

文章编号: 1671-6612 (2021) 03-407-05

# 温湿度独立控制系统在洁净手术室的应用分析

张海波

(珠海格力电器股份有限公司 珠海 519070)

**【摘要】** 简要介绍温湿度独立控制空调系统的原理及系统组成, 并阐述了目前医院手术室常规净化空调系统及存在的主要问题, 提出新的净化空调系统解决方案——温湿度独立控制系统, 以达到节能、环保的目的。

**【关键词】** 温湿度; 空调系统; 洁净手术室; 能耗

中图分类号 TU831 文献标识码 A

## Analysis of the Application of Temperature and Humidity Independent Control System in Clean Operating Room

Zhang Haibo

(Gree Electric appliances, Inc of Zhuhai, Zhuhai, 519070)

**【Abstract】** This article is to introduce the THIC system and what composed in this kind of Air conditioner system. And also lined up the main problem insisting in nowadays air-conditioning system of surgery room in hospital. Put forward a newly system design which can settle this problem perfectly and reached out to our common target: Energy saving and Environment friendly.

**【Keywords】** Temperature and Humidity; Air-conditioning System; Clean Surgery room; Energy consume

作者(通讯作者)简介: 张海波(1986-), 男, 本科, 暖通(中级)工程师, E-mail: hkdhaibo@163.com  
收稿日期: 2020-12-16

### 0 引言

空调系统的任务主要包括排除室内余热、余湿、CO<sub>2</sub>、异味等, 现有的空调系统, 普遍采用热湿耦合的控制方法。夏季, 采用冷凝除湿方式(采用 7℃的冷冻水)实现对空气的降温与除湿处理, 同时去除建筑的显热负荷与潜热负荷。经过冷凝除湿处理后, 空气的湿度(含湿量)虽然满足要求, 但温度过低, 在有些情况下还需要再热才能满足送风湿度的要求。但在实际空调系统中, 通常不采用再热方法, 而是直接将冷凝除湿后的空气送入空调房间, 即房间的温湿度仅是由冷凝除湿方式进行处理。送风参数的控制采用温度控制为主, 即通过调节送风量与送风参数, 以满足室内的温度要求, 不能同时满足湿度要求, 舒适性较差。

消除显热和潜热对能源品位的需求是不相同的, 常规系统统一处理显热和潜热, 提高了能源品

位需求, 降低了冷源的温度, 降低了系统的效率。

排除室内余热与排除 CO<sub>2</sub>、异味所需要的新风量与变化趋势一致, 即可以通过新风同时满足排余湿、CO<sub>2</sub> 与异味的要求, 而排除室内余热的任务则通过其他的系统(独立的温度控制方式)实现。由于无需承担除湿的任务, 因而可用较高温度的冷源即可实现排除余热的控制任务。

总结以上分析, 常规空调系统存在的问题主要有以下几个方面:

#### (1) 温湿度同时处理的高能耗问题

常规空调系统中空气处理采用热湿联合处理的方式, 即冷冻水一般为 7℃/12℃, 而处理显热是不需要 7℃的低温水, 为了除湿不得不将冷冻水温度降低, 同时为了达到空调的送风温度, 还需要将处理后的空气再热, 存在冷热抵消, 造成能源浪费。

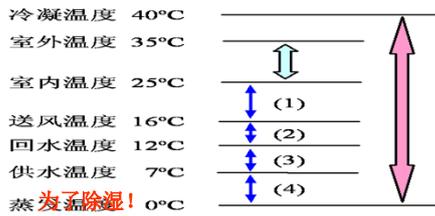


图 1 热湿联合处理的损失图

Fig.1 Loss diagram of combined heat and moisture treatment

(2) 难以适应室内热湿比的变化

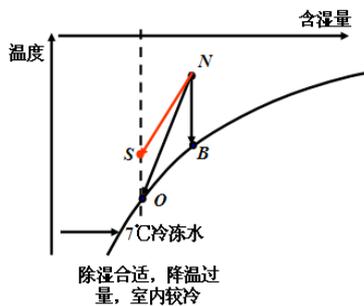


图 2 满足除湿的空气处理焓湿图

Fig.2 Enthalpy diagram of air treatment that meets dehumidification

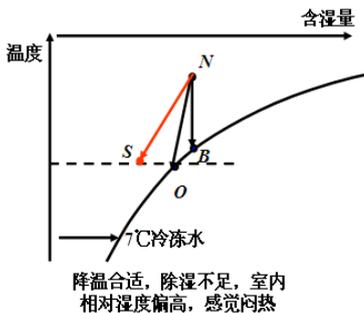


图 3 满足降温的空气处理焓湿图

Fig.3 Enthalpy diagram of air treatment that satisfies cooling

(3) 对室内空气品质的影响

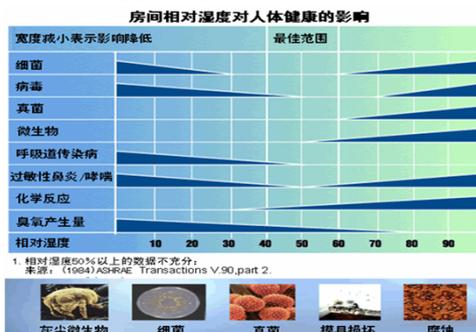


图 4 相对湿度对人体健康影响

Fig.4 The impact of relative humidity on human health

### 1 温湿度独立控制空调系统

温湿度独立控制空调系统中, 采用温度与湿度两套独立的空调控制系统, 分别控制、调节室内的温度与湿度, 从而避免了常规空调系统中热湿联合处理所带来的损失。由于温度、湿度采用独立的控制系统, 可以满足不同房间热湿比不断变化的要求, 克服了常规空调系统中难以同时满足温、湿度参数的要求, 避免了室内湿度过高(或过低)的现象, 同时提高了能源效率。

温湿度独立控制空调系统的基本组成为: 处理显热的系统(温度控制系统)与处理潜热的系统(湿度控制系统), 两个系统独立调节分别控制室内的温度与湿度, 如下图所示。处理显热的系统包括: 高温冷源、余热消除末端装置, 采用冷冻泵(水作为输送媒介)、冷却泵、冷却塔等。由于除湿的任务由处理潜热的系统承担, 因而显热系统的冷水供水温度不再是常规冷凝除湿空调系统中的 7°C, 而是提高到 17~18°C, 从而为天然冷源的使用提供了条件, 即使采用机械制冷方式, 制冷机的性能系数也有大幅度的提高。余热消除末端装置可以采用辐射板、干式风机盘管等多种形式, 由于供水的温度高于室内空气的露点温度, 因而不存在结露的危险。

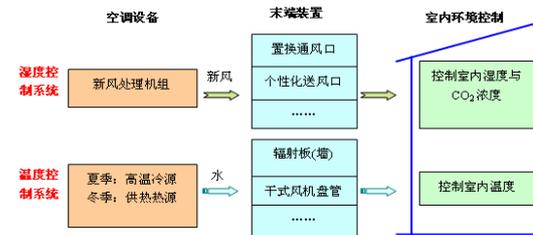


图 5 温湿度独立控制空调系统设备组成

Fig.5 The composition of the air conditioning system with independent temperature and humidity control

处理潜热的系统, 同时承担去除室内 CO<sub>2</sub>、异味, 以保证室内空气质量的任务。此系统由新风处理机组、送风末端装置组成, 采用新风作为能量输送的媒介。在处理潜热的系统中, 由于不需要处理温度, 因而湿度的处理可能有新的节能高效方法。由于仅是为了满足新风和湿度的要求, 温湿度独立控制系统的风量, 远小于变风量系统的风量。

### 2 目前医院手术室常规净化空调系统及存在的主要问题

目前, 医院洁净手术室空调系统普遍采用温湿

度耦合处理的方式,即夏季对室内温度和相对湿度的调节与控制均依靠于同一组空气处理设备——表冷器,当室内热湿负荷变化不同步时,该系统采用的是一种先过调再补偿的方案,即将处理后的空气进行再热。根据新风处理方式的不同,上述温湿度耦合处理方式有新风独立处理和新风集中处理两种。而常规的这种空调系统存在的主要问题有以下几个方面:

### 2.1 空调冷源及冷源保障的问题

当前医院洁净手术室通常与建筑中其它空调房间共用一个集中冷源,同时自备独立冷源满足过渡季节的使用,也有一些手术室采用完全独立的冷源。对于集中冷源的方案,由于供水温度很难保障,因此造成无法采用新风集中除湿的节能方案,或造成手术室相对湿度无法控制。洁净手术室的相对湿度的控制难度远大于温度的控制,难点主要来自水温的控制。常规空调系统控制相对湿度的基本原理是通过表冷器降温除湿处理,以消除室内湿负荷,就除湿的原理而言,处理后的空气温度越低,其空气的含湿量也就越小,空气越干燥,而此时需要更低的冷水温度来保障。一般对于一次回风系统,夏季冷水供水温度的最高允许温度是 $10^{\circ}\text{C}$ 。

若采用集中处理新风的方案,一般需要将空气冷却处理到 $12^{\circ}\text{C}$ 以下,这就要求必须保证供水温度在 $8^{\circ}\text{C}$ 以下才可以。因此对于新风全部承担湿负荷的集中处理新风的系统,夏季冷冻水供水温度最高允许温度为 $8^{\circ}\text{C}$ 。而对于一个医院建筑全天候保证冷冻水供水温度保持在 $10^{\circ}\text{C}$ ,甚至 $8^{\circ}\text{C}$ 以下是很困难的,特别是室外相对湿度较高的地区,此外,由于医院医疗设备的增加及就诊人数的增加带来空调系统负荷的增加,也会出现整个建筑冷源负担逐年加重的趋势,因此大部分的工程会出现夏季高温季节冷冻水温度居高不下的情况,此时手术室相对湿度偏高就是自然的事情了。

### 2.2 空调系统能耗的问题

洁净手术室空调系统的特点是换气次数多、系统风量大、运行时间长,能耗大。以一间采用常规空调系统的百级手术室为例,空调的运行费用在20万左右,已经对手术室运行成本构成重大影响,因此也引起院方对空调节能越来越多的关注与要求。

洁净手术室空调系统能耗高的问题,除了其自

身风量大、系统阻力部件多等客观因素外,系统设计不合理造成的浪费也是无法回避的,其中包括:

#### (1) 空气过度冷却

如上所述,常规空调系统由于湿度控制的需要在夏季空气必须冷却至 $12\sim 14^{\circ}\text{C}$ ,但就手术室的温度控制而言,夏季实际需求的送风温度在 $18\sim 20^{\circ}\text{C}$ ,由此过度冷却造成的能耗十分可观。

#### (2) 空气的再热能耗

空气的再热能耗与过度冷却是相伴而生的,夏季,为了控制室内湿度,通常需要先空气冷却到 $12\sim 14^{\circ}\text{C}$ ,然后再采用再热的措施,将空气升温至 $18\sim 20^{\circ}\text{C}$ 再送入室内,对于洁净手术室空调系统而言,由于再热多采用电加热,因此其能耗比之过度冷却造成的浪费更甚。

### 2.3 空调系统湿表面的污染问题

由于除湿的需要,传统空调系统中的表冷器在供冷季节永远都是湿工况,即使采用新风集中处理或新风预处理的空调系统,由于供水温度仍然是 $7^{\circ}\text{C}$ ,低于回风的露点,因此在循环机组中的冷盘管也无法实现干工况。对于湿表面因驻留灰尘,滋生细菌造成的空气污染问题,目前没有彻底的解决方案,常用的方法时在机组内设置紫外灯管,通过长时间的照射杀菌,但由于紫外光只对被照射表面有效,因此对盘管深层部位的杀菌效果有限。

### 2.4 加湿器故障问题

洁净手术室空调系统中,冬季多采用电极加湿的方式,电极的频繁损坏和更换,是原理性的无法解决的隐患,同时也存在水质差异造成的一些问题。

### 2.5 盘管防冻问题

新风机组中冷水盘管的冬季防冻问题,是北方寒冷地区空调用户经常遇到的问题,洁净手术室空调系统也不例外,这一问题,除了从设备管理各借助控制系统采取一定的报警保护措施以外,当前没有更为有效的办法。

## 3 净化空调系统解决方案——温湿度独立控制系统

洁净手术室空调系统承担着排除室内余热、余湿,保障室内洁净度并改善室内空气品质的任务。洁净手术室的温湿度独立控制系统,即独立的新风系统承担排除室内余湿并改善室内空气品质的任务,由另一套独立的空气处理系统承担排除室内的

余热和保障洁净度的任务，如图 6 所示。

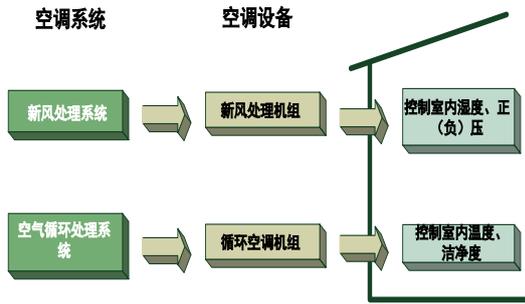


图 6 温湿度独立控制空调系统设备组成

Fig.6 The composition of the air conditioning system with independent temperature and humidity control

目前温湿度独立控制系统在洁净手术室中的应用有三种典型的形式，新风集中过滤、分散除湿的温湿度独立控制系统，新风集中过滤、集中除湿的温湿度独立控制系统，独立新风温湿度独立控制系统，三种系统形式特点及优势主要体现在以下几个方面：

(1) 新风集中过滤、分散除湿的温湿度独立控制系统

- ①可以彻底消除再热带来的能耗问题；
- ②每间手术室都可实现温湿度独立调节与控制；
- ③可以解决共用新风系统的潜在浪费问题；
- ④新风的集中过滤处理，对手术室及高效过滤器的保护更合理。

此系统较适用于手术室数量较多，机房相对集中的大中型洁净手术室。

(2) 新风集中过滤、集中除湿的温湿度独立控制系统

- ①可以彻底消除再热带来的能耗问题；
- ②每间手术室都可以实现温度自调，湿度随动；
- ③手术室不同时使用时，共用新风系统存在能源浪费的问题；
- ④新风的集中过滤处理，对手术室及高效过滤器的保护更合理。

此系统较适用于手术室数量较多、机房相对集中、手术室同时使用率较高的大中型洁净手术室。

(3) 独立新风的温湿度独立控制系统

- ①可以彻底消除再热带来的能耗问题；
- ②每间手术室都可以实现温湿度独立控制调节；

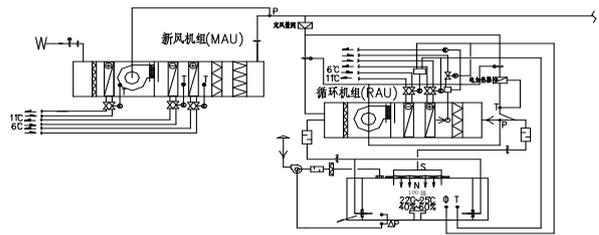
③可以解决共用新风系统的潜在浪费问题；

④新风系统只设初效过滤，对手术室和高效过滤器的保护较差。

此系统较适用于手术室数量不多的小型手术室，安装较分散的洁净空调系统。

### 4 能耗分析

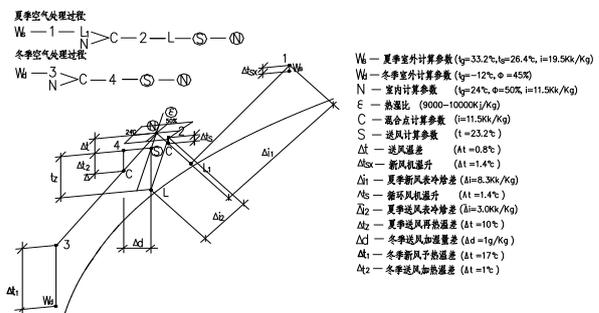
以北京地区I级洁净手术室为例进行不同系统方案的能耗分析。对传统的新风集中处理，循环机组的一次回风系统和新风集中处理，循环风机加干盘管温湿度独立控制系统进行对比分析。手术室的面积为 50m<sup>2</sup>，层高为 3m，手术室的送风量为 12000m<sup>3</sup>/h；新风量为 1200m<sup>3</sup>/h，正压>8Pa，手术室内的人员总数为 12 人，照明照度为 500Lx。经过详细的负荷计算可得手术室内总显热负荷  $Q_{显}$  为 3200W，潜热负荷  $Q_{潜}$  为 2044W，湿负荷  $W$  为 2.7kg/h，进而确定送风温差为 0.8℃。



一次回风(MAU+RAU)的空气处理方案流程图

图 7 一次回风(MAU+RAU)的空气处理方案流程图

Fig.7 Flow chart of air treatment plan for primary return air (MAU+RAU)



一次回风(MAU+RAU)的空气处理方案焓湿图

图 8 一次回风(MAU+RAU)的空气处理方案

Fig.8 Air treatment plan for primary return air (MAU+RAU)

夏季：  
新风机组冷量：

$$Q_{\text{新}}=1200 \times 1.2 \times (83.2-48.3)=14.0 \text{ kW}$$

循环机组冷量:

$$Q_{\text{循}}=12000 \times 1.2 \times (49.9-37.4)=50.0 \text{ kW}$$

再热量:

$$Q_{\text{再热}}=12000 \times 1.2 \times (23.2-13.5)=38.8 \text{ kW}$$

夏季耗电计算: COP 按 3.2, 电费按 1 元/kWh

计算, 制冷按 120 天计算, 手术室每天按 10 小时运行计算。

$$\text{制冷耗电: } N=(14.0+50.0)/3.2=20.0 \text{ kW}$$

$$\text{再热耗电: } N=38.8 \text{ kW}$$

全年夏季制冷耗电:

$$A=58.8 \times 120 \times 10 \times 1=70560 \text{ 元/年}$$

$$Q_{\text{再热}}=0$$

夏季耗电计算 (条件同前):

$$\text{制冷耗电: } N=(19.0+1.8)/3.2=6.5 \text{ kW}$$

$$\text{再热耗电: } N=0 \text{ kW}$$

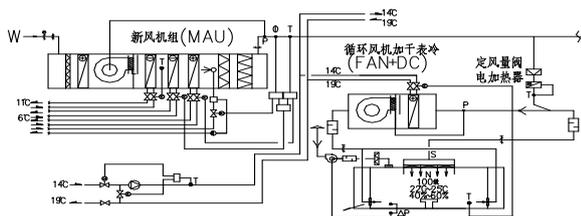
全年夏季制冷耗电:

$$A=6.5 \times 10 \times 120 \times 1=7800 \text{ 元/年}$$

通过对比分析, 采用温湿度独立控制系统较常规系统更加节能, 根据以上计算耗电节约 88.9%, 节能显著。

### 5 结束语

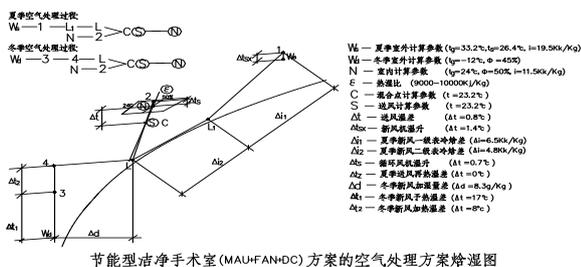
近年来随着我国医院建设现代化与医疗技术发展, 国内诸多医院在建和新建的手术室数量与日俱增, 随之而来的能耗问题日益严峻, 手术室空调系统的设计也处于探索之中, 虽然一些新的空调系统在相关的工程中有所应用, 但如何让手术室空调系统设计更合理、节能、环保、高效, 还需要行业内的人士继续研究和探讨。



节能型洁净手术室 (MAU+FAN+DC) 空气处理方案流程图

图 9 节能型洁净手术室 (MAU+FAN+DC) 空气处理方案流程图

Fig.9 Flow chart of air treatment plan for energy-saving clean operation (MAU+FAN+DC)



节能型洁净手术室 (MAU+FAN+DC) 方案的空气处理方案焓湿图

图 10 节能型洁净手术室 (MAU+FAN+DC) 方案的空气处理方案焓湿图

Fig.10 Enthalpy diagram of air treatment plan for energy-saving clean operation (MAU+FAN+DC)

夏季:

$$Q_{\text{冷}}=1200 \times 1.2 \times (83.2-35.7)=19.0 \text{ kW}$$

$$Q_{\text{循冷}}=1.01 \times 10800 \times 1.2 \times 0.5=1.8 \text{ kW}$$

### 参考文献:

- [1] GB 50333-2002, 医院洁净手术部建筑技术规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2002.
- [2] 美国供热、制冷与空调工程师学会编.医院空调设计手册[M].北京:科学出版社,2004.
- [3] 陆耀庆.实用供热空调设计手册(第二版)[M].北京:中国建筑工业出版社,2007.
- [4] 刘晓华,江亿.温湿度独立控制空调系统[M].北京:中国建筑工业出版社,2006.
- [5] 张桂荣,李敏霞,郝长生.温湿度独立控制在医院建筑中的应用研究[J]. 建筑热能通风空调,2008,27(4): 37-37,77.
- [6] 陈焱.温湿度独立控制空调系统在医院建筑夏季空调设计中的应用[J].建筑工程,2018,(4):193.
- [7] 欧阳琴,江英,谭超毅.温湿度独立控制空调系统的研究与应用[J].建筑节能,2011,39(5):8-10.
- [8] 曾亮军,王学磊.温湿度独立控制系统在医院建筑的节能应用[J].洁净与空调技术,2019,(2):57-63.