浅谈基于利用系数法的灯数概算表的应用和照明节能探讨

随着照明节能措施被越来越多的企业重视，国家标准也对照明节能作出规定。首先分析了GB 50034—2013《建筑照明设计标准》相对于2004版在照明节能方面的更新，论述了“照明功率密度”值对节能的重要现实意义，然后以利用系数法为数学计算依据，以实际工程项目作为模型，对不同类型的灯具进行照度计算，并进行结果分析。最后，提出基于利用系数法的灯数概算表，供设计人员参考，提高照明设计效率。同时，对照明节能的具体措施进行探讨和总结。

徐晓晓／海工英派尔工程有限公司

徐晓晓／工程师

关键词／Keywords
照明·
利用系数法·
灯数概算表·
照明功率密度·
节能·

0 引言

随着社会的发展，国家大力提倡建设节约型社会，企业对节能减排更加重视，降低能源消耗成为重要研究内容。照明虽在总能源中所占比例不大，但其节能依然是不可忽视的环节。

2014年12月1日，由建设部和国家质量监督检验检疫总局联合发布的GB 50034—2013《建筑照明设计标准》正式实施。与2004年版相比，2013版更加重视对节能的规定。第6章照明节能部分新增了第6.1节“一般规定”和第6.2节“照明节能措施”。在第6.2节中针对光源和灯具作出进一步的限制，达到节能的最终目的。同时第6.3节“照明功率密度限值”章节中，照明功率密度值（LPD）也有了部分变更，具体体现在表6.3.3中在照度标准值不变的情况下，LPD的现行值和目标值均有小幅下调。由此可见，国家对节能进一步重视。

在工程项目设计过程中，要严格按照规范条例，进行照度计算，设计出合理的照明方案，选择合适光源，控制灯具数量，避免出现满足LPD要求却不满足照度要求，或者满足照度却又LPD超标的情况出现。本文以实际工程为例，详细论述采用不同灯具的照度计算，并提出不同面积房间不同照度要求下灯数概算表，总结照明节能的若干措施，供设计参考。

1 利用系数法

照度计算的目的是根据所需要的照度值和其他已知条件（灯具型式和灯具布置、房间各个方向的反射条件以及灯具和房间的污染情况等）来决定灯具的数量，或在照明灯具型式、布置和光源容量都正确的情况下，计算某点的照度。照度计算的方法有利用系数法、单位容量法和逐点计算法等，本文采用常用的利用系数法进行照度计算。

1.1 利用系数法公式

利用系数法考虑直射光和反射光两部分所产生的照度，计算结果为水平面上的平均照度。该算法适用于灯具均匀布置的一般照明以及利用墙和顶棚作光反射面的场合。根据SH/T 3027—2003《石油化工企业照度设计标准》[1]4.1条，利用系数法公式为

$$E=\frac{\Phi\eta KN}{ZA}$$

式中，E为照度值，lx；Φ为每个灯具的光通量，lm；N为灯具的数量；η为光通量利用系数；K为灯具的维护系数；Z为最小照度系数；A为房间面积，m^2。

当$Z=1$时，计算出的E值即为房间的平均水平照度值。本设计中，取$Z=1$。经变换可求得灯具数量的计算公式为

$$N=\frac{EA}{\Phi\eta K}$$

公式中涉及到利用系数、维护系数和光通量等参数的选取，具体参数数值选取过程如下所述。

1.2 利用系数

利用系数η表示室内工作面上，由于灯具的照射和墙、顶棚的反射而得到的光通量与光源发出的光通量的比值，它与灯具类型、灯具效率、照明方式和房间内各表面的反射系数有关，具体数值可根据顶棚、墙面和地面反射系数、室形指数确定[2]。

（1）墙面平均反射系数ρ_w[2]

由于墙壁上有玻璃窗或其他装饰物，墙面平均反射系数由墙面的反射系数经计算求得，当建筑物无窗时，$\rho_w=\rho_{w1}$，即

$$\rho_w=\frac{\rho_{w1}(A_w-A_p)+\rho_pA_p}{A_w}$$

式中，ρ_{w1}为墙面反射系数；ρ_p为玻璃窗的反射系数；A_w为整个墙的面积；A_p为玻璃窗的面积。

（2）顶棚空间有效反射系数ρ_{CC}[2]

光通量照射到顶棚空间后，在空间内经多次反射，一部分被吸收，一部分重新射出空间照到工作面上。若灯具为吸顶或嵌入式安装，则顶棚空间有效反射系数与顶棚反射系数相等。

（3）地面有效反射系数ρ_{FC}[2]

一般常将地面有效反射系数取为20%，以此查询利用系数。

顶棚、墙面和地面反射系数近似值如表1所示。

表1　顶棚、墙面和地面反射系数

反射面性质	反射系数	反射面性质	反射系数
抹灰并大白粉刷的顶棚和墙面	70～80	钢板地面	10～30
砖墙或混凝土屋面喷白	50～60	广漆地板	10
墙、顶棚为水泥沙浆抹面	30	沥青地面	11～12
混凝土屋面板，红砖墙	30	无色透明玻璃	8～10
灰砖墙	20	白色棉织物	35
混凝土地面	10～25		

注：本表引自《民用建筑电气设计手册》表13.4.1－3[2]

（4）室形指数RI[3]

室形指数是表示房间或场所的几何形状的数值，在GB 50034—2013中，室形指数的计算方法较2004版发生改变，计算公式为

$$\mathrm{RI}=\frac{2S}{CH}$$

式中，S为房间或场所的面积，m^2；C为房间或场所水平面周长，m；H为灯具安装高度与工作面高度的差，m。

1.3 维护系数

维护系数与灯具使用场地的维护、清洁次数有密切关系，各种场所灯具的维护系数如表2所示。

表2　维护系数

环境污染特征		房间或场所举例	灯具最少擦拭次数/(次/年)	维护系数值
室内	清洁	卧室、办公室、影院、剧场、餐厅、阅览室、教室、病房、仪器仪表装配间、电子元器件装配间、检验室、商店营业厅、体育馆和体育场等	2	0.8
	一般	机场候机厅、候车室、机械加工车间、机械装配车间和农贸市场等	2	0.7
	污染严重	公用厨房、锻工车间、铸工车间和水泥车间等	3	0.6
室外		雨篷、站台	2	0.65

注：本表引自GB 50034—2013《建筑照明设计标准》表4.1.6[3]

1.4 光通量

光通量用以表示光源每秒发出可见光量的总和，单位为lm。不同的灯具具有不同的光通量，本文中，LED双管灯18 W×2光通量为3 600 lm，T8－36 W直管荧光灯的光通量为3 350 lm，而T12－40 W普通荧光灯的光通量仅为2 200 lm。

2 工程实例

本文以某化工有限公司120万t/年高硫重油综合利用项目现场控制室中的不间断电源系统（UPS）室的照明为例，详细阐述使用利用系数法进行照度计算，并通过不同光源的对比得出工程

中应用高效光源的重要节能意义。

2.1 计算条件

该UPS室室内净宽3.4 m，长6 m，吊顶高3 m，墙隔爆，无窗，铺设防静电地板，工作面距地面0.8 m，灯具为嵌入式安装，照度要求为300 lx。通过照度计算确定该室的灯具数量及实际照度值。

2.2 计算过程

（1）参数选取

UPS室室形为6 m × 3.4 m × 3 m（长 × 宽 × 高），其室形指数为

$$\mathrm{RI}=\frac{2S}{CH}=\frac{2\times3.4\times6}{(3.4+6)\times2\times(3-0.8)}=\frac{40.8}{41.36}=0.986$$

同时由表1可知，该UPS室取墙面平均反射系数0.7，顶棚空间有效反射系数0.5，地面有效反射系数0.2，根据以上数据并参照《照明设计手册》表5-16，表5-17，荧光灯和LED等分别取利用系数为0.41和0.78。根据表2，取灯具维护系数为0.8，房间面积$A=3.4\ \mathrm{m}\times6\ \mathrm{m}=20.4\ \mathrm{m}^2$，本例采用3种光源进行照度计算，过程如下。

（2）不同光源的照度计算

采用LED灯具18 W × 2，光通量为3 600 lm，灯具数量计算如下

$$N=\frac{300\times20.4}{3\,600\times0.78\times0.8}=\frac{6\,120}{2\,246.4}\approx2.7$$

从实际情况考虑，该室取$N=3$，为3套双管18 W × 2 LED灯，此时室内照度计算如下

$$E=\frac{3\,600\times0.78\times0.8\times3}{20.4}\ \mathrm{lx}=\frac{6\,739.2}{20.4}\ \mathrm{lx}\approx330\ \mathrm{lx}$$

照明功率密度$\rho=\dfrac{36\ \mathrm{W}\times3}{20.4\ \mathrm{m}^2}=5.3\ \mathrm{W/m}^2$

为标准功率密度现行值9 W/m^{2}的59%，满足规范要求。

采用T8－36 W荧光灯，其光通量为3 350 lm，灯具数量计算如下

$$N=\frac{300\times20.4}{3\,350\times0.41\times0.8}=\frac{6\,120}{1098.8}\approx5.57$$

从实际情况考虑，该室取$N=6$，为3套双管36 W × 2荧光灯，此时室内照度计算如下

$$E=\frac{3\,350\times0.41\times0.8\times6}{20.4}\ \mathrm{lx}=\frac{6\,592.8}{20.4}\ \mathrm{lx}\approx323\ \mathrm{lx}$$

照明功率密度$\rho=\dfrac{36\ \mathrm{W}\times6}{20.4\ \mathrm{m}^2}=10.5\ \mathrm{W/m}^2$

为标准功率密度现行值9 W/m^{2}的116%，超过16%，由于未超过规范规定的20%，满足规范要求。

采用普通T12－40 W普通荧光灯，其光通量为2 200 lm，灯具数量计算如下

$$N=\frac{300\times20.4}{2\,200\times0.41\times0.8}=\frac{6\,120}{721.6}\approx8.5$$

从实际情况考虑，该室取$N=9$，为3套三管36 W × 3荧光灯，此时室内照度计算如下

$$E=\frac{2\,200\times0.41\times0.8\times9}{20.4}\ \mathrm{lx}=\frac{6\,494.4}{20.4}\ \mathrm{lx}\approx318\ \mathrm{lx}$$

照明功率密度$\rho=\dfrac{40\ \mathrm{W}\times9}{20.4\ \mathrm{m}^2}=17.6\ \mathrm{W/m}^2>9\ \mathrm{W/m}^2$

为标准功率密度现行值9 W/m^{2}的196%，超过96%，不满足规范要求。

2.3 计算结果分析

通过以上3种光源的照度计算可知，该室采用18 W × 2 LED灯和T8－36 W直管荧光灯均满足规范要求，是科学合理的，而T8－36 W直管荧光灯由于经济和稳定性，依然是目前工业建筑内经常采用的光源。由此可见，在照明设计中，普及高光效、低功耗的灯具，推动“绿色照明工程”对能源的节约和环境保护是非常必要的。

3 灯数概算表

从以上的UPS室的照明设计可看出，从参数的选取到详细的计算，照度计算存在一系列复杂的过程。对于公共和工业建筑非爆炸危险场所通用房间或场所，当建筑内存在多个房间时，重复计算量较大。为节约设计者的宝贵时间，本文根据实际工程需求，按照GB 50034—2013《建筑照明设计标准》表6.3.13的照度标准值和照明功率密度的要求，以灯具采用T8－36 W荧光灯为模型，对不同的面积（10～100 m^2）、不同照度要求（100 lx、

150 lx、200 lx、300 lx和500 lx）房间所需的灯具数量进行数据汇总，编制灯数概算表，如表3所示，供照明设计参考。该表使用便利，虽然考虑到小数位的取舍，计算准确度并非完美，必要时需要核算，但是依然对大部分房型可以简化设计步骤，节约设计时间。本表提出后，已在笔者大部分工程设计项目中实践使用，简单便利，优化可靠。

表3　灯数概算表

面积/m^2	照度/lx				
	100	150	200	300	500
10	1	2	2	4	6
15	1	2	3	4	7
20	2	3	4	5	9
25	2	3	4	7	11
30	2	4	5	7	12
35	3	4	6	8	14
40	3	5	6	9	15
45	3	5	7	10	17
50	4	6	7	11	18
55	4	6	8	12	20
60	4	7	9	13	22
65	5	7	9	14	23
70	5	7	10	14	24
75	5	8	10	15	25
80	5	8	11	16	27
85	6	9	11	17	28
90	6	9	12	18	30
95	6	9	12	18	31
100	6	10	13	19	32

需要说明以下几点。

1）表3数据基于以下数据：以T8－36 W单管三基色荧光灯做为光源；工作面高度为0.8 m，层高为3 m；由于工业建筑内玻璃窗面积占总面积较小，考虑利用系数时，按照墙面平均反射系数0.7，顶棚空间有效反射系数0.5，地面有效反射系数0.2取值；室形指数按照正方形房间计算，此时室形指数最大，求得的灯具数量为满足该面积下的最小值。

2）设计中不同的灯具、不同室型指数和不同的反射比将导致灯管数量稍有不同，以实际工程需求为准，本表数据仅供参考。由于大部分房间平面非正方形，室形指数小于本表数据，灯具数量可以上调，具体上限为规范规定的照明功率密度限值。

3）另外，由于工业通用房间面积一般不会特别大，因此本表只针对100 m^2内进行概算统计，小范围超过100 m^2的房间可进行灯具数量的累加。

4）实际使用中，室内照明采用双管或三管照明的情况也很多，此时需要将表3数据优化组合，使现场达到最佳的使用状态。

5）当采用LED光源时，如果采用18 W×1的LED灯作为光源，由于利用系数的不同，可按照表3数据0.5～0.6系数进行考虑。

6）光源种类有很多，表3仅以化工企业通用房间内照明经常采用的T8－36 W荧光灯为计算基准，其他类型灯具易可通过理论计算得出相应的灯数概算表，在此不一一赘述。

4　照明节能措施的分析

照明功率密度值是国家标准的强制性条文，必须严格遵守，但在实际工程中会出现房间照明设计超过照明功率密度现行值的情况，无法达到标准的要求。规范中针对照明功率密度的调节作出一系列规定，使照明功率密度在特定情况下可稍作调整，满足现场的需要。详见GB 50034—2013《建筑照明设计标准》中第3.1.1.2条、第4.1.4条、第4.1.7条和第6.3.14条等。除了规范上的规定，实际工程设计中，也有多项节能措施。

（1）光源的选择

对荧光灯而言，有很多规格型式，主流的有T5、T8和T12等，现在T12已逐步被市场淘汰，T5和T8成为市场主流。由于T8型荧光灯除管径收缩变细外，灯管长度与镇流器均与T12通用，所以改造工程中较多采用T8型荧光灯。但T5型荧光灯与T8相比，无论在光效、显色性、节能和寿命等方面都有进一步提高，可推广作为新建项目的光源。

LED光源利用固体半导体芯片作为发光材料，具有发光效率高、使用寿命长、发热量低和响应时间短等优点，可以减少照明总功率，降低照明功率密度值。同时，LED也存在显色指数偏低、易眩光、谐波含量较大和优质产品价格高等不足，在大范围使用时，要满足严格的技术要求，详见

《照明设计手册》第3版48页。

（2）镇流器的选择

镇流器也是照明节能一个措施之一，节能型电感镇流器和电子镇流器相对传统电感镇流器在功耗、重量和起动等方面都具有一定的优势，节能型电感镇流器在谐波、开机浪涌和使用寿命等方面更加突出。

（3）灯具的选择

灯具的选择需要既满足功能和照明质量的要求，又便于安装维护、长期运行费用低。照明设计时应考虑实际照明场所的实际特点，采用相匹配的灯具，安装方式上考虑吊装、顶装、嵌装、壁装和杆装等，按照使用环境上分为多尘、潮湿、腐蚀、火灾和爆炸等，达到尽量用最低的能耗满足工作面照明需要的目的。

（4）充分利用自然光

与土建专业的双向沟通，确定建筑物开窗方式方案，既满足结构稳定性的要求，又能尽可能地把自然光引入室内，减少室内照明压力。

通过以上理论及实际中采用的措施，可有效减少照明能耗，降低照明功率密度，达到绿色照明、降本增效的节能目的。

5 结束语

在经济急速发展的时代，降低能源消耗成为迫切需要解决的难题，作为一名设计工作者，在工作过程中要尽量优化方案，照明方面，要积极选取高效低耗的光源，领会照明设计标准的精神，感悟绿色照明理念，以自己的设计实践为社会节能作出一份贡献。

参考文献

[1] SH/T 3027—2003 石油化工企业照度设计标准 [S].

[2] 戴瑜兴，黄铁兵，梁志超．民用建筑电气设计手册 [M]．2版．北京：中国建筑工业出版社，2007．

[3] GB 50034—2013 建筑照明设计标准 [S].

[4] 北京照明学会照明设计专业委员会．照明设计手册 [M]．3版．北京：中国电力出版社，2006．

（收稿日期：2017－05－11）EA

(上接第28页)

FN线FXK01与FXKA之间的架空段所带用户负荷达到2 730 kV·A，需要在10#杆加装分段开关。

3.3 网架改造效果

1）建成架空线路以适度联络为主，电缆线路以单环网和双射为主的目标网架，核心区域的线路“$N-1$”比例由77.08%提升到100%。

2）缩短线路供电半径，减少线路理论线损，核心区域的10 kV线损由6.17%降低到4.48%。

3）通过合理调整线路分段，减少停电范围。非故障区段供电恢复时间由平均75 min缩短至3 min以内，故障查找时间由平均72 min缩短至34 min。核心区域供电可靠性将从99.96%提高到99.99%。

4）形成了以“三遥”为主的配电自动化模式。

4 结束语

智能配电网中配电网的接线方式有很多种，通过优化措施，选择合理的接线方式，从而实现降低线路电损，减少停电范围，形成了以“三遥”为主的配电自动化模式，从而确保正常供电，促进当地经济水平的发展。

参考文献

[1] 李仁浩．配电网结构优化及配电网自动化探讨 [J]．电子制作，2015 (5)：212．

[2] 宋沃维．10 kV配电网线路网架规划探究 [J]．通信世界，2017 (17)：185-186．

[3] 张愿章，余艳伟．配电网故障区段判别与隔离改进算法 [J]．河北工业大学学报，2009 (4)：70-74．

[4] 范忠．基于GIS的配电网图形化建模及配电网应用分析 [D]．南京：东南大学，2006．

[5] 张大立．城市中压配电网接线与开闭所的配置 [J]．电网技术，2007 (7)：83-86．

（收稿日期：2017－05－17）EA