



# 医院用能与节能

华东建筑设计研究院有限公司 胡仰耆<sup>☆</sup> 杨国荣

**摘要** 分析了上海地区 11 家医院的用能状况,详细论述了从建筑设计、空调系统设计、系统运行与维护及系统能量管理等角度开展节能工作的必要性和可行性。

**关键词** 医院用能 节能 空调

## Energy usage and saving in hospitals

By Hu Yangqi<sup>★</sup> and Yang Guorong

**Abstract** Analyses the energy usage of 11 hospitals in shanghai. Discusses in detail the necessity and possibility of energy saving in view of architecture design, air conditioning system design, operation and maintenance, as well as energy management.

**Keywords** hospital energy usage, energy saving, air conditioning

★ East China Architectural Design and Research Institute Co., Ltd., Shanghai, China

①

### 0 引言

医疗卫生设施是公共建筑中一个重要而特殊的领域,它承担着保障广大民众健康的重任。改革开放 30 多年来是我国卫生保健事业发展最快的时期,各地新建、改建了大量、各种级别的医疗卫生设施,一些三级甲等医院配置了许多先进诊疗设备,建立了完备的检验、分析、诊断用实验室。它们中许多规模较大,所使用设备对环境要求较高,空调通风系统的用能也越来越大,成为典型的高能耗建筑。笔者以上海部分三级甲等医院近年来空调用能情况为基础,结合自己的设计经验,进行综合性医院的用能分析,并探讨其节能潜力。

### 1 医院用能分析

目前,三级甲等综合性医院的设施较先进,一般都设置了完善的空调与通风系统,为医务人员、病人就诊提供了良好的室内环境。医院建筑与商业建筑、办公建筑等其他类型的公共建筑相比,由于其功能的特殊性,单位面积的能耗较大。表 1 给出了上海地区 11 家三级甲等医院建筑的用电状况分项统计数据,表 2 给出了 2002—2007 年这 11 家医院单位面积年均能耗数据统计值<sup>①</sup>。

表 1 表明,在这些三级甲等医院的各项能耗比

表 1 上海地区 11 家医院用电状况分项统计 %

| 医院名称           | 电梯   | 照明   | 医疗办公 | 空调系统 | 冷热源  | 其他  |
|----------------|------|------|------|------|------|-----|
| 瑞金医院           | 12.9 | 13.2 | 12.0 | 40.2 | 17.4 | 4.3 |
| 第一人民医院<br>松江分院 | 13.4 | 16.3 | 13.5 | 24.0 | 27.8 | 5.0 |
| 第六人民医院         | 9.2  | 17.5 | 12.2 | 38.6 | 14.6 | 7.9 |
| 曙光医院           | 10.8 | 16.2 | 16.6 | 25.5 | 29.8 | 1.1 |
| 第九人民医院         | 10.2 | 15.6 | 12.0 | 32.2 | 23.1 | 6.9 |
| 肺科医院           | 8.5  | 15.5 | 13.0 | 40.5 | 18.0 | 4.5 |
| 上海市公共<br>卫生中心  | 3.1  | 20.2 | 6.2  | 30.4 | 31.4 | 8.7 |
| 华东医院           | 9.5  | 15.4 | 12.6 | 37.0 | 16.8 | 8.7 |
| 儿童医院           | 8.0  | 9.0  | 16.0 | 38.0 | 20.7 | 8.3 |
| 岳阳医院           | 11.0 | 13.2 | 14.1 | 28.3 | 25.3 | 8.1 |
| 龙华医院           | 5.5  | 17.1 | 9.7  | 30.0 | 34.5 | 3.2 |
| 平均值            | 9.3  | 15.4 | 12.5 | 33.1 | 23.6 | 6.1 |

表 2 2002—2007 年上海地区 11 家医院单位面积年均能耗

| 时间     | 建筑面积/<br>万 m <sup>2</sup> | 门急诊次数/<br>万人次 | 平均住院<br>时间/d | 耗能量/<br>(万 kWh/a) | 单位面积能耗/<br>(kWh/(m <sup>2</sup> ·a)) |
|--------|---------------------------|---------------|--------------|-------------------|--------------------------------------|
| 2002 年 | 57.18                     | 871.1         | 21.1         | 12 210            | 214                                  |
| 2003 年 | 60.75                     | 873.7         | 19.7         | 13 402            | 220                                  |
| 2004 年 | 60.78                     | 934.5         | 18.3         | 13 677            | 225                                  |
| 2005 年 | 82.56                     | 988.9         | 18.2         | 18 025            | 218                                  |
| 2006 年 | 90.01                     | 1 103.3       | 16.2         | 19 428            | 216                                  |
| 2007 年 | 104.45                    | 1 287.1       | 15.3         | 21 041            | 201                                  |

①☆ 胡仰耆,男,1941 年 6 月生,大学,教授级高级工程师,资深总工程师

200002 上海市江西中路 246 号 10 号楼

(021) 63217420-6005

E-mail: yangqi\_hu@ecadi.com

收稿日期:2008-12-04

修回日期:2009-03-02

① 上海申康医院发展中心,同济大学暖通空调研究所。上海市级公立医疗机构建设项目成本与分析,2008

例中,空调系统与冷热源部分的电耗(因能源主要为电,故可以认为是能耗)约占医院总电耗的 56.7%。据美国能源部的统计,美国医院总能耗中空调系统与冷热源部分所占能耗比例为 36%~48%。

表 2 表明这些医院的单位建筑面积年均能耗均超过 200 kWh/(m<sup>2</sup>·a)。而美国能源部统计美国医院单位建筑面积年均能耗约为 75 kWh/(m<sup>2</sup>·a),急诊护理区域的单位建筑面积年均能耗高达 1 040 kWh/(m<sup>2</sup>·a)<sup>[1]</sup>。

根据表 1、2 及美国资料,可以进行以下分析。

1) 医院中的空调能耗占总能耗的比例很大,有集中空调系统的我国三级甲等医院与美国医院相比,二者数值接近是合理的。

2) 以单位建筑面积计,上海这些医院的能耗约是美国医院的 3 倍。究其原因有:

① 美国统计值是全国平均值,而上海统计值是典型的高位值。

② 上海医院单位建筑面积就医人数肯定是美国的数倍。在上海该等级医院中,门诊高峰时段大厅内人员拥挤,专家门诊挂号队伍排成长龙。此外,就病房面积而言,按美国 AIA(美国建筑师学会)标准,除特殊情况外,应为单人病房,最小面积为 11.15 m<sup>2</sup>/床,也较中国大很多。我国病房内的人员包括病人、护工、探视者等,人员密度很大。

③ 我国集中空调系统的设备效率、自控程度、管理水平一般较美国低。

3) 存在以下两个因素会减小我国医院的用能量:

① 根据医院的特殊性,按美国设计标准,直接为病人服务的空调系统一般为全空气系统,设两级过滤,有一定的新风量和换气次数,故能耗较大,而我国医院设计现仍多数采用风机盘管加新风的系统,能耗相对较小。

② 即使是三级甲等医院,也许是认为空调只解决舒适性问题或片面强调节能,过渡季不少医院的空调、通风系统均关闭,其实是以牺牲病人与医务人员的健康为代价节约了能量。

然而,表 2 也表明上海这些医院的单位建筑面积年均能耗值从 2002 年的 214 kWh/(m<sup>2</sup>·a)下降到 2007 年的 201 kWh/(m<sup>2</sup>·a),减少了 6%。这说明在近 6 年时间内,医院建筑设计与运行管理

中的节能意识在提高,在建筑围护结构、空调通风系统、设备选型等方面采取了许多节能措施。但综观全局,不论是从我国未来医疗卫生设施建设的数量与规模来看,还是从某一个医院的具体情况来看,仍应高度重视这个高能耗行业的节能潜力。以下是笔者根据自己的设计经验,从建筑设计、暖通空调系统设计、系统运行和能量管理等方面提出的综合性医院设计中的一些节能思考。

## 2 建筑设计

医院节能与建筑设计有很大关系,合理的建筑设计是节能的基础。在目前一些医院设计中,建筑师往往将门厅设计得高大、气派,追求空间通透,像高级宾馆一样有多层共享空间,并采用大面积玻璃幕墙,甚至有玻璃屋顶。这样的门厅,夏季时即使设内遮阳,但仍然有很大的显热量进入室内,使空调能耗大大增加,而且较强的散射辐射与眩光也会造成病人的不舒适感;冬季时由于烟囱作用,加剧了高大空间的空气分层现象,造成上层过热,热损失增大,底层过冷。

此外,在医院的诊室、医技区域中有很多小房间,往往成为建筑物的内区,它延长了供冷需求时间,成为设计空调四管制的诱因。因此,如在建筑设计时能布置一个内院(天井),便可减少内区房间,获得自然采光和自然通风,是一种很好的节能措施。

医院建筑设计应以人为本,以满足功能为主,在优先利用自然光线的条件下不过多采用幕墙,少做玻璃屋顶,避免照射照度较大、时间较长的太阳辐射热量直接进入空调区域。建筑师还应与设备工程师紧密配合,合理布置设备专业需要的机房,使系统的输送能耗最小。

## 3 空调系统设计

### 3.1 冷热源配置

医院功能复杂,门诊、急诊、手术、医技、病房、后勤等各部门的使用时间与空调负荷特性并不相同。因此在配置冷热源时,除满足最大负荷外,还须注意最小负荷时冷水机组能正常运行和有较高的能量效率。在医院综合楼中,只有病房、急诊室和手术室有夜间负荷,最小冷负荷发生在过渡季夜间也许只有少数几间手术室使用时。为应对这种情况,在夏热冬冷地区常采用独立的空气源热泵机组作为急诊室、重症监护病房与手术室空调的冷热

源,必要时,也有仅为夜间几间手术室和急诊室配置含直接蒸发式盘管和电加热器的空调机组。所以,最大负荷、最小负荷、某一时段的特殊负荷均应考虑,才能灵活、高效地运行系统。

医院的热源有蒸汽和热水。蒸汽供消毒、炊事和生活热水用;热水供空调,有时也作为生活热水换热器的一次水用。对此,应注意炊事的时段性和生活热水的可储存性,而允许蒸汽间断与错时供应,使蒸汽设计用量减小。在仔细权衡蒸汽负荷与空调热水负荷后,空调系统热源应优先采用热水锅炉,因热水锅炉比蒸汽锅炉能效高、使用损耗小。

### 3.2 水侧“免费”供冷

大型综合性门诊、急诊大楼会有一些的内区,按高标准舒适要求,冬季需要供冷。在冬季寒冷、低湿地区,利用冷却塔与板式换热器获得的冷水作为冷源不失为很好的节能措施。当然,该系统夜间若停用,则应有冷却塔防冻措施。

### 3.3 水系统温差选择

空调系统如采用电动水冷冷水机组作为冷源,应加大系统的供、回水温差,以减少水泵的输送能耗。冷水供、回水温差从 5℃增大到 6℃或 7℃乃至 8℃,对于冷水机组与空调器是不存在问题的;对于风机盘管,由于它受到了风量、盘管排数、噪声、风侧与水侧的阻力、外形尺寸以及能耗等之间的相互制约,故常规产品在大温差、小流量时冷热量衰减很大,不能满足要求。为此,笔者与厂家共同研发了新产品,改进了水通路并配用无刷直流电动机。表 3 中的数据证明了它能满足大温差水系统的要求。

表 3 大温差风机盘管在进水温度约 6℃、水温差约 6,7,8℃时的性能参数

|           |          |          |          |          |          |          |
|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 进水温度/℃    | 5.95     | 6.02     | 5.95     | 6.00     | 6.02     | 6.00     |
| 出水温度/℃    | 12.90    | 12.10    | 11.50    | 13.90    | 13.02    | 12.38    |
| 风机转速挡     | 高档       | 中挡       | 低挡       | 高档       | 中挡       | 低挡       |
| 输入功率/W    | 29       | 19       | 13       | 29       | 19       | 13       |
| 风量/(m³/h) | 571.71   | 439.98   | 366.96   | 572.35   | 440.42   | 367.16   |
| 余静压/Pa    | 12       | 8        | 4        | 12       | 8        | 4        |
| 水量/(kg/h) | 520.87   | 517.86   | 517.87   | 419.89   | 419.89   | 419.89   |
| 水阻力/kPa   | 30.67    | 30.67    | 30.67    | 21.47    | 21.47    | 21.47    |
| 平均冷量/W    | 4 133.85 | 3 580.33 | 3 070.81 | 3 800.02 | 3 338.55 | 3 070.81 |
| A 声级噪声/dB | 36.8     | 31.8     | 29.2     |          |          |          |

事实上,目前有些设计人员在设计水冷冷水机组的水系统时,已不再采用常规的 5℃温差。

这种直流无刷电动机风机盘管的经济性应该是可以接受的。它的价格约比同规格常规风机盘管贵 400 元,对于医院的病房特别适用,因为病房空调是 24 h 运行,且风机盘管机组一般是在中速或低速运行,节能率在 50%以上。据估算,它的投资回收期约为 3 年。

### 3.4 配用部分负荷水泵

如前所述,医院综合楼在晚上仅有病房、急诊室,以及可能有少数手术室在使用,此时的负荷会少于满负荷的 50%,在多台冷水机组中往往只需运行一台。由于所需流量减小很多,管道阻力也小许多,故应另配适应于运行机组流量以及相应系统阻力的低扬程水泵。因这样的工况每天发生,所以配置低扬程泵可获得很好的节能效果。

### 3.5 风系统设计

#### 3.5.1 热回收技术

医院建筑空调通风系统应尽可能采用热回收技术,包括空气侧热回收与水侧热回收技术。

##### 1) 空气侧热回收

空气侧热回收系统的节能量取决于系统最小新风量和医院所处地域的气候状况。医院建筑空调系统可采用下列空气侧热回收技术。

① 乙二醇盘管循环系统:乙二醇溶液在新风侧盘管与排风侧盘管之间进行循环,将排风中的能量回收给新风。该系统显热回收效率可达 60%~80%,尤其适用于医院的病房,因为病房平面布置规则,排风与新风机组易临近设置,管路连接比较方便。

② 热管热回收装置:当排风管与新风管紧靠时,可采用热管热回收装置,它的显热回收效率可达 60%~80%,适用于新建工程,在改建工程中应用较困难。

③ 板式热回收装置:排风与新风在金属板片两侧流动,无交叉,显热回收效率可达 60%~80%,适用于排风管与新风管紧靠的场所,在改建医院建筑中较难实现。

④ 转轮式热回收装置:这种热回收装置可回收显热与潜热。在设计良好的情况下可回收总排风热量的 80%。对于医院,可将此装置用于无病人空间的空调系统,而不能用于排风与新风有交叉污染、危害病人的场合,尤其是对传染性隔离病房,

禁止采用这种热回收装置。

⑤ 空气源热泵型热回收机组:这种机组在供冷时可回收排风中的热量产生热水。当它作为独立的冷热源用于手术室时,在供冷同时提供的热水,可用于空调送风再热。再热是手术室温湿度控制的必要手段。

## 2) 水侧热回收

水侧热回收在医院中应用也有很大的潜力。回收电制冷冷水机组的冷凝热量来预热生活热水,对热水需求量大的医院特别有意义。这样的系统在技术层面上没有问题,也已经有不少工程实例,目前的障碍是业主不重视和设计院内暖通与给排水专业之间的不协调,缺乏追求技术进步的积极性。

## 3.5.2 采用二次回风

在医院的 I, II 级手术室中,净化要求的换气次数很大,空调器在满足湿负荷处理要求的同时,热负荷处理必定过量。因此,利用二次回风为冷却后的空气再热(还有电加热作精调),是手术室空调的重要节能措施。

## 3.5.3 采用变新风比

像许多建筑的空调系统一样,医院空调系统除了应具有在过渡季节加大新风比运行的能力外,另一方面,根据医院业务的特点,还应注意在空调季节也有减小新风量的可能性。如门诊挂号、付费、取药用的门厅,诊室,候诊区以及急诊的输液室等区域,病人人数随时间变化具有规律性。每天上午门诊开诊前后是人员高峰时段,在中午前后及傍晚停诊前人员较少;急诊输液室在深夜病人更少。基于室内人数随时段变化的规律,设计可相应地采取新风量时间程序控制。当然,具体减小量难以计算,但按设计新风量的某一百分比减小应是合理的。

## 3.5.4 应用变风量系统

为了控制感染,医院中有许多空间应采用全空气系统。按美国规范,当房间不使用时,允许将系统总循环风量与新风量减小到允许最小值,只需保持房间的定向气流,且在房间启用时能重新建立满风量运行状态即可。美国 AIA 与 ASHRAE 允许系统总循环风量与新风量可减小到有人使用时风量的 25%。因此,像手术部完全可按此要求运行,以降低系统的运行能耗。

## 3.5.5 采用变频调速技术

医院空调系统部分负荷运行的时间比办公建筑等更长,具有广泛采用变频调速技术来降低冷热源产出设备(如冷水机组)与输配设备(循环水泵与风机)的运行能耗的潜力。像洗衣房、中心供应等工艺房间,使用与非使用时段的空调负荷相差很大,若设计时能仔细了解工艺和管理设想,配置风机变频装置,才有可能实现节能运行。

## 4 系统运行与维护

据有关资料,医院建筑的造价一般只占建筑物寿命周期内总费用的 11% 左右,而运行费用则占 50% 以上。因此,良好的系统维护可延长空调系统的使用寿命,减少设备更换开支,保持较高的系统运行效率。医院建筑可通过应急维修、定期维修、预兆性维修和主动维修等方式实现空调系统的节能、高效、可靠运行。有条件时采用计算机监控的维修系统,可对整个空调系统的设备维修、保养进行有效控制。

## 5 系统能量管理

目前,我国一些高等级医院采用楼宇管理系统(BMS)对整个空调系统进行监测与控制,保障了室内环境的舒适性。但楼宇管理系统一般只对系统进行控制,不能对整个空调系统的用能进行优化管理。因此,医院建筑应在楼宇管理系统的基础上,建立起智能化的用能管理平台与能量管理系统。智能化能量管理系统可利用设置在各楼层、各系统和各主要设备处的能量检测传感器检测用能信息,根据室外气候条件和室内人员的变化,在不影响室内环境舒适性的前提下,优化每个系统、每台设备的运行,使整个医院建筑的空调系统能经济、可靠、安全地运行。

## 6 结语

医院是用能量较大的建筑。医院空调用能约占整个医院用能的一半,因此具有很大的节能潜力。医院建筑的节能工作必须通过投资者、设计师、施工安装者、系统运行维护人员的通力合作才能完成,节能工作必须从建筑设计、空调系统设计、系统运行和能量管理各方面展开,才能有效地实现降低医院能耗的目标。

## 参考文献:

- [1] ASHRAE. HVAC design manual for hospitals and clinics[M]. ASHRAE, 2003