



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102242939 A

(43) 申请公布日 2011. 11. 16

(21) 申请号 201110214595. 7

(22) 申请日 2011. 07. 29

(71) 申请人 北京航空航天大学

地址 100191 北京市海淀区学院路 37 号

(72) 发明人 林宇震 曹文字 许全宏 张弛

(74) 专利代理机构 北京科迪生专利代理有限责  
任公司 11251

代理人 成金玉 许玉明

(51) Int. Cl.

F23R 3/30 (2006. 01)

F23R 3/38 (2006. 01)

F23R 3/42 (2006. 01)

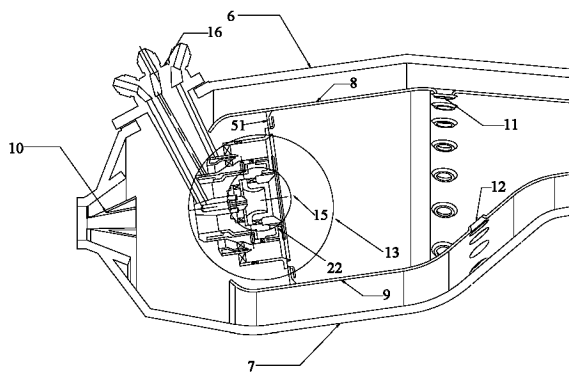
权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图 5 页

## (54) 发明名称

一种预膜式分三级预混预蒸发的低污染燃烧室

## (57) 摘要

一种预膜式分三级预混预蒸发的低污染燃烧室,包括扩压器、燃烧室外机匣、燃烧室内机匣、火焰筒外壁、火焰筒内壁和燃烧室头部;燃烧用空气全部由燃烧室头部进入火焰筒,采用分级燃烧方案,分为预燃级一级和主燃级两级;主燃级采用预混燃烧方式,预燃级采用旋流稳定的扩散燃烧方式。主燃级结构上分为两级,避免了主燃级一级的情况下,转级时主级油气混合变差导致的污染排放的增加,在不影响稳定燃烧的同时降低了30%工况下的污染物排放。主燃级第二级采取预膜式喷嘴,使燃油分布更加均匀,相比离散喷嘴污染物在大工况下进一步降低。本发明在不影响燃烧稳定性的同时,降低了航空发动机燃烧室的整个着陆起飞循环的污染排放。



1. 一种预膜式分三级预混预蒸发的低污染燃烧室,其特征在于:所述燃烧室采用单环腔结构,它由燃烧室外机匣(6)和燃烧室内机匣(7)构成其外轮廓;外界空气通过扩压器(10)进入;火焰筒外壁(8)、火焰筒内壁(9)和燃烧室头部(13)组成燃烧区域,燃烧用空气全部由燃烧室头部(13)进入火焰筒,掺混空气由火焰筒外壁(8)上的外掺混孔(11)和火焰筒内壁(9)上的内掺混孔(12)射入;所述燃烧室头部(13)采用分级燃烧方案,分为主燃级(14)和预燃级(15);所述预燃级(15)通过预燃级头部端壁(22)与主燃级(14)连接,并与主燃级(14)同心,预燃级(15)由中心向外包括预燃级旋流器组件(20)、预燃级喷嘴(21)、预燃级头部端壁(22),预燃级喷嘴(21)和预燃级旋流器组件(20)配合定位,预燃级旋流器组件(20)和预燃级头部端壁(22)连接;预燃级(15)利用由预燃级旋流器组件(20)进入燃烧室的旋流空气产生的低速回流区稳定火焰,预燃级旋流器组件(20)通过预燃级头部端壁(22)与主燃级预混预蒸发段内环(33)相连接;预燃级喷嘴(21)位于预燃级旋流器组件(20)内,并与预燃级旋流器组件(20)同轴;预燃级头部端壁(22)连接于主燃级预混预蒸发段内环(33)和预燃级外环管(23)上;其中预燃级旋流器(20)包括预燃级外环管(23)、预燃级文氏管(24)、预燃级旋流器叶片(25)、预燃级喷嘴定位环(26),预燃级旋流器叶片(25)依次连接预燃级外环管(23)、预燃级文氏管(24)、预燃级喷嘴定位环;所述主燃级(14)由预混预蒸发外环(31)、预混预蒸发环内环(33)、主燃级燃油环(48)、预膜式喷嘴内环(42)、预膜式喷嘴外环(43)、主燃级外旋流器(34)、主燃级内旋流器(35)和预膜式喷嘴内旋流器(32)构成,其中主燃级内旋流器(35)与预膜式喷嘴内环(42)、预混预蒸发环内环(33)连接在一起主燃级内环腔(37),主燃级外旋流器(34)与预混预蒸发环外环(31)一起构成主燃级外环(44),主燃级外环(44)和预膜式喷嘴外环(43)构成了主燃级外环腔(36),主燃级内外环腔(36,37)在预膜式喷嘴之后合并成预混段(38);主燃级外环(44)通过头部整体端壁(51)与火焰筒外壁(8)和火焰筒内壁(9)连接固定,主燃级内环腔(37)和燃油喷嘴(16)为一体;所述燃油喷嘴(16)向燃烧室供给所有燃油,燃油喷嘴(16)由中心向外包括预燃级喷油嘴(39)、主燃级内喷油嘴(40)和预膜式喷油嘴(41)为一整体,预燃级喷油嘴(39)和预燃级喷嘴定位环(26)连接,预膜式喷油嘴(41)和主燃级外环(44)配合定位;燃油喷嘴(16)从燃烧室头部(13)的上游直接插入主燃级外环(44)中;其中预燃级喷油嘴(21)为单个喷嘴,直接插入到预燃级喷嘴定位环(26)下游内通道(27)里,经过预燃级燃油管路(28)的燃油通过预燃级喷油嘴(21)形成预燃级油雾(17),预燃级油雾(17)打在预燃级旋流器文氏管内壁面(29)上形成油膜,在经过预燃级内通道(27)的来流作用下进行雾化,在预燃级出口(30)进行扩散燃烧;主燃级内喷油嘴(40)由主燃级内燃油通道(45)和主燃级内直射喷孔(50)组成,固定于预混预蒸发环内环(33)内侧,主燃级内燃油环(48)和预混预蒸发环内环(33)一起构成环形结构的主燃级燃油内通道(45);预混预蒸发环内环(33)上沿周向均匀开有多个主燃级内直射喷孔(50),燃油通过主燃级内燃油管(46)进入主燃级燃油通道(45),然后经过主燃级内直射喷孔(50)形成多股主燃级内环喷雾(18),向预混段(38)喷射;主燃级内环油雾(18)在主燃级内旋流的作用下进行蒸发和预混和掺混,实现燃油快速蒸发并与空气均匀掺混,然后经过预混段(38)进入主燃级出口(49)进行预混燃烧,保证较低的污染排放;预膜式喷油嘴(41)由预膜式喷嘴内环(42)、外环(43)和预膜式旋流器(32)组成,预膜式喷嘴内环(42)和预膜式喷嘴外环(43)连接形成环缝,预膜式旋流器嵌于环缝中;燃油通过预膜式喷油嘴(41)经过预膜式旋流器(32)形

成一层均匀主燃级油膜 (19) 向预混段 (38) 喷射;主燃级油膜 (19) 在主燃级内外旋流的作用下进行蒸发和预混和掺混,实现燃油快速蒸发并与空气均匀掺混,然后经过预混段 (38) 进入主燃级出口 (49) 进行预混燃烧,保证较低的污染排放。

2. 根据权利要求 1 所述的一种预膜式分三级预混预蒸发的低污染燃烧室,其特征在于:所述预燃级喷油嘴 (21) 为压力雾化喷嘴、气动雾化喷嘴或组合式喷嘴。

3. 根据权利要求 1 所述的一种预膜式分三级预混预蒸发的低污染燃烧室,其特征在于:所述预燃级旋流器 (20) 为叶片式或槽道式旋流器,叶片安装角度和槽道角度为  $30^{\circ} \sim 70^{\circ}$ ,预燃级旋流器 (20) 的级数  $n$  为  $1 \leq n \leq 3$ ;每级叶片式旋流器的结构是轴向旋流器,或是径向旋流器;当预燃级旋流器 (20) 级数  $n = 1$  时,预燃级旋流器 (20) 直接与预燃级头部整体端壁 (22) 联接;当预燃级旋流器 (20) 级数  $n > 1$  时,各级叶片式旋流器先连接成一个整体,组成预燃级旋流器 (20) 后再与预燃级头部端壁 (22) 连接。

4. 根据权利要求 1 所述的一种预膜式分三级预混预蒸发的低污染燃烧室,其特征在于:所述燃油喷嘴 (16) 供应燃烧室所需的全部燃油,主燃级燃油占总燃油量的比例为  $50\% \sim 90\%$ 。

5. 根据权利要求 1 所述的一种预膜式分三级预混预蒸发的低污染燃烧室,其特征在于:所述主燃级内旋流器 (35) 和主燃级外旋流器 (34) 为叶片式旋流器,叶片安装角度为  $30^{\circ} \sim 70^{\circ}$ ;每级叶片式旋流器的结构是轴向旋流器,或是径向旋流器,两级旋向相同或相反。

6. 根据权利要求 1 所述的一种预膜式分三级预混预蒸发的低污染燃烧室,其特征在于:所述主燃级内直射喷孔 (50) 的个数为  $6 \sim 30$  个,主燃级内旋流器 (35) 叶片的个数与直射喷油孔 (50) 的个数之比为  $1 : 1 \sim 5 : 1$ 。

7. 根据权利要求 1 所述的一种预膜式分三级预混预蒸发的低污染燃烧室,其特征在于:所述直射喷孔 (50) 和预混预蒸发环内环 (33) 壁面所形成的倾角均为  $10^{\circ} \sim 90^{\circ}$ ,与对应燃油通道 (45) 的有效流通面积比值为  $1 : 2 \sim 1 : 5$ ;所述直射喷孔 (50) 轴向位置距主燃级出口 (49) 的轴向距离为  $20 \sim 50\text{mm}$ 。

8. 根据权利要求 1 所述的一种预膜式分三级预混预蒸发的低污染燃烧室,其特征在于:所述预膜式喷嘴 (41) 出口轴向位置距主燃级出口 (49) 的轴向距离为  $20 \sim 50\text{mm}$ 。

9. 根据权利要求 1 所述的一种预膜式分三级预混预蒸发的低污染燃烧室,其特征在于:所述主级预混预蒸发外环 (31)、预混预蒸发环内环 (33) 上开切向槽,切向槽和主级预混预蒸发外环 (31)、预混预蒸发环内环 (33) 壁面所形成的倾角均为  $10^{\circ} \sim 90^{\circ}$ ,轴向位置距主燃级出口 (49) 的轴向距离为  $20 \sim 50\text{mm}$ 。

10. 根据权利要求 1 所述的一种预膜式分三级预混预蒸发的低污染燃烧室,其特征在于:所述燃烧室头部 (13) 沿周向均匀布置,个数为  $10 \sim 60$  个,燃烧室头部 (13) 的空气量占燃烧室总空气量的  $20\% \sim 80\%$ ,其中主燃级 (14) 占头部空气量的  $60\% \sim 90\%$ ,预燃级 (15) 占头部空气量的  $10\% \sim 40\%$ 。

## 一种预膜式分三级预混预蒸发的低污染燃烧室

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种利用预混预蒸发燃烧技术的航空燃气轮机低污染燃烧室。采用分级燃烧的模式,主燃级采用预混燃烧的方式,主要用于降低大工况下的污染排放;预燃级采用扩散燃烧的方式,在保证燃烧室稳定燃烧,主燃级采用分两级的预混预蒸发燃烧的方式,降低航空发动机整个 LTO 循环的污染排放。

### 背景技术

[0002] 现代航空发动机燃烧室的基本性能和结构分布已经达到相当高的水平,但是对于现代航空发动机燃烧室来说,仍然存在大量的难题和挑战,新材料、新工艺、新结构、新概念的发展应用才是保证其持续进步的源泉。

[0003] 现代民用航空发动机燃烧室的主要发展趋势是低污染燃烧。民用航空发动机燃烧室必须满足日益严格的航空发动机污染排放标准。目前采用的 CAEP6 (Committee on Aviation Environmental Protection) 标准对污染排放物的规定已经非常严格,特别是对 NO<sub>x</sub> 污染排放要求;而最新的 CAEP8 标准提出了将 NO<sub>x</sub> 的排放在 CAEP6 的排放标准上降低 15%,随着航空业的迅猛发展和人们环保意识的不断提高,未来对燃气轮机燃烧室污染排放会提出更高的要求。

[0004] 美国航空发动机的两个著名公司 GE 和 PW 对低污染燃烧室早已着手研究,GE 首先研发了双环腔低污染燃烧 DAC (用于 GE90 和 CFM56),PW 公司采用了 RQL (富油燃烧-淬熄-贫油燃烧, Rich burn-Quench-Lean burn, 简称 RQL) 低污染燃烧室 TALON II (用于 PW4000 和 6000 系列)。在下一代低污染燃烧室方面,GE 公司采用 LDM (Lean Direct Mixing Combustion, 贫油直接混合燃烧室) 技术为其 GEnx 发动机研制的 TAPS (Twin Annular Premixing Swirler) 低污染燃烧室。该燃烧室在台架全环试验验证中,NO<sub>x</sub> 污染排放比 CAEP2 排放标准降低了 50%。GE 公司申请了多项美国专利:申请号 6363726、6389815、6354072、6418726、0178732、6381964 和 6389815,所有这些专利都是预燃级采用扩散燃烧、主燃级采用预混燃烧的燃烧组织方式,目的是降低排放指数最大的大工况下的 NO<sub>x</sub> 排放。PW 公司继续采用 RQL 方式提出了降低 NO<sub>x</sub> 污染排放的低污染燃烧室为 TALON X,采用的头部形式是 PW 公司发展的空气雾化喷嘴,燃烧室为单环腔,在 V2500 发动机扇型试验段上的试验结果比 CAEP2 标准降低了 50%。Rolls-Royce 公司采用 LDM 技术发展的低污染燃烧室是 ANTLE,该燃烧室是一个单环腔分级燃烧室,其 NO<sub>x</sub> 污染排放比 CAEP2 标准降低了 50%,用于其新一代发动机湍达 1000。

[0005] 中国的北京航空航天大学对低污染燃烧室也申请了 200910238793.X、201010101574.X、201010034141.7、201010277014.X 等多项专利,采用的方案是预燃级采用扩散燃烧方式,主燃级采用预混燃烧方式,主燃级为环形结构,轴向或径向供油,采用多点喷射或是预膜雾化方式,目的是降低大工况下的 NO<sub>x</sub> 排放,从而使整个 LTO 循环的 NO<sub>x</sub> 的排放得到降低,但要进一步降低整个 LTO 循环的 NO<sub>x</sub> 的排放水平难度较大。

[0006] 以上所述的专利,都是针对在大工况下降低污染排放,而根据国际民航组织

(International Civil Aviation Organization, ICAO) 规定的一个标准循环下的排放物指数,用 LTO Emission 来表达这个参数,计算如下式:

$$[0007] \quad \text{LTO Emission(g/kN)} = \frac{D_p}{F_{\infty}} = \frac{\sum_i^N EI_{m,i} \dot{m}_{mf,i} T_{m,i}}{F_{\infty}}$$

[0008] 由上式可知, LTO Emission 跟四个工况下的 NOx 排放量有关,即既与大工况下的 NOx 排放有关,还与小工况下的 NOx 排放有关。

[0009] 标准 LTO 循环中的运行模式、每个运行模式下的推力和运行时间,如下表所示。

[0010] 表 1 ICAO 规定的 LTO 循环中的运行模式和时间

[0011]

运行模式	推力设置	运行时间 (min)
起飞 (Take-off)	100% $F_{\infty}$	0.7
爬升 (Climb)	85% $F_{\infty}$	2.2
进场 (Approach)	30% $F_{\infty}$	4.0
滑行 / 地面慢车 (Taxi/ground idle)	7% $F_{\infty}$	0

[0012]

[0013] 常规或者现役的推力在 140KN 的 CFM56-5B/3 发动机的 NOx 排放如下表,数据来源于 ICAO Emission data bank。

[0014] 表 2 CFM56-5B/3 的 NOx 排放水平

[0015]

参数	单位	慢车	进场	爬升	起飞
排放指数 (EI)	g/(kgf)	4.45	9.28	19.77	26.18
燃油流量	kg/s	0.112	0.448	1.086	1.325
运行时间	g	1560	240	132	42
排放量	g/kN	777.5	997.8	2834.1	1456.9

[0016] 燃烧室采用分级燃烧,预燃级为扩散燃烧方式,主燃级为预混燃烧方式,降低了大工况下的 NOx 排放,可以达到的 NOx 排放如下表所示:

[0017] 表 3 主燃级采用预混燃烧可以达到的 NOx 排放水平

[0018]

参数	单位	慢车	进场	爬升	起飞
NOx 排放指数 (EI)	g/(kgf)	4.45	9.28	4	4.1

燃油流量	kg/s	0.112	0.448	1.086	1.325
运行时间	g	1560	240	132	42
排放量	g/kN	777.5	997.8	594	228

[0019] 在小工况（地面慢车、进场）下，虽然 NO<sub>x</sub> 排放指数较低，根据表 1 可知小工况下的运行时间远远高于其他大工况，根据表 3 可知，当主燃级采用预混燃烧方式时，可以使大工况下的 NO<sub>x</sub> 排放指数得到大幅度降低，此时预燃级的 NO<sub>x</sub> 排放总量在整个 LTO 循环的污染排放中占的比重最大，因此要想进一步降低整个 LTO 循环的 NO<sub>x</sub> 排放，就需要考虑降低预燃级的 NO<sub>x</sub> 排放。

[0020] 而不管是何种先进的低污染燃烧室，其关键技术就是降低 NO<sub>x</sub>（氮氧化物）、CO（一氧化碳）、UHC（未燃碳氢化合物）和冒烟的燃烧技术，核心问题是降低燃烧区的温度，同时使燃烧区温度场均匀，即整体和局部的当量比控制，而主燃区当量比的均匀性又主要取决于燃油雾化和油气掺混的均匀性。

[0021] 本发明是针对航空发动机低污染燃烧的新方法。根据 NO<sub>x</sub> 与 CO 产生的机理及试验结果可知：燃烧室的主燃区当量比在 0.6 ~ 0.8 范围内产生的 NO<sub>x</sub> 与 CO（UHC 和 CO 的排放规律类似）很少。基于此原理，要兼顾 NO<sub>x</sub> 与 CO、UHC 的排放量都处于低值范围，应考虑两个因素：其一是主燃区的平均当量比，其二是主燃区平均当量比的均匀性，并且在所有航空发动机的工作情况下都应如此。而主燃区当量比的均匀性又主要取决于燃油雾化和油气掺混的均匀性。这主要取决于两方面：一是燃油颗粒直径分布的均匀性，即 SMD 的分布均匀性；二则是燃油油雾浓度分布的均匀性。从燃烧方式讲，应采用均匀的预混燃烧，达到主燃区当量比均匀性要求以降低污染排放。

[0022] 目前的常规燃烧方式无法降低 NO<sub>x</sub>、CO 和 UHC。原因是目前燃烧室的设计方法所决定的。对于常规燃烧室来说，在大状态时，由于采用液雾扩散燃烧方式，燃烧区局部当量比总是在 1 附近，远超过上述低污染燃烧所需当量比范围要求，此时虽然 CO 和 UHC 的排放低，但 NO<sub>x</sub> 的排放达到最大。在小状态时，燃烧区当量比又很低，远低于上述低污染燃烧所需当量比区间，此时虽然 NO<sub>x</sub> 排放低，但 CO 和 UHC 排放又很高。另外，由于常规燃烧室普遍采用扩散燃烧方式，局部当量比不均匀，因此对于常规燃烧室来说，无法满足在整个发动机工作范围内的低污染要求。

## 发明内容

[0023] 本发明要解决的技术问题是：克服现有技术不足，运用预混预蒸发燃烧技术，提供了一种预膜式分三级预混预蒸发的低污染燃烧室，该燃烧室的主燃级采用预混燃烧方式，能在 30% 工况以上保持较低的污染排放；预燃级采用扩散燃烧的方式，在小工况下既能保证发动机稳定工作，从而降低了整个 LTO 循环中的污染排放。

[0024] 本发明解决其技术问题所采用的技术方案是：预燃级采用扩散燃烧的方式，主燃级采用分两级预混燃烧的方式。所述燃烧室采用单环腔结构，它由燃烧室外机匣和燃烧室内机匣构成其外轮廓；外界空气通过扩压器进入，火焰筒外壁、火焰筒内壁和燃烧室头部组成燃烧区域，燃烧用空气全部由燃烧室头部进入火焰筒，掺混空气由火焰筒外壁上的外掺

混孔和火焰筒内壁上的内掺混孔射入；所述燃烧室头部采用分级燃烧方案，分为主燃级和预燃级，主燃级外环通过头部整体端壁与火焰筒外壁和火焰筒内壁连接固定，主燃级内环腔和燃油喷嘴为一体；预燃级通过预燃级头部端壁与主燃级联接，并与主燃级同心；所述预燃级包括预燃级旋流器组件、预燃级喷嘴、预燃级头部端壁，预燃级利用由预燃级旋流器组件进入燃烧室的旋流空气产生的低速回流区稳定火焰，预燃级旋流器组件通过预燃级头部端壁与主燃级预混预蒸发段内环相连接；预燃级喷嘴位于预燃级旋流器组件内，并与预燃级旋流器组件同轴；预燃级头部端壁连接于主燃级预混蒸发段内环和预燃级外环管上；其中预燃级旋流器包括预燃级外环管、预燃级文氏管、预燃级旋流器叶片；所述主燃级由预混预蒸发外环、预混预蒸发环内环、主燃级燃油环、预膜式喷嘴内环、预膜式喷嘴外环、主燃级外旋流器、主燃级内旋流器和预膜式喷嘴内旋流器构成，其中主燃级内旋流器与预膜式喷嘴内环、预混预蒸发环内环焊接在一起，构成了主燃级内环腔，主燃级外旋流器与预混预蒸发环外环一起构成主燃级外环，和预膜式喷嘴外环构成了主燃级外环腔，主燃级内外环腔在预膜式喷嘴之后合并成预混段；所述燃油喷嘴向燃烧室供给所有燃油，燃油喷嘴包括预燃级喷油嘴、主燃级内喷油嘴和预膜式喷油嘴，燃油喷嘴从燃烧室头部的上游直接插入主燃级外环中；其中预燃级喷油嘴为单个喷嘴，直接插入到预燃级喷嘴定位环下游内通道里，经过预燃级燃油管路的燃油通过预燃级喷油嘴形成预燃级油雾，预燃级油雾打在预燃级旋流器文氏管内壁上形成油膜，在经过预燃级内通道的来流作用下进行雾化，在预燃级出口进行扩散燃烧；主燃级内喷油嘴由主燃级内燃油通道和主燃级内直射喷孔组成，主燃级内燃油环和预混预蒸发环内环一起构成主燃级燃油内通道，为一环形结构；预混预蒸发环内环上沿周向均匀开有多个主燃级内直射喷孔，燃油通过主燃级内燃油管进入主燃级燃油通道，然后经过主燃级内直射喷孔形成多股主燃级内环喷雾，向预混段喷射；主燃级内环油雾在主燃级内旋流的作用下进行蒸发和预混和掺混，在较短的几何尺寸内实现燃油快速蒸发并与空气均匀掺混，然后经过预混段进入主燃级出口进行预混燃烧，保证较低的污染排放；预膜式喷油嘴由预膜式喷嘴内环、预膜式喷嘴外环和预膜式旋流器组成；燃油通过预膜式喷油嘴，经过预膜式旋流器形成一层均匀主燃级油膜向预混段喷射；主燃级油膜在主燃级内外旋流的作用下进行蒸发和预混和掺混，在较短的几何尺寸内实现燃油快速蒸发并与空气均匀掺混，然后经过预混段进入主燃级出口进行预混燃烧，保证较低的污染排放。

[0025] 本发明的原理如下：通过控制航空发动机燃烧室内燃烧区的当量比和均匀度来达到降低污染排放的目的。燃烧用空气全部从燃烧室头部进入火焰筒，使大部分的燃油和空气掺混均匀后再进入火焰筒燃烧，对控制燃烧区当量比降低污染排放有利。采用分级燃烧方案，在小工况下，只有预燃级供油工作，在中间工况下，主燃级一级和预燃级共同供油工作，在大工况下，主燃级和预燃级共同供油工作。在小工况下，只有预燃级供油工作，预燃级燃油经过预燃级喷油嘴在预燃级出口处燃烧，为扩散燃烧方式；由于预燃级出口为较强的回流区，扩散燃烧的预燃级燃油在该强回流区内燃烧，因此保证了燃烧的稳定；在中间工况下，主燃级和预燃级同时供油工作，主燃级一级燃油经过直射喷嘴进入旋流器的空气流道，在旋流作用下进行预先蒸发和与空气掺混，在主燃级出口处参与燃烧，为预混燃烧方式，避免主燃级不分级时由于照顾大工况导致的主燃级流量数太大而导致中间工况雾化和混合变差，保证中间工况的污染排放。在大工况下，主燃级和预燃级同时供油工作，而主燃级的燃油流量占大部分，污染物排放主要受主燃级控制，而主燃级采用的均匀油气混合气

预混燃烧,使燃烧区的当量比在污染排放较低的范围,从而控制了大工况下的污染排放。因此,该型燃烧室确保了航空发动机在宽的工作范围内拥有低污染排放,从而进一步降低了整个 LTO 循环下的 NO<sub>x</sub> 排放,同时保证了燃烧稳定性。

[0026] 本发明与现有技术相比所具有的优点如下:

[0027] (1) 本发明预燃级采用扩散燃烧和预混燃烧相结合的燃烧方式,通过将燃油分三级的方式达到两种燃烧方式共存的目的,在不影响燃烧室工作稳定性的同时,降低了全工况下的污染排放。

[0028] (2) 主燃级分为两级,避免了主燃级一级的情况下,转级时主级油气混合变差导致的污染排放的增加,可以将大工况下和小工况下的污染排放同时降低,从而进一步降低了整个 LTO 循环的污染排放。

[0029] (3) 主燃级第二级采用预膜式喷嘴,使燃油分布更加均匀,进一步降低污染物排放。

[0030] (4) 本发明采用单环腔燃烧室结构,燃烧用空气全部由头部供入,火焰筒上只有掺混孔和必要的冷却孔,具有模块化特征,简化了燃烧室结构,主燃级和预燃级结构较简单,易于加工。

## 附图说明

[0031] 图 1 是发动机结构示意图;

[0032] 图 2 是本发明的燃烧室结构剖视图;

[0033] 图 3 是本发明的燃烧室头部结构剖视图;

[0034] 图 4 是本发明的预燃级结构剖视图;

[0035] 图 5 是本发明的头部结构剖视图(不包含喷嘴杆);

[0036] 图 6 是本发明的燃油喷嘴结构剖视图;

[0037] 图 7 是本发明的主燃级外环剖视图;

[0038] 图 8 是本发明的过主燃级内直射喷孔中心截面(A-A 截面)的剖视图;

[0039] 其中 1 是低压压气机,2 是高压压气机,3 是燃烧室,4 是高压涡轮,5 是低压涡轮,6 是燃烧室外机匣,7 是燃烧室内机匣,8 是火焰筒外壁,9 是火焰筒内壁,10 是扩压器,11 是火焰筒外壁掺混孔,12 是火焰筒内壁掺混孔,13 是燃烧室头部,14 是主燃级,15 是预燃级,16 是燃油喷嘴,17 是预燃级油雾,18 是主燃级内环油雾,19 是主燃级油膜,20 是预燃级旋流器组件,21 是预燃级喷嘴,22 是预燃级头部端壁,23 是预燃级外环管,24 是预燃级文氏管,25 是预燃级旋流器叶片,26 是预燃级喷嘴定位环,27 是预燃级内通道,28 是预燃级燃油管路,29 是预燃级文氏管内壁面,30 是预燃级出口,31 是预混预蒸发环外环,32 是预膜式喷嘴旋流器,33 是预混预蒸发环内环,34 是主燃级外旋流器,35 是主燃级内旋流器,36 是主燃级外环腔,37 是主燃级内环腔,38 是预混段,39 是预燃级喷油嘴,40 是主燃级内喷油嘴,41 是预膜式喷油嘴,42 是预膜式喷嘴内环,43 是预膜式喷嘴外环,44 是主燃级外环,45 是主燃级燃油内通道,46 是主燃级内燃油管,47 是主燃级外燃油管,48 是主燃级内燃油环,49 是主燃级出口,50 是主燃级内喷孔,51 是头部整体端壁。

## 具体实施方式



[0040] 图 1 是发动机结构示意图,包括低压压气机 1,高压压气机 2,燃烧室 3,高压涡轮 4 和低压涡轮 5。发动机工作时,空气经过低压压气机 1 压缩后,进入高压压气机 2,高压空气再进入燃烧室 3 中与燃油燃烧,燃烧后形成的高温高压燃气进入到高压涡轮 4 和低压涡轮 5,通过涡轮做功分别驱动高压压气机 2 和低压压气机 1。

[0041] 如图 2 所示,燃烧室 3 采用单环腔结构,燃烧室外机匣 6 和燃烧室内机匣 7 构成了燃烧室的外轮廓,并与前后的高压压气机 2 和高压涡轮 4 连接。高压压气机 2 的来流空气从扩压器 10 经过降速扩压后进入燃烧室,在火焰筒外壁 8、火焰筒内壁 9 和燃烧室头部 13 所包围的空间内与燃油完成燃烧。在外掺混孔 11 和内掺混孔 12 以前的区域为燃烧区,掺混空气从掺混孔进入火焰筒,与燃烧区的高温燃气掺混,使出口温度达到设计要求。燃烧室头部 13 包括主燃级 14、预燃级 15 以及燃油喷嘴 16,主燃级 14 通过头部整体端壁 51 与火焰筒外壁 8 和火焰筒内壁 9 焊接固定,而预燃级 15 则由预燃级头部端壁 22 与主燃级 14 固定联接,燃油喷嘴 16 供给全部燃油。所述燃烧室头部 13 沿周向均匀布置,个数为 10 ~ 60 个,燃烧室头部 13 的空气量占燃烧室总空气量的 20% ~ 80%,其中主燃级 14 占头部空气量的 60% ~ 90%,预燃级 15 占头部空气量的 10% ~ 40%。

[0042] 图 3 是一个燃烧室头部结构的剖视图,可清楚的看出主燃级 14 和预燃级 15 按照同心的方式布置在一起。图 4 是预燃级结构剖视图,从图 4 中可以看到,预燃级 15 由预燃级旋流器 20 组成。从图 4、图 5、图 6 可以看到,预燃级旋流器 20 为叶片式旋流器或槽道式旋流器,旋流器的结构可以是轴向旋流器或是径向旋流器。当预燃级旋流器 20 采用单级旋流器时,直接与预燃级头部端壁 22 连接,当预燃级旋流器 20 采用多级旋流器时,各级旋流器先连接成一个整体,组成预燃级旋流器 20 后再与预燃级头部端壁 22 连接。预燃级旋流器 20 与预燃级头部端壁 22 连接采用焊接或螺纹加锁紧的方式实现。预燃级旋流器 20 包括预燃级外环管 23、预燃级文氏管 24、预燃级旋流器叶片 25。预燃级旋流器叶片 25 周向均匀布置并焊接在其上,从而将预燃级外环管 23 和预燃级文氏管 24 连接在一起,预燃级旋流器叶片 25 的叶片安装角度为  $30^{\circ} \sim 70^{\circ}$ 。预燃级喷油嘴 21 为单个压力雾化喷嘴、气动雾化喷嘴或组合式喷嘴,直接插入到预燃级喷嘴定位环 26 下游内通道 27 里,经过预燃级燃油管路 28 的燃油通过预燃级喷油嘴 21 形成预燃级油雾 17,预燃级油雾 17 打在预燃级旋流器文氏管内壁面 29 上形成油膜,在经过预燃级内通道 27 的来流作用下进行雾化,在预燃级出口 30 进行扩散燃烧。

[0043] 从图 3、图 5 和图 6 可以看到,主燃级 14 由预混预蒸发外环 31、预混预蒸发环内环 33、主燃级燃油环 48、预膜式喷嘴内环 42、预膜式喷嘴外环 43、主燃级外旋流器 34、主燃级内旋流器 35 和预膜式喷嘴内旋流器 32 构成,其中主燃级内旋流器 35 与预膜式喷嘴内环 42、预混预蒸发环内环 33 焊接在一起,构成了主燃级内环腔 37,主燃级外旋流器 34 与预混预蒸发环外环 31 一起构成主燃级外环 44,和预膜式喷嘴外环 43 构成了主燃级外环腔 36,主燃级内外环腔 36 在预膜式喷嘴之后合并成预混段 38;主燃级 14 采用的主燃级内旋流器 35 和主燃级外旋流器 34 为叶片式旋流器,叶片安装角度为  $30^{\circ} \sim 70^{\circ}$ 。每级叶片式旋流器的结构是轴向旋流器,或是径向旋流器,两级旋向相同或相反。

[0044] 从图 6 可以看到,燃油喷嘴 16 向燃烧室供给所有燃油,燃油喷嘴 16 包括预燃级喷油嘴 39、主燃级内喷油嘴 40 和预膜式喷油嘴 41,燃油喷嘴 16 从燃烧室头部 13 的上游直接插入主燃级外环 44 中。

[0045] 从图 6, 图 8 中可以看到, 主燃级内喷油嘴 40 由主燃级燃油内通道 45 和主燃级内直射喷孔 50 组成, 主燃级内燃油环 48 和预混预蒸发环内环 33 一起构成主燃级燃油内通道 45, 为一环形结构。预混预蒸发环内环 33 上沿周向均匀开有多个主燃级内直射喷孔 50, 燃油通过主燃级内燃油管 46 进入主燃级燃油内通道 45, 然后经过主燃级内直射喷孔 50 形成多股主燃级内环喷雾 18, 向主燃级内环腔 37 中喷射。预膜式喷油嘴 41 由预膜式喷嘴内环 42、预膜式喷嘴外环 43 和预膜式旋流器 32 组成; 燃油通过预膜式喷油嘴 41 向预混段 38 喷射, 主燃级内外旋流的作用下进行蒸发和预混和掺混, 在较短的几何尺寸内实现燃油快速蒸发并与空气均匀掺混, 进入主燃级出口 49 进行预混燃烧, 保证较低的污染排放。

[0046] 主燃级内直射喷孔和主燃级外直射喷孔 50 的个数为 6 ~ 30 个, 主燃级内旋流器 35 和主燃级外旋流器 34 叶片的个数与直射喷油孔的个数之比为 1 : 1 ~ 5 : 1, 和预混预蒸发环内环 33 壁面所形成的倾角均为  $10^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 。直射喷孔轴向位置在主燃级内外叶片通道里或主燃级内外叶片通道下游, 距主燃级内外出口的轴向距离为 20 ~ 50mm。预膜式喷油嘴 41 出口轴向位置距主燃级内外出口 49 的轴向距离为 20 ~ 50mm, 主级预混预蒸发外环 31、预混预蒸发环内环 33 上可开切向槽, 切向槽和预混预蒸发环内外环 31、33 壁面所形成的倾角均为  $10^{\circ} \sim 90^{\circ}$ , 轴向位置距主燃级内外出口 49 的轴向距离为 20 ~ 50mm。主燃级燃油占总燃油量的比例为 50% ~ 90%。

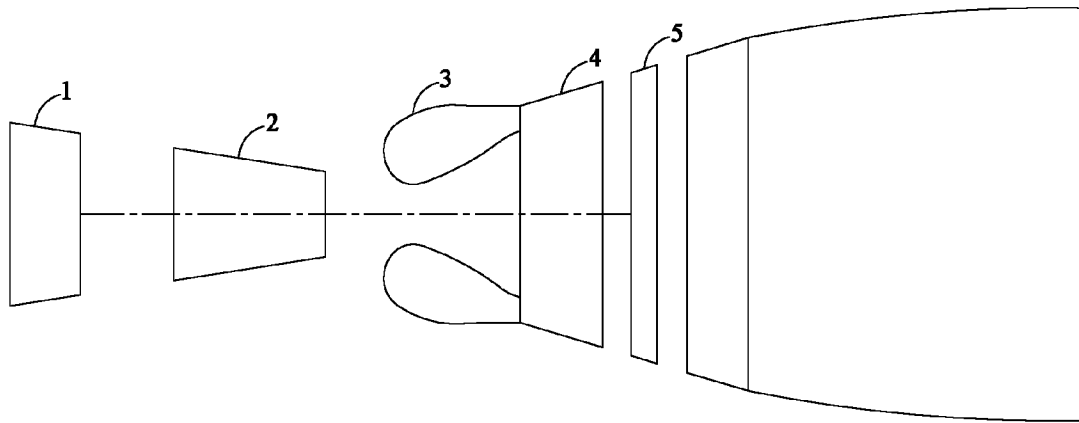


图 1

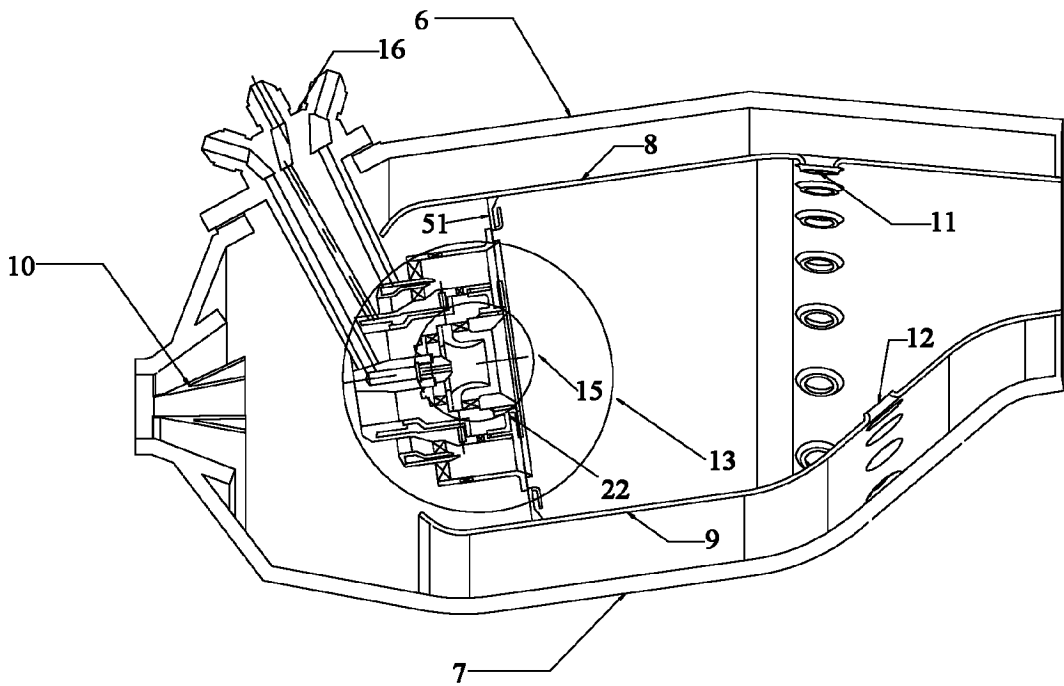


图 2

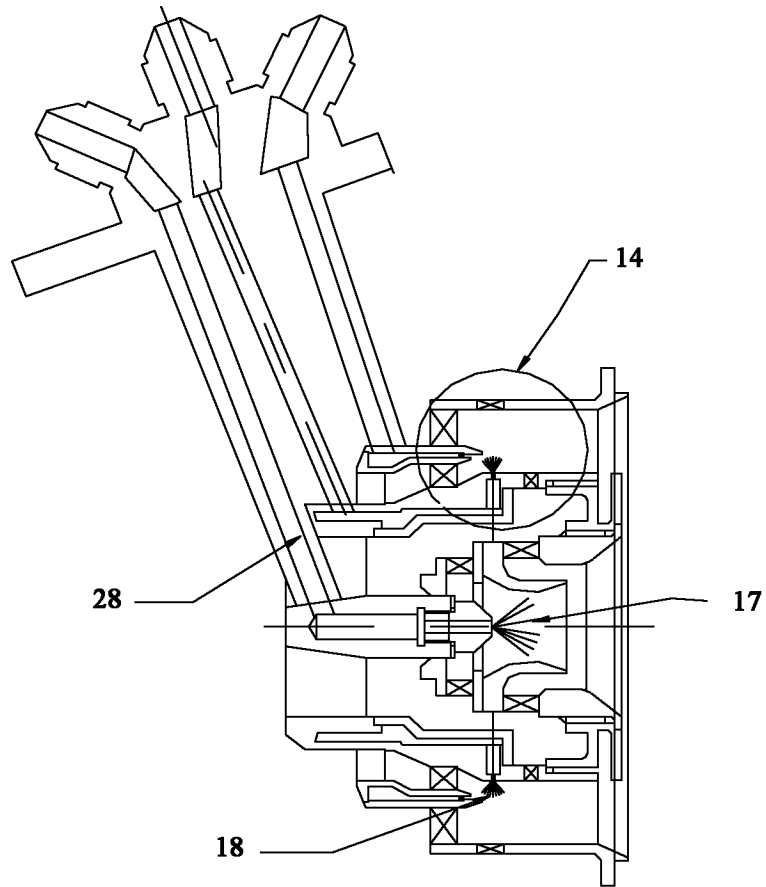


图 3

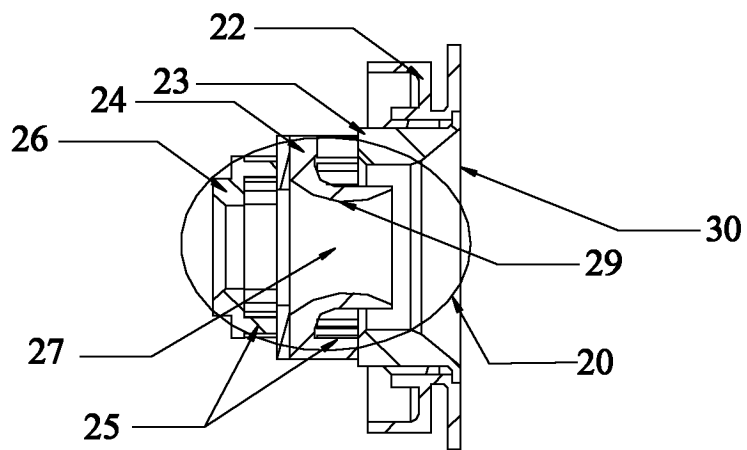


图 4

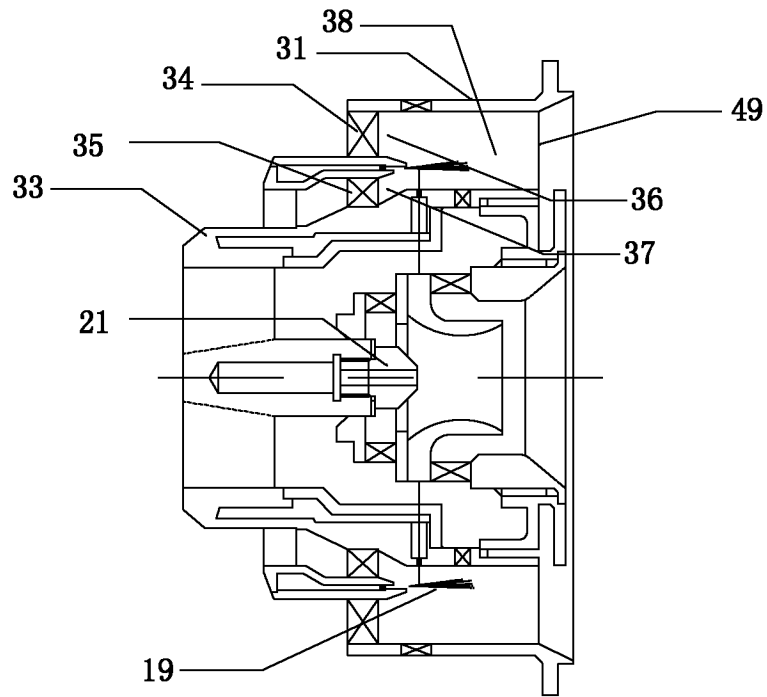


图 5

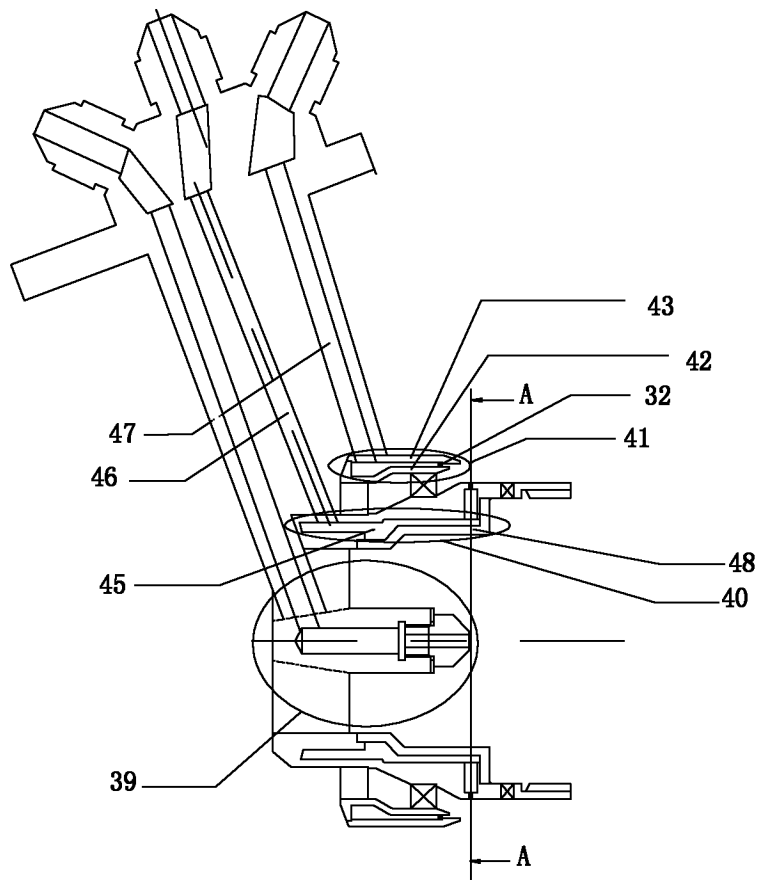


图 6

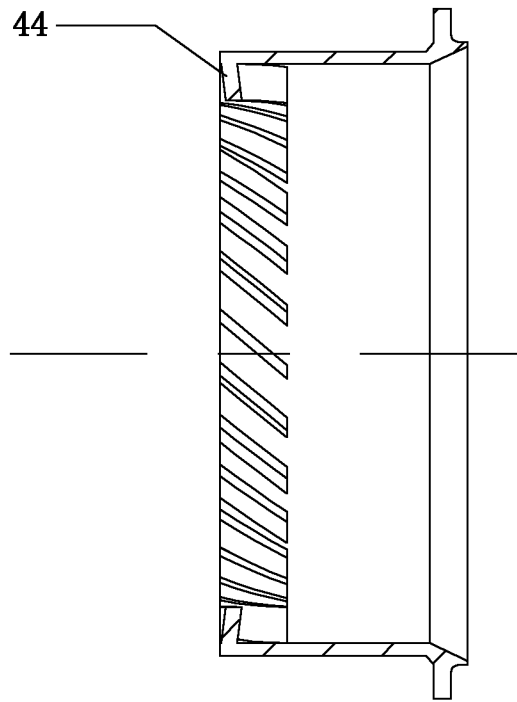


图 7

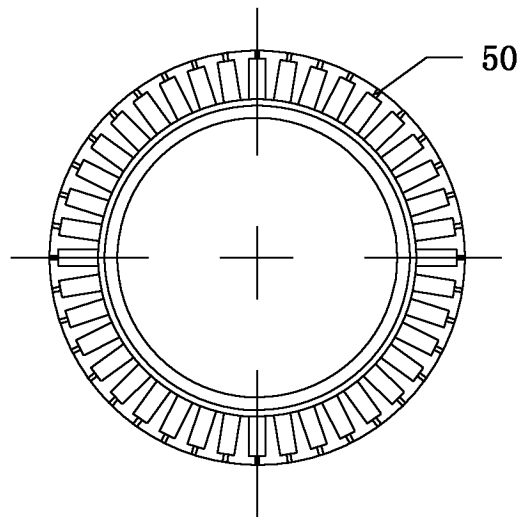


图 8