

组合式空调机组的参数优化设计

龚延风 刘金祥

(南京建筑工程学院)

[摘要] 本文分析了对组合式空调机组性能产生影响的主要因素,从系统论的观点出发提出了机组的优化模型,通过对模型的计算,分析了空气流量、管路阻力、使用寿命、资金利率对机组性能的影响程度,得到了在不同情况下,机组运行参数的最佳配置。

[关键词] 组合式空调机组 参数分析 经济性 评价模型

组合式空调机组(以下简称机组)是集中式空调系统的关键设备。它为系统提供了所需的冷量、热量,为空气提供流动动力,具有空气处理的所有功能。它是风路系统中造价最高的设备,同时又是系统中最大的阻力部件,其造价约占系统的50%~70%,风阻约占系统的30%~50%。机组性能水平的高低对整个空调系统的影响是关键性的,不仅涉及到能否为系统提供足够的冷热量,达到技术要求,而且确定了整个系统运行的经济效益水平。

影响机组性能的因素是多方面的。(1)机组的结构形式、箱体材料、内部设备连接方式。这些因素决定了漏气量、保温隔热效果、耐腐蚀能力、使用寿命、及断面气流的均匀程度;(2)单体设备的先进性。机组的核心设备是冷热换热器和风机。国内厂家基本上采用COP系数较高、单位体积、单位重量制冷量都较大的双翻边铜管套铝片表冷器,表冷器的结构参数、肋片形状基本相似,仅在加工质量上有所区别。风机的种类很多,但普遍存在着体积大、噪声高的缺点。(3)设备运行参数的合理配置。前二点易于为人们所关注,构成了人们评断机组性能的主要标准而常常忽略了这一点。其实,作为系统中的一个局部、局部的优化并不一定导致系统的优化。优良的设备没有经过合理的组织匹配也不能取得良好的效果。同时,机组又是整个空调系统的一个环节,机组的性能优化必须服从于系统总的利益目标。即机组运行参数的配置不仅限于机组本身,还要受系统总的利益目标的制约,本文主要针对这点进行分析探讨。

1 机组参数分析

对于一个具体的工程实践,通常是在给定

冷量、热量、风量、空气进出口温度、冷热水进口温度的条件下配置空调器的内部设备,此时尚需确定的参数是空气断面流速、冷冻水流速及温升。因此,在设备的构造形式确定后,运行参数的配量就在于合理地确定这三个参数。

空气的断面流速影响广泛。它对表冷器的传热系数、传热面积、空气流动阻力,机组断面尺寸、框架面积、过滤器的空气阻力都有影响。因此,空气断面流速是一个对机组有全局影响的参数。冷冻水的流速与温升主要影响到表冷器的传热系数、传热面积、水路阻力及冷冻水流量。换热器内水流速的影响仅限于机组本身。而冷水温升的影响却延伸至机组外。因为冷水温升是在表冷器中完成的。水温升一定,则系统总的冷冻水流量被确定,则水路输送动力的消耗也随之确定。因此,在设计机组时,对水温升的设置仅局限于机组本身是不够的,要从减少整个水路系统的动力消耗、减少管材的目标来考虑。换热器的水流速与水温升存在着一定的依赖关系。它们取决于换热器水管路的布置连接方式;如表面管长,水行程数。由于其方式的多样性,也由于实验条件限制,目前尚未能明确二者之间的定量关系。现在国内换热器采用的结构形式一般为单管路、管程与排数相同的布置方式。这种方式构造简单、连接方便,但是冷水温升通常只有2~3℃,实践证明是偏低的。本文把水流速与水温升作为二个独立的参数,使其不依赖于某一具体结构,计算结果可作为表冷器的结构设计要求。

2 机组的经济效益评价模型

一切生产过程的核心是经济效益问题,对

机组而言,经济效益表现为在满足系统的冷、热量、风量、压头等技术要求时,在其制造、运行直到报废的整个生命周期内,社会各方面总支出的费用尽量少。本文不采用能量效益、单位重量/体积制冷量作为评价指标。因为它们或者侧重于制造过程的费用,或者侧重于运行过程的费用。未能完善地反映二者之综合影响,本文采用费用现值法(PVC法),不仅计算制造成本,而且计算在寿命期内的运行总费用。考虑到资金的时间价值,为便于比较,把运行费用折算为与制造成本同期的费用。

机组的费用现值模型:

$$PVC = M_c + \sum_{j=1}^y R_c (1+i)^{-j} = M_c + \frac{(1+i)^{y+1}}{i(1+i)^y} R_c \quad (1)$$

式中 PVC——机组的总费用现值(元);

M_c ——机组的制造成本(元);

R_c ——机组每年的运行成本(元);

y ——机组的使用寿命(年);

i ——资金的贴现率(利率)。

机组的优化设计即是在以式(1)为目标函数,在约束条件:

$$1 < V_y < 3.5 \quad (\text{m/s}) \quad (2)$$

$$0.5 < W < 1.5 \quad (\text{m/s}) \quad (3)$$

$$4 < \Delta te < 10 \quad (^\circ\text{C}) \quad (4)$$

式中 V_y ——空气断面流速;

W ——表冷器内水流速;

Δte ——冷冻水温升。

在上述数值范围内寻找恰当的参数匹配,使机组的总费用最小,按照确定的 V_y 、 W 、 Δte 再确定机组内各设备及外形尺寸。

3 费用现值的计算

3.1 制造成本

制造成本包含的成份很多。文中仅计算与运行参数有关的项目,与之无关或关系很小的项目则忽略不计。因为它们在评价模型中仅作为常数项出现,对计算结果不产生影响。比如过滤器风速在一定的风速范围内,对制造成本几乎没有影响。空气阻力虽与风速大小有关,但无论采用多大的风速,过滤器阻力总在一个相对固定的范围内变化,因为阻力达到一定值时,过滤器即要清洗更换。

3.1 箱体材料费用 $cost_1$

$$cost_1 = F_1 = 4.017 \sqrt{\frac{G}{V_y}} Le_1 \quad (5)$$

式中 F_1 ——箱体展开总面积, m^2 ;

G ——空气流量, m^3/s ;

L ——箱体长度 m ;

e_1 ——箱体材料单位面积造价, $\text{元}/\text{m}^2$ 。

3.1.2 表冷器制造费用 $cost_2$

$$cost_2 = F_2 e_2 = \left[\frac{1}{A_1 V_y a \zeta} + \frac{1}{B_1 W^c} \right] \frac{Q_L}{\Delta t} e_2 \quad (6)$$

式中 A_1 、 B_1 、 a 、 b ——表冷器传热系数中的有关系数;

ζ ——析湿系数

Q_L ——表冷器的冷量, W ;

e_2 ——表冷器单位散热面积的的造价, $\text{元}/\text{m}^2$ 。

制造成本:

$$M_c = cost_1 + cost_2 = 4.017 \sqrt{G/V_y} L e_1 + \left[\frac{1}{A_1 V_y a \zeta} + \frac{1}{B_1 W^c} \right] \frac{Q_L}{\Delta t} e_2 \quad (7)$$

3.2 运行费用计算

3.2.1 空气阻力

(1)表冷器空气阻力

$$\Delta P_1 = A_2 B_2 V_y^f \rho^g p_a \quad (8)$$

式中 A_2 、 B_2 、 f 、 g ——系数和指数。

(2)箱体空气阻力

$$\Delta P_2 = \sum \zeta \frac{\rho V_y^2}{2} \quad \text{Pa} \quad (9)$$

式中 $\sum \zeta$ ——箱体的总阻力系数,通常取 10 ~ 20;

ρ ——空气密度, kg/m^3 。

总的空气阻力:

$$\Delta p_a = \Delta p_1 + \Delta p_2 = A_2 B_2 V_y^f \rho^g + \sum \zeta \frac{\rho V_y^2}{2} p_a \quad (10)$$

3.2.2 水阻力

1. 表冷器水阻力

$$\Delta p_3 = A_3 W^r [EL + NG + 1.2(N/NG + 1)] p_a \quad (11)$$

式中 A_3 、 r ——系数和指数;

NG ——管行程数;

EL ——表面管长, m ;

N ——排数。

2. 机组外管路总阻力 Δp_4

$$\text{总的水路阻力 } \Delta p_w = \Delta p_3 + \Delta p_4 \quad (12)$$

3.2.3 年运行费

(1)总的动力消耗 Power:

$$\begin{aligned} \text{Power} &= \Delta P_a \rho G + \Delta P_w G_w \\ &= (A_2 B_2 V_y^f \rho^g p_a + \sum \zeta \frac{\rho V_y^2}{2}) \rho G + \\ &\quad \{A_3 W^r [EL + N/NG + 1.2(M/NG + 1)] + \Delta P_4\} Q_L / (C_p \Delta te) \quad W \quad (13) \end{aligned}$$

(2)年运行费:

$$R = \text{Power} C \tau \times 10^{-3} \quad (\text{元/年})$$

式中 C——电力价格,元/(kW·h)

τ ——年运小时,h

4 分析与讨论

选用国内常用表冷器结构形式:管径 $\Phi 16$,片距 3.14mm,管行程数与排数相等,在电价为 0.53 元,年运行时间 1500 小时,箱体材料单位面积造价 350 元,表冷器单位散热面积造价 3.30 元的条件下,对模型进行计算,计算采用复合形法。

图 1~图 4 分别反映了空气流量,管网水阻力,使用寿命,资金利率对运行参数的影响。随着空气流量的增加,运行费用在总费用中的比重增大,因此应适当增加初投资,使断面风速减小,冷水温升增加,从而降低运行费。风速从

2.4m/s 降至 2.2m/s 左右,冷水温升从 5.1℃ 升至 5.4℃,水流速从 1.2m/s 升至 1.45m/s,以补偿风速下降造成的冷量下降。管网水阻力的高低对冷水温升影响显著,上升过程近乎为直线,当水阻力从 0.1MPa 上升至 1MPa 时,冷水温升从 5℃ 增加至 6℃ 以上。随着水阻力的增加,冷水温升继续增大。随着使用寿命的延长,运行费用所占费用比重随之增加,要求冷水温升有所增大,空气流速有所下降,以减少这部分费用。资金的时间价值效果对运行参数的影响也很明显。这里的贴现率或称利率,除了指银行的利率外,还计入了通货膨胀的因素,通货膨胀造成货币量的增加,表现为利率的上升。从图 4 中可见,随利率的提高,空气断面流速有较大幅度的上升,冷水温升则呈下降趋势。即在高利率环境中,应当使初投资减少,运行费用可适当增加。

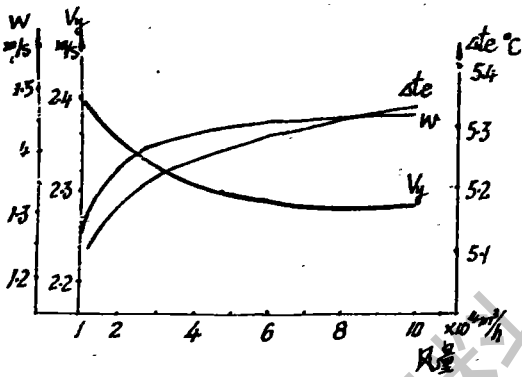


图 1

y = 15 年; i = 0.1; $\Delta p = 0.1 \text{MPa}$

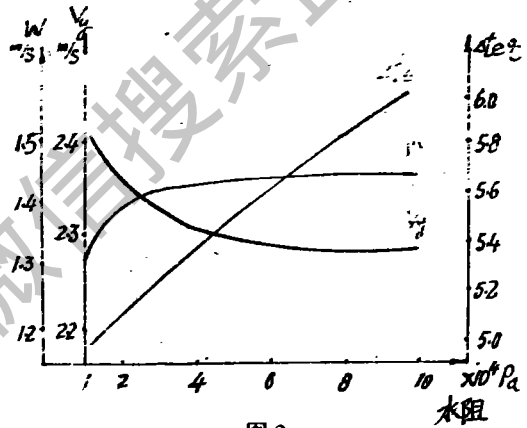


图 2

y = 15 年; i = 0.1; $G = 50 \times 10^3 \text{m}^3/\text{h}$

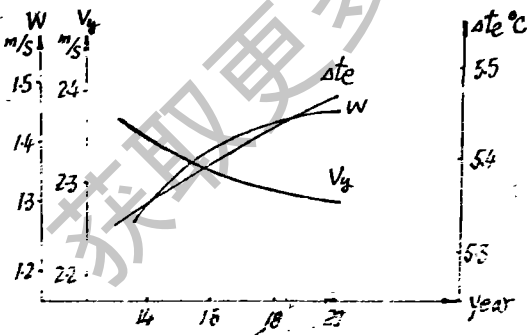


图 3

$\Delta p = 0.3 \text{MPa}$; i = 0.1; $G = 50 \times 10^3 \text{m}^3/\text{h}$

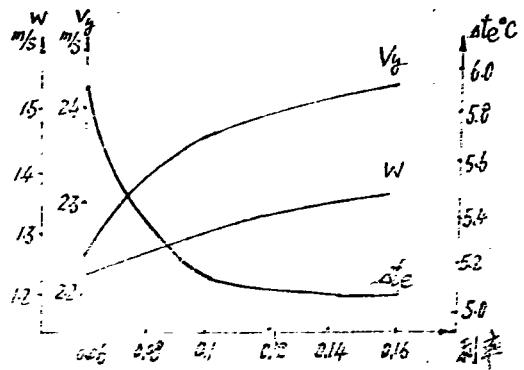


图 2

$\Delta P = 0.3 \text{MPa}$; y = 15 年; $G = 50 \times 10^3 \text{m}^3/\text{h}$

(下转 43 页)

$$W_1 = V_1/F_1 = 7.9/0.189 \\ = 41.8 \text{ m/s}$$

(21) 喷口前压力

$$P = 1.2 \times P_1 \cdot w_1^2/2 \\ = 1.2 \times \frac{1.2 \times 41.8^2}{2} \\ = 1254 P_a$$

(22) 喷射效率

$$\eta = \Delta\rho \cdot V_2/\rho V_1 \cdot w_1^2/2 \\ = 150 \times 14.6/1.2 \times 7.9 \times 41.8^2/2 \\ = 25.9\%$$

(23) 被喷介质管径

$$d_0 = 2d_3 = 2 \times 1.31 = 2.62 \text{ m}$$

(24) 喷射器出口直径

$$d_4 = 2d_3 = 2 \times 1.31 = 2.62 \text{ m}$$

(25) 废气进口收缩段长度

$$l_1 = 2d_3 = 2.62 \text{ m}$$

(26) 混合管圆柱段长度

$$l_3 = 3d_3 = 3 \times 1.31 = 3.93 \text{ m}$$

(27) 混合管收缩段长度

$$l_2 = 2d_3 = 2 \times 1.31 = 2.62 \text{ m}$$

(28) 扩散段长度

$$l_4 = 7d_3 = 7 \times 1.31 = 9.17 \text{ m}$$

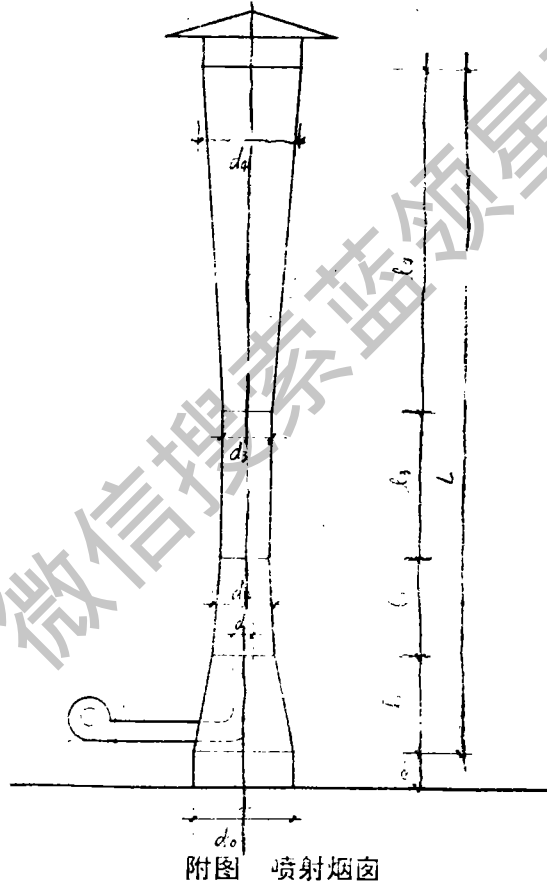
(29) 喷射烟囱总高

$$L = l_1 + l_2 + l_3 + l_4 \\ = 2.62 + 2.62 + 3.93 + 9.17 = 18.34 \\ \text{m}$$

3 结语

根据以上计算结果,笔者已完成了几项

设计实例,投产后经现场观察,效果明显,窑面操作环境清洁,窑罩内保持负压,粉尘无外溢,烟囱口排烟呈白色。遗憾的是由于条件限制未对排烟含尘量作实际测量,但从沉降室底部排灰口观察,可见粗颗粒粉尘不断送出,据操作人员目测,每日可回收原料约2~4吨,经济效益可观



(上接 33 页)

5 结论

(1) 本文建立的分析模型能够较好地分析各因素对系统经济性的影响,为空调器设计过程中合理地确定各运行参数提供了依据。

(2) 空调机组的参数配置不是一成不变的,随着系统容量的增大,运行费用成为系统总费用的主要部分,机组参数设计时应向

减少运行费用方向倾斜,但在高利率及存在通胀的环境中则相反。

(3) 在实际应用的许多工程中, $V_y > 2.5 \text{ m/s}$, $\Delta t_e < 5^\circ\text{C}$ 是值得改进的。在现有条件下,一般 V_y 为 $2.2 \sim 2.4 \text{ m/s}$, Δt_e 为 $5 \sim 6^\circ\text{C}$, W 为 $1.2 \sim 1.4 \text{ m/s}$ 应是机组设计和表冷器制造时追求的目标。

参考文献

- [1] 戚昌智. 建设工程现代设计法. 建工出版社, 1988
[2] 陆耀庆. 实用供热空调设计手册. 建工出版社, 1993