

## 内 容 简 介

本书是按美国NASA SP-36修订版(1965)译出的。书中总结了直到1956年的356份有关文献资料,引用了其中的一些主要结果,提出了一套压气机气动设计体系。比较详细地介绍了有关轴流压气机气动设计方面的知识(如二元叶栅位流,流入角、偏离角和叶栅损失计算,子午面里速度分布计算及压气机特性估算等都有计算方法,还有一些数字计算例题)。还讨论了有关三元流,二元叶栅中的粘性流动,二次流和三元附面层效应,失速与喘振以及压气机和涡轮共同工作等问题。还以相当篇幅讨论了飞机方案设计时选择发动机的问题和由发动机方案设计提出对压气机的要求(第二章)。最后分析了设计误差和测量误差对压气机性能的影响。

本书可供航空、舰船、地面燃气轮机和风机等专业的轴流压气机气动设计、研究人员和高等院校有关专业的师生参考。有些内容对飞机和发动机方案设计人员亦有参考价值。

Aerodynamic design of Axial-flow compressors

[美] NASA

1965

轴流压气机气动设计

秦 鹏 译

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业登记证出字第 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

787×1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub> 印张 32<sup>1</sup>/<sub>2</sub> 761 千字

1975年2月第一版 1978年7月第二次印刷 印数: 3,401—5,900册

统一书号: 15034·1366 定价: 3.30元

## 出版者的话

本书系美国国家航空谘询委员会 (NACA) 1956年发表、1958年解密的三卷保密本修订而成。再版时曾由美国国家航空与宇航局 (NASA) 路易斯研究中心的编辑部成员，根据轴流压气机这一领域内后来的发展情况加以补充与更新，并做了仔细地审阅。

遵循伟大领袖毛主席关于“洋为中用”和“批判地吸收外国文化”的教导，我们翻译出版了《轴流压气机气动设计》这本书，供有关方面的读者参考。

希望阅读本书的读者能按照伟大领袖毛主席关于“**排泄其糟粕，吸收其精华**”的指示，批判地使用它。

由于水平所限，错误之处在所难免，希望读者提出批评指正，以利再版时更正。

# 目 录

## 第一章 目的和范围

引言	9
轴流压气机简述	10
历史背景	10
压气机设计途径	11
本书的目的	13
本书的范围	13
结束语	16

## 第二章 压气机的设计要求

引言	17
本章采用的符号	17
发动机特性对飞机性能的影响	20
发动机重量	20
发动机效率	24
单位迎风面积推力	27
发动机的其它要求	28
压气机压比、压气机效率和飞行条件	
对发动机性能的影响	28
循环分析中所用的假设	29
压气机压比和飞行条件对涡轮螺旋桨发动机性能的影响	30
压气机压比和飞行条件对涡轮喷气发动机性能的影响	33
其它发动机循环	37
压气机效率对发动机性能的影响	37
压气机压比、流通能力和效率对发动机	
其他部件的迎风面积的影响	40
亚音速飞行时迎风面积的比较	43
超音速飞行时迎风面积的比较	46
压气机效率对其后面的各部件尺寸的影响	47
确定压气机流通能力和重量的几个因素	47

流通能力	47
设计方案和重量	48
压气机要求	51
设计点	51
对非设计点的考虑	52
单转子涡轮喷气发动机	52
双转子涡轮喷气发动机	57
涡轮螺旋桨发动机	59
结束语	60

## 第三章 压气机设计体系

引言	61
本章采用的符号	62
构成设计体系的基本概念	63
热力学方程	63
稳定无粘性流动的分析	65
粘性问题的分析	72
不稳定流动的处理方法	77
设计概念依据的典型实验数据	78
二元叶栅	78
进口导向器	81
转子和单级压气机	82
多级压气机	87
上述结果的意义	90
设计和研究所采用的体系	93
子午面内设计点的求解	95
叶片选择	99
非设计点分析	100
分析中需要改进的几个方面	100
气流的径向分布	101
轮毂和外壳附面层	102
载荷极限	104
结束语	105

## 第四章 二元叶栅中的位流

引言	106
----	-----

本章采用的符号 .....	108
概述 .....	111
低稠度叶栅 .....	112
正问题 .....	112
反问题 .....	120
压缩性问题 .....	126
高稠度叶栅 .....	130
正问题 .....	131
反问题 .....	139
模拟技术 .....	145
水力模拟 .....	146
机械模拟 .....	148
电模拟 .....	152
结束语 .....	153
附录 A 在任意流入角下的速度分布 .....	154
附录 B 叶栅变换函数 .....	156
附录 C 关于张弛法 .....	158
附录 D 关于矩阵法 .....	159

## 第五章 二元叶栅中的粘性流动

引言 .....	161
本章采用的符号 .....	162
定性附面层理论 .....	163
概述 .....	163
附面层概念 .....	164
层流附面层 .....	167
紊流附面层 .....	168
转换 .....	170
综合损失的变化 .....	173
定量附面层理论 .....	177
概述 .....	177
层流附面层 .....	178
紊流附面层 .....	182
转换 .....	186
环量减小 .....	186
总压损失的计算 .....	188
结束语 .....	189

## 第六章 二元叶栅中的实验流动

引言 .....	190
----------	-----

本章采用的符号 .....	191
概述 .....	192
叶栅描述 .....	192
性能参数 .....	193
数据选择 .....	195
处理方法 .....	196
流入角分析 .....	198
初步分析 .....	198
数据关联 .....	200
小结 .....	206
损失分析 .....	206
初步分析 .....	207
数据关联 .....	208
小结 .....	213
偏离角分析 .....	214
初步分析 .....	214
数据关联 .....	215
小结 .....	225
结束语 .....	228

## 第七章 环形叶栅中绕基元叶片的流动

引言 .....	230
本章采用的符号 .....	231
概述 .....	232
基元叶片概念 .....	232
影响基元叶片性能的因素 .....	232
关联方法 .....	234
实验数据的来源 .....	236
流入角分析 .....	237
关联方法 .....	237
小结 .....	241
总压损失分析 .....	241
数据关联 .....	241
小结 .....	242
偏离角分析 .....	243
关联方法 .....	243
小结 .....	247
设计应用 .....	247
设计程序 .....	247
小结 .....	253
附录 基元叶片效率方程式 .....	254

## 第八章 子午面里的设计速度的分布

引言	257
本章采用的符号	258
设计问题的说明	260
压气机性能和结构要求规范	260
流动状态和几何条件的确定	260
通用方程式	260
基本假设	261
简化的流动方程	261
平衡方程的解	261
忽略熵的梯度的简化径向平衡方程	262
考虑熵的径向梯度的简化径向平衡方程	263
考虑径向加速度的径向平衡方程	264
考虑壁面附面层的影响	265
重量流量堵塞修正系数	267
总温升修正系数	268
总压修正系数	268
作功系数修正法	269
设计变量的选择	270
速度图	270
压气机进口条件	271
设计参数沿压气机的变化	271
结构因素	272
非设计点性能	272
方程式的应用	273
设计方程式	273
确定轴向速度分布的一般方法	275
方法 I	275
方法 II	277
方法 III	277
几点说明	277
数字例题	278
结束语	282

## 第九章 设计速度分布的图解法

引言	283
本章采用的符号	284
设计方程	286

图线说明	287
径向平衡	287
连续方程	289
加功量和效率	292
矢量关系	294
扩散因子	295
例题	296
图解值和计算值的比较	302

## 第十章 多级压气机非设计性能的估算

引言	303
本章采用的符号	304
非设计性能的估算方法	306
基元叶片方法	306
级堆叠方法	309
简化方法	312
结束语	316

## 第十一章 压气机失速和叶片振动

引言	317
非设计状态工作	317
失速现象	318
本章采用的符号	318
旋转失速	319
失速传播的机理	319
旋转失速的实验探测	319
失速分类	323
关于旋转失速现象的一般见解	324
旋转失速时引起的叶片振动	326
旋转失速理论	327
单个叶片失速	334
失速颤振	334
失速颤振与经典颤振之间的区别	334
失速颤振的机理	334
结束语	335
空气动力问题	335
振动问题	336

## 第十二章 压气机喘振

引言	337
----	-----

本章采用的符号 .....	337
稳态压气机特性 .....	338
喘振的实验研究 .....	338
突变失速喘振 .....	338
渐进失速喘振 .....	343
喘振的理论研究 .....	344
突变失速喘振 .....	344
渐进失速喘振 .....	345
压气机喘振与其他振荡现象的比较 .....	346
结束语 .....	346

### 第十三章 一个或几个叶片排 失速时压气机的工作

引言 .....	347
概述 .....	348
单级失速特性 .....	348
级的相互干扰 .....	349
全台压气机失速和喘振 .....	350
级的堆叠 .....	350
假想压气机, 情况 I、II 和 III .....	351
假想压气机, 情况 IV 和 V .....	352
计算范围 .....	353
计算性能的讨论 .....	353
情况 I .....	353
情况 II .....	356
情况 III .....	360
情况 IV .....	362
情况 V .....	364
结束语 .....	366
部分转速下的性能问题 .....	366
级匹配的折衷方案 .....	367
可变几何形状 .....	368

### 第十四章 压气机三元流动 理论和实际流动效应

引言 .....	369
本章采用的符号 .....	370
设计假设 .....	371
轴对称 .....	371
绕基元叶片流动 .....	372

改进的设计理论 .....	373
压气机设计理论 .....	374
基本方程 .....	374
轴对称流动理论 .....	376
改进的流动理论 .....	377
三元理论 .....	381
三元流的几个问题 .....	383
径向流动变化 .....	384
二次流效应 .....	386
一般讨论 .....	386
注释 .....	387
不稳定流动 .....	387

### 第十五章 二次流和三元附面层效应

引言 .....	390
二次流的实验研究 .....	391
横跨通道的流动和通道涡的形成 .....	391
静子中的径向二次流 .....	393
具有间隙时叶端区的流动 .....	399
转子-静子相互作用影响 .....	401
压气机叶片排中二次流的模型 .....	401
二次流的理论研究 .....	402
对方法的讨论 .....	403
无粘性二次流理论 .....	405
三元附面层流动 .....	408
结束语 .....	413

### 第十六章 设计和测量误差 对压气机性能的影响

引言 .....	415
本章采用的符号 .....	416
分析法 .....	417
设计误差 .....	417
测量误差 .....	420
公式的计算和表示 .....	421
设计误差公式 .....	422
测量误差公式 .....	426
地毯式图线的读法 .....	453
公式和图表的讨论 .....	461
设计和测量误差的示例 .....	461
设计误差图表的应用 .....	464

测量误差图表的应用 .....	466	双转子燃气发生器 .....	482
结束语 .....	467	燃气发生器与发动机其他部件的匹配 .....	486
附录 A 公式的准确性 .....	468	平衡工作的简化方法 .....	490
附录 B 公式的推导 .....	471	单转子燃气发生器 .....	491
		双转子燃气发生器 .....	492
		单转子涡轮喷气发动机的平衡	
		工作线 .....	493
		用图线求设计点 .....	497
		用图线求非设计点 .....	498
		过渡工作时的匹配方法 .....	499
		单转子涡轮喷气发动机 .....	499
		双转子涡轮喷气发动机 .....	501
		参考文献 .....	504
<b>第十七章 压气机与涡轮匹配</b>			
引言 .....	474		
本章采用的符号 .....	476		
概述 .....	477		
平衡工作的一般方法 .....	478		
单转子燃气发生器 .....	479		

## 内 容 简 介

本书是按美国NASA SP-36修订版(1965)译出的。书中总结了直到1956年的356份有关文献资料,引用了其中的一些主要结果,提出了一套压气机气动设计体系。比较详细地介绍了有关轴流压气机气动设计方面的知识(如二元叶栅位流,流入角、偏离角和叶栅损失计算,子午面里速度分布计算及压气机特性估算等都有计算方法,还有一些数字计算例题)。还讨论了有关三元流,二元叶栅中的粘性流动,二次流和三元附面层效应,失速与喘振以及压气机和涡轮共同工作等问题。还以相当篇幅讨论了飞机方案设计时选择发动机的问题和由发动机方案设计提出对压气机的要求(第二章)。最后分析了设计误差和测量误差对压气机性能的影响。

本书可供航空、舰船、地面燃气轮机和风机等专业的轴流压气机气动设计、研究人员和高等院校有关专业的师生参考。有些内容对飞机和发动机方案设计人员亦有参考价值。

Aerodynamic design of Axial-flow compressors

[美] NASA

1965

轴流压气机气动设计

秦 鹏 译

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业登记证出字第 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

787×1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub> 印张 32<sup>1</sup>/<sub>2</sub> 761 千字

1975年2月第一版 1978年7月第二次印刷 印数: 3,401—5,900册

统一书号: 15034·1366 定价: 3.30元



## 出版者的话

本书系美国国家航空谘询委员会 (NACA) 1956年发表、1958年解密的三卷保密本修订而成。再版时曾由美国国家航空与宇航局 (NASA) 路易斯研究中心的编辑部成员, 根据轴流压气机这一领域内后来的发展情况加以补充与更新, 并做了仔细地审阅。

遵循伟大领袖毛主席关于“洋为中用”和“批判地吸收外国文化”的教导, 我们翻译出版了《轴流压气机气动设计》这本书, 供有关方面的读者参考。

希望阅读本书的读者能按照伟大领袖毛主席关于“**排泄其糟粕, 吸收其精华**”的指示, 批判地使用它。

由于水平所限, 错误之处在所难免, 希望读者提出批评指正, 以利再版时更正。

# 目 录

## 第一章 目的和范围

引言	9
轴流压气机简述	10
历史背景	10
压气机设计途径	11
本书的目的	13
本书的范围	13
结束语	16

## 第二章 压气机的设计要求

引言	17
本章采用的符号	17
发动机特性对飞机性能的影响	20
发动机重量	20
发动机效率	24
单位迎风面积推力	27
发动机的其它要求	28
压气机压比、压气机效率和飞行条件	
对发动机性能的影响	28
循环分析中所用的假设	29
压气机压比和飞行条件对涡轮螺旋桨发动机性能的影响	30
压气机压比和飞行条件对涡轮喷气发动机性能的影响	33
其它发动机循环	37
压气机效率对发动机性能的影响	37
压气机压比、流通能力和效率对发动机	
其他部件的迎风面积的影响	40
亚音速飞行时迎风面积的比较	43
超音速飞行时迎风面积的比较	46
压气机效率对其后面的各部件尺寸的影响	47
确定压气机流通能力和重量的几个因素	47

流通能力	47
设计方案和重量	48
压气机要求	51
设计点	51
对非设计点的考虑	52
单转子涡轮喷气发动机	52
双转子涡轮喷气发动机	57
涡轮螺旋桨发动机	59
结束语	60

## 第三章 压气机设计体系

引言	61
本章采用的符号	62
构成设计体系的基本概念	63
热力学方程	63
稳定无粘性流动的分析	65
粘性问题的分析	72
不稳定流动的处理方法	77
设计概念依据的典型实验数据	78
二元叶栅	78
进口导向器	81
转子和单级压气机	82
多级压气机	87
上述结果的意义	90
设计和研究所采用的体系	93
子午面内设计点的求解	95
叶片选择	99
非设计点分析	100
分析中需要改进的几个方面	100
气流的径向分布	101
轮毂和外壳附面层	102
载荷极限	104
结束语	105

## 第四章 二元叶栅中的位流

引言	106
----	-----

本章采用的符号	108
概述	111
低稠度叶栅	112
正问题	112
反问题	120
压缩性问题	126
高稠度叶栅	130
正问题	131
反问题	139
模拟技术	145
水力模拟	146
机械模拟	148
电模拟	152
结束语	153
附录 A 在任意流入角下的速度分布	154
附录 B 叶栅变换函数	156
附录 C 关于张弛法	158
附录 D 关于矩阵法	159

## 第五章 二元叶栅中的粘性流动

引言	161
本章采用的符号	162
定性附面层理论	163
概述	163
附面层概念	164
层流附面层	167
紊流附面层	168
转换	170
综合损失的变化	173
定量附面层理论	177
概述	177
层流附面层	178
紊流附面层	182
转换	186
环量减小	186
总压损失的计算	188
结束语	189

## 第六章 二元叶栅中的实验流动

引言	190
----	-----

本章采用的符号	191
概述	192
叶栅描述	192
性能参数	193
数据选择	195
处理方法	196
流入角分析	198
初步分析	198
数据关联	200
小结	206
损失分析	206
初步分析	207
数据关联	208
小结	213
偏离角分析	214
初步分析	214
数据关联	215
小结	225
结束语	228

## 第七章 环形叶栅中绕基元叶片的流动

引言	230
本章采用的符号	231
概述	232
基元叶片概念	232
影响基元叶片性能的因素	232
关联方法	234
实验数据的来源	236
流入角分析	237
关联方法	237
小结	241
总压损失分析	241
数据关联	241
小结	242
偏离角分析	243
关联方法	243
小结	247
设计应用	247
设计程序	247
小结	253
附录 基元叶片效率方程式	254

## 第八章 子午面里的设计速度的分布

引言	257
本章采用的符号	258
设计问题的说明	260
压气机性能和结构要求规范	260
流动状态和几何条件的确定	260
通用方程式	260
基本假设	261
简化的流动方程	261
平衡方程的解	261
忽略熵的梯度的简化径向平衡方程	262
考虑熵的径向梯度的简化径向平衡方程	263
考虑径向加速度的径向平衡方程	264
考虑壁面附面层的影响	265
重量流量堵塞修正系数	267
总温升修正系数	268
总压修正系数	268
作功系数修正法	269
设计变量的选择	270
速度图	270
压气机进口条件	271
设计参数沿压气机的变化	271
结构因素	272
非设计点性能	272
方程式的应用	273
设计方程式	273
确定轴向速度分布的一般方法	275
方法 I	275
方法 II	277
方法 III	277
几点说明	277
数字例题	278
结束语	282

## 第九章 设计速度分布的图解法

引言	283
本章采用的符号	284
设计方程	286

图线说明	287
径向平衡	287
连续方程	289
加功量和效率	292
矢量关系	294
扩散因子	295
例题	296
图解值和计算值的比较	302

## 第十章 多级压气机非设计性能的估算

引言	303
本章采用的符号	304
非设计性能的估算方法	306
基元叶片方法	306
级堆叠方法	309
简化方法	312
结束语	316

## 第十一章 压气机失速和叶片振动

引言	317
非设计状态工作	317
失速现象	318
本章采用的符号	318
旋转失速	319
失速传播的机理	319
旋转失速的实验探测	319
失速分类	323
关于旋转失速现象的一般见解	324
旋转失速时引起的叶片振动	326
旋转失速理论	327
单个叶片失速	334
失速颤振	334
失速颤振与经典颤振之间的区别	334
失速颤振的机理	334
结束语	335
空气动力问题	335
振动问题	336

## 第十二章 压气机喘振

引言	337
----	-----

本章采用的符号 .....	337
稳态压气机特性 .....	338
喘振的实验研究 .....	338
突变失速喘振 .....	338
渐进失速喘振 .....	343
喘振的理论研究 .....	344
突变失速喘振 .....	344
渐进失速喘振 .....	345
压气机喘振与其他振荡现象的比较 .....	346
结束语 .....	346

### 第十三章 一个或几个叶片排 失速时压气机的工作

引言 .....	347
概述 .....	348
单级失速特性 .....	348
级的相互干扰 .....	349
全台压气机失速和喘振 .....	350
级的堆叠 .....	350
假想压气机, 情况 I、II 和 III .....	351
假想压气机, 情况 IV 和 V .....	352
计算范围 .....	353
计算性能的讨论 .....	353
情况 I .....	353
情况 II .....	356
情况 III .....	360
情况 IV .....	362
情况 V .....	364
结束语 .....	366
部分转速下的性能问题 .....	366
级匹配的折衷方案 .....	367
可变几何形状 .....	368

### 第十四章 压气机三元流动 理论和实际流动效应

引言 .....	369
本章采用的符号 .....	370
设计假设 .....	371
轴对称 .....	371
绕基元叶片流动 .....	372

改进的设计理论 .....	373
压气机设计理论 .....	374
基本方程 .....	374
轴对称流动理论 .....	376
改进的流动理论 .....	377
三元理论 .....	381
三元流的几个问题 .....	383
径向流动变化 .....	384
二次流效应 .....	386
一般讨论 .....	386
注释 .....	387
不稳定流动 .....	387

### 第十五章 二次流和三元附面层效应

引言 .....	390
二次流的实验研究 .....	391
横跨通道的流动和通道涡的形成 .....	391
静子中的径向二次流 .....	393
具有间隙时叶端区的流动 .....	399
转子-静子相互作用影响 .....	401
压气机叶片排中二次流的模型 .....	401
二次流的理论研究 .....	402
对方法的讨论 .....	403
无粘性二次流理论 .....	405
三元附面层流动 .....	408
结束语 .....	413

### 第十六章 设计和测量误差 对压气机性能的影响

引言 .....	415
本章采用的符号 .....	416
分析法 .....	417
设计误差 .....	417
测量误差 .....	420
公式的计算和表示 .....	421
设计误差公式 .....	422
测量误差公式 .....	426
地毯式图线的读法 .....	453
公式和图表的讨论 .....	461
设计和测量误差的示例 .....	461
设计误差图表的应用 .....	464

测量误差图表的应用 .....	466	双转子燃气发生器 .....	482
结束语 .....	467	燃气发生器与发动机其他部件的匹配 .....	486
附录 A 公式的准确性 .....	468	平衡工作的简化方法 .....	490
附录 B 公式的推导 .....	471	单转子燃气发生器 .....	491
		双转子燃气发生器 .....	492
		单转子涡轮喷气发动机的平衡	
		工作线 .....	493
		用图线求设计点 .....	497
		用图线求非设计点 .....	498
		过渡工作时的匹配方法 .....	499
		单转子涡轮喷气发动机 .....	499
		双转子涡轮喷气发动机 .....	501
		参考文献 .....	504
<b>第十七章 压气机与涡轮匹配</b>			
引言 .....	474		
本章采用的符号 .....	476		
概述 .....	477		
平衡工作的一般方法 .....	478		
单转子燃气发生器 .....	479		

# 第一章 目的和范围

欧文·A. 约翰逊和罗伯脱·O. 布洛克

第一章介绍了轴流压气机气动设计一书的总目的和范围。提出了压气机设计的基本问题，指出了解决这些问题通常采取的方法，概述了本书后面十六章的内容。

## 引言

近年来，飞机燃气涡轮动力装置用的压气机的主要型式是轴流式压气机。早些时候有些涡轮喷气发动机虽然采用过离心压气机，但现在的趋向，特别在高速和远程用途方面，已经都用轴流式。显然这是因为轴流压气机能够满足飞机燃气涡轮发动机的基本要求。

对于飞机燃气涡轮发动机的压气机的基本要求是大家知道的。一般包括高效率，单位迎风面积的空气流量大，以及级压比高。由于要求发动机加速快并能在宽广的飞行条件范围内工作，必须在宽广的转速和流量范围内保持这种高水平的气动力性能。压气机必须长度小，重量轻。机械设计要简单，以便减少制造时间和成本。综合的结构应该是坚固的及可靠的。

压气机设计体系的作用，就在于设计出能够满足这些要求的压气机（应用于任何给定的飞机发动机上）。设计体系应是准确的，以便尽可能缩短既昂贵又费时的研制过程。因而，这种设计体系必须完整、准确而又尽可能地简便。

由于要对这种设计方法提供基本数据，以及改进燃气涡轮发动机的迫切需要，在美国和其他国家都曾加速了对轴流压气机的研究工作。这些研究成果已发表在多种书刊报告上。很多情况，往往一份报告只介绍了资料的一个小片断，如果单独看时，可能觉得没有重要价值。但是，把这些报告综合起来和恰当地关联起来，这些资料却代表了轴流压气机流体力学方面的重大进展。NACA<sup>●</sup>的压气机涡轮分会以及其他机构认为，应把这些资料恰当地整理综合，汇编成单印本。这类汇编无论对初学者或有经验的轴流压气机设计人员都是有用的。由于出版这类汇编的必要性，NACA 路易斯实验室着手审阅和整理了现有资料。本书就反映了当前汇编工作的成果。

本章介绍了本书的总目的和范围，并指出了其他各章的内容，其中讨论了压气机设计知识的各个特殊方面。还说明了总的压气机设计问题和通常用来解决这些问题的方法。提示了全书中所要处理的压气机设计的各个问题以及介绍这些问题时的具体次序。

由于轴流压气机在飞机动力方面应用得最广泛，又因为在这一领域中对压气机设计和性能要求的完善程度最高，本书主要集中于涡轮喷气发动机或涡轮螺桨发动机中压气机的问题。可是这些成果也适用于任何类型的轴流压气机。

● NACA——指（美国）国家航空咨询委员会。——译者注

## 轴流压气机简述

压气机的主要功用是利用轴功来提高空气的总压或滞止压力。图 1 表示安装在涡轮喷气发动机上的一台轴流压气机简图。在整个结构中，第一排叶片（进气导向器）给空气一个预旋，使它在第一个转子前建立起一定的速度分布。第一排转子改变了空气的旋转运动，按欧拉涡轮方程加入了能量。这能量表现为空气离开转子时总温和总压的增加。通常，随着总温和总压的增加，空气的静压和绝对速度也增加。旋转运动的一部分或全部在随后的静子中又消除，这样把速度头转换为静压。这一静子对下一转子又建立起气流分布。空气就这样地相继通过转子和静子，把空气的总压增高到燃气涡轮发动机循环所要求的程度。当空气被压缩时，其密度增大而环形流通面积则减小，以适应空气容积的减小。改变这个流通面积可以用改变叶尖或轮毂直径，或改变两者的直径来达到。

在这种压缩过程中，引起一定的损失，结果使空气的熵增加。这样，当空气流过一台压气机的每一叶片排时，它的速度、压力、温度、密度、熵和某一空气质点所在的半径都有改变。压气机设计体系必须对这一流动过程作出充分的说明。

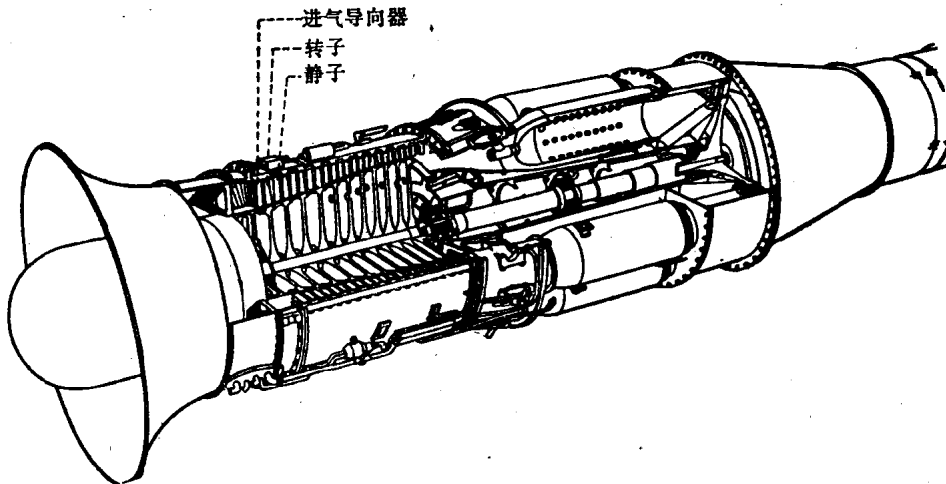


图 1 涡轮喷气发动机的轴流压气机

## 历史背景

多级轴流压气机工作的基本概念，早在大约 100 年前就已经知道，这是由都纳尔 (Tournaire) 在 1853 年向法国科学研究院提出的 (文献 1)。最早的实验轴流压气机之一 (1884 年) 是由 C. A. 帕森斯 (Parsons) 将多级反力式涡轮反向转动得出的 (文献 2)。这种机组的效率是很低的，主要是由于叶片不在沿流动方向升高压力的条件下设计的。在二十世纪初，曾制造了几台轴流压气机，其中某些是根据螺桨理论来设计叶片的。但是，这些机组的效率也还是低的 (50~60%)。由于缺乏流体力学基本原理的知识，轴流压气机的进一步发展受到了阻碍。

第一次世界大战期间的航空事业的发展，以及流体力学和空气动力学的迅速发展，促进了压气机的研究。应用孤立叶型理论，轴流压气机的性能得到了相当的改进。只要所要



求的级压比适度，孤立叶型理论已足以给出高效率的压气机（例如文献3）。这种类型的压气机曾用于通风机、空气调节机和蒸汽-发电机组的风扇等。

从本世纪30年代中期开始，由于争夺空中优势的结果，对轴流压气机的兴趣大为增加。要使往复式发动机增加输出功率，并改善飞机的高空性能，就需要高效率的增压器。随着高效率的压气机和涡轮的发展，也开始注意研究飞机用的涡轮喷气发动机。1936年，英国皇家航空科学研究院开始发展喷气推进用的轴流压气机。研制了一系列高性能压气机，最后在1941年制造出F.2发动机（文献4）。在德国，象文献5中所报道的研究工作，其结果在Jumo 004和B. M. W. 003涡轮喷气发动机中采用了轴流压气机。在美国，空气动力学科研工作的成果发展了如文献6中所报道的高性能的轴流机组。在所有这些机组的发展中，曾利用了大的叶型弯度和较小的叶片间距以提高级压比。在这些条件下，环绕叶片的流动图型开始相互发生影响，因此孤立叶型的方法已经显得不够完善。于是特别发展了叶型叶栅（或格栅）的空气动力学理论。除了理论研究之外，还对叶栅性能进行了系统的实验研究，以提供所需要的设计资料。

到1945年，在设计和研究中通过某些原理的应用，得到了高效率的压气机（文献2和7）。从这时起，相当多的研究集中于扩大空气动力学范围，以期最大限度地提高压气机和燃气涡轮的性能。在这一方面的主要成就之一，是成功地提高了许用的相对进口马赫数而不牺牲效率（文献8）。对许用叶片载荷或叶片表面扩压问题也进行了研究，并取得了一定的成绩（文献9）。随着这些进展的同时，乃是对流过轴流压气机叶片装置的气流的物理本质有了进一步理解，以及空气动力设计技术的相应改进。因此，鉴于近几年来迅速发展，显得有必要来总结压气机设计技术的现状。

## 压气机设计途径

通过一台轴流压气机叶片装置的流动，是一种极其复杂的三元现象。压气机中的流动在三个方向（轴向、径向和周向）上都有大的梯度，同样也随时间而变。在压气机中粘性的影响是显著的，必须把它估计进去。通常，随着压气机性能水平的提高，设计控制问题变得更加关键。为便于应用，压气机设计体系要减小这些复杂程度，并建立起合理的和可用的设计程序。

由于问题的复杂，对流过一台轴流压气机的三元不稳定粘性流动，至今还没有圆满的解。设计人员主要靠采用二元流方法近似地来解决这些困难。这些近似法通常根据下列假设：（1）基元叶片流动；（2）轴对称。

基元叶片方法是假设叶片到叶片或回转面上的流动，可以用绕回转流面与压气机叶片装置相交所形成的叶型的流动来描述（图2）。

轴对称是假设用平均值来代表叶片到叶片的流面内气流的状态。于是，在轮毂至叶尖平面内或子午面内（图3），可以写出表示这些平均值沿径向变化的连续方程、能量方程和平衡方程。这样，实质上是用综合两个主要面（回转面和子午面）的二元解，来近似地代替完全的三元流动的解。

将这种近似法用于压气机设计时，应采用二阶修正来考虑这种简化流动图形与三元流动的差别。利用实验取得的数据来考虑诸如由粘性、不稳定流动和叶片排相互作用所引起

1106756