

# Research on Common Problems and Treatment Scheme of HVAC System

Sanbao Jiang

Shanghai Tianji Jiejing Engineering Technology Co., Ltd., Shanghai, 200000, China

## Abstract

Clean HVAC system usually consists of two parts, including air-conditioning system and air-conditioning water system. The air-conditioning system is composed of a combined air-conditioning unit, an exhaust unit, an air-duct valve and a high-efficiency air outlet, etc. , the air conditioning water system is composed of air conditioning main engine, cooling tower, water valve water pipe, buffer water tank, energy storage water tank, circulating water pump, etc. The normal operation of the purification heating and ventilating system is very important for the use of the clean room, it must be controlled from the aspects of HVAC scheme drawing design, material and equipment procurement and personnel installation. This article mainly through summarizes the project construction experience, elaborated the HVAC system related common question solution processing plan measure, it can provide solutions to the problems related to HVAC system in the process of construction and commissioning in a timely and efficient manner.

## Keywords

HVAC; wind system; water system; skin trusteeship; air volume

## 净化暖通系统常见问题与处理方案应用研究

蒋三宝

上海天迹洁净工程科技有限公司, 中国 · 上海 200000

## 摘要

净化暖通系统通常由两部分组成, 包括空调风系统与空调水系统。空调风系统由组合式空调机组、排风机组、风管风阀及高效风口等组成, 空调水系统由空调主机、冷却塔、水阀水管、缓冲水箱、储能水箱、循环水泵等组成, 净化暖通系统能否正常运行对洁净室使用至关重要。论文主要通过总结项目中施工经验, 阐述暖通空调系统相关常见问题解决处理方案措施, 为大家能够及时高效处理施工及调试运行过程中出现的有关暖通系统问题提供解决思路。

## 关键词

暖通空调; 风系统; 水系统; 皮托管; 风量

## 1 引言

目前中国正处于产业升级换代的关键阶段, 中国已经在生物医药、食品卫生、新型材料应用以及电子半导体等行业取得了举世瞩目的成绩。这些行业的生产厂房对室内环境有着严格的要求, 包括温度、湿度、洁净度以及细菌浓度等。为了给厂房提供良好的生产环境, 就必须确保净化暖通系统正常运行。净化暖通系统主要由空调风系统以及空调水系统组成, 下面主要从这两种系统常见问题的处理方案措施进行简单介绍。

## 2 空调风系统主要问题与处理方案

### 2.1 空调系统送风量计算方法

洁净室空调送风量不足将影响房间洁净度、换气次数、

房间压差等, 空调机组送风量必须符合规范以及设计要求。空调送风量计算包括两种方式: 第一种根据房间冷热负荷计算送风量; 第二种根据房间换气次数计算送风量。

#### 2.1.1 根据房间负荷计算送风量

洁净室房间负荷包括: 新风负荷( $Q_1$ )、人员负荷( $Q_2$ )、电气照明负荷( $Q_3$ )、维护结构负荷( $Q_4$ )及设备负荷( $Q_5$ )。

根据热量公式:

$$Q=Q_1+Q_2+Q_3+Q_4+Q_5=C \times M \times \Delta T$$

式中,  $Q$  为热量 (J);  $C$  为比热容 (J/kg°C);  $M$  为质量 (kg)。

新风负荷:

$$Q_1=G_1 \times \rho \times \Delta I_1$$

式中,  $G_1$  为新风量 ( $m^3/h$ );  $\rho$  为空气密度 ( $kg/m^3$ ), 取  $1.2kg/m^3$ ;  $\Delta I_1$  为室内外新风状态点焓差 (kJ/kg)。

由以上公式可得出组合式空调机组送风风量:

$$G=3600 \times Q/\rho \times \Delta I$$

【作者简介】蒋三宝 (1987-), 男, 中国江苏宿迁人, 本科, 工程师, 从事洁净室机电安装研究。

式中,  $G$  为空调送风量 ( $\text{m}^3/\text{h}$ );  $Q$  为空调制冷量 ( $\text{kW}$ );  $\Delta I$  为空调箱送风与室内要求环境状态点要求焓差值 ( $\text{kJ}/\text{kg}$ );

### 2.1.2 根据换气次数计算送风量

洁净室暖通风量设计常见采用根据换气次数要求计算送风量大小, 根据 ISPE 指南经验法则要求: FDA 和 ISPE 的 CNC (D 级动态标准) 洁净室, 6~20 次/h 换气次数; ISO8 级 (C 级动态标准) 洁净室, 20~40 次; ISO7 级 (B 级动态标准) 洁净室, 40~60 次/h 换气次数; ISO5 级 (A 级) 洁净室要求单向流, 则不再按照换气次数核算风量, 通过气流速度进行计算送风量。最后通过以上两种方案计算出组合式空调机组送风量, 取两者中最大值。

## 2.2 基诺厚普项目空调送风量不足问题

### 2.2.1 项目基本信息介绍

福建省基诺厚普生物科技有限公司由新希望集团与台湾霖扬生技制药股份公司共同投资建成, 为莆田市重点引进外资项目, 主要进行仿制药研发与生产, 建设有 11 条药品生产线。洁净车间共计约  $4000\text{m}^2$ , 组合式净化空调机组 34 台, 采用螺杆机 + 冷却塔 + 蒸汽锅炉方式提供空调冷热源, 下面对此项目调试期间出现的暖通风系统有关问题处理进行阐述<sup>[1]</sup>。

### 2.2.2 送风量不足原因判断

空调系统安装完工后, 在 AHU322A 空调系统调试阶段出现此空调机组在 50Hz 满频工作状态下送风量明显不足情况, 无法满足设计对房间换气次数的要求。出现此情况后, 首先安排人员对空调系统施工安装质量方面进行如下检查: 空调机组正反转检查; 所有送风管路上手动阀及电动阀检查; 空调送风风管漏风情况检查; 送回风管沿程阻力核算检查等。

通过仔细排查发现空调系统施工安装质量均符合设计要求, 空调自控等相关系统运行均正常, 因此初步断定可能由于机组自身送风量偏小导致房间换气次数无法满足要求。首先考虑可能由于设计原因导致送风量偏小, 因此按照风量的计算公式对空调系统设计风量进行再次校核, 通过计算空调机组铭牌上所标示机组风量以及机外余压均满足设计要求, 因此排除设计原因的可能。最后推断应该是空调机组自身问题导致送风量不足的情况, 设备厂家坚称设备完全按照设计参数生产不存在任何问题。

### 2.2.3 皮托管测风量解决方案

为尽早将此问题彻底解决, 不影响项目的验收交付时间, 因此决定采用皮托管测风量的方式对空调机组出风口送风量进行测试。皮托管测量风量的要点如下:

皮托管测风量首先需正确选择测量点截面位置, 风量测量孔截面位置应选择的气流比较稳定, 气体流速比较均匀的直管段上, 一般沿着气流方向选在产生局部阻力如弯头、三通及变径管件之后 4~5 倍风管长边管径, 和产生局部阻

力管件之前 1.5~2 倍风管长边管径的风管直管段上。如图 1 所示。

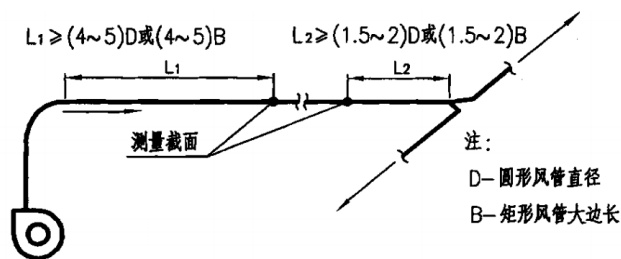


图 1 风量测量位置示意图

在实际工程中如果现场风管直管段无法满足以上要求, 则风量测量孔应选在风管段为直管段上且测量孔距上游局部阻力管件距离为距下游局部阻力管件距离 1.5~2 倍位置。风管测量孔数量以及测量点数量的确定需满足如下要求:

圆形风管测量孔应选在圆形截面的两个相互垂直的直径端部的位置, 圆形风管直径小于等于  $1250\text{mm}$  时, 应设置两个测量孔, 可在两个互相垂直直径任一端管壁上设测量孔; 圆形风管直径大于  $1250\text{mm}$  时, 应设置四个测量孔, 即在两个相互垂直直径两端管壁设四个测量孔。圆形截面上的测量点可根据直径大小将截面直径分为  $n$  等份 ( $n$  取值 3~6)。每个圆环上设 4 个测点, 四个测量点必须位于两个相互垂直的直径上。

矩形风管测量孔设在风管高度的侧面, 风管宽度小于  $1250\text{mm}$  时, 在风管高度一侧设测量孔; 风管宽度大于  $1250\text{mm}$  小于  $2500$  时, 在风管高度两侧设测量孔; 每侧测量位置以及测量点数量根据矩形风管尺寸确定, 测量孔点数量及测点越多, 测量结果越精确。

采用毕托管测风量是采用如下公式计算风量:

$$L=3600 \times A \times (2Pdp/\rho)^{1/2}$$

式中,  $L$  为风量 ( $\text{m}^3/\text{h}$ );  $A$  为测量截面面积 ( $\text{m}^2$ );  $Pdp$  为平均动压值 ( $\text{Pa}$ );  $\rho$  为空气的容重, 在  $20^\circ\text{C}$  条件下取  $1.2\text{kg}/\text{m}^3$ 。

测量截面在气流比较均匀稳定的直管上, 各测点动压值算术平均值即为风管平均动压  $Pdp$ 。

$$Pdp=(Pd_1+Pd_2+Pd_3+Pd_4+\dots+Pd_n)/n$$

通过以上方法核算出 AHU322A 空调机组送风量数值, 通过核算最终确定由于空调机组设备原因导致送风量偏小。经与空调厂家再次沟通, 厂家确认由于设备原因导致此情况, 统一安排人员至现场更换电机, 最终空调机组风量偏小问题得以顺利解决。

## 2.3 空调系统加湿量不足问题

### 2.3.1 洁净室湿度重要性

洁净室环境对暖通净化系统温湿度有严格要求, 普通洁净室湿度正常要求为 40%~60%, 在此湿度范围可以有效抑制细菌生长。对于生物医药洁净室而言相对湿度如无法控

制,则无法通过 GMP 验证,将严重影响厂房的投入使用以及产品质量。

### 2.3.2 空调加湿量核算

福建基诺厚普项目空调系统在调试过程中出现 AHU531 空调系统相关房间湿度冬季白天最高维持在 40%,低于设计湿度所要求的 50% 要求,空调机组加湿量不足的情况。出现此种情况后首先对设计加湿量进行校核。

从图 2 可知状态点 I 至状态点 J 为空调加湿的过程, G 为回风状态点, H 为回风与新风混合状态点, K 为空调送风状态点,通过查焓湿图以及混合状态点空气参数的计算方式得出各空调功能段空气状态点具体参数如表 1 所示。

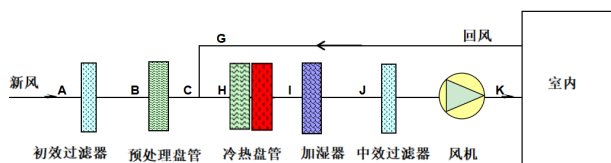


图 2 空调机组运行示意图

表 1 空调状态点参数表

冬季	A	B	C	G	H	I	J	K
风量 G (m <sup>3</sup> /h)	2000	2000	2000	1000	3000	3000	3000	3000
温度 T (°C)	-4	-4	-4	22	4.7	30	30	31
绝对含湿量 AH (g/kg)	2.1	2.1	2.1	8.2	4.1	4.1	8.2	8.2
相对湿度 RH (%)	75	75	75	50	77.7	15.6	31	29.3
焓 H (kJ/kg)	1.1	1.1	1.1	43	15	40.7	51.1	52.2

加湿量计算公式如下:

$$M=G \times \rho \times \Delta AH \times K$$

式中, M 为加湿器量 (kg); G 为风量 (m<sup>3</sup>/h); ρ 为空气的容重,在 20°C 条件下取 1.2kg/m<sup>3</sup>; ΔAH: 空调加湿器前后两个状态点绝对含湿量差值 (g/kg); K 为加湿器加湿量调整系数,取值 1.1~1.2。

通过以上公式可以计算出加湿器加湿量:

$$M=3000 \times 1.2 \times (0.0082-0.0041) \times 1.2=17.7\text{kg/h}$$

通过以上方法核算,空调机组 AHU531 加湿量参数完全满足湿度要求从而排除空调机组加湿量设计不足问题。

### 2.3.3 空调加湿量不足问题解决方案

排除加湿量设计偏小问题后,对空调系统安装及调试过程进行重新检查。经检查发现此组合式空调机组吊装于房间吊顶内,吊顶空间狭小,夹层风管及相关管道众多,空调箱上原回风口由于空间受限,无法接回风管道,因此将空调回风管道接至空调新风管道上,空调新风阀门与回风总阀在压差调试过程中全部调整为全开状态。考虑新风管尺寸大于回风管尺寸,因此,考虑此空调新风量可能大于设计风

量。通过对空调箱新风口风速测量,计算出空调新风量比设计新风量大。因此通过调整新风回风阀门开度,将空调机组新风量减少约 1/3 后房间湿度上升至设计值,系统运行正常<sup>[2]</sup>。

## 2.4 房间温度过低问题

### 2.4.1 项目基本信息介绍

净化空调系统温度对工艺生产以及生产人员舒适性存在很大影响,在空调系统调试过程中房间温度过高、温度过低也是非常常见问题。上海赛增医疗科技有限公司研发中心项目为长春金赛药业在上海新建研发中心总部项目,项目装修面积 1500m<sup>2</sup>,施工范围包括洁净室以及普通装修两部分。

### 2.4.2 空调盘管制冷量核算

此项目空调 AHU301 在满负荷运行情况下,出现冬季实验室温度偏低情况,房间温度始终维持在 19°C 以下。为解决此问题,首先对机组冷热源运行情况、自控系统以及风阀、过滤器等安装情况进行检查,通过检查均未发现异常,因此考虑对空调机组设计参数进行检查。通过计算空调机组送风量以及空调机组出风口与室内状态点的焓差,根据空调负荷计算公式:

$$Q=G \times \rho \times \Delta I$$

计算出此台空调机组盘管制冷量为 23kW,现场核对空调机组铭牌上空调盘管制冷量为 19kW,因此得出房间温度偏低是空调机组热量计算偏小所引起。

### 2.4.3 房间温度过低问题解决方案

将现场检查情况反馈于设计师,设计师重新对空调参数进行计算,最终确认此问题。随即组织设计师与设备厂家针对设备加热功率不足问题召开专题会议,讨论处理方案。由于更换空调机组加热盘管费用及货期较长,经各方讨论决议,解决处理方案为在空调机组内新风口位置增加电加热及电气控制配件,新增电加热功率为 6kW,最终房间温度过低问题得以解决。

## 3 空调水系统问题与处理方案

### 3.1 空调水系统介绍

空调水系统作用主要为空调末端设备提供冷热源,将空调主机冷热源通过水系统管道输送至空调末端设备,再将空调末端设备热量通过水系统管道输送回空调主机,从而实现室内环境的温度控制。空调水系统由两部分组成,包括冷冻水系统和冷却水系统。

#### 3.1.1 冷冻水系统组成及原理

冷冻水系统主要包括冷冻水管道、机组蒸发器、空调末端设备。低温冷冻水从热泵机组蒸发器流出,通过冷冻水泵输送进冷冻水管道内,通过冷冻水流动将冷量带入室内,从而降低房间温度,最后将热量带回空调主机蒸发器。

#### 3.1.2 冷却水系统组成及原理

冷却水系统部分包括冷却水管道、冷却水泵、冷却水塔及空调冷凝器等组成。冷冻水系统通过水系统带走室内大

量的热量，带回空调主机。此热量通过热泵主机换热器传给冷却水系统，因此冷却水温度升高。冷却水泵通过冷却水管网将升温后的冷却水输送进冷却塔，冷却塔与室外大气进行热交换，从而实现降低冷却水管网水温效果。

### 3.2 空调水系统水容量不足问题与解决方案

#### 3.2.1 项目基本信息介绍

和元生物技术（上海）股份有限公司是一家聚焦基因治疗领域的生物科技上市公司。基因治疗药物开发实验室建设项目装修工程为和元生物新建 GMP 实验室项目，装修面积 1600m<sup>2</sup> 共 4 层，全部为洁净室装修，洁净等级 C 级。此项目共有四管制风量热泵机组 9 台，组合式空调机组为 8 台，冷热水系统水泵共计 6 台。

#### 3.2.2 水容量不足问题原因分析

此项目空调水系统调试过程中出现风冷热泵主机在末端空调内机一半以上关机情况下，风冷热泵主机经常出现出水温度低报警情况，影响空调系统正常运行。经现场检查发现在所有末端空调内机开启的情况下，风冷热泵主机 10~15min 启停一次，启停较为频繁，根据经验此种情况可能与空调水系统水容量不足有关。

#### 3.2.3 空调水系统水容量核算

空调系统水容量大小直接影响主机制热时间即主机启停时间的长短，因此对空调机组的水容量进行核算。根据热量公式：

$$Q=C \times M \times \Delta T$$

可以得出在水系统升温 5℃ 情况下，水流量 L (m<sup>3</sup>/h) = Q (kW) × 0.172，因此 1kW 热量可以将 0.172m<sup>3</sup> 水一个小时内升温 5℃。

由于关于空调系统水容量计算目前暂并无准确的计算规则，需结合空调主机设备性能以及设计要求决定。水容量并不是越大越好，空调水系统水容量越大空调主机启停间隔越长，空调主机启动对水系统升温处理的时间。为避免空调外机频繁启停，笔者结合理论计算、相关经验及空调设备厂家技术人员提供意见，得出可按照空调主机 1kW 冷量对应 15~25L 水经验值考虑冷冻水系统水容量。

#### 3.2.4 空调水系统水容量不足问题解决方案

根据计算空调冷冻水系统实际所需水容量约 4.2m<sup>3</sup>，但原水系统设计水容量仅为 2.8m<sup>3</sup>，因此确定原水系统水容量

偏小。后经与设计院沟通确认，原水系统增加一台 1.5m<sup>3</sup> 储能水箱，最终水系统运行正常。

### 3.3 水流不足问题原因分析

空调水系统在运行过程中，水流不足报警也是水系统常见问题，水流不足报警将导致主机无法正常启动，对房间温湿度控制造成严重影响。引起水流不足报警原因很多，本处主要阐述常见几种典型原因：

①水流开关自身问题，如触头螺丝的过紧以及水流开关插入管道内弹片的长度过长等。

②主机、水泵及空调末端过滤器堵塞问题。

③管道内空气未排尽，特别管道系统最高点位置务必设置排气阀。

④主管压差旁通阀开度问题。

具体问题需根据现场实际情况进行具体分析，只有找到问题本质，才能采取针对性处理方案<sup>[1]</sup>。

## 4 结论与建议

运行正常的净化暖通系统可以为精密仪器设备制造提供恒温恒湿系统环境，可以满足生物医药等对高洁净度、低细菌浓度的要求，对洁净室正常使用至关重要。净化暖通系统组成复杂，在施工及运行调试过程中会出现各类问题，只有对暖通系统原理充分了解且具有一定的现场管理经验才能快速有效地处理问题。论文主要对暖通系统常见问题进行简单分析与总结，供大家在处理暖通系统调试运行过程出现问题时提供解决思路，并作为参考。同时暖通技术方面新的技术、新的设备材料、新的工艺推陈出新，我们每一个暖通人员只有在工作中不断学习并总结经验，才能适应净化暖通系统对专业技术能力越来越高要求，为祖国暖通技术发展贡献自己的力量<sup>[4]</sup>。

### 参考文献

- [1] GB 50591-2010 洁净室施工及验收规范[S].
- [2] 中华人民共和国建设部.组合式空调机组[M].北京:中国标准出版社,2009.
- [3] 中华人民共和国建设部.通风与空调工程施工质量验收规范[M].北京:中国计划出版社,2002.
- [4] 国家食品药品监督管理总局药品认证管理中心.厂房设施与设备[M].北京:中国医药科技出版社,2011.