



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110836383 B

(45) 授权公告日 2021.10.26

(21) 申请号 201911116746.8

F23R 3/28 (2006.01)

(22) 申请日 2019.11.15

F23R 3/38 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 110836383 A

(56) 对比文件

(43) 申请公布日 2020.02.25

CN 106016362 A, 2016.10.12

(73) 专利权人 中国科学院工程热物理研究所  
地址 100190 北京市海淀区北四环西路11号

CN 110131750 A, 2019.08.16

CN 105840317 A, 2016.08.10

CN 107806647 A, 2018.03.16

CN 108458366 A, 2018.08.28

CN 1386180 A, 2002.12.18

(72) 发明人 熊燕 郑祥龙 刘艳 马德军  
肖云汉

CN 104776451 A, 2015.07.15

JP H10196909 A, 1998.07.31

CN 106016362 A, 2016.10.12

(74) 专利代理机构 北京锺维联合知识产权代理有限公司 11579  
代理人 黄利萍 原春香

审查员 雷静静

(51) Int. Cl.

F23R 3/12 (2006.01)

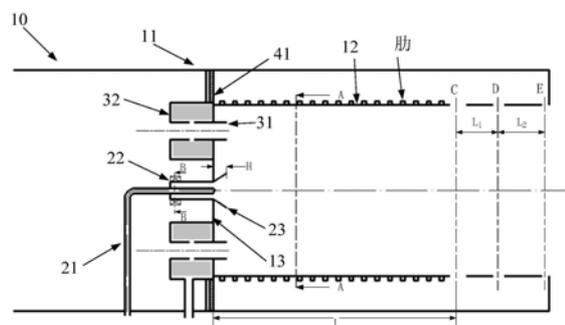
权利要求书3页 说明书8页 附图5页

(54) 发明名称

一种高温烟气发生器及其控制方法

(57) 摘要

本发明提供了一种高温烟气发生器及其控制方法,值班喷嘴组件设置在燃烧室头部挡板的中心,预混喷嘴组件周向均布于燃烧室头部挡板上。燃烧室外壁与燃烧室火焰筒之间形成环形空气通道,空气流量分配调节阀设置于该环形通道进口。预混喷嘴的高速射流在燃烧室中部形成卷吸回流,通过烟气内循环机制,降低了燃烧室内氮氧化物的形成。燃烧室火焰筒外壁面设置有肋片结构,用于强化环形通道内空气对火焰筒的冷却。燃烧室火焰筒尾部开有多排掺混孔,通过对掺混孔孔径和位置的合理分配,使得烟气与掺混空气发生充分的掺混,从而保证出口烟气温度和组分分布的均匀性。配合空气流量调节阀的使用,可实现出口烟气温度的有效调节。



1. 一种高温烟气发生器,包括燃烧室结构组件、值班喷嘴组件、预混喷嘴组件,其特征在于,

所述燃烧室结构组件,包括同轴布置的一筒状燃烧室外壁、一燃烧室火焰筒及一燃烧室头部挡板,其中,所述燃烧室火焰筒固定设置在所述燃烧室外壁内,所述燃烧室头部挡板固定设置在所述燃烧室火焰筒的头部,所述燃烧室外壁与燃烧室火焰筒之间的空间形成一环形空气通道,所述环形空气通道的头部进口处设置一空气流量分配调节阀,所述空气流量分配调节阀设置在所述环形空气通道的头部进口处,包括同心布置在所述环形空气通道头部进口处的第一环形孔板和第二环形孔板,其中,所述第一环形孔板可绕其中心轴线转动,所述第二环形孔板固定设置在所述燃烧室外壁与燃烧室火焰筒之间,且所述第一环形孔板和第二环形孔板上的开孔尺寸和分布完全相同,通过转动所述第一环形孔板可实现所述空气流量分配调节阀通流面积的连续调节;

所述值班喷嘴组件和预混喷嘴组件设置在所述燃烧室头部挡板上,其中,所述值班喷嘴组件设置在所述燃烧室头部挡板的中心,用于形成中心值班旋流扩散火焰,提高燃烧稳定性;所述预混喷嘴组件以燃烧室轴线为中心沿周向均匀分布于所述燃烧室头部挡板之上,用于向所述燃烧室火焰筒高速射入预混可燃气体,通过高速射流的卷吸作用在所述燃烧室火焰筒内形成一烟气回流区,使得所述预混可燃气体被回流的高温低氧的烟气掺混稀释而实现柔和燃烧;

所述燃烧室火焰筒的尾部壁面上沿轴向布置有若干排掺混孔,每排掺混孔沿周向均布在所述燃烧室火焰筒的壁面上,外部空气通过所述空气流量分配调节阀进入所述环形空气通道中,沿轴向流动的空气在冷却所述燃烧室火焰筒的壁面后经所述掺混孔进入所述燃烧室火焰筒内,通过与所述燃烧室火焰筒尾部的烟气发生掺混实现对出口烟气温度的调节;并且,所述燃烧室火焰筒壁面上的第一排掺混孔距所述燃烧室头部挡板的轴向距离 $L$ 应满足 $L \geq 3R_1$ ,其中 $R_1$ 为所述燃烧室火焰筒的半径。

2. 根据权利要求1所述的高温烟气发生器,其特征在于,所述值班喷嘴组件包括一值班燃料导管、一径向空气旋流器和一值班旋流喷嘴,其中,所述值班旋流喷嘴整体为一轴向延伸的管状部件,所述管状部件固定设置在所述燃烧室头部挡板的中心,其出口端与所述燃烧室火焰筒的内部空间连通;所述值班燃料导管的出口段同轴布置在所述值班旋流喷嘴中,且其在轴向上延伸至所述燃烧室头部挡板,所述值班燃料导管的出口段与所述值班旋流喷嘴之间的空间形成一环形值班空气通道,所述径向空气旋流器设置在所述环形值班空气通道的进口处,所述值班燃料导管的出口段的末端形成为一锥形封闭端,所述锥形封闭端上开设有若干燃料孔,各所述燃料孔与所述值班旋流喷嘴的轴线方向均具有夹角 $\theta_2$ 。

3. 根据权利要求2所述的高温烟气发生器,其特征在于,所述值班旋流喷嘴的出口端设有一锥罩,所述锥罩完全位于所述燃烧室火焰筒内,且所述锥罩的底部基本与所述燃烧室头部挡板的内壁平齐。

4. 根据权利要求3所述的高温烟气发生器,其特征在于,所述锥罩轴向上的高度 $H$ 满足 $R_3 \leq H_1 \leq 3R_3$ ,锥罩的出口半径 $R_4$ 满足 $2R_3 \leq R_4 \leq R_1/2$ ,其中, $R_1$ 为所述燃烧室火焰筒的半径, $R_3$ 为所述环形值班空气通道的半径。

5. 根据权利要求3所述的高温烟气发生器,其特征在于,所述值班燃料导管出口段的末端基本与所述锥罩底部处于同一平面。

6. 根据权利要求2所述的高温烟气发生器,其特征在于,所述值班燃料导管出口段末端上均匀布置M个所述燃料孔,开孔方向与所述值班旋流喷嘴轴线方向夹角为 $\theta_2$ ,其中 $M \geq 4$ ,  $30^\circ \leq \theta_2 \leq 60^\circ$ 。

7. 根据权利要求2所述的高温烟气发生器,其特征在于,所述径向空气旋流器具有沿周向均匀分布的N个旋流通道,各所述旋流通道具有切向旋流角 $\theta_1$ ,其中 $N \geq 4$ ,  $30^\circ \leq \theta_1 \leq 60^\circ$ 。

8. 根据权利要求3所述的高温烟气发生器,其特征在于,所述预混喷嘴组件包括若干个预混喷嘴和一个燃料分配环腔,其中,所述燃料分配环腔同轴设置在所述燃烧室头部挡板的外壁上,每一所述预混喷嘴整体均为一轴向延伸且两端开口的管状部件,各所述预混喷嘴贯穿所述燃料分配环腔并沿周向均匀分布在所述燃烧室头部挡板上,且每一所述预混喷嘴的进口端与外部通气连通、出口端伸入所述燃烧室火焰筒内,且每一所述预混喷嘴的壁面上均开有若干个与所述燃料分配环腔连通并沿周向分布的燃料孔。

9. 根据权利要求8所述的高温烟气发生器,其特征在于,所述预混喷嘴的数量X,满足 $X \geq 4$ ;每一所述预混喷嘴壁面上的燃料孔的数量Y,满足 $Y \geq 4$ 。

10. 根据权利要求8所述的高温烟气发生器,其特征在于,每一所述预混喷嘴在所述燃烧室头部挡板上所处圆周半径 $R_5$ 满足 $R_1/2 \leq R_5 \leq 5R_1/6$ ,其中 $R_1$ 为所述燃烧室火焰筒的半径。

11. 根据权利要求8所述的高温烟气发生器,其特征在于,每一所述预混喷嘴伸入所述燃烧室火焰筒内的轴向长度基本与所述锥罩的轴向高度持平。

12. 根据权利要求1所述的高温烟气发生器,其特征在于,位于所述燃烧室火焰筒尾部壁面上的各排掺混孔中,随着掺混孔向下游分布,掺混孔半径逐渐减小,数目逐渐增多,以保证所述燃烧室火焰筒壁面受到充分的冷却。

13. 根据权利要求1所述的高温烟气发生器,其特征在于,第一排掺混孔的半径 $R_6$ 满足 $R_2 \leq R_6 \leq 2R_2$ ,第二排掺混孔的半径 $R_7$ 满足 $R_6/3 \leq R_7 \leq R_6/2$ ,第三排掺混孔半径 $R_8$ 满足 $R_7/3 \leq R_8 \leq R_7/2$ ,第一、二排掺混孔间距 $L_1$ 满足 $2R_6 \leq L_1 \leq 4R_6$ ,第二、三排掺混孔间距 $L_2$ 满足 $2R_6 \leq L_2 \leq 4R_6$ 。

14. 根据权利要求1所述的高温烟气发生器,其特征在于,所述第一环形孔板和第二孔板上各开孔的半径 $R_9$ 满足: $R_2/2 \leq R_9 \leq 2R_2$ , $R_2$ 为预混射流喷嘴半径,开孔个数P满足: $P \geq 6$ 。

15. 根据权利要求1所述的高温烟气发生器,其特征在于,考虑到出口烟气温度的调节范围,所述第一环形孔板和第二孔板上开孔的总面积应为燃烧室头部喷嘴总通流面积的2~3倍。

16. 根据权利要求1所述的高温烟气发生器,其特征在于,所述燃烧室火焰筒为圆筒形结构,所述燃烧室头部挡板为圆形平板,所述燃烧室头部挡板上设有若干用于布置所述预混喷嘴组件和值班喷嘴组件的安装孔。

17. 根据权利要求16所述的高温烟气发生器,其特征在于,所述燃烧室火焰筒、燃烧室头部挡板均采用高温合金材料制成。

18. 根据权利要求16所述的高温烟气发生器,其特征在于,所述燃烧室火焰筒外壁设置有肋片,用于增强外部空气与火焰筒壁面之间的换热,避免火焰筒壁面局部温度过高而缩短燃烧室火焰筒的使用寿命。

19. 一种高温烟气发生器的控制方法,用于控制上述权利要求1至18任一项所述的烟气发生器的点火和调节过程,其特征在于,所述控制方法包括如下控制步骤:

步骤A:所述烟气发生器点火时,首先开启所述值班喷嘴组件和预混喷嘴组件的空气供应,并调节所述空气流量分配调节阀的开度以保证所述燃烧室火焰筒壁面的充分冷却;随后开启所述值班喷嘴组件的燃料供应,并使用点火器点燃所述值班喷嘴组件喷射的燃料,之后逐步增加值班燃料量以形成稳定的中心值班旋流火焰;

步骤B:待中心值班旋流火焰稳定后,开启所述预混喷嘴组件进行预混燃料的供应,供入预混燃料进一步提高燃烧室热负荷,当燃料总量达到预定值时,逐渐减少值班燃料量,与此同时,相应增加预混燃料量,直至值班燃料量降低为0。

20.根据权利要求19所述的高温烟气发生器的控制方法,其特征在于,根据下游设备需求,当需要降低烟气出口温度时,采取如下步骤进行进一步控制:

步骤C:首先减少预混燃料流量,以达到目标烟气出口温度。

21.根据权利要求20所述的高温烟气发生器的控制方法,其特征在于,当预混燃料量降低到一定程度,使得燃烧出现不稳定或一氧化碳排放量增加时,采取如下步骤进行进一步控制:

步骤D:增大所述空气流量分配调节阀的开度,在空气总量不变的条件下减少头部空气流量,通过增加头部当量比而实现该烟气发生器在低烟气出口温度下的稳定燃烧。

## 一种高温烟气发生器及其控制方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及低污染燃烧技术领域,尤其是一种高温烟气发生器及其控制方法。

### 背景技术

[0002] 高温烟气发生器通常应用于燃气轮机热端部件研发和石油化工领域的热源供应过程中。在燃气轮机热端部件的研发过程中,烟气发生器置于试验段上游,用于为试验段提供特定流量和温度条件下的烟气,从而实现对热端部件所处真实环境的模拟。而在石油化工领域中,通常也需要烟气发生器产生大量高温烟气来提供热源。这类烟气发生器大多要求燃烧稳定、燃烧效率高、压降小、出口烟气温度分布均匀、烟温可控且调节方便。

[0003] 而燃烧过程中通常伴随着如氮氧化物、一氧化碳和可吸入颗粒物等大气污染物的生成。在燃烧室的火焰区和后火焰区,空气中的氮气可在高温条件下被氧化而生成氮氧化物,其生成速率随温度的增加呈指数型增长。氮氧化物不仅是酸雨的主要来源,还会与大气中的其它污染反应形成光化学烟雾污染。而一氧化碳和可吸入颗粒物的生成不仅危害人体健康,同时也会造成燃烧效率的下降。因此,为满足日益严格的环保标准,降低燃料消耗,高效、稳定、低污染的烟气发生器的设计具有十分突出的环境效益和应用价值。

### 发明内容

[0004] (一)要解决的技术问题

[0005] 有鉴于此,本发明的主要目的在于提供一种烟气发生器及其控制方法,通过合理布置燃烧室结构组件、值班喷嘴组件、预混喷嘴组件及空气流量分配调节阀等燃烧和结构部件,使得预混喷嘴的高速射流在燃烧室中部形成卷吸回流并利用烟气内循环机制,降低了燃烧室内氮氧化物的形成。通过设置在燃烧室火焰筒外壁面的肋片结构,强化空气对火焰筒的冷却。通过对掺混孔孔径和位置的合理分配,使得烟气与掺混空气发生充分的掺混,从而保证出口烟气温度和组分分布的均匀性。配合空气流量调节阀的使用,方便了烟气发生器出口温度的调节,且有效避免了烟气出口温度较低条件下的燃烧不稳定的发生和燃烧效率的下降。

[0006] (二)技术方案

[0007] 本发明为解决上述技术问题所采用的技术方案为:

[0008] 一种高温烟气发生器,包括燃烧室结构组件、值班喷嘴组件、预混喷嘴组件,其特征在于,

[0009] 所述燃烧室结构组件,包括同轴布置的一筒状燃烧室外壁、一燃烧室火焰筒及一燃烧室头部挡板,其中,所述燃烧室火焰筒固定设置在所述燃烧室外壁内,所述燃烧室头部挡板固定设置在所述燃烧室火焰筒的头部,所述燃烧室外壁与燃烧室火焰筒之间的空间形成一环形空气通道,所述环形空气通道的头部进口处设置一空气流量分配调节阀;

[0010] 所述值班喷嘴组件和预混喷嘴组件设置在所述燃烧室头部挡板上,其中,所述值班喷嘴组件设置在所述燃烧室头部挡板的中心,用于形成中心值班旋流扩散火焰,提高燃

烧稳定性;所述预混喷嘴组件以燃烧室轴线为中心沿周向均匀分布于所述燃烧室头部挡板之上,用于向所述燃烧室火焰筒高速射入预混可燃气体,通过高速射流的卷吸作用在所述燃烧室火焰筒内形成一烟气回流区,使得所述预混可燃气体被回流的高温低氧的烟气掺混稀释而实现柔和燃烧;

[0011] 所述燃烧室火焰筒的尾部壁面上沿轴向布置有若干排掺混孔,每排掺混孔沿周向均布在所述燃烧室火焰筒的壁面上,外部空气通过所述空气流量分配调节阀进入所述环形空气通道中,沿轴向流动的空气在冷却所述燃烧室火焰筒的壁面后经所述掺混孔进入所述燃烧室火焰筒内,通过与所述燃烧室火焰筒尾部的烟气发生掺混实现对出口烟气温度的调节。

[0012] 优选地,所述值班燃料喷嘴组件包括一值班燃料导管、一径向空气旋流器和一值班旋流喷嘴,其中,所述值班旋流喷嘴整体为一轴向延伸的管状部件,所述管状部件固定设置在所述燃烧室头部挡板的中心,其出口端与所述燃烧室火焰筒的内部空间连通;所述值班燃料导管的出口段同轴布置在所述值班旋流喷嘴中,且其在轴向上延伸至所述燃烧室头部挡板,所述值班燃料导管的出口段与所述值班旋流喷嘴之间的空间形成一环形值班空气通道,所述径向空气旋流器设置在所述环形值班空气通道的进口处,所述值班燃料导管的出口段的末端形成为一锥形封闭端,所述锥形封闭端上开设有若干燃料孔,各所述燃料孔与所述值班旋流喷嘴的轴线方向均具有夹角 $\theta_2$ 。值班空气经所述径向旋流器进入所述环形值班空气通道中并在出口处与通过各所述燃料孔喷射的燃料掺混后旋流进入所述燃烧室火焰筒内。

[0013] 进一步地,所述值班旋流喷嘴的出口端设有一锥罩,所述锥罩完全位于所述燃烧室火焰筒内,且所述锥罩的底部基本与所述燃烧室头部挡板的内壁平齐。在所述值班旋流喷嘴的出口端设置锥罩,其目的是为了稳定旋流火焰。

[0014] 进一步地,所述锥罩轴向上的高度 $H$ 满足 $R_3 \leq H_1 \leq 3R_3$ ,锥罩的出口半径 $R_4$ 满足 $2R_3 \leq R_4 \leq R_1/2$ ,其中, $R_1$ 为所述燃烧室火焰筒的半径, $R_3$ 为所述环形值班空气通道的半径。

[0015] 进一步地,所述值班燃料导管出口段的末端基本与所述锥罩底部处于同一平面。

[0016] 进一步地,所述值班燃料导管出口段末端上均匀布置 $M$ 个所述燃料孔,开孔方向与所述值班旋流喷嘴轴线方向夹角为 $\theta_2$ ,其中 $M \geq 4$ , $30^\circ \leq \theta_2 \leq 60^\circ$ 。

[0017] 进一步地,所述径向空气旋流器具有沿周向均匀分布的 $N$ 个旋流通道,各所述旋流通道具有切向旋流角 $\theta_1$ ,其中 $N \geq 4$ , $30^\circ \leq \theta_1 \leq 60^\circ$ 。

[0018] 优选地,所述预混喷嘴组件包括若干个预混喷嘴和一个燃料分配环腔,其中,所述燃料分配环腔同轴设置在所述燃烧室头部挡板的外壁上,每一所述预混喷嘴整体均为一轴向延伸且两端开口的管状部件,各所述预混喷嘴贯穿所述燃料分配环腔并沿周向均匀分布在所述燃烧室头部挡板上,且每一所述预混喷嘴的进口端与外部通气连通、出口端伸入所述燃烧室火焰筒内,且每一所述预混喷嘴的壁面上均开有若干个与所述燃料分配环腔连通并沿周向分布的燃料孔。

[0019] 进一步地,所述预混喷嘴的数量 $X$ ,满足 $X \geq 4$ ;每一所述预混喷嘴壁面上的燃料孔的数量 $Y$ ,满足 $Y \geq 4$ 。

[0020] 进一步地,每一所述预混喷嘴在所述燃烧室头部挡板上所处圆周半径 $R_5$ 满足 $R_1/2 \leq R_5 \leq 5R_1/6$ ,其中 $R_1$ 为所述燃烧室火焰筒的半径。

[0021] 进一步地,每一所述预混喷嘴伸入所述燃烧室火焰筒内的轴向长度基本与所述锥罩的轴向高度持平。

[0022] 优选地,为了防止下游空气与烟气过早地发生掺混而导致火焰淬熄,从而导致一氧化碳浓度的升高,所述燃烧室火焰筒壁面上的第一排掺混孔距所述燃烧室头部挡板的轴向距离 $L$ 应满足 $L \geq 3R_1$ ,其中 $R_1$ 为所述燃烧室火焰筒的半径。

[0023] 进一步地,位于所述燃烧室火焰筒尾部壁面上的各排掺混孔中,随着掺混孔向下游分布,掺混孔半径逐渐减小,数目逐渐增多,以保证所述燃烧室火焰筒壁面受到充分的冷却。此外,掺混孔这样的结构和尺寸的安排,还可以保证较大的射流深度,增强空气与烟气的掺混程度。

[0024] 进一步地,第一排掺混孔的半径 $R_6$ 满足 $R_2 \leq R_6 \leq 2R_2$ ,第二排掺混孔的半径 $R_7$ 满足 $R_6/3 \leq R_7 \leq R_6/2$ ,第三排掺混孔半径 $R_8$ 满足 $R_7/3 \leq R_8 \leq R_7/2$ ,第一、二排掺混孔间距 $L_1$ 满足 $2R_6 \leq L_1 \leq 4R_6$ ,第二、三排掺混孔间距 $L_2$ 满足 $2R_6 \leq L_2 \leq 4R_6$ 。

[0025] 优选地,所述空气流量分配调节阀设置在所述环形空气通道的头部进口处,包括同心布置在所述环形空气通道头部进口处的第一环形孔板和第二环形孔板,其中,所述第一环形孔板可绕其中心轴线转动,所述第二环形孔板固定设置在所述燃烧室外壁与燃烧室火焰筒之间,且所述第一环形孔板和第二环形孔板上的开孔尺寸和分布完全相同,通过转动所述第一环形孔板可实现所述空气流量分配调节阀通流面积的连续调节,从而实现了对掺混孔空气量的调节。

[0026] 进一步地,所述第一环形孔板和第二孔板上各开孔的半径 $R_9$ 满足: $R_2/2 \leq R_9 \leq 2R_2$ ,开孔个数 $P$ 满足: $P \geq 6$ 。

[0027] 进一步地,考虑到出口烟气温度的调节范围,所述第一环形孔板和第二孔板上开孔的总面积应为燃烧室头部喷嘴总通流面积的2~3倍。

[0028] 优选地,所述燃烧室火焰筒为圆筒形结构,所述燃烧室头部挡板为圆形平板,所述燃烧室头部挡板上设有若干用于布置所述预混喷嘴组件和值班喷嘴组件的安装孔。

[0029] 进一步地,所述燃烧室火焰筒、燃烧室头部挡板均采用高温合金材料制成。

[0030] 进一步地,所述燃烧室火焰筒外壁设置有肋片,用于增强外部空气与火焰筒壁面之间的换热,避免火焰筒壁面局部温度过高而缩短燃烧室火焰筒的使用寿命。

[0031] 在本发明的实例中,还提供了一种高温烟气发生器的控制方法,用于控制上述烟气发生器的点火和调节过程,其特征在于,所述控制方法包括如下控制步骤:

[0032] 步骤A:所述烟气发生器点火时,首先开启所述值班喷嘴组件和预混喷嘴组件的空气供应,并调节所述空气流量分配调节阀的开度以保证所述燃烧室火焰筒壁面的充分冷却;随后开启所述值班喷嘴组件的燃料供应,并使用点火器点燃所述值班喷嘴组件喷射的燃料,之后逐步增加值班燃料量以形成稳定的中心值班旋流火焰;

[0033] 步骤B:待中心值班旋流火焰稳定后,开启所述预混喷嘴组件进行预混燃料的供应,供入预混燃料进一步提高燃烧室热负荷,当燃料总量达到预定值时,逐渐减少值班燃料量,与此同时,相应增加预混燃料量,直至值班燃料量降低为0。

[0034] 优选地,根据下游设备需求,当需要降低烟气出口温度时,采取如下步骤进行进一步控制:

[0035] 步骤C:首先减少预混燃料流量,以达到目标烟气出口温度。

[0036] 进一步地,当预混燃料量降低到一定程度,使得燃烧出现不稳定或一氧化碳排放量增加时,采取如下步骤进行进一步控制:

[0037] 步骤D:增大所述空气流量分配调节阀的开度,在空气总量不变的条件下减少头部空气流量,通过增加头部当量比而实现该烟气发生器在低烟气出口温度下的稳定燃烧。

[0038] (三)有益效果

[0039] 从上述技术方案可以看出,本发明的高温烟气发生器及其控制方法至少具有如下有益技术效果:

[0040] (1)预混喷嘴采用高速射流卷吸回流的方式实现了柔和燃烧,使得燃料在燃烧前与烟气发生了强烈的掺混,降低了火焰区的氧浓度和峰值火焰温度,有效降低了氮氧化物排放量。

[0041] (2)预混喷嘴预混段采用壁面开孔,燃料与空气交叉射流的方式,实现了燃料与空气的高效掺混,降低了预混气在喷嘴出口的掺混不均匀度。

[0042] (3)通过火焰筒尾部掺混孔前大后小,前疏后密的合理布局,增强了掺混空气与烟气的掺混,保证了出口烟气的均匀分布。

[0043] (4)配合使用空气流量分配调节阀,部分空气在燃烧室下游与烟气发生掺混,使得烟气发生器在较低烟气出口温度条件下可以保持较高的头部当量比,从而提高了燃烧稳定性,实现了对一氧化碳排放量的有效控制。

## 附图说明

[0044] 图1为本发明的高温烟气发生器的结构示意图;

[0045] 图2为图1所示的高温烟气发生器的左视图;

[0046] 图3为图1所示的高温烟气发生器的喷嘴布局的右视图;

[0047] 图4为图1所示的高温烟气发生器的工作状态示意图;

[0048] 图5为图1所示的高温烟气发生器的径向空气旋流器的剖面示意图;

[0049] 图6为图1所示的高温烟气发生器的值班燃料导管出口结构示意图;

[0050] 图7为图1所示的高温烟气发生器的各排掺混孔的方位角示意图;

[0051] 图8为本发明的高温烟气发生器的控制方法的流程图。

[0052] 符号说明

[0053] 10-高温烟气发生器,11-燃烧室外壁,12-燃烧室火焰筒,13-燃烧室头部挡板;

[0054] 21-值班燃料导管,22-径向空气旋流器,23-值班旋流喷嘴;

[0055] 31-预混射流喷嘴,32-预混燃料分配环腔;

[0056] 41-空气流量分配调节阀;

[0057]  $\theta_1$ -径向空气旋流器的旋流角;

[0058]  $\theta_2$ -值班燃料导管出口孔与导管轴线的夹角;

[0059] H-锥罩高度;L-首排掺混孔距燃烧室头部挡板距离;

[0060]  $R_1$ -燃烧室火焰筒半径; $R_2$ -预混喷嘴半径; $R_3$ -值班旋流喷嘴半径;

[0061]  $R_4$ -锥罩顶部出口喷嘴半径; $R_5$ -预混喷嘴所围圆周半径;

[0062]  $R_6$ -燃烧室火焰筒第一排掺混孔半径;

[0063]  $R_7$ -燃烧室火焰筒第二排掺混孔半径;

- [0064]  $R_8$ -燃烧室火焰筒第三排掺混孔半径；  
[0065]  $R_9$ -空气流量分配调节阀的通孔半径；  
[0066]  $L_1$ -第一、二排掺混孔间距； $L_2$ -第二、三排掺混孔间距

### 具体实施方式

[0067] 本发明提供了一种高温烟气发生器及其控制方法，通过在燃烧室头部布置值班喷嘴组件和预混喷嘴组件，通过预混喷嘴组件向燃烧室内喷射高速预混可燃气体，利用射流预混气体的高速卷吸回流，在燃烧室内形成稳定的烟气回流区，使得预混气体在燃烧过程中与烟气发生较为强烈的掺混，从而降低了燃烧区的氧浓度，并进一步抑制了局部高温区的形成，从而实现超低的氮氧化物排放。同时通过设置空气流量分配调节阀，火焰筒下游配合空气流量分配调节阀的使用，方便了烟气发生器出口温度的调节，且有效避免了烟气出口温度较低条件下的燃烧不稳定的发生和燃烧效率的下降。该高温烟气发生器的燃烧室结构紧凑，可调节范围宽，适用于天然气、合成气以等各种气体燃料的燃烧。

[0068] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚明白，以下结合具体实施例，并参照附图，对本发明进一步详细说明。

[0069] 参见图1，本发明的高温烟气发生器10，包括：燃烧室结构组件、值班喷嘴组件、预混喷嘴组件及空气流量分配调节阀。其中，所述燃烧室结构组件包括：燃烧室外壁11、燃烧室火焰筒12及燃烧室头部挡板13。燃烧室火焰筒12固定于燃烧室外壁11内，燃烧室头部挡板13固定于燃烧室火焰筒12头部。燃烧室外壁11、燃烧室火焰筒12及燃烧室头部挡板13同轴布置，燃烧室外壁11和燃烧室火焰筒12之间形成一环形空气通道，所述环形空气通道的头部进口处设置一空气流量分配调节阀41。燃烧室火焰筒12出口通过管道等连接件与烟气发生器下游设备相连。

[0070] 更加具体地，燃烧室火焰筒12为圆筒形结构，燃烧室头部挡板13为圆形平板，燃烧室头部挡板13上设有若干用于布置预混喷嘴组件和值班喷嘴组件的安装孔。燃烧室火焰筒12、燃烧室头部挡板13均采用高温合金材料制成；燃烧室外壁10也为圆筒形结构，采用碳钢材料制成。

[0071] 参见图1、2，所述值班喷嘴组件设置在所述燃烧室头部挡板13的中心，用于形成中心值班旋流扩散火焰，提高燃烧稳定性。具体地，值班喷嘴组件包括：一值班燃料导管21、一径向空气旋流器22和一值班旋流喷嘴23。其中，所述值班旋流喷嘴23整体为一轴向延伸的管状部件，所述管状部件固定设置在所述燃烧室头部挡板13的中心，其出口端与所述燃烧室火焰筒12的内部空间连通；值班燃料导管21的出口段同轴布置在值班旋流喷嘴23中，且其在轴向上延伸至所述燃烧室头部挡板13，所述值班燃料导管21的出口段与所述值班旋流喷嘴23之间的空间形成一环形值班空气通道，而径向空气旋流器22置于该环形值班空气通道的进口端。

[0072] 本发明的实例中，作为一种优选，值班旋流喷嘴23的管状部件的出口端设有一锥罩，用于稳定旋流火焰，所述锥罩完全位于所述燃烧室火焰筒12内，且所述锥罩的底部基本与所述燃烧室头部挡板13的内壁平齐，所述值班燃料导管21出口段的末端基本与所述锥罩底部处于同一平面。结合图3，锥罩高度 $H$ 满足： $R_3 \leq H \leq 3R_3$ ，其中， $R_3$ 为环形值班空气通道的半径。锥罩的出口半径 $R_4$ 满足： $2R_3 \leq R_4 \leq R_1/2$ 。值班空气经径向空气旋流器22进入该环形值

班空气通道并由锥罩出口旋流进入燃烧室火焰筒12内。

[0073] 如图6所示,值班燃料导管21出口段的末端形成为一锥形封闭端,所述锥形封闭端上均匀布置M个燃料孔,各燃料孔出口方向与值班燃料导管21的轴向方向呈一夹角 $\theta_2$ ,其中 $M \geq 4$ ,  $30^\circ \leq \theta_1 \leq 60^\circ$ 。

[0074] 如图5所示,径向空气旋流器22具有沿周向均匀分布的N个旋流槽通道,旋流槽通道的切向旋流角为 $\theta_1$ ,其中,切向旋流角 $\theta_1$ 满足: $30^\circ \leq \theta_1 \leq 60^\circ$ ,旋流通道个数满足: $N \geq 4$ ,且N个旋流槽通道的横截面积之和小于环形值班空气通道的横截面积。

[0075] 如图1、2所示,所述预混喷嘴组件以燃烧室轴线为中心沿周向均匀分布于所述燃烧室头部挡板13之上,用于向所述燃烧室火焰筒12高速射入预混可燃气,通过高速射流的卷吸作用在所述燃烧室火焰筒12内形成一烟气回流区,使得所述预混可燃气被回流的高温低氧的烟气掺混稀释而实现柔和燃烧。具体地,预混射流喷嘴组件包括:X个预混喷嘴31和一个燃料分配环腔32。其中,所述燃料分配环腔32同轴固定设置在所述燃烧室头部挡板13的外壁上,每一所述预混喷嘴31整体均为一轴向延伸且两端开口的管状部件。X个预混喷嘴31贯穿燃料分配环腔32,并分布于以燃烧室头部挡板13的中心为圆心的圆周上,该圆周的半径 $R_5$ 满足: $R_1/2 \leq R_5 \leq 5R_1/6$ , $R_1$ 为燃烧室火焰筒12的半径。预混喷嘴个数X满足 $X \geq 4$ 。且每一所述预混喷嘴31的进口端与外部空气连通、出口端伸入所述燃烧室火焰筒12内。

[0076] 预混喷嘴31轴线与燃烧室轴线平行,其壁面开有Y个周向分布的燃料孔,满足 $Y \geq 4$ 。预混喷嘴出口端伸入燃烧室火焰筒12内一定距离并与锥罩上端面持平。燃料分配环腔32固定于燃烧室头部挡板13之上,腔内燃料通过所述燃料孔垂直射流进入预混喷嘴31的掺混段,与来流空气充分预混后高速射流进入一级燃烧区并与回流烟气发生掺混后燃烧。

[0077] 如图1所示,燃烧室火焰筒12尾部布置有若干掺混孔,部分未参与燃烧的空气可经掺混孔直接进入燃烧室火焰筒12内与烟气发生掺混,配合空气流量分配调节阀41可实现对出口烟气温度的调节。优选地,为了防止掺混空气与烟气过早地发生掺混而导致火焰淬熄,进而导致一氧化碳浓度的升高,火焰筒12第一排掺混孔距燃烧室头部挡板13的轴向距离L应满足 $L \geq 3R_1$ ,其中 $R_1$ 为所述燃烧室火焰筒12的半径。

[0078] 如图7所示,燃烧室火焰筒12尾部的第一排掺混孔半径较大,个数较少,其半径 $R_6$ 满足 $R_2 \leq R_6 \leq 2R_2$ ,从而可以保证较大的射流深度,增强空气与烟气的掺混。而随着掺混孔向下游分布,掺混孔半径逐渐减小,数目逐渐增多,此时可以保证火焰筒壁面受到充分的冷却。第二排掺混孔的半径 $R_7$ 满足 $R_6/3 \leq R_7 \leq R_6/2$ ,第三排掺混孔半径 $R_7$ 满足 $R_7/3 \leq R_8 \leq R_7/2$ ,第一、二排掺混孔间距满足 $2R_6 \leq L_1 \leq 4R_6$ ,第二、三排掺混孔间距满足 $2R_6 \leq L_2 \leq 4R_6$ 。

[0079] 如图2所示,空气流量分配调节阀41由A、B两个环形孔板组成,其中,A板可转动,B板固定于燃烧室外壁11之上,A、B两环形孔板的开孔尺寸和分布完全相同。通过A板的转动可实现空气流量分配调节阀41通流面积的连续调节,从而实现对掺混孔空气量的调节。A、B两孔板上所开孔的半径 $R_9$ 满足: $R_2/2 \leq R_9 \leq 2R_2$ ,开孔个数P满足: $P \geq 6$ 。考虑到出口烟气温度的调节范围,A、B两板上所开孔的总面积应为燃烧室头部喷嘴总通流面积的2~3倍。

[0080] 在本发明的实例中,如图1所示,燃烧室火焰筒12外壁设置有肋片,用于增强外部空气与火焰筒壁面之间的换热,避免火焰筒壁面局部温度过高而缩短燃烧室火焰筒12的使用寿命。

[0081] 如图4所示,本发明的高温烟气发生器,为降低氮氧化物排放,值班喷嘴仅在点火

阶段工作。当燃烧室达到额定工况时,由于预混喷嘴高速射流的卷吸作用,在燃烧室中心位置形成了强烈的烟气回流区。射流出口的预混气与烟气发生掺混形成了高温低氧的混合物,降低了火焰燃烧强度,从而使反应区趋于弥散,抑制了局部高温区的形成,降低了氮氧化物的生成。同时火焰筒下游掺混孔配合空气流量分配调节阀的使用,方便了烟气发生器出口温度的调节,且有效避免了烟气出口温度较低条件下的燃烧不稳定的发生和燃烧效率的下降。该烟气发生器结构紧凑,可调节范围宽,针对天然气、煤制合成气等多种工业燃料气,可根据燃料气的点火延迟时间、火焰传播速度、燃料热值等燃料特性调整射流喷嘴尺寸及相对位置,使得该烟气发生器能够适应多种工业燃料气。

[0082] 本发明的实例中还提供了一种高温烟气发生器的控制方法,用于控制上述烟气发生器的运行,如图8所示,其包括:

[0083] 步骤A:点火时,首先开启值班和预混喷嘴的空气供应,并保持合适的空气流量分配调节阀开度以保证充足的火焰筒壁面冷却。随后开启值班燃料供应,使用点火器点燃中心值班燃料,并逐步增加值班燃料量以形成稳定的中心值班旋流火焰;

[0084] 具体地,在步骤A中,应保持空气流量分配调节阀开度为5%~20%。当开启空气供应时,空气分别进入值班旋流喷嘴23、射流喷嘴31以及尾部掺混孔,向值班燃料喷嘴供应的燃料量的范围为总燃料量的5%~15%。

[0085] 步骤B:供入预混燃料进一步提高燃烧室热负荷,当燃料总量达到预定值时,逐渐减少值班燃料量,相应增加预混燃料量,直至值班燃料量降低为零;

[0086] 具体地,在步骤B中,逐步向预混喷嘴31供入燃料,当供入的总燃料量达到预定负荷时,即燃烧室头部温度达到1200℃~1600℃范围时,逐步降低值班燃料喷嘴的燃料供应,同时相应地增加预混喷嘴燃料量以保持总负荷恒定,直至将值班燃料量降低为零。

[0087] 步骤C:根据下游设备需求,当需要降低烟气出口温度时,首先减少预混燃料流量,以达到所需烟气温度;

[0088] 具体地,在步骤C中,当需要在满负荷状态下降低燃烧室出口温度时,可直接减少预混燃料供应量,从而降低整体当量比,在不影响燃烧稳定性的前提下实现烟气温度在一定范围内的降低。

[0089] 步骤D:当预混燃料量降低到一定程度,会达到燃烧不稳定或一氧化碳排放量增加的临界条件,此时应增大空气流量分配调节阀开度,在空气总量不变的前提下减少头部空气流量,通过增加头部当量比而实现该烟气发生器在更低烟气出口温度下的稳定燃烧。

[0090] 具体地,在步骤D中,为避免在更低烟气出口温度条件下,单独降低预混燃料量所导致的燃烧不稳定和燃烧效率的下降,当燃烧室头部温度降低至1200℃时,为进一步降低出口烟气温度,需相应增加空气流量分配调节阀的开度,使得一部分空气通过火焰筒尾部掺混孔直接进入燃烧区下游,从而提高了燃烧室头部当量比,避免燃烧不稳定的发生和燃烧效率的下降。空气流量分配调节阀开度越大,可达到的整体当量比越低,从而为出口烟气温度提供了更大的降低空间。

[0091] 其中,预混燃料供应管路、值班燃料供应管路分别由调节阀控制,分别向预混燃料喷嘴和值班燃料喷嘴供应燃料,而空气流量需随烟气发生量的需求进行相应的调节。

[0092] 在该实施例中,设置预混射流喷嘴速度为80m/s~160m/s,预混燃料孔流速为100m/s~200m/s,值班旋流喷嘴环形通道出口速度60m/s~120m/s;经预混喷嘴高速射流的

预混气卷吸回流高温烟气并与之快速掺混,在燃烧室头部形成了温度 $1200^{\circ}\text{C}\sim 1600^{\circ}\text{C}$ 、氧浓度 $5\%\sim 10\%$ 的未燃混合物,实现了以高温、低氧为特征的柔和燃烧区。燃烧室火焰筒第一排掺混孔射流速度为 $40\text{m/s}\sim 80\text{m/s}$ ,使得掺混空气可射流至燃烧室中心区域,从而保证出口烟气的均匀分布。

[0093] 需要说明的是,在附图或说明书正文中,未绘示或描述的实现方式,均为所属技术领域普通技术人员所知的形式,并未进行详细说明。此外,上述对各元件的定义并不仅限于实施例中提到的各种具体结构、形状,本领域普通技术人员可对其进行简单地更改或替换,例如:

[0094] (1) 值班旋流喷嘴还可以采用其他构造,只要能够完成相同的功能即可;

[0095] (2) 本文可提供包含特定值的参数的示范,但这些参数无需确切等于相应的值,而是可在可接受的误差容限或设计约束内近似于相应值;

[0096] (3) 实施例中提到的方向用语,例如“上”、“下”、“前”、“后”、“左”、“右”等,仅是参考附图的方向,并非用来限制本发明的保护范围;

[0097] (4) 上述实施例可基于设计及可靠度的考虑,彼此混合搭配使用或与其他实施例混合搭配使用,即不同实施例中的技术特征可以自由组合形成更多的实施例。

[0098] 综上所述,本发明提供的高温烟气发生器及其控制方法,值班喷嘴仅在点火阶段工作,用于为燃烧室在低负荷条件下提供稳定的点火源。当燃烧室达到额定工况时,由于预混喷嘴高速射流的卷吸作用,在燃烧室中心位置形成了强烈的烟气回流区。射流出口的预混气与烟气发生掺混形成了高温低氧的混合物,降低了反应区的燃烧强度,从而使反应区趋于弥散,抑制了局部高温区的形成,降低了氮氧化物的生成。同时火焰筒下游掺混孔配合空气流量分配调节阀的使用,方便了烟气发生器出口温度的调节,且有效避免了烟气出口温度较低条件下的燃烧不稳定的发生和燃烧效率的下降。该烟气发生器结构紧凑,可调节范围宽,针对天然气、煤制合成气等多种工业燃料气,可根据燃料气的点火延迟时间、火焰传播速度、燃料热值等燃料特性调整射流喷嘴尺寸及相对位置,使得该烟气发生器能够适应多种工业燃料气。

[0099] 以上所述的具体实施例,对本发明的目的、技术方案和有益效果进行了进一步详细说明,所应理解的是,以上所述仅为本发明的具体实施例而已,并不用于限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内,所做的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

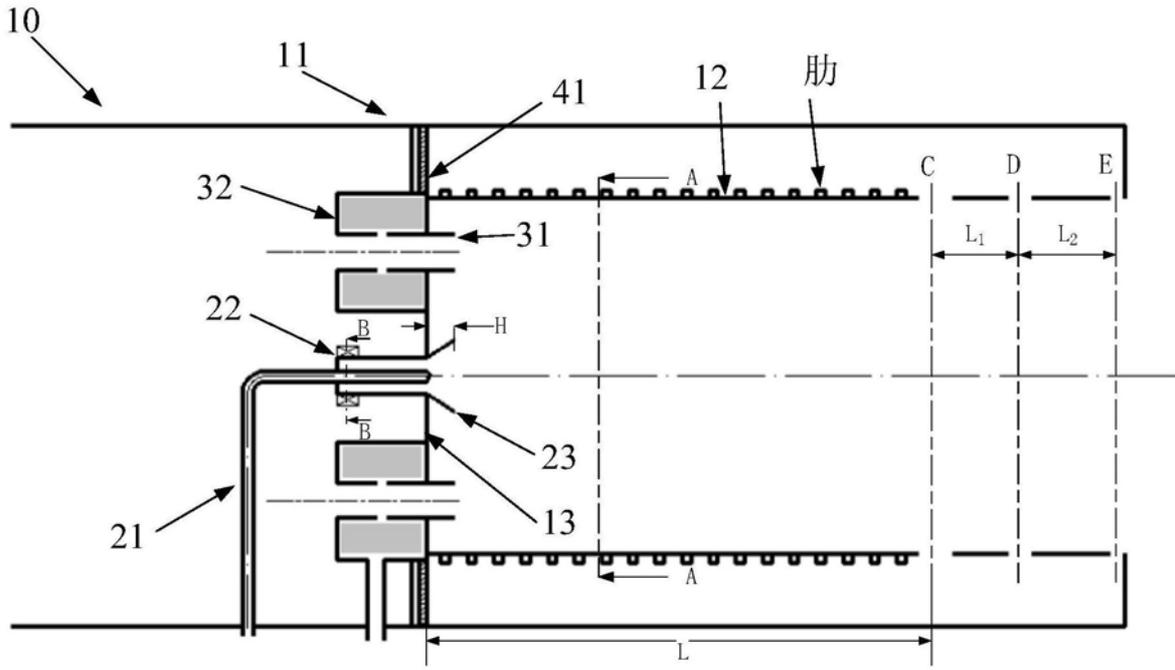


图1

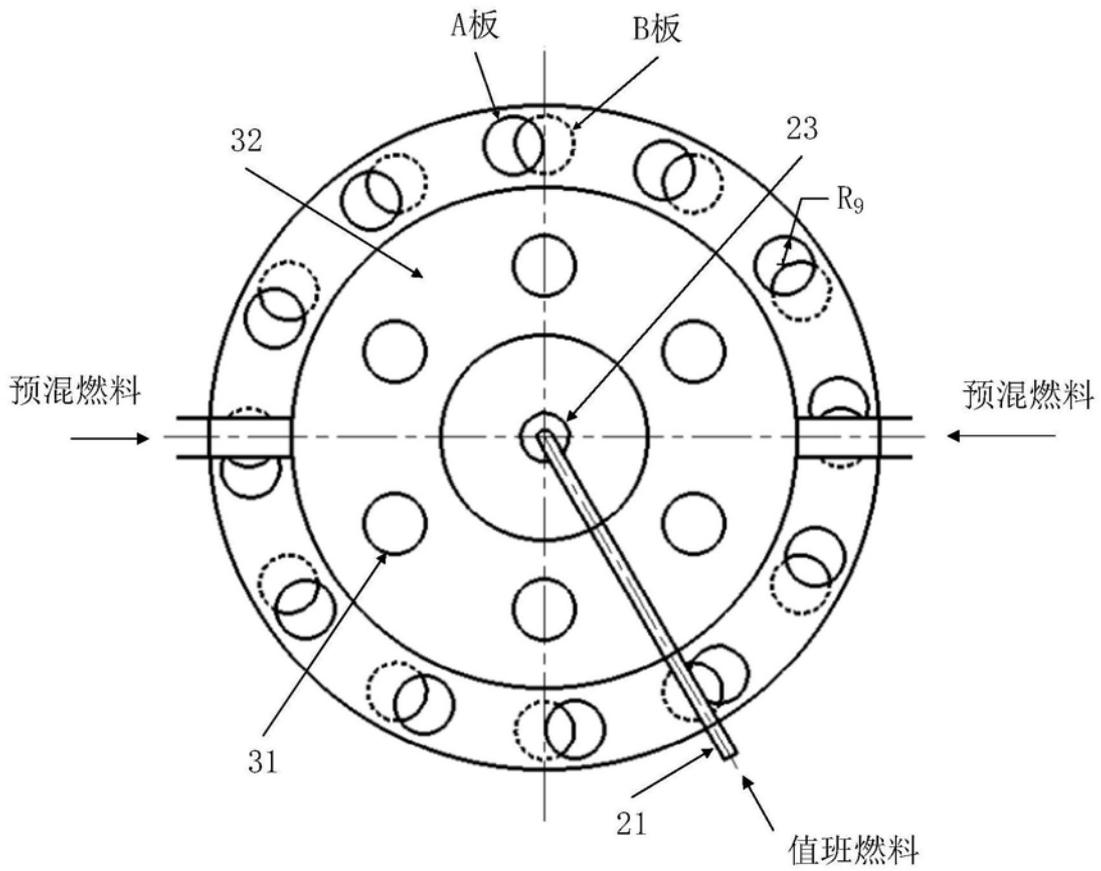


图2

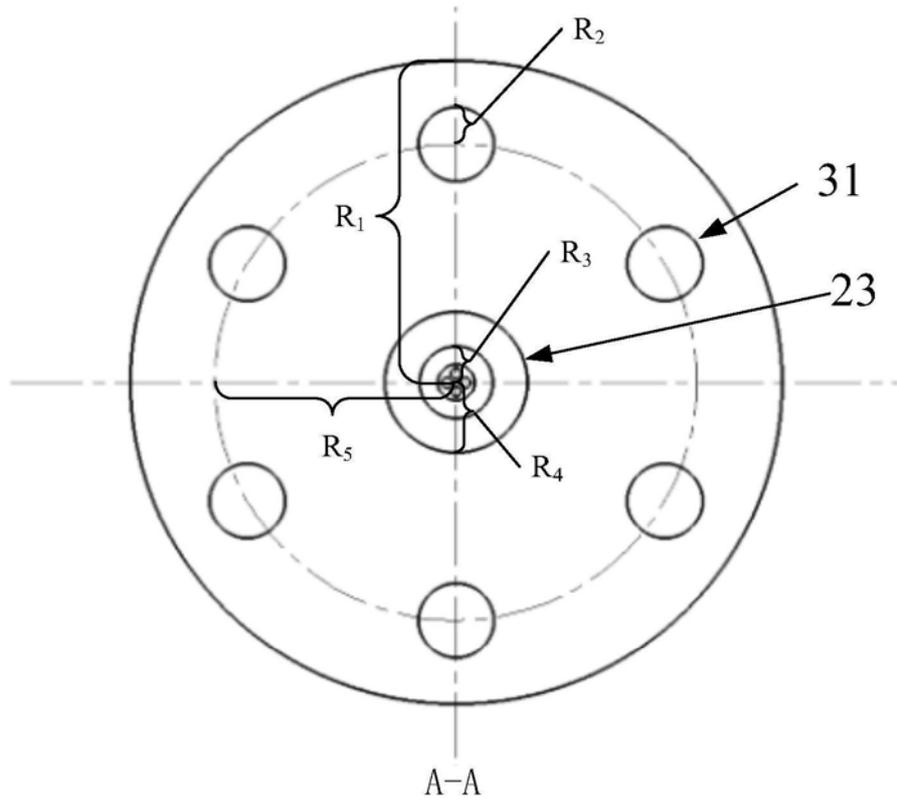


图3

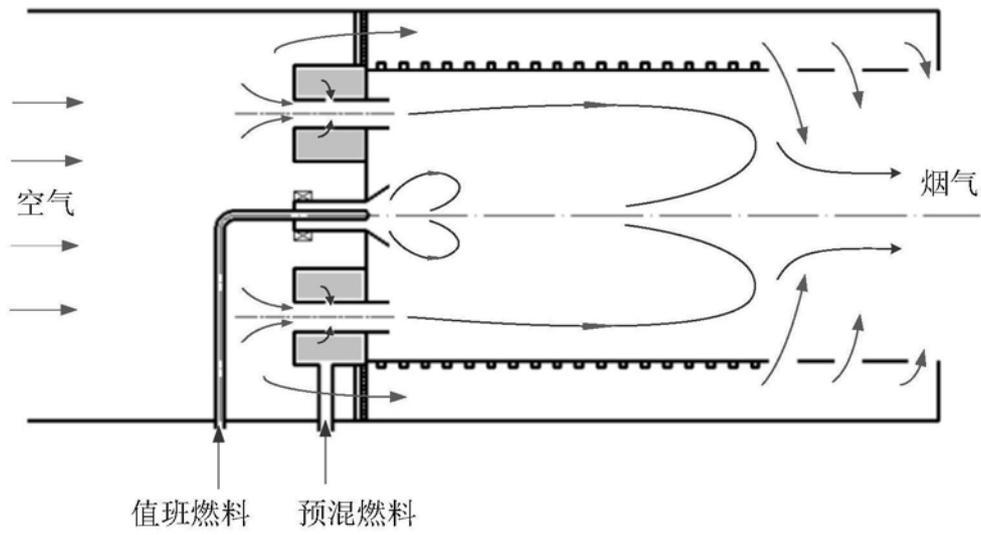


图4

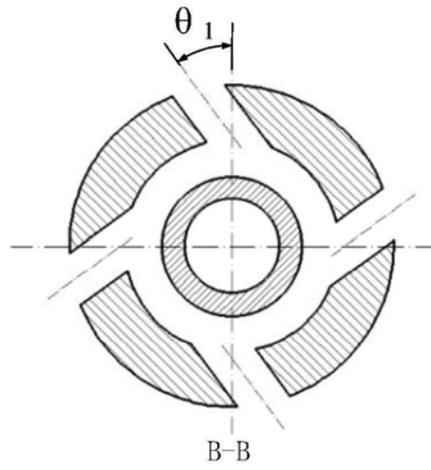


图5

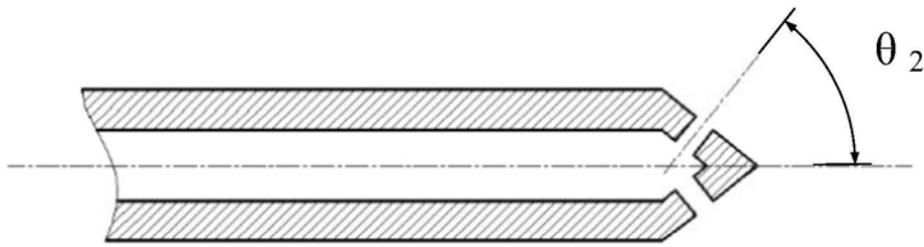


图6

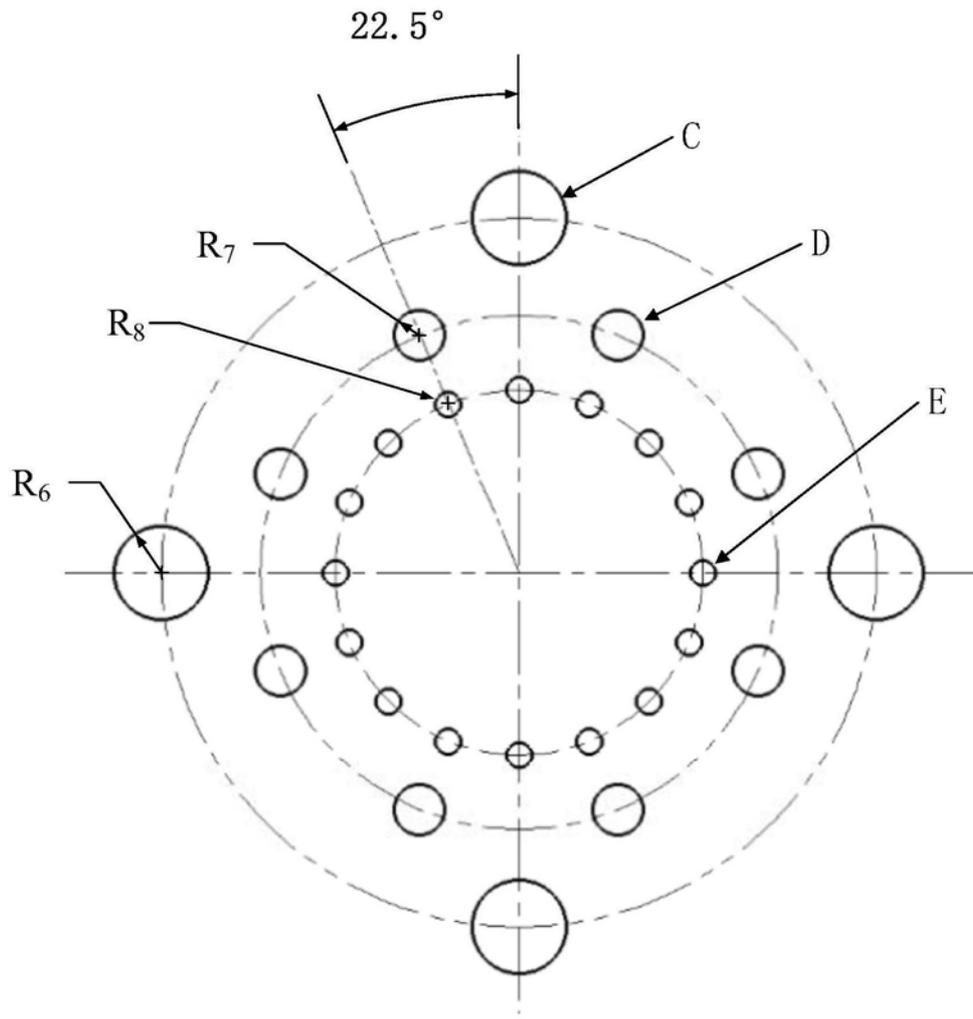


图7

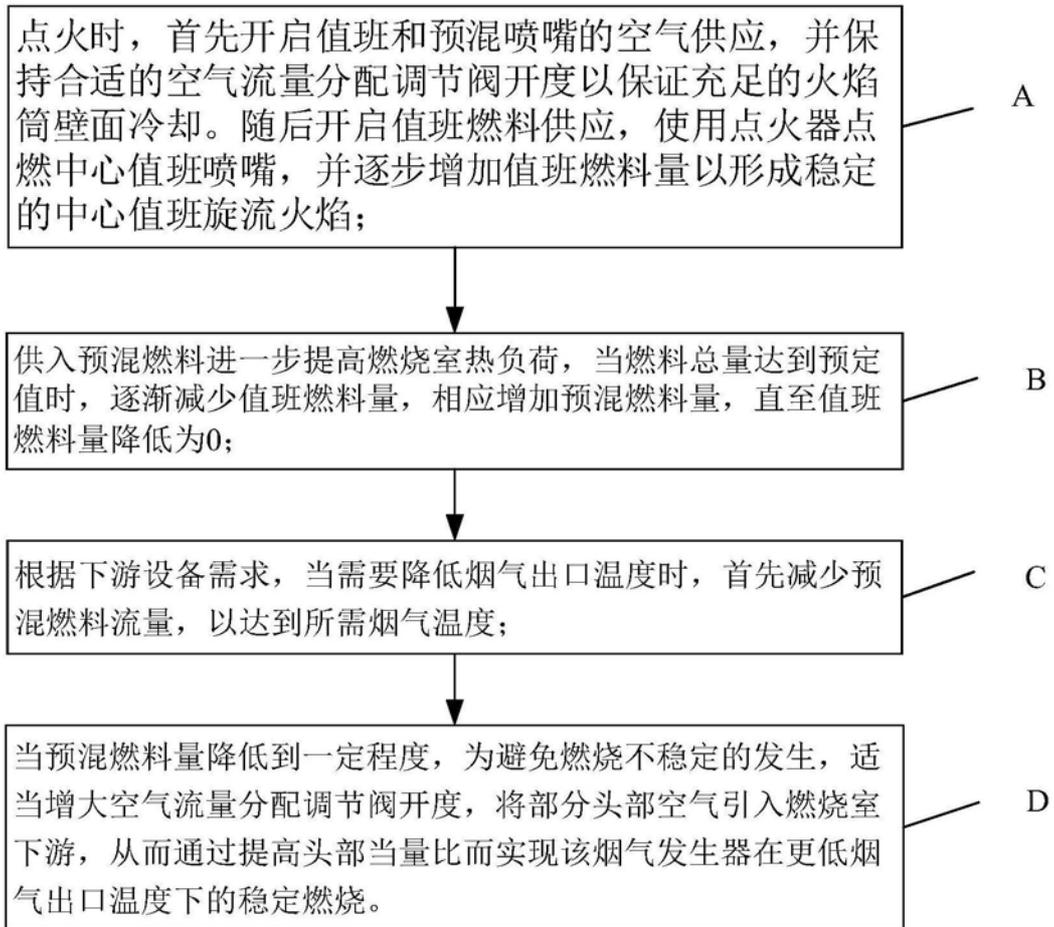


图8