



北京市高等教育精品教材立项项目

# 飞行器环境控制

寿荣中 何慧姗 编著

北京航空航天大学出版社

## 前 言

飞行器环境控制是航空航天工业院校飞行器环境与生命保障工程专业主要专业课程之一。其理论基础与实际应用随着航空航天技术的发展,正在不断地得到完善和提高。为了保证各类飞行器在各种飞行状态下乘员的安全及设备的可靠工作,飞行器环境控制系统已成为必不可少的主要装备之一。有关舱内温度、湿度、压力、流量等方面控制的新理论和新设备也正在不断地涌现。面对这种形势,及时适应现代飞行器发展的需要,有必要编辑出版一本反映上述内容的教材,以满足国防科学技术现代化和提高教学质量的要求。

本书力图系统地阐明飞行器环境控制的理论基础和国内外先进技术与实践经验,其目的是使学生在紧密联系工程热力学、传热学、工程流体力学、自动控制等课程的基础上,掌握飞行器环境控制的基本原理,从而能进行一般飞行器环境控制的设计。

本书在绪论之后,先介绍了与高空飞行密切有关的大气条件和人体生理基础。为了适应地面空气调节设计的需要,增加了一部分湿空气的内容。继之,对作为环境控制原始设计依据的外界和舱内设计条件及其稳态和瞬态热载荷,做了较为详细的叙述。以后各章分别对环境控制系统的各组成部分,即供气源、温度控制、湿度控制、压力控制、流量控制及空气分配等所用的设备及其原理做了专门介绍;对目前在飞行器上应用得比较广泛的空气循环制冷系统,则用了较多的篇幅进行详尽的研究。然后结合典型机种,对环境控制系统在飞行器上的安装和布局进行了概括性的综合说明。作为各种系统方案比较标准的飞行器性能代偿损失,则单独辟出一章进行了讨论。鉴于现代飞行器上电子设备日益增多,所需功率愈来愈大,对环境条件的要求也更加严格,本书最后一章阐述了电子设备的冷却。

本书全部采用国际单位制。对取自参考文献的所有图表,都根据国际单位重新进行了绘制,但考虑到国内读者对有些数据有一个全面的了解过程,将部分数据在国际单位后分别注明了工程制单位和英制单位。

本书由寿荣中、何慧姗编写,寿荣中为主编。何慧姗编写了其中的第3、7、9、11、14章,其余各章由主编完成。

本书是在原教材《飞行器空气调节》的基础上,经过增删若干内容后进行了重新编写,为了更贴切专业名称及国内外航空航天有关部门的技术用语,故将其更名为《飞行器环境控制》。

本书出版获北京市高等教育精品教材建设项目资助。在编写过程中,得到有关方面领导和同事们的关怀和支持,清华大学薛殿华教授仔细审校了书稿,并提出了许多宝贵意见,在此深表谢意。囿于编者的水平,错误和不当之处在所难免,敬请读者予以批评、指正。

编 者

2003. 11

## 主要符号

主要符号为全书各章中通用的符号。以下分英文字母符号、希腊字母符号、角注及缩写符号 4 类加以说明。

### (1) 英文字母符号

<i>a</i>	热扩散率, 导温系数, $\text{m}^2/\text{s}$
<i>A</i>	面积, $\text{m}^2$
<i>Ar</i>	阿基米德数, 量纲为一
<i>B</i>	磁感应强度, T
<i>Bi</i>	毕渥数, 量纲为一
<i>c</i>	声速, $\text{m}/\text{s}$
<i>c<sub>p</sub></i>	质量定压热容, $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ , $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 或 $\text{J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$
<i>d</i>	含湿量, $\text{g}/\text{kg}_{\text{干空气}}$ , $\text{kg}/\text{kg}_{\text{干空气}}$ ; 直径, $\text{m}$
<i>D</i>	阻力, N; 直径, $\text{m}$
<i>f</i>	频率, Hz
<i>F</i>	力, N
<i>Fo</i>	傅里叶数, 量纲为一
<i>g</i>	重力加速度, $\text{m}/\text{s}^2$
<i>Gr</i>	格拉晓夫数, 量纲为一
<i>K</i>	传热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 或 $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$
<i>h</i>	比焓, $\text{kJ}/\text{kg}$ ; 表面传热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 或 $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ; 高度, $\text{m}$
<i>I</i>	电流, A
<i>l</i>	长度, $\text{m}$
<i>L</i>	升力, N
<i>Le</i>	路易斯数, 量纲为一
<i>m</i>	质量, $\text{kg}$
<i>Ma</i>	马赫数, 量纲为一
<i>M</i>	湿量, $\text{kg}$ ;
<i>n</i>	转速, $\text{r}/\text{min}$
<i>Nu</i>	努塞尔数, 量纲为一
<i>p</i>	压力, Pa, kPa
<i>P</i>	功率, W, kW
<i>Pr</i>	普朗特数, 量纲为一

$q$	热流密度, $W/m^2$ ; 单位热量, $J/kg$
$q_m$	质量流量, $kg/s$
$q_v$	体积流量, $m^3/s$
$Q$	热量, $J$
$R$	电阻, $\Omega$ ; 气体常数, $J/(kg \cdot K)$ 或 $J/(kg \cdot ^\circ C)$ ; 航程, $km$
$Re$	雷诺数, 量纲为一
$s$	比熵, $J/(kg \cdot K)$
$t$	摄氏温度, $^\circ C$ ; 时间, $s$
$T$	热力学温度, $K$
$U$	电压, $V$
$v$	速度, $m/s$ ; 比体积, $m^3/kg$
$V$	体积, $m^3$
$W$	功, $J$ ; 重量, $N$

## (2) 希腊字母符号

$\delta$	所计算压力与海平面标准大气压力之比, 量纲为一; 厚度, $m$
$\epsilon$	黑度, 量纲为一
$\Delta$	增 量
$\zeta$	流比, 水当量比, 量纲为一; 水气再循环系数, 量纲为一; 阻力系数, 量纲为一
$\eta$	效率, 量纲为一
$\theta$	热力学温度与海平面标准大气热力学温度之比, 量纲为一; 空气分配系数, 量纲为一
$\kappa$	等熵指数, $\kappa=1.4$
$\lambda$	导热系数, $W/(m \cdot K)$ 或 $W/(m \cdot ^\circ C)$
$\mu$	动力粘度, $Pa \cdot s$
$\nu$	运动粘度, $m^2/s$
$\pi$	增压比, 膨胀比, 量纲为一
$\rho$	密度, $kg/m^3$
$\sigma$	斯蒂芬-波尔兹曼常数, $W/(m^2 \cdot K^4)$ ; 进气口总压恢复系数, 量纲为一
$\tau$	时间常数, $s$
$\varphi$	相对湿度, $\%$
$\Phi$	热流量, $W$ ; 热载荷, $W$ ; 制冷量, $W$ ; 磁通量, $Wb$
$\chi$	涡轮速比, 量纲为一
$\omega$	单位功, $J/kg$

### (3) 角 注

ab	绝 对
ad	绝 热
al	肺 泡
b	饱 和
bl	引气,供气
c	座舱;压缩机;冷;波纹管;对流
con	冷 凝
cot	调节值,控制值
d	动 压
e	蒙皮外气流
eq	当 量
ex	出 口
eva	蒸 发
eff	有 效
f	燃油;风扇
g	干空气
h	热;在 $h$ 高度上的大气参数
in	进 口
ins	吸入气
iso	等 温
j	喷 嘴
l	露 点
m	代谢;机械
max	最 大
min	最 小
mean	平 均
mol	摩 尔
M	膜 片
N	带正电荷的半导体材料
O	自由气流
opt	最佳值
p	人 体

per	允许值
q	水蒸气
R	制冷剂
s	湿球;弹簧;储存;蒙皮
sw	水分离器
t	涡轮
T	总量
v	活门;文氏管
w	水
wet	湿工况
$\infty$	自由气流

#### (4) 缩写符号

C	压缩机,压气机
COP	性能系数
clo	克裸[服装热阻, $1 \text{ clo} = 0.155 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$ ]
exp	指数函数
F	风扇
HX	热交换器
lg	以 10 为底的对数
ln	以 e 为底的对数
NTU	传热单元数
T	涡轮

# 目 录

## 绪 论

0.1 飞行器环境控制的任务和作用 .....	1
0.2 飞行器环境控制的发展概况 .....	2
0.3 飞行器环境控制与其他对象空气调节的相互联系 .....	5
习题与思考题 .....	5

## 第1章 大气条件和人体生理基础

1.1 外界大气条件 .....	6
1.1.1 大气构造 .....	6
1.1.2 大气成分 .....	8
1.1.3 标准大气 .....	9
1.2 湿空气的物理特性和焓湿图 .....	11
1.2.1 湿空气的状态参数 .....	11
1.2.2 湿空气的焓湿图 .....	16
1.3 外界设计条件 .....	19
1.4 低气压对人体的影响 .....	20
1.4.1 缺 氧 .....	20
1.4.2 低压效应 .....	24
1.4.3 体液沸腾 .....	25
1.4.4 爆炸减压 .....	25
1.5 热湿环境对人体的影响 .....	27
1.5.1 人体与环境的热交换 .....	27
1.5.2 人体的温度调节 .....	28
1.5.3 高、低温对人体生理的影响 .....	28
1.5.4 湿度对人体生理的影响 .....	30
1.5.5 冷、热环境的评定 .....	30
1.6 臭氧、大气层粒子幅射和噪声对人体的影响 .....	33
1.6.1 臭氧对人体的影响 .....	33



1.6.2	大气层粒子辐射对人体的影响	34
1.6.3	噪声对人体的影响	35
1.7	复合环境因素对人体的影响	37
1.7.1	双因素的复合	37
1.7.2	三因素的复合	39
1.7.3	四因素的复合	39
	习题与思考题	41

## 第2章 气密座舱和舱内设计要求

2.1	舱内压力条件及要求	43
2.1.1	座舱高度	43
2.1.2	座舱压差	43
2.1.3	压力变化速度	44
2.1.4	压力制度	44
2.2	舱内温、湿度条件及要求	47
2.2.1	温度要求	47
2.2.2	湿度要求	49
2.3	舱内通风换气条件及要求	49
2.3.1	通风量	51
2.3.2	空气流速	52
2.3.3	空气的进、排气口	52
2.3.4	供气的洁净度	52
2.4	座舱的气密性	53
2.4.1	漏气补偿法	53
2.4.2	座舱压力降速度法	55
2.5	座舱爆炸减压	56
2.6	座舱的释压和应急卸压	58
	习题与思考题	60

## 第3章 座舱热载荷

3.1	座舱稳态热载荷	62
3.1.1	通过座舱结构壁的热载荷	64
3.1.2	附加热载荷	77
3.1.3	稳态热载荷计算的有关问题	80



3.1.4 座舱稳态热载荷的近似估算	92
3.2 座舱瞬态热载荷	92
3.2.1 通过非绝热壁的瞬态热载荷	93
3.2.2 通过绝热壁的瞬态热载荷	97
习题与思考题	111

#### 第4章 座舱增压供气

4.1 座舱增压供气源的基本类型	114
4.1.1 大气通风式座舱的增压供气源	114
4.1.2 再生式座舱的增压供气源	118
4.2 发动机压气机的出口参数	119
4.3 供气系统压力的调节	121
4.3.1 绝对压力调节装置	122
4.3.2 涡轮膨胀比调节器	123
4.3.3 减压环	126
4.4 供气系统流量的调节	127
4.4.1 供气量的调节方法	127
4.4.2 限流装置	128
4.4.3 供气量调节装置	130
习题与思考题	133

#### 第5章 加温系统

5.1 加温的方法和装置	135
5.2 座舱加温系统	137
5.3 座舱玻璃的加温和防冰防雾	139
习题与思考题	141

#### 第6章 制冷系统

6.1 空气循环制冷系统	143
6.1.1 空气循环制冷的热力过程	144
6.1.2 升压式空气循环制冷系统	148
6.1.3 简单式空气循环制冷系统	151
6.1.4 升压式与简单式组合的空气循环制冷系统	153
6.1.5 再生式空气循环制冷系统	156

6.1.6	空气湿度对空气循环制冷系统性能的影响 .....	162
6.1.7	高性能空气循环制冷系统 .....	166
6.1.8	正在发展和研究中的空气循环制冷系统 .....	172
6.2	蒸气循环制冷系统 .....	176
6.2.1	蒸气循环的制冷剂 .....	177
6.2.2	蒸气循环制冷系统的热力过程 .....	178
6.2.3	实际蒸气循环制冷系统 .....	179
6.2.4	蒸气循环冷却系统的热力计算 .....	183
6.3	空气循环与蒸气循环组合式制冷系统 .....	184
6.4	热电制冷 .....	186
6.5	涡流管制冷 .....	191
6.6	磁制冷 .....	193
	习题与思考题 .....	198

## 第7章 制冷系统主要附件的性能估算

7.1	空气进气口 .....	199
7.1.1	进气口的类型及特点 .....	199
7.1.2	前缘进气口的设计和性能参数估算 .....	201
7.2	热交换器 .....	208
7.2.1	空气-空气热交换器与无相变的液体-空气热交换器 .....	209
7.2.2	蒸发器 .....	215
7.2.3	空气-空气冷凝器 .....	220
7.3	涡轮冷却器 .....	222
7.3.1	冷却涡轮性能参数的计算与确定 .....	222
7.3.2	冷却涡轮的尺寸与质量估算 .....	223
7.4	风扇 .....	225
7.4.1	风扇类型 .....	225
7.4.2	风扇性能 .....	226
7.4.3	风扇定律及其应用 .....	228
7.4.4	风扇的选择及性能和尺寸的确定 .....	230
7.5	压缩机(压气机) .....	231
7.6	引射器 .....	232
7.6.1	引射器的类型 .....	232
7.6.2	引射器的性能 .....	232

7.6.3 引射器的设计 .....	236
7.7 空气导管 .....	239
7.7.1 导管中的压力损失及几何尺寸 .....	239
7.7.2 空气流经导管的温度变化 .....	240
7.7.3 导管质量的计算 .....	241
习题与思考题 .....	241

## 第8章 飞行器性能代偿损失估算

8.1 当量质量法 .....	244
8.1.1 阻力和功率的当量质量 .....	244
8.1.2 从发动机压气机引气的当量质量 .....	248
8.1.3 固定质量和可变的消耗性冷却剂的当量质量 .....	251
8.2 起飞总质量法 .....	253
8.3 当量阻力法 .....	259
习题与思考题 .....	261

## 第9章 系统的参数选择和性能计算

9.1 舒适条件下座舱供气入口温度的计算与附件通用计算模型 .....	263
9.1.1 舒适状态下人体周围平均环境温度的计算 .....	264
9.1.2 座舱供气入口温度的计算 .....	265
9.1.3 系统与附件的数学模型 .....	265
9.2 低压除水简单式空气循环制冷系统的参数选择和性能计算 .....	269
9.2.1 设计状态下的参数选择与计算 .....	269
9.2.2 非设计状态下的系统性能计算 .....	275
9.3 全流量高压除水升压式空气循环制冷系统的参数选择和性能计算 .....	278
9.3.1 设计状态的参数选择 .....	279
9.3.2 非设计状态下的性能计算 .....	283
9.4 环境控制制冷系统方案与参数的优化设计 .....	289
9.4.1 优化设计方法简介 .....	289
9.4.2 数学模型的建立 .....	290
9.4.3 目标函数的确定 .....	291
9.4.4 设计变量的选定与处理 .....	292
9.4.5 优化方法的选取 .....	293
9.4.6 计算举例 .....	297

习题与思考题	301
<b>第 10 章 座舱的增湿和除湿</b>	
10.1 座舱内的空气湿度	302
10.2 增湿装置	306
10.3 除湿装置	309
习题与思考题	312
<b>第 11 章 座舱的气流组织</b>	
11.1 供气口与排气口的空气流动规律	314
11.1.1 供气口的空气流动规律	314
11.1.2 排气口的空气流动规律	320
11.2 供、排气口的类型与位置	322
11.2.1 供气口的类型与位置	322
11.2.2 排气口的类型与位置	325
11.3 军用机座舱的气流组织	326
11.4 旅客机座舱的气流组织	329
11.5 座舱气流组织的基本计算	331
11.5.1 客舱侧壁供气的计算	331
11.5.2 喷射式供气口的计算	334
11.6 均匀供气管道的计算	335
习题与思考题	338
<b>第 12 章 座舱的压力、温度和湿度控制</b>	
12.1 座舱的压力控制	339
12.1.1 概述	339
12.1.2 绝对压力控制机构	340
12.1.3 余压控制机构	345
12.1.4 压力变化速度控制机构	347
12.1.5 排气活门	350
12.2 座舱的温度控制	351
12.2.1 概述	351
12.2.2 温度控制系统的类型	353
12.2.3 温度控制系统的附件	355

12.2.4 战斗机座舱温度控制系统	361
12.3 座舱的湿度控制	363
12.3.1 湿度传感器	363
12.3.2 湿度控制系统工作原理	366
习题与思考题	367

### 第 13 章 环境控制系统的方案和布局

13.1 环境控制系统的典型方案	368
13.1.1 战斗机环境控制系统	369
13.1.2 直升机环境控制系统	371
13.1.3 轰炸机环境控制系统	373
13.1.4 旅客机环境控制系统	376
13.2 环境控制系统管路和附件的安装和布局要求	381
13.2.1 空气导管的形状、连接、固定和补偿	381
13.2.2 系统所用的控制类型及其传感器位置安排	384
13.2.3 系统所应用的各种活门和调节器	385
13.3 环境控制系统的发展趋势	390
13.3.1 减少引气量和降低燃油代偿损失	390
13.3.2 发展综合环境控制系统	393
13.3.3 提高部件的可靠性、维护性及综合功能	395
13.3.4 采用先进的电子技术	397
习题与思考题	398

### 第 14 章 电子设备舱的冷却

14.1 电子设备的冷却要求	400
14.2 电子设备的冷却方法及冷源	401
14.2.1 电子设备的冷却方法	401
14.2.2 冷却电子设备的冷源	405
14.3 电子设备的制冷系统	407
14.4 电子设备冷却系统的设计条件及系统代偿损失的估算方法	411
14.5 电子设备的冷却和电子设备舱内的气流组织	418
14.5.1 电子设备的冷却	418
14.5.2 电子设备舱内的气流组织	419
14.6 低温热管及其在电子设备冷却中的应用	421

14.6.1	热管的结构与工作原理	421
14.6.2	热管内的传热及温降	422
14.6.3	热管的传热极限	424
14.6.4	热管设计原则	425
14.6.5	热管在冷却电子元件方面的应用	426
14.7	冷板的估算	428
	习题与思考题	430

### 附录1 标准大气参数

### 附录2 湿空气的密度、水蒸气压力、含湿量和焓

### 附录3 湿空气焓湿图

### 参考文献

# 绪 论

## 0.1 飞行器环境控制的任务和作用

现代飞行器的座舱和设备舱都要进行环境控制,这是为了在飞行时保证旅客和空勤人员正常生活和设备可靠工作而对飞行器所提出的特定要求。飞行器愈向高空高速和宇宙航行方向发展,这种要求就显得更加迫切。

飞行器所遇到的外界环境条件变化是很剧烈的。当飞机从地面升入高空时,外界大气压力可从一个大气压变化到接近真空;可在几分钟内由受地面夏季炎热的炙烤突然遭到高空严寒的侵袭;还会经常遇到从高湿的热带或南方地区地面环境瞬间进入湿度几乎为零的高空。宇宙飞船从地面发射到进入轨道飞行,很快处于零重力、真空、超低温和强烈离子辐射的环境中,所经历的外界环境参数变化比飞机要剧烈得多。此外,发动机供气中所含的各种杂质及乘员呼出的二氧化碳和排出的废气都会对座舱环境造成一定的污染。

飞行器环境控制的任务就是在各种飞行条件下,将舱内空气的压力、温度、湿度、气流速度和洁净度保持在允许范围或规定值内,至于所要求的数值大小,则视各种飞行器的类型和用途而异。

就座舱来说,对舱内的温度值及其分布梯度、压力值及其变化速度、空气流速和洁净度等;都有一系列符合生理卫生标准的要求。其中对民用机和军用机又分别提出了不同的允许值。对长距离飞行的机种和宇宙飞船还有湿度要求。至于设备舱,除了对温度和压力提出较座舱为宽的限制值外,为了使设备可靠工作,防止空气中水分凝结,对空气中的含湿量却规定得比座舱更为严格。

在航空航天事业突飞猛进的今天,环境控制系统已经是任何先进飞行器必不可少的一个组成部分。飞行器环境控制技术的先进与否,将是评价整个飞行器性能的重要指标。例如旅客机,舱内舒适的温度环境,合理的压力绝对值,人耳无感觉的压力变化速度,清新的空气和适宜的风速,都已成为招徕旅客的重要条件;而在宇宙飞船上,环境控制系统作为生命保障系统内容的一部分,将在为宇航员创造正常的生活环境,使其发挥最大工作效能,保证设备可靠工作方面起着决定性的作用。



## 0.2 飞行器环境控制的发展概况

自从1903年莱特(Wright)兄弟制造第一架飞机以后的一段时间内,飞机上所用的都是开敞式座舱,无法进行环境控制。但是随着飞机构造及性能的改进,飞行的高度越来越高,伴随而来的是高空的低温、低气压和缺氧的危险。生命保障要求将开敞式座舱改进为气密座舱。前苏联设计师赛尔巴科夫(Щербakov)在1934~1936年设计了飞机最初用的实验气密座舱,1938年美国在波音307和DC4E旅客机上第一次使用了空调增压座舱。这以后气密座舱才逐渐普及,为在座舱内进行环境控制提供了一个必要的条件。在低速高空飞行时,最先遇到的是低温,所以环境控制中的加温部分就首先在飞机上得到应用。最初的加温装置是座舱增压器,它能提供具有一定压力和温度的空气,再辅之以应用汽油加温器、废气加温器和电加温器等提供座舱所需的热空气。当飞机的用途逐渐扩大后,低空高速以及各种炎热气候条件下的飞行逐渐增多,这就提出了对飞机座舱冷却的要求。作为一个完整的环境控制系统,都是把具有制冷设备作为一项基本要求。

地面上的蒸气循环制冷设备,从1851年法国卡莱(Carre)的第一台氨吸收式制冷机开始,继而在1872年美国波义耳(Boyle)发明了氨压缩机,1875年林得(Linde)制成了氨蒸气压缩制冷机,1922年开利尔(Carrier)发明了离心式制冷机等创造和发明后,到20世纪40年代,技术上的发展已日趋成熟。这种蒸气循环制冷技术必然要向飞机上移植。1948~1949年美国波音公司首次在B-377(常称同温层巡航者)飞机上使用了氟里昂制冷系统,它是第一架具有完整环境控制系统飞机的代表,机上不但有加温、制冷系统,还有增湿、过滤杂质和气味的设备。继此之后,在20世纪50年代到60年代中期,在一些旅客机如先锋号、VC-10、伊列克特拉、DC-8、康维尔880和康维尔990上都相继采用了蒸气循环制冷系统。这种系统虽然具有较高的性能系数、地面停机制冷及快速降温能力、较低的系统压降和空气动量阻力、容易除湿等优点,但由于系统较复杂、质量大、维护性差等方面的缺点,妨碍了它在飞机上进一步推广应用。

空气循环制冷原理性研究工作比蒸气循环制冷还要早一些。1844年,约翰·高里就试制成了闭式循环空气制冷机,但由于性能系数低等种种原因,在工业上应用受到一定的限制。经过大约一个世纪,1934年,前苏联卡皮察(Капица)在实验中第一次采用了低温下工作的涡轮膨胀机。1937年,德国人努尔(Nüll)将径流式涡轮用于增压器试验。1939年,卡皮察又将涡轮膨胀机用于空气分离超低温制冷设备。这些都为在飞机上应用涡轮冷却器及涡轮增压器提供了必要的技术和经验。1944年,美国在P-80战斗机上首次采用了简单式(涡轮压气机式)空气循环制冷系统。这种系统由于质量较小、附件数量少、在飞机上容易布局、维护方便以及座舱增压能同时解决等优点,很快成为飞机上制冷系统的主要形式,并且在系统方案上也不断地改进完善。1948年,英国在子爵号旅客机上安装了升压式(涡轮压气机式)空气循环制冷系统,较好地解决了“罗茨”型增压器供气压力较低的问题。20世纪60年代中期,美、英、法等国



研制出一种具有简单式和升压式两种特点的低压除水三轮升压式空气循环制冷系统,并在 DC-10、波音 747、A-310 等旅客机上使用;而到了 20 世纪 80 年代初,在波音 757、波音 767、T-46A 等飞机上出现了高压除水的三轮升压式,紧随其后,在波音 777 飞机上又将涡轮由一个改为两个,将一级膨胀变成二级膨胀的四轮升压式。这些经不断改进后的新型系统的出现,都是为了把空气循环制冷系统的技术向着更为完善程度的方向发展。

1961 年前苏联东方 1 号、美国水星 3 号载人飞船相继飞往太空,开始了宇宙航行的新纪元。我国从 1999 年 11 月 20 日开始的神舟号飞船系列发射规划,尤其是 2003 年 10 月 15 日具有里程碑意义的神舟 5 号载人飞船成功发射并于次日胜利回收,也把宇宙探索的任务提到从事航空航天科学家的议事日程上来。但飞船所处的外部环境与在大气层内飞行的飞机截然不同。载人航天器在全部飞行过程中会遇到十分复杂的热环境,在舱内必须设置相应的温度控制系统。迄今为止,各类载人航天器的舱内温度控制系统在原理上都基本相同,但在系统的结构设计上却有很大差异。例如,航天飞机既有飞机在大气中飞行的特点,又有在轨道运行的航天器功能,它的舱内温度控制更为复杂。一般说来,舱温控制可分为主动温控和被动散热两个部分。主动温控系统的功能是,在各个飞行阶段散掉舱内产生的各种废热和来自其他热源的热流。系统包括舱内通风散热系统、流体传输回路和散热回路,以及各种散热器、冷板和消耗性冷源等。被动散热系统主要包括空间辐射散热器和航天器外部的热防护系统等。前者通过辐射向空间冷源散去轨道运行段航天器产生的主要热负荷,后者是在载人航天器再入大气层时散掉气动力热负荷的主要措施。这包括烧蚀层、蜂窝夹层的背壁结构、钛框、酚醛-高硅氧烧蚀环等。

座舱环境湿度是一个重要参数,但湿度问题在飞机环境控制上不如温度控制那样受到广泛的注意,这是因为飞机在高空所遇到的主要是低湿问题。由于乘员在空中停留的时间相对来说较为短暂,而低湿在生理上的不良反应不容易在短时期内表现出来,所以在军用机上一般不考虑湿度控制,只是在某些要求较高的旅客机上才安装有关的湿度控制设备。至于在低空高湿情况下的除水问题,技术上已从过去涡轮出口处的低压除水发展到涡轮入口处的高压除水。但在宇宙飞船上,舱内气体湿度控制却是十分必要的,它主要用来除去来自乘员呼气及用水时蒸发的水汽。由于空间飞行处于失重状态,水珠漂浮在气流之中,水汽分离和有重力情况下完全不同,因此必须采用新的水汽分离技术措施,设置一个特殊的湿度控制系统。

保证座舱绝对压力值、余压值及压力变化速率的座舱压力控制系统,其核心部件是座舱压力调节器。从增压座舱出现到 20 世纪 70 年代,气动式座舱压力控制系统始终占据着统治地位,但其功能却在逐步完善,从只能调节绝对压力和余压的直接式,发展到能选择起调高度,正、负压力变化速度,并且具有正、负释压功能和应急卸压功能的间接式座舱压力控制系统。随着电子技术的发展,出现了在 MD-80、DC-10、波音 757、波音 767 等飞机上所用的电子式座舱压力控制系统,使座舱压力控制实现计算机化。只要在座舱压力选择器上选择预定着陆机场高度,这种系统就可以在飞行全过程,包括地面停机、起飞、爬升、巡航、下降、着陆到开舱