

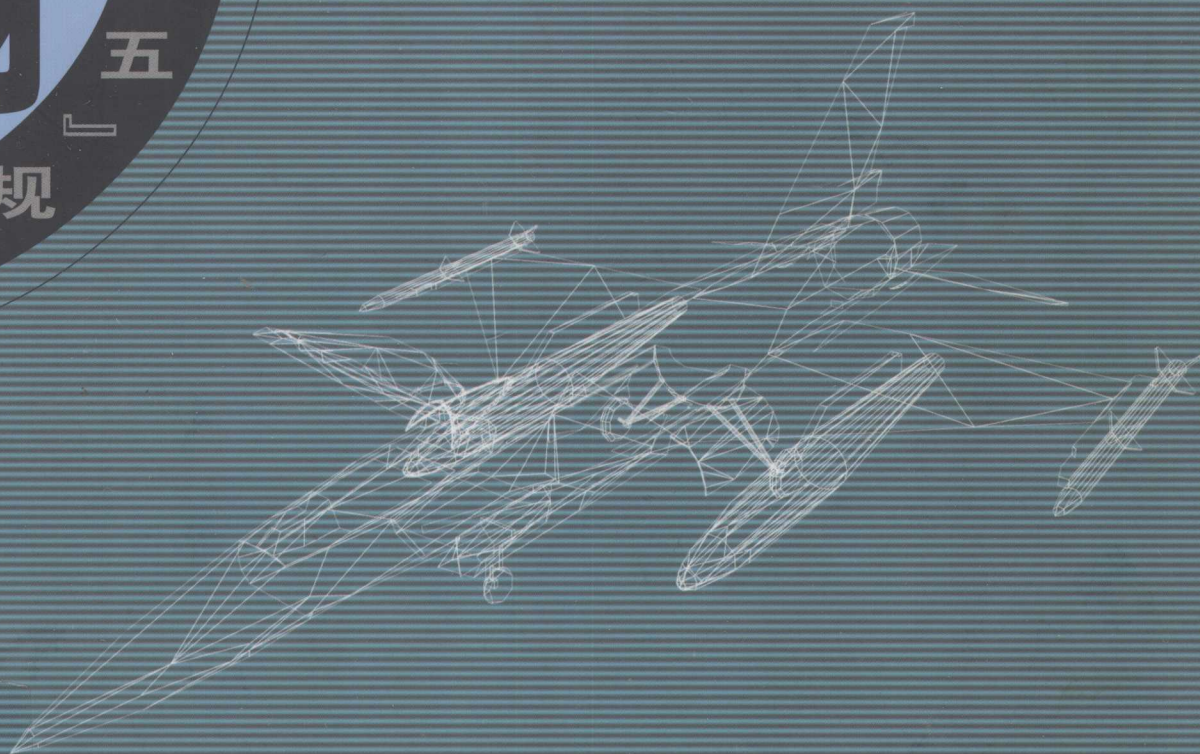
航空宇航科学与技术



国防科工委「十五」规划教材

飞行器环境控制与安全救生

●朱春玲 主编



北京航空航天大学出版社

北京理工大学出版社

西北工业大学出版社

哈尔滨工业大学出版社

哈尔滨工程大学出版社

V245.3
1004



2006131853

V245.3
1004-1



国防科工委“十五”规划教材. 航空宇航科学与技术

飞行器环境控制与安全救生

朱春玲 主编



教 材 科

2007 1 8

北京航空航天大学出版社

北京理工大学出版社 西北工业大学出版社
哈尔滨工业大学出版社 哈尔滨工程大学出版社

2006131853

内容简介

本书是国防科工委“十五”重点教材建设计划内项目之一,是航空航天院校人机与环境工程专业“飞行器环境控制与安全救生”课程选用教材。书中较系统和较完整地阐述了飞行器环境控制系统的基本原理、基本组成以及基本设计和计算方法,力求体现近年来相关领域的一些新概念、新理论、新方法和新设备,以满足航空航天领域人才培养、科学研究和产品研制的需要。为帮助读者更好地理解和应用书中的内容,每章都配有一定数量的思考题与习题。全书采用国际单位制,对有些数据还标注了工程单位。

本书还可供从事飞行器环境控制与安全救生研究的科研人员和院校教师参考。

图书在版编目(CIP)数据

飞行器环境控制与安全救生/朱春玲主编. —北京:
北京航空航天大学出版社, 2006. 9

ISBN 7-81077-759-9

I. 飞… II. 朱… III. ①飞行器—环境控制—控
制系统②飞行器—救生 IV. V245.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 021759 号

飞行器环境控制与安全救生

朱春玲 主编

责任编辑 刘晓明

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100083)

发行部电话:010-82317024 传真:010-82328026

<http://www.buaapress.com.cn>

E-mail: bhpess@263.net

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

开本: 787×960 1/16

印张: 31.25 字数: 700 千字

2006 年 9 月第 1 版 2006 年 9 月第 1 次印刷

印数: 3 000 册

ISBN 7-81077-759-9 定价: 42.00 元

国防科工委“十五”规划教材编委会

(按姓氏笔画排序)

主 任：张华祝

副主任：王泽山 陈懋章 屠森林

编 委：王 祁 王文生 王泽山 田 蔚 史仪凯
乔少杰 仲顺安 张华祝 张近乐 张耀春
杨志宏 肖锦清 苏秀华 辛玖林 陈光禔
陈国平 陈懋章 庞思勤 武博祎 金鸿章
贺安之 夏人伟 徐德民 聂 宏 贾宝山
郭黎利 屠森林 崔锐捷 黄文良 葛小春



总 序

国防科技工业是国家战略性产业,是国防现代化的重要工业和技术基础,也是国民经济发展和科学技术现代化的重要推动力量。半个多世纪以来,在党中央、国务院的正确领导和亲切关怀下,国防科技工业广大干部职工在知识的传承、科技的攀登与时代的洗礼中,取得了举世瞩目的辉煌成就;研制、生产了大量武器装备,满足了我军由单一陆军,发展成为包括空军、海军、第二炮兵和其他技术兵种在内的合成军队的需要,特别是在尖端技术方面,成功地掌握了原子弹、氢弹、洲际导弹、人造卫星和核潜艇技术,使我军拥有了一批克敌制胜的高技术武器装备,使我国成为世界上少数几个独立掌握核技术和外层空间技术的国家之一。国防科技工业沿着独立自主、自力更生的发展道路,建立了专业门类基本齐全,科研、试验、生产手段基本配套的国防科技工业体系,奠定了进行国防现代化建设最重要的物质基础;掌握了大量新技术、新工艺,研制了许多新设备、新材料,以“两弹一星”、“神舟”号载人航天为代表的国防尖端技术,大大提高了国家的科技水平和竞争力,使中国在世界高科技领域占有了一席之地。十一届三中全会以来,伴随着改革开放的伟大实践,国防科技工业适时地实行战略转移,大量军工技术转向民用,为发展国民经济作出了重要贡献。

国防科技工业是知识密集型产业,国防科技工业发展中的一切问题归根到底都是人才问题。50多年来,国防科技工业培养和造就了一支以“两弹一星”元勋为代表的优秀的科技人才队伍,他们具有强烈的爱国主义思想和艰苦奋斗、无私奉献的精神,勇挑重担,敢于攻关,为攀登国防科技高峰进行了创造性劳动,成为推动我国科技进步的重要力量。面向新世纪的机遇与挑战,高等院校在培养国防科技人才,传播国防科技新知识、新思想,攻克国防基础科研和高技术研究难题



当中,具有不可替代的作用。国防科工委高度重视,积极探索,锐意改革,大力推进国防科技教育特别是高等教育事业的发展。

高等院校国防特色专业教材及专著是国防科技人才培养当中重要的知识载体和教学工具,但受种种客观因素的影响,现有的教材与专著整体上已落后于当今国防科技的发展水平,不适应国防现代化的形势要求,对国防科技高层次人才的培养造成了相当不利的影响。为尽快改变这种状况,建立起质量上乘、品种齐全、特点突出、适应当代国防科技发展的国防特色专业教材体系,国防科工委全额资助编写、出版200种国防特色专业重点教材和专著。为保证教材及专著的质量,在广泛动员全国相关专业领域的专家、学者竞投编著工作的基础上,以陈懋章、王泽山、陈一坚院士为代表的100多位专家、学者,对经各单位精选的近550种教材和专著进行了严格的评审,评选出近200种教材和学术专著,覆盖航空宇航科学与技术、控制科学与工程、仪器科学与技术、信息与通信技术、电子科学与技术、力学、材料科学与工程、机械工程、电气工程、兵器科学与技术、船舶与海洋工程、动力机械及工程热物理、光学工程、化学工程与技术、核科学与技术等学科领域。一批长期从事国防特色学科教学和科研工作的两院院士、资深专家和一线教师成为编著者,他们分别来自清华大学、北京航空航天大学、北京理工大学、华北工学院、沈阳航空工业学院、哈尔滨工业大学、哈尔滨工程大学、上海交通大学、南京航空航天大学、南京理工大学、苏州大学、华东船舶工业学院、东华理工学院、电子科技大学、西南交通大学、西北工业大学、西安交通大学等,具有较为广泛的代表性。在全面振兴国防科技工业的伟大事业中,国防特色专业重点教材和专著的出版,将为国防科技创新人才的培养起到积极的促进作用。

党的十六大提出,进入21世纪,我国进入了全面建设小康社会、加快推进社会主义现代化的新的发展阶段。全面建设小康社会的宏伟目标,对国防科技工业发展提出了新的更高的要求。推动经济与社会发展,提升国防实力,需要造就宏大的人才队伍,而教育是奠基的柱石。全面振兴国防科技工业必须始终把发展作为第一要务,落实科教



兴国和人才强国战略,推动国防科技工业走新型工业化道路,加快国防科技工业科技创新步伐。国防科技工业为有志青年展示才华,实现志向,提供了缤纷的舞台,希望广大青年学子刻苦学习科学文化知识,树立正确的世界观、人生观、价值观,努力担当起振兴国防科技工业、振兴中华的历史重任,创造出无愧于祖国和人民的业绩。祖国的未来无限美好,国防科技工业的明天将再创辉煌。

张华祝



前 言

“飞行器环境控制与安全救生”是人机与环境工程专业的主要专业课程之一。

随着航空航天技术的发展,飞行器环境控制系统的基础理论和实际应用得到了不断的完善和提高,新概念、新理论、新方法和新设备不断涌现。因此,有必要出版一本反映上述内容的教材,以满足航空航天领域人才培养、科学研究和产品研制的需要。

本书较系统和较完整地阐述了飞行器环境控制系统的基本原理、基本组成以及基本设计和计算方法。全书分为17章。前11章主要内容有:与飞行器环境控制和安全救生系统设计相关的大气条件和人体生理基础;飞行器舱内环境系统设计条件和要求;飞行器座舱热载荷分析计算;性能代偿损失估算;气源系统、加温和冷却系统、制冷系统主要附件性能计算,以及参数匹配和优化、加湿和除湿系统、空气分配系统等。本书第12,13章,对机载电子设备冷却问题进行了专题描述,结合典型机种,有重点地对环境控制系统的实际应用方法、组成及设计特点进行了介绍。本书后4章对安全救生系统的组成、基本原理和基本计算方法等进行了阐述,同时还融入了大量航天生理学、航天环境控制等有关题材。

本书力求内容系统、完整和新颖,使读者能够较好地将技术发展和工程应用相结合,深入理解飞行器环境控制系统的概念,较全面地了解飞行器环境控制与安全救生的专业知识。全书采用国际单位制,对有些数据还标注了工程单位。本书还可供从事飞行器环境控制与安全救生研究的科研人员和院校教师参考。

本书的出版获得了国防科工委“十五”重点教材建设项目的资助。全书由南京航空航天大学朱春玲担任主编,余莉负责第14,15章的编写。由于编者水平有限,书中若有错误和不当之处,敬请读者批评指正。

作 者

2006年1月

主要符号表

符 号	量的名称	单 位	
		中 文	符 号
A_p	透明表面垂直于太阳射线的投影面积	米 ²	m ²
a	热扩散系数	米 ² /秒	m ² /s
Bi	毕渥准则数		
C_0	1. 黑体辐射常数	瓦/(米 ² ·开 ⁴)	W/(m ² ·K ⁴)
	2. 舱内空气中有害气体的起始体积分数		
C_B	供入空气中有害气体体积分数		
C_e	单位推力燃油消耗率	千克/(牛[顿]·时)	kg/(N·h)
c_p	比定压热容	千焦[耳]/(千克·摄氏度)	kJ/(kg·℃)
COP	性能系数		
c	声速	米/秒	m/s
D	直径	米	m
d	1. 含湿量	克/千克	g/kg
	2. 直径	米	m
d_0	地面的含湿量	克/千克	g/kg
d_e	当量直径	米	m
d_H	某高度上的含湿量	克/千克	g/kg
d_s	饱和含湿量	克/千克	g/kg
ET	有效温度	摄氏度	℃
F	传热面积	米 ²	m ²
F_0	舱盖的时间变量	1	1
f	流通面积	米 ²	m ²
f_P	功率折换因子	千克/瓦	kg/W
f_D	阻力折换因子	千克/瓦	kg/W
q_m	质量流量	千克/秒	kg/s
m_{dr}	湿空气中所含干空气的质量	千克	kg
m_{eq}	当量质量	千克	kg

续表

符 号	量的名称	单 位	
		中 文	符 号
m_F	固定质量	千克	kg
m_f	燃油质量	千克	kg
$q_{m,n}$	供气质量流量	千克/秒	kg/s
G_s	太阳辐射强度	瓦/米 ²	W/m ²
m_T	飞机质量	千克	kg
$q_{m,y}$	泄漏质量流量	千克/秒	kg/s
m_v	湿空气中所含水蒸气的质量	千克	kg
g	重力加速度	米/秒 ²	m/s ²
H	高度	米	m
H_b	血氧饱和度		
H_u	燃料燃烧热值	焦[耳]/千克	J/kg
I	电流	安[培]	A
h	焓	焦[耳]/千克	J/kg
j	传热因子		
K	1. 传热系数	瓦/(米 ² ·开)	W/(m ² ·K)
	2. 换气次数	次/时	1/h
k	1. 绝热指数		
	2. 空气分配系数		
	3. 净孔面积比	瓦/(米 ² ·开)	W/(m ² ·K)
KF	综合换热系数	瓦/摄氏度	W/°C
L	1. 长度	米	m
	2. 航程	千米	km
	3. 升力	牛[顿]	N
P_C	压气机的单位压缩功率	瓦	W
P_{Tad}	涡轮绝热膨胀功率	瓦	W
Ma	马赫数		
M	力矩	牛[顿]·米	N·m
Ma_H	某高度上的马赫数		

续表

符 号	量的名称	单 位	
		中 文	符 号
m	质量	千克	kg
$q_{m,T}$	燃油质量流量	千克/秒	kg/s
P	功率	千瓦	kW
P_c	压缩机功率	千瓦	kW
P_s	发动机轴功率	千瓦	kW
P_T	涡轮功率	千瓦	kW
Nu	努塞尔数		
NTU	传热单元数		
n	1. 转速	转/秒	r/s
	2. 多变指数		
	3. 过载		
OT	作用温度	摄氏度	℃
F	1. 推力	牛[顿]	N
S	2. 周长	米	m
Pr	普朗特数		
p	压力	帕	Pa
p_{dr}	干空气分压力	帕	Pa
p_H	某高度上的大气压力	千帕	kPa
p_k	座舱压力	千帕	kPa
p_v	水蒸气分压力	帕	Pa
p_0	海平面标准大气压力	帕	Pa
Φ	热流量	瓦	W
Φ_B	通过座舱与隔框、地板之间的热载荷	瓦	W
Φ_D	防冰装置供给座舱的热载荷	瓦	W
Φ_E	电子电器设备的热载荷	瓦	W
Φ_L	泄漏热载荷	瓦	W
Φ_P	人体发出的热载荷	瓦	W
Φ_R	通过舱壁内表面的辐射热载荷	瓦	W

续表

符 号	量的名称	单 位	
		中 文	符 号
Φ_S	通过透明表面的太阳透射热载荷	瓦	W
Φ_T	座舱总的热载荷	瓦	W
Φ_W	通过舱壁外表面的热载荷	瓦	W
Φ_0	蒸发循环制冷热流量	千瓦	kW
Φ_k	冷凝器排热流量	千瓦	kW
q	单位面积传热流量	瓦/米 ²	W/m ²
$qv.c$	座舱内人员所释放出来的有害气体体积流量	米 ³ /小时	m ³ /h
R	1. 空气气体常数	焦[耳]/(千克·开)	J/(kg·K)
	2. 热阻	开/瓦 或 度/瓦	K/W 或 °C/W
	3. 电阻	欧[姆]	Ω
Re	雷诺数		
r	1. 附面层内气流的温度恢复系数		
	2. 半径	米	m
	3. 汽化潜热	千焦[耳]/千克	kJ/kg
St	斯坦顿数		
T	热力学温度	开	K
T_H	某高度上的大气温度	开	K
T_k	座舱温度	开	K
T_{ke}	座舱排气温度	开	K
T_0	海平面标准大气温度	开	K
t	1. 摄氏温度	摄氏度	°C
	2. 时间	秒	s
t_a	邻舱温度	摄氏度	°C
t_e	附面层恢复温度	摄氏度	°C
t_H	某高度上的大气温度	摄氏度	°C
t_k	1. 座舱温度	摄氏度	°C
	2. 冷凝温度	摄氏度	°C
t_L	泄漏处空气的平均温度	摄氏度	°C

续表

符 号	量的名称	单 位	
		中 文	符 号
t_s	蒙皮外表面温度	摄氏度	$^{\circ}\text{C}$
u	1. 圆周速度	米/秒	m/s
	2. 引射系数		
V	1. 体积	米 ³	m ³
	2. 速度	米/秒	m/s
V_k	座舱容积	米 ³	m ³
V_y	爬升速度	米/秒	m/s
v	1. 比体积	米 ³ /千克	m ³ /kg
	2. 速度	米/秒	m/s
qv	1. 体积流量	米 ³ /时	m ³ /h
W	2. 座舱体积供气量	米 ³ /时	m ³ /h
W	3. 水当量	千瓦/开	kW/K
W_v	可变质量的消耗率	千克/秒	kg/s
w	速度	米/秒	m/s
WBGT	三球温度	摄氏度	$^{\circ}\text{C}$
D	阻力	牛[顿]	N
x_0	速比		
α	1. 表面传热系数	瓦/(米 ² ·摄氏度) 或瓦/(米 ² ·开)	W/(m ² · $^{\circ}\text{C}$) 或 W/(m ² ·K)
ϵ	2. 塞贝克系数	伏/开	V/K
α_a	1. 通道内表面传热系数, 2. 邻舱表面传热系数	瓦/(米 ² ·摄氏度) 或瓦/(米 ² ·开)	W/(m ² · $^{\circ}\text{C}$) 或 W/(m ² ·K)
α_k	舱内表面传热系数	瓦/(米 ² ·摄氏度) 或瓦/(米 ² ·开)	W/(m ² · $^{\circ}\text{C}$) 或 W/(m ² ·K)
α_n	外壁表面传热系数	瓦/(米 ² ·摄氏度) 或瓦/(米 ² ·开)	W/(m ² · $^{\circ}\text{C}$) 或 W/(m ² ·K)
α_r	辐射的当量表面传热系数	瓦/(米 ² ·摄氏度) 或瓦/(米 ² ·开)	W/(m ² · $^{\circ}\text{C}$) 或 W/(m ² ·K)
γ_0	供入座舱的空氣的绝对湿度	克/米 ³	g/m ³

续表

符 号	量的名称	单 位	
		中 文	符 号
δ	1. 厚度	米	m
	2. 附面层厚度	米	m
Δq_m	燃油质量流量的增量	千克/秒	kg/s
ϵ	升压式装置膨胀比		
ϵ_{kc}	完全燃烧系数		
ϵ_s	单位发动机轴功率的制冷能力		
ϵ_T	涡轮膨胀比		
ϵ_n	当量黑度		
ζ	局部阻力系数		
	水蒸气回收系数		
ζ_s	蒙皮热时间常数	秒 ⁻¹	s ⁻¹
η	热交换器效率		
η_c	压缩机效率		
η_f	肋片效率		
η_m	机械效率		
η_{sep}	水分离器效率		
η_T	涡轮效率		
λ	1. 导热系数	瓦/(米·开)	W/(m·℃)
	2. 摩擦系数		
	3. 速度系数		
μ	1. [动力]粘度	帕·秒	Pa·s
	2. 流量系数		
ν	运动粘度	米 ² /秒	m ² /s
ξ	冰的溶解度	千焦[耳]/千克	kJ/kg
	加温时间常数	1	1
ρ	密度	千克/米 ³	kg/m ³
ρ_H	某高度上的大气密度	千克/米 ³	kg/m ³
ρ_0	海平面标准大气密度	千克/米 ³	kg/m ³

续表

符 号	量的名称	单 位	
		中 文	符 号
σ	1. 密度比 2. 总压恢复系数		
σ_0	黑体辐射常数	瓦/(米 ² ·开 ⁴)	W/(m ² ·K ⁴)
τ	1. 时间	秒	s
	2. 透明表面的透射系数		
	3. 汤姆逊系数	伏/开	V/K
φ	通道导热因子	米 ⁻¹	m ⁻¹
φ_k	座舱内空气相对湿度		
φ_H	某高度上外界大气的相对湿度		
π_c	压缩机压比		
ω	1. 角速度 2. 流比	秒 ⁻¹	s ⁻¹

上标含义：

* ① 总参数；② 临界参数。

' 入口的；" 出口的。

目 录

第 1 章 航空航天外界环境条件

1.1 外界大气条件	1
1.1.1 地球大气的分层	1
1.1.2 地球大气的组成	5
1.2 湿空气的物理特性和焓湿图	6
1.2.1 湿空气的物理特性	6
1.2.2 湿空气的焓湿图	9
1.2.3 在 $h-d$ 图上几种典型的湿空气状态变化过程	10
1.2.4 湿球温度和露点温度	11
1.3 低气压对人体的影响	12
1.3.1 低氧、高氧对人体的影响	13
1.3.2 低气压对人体的影响	14
1.3.3 压力波动对人体的影响	17
1.4 高空温度环境对人体的影响	18
1.4.1 环境温度与温度环境	18
1.4.2 影响人-环境之间热交换的因素	20
1.4.3 人体的热舒适性	21
1.5 其他因素对人体的影响	23
1.5.1 臭 氧	23
1.5.2 辐 射	24
1.5.3 声环境	26
1.5.4 振动冲击环境	27
1.5.5 毒环境	28
1.6 外界大气设计条件	29
1.7 保障高空飞行的技术措施	30
1.7.1 保障航空飞行的技术措施	30
1.7.2 保障航天飞行的技术措施	31
思考题与习题	32

第 2 章 飞机环境控制系统的设计要求

2.1 舱内压力条件及要求	35
2.1.1 舱内压力选择的生理基础	35



2.1.2 舱内压力制度	36
2.1.3 舱内压力变化速率限制	37
2.2 舱内温湿度条件及要求	38
2.2.1 舱内温度条件及要求	38
2.2.2 舱内湿度条件及要求	39
2.2.3 舱内气流速度条件及要求	40
2.2.4 舱内温湿度综合指标	40
2.3 舱内通风换气条件及要求	41
2.3.1 座舱空气清洁度要求	41
2.3.2 座舱通风量的计算	43
2.3.3 座舱供气量和通风换气的要求	44
思考题与习题	45

第3章 飞机座舱热载荷

3.1 座舱稳态热载荷计算	47
3.1.1 稳态热载荷的传递方式	48
3.1.2 座舱结构传热热载荷	49
3.1.3 辐射热载荷	56
3.1.4 附加热载荷	59
3.1.5 稳态热载荷计算的有关问题	62
3.1.6 座舱稳态热载荷的近似估算	66
3.2 座舱瞬态热载荷的计算	74
3.2.1 瞬态热载荷的影响因素	74
3.2.2 座舱结构瞬时温升的计算	75
3.2.3 座舱温度与座舱放热系数保持为常数时座舱瞬态热载荷增量的计算	79
3.2.4 歼击机座舱瞬态热载荷增量的近似计算	84
思考题与习题	88

第4章 飞行器环境控制系统的评价和代偿损失估算

4.1 当量质量法	91
4.1.1 以爬升速度作为评价标准	92
4.1.2 以航程作为评价标准	94
4.2 起飞质量法	95
4.2.1 固定质量引起的起飞燃油质量的代偿损失	95
4.2.2 可变质量引起的起飞燃油质量的代偿损失	96
4.2.3 冲压空气阻力引起的起飞燃油质量的代偿损失	97
4.2.4 轴功率 P 引起的起飞燃油质量的代偿损失	98
4.2.5 从发动机引气导致的起飞燃油质量的代偿损失	100