

# 互补空调系统及其设计方法

谭超毅, 王志勇, 唐芬南

(湖南工业大学 土木工程学院, 湖南 株洲 412008)

**摘要:** 互补空调系统是在空调系统出现局部设备故障时,不采用备用设备,而是依靠空调机组的富裕量和管网设计,使系统具有自动补偿功能,以确保工艺条件不产生重大波动的空调系统。它解决了在空调系统出现局部设备故障的情况下工艺条件波动的难题。介绍了两类互补空调系统的工作原理及其设计方法。

**关键词:** 互补空调系统; 设计方法; 均匀性; 设备故障

**中图分类号:** TU831.7

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-9833(2007)02-0031-04

## Complementary Air -Conditioning System and Its Design Method

Tan Chaoyi, Wang Zhiyong, Tang Fennan

(School of Civil Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412008, China)

**Abstract** Complementary air -conditioning system relies on wealth quantity and tube net design without the condition of prepared equipment when the partial equipment fault takes place in air -conditioning system. The system has automatic compensation function that the larger fluctuation will not happen under condition of craftwork assurance. Through this way, the fluctuation problem of process conditions under partial equipment faults in the air -conditioning system is solved. At last, the working principles and design methods of two kinds of complementary air-conditioning systems are introduced.

**Key words:** complementary air -conditioning system; design method; uniformity; equipment fault

## 0 前言

目前,工业生产中多采用集中式空调系统<sup>[1]</sup>。空调器一般布置在车间的四角。这种布置的优点是送风管道比较节省,因而投资较少。但是,长期运转的设备,总会因设备故障<sup>[2]</sup>而引起工艺条件的波动,对产品质量以空调均匀性为重要影响因素的场合(如粘胶纤维生产、纺织织布生产、电子元器件生产、高精密性的机加工生产、以及其他化工生产的场合)将造成产品质量下降<sup>[3]</sup>,给企业造成较大的经济损失。

如何克服因设备故障给生产造成的影响,目前一般从以下两方面加以解决。一是增加设备备台,即每个独立系统增加一组(风管除外)备用系统。这样,可以较好地解决设备故障引起工艺条件波动的问题,但需增加空调设备和基建投资。二是空调系统的设备采取多台、小型号的设备。采用这种设计时,如果其中

一台设备发生故障,它的影响区域小,不致引起工艺条件的太大波动,但也会增加设备台数和设备安装场地,导致投资增加。

## 1 互补空调系统工作原理及设计方法

### 1.1 互补空调系统

互补空调系统大致可以分为两类:一类为叠式互补系统,另一类为根据空调场地设计的管网互补系统,见图1所示。

#### 1.1.1 叠式互补空调系统构造与工作原理

叠式互补空调系统如图1 a)、b)所示,它对称布置在车间的两端,主管道逆向相向,在末端相互重迭,管道重迭部分用多个单向阀两两正反安装,把管道连接起来。在不重迭的主管上对称引出支管,如图1 a);狭长形的车间也可单向引出支管,在重迭的主管上单

收稿日期: 2007-02-10

作者简介: 谭超毅(1956-),男,湖南邵阳人,湖南工业大学教授,硕士,主要从事建筑环境与设备工程的教学和科研工作。

向引出支管，分别引向一片区域，如图1 b)。其工作原理为：空调系统设备正常运行时，两主管道风压基本相等，单向阀在对称压力作用下处于密封状态；当其中一台设备出现故障而停运检修时，两主管道的风压不相等，设备发生故障一侧的风压低。单向阀打开，风从风压高的风管流向风压低的风管，两主风管在风压相等处重新达到平衡。压力平衡处即为空调分界线，各自担负平衡线以内支风管的送风和空调任务。只要对空调器的送风温度和湿度加以调节，就可以使车间的温湿度迅速达到工艺要求。这样，通过单向阀的作用，即使一台设备发生故障，车间内的工艺条件也不会产生大的波动，解决了温湿度不均匀引起产品质量降低和实验无法进行的难题。

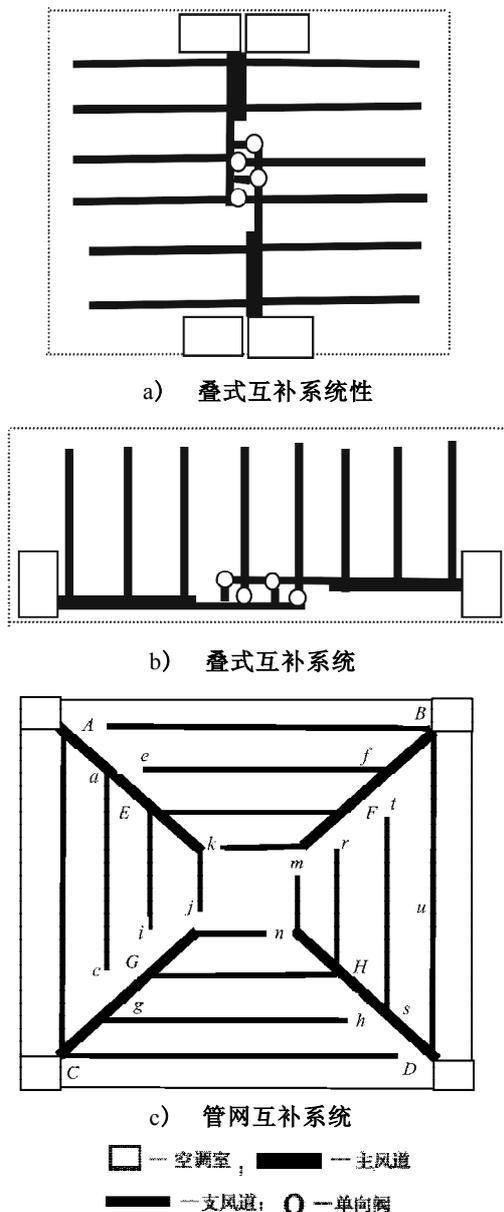


图1 互补空调系统几种形式  
Fig. 1 Several kinds of complementary air-conditioning system

### 1.1.2 管网互补空调系统构造与工作原理

管网互补空调系统如图1c)所示。它是用4根管道AC、BD、EF、GH将各区独立的送风管连成一个送风管网，在其中任意台空调器发生故障时，只要关闭该空调器送风出口处阀门，其它3台空调器就可以通过连通管，承担起故障机台区域的空调任务。在图1c)所示情况下，假设C空调器发生故障，A空调器将承担AC、CD、gh、ac区域空调；B空调器将承担BA、Bu、fe、FE、Ei、kj、mk区域空调；D空调器将承担Du、st、HG、jn、Hr、nm区域空调。假设D空调器发生故障，也可以得到类似的区域划分。从图中可以看出，虽然每台空调器承担的管线根数不一样，但管线总长度大致是相等的。

### 1.2 互补空调系统的设计

互补空调系统的设计是以一台空调器发生故障后仍能保证工艺条件不发生大的波动作为设计依据的。因此，不论哪种互补空调系统，设计的关键问题是确定空调器的富裕量、空调器(含送风机)的台数。

#### 1.2.1 空调器的富裕量和台数的确定

为了确保空调系统在其中一台设备(包括空调器、风机、管道等)发生故障而停止运行的情况下所担负的空调区域工艺条件波动不大，或波动在允许的范围内，必须具备两个条件：第一，每台空调器的调节能力在设计负荷下有一定富裕量；第二，工艺条件的波动有一定允许范围，且不能太小。第一种条件适合于工艺条件不允许太大波动，其初步投资额相对较大；第二种条件适合于空调器在满负荷工作下允许工艺条件有一定波动，其投资额较小。

1) 工艺条件不允许太大波动条件下，空调器富裕量和台数的计算<sup>[4]</sup>

在一台空调器发生故障情况下，由余下的空调器担负整个的空调任务，且不允许工艺条件产生太大的波动。空调系统布置如图1a)所示。假设整个车间的冷(热)负荷为Q，每个空调室安装有N台空调器，整个系统共有2N台空调器来承担整个车间的冷(热)负荷。每台空调器承担的额定冷(热)负荷为Q'，它的富裕量为ζ。在一台设备发生故障时，由2N-1台空调器负担原来的冷(热)负荷，按冷(热)负荷平衡有如下等式： $2N Q' = (1 + \zeta)(2N - 1) Q' = Q$ 。

根据场地安装设备的台数来计算空调器应具有 的富裕量为：

$$\zeta = \frac{2N}{2N-1} - 1 = \frac{1}{2N-1} \quad (1)$$

或由先定好的空调器富裕量来计算空调器的台数为

$$N = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{\zeta} + 1 \right) \quad (\text{加}0.5\text{后四舍五入取整}) \quad (2)$$

在实际设计中, 通常是按照场地安装设备的台数来计算空调器应具有富裕量, 然后根据富裕量计算每台空调器承担的冷(热)负荷, 再按有关设计规定设计空调系统的加热加湿设备或冷却除湿设备。

2) 工艺条件波动有一定允许范围情况下, 空调器负荷和台数的计算

工艺条件波动有一定允许范围情况下, 空调器负荷和台数的计算是以工艺条件允许的波动, 引起可减少的负荷来抵消减少一台空调器的影响。因此, 只要将每台空调器的负荷设定为允许减少的负荷即可。若空调系统的布置如图 1a) 所示, 整个系统仍有  $2N$  台空调器, 整个车间的传热系数为  $K$ , 传热面积为  $F$ , 环境设计温度为  $t$ , 车间工艺温度为  $t_0$ , 工艺允许波动温度为  $\Delta t$ , 不考虑空调器(含风机)减少一台后排风量和回风量变化带来冷(热)负荷变化的影响。原设计的冷(热)负荷为  $Q$ , 则  $Q = KF(t - t_0)$ 。

减少一台空调器后, 工艺允许温度波动  $\Delta t$ , 冷(热)负荷  $Q'$  为  $Q' = KF[t - (t_0 + \Delta t)]$ , 冷(热)负荷变化量为  $\Delta Q$ , 即为一台空调器的设计负荷。有:

$$\Delta Q = Q - Q' = KF\Delta t。$$

按减少一台空调后冷(热)负荷平衡, 有:

$$Q' = (2N-1)\Delta Q,$$

则每个空调室需安装空调器的台数  $N$  为,

$$N = \frac{Q'}{2\Delta Q} + 1 = \frac{t + \Delta t - t_0}{2\Delta t} + 1 = \frac{t - t_0}{2\Delta t} + \frac{3}{2}。 \quad (3)$$

从公式(3)可以看出: 若  $t - t_0$  与  $\Delta t$  量级差别大, 则  $N$  很大, 这是行不通的。因此, 把  $(t - t_0)/(2\Delta t)$  作为判断空调系统能否在空调器没有富裕量的条件下进行允许工艺条件有一定波动范围设计的判断依据。若  $J$  取值范围为  $1 \sim 4$ , 则可在空调器没有富裕量的条件下进行这种设计, 否则要按下述 3) 方法进行设计。

3) 工艺条件波动允许负荷减少情况下, 空调器的富裕量和台数的计算

工艺波动允许负荷减少情况下, 空调器的富裕量和台数的计算原理是: 将工艺条件允许波动而减少的负荷从车间整个负荷中剔除, 并把剔除后的新负荷作为设计负荷。设计负荷由  $2N$  台空调器承担, 在其中一台空调器发生故障后, 由  $2N-1$  台空调器的富裕量来填补一台空调器负荷。假定空调系统原设计的冷(热)负荷为  $Q$ , 且由  $2N$  台空调器承担, 每台空调器的负荷为  $\frac{Q}{2N}$ 。因工艺条件允许的波动引起的冷(热)负荷变化

量  $\Delta Q$  为:  $\Delta Q = KF\Delta t$ , 将  $\Delta Q$  从设计负荷中减去, 即为新的负荷  $Q^* = Q - \Delta Q$ 。

由  $2N-1$  台且具有富裕量的空调器来承担新的冷(热)负荷, 即有负荷平衡式:

$$Q^* = Q - \Delta Q = (2N-1)\left(1 + \zeta\right) \frac{Q}{2N},$$

$$\text{经整理为: } \frac{\Delta Q}{Q} = \frac{1}{2N}(1 + \zeta) - \zeta,$$

$$\text{或 } \zeta = \frac{1 - 2N \frac{\Delta Q}{Q}}{2N - 1}, \quad (4)$$

$$\text{或 } N = \frac{1}{2} \times \frac{1 + \zeta}{\zeta + \frac{\Delta Q}{Q}} = \frac{1}{2\left(\zeta + \frac{\Delta Q}{Q}\right)} + \frac{\zeta}{2\left(\zeta + \frac{\Delta Q}{Q}\right)}。 \quad (5)$$

当  $\frac{\Delta Q}{Q} = 0$  时, 式(4)、(5)即为式(1)、(2)。

### 1.2.2 叠式互补系统的其它设计

#### 1) 重迭风管长度的计算

设每个空调机房安装有  $N$  台空调器(含送风风机等设备),  $2$  个机房安装有  $2N$  台空调器。其中  $1$  台发生故障, 由余下的  $2N-1$  台空调器来担负全部任务, 每台空调器所应担负的任务为  $\frac{1}{2N-1}$ 。车间布置主管道的

长度为  $L$ , 重迭部分长度为  $L_1$ , 那么有:  $L_1 \geq \frac{L}{2N-1}$ 。

#### 2) 单向阀的数量和安装单向阀管道横截面积之和

单向阀的数量是由安装单向阀管道横截面积之和、主管管的末端大小、单向阀的大小等因素决定的。设需安装的单向阀的直径(或正方形的边长)为  $H$ , 个数为  $N_1$ , 正反方向安装单向阀的个数为  $2N_1$ , 那么它应满足  $N_1 < \frac{L_1}{2H}$  约束条件。

安装单向阀管道横截面积之总和应大于重迭主管所引出支管横截面积之和。设支管的横截面积为  $S_1$ , 两主管道(长度为  $L$ )上共向两侧引出  $N_2$  条支管, 则安装单向阀管道横截面积之和  $S$  为:

$$S \geq \frac{L}{2N-1} \times \frac{N_2}{L} \times S_1 = \frac{N_2 S_1}{2N-1},$$

单向阀及连接管的截面积  $S_2$  的约束条件为:  $S_1 \leq S_2 \leq \frac{S}{2N_1}$ 。

#### 3) 单向调节阀及阀片的设计与安装

单向调节阀的结构示意图如图 2 所示。

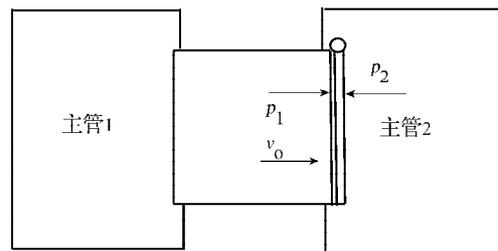


图 2 单向调节阀的结构示意图

Fig. 2 The structural drawing of check adjusting valve

假设连接支管和单向调节阀为矩形(其他形状的

阀片也可类似计算), 阀片一边铰接在矩形管道的一条边上, 可以单向摆动。在阀片上或管道的法兰上粘贴有密封件, 如橡胶板等。当主管2的压力 $p_2$ 大于主管1的压力 $p_1$ 时, 单向阀关闭。当主管2的压力 $p_2$ 小于主管1的压力 $p_1$ 时, 单向阀开启。由于送风管道压力不是很大, 加上两侧都有压力, 其压差就更小。利用这种压力去推开调节阀阀片, 而且要推开相当大的角度, 对于阀片的重量就有一定限制。主管2的压力 $p_2$ 小于主管1的压力 $p_1$ 时, 相当于向主管2送风的设备发生故障的情形, 作用在阀片上的压力差和阀片的重力将在某个位置达到平衡。设阀片摆动到角度为 $\alpha$ 时达到平衡, 即风压差产生的转动力矩等于重力产生的反转动矩, 有如下关系式:

$$\int_A (p_1 - p_2) h \cos \alpha dA = \int_0^H (p_1 - p_2) b \cos \alpha h dh = \frac{(p_1 - p_2) b \cos \alpha h^2}{2} = \frac{S \rho \delta h \sin \alpha}{2} \tan \alpha = \frac{p_1 - p_2}{\delta \rho} \quad (6)$$

式中 $\delta$ 、 $\rho$ 分别为阀片的厚度和重量。

从式(6)中可知, 因 $p_1 - p_2$ 很小, 若材料的重量大, 厚度也设计得太厚, 则阀片的摆角很小, 将影响调节效果。因此, 在选定材料后, 往往是摆角设定为某一定值, 如 $45^\circ$ 或 $60^\circ$ , 再求阀片的允许厚度, 即:

$$\delta = \frac{p_1 - p_2}{\rho \tan \alpha}, \text{ 这就是阀片厚度的设计公式。}$$

单向调节阀的安装一定要保证阀片转轴与铅垂面垂直, 阀片所在平面逆时针方向倾斜一定角度 $\beta$ 。这是保证当两主管压差不大时, 阀片能依靠自身重量压紧在密封面上。 $\beta$ 由 $\beta = \arcsin \frac{p_1 - p_2}{\delta \rho}$ 计算。可见, 当

阀片的材料和厚度确定后, 安装倾角只是压差的函数。

### 1.2.3 管网互补空调系统的其它设计

#### 1) 连通管位置的选取

管网互补空调系统的核心是利用管网的连通作用, 将风送往故障机台承担的空调区域。为了减少管道投资, 并不是将所有管道都连通, 而是选择几根支管作为连通管。其设计原则是: 能顺利将 $N$ 个空调区域转换为 $N-1$ 个空调区域, 且每个区域的面积尽可能相等。现以4个空调区域转换为3个空调区域为例加以说明(见图1c)。首先, 选择对称边上的2根最外围支管作连通主管, 这是能迅速将相邻一台空调风送往故障机台区域的主要连接管, 因此, 整个系统有2根就够了; 其次, 选择另一对称边靠内环的支管作辅助连接管, 将其它机台的送风均匀分配到其它空调区域, 其位置由下式决定:

$$L = \frac{N \cdot m}{N-1} - m = \frac{m}{N-1} \quad (\text{取整}),$$

式中:  $m$  为分区空调管网的支管数;

$N$  为空调器台数或原分区数。

若 $m=5$ , 则 $L$ 取2, 即以靠最里边的第二根支管作连通管, 依此类推。

#### 2) 连通管大小的计算调整方法

在按常规设计方法计算空调送风管各管段大小后, 充当连通管的管道要重新设计计算。一般是保留其它管径(或截面尺寸)大小不变, 只对连通管的大小加以调整。按照连通管与主管在连接处连接前后阻力相等的方法来增大连通管的尺寸。具体步骤如下<sup>[5]</sup>:

①计算连通管及其后面管道的送风量并求和;

②按照连通管与主管在连接处连接前后阻力相等的方法, 选择该管线最长的一路作计算阻力的管线;

③初定风速反复进行迭代试算, 直至阻力符合设计要求;

④用求得的风速和流量计算连通管截面尺寸。

## 2 结论与探讨

利用空调机组的富裕量和管网设计, 使空调系统具备自动补偿功能, 实现空调系统互补是完全可以做到的。互补式空调系统在出现局部设备故障时可以确保工艺条件不产生大的波动。它解决了在空调系统出现局部故障的情况下工艺条件波动的难题。

互补空调系统设计简单, 操作便利, 且增加的投资不多, 是一种值得研究完善和推广的设计方法。

本文所提出的互补空调系统的设计方法仅局限于一些场地规范、风管布置简单的场合。对于一些条件不同的场合, 是否可以采用本方法还有待进一步的探讨和实验。

### 参考文献:

- [1] 成藻, 施俊良. 某高大厂房的空调设计与运行[J]. 暖通空调, 1998, 28(4): 53-55.
- [2] 郝高麟. 集中式空调机多发故障的判断与排除[J]. 电子世界, 2005(8): 69.
- [3] 袁东升, 白钰. 工厂车间通风、空调系统的优化与改造[J]. 河南理工大学学报, 2005, 24(5): 347-350.
- [4] 谭超毅. 具有自动补偿功能的纺丝车间空调系统设计探讨[J]. 人造纤维, 2004(1): 27-30.
- [5] 付祥钊. 流体输配管网[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.