

# 飞机空气调节系统设计手册

国防工业出版社

# 飞机空气调节系统设计手册

〔美〕自动车工程师协会 (SAE) 编

北京航空学院 吴临武 编译

国防工业出版社

## 内 容 简 介

本书译自美国“自动车工程师协会”(SAE)编的《航空与空间技术应用热力学手册》的第三部分(航空工程)。内容包括飞机座舱(设备舱)空气调节系统及防冰、防雨、防雾、防霜系统的设计原理和设计方法。书中有大量曲线图表及具体技术数据可供查阅。

本书可供从事飞机空气调节系统设计及防冰、防雨、防雾、防霜系统设计工作的工程技术人员、工人参考,对有关工业院校相应专业的师生亦有裨益。

SAE AEROSPACE APPLIED THERMODYNAMICS MANUAL  
SAE COMMITTEE AC-9, AIRCRAFT ENVIRONMENTAL SYSTEMS  
SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS, INC. 1969

### 飞机空气调节系统设计手册

【美】自动车工程师协会(SAE)编

北京航空学院 吴临武 编译

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可出字第074号

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

787×1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub> 印张 28<sup>1</sup>/<sub>8</sub> 插页 2 657 千字

1977年3月第一版 1977年3月第一次印刷 印数 0,001—2,450册

统一书号: 15034·1495 定价: 3.65元

## 出版说明

遵照伟大领袖毛主席关于“洋为中用”的教导，我们将美国“自动车工程师协会”(SAE)编的《航空与空间技术应用热力学手册》的第三部分编译出版，供有关同志参考。

《航空与空间技术应用热力学手册》由SAE组织美国波音、道格拉斯等十几家飞机公司的工程技术人员编写而成，它是一本具有一定实用价值的设计手册。全书共分流体力学及热力学的工程基础、常用气体、液体及固体材料的热力及物理性质、航空工程及空间技术工程等四大部分。本书译自第三部分(航空工程)，考虑到使用上的便利，将第一、二部分中的有关内容，选译了一部分放在附录中。在航空工程中介绍了飞机座舱(设备舱)空气调节系统的设计原理及有关计算方法，同时介绍了飞机防冰、防雨、防雾及防霜系统的设计原理及方法。考虑到其主要内容是介绍飞机空气调节系统的设计，故本书定名为《飞机空气调节系统设计手册》。原书第三部分中有测量设备一章，因其内容介绍一般，故已删去。

全书共分十章及一附录。十章的内容为：空气调节载荷(热载荷)计算；制冷系统设计；加热系统设计；空气分配系统设计；增压系统设计；系统用主要附件性能；飞机性能代偿损失估算；设备冷却系统设计；温度控制系统设计。附录中内容包括常用材料的热力物理性质、管道阻力计算、辅助进气口计算、关于舱内放热系数、军用机驾驶舱供气参数估算以及人名索引等共六个部分。其中附录I~III由原书第一、二部分选出；附录IV(关于舱内放热系数)根据目前公布的资料由编译者编写而成；附录V根据英国航空研究委员会的现期报告(ARC CP1094)由译者编写而成。附录VI是人名对照表。

在本手册的原文本里，有关温度的符号一律未加“°”比如华氏温度用F表示(而不用°F)，其它如摄氏C及兰氏R亦然。考虑到有关国际新规定，本手册中关于温度的符号均沿用了原书的符号，未加变动。

本手册内容比较全面和系统，基本反映了美国在这方面较成熟的经验和水平。本书的出版，对国内从事这方面工作的广大技术人员、工人以及高等院校有关专业的师生均有一定参考价值。

由于我们水平所限，难免有错误及不妥之处，欢迎读者批评指正。

# 目 录

全书通用符号表	8
单位换算表	11
<b>第一章 空气调节载荷分析</b>	<b>15</b>
1. 引言	15
2. 生理要求	16
3. 加热及冷却载荷方程	17
4. 蒙皮温度的计算方法	25
5. 经透明表面辐射作用产生的冷却载荷	27
6. 由于内部热源引起的加热及冷却载荷	27
7. 在确定总的加热及冷却载荷时的实际考虑	29
8. 在大马赫数时蒙皮温度计算举例	38
<b>第二章 制冷系统设计</b>	<b>40</b>
1. 引言	40
2. 空气循环系统	42
3. 蒸发循环系统	59
4. 组合式蒸发循环及空气循环系统	70
5. 热电冷却	74
<b>第三章 加热系统设计</b>	<b>80</b>
1. 引言	80
2. 加热方法	80
3. 总结和建议	82
<b>第四章 空气分配系统设计</b>	<b>83</b>
1. 引言	83
2. 低压系统	84
3. 高压系统	97
<b>第五章 增压系统设计</b>	<b>103</b>
1. 引言	103
2. 生理要求	104
3. 座舱的泄漏	109
4. 座舱的应急释压	110
5. 从座舱排出空气中回收能量	111
6. 座舱失压	112
<b>第六章 防冰、防雨、防雾及防霜</b>	<b>113</b>
1. 引言	113
2. 非透明表面防冰	117
3. 热力防冰法	117
4. 影响热量要求的外部因素	118
5. 机翼的蒸发式防冰	127
6. 湿态防冰	131

7. 循环式电热防冰	131
8. 防冰必要性的确定	134
9. 说明举例	137
10. 风挡防冰	140
11. 风挡及舱盖的防雾及防霜	147
12. 风挡除雨	155
<b>第七章 附件特性</b>	<b>159</b>
1. 引言	159
2. 泵	159
3. 风扇	167
4. 压气机	177
5. 涡轮	188
6. 引射泵	200
7. 活门	211
8. 热交换器	227
<b>第八章 飞机性能代偿损失的估算</b>	<b>248</b>
1. 引言	248
2. 全系统的起飞重量法	249
3. 起飞重量法计算举例	258
<b>第九章 飞机和导弹的设备冷却系统设计</b>	<b>260</b>
1. 引言	260
2. 飞行器及其飞行任务的确定	261
3. 设备冷却问题	269
4. 冷却系统的部件特性	272
<b>第十章 温度控制系统设计</b>	<b>273</b>
1. 引言	273
2. 温度控制系统的类型	275
3. 系统附件和说明	282
4. 动态分析	289
<b>附录 I 常用材料的热力物理性质</b>	<b>299</b>
1. 引言	299
2. 大气物理性质	299
3. 常用气体的热力物理性质	300
4. 常用液体的物性参数	300
5. 常用固体材料的物性参数	300
6. 测湿图	301
<b>附录 II 管路系统的压力损失计算</b>	<b>365</b>
1. 概述	365
2. 压力损失的表示	366
3. 典型管道及装置的压力损失计算	367
<b>附录 III 辅助进气口和辅助排气口</b>	<b>401</b>
1. 辅助进气口	401
2. 辅助排气口	410
<b>附录 IV 关于舱内放热系数问题</b>	<b>414</b>
<b>附录 V 军用机驾驶舱供气参数估算</b>	<b>416</b>

1. 引言.....	416
2. 研究分析用参数.....	418
3. 理论.....	419
4. 设计曲线.....	429
5. 参数变化对座舱舒适条件的供气参数的影响.....	438
6. 结论.....	447
<b>附录Ⅵ 人名对照表.....</b>	<b>449</b>

# 飞机空气调节系统设计手册

〔美〕 自动车工程师协会 (SAE) 编

北京航空学院 吴临武 编译

HK53/11

国防工业出版社

## 内 容 简 介

本书译自美国“自动车工程师协会”(SAE)编的《航空与空间技术应用热力学手册》的第三部分(航空工程)。内容包括飞机座舱(设备舱)空气调节系统及防冰、防雨、防雾、防霜系统的设计原理和设计方法。书中有大量曲线图表及具体技术数据可供查阅。

本书可供从事飞机空气调节系统设计及防冰、防雨、防雾、防霜系统设计工作的工程技术人员、工人参考,对有关工业院校相应专业的师生亦有裨益。

SAE AEROSPACE APPLIED THERMODYNAMICS MANUAL  
SAE COMMITTEE AC-9, AIRCRAFT ENVIRONMENTAL SYSTEMS  
SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS, INC. 1969

### 飞机空气调节系统设计手册

【美】自动车工程师协会(SAE)编

北京航空学院 吴临武 编译

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可出字第074号

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

787×1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub> 印张 28<sup>1</sup>/<sub>8</sub> 插页 2 657 千字

1977年3月第一版 1977年3月第一次印刷 印数 0,001—2,450册

统一书号: 15034·1495 定价: 3.65元

## 出版说明

遵照伟大领袖毛主席关于“洋为中用”的教导，我们将美国“自动车工程师协会”(SAE)编的《航空与空间技术应用热力学手册》的第三部分编译出版，供有关同志参考。

《航空与空间技术应用热力学手册》由SAE组织美国波音、道格拉斯等十几家飞机公司的工程技术人员编写而成，它是一本具有一定实用价值的设计手册。全书共分流体力学及热力学的工程基础、常用气体、液体及固体材料的热力及物理性质、航空工程及空间技术工程等四大部分。本书译自第三部分(航空工程)，考虑到使用上的便利，将第一、二部分中的有关内容，选译了一部分放在附录中。在航空工程中介绍了飞机座舱(设备舱)空气调节系统的设计原理及有关计算方法，同时介绍了飞机防冰、防雨、防雾及防霜系统的设计原理及方法。考虑到其主要内容是介绍飞机空气调节系统的设计，故本书定名为《飞机空气调节系统设计手册》。原书第三部分中有测量设备一章，因其内容介绍一般，故已删去。

全书共分十章及一附录。十章的内容为：空气调节载荷(热载荷)计算；制冷系统设计；加热系统设计；空气分配系统设计；增压系统设计；系统用主要附件性能；飞机性能代偿损失估算；设备冷却系统设计；温度控制系统设计。附录中内容包括常用材料的热力物理性质、管道阻力计算、辅助进气口计算、关于舱内放热系数、军用机驾驶舱供气参数估算以及人名索引等共六个部分。其中附录I~III由原书第一、二部分选出；附录IV(关于舱内放热系数)根据目前公布的资料由编译者编写而成；附录V根据英国航空研究委员会的现期报告(ARC CP1094)由译者编写而成。附录VI是人名对照表。

在本手册的原文本里，有关温度的符号一律未加“°”比如华氏温度用F表示(而不用°F)，其它如摄氏C及兰氏R亦然。考虑到有关国际新规定，本手册中关于温度的符号均沿用了原书的符号，未加变动。

本手册内容比较全面和系统，基本反映了美国在这方面较成熟的经验和水平。本书的出版，对国内从事这方面工作的广大技术人员、工人以及高等院校有关专业的师生均有一定参考价值。

由于我们水平所限，难免有错误及不妥之处，欢迎读者批评指正。



# 目 录

全书通用符号表	8
单位换算表	11
第一章 空气调节载荷分析	15
1. 引言	15
2. 生理要求	16
3. 加热及冷却载荷方程	17
4. 蒙皮温度的计算方法	25
5. 经透明表面辐射作用产生的冷却载荷	27
6. 由于内部热源引起的加热及冷却载荷	27
7. 在确定总的加热及冷却载荷时的实际考虑	29
8. 在大马赫数时蒙皮温度计算举例	38
第二章 制冷系统设计	40
1. 引言	40
2. 空气循环系统	42
3. 蒸发循环系统	59
4. 组合式蒸发循环及空气循环系统	70
5. 热电冷却	74
第三章 加热系统设计	80
1. 引言	80
2. 加热方法	80
3. 总结和建议	82
第四章 空气分配系统设计	83
1. 引言	83
2. 低压系统	84
3. 高压系统	97
第五章 增压系统设计	103
1. 引言	103
2. 生理要求	104
3. 座舱的泄漏	109
4. 座舱的应急释压	110
5. 从座舱排出空气中回收能量	111
6. 座舱失压	112
第六章 防冰、防雨、防雾及防霜	113
1. 引言	113
2. 非透明表面防冰	117
3. 热力防冰法	117
4. 影响热量要求的外部因素	118
5. 机翼的蒸发式防冰	127
6. 湿态防冰	131

7. 循环式电热防冰	131
8. 防冰必要性的确定	134
9. 说明举例	137
10. 风挡防冰	140
11. 风挡及舱盖的防雾及防霜	147
12. 风挡除雨	155
<b>第七章 附件特性</b>	<b>159</b>
1. 引言	159
2. 泵	159
3. 风扇	167
4. 压气机	177
5. 涡轮	188
6. 引射泵	200
7. 活门	211
8. 热交换器	227
<b>第八章 飞机性能代偿损失的估算</b>	<b>248</b>
1. 引言	248
2. 全系统的起飞重量法	249
3. 起飞重量法计算举例	258
<b>第九章 飞机和导弹的设备冷却系统设计</b>	<b>260</b>
1. 引言	260
2. 飞行器及其飞行任务的确定	261
3. 设备冷却问题	269
4. 冷却系统的部件特性	272
<b>第十章 温度控制系统设计</b>	<b>273</b>
1. 引言	273
2. 温度控制系统的类型	275
3. 系统附件和说明	282
4. 动态分析	289
<b>附录 I 常用材料的热力物理性质</b>	<b>299</b>
1. 引言	299
2. 大气物理性质	299
3. 常用气体的热力物理性质	300
4. 常用液体的物性参数	300
5. 常用固体材料的物性参数	300
6. 测湿图	301
<b>附录 II 管路系统的压力损失计算</b>	<b>365</b>
1. 概述	365
2. 压力损失的表示	366
3. 典型管道及装置的压力损失计算	367
<b>附录 III 辅助进气口和辅助排气口</b>	<b>401</b>
1. 辅助进气口	401
2. 辅助排气口	410
<b>附录 IV 关于舱内放热系数问题</b>	<b>414</b>
<b>附录 V 军用机驾驶舱供气参数估算</b>	<b>416</b>

1. 引言.....	416
2. 研究分析用参数.....	418
3. 理论.....	419
4. 设计曲线.....	429
5. 参数变化对座舱舒适条件的供气参数的影响.....	438
6. 结论.....	447
<b>附录Ⅵ 人名对照表.....</b>	<b>449</b>

## 全书通用符号表

本表为手册中各章通用的符号、脚注及缩写符号。以下分符号、脚注及缩写符号三类加以说明。

### (1) 符号

$a$ ——音速(呎/秒)

$A$ ——面积[呎<sup>2</sup> (或吋<sup>2</sup>)]

$c_f$ 或 $C_f$ ——蒙皮的摩擦系数(无因次)

$c_p$ 或 $C_p$ ——等压比热(Btu/磅·F)

$c_v$ 或 $C_v$ ——等容比热(Btu/磅·F)

$D$ ——直径[呎(或吋)]

$f$ ——达西或范宁摩擦系数(无因次)

$F$ ——力或推力(磅)

$g$ ——重力加速度(呎/秒<sup>2</sup>)

$g\rho$ 或 $\rho g$ ——比重(密度)(磅/呎<sup>3</sup>)

$h$ ——对流传热系数(Btu/吋·呎<sup>2</sup>·F)

$h$ ——比焓(Btu/磅)

$J$ ——热功当量常数( $J = 778$ )(呎·磅/Btu)

$k$ ——导热率(Btu/吋·呎<sup>2</sup>·F)

$L$ ——长度[呎(或吋)]

$L_e$ ——蒸发潜热(Btu/磅)

$M$ ——马赫数(无因次)

$n$ ——转速(转/分)

$N_s$ ——比速(无因次)

$N_{Nu}$ ——努赛数(无因次)

$$N_{Nu} = \frac{hD}{k}$$

$N_{Pr}$ ——勃朗特数(无因次)

$$N_{Pr} = \mu c_p / k$$

$N_{Re}$ ——雷诺数(无因次)

$$N_{Re} = VD\rho g / \mu$$

$N_{St}$ ——史坦通数(无因次)

$$N_{St} = \frac{N_{Nu}}{N_{Re} N_{Pr}} = \frac{h}{g\rho V c_p}$$

$P$ 或 $p$ ——压力(磅/吋<sup>2</sup>或磅/呎<sup>2</sup>或吋汞柱)

$q$ ——动压(磅/呎<sup>2</sup>或吋汞柱)

$$q = \frac{\rho V^2}{2}$$

$q$ ——传热热流 (Btu/分 或 Btu/时)

$Q$ ——容积流量 (呎<sup>3</sup>/秒 或 呎<sup>3</sup>/分)

$r$ ——恢复系数 (无因次)

$r$ ——半径 (呎或吋)

$R$ ——气体常数 (呎·磅/磅·R)

$S$ ——面积 (呎<sup>2</sup>)

$S$ ——熵 (Btu/F)

$t$ ——温度 (F)

$T$ ——绝对温度 (R)

$v$ ——比容 (呎<sup>3</sup>/磅)

$V$ ——速度 (呎/秒 或 呎/分)

$V$ ——体积 (呎<sup>3</sup>)

$w$ ——重量流量 (磅/秒 或 磅/分 或 磅/时)

$W$ ——重量 (磅)

$\alpha$ ——吸收率 (无因次)

$\gamma$ ——比热比 (无因次)

$$\gamma = c_p/c_v$$

$\epsilon$ ——辐射率 (无因次)

$\eta$ ——效率 (无因次)

$\theta$ ——温度比 (无因次)

$$\theta = \frac{\text{绝对温度}}{\text{海平面条件标准大气的绝对温度}}$$

$\mu$ ——绝对粘度 (磅/秒·呎 或 磅/吋·呎)

$\nu$ ——运动粘度 (呎<sup>2</sup>/秒)

$\rho$ ——质量密度 (磅·秒<sup>2</sup>/呎<sup>4</sup>)

$\rho_g$ ——比重 (密度)(磅/呎<sup>3</sup>)

$\sigma$ ——斯蒂芬-波尔兹曼常数

$$\sigma = 0.171 \times 10^{-8} (\text{Btu/吋}^2 \cdot \text{R}^4)$$

$\tau$ ——时间 (秒或吋)

$\omega$ ——角速度 (弧度/秒)

## (2) 脚注

ad——绝热

amb——环境

cr——临界

i——初始

iso——等温

max——最大

t, tot——总的

t, tb——涡轮

th——理论的

v——蒸气

w——壁面

$\infty$ ——自由流

### (3) 缩写符号

Btu——英制热量单位<sup>●</sup>

cop或 COP——性能系数<sup>●</sup>

db——分贝

exp——指数函数

F——华氏温度

C——摄氏温度

Hz——赫芝 (周数/秒)

log——以10为底的对数

%——百分比

R——兰氏绝对温度

RH——相对湿度

---

● Btu (British thermal units)。——译者

● Cop (Coefficient of performance)。——译者