

文章编号: 1000-6893(1999)增-0S81-03

某载人试验容器环控系统调节对象动态特性分析

梅志光, 袁修干

(北京航空航天大学 空调制冷技术研究所, 北京 100083)

REGULATING OBJECTS DYNAMIC PROPERTIES ANALYSIS OF A MANNED EXPERIMENTAL CONTAINER'S ENVIRONMENTAL CONTROL SYSTEM

MEI Zhi-guang, YUAN Xiu-gan

(Institute of Air Conditioning and Refrigerating Technique, Beijing Univ. of Aero. and Astro., Beijing 100083, China)

摘要: 介绍了某载人试验容器环境控制系统, 就其调节对象的动态特性进行分析, 给出了组份、温度、湿度调节过程的数学模型, 并就被控参数的时间常数进行估算。

关键词: 环控系统; 载人试验; 动态特性

中图分类号: V444.3 **文献标识码:** A

Abstract: The environmental control system of a manned experimental container is briefly introduced, and its regulating objects dynamic properties are analyzed, and the object's time constant is estimated.

Key words: environmental control system; manned experiment; dynamic property

1 某载人试验容器环控系统概述

某载人试验容器是用于宇航员出舱活动及宇航服等有关装备性能实验的地面试验设备, 用它可对宇航员的生理及生保系统的物理特性进行实验研究。该容器的环境控制系统可以为实践对象提供不同压力下氧氮比、温度、湿度、流量可调的洁净气源; 可对实验状态下系统气源的进、出口参数进行采集、取样分析, 获得被试人员的生理参数, 并对航天员的活动及生理状态进行分析与评价。其原理如图 1 所示。

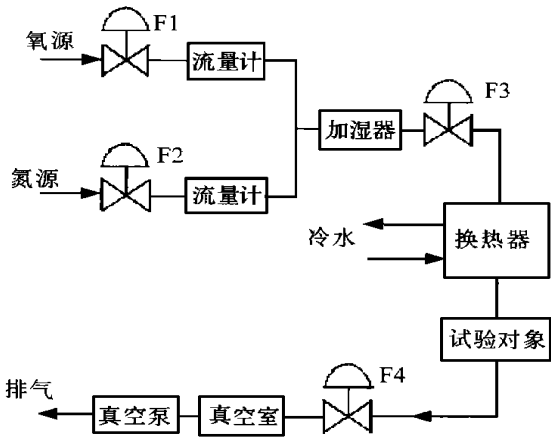


图 1 环控系统原理简图

该环控系统由气源、组份控制、湿度控制、温度控制、排气组份分析、计算机测控系统及相应的管路附件、传感器、执行机构等组成。阀门 F1, F2

和流量计共同完成组份的调节; 湿度调节由加湿器完成; 流量和入口压力由阀门 F3, F4 协同完成; 排气部分由真空泵和真空室组成。

由于本环控系统的工作流量较小, 温度、压力、湿度、组份、流量等的控制要求较高, 并对各参数的调整时间有要求。考虑到环控系统的主要实验对象是宇航服, 其有效容积较小, 流量、压力都是快过程, 在调节时间上不占主要部分, 而温度、湿度、组份的变化比较缓慢。因此, 本文对环控系统的温度、湿度、组份的动态特性进行分析, 并给出了调节时间的估算值。

2 试验对象温度调节的动态特性分析

环控系统的温度调节原理如图 2 所示, 实验

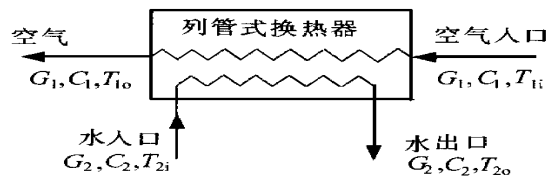


图 2 温度调节对象原理图

对象的入口温度即空气出口温度。可以通过改变水的入口温度、流量来改变空气的出口温度。能量的传递过程为: 空气→换热器管→水。假设热损失、传热系数和比热容的变化可以忽略不计, 空气和水的混合是均匀的可以看作集中参数对象, 且其进出口流量在稳态和动态时均相等, 在考虑换热器管的热容时, 假设换热管的平均温度为 T_w , 根据能量平衡关系可以得到如下热平衡方程

$$\left. \begin{aligned} G_1 c_1 (T_{li} - T_{10}) - UA(T_{10} - T_w) &= M_1 c_1 \frac{dT_{10}}{dt} \\ UA(T_{10} - T_w) - UA(T_w - T_{20}) &= M_w c_w \frac{dT_w}{dt} \\ G_2 c_2 (T_{2i} - T_{20}) - UA(T_{20} - T_w) &= M_2 c_2 \frac{dT_{20}}{dt} \end{aligned} \right\}$$

式中: M_1 , M_2 分别为换热器中水、空气的质量; c_1 , c_2 分别为水、空气的比热容; T_{li} , T_{2i} 分别为水、空气的入口温度; T_{10} , T_{20} 分别为水、空气的出口温度; G_1 , G_2 分别为水、空气的质量流量; U 为总传热系数; A 为平均传热面积; T_w 换热管上的平均温度; M_w 换热管的质量; c_w 换热管的比热容。

选定 T_{10} , T_{20} , T_w 为输出变量, T_{li} , T_{2i} , G_1 , G_2 为输入变量, 并对以上 3 个方程式进行线性化, 整理后得增量方程式

$$\left. \begin{aligned} \frac{dT_{10}}{dt} &= a_1 T_{10} + a_2 T_w + a_3 T_{li} + a_4 G_1 \\ \frac{dT_w}{dt} &= b T_{10} - 2b T_w + b T_{20} \\ \frac{dT_{20}}{dt} &= b_1 T_w + b_2 T_{20} + b_3 T_{2i} + b_4 G_2 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中:

$$\begin{aligned} a_1 &= - \left(\frac{G_1}{M_1} + \frac{UA}{c_1 M_1} \right); \quad a_2 = \frac{UA}{c_1 M_1}; \\ a_3 &= \frac{G_1}{M_1}; \quad a_4 = \frac{1}{M_1} (T_{li} + T_{10}); \\ b_1 &= \frac{UA}{c_2 M_2}; \quad b_2 = - \left(\frac{G_2}{M_2} + \frac{UA}{c_2 M_2} \right); \\ b_3 &= \frac{G_2}{M_2}; \quad b_4 = \frac{1}{M_2} (T_{2i} + T_{20}); \quad b = \frac{UA}{M_w c_w} \end{aligned}$$

试验中: $G_1 = 0.0333 \text{ kg/s}$; $G_2 = 0.00813 \text{ kg/s}$; $c_1 = 3890 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$; $c_2 = 1005 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$; $c_w = 386 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$; $A = 0.4751 \text{ m}^2$; $T_{li} = -4^\circ\text{C}$; $T_{2i} = 30^\circ\text{C}$; $T_{20} = 4^\circ\text{C}$ 。经计算: $M_1 = 0.46968 \text{ kg}$; $M_2 = 0.0005562 \text{ kg}$; $M_w = 0.4229 \text{ kg}$; $T_{10} = -2.35^\circ\text{C}$; $U = 26.41 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ 。则: $a_1 = -0.077832$; $a_2 = 0.0068622$; $a_3 = 0.07097$; $a_4 = -3.503157$; $b = 22.453$; $b_2 = -37.1483$; $b_3 = 14.6953$; $b_4 = 46746.85$; $b = 0.07689$ 。

将以上参数代入方程组(1), 当扰动量为水流量 G_1 , 输出量为空气出口温度 T_{20} 时, 调节过程传递函数

$$G(s) = \frac{-6.0478}{(s + 0.0653)(s + 0.1197)}$$

该温度调节过程为二阶过程, 调节时间 $t_s = 58.5 \text{ s}$ 。

当扰动量为水入口温度 T_{li} , 输出量为空气出口温度 T_{20} 时, 调节过程传递函数

$$G(s) = \frac{0.1225}{(s + 0.0653)(s + 0.1197)}$$

该温度调节过程也为二阶过程, 调节时间 $t_s = 58.5 \text{ s}$ 。

3 试验对象氧氮比、湿度的调节时间估算

环控系统的湿度、组份的调节是在微调室中进行, 其原理如图 3 所示。氧气及氮气以一定比例

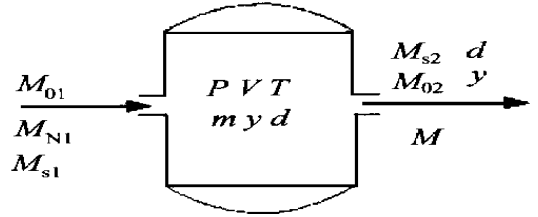


图3 氧氮比及湿度调节对象原理图

进入容腔内, 氧气及氮气总质量流量为一定值。改变氧流量可调节容腔内氧氮比, 改变水加湿量可调节容腔内空气的湿度。以氧气为研究对象, 容腔内氧质量变化应等于氧进出容腔的流量之差, 质量平衡方程如下

$$M_{01} - M_{02} = \frac{d(my)}{dt} \quad (2)$$

式中: M_{01} , M_{02} 分别为氧进、出容腔的质量流量; y 为氧气的质量浓度; m 为容腔内空气的总质量。

由气体特性: $m = PV/(RT)$; $R = 37.12(8 - y)$; $M_{02} = yM$, 代入式(2)得

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{PV}{37.12T} \bar{y} \right) + My = M_{01} \quad (3)$$

式中: P , V , T , R 分别为容腔内空气的压力、体积、温度、气体常数; M 为氧气及氮气总的质量流量。

令 $a = PV/(37.12T)$, 并将式(3)线性化得

$$\frac{8a}{M(8 - \bar{y})^2} \frac{dy}{dt} + y = \frac{1}{M} M_{01} \quad (4)$$

式中: \bar{y} 为稳定状态容腔内氧气质量浓度。

假设系统流量 $M = 400 \text{ Nl/min} = 0.008133 \text{ kg/s}$, 容腔内压力 $P = 60 \text{ kPa}$, 温度 $T = 288 \text{ K}$, 容腔容积 $V = 1 \text{ m}^3$, 由式(4)可知, 氧氮比调节过程为一阶过程, 时间常数为

$$t_s = \frac{8a}{M(8 - \bar{y})^2} = 91.5 \text{ s}$$

以水蒸汽为研究对象, 容腔内水蒸汽质量变化应等于水蒸汽加湿量与容腔出口水蒸汽流量之差, 质量平衡方程如下

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{dm}{1000 + d} \right) = M_{s1} - M_{s2} \quad (5)$$

式中: d 为容腔内空气含湿量; M_{s1} , M_{s2} 分别为容腔进、出口气体中水蒸汽流量。

因含湿量 d 远小于 1000, 式(5)可简化为

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{dm}{1000} \right) = M_{s1} - M_{s2} \quad (6)$$

其中: $M_{s2} = Md/1000$, 代入式(6)并线性化得

$$\frac{PV}{RTM} \dot{d} + d = 1000M_{s1}$$

由上式可知, 湿度调节过程为一阶过程, 时间常数为:

$$t_s = \frac{PV}{RTM} = 89.3s$$

参 考 文 献

- [1] 王骥程. 化工工程控制工程[M]. 北京: 化学工业出版社, 1991.

作者简介:



梅志光 男, 1965年3月生, 工程师, 主要从事空调制冷技术、航空航天地面模拟实验技术及设备、工业过程控制及自动化等方面工作。联系电话: (010) 82315735 (H)、82317515 (O)。

袁修干 见本期 S3 页。