

文章编号: 1671-6612 (2023) 05-694-05

# 新风热回收梯级处理的洁净空调系统节能分析

陈益武

(江苏建筑职业技术学院 徐州 221116)

**【摘要】** 以夏热冬冷地区某三甲综合医院为例, 对比一次回风洁净空调系统和新风热回收梯级处理洁净空调系统的空气处理过程计算, 分析系统节能及空调季的运行经济性, 确定新风热回收梯级处理热湿变化过程的洁净空调系统, 既能满足功能需求, 又能实现系统节能。

**【关键词】** 洁净空调系统; 新风热回收; 梯级处理技术; 节能分析; 经济性分析

中图分类号 TU834.8 文献标识码 A

## Energy-Saving Analysis of the Clean Air-Conditioning System Based on Cascade Processing Technology about Fresh Air Heat Recovery

Chen Yiwu

(Jiangsu Vocational Institute of Architectural Technology, Xuzhou, 221116)

**【Abstract】** Takes a third-grade class-A general hospital in hot summer and cold winter areas as an example, compares the process calculation of air treatment mode for primary return clean air-conditioning system and fresh air heat recovery cascade processing clean air-conditioning system, and analyses the characteristics of system energy saving and HVAC season operation economy. Identifies the clean air-conditioning system based on cascade processing technology about fresh air heat recovery combining with the energy efficient techniques, which contents the functional requirement and realizes energy saving.

**【Keywords】** Clean air-conditioning system; Fresh air heat recovery; Cascade processing technology; Energy-saving analysis; Economic analysis

## 0 引言

自 20 世纪 80 年代以来, 我国公共建筑的总面积增长了近 3 倍, 相关统计表明, 公共建筑的能耗可达住宅建筑能耗的 8-10 倍<sup>[1]</sup>。综合医院的医疗建筑, 由于其特殊的公共建筑性质, 不仅需要满足病房、手术室的使用功能, 还要为病人和医疗人员提供良好的室内环境, 因而空调系统的能耗占比超过 50%。特别是近年来, 由于我国经济社会发展和人民生活水平提高, 以及 2020 年以来的新冠肺炎疫情影响, 人们对医疗环境提出了更高要求, 越来越多的专家学者开始研究医院洁净空调系统, 而且在“碳达峰”“碳中和”战略目标下, 探索先进的

空调系统节能技术应用更是设计人员的使命<sup>[2-8]</sup>。

## 1 医院洁净空调系统的能耗特点

面对综合医院功能需求实际, 其医疗建筑洁净空调系统的能耗特点: 一是由于涵盖多种医疗任务, 大型电子医疗仪器设备使用较多, 空调系统实际运行时, 因为大冷负荷和小湿负荷而形成大热湿比的空气处理过程; 二是由于医院就诊人流量大, 为了满足无菌无尘且舒适的治疗环境和手术要求, 空调系统需要保持高精度近似恒温恒湿状态的温湿度控制, 而且运行时间长; 三是虽然我国先后于 2002 年和 2013 年出台过两版《医院洁净手术部建

基金项目: 江苏高校“青蓝工程”资助项目

作者(通讯作者)简介: 陈益武(1974.12-), 男, 硕士研究生, 副教授、高级工程师, E-mail: 99860628@qq.com

收稿日期: 2023-07-22

筑技术规范》，明确了空调系统的相关参数要求，但是由于没有严格限定风量上限值，设计人员为了达到设计效果，往往按照最高级别设计标准进行设备选型，实际运行时风量甚至超出标准范围，导致空调系统的能耗过大，造成一定的能源浪费<sup>[1,6]</sup>。因此，需要在保证医疗建筑功能性的前提下，加强医院洁净空调系统的低能耗优化设计。

## 2 新风热回收梯级处理技术

新风热回收梯级处理技术是指在温湿度独立控制空调系统中，新风系统承担新风冷负荷（显热+潜热）与部分室内显热负荷，为了满足洁净空调系统室内设计参数的基数和精度要求，针对系统夏季运行工况，通过新风处理机组内配置非接触式（蒸发式）热回收装置，将新风处理到室内空气的

湿球温度，实现新风潜热负荷与显热负荷分离处理，潜热负荷由高能量品位的低温冷冻水处理，显热负荷转移至室内由低能量品位的高温冷冻水处理，达到不同能量品位的潜热与显热分质梯级处理实效，提升高温高湿的室外新风热回收率，减小新风处理机组的耗冷量，提高空调系统显热处理量权重、制冷系统综合效率（能效比）和能源综合利用效率，达到空调系统优化节能的效果<sup>[4,9-11]</sup>。

## 3 医院洁净空调系统的计算分析

### 3.1 设计参数和负荷风量计算

以夏热冬冷地区某三甲综合医院为例，其医疗建筑设置有 143 个房间的医院洁净空调系统，基于温湿度精度控制要求，相应夏季工况的室内外设计参数，见表 1 所列。

表 1 夏季工况的室内外设计参数

Table 1 Indoor and outdoor air design parameters for summer working conditions

室内设计参数		室外设计参数		设计送风 $\Delta t$ (°C)
干球温度 (°C)	相对湿度 (%)	干球温度 (°C)	湿球温度 (°C)	
24.00	50.00	34.30	27.60	4.00

经过冷湿负荷计算，可得典型洁净空调房间的夏季系统冷负荷为 6.397kW、系统湿负荷为 0.65g/s，系统总风量为 1.155kg/s（即为 3465m<sup>3</sup>/h）。由于空调系统的洁净度等级要求，设置 60%的系统新风百分比，系统新风量为 0.693kg/s（即为

2079m<sup>3</sup>/h），系统回风量为 0.462kg/s（即为 1386m<sup>3</sup>/h）。

### 3.2 一次回风系统计算过程分析

传统一次回风洁净空调系统的夏季运行工况下，空气热湿处理过程的 *h-d* 图，如图 1 所示。

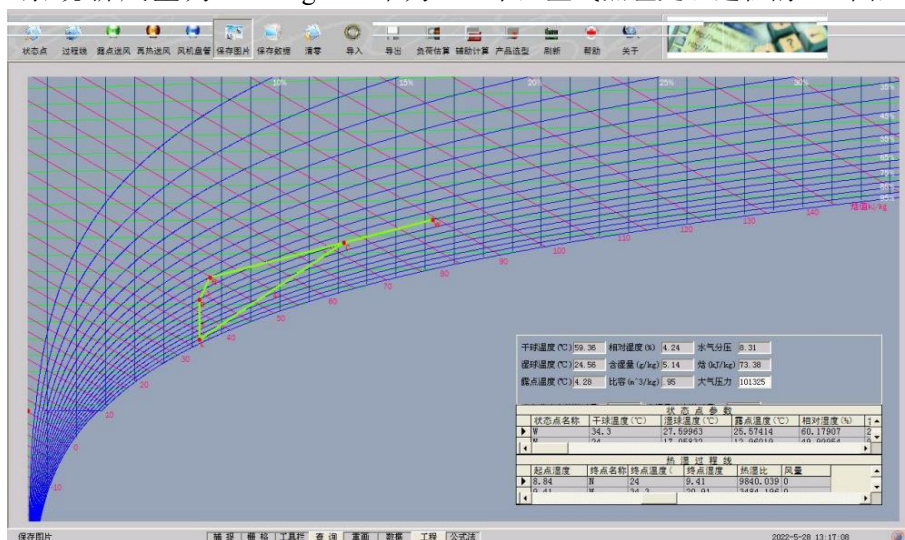
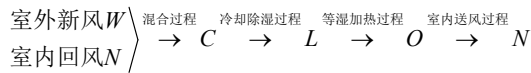


图 1 传统一次回风洁净空调系统 *h-d* 图

Fig.1 Enthalpy humidity chart for traditional primary return clean air-conditioning system

*W* 为室外空气的状态点；*N* 为室内空气的状态点；*O* 为室内送风的状态点；*C* 为一次回风的混合

状态点；*L* 为系统空气处理的机器露点。空气热湿处理的状态变化过程：



系统相应的各状态点参数数值，见表 2 所列。

表 2 传统一次回风洁净空调系统各状态点参数

Table 2 Various point conditions parameters of traditional primary return clean air-conditioning system

状态点	干球温度 (°C)	湿球温度 (°C)	相对湿度 (%)	含湿量 (g/kg)	焓值 (kJ/kg)
$W$	34.300	27.600	60.179	20.913	88.273
$N$	24.000	17.058	50.000	9.406	48.182
$O$	20.000	15.144	60.060	8.843	42.644
$L$	12.815	12.355	95.000	8.843	35.269
$C$	30.231	23.921	59.487	16.310	72.237

传统一次回风洁净空调系统计算过程如下。

(1) 系统的室内冷负荷： $Q_1 = 6.397\text{kW}$

(2) 系统的新风冷负荷：

$$Q_W = G_W \times (h_W - h_N) = 0.693 \times (88.273 - 48.182) = 27.783\text{kW}$$

(3) 系统的再热冷负荷：

$$Q_r = G \times (h_O - h_L) = 1.155 \times (42.644 - 35.269) = 8.518\text{kW}$$

因此，系统的总冷负荷：

$$Q_Z = Q_1 + Q_W + Q_r = 6.397 + 27.783 + 8.518 = 42.698\text{kW}$$

系统的总冷量：

$$Q_L = G \times (h_C - h_L) = 1.155 \times (72.237 - 35.269) = 42.698\text{kW}$$

因此，对比  $Q_Z$  和  $Q_L$  的计算结果，数值一致且正确无误。

### 3.3 新风热回收梯级处理计算过程分析

新风热回收梯级处理洁净空调系统的夏季运行工况下，空气热湿处理过程的  $h-d$  图，如图 2 所示。

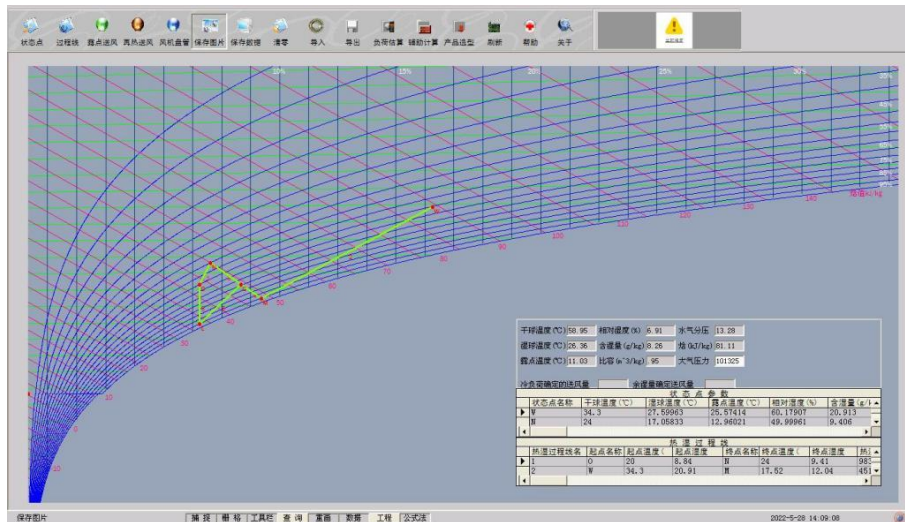
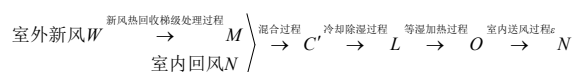


图 2 新风热回收梯级处理的洁净空调系统  $h-d$  图

Fig.2 Enthalpy humidity chart for fresh air heat recovery cascade processing clean air-conditioning system

$W$  为室外的空气状态点； $N$  为室内的空气状态点； $O$  为室内送风的状态点； $M$  为新风热回收梯级处理的机器露点； $C'$  为新回风混合的状态点； $L$  为系统空气处理的机器露点。

空气热湿处理的状态变化过程：



系统相应的各状态点参数数值，见表 3 所列。

表 3 新风热回收梯级处理的洁净空调系统各状态点参数

Table 3 Various point conditions parameters of fresh air heat recovery cascade processing clean air-conditioning system

状态点	干球温度 (°C)	湿球温度 (°C)	相对湿度 (%)	含湿量 (g/kg)	焓值 (kJ/kg)
<i>W</i>	34.300	27.600	60.179	20.913	88.273
<i>N</i>	24.000	17.058	50.000	9.406	48.182
<i>O</i>	20.000	15.144	60.060	8.843	42.644
<i>L</i>	12.815	12.355	95.000	8.843	35.269
<i>M</i>	17.517	16.990	95.000	12.035	48.182
<i>C'</i>	21.103	17.017	73.872	10.983	48.182

新风热回收梯级处理洁净空调系统计算过程如下。

(1) 系统的室内冷负荷:

$$Q_1 = 6.397 \text{ kW}$$

(2) 系统的再热冷负荷:

$$Q_r = G \times (h_o - h_L) = 1.155 \times (42.644 - 35.269) = 8.518 \text{ kW}$$

因此, 系统的总冷负荷:

$$Q'_Z = Q_1 + Q_r = 6.397 + 8.518 = 14.915 \text{ kW}$$

因为采用新风热回收梯级处理技术, 故新风由 *W* 状态点处理至 *M* 状态点不需要提供冷量, 因此系统的总冷量:

$$Q'_L = G \times (h_{C'} - h_L) = 1.155 \times (48.182 - 35.269) = 14.915 \text{ kW}$$

因此, 对比  $Q'_Z$  和  $Q'_L$  的计算结果, 数值一致且正确无误。

## 4 典型房间节能分析和系统空调季经济性分析

### 4.1 典型房间的节能分析

综上所述, 典型房间的节能量和节能效率如下。

典型房间的节能量:

$$W_f = Q_Z - Q'_Z = 42.698 - 14.915 = 27.783 \text{ kW}$$

典型房间的节能率:

$$\eta_f = (Q_Z - Q'_Z) / Q_Z = (42.698 - 14.915) / 42.698 = 65.07\%$$

校核采用新风热回收梯级处理技术时, 新风由 *W* 状态点处理至 *M* 状态点的回收热量计算:

$$Q'_W = G_W \times (h_W - h_M) = 0.693 \times (88.273 - 48.182) = 27.783 \text{ kW}$$

因此, 对比节能量  $W_f$  和回收热量  $Q'_W$  的计算结果, 数值一致且正确无误。

### 4.2 系统空调季的经济性分析

因为夏热冬冷地区室外气象参数的年度周期性变化, 夏季空调运行时间多为 5 月-9 月, 共计 153 天; 同时, 考虑室外温度的每昼夜周期性变化, 洁净空调系统的新风热回收梯级处理过程按照日平均运行 12 小时计算, 则典型房间空调季的节电量为:

$$W_{fj} = 27.783 \times 12 \times 153 = 51009.588 \text{ kWh}$$

根据选定冷水机组 COP=4.5 计算, 则系统空调季的节电量为:

$$W_{xj} = 51009.588 \times 143 / 4.5 = 1620971.352 \text{ kWh}$$

依据当地居民生活用电的峰电价格 0.5583 元/度 (千瓦时) 计算, 系统空调季节节约用电费用为:

$$Q_{xj} = 1620971.352 \times 0.5583 = 90.4988 \text{ 万元}$$

此外, 目前新风热回收梯级处理热湿变化过程, 多采用汽水换热器的逆流或交叉流方式进行换热, 鉴于市场上常用汽水换热器的换热效率范围和文献[11]的实验测试结果, 按照热回收率不低于 50% 计算, 可得实际热回收量:

$$Q_h = Q'_W \times 50\% = 27.783 \times 50\% = 13.8915 \text{ kW}$$

则有  $Q_h > Q_r$ , 即实际热回收可以满足空气热湿处理的等湿加热过程再热量需求。

## 5 结束语

综上所述与分析, 针对综合医院医疗建筑的洁净空调系统, 采用新风热回收梯级处理技术, 可以

有效节约系统的运行能耗,提高系统空调季的运行经济性,促进节能减排和绿色医院建设,有利于实现国家“碳达峰”“碳中和”的战略目标。

#### 参考文献:

- [1] 史佳成,谢慧,梁薇.洁净手术部空调系统能耗分析[J].流体机械,2021,49(6):94-100.
- [2] 朱哲慧,游红,俞洲,等.广元市某综合医院通风设计与探讨[J].低碳世界,2021,11(9):118-119.
- [3] 路建岭,麦粤帮,唐毅,等.某医院手术部洁净空调新风系统改造技术应用及分析[J].暖通空调,2021,51(1):84-87.
- [4] 汪延璐.热回收节能技术在洁净空调系统中的应用[J].科技与创新,2021,(11):174-175.
- [5] 高蕊笑,温志梅,常泽楠.洁净空调系统的应用及其技术分析[J].设备管理与维修,2021,(15):150-153.
- [6] 陈益武,甘月林.基于新风深度除湿的洁净空调系统节能分析[J].洁净与空调技术,2020,(3):83-86.
- [7] 路建岭,麦粤帮,唐毅,等.医院洁净空调系统改造技术浅析[J].洁净与空调技术,2020,(4):81-83.
- [8] 罗少良.广东某药验所洁净空调系统设计与节能策略[J].低碳世界,2021,11(9):144-145.
- [9] 刘谨,李继路.一种带热回收的新风负荷梯级处理技术探讨[J].制冷,2020,39(2):69-73.
- [10] 张链.基于热回收技术的独立新风系统的节能研究[D].天津:天津大学,2017.
- [11] 王维蔚.热回收技术在卷烟厂空调系统中节能潜力分析[D].昆明:昆明理工大学,2018.

(上接第 678 页)

#### 参考文献:

- [1] 魏新禹.真空型溶液再生系统性能分析及优化研究[D].济南:山东大学,2020.
- [2] Gu Y, Zhang X. Performance investigation on the liquid desiccant regeneration using rotating packed bed[J]. International Journal of Refrigeration, 2020,109:45-54.
- [3] 孙博,王建伟,张小松.基于电渗析的溶液再生传质模型及性能分析[J].化工学报,2021,72(S1):218-226.
- [4] 魏新禹.真空型溶液再生系统性能分析及优化研究[D].济南:山东大学,2020.
- [5] 刘琳,程清,许文豪,等.溶液温度对基于电渗析再生的溶液除湿空调性能的影响[J].制冷技术,2019,39(4):13-18.
- [6] 凌杰,岳岭.LiCl 溶液除湿空调再生性能的实验研究[J].电子测试,2016,19(10):117-119.
- [7] 李红宾,刘恒吉,文英,等.膜蒸馏技术应用最新研究进展[J].化工新型材料,2022,50(2):270-273,277.
- [8] Loussif N, Orfi J. Comparative study of air gap, direct contact and sweeping gas membrane distillation configurations[J]. Membrane. Water Treatment, 2016, 7(1):71-86.
- [9] 张芑悦,陈东,谢继红,等.气扫式预热型热泵膜蒸馏装置的设计及其性能分析[J].天津科技大学学报,2022, 37(1):23-27.
- [10] 陈东,谢继红.热泵技术手册(第2版)[M].北京:化学工业出版社,2018.