

内部发行  
妥善保存

# 燃气轮机燃烧室 设计和性能分析

第一卷

设计理论和实践

# 燃气轮机燃烧室 —设计和性能分析

## 第一卷

设计理论和实践

# 目 录

序言	1
第一章 引论	
§ 1.1 基本情况	2
§ 1.2 目标	2
§ 1.3 本书的范围和安排	3
第二章 基本问题	
§ 2.1 基本原理	4
§ 2.2 燃烧室的类型	5
§ 2.3 燃烧室各个部分	6
§ 2.4 性能要求和设计变量	8
第三章 燃气轮机燃料	
§ 3.1 引言	11
§ 3.2 对燃料的要求	11
§ 3.3 化学组成	13
§ 3.4 燃料的物理性质	18
§ 3.5 燃料的燃烧性质	20
§ 3.6 燃料的其它技术条件指标	21
§ 3.7 航空燃料的可得性、技术条件和发展趋向	21
第四章 燃料喷射	
§ 4.1 引言	24
§ 4.2 单路喷嘴	25
§ 4.3 单路喷嘴工作原理	27
§ 4.4 宽范围离心喷嘴	30
§ 4.5 旋转式喷嘴	33
§ 4.6 双流雾化	34
§ 4.7 多喷嘴系统	36
§ 4.8 油雾的特征	37
§ 4.9 预蒸发系统	42
§ 4.10 气体燃料的喷射	44
§ 4.11 影响燃烧室设计和性能的因素	45
第五章 燃气轮机中的燃烧	
§ 5.1 引言	47
§ 5.2 化学计量和热化学	47
§ 5.3 因次分析	50
§ 5.4 受反应速率控制的系统的燃烧理论	51

§ 5.5	燃烧效率的相关式	57
§ 5.6	受混合过程控制的燃烧	58
§ 5.7	结束语	60
<b>第六章 火焰稳定性</b>		
§ 6.1	引言	61
§ 6.2	钝体火焰稳定性	61
§ 6.3	罐型燃烧室和球形反应器中火焰的稳定	63
§ 6.4	实际燃烧系统中的火焰稳定性	64
<b>第七章 点火</b>		
§ 7.1	引言	67
§ 7.2	理论问题	67
§ 7.3	影响燃气轮机点火的因素	69
§ 7.4	点火数据的关联	71
§ 7.5	火花点火方法	72
§ 7.6	其它点火方法	74
§ 7.7	点火器的位置	74
§ 7.8	传焰	76
§ 7.9	结束语	76
<b>第八章 燃烧室空气动力学</b>		
§ 8.1	引言	78
§ 8.2	参考状态和性能参数	78
§ 8.3	空气流量分配	81
§ 8.4	火焰驻定和回流	83
§ 8.5	对混合过程的要求	85
§ 8.6	通过燃烧室各部件的气流	87
§ 8.7	流量系数数据	92
§ 8.8	初始射流角	98
§ 8.9	射流的穿透深度	100
§ 8.10	射流的混合	105
§ 8.11	工作条件对空气动力性能的影响	106
§ 8.12	理论分析和计算方法	108
§ 8.13	结束语	110
<b>第九章 扩压器内的流动</b>		
§ 9.1	引言	111
§ 9.2	基本问题	111
§ 9.3	扩压器的性能数据	114
§ 9.4	扩压器流动的控制	118
§ 9.5	猪鼻型扩压器	119
§ 9.6	扩压器数据在设计中的应用	121

<b>第十章 传热</b>	
§ 10.1 引言 .....	122
§ 10.2 传热的基本方程 .....	123
§ 10.3 在不发光火焰情况下无冷却时的壁温计算 .....	126
§ 10.4 发光火焰的辐射 .....	132
§ 10.5 气膜冷却 .....	135
§ 10.6 传热和壁的设计 .....	142
§ 10.7 大型工业燃烧室 .....	144
§ 10.8 结束语 .....	147
<b>第十一章 烟、焦炭和灰的生成</b>	
§ 11.1 引言 .....	149
§ 11.2 烟和焦炭 .....	149
§ 11.3 灰沉积物 .....	154
<b>第十二章 腐蚀</b>	
§ 12.1 引言 .....	156
§ 12.2 基本问题 .....	156
§ 12.3 系统变量的影响 .....	159
§ 12.4 抗腐蚀材料 .....	160
<b>第十三章 燃烧室总体结构</b>	
§ 13.1 引言 .....	162
§ 13.2 航空燃烧室 .....	162
§ 13.3 机动用、辅助用和工业用的燃烧系统 .....	164
<b>第十四章 设计方法</b>	
§ 14.1 引言 .....	166
§ 14.2 设计程序 .....	166
§ 14.3 方法的应用 .....	167
<b>第十五章 结论和建议</b>	
§ 15.1 结论 .....	168
§ 15.2 建议 .....	168
<b>符号表</b>	
英制-公制换算系数 .....	175
<b>附表</b> .....	176
<b>附图</b> .....	193
<b>参考文献</b> .....	291
<b>英汉人名对照表</b> .....	322

# 序 言

到目前为止，燃气轮机燃烧室的发展是一个几乎全属经验的过程。在燃烧室内同时发生的空气动力学和热力学过程的复杂性排除了用纯粹的理论分析方法来进行设计和性能预估。在这种情况下，设计者没有别的办法，而只能主要地根据所积累的经验进行新的设计。当采用这种方法来设计超出设计者已有经验范围的燃烧室时，它显然存在着严重的局限性；它很少能用来预估在发展试验中未曾包括的条件下的燃烧室性能。因此，建立一种合乎逻辑的成体系的设计方法，对于促进燃烧室设计具有头等的重要意义。在这样一种设计方法中，要有燃烧性能、工作条件和所有有关的设计参数之间的一种定量关系，这是无疑的，根据这一方法，任何设计上的修改对燃烧室各个方面的影响能够容易地预估出来。

由于离心式压气机和向心式涡轮方案的创议者对上述工作表示关切，于 1963 年提出了另一种联合创议的计划，旨在发展燃气轮机燃烧室的设计方法。

这一研究计划的首要意图是制定符合逻辑的和协调一致的燃气轮机燃烧室的设计方法。主要的目标是：

1. 周密地评述现有的设计方法及关于燃气轮机燃烧系统的设计、研制和性能分析的所有有用的试验数据；
2. 编纂一本手册，它要包括所有的重要数据以及符合逻辑和协调一致的设计公式；
3. 提出一种按各步骤逻辑顺序表示的燃烧室设计方法，它要能对任何给定用途的燃气轮机燃烧室得出为达到预期性能所必需的主要尺寸；以及
4. 系统地提出研制方法的指南，以便使任何现有燃烧室的性能最佳化。

这一工作的成果分两卷介绍。第一卷主要涉及前两个目标；它包含对现有资料和经验相关关系的周密评述，结果得出了燃烧室设计基本思路的发展过程。第二卷用简明的、逐步进行的程序方式陈述了设计方法；它还包括研制方法的指南，以及关于试验技术的章节，这些试验技术可以用来加快各种用途的燃气轮机燃烧室的研制过程。

# 第一章 引 论

## § 1.1 基本情况

以往，燃气轮机燃烧室的发展曾经是一种经验过程，它主要根据设计和研制人员所积累的经验。这种方法存在着一切经验设计方法所共有的缺点：

即使在设计那种与经试验证明良好的结构差别不大的燃烧室时，设计者的经验仍然是关键性的因素。

在评定设计革新的价值时，取自现有燃烧室的数据用途有限，除非在外推法中所用的方程和相关关系是根据对有关各过程的透彻理解而推导出来的。

主要根据直觉知识和经验法则作出的初步设计，充其量只能指望它对预期的燃烧性能提供一个粗略的近似。通常必须再用全尺寸的燃烧室进行广泛的试验和检定。这样的研制过程既费钱又耗时，尤其是不能对所期望的效果作定量预估时要对设计进行修改，就更是如此。

此外，燃烧室设计和研制的问题还因燃烧室结构和涡轮布局之间的相互影响而大大地复杂化。发动机所有各个主要部件的研制工作必须同时进行，如果试验表明初始的燃烧室结构须作重大修改以求达到规定的性能，则整台发动机的布局也必须作出修改。这样，就大大地扩大了任何设计差错所造成的后果。因此就产生了对燃烧室设计的谨慎保守态度，以致许多燃烧室的性能远没有达到可以达到的最好水平。

根据这些考虑，很明显，对燃气轮机燃烧室研究出一种建立在合理应用基本理论和试验数据基础上的成功的设计方法，将能导致节省大量的时间和金钱。此外，最好把设计和研制的基本原理以及所需要的基本数据编成一本设计手册。这将为专家们能洞察其它领域创造条件，并且也有助于新工作人员的培养。

## § 1.2 目 标

如果能发展一种设计方法，它可以使设计人员设计出达到性能要求的燃烧室而无需作进一步的研制工作，那当然是非常受欢迎的。可惜，在当前还不可能做到这一点。燃烧室内发生的过程是如此之复杂，以致对支配它们的规律尚未充分了解。能够设想的最好情况是：设计方法在初步设计阶段就能正确确定出燃烧室的主要尺寸，并能把随后的研制成本降低到当前技术条件所容许的最低水平。

因此本研究工作的目标可归纳如下：

1. 周密地评述现有的设计方法以及那些与燃气轮机燃烧系统的设计、研制、和性能分析有关的所有有用的实验数据。

2. 指出在研究和发展期间所获得的数据怎样才能和现有的大批数据相适应。勾划出这些数据应该予以补充的范围，并对进一步的工作提出建议。

3. 制定出一种按各步骤的逻辑顺序表示的设计方法，它将能为任何用途的燃气轮机得

出可以达到预期性能所必需的主要尺寸。

4. 向燃烧室设计人员提供有关课题中的基础知识，这些知识在一些特殊应用中可能具有重要意义。

### § 1.3 本书的范围和安排

本书没有一般地论述燃烧问题，也没有试图详细涉及文献中现有的大量偏于纯理论性的著作。它只限于燃气轮机燃烧室的专门问题以及对设计人员来说是重要的一些技术上须要考虑的问题。也着重于一些应用上须要考虑的问题。相信所得到的成果是一个协调一致的和实用的方法，根据这方法可以进行燃烧室的设计和研制以及进一步的研究工作。

本书的注意力主要集中在燃烧室设计中的空气动力、燃烧、燃料喷射，以及传热等问题上。较详细地论述了这些问题，并提出了有用的资料，而且在可能时，对资料作了统一化的工作。其它一些问题，例如燃料工艺和高温腐蚀，可以认为对燃烧室设计人员来说是次要的，因而没有很详细地论述。

在第一卷中，评述了现有的资料，并估价了它们与燃烧室设计和性能的关系。在简要地回顾了一些基本原理之后，接着讨论了燃料和燃料的喷射方法；然后研究了燃烧、火焰稳定以及点火等现象。接着充分介绍了燃烧室空气动力学，紧接的一章是关于扩压器流动。第十章论述燃烧室的传热问题。然后是关于烟、焦碳和灰分的形成，以及对腐蚀的简要讨论。再下一章，比较和对照了一些主要的燃烧室结构形式的特点。在第十四章中概述了设计方法。本书以所得结论的摘要来结束，并对今后研究工作应遵循的方向提出了建议。

本书的第二卷中，对航空用和工业用的燃烧室的设计提出了简单明了的逐步进行的设计方法。第二卷中还包括了研制和排除故障的指南。第二卷以附录为结尾，它专门评述有关燃烧室研究和调试工作中所采用的试验技术。

### 术语和单位

曾经试图使所用的术语尽可能与通用惯例相接近。但是，使用中的符号种类这样广泛，以致在某些情况中不得不作些任意的选择，以保持系统的一致性。通常，术语在文中第一次使用时，对它下了定义；在本书末附有常用符号表。

凡有可能时，总使代数式和方程对任何一致的一组单位保持有效。在牛顿第二定律中使力与质量和加速度相联系的常数  $g_0$  也包括在内。在符号表之后附有一致的单位制和换算系数表。

在燃烧著作中的许多场合，一些表达式和方程是根据经验得出的，并且不能以无因次形式表示。在这样的场合，就让表达式保留其惯用的形式，并且给出每一符号所用的单位。

## 第二章 基本问题

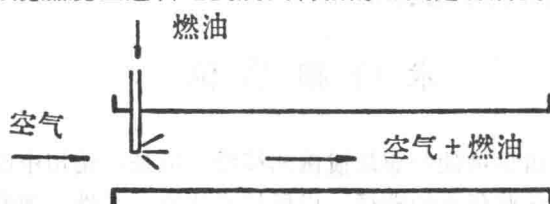
### § 2.1 基本原理

燃气涡轮发动机的燃烧系统必须满足广泛的要求。这些要求并不是互相一致的，某一设计成功程度就是工程师在这些要求之间进行折衷的有效程度。燃烧系统较为重要的要求可以列出如下：

1. 在所有工作状态下稳定燃烧。
2. 高的燃烧效率。
3. 低的总压损失。
4. 良好的出口温度分布。
5. 冒烟和固体沉积物最少。
6. 尺寸、重量最小，成本最低。
7. 好的点火性能。
8. 耐用。
9. 操作方便和维护经济。

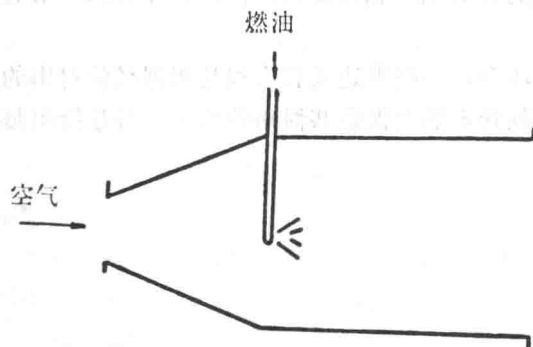
这些考虑的相对重要性当然与燃烧系统的特殊用途有关。

下面的简图表示一等截面管道，压气机的全部质量流量通过它送到涡轮，现在研究在这管道内的燃烧来回顾常规燃烧室逻辑地发展到目前的形式是有启发意义的。

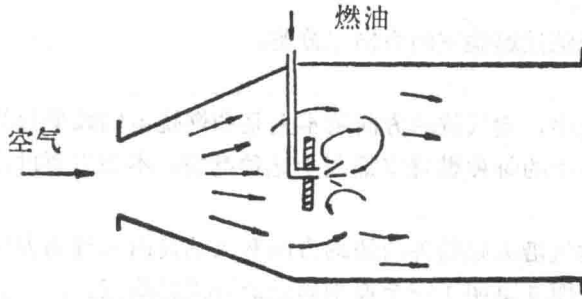


这种安排是不切实际的，理由有三：

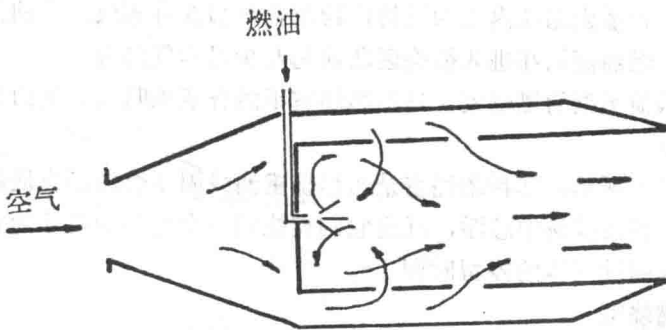
1. 通常压气机的出口速度约为 500 英尺/秒，而为了减少压力损失到可以接受的程度，速度应减少到该值的 1/5。这个减少可以由扩压器来完成，如下图所示：



2. 要得到稳定燃烧, 一般来说, 即使有了扩压器, 气流速度还嫌太大。必须产生一回流以提供一个低速区域来驻定火焰。下图表示可以用一钝体来实现这一要求。



3. 总空气-燃油比是根据燃料热值, 许用的涡轮进口温度和发动机循环确定的, 它通常将超出可燃性极限。一般, 作为燃气涡轮发动机燃料的烃, 它们的化学恰当空气-燃油比(按质量)大约是 15, 而可燃性极限的空气-燃油比大致是 8 到 30。总的空气-燃油比约为 60。因此, 如果真要使燃烧发生, 则只能让总空气量的一部分——大约 25%——与燃料混合。剩余的 75% 空气要在燃烧区的后面引入, 并与热燃气混合, 以降低进入涡轮的气流的平均温度到当前冶金方面所限定的水平。这样, 简单的钝体可以用一开孔的火焰筒来代替, 火焰筒的作用是把空气分为燃烧空气和冲淡空气。最后的结果如下图所示, 它就成为现代燃烧室的基本结构。



## § 2.2 燃烧室的类型

现在来叙述这种基本结构所采用的某些形式, 以满足某些特殊的要求。它们的相对优缺点在后面讨论 (第十三章)。这一节内容的目的只是提供在下面各章中所需要的关于燃烧室结构的基本知识。

燃烧室可概括地按下列标题分类:

### 1. 管形燃烧室

这种类型的燃烧室在图 1 中说明。管形燃烧室在工业上使用得最为普遍。

### 2. 环形燃烧室

这种型式的燃烧室中, 火焰筒为环状形式, 如图 2 所示。而冲淡空气则沿着火焰筒的内、外环形通道流动。

### 3. 管环形燃烧室

大概这是在航空上最广泛使用的一种型式, 它包括安排在一个环形壳体中的一组圆筒形

火焰筒，如图 3 所示。作为这种形式的一种变型，每一火焰筒本身就是环形的，如图 4 所示。

燃烧室也可以按气流流过燃烧室的方向来分类：

### 1. 直流燃烧室

在最大多数的燃烧室中，空气流的方向基本上是和燃烧室轴线平行的。这种燃烧室称为直流燃烧室，在图 1 至 4 中的每种燃烧室都属于这种类型。本书主要讨论直流式燃烧室。

### 2. 逆流燃烧室

在某些燃烧室中，空气沿火焰筒外的流动方向和火焰筒内的流动方向相反。这样，空气需要两次转  $180^\circ$  的弯。图 5 说明了一个典型的逆流管式燃烧室。

### 3. 弯管式型燃烧室

弯管式型燃烧室在某些方面与逆流燃烧室相似。如图 6 所示，它利用了这样的事实，即差不多所有工业燃气涡轮发动机都需要在气流方向上有大到  $90^\circ$  的变化；但是气流的路线不像逆流燃烧室里那样曲折。

此外，燃烧室还可以按燃料喷射方法进行分类，两种主要的喷射器型式是：

### 1. 喷油嘴

大多数燃烧室采用喷油嘴，在喷油嘴内，液体燃料在高压下被强迫通过喷孔喷出。

### 2. 预蒸发器

如图 7 所示，在预蒸发系统内热的燃烧产物使燃料加热并蒸发，燃油是在低压下引入通过主燃区的管内的。燃油蒸汽在进入燃烧区之前先与少量空气混合。

曾采用过一些其他类型的燃烧室，这些燃烧室不能合适地归入上述的任何一类。

### 1. 旋风燃烧室

旋风燃烧室如图 8 所示，这种燃烧室是为燃烧重油或固体燃料而发展起来的。它的原理是使燃烧着的质点在旋转流场中悬浮，直到它们燃烧到一个允许的尺寸为止，从而使这些质点的停留时间增加到超过气体的停留时间。

### 2. 透博梅卡燃烧室

如图 9 所示，这种类型采用一径向燃烧室连同一离心力甩油喷嘴。这种燃烧室在航空和轻工业范围内获得了相当的成功。

## § 2.3 燃烧室各个部分

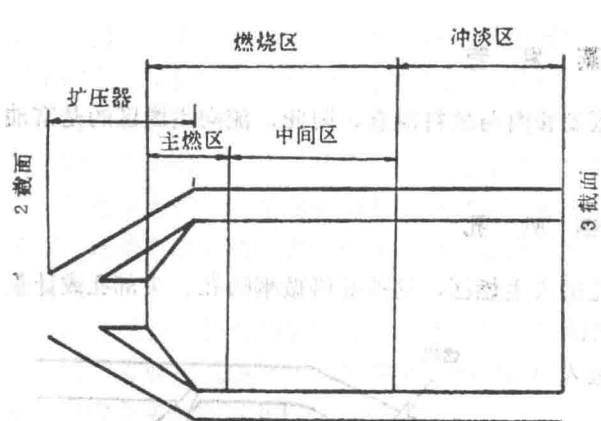
各国和各工厂对燃烧室的各个部分所采用的名称不尽相同。对不同的燃烧室型式（单管、环形、逆流等），术语问题变得更为混乱。本书尽可能采用一套一致的术语。

### 一、燃烧室的区域

一个燃烧室通常分为几个区域，如下图所示：

1. 主燃区是燃料和空气大致按化学恰当比的浓度喷射的地方，也是大部分燃烧发生的地方。

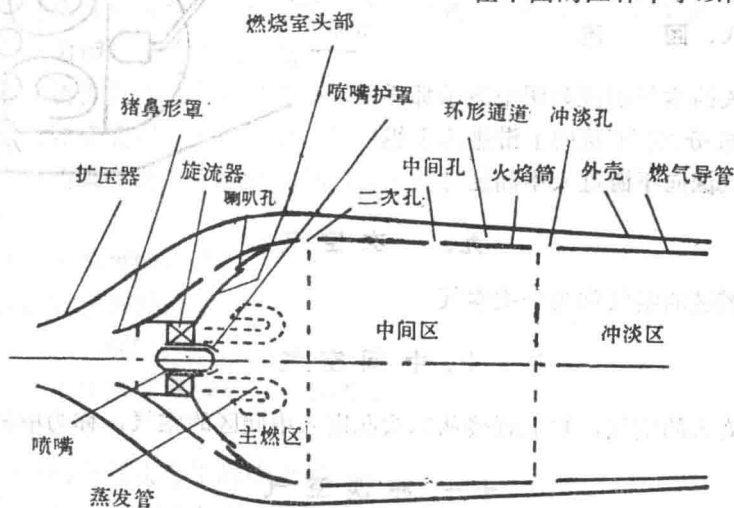
2. 中间区是加入少量空气以降低燃烧产物温度的地方，从而可以回收在主燃区内由于离解而损失的热量。



3. 冲淡区是加入空气以降低燃气温度到第一排涡轮叶片所规定的水平。

主燃区和中间区合称为燃烧区。在火焰稳定性不成问题的燃烧室内，主燃区可以采用贫油混合剂，所以一个单独的中间区就变得不必要了。在本书中，燃烧室进出口的状态（见简图）将分别用下标 2 和 3 标出。

在简图中表明燃烧室内可能采用的一些其他部分的名称。这些部分的功用在下方的注释中予以简要地讨论。



## 二、扩压器

如前所述，扩压器的作用是使离开压气机的空气速度减少到一个可以接受的数值，同时尽可能使动压恢复为静压。

## 三、猪鼻形罩

猪鼻形罩把进入的空气分为两股，一股通过燃烧室头部进入主燃区，另一股则进入环形通道。它允许采用一个较大的扩张角，从而缩短扩压器的长度。

## 四、旋流器

旋流器使通过它的空气有一个切向速度的分量。这个分量有助于保持火焰稳定所需要的回流流动。

## 五、喷嘴护罩

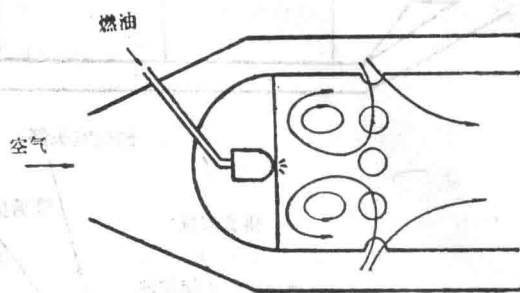
用少量空气来冷却雾化喷嘴并防止在它上面结焦。空气是通过一围绕喷嘴的环形护罩流向主燃区的。

## 六、蒸发管

在大多数预蒸发系统内，少量空气在蒸发管内与燃料混合，因此，流向主燃区的是富油的油气-空气混合剂。

## 七、喇叭孔

在某些设计中，空气通过燃烧室头部孔进入主燃区，这些孔叫做喇叭孔、头部孔或计量孔。通过这些孔的空气和通过头部冷却装置的空气一般都是通过猪鼻形罩壁面上的孔进入的。



## 八、回流

从二次孔流入的空气射流如图中所示那样穿入和分流，一部分空气流向上游进入主燃区，另一部分空气流向下游进入中间区。

## 九、一次空气

所有进入主燃区的空气称为一次空气。

## 十、中间空气

通过中间孔流入的空气，加上直接从二次孔进入中间区的空气，称为中间空气。

## 十一、冲淡空气

通过冲淡孔进入的空气是冲淡空气。

## 十二、燃气导管空气

燃气导管空气可以从环形通道的下游末端抽出，并用于控制第一排涡轮叶片根部和顶部的温度。

# § 2.4 性能要求和设计变量

## 一、设计技术说明书

在着手燃烧室设计之前，必须提出一份技术说明书，说明书中规定对燃烧室所要求的性能及可能对它提出的限制。在设计一种新发动机时，通常这份说明书是整台发动机的设计研究和最佳化的结果，燃烧室设计人员要参与设计研究，他们的任务是要确保说明书是现实的，既不好高骛远，也不过分保守。

在这设计研究中，必须考虑燃烧室变量对发动机总性能的影响。这个课题这里不作讨论，因为它超出了本书的范围，并且许多作者已讨论了这个课题<sup>[1]、[2]</sup>。但是，作为说

明，在图 10 到 14 中表明了在各种条件下某些变量对发动机总性能的影响。在图 15 中表示了航空发动机这些变量的设计值的当前趋向。特别值得注意的是涡轮进口温度的持续提高。这是靠耐高温合金和涡轮叶片冷却技术两方面的发展才成为可能的。由图 12 和 13 中画出的曲线所表示的例子清楚地指出要在这方面花大量的人力和财力的动机。

在设计研究时，用途的情况强烈地影响着在相互矛盾的各项要求之间怎样折衷。在这里详细讨论是不合适的。表 1 给出了一些指示，说明在燃气轮机的各种用途中各项要求的相对重要性。

在考虑表 1 所列的资料时，应该记住下列几点：

1. 工业燃气轮机大小的划分是不明确的。大型涡轮发动机通常是指那些带动功率以兆瓦计的发电机的涡轮机。

2. 重要性的程度也多少是不明确的；表 1 中符号“AA”（极重要）是指燃气轮机的成败可能取决于该项燃烧室性能的情况。

3. 运行的经济性是指运行的总费用，包括辅助设备的投资和维护修理等费用。

显然，根据设计研究得出的说明书，可以在范围和重点方面随所考虑的用途而在相当大的范围内变动。一台典型航空发动机（燃烧室）的技术说明书应包括下列内容：

1. 空气流速

- a. 在最大推力时。
- b. 在巡航状态时。
- c. 在最大高度时。
- d. 在风车状态下最大再点火高度时。

2. 压气机出口数据

- a. 在上面所列状态下的压力和温度。
- b. 压气机出口速度分布和切向速度分布。

3. 涡轮进口数据

- a. 温度分布限制。
- b. 最高温度。

4. 压力损失

- a. 在巡航时允许的最大总压损失。

5. 燃烧效率

- a. 在最大高度时允许的最低燃烧效率。

6. 空间限制

- a. 燃烧系统最大可利用的空间。

7. 重量限制

- a. 燃烧室的最大重量。
- b. 辅助设备的最大重量。

8. 燃料

- a. 燃料的技术条件。

9. 其他说明

可包括：

- a. 燃烧室类型。
- b. 在地面起动时最大涡轮转速。
- c. 用喷射水-甲醇来增加推力时的要求。
- d. 翻修和构件更换之间的最少时数。

这样，说明书给出了燃烧室性能要求和燃气轮机总体设计所提出的各种限制。

## 二、设计变量

设计人员可支配的变量数目和他可以自由把它们改变的范围都取决于技术说明书的完整性和严格性。假如设计人员有相当的自由度，则燃烧室的设计就包括以下主要变量：

### 1. 燃烧室的类型和数目

尽管对燃烧室的类型和数目可能不予规定，但很少需要考虑两种或两种以上的方案布置。

### 2. 总体尺寸

对于航空发动机和其他紧凑的涡轮发动机，问题通常是使尺寸限制在所规定的范围之内。对于工业燃烧室则有较大的自由度来选择总体尺寸。

### 3. 构件的尺寸

这些构件尺寸包括火焰筒直径，环形通道宽度，扩压器长度以及主燃区、中间区和冲淡区的长度。

### 4. 主燃区的空气-燃油比

主燃区的空气-燃油比对燃烧室设计的许多方面有重要的影响。

### 5. 流量分配和穿透深度

一旦主燃区的空气-燃油比选定以后，就应该确定进入各区的空气流量的比例。火焰筒上的孔，应设计得能实现按需要的流量分配到各个区域，并实现所需要的穿透深度以得到希望的流动模型和混合程度。同样地，冷却火焰筒壁面的空气必须在合适的地方引入。

### 6. 燃油喷嘴的设计

必须选定燃油喷嘴的型式，并使燃油和空气的流型相互匹配。

### 7. 点火装置的选定

必须选择所采用的点火装置，如有需要还要设计联焰管。

显然，设计人员有许多变量受他的支配。此外，一个变量的变化很少只影响性能的一个方面，例如在主燃区中气流流型的变化，可能影响燃烧效率、低压稳定性、点火性能、壁面温度以及排气中的含烟量。因此，需要研究设计变量和工作条件的变化对燃烧室性能各方面的影响。这个任务将由以下各章来承担。

## 第三章 燃气轮机燃料

### §3.1 引言

燃气轮机中所使用的燃料，对发动机设计和性能的各个方面有着重要的影响。因此，尽管燃料的选择可能不由设计者掌握，但他应该具有燃料性质及其对燃烧室设计有关的常用知识。

要研制燃气轮机使它能燃烧各种各样廉价燃料的愿望还没有实现。实际采用的燃料是石油蒸馏产品（这是最经常使用的燃料）、某些处理过的或特别选定的残渣油和气体燃料，它们或者从自然界中取得，或者从工业过程中取得。曾经企图在开式循环的发动机中燃烧粉末固体燃料，但是在商业上并未获得成功。

本章只限于讨论实用的液体和气体烃类燃料。列举了对燃料的基本要求，扼要地讨论了它们与航空、机动和工业上应用的关系。列表表示了典型燃料的性质，并对它们的意义进行了讨论。本章结束时对潜在燃料和将来可能的发展作了简要的评述。

文献(3)到(17)对这个课题有很好的评述，可推荐它们提供进一步的综合知识。

### §3.2 对燃料的要求

#### 一、概述

燃气轮机燃料的选择是以协调下列各技术要求作为基础的：燃烧室性能、涡轮寿命、燃料的贮存和装卸以及燃料的来源可靠和价格低廉等。根据特殊的用途，可以强调其中的某一要求。一项从属的但却是重要的一般要求是燃料的性质要稳定不变。

#### A. 燃烧室性能

燃烧室性能的各个方面都要求燃料在燃烧区有合适的分布，并且要求燃烧完全而不产生有害的沉积物或烟。主要的技术要求有：

##### 1. 雾化

液体燃料必须在所有工作条件下能够得出满意的雾化。燃料雾化受燃料粘度的影响最大。

##### 2. 蒸发

燃料应该有适当高的蒸发率。这主要取决于雾化程度和燃料的蒸发温度。低挥发性的燃料易于热裂化和生碳，而由蒸发率来控制总的燃烧速率是不希望的。

##### 3. 点火

燃料的点火性能受燃料与空气的混合和燃料挥发性的影响。

##### 4. 碳的生成

碳的生成受燃料种类的影响，较重的燃料易于发烟和生成焦炭。

#### 5. 灰的沉积

燃料中的杂质能够造成有害的沉积物。如果要防止涡轮的侵蚀、腐蚀和效率下降，则碳的生成和灰的沉积要少是最为重要的。

### B. 燃料系统性能

主要的考虑为：

#### 1. 尺寸

燃料供给和贮存系统的尺寸受燃料热值的影响，燃料油箱的尺寸在飞机上是一项重要的考虑因素。

#### 2. 贮存

燃料的大量贮存要求燃料具有热稳定性和化学稳定性。在飞机油箱内希望油气压力低。

#### 3. 装卸运输

在燃料管路内易于运送，意思是指燃料粘性适度，凝固点低和不含腐蚀燃料系统材料的物质。

#### 4. 安全

燃料的毒性和着火危险性应该最小。

## 二、航空燃气轮机

对航空燃料要强调它们在宽广的工作条件范围内应具有高的燃烧性能，因此，下述考虑是主要的：

#### 1. 高的热值。

#### 2. 中等的粘度。

#### 3. 低的凝固点。

4. 为了有良好的燃烧性能，挥发性应足够地高；但为了使油箱损失最小，挥发性又应足够地低。

#### 5. 良好的热稳定性和化学稳定性。

#### 6. 来源丰富和价格低廉。

最合适的燃料是煤油和重汽油范围内的石油蒸馏产品（图 16）。

## 三、机动式燃气轮机

轻便的移动式燃气轮机以及地面或轻便型海上运输工具所用的发动机对燃料的要求可以放宽些，因为它们不在高空工作，它们一般采用较重的蒸馏产品。

## 四、重型工业燃气轮机

作为发电动力的燃气轮机和重型船用燃气轮机，尺寸是次要的考虑因素，而经济性则是主要的。一般来说，在这种场合蒸馏燃料太贵了，采用了它们就使燃气轮机不能有效地和其他原动机进行竞争。从这个观点看，使用较便宜的燃料，例如残渣油或剩余煤气是有吸引力的。表 2 中给出了可供选用的某些合适的燃料。

大多数低级燃料会生成很有害的灰分。这就限制了燃烧残渣油的燃气轮机的发展。气体