

# 建筑物公共区域能量有效性确定

杜晓通<sup>1</sup>, 李靖<sup>1</sup>, 王存东<sup>2</sup>

(1. 山东大学控制科学与工程学院, 济南 250061; 2. 中铁置业青岛公司, 山东青岛 266071)

**摘要:**公共建筑中公共区域人流量变化很大,能量的需求也应随着人流量的变化而变化。但传统模式下能量输出却很少考虑人流量的变化,这就造成了部分能量无效。如何评价能量有效性,以减少能量浪费是建筑节能需要研究的问题。提出了能量利用效率概念,用于判断人对能量的利用程度,给出了能量利用效率的计算方法。在某医院公共候诊区进行了工程实验,对比实验前后的能耗状况发现,能量利用效率能够评估能量有效性的状况,以提高能量利用效率为控制目标,可以较大幅度提高建筑物公共区域能效。

**关键词:**建筑物;能量利用效率;能效;公共区域

**中图分类号:**TU111.195 **文献标志码:**B **文章编号:**1674-4764(2011)02-0092-05

## Effectiveness of Energy use in Public Area of Buildings

DU Xiao-tong<sup>1</sup>, LI Jing<sup>1</sup>, WANG Cun-dong<sup>2</sup>

(1. School of Control Science and Engineering, Shandong University, Jinan, China 250061;

2. China Railway Real Estate CO., LTD Qingdao Company, Qingdao, China 266071)

**Abstract:** The flow of people changes very greatly in the public areas of public buildings, so the energy demand should also change with the flow of people. However, under the traditional model, the pedestrian flow is rarely considered when accounting energy output, which causes some of the energy invalid. How to assess the energy efficiency to reduce energy waste is an emergent problem to be solved for building energy conservation. The concept of energy utilization efficiency is put forward to judge the degree of utilization of energy, and the formula for calculating energy utilization efficiency is also provided. In a hospital public waiting area, a lot of experiments have been carried out. By comparing the energy consumption before and after the experiments, it is found that energy utilization efficiency can assess the effectiveness of energy. And to improve the energy efficiency of buildings greatly in public areas can be realized by promoting the energy utilization efficiency.

**Key words:** Buildings; Energy Use Effectiveness; Energy Efficiency; Public Area

2006 年中国建筑总面积 395 亿 m<sup>2</sup>, 机关办公楼和大型公共建筑年耗电量约占中国城镇总耗电量的 22%, 年人均能耗是城镇居民的 10~20 倍<sup>[1-4]</sup>。虽然大型公共建筑中的人均能耗应该高于城镇居民的能耗, 但是如此大的差距表明公共建筑的能量使用不够合理, 存在着明显的能量浪费现象。建筑物中中央空调的能耗约占总能耗的 60%, 照明约占

20%<sup>[5-7]</sup>, 因此建筑节能的关键在于空调的节能。建筑物中人流量变化大的地方主要在公共区域, 比如走廊、门厅、会议室等, 办公室、实验室、值班室等场所的人员变化并不大<sup>[15]</sup>。人员相对稳定区域的能耗主要与个人的用能习惯有关, 这部分区域节能的关键在于加强管理, 形成良好的用能习惯实现节能。对于人流量变化比较大的公共区域若仅通过提高温

收稿日期: 2010-10-05

基金项目: 国际合作重点项目资助(2008DFA11620); 山东省科技攻关资助(2008GG10007021)

作者简介: 杜晓通(1968-), 男, 副教授, 主要从事建筑节能、无线传感器网络研究, (E-mail)ljwdms@sdu.edu.cn。

度控制精度等传统控制方法,虽然能够减少部分能耗,但是当无人或人流量减少时,从能量为人所用的角度看依然存在能量浪费<sup>[8-14]</sup>。而要减少浪费的能量,首先必须确定哪些能量是被浪费的,只有确定了浪费的能量多少,才能研究能量效率讨论节能的效果。既然建筑物的能量是为人提供舒适环境的,如果以人是否使用了能量为标准,判断能量的有效性,那么就可以区分建筑物中那些能量是有效的,那些能量是被浪费的。如果把浪费的能量检测出来,通过控制手段减少甚至完全消除能量浪费现象,不仅可以大大降低建筑能耗,而且在对大量运行数据分析和信息提取基础上,还可进一步获得不同类型建筑的合理基准能耗,为优化建筑能耗的设计标准提供基础数据。

## 1 能量有效性的判定

### 1.1 能量有效性的判定依据

要评价建筑物能量的有效性,首先要明确何为合理(有效)能耗。建筑物消耗能量的目的是为人提供舒适的环境,环境舒适度主要是通过温、湿度来表现,由于目前在绝大多数建筑物中没有针对湿度的调节系统,因此暂用温度作为舒适度的指标。若将某个温度值  $T_0$  作为设定的舒适度,达到设定温度消耗的能量视为合理能耗,而将无人时开机,夏季温度设定过低,冬季温度设定过高等情况输出的部分能量视为无效能耗。由于人对舒适度的要求不同,在  $T_0$  确定的条件下,夏季设定温度高于  $T_0$ ,冬季设定温度低于  $T_0$  时所需要的能量都可以视为有效能耗。

若根据建筑物中能量输出是否有效评价能量使用的合理性,那么有效能量占总能耗的比率可以定义为:

$$\eta_e = \frac{E_o}{E_i} \times 100\% \quad (1)$$

其中:  $E_o$  为合理能耗,  $E_i$  为系统总能耗。

系统总能耗比较容易获得,因此问题的关键是合理能耗的计算。既然合理能耗与人有关,就必须要建立人与能量的联系。为了建立这种关联,利用感知传感器对人员的活动状况进行检测。

为了简化问题的分析,先以夏季为例进行讨论。由于人的浪费行为很多,主要的浪费行为可分为3种情况:无人不关机时的能耗  $E_H$ ,温度过低时的能耗  $E_T$ ,门窗大开时的浪费的能耗  $E_D$ ,总能耗减去浪费能耗即为合理能耗。可将式1重新写为:

$$\eta_e = \frac{E_i - (E_T + E_H + E_D)}{E_i} \times 100\% \quad (2)$$

$$E_T = \int_{T < T_s} P_i (1 - (1 - \mu)^{(T_s - T_N)}) dt \quad (3)$$

$$E_H = \int_{N_H=0} P_i dt \quad (4)$$

$$E_D = \int_{t_{od}} P_i (1 - (1 - \mu)^{(T_N - T_s)}) dt \quad (5)$$

其中:  $\mu$  为环境温度每降低一度所浪费的能耗,据有关文献统计,夏季环境温度每高一度约减少10%能耗<sup>[8]</sup>。  $P_i$  为空调系统的功率,  $T_s$  为设定温度,  $T_N$  为实时温度,  $N_H$  为红外感知次数。由于没有其它的探测手段,很难直接判断出是否是处于开窗状态,因此利用温度的变化率间接判断<sup>[15]</sup>。即设室内温度正常变化率为  $\Delta t_0$ ,若在一个采样周期  $t_s$  内室内温度升高变化率大于  $\Delta t_0$ ,且室温大于设定温度,则视为开门窗状态,则式5中  $t_{od}$  为满足上述条件的  $t_s$  总和。

将式(3)、(4)、(5)代入式(2),将  $P_i$  约去,从而得到易于计算的有效能量占总能耗的比率—能量利用效率如式(7)所示。

$$\eta_e = \left[ \frac{1 - \int_{T < T_N} (1 - (1 - \mu)^{(T_s - T_N)}) dt + \int_{N_H=0} 1 dt + \int_{t_{od}} (1 - (1 - \mu)^{(T_N - T_s)}) dt}{t_{total}} \right] \times 100\% \quad (6)$$

因为研究能量有效性的主要目的是为了找到浪费能量的方法,没有能量浪费的状况暂不进行讨论,所以式6没有考虑环境温度高于设定温度时能耗更为节省的情况。

### 1.2 能量有效性的工程验证

为了验证能量有效性分析的正确性,对某医院的公共区域的空调系统运行和人流变化状况进行了检测,对空调的运行进行了控制。该区域是医院的放疗楼候诊区,面积约270 m<sup>2</sup>。除了几个分诊护士位置固定外,人员流动十分频繁。控制系统以5 min为单位记录红外感知数据以及温度情况,并对风机盘管进行控制。控制策略为:若15 min内检测到控制区域无人则停机;温度低于设定值后停机。整个区域共有15个风机盘管,设置了10套检测和控制设备,即10个控制区域,其分布位置如图1所示。

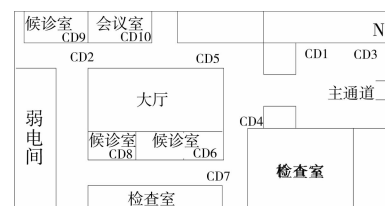


图1 放疗区结构及控制器安装分布示意图

该控制系统的组成如图2所示。主要由能量管

理服务器(Serve Device,以下简称 SD)、能量检测控制器(Control Device,以下简称 CD)以及末端能量检测传感器组成。系统工作时由 CD 控制各种末端传感器节点采集房间末端的温度和感知数据,根据检测温度和感知数据的变化控制风机的开关,传感器检测数据和开关动作通过 SD 上传至管理中心,由管理中心软件存入数据库并对各控制器的能量有效性进行分析。

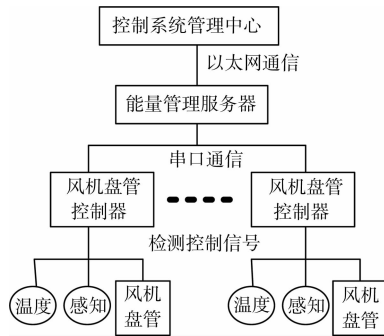


图 2 控制系统构架图

## 2 能量有效性分析

为使结论更有代表性,选取了上班时间段内的数据进行分析。测试时间为 7 月 18 日至 7 月 30 日,上午 7:30 到下午 17:30。由于建筑布局的缘故,其中 3 个控制器所处区域很少有人通过,因此只对其中 7 个有人流变化的控制器的数据进行讨论。

### 2.1 系统的工作数据

对选取的数据进行统计的结果见表 1。其中  $t_{(NH=0)}$  为感知信号为零的采样次数,即区域内无人状态。关机时间是指满足关机条件后关闭风机盘管的时间,比例是指 2 个时间段分别占总工作时间的百分比。由表 1 中可以看出:

1)平均无人的时间为 58.53%。即在工作时间

内,大约有 60%的时间是无人的。

2)控制器停机时间为 39.84%,按照当前简单的控制策略,可以使空调在约 40%的时间内不工作。

表 1 控制器控制数据统计

编号 No.	总时间 $t_{total}$	无人时间 $t_{(NH=0)}$	比例 /%	关机时间 $t_{close}$	比例 /%
CD1	638	4	0.63	0	0.00
CD2	1 764	469	26.59	203	11.51
CD5	1 738	1 215	69.91	748	43.04
CD6	1 767	962	54.44	608	34.41
CD7	1 734	868	50.06	481	27.74
CD8	1 836	1 582	86.17	1 290	70.26
CD9	1 743	1 467	84.17	1 140	65.40
总计	11 220	6 567	58.53	4 470	39.84

由上面的数据可以看出,不同控制器检测到的人流量和控制输出变化很大。这表明在一个较大空间,人流量和密度变化很大,且局域环境也不相同,因此可以对局域分别进行节能控制,通过提高局域能效,达到提高整体能效的目的。

从上述分析可以看出,医院候诊区仅关机时间就约占总工作时间的 40%,说明至少可以减少 40%的能耗输出。由于要检测到无人 15 min 后才关机,且没有考虑设定温度的影响,因此 40%并不能完全反应出能量浪费的情况,也不能说明能量的有效性是 60%。

### 2.2 能量有效性分析

风机盘管通常有 3 个风扇运行档位,其功率变化不大,再考虑到公共区域每天人为换挡的档位的几率不高,为便于分析问题,下文假定风机盘管的风机工作在同一个档位,风机功率不变。

7 个控制器返回的数据中,CD5 的关机时间处于中间状态,因此先选取 CD5 控制器的工作数据,讨论 CD5 对应风机盘管能量输出的有效性。

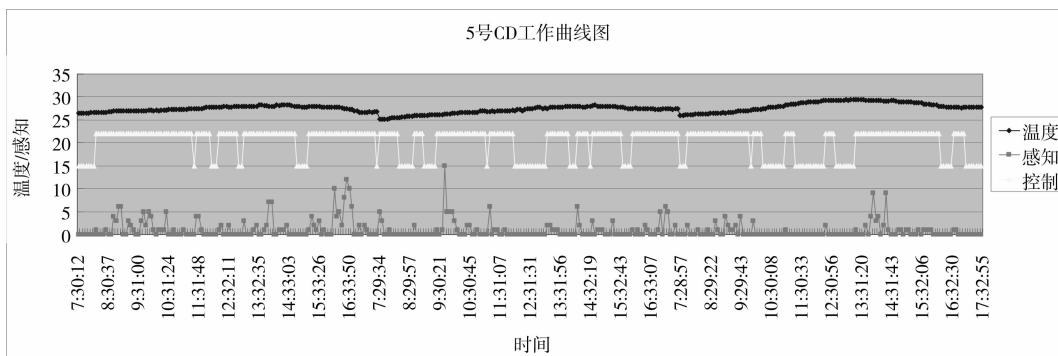


图 3 CD5 控制器工作曲线

为了便于在图中显示的更为清晰,风机盘管的开关机状态用高低电平表示,图 3 中控制曲线为低

电,表示风机盘管关机。由于控制区域为公共区域,可以不考虑  $E_D$  的浪费。由图 3 可以看出,能量的浪

费主要表现在无人开机和温度设定过低上。取  $\mu$  为 10%,由数据我们可以看到由于温度绝大多少时间都在 26°C 以上,低温设定浪费的很少,若把无人时所有输出的能量都认为是无效的,其能量利用效率为:

$$\begin{aligned} \eta_E &= \frac{E_1 - E_w}{E_1} \times 100\% = \frac{E_1 - E_H - E_T}{E_1} \times 100\% = \\ &\left(1 - \frac{E_H + E_T}{E_1}\right) \times 100\% = \\ &\left[1 - \frac{\int_{t_{H=0}} P_t dt + \int_{T < 26} P_t (1 - 0.9^{26-T}) dt}{\int_t P_T dt}\right] \times 100\% = \\ &\left[1 - \frac{P_t t_{H=0} + \sum_{T < 26} P_t (1 - 0.9^{26-T})}{P_t t}\right] \times 100\% = \\ &\left(1 - \frac{1\ 215 + 4.25}{1\ 738}\right) \times 100\% = 29.8\% \quad (7) \end{aligned}$$

通过实施停机控制之后的能量利用效率为:

$$\begin{aligned} \eta_E &= \frac{E_1 - E_w}{E_1} \times 100\% = \frac{E_1 - E_H - E_T}{E_1} \times 100\% = \\ &\left(1 - \frac{E_H + E_T}{E_1}\right) \times 100\% = \\ &\left[1 - \frac{\int_{t_{H=0}} P_t dt + \int_{T < 26} P_t (1 - 0.9^{26-T}) dt}{\int_t P_T dt}\right] \times 100\% = \\ &\left[1 - \frac{P_t t_{H=0} + \sum_{T < 26} P_t (1 - 0.9^{26-T})}{P_t t}\right] \times 100\% = \\ &\left(1 - \frac{467 + 2.8}{990}\right) \times 100\% = 52.5\% \quad (8) \end{aligned}$$

通过理论计算出的能量利用效率只是反应了建筑物公共区域的节能潜力,并不是真正的节能效果,就本文讨论的控制方式看,实际节能比例可简单用关机节约的效率  $P_t t_{close}$  与无控制系统时的能耗  $P_t t_{total}$  之比来表示。即:

$$r_e = \frac{P_t t_{close}}{P_t t_{total}} \times 100\% \quad (9)$$

就 CD5 而言,实际的节能比例为:

$$r_e = \frac{P_T t_{close}}{P_T t_{total}} \times 100\% = \frac{748}{1\ 738} \times 100\% = 43\% \quad (10)$$

再对控制器 2 进行同样的计算,其能量利用效率为:

$$\begin{aligned} \eta_E &= \frac{E_1 - E_w}{E_1} \times 100\% = \left(1 - \frac{E_H + E_T}{E_1}\right) \times 100\% = \\ &\left[1 - \frac{P_t t_{H=0} + \sum_{T < 26} P_t (1 - 0.9^{26-T})}{P_t t}\right] \times 100\% = \end{aligned}$$

$$\left(1 - \frac{469 + 5.1}{1\ 764}\right) \times 100\% = 73.1\% \quad (11)$$

通过实施停机控制之后的能量利用效率为:

$$\begin{aligned} \eta_E &= \left(1 - \frac{E_H + E_T}{E_1}\right) \times 100\% = \\ &\left(1 - \frac{266 + 5}{1\ 561}\right) \times 100\% = \\ &82.6\% \quad (12) \end{aligned}$$

实际节能的比例为:

$$r_e = \frac{P_T t_{dose}}{P_T t_{total}} \times 100\% = \frac{203}{1\ 764} \times 100\% = 11.5\% \quad (13)$$

通过对上述 2 个控制器数据的分析,可以看出当把入流量作为控制能量输出的参数时,能量输出随入流量的增加而增加,能量利用效率也随之增加。基本体现了“按需供能”特点,完全按人需要输出的能量就是建筑物的基准能耗。

对系统整体分析后,可以得到此候诊区平均能量利用效率仅为 41.5%,实施停机控制之后的平均能量利用效率为 68.9%,提高了近 30%。

### 2.3 提高能量利用效率的措施

实施的控制策略非常简单,但即使在检测到无人后 15 min 简单关闭风机盘管的条件下,还能得到 40%左右的节能效果。一方面表明大型公共建筑公共区域能量浪费严重,另一方面也说明通过优化控制策略还能获得更好的节能效果。既然能量利用效率能够反应能量的有效性,因此以提高能量利用效率为优化目标的控制策略就可以进一步减少建筑物能耗。

通过对运行数据分析发现许多情况下感知数值都比较低,如图 4 所示。就停机时间比较短的 CD7 14 d 感知数据统计,感知次数在 2(含 2 次)的情况占 85.14%,也就是说绝大多数情况下,人们只是经过控制区域,而没有驻留。若利用感知对时间的变化率代替感知数值,则可以区分出人是经过还驻留某个区域,对于只是经过的情况就可以再减少部分能量输出,所以通过优化开机的感知条件,还可以增加停机时间,提高能量利用效率,进一步降低能耗。

另外,由于目前的控制策略是在控制区域内持续检测到 15 min 无人时才停机,虽然这样可以更大限度保证了环境舒适度,但是能量浪费同样也非常大,且在很多检测到有人的时段,感知的数值也很小,所以减少开机设定时间,增加停机时间,优化停机的设定条件也可以提高能量利用效率,进一步降低建筑物能耗。

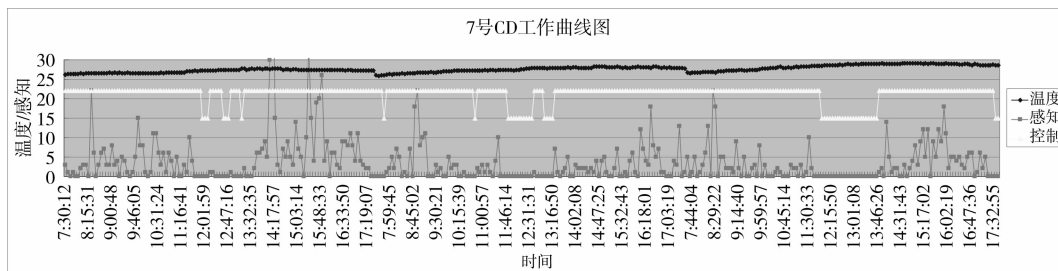


图 4 CD7 感知数据与控制输出

### 3 结 语

建筑物特别是公共大型建筑物能耗偏高其中一个很重要的原因就是建筑物中能量浪费严重,传统的判断能量是否被有效利用的标准主要通过温度高低来确定。但是能量是为人服务的,因此判断能量是否有效应该从人是否利用的角度去讨论。给出了一种判断建筑物能量有效性的标准和计算方法,并在具有典型意义的建筑物公共区域进行工程验证,通过数据分析可以得出以下结论。

1) 提出的能量利用效率能够反应建筑物中能量浪费的状况。

2) 根据能量有效性的判断依据,对能量输出进行控制,在未明显降低舒适度的前提下,可显著提高公共区域的能量利用效率,降低能耗。

3) 主要提出了能量有效性的评价标准,并没有过多研究节能控制策略,所以实际工程实验主要是为了验证能量利用效率的正确性。虽然工程实验是在医院候诊区进行的,但对于其它公共建筑的公共区域节能也有很好的参考价值。

4) 能量利用效率并未过多考虑人对环境舒适度的感受,因此还需要进一步研究环境舒适度对能量利用效率的影响。

#### 参考文献:

- [1] [http://finance \[EB/OL\]. sina. com. cn/china/dfjj/04484359789. shtml.](http://finance.sina.com.cn/china/dfjj/04484359789.shtml)
- [2] [http://xmecc \[EB/OL\]. smexm. gov. cn/2008-1/20081394155. htm](http://xmecc.smexm.gov.cn/2008-1/20081394155.htm)
- [3] [http://www. qsjournal. com. cn \[EB/OL\]/qs/20081001/GB/qs488-07. htm](http://www.qsjournal.com.cn [EB/OL]/qs/20081001/GB/qs488-07. htm)
- [4] 中华人民共和国统计局. 2007 年中国统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2007
- [5] 谭志宣. 饭店节能技术及应用实例[M]. 北京:化学工业出版社环境能源出版中心,2006.
- [6] 蔡文剑,贾磊,王雷,等. 建筑节能技术与工程基础[M]. 北京:机械工业出版社,2008.

- [7] American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers, Inc. ASHRAE Standard (1999): Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings[S]. <http://www.ashrae.org>
- [8] 黄翔. 空调工程[M]. 北京:机械工业出版社,2006
- [9] ZHAO JING, ZHU NENG, WU YONG. Technology line and case analysis of heat metering and energy efficiency retrofit of existing residential buildings in Northern heating areas of China[J]. Energy Policy, 2009,37(6):2106-2112.
- [10] LEE WEN-SHING, LEE KUEI-PENG. Benchmarking the performance of building energy management using data envelopment analysis [J]. Applied Thermal Engineering, 2009,29(16):3269-3273.
- [11] WEI ZHEN-TAO, ZMEUREANU. Radu exergy analysis of variable air volume systems for an office building[J]. Energy Conversion and Management, 2009,50(2):387-392.
- [12] ANASTASELOS DIMITRIS1, GIAMA EFROSINI1. Papadopoulos Agis M An assessment tool for the energy, economic and environmental evaluation of thermal insulation solutions [J]. Energy and Buildings, 2009,41(11):1165-1171.
- [13] FUMO N, MAGO P J, CHAMRA L M. Cooling heating, and power energy performance for system feasibility Proceedings of the institution of mechanical engineers, part A[J]: Journal of Power and Energy, 2008,222(4):347-354.
- [14] JUDKOFF RON. Increasing building energy efficiency through advances in materials [J]. MRS Bulletin, 2008,33(4):449-454.
- [15] XIAO TONG, DU XIAO-MEI, QI CUN-DONG. Determination of effective energy in buildings[C]// IEEE ICAL2009 August 5-7, 2009 Shenyang, IEEE Catalog :CFP09CAL:56-61

(编辑 胡 玲)