

文章编号:1000-582X(2013)03-082-08

室内照明调光控制系统中墙面传感器布置方法

雍 静,侯 贺,曾礼强,王晓静

(重庆大学 输配电装备及系统安全与新技术国家重点实验室,重庆 400044)

摘 要:为解决室内照明调光控制系统中,放置在工作面上的照度传感器易受办公物品、人体活动等遮挡,从而不能使系统准确调光的问题,基于墙面与工作面粉度的比例关系模型,提出了室内照度变化传递比的概念以及由墙面设置照度传感器替代工作面照度传感器的方法。该方法的关键是确定当光通量变化时,墙面垂直照度与工作面水平照度间的照度变化传递比。笔者通过仿真和实验手段研究了传感器在墙面上布置时,传感器与被调光源的方位对照度变化传递比的影响,得出了适用于办公和阅览场所调光系统照度传递比的两个约束条件。满足该约束条件即可获得室内墙面传感器的有效放置位置及所需数量。通过墙面照度传感器设置方法在教室照明调光控制系统中的应用,证明了该方法的有效性。

关键词:教室;照明;调光系统;传感器;传递比

中图分类号:TU113.6

文献标志码:A

Wall sensor placement method in indoor lighting dimming control system

YONG Jing, HOU He, ZENG Liqiang, WANG Xiaojing

(State Key Laboratory of Power Transmission Equipment & System Security and New Technology, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: Office supplies and people may shade illuminance sensors installed on the table, thus the lighting dimming control system is not able to act correctly. Based on the illuminance ratio model, an index of illuminance-variation transfer ratio and an approach using sensors installed on wall instead of table are proposed. The point of this approach is to choose an appropriate illuminance-variation transfer ratio between vertical illuminance on wall and horizontal illuminance on table. The effects of the location of sensor and controlled lighting on the illuminance-variation transfer ratio are investigated by simulations and experiments. Two constraint conditions are presented for determining the location and number of sensors in an office or reading room. As an example, the proposed approach was applied to a lighting dimming control system in classroom, which confirmed the validity of the proposed approach.

Key words: classroom; illumination; dimming system; sensor; transfer ratio

室内照明控制系统可以根据检测到的室内光环境指标,通过自动控制实现满足照明要求条件下的最大节能限度^[1]。随着智能化技术的不断发展和成熟,对智能化照明控制系统实现方法的研究引起人

们的广泛关注,并取得大量成果^[2-7]。

国内外对室内照明控制系统的研究主要包括 3 个主要部分:检测元件、控制器和执行机构。对于控制器部分的研究主要集中在控制策略的研究,

收稿日期:2012-11-23

基金项目:中央高校基本科研业务费资助项目(CDJZR10150011)

作者简介:雍静(1964-),女,重庆大学教授,主要从事建筑电气与电能质量的研究,(Tel)023-65120803,
(E-mail)yongjingcq@yahoo.com.cn。

Francism 等人提出了分时段控制、根据采光量控制等方法,这对于白昼期间能够使室内照明更有效地利用自然光,也有学者提出恒照度控制、场景控制、动静探测控制等方法,这些控制策略的提出对于节约照明耗电具有极大的促进作用^[7-8];对于执行机构研究,主要集中在调光电子镇流器的开发上,目前对频率和电压控制的调光电子镇流器的研究较多,当光源的功率减小时,总的镇流器损耗较低,即通过改善调光电子镇流器可以有效提高光源的效率,以此来达到节约电能的目的^[9-12];对于检测元件来说,用于室内照明控制系统的检测元件主要有光敏电阻、照度传感器,其中,光敏电阻主要用于工厂、博物馆、图书馆等大型场所,照度传感器主要用于办公室、教室等场所来检测室内工作面的平均照度,照度传感器是使用最为广泛的检测元件,可以用于照明控制系统的多级及连续调光控制。在目前的室内照明控制系统中,照度传感器大都是放置于工作面上^[5-6,13-17],直接将照明控制目标——工作面照度的当前状态输入到控制系统,通过控制器和执行机构达到调整工作面照度至目标状态的目的,也有将照度传感器布置在墙面上,检测照度值用来综合评价室内照度均匀水平,但传感器的放置位置偏低,且并无规则可循^[15]。这种照度传感器设置方式在没有干扰的理想条件下,试验研究结论是正确的^[15-18],但是,照度传感器是一种点照度检测元件,在实际工作或生活场所的运用中,当将其置于工作面时,极易受到附近正常人体活动的影响,照度输出非常敏感,不能正确反映工作上的平均照度,从而使得控制系统的控制结果变坏,这也正是这种控制系统在理论上可行,但不能很好推广应用的原因之一。

在照明调光控制系统的研究中,对控制策略、调光电子镇流器的研究已趋近于成熟^[7],而对于检测元件的布置位置及方法鲜有研究,检测元件位置的好坏直接关系到照明调光系统的准确性。国内有学者提出了室内的照度比例模型,即在有人工照明且室内光源位置固定时,任意两点之间的照度值对应成一定比例关系,基于此,笔者提出一种在墙面上设置传感器的方法,通过墙面传感器输出照度值,以一定比例关系间接反映工作面照度,该比例系数可以由 DIALux 仿真得到,由于墙面上布置传感器受人员活动影响较小,可有效提高控制的准确性。

1 墙面与工作面的照度传递比例模型

欲以墙面某点的照度来间接反映工作面某点的照度,必须在二者之间建立起一定的比例关系。在

一个密闭空间内,根据照度定义和光通传递理论,可推导出该空间内各目标点的照度 E 和空间内各光源光通量 Φ 的关系^[18]:

$$\begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ \dots \\ E_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_{11} & G_{12} & \dots & G_{1m} \\ G_{21} & G_{22} & \dots & G_{2m} \\ \dots & \dots & L & \dots \\ G_{n1} & G_{n2} & \dots & G_{nm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Phi_1 \\ \Phi_2 \\ \dots \\ \Phi_m \end{bmatrix}, \quad (1)$$

$$\text{即} \quad \mathbf{E} = \mathbf{G} \cdot \Phi, \quad (2)$$

其中: \mathbf{E} 和 Φ 为各点照度和光通量构成的矩阵; \mathbf{G} 为光通传递函数矩阵; G_{ij} 为光源 j 对点 i 的光通传递函数,在光源位置确定的情况下, G_{ij} 由室内各点的相对位置唯一确定,不随光源输出光通量的改变而改变。

当各光源位置不变,但光通量变化分别为 $\Delta\Phi_1$ 、 $\Delta\Phi_2$ 、 \dots 、 $\Delta\Phi_n$ 时,对于空间内两个点(如墙面上 i 点和工作面上 j 点)的照度变化之比为

$$K_{ij} = \frac{\Delta E_i}{\Delta E_j} = \frac{G_{i1} \cdot \Delta\Phi_1 + G_{i2} \cdot \Delta\Phi_2 \dots + G_{im} \cdot \Delta\Phi_n}{G_{j1} \cdot \Delta\Phi_1 + G_{j2} \cdot \Delta\Phi_2 \dots + G_{jm} \cdot \Delta\Phi_n}. \quad (3)$$

由式(3)可见,如果空间内只有一个光源 g 的光通量变化,则任意两个点的照度变化比唯一确定的比例值 $K_{ij}(g) = G_{ig}/G_{jg}$;如果空间内有 n 个光源同时具有相同的光通量变化,则任意两个点的照度变化比也有唯一确定的比例值 $K_{ij}(n) = (G_{i1} + G_{i2} \dots + G_{im}) / (G_{j1} + G_{j2} \dots + G_{jm})$ 。因此当室内只有一个光源调光,或有多个光源以相同的光通量变化调光时,墙面垂直照度变化量 ΔE_{\perp} 与光源中心下方工作上的水平照度变化量 ΔE_{\parallel} 之比(文中称为照度变化传递比 $K = \Delta E_{\perp} / \Delta E_{\parallel}$)恒定。在此条件下,理论上可以以墙面设置的传感器代替工作面照度传感器对工作面照度进行调节。

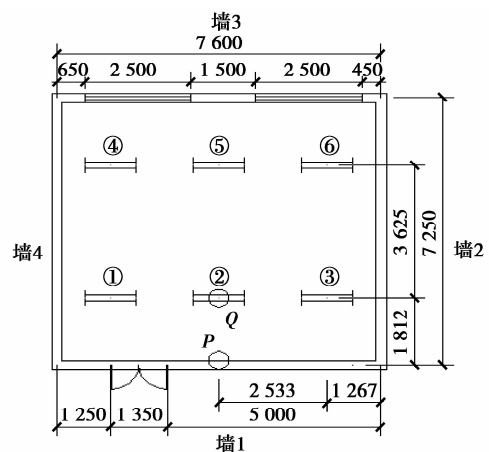


图1 实测空间平面图

实际测量数据也证明了当光源光通量变化时,墙面某点 P 与工作面某点 Q 的照度变化成固定的比例关系。实测环境如图 1 所示,空间高 2.8 m,工作面距地面 0.75 m,室内所选光源为 YG2-1 筒式荧光灯,安装高度为 2.6 m,室内无昼光影响,仅一盏灯光通量变化(调光), Q 点照度为光源②正下方的

工作面水平照度, P 点照度为距地 1.8 m 高墙面的垂直照度。改变 Q 点光源光通量,记录两点照度值,数据如表 1 所示,计算出的照度变化传递比 K 也列于该表中。虽然由于测量时室内的人员走动影响和仪器的测量误差, K 值也会出现一定的波动,但总体上是基本恒定的。

表 1 室内照度变化传递比(K)

工作点照度 E_Q/lx	207	197	187	177	167	157	147	137	127	117	107	97	87	77
墙面照度 E_P/lx	73.5	70	66.5	62.9	59.3	55.6	52.4	48.8	45.2	41.8	38	34.4	31.1	27.3
工作面 ΔE_Q	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
墙面 ΔE_P	3.5	3.5	3.6	3.6	3.7	3.2	3.6	3.6	3.4	3.8	3.6	3.3	3.8	
$K = \Delta E_P / \Delta E_Q$	0.35	0.35	0.36	0.36	0.37	0.36	0.36	0.36	0.34	0.38	0.36	0.33	0.38	

2 影响照度变化传递比的因素

当采用墙面照度传感器进行照明调光控制时,照度变化传递比的确定是影响调光控制有效性和准确度的重要因素,因此需要准确确定照度变化传递比。照度变化传递比的准确性有两个条件约束:

1) 触发调光指令的墙面传感器照度变化量 ΔE_{\perp} 足够大。室内人员正常走动是不可避免的,要避免墙面照度传感器受到室内人员走动的影响,传感器需要放置在墙面上足够高的位置,且用于触发调光指令的墙面传感器照度变化量 ΔE_{\perp} 必须躲过室内人员活动影响造成的传感器照度波动。

2) 照度变化传递比 K 足够大。因为当墙面传感器照度变化量 ΔE_{\perp} 一定时, K 越小就意味着工作面上每次调光的照度变化量 ΔE_{\parallel} 越大。在照明调光系统中,工作面上每次调光的照度变化率应适当,若照度梯度一次变化过大,会使人眼睛感觉不舒服,若偏小,则会增加调光系统中照度传感器的检测误差,因此要确定合适的照度变化传递比。

对于办公、教室、阅览室等视觉工作环境,要求平均照度为 300lx 以上^[19],根据经验,工作面照度变化量在 30~50lx 将不会对一般的视觉工作造成大的影响,即调光时其工作面上照度变化率不应超过 16%。图 2 所示分别为根据上述实验数据得到工作面水平照度呈 10lx 和 50lx 变化时,照度变化传递比 K 的波动状态。当工作面照度变化为 10lx 时,墙面与工作面的照度变化传递比的最大相对误差为 10%,但随着工作面照度变化量的提高,相对误差值逐渐减小,当工作面照度变化为 20,30,40,50lx 时,

其 K 值的最大相对误差分别为 5.0%、4.2%、2.8%、1.0%,它们所对应的墙面照度变化量分别为 7.1,10.65,14.21,17.7lx。也就是说,当墙面照度变化量大于 10lx,且其对应工作面照度变化为 30lx (照度变化率小于 16%) 时的照度变化传递比 K 即可用来有效进行室内调光控制。

依据上述分析结果可得出如下照度变化传递比计算公式:

$$\text{即 } K \geq \frac{\Delta E_{\perp}}{\Delta E_{\parallel}} = \frac{10}{\eta\% E_{av}},$$

$$\text{且 } \Delta E_{\perp} \geq 10lx, \quad (4)$$

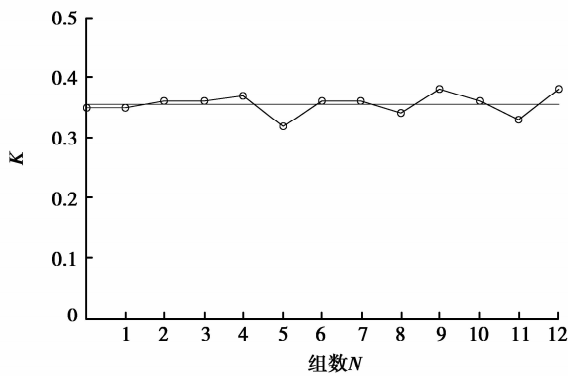
式中: $\eta\%$ 为工作面上的允许照度变化率; E_{av} 为工作面要求的平均照度。

在上述实验环境中,若平均照度为 300lx,工作面上的允许照度变化率为 16%,用墙面与工作面的照度变化传递比 $K=0.2$ (且 $\Delta E_{\perp}=10lx$) 进行调光控制是有效且准确的;若以照度变化传递比 $K=0.36$ (且 $\Delta E_{\perp}=10lx$) 进行调光,则此时的工作面照度变化率较为平缓,仅为 9.25%。

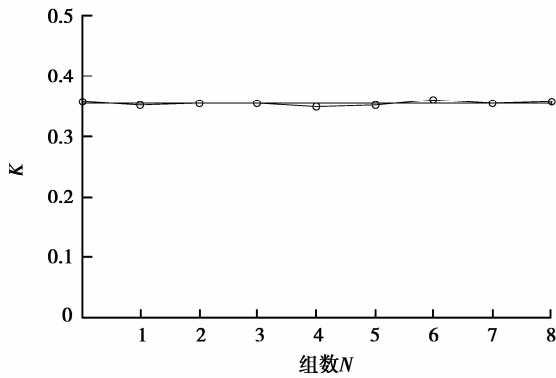
3 照度变化传递比影响因素的仿真分析

由上一节的分析可知,当墙面照度变化量满足要求时,照度变化传递比越大对工作面调光的平稳性越有利。而照度变化传递比的大小显然又与墙面传感器和被调光源的相对位置相关,因此下面在 Dialux 仿真环境下,对影响照度变化传递比大小的因素进行分析。

仿真环境为如图 1 所示平面和照明器布置方式。其中照明器的安装方向分为平行于窗户和垂直



(a) 工作面照度变化10lx时K的波动范围



(b) 工作面照度变化50lx时K的波动范围

图2 工作面照度变化时K的波动范围

于窗户两种情况,墙面与顶棚反射比均为0.7,地面反射比为0.2,门反射比为0.6,窗反射比为0.1。图3所示为墙1的立面图,其上确定6行16列共96个观测点,高度从距地面1.0m到2.5m,行间距为0.3m,列间为0.5m。

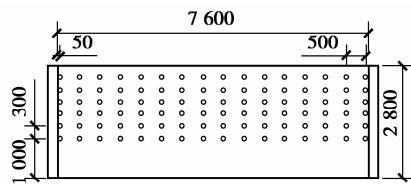
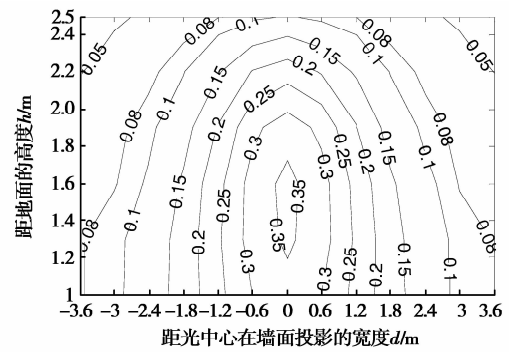
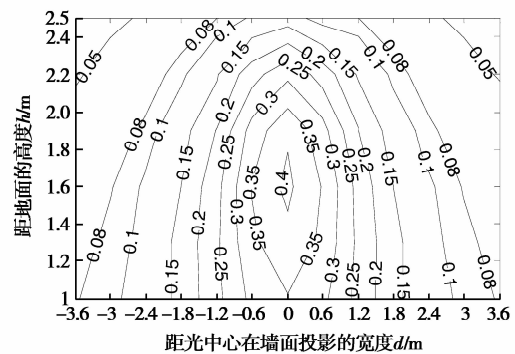


图3 墙1的观测点分布图

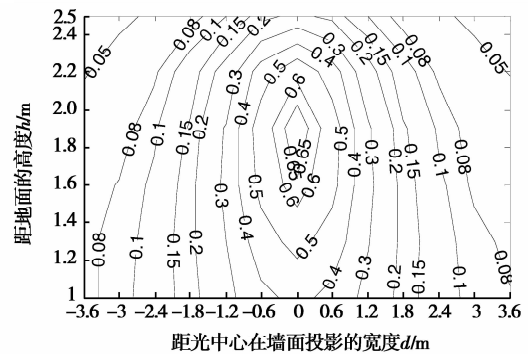
选择额定光通量为6000lm,2×36W的荧光灯光源,余弦配光特性照明器。仿真时,仅光源②光通量变化,其余光源光通量不变。当工作点Q照度变化50lx时,可以得到在墙1上与Q点的照度变化传递比(K)的等值线。不同条件下的仿真结果如图4所示,图中d为检测点与光源光中心在墙面投影



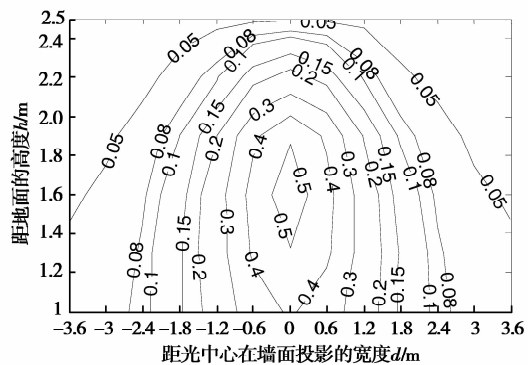
(a) 照明器平行于窗户且距墙面1.812m时



(b) 照明器垂直于窗户且距墙面1.812m时



(c) 照明器平行于窗户且距墙面1和工作面分别1.2m和1.85m时



(d) 照明器平行于窗户且距墙面1和工作面分别1.2m和1.65m时

图4 墙1上与Q点的照度变化传递比(K)的等值线

的距离, h 为检测点在墙面上的高度。由图(a)~(d)可以看出, K 的大小很大程度上依赖于照度传感器在墙面的设置位置, 当传感器布置在有最大的照度变化传递比的位置时, 对于传感精度是最为有利的。对比图(a)、(c)可知, 光源安装高度相同但与墙面距离不同, 照度变化传递比随着光源与墙面距离的增加而逐渐减小, 且最大照度变化传递比区域的分布高度也逐渐减小; 对比图(c)、(d)可知, 光源与墙面的距离相同, 但安装高度不一致时, 照度变化传递比随光源安装高度降低而减小。

由式(1)可计算出当允许工作面照度变化量为 50lx 时, $K=0.2$ 。从 4 种情况的仿真结果看出, 在适当的墙面传感器安装高度, 如 $1.8\sim 2.0\text{m}$, 以及光源光中心在墙面垂直投影点两侧至少 1.2m 范围内安装传感器都是有效的。随着允许工作面照度变化率减小, K 必须增大, 墙面照度传感器的安装位置也会受限。

总之, 传感器的布置与照度变化传递比密切相关, 照度变化传递比不仅与光源的安装高度、与墙面的距离相关, 而且因照明器的配光特性不同, 照度变化传递比也不尽相同。利用 DIALux 仿真软件, 当给定照明环境、照明器的配光特性和安装位置、空间各表面的反射系数时, 即可根据允许工作面照度变化率以及照明调光系统控制要求仿真得出传感器的安装位置及其数量。

4 墙面照度传感器设置方式在教室照明控制中的应用

如图 5 所示教室平面, 长、宽、高分别为 $9, 7.2, 3.6\text{m}$, 布置 9 套 36W 双管荧光灯, 单光源光通量为 3000lm , 照明器配光特性为余弦, 安装高度为 3m , 水平工作面距地 0.75m , 光源距水平工作面 2.25m , 两套单管荧光灯为教室黑板照明, 安装高度为 2.7m 。

图 6 所示为教室室内仅人工照明时的照度分布, 平均照度 310lx , 照度均匀度接近 0.7 , 功率密度为 $11\text{W}/\text{m}^2$, 满足国家建筑照明设计标准^[19]的室内功率密度及工作面平均照度水平要求。

合理利用日光是照明节能的主要措施, 在自然采光条件下, 室内照度由窗往里呈阶梯分布, 靠窗的区域 1 (如图 5 所示) 采光条件最好, 区域 3 最差, 要满足照明标准要求, 需要适当补充人工照明。一般教室的调光照明都是按区域控制, 即同一区域内的照明器按相同调光比例调光, 因此该调光方式满足墙面设置传感器对工作面照度进行间接调节的要

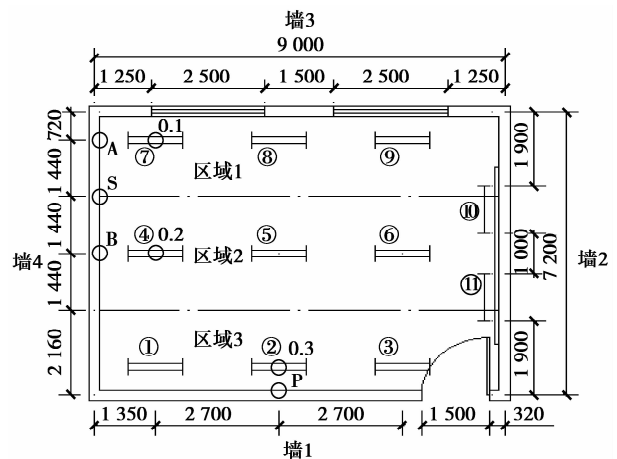


图 5 教室照明平面图

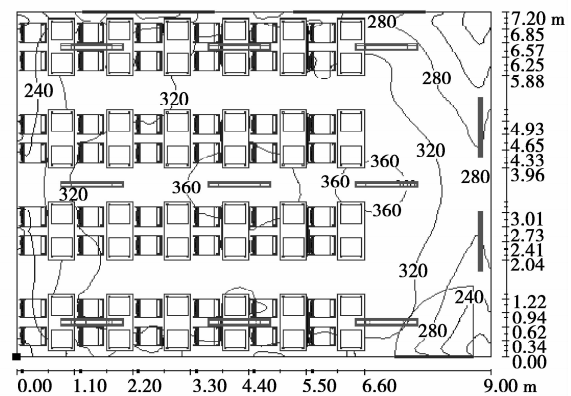


图 6 教室工作面的照度分布图

求。由于照明器布置是基本满足照明均匀性要求的, 对于区域 3 的照明器, 只需要在墙面 1 设置 1 只传感器即可。对于区域 2 和区域 3 的照明器调光用墙面传感器则可设置在墙 4 上 (墙面 1 距区域 1、2 太远, 无法准确传递工作面照度值), 两区域共用 1 只, 还是分区域设置则需要根据仿真结果显示的照度变化传递比 (K) 的大小确定。

4.1 墙面照度传感器安装位置及照度变化传递比

根据墙面照度与工作面照度的比例模型以及墙面与工作面照度变化比的定义, 在某一时段内, 照明空间中只能有单个光源调光或一组光源按同一比例调光, 不允许多个光源或多组光源同时调光; 并且不同光源调光时, 对于同一墙面和工作面, 其照度变化传递比是不同的。

4.1.1 墙面 1 上的照度传感器设置

以工作面上 Q_0 点为参照, 假定工作面照度标准为 300lx , 允许照度变化率为 10% , 则由式(4)可知, 墙面与工作面照度变化传递比不应小于 0.33 。因为调光分区域进行, 因此有仿真取得 K 值时, 应当

是各区域调光同时按比例进行时得到的结果。区域1、2、3照明器分别调光时,墙1上各点与光源2下方工作面上 Q_3 点的照度变化传递比仿真结果分别如图7中(a)、(b)、(c)所示,因为只需要设置1只传感器,可以选择传感器设置的最有利位置,即图5中 P 点,距地面2.5m的位置,这样既可有效避免室内人员活动对传感器的干扰,也可取得很好的调光平滑度。于是得到区域1,2,3的照明器调光时 K_{PQ31} 、 K_{PQ32} 和 K_{PQ33} 取值应为0.98,0.47,1.7,其中仅 K_{PQ33} 用于对区域3的照明器进行调光, K_{PQ31} 和 K_{PQ32} 仅用于预测当其他区域调光时的本区域的工作面照度变化。

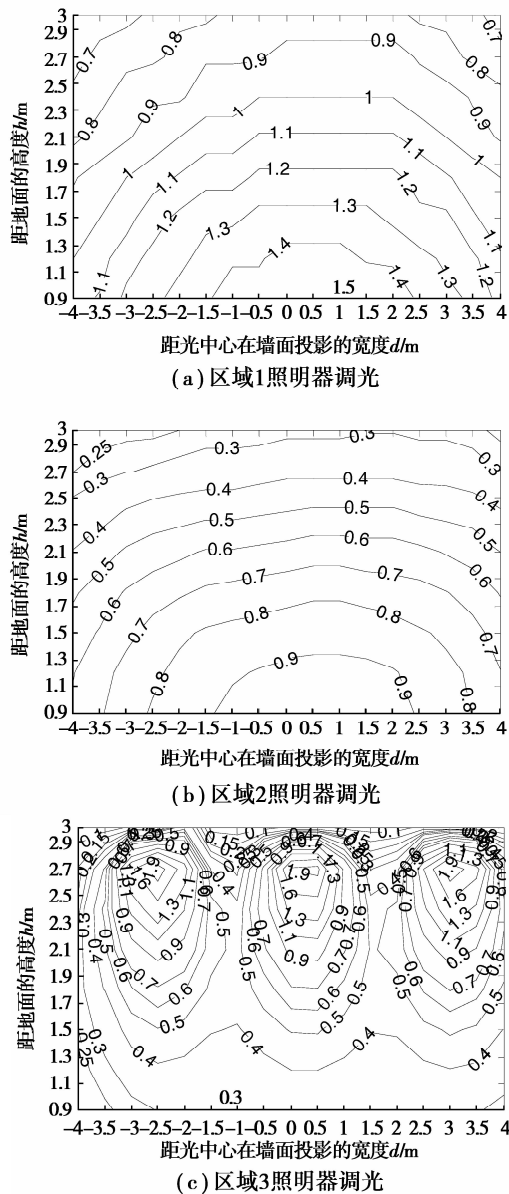


图7 墙1与光源2下方工作面 K 等值线图

4.1.2 墙面4上的照度传感器设置

当墙面传感器设在 S 点,距离地面2.0m高时,即可以1只传感器控制区域2和3的调光。同理,也需要通过仿真得到不同区域照明器调光时,墙面 S 点与工作面上 Q_1 和 Q_2 点的照度变化传递比, K_{SQ11} 、 K_{SQ12} 和 K_{SQ13} 分别为0.34,1.43,1.31。 K_{SQ21} 、 K_{SQ22} 和 K_{SQ23} 分别为1.42,0.33,0.37。若要提高传感器设置高度,减少室内人员活动干扰,则必须设置2只传感器于 A 点和 B 点。

墙面照度传感器安装位置及照度变化传递比也可以由实验获得。

4.2 调光控制策略

因为工作面上没有设置照度传感器,仅利用墙面照度传感器测取的照度值和墙面、工作面照度变化传递比是无法直接对工作面照度进行调节的。对于本节给出的例子,调光的目的是针对自然光照明的不足进行人工照明补光,因此调光前关闭所有照明器,根据室外设置的照度传感器的检测值推算出此时室内各区域工作面的初始平均照度 E_{10} 、 E_{20} 、 E_{30} ,推算方法的建立将是本项目的另一部分工作。控制器在各区域工作面的初始平均照度的基础上,按照如图8所示的步骤进行调光。首先,根据室外传感器测得的室外照度推算出室内区域1、2、3工作面各自的平均照度。然后顺次判断各区域工作面的平均照度是否小于用户设定值 E_{av} ,若是,则系统调光,反之,不调光;当系统调光时,先计算调光次数,控制器控制调光镇流器动作,每调光一次,使工作面照度变化30lx。因调光区域的照度变化的同时,其他区域照明也随即变化,当某区域调光完成后,分别根据墙面照度传感器的变化值,推算出未调光区域工作面的当前照度值,作为判断下一区域是否需要调光的条件。待所有区域照明达到照明要求,调光结束。

4.3 调光效果仿真

以全阴天状态为例,此时窗可视为漫反射光源,按2个墙面照度传感器分别设于 P 点和 S 点为例进行仿真,无人工照明时室内工作面灰阶等照度如图9(a)所示。区域1、2、3的平均照度为854,221.6,95.2lx,可以认为工作面上 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 点的照度即为854,221.6,95.2lx。

按照4.2中流程和4.1得到的各照度变化传递比进行调光,区域1的照明器不需要进行补光调光。区域2的照明器按要求进行补光调光后,室内工作面灰阶等照度如图9中(b)所示,此时区域2的照明器光源调至24%时,工作面上 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 点的照

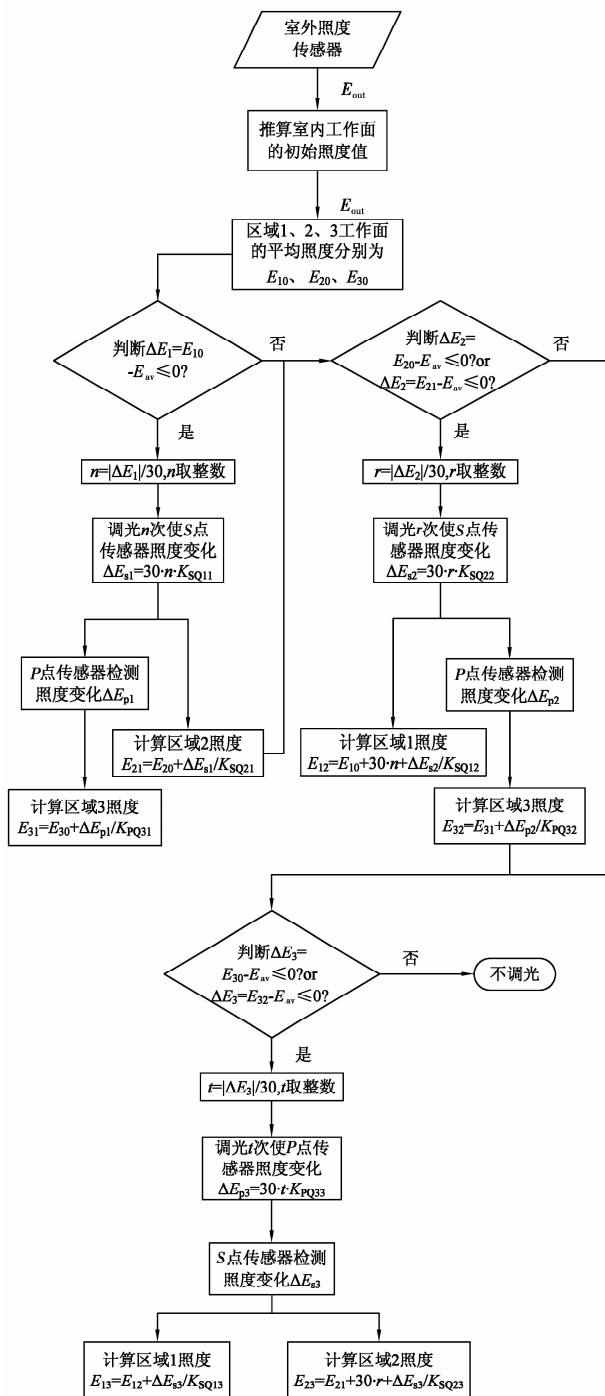
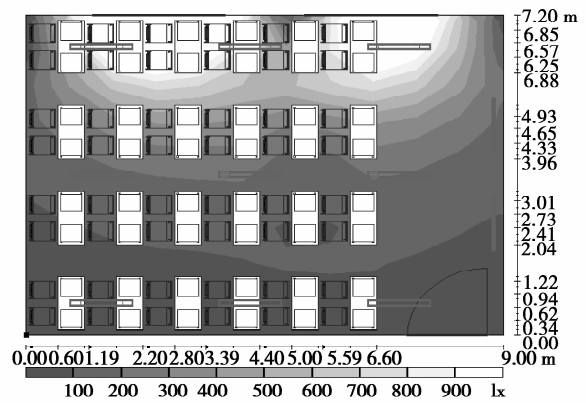


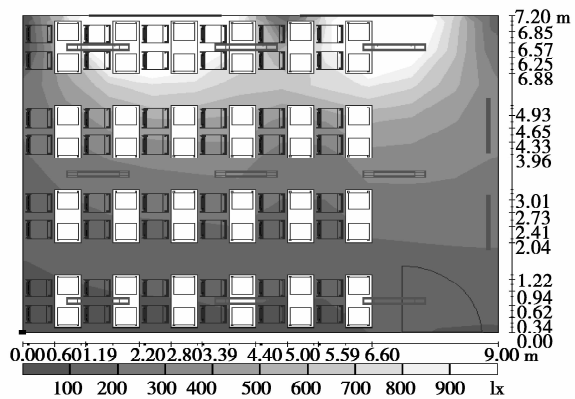
图 8 调光控制流程

度分别变为 868.1, 283.1, 105.4 lx, 一般情况下, 设计照度值与照度标准值相比较可有 -10%~+10% 的偏差^[19], 因此, 区域 2 工作面照度也基本达到要求。然后依次将区域 3 的照明器按要求进行补光至 84% 后, 室内工作面灰阶等照度如图 9(c) 所示, 此时工作面上 Q₁、Q₂、Q₃ 点的照度分别变为 878.3, 318.8, 315.5 lx。满足照度标准要求, 调光结束。

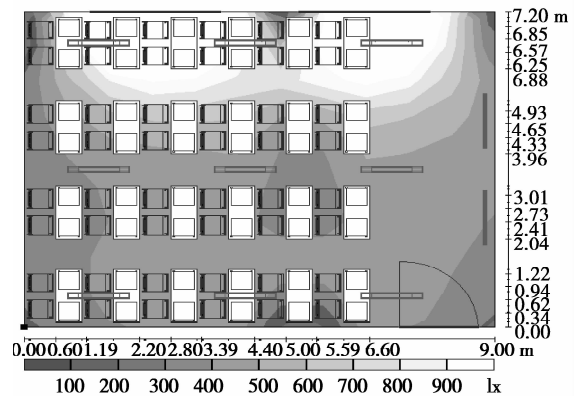
如果日光发生变化, 则室外传感器检测到其变



(a) 无人工照明工作面照度分布



(b) 区域 1 调光后工作面照度分布



(c) 区域 3 调光后工作面照度分布

图 9 室内工作面的灰阶等照度图

化值, 并推算出其变化造成的各区域工作面平均照度变化量后, 修正工作面上 Q₁、Q₂、Q₃ 点的照度值。经过调光控制的教室可以在达到教室明视照明条件的同时, 最大限度地利用自然采光, 达到节能目的。

5 结语

笔者提出了以墙面照度传感器代替工作面照度传感器进行室内照明调光的方法, 证明了在照明空间内, 仅对单个或单组照明器调光时, 墙面某点与工

作面某点的照度变化比恒定,由此定义了墙面与工作面照度变化传递比 K 。DIALux 仿真结果表明在一般的大空间办公、教室、阅览室等场所采用该方法调光控制时,设置足够灵敏的墙面传感器是容易做到的。笔者还以教室照明调光为例,说明如何结合照明环境的具体情况使用该方法以及实施效果。

参考文献:

- [1] 童铁桥. 智能照明调光控制系统特点及其应用[J]. 武汉科技学院学报, 2003, 16(4): 51-53.
TONG Tieqiao. The nature of intellectual lighting control system and its application[J]. Journal of Wuhan Institute of Science and Technology, 2003, 16(4): 51-53.
- [2] 徐进, 刘坤. 智能化照明系统的研究[J]. 照明工程学报, 2010, 21(2): 15-19, 37.
XU Jin, LIU Kun. Studies on the intelligent lighting system[J]. China Illuminating Engineering Journal, 2010, 21(2): 15-19, 37.
- [3] 罗红, 刘海龙. 人工神经网络在照明控制系统中的应用研究[C]// 中国照明论坛: 绿色照明与照明节能科技研讨会, 北京: 中国照明学会, 2008.
- [4] 董珀, 朱凌云. 基于自适应领域算法的智能照明控制系统[J]. 照明工程学报, 2010, 21(2): 8-14.
DONG Po, ZHU Lingyun. Intelligent lighting control system based on ANA/CC [J]. China Illuminating Engineering Journal, 2010, 21(2): 8-14.
- [5] 邢思锐, 庄严, 梁国泓. 基于 PID 控制的照度自动控制系统[J]. 计算机与数字工程, 2010, 38(5): 70-73.
XING Sirui, ZHUANG Yan, LIANG Guohong. Illumination intensity control system based on PID[J]. Computer & Digital Engineering, 2010, 38(5): 70-73.
- [6] 李怀, 陈一飞. 基于模糊神经网络的室内照度控制系统的研究[J]. 建筑电气, 2008, 27(7): 27-30.
LI Huai, CHEN Yifei. Research on indoor illuminance control system based on fuzzy neural network [J]. Building Electricity, 2008, 27(7): 27-30.
- [7] 乐钰唯, 叶炜, 许煜. 照明控制技术的发展及应用现状[J]. 照明工程学报, 2010, 21(2): 1-7.
ZHANG Yuwei, YE Wei, XU Yu. Development and application situation of lighting control technology [J]. China Illuminating Engineering Journal, 2010, 21(2): 1-7.
- [8] Ribinstein F M, Mahmut K. The measured energy savings from two lighting control strategies [J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 1984, 20(5): 1189-1197.
- [9] Liang T J, Liu T S, Chang F J. Design and analysis of dimming electronic ballast [C] // Proceedings of the 1997 IEEE International Conference on Power Electronics and Drive Systems, May 26-29, 1997, Singapore. Piscataway: IEEE Press, 1997, 1: 397-402.
- [10] Mohsin Ayaz Shafi. Influence of voltage and frequency dimming on power losses in HF electronic ballasts for compact fluorescent lamps [J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2012, 48(2): 839-845.
- [11] Gray P R, Meyer R G. Analysis and design of analog integrated circuits [M]. 2nd Edition. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 1984.
- [12] Moo C S, Cheng H L, Lin T F, et al. Designing a dimmable electronic ballast with voltage control for fluorescent lamp [C] // Proceedings of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics, July 12-16, 1999, Bled, Slovenia. Piscataway: IEEE Press, 1999, 2: 786-791.
- [13] 高小敬. 智能照明系统中室内的自然光照水平预测[J]. 低压电器, 2004(6): 12-14, 30.
GAO Xiaojing. Prediction of inside's natural lighting levels in intelligent lighting control system [J]. Low Voltage Apparatus, 2004(6): 12-14, 30.
- [14] Hughes R F, Dhannu S S. Substantial energy savings through adaptive lighting [C] // Proceedings of the 2008 IEEE Electric Power Conference, October 6-7, 2008, Vancouver, BC. Piscataway: IEEE Press, 2008: 1-4.
- [15] Onaygil S, Güler O. Determination of the energy saving by daylight responsive lighting control systems with an example from Istanbul [J]. Building and Environment, 2003, 38(7): 973-977.
- [16] Ali N A M, Fadzil S F S, Mallya B L. Improved illumination levels and energy savings by uplamping technology for office buildings [C] // Proceedings of the IEEE International Association of Computer Science and Information Technology: Spring Conference, April 17-20, 2009, Singapore. Piscataway: IEEE Press, 2009: 589-603.
- [17] Guillemin A, Morel N. An innovative lighting controller integrated in a self-adaptive building control system. [J]. Energy and Buildings, 2001, 33(5): 477-487.
- [18] 曾礼强, 王晓静, 张瑞. 基于光通传递函数矩阵的照度比例模型 [J]. 重庆大学学报: 自然科学版, 2008, 31(10): 1160-1163.
ZENG Liqiang, WANG Xiaojing, ZHANG Rui. An illuminance ratio model based on a luminance transfer function matrix [J]. Journal of Chongqing University: Natural Science Edition, 2008, 31(10): 1160-1163.
- [19] 中华人民共和国建设部. GB50034-2004 建筑照明设计标准 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004.