

一般正压 I 级手术室空调系统计算分析

李倩 杨璐璐

中国建筑技术集团有限公司 北京 100013

摘要: 阐述了洁净手术部的设计与实施过程中, 在采用双走廊平面布局的正压 I 级手术室, 冷热负荷的设计计算以及不同工况下的运行分析。不同工况包含变化的室外气象参数、室内术前、室内术中运行工况。气流组织和压差梯度可保证室内环境的稳定性, 避免外界污染物的侵入, 室内污染物的快速排出。手术室内部的噪声不仅会影响医护人员的操作效率, 还可能对患者造成不必要的心理压力, 是需要关注的重要因素。

关键词: 双走廊; I 级手术室; 运行工况; 气流组织; 压差梯度

一、概述

手术室净化空调系统是手术部保障体系的重要组成部分, 考虑到手术室内区位置、医疗设备运行、湿热负荷变化和医护人员进出等特点, 需要综合考虑医院建设条件、手术类型和地域气象条件进行分析计算。

二、项目概况及空调系统设计

1. 概况

以北京市朝阳区某医院的一般正压 I 级手术室为例: 手术部采用双走廊的平面布局, 清洁走廊与洁净走廊均为空调区, 手术室面积 48m^2 , 室内净高 3.0m ; 室内工作人员: 12 人; 病人: 1 人;

2. 设计参数

项目地点	室外计算参数							
	夏季空调干球温度 ($^{\circ}\text{C}$)		夏季空调湿球温度 ($^{\circ}\text{C}$)		冬季空调干球温度 ($^{\circ}\text{C}$)		冬季空调相对湿度 (%)	
北京市 朝阳区	33.5		26.4		-9.9		44	
	I 级手术室室内设计参数							
	温度 ($^{\circ}\text{C}$)	相对湿度 (%)	与相邻地级别洁净用房静压差 (Pa)	1.2m 高工作截面平均风速 (m/s)	噪声 dB (A)	新风量 $\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$	排风量 m^3/h	自净时间 (min)
	21~25	30~60	+5	0.20~0.25	≤ 51	15~20	≥ 250	10

3. 系统设计

采用一次回风空调系统, 设集中新风冷热处理的新风机组。

三、净化风量与冷热负荷的计算

1. 净化风量计算

(1) 送风量的确定

《医院洁净手术部建筑技术规范》GB50333-2013 (以下简称手术部规范) 要求手术区 1.2m 高截面平均风速为 $0.2\sim 0.25\text{m/s}$, 因为局部层流的送风气流会与周边区的空气进行动量交换, 送风气流速度会逐步衰减, 设计送风出面风速可为 $0.30\sim 0.37\text{m/s}$ 左右, 存在冬季送热风情况, 选取风速上限。

则手术室送风量为 $= 6.24 \times 0.37 \times 3600 \text{m}^3/\text{h} =$

$8311 \text{m}^3/\text{h}$, 取整为 $8400 \text{m}^3/\text{h}$ 。

(2) 排风量的确定

①按手术部规范要求, 一般正压手术室设置上部排风, 设置在病人头侧顶部, 有效排除部分轻微麻醉气体和室内污浊气体。要求排风量 $\geq 250 \text{m}^3/\text{h}$; 设计排风量 $L_1=280 \text{m}^3/\text{h}$ 。

②保证正压所需漏风量, 查实用供热空调设计手册, 一般可按房间换气次数 $2\sim 6$ 次/h 取值; 本次计算按 6 次换气计算, $L_2=48 \times 3 \times 6=864 \text{m}^3/\text{h}$ 。

③总排风量 $L=L_1+L_2=1144 \text{m}^3/\text{h}$ 。

(3) 新风量的确定

①手术部规范要求新风量最小值为: $15\sim 20 \text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$, 按 $20 \text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ 指标进行计算, 得出 $960 \text{m}^3/\text{h}$ 。

②对新风量进行校核:

- A. 补充排风, 保证室内正压: $1144\text{m}^3/\text{h}$;
- B. 人员卫生 (13人, 每人 $60\text{m}^3/\text{h}$): $780\text{m}^3/\text{h}$;
- C. 手术部规范要求最小新风量: $960\text{m}^3/\text{h}$ 。

③综上所述, 新风量取最大值为: $1144\text{m}^3/\text{h}$, 取整后为 $1200\text{m}^3/\text{h}$ 。

2. 手术室冷热负荷计算

室内温湿度影响医护人员及患者的发菌量和细菌的生存条件, 也影响到医护人员的舒适程度和手术效果, 本次计算按照室内高峰冷热负荷进行计算。

(1) 手术室冷热负荷特点

●本手术部采用双走廊的平面布局, 清洁走廊与洁净走廊均为空调区, 围护结构传热负荷计算可按稳定传热来进行考虑。

- 手术室内医疗设备较多, 同时使用系数小。
- 照明发热和人员发热、人员发湿量的变化均较小。
- 综上所述, 在手术前: 室内几乎没有湿负荷, 热负荷较为稳定; 在手术期间: 热负荷变化较大, 湿负荷比较稳定且集中, 所以室内热湿比变动较大。

(2) 夏季负荷计算

①通过维护结构传入室内的热量。虽然手术室周围均为空调环境, 但技术夹层仍然存在热传递, 故通过维护结构传入室内的热量可为 $20\text{--}30\text{W}/\text{m}^2$ (假定技术夹层内散热量较少, 石膏板+不锈钢板), 按 $30\text{W}/\text{m}^2$ 计算得稳定传热量为 1350W 。

②人体散热量。手术室内人员按轻劳动强度计算, 平均每人的全热散热量为 150W , 则人体散热形成的冷负荷约为 1950W 。

③室内照明散热量。根据手术部规范距地面 0.8m 的工作面照度要求 $\geq 350\text{lx}$, 室内照明形成的空调冷负荷约 $15\text{W}/\text{m}^2$ (假定采用荧光灯, 整流器在吊顶内, 暗装灯罩上无孔), 则照明冷负荷为 720W 。

④室内设备散热量。从已建手术室统计整理得出洁净室设备的散热量约为 $70\text{W}/\text{m}^2$, 则室内设备冷负荷为 3360W 。

⑤由室内散湿过程产生的湿负荷与潜热负荷。人员散湿: 成年男子平均散湿量 $120\text{g}/\text{h}$, 群集系数取 0.92 , 则散湿量为 $1435\text{g}/\text{h}$;

手术过程产湿量: 手术室内湿表面的大小因手术种类不同而不同, 通常可取 0.7m^2 的湿表面, 产湿量 $1022\text{g}/\text{h}$;

散湿形成的冷负荷为: 701W 。

●夏季手术前热、湿负荷汇总:

冷负荷 (W)			湿负荷 (g/h)	热湿比
围护结构传热	室内照明散热	总热负荷	湿负荷	
1350	720	2070	0	$+\infty$

●夏季手术期间热、湿负荷汇总:

冷负荷 (W)					湿负荷 (g/h)			热湿比 $\varepsilon 1$	
围护结构传热	人体散热	室内照明散热	室内设备散热	术中散湿潜热	总热负荷	人体散湿	术中散湿		总湿负荷 (g/s)
1350	1950	720	3360	701	8081	1435	1022	0.68	11839

(3) 冬季负荷计算

●手术室全年空调热湿负荷分析:

不随气候变化的负荷项	随气候变化的负荷项
1. 人体散热、散湿量; 由室内人员数量和工作强度有关; 2. 照明散热量。与灯具类型、安装方式、运行时间等有关; 3. 设备散热量。与手术期间使用设备的种类、数量和运行时间等有关。	1. 围护结构传热产生的冷热负荷; 2. 新风负荷。

●冬季手术前热、湿负荷汇总:

热负荷 (W)			湿负荷 (g/h)	热湿比
围护结构传热	室内照明散热	总热负荷	湿负荷	
-1350	720	-630	0	$-\infty$

●冬季手术期间热、湿负荷汇总:

热负荷 (W)					湿负荷 (g/h)			热湿比 $\varepsilon 2$	
围护结构传热	人体散热	室内照明散热	室内设备散热	术中散湿潜热	总热负荷	人体散湿	术中散湿		总湿负荷 (g/s)
-1350	1950	720	3360	701	5381	1435	1022	0.68	7913

3. 设备选型及空气处理过程

(1) 空气处理过程

①区域划分: 以夏季新风机组露点等含湿量线 $d=11.1\text{g}/\text{kg}$ 、夏季送风状态点等含湿量线 $d=8.5\text{g}/\text{kg}$ 、室内温度要求下限值 $t_n=21^\circ\text{C}$ 、冬季室外空气干球温度 $t_w=5^\circ\text{C}$ 与室外气象包络线进行划分分割为 I、II、III、IV、V 五个区域。

②夏季工况: 室外气象参数位于 I 区, 新风经新风机组表冷除湿至室内等焓状态点后与室内回风混合, 在经循环机组表冷除湿至机器露点, 经再加热达到送风状态点后送入室内。

③过渡季节工况 1: 室外气象参数位于 II 区, 新风

不经新风机组冷热处理直接与室内回风混合，经循环机组表冷除湿至机器露点，经再加热达到送风状态点后送入室内。

④过渡季节工况2：室外气象参数位于Ⅲ区，新风不经新风机组冷热处理直接与室内回风混合，经循环机组冷却至送风状态点的等温点，经等温加湿至送风状态点后送入室内。

⑤过渡季节工况3：室外气象参数位于Ⅳ区，新风不经新风机组冷热处理直接与室内回风混合，经循环机组冷却至送风状态点的等温点，经等温加湿至送风状态点后送入室内。

⑥冬季工况（术前）：室外气象参数位于Ⅴ区，新风经新风机组一次加热后与室内回风混合，经循环机组加热至送风状态点的等温点，经等温加湿至送风状态点后送入室内。

⑦冬季工况（术中）：室外气象参数位于Ⅴ区，新风经新风机组一次加热后与室内回风混合，经循环机组制冷至送风状态点的等温点，经等温加湿至送风状态点后送入室内。

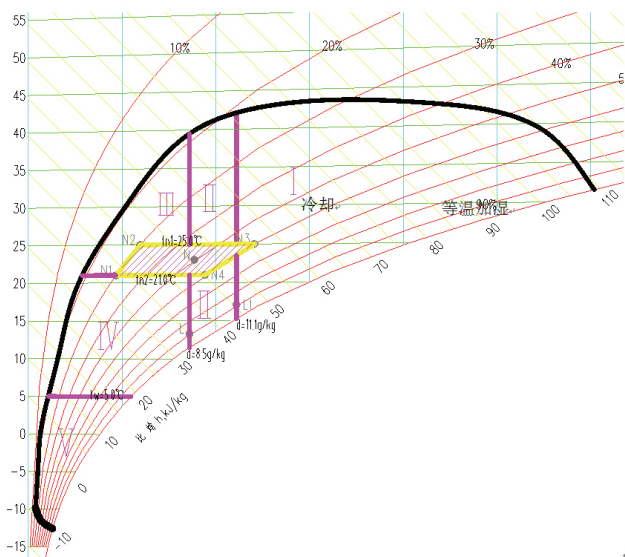


Figure1 空调运行工况分区图

(2) 设备选型

①新风机组参数。送风量：1400m³/h；制冷量：17.8kW；机外余压：500Pa；电加热：8.5kW；功能段：流段、粗效段、中效段、风机段、盘管段、电加热段、亚高效段、出风段。

②循环机组参数。送风量：10100m³/h；新风量：1400m³/h；回风量：8700Pa；制冷量：38.7kW；制热量：

30.3kW（夏季）/2.5kW（冬季）；机外余压：650Pa；电加热：30.3kW；电加湿量：15.7kg/h；功能段：混合段、风机段、中效段、冷水盘管段、热水盘管段、电加热、电加湿段、中效段、出风段。

A.考虑送、回风管漏风，风量附加系数1.2；考虑风机温升、送回风管温升，冷量附加系数1.1。

B.加湿量考虑损耗和不利因素，附加系数1.1；电加湿用电加热宜用纯水，自来水选有除垢装置的产品；电极加湿不用纯水，根据产品要求可用软化水。

C.夏季再热量与冬季加热量共用热水盘的负荷相差较大，造成加热水流量相差较大，宜分别设置电动调节阀。

D.机外余压，需根据项目情况进行设计计算。一般新风机组机外余压取500Pa，循环机组机外余压取650Pa，可满足工程需要。风机采用变频风机。

四、噪声控制

(1) I级手术室静态标准要求噪声≤51dB(A)；

(2) 空调机房宜设置在对手术室影响较小的地方，且机房内表面做好吸声和围护结构的隔声处理；穿越空调机房围护结构的管道缝隙采用防火封堵材料封堵严密；

(3) 空调机组选择高效率、低噪声的设备，并采取必要的隔声、减振、吸声及消声措施；

(4) 空调风管内风速设计按噪声要求进行控制，风管与设备连接处采用柔性接头；矩形风管弯管的曲率半径、导流叶片等应满足相关规范要求；

(5) 在送风管、回风管和排风管的直管段上设置的微缝板消声器。

结语

医护人员反映的手术室空调系统温湿度控制不佳的问题，主要源于暖通设计人员未充分考虑手术室热湿负荷特点和气象参数。建议暖通设计人员进行详细的热湿负荷计算，结合医院建设条件和手术类型，以及协同自控设计人员建立完善的自控系统，实现运营的优化。

参考文献

[1]GB 50333-2013《医院洁净手术部建筑技术规范》
 [2]陆耀庆.实用供热空调设计手册(第二版).中国建筑工业出版社, 2008年
 [3]钱以明.简明空调设计手册.中国建筑工业出版社, 2017年