

封面展示



2013年第05期

www.bmeeep.com.cn

出版:香港捷玛国际出版中心
编辑:《建筑机电工程》杂志社
社长:Jim G.B. Han(加拿大)

编委会主任:花铁森
编委副主任:贺智修

编委会顾问:陈怀德 陈振明 程大章 崔长起
龙惟定 方汝清 李兴林 鲁宏深
潘德琦 瞿二澜 寿炜炜 唐祝华
王瑞官 王元恺 温伯银 吴达金
吴祯东 吴成东 肖春书 俞丽华
张飞碧 张渭方 赵姚同 赵济安
郑大华 诸建华 周国兴 左亚洲

编委会委员:程宏伟 范强强 方玉妹 冯旭东
归淡纯 郭筱莹 何 焰 李国章
邵民杰 王 健 王志强 武 广
夏 林 徐 凤 姚国樑 叶大法
张海宁 周明潭

主编:花铁森
副主编:姜文源 陈众励 陈汝东
本期特约执行主编:田建强

地址:香港湾仔轩尼诗大道139号中国海外
大厦10楼

上海联络外电话:86-21-34613501

编辑部信箱:bmee2004@msn.com
国际标准刊号:ISSN 1812-2353
出版日期:12月18日
定 价:15港币

案例透析

公共建筑照明显能管理控制系统（一）

文/

公共建筑照明显能管理控制系统（一）

1、引言

在浦东图书馆项目的公共建筑照明显能管理控制系统中，我们有了“系统节能”的理念，对整个图书馆的照明系统做了分析和研究，将整个图书馆的照明，包括中庭、多功能演讲厅、学术报告厅、公共走道区域、展览厅、阅览室、借阅部、接待室、办公室、培训室、地下车库、外景照明等区域作为一个整体加以研究，应用先进的智能化控制技术，实现整个照明系统的节能目标。这项研究具有开拓性的意义。

1.1 应用研究的三个突破及创新意义

浦东图书馆的整个照明系统“系统节能”应用研究主要试图实现三个突破：

1、突破了以往仅注重通过对节能光源的选择和应用实现节能的局限，将节能光源和照明艺术结合在一起，在不同的应用场合选用合适的节能光源。

2、突破了以往采用简单的“开”或“关”，以牺牲照明效果甚至照明安全来实现节能的局限，将节能和调光控制系统结合在一起。

3、突破了以往采用简单的技术手段实现某一点或某一局部的照明节能的局限，将多种节能控制手段应用在一个控制区域。

上述突破的创新意义在于第一次系统的揭示了照明系统在实际应用中有效耗能与无效耗能的区别，第一次明确的提出了“无理能耗”的概念。将狭义的照明光源节能提升到广义的照明系统的系统节能，有效的应用网络智能控制技术将光源节能同照明系统的综合节能结合在一起，建立了照明系统节能的整体概念，并在浦东图书馆成功地应用。

1.2 应用研究的主要内容及初步成果

浦东图书馆整个照明系统“系统节能”应用研究的三个主要内容：

- 第一、建立“系统节能”的整体概念和分析模型；
- 第二、细分了图书馆各区域对人工光照的要求，优化设计人工光照方式和选用高效、适用、经济、可靠的节能光源；
- 第三、开发应用了技术先进、自动化程度高、运行稳定、安全可靠、操作方便、维护简单、安装扩展容易、成本低廉能够有效控制节能光源的网络智能化节能照明控制系统。

浦东图书馆的整个照明“系统节能”应用研究是通过光源节能和系统照明显能管理相结合来实现的。各个照明区域采用恰如其分的节能光源，光源主要以荧光灯（日光灯）、金属卤化物灯、LED灯等节能光源为主。照明显能管理是采用SEGT的技术，通过网络智能控制技术将各种控制技术如时段控制、自动日照补偿技术、红外感应控制、照度管理等技术手段综合应用和实现整体管理。

节能照明控制系统能根据浦东图书馆各个区域功能的不同，通过对各区域内各个照明回路分别控制，可预设多种灯光管理模式，使得各个区域在符合国家照度标准的前提下，实现降耗节能的目的。大楼工作人员可以根据实际需要，自动或手动控制各个区域的照度和照明模式，同时还可以实现减少管理人员，降低工作强度，降低对专业人员技术水平要求的目的。

2、照明显能的浅析

照明显能用我们今天认识大致可以分为二类，一类是“光源自身的耗能”，也称“硬能耗”。另一类是“应用耗能”，也称“软能耗”。

2.1 光源能耗

照明显能似乎是“天经地义”的，从人类懂得点油灯起，人类为达到“照明”的目的，开始了将一种“能”转换成另一种“能”。起初的这种“应用转换”是生活经验的产物，而非今于科学技

将一种“能”转换成另一种“能”。起初的这种“应用转换”是王佑经验的产物，而非今天科学技术的发明。因此对今天大家都已经耳闻烂熟的“转换效能”这一概念，当初的“发明者”是全然无知的。

当时间走入二十一世纪，能源的短缺业已威胁人类生存的时候，各行各业的节能成为了共同的主题。照明作为人类生活的一个必不可少的辅助手段，其耗能是巨大的，因此对其实现节能降耗早在上个世纪七十年代就已经开始。从那时起到本世纪的头几年，人们主要将注意力集中在光源上，这个步伐至今未有停止过，这是由于人们发现传统用于照明的白炽灯通过耗能所转换出来的视觉辐射能是很少的，其转换效能极低。白炽灯的能源利用率仅小于百分之十，而大量的能源被转换为无用的热能了，其每瓦的光效仅在7.3~251m之间。为降低光源能耗，提高照明对能源的利用率，在过去的近三十年中世界各国投入了大量的资金开发出了各种各样的替代白炽灯的光源，如现在大量用于室内照明的荧光灯（节能灯、日光灯等）、低压卤钨灯，主要用于户外或工矿企业的高压钠灯、金属卤化物灯。近些年又开发了半导体光源（LED）灯等等。这些光源的出现和应用大大降低了照明的能耗。随着新兴光源的发展，我们有理由相信照明的能耗还会进一步的下降。

2.2 应用能耗

2.2.1 有效能耗和无效能耗的概念

但是，在人类的生活活动中，是否降低了光源的耗能问题就意味着解决了照明耗能的所有问题呢？结论显然是否定的。由于照明耗能是时间的函数：

$$W = P(t) \quad \text{公式1}$$

W表示为照明总能耗

T表示为照明总耗能时间

P表示为单位时间内照明用具能耗

我们如果将人工照明时间段再细分，将总的能耗W分为：

$$W_g = W_{\text{有}} + W_{\text{无}}$$

以上题式我们将能耗加以了细分，将实际受用时间能耗用“W有”表示，并将其称为“有效能耗”。将不被受用时间段的能耗用“W无”表示，并将其称为“无效能耗”。从公式1又可以引出：

有效能耗公式：

$$W_{\text{有}} = W(t_1) \quad \text{公式2}$$

无效效能公式：

$$W_{\text{无}} = W(t_2) + W(t_3) \dots W(t_n) \quad \text{公式3}$$

由此得出：

$$W_g = W(t) = W(t_1) + \{W(t_2) + W(t_3) \dots W(t_n)\} \quad \text{公式4}$$

由此不难看出，照明能耗是时间的函数。照明用具（包括光源和电子整流器等）的耗能只是照明能耗的一个参量因素。而“无效使用”耗费的能源和“不合理使用”耗费的能源是照明能耗的另一个方面，这种“无效使用”和“不合理使用”所消耗的能源，简称为“无效能耗”，有上述公式3所表示。

2.2.2 无效能耗的主要表现形态

“无效能耗”的现象在我们的现实生活中普遍存在，其生存的形态也比较复杂，主要表现有以下几个方面：

- (1) 随着现代城市化的发展，高楼如雨后春笋，大量的公共建筑拔地而起。在一些公共建筑中，照明是一个不可或缺的庞大系统，可以用“无处不在”来形容。尤其是在一些如地下停车库、公共过道这样的公共空间中，无论是有车无车，无论是白天黑夜，也无论是有人没人，照明灯“永远”是亮着的，“无效耗能”时时刻刻在发生。初步的估计，一个按照国家照明标准设计的地下停车库，照明的“耗能”占了整个车库照明能耗的35%~45%。
- (2) 在对一些室内场所，如办公场地、公共过道、洗手间、停车库、机房、仓库等做设计时，按照国家的照度标准，设计的实际照度往往总是超过国家标准。这是因为每种灯具的光通量是一定的，一般都选用适当大于国家标准照度的灯具。而这些大于的部分，就产生了“无效耗能”。而这部分“无效耗能”约占整个照明能耗的5%~8%。我们称为超标值能耗。
- (3) 在实际的生活中我们不难观察到，在白天，自然光对室内的辐射，其光强总是不均匀的，靠近窗户（采光面）的区域光线强些，而离窗户（采光面）越远光线越暗，根据光通量的分布特性，我们不难理解这是由于 ϕ 发生了改变的缘故。为解决这一问题，一种最普通的方法就是在室内的顶上均匀地加装一定数量的照明灯。这种“均匀的加装”对晚上的照明是十分有意义的。但是在白天这种方法在对暗区进行补光的同时在光强的区域也产生了“不合理使用”现象。即在光强的区域往往“开着灯”，而光强就变成了“无效的耗能”。尽管我们对

用”现象。即在光强的区域往往也“开着灯”，因此也就产生了“无效能耗”。尽管我们时常可以简单的用“开”和“关”来控制一些灯，试图处理好“补光”与“无效能耗”的关系问题。但是从发光强度的最基本公式：

从式（1）中我们不难看出， I 是一个随 $d\omega$ 渐变的函数，更由于光通量 ϕ 为：

从式（2）中我们可以看出 ϕ 是一个随时间变化的非线性函数，若 ϕ 所表述的是自然光，那么这个数值更加活跃。因此在室内要想对一个有相当面积上的自然不均匀光照度进行均匀的照度补偿，使人的视觉感到舒适和均匀，采用传统的“线性定常”系统，即以传递函数、频率特性、特征根分布甚至采用描述函数分析等控制理论建立起来的系统和方式去处理好“补光”与“无效能耗”的关系，显然是困难的，更不用说用简单的“开”和“关”去实现。

（4）目前现有的灯光控制系统大部分由于技术上的原因，不能对节能光源进行调光控制，因此在一些大量采用照明控制系统的场所，为创造各种特殊的光环境，仍然在采用高能耗的白炽灯。这就加大了无效耗能量。

2.2.3 开发照明能耗管理控制技术的目的

从对上述问题的分析，使得我们对照明能耗问题有了进一步的认识，这是我们本次节能应用研究的开始，它明确了我们“系统节能”的方向目标。即所谓**照明能耗管理控制技术是在充分采用节能光源、节能照明用具的基础上，进一步解决“无效能耗”问题。**

不仅如此，对目前大量采用“带电子整流器的节能光源”带来的对环境的二次污染问题，也是我们本次研发解决的问题之一。

3、光源的技术特性与节能应用要求浅析

所谓充分选用节能光源，是指在整个照明系统中全部选用节能光源和节能照明用具，这些光源和用具（电子器件）是可以受网络智能化控制系统的。

3.1 光源特性与应用能耗的关系

根据光的产生原理，电光源主要分为两大类。

一类是以热辐射作为光辐射原理的电光源，包括白炽灯和卤钨灯，它们都是以钨丝为辐射体，通电后使之达到白炽温度，产生热辐射。这种光源统称为热辐射光源。

另一类是各种气体放电光源，它们主要以原子辐射形式产生光辐射。根据这些光源中气体的压力，又可分为低压气体放电光源和高压气体放电光源。

为了实现照明节能，选用电光源时首先要考虑发光效率，但对不同的使用场合和要求也要考虑电光源的其他特性。电光源的主要特性有发光效率、显色性、使用寿命、使用要求及成本等。

3.1.1 电光源的技术指标

电光源根据其名称就可知它主要有电与光两方面的性能指标，这两方面的性能指标当然有着密切的联系。但作为光源，主要还是光的性能指标，而对电的指标也往往重于它对光性能的影响。

3.1.1.1 设计的光通量对节能的影响

光源的光通量表征着光源的发光能力，是光源的重要性能指标。光源的额定光通量是指光源在额定电压，额定功率的条件下工作，并能无约束地发出光的工作环境下的光通量输出。

光源的光通量随光源点燃时间会发生变化，即点燃时间愈长，光通量因衰减而变的愈小。大部分光源在燃点初期光通量衰减较多，随着燃点时间的增长，衰减也逐步减小。因此光源的额定光通量有两种情况：一种是指电光源的初始光通量，即新光源刚开始点燃时的光通量输出，它一般用于在整个使用过程中光通量衰减不大的光源，例如卤钨灯；另一种情况是指光源使用了100小时后的光通量输出，它一般用于光通量衰减较大的光源，例如荧光灯。

因此在现实工程应用中，系统设计为了使系统达到基本寿命内的照度指标，抵消光源衰减的因素，总是将设计选用的灯具光通量指标适当的加以提高（ $\Delta\phi$ ，即所谓的“设计余量”），设计呈现值可以描述为：

$$\phi_{\text{设计值}} = \phi_{\text{标}} + \Delta\phi.$$

$\phi_{\text{设计值}}$ 为系统设计实际指标

$\phi_{\text{标}}$ 为以国家标准为基础的产品或系统的技术指标值。

$\Delta\phi$ 为设计余量

这种设计余量在系统的老化加速期前显然是同节能的概念相左的。

因此如何通过系统控制技术来解决这一问题是这一课题的内容之一。

我们通过控制管理模式和在硬件上实现真正稳定的对节能光源的有效调控实现了对 $\Delta\theta$ 值的改变，这种调控具有明显的节能作用。尤其是前期的节能功效可以达到7%以上。

3.1.1.2 发光效率对节能的影响

光源的光通量输出与它取用的电功率之比称为光源的发光效率，简称光效，单位是 lm/W 。在照明设计中光源光效是节能照明设计中选择灯具光源必须考虑的一个重要的技术指标。光效越高节能效果越好。

在照明系统的设计中，对不同的场合选用恰当的节能光源，要在光通量达到要求的前提下，选择发光效率高的节能光源。这是十分重要的。不考虑光通量，以牺牲效果，简单的追求发光效率是没有意义的。

3.1.1.3 显色性对节能的影响

显色性是光源的一个重要性能指标。通常情况下光源用于一般显色指标衡量其显色性。在某些对颜色有特殊要求的场合，则应重视对显色指标的考虑。在照明节能设计时，我们希望既节能又保持具有良好的色还原。这看似简单的问题，在以往所采取的照明节能措施中往往被忽视。目前突出的是二个问题。第一是现在一种普遍的认知误解，被照区域或物体的显色性差，视觉效果不好，被误认为是照度不够，而盲目的增加灯具的照度。从而导致能源的浪费。第二种情况是采用了调光控制系统后灯具的色温发生了明显的改变，破坏了照明的效果。照明的目的被忽视了。

为此我们的人工智能节能技术，具有在调控节能光源的同时，最大限度的维持原有光源的稳态的显色性。实验结果证明，我们的稳态显色性达到了90%以上。

3.1.2 寿命

电光源的寿命是电光源的重要性能指标，用燃点小时数表示。

3.1.2.1 平均寿命

光源从第一次点燃起，到损坏熄灭为止，累计燃点小时数称为光源的寿命。电光源的全寿命有相当大的离散性，即同一批电光源虽然同时点燃，却不会同时损坏，它们将有先有后陆续损坏，且可能有较大的差别，因此常用平均寿命的概念来 定义电光源的寿命。

取一组电光源作试样，从一同点燃起计时，到50%的电光源试样损坏为止，所经过的小时就是该组电光源的平均寿命。

3.1.2.2 有效寿命

电光源在使用过程中光通量将随使用时间的增加而逐步衰减。有些电光源的光通量衰减在它全寿命中相当显著，当光源光通量衰减到一定程度时，虽然光源尚未损坏，但它的光效明显下降，标准功效丧失。继续使用极不经济。

电光源从点燃起，一直都光通量衰减到某个百分比所经过的燃点时数就称为光源的有效寿命。一般取70%~80%额定光通量作为更换光源的依据。荧光灯一般用有效寿命作为其寿命指标。

我们所开发的人工智能节能技术和能耗管理控制系统有着十分良好的电流和电压的波动抑制能力，这一功能对光源的保护和延长使用寿命具有显著的作用。光源在系统中可以延长寿命一倍以上。这对降低营运成本，减少二次污染是十分有意义的。

3.1.3 启燃、再启燃时间以及低启燃值

电光源启燃时间是指光源接通电源到光源达到额定光通量输出所需的时间。热辐射光源的启燃时间一般不足1秒钟，可认为是瞬间启燃的；气体放电光源的启燃时间从几秒钟的几分钟不等，取决于光源的种类。

电光源的再启燃是指正常工作着的光源熄灭后再将其点燃所需要的时间。大部分高压气体放电光源的再启燃时间比初次启燃时间更长，这是因为再启燃时要求这种光源冷却到一定的温度后才能正常启燃，即增加了冷却所需要的时间。

电光源的启燃和再启燃时间影响着光源的应用范围。例如频繁开关光源的场所一般不用再启燃时间长的光源，而且启燃次数对光源寿命的影响很大。又如应急照明用电光源一般应选用瞬间启燃或启燃时间短的电光源。

在这之前大部分光源控制技术对荧光灯光源的启燃以及再启燃时间有较大的影响，这种影响时常甚至会使启燃受阻。我们这次对此专门开发了低电压启燃技术，所以采用人工智能节能技术和系统，可以使光源在12%低照度状态下启燃。这一技术的应用使荧光灯光源在正常状态下发光更加稳定。这一技术的发展扩大了气体放电光源应用范围，对推广节能光源

3.1.4 其他指标

电光源还有其他一些特性，且光源性质不同，对其他性能的要求也不同。

3.1.4.1 电压特性

当电源电压产生偏移，即电源电压与光源的额定电压不符时，会对光源的使用造成影响。例如电源电压偏高，对有些光源影响较大，主要是影响光源的使用寿命。而电源电压过低时会大大降低气体放电光源光通量的输出，光源的启燃时间也会受影响，甚至无法启燃。因此这些光源常常要规定最低启燃电压值。

采用人工智能节能技术和系统，可以在一定的范围内，有效调控系统的电压，降低由于电压波动对节能光源的影响。

3.1.4.2 温度特性

有些光源对环境温度比较敏感，温度过高或过低都会影响到这种光源的光效。大部分气体放电光源在环境温度较低时会影响其启燃性能。

有些光源表面温度很高，使用时要采取防燃和防溅措施，以免引起火灾或因水的溅射导致光源爆裂。

3.1.5 节能光源的类型

综合电光源的各项技术指标，具有正真实用价值的节能光源应当具有发光效率高、显色性好、使用寿命长、成本低廉、维护容易。

浦东图书馆的建筑由日本NIHON SEKKEI株式会社设计，富有特色的书山、中庭、空中花园、云海、清水泥墙和外墙百叶等设计都是建筑物的亮点，将这些亮点和艺术效果通过照明效果体现出来，是照明设计师和灯控设计师共同努力的方向，同时也对节能光源的控制提出了很高的要求，最终将发光效率高、显色性好、使用寿命长、使用要求及成本低的荧光灯、金卤灯和LED灯在浦东图书馆得到大量运用。

节能光源最主要的有三类：

荧光灯

荧光灯是一种气体放电灯，所谓气体放电灯就是指电流通过气体媒质所发生的过程，利用气体放电发光的原理制成的灯就是气体放电灯。

决定荧光灯特性的最重要的因素是荧光粉的种类及其组分，荧光粉不仅决定了灯的色温和显色性，而且在很大程度上决定了灯的发光效率。采用不同配比的三基色荧光粉，可以做成各种色温的高性能荧光灯，这些灯不仅光效高，而且显色性好。 R_a 可以达到85以上，由于这种荧光粉还有耐高温和承受强短波紫外辐射的能力，故而广泛应用于细管径的荧光灯中。

荧光灯的特点是面发光光源，光源的发光效率比较高，显色性较好，光照比较均匀，价格比较便宜，可以进行调光，但荧光灯光源的体积较大，光的方向控制较难，且单个光源的最大功率较小，比较适合楼层较低的公共走道照明。

浦东图书馆的公共走道都采用了荧光灯光源。

作者信息：项珏 赵康康

上海亿光数码科技有限公司