

喷气发动机原理

[苏] A.И. 克莱什金 著



国防工业出版社

喷气发动机原理

【苏】A. И. 克莱什金 著

秦 鹏 译



工业出版社

315624

内 容 简 介

本书讲述了各种民用型喷气发动机（包括涡轮喷气、涡轮螺桨和涡轮风扇）的设计点工作过程、调节原理和工作特性。分析了飞机发动机的节流特性和高度速度特性，并研究了各种工作条件对它们的影响。

本书可作为航空院校的教学参考书，也可作为发动机设计方面的工程技术人员参考书。

全书编入了12张表格，376幅图和34本参考书。

Теория Воздушно-Реактивных Двигателей

А. Л. Клиацкин

Издательство «Машиностроение» Москва. 1969

*

喷气发动机原理

〔苏〕 А. Л. 克莱什金 著

秦 鹏 译

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业专业许可证出字第 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

*

850×1168 $1/32$ 印张14 $7/8$ 383 千字

1977年10月第一版 1977年10月第一次印刷 印数：0,001—4,000册

统一书号：15034·1547 定价：1.85元

目 录

字头和缩写语表	11
前言	13
符号	15
第一部分 喷气发动机概论	
第一章 喷气发动机的工作原理、结构和分类	19
1.1 反作用力和喷气发动机的概念	19
1.2 反作用发动机的分类	20
1.3 喷气发动机的方案、结构和工作原理	25
第二章 喷气发动机发展简史 (略)	
第三章 喷气发动机的推力和基本参数	31
3.1 喷气发动机推力定理	31
3.2 涡轮喷气发动机推力的反向和转向	36
3.3 涡轮喷气发动机(空气喷气发动机)的基本参数	39
第二部分 喷气发动机的热力循环和工作过程	
第四章 空气喷气发动机的热力循环	42
4.1 喷气发动机的理想循环 ($p = \text{常数}$)	42
4.2 喷气发动机的实际循环	44
4.3 压缩过程的效率	48
4.4 膨胀过程的效率	50
4.5 空气喷气发动机的其他理想循环	51
第五章 喷气发动机的进气系统	55
5.1 进气装置的功用和要求	55
5.2 进气道(扩压器)的热力过程	59
5.3 标准亚音速扩压器在超音速飞行时的工作	61

5.4	超音速扩压器(设计状态)	63
5.5	超音速扩压器部分载荷状态下的工作	67
5.6	超音速扩压器的特性	72
5.7	超音速扩压器和压气机的共同工作	77
5.8	涡轮喷气发动机(TPE)超音速扩压器的调节	78
第六章 喷气发动机燃烧室		81
6.1	燃烧室的任务	81
6.2	燃烧室的基本要求和基本参数	82
6.3	燃烧室的设计和工作原理。燃烧室的类型	85
6.4	燃烧室中的压力变化	90
6.5	影响燃油燃烧完全程度和燃烧稳定性的因素	96
6.6	燃烧室中的相对燃油消耗量的确定	100
第七章 喷气发动机的排气系统		101
7.1	喷气发动机排气系统的功用和基本要求	101
7.2	喷管的排气过程	102
7.3	估算喷管内损失的各种方法	104
7.4	发动机工作过程的调节	106
7.5	超音速飞行时喷管的调节	108
7.6	尾喷管的气动和设计简图	114
7.7	发动机排气系统的底部(尾部)阻力的概念	120
第八章 喷气发动机的混合室		122
8.1	喷气发动机中气流混合的基本原理	122
8.2	圆筒形混合室中的混合过程	128
第三部分 涡轮喷气发动机		
第九章 涡轮喷气发动机工作过程参数对单位参数		
和效率的影响		133
9.1	涡轮喷气发动机的实际循环功(内功)	133
9.2	涡轮喷气发动机的单位推力	141
9.3	工作过程参数对涡轮喷气发动机效率的影响	144
9.4	工作过程参数对单位燃料消耗量的影响	152

第十章 涡轮喷气发动机调节的热力原理 157

10.1 航空发动机工作特性的概念 157

10.2 发动机的调节规律 161

10.3 涡轮喷气发动机中涡轮和压气机的共同工作 165

第十一章 涡轮喷气发动机的节流特性 173

11.1 涡轮喷气发动机的节流特性的概念 173

11.2 几何尺寸不变的涡轮喷气发动机的节流特性 175

11.3 特殊调节的涡轮喷气发动机的节流特性 186

11.4 涡轮喷气发动机可能的工作状态范围 192

11.5 压气机的不稳定工作(喘振) 193

11.6 涡轮喷气发动机基本工作过程的命名 198

11.7 外界大气条件对涡轮喷气发动机工作的影响 200

11.8 气动相似理论在涡轮喷气发动机上的应用 202

第十二章 涡轮喷气发动机的速度特性 210

12.1 没有加力燃烧室的单轴涡轮喷气发动机的速度特性 210

12.2 双轴涡轮喷气发动机速度特性的特点 225

第十三章 涡轮喷气发动机的高度特性 227

13.1 没有加力燃烧室的单轴涡轮喷气发动机的高度特性 227

第四部分 加力涡轮喷气发动机、

冲压式喷气发动机

第十四章 加力的方法 233

14.1 加力的概念 233

14.2 燃气轮发动机的加力方法 233

14.3 各种加力方法的比较 238

第十五章 带加力燃烧室的涡轮喷气发动机 239

15.1 带加力燃烧室的涡轮喷气发动机工作过程的特点 240

15.2 带加力燃烧室的涡轮喷气发动机工作过程参数对
单位参数的影响 244

15.3 带加力燃烧室的涡轮喷气发动机的高度-速度特性的特点 253

第十六章 冲压式喷气发动机	256
16.1 冲压式喷气发动机的简图和分类	256
16.2 冲压式喷气发动机的实际循环	258
16.3 工作过程参数和飞行参数 (T_3^* , σ_2^* 或 η_p , η_c , M_0) 对冲压式喷气发动机单位参数的影响	260
16.4 冲压式喷气发动机的特性	267

第五部分 函道风扇发动机

第十七章 航空函道风扇燃气轮发动机的 基本工作原理和分类	273
17.1 航空函道风扇燃气轮发动机的概念	273
17.2 函道风扇喷气发动机质量附加 (质量传递) 原理	275
17.3 函道风扇喷气发动机的能量转换原理	279
17.4 函道风扇发动机工作原理及其分类	281
17.5 函道风扇发动机的热力循环	288
17.6 函道风扇发动机的基本参数	296
第十八章 不加力式和加力式函道风扇发动机 的热力性质	299
18.1 不加力式函道风扇发动机的函道参数对单位参数的影响 ..	299
18.2 函道风扇发动机的工作过程参数对单位参数和无因次 参数的影响	308
18.3 不加力式函道风扇发动机的热平衡	311
18.4 加力式函道风扇发动机的热力性质	312
18.5 气流混合式函道风扇发动机	324
第十九章 函道风扇发动机的工作特性	325
19.1 函道风扇发动机调节的热力基础	325
19.2 函道风扇喷气发动机的节流特性	340
19.3 函道风扇喷气发动机的速度特性	352
19.4 函道风扇发动机的高度特性	361
19.5 高函道比的函道风扇发动机的工作特性的特点	364
19.6 函道风扇发动机起飞时的加力	369

第六部分 涡轮螺桨发动机

第二十章 涡轮螺桨发动机的设计简图及其分类、

涡轮螺桨发动机的基本参数 371

20.1 涡轮螺桨发动机的设计简图和工作原理 371

20.2 涡轮螺桨发动机的基本参数 375

20.3 涡轮螺桨发动机中燃气膨胀过程的特点 380

第二十一章 工作过程参数对涡轮螺桨发动机

基本参数的影响 382

21.1 涡轮螺桨发动机循环功在螺桨和反作用

气流间的最佳分配 382

21.2 涡轮螺桨发动机工作过程参数对单位参数、

效率和有效燃料消耗量的影响 388

21.3 涡轮螺桨发动机中回热的应用 391

第二十二章 涡轮螺桨发动机的工作特性 397

22.1 涡轮螺桨发动机的节流特性 397

22.2 涡轮螺桨发动机的速度特性 408

22.3 涡轮螺桨发动机的高度特性 417

第七部分 航空燃气轮机的特殊工作特性

第二十三章 燃气轮机的起动和过渡状态 421

23.1 燃气轮机的起动 421

23.2 燃气轮机的过渡状态 425

23.3 燃气轮机的加速性 427

第二十四章 工作条件对航空燃气轮机特性的影响 429

24.1 各种工作因素对涡轮喷气（涡轮冲压）发动机 的工作状态和参数的影响 429

24.2 外界大气温度低时，发动机推力的限制 433

24.3 大气湿度对航空燃气轮机参数的影响 435

24.4 推力反向对涡轮喷气发动机工作的影响 436

24.5 航空燃气轮机的使用寿命和可靠性 438

24.6 从航空燃气轮机中引出压缩空气 441

第二十五章 航空燃气涡轮发动机的噪音级特性 449

25.1 燃气涡轮发动机噪音的来源 450

25.2 排气射流噪音级的估算 451

25.3 降低噪音级的方法 455

第二十六章 航空燃气轮发动机技术经济性能 462

26.1 评定航空燃气轮发动机技术经济性能的指标 462

26.2 航空发动机的比重 462

26.3 发动机短舱的相对阻力 467

26.4 动力装置和燃油系统的比重 469

26.5 每吨一公里载重的运输成本(本节略加删节) 470

附表1 确定喷气发动机相对耗油量的图线 473

附表2 确定函道风扇发动机单位参数的图线 ($M_0=0.8$,
 $H=11$ 公里, $T_3^*=1300^\circ\text{K}$) 474附表3 确定函道风扇发动机单位参数的图线 ($y=8$) 474

参考资料 475

喷气发动机原理

本书是根据作者在苏联莫斯科航空学院任教时的讲义和讲课材料编成的。本书可作为航空工程专业的教材，也可供从事喷气发动机工作的工程技术人员参考。

本书是根据作者在苏联莫斯科航空学院任教时的讲义和讲课材料编成的。本书可作为航空工程专业的教材，也可供从事喷气发动机工作的工程技术人员参考。

【苏】A. И. 克莱什金 著

秦 鹏 译



航空工业出版社

315624

内 容 简 介

本书讲述了各种民用型喷气发动机（包括涡轮喷气、涡轮螺旋桨和涡轮风扇）的设计点工作过程、调节原理和工作特性。分析了飞机发动机的节流特性和高度速度特性，并研究了各种工作条件对它们的影响。

本书可作为航空院校的教学参考书，也可作为发动机设计方面的工程技术人员参考书。

全书编入了12张表格，376幅图和34本参考书。

Теория Воздушно-Реактивных Двигателей

А. Л. Клиацкин

Издательство «Машиностроение» Москва. 1969

喷气发动机原理

〔苏〕 А. Л. 克萊什金 著

秦 鹏 译

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业专业许可证出字第 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

850×1168 1/32 印张147/8 383 千字

1977年10月第一版 1977年10月第一次印刷 印数：0,001—4,000册

统一书号：15034·1547 定价：1.85元

出版者的话

遵照伟大领袖毛主席“洋为中用”的教导，我们将俄文版《喷气发动机原理》一书的英译本翻译成中文，供有关方面的同志参考。

书中主要讲述了各种民用型喷气发动机（包括涡轮喷气、涡轮螺桨和涡轮风扇）的设计点工作过程、调节原理和工作特性。

目前，函道风扇涡轮喷气发动机有了很快的发展，本书特别注意地介绍了这方面的原理和特性，但讲的不够深入。

由于书中某些图片不清及实用意义不大，故作了删略，其中个别章节也做了删节。

书中错误和不妥之处不少，欢迎读者批评指正。

出 版 告 白

本文所引各书，均系经“中共中央”副主席李富春大书记审阅
同意而正式发表，文中所引各书均系英译本——《苏联宪法草案》

（参看志

书，苏联宪法草案）所引各书均系英译本——《苏联宪法草案》

（参看志书，苏联宪法草案）所引各书均系英译本——《苏联宪法草案》

（参看志书，苏联宪法草案）所引各书均系英译本——《苏联宪法草案》

（参看志书，苏联宪法草案）

（参看志书，苏联宪法草案）

目 录

字头和缩写语表	11
前言	13
符号	15
第一部分 喷气发动机概论	
第一章 喷气发动机的工作原理、结构和分类	19
1.1 反作用力和喷气发动机的概念	19
1.2 反作用发动机的分类	20
1.3 喷气发动机的方案、结构和工作原理	25
第二章 喷气发动机发展简史 (略)	
第三章 喷气发动机的推力和基本参数	31
3.1 喷气发动机推力定理	31
3.2 涡轮喷气发动机推力的反向和转向	36
3.3 涡轮喷气发动机(空气喷气发动机)的基本参数	39
第二部分 喷气发动机的热力循环和工作过程	
第四章 空气喷气发动机的热力循环	42
4.1 喷气发动机的理想循环 ($p = \text{常数}$)	42
4.2 喷气发动机的实际循环	44
4.3 压缩过程的效率	48
4.4 膨胀过程的效率	50
4.5 空气喷气发动机的其他理想循环	51
第五章 喷气发动机的进气系统	55
5.1 进气装置的功用和要求	55
5.2 进气道(扩压器)的热力过程	59
5.3 标准亚音速扩压器在超音速飞行时的工作	61

5.4 超音速扩压器 (设计状态)	63
5.5 超音速扩压器部分载荷状态下的工作	67
5.6 超音速扩压器的特性	72
5.7 超音速扩压器和压气机的共同工作	77
5.8 涡轮喷气发动机 (TPD) 超音速扩压器的调节	78
第六章 喷气发动机燃烧室	81
6.1 燃烧室的任务	81
6.2 燃烧室的基本要求和基本参数	82
6.3 燃烧室的设计和工作原理。燃烧室的类型	85
6.4 燃烧室中的压力变化	90
6.5 影响燃油燃烧完全程度和燃烧稳定性的因素	96
6.6 燃烧室中的相对燃油消耗量的确定	100
第七章 喷气发动机的排气系统	101
7.1 喷气发动机排气系统的功用和基本要求	101
7.2 喷管的排气过程	102
7.3 估算喷管内损失的各种方法	104
7.4 发动机工作过程的调节	106
7.5 超音速飞行时喷管的调节	108
7.6 尾喷管的气动和设计简图	114
7.7 发动机排气系统的底部 (尾部) 阻力的概念	120
第八章 喷气发动机的混合室	122
8.1 喷气发动机中气流混合的基本原理	122
8.2 圆筒形混合室中的混合过程	128
第三部分 涡轮喷气发动机	
第九章 涡轮喷气发动机工作过程参数对单位参数 和效率的影响	133
9.1 涡轮喷气发动机的实际循环功 (内功)	133
9.2 涡轮喷气发动机的单位推力	141
9.3 工作过程参数对涡轮喷气发动机效率的影响	144
9.4 工作过程参数对单位燃料消耗量的影响	152

第十章 涡轮喷气发动机调节的热力原理 157

10.1 航空发动机工作特性的概念 157

10.2 发动机的调节规律 161

10.3 涡轮喷气发动机中涡轮和压气机的共同工作 165

第十一章 涡轮喷气发动机的节流特性 173

11.1 涡轮喷气发动机的节流特性的概念 173

11.2 几何尺寸不变的涡轮喷气发动机的节流特性 175

11.3 特殊调节的涡轮喷气发动机的节流特性 186

11.4 涡轮喷气发动机可能的工作状态范围 192

11.5 压气机的不稳定工作(喘振) 193

11.6 涡轮喷气发动机基本工作过程的命名 198

11.7 外界大气条件对涡轮喷气发动机工作的影响 200

11.8 气动相似理论在涡轮喷气发动机上的应用 202

第十二章 涡轮喷气发动机的速度特性 210

12.1 没有加力燃烧室的单轴涡轮喷气发动机的速度特性 210

12.2 双轴涡轮喷气发动机速度特性的特点 225

第十三章 涡轮喷气发动机的高度特性 227

13.1 没有加力燃烧室的单轴涡轮喷气发动机的高度特性 227

第四部分 加力涡轮喷气发动机、

冲压式喷气发动机

第十四章 加力的方法 233

14.1 加力的概念 233

14.2 燃气轮发动机的加力方法 233

14.3 各种加力方法的比较 238

第十五章 带加力燃烧室的涡轮喷气发动机 239

15.1 带加力燃烧室的涡轮喷气发动机工作过程的特点 240

15.2 带加力燃烧室的涡轮喷气发动机工作过程参数对
单位参数的影响 244

15.3 带加力燃烧室的涡轮喷气发动机的高度-速度特性的特点 253

第十六章 冲压式喷气发动机	256
16.1 冲压式喷气发动机的简图和分类	256
16.2 冲压式喷气发动机的实际循环	258
16.3 工作过程参数和飞行参数 (T_3^* , σ_2^* 或 η_p , η_c , M_0) 对冲压式喷气发动机单位参数的影响	260
16.4 冲压式喷气发动机的特性	267

第五部分 函道风扇发动机

第十七章 航空函道风扇燃气轮发动机的 基本工作原理和分类	273
17.1 航空函道风扇燃气轮发动机的概念	273
17.2 函道风扇喷气发动机质量附加 (质量传递) 原理	275
17.3 函道风扇喷气发动机的能量转换原理	279
17.4 函道风扇发动机工作原理及其分类	281
17.5 函道风扇发动机的热力循环	288
17.6 函道风扇发动机的基本参数	296
第十八章 不加力式和加力式函道风扇发动机 的热力性质	299
18.1 不加力式函道风扇发动机的函道参数对单位参数的影响 ..	299
18.2 函道风扇发动机的工作过程参数对单位参数和无因次 参数的影响	308
18.3 不加力式函道风扇发动机的热平衡	311
18.4 加力式函道风扇发动机的热力性质	312
18.5 气流混合式函道风扇发动机	324
第十九章 函道风扇发动机的工作特性	325
19.1 函道风扇发动机调节的热力基础	325
19.2 函道风扇喷气发动机的节流特性	340
19.3 函道风扇喷气发动机的速度特性	352
19.4 函道风扇发动机的高度特性	361
19.5 高函道比的函道风扇发动机的工作特性的特点	364
19.6 函道风扇发动机起飞时的加力	369