



# M5.2.3 燃烧室

仅供培训使用

## 修订批准页:

1

版次	修订时间	编写/改版	修订说明	审核/时间	审批/时间
R0	2020.06.14	谈海军	新编课件	谈海军 2020.08.06	张玉 2020.08.11

仅供培训使用

## 目的与要求:

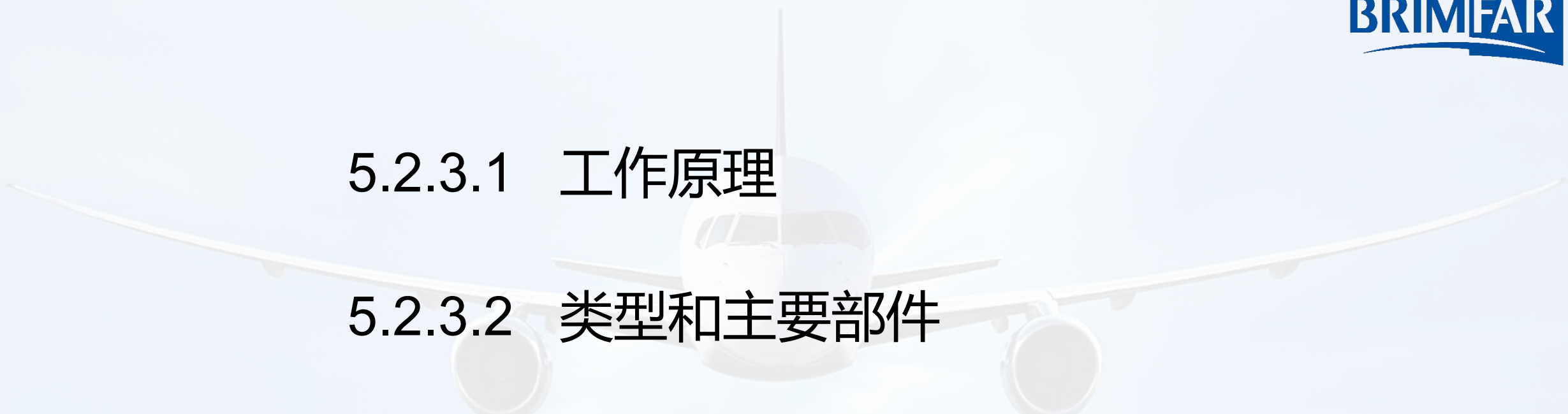
<b>目的</b>	通过本次课程的学习，掌握燃烧室工作原理，类型和主要部件，和维护
<b>要求</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. 作用、工作特点、燃烧组织过程和火焰稳定、燃烧室熄火</li><li>2. 主要组成部件、部件结构、冷却和材料</li><li>3. 燃烧室常见维护及安全注意事项</li></ol>

仅供培训使用

## 课程安排:

序号	内容	等级	课时
1	工作原理		1H
2	类型和主要部件		1H
3	典型发动机燃烧室维护介绍		1H

仅供培训使用

A faint, light-colored silhouette of a commercial airplane is centered in the background of the slide.

5.2.3.1 工作原理

5.2.3.2 类型和主要部件

5.2.3.3 典型发动机燃烧室维护介绍



## 5.2.3.1 工作原理



# 1 燃烧室概述

# 1 燃烧室概述

1. 燃烧室位于压气机和涡轮之间
2. 燃烧室的作用燃油和空气混合燃烧，释放热量，气体温度升高，燃气膨胀和加速，对涡轮做功并使燃气加速，
3. 使涡轮带动压气机高速转动，产生推力

燃烧室工作好坏，影响发动机的性能，燃烧室功用是混合气燃烧

# 1 对燃烧室的基本要求

## a 点火可靠

点火可靠是指在规定点火工作范围内，地面启动时能迅速点燃，空中熄火后能可靠地再次点燃

主要  
因素

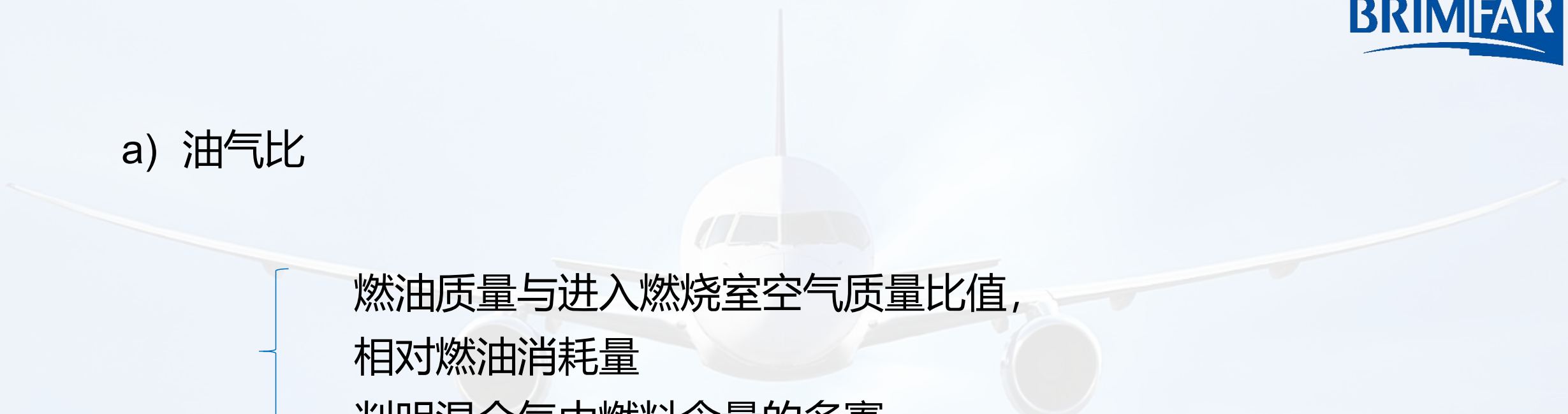


燃油和空气的比例

油气比

余气系数

## a) 油气比



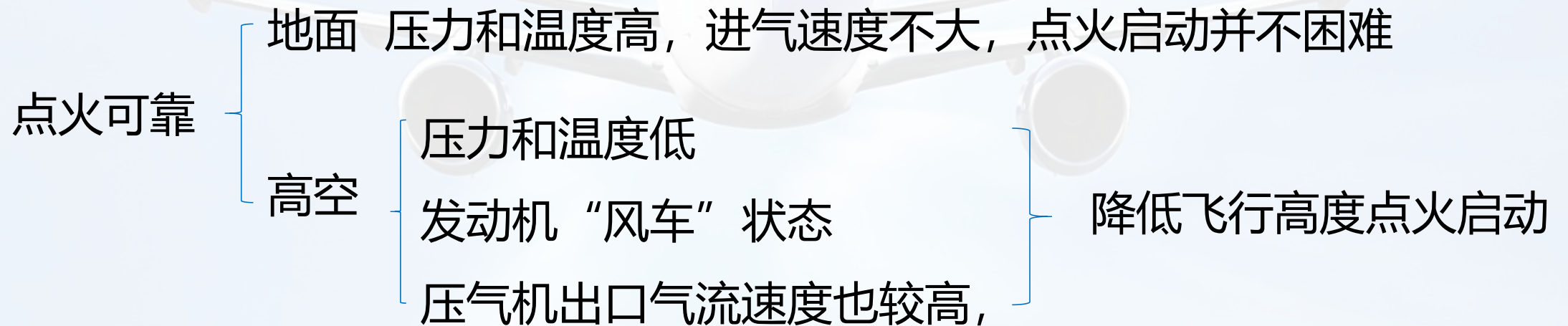
燃油质量与进入燃烧室空气质量比值,  
相对燃油消耗量  
判明混合气中燃料含量的多寡

## b) 余气系数

- ◆ 进入的空气与完全燃烧燃油的理论空气量之比
- ◆  $\alpha > 1$  贫油;  $\alpha < 1$  富油, , 一般为3.5 ~ 4.5。
- ◆ 燃烧区和点火区,  $\alpha$ 略小于 1, 燃烧最有利。

## c 点火可靠

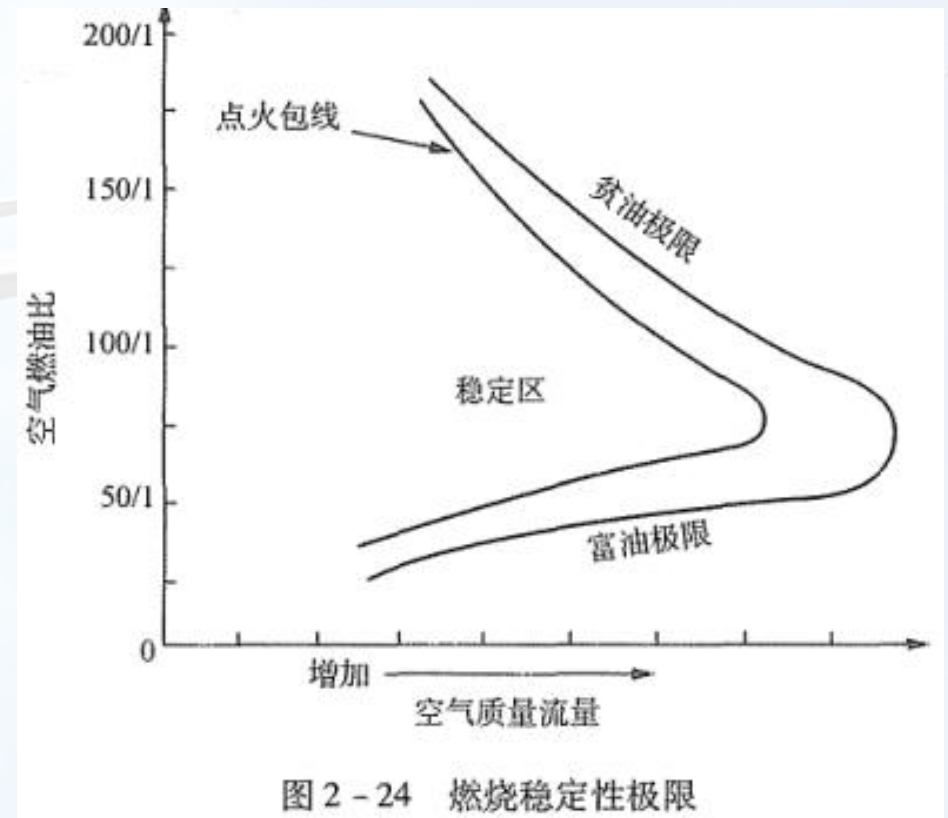
点火可靠是燃烧室正常工作的最起码的保证



航空煤油,理论空气量为: 14.7 公斤空气 / 公斤燃油

## b 燃烧要稳定

- ◆ 要求：机动飞行和改变工作状态时，不熄火。
- ◆ 条件：燃烧时的气流速度等于火焰的传播速度
- ◆ 能维护稳定燃烧的贫油、富油极限之间的余气系数范围来表示，稳定燃烧范围越宽，表示燃烧稳定性越好。



## c 燃烧完全

衡量燃烧完全的程度，用燃烧效率表示

燃烧效率：1kg燃油燃烧后工质实际吸收的热量与 1kg 燃油燃烧理论上释放出的热量之比

燃料燃烧得越完全，放出热量大

动机推力一定，燃料消耗就越小，经济性也越好

d 燃烧室出口温度场应合要求

a) 出口温度场应合要求原因

- a) 涡轮叶片承受应力很大
- b) 高温气流的冲击
- c) 工作条件十分恶劣

燃烧室出口气流温度场符合涡轮叶片高温强度，无局部过热点

## b) 出口温度场应合要求

要求

- ◆ 火焰除点火短暂时间外，不得伸出燃烧室
- ◆ 出口环形通道上，温度分布均匀，最高温与平均温差不得超过  $100 - 120^{\circ}\text{C}$
- ◆ 叶尖和叶根温度低，叶根应力最大，温度过高影响强度；叶尖最薄，散热差，易烧坏，距叶尖大约三分之一处最高。

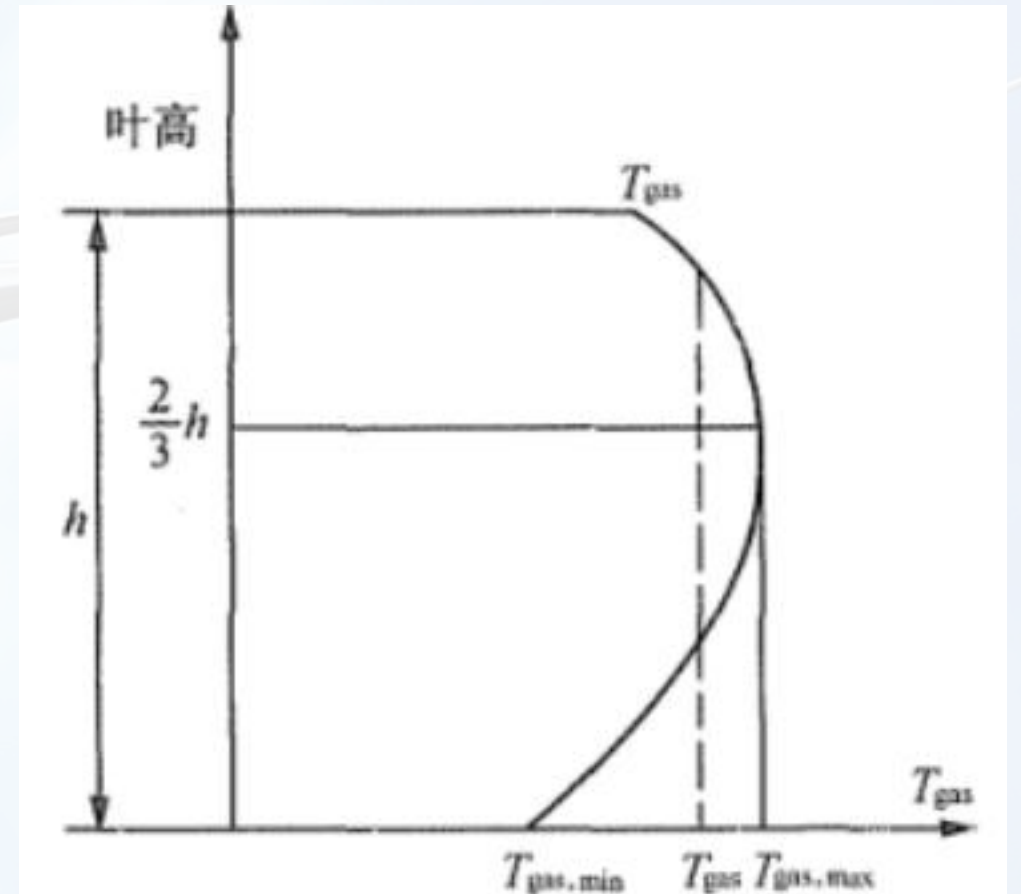


图 2-26 出口温度分布

## e 总压损失小

总压恢复系数是：出口处的总压与进口处的总压之比 0.92 ~ 0.96

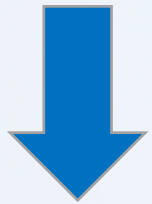
损失

- a) 摩擦损失
- b) 扩压损失
- c) 穿过火焰筒大小孔产生的进气损失
- d) 掺混损失
- e) 燃烧加热的热阻

## f. 尺寸小, 重量轻

- a) 燃烧室的外径是发动机的最大直径
- b) 减小径向尺寸, 可缩小发动机径向尺寸, 减小迎风面积
- c) 燃烧室短, 发动机短, 转动轴短, 减轻机匣和转子的重量

容热强度



单位压力和单位容积中, 一个小时之内, 进入燃烧室的燃油燃烧实际所释放出的热量

- a) 容热强度大, 燃烧室的尺寸小
- b) 容热强度小, 燃烧室的尺寸大

## g 寿命长

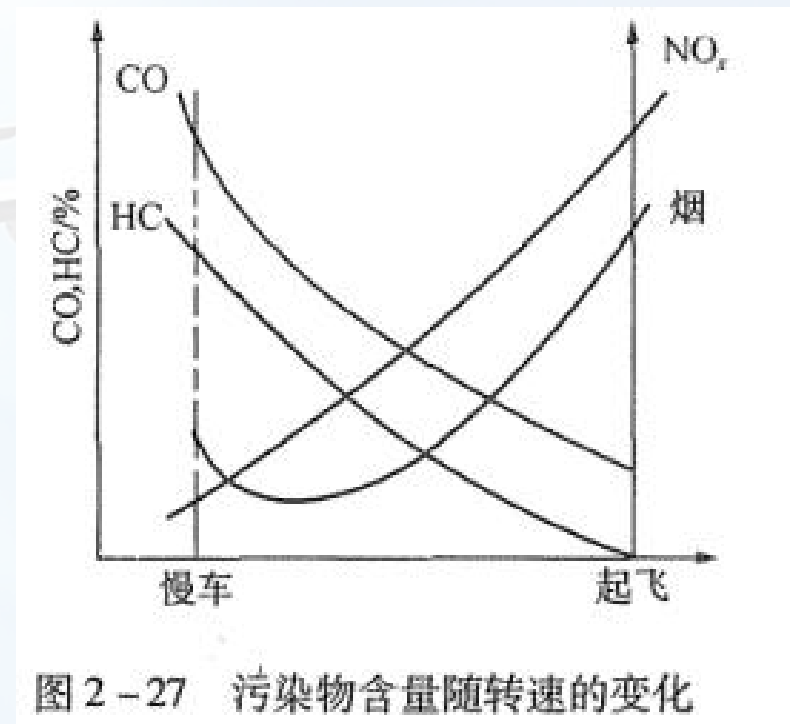
燃烧室在高温下工作，条件恶劣，经常检修或更换零件

需要

- a) 合理地组织燃烧和冷却，改善工作条件
- b) 采用高性能的耐热材料
- c) 燃油喷嘴的维护是至为关键的

## 8. 燃烧产物对大气的污染要小

- a) 未燃烧的碳氢化合物(未燃烧的燃油)、
- b) 烟(碳粒子)
- c) 一氧化碳和氮
- d) 氧化物 $\text{NO}_x$



A faint, light-colored silhouette of a commercial airplane is centered in the background, showing the fuselage, wings, and tail.

## 2 燃烧室的工作原理

## 2.1 燃烧室的工作特点

### a . 燃烧室工作的基本情形

#### a) 工作的基本情形

- ◆ 压缩空气进入燃烧室，向后流动，一边与喷嘴燃油混合，组成混合气
- ◆ 启动时，混合气火花塞点燃，启动新鲜混合气靠燃气的火焰引燃

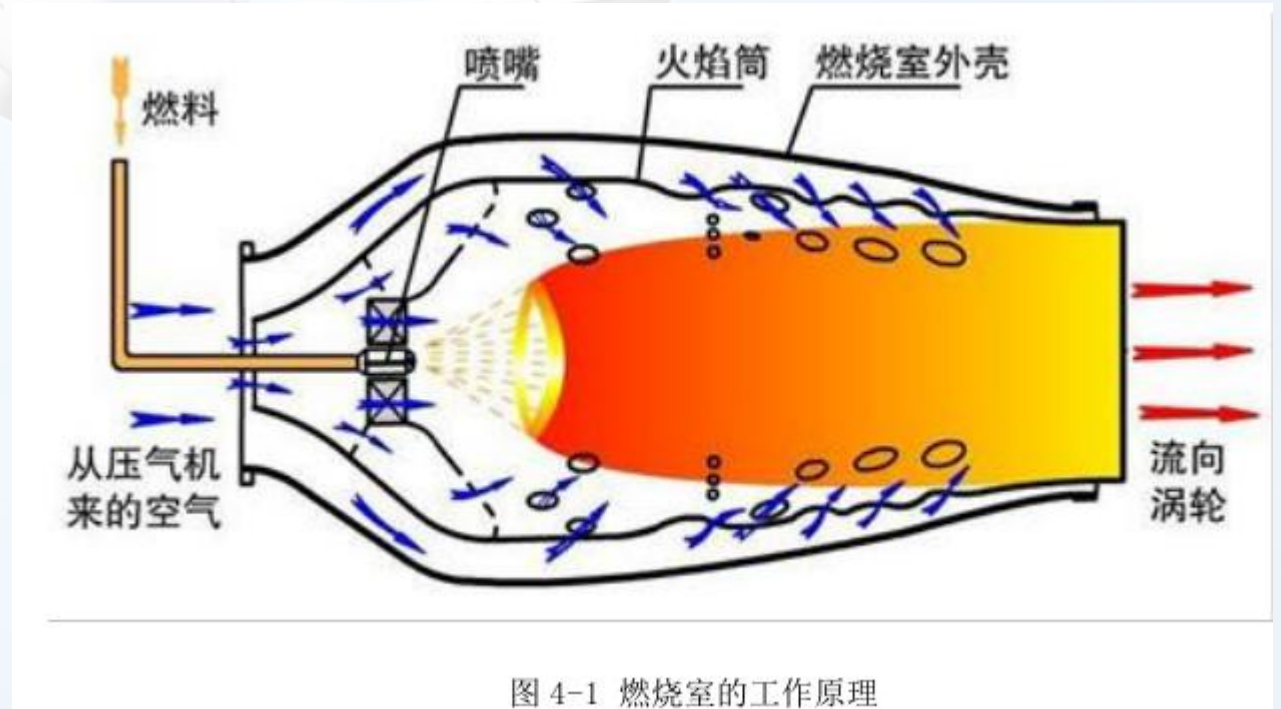


图 4-1 燃烧室的工作原理

## b) 燃烧过程

- ◆ 头部扩散通道，速度下降，压力、温度升高
- ◆ 燃烧区内，温度 2200K 左右。受热膨胀，速度增大
- ◆ 冷却区内，第二股冷却空气的渗入，降低到 1150 ~ 700K，燃烧室横截面积不断减小速度增加，压力、温度下降

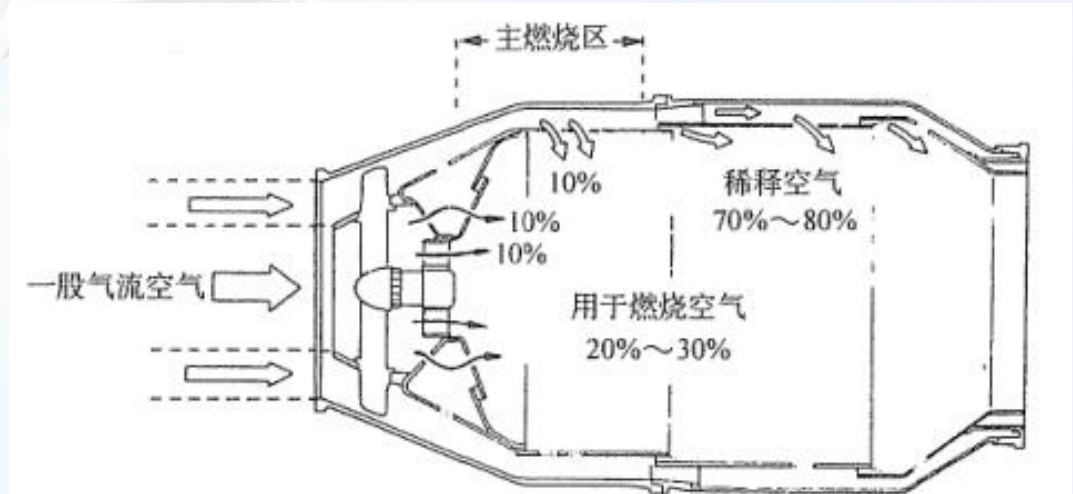


图 2-34 空气流的分配

## b. 燃烧室的工作特点

a) 燃料是在高速气流中进行燃烧的

a) 进口速度 100 米/秒以上,

b) 扩散段出口气流的平均速度为 40 米/秒左右

b) 燃烧室出口温度受涡轮叶片材料强度的限制

a) 大的离心力

b) 强度随着温度的升高而降低

## 2.2 燃烧室的稳定燃烧

要求

- 流动着的气体要把火焰带走
- 火焰逆气流向前传播，点燃新鲜混合气

火焰传播速度小于气流速度，火焰位置后移，最终会被吹出燃烧室，发动机熄火停车  
高速气流中保证稳定燃烧的条件，就是在燃烧室前端局部区域，使火焰传播速度等于气流速度，以形成一个点火源，不断点燃新鲜混合气，使之稳定燃烧

目标

- a. 降速度，保证稳定燃烧
- b. 限温度，保燃烧室和涡轮的安全工作

a 降低气流速度，保证混合气的稳定燃烧

前部的通道是扩散形 100 降到 40-60

旋流器的位置：旋流片一定角度周向排列，在火焰筒前部

作用：产生旋转运动，离心力甩向四周  
燃烧室中心形成低压区。向前部  
中心的低压区倒流，形成回流

回流区 回流的地方

主流区 回流区的外边

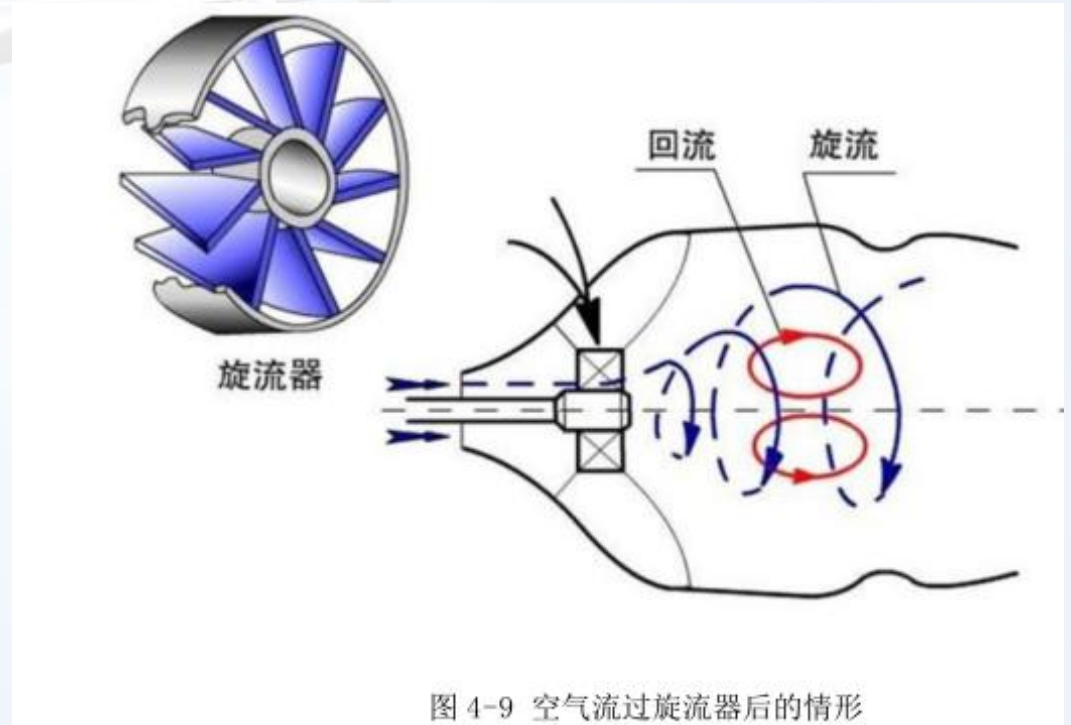


图 4-9 空气流过旋流器后的情形

主流区与回流区黏性作用，火焰筒内同一个截面上的气流速度不等

轴向速度等于零的地方，

↑  
回流边界

主流区靠近回流边界，  
气流轴向速度比较小

↓  
形成点火源

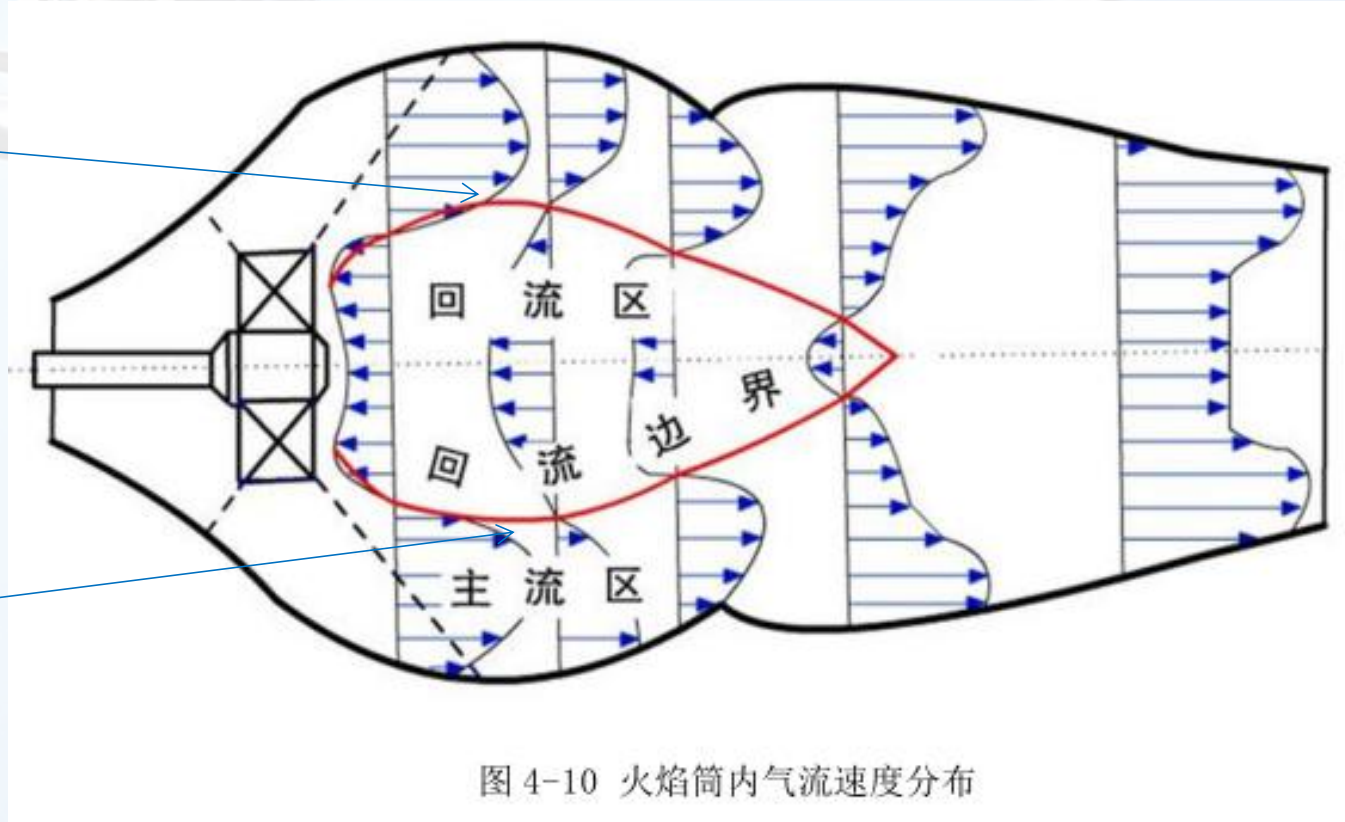


图 4-10 火焰筒内气流速度分布

## b 限温度，确保燃烧室和涡轮的安全工作

两股气

25%燃油混合，余气系数稍小于1，燃烧

火焰筒侧壁的小孔及缝隙  
进入燃烧室，75%左右。

降速度，补燃烧，掺混，稀 释并降燃气  
温度，控温度分布

冷却外壁，火焰筒的内壁形成气膜，冷却  
保护火焰筒

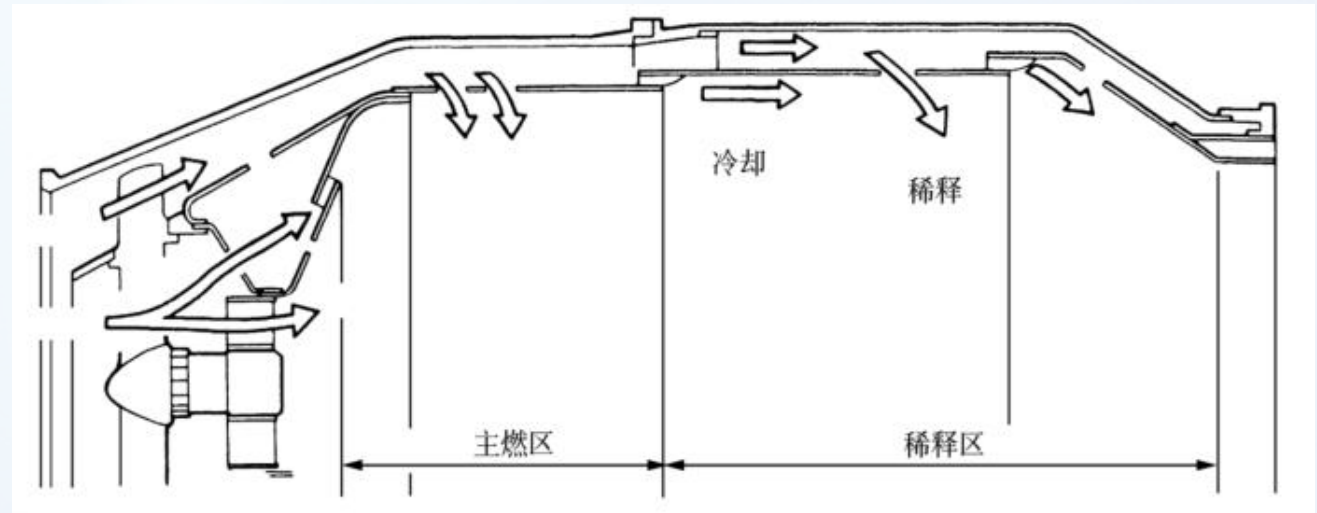


图 4-11 空气流的分配

从旋流器流进来的空气和从二股气流孔进来的空气互相作用，形成低速回流区

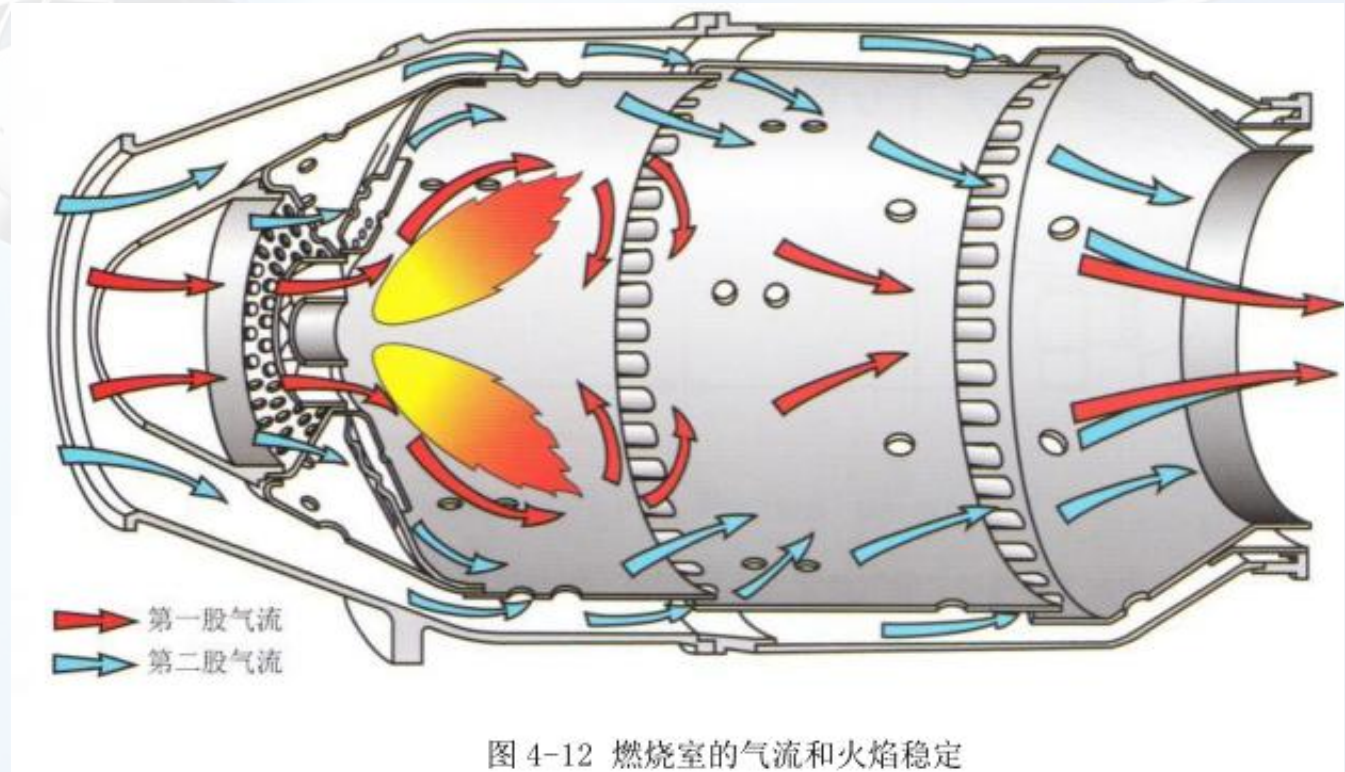


起稳定和系留火焰

燃油喷嘴呈锥形喷出的燃油与回旋涡流的中心相交



和主燃区的总体湍流一起，极大雾化燃油并与空气混合

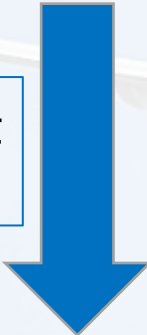


## 2.3 燃烧室的常见故障

### a 局部过热原因

局部过热原因

温度差  
增大



热应力，火焰筒变形或产生裂纹缩短燃烧室的使用

燃油分布不均匀  
空气流动遭到破坏

燃烧室局部过热：使火焰筒的某些部分过度受热的现象

## b 燃烧室熄火

### a) 燃烧室熄火原因

贫油熄火

富油熄火

原因混合气的余气系数超出稳定燃烧范围

现象

1. 飞机抖动
2. 飞机有不正常的声音
3. 转速和排气温度下降
4. 油门操纵失灵
5. 飞机失去推力，速度断减小

## b) 熄火特性

- ◆ 进口处气流速度越大，稳定燃烧余气系数范围越小，
- ◆ 气流速度超过一定数值，无论多大余气系数，都无法维持稳定燃烧防
- ◆ 防止燃烧室熄火：增大稳定燃烧范围，余气系数在稳定燃烧范围内

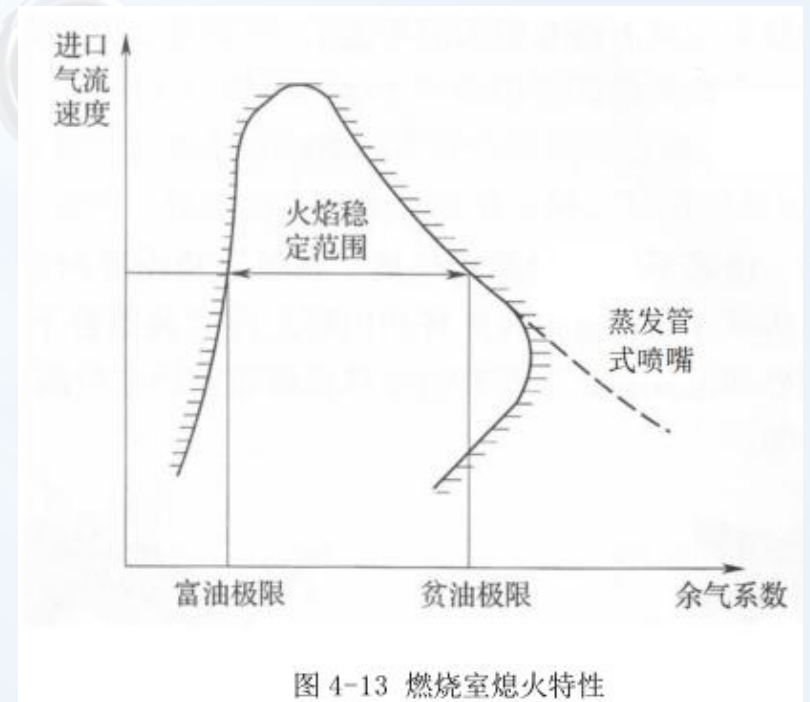
### 接通发动机 点火电门

起飞、进近、着陆阶段

复杂的气象下颠簸、严重积冰  
区、大雨，需维持转速

### 防熄火维护

- ◆ 压气机防喘检查和维护，防喘熄火
- ◆ 定期检查燃油喷嘴

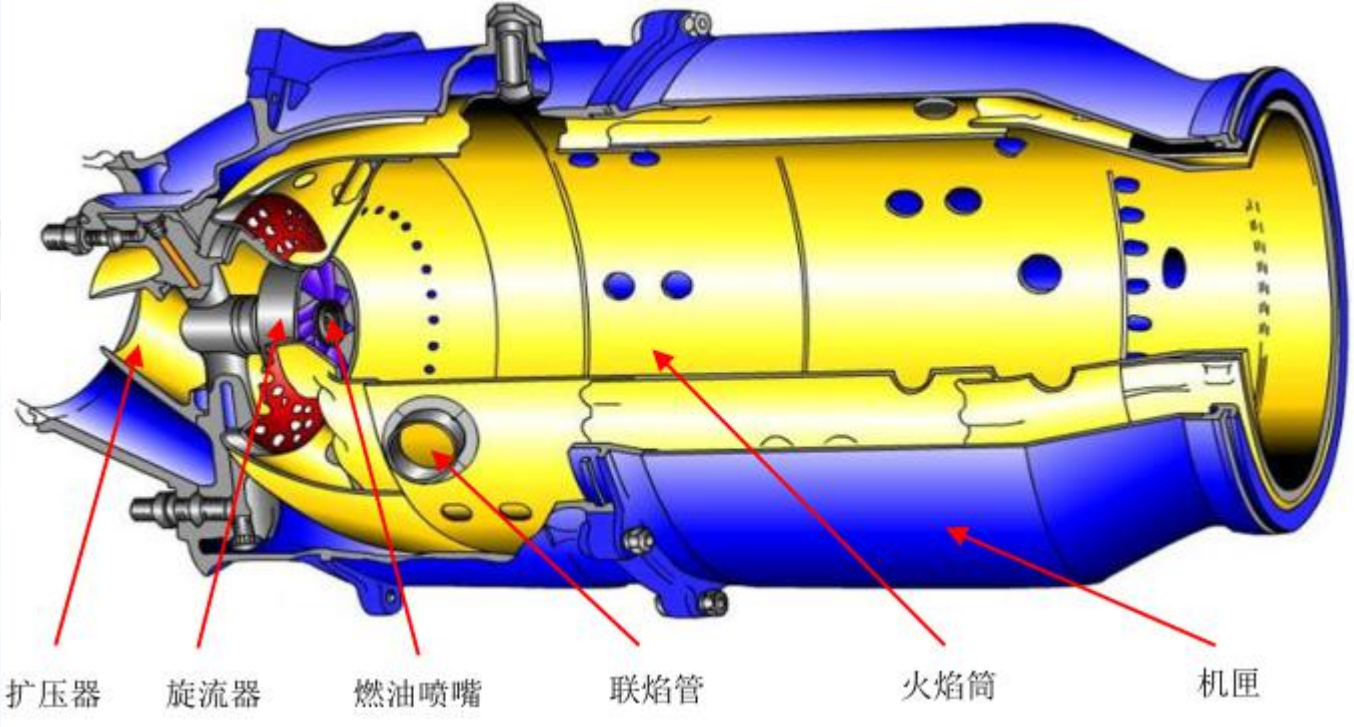


A faint, light-colored silhouette of a commercial airplane is centered in the background, showing the fuselage, wings, and engines.

## 5.2.3.2 类型和主要部件

# 1 燃烧室的基本结构

- ◆ 机匣
- ◆ 扩压器
- ◆ 火焰筒
- ◆ 燃油喷嘴
- ◆ 点火装置



- ◆ 单管燃烧室联焰管

传播火焰，点燃没有点火装置的火焰筒内的燃油  
均衡压力

## a. 机匣

作用：燃烧室机匣用来构成二股气流的通道

环管形和环形燃烧室组成

内机匣  
外机匣

特点

直径大

厚度薄

承受负荷，主要承力构件

有强度和刚度

## b 扩压器

壳体 and 火焰筒头部扩散通道，降速，提压，保证燃烧和减少压损

构造合理要求

改善燃烧条件

改善燃烧室性能

减小燃烧室尺寸

减轻重量具，

环形燃烧室，将燃烧室进口扩压段并入压气机出口扩压，缩短燃烧室的长度

### c 火焰筒

燃烧室的主要组成

1. 旋流器

中央安装燃油喷嘴  
产生旋转气流, 回流区, 保证火焰稳定

2. 火焰筒筒体

筒体有直径大小不一的孔及缝的薄壁金属结构

用最好的耐热材料  
耐高温涂层

改善筒体受热不均匀筒壁冷却气膜冷却

筒体要求

- 保证燃烧充分
- 掺混均匀
- 壁面冷却

## d 燃油喷嘴

基本功能是使燃油雾化或汽化，保证燃油快速燃烧

各种飞行条件和工作状态下，油量变化大，用双油路离心喷嘴。

类型

{ 雾化型  
汽化型

## e. 点火装置

一台发动机有两个点火器  
产生高能火花，点燃燃油

高能电嘴的发展，电嘴低压下，放电量增加，直接点火装置广泛应用

## 2 燃烧室的类型

类型

- ◆ 多个单管燃烧室
- ◆ 环管形燃烧室
- ◆ 环形燃烧室

a 多个单管燃烧室

a) 多个单管燃烧室

在内，外壳体之间有 8-16 个单管燃烧室

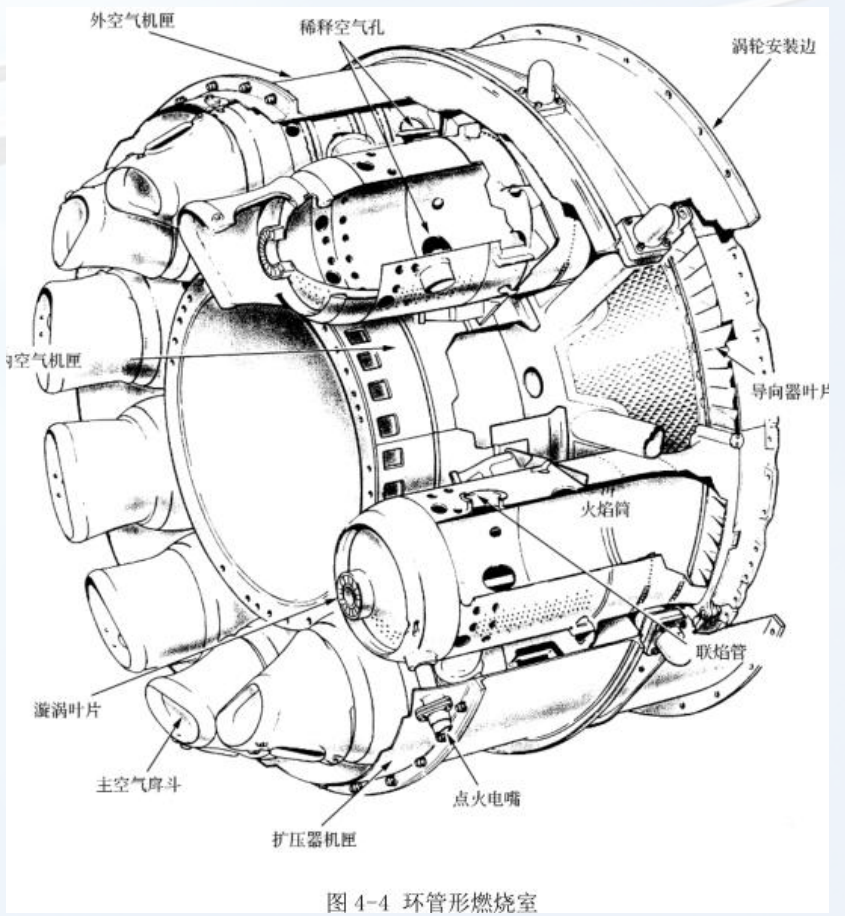


图 4-4 环管形燃烧室

## b) 多个单管燃烧室优缺点

### 优点

- 设计简单
- 结构强度好
- 能够单个的拆卸和更换

### 缺点

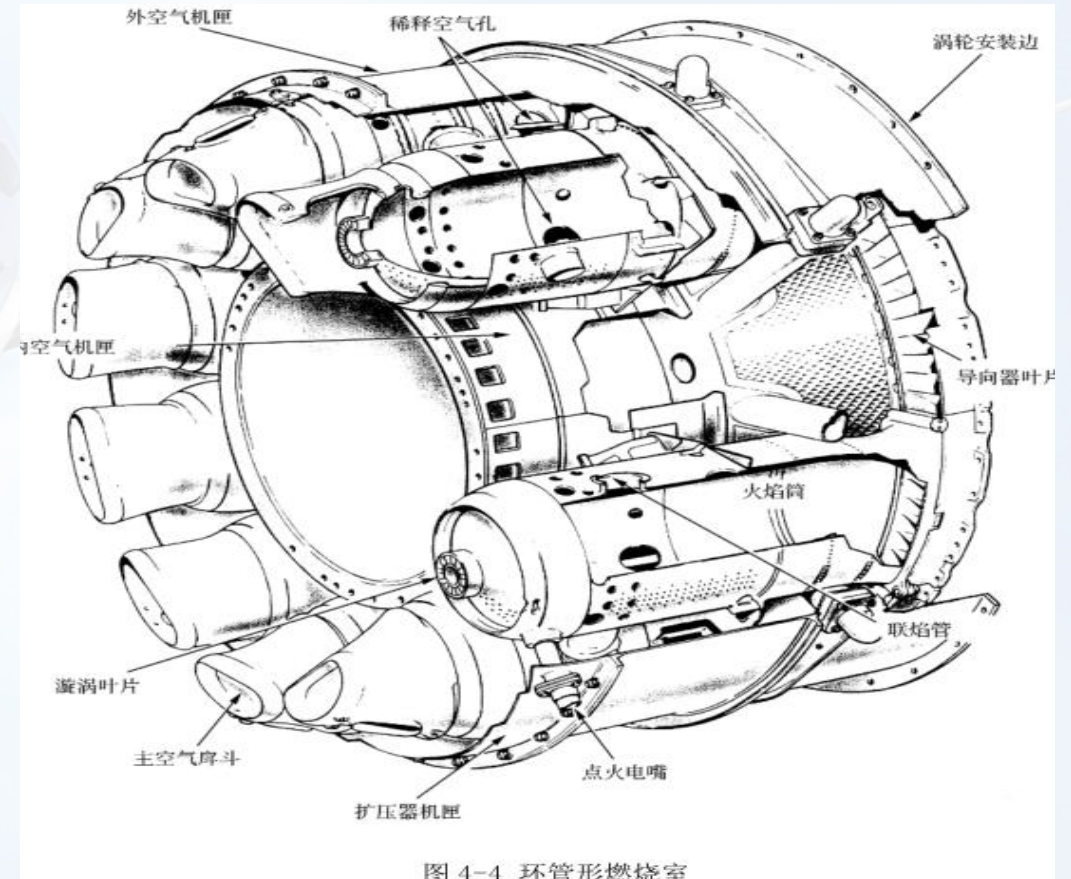
- 较重
- 大空间
- 来自压气机复杂的空气供应管路
- 气动损失高
- 从一个室到其他室点火困难

多个单管燃烧室用离心式压气机和早期轴流式压气机发动机中。单管燃烧室用在 APU 中

## b 环管形燃烧室

### a) 环管形燃烧室组成

- ◆ 若干管式火焰筒，沿圆周均匀安装在同一个内、外壳体间的环形空腔内
- ◆ 相邻火焰筒燃烧区之间用联焰管联通，
- ◆ 由内壳、外壳、若干火焰筒和喷嘴等组成



## b) 环管形燃烧室优缺点

- ◆ 易翻修和试验及环形系统紧凑
- ◆ 比多管尺寸较小，重量较轻
- ◆ 外壳体可以传递扭矩，改善发动机整体刚性，减轻发动机重量

缺点

- ◆ 气动损失高
- ◆ 从一个火焰筒到另一个火焰筒点火困难

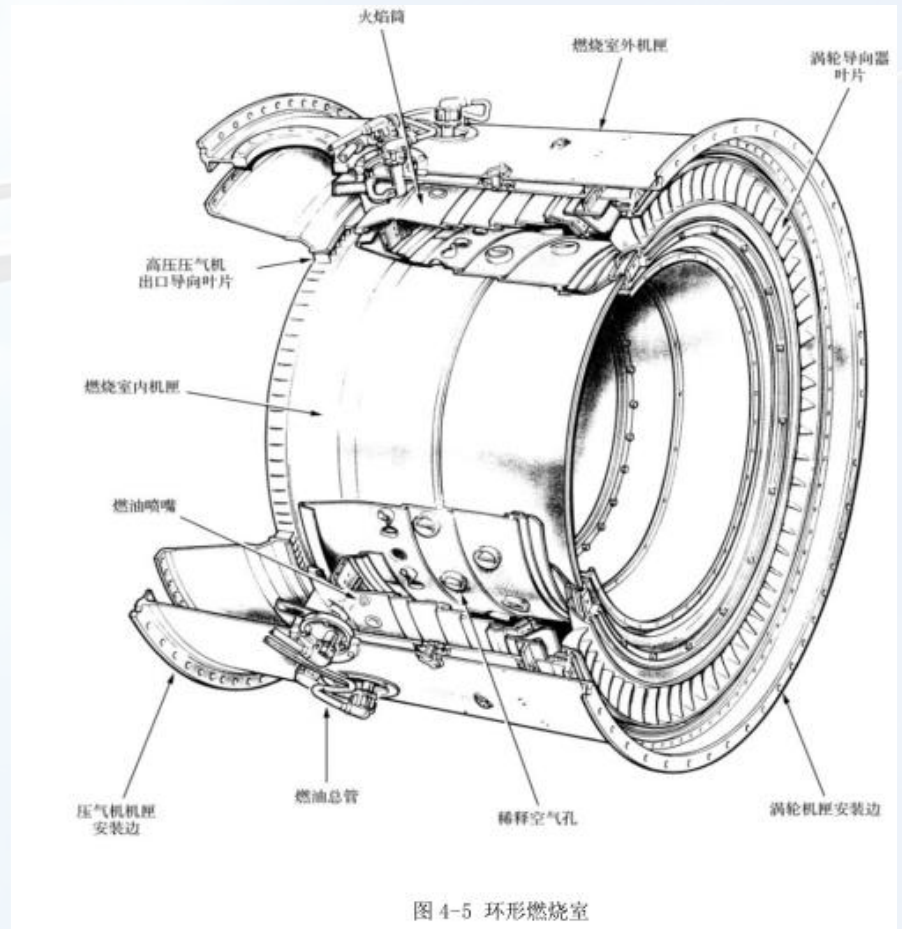
多用于轴流式压气机

## c. 环形燃烧室

### a) 环形燃烧室组成

组成

- ◆ 最内、最外的圆筒为燃烧室的内、外机匣
- ◆ 中间两个圆筒构成环形火焰筒
- ◆ 火焰筒的头部有一圈旋流器和喷油嘴



## b) 环形燃烧室优缺点

缺点

- ◆ 制造费用高
- ◆ 拆卸困难和耗费时间

优点

- ◆ 结构简单
- ◆ 环形面积利用率高
- ◆ 迎风面积小
- ◆ 重量小
- ◆ 点火性能好
- ◆ 总压损失较小
- ◆ 出口温度分布均匀

轴流式压气机的发动机, JT9D, CFM56, PW4000, GE90

## d) 环形回流燃烧室

小型机用环形回流燃烧室，**燃烧室围在涡轮外面**

缺点

- ◆ 减少发动机的轴向长度
- ◆ 涡轮的孔探检查困难。

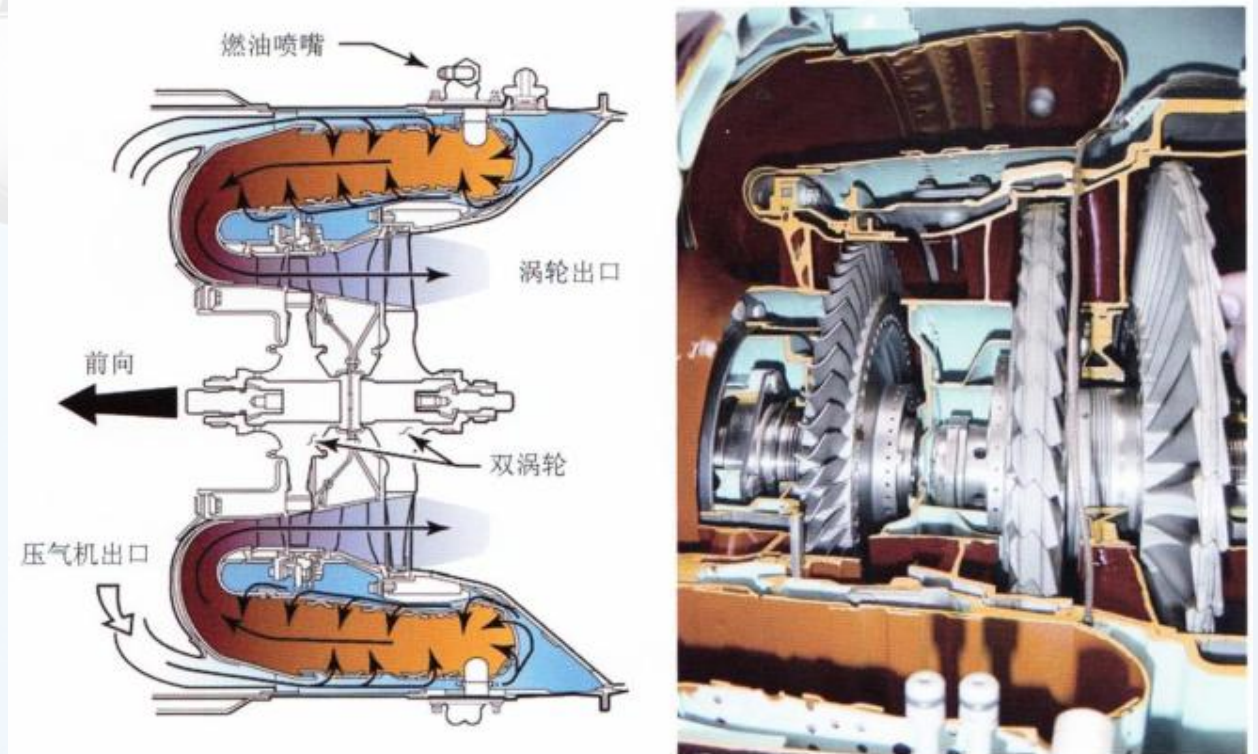


图 4-6 环形回流燃烧室

## e) 双环形燃烧室

### 减少燃烧排故污染物

先导级，空气和燃油经主预混室  
燃烧，总在工作

另一为主级，空气和燃油经副预  
混室燃烧，仅高功率状态工作

空气燃油比更好，减少了一氧化碳  
和碳氢物的排放

比标准燃烧室更短，减少在热区的  
时间，减少氮氧化物的生成。

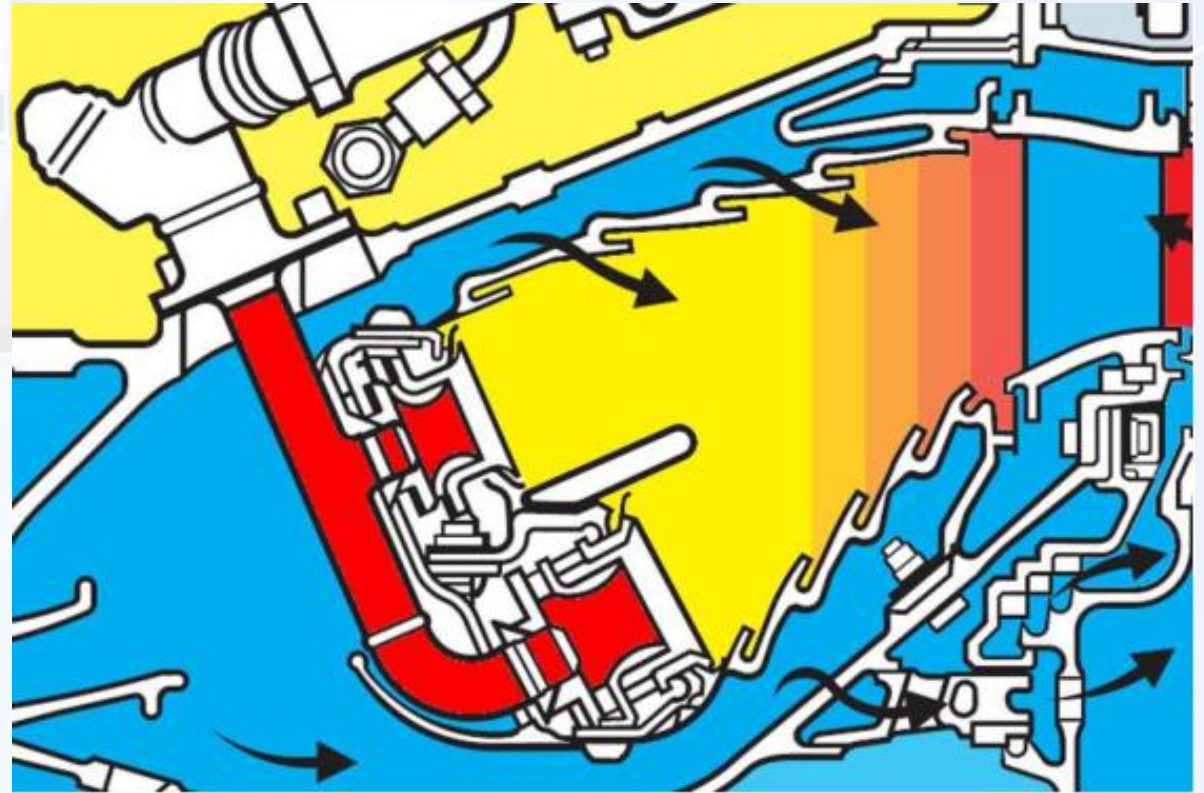


图 4-7 双环形燃烧室

### 3 燃烧室的冷却和材料

全环形燃烧室由镍基耐热合金制成，内壁耐热等离子喷涂层

25%火焰筒头部流入，点燃

75%空气与燃气，降温度

一部分火焰筒上径向孔进入稀释区

其余火焰筒壁面切向孔进火焰筒，进行冷却

#### 气膜冷却概念



#### 优点

- 1. 结构简单
- 2. 重量轻
- 3. 消耗的空气少

气膜冷却冷却的空气流量比对流冷却的量少50%

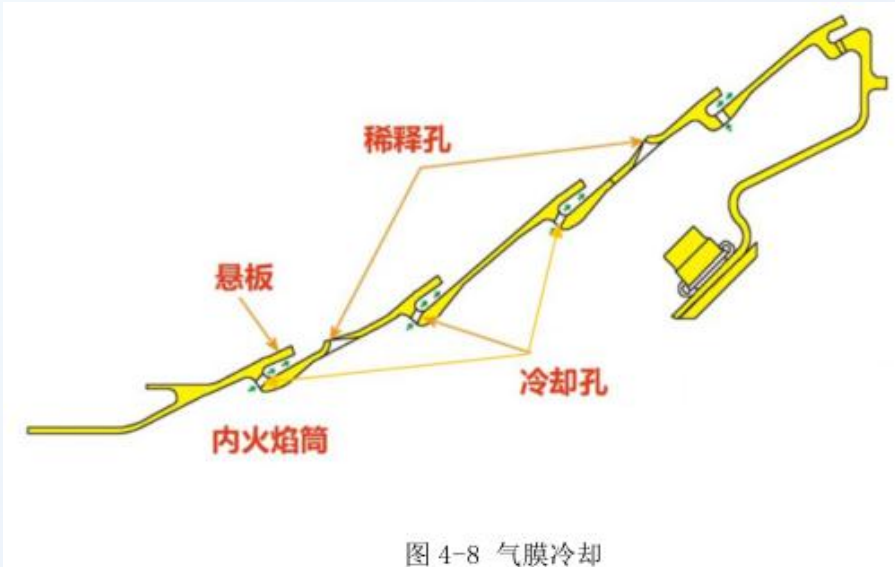


图 4-8 气膜冷却

A faint, light-colored silhouette of a commercial airplane is centered in the background, showing the fuselage, wings, and tail.

## 5.2.3.3 典型发动机燃烧室维护介绍

# 1 部件识别



图 4-14 发动机环形燃烧室



图 4-15 发动机的燃烧室机匣

## 2 燃烧室的维护及注意事项

a 油气混合气燃烧的区域，承受高温烧蚀，检查燃油喷嘴雾化是否均匀，导致燃烧室衬板局部过热

b 湿冷转时，燃油流出；启动前，干冷转

c 燃烧室的孔探



通过孔探孔和点火嘴安装座

- 1. 火焰筒头部区域
- 2. 内火焰筒
- 3. 外火焰筒区域。



图 4-16 燃烧室的孔探检查

序号	内容	等级	课时
1	工作原理		1H
2	类型和主要部件		1H
3	典型发动机燃烧室维护介绍		1H



**感谢聆听，欢迎指正**