

# 医院空调采用冰蓄冷与湿度优先控制组合技术的适用性分析

同济大学 俞卫刚<sup>☆</sup> 沈晋明

**摘要** 这种组合技术可利用冰蓄冷系统提供的低温冷水解决湿度优先控制空调的关键新风处理问题,不仅缓解了电力负荷不均衡的压力,还为医院提供了无菌保障环境。简要分析了这种系统在医院中应用的可行性。

**关键词** 冰蓄冷 湿度优先控制 医院空调

## Analysis of application of combined ice storage and humidity prior control system to hospital air conditioning systems

By Yu Weigang<sup>★</sup> and Shen Jinming

**Abstract** This combined technology allows using low-temperature water from ice storage to help fresh air treatment in humidity prior control systems, so that levelling the electric power load profile and providing asepsis safeguard for the hospital. Briefly discusses its practicability in hospital air conditioning system.

**Keywords** ice storage, humidity prior control, hospital air conditioning

★ Tongji University, Shanghai, China

①

### 1 蓄冷技术

目前我国一些三甲医院的规模很大,用电量巨大,医院已成为当地的用电大户。由于医院白天各功能区均运行,冷负荷很大;夜间仅急诊、病房等少数科室使用,冷负荷较小,因此医院的负荷峰谷差特点有利于采用冰蓄冷技术。例如上海第二医科大学附属上海儿童医学中心采用冰蓄冷技术<sup>[1]</sup>,主机三用一备,在负荷低谷时,1 台主机供冷,2 台主机蓄冰;白天高峰时,3 台主机+融冰供冷;过渡季节融冰单独供冷。广西人民医院采用冰蓄冷空调系统<sup>[2]</sup>,该系统采用基载主机加冰蓄冷,在医院空调低负荷时,采用双工况主机制冰+基载主机供冷模式;在高负荷时,采用主机和蓄冰装置联合供冷模式;在过渡季节,采用融冰单独供冷模式。冰蓄冷技术与传统制冷技术相比,具有削峰填谷,利用峰谷电力差价降低空调系统运行费用,空调系统装机容量(包括制冷主机、水泵等)减小,可实现大温差、低温送风等优点。如与冰蓄冷相结合的低温送风空调系统,就能够充分利用冰蓄冷系统所产生的低温冷水,降低机器露点温度,除湿能力更强,解决

了新风预处理系统的关键问题。过去只能用于微生物严格控制场所的无凝水空调,现在可将湿度优先控制理念推广到医院其他科室,有利于微生物控制,从而改善室内空气质量。

### 2 医院空调的特点

医院是一个医疗场所,必须满足医疗功能的卫生要求;又是多种病原体携带者与易感人群高度集合的一个特殊场所,必须满足控制院内感染与交叉感染的安全要求;还需满足不同疾病患者的舒适性要求。因此医院通风空调必须实现合适的温度、湿度、清洁度和无菌度,以提供所需的卫生、安全、舒适的空气环境。其中如何控制医院不同医疗场所合适的温湿度与微生物浓度是有别于普通空调的最大差异。这对控制院内感染、保证医疗顺利实施有特殊意义。

①<sup>☆</sup> 俞卫刚,男,1975 年 10 月生,在读博士研究生  
215006 苏州大学物理科学与技术学院  
(0512) 65112605  
E-mail: yu\_wg@126.com  
收稿日期:2006-12-31  
修回日期:2007-06-11

医院微生物控制是关键,空调系统的凝结水处理不当引起的水患,是微生物滋生和传播的最大隐患。不合适的空调引起室内高湿度是导致微生物污染的主要因素,因此可将微生物控制归结为湿度控制。笔者提出了新风集中处理<sup>[3]</sup>、无凝水空调<sup>[4]</sup>、湿度优先控制<sup>[5]</sup>、避免空调系统二次污染<sup>[6]</sup>等理念,这些理念已成功在隔离病房<sup>[4]</sup>、洁净手术室实施<sup>[5]</sup>,取得了不错的效果。

### 3 医院适宜的空调系统

我国医院建筑中,大多采用风机盘管的水系统或者多联机系统。即使采用全空气空调系统,一般科室在实际运行中只控制温度,很容易引起相对湿度超标造成微生物在空调房间或空调系统内大量繁殖,成为新的污染源<sup>[6]</sup>。为了运行节能,空调系统大多采用一次回风或者二次回风方式,各室回风通过风管混合、处理后,再送入室内,极易造成污染的横向扩散,引起交叉感染。SARS 期间这一问题非常突出,所以这种全空气空调的安全性引起我们的反思。

在 SARS 期间笔者参考 DOAS (dedicated outdoor air system)<sup>[7-9]</sup>并结合我国实际情况,将风机盘管机组作为无凝水末端。空调机组内出现凝水有四种可能:雨天新风带水、除湿冷却过程、加湿过程和机组冷内表面遇到热空气(如关机时机外空气渗透)。对于整个空调系统来说只要室内外存在湿负荷,就存在除湿或加湿工况。所谓机组干盘管工况只是等湿降温的过程。由于新风中很少出现致病菌,只有让新风承担全部湿负荷,才有可能保证空调末端机组只承担热负荷,全年处于湿度优先控制状态。其实对于一般科室只要做到绝大部分时间内处于无凝水状态即可,这可大大降低控制要求。风机盘管机组相对于辐射冷吊顶来说偶尔出现凝水也容易处理。

在常规空调的处理过程中,除湿和降温通常耦合在一起。为了除湿,一般制取 7℃/12℃冷水。除湿是空调的主要任务之一,除湿消耗的冷量占空调总冷量的 30%~50%,因此在空调能耗中比例也很大。有时为了精确温湿度控制,还要对除湿后的空气进行再加热,造成了冷热量的抵消。如果单纯为了降温,12~15℃的冷水也可以满足要求。另外,由于常规系统的除湿和降温是由同一个处理过程实现的,所以才有了热湿比的

概念。在湿度优先控制空调系统中,除湿和降温是两个控制过程,湿负荷全部由新风承担,室内末端则负责室内温度的调控。在地下水丰富的地方,也可直接选用地下水作为室内末端的供水,节能效果将非常显著。但是在现有的工程实例中,由于工程设计人员没有充分了解医院空调的特点,利用冰蓄冷技术,采用超冷风送风技术的 VAV 末端再热系统,实现温度与湿度的精确控制;或者采用板式换热器,将其转化成 7℃/12℃冷水,变为类似于普通的空调系统,从而丧失了冰蓄冷的高品位冷量的优势。

### 4 新风处理系统所需的冷水处理温度

由新风独立承担湿负荷的空调系统,其湿负荷按下式计算:

$$\Delta w = \frac{(d_n - d_w)G_w \times 1.2}{1\,000} \quad (1)$$

式中  $\Delta w$  为湿负荷,kg/h; $d_n$  为室内空气的含湿量,g/kg; $d_w$  为新风机露点的含湿量,g/kg; $G_w$  为新风量,m<sup>3</sup>/h;1.2 为空气密度,kg/m<sup>3</sup>。

从式(1)可以看出,当新风量增大时,新风的机器露点含湿量  $d_w$  增大,处理露点温度升高,但增加新风量,增大了新风负荷;当新风量减小时,新风的露点含湿量必须减小,露点温度降低,要求冷水温度也降低;冷水温度降低,则会导致制冷机效率下降。如采用冰蓄冷技术,则可十分方便地提供低温冷水,为实现最小新风量优先、达到整个系统的最佳能耗创造了条件。

在医院大多数科室中,空调湿负荷主要来源于人体。空调系统的新风量根据达到室内卫生要求来计算,由于新风能耗较大,所以一般系统都采用最小新风量,则系统新风需要处理到的露点含湿量可以这样参照计算。由于湿负荷和新风量都是根据室内人员来确定的(一般科室),因此都可按单个人进行计算。在医院空调中,夏季室内温度一般都要求控制在 26℃以下,相对湿度为 40%~65%。故取室内设计参数:温度 25℃,相对湿度 60%,比焓 55.9 kJ/kg,含湿量 12.0 g/kg,露点温度 16.6℃;室外参数以上海为例,气象参数为:干球温度 34℃,湿球温度 28.2℃,比焓 90.8 kJ/kg,含湿量 22.1 g/kg;室内湿负荷:按轻劳动强度,散湿量为 110 g/h;室内新风量:室内人员取 30 m<sup>3</sup>/h。根据式(1)可得露点含湿量为 7.6 g/kg,按实际处理终

状态 95% 相对湿度时的露点温度为 11℃ 左右。该终状态点供水温度对蓄冰系统低温水很容易实现,但对于一般冷水机组则需降低出水温度,从而降低机组 COP,这是不合理的。

由上面的分析可知,如果由根据人的卫生要求确定的新风量来承担人的湿负荷,需要的冷水平均温度为 4.5℃,而常规空调系统的冷水供回水温度为 7℃/12℃,这就需要调低制冷机的出水温度,从而导致制冷效率下降。冰蓄冷系统的融冰水温为 1~4℃,低于上面所需的冷水温度,故在不增加新风量的前提下,不但能满足新风除去全部湿负荷的要求,并能进一步降低室内含湿量。因此冰蓄冷技术和湿度优先控制末端系统组合在医院中的运用,有明显的经济性,并能满足医院空调的特殊要求。

## 5 能耗分析与优势

湿度优先控制空调系统特别适宜在医院无菌环境中应用,但普遍认为不宜在一般科室推广,但是,当冰蓄冷作为湿度优先控制空调系统的冷源时,就具有很多节能之处,例如:

- 1) 具有冰蓄冷系统所具有的一切优势。
- 2) 高效率地利用新风,控制最小新风量。

3) 室内末端的冷水温度高。由于室内末端需要干工况运行,冷水温度可以取 12~15℃。根据制冷机性能可知,冷水机组出水温度每降低 1℃,在制冷量基本不变的情况下,耗电量平均减少 3.5% 左右,因此,如果采用 12℃ 以上的冷水,冷水机组的效率大约会提高 17% 左右。

另外,由于新风机组采用大温差低温送风,室内剩余显热可采用无风道的自循环空调末端,因此集中送风的空调机组容量减少,风道系统大幅度减小,湿度优先控制空调系统的空调机房面积、吊顶净空、风道系统所占据的空间、管道竖井面积明显小于常规空调系统。这样可大大节省建筑的一次投资,同时,天花板高度的提升,管道空间的缩小,都给建筑师的创意提供了更丰富的空间。

国外医院出于微生物控制要求不容许空调水管进入医疗科室,常采用变风量全空气空调系统。但设计师很难确定室内每一个工作区是否能够获得标准规定的新风量。在全空气系统中,室外空气被引入,在空调机组内与回风混合,然后再送入室

内,新风在室内分布也受到多方面因素的影响。系统中新风量分配不均的问题普遍存在,成为影响室内空气质量的重要原因。常用的解决方法是加大新风量,以弥补分配上的不均,从而造成新风耗能增大。湿度优先控制系统由于新风没有和回风混合,是专用新风系统,因此,可非常容易地将新风按照设计要求进行分配,从而以最小的代价取得最好的室内空气质量。

所谓湿度优先控制是指集中处理的新风首先从系统层面带走室内全部的湿负荷,然后再靠循环机组消除剩余的显热负荷,而不是自控层面上的含义。湿度优先控制末端系统的水系统包括两部分,一是新风机组的冷水,满足除湿要求,盘管采用低温冷水;二是室内干盘管的冷水,室内盘管部分则需要高温水,一般在 12℃ 以上。对于这种水温供水,将蓄冰系统的基载主机出水温度设到 12℃ 即可。如果医院规模较大,可采用两套冷源,彼此独立,一套系统专供新风除湿用,一套专供湿度优先控制空调末端用,无论是在运行管理上,还是在控制要求上,都比单一冷源方案简单、可靠。

## 6 结语

近年来我国医院进行了大规模的建设,普遍增设了空调设施。医院改造与建设使得重点科室(手术室、隔离病房、无菌病房)的感染率大幅度下降,但是一般科室(如普通病房、诊疗室、门诊、急诊)还是出现了为数不少的院内感染与交叉感染的案例。

由于湿度优先控制空调的末端避免了空调末端的各种凝水,消除了微生物滋生和传播的隐患,能有效地避免室内空气被“二次污染”的可能,避免各科室的空气混合,有效防止各种病原的横向传播,所以特别适用于医院环境控制。

医院采用冰蓄冷空调系统,除了可削峰填谷,利用峰谷电力差价,降低空调系统运行费用外,还可以利用低温冷水实现大温差,降低了新风预处理系统的机器露点,解决了湿度优先控制空调的关键问题。过去无凝水空调只能用于微生物严格控制的重点科室,现在湿度优先控制方法可以推广到一般科室,由于从系统层面优先带走湿负荷,保证末端不承担湿负荷,不必刻意实时控制末端水温,即使末端偶尔出现凝水也不会影响一般科室感染的控制,大大简化了水系统的控制<sup>[5]</sup>,湿度优先控制

成为医院的一种适宜技术。这项技术值得进一步的探讨和研究。

#### 参考文献:

- [1] 宋静. 上海儿童医学中心冰蓄冷工程实例[J]. 制冷技术, 2003(3): 42-45
- [2] 梁增勇. 冰蓄冷空调系统在广西人民医院中的应用[J]. 暖通空调, 2006, 36(9): 81-83
- [3] Shen Jinming. Controlled clean operating room area [G]// ASHRAE Trans, 2004, 110(2): 776-780
- [4] 沈晋明. 多用途隔离病房和无凝水空调技术[J]. 建筑热能通风空调, 2005, 24(3): 22-26
- [5] 沈晋明, 聂一新. 洁净手术室控制新技术: “湿度优先控制”[J]. 洁净与空调技术, 2007(3): 17-20
- [6] 沈晋明, 许钟麟. 空调系统的二次污染与细菌控制

[J]. 暖通空调, 2002, 32(5): 30-33

- [7] Stanley A M. Preconditioning dedicated OA for improved IAQ—part 1 [J]. ASHRAE IAQ Applications, 2001, 2(2): 15-16
- [8] Stanley A M. Overview of integrating dedicated outdoor air systems with parallel terminal systems [G]// ASHRAE Trans, 2001, 107(1): 545-552
- [9] Stanley A M. Field experience controlling a dedicated outdoor air system [G]// ASHRAE Trans, 2005, 111(2): 433-442
- [10] 沈晋明, 聂一新. 改善室内空气质量的下一个目标 [J]. 暖通空调, 2007, 37(7): 34-39, 60
- [11] 李震, 江亿, 刘晓华, 等. 从建筑物内除湿过程的能效分析[J]. 暖通空调, 2005, 35(1): 90-96

• 会讯 •

## 2007 年西南地区暖通空调及热能动力学术年会召开

2007 年西南地区暖通空调及热能动力学术年会于 10 月 10 日在四川成都召开。此次会议由云南、贵州、西藏、重庆和四川的暖通空调及热能动力学术组织主办, 中国建筑西南设计研究院、西南交通大学机械学院协办。来自西南各地的 30 多个设计、监理、科研单位, 大专院校的专业人员及 10 多个专业厂商的代表共 150 余人参加了会议。四川省土木建筑学会、四川省制冷学会和中国建筑西南设计研究院的领导出席了年会并致词祝贺会议的召开。

本次年会的主题是“节能与发展”。会议针对各地的节能地方标准编制、可再生能源应用、大型公共建筑能耗调查、热舒适性研究、室内污染物浓度分布等议题进行了 19 个大会发言, 还组织了“建筑节能”、“暖通空调系统模拟计算”、“暖通空调工程设计”等 3 个小型的学术交流会, 参会代表对共同关心的问题各抒己见, 展开讨论, 互相学习, 交

流工作中所取得的成果。

会议共收到文稿 80 余篇。经专家评审通过的论文由《制冷与空调》杂志(中国科技核心期刊)出版了论文集。本次会议的特点是学术气氛浓厚, 探讨的专题内容广泛而深入。不仅高校、设计单位的发言、论文有较高的学术水平, 专业厂商的发言也摆脱了广告宣传的模式, 从设备制造、系统设置及控制、设备和系统运行节能等方面反映了自己的研究成果, 引起与会代表的广泛关注和浓厚兴趣。

会议决定下一届学术年会在春城——昆明召开, 并确定了下届大会的重要议题——“温和地区的建筑节能”、“建筑节能运行管理的主要对策”、“符合节能减排政策的新能源应用”等。

(本刊特约通讯员 戎向阳)

## 2007 全国建筑环境与建筑节能学术会议召开

此次会议于 10 月 25~26 日在成都举行, 由中国建筑学会建筑物理分会主办, 西南交通大学建筑学院和中国建筑西南设计院承办。

会议从建筑热环境、自然通风与空气质量, 建筑热工研究与应用, 绿色建筑设计与评估, 可再生能源利用, 节能材料与设备等 5 个方面对最新的研究进展进行了总结和交流, 同期还举办了“建筑环境与建筑节能学科发展与工程实践高层论坛”。

会议特别邀请吴硕贤院士到会并发言。会议期间, 秦佑国教授作了题为《绿色建筑中有关热环境的一些问题之

我见》的报告, 林海燕研究员作了题为《关于现行〈民用建筑热工设计规范〉的一点思考》的报告, 刘加平教授作了题为《长江上游生土民居再生研究及实践》的报告, 冯雅总工程师作了题为《青藏高原采暖与节能设计的若干问题》的报告, 孟庆林教授作了题为《亚热带地区城市热环境评价》的报告, 董靓教授作了题为《网络协作环境下的绿色建筑设计》的报告。

会议取得了良好的交流效果, 得到了与会人员的高度认可。

(董 宏)