma} = \frac{I d \Omega}{\Phi} = \frac{I \cos \theta}{r^2} \quad (2)$$

#### 1.4 亮度

亮度  $L$  是指光源在给定方向的单位投影面上的发光强度,它是表征发光面发光强弱并与发光表面特性有关的物理量,即:

$$L = \frac{I \Omega}{\sigma \cos \theta} = \frac{I \cos \theta}{\sigma \cos \theta} = \frac{I}{\sigma} \quad (3)$$

由于大多数情况下物体不是自己发光的,因此在照明设计中,照度的计算具有重要意义,必须满足国家标准规定的最低照度值。

## 2 照明设计中照度的计算

根据照明设计对照度的要求,在确定了照明光源的种类、功率及灯具布置方案以后,就需要计算工作面上不同表面的照度,以检验其是否合乎规程标准。有时根据生产场所需要的照度、已定的布灯方案,以及所掌握的环境特征,来确定灯泡的功率。无论是由已知灯泡功率求照度,还是由已定照度求灯泡功率,都需要进行照度计算。照度计算主要有两方面的要求,一是简单迅速,经常需要将计算好的各种结果编制成图表或曲线供设计人员查用;二是准确,允许的误差范围为  $-10\% \sim +20\%$ 。

照度的计算点可以选择在水平面、垂直面或倾斜面上。无论是何种表面,照度总是由其直射分量和反射分量叠成,直射分量取决于灯具的光强分布及其对所需计算表面的相对位置,反射分量取决于灯具投射于反射表面的光通比例、反射表面的反射性能和被照空间的几何尺寸等。

常用的照度计算方法主要有利用系数法、逐点计算法和单位容量法 3 种。

### 2.1 利用系数法

利用系数法考虑了直射光和反射光两部分所产生的照度,主要用于计算均匀布置照明器的室内一般照明,其计算结果为水平面上的平均照度,是受照表面上的光通量与房间内光源总光通量之比,也是光通量的直射分量和反射分量在水平面上产生的总照度<sup>[2]</sup>。

根据利用系数和照度的定义,并考虑灯具使

用期间光通量因光源及环境而衰减的因素,可得出工作面上的实际平均照度为:

$$E_{av} = \frac{n \Phi U M}{A} \quad (4)$$

式中:  $n$ ——安装灯泡的数量;

$\Phi$ ——每个灯泡的光通量,  $lm$ ;

$U$ ——利用系数;

$M$ ——减光损失系数,受光源本身使用期间光通量衰减程度、灯具及环境污染程度的影响,一般取值为  $0.7$ ;

$A$ ——房间受照面面积,  $m^2$ 。

式(4)还可用来确定某平均照度下的灯泡数量  $n$ 。

灯具的利用系数与其型式、光视效能和配光曲线有关,灯具的光视效能越高,光通越集中,利用系数就越高。灯具悬挂越高,反射光通量越多,利用系数也越高。此外,灯具的利用系数还与房间的面积和形状有关。房间面积越大,越近似正方形,直射光通量越多,利用系数就越高。

### 2.2 逐点计算法

逐点计算法包括平方反比法、等照度曲线法、方位系数法等。这类方法只考虑直射光产生的照度,可以用来计算任意面上某一点的直射照度。灯具的尺寸一般远小于它与被照表面间的距离,故可将其看作点状发光元件,用点光源照度计算公式,就可以较准确地计算各种表面上的照度,计算过程中的数量变化关系如图 1 所示。

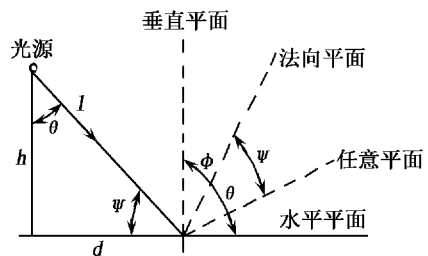


图 1 逐点计算中数量变化关系

光源在法向平面上产生的法向照度为:

$$E_n = \frac{I}{r^2} \quad (5)$$

根据法向平面与水平面上光通量相等的原理,可以得出:

$$E_h H = E_n N \quad (6)$$

式中:  $E_h$ ——水平面上的照度。

$$\frac{N}{H} = \cos\vartheta$$

则有:

$$E_h = E_n \cos\vartheta = \frac{1}{r} \cos\vartheta = \frac{1}{R} \cos^3\theta \quad (7)$$

同理可得, 垂直平面上的照度为:

$$E_v = \frac{1}{r} \cos\varphi = E_n \cos\varphi = E_n \sin\theta \quad (8)$$

推广到任意平面, 假设该平面与法向平面的夹角为  $\Psi$ , 则有:

$$E_\Psi = E_n \cos\Psi \quad (9)$$

在实际应用中, 一般首先规定一系列照度  $E_n$  和角度  $\theta$  值, 并从工厂提供的灯具配光曲线中查出与  $\theta$  值对应的  $r$  值; 然后求出对应于不同  $E_n$  和  $\theta$  值的高度  $b$  并绘出各类灯具空间的等照度曲线; 最后按灯具计算高度  $h$  和计算点到灯具轴线的水平距离  $d$  在等照度曲线上直接查出每个灯具产生的照度  $E$  和所有灯具产生的总照度, 并求出实际照度为:

$$E = \frac{M\phi \sum E_i}{1\ 000} \quad (10)$$

式中:  $M$ ——减光损失系数;

$\phi / 1\ 000$ ——光源实际光通量在计算点产生的照度。

### 2.3 单位容量法

单位容量法<sup>[3,4]</sup>可以看成是利用系数法的简化, 适用于均匀的一般照明计算, 它主要计算每单位被照面积所需的灯具安装功率:

$$W = \frac{P}{S} \quad (11)$$

式中:  $P$ ——全部灯具安装功率,  $W$ ;

$S$ ——被照面积,  $m^2$ 。

此方法还可以直接计算出灯具数量为:

$$N = \frac{EA\phi_0 C_1 C_2}{\phi} \quad (12)$$

式中:  $E$ ——需求照度;

$A$ ——房间面积;

$\phi_0$ ——单位面积的光通量;

$C_1, C_2$ ——修正系数;

$\phi$ ——照明灯具光通量。

我们给出一套速查表格以便使用, 表 1 为室形指数与灯具配光类型; 表 2 为各类照型对应的距高比; 表 3 为室内顶棚、墙面及地面的反射系

数; 表 4 为不同灯具效率对应的修正系数。

表 1 室形指数与灯具配光类型

室形指数 $R_1$	直接型配光灯具		半直接型配光灯具	均匀漫射配光灯具	半间接型配光灯具	间接型配光灯具
	$D < 0.9h$	$D < 1.3h$				
0.60	5.38	5.00	5.38	5.38	7.78	8.75
0.80	4.38	3.89	4.38	4.24	6.36	7.00
1.00	3.89	3.41	3.68	3.59	5.39	6.09
1.25	3.41	2.98	3.33	3.11	4.83	5.00
1.50	3.11	2.74	3.04	2.86	4.38	4.83
2.00	2.80	2.46	2.69	2.50	4.00	4.38
2.50	2.64	2.30	2.50	2.30	3.59	4.89
3.00	2.55	2.30	2.37	2.19	3.33	3.68
3.50	2.46	2.12	2.30	2.11	3.18	3.33
4.00	2.37	2.06	2.22	2.03	3.04	3.33
4.50	2.35	2.02	2.17	1.99	2.98	3.26
5.00	2.33	1.97	2.12	1.94	2.92	3.18

注:  $D$  灯具间距;  $h$  灯具安装高度。

表 2 各类照型对应的距高比

照型分类	距高比 ( $D/h$ )
特狭型	$\leq 0.5$
狭照型 (深照型, 集照型)	$> 0.5 \leq 0.7$
中照型 (扩散型, 余弦型)	$> 0.7 \leq 1.0$
广照型	$> 1.0 \leq 1.5$
特广型	$> 1.5$

表 3 室内顶棚、墙面及地面的反射系数

$\rho_c$	$\rho_w$	$\rho_f$	$C_1$
0.7	0.5	0.2	1.000
0.6	0.4	0.2	1.080
0.4	0.3	0.2	1.027

表 4 不同灯具效率对应的修正系数

灯具效率	$C_2$
0.7	1.00
0.6	1.22
0.5	1.47

表格的相关说明如下:

(1) 室形指数 其公式为:

$$R_1 = \frac{WL}{H(W+L)} \quad (13)$$

式中:  $W$ ——房间宽度;

$L$ ——房间长度;

$H$ ——灯具至工作面高度。

可根据此室形指数结合灯具配光类型查表 1

和表 2 得  $\phi_0$ 。

(2)反射系数 室内顶棚、墙面及地面的反射系数分别为  $\rho_G, \rho_w, \rho_f$  根据实际环境不同可加系数  $C_1$  修正, 见表 3

(3)修正系数 各灯具效率不同, 可加系数  $C_2$  修正, 见表 4

由以上表格数据查出  $\phi_0, C_1, C_2$  然后代入所需照度  $E$  及房间面积  $A$  并选择合适的光源及其光通量, 从而得出布灯数量或求得某灯具布置方案下的照度。

### 3 单位容量算法设计实例

运用单位容量算法计算 DL/T5390—2007 火力发电厂和变电站照明设计技术规定附录 B 中的例子, 以验证该算法的可行性和准确度。

第一步: 由式 (13) 求室形指数  $R_1$  代入  $W=20\text{ m}, L=50\text{ m}, H=16.7\text{ m}$  得出  $R_1=1.43$  由距高比  $D/h < 0.9$  查表 2 可得出单位容量光通量最接近数值  $\phi_0=3.11$ 。

由于  $\rho_G, \rho_w, \rho_f$  分别为  $0.5, 0.5, 0.2$  查表 3 可知  $C_1=1.08$

根据火力发电厂和变电站照明设计技术规定的说明, 按照灯具效率大于 70% 来选参数  $C_2$  为 1 是合适的。

第二步: 将式 (12) 变换为  $E=N\phi/A\phi_0 C_1 C_2$  代入数据后可得  $E=200$  原算例的结果为 259 误差为 23%, 在可接受的范围内, 与原算例的计算过程相比, 本算法仅需查表格来确定相应的参数, 然后代入公式即可, 更为简便易行。

### 4 结 语

利用系数法是在工程中总结出来的计算方法, 具有计算简单、理解容易的优点, 适用于计算精度要求不高的场合; 逐点算法可用来计算各个灯具在计算点所产生的照度, 计算结果比较准确, 缺点是计算量大; 单位容量法的优点在于只需简单查表计算, 便于工程设计人员掌握, 而且花费时间较短, 准确度较高, 在工程实践中有较广泛的应用前景。

#### 参考文献:

- [ 1 ] 亢岚, 秦占军. 照明设计中的照度计算[ J ]. 科技与经济, 2006 19(1): 131-132.
- [ 2 ] 李运江, 彭惠明, 徐波. 几种照度计算方法的比较及研究[ J ]. 三峡大学学报: 自然科学版, 2003 25(1): 30-32.
- [ 3 ] 付敏. 单位容量法快速计算照度的研究[ J ]. 灯与照明, 2004 28(3): 16-17.
- [ 4 ] 李海歌, 杨扬. 办公场所的照明设计与水平照度计算[ J ]. 灯与照明, 2006 30(4): 23-25.

#### (上接第 78 页)

- [ 4 ] ENRI C Pastor, JORDI Cortadella. ORDL Rog Symbolic analysis of bounded Petri nets[ J ]. IEEE Transaction On Computers 2001 50(5): 432-448.
- [ 5 ] SANKARANARAYANAN S, SPMAH, MANNA Z. Petri net analysis using invariant generation[ C ] //Theory and Practice. SpringerVerlag 2003 682-701.
- [ 6 ] CLARIS R, RODRIGUEZ-CARBONELL E, CORTADELLA J. Derivation of non structural invariants of Petri nets using abstract interpretation[ C ] //ICATPN 2005. LNCS 3536. Heidelberg: Springer Verlag 2005. 188-207.
- [ 7 ] BÉARD B, FRIBOURG L. Reachability analysis of ( timed ) Petri nets using real arithmetic[ C ] //CONCUR' 99. LNCS 1664. Heidelberg: Springer Verlag 1999. 178-193.
- [ 8 ] MANNA Z, PNUELIA. Temporal verification of reactive systems safety[ M ]. New York: Springer Verlag 1995. 87-104.
- [ 9 ] DIJKSTRA E W. A discipline of programming[ M ]. New Jersey: PrenticeHall Inc, 1976. 128-134.

- [ 10 ] FLOYD R W. Assigning meanings to programs[ C ] //Proc Symposia in Applied Mathematics 5. Providence RI: The American Mathematical Society 1967. 19-37.
- [ 11 ] TARSKI A. A decision method for elementary algebra and geometry[ M ]. 2nd. Berkeley: University of California Press 1954. 132-149.
- [ 12 ] COLLINS G E. Hauptvortrag: quantifier elimination for real closed fields by cylindrical algebraic decomposition[ C ] //AIFL 1975. LNCS33. Berlin Heidelberg: SpringerVerlag 1975. 134-183.
- [ 13 ] COLLINS G E, HONG H. Partial cylindrical algebraic decomposition for quantifier elimination[ J ]. J Symb Computat, 1994. 12(3): 299-328.
- [ 14 ] BROWN C W. QEPCAD B: A program for computing with semi-algebraic sets using CAD[ J ]. ACM SIGSAM Bulletin 2003. 37(4): 97-108.
- [ 15 ] DOLZMANN A. SIRUM T. Redlog user manual[ R ]. Passau University of Passau 1999. 1-13.