

文章编号:1007-1385(2006)02-0006-03

飞机环境控制系统出口温度计算方法

刘宝霞¹ 李运祥²

(1. 沈阳航空工业学院沈阳航达机载设备公司, 辽宁 沈阳 110034; 2. 南京液压工程技术中心, 江苏 南京 210011)

摘 要: 为保证飞机座舱环境和设备舱电子设备正常工作, 现代飞机大都采用高压除水空气循环制冷系统进行环境控制, 针对系统出口温度这一重要参数, 在给定条件下, 通过定性、定量相结合的分析方法, 推导出了飞机环境控制系统出口温度的计算公式, 找出了系统出口温度与水分分离器出口温度及涡轮膨胀比的关系, 并对误差进行了分析, 给出了修正方法, 对飞机环境控制系统设计计算具有指导作用。

关键词: 飞机环境控制; 温度; 压力; 含湿量

中图分类号: V241.07

文献标识码: A

飞机环境控制系统的任务就是在各种飞行条件下, 将座舱和设备舱内空气的温度、湿度、压力等参数保持在允许范围或规定值内。就座舱来说, 要求上述参数符合生理卫生标准的要求, 而对于设备舱, 是以提高电子设备的可靠性为标准。现代飞机大都采用高压除水空气循环制冷系统, 对温度和湿度等参数要求严格, 系统设计时, 不仅要保证参数符合要求, 还要考虑减少飞机发动机的引气代偿损失, 将参数控制在最佳状态。^[1]

出口温度是飞机环境控制系统的重要参数之一, 本文针对水分分离器出口至系统出口这一子系统, 通过定性、定量相结合的分析方法, 推导出了系统出口温度的计算公式, 找出了系统出口温度与水分分离器出口温度及涡轮膨胀比的关系, 并对假设条件引起的误差进行了分析, 给出了误差的修正方法, 并通过实例计算进行说明。本文所用符号如下:

- t ——温度, $^{\circ}\text{C}$;
- P ——压力, kPa ;
- ΔP ——部件压降, kPa ;
- P_s ——水蒸气饱和分压力, kPa ;
- d ——空气含湿量, g/kg ;
- d_s ——空气饱和含湿量, g/kg ;
- d_f ——冷凝水量, g/kg ;
- π_t ——涡轮膨胀比;
- η_w ——分水效率。

1 系统模型

系统模型如图1所示, 状态点1至状态点4为系统计算全过程, 状态点1为高压水分分离器出口, 状态点4为系统出口。^[2]已知参数为压力 P_1 、温度 t_1 、含湿量 d_1 和压力 P_4 。

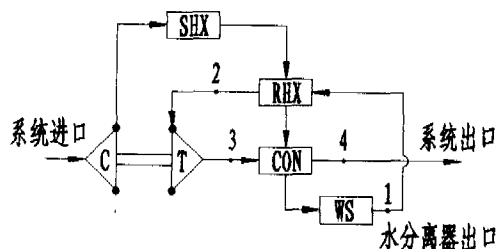


图1 系统模型

2 假设条件

2.1 系统要求

飞机环境控制系统的出口为座舱和设备舱, 对出口空气的要求是在满足规定温度和压力条件下, 空气中不应含有冷凝水, 即出口反压为 P_4 时, 系统出口温度应在饱和状态附近。^[2]理想的状态是系统出口空气的含湿量等于饱和含湿量, 即

$$d_4 = d_{s4}$$

2.2 假设条件

(1) 假设 $d_1 = d_{s1}$

状态点1为水分分离器的出口, 由于该点空气分水后仍承过饱和状态, 此时有

$$d_1 = d_{s1} + d_f$$

虽然水分分离器的分水效率很高, 一般在0.9以上, 但仍然有部分剩余冷凝水存在。由于此部

收稿日期: 2005-10-23

作者简介: 刘宝霞(1966-), 女, 黑龙江富裕人, 高级工程师

分冷凝水与空气中的水蒸气相比很小,即有

$$d_{j1} \ll d_{s1}$$

为计算方便,忽略不计此部分冷凝水,假设状态点1的空气含湿量等于饱和含湿量,即

$$d_1 = d_{s1}$$

$$(2) \text{ 假设 } \frac{P_1}{P_4} = \pi_1$$

根据系统管网压力平衡,有

$$P_2 = P_1 - \Delta P_{1-2}$$

$$P_4 = P_3 - \Delta P_{3-4}$$

与 P_1 、 P_2 、 P_3 和 P_4 相比,部件压降损失 ΔP_{1-2} 、 ΔP_{3-4} 比较小,将此部分压降忽略,则有

$$P_2 = P_1$$

$$P_4 = P_3$$

由于 $\pi_4 = \frac{P_2}{P_3}$, 而

$$\frac{P_2}{P_3} = \frac{P_1}{P_4}$$

所以假设状态点1和状态点4的压力比等于涡轮的膨胀比,即

$$\frac{P_1}{P_4} = \pi_4$$

3 计算方法

根据湿空气饱和温度的计算公式^[4],可得状态点1和状态点4的含湿量为

$$d_1 = 622 \frac{P_{s1}}{P_1 - P_{s1}} \quad (1)$$

$$d_4 = 622 \frac{P_{s4}}{P_4 - P_{s4}} \quad (2)$$

根据假设条件,将 $d_1 = d_{s1}$, $d_4 = d_{s4}$ 代入式(1)和式(2),得

$$d_{s1} = 622 \frac{P_{s1}}{P_1 - P_{s1}} \quad (3)$$

$$d_{s4} = 622 \frac{P_{s4}}{P_4 - P_{s4}} \quad (4)$$

为求状态点1和状态点4的饱和分压力,将式(3)、式(4)整理,得

$$P_{s1} = \frac{P_1 d_{s1}}{622 + d_{s1}} \quad (5)$$

$$P_{s4} = \frac{P_4 d_{s4}}{622 + d_{s4}} \quad (6)$$

由于湿空气饱和分压力是温度的单值函数,

即

$$P_s = 0.6024 \times 10^{\frac{7.45t}{235+t}} \quad (7)$$

将 t_1 、 t_4 代入式(7),得

$$P_{s1} = 0.6024 \times 10^{\frac{7.45t_1}{235+t_1}} \quad (8)$$

$$P_{s4} = 0.6024 \times 10^{\frac{7.45t_4}{235+t_4}} \quad (9)$$

将式(8)和式(9)分别代入式(5)和式(6)得

$$\frac{P_1 d_{s1}}{622 + d_{s1}} = 0.6024 \times 10^{\frac{7.45t_1}{235+t_1}} \quad (10)$$

$$\frac{P_4 d_{s4}}{622 + d_{s4}} = 0.6024 \times 10^{\frac{7.45t_4}{235+t_4}} \quad (11)$$

将式(10)与式(11)相除,并整理得

$$\frac{P_1}{P_4} = 10^{\frac{7.45t_1}{235+t_1} - \frac{7.45t_4}{235+t_4}}$$

由于 $\frac{P_1}{P_4} = \pi_1$, 所以

$$10^{\frac{7.45t_1}{235+t_1} - \frac{7.45t_4}{235+t_4}} = \pi_1$$

两边取对数,得

$$\frac{7.45t_1}{235+t_1} - \frac{7.45t_4}{235+t_4} = \lg \pi_1 \quad (12)$$

将式(12)整理,可得

$$t_4 = \frac{235}{\left(\frac{t_1}{235+t_1} - \frac{\lg \pi_1}{7.45} \right)^{-1} - 1} \quad (13)$$

式(13)即为系统出口温度 t_4 与水分离器出口温度 t_1 和涡轮膨胀比 π_1 之间的关系式。

4 误差分析与处理

由于式(13)是在假设条件下推导出来的,为确保计算值 t_4 的准确,应对假设条件引起的误差进行分析和修正。

4.1 误差分析

(1) 假设条件 $d_1 = d_{s1}$ 对 t_4 的影响

由于忽略了 d_{j1} , 使实际 d_1 减小, 由式(5)和式(8)可知, P_{s1} 和 t_1 减小, 由式(13)可知, 当 t_1 减小时, t_4 相应减小, 因此假设条件(1)使得系统温度 t_4 计算值偏小。

(2) $\frac{P_1}{P_4} = \pi$ 对 t_4 的影响

由于忽略了 ΔP_{1-2} 、 ΔP_{3-4} , 而实际 $P_1 > P_2$, $P_3 > P_4$ 所以实际

$$\frac{P_1}{P_4} > \frac{P_2}{P_3}$$

$$\frac{P_1}{P_4} > \pi$$

即

$$10^{\frac{7.45t_1}{235+t_1} - \frac{7.45t_4}{235+t_4}} > \pi_1$$

两边取对数整理,得

$$t_4 < \frac{235}{\left(\frac{t_1}{235 + t_1} - \frac{\lg \pi_t}{7.45}\right)^{-1} - 1}$$

说明系统出口温度计算值偏大,但是由于

$$\Delta P_{1-2} \ll P_1, \Delta P_{3-4} \ll P_3$$

因此该假设对系统出口温度 t_4 的影响较小。

4.2 修正方法

由于假设条件(2)对 t_4 的影响较小,因此只考虑假设条件 $d_1 = d_2$ 对 t_4 的影响而采取修正措施, t_4 通常由分水效率修正,采用 t_4 除以分水效率的方法,即

$$t_4' = t_4 / \eta_{ws}$$

举例说明:

某飞机环控系统设计状态下要求系统出口温度不高于 12°C , 经过参数分配、计算,得

$$t_1 = 44^\circ\text{C}, \pi_t = 6.8,$$

代入式(13)计算,得

$$t_4 = 11.3^\circ\text{C}$$

已知 $\eta_{ws} = 0.95$, 修正后

$$t_4' = t_4 / \eta_{ws} = 11.9^\circ\text{C}$$

可以满足要求。

5 结论

(1) 系统出口温度 t_4 与水分离器出口温度 t_1 及涡轮膨胀比 π_t 有关, 当 t_1 升高时, t_4 相应升高; 当 π_t 增大时, t_4 则降低。

(2) 系统设计时, 应合理分配参数, 尽量降低 t_1 , 加大 π_t 。

(3) t_4 受分水效率 η_{ws} 的影响, η_{ws} 越高, t_4 越低。

参考文献:

- [1] 寿荣中, 何慧娜. 飞行器环境控制[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2004, 143 - 172
- [2] 飞机设计手册总编委会. 飞机设计手册, 生命保障和环控系统统设计[M]. 北京: 航空工业出版社, 1999, 88 - 98
- [3] 姜守忠, 匡奕珍. 制冷原理[M]. 北京: 中国商业出版社, 1999, 257 - 271
- [4] 尉迟斌, 卢士勋, 周祖毅, 等. 实用制冷与空调工程手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002, 90 - 97

The exit temperature calculation of airplane environment control system

LIU Bao-xia¹ LI Yun-xiang²

(1. Shenyang Institute of Aeronautical Engineering Liaoning shenyang 110034; 2. Hydraulic Technology Engineering Center of Nanjing Jiangsu Nanjing 210011)

Abstract: Air cycle refrigeration system of high pressure dehumidification is applied in modern airplane for ensuring the environment of passenger and electronic equipment. The exit temperature's calculation is worked out and the connection is discovered between the parameters. The parameters and error are analyzed, and the error is corrected. There is directive function to the calculation of airplane environment control system design.

Keywords: airplane environment control; temperature; pressure; dampish quantum.