

旅客机座舱空气参数调节

LÜ KE JI

ZUO CANG

KONG QI

CAN SHU TIAO JIE

456333

国防工业出版社

V245/08

456333

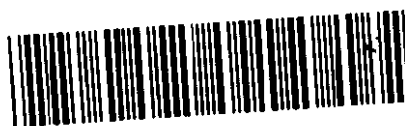
旅客机座舱空气参数调节

袁修干 编

HK12/18



航空工业出版社



C0232636

内 容 简 介

本书为一本介绍飞机座舱环境控制系统（或称飞机座舱空调系统）参数调节及其动态设计的专业书籍。书中介绍了飞机座舱环境控制系统的基本设计要求、数学模型的建立及其动态设计的某些问题。书中着重讨论了座舱、座舱压力调节系统、座舱温度调节系统和座舱湿度调节系统微分方程的建立及其动态设计的一些问题。

本书可供从事飞机环境控制技术及飞机研制工作的工程技术人员参考，也可作为航空院校有关专业师生的教学参考书。

旅客机座舱空气参数调节

袁修干 编

*

国防工业出版社 出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₃₂ 印张 7 145千字

1980年3月第一版 1980年3月第一次印刷 印数： 001— 920册

统一书号：15034·1913 定价：0.80元

前 言

飞机座舱环境控制系统（或称飞机座舱空气调节系统）的动态设计和研究，已日益受到人们的重视。本书着重讨论了飞机座舱环境控制系统数学模型的建立及其动态设计的一些特点。全书共分五章及五个附录。附录作为五章内容的补充阅读材料。在五个章节中，着重讨论了调节对象（座舱）、座舱压力调节系统、座舱温度调节系统及座舱湿度调节系统的微分方程的建立以及动态设计的有关问题。

本书主要根据参考文献〔1〕以及其他二十多篇参考文献编写而成，反映了国外的一些研究成果和现状。本书第二章中关于温度调节对象动态微分方程的建立及其应用，以及第三章中的“座舱压力变化速度调节装置的近似计算”等内容，为编者的一些粗浅见解。由于编者水平有限，书中可能存在不少错误和缺点，敬请读者批评指正。

本书第五章编写过程中，参考了王浚同志的一份译稿，特此致谢。

目 录

主要符号表	1
绪论	7
第一章 总论	9
1.1 气密座舱环境参数的生理卫生要求	10
1.2 座舱环境控制系统的基本要求	16
1.3 座舱环境控制系统参数调节的基本装置	18
1.4 制冷系统的使用及发展概况	19
第二章 作为调节对象的气密座舱	27
2.1 气密座舱空气参数自动调节系统的原理图	27
2.2 作为压力调节对象的气密座舱	28
2.2.1 压力调节对象的动态微分方程	29
2.2.2 两种流量计算方程	36
2.3 作为温度调节对象的气密座舱	42
2.3.1 温度调节对象动态微分方程的建立	44
2.3.2 温度调节对象动态微分方程的工程应用	55
2.4 作为湿度调节对象的气密座舱	60
2.4.1 湿度的基本概念	60
2.4.2 座舱的除湿及增湿	64
2.4.3 湿度调节对象动态微分方程的建立	66
第三章 座舱压力调节系统	71
3.1 座舱压力制度	71
3.1.1 座舱压力制度的基本要求	71
3.1.2 座舱压力制度的型式	72
3.2 气动式座舱压力调节器的典型结构及其工作原理	77
3.2.1 对座舱压力调节系统的一般要求	77

3.2.2	气动式座舱压力调节器的典型结构	79
3.2.3	典型气动式座舱压力调节器的工作原理	82
3.2.4	典型气动式座舱压力调节器的压力制度调节	86
3.3	典型座舱压力调节器的动态微分方程	90
3.3.1	节流装置	93
3.3.2	气容	100
3.3.3	比较变换装置	104
3.3.4	微分装置	108
3.3.5	典型座舱压力调节器的动态微分方程	110
3.4	座舱压力调节系统的检查	114
3.5	座舱压力变化速度调节装置的近似计算	116
3.5.1	近似计算方程的建立	119
3.5.2	讨论	123
3.6	座舱压力调节器主要参数的确定	126
第四章	座舱温度调节系统	131
4.1	座舱温度控制典型方案流程图	131
4.2	温度调节器	133
4.3	温度调节器的微分方程	138
4.3.1	采用双金属感温元件的温度调节器	139
4.3.2	采用电阻式感温元件的电桥式温度调节器	143
4.3.3	速度反馈电桥式温度调节器	145
4.4	座舱温度控制系统分析	147
4.5	温度调节器元件计算	156
第五章	座舱湿度调节系统	159
5.1	湿度的测量方法	159
5.1.1	干湿球法测量湿度	159
5.1.2	露点法测量湿度	160
5.1.3	吸湿法测量湿度	163
5.2	湿度传感器	163
5.2.1	电式干湿湿度传感器	164
5.2.2	电解式湿度传感器	166

5.2.3 变形式湿度传感器.....	169
5.2.4 电容式湿度传感器.....	170
5.3 湿度传感器的微分方程	171
5.4 座舱湿度自动调节系统的动态分析	173

附录

附录 I 旅客机座舱的供气量要求	177
附录 II 高性能军用机空调系统动态响应的技术要求	190
附录 III 座舱作为温度调节对象微分方程建立的几种方法	191
附录 IV 座舱供气管道及附件传热过程的传递函数	203
附录 V 关于座舱蒙皮温度的确定	210
参考文献	214

主要符号表

以下为本书各章采用的主要符号表。

1. 英文字母

A ——系数或组合参数

a ——系数或组合参数

B ——系数、组合参数或单位时间座舱供气流入
(或出)的水蒸汽量

b ——系数或组合参数

C ——组合参数、阻尼系数或比热

C_p ——空气等压比热

D ——组合参数、直径或饱和差度

d ——直径或湿含量

E ——单位体积湿空气的水蒸汽含量

e ——自然对数底数, $e = 2.7183$

F ——函数符号、传热表面积或弹性元件的有效面积

f ——流通面积或函数符号

G ——流量

g ——重力加速度、比例系数或参数的相对变化量

H ——高度

h ——高度

I ——电流

i ——电流或减速比

K ——传热系数、刚度或化学当量

k ——绝热指数、比例系数、放大系数或灵敏度系数

l ——活门开度或长度

M ——马赫数、比例系数、力矩或假想集中质量

m ——系数或质量

N ——函数符号

Nu ——努塞数

n ——转速、人数或电解质浓度

$P = \frac{d}{d\tau}$ ——微分运算符符号

p ——压力

p_c ——座舱压力

p_h ——大气压力

p_{CO_2} ——二氧化碳分压

p_{O_2} ——氧分压

Q ——单位时间传递的热量

q ——流量函数、热流相对增量或温差为 1°C 时单位
时间经单位面积传递的热流

R ——气体常数、电阻或比例系数

Re ——雷诺数

r ——相对湿度或恢复系数

S ——表面积

T ——温度 ($^\circ\text{K}$)

T_c ——座舱温度

T_h ——大气温度

t ——温度 ($^\circ\text{C}$)

t_c ——座舱温度
 t_h ——大气温度
 U ——电压
 V ——容积
 $V_{\perp}$ ——垂直升降速度
 v ——流速
 W ——重量或传递函数符号
 X ——比例系数
 x ——参数的相对变化量

2. 希腊文字母

α ——放热系数、角度、电阻温度系数、系数或组合参数
 β ——系数或组合参数
 γ ——比重、组合参数或比例系数
 Δ ——增量或不灵敏区
 δ ——位移或相对阻尼系数
 ε ——介电系数、辐射系数或压力比
 ε_{cr} ——临界压力比
 η ——系数、效率、效率系数或组合参数
 θ ——转角
 λ ——导热系数或电导率
 μ ——流量系数、比例系数或参数相对变化量
 ν ——运动粘度
 ξ ——系数
 π ——圆周率, $\pi = 3.1416$
 σ ——斯蒂芬-波兹曼常数

τ ——时间或时间常数

ϕ ——函数符号

φ ——角度

$\dot{\varphi}$ ——转角变化率

ψ ——函数符号

ω ——角频率

3. 脚注

A ——控制腔

a ——环境

B ——双金属片

BC ——桥路

c ——座舱或截止频率

cf ——座舱充填时间

ch ——座舱湿度

cl ——冷路

cp ——座舱压力

ct ——座舱温度

cs ——座舱空气饱和状态

d ——空气分配、空气分配活门或干空气

dew ——露点

df ——除雾

EM ——电磁铁

e ——设备、电解质、恢复温度或地球

eq ——当量

ex ——出口

F ——速率调节腔

- FB ——反馈
- G ——流量
- H ——加热元件
- HC ——湿度控制器
- HS ——湿度传感器
- h ——高度或大气
- ht ——热路
- in ——入口
- IS ——速度反馈
- l ——漏气或活门开度
- lim ——极限
- M ——传动马达
- m ——假想集中质量
- max ——最大
- o ——某平衡状态
- out ——出口
- PM ——电位器
- p ——人
- pw ——人体排出的水蒸汽量
- R ——反向流动或电阻式感温元件
- r ——座舱压力调节器排气活门
- s ——供气
- sd ——干球温度的饱和状态
- $sdew$ ——露点温度的饱和状态
- si ——初始供气状态
- sk ——蒙皮

- sr*——太阳辐射或蒙皮对太阳辐射的吸收
sun——太阳
sw——湿球温度的饱和状态
vc——座舱容积通风流量
w——水、水蒸汽或湿空气状态
wet——湿球
 φ ——转角

绪 论

飞机座舱环境控制系统（或称座舱空气调节系统）的基本任务，是在各种飞行条件下自动地保持舱内空气参数（主要是压力、温度及湿度）不超出预先给定的数值。所以飞机座舱环境控制系统，在实质上是自动控制技术的一个部分。飞机座舱环境控制系统的设计和研究，应当和自动控制理论有机地结合起来，并开展飞机座舱环境控制系统的动态设计和研究工作。随着航空技术的发展，对飞机座舱环境参数控制要求日益提高，这项工作更有其实际意义。

从本书中引用的参考文献也不难看出，虽然飞机座舱环境控制系统动态设计和研究工作进行得并不充分，但已日益被人们所重视。随着近代电子计算机技术的发展，为人们对飞机座舱环境控制系统的动态设计和研究工作提供了广阔的前景。显然，飞机座舱环境控制系统用数学模型描述后，用电子计算机来分析计算飞机座舱环境系统的动态性能，这无论是在经济效果上、工程应用上和飞机座舱环境系统的技术发展上，都有很大优越性和实际意义。

从理论上分析，飞机座舱环境控制系统属于一般的气动调节及热力过程的自动调节和自动控制理论，但在具体系统和结构上它又有其独特之处。所以，为了解决飞机座舱环境控制系统的动态设计问题，不能完全地依赖于一般控制理论及其应用技术来解决，还必须对飞机座舱环境控制系统的参

数调节独立地进行研究。本书侧重从飞机座舱环境控制系统数学模型的建立及其动态设计问题进行讨论，而不是介绍动态性能分析的具体方法和飞机座舱环境控制系统的原理结构，因为这两个方面的内容，都可从其它有关著作及文献中找到详细的介绍。

全书共分五章及五个附录。

第一章是简要介绍调节对象（座舱）环境参数的生理卫生要求、飞机座舱环境控制系统的基本要求、基本装置及其发展。

第二章是介绍调节对象微分方程的建立。具体讨论了压力调节时的座舱微分方程、温度调节时的座舱微分方程以及湿度调节时的座舱微分方程。

第三、四、五章分别讨论了座舱压力调节系统、座舱温度调节系统和座舱湿度调节系统的微分方程的建立及其动态设计的一些特点。

为使主要章节内容突出和紧凑，将一些关系相对较为独立的材料放在附录中，作为有关章节内容进一步分析的参考之用。

由于旅客机及军用机的座舱环境控制系统原理相同，故本书讨论的内容对军用机座舱环境控制系统亦可适用。

第一章 总 论

飞机座舱环境控制系统的发展，从二十世纪三十年代中期算起，至今大约已有近 30 多年的历史。飞机环境控制系统的研究可归结为保持飞机的某一闭合空间（可以是座舱或设备舱）具有所需的环境参数。环境参数主要包括：空气压力、温度、湿度、空气流速、噪音和空气清洁度等。飞机座舱环境控制系统，通常又称之为飞机座舱空气调节系统。有的著作中其所指范围更广，除包括飞机空气调节系统外，还包括飞机氧气设备、座舱透明表面防雾、防雨及防霜以及飞机防冰系统等环境保护措施。

显然，上述环境参数对机上设备及人员的工作效率及舒适性有很大影响，这就决定了座舱环境控制系统在航空中的重要地位。随着现代飞机性能的提高和旅客机载客量的增加，为乘客提供舒适环境参数的飞机座舱环境控制系统也就愈加显得重要，而且对它的要求也愈来愈高。

我们知道，飞机座舱环境控制系统的外界工作条件变化是十分急烈的。例如，飞行高度的范围可从地面变到 17 公里以上；停机环境温度，炎热时可高达 50°C 以上，而寒冷时可低达 -60°C ；飞行中的环境温度，亚音速飞行时为 $-20\sim -30^{\circ}\text{C}$ ，超音速飞行时，根据 M 数及高度的不同，可高达 100°C 以上；环境大气湿度，停机时（高湿大气环境）或者穿云飞行时，可达到饱和状态，高空（6~7 公里以上）飞

行时大气湿度几乎为零。所以飞机座舱环境控制系统，要在外界环境条件如此急剧变化的情况下，仍具有良好的调节质量。因此，飞机座舱环境控制系统的设计，不仅要考虑其稳态性能，还必须考虑系统的动态性能。目前，飞机座舱环境控制系统的动态性能研究及设计考虑，愈来愈引起人们的注意和重视。本书着重讨论飞机座舱环境控制系统动态性能分析中的一些基本问题，而对于飞机环境控制系统的工作原理和结构，书中未作介绍，读者可参考有关文献。

在上述六个环境参数中，其中压力、温度和湿度为座舱环境控制系统的调节参数，它们由专门的自动调节系统进行控制，而空气流速、噪音及空气清洁度为非调节参数。为实现座舱压力、温度及湿度的自动调节，一般都采用压力、温度及湿度三个自动调节系统来保证。非调节参数的指标，一般是在调节参数的控制系统设计中予以考虑，并采取相应措施使其数值满足预定要求。本书在讨论座舱环境控制系统的动态性能时，只限于讨论座舱压力、温度及湿度三个参数的自动调节问题。

在开始分析飞机环境控制系统动态性能之前，先介绍下面几个有关问题。

1.1 气密座舱环境参数的生理卫生要求

气密座舱（或增压座舱）是飞机座舱环境控制系统的调节对象，是对乘客和空勤人员提供舒适而安全的生活和工作环境的基本技术保证。从这一要求出发，对旅客机气密座舱有以下三个基本要求。

1. 舱内应具有符合生理卫生要求的舒适环境参数，对座