(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 118843661 A
(43)申请公布日 2024.10.25

(21)申请号 202380026203.5
(22)申请日 2023.03.14
(30)优先权数据
22162325.9 2022.03.15 EP
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2024.09.09
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/EP2023/056507 2023.03.14
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2023/174949 EN 2023.09.21
(71)申请人 欧励隆工程炭知识产权有限两合公司
地址 德国蒙海姆
(72)发明人 阿恩特-彼得·申克尔
埃迪·蒂莫曼斯
雅德·亚比·哈达 大卫·德特斯
(74)专利代理机构 北京路浩知识产权代理有限公司 11002
专利代理师 张晶 瞿卫军
(51)Int.Cl.
C09C 1/48(2006.01)
C01B 32/00(2006.01)
C01B 32/05(2006.01)

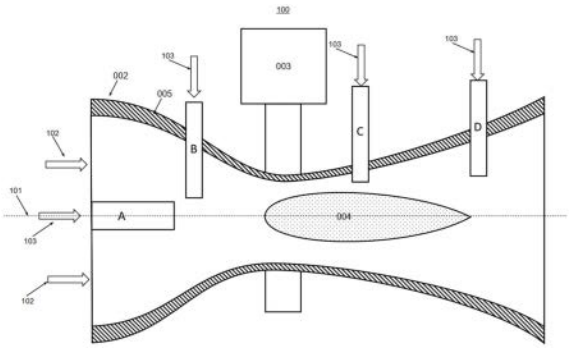
权利要求书5页 说明书45页 附图9页

(54)发明名称

等离子体辅助生产炭黑

(57)摘要

本发明涉及等离子体辅助生产炭黑。特别是,本发明涉及一种方法和一种反应器,其中炭黑原料可在炭黑反应器中的多个位置注入,以避免等离子区出现液滴。



CN 118843661 A

1.一种生产炭黑的方法,其包括

(a)将等离子气体注入炭黑反应器,

(b)使所述等离子气体经历等离子区,以获得包含炭黑的产物混合物,

(c)对所述产物混合物进行淬火,

(d)从所述产物混合物中分离出炭黑,

其中(i)所述等离子气体包括炭黑原料或由炭黑原料组成,(ii)将所述炭黑原料注入所述等离子区上游的等离子气体中,(iii)将所述炭黑原料注入所述等离子区中,但优选在产生等离子体的区域之后,和/或(iv)将所述炭黑原料注入所述等离子区下游的等离子气体中。

2.根据权利要求1所述的方法,其中响应于通过微波能进行的所述等离子气体的激发而产生等离子体,响应于通过电弧进行的所述等离子气体的激发而产生等离子体,响应于通过电晕放电进行的所述等离子气体的激发而产生等离子体,响应于通过电介质阻挡放电(DBD)进行的所述等离子气体的激发而产生等离子体,和/或响应于通过射频能量进行的所述等离子气体的激发而产生等离子体,优选地,响应于通过微波能进行的所述等离子气体的激发而产生等离子体。

3.根据权利要求1或2中任一项所述的方法,其中所述等离子气体在使气体经历所述等离子区之前被预热,优选地,所述等离子气体被预热到100-1600℃,例如300-1400℃、400-1200℃、500-1000℃、600-1500℃、100-300℃、200-400℃、300-500℃、400-600℃、1000-1500℃、或700-900℃。

4.根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中所述等离子气体包括氢气和/或H_2O,或所述等离子气体为氢气和/或H_2O;和/或所述等离子气体包括炭黑原料,或所述等离子气体为炭黑原料。

5.根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中所述等离子气体和所述炭黑原料在使气体经历等离子区之前以使得所述炭黑原料不会在所述炭黑反应器中形成液滴的摩尔比混合。

6.根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中所述包含炭黑原料的等离子气体在使气体经历等离子区之前,

(i)对于最终标准沸点为270-300K的炭黑原料且气体混合物温度为250-290K的情况,包含1-20摩尔%的具有低于气体温度的临界温度的物质,

(ii)对于最终标准沸点为大于300K至350K的炭黑原料且气体混合物温度为270-290K的情况,包含30-95摩尔%的具有低于气体温度的临界温度的物质,

(iii)对于最终标准沸点为大于350K至400K的炭黑原料且气体混合物温度为340-360K的情况,包含50-80摩尔%的具有低于气体温度的临界温度的物质,

(iv)对于最终标准沸点为大于400K至450K的炭黑原料且气体混合物温度为390℃至420K的情况,包含50-75摩尔%的具有低于气体温度的临界温度的物质,

(v)对于最终标准沸点为大于450K至500K的炭黑原料且气体混合物温度为440-460K的情况,包含40-65摩尔%的具有低于气体温度的临界温度的物质,

(vi)对于最终标准沸点为大于500K至550K的炭黑原料且气体混合物温度为490-520K的情况,包含20-65摩尔%的具有低于气体温度的临界温度的物质,

(vii)对于最终标准沸点为大于550K至610K的炭黑原料且气体混合物温度为540-570K的情况,包含20-55摩尔%的具有低于气体温度的临界温度的物质,或

(viii)对于最终标准沸点为大于610K至670K的炭黑原料且气体混合物温度为590-630K的情况,包含30-65摩尔%的具有低于气体温度的临界温度的物质,

其中所述物质优选包括等离子气体,例如氢气或炭黑原料。

7.根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中所述等离子气体和所述炭黑原料在使气体经历所述等离子区之前被混合,其中基于包括所述炭黑原料的所述等离子气体的摩尔总量,所述等离子气体的摩尔百分比、具有低于气体温度的临界温度的等离子气体的摩尔百分比、和/或具有低于气体温度的临界温度的所述物质的摩尔百分比(优选具有低于气体温度的临界温度的等离子气体的摩尔百分比)大于$x_{dilutant}$,其中根据式(V)、式(IX)和/或式(XVII)计算$x_{dilutant}$,

$$x_{dilutant} = max\left(1 - \frac{P_0\, exp\left(-\frac{\Delta_{vap}H_m}{RT}+\frac{\Delta_{vap}H_m}{RT_b}\right)}{P}, 0\right) \quad 100 \qquad 式(V)$$

其中$x_{dilutant}$为稀释度,P[Pa]为所述等离子气体混合物的压力,P_0[Pa]为大气压力,设为101325Pa,$\Delta_{vap}H_m$[J/mol]为所述炭黑原料的标准摩尔蒸发焓(例如,根据式(I)计算),R[J/mol/K]为通用气体常数,即8.314463J/mol/K,T[K]为系统温度或所述等离子气体混合物的温度,T_b[K]为所述炭黑原料的标准(大气压P_0=101325Pa时)沸点温度,

$$x_{dilutant} = max\left(1 - \frac{1}{P\sum_{i=1}^{N}\frac{x_i^{vapour}}{100\,P_i^S}}, 0\right) \quad 100 \qquad 式(IX)$$

其中$x_{dilutant}$为稀释度,P[Pa]为所述等离子气体混合物的压力,i为所述炭黑原料中相应的化合物,$\sum_{i=1}^{N}$为从i等于1到N的总和,i为所述炭黑原料中化合物的化合物指数,x_i^{vapour}为所述炭黑原料中相应化合物的摩尔百分比,P_i^S [Pa]为所述炭黑原料中相应的化合物i在所述等离子气体温度T[K]时的蒸气压,根据式(X)计算P_i^S,

$$P_i^S = P_0 exp\left(-\frac{\Delta_{vap}H_{m,i}}{RT}+\frac{\Delta_{vap}H_{m,i}}{RT_{b,i}}\right) \qquad 式(X)$$

P_0[Pa]为大气压力,设为101325Pa,$\Delta_{vap}H_{mi}$[J/mol]为所述炭黑原料中相应的化合物的标准摩尔蒸发焓(例如根据式(I)计算),R[J/mol/K]为通用气体常数,即8.314463J/mol/K,T[K]为系统温度或所述等离子气体混合物的温度,$T_{b,i}$[K]为所述炭黑原料中相应的化合物的标准(大气压P_0=101325Pa时)沸点温度,

$$x_{dilutant} = max\left(1 - \frac{1}{P\sum_{i=1}^{10}\frac{x_{pseudo,i}^{vapour}}{100\,P_{pseudo,i}^S}}, 0\right) \quad 100 \qquad 式(XVII)$$

其中$x_{filitant}$为稀释度,P[Pa]为所述等离子气体混合物的压力,i为所述炭黑原料的相

应的样品，$\sum_{i=1}^{10}$为从i等于1到N的总和，i为所述炭黑原料的样品的化合物指数，$x_{pseudo,i}^{vapour}$为所述炭黑原料的相应的样品的摩尔百分比，$P_{pseudo,i}^{s}$ [Pa]为所述炭黑原料的相应的样品i在所述等离子气体温度T[K]下的蒸气压，根据式(XVIII)计算$P_{pseudo,i}^{s}$，

$$P_{pseudo,i}^{s} = P_0 exp\left(-\frac{\Delta_{vap}H_{m,i}}{RT}+\frac{\Delta_{vap}H_{m,i}}{RT_{b,i}}\right) \qquad 式(XVIII)$$

P_0[Pa]为大气压力，设为101325Pa，$\Delta_{vap}H_{m,i}$[J/mol]为所述炭黑原料的相应的样品的标准摩尔蒸发焓(例如根据式(XIII)计算)，R[J/mol/K]为通用气体常数，即8.314463J/mol/K，T[K]为系统温度或所述等离子气体混合物的温度，$T_{b,i}$[K]为所述炭黑原料的相应的样品的标准(大气压P_0＝101325Pa时)沸点温度，

优选地，所述等离子气体的摩尔百分比在大于$x_{dilutant}$至($x_{dilutant}$+20摩尔%)之间，更优选地，所述等离子气体的摩尔百分比在($x_{dilutant}$+1摩尔%)至($x_{dilutant}$+15摩尔%)之间，还更优选地，所述等离子气体的摩尔百分比在($x_{dilutant}$+3摩尔%)至($x_{dilutant}$+12摩尔%)之间，最优选地，所述等离子气体的摩尔百分比在($x_{dilutant}$+5摩尔%)至($x_{diluyany}$+10摩尔%)之间。

8.根据前述权利要求中任一项所述的方法，其中反应室设计为拉瓦尔喷嘴，其中在所述拉瓦尔喷嘴的狭窄部分产生等离子体，和/或其中所述等离子气体在使气体经过所述等离子区之前被涡旋化，优选地，所述等离子气体的涡旋数为0.2-1.2，优选为0.3-0.8，更优选为0.5-0.7，还更优选为0.55-0.65。

9.一种用于生产炭黑的反应器，所述反应器具有沿所述反应器的中心纵轴的流动通道，所述反应器包括

(A)反应室，

(B)用于提供炭黑原料的注入装置，以及

(C)在所述反应室中产生等离子体从而形成等离子区的装置，

其中，(i)所述用于提供炭黑原料的注入装置位于所述等离子区的上游，(ii)所述用于提供炭黑原料的注入装置位于所述等离子区，但优选位于产生等离子体的区域之后，和/或(iii)所述用于提供炭黑原料的注入装置位于所述等离子区的下游，优选位于所述等离子区的紧邻的后方。

10.根据权利要求9所述的反应器，其中所述反应室设计为拉瓦尔喷嘴，包括产生等离子体的狭窄部分，和/或其中所述产生等离子体的装置为电弧等离子体发生器、微波等离子体发生器、射频(RF)等离子体发生器、电晕放电等离子体发生器或介质阻挡放电(DBD)等离子体发生器，优选为微波等离子体发生器。

11.根据权利要求9-10中任一项所述的反应器，其中所述反应室的内衬包括氧化铝，优选地，在所述等离子区的区域中的所述反应室的内衬包括氧化铝，优选90-100重量%的氧化铝，更优选95-100重量%的氧化铝，最优选98-100重量%的氧化铝。

12.根据权利要求9-11中任一项所述的反应器，其中所述反应器还包括能使所述等离子气体旋转的涡旋元件，其中所述涡旋元件连接在所述反应室的上游。

13.根据权利要求1-8中任一项并优选使用根据权利要求9至12中任一项所述的反应器

生产的炭黑。

14.最低摩尔百分比的等离子气体、具有低于气体温度的临界温度的等离子气体、和/或具有低于气体温度的临界温度的物质在用于生产炭黑,以防止在反应器中形成液滴中的用途,其中所述等离子气体和所述炭黑原料在使气体经历所述等离子区之前混合,其中基于包括所述炭黑原料的所述等离子气体的总摩尔量,所述最低摩尔百分比大于$x_{dilutant}$,其中根据式(V)、式(IX)和/或式(XVII)计算$x_{dilutant}$,

$$x_{dilutant} = max\left(1 - \frac{P_0\, exp\left(-\frac{\Delta_{vap}H_m}{RT}+\frac{\Delta_{vap}H_m}{RT_b}\right)}{P}, 0\right) \quad 100 \qquad 式(V)$$

其中$x_{dilutant}$为稀释度,P[Pa]为所述等离子气体混合物的压力,P_0[Pa]为大气压力,设为101325Pa,$\Delta_{vap}H_m$[J/mol]为所述炭黑原料的标准摩尔蒸发焓(例如,根据式(I)计算),R[J/mol/K]为通用气体常数,即8.314463J/mol/K,T[K]为系统温度或所述等离子气体混合物的温度,T_v[K]为所述炭黑原料的标准(大气压P_0=101325Pa时)沸点温度,

$$x_{dilutant} = max\left(1 - \frac{1}{P\sum_{i=1}^{N}\frac{x_i^{vapour}}{100\,P_i^S}}, 0\right) \quad 100 \qquad 式(IX)$$

其中$x_{dilutant}$为稀释度,P[Pa]为所述等离子气体混合物的压力,i为所述炭黑原料中相应的化合物,$\sum_{i=1}^{N}$为从i等于1到N的总和,i为所述炭黑原料中化合物的化合物指数,x_i^{vapour}为所述炭黑原料中相应的化合物的摩尔百分比,P_i^S [Pa]为所述炭黑原料中相应的化合物i在所述等离子气体温度T[K]时的蒸气压,根据式(X)计算P_i^S,

$$P_i^S = P_0 exp\left(-\frac{\Delta_{vap}H_{m,i}}{RT}+\frac{\Delta_{vap}H_{m,i}}{RT_{b,i}}\right) \qquad 式(X)$$

P_0[Pa]为大气压力,设为101325Pa,$\Delta_{vap}H_{mi}$[J/mol]为所述炭黑原料中相应的化合物的标准摩尔蒸发焓(例如根据式(I)计算),R[J/mol/K]为通用气体常数,即8.314463J/mol/K,T[K]为系统温度或所述等离子气体混合物的温度,$T_{b,i}$[K]为所述炭黑原料中相应的化合物的标准(大气压P_0=101325Pa时)沸点温度,

$$x_{dilutant} = max\left(1 - \frac{1}{P\sum_{i=1}^{10}\frac{x_{pseudo,i}^{vapour}}{100\,P_{pseudo,i}^S}}, 0\right) \quad 100 \qquad 式(XVII)$$

其中$x_{dilutant}$为稀释度,P[Pa]为所述等离子气体混合物的压力,i为所述炭黑原料的相应的样品,$\sum_{i=1}^{10}$为从i等于1到N的总和,i为所述炭黑原料的样品的化合物指数,$x_{pseudo,i}^{vapour}$为所述炭黑原料的相应的样品的摩尔百分比,$P_{pseudo,i}^S$ [Pa]为所述炭黑原料的相应的样品i在所述等离子气体温度T[K]下的蒸气压,根据式(XVIII)计算$P_{pseudo,i}^S$,

$$P_{pseudo,i}^S = P_0 exp\left(-\frac{\Delta_{vap}H_{m,i}}{RT}+\frac{\Delta_{vap}H_{m,i}}{RT_{b,i}}\right) \qquad 式(XVIII)$$

P_0[Pa]为大气压力,设为101325Pa,$\Delta_{vap}H_{m,i}$[J/mol]为所述炭黑原料的相应的样品的标准摩尔蒸发焓(例如根据式(XIII)计算),R[J/mol/K]为通用气体常数,即8.314463J/mol/K,T[K]为系统温度或所述等离子气体混合物的温度,$T_{b,i}$[K]为所述炭黑原料的相应的样品的标准(大气压P_0=101325Pa时)沸点温度,

优选地,所述等离子气体的摩尔百分比在大于$x_{dilutant}$至($x_{dilutant}$+20摩尔%)之间,更优选地,所述等离子气体的摩尔百分比在($x_{dilutant}$+1摩尔%)至($x_{dilutant}$+15摩尔%)之间,还更优选地,所述等离子气体的摩尔百分比在($x_{dilutant}$+3摩尔%)至($x_{dilutant}$+12摩尔%)之间,最优选地,所述等离子气体的摩尔百分比在($x_{dilutant}$+5摩尔%)至($x_{dilutant}$+10摩尔%)之间。

15.至少两个用于炭黑原料的注入装置在用于生产炭黑的反应器中防止在中形成液滴的用途,所述反应器具有沿所述反应器中心纵轴的流动通道,其中所述反应器包括:(A)反应室,(B)用于提供炭黑原料的注入装置,和(C)在所述反应室中产生等离子体从而形成等离子区的装置,其中,(i)所述用于提供炭黑原料的注入装置位于所述等离子区的上游,(ii)所述用于提供炭黑原料的注入装置位于所述等离子区,但优选位于产生等离子体的区域之后,和/或(iii)所述用于提供炭黑原料的注入装置位于所述等离子区的下游,优选位于所述等离子区的紧邻的后方。

等离子体辅助生产炭黑

技术领域

[0001] 本发明涉及等离子体辅助生产炭黑。特别是,本发明涉及一种方法和一种反应器,其中炭黑原料可以在炭黑反应器中的多个位置注入,以避免等离子区出现液滴。

背景技术

[0002] 炭黑有多种用途,例如用于橡胶和轮胎工业的补强剂或填充剂。此外,炭黑在其他领域也有越来越多的应用,例如复印机的着色剂和复印墨粉。炭黑的各种应用要求炭黑具有不同的特性,例如粒度、结构、产量、表面积和染色性。

[0003] 通常情况下,炭黑生产会产生大量的作为副产品的CO_2。挑战在于如何建立适当的炭黑工艺,持续生产出炭黑,同时大幅减少CO_2排放。设置仅使用电能源的工艺可以仅使用绿色电力来解决这个问题。

[0004] 此外,由于等离子区中存在液滴,可用的原料往往有限。由于在等离子区中,液滴有助于在壁上的沉积,导致温度超过内衬的熔点,因此等离子区中的液滴会损坏反应室的内衬。

[0005] 因此,本发明的目的是提供一种用于生产炭黑的反应器和方法,以克服上述缺点。

发明内容

[0006] 本发明的目的可以通过一种生产炭黑的方法来实现,该方法包括(a)将等离子气体注入炭黑反应器,(b)使等离子气体经历(subjecting)等离子区,以获得包含炭黑的产物混合物,(c)对产物混合物进行淬火(quenching),(d)从产物混合物中分离出炭黑,其中(i)等离子气体包括炭黑原料或由炭黑原料组成、(ii)将炭黑原料注入等离子区上游的等离子气体中,(iii)将炭黑原料注入等离子区中,但优选在产生等离子体的区域之后,和/或(iv)将炭黑原料注入等离子区下游的等离子气体中。

[0007] 此外,还提供了一种用于生产炭黑的反应器,该反应器具有沿反应器的中心纵轴的流动通道,该反应器包括:(A)反应室,(B)用于提供炭黑原料的注入装置,以及(C)在反应室中产生等离子体从而形成等离子区的装置,其中(i)用于提供炭黑原料的注入装置位于等离子区的上游,(ii)用于提供炭黑原料的注入装置位于等离子区,但优选位于产生等离子体的区域之后,和/或(iii)用于提供炭黑原料的注入装置位于等离子区的下游,优选位于等离子区的紧邻的后方。

[0008] 此外,提供了优选使用根据本发明的反应器并根据本发明的方法生产的炭黑。

[0009] 本发明还涉及使用最低摩尔百分比的等离子气体、具有低于气体温度的临界温度的等离子气体、和/或具有低于气体温度的临界温度的物质(优选具有低于气体温度的临界温度的等离子气体)用于生产炭黑,以防止在反应器中形成液滴(或在反应器中凝结)的用途,其中等离子气体和炭黑原料在使气体经历等离子区之前混合,其中基于包括炭黑原料的等离子气体的总摩尔量,最低摩尔百分比大于$x_{dilutant}$,其中根据式(V)、式(IX)和/或式(XVII)计算$x_{dilutant}$,

[0010] $$x_{dilutant} = max\left(1 - \frac{P_0\, exp\left(-\frac{\Delta_{vap}H_m}{RT} + \frac{\Delta_{vap}H_m}{RT_b}\right)}{P}, 0\right) \quad 100 \qquad 式(V)$$

[0011] 其中$x_{dilutant}$为稀释度(dilution),P[Pa]为等离子气体混合物的压力,P_0[Pa]为大气压力,设为101325Pa,$\Delta_{vap}H_m$[J/mol]为炭黑原料的标准摩尔蒸发焓(例如,根据式(I)计算),R[J/mol/K]为通用气体常数,即8.314463J/mol/K,T[K]为系统温度或等离子气体混合物的温度,T_b[K]为炭黑原料的标准(大气压P_0=101325Pa时)沸点温度,

[0012] $$x_{dilutant} = max\left(1 - \frac{1}{P\sum_{i=1}^{N}\frac{x_i^{vapour}}{100\,P_i^S}}, 0\right) \quad 100 \qquad 式(IX)$$

[0013] 其中$x_{dilutant}$为稀释度,P[Pa]为等离子气体混合物的压力,i为炭黑原料中相应的化合物,$\sum_{i=1}^{N}$为从i等于1到N的总和,i为炭黑原料中化合物的化合物指数,x_i^{vapour}为炭黑原料中相应的化合物的摩尔百分比,P_i^S[Pa]为炭黑原料中相应的化合物i在等离子气体温度T[K]时的蒸气压,根据式(X)计算P_i^S,

[0014] $$P_i^S = P_0 exp\left(-\frac{\Delta_{vap}H_{m,i}}{RT} + \frac{\Delta_{vap}H_{m,i}}{RT_{b,i}}\right) \qquad 式(X)$$

[0015] P_0[Pa]为大气压力,设为101325Pa,$\Delta_{vap}H_{mi}$[J/mol]为炭黑原料中相应的化合物的标准摩尔蒸发焓(例如根据式(I)计算),R[J/mol/K]为通用气体常数,即8.314463J/mol/K,T[K]为系统温度或等离子气体混合物的温度,$T_{b,i}$[K]为炭黑原料中相应的化合物的标准(大气压P_0=101325Pa时)沸点温度,

[0016] $$x_{dilutant} = max\left(1 - \frac{1}{P\sum_{i=1}^{10}\frac{x_{pseudo,i}^{vapour}}{100\,P_{pseudo,i}^S}}, 0\right) \quad 100 \qquad 式(XVII)$$

[0017] 其中$x_{dilutant}$为稀释度,P[Pa]为等离子气体混合物的压力,i为炭黑原料的相应的样品,$\sum_{i=1}^{10}$为从i等于1到N的总和,i为炭黑原料的样品的化合物指数,$x_{pseudo,i}^{vapour}$为炭黑原料的相应的样品的摩尔百分比,$P_{pseudo,i}^S$[Pa]为炭黑原料的相应的样品i在等离子气体温度T[K]下的蒸气压,根据式(XVIII)计算$P_{pseudo,i}^S$,

[0018] $$P_{pseudo,i}^S = P_0 exp\left(-\frac{\Delta_{vap}H_{m,i}}{RT} + \frac{\Delta_{vap}H_{m,i}}{RT_{b,i}}\right) \qquad 式(XVIII)$$

[0019] P_0[Pa]为大气压力,设为101325Pa,$\Delta_{vap}H_{m,i}$[J/mol]为炭黑原料的相应的样品的标准摩尔蒸发焓(例如根据式(XIII)计算),R[J/mol/K]为通用气体常数,即8.314463J/mol/K,T[K]为系统温度或等离子气体混合物的温度,$T_{b,i}$[K]为炭黑原料的相应的样品的标准(大气压P_0=101325Pa时)沸点温度,

[0020] 优选地,等离子气体的摩尔百分比在大于$x_{dilutant}$至($x_{dilutant}$+20摩尔%)之间,更

优选地,等离子气体的摩尔百分比在($x_{dilutant}$+1摩尔%)至($x_{dilutant}$+15摩尔%)之间,还更优选地,等离子气体的摩尔百分比在($x_{dilutant}$+3摩尔%)至($x_{dilutant}$+12摩尔%)之间,最优选地,等离子气体的摩尔百分比在($x_{dilutant}$+5摩尔%)至($x_{dilutant}$+10摩尔%)之间。

[0021] 此外,本发明还涉及至少两个用于炭黑原料的注入装置在用于生产炭黑的反应器中防止在反应器中形成液滴(或在反应器中冷凝)的用途,该反应器具有沿反应器中心纵轴的流动通道,其中该反应器包括:(A)反应室,(B)用于提供炭黑原料的注入装置,和(C)在反应室中产生等离子体从而形成等离子区的装置,其中,(i)用于提供炭黑原料的注入装置位于等离子区的上游,(ii)用于提供炭黑原料的注入装置位于等离子区,但优选位于产生等离子体的区域之后,和/或(iii)用于提供炭黑原料的注入装置位于等离子区的下游,优选位于等离子区的紧邻的后方。

附图说明

[0022] 图1:用于生产炭黑的反应器。

[0023] 图2:涡旋元件在x-z平面上的剖面图

[0024] 图3:涡旋元件在x-y平面上的剖面图

[0025] 图4:筒状导管的剖面图,所述筒状导管包括原料喷枪(lance)和连接到原料喷枪外表面的涡旋元件。

[0026] 图5:筒状导管的剖面图,所述筒状导管包括流入漏斗、原料喷枪和连接到原料喷枪外表面的涡旋元件。

[0027] 图6:筒状导管的剖面图,所述筒状导管包括原料喷枪和连接到筒状导管内表面的涡旋元件。

[0028] 图7:筒状导管的剖面图,所述筒状导管包括流入漏斗、原料喷枪和连接到筒状导管内表面的涡旋元件。

[0029] 图8:具有两个恒定斜度(pitch)的区域和平滑连接的涡旋元件的剖面图。

[0030] 图9:具有两个恒定斜度的区域和尖锐连接的涡旋元件的剖面图。

[0031] 图10:具有连续增大/减小的斜度的涡旋元件的剖面图。

[0032] 图11:包含三个具有不同排列方式的涡旋元件的原料喷枪的剖面图。

[0033] 图12:包含三个具有不同排列方式的涡旋元件的原料喷枪的剖面图。

[0034] 图13:具有一个连接到原料喷枪的外表面的叶片(vane)的涡旋元件的多视角投影图。

[0035] 图14:涡旋元件的剖面图,无原料喷枪。

具体实施方式

[0036] 如上所述,本发明涉及一种炭黑反应器和一种优选使用上述炭黑反应器生产炭黑的方法。本发明参照附图进行描述,但附图并不限制本发明的范围和范畴。

[0037] 必须注意的是,在说明书和所附权利要求书中使用的单数形式"一种"、"一个"和"该"包括复数指代,除非上下文有明确规定。因此,例如,"一种原料"包括两种或两种以上原料的混合物等。

[0038] “纵轴”是指沿物体长度(或经度)方向延伸的轴线。“横轴”是指沿物体宽度方向延

伸的轴线。“横截轴(transversal axis)”是指沿物体高度方向延伸的轴线。这些轴线相互垂直。因此,术语"反应器的中心纵轴"是指沿炭黑反应器长度方向延伸的操作轴。反应室和筒状导管沿着上述反应器的中心纵轴布置。筒状导管的纵轴和反应器的中心纵轴可以是同轴的。

[0039] 术语"涡旋"(swirl)是指沿特定方向(例如沿轴线)或在特定方向上旋转的气流。涡旋和旋转可以同义使用。因此,涡旋气流是沿轴线的定向旋转运动。根据本发明的涡旋气流沿着反应器的中央纵轴旋转。显然,气体的涡旋或旋转可以沿流动方向左旋或右旋。根据涡旋元件的设计,旋转可以调整。然而,希望涡旋元件和/或叶片的被设计为能使气流的旋转向左或向右,并沿流动方向传播。气体的旋转轴一般与反应器的中心纵轴或筒状导管的中心纵轴基本同轴或同轴。

[0040] 可以通过使气流经过能够使气流涡旋或旋转的涡旋元件来使气流涡旋。例如,涡旋元件提供了诱导气流的上述沿轴线定向旋转运动的方法。在本发明中,气体是等离子气体或原料。下文将详细介绍涡旋元件。

[0041] 除非另有说明,直径总是指物体的内径。例如,筒状导管的直径是指筒状导管的内径。

[0042] 本发明涉及一种生产炭黑的方法,包括(a)将等离子气体注入炭黑反应器,(b)使等离子气体经历等离子区(或等离子炬(plasma torch)),以获得包含炭黑的产物混合物,(c)对产物混合物进行淬火,(d)从产物混合物中分离出炭黑,其中(i)等离子气体包括炭黑原料或由炭黑原料组成,(ii)将炭黑原料注入等离子区上游的等离子气体中,(iii)将炭黑原料注入等离子区中,但优选在产生等离子体的区域之后,和/或(iv)将炭黑原料注入等离子区下游的等离子气体中。

[0043] 因此,可以在炭黑反应器的多个位置提供炭黑原料。重要的是要避免在反应室的等离子区中形成液滴。存在于等离子气体中的炭黑原料(原料或用于炭黑的原料)的量会影响等离子区中液滴的形成。因此,在产生等离子体的区域下游引入原料,例如在等离子区中或等离子区下游引入原料,可以减少等离子区上游存在的炭黑原料的量。产生等离子体的区域是指发生等离子气体的激发的区域。例如,微波辐射激发等离子气体的区域。

[0044] 产物混合物是指包括生产出的炭黑的混合物。此外,等离子气体和其他热解产物也可能存在。

[0045] 等离子区是反应室中存在等离子体或存在等离子炬的区域。等离子区也可被视为等离子柱、等离子炬、等离子火焰、等离子射流(plasma jet)或等离子体。等离子区的大小可根据需要选择。所述大小可根据例如气体流量(等离子气体流量)和等离子发生器的能量输入进行调整。一般来说,等离子区从激发等离子气体的位置开始,延伸到反应室或反应器的下游。因此,如果将炭黑原料注入等离子区,则尤其优选是在等离子体产生的区域之后或等离子气体激发的区域之后进行注入。

[0046] 原料可以在反应室的上述位置之一注入。然而,希望使用一个以上的位置引入原料。例如,在等离子区的上游引入第一炭黑原料,在产生等离子体的区域的下游,优选在激发等离子气体的区域之后引入第二炭黑原料。

[0047] 第一炭黑原料可以在使等离子气体经历等离子区之前注入等离子气体中,第二炭黑原料注入等离子区,但优选在产生等离子体的区域之后。

[0048] 第一炭黑原料可以在使等离子气体经历等离子区之前注入等离子气体中,其中第二炭黑原料直接在等离子区之后注入。

[0049] 第一炭黑原料和第二炭黑原料优选是相同的炭黑原料。但是,炭黑原料之间也可能存在差异。

[0050] 如果等离子气体在进入反应室之前被涡旋化,则优选在等离子区的下游,即等离子区的紧邻的后方引入原料。认为等离子气体的涡旋会改变等离子体的形态,导致等离子体中心出现回流,从而使注入等离子体紧邻的后方的炭黑原料被拖入(dragged)等离子体中。

[0051] 注入等离子区上游等离子气体的原料可以由与反应器的中心纵轴同轴的原料喷枪注入,或由垂直于反应器的中心纵轴布置的喷嘴注入。垂直于反应室的喷嘴可以周向布置。这种布置可用于诱导等离子气体(等离子气体混合物)的涡旋。

[0052] 产生等离子体的装置并不局限于特定的等离子体产生装置,因此可以使用任何合适的装置。等离子体可以是响应于通过微波能进行的等离子气体的激发而产生的,等离子体可以是响应于通过电弧进行的等离子气体的激发而产生的,等离子体可以是响应于通过电晕放电进行的等离子气体的激发而产生的,等离子体可以是响应于通过电介质阻挡放电(DBD)进行的等离子气体的激发而产生的,和/或等离子体可以是响应于通过射频能量进行的等离子气体的激发而产生的,优选等离子体可以是响应于通过微波能进行的等离子气体的激发而产生的。微波能的频率可以在500Mhz至100Ghz之间,优选在800Mhz至10Ghz之间,更优选为900Mhz至5Ghz,最优选为900Mhz至3Ghz。

[0053] 等离子气体在使气体经历等离子区(或反应室)之前可以进行预热,优选将等离子气体预热到100-1600℃之间的温度,例如300-1400℃、400-1200℃、500-1000℃、600-1500℃、100-300℃、200-400℃、300-500℃、400-600℃、1000-1500℃或700-900℃。预热应采用电气装置(electrical means)。应避免燃料燃烧,以降低二氧化碳排放量。同样,可将炭黑原料预热至100-600℃,例如150-500℃,或200-400℃。预热炭黑原料和/或等离子气体的能源应为电能,优选为可再生能源产生的电能。

[0054] 包含炭黑原料的等离子气体的温度可以为:(i)260-920K,优选为269-700K、(ii)290-340K、(iii)340-390K、(iv)390-440K、(v)440-490K、(vi)490-540K、(vii)540-590K、(viii)590-640K、(ix)640-690K、或(x)690-740K。

[0055] 等离子气体的温度非常重要,可以避免炭黑原料形成液滴。低温气体会对反应室中液滴的形成产生不利影响。

[0056] 等离子气体可以包括氢气(H_2)和/或水(H_2O),或者可以为氢气(H_2)和/或水(H_2O),和/或,其中等离子气体包括炭黑原料,或者为炭黑原料。因此,等离子气体可以为炭黑原料。等离子气体和炭黑原料应在使气体经历等离子区之前混合。等离子气体也可以包括N_2、CO_2和/或空气,或者为N_2、CO_2和/或空气。然而,氢气(H_2)和/或水(H_2O)是优选的等离子气体,其中氢气是最优选的等离子气体。特别希望等离子气体是一种具有低于气体温度的临界温度的物质。气体一般指存在于等离子区上游的等离子气体混合物。

[0057] 通过使炭黑原料经受(subjecting)等离子体而形成炭黑,即等离子体辅助的炭黑生产。炭黑形成后,对包含炭黑的产物混合物进行淬火。对产物混合物进行淬火可降低产物混合物的温度。此外,通过对产物混合物进行淬火还可以控制产品特性。可以使用冷却介

质,例如水、热交换器和/或淬火锅炉。

[0058] 为了防止等离子区内或等离子区之前出现液滴(或防止凝结),可能需要根据气体(等离子气体、等离子气体混合物)的温度,对具有低于气体温度的临界温度的物质进行最小稀释(minimum dilution)。如果使用高沸点或高临界温度的炭黑原料,这一点尤为重要。这样的炭黑原料容易在等离子区内或附近产生液滴(凝结物,或直接变成液相),从而损坏反应器、反应室和/或反应室的内衬。

[0059] 具有低于气体温度的临界温度的物质应在使气体经历等离子区之前存在于包括炭黑原料的等离子气体中,其摩尔比应使炭黑原料在炭黑反应器中不形成液滴(或不冷凝,或不处于液相)。

[0060] 具有低于气体温度的临界温度的物质不以液态存在,即在气体温度下没有蒸汽压。气体是指包括炭黑原料的等离子气体,尤其是存在于等离子区上游的等离子气体。物质的临界温度是指无论施加多大的压力,物质(或物料)的蒸汽都无法液化的温度。在低压下,物质处于气相,而在高压下,物质处于超临界流体相。物质或物质的临界温度公开在"Landolt-Börnstein,Zahlenwerte unDFunktionen,6.Aufl.Bd.2/1,Tabelle 21116,page 328Berlin-Heidelberg-New York:Springer 1971"或美国技术与标准研究所化学网络图书(NIST Chemistry WebBook)(https://webbook.nist.gov/chemistry/name-ser/)中。

[0061] 特别希望的是,等离子气体是一种具有低于气体温度的临界温度的物质或包括具有低于气体温度的临界温度的物质。例如,氢气的临界温度为33.18K。等离子气体(包括炭黑原料)的温度通常高于10℃,例如高于18℃、高于30℃或高于100℃,因此氢气是一种合适的等离子气体。可用于生产炭黑的甲烷,即被视为原料,具有190.56K的临界温度,因此,如果气体(或等离子气体、包括炭黑原料的等离子气体混合物)的温度高于190.56K,甲烷将是一种具有低于气体温度的临界温度的物质。

[0062] 尤其希望的是,在使气体经历等离子区之前,等离子气体和炭黑原料(等离子气体和包括炭黑原料的炭黑混合物)按照一定的摩尔比混合,以使炭黑原料不会在炭黑反应器中形成液滴。摩尔比可如下文所述计算。

[0063] 此外,特别希望的是,在使气体经历等离子区之前,在包括炭黑原料的等离子气体(等离子气体和包括炭黑原料的炭黑混合物)中存在具有低于气体的(即系统的、气体混合物的和/或等离子气体混合物的)温度的临界温度的物质,其摩尔比应使炭黑原料不会在炭黑反应器中形成液滴。摩尔比可如下文所述计算。

[0064] 如果希望使用更多的量的原料,额外的(iii)炭黑原料(第二炭黑原料)可以在等离子区注入,但优选在产生等离子体的区域之后,和/或(iv)炭黑原料在等离子气体下游和/或等离子区之后注入。之后是指等离子区后面或等离子炬后面1-50mm。

[0065] 等离子气体(不含原料)或具有低于气体的(即系统的、气体混合物的和/或等离子气体混合物的)温度的临界温度的物质的希望的摩尔比可使用以下式(V)、式(VI)、式(IX)和/或式(XVII)计算。特别是,等离子气体、具有低于气体温度的临界温度的等离子气体、和/或具有低于气体温度的临界温度的物质(优选具有低于气体温度的临界温度的等离子气体)的最低摩尔百分比可使用上述公式计算。

[0066] 在下文中,将介绍对炭黑原料和/或具有高于气体的(即系统的、气体混合物的和/或等离子气体混合物的)温度的临界温度的物质进行必要稀释度或稀释度$x_{dilutant}$的计算方

法。必要(或最小)稀释度$x_{dilutant}$以等离子气体、和/或具有低于气体的(即系统的、气体混合物的和/或等离子气体混合物的)温度的临界温度的物质的摩尔百分比表示。换句话说,通常需要一定比例的具有低于气体温度的临界温度的物质,以避免具有高于气体温度的临界温度的物质凝结(condensation)。具有低于气体温度的临界温度的物质可以是等离子气体和/或部分炭黑原料。具有高于气体温度的临界温度的物质可以是炭黑原料(第一炭黑原料)。

[0067] 在$x_{dilutant}$的计算式中,可以根据需要选择压力P[Pa]和温度T。例如,希望工艺在1atm或101325Pa和300K的条件下进行。

[0068] 对于任何纯的化合物(例如炭黑原料),如果无法获得与温度相关的蒸汽压,则可以从标准沸点开始估算蒸汽压。根据Pictet-Troutonsch法则,化合物的标准蒸发熵为88J/mol/K。尤其优选的是,对于所有公式,标准蒸发熵(摩尔蒸发熵P=101325Pa)使用88J/mol/K。另外,也可以使用Cedenbergsche方程。术语"标准(normal)"是指1atm,即101325Pa时的相应值。即使标明了具体单位(例如温度和压力),也可以将单位转换为合适的单位。

[0069] 从标准沸点和摩尔蒸发熵开始,我们可以通过以下式(I)获得以$\Delta_{vap}H_m$表示的标准摩尔蒸发焓。

[0070] $$\Delta_{vap}H_m = T_b \Delta_{vap}S_m \qquad 式(I)$$

[0071] 其中$\Delta_{vap}H_m$[J/mol]为炭黑原料的标准摩尔蒸发焓,T_b[K]为标准沸点,$\Delta_{vap}S_m$[J/K/mol]为炭黑原料的标准摩尔蒸发熵。炭黑原料是指具有高于气体温度的临界温度的炭黑原料。

[0072] 沸腾曲线的微分方程可根据克劳修斯-克拉皮隆(Clausius Clapyron)方程从相平衡条件中推导出来:

[0073] $$\frac{dP}{dT} = \frac{\Delta_{vap}H_m}{T\left(V_m^{vapour} - V_m^{liquid}\right)} \qquad 式(II)$$

[0074] 其中,$\frac{dP}{dT}$为共存蒸汽压力曲线在任一点的切线斜率,$\left(V_m^{vapour} - V_m^{liquid}\right)$为气体和液体之间相变的体积变化,$\Delta_{vap}H_m$[J/mol]为标准摩尔蒸发焓(例如,根据式(I)计算)。

[0075] 假定蒸发焓恒定,忽略相对于摩尔蒸汽体积的液体体积,并假定气相摩尔体积为理想气体定律,我们就得到了蒸汽压力方程:

[0076] $$\frac{P^s}{P_0} = exp\left(-\frac{\Delta_{vap}H_m}{RT} + \frac{\Delta_{vap}H_m}{RT_b}\right) \qquad 式(III)$$

[0077] 其中,P^s[Pa]为等离子气体温度T[K]时炭黑原料的蒸汽压,P_0[Pa]为大气压,设为101325Pa,R为通用气体常数,即8.314463J/mol/K,T[K]为系统温度或等离子气体温度,T_b[K]为炭黑原料的标准沸点温度。炭黑原料是指具有高于气体温度的临界温度的炭黑原料。

[0078] 稀释度$x_{dikutant}$的百分比为

[0079] $$x_{dilutant} = max\left(\frac{P-P^s}{P}, 0\right) \quad 100 \qquad 式(IV)$$

[0080] 其中$x_{dilutant}$为稀释度,P^s[Pa]为等离子气体温度T[K]时炭黑原料的蒸汽压,P_0[Pa]为大气压,设为101325Pa。

[0081] 结合式(III)和式(IV),可得到下式(V)。式(IV)、(V)和(VI)规定最小值为0(零),因为摩尔比的负值仅表示不需要稀释,即摩尔比为零(表示为max(,0))。

[0082] $$x_{dilutant} = max\left(1 - \frac{P_0\, exp\left(-\frac{\Delta vap H_m}{RT} + \frac{\Delta vap H_m}{RT_b}\right)}{P}, 0\right) \quad 100 \qquad 式(V)$$

[0083] 其中$x_{dilutant}$为稀释度,P[Pa]为等离子气体混合物的压力,P_0[Pa]为大气压力,设为101325Pa,$\Delta_{vap}H_m$[J/mol]为炭黑原料的标准摩尔蒸发焓(例如,根据式(I)计算),R[J/mol/K]为通用气体常数,即8.314463J/mol/K,T[K]为系统温度或等离子气体混合物的温度,T_b[K]为炭黑原料的标准(大气压P_0=101325Pa时)沸点温度。炭黑原料是指具有高于气体温度的临界温度的炭黑原料。

[0084] 或者,如果$x_{dilutant}$大于0,则可以使用式(VI),即,以使得需要等离子气体(或具有低于气体温度的临界温度的物质)的最小摩尔比的方式选择原料和等离子体气体(或具有低于气体温度的临界温度的物质)。

[0085] $$x_{dilutant} = \left(1 - \frac{P_0\, exp\left(-\frac{\Delta vap H_m}{RT} + \frac{\Delta vap H_m}{RT_b}\right)}{P}\right) \quad 100 \qquad 式(VI)$$

[0086] 其中$x_{dilutant}$为稀释度,P[Pa]为等离子气体混合物的压力,P_0[Pa]为大气压力,设为101325Pa,$\Delta_{vao}H_m$[J/mol]为标准摩尔蒸发焓(例如,根据式(I)计算)。R[J/mol/K]为通用气体常数,即8.314463J/mol/K,T[K]为系统温度或等离子气体混合物的温度,T_b[K]为炭黑原料的标准(大气压P_0=101325Pa时)沸点温度。炭黑原料是指具有高于气体温度的临界温度的炭黑原料。

[0087] 稀释度$x_{dilutant}$是指等离子气体的摩尔百分比、具有低于气体温度的临界温度的等离子气体的摩尔百分比、和/或具有低于气体温度的临界温度的物质的摩尔百分比。优选地,稀释度$x_{dilutant}$是指具有低于气体温度的临界温度的等离子气体的摩尔百分比,和/或具有低于气体温度的临界温度的物质的摩尔百分比。更优选地,稀释度$x_{dilutant}$是指具有低于气体温度的临界温度的等离子气体的摩尔百分比,以及具有低于气体温度的临界温度的物质的摩尔百分比。最优选地,稀释度$x_{dilutant}$是指具有低于气体温度的临界温度的物质的摩尔百分比。

[0088] 在表1和表2中,计算了稀释度$x_{dilutant}$,其中最小$x_{dilutant}$为零(表示为max(,0))。因此,这些表中的值表示具有低于气体温度的临界温度的等离子气体和/或物质的摩尔百分比,以避免冷凝(无液滴)。表1中的C3-C23是指具有相应碳数的脂肪族烃。例如,C3代表C_3H_8。标准摩尔蒸发焓$\Delta_{vap}H_m$使用式$\Delta_{vap}H_m = T_b\Delta_{vap}S_m$使用88J/molK的标准摩尔蒸发熵计算。百分比用式(V)计算。如表中所示,每次测量或计算都是针对特定的气体温度,例如268.04K、300K、350K、400K、450K、500K、550K、600K、650K和700K。在式中,温度可根据需要选择。系统压力或气体/等离子气体混合物的压力P[Pa]为101325Pa。表2涉及芳香原料。

[0089] 在包括炭黑原料的计算中,可以将等离子气体的温度T设为系统温度减去10K或5K,以使得出的摩尔百分比会考虑到气体温度的偏差。所有式中的T都可以这样计算。然而,T应该是包括炭黑原料的等离子气体的温度。

[0090] 同样,计算出的摩尔百分比指的是包括存在于等离子区上游的炭黑原料的等离子气体。其他原料可直接注入等离子区或在等离子区之后以任何合适的量注入。

[0091] 表1:考虑了不同的气体温度的情况下计算出的避免冷凝所需的等离子气体和/或具有低于气体温度的临界温度的物质的摩尔百分比

脂肪族烃	沸点	蒸发焓	T [K]									
			268.04	300	350	400	450	500	550	600	650	700
	T_b [K]	$\Delta_{vap}H_m$ [J/mol]	避免冷凝所需的等离子气体和/或具有低于气体温度的临界温度的物质的摩尔百分比[摩尔%]									
C3	268.04	20328	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C4	290.92	23936	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C5	313.8	27192	80	27	0	0	0	0	0	0	0	0
C6	336.68	30096	95	77	0	0	0	0	0	0	0	0
C7	359.56	32648	98	92	47	0	0	0	0	0	0	0
C8	382.44	35112	99	97	77	0	0	0	0	0	0	0
C9	405.32	37224	100	99	89	46	0	0	0	0	0	0
C10	428.2	39336	100	99	95	71	0	0	0	0	0	0
C11	451.08	41272	100	100	97	84	36	0	0	0	0	0
C12	473.96	43032	100	100	99	91	60	0	0	0	0	0
C13	496.84	44792	100	100	99	94	75	17	0	0	0	0
C14	519.72	46376	100	100	100	97	84	44	0	0	0	0
C15	542.6	47784	100	100	100	98	89	60	0	0	0	0
C16	565.48	49192	100	100	100	99	92	71	16	0	0	0
C17	588.36	50512	100	100	100	99	95	79	37	0	0	0
C18	611.24	51744	100	100	100	99	96	84	52	0	0	0
C19	634.12	52976	100	100	100	100	97	88	63	3	0	0
C20	657	54208	100	100	100	100	98	91	72	25	0	0
C21	679.88	55352	100	100	100	100	99	93	78	40	0	0
C22	702.76	56408	100	100	100	100	99	95	83	51	0	0

[0092]

[0093] 表2:考虑了不同的气体温度的情况下计算出的避免冷凝所需的等离子气体和/或具有低于气体温度的临界温度的物质的摩尔百分比。

芳烃	沸点	蒸发焓	T [K]									
			268.04	300	350	400	450	500	550	600	650	700
	T_b [K]	$\Delta_{vap}H_m$ [J/mol]	避免冷凝所需的等离子气体和/或具有低于气体温度的临界温度的物质的摩尔百分比 [摩尔%]									
C6H6	353	31064	97	85	9	0	0	0	0	0	0	0
C10H10	491	43208	100	100	99	91	62	0	0	0	0	0
C14H10	611.5	53812	100	100	100	100	98	91	69	18	0	0

[0094]

[0095] 式(V)和式(VI)特别适用于包括一种具有高于气体温度的临界温度的炭黑原料的炭黑原料。例如,炭黑原料包括几种具有低于气体温度的临界温度的碳氢化合物和一种具有高于气体温度的临界温度的碳氢化合物。希望根据式(V)、式(VI)、式(IX)和式(XVII)计

算时考虑到具有高于气体温度的临界温度的炭黑原料。

[0096] 等离子气体和炭黑原料在使气体经历等离子区之前应混合,其中基于等离子气体(包括炭黑原料)的摩尔总量,等离子气体的摩尔百分比或具有低于气体温度的临界温度的物质的摩尔百分比(优选具有低于气体温度的临界温度的物质的摩尔百分比)大于$x_{dilutamt}$,其中可根据式(V)计算$x_{dilutant}$:

[0097] $$x_{dilutant} = max\left(1 - \frac{P_0\, exp\left(-\frac{\Delta_{vap}H_m}{RT} + \frac{\Delta_{vap}H_m}{RT_b}\right)}{P}, 0\right) \quad 100 \qquad 式(V)$$

[0098] 其中$x_{dilutant}$为稀释度,P[Pa]为等离子气体混合物的压力,P_0[Pa]为大气压力,设为101325Pa,$\Delta_{vap}H_m$[J/mol]为炭黑原料的标准摩尔蒸发焓(例如,根据式(I)计算),R[J/mol/K]为通用气体常数,即8.314463J/mol/K,T[K]为系统温度或等离子气体混合物的温度,T_b[K]为炭黑原料的标准(大气压P_0=101325Pa时)沸点温度,优选地,等离子气体的摩尔百分比在($x_{dilutant}$+1摩尔%)至($x_{dilutant}$+15摩尔%)之间,更优选地,等离子气体的摩尔百分比在($x_{dilutant}$+3摩尔%)至($x_{dilutant}$+12摩尔%)之间,最优选地,等离子气体的摩尔百分比在($x_{dilutant}$+5摩尔%)至($x_{dilutant}$+10摩尔%)之间。等离子气体的摩尔百分比可以至少是(或为)$x_{dilutant}$,更优选地,等离子气体的摩尔百分比至少是($x_{dilutant}$+1摩尔%),更优选地,等离子气体的摩尔百分比至少是($x_{dilutant}$+3摩尔%),最优选地,等离子气体的摩尔百分比至少是($x_{dilutant}$+5摩尔%)。

[0099] 稀释度$x_{dilutant}$是指等离子气体的摩尔百分比、具有低于气体温度的临界温度的等离子气体的摩尔百分比、和/或具有低于气体温度的临界温度的物质的摩尔百分比。优选地,稀释度$x_{dilutant}$是指具有低于气体温度的临界温度的等离子气体的摩尔百分比,和/或具有低于气体温度的临界温度的物质的摩尔百分比。更优选地,稀释度$x_{dilutant}$是指具有低于气体温度的临界温度的等离子气体的摩尔百分比,以及具有低于气体温度的临界温度的物质的摩尔百分比。最优选地,稀释度$x_{dilitamt}$是指具有低于气体温度的临界温度的物质的摩尔百分比。

[0100] 摩尔百分比涉及使气体经历等离子区之前的所述炭黑原料。一般来说,等离子气体是具有低于气体温度的临界温度的物质,例如氢气。因此,可利用等离子气体(或具有低于气体温度的临界温度的物质)和炭黑原料的最佳摩尔比,从而不会在等离子区内或之前形成液滴。此外,可能的最高比例的炭黑原料有利于生产出的炭黑的特性。

[0101] 因此,可以精确调节等离子气体中存在的原料含量。需要注意的是,直接注入等离子区或等离子区下游的原料可以以任何合适的量注入。所述原料可以是第二碳黑原料。因此,第一炭黑原料是在等离子区之前注入的原料。

[0102] 等离子气体和炭黑原料(等离子气体和炭黑混合物)可在使气体经历等离子区之前混合,其中,基于包括炭黑原料的等离子气体的总摩尔量,等离子气体、和/或具有低于气体温度(在101325Pa的大气压下)的临界温度的物质的摩尔百分比:(i)对于标准沸点和/或最终标准沸点为270-300K的炭黑原料且气体混合物温度为250-290K的情况,为1-20摩尔%、(ii)对于标准沸点为大于300K至350K的炭黑原料且气体混合物温度为270-300K的情况,为30-95摩尔%、(iii)对于标准沸点和/或最终标准沸点为大于350K至400K的炭黑原料且气体混合物温度为340-360K的情况,为50-80摩尔%、(iv)对于标准沸点和/或最终标准沸点为大于400K至450K的炭黑原料且气体混合物温度为390-420K的情况,为50-75摩尔%;

(v)对于标准沸点和/或最终标准沸点为大于450K至500K的炭黑原料且气体混合物温度为440-460K的情况,为40-65摩尔%、(vi)对于标准沸点和/或最终标准沸点为大于500K至550K的炭黑原料且气体混合物的温度为490-520K的情况,为20-65摩尔%、(vii)对于标准沸点和/或最终标准沸点为大于550K至610K的炭黑原料且气体混合物温度为540-570K的情况,为20-55摩尔%、或(viii)对于标准沸点和/或最终标准沸点为大于610K至670K的炭黑原料且气体混合物温度为590-630K的情况,为30-65摩尔%。等离子气体的临界温度优选低于270K。

[0103] 等离子气体可以由炭黑原料,优选具有低于气体温度的临界温度的炭黑原料组成。此外,原料可以是包括多种不同碳氢化合物的组合物。每种碳氢化合物可以具有不同的沸点和/或临界温度。例如,等离子气体包括40重量%的H_2、20重量%的C_3H_8和40重量%的具有高于气体温度的临界温度的碳氢化合物。

[0104] 一般来说,包含炭黑原料的等离子气体在使气体经历等离子区之前(在101325Pa的大气压力下),(i)对于最终标准沸点为270-300K的炭黑原料且气体混合物温度为250-290K的情况,包含1摩尔%至20摩尔%的具有低于气体温度的临界温度的物质,(ii)对于最终标准沸点为大于300K至350K的炭黑原料且气体混合物温度为270-290K的情况,包含30-95摩尔%的具有低于气体温度的临界温度的物质,(iii)对于最终标准沸点为大于350K至400K的炭黑原料且气体混合物温度为340-360K的情况,包含50-80摩尔%的具有低于气体温度的临界温度的物质,(iv)对于最终标准沸点为大于400K至450K的炭黑原料且气体混合物温度为390℃至420K的情况,包含50-75摩尔%的具有低于气体温度的临界温度的物质,(v)对于最终标准沸点为大于450K至500K的炭黑原料且气体混合物温度为440-460K的情况,包含40-65摩尔%的具有低于气体温度的临界温度的物质,(vi)对于最终标准沸点为大于500K至550K的炭黑原料且气体混合物温度为490-520K的情况,包含20-65摩尔%的具有低于气体温度的临界温度的物质,(vii)对于最终标准沸点为大于550K至610K的炭黑原料且气体混合物温度为540-570K的情况,包含20-55摩尔%的具有低于气体温度的临界温度的物质,或(viii)对于最终标准沸点为大于610K至670K的炭黑原料且气体混合物温度为590-630K的情况,包含30-65摩尔%的具有低于气体温度的临界温度的物质,其中所述物质优选包括等离子气体(例如氢气)或炭黑原料。

[0105] 如果炭黑原料包含一种以上的碳氢化合物,可以测量原料混合物的最终标准沸点,并使用最终标准沸点计算式(V)和式(VI)中的$x_{dilutant}$。如果炭黑原料包含的碳氢化合物的标准沸点分布范围较窄,例如+/-30K,则这种方法尤其有用。

[0106] 碳氢化合物原料的沸点可以通过蒸馏或真空蒸馏来测量。如果使用一种以上的碳氢化合物原料(炭黑原料组合物),则可测量沸腾曲线并获得“最终沸点”(或“终沸点”),例如根据ASTM D86-04b测量的沸点。一般来说,最终沸点可视为组合物或馏分(fraction)中具有最高沸点的碳氢化合物的沸点。标准沸点或最终标准沸点是在1atm时的相应的沸点。

[0107] 然而,式(V)和式(VI)优选用于包含一种碳氢化合物的炭黑原料。此外,所述碳氢化合物的临界温度通常高于气体温度。这意味着,不含特定比例的等离子气体或具有低于气体温度的临界温度的物质的炭黑原料会在反应室或等离子区附近形成液滴。这也适用于下面提到的公式。

[0108] 对于炭黑原料组合物,例如存在大于一种炭黑原料(或包括大于一种化合物的炭

黑原料),例如碳氢化合物,应使用以下式(IX)和(XVII)。这两个公式也可用于仅包含一种碳氢化合物原料的炭黑原料,即仅一种炭黑原料(或包含一种化合物的炭黑原料)。所述炭黑原料中的化合物是指具有高于气体温度的临界温度的化合物或物质。换句话说,存在大于一种的具有高于气体温度的临界温度的物质。

[0109] 如果所述炭黑原料混合物既包括具有高于气体温度的临界温度的化合物或物质,也包括具有低于气体温度的临界温度的化合物或物质,则计算时只考虑具有高于气体温度的临界温度的物质或化合物。具有低于气体温度的临界温度的物质或化合物不会凝结,可以作为具有高于气体温度的临界温度的物质的稀释剂。气体(气体混合物、等离子气体混合物)的温度应该是等离子区上游或产生等离子体的区域的上游的最低温度。

[0110] 例如,炭黑原料可分为两部分。第一部分包含临界温度低于或等于混合物温度的所有物质,第二部分包含临界温度高于混合物温度的所有物质。第1部分也称为稀释剂,第2部分称为非稀释剂(noDilutant)。第2部分中的物质的编号用N表示。不含稀释剂的炭黑原料的最大压力定义如下:

[0111] $$P_{noDilutant}=\frac{1}{\sum_{i=1}^{N}\frac{x_i^{vapour}}{100\,P_i^S}} \qquad 式(VII)$$

[0112] 式中x_i^{vapour}表示第i种物质的摩尔分数(%),P_i^S表示第i种物质在混合物温度下的蒸气压。为得到气态混合物,稀释剂的摩尔分数(例如在第1部分和第2部分的混合物中)至少要达到

[0113] $$x_{dilutant}=max\left(\frac{P-P_{noDilutant}}{P},0\right)\ 100 \qquad 式(VIII)$$

[0114] 结合式(VII)和(VIII),得到以下式(IX)。式(VIII)和(IX)规定最小值为0(零),因为摩尔比的负值仅表示不需要稀释,即摩尔比为零。

[0115] $$x_{dilutant}=max\left(1-\frac{1}{P\sum_{i=1}^{N}\frac{x_i^{vapour}}{100\,P_i^S}},0\right)\ 100 \qquad 式(IX)$$

[0116] 其中$x_{dilutant}$为稀释度,P[Pa]为等离子气体混合物的压力,i为炭黑原料中相应的化合物,$\sum_{i=1}^{N}$为从i等于1到N的总和,i为炭黑原料中化合物的化合物指数,x_i^{vapour}为炭黑原料中相应的化合物的摩尔百分比,P_i^S[Pa]为炭黑原料中相应的化合物i在等离子气体温度T[K]时的蒸气压,根据式(X)计算P_i^S,

[0117] $$P_i^S=P_0 exp\left(-\frac{\Delta_{vap}H_{m,i}}{RT}+\frac{\Delta_{vap}H_{m,i}}{RT_{b,i}}\right) \qquad 式(X)$$

[0118] P_0[Pa]为大气压力,设为101325Pa,$\Delta_{vap}H_{mi}$[J/mol]为炭黑原料中相应的化合物的标准摩尔蒸发焓(例如根据式(I)计算),R[J/mol/K]为通用气体常数,即8.314463J/mol/K,T[K]为系统温度或等离子气体混合物的温度,$T_{b,i}$[K]为炭黑原料中相应的化合物的标准(大气压P_0=101325Pa时)沸点温度。炭黑原料是指具有高于气体温度的临界温度的炭黑原料(即炭黑原料中的化合物)。

[0119] 下面示出了三种示例混合物,并计算了由此产生的稀释度$x_{dilutant}$。

[0120] 混合物1包含10摩尔%的辛烷(C8H18,Tc=568K)、30摩尔%的壬烷(C9H20,Tc=

594K)、30摩尔%的十二烷(C12H26,Tc=658K)、和30摩尔%的二十二烷(C22,Tc=786K)。同样,物料或物质的临界温度Tc公开在"Landolt-Börnstein,Zahlenwerte und Funktionen, 6.Aufl.Bd.2/1,Tabelle21116,page 328Berlin-Heidelberg-New York:Springer 1971"中。

[0121] 混合物2包括5摩尔%的C9H20、10摩尔%的C10H22、30摩尔%的C12H26、20摩尔%的C14H30、5摩尔%的C15H32、5摩尔%的C16H34、5摩尔%的C19H40和20摩尔%的C22H46。

[0122] 混合物3包括15摩尔%的C10H22、15摩尔%的C12H26、10摩尔%的C14H30、5摩尔%的C17H36、5摩尔%的C18H28、5摩尔%的C19H40、20摩尔%的C22H46、和25摩尔%的C23H48。

[0123] 表3列出了混合物1-3中避免冷凝所需的等离子气体和/或具有低于气体温度的临界温度的物质的摩尔百分比。系统压力或气体/等离子气体混合物的压力P[Pa]为101325Pa。

[0124] 例如,在550K时的混合物3只包含炭黑原料或炭黑原料中具有高于气体温度(即550K)的临界温度的化合物(物质)。混合物中临界温度最低的化合物或物质是辛烷(C8H18,Tc=568K),其中气体温度(即550K)低于辛烷的Tc,即568K。因此,使用混合物3中的所有化合物来计算稀释度$x_{dilutant}$。如果其中一种化合物或物质的临界温度低于气体温度,则在包括摩尔分数的上述方程式中,该化合物不用作炭黑原料化合物。

[0125] 表3:考虑了不同的气体温度的情况下计算出的避免冷凝所需的等离子气体和/或具有低于气体温度的临界温度的物质的摩尔百分比

[0126]

	避免冷凝所需的等离子气体、和/或具有低于气体温度的临界温度的物质的摩尔百分比[摩尔%]									
系统温度 T [K]	268.04	300	350	400	450	500	550	600	650	700
混合物 1	100	100	99.95	99.45	96.39	83.98	46.02	0	0	0
混合物 2	100	100	99.93	99.3	95.62	81.21	38.68	0	0	0
混合物 3	100	100	99.97	99.71	98.1	91.43	70.74	18.81	0	0

[0127] 等离子气体和炭黑原料在使气体经历等离子区之前应混合,其中基于包括炭黑原料的等离子气体的摩尔总量,等离子气体的摩尔百分比或具有低于气体温度的临界温度的物质的摩尔百分比(优选具有低于气体温度的临界温度的物质的摩尔百分比)大于$x_{dilutant}$,其中可根据式(IX)计算$x_{dilutant}$:

[0128] $$x_{dilutant} = max\left(1 - \frac{1}{P\sum_{i=1}^{N}\frac{x_i^{vapour}}{100\,P_i^S}}, 0\right)\ 100 \quad \text{式(IX)}$$

[0129] 其中$x_{dilutant}$为稀释度,P[Pa]为等离子气体混合物的压力,i为炭黑原料中相应的化合物(具有高于气体混合物的温度的临界温度),$\sum_{i=1}^{N}$为从i等于1到N的总和,i为炭黑原料中化合物的化合物指数,x_i^{vapour}为相应的化合物在炭黑原料中的摩尔百分比,P_i^S [Pa]

为炭黑原料中相应的化合物i在等离子气体温度T[K]时的蒸气压,根据式(X)计算P_i^s,

[0130] $$P_i^s = P_0 exp\left(-\frac{\Delta_{vap}H_{m,i}}{RT} + \frac{\Delta_{vap}H_{m,i}}{RT_{b,i}}\right) \qquad 式(X)$$

[0131] P_0[Pa]为大气压力,设为101325Pa,$\Delta_{vap}H_{mi}$[J/mol]为炭黑原料中相应的化合物的标准摩尔蒸发焓(例如根据式(I)计算),R[J/mol/K]为通用气体常数,即8.314463J/mol/K,T[K]为系统温度或等离子气体混合物的温度,$T_{b,i}$[K]为炭黑原料中相应的化合物的标准(大气压P_0=101325Pa时)沸点温度。炭黑原料是指具有高于气体温度的临界温度的炭黑原料(即炭黑原料中的化合物)。优选地,等离子气体的摩尔百分比在大于$x_{dilutant}$至($x_{dilutant}$+20摩尔%)之间,更优选地,等离子气体的摩尔百分比在($x_{dilutant}$+1摩尔%)至($x_{dilutant}$+15摩尔%)之间,还更优选地,等离子气体的摩尔百分比在($x_{dilutant}$+3摩尔%)至($x_{dilutant}$+12摩尔%)之间,最优选地,等离子气体的摩尔百分比在($x_{dilutant}$+5摩尔%)至($x_{dilutant}$+10摩尔%)之间。等离子气体的摩尔百分比可以至少是(或为)$x_{dilutant}$,更优选地,等离子气体的摩尔百分比至少是($x_{dilutant}$+1摩尔%),更优选地,等离子气体的摩尔百分比至少是($x_{dilutant}$+3摩尔%),最优选地,等离子气体的摩尔百分比至少是($x_{dilutant}$+5摩尔%)。

[0132] 稀释度$x_{dilutant}$是指等离子气体的摩尔百分比、具有低于气体温度的临界温度的等离子气体的摩尔百分比、和/或具有低于气体温度的临界温度的物质的摩尔百分比。优选地,稀释度$x_{dilutant}$是指具有低于气体温度的临界温度的等离子气体的摩尔百分比,和/或具有低于气体温度的临界温度的物质的摩尔百分比。更优选地,稀释度$x_{dilutant}$是指具有低于气体温度的临界温度的等离子气体的摩尔百分比,以及具有低于气体温度的临界温度的物质的摩尔百分比。最优选地,稀释度$x_{dilutant}$是指具有低于气体温度的临界温度的物质的摩尔百分比。

[0133] 如前所述,式(XVII)可用于计算炭黑原料或炭黑原料混合物的稀释度$x_{dilutant}$。所述碳原料和/或碳原料混合物应包括一个或多个高于气体温度的临界温度。

[0134] 式(XVII)特别适用于含有大量不同物质的炭黑原料。例如,炭黑原料包括未知物质。

[0135] 计算时优选考虑全部炭黑原料。或者,计算时只考虑具有高于气体温度的临界温度的炭黑原料。

[0136] 在式(XVII)中,炭黑原料被分成10个样品或10个馏分(fraction)。对于每个馏分或样品,假定该馏分或样品由一种伪(pseudo)组分(或物质或化合物)组成。一般来说,每个样品中沸点温度最高的成分被视为相应样品的伪成分。样品应具有相同的体积%分数,如全部炭黑原料的1/10体积%。炭黑原料样品并不必要精确地按等体积分数划分。

[0137] 可以根据ASTM D86-04b进行大气蒸馏实验,优选是针对未知的炭黑原料。如果全部样品无法在大气条件(1atm)下完全蒸发,则必须进行真空蒸馏,并根据ASTM D5236-03标准重新计算大气条件。全部混合物(如100mL)将通过蒸馏分离成10个样品/馏分(如10mL)。确定每个样品i的最后一滴的标准沸点温度,并用$T_{b,i}$表示,其中$T_{b,i}$是相应伪组分的标准沸点温度[K]。测定每个样品的质量和分子量。分子量可通过使用蒸气压渗透测定法(ASTM D3592-77)测定平均分子量来确定。

[0138] 此处提到的物质的沸点温度是指标准沸点温度,即大气压力P=101325Pa时的沸点温度。

[0139] 每个样品的摩尔数可使用式(XI)来获得。

[0140] $$n_i = \frac{m_i}{M_i} \quad \text{式(XI)}$$

[0141] 在该式中,样品i的摩尔数用n_i表示,样品i的质量用m_i表示,分子量用M_i表示,并确定每个样品的体积。

[0142] 每个样品的摩尔分数由下式确定

[0143] $$x_{pseudo,i} = 100\, n_i / \sum_{i=1}^{10} n_i \quad \text{式(XII)}$$

[0144] 使用$\Delta_{vap}S_m = 88\frac{J}{mol\,K}$的正态蒸发熵计算每个样品的伪标准蒸发热$\Delta_{vap}H_{m,i}$:

[0145] $\Delta_{vap}H_{m,i}=T_{b,i}\,\Delta_{vap}S_m$式(XIII)

[0146] 对于每个样品i,伪蒸汽压$P^S_{pseudo,i}$根据下式计算得到

[0147] $$\frac{P^S_{pseudo,i}}{P_0} = exp\left(-\frac{\Delta_{vap}H_{m,i}}{RT} + \frac{\Delta_{vap}H_{m,i}}{RT_{b,i}}\right) \quad \text{式(XIV)}$$

[0148] P_0[Pa]为大气压力,设为101325Pa,$\Delta_{vap}H_{m,i}$[J/mol]为炭黑原料的相应的样品(或馏分)的标准摩尔蒸发焓(例如根据式(I)计算),R[J/mol/K]为通用气体常数,即8.314463J/K,T[K]为系统温度或等离子气体混合物的温度,$T_{b,i}$[K]为炭黑原料的相应的样品(或馏分)的标准(大气压力P_0=101325Pa时)沸点温度。

[0149] 伪压力根据下式计算

[0150] $$P_{pseudo} = \frac{1}{\sum_{i=1}^{10}\frac{x^{vapour}_{pseudo,i}}{100\,P^S_{pseudo,i}}} \quad \text{式(XV)}$$

[0151] 10种伪成分(优选具有低于混合物温度的临界温度)的混合物中等离子气体的必要摩尔分数通过下式计算

[0152] $$x_{dilutant} = max\left(\frac{P-P_{pseudo}}{P},0\right)\ 100 \quad \text{式(XVI)}$$

[0153] 结合式(XV)和(XVI),得到下式(XVII)。式(XVI)和(XVII)规定最小值为0(零),因为摩尔比的负值表示不需要稀释,即摩尔比为零。

[0154] $$x_{dilutant} = max\left(1 - \frac{1}{P\sum_{i=1}^{10}\frac{x^{vapour}_{pseudo,i}}{100\,P^S_{pseudo,i}}},0\right)\ 100 \quad \text{式(XVII)}$$

[0155] 其中$x_{dilutant}$为稀释度,P[Pa]为等离子体混合气体的压力,i为炭黑原料(优选具有高于等离子气体混合物温度的临界温度,更优选全部炭黑原料)的相应的样品,$\sum_{i=1}^{10}$为从i等于1到N的总和,i为炭黑原料的样品的化合物指数,$x^{vapour}_{pseudo,i}$ [Pa]为炭黑原料的相应的样品的摩尔百分比,$P^S_{pseudo,i}$ [Pa]为炭黑原料的相应的样品i在等离子气体温度Y[K]下的蒸气压,根据式(XVIII)计算$P^S_{pseudo,i}$,

[0156] $$P^S_{pseudo,i} = P_0 exp\left(-\frac{\Delta_{vap}H_{m,i}}{RT} + \frac{\Delta_{vap}H_{m,i}}{RT_{b,i}}\right) \quad \text{式(XVIII)}$$

[0157] P_0[Pa]为大气压力,设为101325Pa,$\Delta_{vap}H_{m,i}$[J/mol]为炭黑原料的相应的样品的标准摩尔蒸发焓(例如根据式(XIII)计算),R[J/mol/K]为通用气体常数,即8.314463J/mol/K,T[K]为系统温度或等离子气体混合物的温度,$T_{b,i}$[K]为炭黑原料的相应的样品的标准(大气压P_0=101325Pa时)沸点温度。炭黑原料是指全部炭黑原料(即炭黑原料中的化合物)。或者,炭黑原料是指具有高于气体温度的临界温度的炭黑原料(即炭黑原料中的化合物)。

[0158] 对于未知的炭黑原料混合物,希望使用式(XVII)计算所需的稀释度。然而,对于已知的炭黑原料,也可以使用式(XVII)进行计算。未知炭黑原料是指包括大量不同化合物的炭黑原料,这些化合物部分地尚未确定。尽管如此,还是有可能对炭黑原料混合物中的每种化合物和组分(fraction)进行分析。

[0159] 等离子气体和炭黑原料在使气体经历等离子区之前混合,其中基于包括炭黑原料的等离子气体的摩尔总量,等离子气体的摩尔百分比、具有低于气体温度的临界温度的等离子气体的摩尔百分比、和/或具有低于气体温度的临界温度的物质的摩尔百分比(优选具有低于气体温度的临界温度的等离子气体的摩尔百分比)大于$x_{dilutant}$,其中根据式(XVII)计算$x_{dilutant}$:

[0160] $$x_{dilutant} = max\left(1 - \frac{1}{P\sum_{i=1}^{10}\frac{x_{pseudo,i}^{vapour}}{100\,P_{pseudo,i}^{s}}}, 0\right)\ 100 \qquad \text{式(XVII)}$$

[0161] 其中$x_{dilutant}$为稀释度,P[Pa]为等离子气体混合物的压力,i为炭黑原料(优选具有高于等离子气体混合物温度的临界温度,更优选全部炭黑原料)的相应的样品,$\sum_{i=1}^{10}$为从i等于1到N的总和,i为炭黑原料的样品的化合物指数,$x_{pseudo,i}^{vapour}$ [Pa]为炭黑原料的相应的样品的摩尔百分比,$P_{pseudo,i}^{s}$ [Pa]为炭黑原料的相应的样品i在等离子气体温度T[K]下的蒸气压,根据式(XVIII)计算$P_{pseudo,i}^{s}$,

[0162] $$P_{pseudo,i}^{s} = P_0 exp\left(-\frac{\Delta_{vap}H_{m,i}}{RT} + \frac{\Delta_{vap}H_{m,i}}{RT_{b,i}}\right) \qquad \text{式(XVIII)}$$

[0163] P_0[Pa]为大气压力,设为101325Pa,$\Delta_{vap}H_{m,i}$[J/mol]为炭黑原料的相应的样品的标准摩尔蒸发焓(例如根据式(XIII)计算),R[J/mol/K]为通用气体常数,即8.314463J/mol/K,T[K]为系统温度或等离子气体混合物的温度,$T_{b,i}$[K]为炭黑原料的相应的样品的标准(大气压P_0=101325Pa时)沸点温度。

[0164] 优选地,等离子气体的摩尔百分比在大于$x_{dilutant}$至($x_{dilutant}$+20摩尔%)之间,更优选地,等离子气体的摩尔百分比在($x_{dilutant}$+1摩尔%)至($x_{dilutant}$+15摩尔%)之间,还更优选地,等离子气体的摩尔百分比在($x_{dilutant}$+3摩尔%)至($x_{dilutant}$+12摩尔%)之间,最优选地,等离子气体的摩尔百分比在($x_{dilutant}$+5摩尔%)至($x_{dilutant}$+10摩尔%)之间。等离子气体的摩尔百分比可以至少是(或为)$x_{dilutant}$,更优选地,等离子气体的摩尔百分比至少是($x_{dilutant}$+1摩尔%),更优选地,等离子气体的摩尔百分比至少是($x_{dilutant}$+3摩尔%),最优选地,等离子气体的摩尔百分比至少是($x_{dilutant}$+5摩尔%)。炭黑原料是指全部炭黑原料(即炭黑原料中的化合物)。或者,炭黑原料是指具有高于气体温度的临界温度的炭黑原料(即

炭黑原料中的化合物)。

[0165] 在使气体经历等离子区之前混合的炭黑原料可以通过炭黑原料的蒸馏进行分析,其中炭黑原料通过蒸馏分离成10个样品/馏分,每个样品/馏分的最后一滴被蒸馏的温度用作样品/馏分的相应的沸点$T_{b,i}$[K]。希望10个样品/馏分具有相同的被分析的炭黑原料的摩尔百分比。优选每个样品都包含具有相似沸点的化合物,其中相似沸点是指+/-20K的沸点。

[0166] 使用大于10个的样品或馏分也是合适的。例如,炭黑原料的化合物沸点范围很大。因此,可以对公式进行修改,将样品数量改为15、20、25、30或40个。

[0167] 在表4中示出了根据ASTM D86-04b测量的沸腾曲线,该曲线源自用于使用式(XVII)计算$x_{dilutant}$的炭黑原料的示例样品。使用全部炭黑原料。标准沸点温度读数为各馏分的最后一滴的温度。

[0168] 表4:根据ASTM D86-04b的示例炭黑原料的蒸馏。

[0169]

蒸发点/体积%	标准沸点温度读数*1 / °C	标准沸点温度, 单位 K
IBP (初沸点)	184.6	457.75
5	196.5	469.65
10	210.7	483.85
20	247.5	520.65
30	279.3	552.45
40	299.7	572.85
50	313.3	586.45
60	323.5	596.65

[0170]

70	331.1	604.25
80	336.5	609.65
90	339.9	613.05
95	341.3	614.45
EP (终沸点或最终沸点)	341.8	614.95

[0171] *1特别是根据ASTM D86-04b修正的观察温度读数

[0172] 在蒸馏过程中,样品被分成10份样品,每份样品约占初始炭黑原料(炭黑原料混合物)的1/10体积%(见表5)。分子量是通过使用蒸气压渗透仪(ASTM D3592-77)测定平均分子量来确定的。每个样品的摩尔数采用式(XI)得出。计算出每个样品的摩尔分数。

[0173] 表5:从表4所述蒸馏获得的摩尔分数的计算。

[0174]

样品 i	标准沸点/K	蒸发焓/(J/mol)	质量/g	分子量/(g/mol)	摩尔数	摩尔分数 $x_{pseudo,i}^{vapour}$ / 摩尔%	$\frac{x_{pseudo,i}^{vapour}}{100\,P_{pseudo,i}^{s}}$ / bar^{-1} ($T = 573.15\,K$) ($P_0 = 1.01325$ bar)
1	457.75	42578.8	10	128	0.078	16.421	0.03115412
2	469.65	45817.2	10	150	0.066	13.895	0.05201083
3	483.85	48615.6	10	185	0.054	11.368	0.07655499
4	520.65	50410.8	10	213	0.047	9.895	0.09711397
5	552.45	51607.6	10	233	0.043	9.053	0.11421462
6	572.85	52505.2	10	249	0.040	8.421	0.1282671
7	586.45	53174	10	262	0.038	8	0.14021337
8	596.65	53649.2	10	271	0.037	7.789	0.1508393
9	604.25	53948.4	10	277	0.036	7.579	0.15627253
10	609.65	54071.6	10	281	0.036	7.579	0.16036529

[0175] 在表4中,压力P_0是1.01325巴(bar),而不是101325Pa。因此,$\sum_{i=1}^{10}\frac{x_{pseudo,i}^{vapour}}{100\,P_{pseudo,i}^{s}}$为1.10700611$bar^{-1}$,因此,在工作压力P为1bar且温度T为573.15K时的$x_{dilutant}$如下:

[0176] $$x_{dilutant} = \left(1 - \frac{1}{1bar\ 1.10700611\frac{1}{bar}}\right)100 = 9.67\%$$

[0177] 对于不同的系统压力和温度,稀释度或最小稀释度$x_{dilutant}$的计算如下表所示。

[0178] 表6:不同系统压力和温度下的最小稀释度

[0179]

T/°C / P/bar	225	250	275	300
0.2	13.03	0	0	0
0.3	42.02	0	0	0
0.5	65.21	36.46	0	0
0.7	75.15	54.62	21.6	0
0.9	80.67	64.7	39.02	0
0.95	81.69	66.56	42.23	4.91
1	82.61	68.23	45.12	9.67

[0180] 因此,基于包括炭黑原料的等离子气体的摩尔总量,即在经历等离子区之前的等离子气体,应使用式(V)、式(IX)或式(XVII)中的至少一个来计算等离子气体的摩尔百分比或具有低于气体温度的临界温度的物质的摩尔百分比(优选具有低于气体温度的临界温度的物质的摩尔百分比)。优选使用所有的式(V)、式(IX)和式(XVII)。

[0181] 换句话说,等离子气体和炭黑原料在使气体经历等离子区之前混合,其中基于包括炭黑原料的等离子气体的摩尔总量,等离子气体的摩尔百分比、具有低于气体温度的临

界温度的等离子气体的摩尔百分比、和/或具有低于气体温度的临界温度的物质的摩尔百分比(优选具有低于气体温度的临界温度的等离子气体的摩尔百分比)大于$x_{dilutant}$,基于包括炭黑原料的等离子气体的摩尔总量,其中根据式(V)、式(IX)和/或式(XVII)计算$x_{dilutant}$,

[0182] $$x_{dilutant} = max\left(1 - \frac{P_0\, exp\left(-\frac{\Delta_{vap}H_m}{RT} + \frac{\Delta_{vap}H_m}{RT_b}\right)}{P}, 0\right)\ 100 \qquad 式(V)$$

[0183] 其中$x_{dilutant}$为稀释度,P[Pa]为等离子气体混合物的压力,P_0[Pa]为大气压力,设为101325Pa,$\Delta_{vap}H_m$[J/mol]为炭黑原料的标准摩尔蒸发焓(例如,根据式(I)计算),R[J/mol/K]为通用气体常数,即8.314463J/mol/K,T[K]为系统温度或等离子气体混合物的温度,T_b[K]为炭黑原料的标准(大气压P_0=101325Pa时)沸点温度,

[0184] $$x_{dilutant} = max\left(1 - \frac{1}{P\sum_{i=1}^{N}\frac{x_i^{vapour}}{100\,P_i^S}}, 0\right)\ 100 \qquad 式(IX)$$

[0185] 其中$x_{dilutant}$为稀释度,P[Pa]为等离子气体混合物的压力,i为炭黑原料中相应的化合物,$\sum_{i=1}^{N}$为从i等于1到N的总和,i为炭黑原料中化合物的化合物指数,x_i^{vapour}为相应的化合物在炭黑原料中的摩尔百分比,P_i^S [Pa]为炭黑原料中相应的化合物i在等离子气体温度T[K]时的蒸气压,根据式(X)计算P_i^S,

[0186] $$P_i^S = P_0 exp\left(-\frac{\Delta_{vap}H_{m,i}}{RT} + \frac{\Delta_{vap}H_{m,i}}{RT_{b,i}}\right) \qquad 式(X)$$

[0187] P_0[Pa]为大气压力,设为101325Pa,$\Delta_{vap}H_{mi}$[J/mol]为炭黑原料中相应的化合物的标准摩尔蒸发焓(例如根据式(I)计算),R[J/mol/K]为通用气体常数,即8.314463J/mol/K,T[K]为系统温度或等离子气体混合物的温度,$T_{b,i}$[K]为炭黑原料中相应的化合物的标准(大气压P_0=101325Pa时)沸点温度,

[0188] $$x_{dilutant} = max\left(1 - \frac{1}{P\sum_{i=1}^{10}\frac{x_{pseudo,i}^{vapour}}{100\,P_{pseudo,i}^S}}, 0\right)\ 100 \qquad 式(XVII)$$

[0189] 其中$x_{dilutant}$为稀释度,P[Pa]为等离子气体混合物的压力,i为炭黑原料的相应的样品,$\sum_{i=1}^{10}$为从i等于1到N的总和,i为炭黑原料的样品的化合物指数,$x_{pseudo,i}^{vapour}$ [Pa]为炭黑原料的相应的样品的摩尔百分比,$P_{pseudo,i}^S$ [Pa]为炭黑原料的相应的样品i在等离子气体温度T[K]下的蒸气压,根据式(XVIII)计算$P_{pseudo,i}^S$,

[0190] $$P_{pseudo,i}^S = P_0 exp\left(-\frac{\Delta_{vap}H_{m,i}}{RT} + \frac{\Delta_{vap}H_{m,i}}{RT_{b,i}}\right) \qquad 式(XVIII)$$

[0191] P_0[Pa]为大气压力,设为101325Pa,$\Delta_{vap}H_{m,i}$[J/mol]为炭黑原料的相应的样品的标准摩尔蒸发焓(例如根据式(XIII)计算),R[J/mol/K]为通用气体常数,即8.314463J/mol/K,T[K]为系统温度或等离子气体混合物的温度,$T_{b,i}$[K]为炭黑原料的相应的样品的标

准(大气压P_0=101325Pa时)沸点温度,

[0192] 优选地,等离子气体的摩尔百分比在大于$x_{dilutant}$至($x_{dilutant}$+20摩尔%)之间,更优选地,等离子气体的摩尔百分比在($x_{dilutant}$+1摩尔%)至($x_{dilutant}$+15摩尔%)之间,还更优选地,等离子气体的摩尔百分比在($x_{dilutant}$+3摩尔%)至($x_{dilutant}$+12摩尔%)之间,最优选地,等离子气体的摩尔百分比在($x_{dilutant}$+5摩尔%)至($x_{dilutant}$+10摩尔%)之间。等离子气体的摩尔百分比可以至少是(或为)$x_{dilutant}$,更优选地,等离子气体的摩尔百分比至少是($x_{dilutant}$+1摩尔%),更优选地,等离子气体的摩尔百分比至少是($x_{dilutant}$+3摩尔%),最优选地,等离子气体的摩尔百分比至少是($x_{dilutant}$+5摩尔%)。炭黑原料应指具有高于气体温度的临界温度的炭黑原料(即炭黑原料中的化合物)。或者,炭黑原料是指全部炭黑原料(即炭黑原料中的化合物)。

[0193] 因此,可根据式(V)、式(IX)和式(XVII)计算$x_{dilutant}$。可根据式(V)、式(IX)或式(XVII)计算$x_{dilutant}$。可根据式(V)和式(XVII)计算$x_{dilutant}$。可根据式(V)和式(IX)计算$x_{dilutant}$。可根据式(V)或式(XVII)计算$x_{dilutant}$。可根据式(V)或式(IX)计算$x_{dilutant}$。

[0194] 通常希望等离子气体的温度尽可能低,以避免碳黑原料中的C-C键裂解。

[0195] 本发明进一步涉及最低摩尔百分比的等离子气体、具有低于气体温度的临界温度的等离子气体、和/或具有低于气体温度的临界温度的物质(优选具有低于气体温度的临界温度的等离子气体)在用于生产炭黑,优选本发明的反应器,优选利用本发明的方法,以防止在反应器中形成液滴(或在反应器中冷凝)中的用途,其中等离子气体和炭黑原料在使气体经历等离子区之前混合,其中基于包括炭黑原料的等离子气体的总摩尔量,最低摩尔百分比大于$x_{dilutant}$,其中根据式(V)、式(IX)和/或式(XVII)计算$x_{dilutant}$,

[0196] $$x_{dilutant} = max\left(1 - \frac{P_0\, exp\left(-\frac{\Delta_{vap}H_m}{RT} + \frac{\Delta_{vap}H_m}{RT_b}\right)}{P}, 0\right) \quad 100 \qquad 式(V)$$

[0197] 其中$x_{dilutant}$为稀释度,P[Pa]为等离子气体混合物的压力,P_0[Pa]为大气压力,设为101325Pa,$\Delta_{vap}H_m$[J/mol]为炭黑原料的标准摩尔蒸发焓(例如,根据式(I)计算),R[J/mol/K]为通用气体常数,即8.314463J/mol/K,T[K]为系统温度或等离子气体混合物的温度,T_b[K]为炭黑原料的标准(大气压P_0=101325Pa时)沸点温度,

[0198] $$x_{dilutant} = max\left(1 - \frac{1}{P\sum_{i=1}^{N}\frac{x_i^{vapour}}{100\,P_i^S}}, 0\right) \quad 100 \qquad 式(IX)$$

[0199] 其中$x_{dilutant}$为稀释度,P[Pa]为等离子气体混合物的压力,i为炭黑原料中相应的化合物,$\sum_{i=1}^{N}$为从i等于1到N的总和,i为炭黑原料中化合物的化合物指数,x_i^{vapour}为相应的化合物在炭黑原料中的摩尔百分比,P_i^S [Pa]为炭黑原料中相应的化合物i在等离子气体温度T[K]时的蒸气压,根据式(X)计算P_i^S,

[0200] $$P_i^S = P_0 exp\left(-\frac{\Delta_{vap}H_{m,i}}{RT} + \frac{\Delta_{vap}H_{m,i}}{RT_{b,i}}\right) \qquad 式(X)$$

[0201] P_0[Pa]为大气压力,设为101325Pa,$\Delta_{vap}H_{mi}$[J/mol]为炭黑原料中相应的化合物的标准摩尔蒸发焓(例如根据式(I)计算),R[J/mol/K]为通用气体常数,即8.314463J/mol/K,

T[K]为系统温度或等离子气体混合物的温度，$T_{b,i}$[K]为炭黑原料中相应的化合物的标准(大气压P_0＝101325Pa时)沸点温度，

[0202] $$x_{dilutant} = max\left(1 - \frac{1}{P\sum_{i=1}^{10}\frac{x_{pseudo,i}^{vapour}}{100\,P_{pseudo,i}^{S}}}, 0\right)\ 100 \qquad 式(XVII)$$

[0203] 其中$x_{dilutant}$为稀释度，P[Pa]为等离子气体混合物的压力，i为炭黑原料的相应的样品，$\sum_{i=1}^{10}$为从i等于1到N的总和，i为炭黑原料的样品的化合物指数，$x_{pseudo,i}^{vapour}$为炭黑原料的相应的样品的摩尔百分比，$P_{pseudo,i}^{S}$[Pa]为炭黑原料的相应的样品i在等离子气体温度T[K]下的蒸气压，根据式(XVIII)计算$P_{pseudo,i}^{S}$，

[0204] $$P_{pseudo,i}^{S} = P_0 exp\left(-\frac{\Delta_{vap}H_{m,i}}{RT} + \frac{\Delta_{vap}H_{m,i}}{RT_{b,i}}\right) \qquad 式(XVIII)$$

[0205] P_0[Pa]为大气压力，设为101325Pa，$\Delta_{vap}H_{m,i}$[J/mol]为炭黑原料的相应的样品的标准摩尔蒸发焓(例如根据式(XIII)计算)，R[J/mol/K]为通用气体常数，即8.314463J/mol/K，T[K]为系统温度或等离子气体混合物的温度，$T_{b,i}$[K]为炭黑原料的相应的样品的标准(大气压P_0＝101325Pa时)沸点温度，

[0206] 优选地，等离子气体的摩尔百分比在大于$x_{dilutant}$至($x_{dilutant}$+20摩尔％)之间，更优选地，等离子气体的摩尔百分比在($x_{dilutant}$+1摩尔％)至($x_{dilutant}$+15摩尔％)之间，还更优选地，等离子气体的摩尔百分比在($x_{dilutant}$+3摩尔％)至($x_{dilutant}$+12摩尔％)之间，最优选地，等离子气体的摩尔百分比在($x_{dilutant}$+5摩尔％)至($x_{dilutant}$+10摩尔％)之间。

[0207] 括号中的表达式例如($x_{dilutant}$+20摩尔％)或($x_{dilutant}$+xx摩尔％)是指$x_{dilutant}$加上额外的摩尔百分比，例如20摩尔％。因此，括号中的表达式可以不加括号。

[0208] 还可以提供一种下述的方法：所述方法自动连续地将用于生产炭黑的等离子气体、具有低于气体温度的临界温度的等离子气体、和/或具有低于气体温度的临界温度的物质的摩尔百分比调整到防止在上述反应器中形成液滴所需的最低摩尔百分比。

[0209] 此外，本发明还涉及至少两个用于炭黑原料的注入装置在用于生产炭黑的反应器(优选为根据本发明的反应器)中防止在反应器中形成液滴(或在反应器中冷凝)的用途，该反应器具有沿反应器中心纵轴的流动通道，其中该反应器包括：(A)反应室，(B)用于提供炭黑原料的注入装置，和(C)在反应室中产生等离子体从而形成等离子区的装置，其中，(i)用于提供炭黑原料的注入装置位于等离子区的上游，(ii)用于提供炭黑原料的注入装置位于等离子区，但优选位于产生等离子体的区域之后，和/或(iii)用于提供炭黑原料的注入装置位于等离子区的下游，优选位于等离子区的紧邻的后方。

[0210] 至少两个注入装置应为：(i)位于等离子区上游的用于提供炭黑原料的注入装置；(ii)位于等离子区的用于提供炭黑原料的注入装置，但优选位于产生等离子体的区域之后。

[0211] 等离子区内的压力和/或等离子区内的等离子气体的压力为0.1-1.3巴，例如0.1-1.2巴、0.1-1.1巴、0.1-1巴、0.2-1巴、0.2至小于1巴、0.1-0.5巴、0.2-0.9巴、0.3-0.8巴、或

0.3-0.5巴,其中等离子区上游的压力和/或等离子区上游的等离子气体压力优选高于等离子区内的压力和/或等离子区内的等离子气体压力。在低于0.3巴的压力下,乙炔很可能作为生产炭黑的中间体被获得。乙炔对生成的炭黑有影响,因此希望等离子区的压力和/或等离子区内等离子气体的压力低于0.3巴或高于0.3巴。在等离子辅助生产中,形成炭黑的反应时间非常短。降低压力有利于使生产出的炭黑具有均匀的特性。

[0212] 等离子区上游的压力和/或等离子区上游的等离子气体的压力可以为0.1-3巴,例如0.2-2.6巴、0.5-2.5巴、0.9-2.2巴、1-2巴、1.5-2巴、1.6-3巴、1-1.5巴或1.1-1.4巴,其中等离子区上游的压力和/或等离子区上游的等离子气体压力优选高于等离子区内的压力和/或等离子区内的等离子气体压力。

[0213] 可以使用泵或拉瓦尔喷嘴简单地降低反应室内的压力。反应室可以设计成拉瓦尔喷嘴,以使气体在拉瓦尔喷嘴的狭窄部分之前以低于1Ma的速度流动,在拉瓦尔喷嘴的狭窄部分以1Ma的速度流动,在拉瓦尔喷嘴的狭窄部分之后以大于1Ma的速度流动,其中等离子体在拉瓦尔喷嘴的狭窄部分产生。反应室可以设计为拉瓦尔喷嘴,其中等离子体在拉瓦尔喷嘴的狭窄部分产生。

[0214] 可将反应室设计成拉瓦尔喷嘴,以使气流在拉瓦尔喷嘴的狭窄部分之前的速度低于1Ma,在拉瓦尔喷嘴的狭窄部分的速度低于1Ma,在拉瓦尔喷嘴的狭窄部分之后的速度低于1Ma,其中等离子体在拉瓦尔喷嘴的狭窄部分产生,狭窄部分的气流速度比狭窄部分之前的气流速度高,狭窄部分之后的气流速度比狭窄部分的气流速度高。

[0215] 为确保等离子气体和原料的均匀混合,需要为等离子气体提供涡旋(swirl)。此外,涡旋还可同时用于稳定等离子体。因此,在使气体经历等离子区之前,可以对等离子气体进行涡旋化(swired),优选地,等离子气体的涡旋数在0.2-1.2之间,优选为0.3-0.8,更优选为0.5-0.7,还更优选为0.55-0.65。一般来说,涡旋强度是气体角动量的量度。其特征是涡旋数S,定义为角动量的轴向通量与轴动量的轴向通量之比(Gupta et al.,1984)。

[0216] 可使用涡旋元件引入涡旋。涡旋元件可以包括叶片,以产生涡旋,或者将等离子气体和/或炭黑原料切向注入,例如一个或多个切向入口。对于等离子气体和/或炭黑原料的切向注入,希望在筒状导管中进行,尤其是在与反应室相连的筒状导管中进行。尤其优选的是,在等离子区的上游引入涡旋。

[0217] 等离子体可以是响应于通过微波能进行的等离子气体的激发而产生,从而产生等离子区,其中微波辐射以垂直于反应器的中心纵轴或等离子气体的流动方向施加,和/或微波辐射以径向和周向于反应器的中心纵轴或等离子气体的流动方向施加。希望垂直微波辐射从一个方向施加。

[0218] 也可以注入H_2O,和/或可以在等离子区之后(下游)向产物混合物中注入二氧化硅。优选是在等离子区的上游注入H_2O。H_2O和/或二氧化硅可以调整生产出的炭黑的表面特性。

[0219] 等离子区的温度可在1200-5000K之间,例如1300-4000K、1300-3000K、1400-3500K、1300-2500K、1300-2000K、1300-1800K或1500-3000K。

[0220] 炭黑原料可以是任何适合生产炭黑的原料。例如,炭黑原料优选为在23℃和1atm的条件下为液体。炭黑原料可以包括非芳香族原料、芳香族原料、脂肪族原料、脂肪族油、可持续原料、可再生炭黑原料和/或生物基原料。所述原料是指第一炭黑原料和/或第二炭黑

原料。

[0221] 可持续炭黑原料(即用于炭黑的原料),例如脂肪族油、可再生炭黑原料和生物质基原料,具有较高的脂肪族C-C键含量和较低的芳香族C-C键含量。脂肪族C-C键与C-H键或芳香族C-C键相比而言较弱。因此,主要是可持续炭黑原料中的C-C键被破坏,其中优选C-H键的断裂(scission)以获得用于形成炭黑的不饱和物质。

[0222] 炭黑原料(即用于炭黑的原料)可以是或可以包括非芳香族原料、芳香族原料、脂肪族原料、脂肪族油、可持续原料、可再生炭黑原料和/或生物基原料。因此,炭黑原料并不局限于可再生炭黑原料、可持续原料和/或生物基原料。

[0223] 优选地,基于炭黑原料的总重量,脂肪族原料包括高含量的脂肪族物质,例如20-100重量%,例如40-100重量%、50-99重量%、60-95重量%、或80-90重量%的炭黑原料来自脂肪族原料。如上所述,可持续原料、可再生炭黑原料和/或生物基原料通常包括高含量的脂肪族原料。

[0224] 可持续炭黑原料是指脂肪族C-C键含量通常较高,芳香族C-C键含量优选较低的原料。可持续炭黑原料可包括脂肪族油、可再生炭黑原料和生物质基原料。生物质基原料、可持续炭黑和/或可再生炭黑原料可通过测量原料中的C14含量(放射性碳年代测定法)与化石基原料区分开来。与生物质基原料相比,化石基原料中C14原子的相比于C12的相对量(C14与C12的比值)较低。

[0225] 优选地,炭黑原料是可再生炭黑原料。可再生炭黑原料可包括植物基原料,优选是非食用植物基原料和/或废弃植物基原料。本文所用术语"非食用"是指不适合人类食用的物质。术语"废弃物"是指不适合或不再用于预期目的而被丢弃或处理的物质,例如,在使用之后。就食用油(即烹调油)而言,使用过的烹调油被视为废弃物。

[0226] 可再生炭黑原料可包括固体成分和/或液体成分。优选地,可再生炭黑原料包括液体成分。

[0227] 可再生炭黑原料优选包括植物基油,更优选非食用植物基油和/或废弃植物基油。

[0228] 根据本发明,可再生炭黑原料可包括木材、草、纤维素、半纤维素、木质素、包含天然橡胶和/或从可再生来源材料中获得的合成橡胶的废料、黑液、妥尔油(tall oil)、橡胶籽油、烟草籽油、蓖麻油、卡兰贾树油(pongamia oil)、海甘蓝油(crambe oil)、印楝油(neem oil)、杏仁油(apricot kernel oil)、米糠油、腰果壳油、油莎豆油(cyperus esculentus oil)、烹饪油、来自生物柴油工厂的蒸馏残渣或上述任何物质的混合物或组合。

[0229] 本文所用术语“木材”是指树木和其他木本植物的茎和根中的多孔和纤维结构组织。木材的合适实例包括但不限于松树、云杉、落叶松、杜松、白蜡树(ash)、角树(hornbeam)、桦树、桤木、山毛榉、橡树、松树、栗树、桑树或它们的混合物。草的合适实例包括但不限于谷类草,例如玉米、小麦、大米、大麦或小米;竹子和天然草地的草以及草坪和牧场中栽培的物种。木质素的合适实例可包括但不限于通过硫酸盐制浆法(Kraft process)和木质素磺酸盐去除的木质素。包含天然橡胶和/或可再生来源材料中获得的合成橡胶的废料可以是轮胎、电缆护套、管子、传送带、鞋底、软管或它们的混合物。天然橡胶可来自橡胶树(Helvea brasiliensis)、银胶菊和蒲公英。合成橡胶可包括丁苯橡胶,例如乳液丁苯橡胶(ESBR)和溶液丁苯橡胶(SSBR)、聚丁二烯、聚异戊二烯、三元乙丙橡胶(EPDM)、乙丙橡

胶(EPM)、丁基橡胶、卤化丁基橡胶、氯化聚乙烯、氯磺化聚乙烯、丁腈橡胶、氢化丁腈橡胶、聚氯丁烯(polychloroprene)、丙烯酸酯橡胶、乙烯-乙酸乙烯酯橡胶(ethylene-vinylacetate rubber)、乙烯-丙烯酸橡胶、环氧氯丙烷橡胶(epichlorohydrin rubber)、硅橡胶、氟硅橡胶、氟碳橡胶或上述任何橡胶的混合物或组合。合成橡胶(例如聚丁二烯)可由通过植物生物质发酵获得的酒精(alcohol)生产。EP2868697A1中描述了通过发酵获得的酒精的适当制备以及由此酒精制备聚丁二烯。

[0230] 本文所用术语“烹饪油”是指用于烹制食物的食用油,例如煎炸、烘烤和其他类型的烹饪。根据本发明,烹饪油可包括米糠油、菜籽油(rapeseed oil)、亚麻籽油、棕榈油、椰子油、芥花油(canola oil)、大豆油、葵花籽油、棉籽油、松籽油、橄榄油、玉米油、葡萄籽油、红花油、巴西莓棕榈油、胡麻油(jambúoil)、芝麻油、奇异籽油、大麻油、紫苏油、花生油、梓油(stillingia oil)、腰果油、巴西坚果油、夏威夷果油、核桃油、杏仁油、榛子油、山毛榉坚果油(beechnut oil)、烛果油(candlenut oil)、栗子油或上述任何油的混合物或组合。本发明的烹饪油可以是使用过的烹饪油。如本文所用,术语“使用过的烹饪油”是指来自商业或工业食品加工操作(例如餐馆)的油,这种油曾用于食品制备,例如烹饪或油炸。

[0231] 固体成分可选自但不限于木材、草、纤维素、半纤维素、木质素、包括天然橡胶和/或从可再生来源材料中获得的合成橡胶的废料或上述任何物质的混合物或组合。

[0232] 液体成分可选自但不限于黑液、妥尔油、橡胶籽油、烟草籽油、蓖麻油、卡兰贾树油、海甘蓝油、印楝油、杏仁油、米糠油、腰果壳油、油莎豆油、烹饪油、来自生物柴油工厂的蒸馏残渣或上述任何物质的混合物或组合。有些油在室温下,例如在25℃的温度下,可能是固态的,但在高温下,例如在25℃以上的温度下,例如在25-100℃的温度范围内,可能是液态的。本文使用的术语“黑液”是指硫酸盐制浆法(Kraft process)的副产品,其来自制造纤维素纸浆的硫酸盐和苏打制浆工艺。

[0233] 非食用植物基原料可包括但不限于木材、纤维素、半纤维素、木质素、黑液、妥尔油、橡胶籽油、烟草籽油、蓖麻油、卡兰贾树油、海甘蓝油、印楝油、杏仁油、米糠油、腰果壳油、油莎豆油、来自生物柴油工厂的蒸馏残渣、包含天然橡胶和/或可再生来源材料中获得的合成橡胶的废料或上述任何物质的混合物或组合。

[0234] 废弃植物基原料可包括但不限于包含天然橡胶和/或从可再生来源材料中获得的合成橡胶的废料、使用过的烹饪油或上述任何物质的混合物或组合。

[0235] 炭黑原料可包括妥尔油。除非另有说明,术语“妥尔油”和“粗妥尔油”可在本说明书中互换使用。妥尔油来源于木材的化学制浆。通常,妥尔油是包含树脂酸、脂肪酸、甾醇、醇和进一步的烷基烃衍生物的混合物。妥尔油可以是天然的未精炼产品或精炼产品。精炼妥尔油可包括妥尔油脂肪酸、妥尔油脂松香、蒸馏妥尔油和妥尔油沥青。妥尔油可以通过蒸馏以获得树脂酸含量超过10重量%的妥尔油树脂酸。妥尔油还可以精炼成妥尔油脂肪酸,其中的树脂酸含量通常低于10重量%。妥尔油的合适实例包括但不限于SYLFAT™产品、SYLVATAL™产品、SYLVABLEND™产品和SYLVAROS™产品(均可从美国的科腾公司(Kraton Corporation)获得),以及妥尔油产品,例如可从UCY Energy(德国)获得的粗妥尔油和妥尔油1。

[0236] 炭黑原料(即用于炭黑的原料)尤其可以包括妥尔油沥青。妥尔油沥青是通过蒸馏妥尔油来精炼得到的非挥发性残留物,并可与妥尔油精炼前混合。在精炼过程中,妥尔油沥

青的产量约为15-50重量%,具体取决于妥尔油的质量和成分。妥尔油沥青通常包括中性物质、游离酸(包括树脂酸和脂肪酸)、脂肪酸酯、结合和游离甾醇以及聚合物。此外,妥尔油沥青中还可发现金属、金属阳离子、无机和有机化合物,包括金属树脂酸和脂肪酸盐。所述金属阳离子通常来自木材和肥料。妥尔油沥青的合适实例包括但不限于SYLVABLEND™产品,例如均可从科腾公司(美国)获得的SYLVABLEND FA7002、SYLVABLEND PF 40、SYLVABLEND PF 60和SYLVABLEND SF75,以及可从UCY Energy(德国)获得的妥尔油1、UCY-TOF40和UCY-TOF60。

[0237] 根据本发明,炭黑原料(即用于炭黑的原料)可以是可再生炭黑原料和常规炭黑原料的混合物。常规炭黑原料可以是脂肪族或芳香族、饱和或不饱和碳氢化合物或它们的混合物、煤焦油馏分、石油馏分催化裂化过程中产生的残油、通过石脑油或天然气裂化生产烯烃过程中产生的残油、天然气或上述任何物质的混合物或组合。因此,炭黑原料并不局限于特定的原料物质。炭黑原料可以是液体、固体或气体。炭黑原料优选是液体或气体。本文中的液体是指原料在标准温度和常压(T=296.15K和P 101325Pa)下呈液态。例如,气态炭黑原料可以是脂肪族原料,例如甲烷、乙烷、乙炔、乙烯、乙烷、丙炔、丙烷、丙烯、丁二烯、丁烷、戊烷或它们的混合物。

[0238] 本发明的炭黑原料(即用于炭黑的原料)可以以大于或等于基于炭黑原料总重量的10重量%的量包含可再生炭黑原料。例如,根据本发明的炭黑原料可以以大于或等于15重量%、或大于或等于20重量%、或大于或等于25重量%、或大于或等于30重量%、或大于或等于35重量%、或大于或等于40重量%、或大于或等于45重量%、或大于或等于50重量%、或大于或等于55重量%、或大于或等于60重量%、或大于或等于65重量%、或大于或等于70重量%、或大于或等于75重量%、或大于或等于80重量%、或大于或等于85重量%、或大于或等于90重量%、或大于或等于95重量%的量包含可再生炭黑原料,重量百分比基于炭黑原料的总重量。炭黑原料可以以大于或等于10重量%,优选大于或等于15重量%,特别优选大于或等于25重量%,更优选大于或等于50重量%,还更优选大于或等于85重量%,最优选大于或等于99重量%的量包含可再生炭黑原料,重量百分比基于炭黑原料的总重量。炭黑原料可以由可再生炭黑原料组成。

[0239] 本发明的炭黑原料(即用于炭黑的原料)可以以大于或等于5重量%,例如大于或等于10重量%、或大于或等于15重量%、或大于或等于20重量%、或大于或等于25重量%、或大于或等于30重量%、或大于或等于35重量%、或大于或等于40重量%、或大于或等于45重量%、或大于或等于50重量%、或大于或等于55重量%、或大于或等于60重量%、或大于或等于65重量%、或大于或等于70重量%、或大于或等于75重量%、或大于或等于80重量%、或大于或等于85重量%、或大于或等于90重量%、或大于或等于95重量%的量包含妥尔油沥青,重量百分比基于炭黑原料的总重量。炭黑原料可以以大于或等于10重量%,优选大于或等于15重量%,特别优选大于或等于25重量%,更优选大于或等于50重量%,还更优选大于或等于85重量%,最优选大于或等于95重量%的量包含妥尔油沥青,重量百分比基于炭黑原料的总重量。炭黑原料可以由妥尔油沥青组成。

[0240] 本发明的可再生炭黑原料可以以大于或等于5重量%,例如大于或等于10重量%、或大于或等于15重量%、或大于或等于20重量%、或大于或等于25重量%、或大于或等于30重量%、或大于或等于35重量%、或大于或等于40重量%、或大于或等于45重量%、或大于

或等于50重量％、或大于或等于55重量％、或大于或等于60重量％、或大于或等于65重量％、或大于或等于70重量％、或大于或等于75重量％、或大于或等于80重量％、或大于或等于85重量％、或大于或等于90重量％、或大于或等于95重量％的量包含妥尔油沥青，重量百分比基于可再生炭黑原料的总重量。可再生炭黑原料可以以大于或等于10重量％，优选大于或等于15重量％，特别优选大于或等于25重量％，更优选大于或等于50重量％，还更优选大于或等于85重量％，最优选大于或等于95重量％的量包含妥尔油沥青，重量百分比基于可再生炭黑原料的总重量。可再生炭黑原料可以由妥尔油沥青组成。

[0241] 根据ASTM D6866-20方法B(AMS)测定，本发明的炭黑的pMC(现代碳的百分比)可以为1％以上，例如2％以上、或5％以上、或7％或以上、或10％以上、或12％以上、或15％以上、或17％以上、或20％以上、或22％以上、或25％以上、或27％以上、或30％以上、或32％以上、或35％以上、或37％或以上、或40％以上、或42％以上、或45％以上、或47％以上、或50％以上、或52％以上、或55％以上、或57％以上、或60％以上、或62％以上、或65％以上、或67％以上、或70％以上、或72％以上、或75％以上、或77％以上、或80％以上、或82％以上、或85％以上、或87％以上、或90％以上、或92％以上、或95％以上、或97％以上、或99％以上。对每个样品计算$^{14}C/^{12}C$的比率，并与草酸II标准(NIST-4990C)的测量值进行比较。测量值(pMC)通过使用同位素比质谱仪(IRMS)测量的d13C进行校正。根据ASTM D6866-20方法B(AMS)测定，本发明的炭黑的pMC(现代碳的百分比)可以为5％以上，优选为10％以上，特别优选为15％以上，更优选为50％以上，还更优选为85％以上，最优选为90％以上。根据ASTM D6866-20方法B(AMS)测定，本发明的炭黑的pMC(现代碳的百分比)可以为100％。

[0242] 一般来说，60-100重量％，优选90-100重量％，更优选97-100重量％，更优选99-100重量％，最优选99.9-100重量％的炭黑原料包括含有至少5个碳原子的化合物。也可以是全部炭黑原料包括含有至少5个碳原子的化合物。

[0243] 炭黑原料可以来自生物甲烷。炭黑原料优选包括45-75体积％的甲烷、25-55体积％的CO_2、0-10体积％的H_2O、0.01-5体积％的N_2、0.01-2体积％的O_2、0-1体积％的H_2。

[0244] 如上所述，等离子气体可以包括氢气和/或水，或可以是氢气和/或水，或者等离子气体包括炭黑原料，或可以是炭黑原料。优选，等离子气体包括氢气，或为氢气，并由炭黑原料热解产生。

[0245] 氢气作为等离子气体可增加H自由基和/或H^+离子的水平，从而提高炭黑的产量。与C-H键或芳香族C-C键相比，脂肪族C-C键较弱。因此，主要是C-C键被破坏，其中优选C-H键的断裂以获得用于形成炭黑的不饱和物质。高水平的H自由基和/或H^+离子可以通过使用氢气作为等离子气体的双分子或三分子反应加速C-H键的断裂。这可以实现碳黑的更高的产量和均匀的特性。这对可持续炭黑材料特别有用。

[0246] 该方法还包括分离产物混合物中的炭黑和H_2，和/或提供分离出的H_2作为等离子体供气(plasma supply gas)。重复利用产生的H_2可实现环保工艺。此外，还可以从产物混合物中分离出CO、CO_2和H_2O。

[0247] 等离子体供气或热等离子体供气不应通过燃料燃烧而被加热。因此，可以减少二氧化碳的排放。预热优选只使用电力和/或炭黑生产或其他工艺产生的废热。

[0248] 所制备的炭黑的(a)根据ASTM D6556-17测定的STSA表面积可以为40-140m^2/g，优选为60-130m^2/g，更优选为65-120m^2/g，根据ASTM D2414-18测定的吸油值(OAN)可以为40-

200mL/100g,优选为60-180mL/100g,更优选为80-160mL/100g,(b)根据ASTM D6556-17测定的STSA表面积可以为40-120m^2/g,优选为50-100m^2/g,更优选为65-90m^2/g,根据ASTM D2414-18测定的吸油值(OAN)可以为40-180mL/100g,优选为50-160mL/100g,更优选为70-150mL/100g,(c)根据ASTM D6556-17测定的STSA表面积可以为200-600m^2/g,优选为250-500m^2/g,更优选为300-450m^2/g,根据ASTM D2414-18测定的吸油值(OAN)可以为50-150mL/100g,优选为60-120mL/100g,更优选为70-100mL/100g,和/或(d)根据ASTM D6556-17测定的STSA表面积可以为140-210m^2/g,优选为150-200m^2/g,更优选为160-190m^2/g,根据ASTM D2414-18测定的吸油值(OAN)可以为100-200mL/100g,优选为110-170mL/100g,更优选为120-160mL/100g。

[0249] 等离子气体流量(优选为氢气流量)可以为10Nm^3/h至10000Nm^3/h,例如20Nm^3/h至5000Nm^3/h、30Nm^3/h至2000Nm^3/h、40Nm^3/h至1000Nm^3/h、或50Nm^3/h至500Nm^3/h。气体流量优选为40Nm^3/h至1000Nm^3/h,最优选为50Nm^3/h至500Nm^3/h。所需的流量对等离子区有影响。等离子区是指存在等离子体的区域。如果使用微波等离子体,可以通过减少气体流量来扩大等离子区。同样,等离子体也可以通过等离子体发生器的功率来调节。

[0250] 此外,还提供了一种用于生产炭黑的反应器,该反应器具有沿反应器的中心纵轴的流动通道,该反应器包括:(A)反应室,(B)用于提供炭黑原料的注入装置,以及(C)在反应室中产生等离子体从而形成等离子区的装置,其中(i)用于提供炭黑原料的注入装置位于等离子区的上游,(ii)用于提供炭黑原料的注入装置位于等离子区,但优选位于产生等离子体的区域之后,和/或(iii)用于提供炭黑原料的注入装置位于等离子区的下游,优选位于等离子区的紧邻的后方。

[0251] 如该方法所述,反应器可包括一个或多个原料注入装置。优选地,至少一个注入装置位于等离子区上游,并且一个注入装置位于反应区下游。

[0252] 反应室优选设计成拉瓦尔喷嘴,包括在其中产生等离子体的狭窄部分。使用拉瓦尔喷嘴的优点在于可以降低压力,以在精确的位置生产炭黑。反应室也可以是筒状导管。

[0253] 产生等离子体的装置是电弧等离子体发生器、微波等离子体发生器、电晕放电等离子体发生器或介质阻挡放电(DBD)等离子体发生器,或射频(RF)等离子体发生器,优选为微波等离子体发生器。等离子体发生器通常位于反应室外侧。RF等离子体发生器和微波等离子体发生器通常位于反应室外侧。等离子体的类型以及等离子体发生器并不局限于特定的类型。

[0254] 产生等离子体的装置优选为微波等离子体发生器。微波等离子体发生器应包括磁控管和一个共振器(resonator)。此外,微波等离子体发生器还可以包括磁控管、环行器、耦合器、调谐器、波导(例如锥形波导)和共振器。微波等离子体发生器可以包括周向连接到反应室上的环形共振器。

[0255] 微波等离子体发生器可包括波导和共振器,以使微波能量相对于反应室的中心纵轴垂直地施加于等离子气体。

[0256] 用于提供炭黑原料的注入装置应位于等离子区的上游,并且为与反应器的中心纵轴同轴布置的原料喷枪。用于提供炭黑原料的注入装置可以位于等离子区的上游,并且为与反应器中心纵轴同轴布置的原料喷枪,用于提供炭黑原料的注入装置位于等离子区,但优选位于产生等离子体的区域之后。

[0257] 反应室的内衬包含氧化铝,优选地,等离子区的区域的反应室内衬包含氧化铝,优选90-100重量%的氧化铝,更优选95-100重量%的氧化铝,最优选98-100重量%的氧化铝。氧化铝可以耐高温,因此可以在高温下生产炭黑。

[0258] 反应器可进一步包括一个可使等离子气体旋转的涡旋元件,其中涡旋元件连接在反应室的上游。涡旋元件可以包括叶片,以引起等离子气体的涡旋,或可以包括注入装置,以允许炭黑原料或等离子气体的切向注入。优选地,涡旋元件存在于筒状导管中。

[0259] 反应器可进一步包括连接到反应室的上游或涡旋元件的上游的导流装置,其中导流装置能够接收等离子气体并引起等离子气体平行于反应器/反应室的中心纵轴流动。导流装置可以包括在壁上有开口的圆柱体,这些开口与反应器的中心纵轴基本垂直,优选为垂直,圆柱体与筒状导管相连,并沿着反应器的中心纵轴定位。

[0260] 原料注入装置应为原料喷枪,并通过筒状导管延伸,导管内表面和原料喷枪外表面之间的间隙限定了用于等离子气体的通道,其中原料喷枪优选沿反应器的中心纵轴布置,或其中注入装置为喷枪,并通过筒状导管延伸,导管内表面和喷管外表面之间的间隙限定了用于等离子气体的通道,其中喷枪优选沿反应器的中心纵轴布置。

[0261] 一般来说,反应器还包括第一涡旋元件和第二涡旋元件,其中第一涡旋元件布置在更靠近反应室的位置。涡旋元件各自应包括至少一个叶片,优选多个叶片,其中多个叶片优选相对于反应器的中心纵轴旋转对称地布置。

[0262] 如果叶片沿流动方向的斜度(pitch)连续减小,气体将以右旋方式旋转。特别优选的是,涡旋元件的所有叶片具有增大的斜度或减小的斜度。一般来说,每个涡旋元件的所有叶片具有增大的斜度或减小的斜度,以使气体的旋转向左或向右。连续增大/减小的斜度可进一步避免气流中断。

[0263] 涡旋元件各自独立包括至少一个叶片,优选多个叶片,其中至少一个叶片优选相对于反应器的中心纵轴倾斜,优选以10-70°,更优选以15-60°,更优选以25-55°,最优选以25-50°的角度倾斜。

[0264] 至少一个叶片应在包含反应器的中心纵轴和相应的横截轴(respective transversal axis)的平面内相对于反应器的中心纵轴倾斜,其中相应的横截轴与反应器的中心纵轴垂直,并与相应的横轴垂直,其中,相应的横轴与反应器的中心纵轴垂直,并沿相应的叶片的宽度方向延伸,其中,优选地,叶片在上述平面内相对于反应器的中心纵轴以10-70°,优选以15-60°,更优选以25-55°,最优选以25-50°的角度倾斜。

[0265] 叶片相对于筒状导管和反应器的中心纵轴的倾斜的另一种定义是,叶片的长度轴线平行于反应器的中心纵轴,而且,特定的叶片绕相应叶片的相应中心横轴旋转上述定义的角度。简单叶片的一个实例是板(plate)或矩形板,例如金属板。该矩形板可按上述角度被旋转,例如第一角度和/或第二角度。

[0266] 提供两个系列的叶片,即两个串联排列的涡旋元件,其优点在于可以逐步诱导等离子气体的涡旋,以使不会发生流体脱离(detachment)。

[0267] 上述每个涡旋元件(或叶片)通常连接到筒状导管的内表面或原料注入装置(例如原料喷枪)的外表面。因此,取决于具体的连接方式,涡旋元件(或叶片)与筒状导管的内表面或原料注入装置的外表面之间会形成间隙。优选地,间隙较小,以使大部分气体必须通过涡旋元件,从而提供涡旋的气体,并进一步提高技术效果。此外,将涡旋元件(或叶片)固定

在筒状导管的内表面尤其有利,因为这样可以防止气体倒流。将涡旋元件(或叶片)附接(attachment)在原料注入装置的外表面提供了一种有利的简单构造。

[0268] 至少一个叶片面向气流的一侧可以具有恒定的斜度,和/或在包含反应器的中心纵轴和相应的横截轴的平面内,相对于反应器的中心纵轴沿气流方向具有连续增大/减小的斜度,其中相应的横截轴与反应器的中心纵轴垂直,并与相应的横轴垂直,其中相应的横轴与反应器的中心纵轴垂直,并沿相应的叶片的宽度方向延伸。

[0269] 至少一个涡旋元件可以包括一个沿反应器的中心纵轴形成连续螺纹(continuous thread)的叶片,优选地,所述叶片具有2-10个绕组(winding),例如2-5个绕组,优选地,连续螺纹具有不同的螺距(pitch),即第一螺距和第二螺距,其中第二螺距大于第一螺距,和/或连续螺纹的螺距恒定,和/或连续螺纹的螺距连续增大/减小。

[0270] 至少一个叶片应具有平面或曲面形状或其组合,和/或其中至少一个叶片具有沿流动方向连续增大/减小的斜度(pitch)。

[0271] 第一涡旋元件可以具有至少一个叶片,其在包含反应器的中心纵轴和相应的横截轴的平面内,相对于反应器的中心纵轴以第一角度倾斜,其中第二涡旋元件具有至少一个叶片,其在包含反应器的中心纵轴和相应的横截轴的平面内,相对于反应器的中心纵轴以第二角度倾斜,其中相应的横截轴与反应器的中心纵轴垂直,并与相应的横轴垂直,其中相应的横轴与反应器的中心纵轴垂直,并沿相应的叶片的宽度方向延伸,其中第一角度大于第二角度,优选第一角度在15-70°之间,例如20-60°、30-55°、35-60°、35-55°或40-50°,和/或第二角度在10-60°之间,例如10-55°、15-50°、20-45°、20-40°或25-35°,和/或其中第一角度与第二角度相差至少5-40°,例如5-30°、8-25°、5-20°或10-20°。

[0272] 至少一个或多个涡旋元件应固定(affixed)在或整体形成在筒状导管的内表面和/或原料喷枪的外表面上,其中至少一个或多个涡旋元件优选可更换地固定在筒状导管的内表面和/或原料喷枪的外表面上。

[0273] 筒状导管还可以包括相对于流动方向位于涡旋元件的前方的流入漏斗,其中流入漏斗的直径优选沿流动方向连续减小,流入漏斗的最大直径与最小直径之比优选为大于1-3,例如1.1-2或1.5-2。

[0274] 喷枪在导管中心注入原料的优点在于原料不与管壁接触。如果导管的温度低于气体温度,则可减少冷凝的可能性。

[0275] 原料注入装置可包括至少一个注入口和/或至少一个喷嘴,其中至少一个注入口和/或至少一个喷嘴与反应器的中心纵轴基本垂直布置,和/或与反应器的中心纵轴以70-90°,例如75-89°、80-88°的角度布置。

[0276] 反应器应进一步包括位于反应室之后和下游的淬火室,优选地,所述淬火室包括用于将淬火介质沿反应器的中心纵轴注入流动通道或使用热交换器降低温度的装置。

[0277] 炭黑可以通过简单的固体分离从气体中分离出来。

[0278] 此外,根据本发明的方法,优选使用本发明的反应器来生产炭黑。

[0279] 现在将参照附图对本发明进行描述,附图并不限制本发明的范围和范畴。所提供的描述仅仅是通过举例和说明的方式。然而,图中举例说明的具体特征可用于进一步限制本发明和权利要求的范围。

[0280] 本发明的反应器在图1中一般用数字(100)表示。图1中的反应器(100)包括产生等

离子体(004)的腔室(002)。图1中的等离子体发生器是微波等离子体发生器(003),其中微波辐射以垂直于反应器的中心纵轴(101)的方式被引入腔室(002)。提供等离子体的方式不受限制。例如,等离子体可以是射频等离子体、电弧等离子体和微波等离子体。此外,微波辐射可以垂直于反应器的中心纵轴提供。因此,用于在反应器(100)中提供等离子体(004)的微波辐射可以从一个方向提供,或可以使用环形共振器,以使微波辐射沿圆周方向进入反应室(002)。

[0281] 微波辐射提供的等离子体(004)存在于反应室(002)中,不会接触到反应器(100)的耐火衬里(005)。在图1中,反应室(002)被设计成拉瓦尔喷嘴。拉瓦尔喷嘴是一个管子(tube),中间被挤压成不对称的沙漏形状。它用于通过将流体的热能转化为动能,将等离子气体在轴向加速到超音速。然而,反应室的形状并不局限于拉瓦尔喷嘴的设计。也可以提供内径恒定的筒状管,或连接锥形部件或不连接锥形部件的不同直径的筒状管。

[0282] 字母A、B、C、D说明了引入炭黑原料(原料)(103)的可能位置。然而,也有可能等离子气体(102)已经包含炭黑原料(103)或就是炭黑原料(103),因此无需再通过A、B、C和D所示额外引入原料(103)。用于引入炭黑原料的位置A可以是沿反应器中心纵轴(101)定位的原料喷枪(A)。因此,所述喷枪(A)位于提供等离子体的装置(例如微波发生器(003))的上游(之前或前面),或等离子体(004)的上游。原料也可以在位置(B)处引入,例如通过喷嘴(或注射喷嘴),该位置也在等离子体(004)的上游。位置(B)的喷嘴垂直于反应器的中心纵轴(101)布置。该位置可以在所绘平面的后面或前面。这样就有机会产生、加速或减少涡旋。然而,位置(B)处的喷嘴可以注入炭黑原料,以诱发或增强涡旋。还希望根据位置(C)将原料直接引入等离子体(004)。因此,引入原料的装置位于提供到反应室(002)的微波辐射的下游和等离子体(004)存在的位置。位置(B)表示原料被引入提供到反应室(002)的微波辐射的上游和等离子体的上游。优选地,在等离子体紧邻的后方的位置D处引入原料。注入可以在所绘平面内垂直于反应器轴线进行,也可以在所绘平面之后或所绘平面之前进行。注入可分为多个注入管。如果等离子气体(102)是涡旋状的,这种设置是尤其优选的。优选不同的位置的组合用于引入原料。例如,在等离子体(004)的上游引入原料(103),在提供到反应室(002)的微波辐射的下游引入第二种原料(103)。例如,在位置(A)处引入第一原料,在位置(C)处引入第二原料。

[0283] 等离子气体(102)和原料(103)在进入反应室(002)之前可以进行预热。预热应使用电力。特别优选的是,等离子气体和/或原料不通过燃料燃烧加热。

[0284] 图1是炭黑生产的反应器的剖面图。希望在反应室(002)的下游存在淬火室。此外,还可以在反应室(002)的上游设置涡旋元件,以为等离子气体(102)引入涡旋。因此,等离子气体的涡旋可以提供稳定和均匀的等离子体,其不会与反应室的内衬接触。注入B可以位于涡旋元件的上游或下游。然而,也可以使用环形共振器等,以使微波辐射沿圆周方向进入反应室(002),使其稳定且不与反应室(002)的内衬接触。

[0285] 涡旋元件可以是任何合适的为等离子气体提供涡旋的装置。下图显示了使用叶片或鳍片来提供所需涡旋的可能元件。

[0286] 需要注意的是,下图中所示的涡旋元件包括原料喷枪。但是,如果不使用原料喷枪提供原料,筒状导管也可以相应地进行调整,如图14所示。

[0287] 参照图2和图3,图中示出了涡旋元件在x-z平面上的剖面图(010)和涡旋元件在x-

y平面上的剖面图(011)。

[0288] 如上所述,涡旋元件可包括沿反应器中心纵轴相对于反应器流动方向倾斜的叶片。图2是附接在筒状导管(110)内侧的原料喷枪(111)上的特定叶片(092)在x-z平面上的视图。另外,如果没有原料喷枪(111),叶片也可以安装在筒状导管的内表面上。原料喷枪(111)的纵轴与反应器的中心纵轴(101)同轴。反应器的中心纵轴(101)代表坐标系中平面的x轴。坐标系为笛卡尔坐标系(Cartesian coordinate system)。坐标系中的z轴和y轴取决于所考虑的特定叶片(092)。z轴是与反应器的中心纵轴(101)垂直且与相应的横轴(091)垂直的相应的横截轴(090)。所考虑的叶片(092)的相应的横轴(091)是坐标系中的y轴(091)。相应的横轴(091)与反应器的中心纵轴(101)垂直,并沿相应的叶片的宽度方向延伸。叶片(094)的宽度和沿所考虑的叶片(094)的宽度方向延伸的y轴(091),如图3所示。如果考虑不同叶片的角度(或位置、排列、旋转和/或倾斜),则坐标系将使用所考虑的叶片的另一个相应的横轴(z轴)(090)和相应的横轴(091)(y轴)。换句话说,y轴和z轴取决于相应的叶片。此外,叶片(095)的长度方向(纵向(longitude))沿流动方向延伸。叶片(093)的高度如图2所示。优选地,x值沿流动方向增大或减小,优选为增大。

[0289] 参见图4、图5、图6和图7,其中示出了包括原料喷枪和涡旋元件的筒状导管的剖面图。涡旋元件可直接连接到图1所示的反应室上。特别地,图4是包括原料喷枪和连接到原料喷枪外表面的涡旋元件(200a)的筒状导管的剖面图。图5是包括流入漏斗、原料喷枪和连接到原料喷枪外表面的涡旋元件(200b)的筒状导管的剖面图。图6是包括原料喷枪和连接到筒状导管内表面的涡旋元件(200c)的筒状导管的剖面图。图7是包括流入漏斗、原料喷枪和连接到筒状导管内表面的涡旋元件(200d)的筒状导管的剖面图。

[0290] 同样,筒状导管包括两个沿反应器的中心纵轴(101)布置的涡旋元件(113a和113b或114a和114b)。如上所述,图4和图5示出了筒状导管(110),其中涡旋元件(113a,113b)连接到原料喷枪(111)。在图6和图7中,涡旋元件(114a,114b)连接到筒状导管(110)的内壁上。在图5和图7中,流入漏斗(150)与筒状导管(110)连接。

[0291] 在这些图中,原料装置以多个注入口(250)的形式围绕原料喷枪的外壁周向布置,以使注入口(250)能以相对于反应器的中心纵轴(101)的基本垂直的方向注入原料。

[0292] 参照图4和图5,第一涡旋元件(113a)的叶片(112a)和第二涡旋元件(113b)的叶片(112b)连接到原料喷枪(111)的外壁上,以使在叶片和筒状导管(210)的内表面之间形成间隙。在图6和图7中,第一涡旋元件(114a)的叶片(112a)和第二涡旋元件(114b)的叶片(112b)连接到原料喷枪(111)的外壁上,以使在叶片与原料喷枪(211)的外表面之间形成间隙。相应的间隙的尺寸应在0mm至10cm的范围内,例如0mm至10cm、0mm至1cm、0mm至5mm、0.1mm至10cm、1mm至1cm、1mm至5mm或1mm至2mm。间隙优选为尽可能小,即0mm,以使大部分等离子气体被涡旋。

[0293] 第一涡旋元件和第二涡旋元件(220)之间的距离可以在0-300cm之间,例如1-300cm、1-200cm、1-100cm、1-70cm、10-90cm、10-60cm、15-40cm。距离可以为0cm。第一涡旋元件与连接到反应室(230)的筒状导管末端之间的距离可以为0-2m,例如0-1.5m、1cm至1.5m、1cm至1m、1cm至60cm、10cm至60cm、15cm至40cm、5cm至30cm或20cm至1m。

[0294] 筒状导管(240)的内径可以选自1cm至3m,如2cm至3m、3cm至3m、2cm至10cm、13cm至1.5m、0.1m至2m、20cm至1m、30cm至1.5m、15cm至60cm或15cm至90cm。筒状导管(240)的内径

对等离子气体的流速有影响,应根据反应器的尺寸进行调整。

[0295] 第一涡旋元件与原料入口(260)之间的距离可在1cm至1.5m之间,例如2cm至1m、10cm至1m、20cm至1m、或30cm至1m。

[0296] 从上述图中可以看出,考虑到上述坐标系,最靠近等离子区(004)的第一涡旋元件(112a)的叶片相对于反应器的中心纵轴(101)倾斜。第一涡旋元件的叶片的长度轴线(291a)与反应器的中心纵轴(101)之间的第一涡旋元件的叶片的第一角度(290a)大于第二涡旋元件的叶片的长度轴线(291b)与反应器的中心纵轴(101)之间的第二涡旋元件的叶片的第二夹角(290b)。应该注意的是,叶片以使得等离子气体从流动方向看是向左旋转的方式定位在原料喷枪(111)上。然而,根据本发明,等离子气体也可以从流动方向看右旋旋转。希望多个涡旋元件在同一方向上产生涡旋。可以通过将叶片(112a、112b)以例如与所述图所示的相同角度朝下,以使叶片的相对侧面朝向等离子气流来简单地获得右旋。然而,希望在同一筒状导管内的所有叶片和涡旋元件都能以相同的旋转方式(如左旋或右旋)产生涡旋。

[0297] 叶片的位置和排列(alignment)也可以用上述坐标系中的函数来描述,其中坐标系中的z轴和y轴取决于所考虑的特定叶片(092)。特别是,相应叶片(092)的相应横轴(091)是坐标系中的y轴(091)。相应横轴(091)与反应器的中心纵轴(101)垂直,并沿相应叶片的宽度方向延伸。z轴是与反应器的中心纵轴(101)垂直并与相应横轴(091)垂直的相应的横轴(090)。在该笛卡尔坐标系中,x轴和z轴考虑到相应的叶片。该笛卡尔坐标系中的原点可以位于叶片表面上的某个位置,该位置与原料喷枪或导管相邻。

[0298] 图1-图7中的叶片除了圆角/边缘外,还具有恒定增大/减小的斜度(constant increasing/decreasing pitch)的区域,因此叶片面向等离子气流的一侧可以用一个函数来描述,例如f(x)=(-)n*x,其中n是斜度,x轴用反应器的中心纵轴(101)表示。式中的符号“(-)”涉及表示斜度减小(decreasing pitch)的另一种负号。因此,负号是可选的。可以用$f(x)=(-)x^m$(或$f(x)=(-)n*x^m$)来描述连续增大/减小的斜度,其中m可以选自大于1到10,例如2-10、1-5、1-3、1.1-5或2-3。在特定点x处的函数的导数揭示了该位置处叶片的斜度。函数可以在x、y和z方向上移动,例如$f(x)=(-)^n*(x+b)^m$,其中函数在x方向上移动。具有恒定斜度或恒定斜度区域的叶片的斜度优选在0.09-10、0.17-6、0.26-6、0.26-3或0.17-1.75的范围内,不带符号(即绝对值)。没有恒定斜度区域,例如斜度不断增加/减少的叶片的最大斜度优选在0.09-10、0.17-6、0.26-6、0.26-3、0.17-2.74、0.26-1.73、0.46-1.42、0.46-1.2或0.17-1.75的范围内,不带符号(即绝对值)。由于定义了最大斜度的绝对值,因此最大斜度描述了连续增大以及减小的斜度。

[0299] 每个涡旋元件(113a和113b或114a和114b)的叶片尺寸可以相同或不同。例如,第一涡旋元件(270)的叶片的长度(095)可以在1cm至3m的范围内,例如5cm至2m、10cm至1m、15cm至1m、20cm至90cm、25cm至1m、30cm至60cm、40cm至1.5m、或35cm至3m。第二涡旋元件(271)的叶片的长度(095)可以在1cm至3m的范围内,例如5cm至2m、10cm至1m、15cm至1m、20cm至90cm、25cm至1m、30cm至60cm、40cm至1.5m、或35cm至3m。第一涡旋元件(280)的叶片的宽度(094)可以在0.24cm至2.9m的范围内,例如1cm至2.5m、9cm至2.5m、10cm至2m、20cm至2m、8cm至1m、12cm至1.4m、0.1m至2m、19cm至1m、30cm至1.5m、14cm至60cm、14cm至59cm、或14cm至89cm。第二涡旋元件(281)叶片的宽度(094)可以在4cm至2.9m的范围内,例如5cm至

2.5m、9cm至2.5m、10cm至2m、20cm至2m、8cm至1m、12cm至1.4m、0.1m至2m、19cm至1m、30cm至1.5m、14cm至60cm、14cm至59cm或14cm至89cm。特别地,如上定义,涡旋元件(280、281)的叶片的宽度(094)应选择为使得至少一个涡旋元件的松脱端(loose end)与筒状导管内表面或原料喷枪外表面(旋流元件没有附着于或整体地形成在其上)之间的角间隙(angular gap)尽可能小,例如不超过0mm至10cm,例如0mm至10cm、0mm至1cm、0mm至5mm、0.1mm至10cm、1mm至1cm、1mm至5mm、或1mm至2mm。希望特定涡旋元件的叶片形状和尺寸相同。根据本发明,两个以上的涡旋元件也是可取的,另外的涡旋元件的叶片尺寸可以从上述尺寸中选择。

[0300] 参见图8、图9和图10,图中示出了涡旋元件的剖面图。特别是,图8是具有两个恒定斜度的区域和平滑的连接的涡旋元件(300a)的剖面图。图9是具有两个恒定斜度的区域和尖锐连接的涡旋元件(300b)的剖面图。图10是具有连续减小的斜度的涡旋元件(300c)的剖面图。箭头表示等离子气体(102)的流动方向。斜度的区域涉及叶片朝向流体(flow)的一侧。

[0301] 图8示出了涡旋元件,其具有具有第一恒定斜度的叶片的第一区域(310)和具有第二恒定斜度的叶片的第二区域(320)。或者,也可以将这两个斜度的区域描述为两个相互连接且间距为0mm的涡旋元件,因此叶片之间不存在间隙。具有第二恒定斜度的叶片的第二区域(320)包括恒定斜度的区域和具有第二恒定斜度的叶片的第二区域的长度轴线(330)。具有第二恒定斜度的第一涡旋元件的叶片的第二区域的长度轴线相对于反应器的中心纵轴的角度(340)可以与上述定义相同,即10-70°,优选为15-60°,更优选为25-55°,最优选为25-50°。具有第二恒定斜度的叶片的第二区域(320)的斜度可以在0.09-10、0.17-6、0.26-6、0.26-3、0.17-2.74、0.26-1.73、0.46-1.42、0.46-1.2或0.17-1.75的范围内,不带符号(即绝对值)。

[0302] 图9与图8的不同之处在于,具有第一恒定斜度的叶片的第一区域(310)和具有第二恒定斜度的叶片的第二区域(320)呈锐角连接。

[0303] 图10所示的涡旋元件(300c)相对于叶片朝向等离子气流的一侧具有连续减小的斜度。考虑到等离子气体(102)的流动方向,斜度不断减小。可以用$f(x)=n*(-x)^2$来描述朝向等离子气体且具有不断减小的斜度的一侧的函数。叶片(331)的最大斜度优选在0.09-10、0.17-6、0.26-6、0.26-3、0.17-2.74、0.26-1.73、0.46-1.42、0.46-1.2或0.17-1.75的范围内,不带符号(即绝对值)。由于定义了最大斜度的绝对值,因此最大斜度描述了连续增大以及连续减小的斜度。需要注意的是,最大斜度和叶片的角度决定了涡旋或旋转的程度。

[0304] 参见图11和图12,图中示出了包含三个具有不同排列方式的涡旋元件的原料喷枪(400a、400b)的剖面图。

[0305] 特别地,上述图揭示了连接在原料喷枪上的涡旋元件的不同的可能配置。显然,这些涡旋元件也可以连接到筒状导管的内壁上。此外,还可以对不同的涡旋元件进行不同的布置。

[0306] 如图11所示,三个涡旋元件是串联布置的。最靠近等离子区(004)的第一个涡旋元件包括具有第一斜度的叶片的第一区域(310a)和具有第二斜度的叶片的第二区域(320a)。位于第一涡旋元件和第三涡旋元件(113c)之间的第二涡旋元件包括具有第一斜度的叶片的第一区域(310b)和具有第二斜度的叶片的第二区域(320b)。第三涡旋元件(113c)包括具有第一斜度的叶片的第一区域(310c)和具有第二斜度的叶片的第二区域(320c)。具有第二

斜度的相应叶片的第二区域的各长度轴线(330a、330b和330c)与反应器的中心纵轴(101)之间的夹角(340a、340b和340c)沿流动方向依次增大,因此涡旋程度也依次增大。

[0307] 在图12中,原料喷枪上附设了三种不同类型的涡旋元件。第一个涡旋元件包括具有连续增大的斜度(311)的叶片,且最大斜度(331)在叶片的末端。第二涡旋元件(112b)具有恒定斜度,并且相对于第二涡旋元件叶片的长度轴线(291b)和反应器的中心纵轴(101)倾斜特定角度(290b)。第三涡旋元件包括具有第一斜度的叶片的第一区域(310c)和具有第二斜度的叶片的第二区域(320c)。同样,斜度和/或角度沿流动方向依次增大。

[0308] 图13示出了具有一个连接到筒状导管(110)内侧原料喷枪(112)的外表面的叶片的涡旋元件的多视角投影图。可以在原料喷枪上安装多个叶片。优选地,将多个叶片连接到原料喷枪上,以使每个叶片与至少第二个叶片至少部分重叠。图13中的叶片具有恒定斜度(311),但也可根据需要使用上述其他形式的叶片。此外,叶片也可以连接到筒状导管(110)的内表面,尤其是在没有原料喷枪的情况下。

[0309] 图14展示了没有原料喷枪的筒状导管(110)。

[0310] 可以理解的是,在不脱离本发明原理的情况下,可以对优选实施方案进行各种修改,并做出许多改变。

[0311] 1.一种生产炭黑的方法,优选使用根据方面35-60的反应器,所述方法包括:

[0312] (a)将等离子气体注入炭黑反应器,

[0313] (b)使所述等离子气体经历等离子区(或等离子炬),以获得包含炭黑的产物混合物,

[0314] (c)对所述产物混合物进行淬火,

[0315] (d)从所述产物混合物中分离出炭黑,

[0316] 其中(i)所述等离子气体包括炭黑原料或由炭黑原料组成,(ii)将所述炭黑原料注入所述等离子区上游的等离子气体中,(iii)将所述炭黑原料注入所述等离子区中,但优选在产生等离子体的区域之后,和/或(iv)将所述炭黑原料注入所述等离子区下游的等离子气体中。

[0317] 2.根据方面1所述的方法,其中响应于通过微波能进行的所述等离子气体的激发而产生等离子体,响应于通过电弧进行的所述等离子气体的激发而产生等离子体,响应于通过电晕放电进行的所述等离子气体的激发而产生等离子体,响应于通过电介质阻挡放电(DBD)进行的所述等离子气体的激发而产生激发,和/或响应于通过射频能量进行的所述等离子气体的激发而产生等离子体,优选地,响应于通过微波能进行的所述等离子气体的激发而产生等离子体。

[0318] 3.根据方面1或2中任一方面所述的方法,其中所述等离子气体在使气体经历所述等离子区之前被预热,优选地,所述等离子气体被预热到100-1600℃,例如300-1400℃、400-1200℃、500-1000℃、600-1500℃、100-300℃、200-400℃、300-500℃、400-600℃、1000-1500℃或700-900℃。

[0319] 4.根据前述方面中任一方面所述的方法,其中包含所述炭黑原料的所述等离子气体的温度为:(i)260-920K,优选为269-700K,(ii)290-340K,(iii)340-390K,(iv)390-440K,(v)440-490K,(vi)490-540K,(viii)540-590K,(viii)590-640K,或(x)690-740K。

[0320] 5.根据前述方面中任一方面所述的方法,其中所述等离子气体包括氢气和/或

H_2O,或所述等离子气体为氢气和/或H_2O(优选为H_2);和/或其中所述等离子气体包括炭黑原料,或所述等离子气体为炭黑原料。

[0321] 6.根据前述方面中任一方面所述的方法,其中(A)所述等离子气体和所述炭黑原料在使气体经历所述等离子区之前混合,和/或(B)所述等离子气体包括具有低于气体(等离子气体混合物)的温度的临界温度的物质或由具有低于气体(等离子气体混合物)的温度的临界温度的物质组成(优选由其组成),和/或(C)所述炭黑原料(优选第一炭黑原料)包括具有高于气体(等离子气体混合物)的温度的临界温度的物质或由具有高于气体(等离子气体混合物)的温度的临界温度的物质组成。

[0322] 7.根据前述方面中任一方面所述的方法,其中所述等离子气体和所述炭黑原料在使气体经历所述等离子区之前,以使得所述炭黑原料在不会在所述炭黑反应器中形成液滴(或不凝结,或不处于液相)的摩尔比混合。

[0323] 8.根据前述方面中任一方面所述的方法,其中在使气体经历所述等离子区之前,在包括所述炭黑原料的所述等离子气体中存在具有低于气体温度的临界温度的物质,其摩尔比使得所述炭黑原料在所述炭黑反应器中不形成液滴(或不冷凝,或不处于液相)。

[0324] 9.根据前述方面中任一方面所述的方法,其中所述等离子气体和所述炭黑原料(等离子气体和炭黑混合物)在使气体经历所述等离子区之前混合,其中基于包括所述炭黑原料的所述等离子气体的总摩尔量,所述等离子气体和/或所述具有低于气体温度的临界温度的物质的摩尔百分比

[0325] (i)对于标准沸点和/或最终标准沸点为270-300K的炭黑原料且气体混合物温度为250-290K的情况,为1-20摩尔%,

[0326] (ii)对于标准沸点为大于300-350K的炭黑原料且气体混合物温度为270-300K的情况,为30-95摩尔%,

[0327] (iii)对于标准沸点和/或最终标准沸点为大于350-400K的炭黑原料且气体混合物温度为340-360K的情况,为50-80摩尔%,

[0328] (iv)对于标准沸点和/或最终标准沸点为大于400-450K的炭黑原料且气体混合物的温度为390-420K的情况,为50-75摩尔%,

[0329] (v)对于标准沸点和/或最终标准沸点为大于450-500K的炭黑原料且气体混合物的温度为440-460K的情况,为40-65摩尔%,

[0330] (vi)对于标准沸点和/或最终标准沸点为大于500-550K的炭黑原料且气体混合物的温度为490-520K的情况,为20-65摩尔%,

[0331] (vii)对于标准沸点和/或最终标准沸点为大于550-610K的炭黑原料且气体混合物温度为540-570K的情况,为20-55摩尔%,或

[0332] (viii)对于标准沸点和/或最终标准沸点为大于610-670的炭黑原料K且气体混合物温度为590-630K的情况,为30-65摩尔%。

[0333] 10.根据前述方面中任一方面所述的方法,其中所述包含炭黑原料的等离子气体在使气体经历所述等离子区之前,

[0334] (i)对于最终标准沸点为270-300K的炭黑原料且气体混合物温度为250-290K的情况,包含1摩尔%至20摩尔%的具有低于气体温度的临界温度的物质,

[0335] (ii)对于最终标准沸点为大于300-350K的炭黑原料且气体混合物温度为270-

290K的情况,包含30-95摩尔%的具有低于气体温度的临界温度的物质,

[0336] (iii)对于最终标准沸点为大于350-400K的炭黑原料且气体混合物温度为340-360K的情况,包含50-80摩尔%的具有低于气体温度的临界温度的物质,

[0337] (iv)对于最终标准沸点为大于400-450K的炭黑原料且气体混合物温度为390℃至420K的情况,包含50-75摩尔%的具有低于气体温度的临界温度的物质,

[0338] (v)对于最终标准沸点为大于450-500K的炭黑原料且气体混合物温度为440-460K的情况,包含40-65摩尔%的具有低于气体温度的临界温度的物质,

[0339] (vi)对于最终标准沸点为大于500-550K的炭黑原料且气体混合物温度为490-520K的情况,包含20-65摩尔%的具有低于气体温度的临界温度的物质,

[0340] (vii)对于最终标准沸点为大于550-610K的炭黑原料且气体混合物温度为540-570K的情况,包含20-55摩尔%的具有低于气体温度的临界温度的物质,或

[0341] (viii)对于最终标准沸点为大于610-670K的炭黑原料且气体混合物温度为590-630K的情况,包含30-65摩尔%的具有低于气体温度的临界温度的物质,

[0342] 其中所述物质优选包括等离子气体,例如氢气或炭黑原料。

[0343] 11.根据前述方面中任一方面所述的方法,其中所述等离子气体和所述炭黑原料在使气体经历所述等离子区之前被混合,其中基于包括所述炭黑原料的所述等离子气体的摩尔总量,所述等离子气体的摩尔百分比、具有低于气体温度的临界温度的等离子气体的摩尔百分比、和/或具有低于气体温度的临界温度的所述物质的摩尔百分比(优选具有低于气体温度的临界温度的物质的摩尔百分比)大于$x_{dilutant}$,其中根据式(V)计算$x_{dilutany}$,

[0344] $$x_{dilutant} = max\left(1 - \frac{P_0\, exp\left(-\frac{\Delta_{vap}H_m}{RT} + \frac{\Delta_{vap}H_m}{RT_b}\right)}{P}, 0\right) \quad 100 \qquad \text{式(V)}$$

[0345] 其中$x_{dilutant}$为稀释度,P[Pa]为所述等离子气体混合物的压力,P_0[Pa]为大气压力,设为101325Pa,$\Delta_{vap}H_m$[J/mol]为所述炭黑原料的标准摩尔蒸发焓(例如,根据式(I)计算),R[J/mol/K]为通用气体常数,即8.314463J/mol/K,T[K]为系统温度或所述等离子气体混合物的温度,T_b[K]为所述炭黑原料的标准沸点温度,

[0346] 优选地,所述等离子气体的摩尔百分比在大于$x_{dilutant}$至($x_{diluyant}$+20摩尔%)之间,更优选地,所述等离子气体的摩尔百分比在($x_{dilutant}$+1摩尔%)至($x_{dilutant}$+15摩尔%)之间,还更优选地,所述等离子气体的摩尔百分比在($x_{dulutant}$+3摩尔%)至($x_{dilutant}$+12摩尔%)之间,最优选地,所述等离子气体的摩尔百分比在($x_{dilutant}$+5摩尔%)至($x_{dilutant}$+10摩尔%)之间。

[0347] 12.根据前述方面中任一方面所述的方法,其中所述等离子气体和所述炭黑原料在使气体经历所述等离子区之前被混合,其中基于包括所述炭黑原料的所述等离子气体的摩尔总量,所述等离子气体的摩尔百分比、具有低于气体温度的临界温度的等离子气体的摩尔百分比、和/或具有低于气体温度的临界温度的所述物质的摩尔百分比(优选具有低于气体温度的临界温度的物质的摩尔百分比)大于$x_{dilutant}$,其中根据式(IX)计算$x_{dilutant}$,

[0348] $$x_{dilutant} = max\left(1 - \frac{1}{P\sum_{i=1}^{N}\frac{x_i^{vapour}}{100\,P_i^S}}, 0\right) \quad 100 \qquad 式(IX)$$

[0349] 其中$x_{dilutant}$为稀释度,P[Pa]为所述等离子气体混合物的压力,i为所述炭黑原料中相应的化合物,$\sum_{i=1}^{N}$为从i等于1到N的总和,i为所述炭黑原料中化合物的化合物指数,x_i^{vapour}为相应的化合物在所述炭黑原料中的摩尔百分比,P_i^S [Pa]为所述炭黑原料中相应的化合物i在所述等离子气体温度T[K]时的蒸气压,根据式(X)计算P_i^S,

[0350] $$P_i^S = P_0 exp\left(-\frac{\Delta_{vap}H_{m,i}}{RT} + \frac{\Delta_{vap}H_{m,i}}{RT_{b,i}}\right) \qquad 式(X)$$

[0351] P_0[Pa]为大气压力,设为101325Pa,$\Delta_{vap}H_{mi}$[J/mol]为所述炭黑原料中相应的化合物的标准摩尔蒸发焓(例如根据式(I)计算),R[J/mol/K]为通用气体常数,即8.314463J/mol/K,T[K]为系统温度或所述等离子气体混合物的温度,$T_{b,i}$[K]为所述炭黑原料中相应的化合物的标准沸点温度,

[0352] 优选地,所述等离子气体的摩尔百分比在大于$x_{dilutant}$至($x_{dikutant}$+20摩尔%)之间,更优选地,所述等离子气体的摩尔百分比在($x_{dilutant}$+1摩尔%)至($x_{dilutant}$+15摩尔%)之间,还更优选地,所述等离子气体的摩尔百分比在($x_{dulutant}$+3摩尔%)至($x_{dilutant}$+12摩尔%)之间,最优选地,所述等离子气体的摩尔百分比在($x_{dilutant}$+5摩尔%)至($x_{dilutant}$+10摩尔%)之间。

[0353] 13.根据前述方面中任一方面所述的方法,其中所述等离子气体和所述炭黑原料在使气体经历所述等离子区之前被混合,其中基于包括所述炭黑原料的所述等离子气体的摩尔总量,所述等离子气体的摩尔百分比、具有低于气体温度的临界温度的等离子气体的摩尔百分比、和/或具有低于气体温度的临界温度的所述物质的摩尔百分比(优选具有低于气体温度的临界温度的所述等离子气体的摩尔百分比)大于$x_{dilutant}$,其中根据式(XVII)计算$x_{dilutant}$,

[0354] $$x_{dilutant} = max\left(1 - \frac{1}{P\sum_{i=1}^{10}\frac{x_{pseudo,i}^{vapour}}{100\,P_{pseudo,i}^S}}, 0\right) \quad 100 \qquad 式(XVII)$$

[0355] 其中$x_{dilutant}$为稀释度,P[Pa]为所述等离子气体混合物的压力,i为所述炭黑原料的相应的样品,$\sum_{i=1}^{10}$为从i等于1到N的总和,i为所述炭黑原料的样品的化合物指数,$x_{pseudo,i}^{vapour}$为所述炭黑原料的相应的样品的摩尔百分比,$P_{pseudo,i}^S$ [Pa]为所述炭黑原料的相应的样品i在所述等离子气体温度T[K]下的蒸气压,根据式(XVIII)计算$P_{pseudo,i}^S$,

[0356] $$P_{pseudo,i}^S = P_0 exp\left(-\frac{\Delta_{vap}H_{m,i}}{RT} + \frac{\Delta_{vap}H_{m,i}}{RT_{b,i}}\right) \qquad 式(XVIII)$$

[0357] P_0[Pa]为大气压力,设为101325Pa,$\Delta_{vap}H_{m,i}$[J/mol]为所述炭黑原料的相应的样品的标准摩尔蒸发焓(例如根据式(XIII)计算),R[J/mol/K]为通用气体常数,即

8.314463J/mol/K,T[K]为系统温度或所述等离子气体混合物的温度,$T_{b,i}$[K]为所述炭黑原料的相应的样品的标准沸点温度,

[0358] 优选地,所述等离子气体的摩尔百分比在大于$x_{dilutant}$至($x_{dilutant}$+20摩尔%)之间,更优选地,所述等离子气体的摩尔百分比在($x_{dilutant}$+1摩尔%)至($x_{dilutant}$+15摩尔%)之间,还更优选地,所述等离子气体的摩尔百分比在($x_{dilutant}$+3摩尔%)至($x_{dilutant}$+12摩尔%)之间,最优选地,所述等离子气体的摩尔百分比在($x_{dilutant}$+5摩尔%)至($x_{dilutant}$+10摩尔%)之间。

[0359] 14.根据方面13所述的方法,其中在使气体经历等离子区之前混合的炭黑原料通过炭黑原料的蒸馏进行分析,其中炭黑原料通过蒸馏分离成10个样品/馏分(优选10个样品/馏分,每个样品/馏分具有基于分析样品总量的10体积%的物质),每个样品/馏分的最后一滴被蒸馏的温度用作样品/馏分的相应的沸点$T_{b,i}$[K],优选地,计算出每个样品/馏分的摩尔分数。

[0360] 15.根据前述方面中任一方面所述的方法,其中所述等离子气体和所述炭黑原料在使气体经历所述等离子区之前混合,其中基于包括所述炭黑原料的所述等离子气体的摩尔总量,所述等离子气体的摩尔百分比、具有低于气体温度的临界温度的所述等离子气体的摩尔百分比、和/或具有低于气体温度的临界温度的所述物质的摩尔百分比(优选具有低于气体温度的临界温度的所述等离子气体的摩尔百分比)大于$x_{dilutant}$,其中根据式(V)、式(IX)和/或式(XVII)计算$x_{dilutant}$:

[0361] $$x_{dilutant} = max\left(1 - \frac{P_0\, exp\left(-\frac{\Delta_{vap}H_m}{RT}+\frac{\Delta_{vap}H_m}{RT_b}\right)}{P}, 0\right) \quad 100 \qquad 式(V)$$

[0362] 其中$x_{dilutant}$为稀释度,P[Pa]为所述等离子气体混合物的压力,P_0[Pa]为大气压力,设为101325Pa,$\Delta_{vap}H_m$[J/mol]为所述炭黑原料的标准摩尔蒸发焓(例如,根据式(I)计算),R[J/mol/K]为通用气体常数,即8.314463J/mol/K,T[K]为系统温度或所述等离子气体混合物的温度,T_b[K]为所述炭黑原料的标准沸点温度,

[0363] $$x_{dilutant} = max\left(1 - \frac{1}{P\sum_{i=1}^{N}\frac{x_i^{vapour}}{100\,P_i^S}}, 0\right) \quad 100 \qquad 式(IX)$$

[0364] 其中$x_{dilutant}$为稀释度,P[Pa]为所述等离子气体混合物的压力,i为所述炭黑原料中相应的化合物,$\sum_{i=1}^{N}$为从i等于1到N的总和,i为所述炭黑原料中化合物的化合物指数,x_i^{vapour}为相应的化合物在所述炭黑原料中的摩尔百分比,P_i^S [Pa]为所述炭黑原料中相应的化合物i在所述等离子气体温度T[K]时的蒸气压,根据式(X)计算P_i^S,

[0365] $$P_i^S = P_0 exp\left(-\frac{\Delta_{vap}H_{m,i}}{RT}+\frac{\Delta_{vap}H_{m,i}}{RT_{b,i}}\right) \qquad 式(X)$$

[0366] P_0[Pa]为大气压力,设为101325Pa,$\Delta_{vap}H_{mi}$[J/mol]为所述炭黑原料中相应的化合物的标准摩尔蒸发焓(例如根据式(I)计算),R[J/mol/K]为通用气体常数,即8.314463J/mol/K,T[K]为系统温度或所述等离子气体混合物的温度,$T_{b,i}$[K]为所述炭黑原料中相应的

化合物的标准沸点温度，

[0367] $$x_{dilutant} = max\left(1 - \frac{1}{P\sum_{i=1}^{10}\frac{x_{pseudo,i}^{vapour}}{100\,P_{pseudo,i}^{S}}}, 0\right)\ 100 \qquad 式(XVII)$$

[0368] 其中$x_{dilutant}$为稀释度，P[Pa]为所述等离子气体混合物的压力，i为所述炭黑原料的相应的样品，$\sum_{i=1}^{10}$为从i等于1到N的总和，i为所述炭黑原料的样品的化合物指数，$x_{pseudo,i}^{vapour}$为所述炭黑原料的相应的样品的摩尔百分比，$P_{pseudo,i}^{S}$ [Pa]为所述炭黑原料的相应的样品i在所述等离子气体温度T[K]下的蒸气压，根据式(XVIII)计算$P_{pseudo,i}^{S}$，

[0369] $$P_{pseudo,i}^{S} = P_0 exp\left(-\frac{\Delta_{vap}H_{m,i}}{RT} + \frac{\Delta_{vap}H_{m,i}}{RT_{b,i}}\right) \qquad 式(XVIII)$$

[0370] P_0[Pa]为大气压力，设为101325Pa，$\Delta_{vap}H_{m,i}$[J/mol]为所述炭黑原料的相应的样品的标准摩尔蒸发焓(例如根据式(XIII)计算)，R[J/mol/K]为通用气体常数，即8.314463J/mol/K，T[K]为系统温度或所述等离子气体混合物的温度，$T_{b,i}$[K]为所述炭黑原料的相应的样品的标准沸点温度，

[0371] 优选地，所述等离子气体的摩尔百分比在大于$x_{dilutant}$至($x_{dilutant}$+20摩尔%)之间，更优选地，所述等离子气体的摩尔百分比在($x_{dilutant}$+1摩尔%)至($x_{dilutant}$+15摩尔%)之间，还更优选地，所述等离子气体的摩尔百分比在($x_{dilutant}$+3摩尔%)至($x_{dilutant}$+12摩尔%)之间，最优选地，所述等离子气体的摩尔百分比在($x_{dilutant}$+5摩尔%)至($x_{dilutant}$+10摩尔%)之间。

[0372] 16.根据前述方面中任一方面所述的方法，其中所述等离子区内的压力和/或所述等离子区内的所述等离子气体的压力为0.1-1.3巴，例如0.1-1.2巴、0.1-1.1巴、0.1-1巴、0.2-1巴、0.2至小于1巴、0.1-0.5巴、0.2-0.9巴、0.3-0.8巴、或0.3-0.5巴，其中等离子区上游的压力和/或等离子区上游的等离子气体压力优选高于等离子区内的压力和/或等离子区内的等离子气体压力。

[0373] 17.根据前述方面中任一方面所述的方法，其中所述等离子区上游的压力和/或所述等离子区上游的所述等离子气体的压力为0.1-3巴、例如0.2-2.6巴、0.5-2.5巴、0.9-2.2巴、1-2巴、1.5-2巴、1.6-3巴、1-1.5巴或1.1-1.4巴，其中等离子区上游的压力和/或等离子区上游的等离子气体压力优选高于等离子区内的压力和/或等离子区内的等离子气体压力。

[0374] 18.根据前述方面中任一方面所述的方法，其中将所述反应室设计为拉瓦尔喷嘴，以使气流在所述拉瓦尔喷嘴的狭窄部分之前的速度低于1Ma，在所述拉瓦尔喷嘴的狭窄部分的速度为1Ma，在所述拉瓦尔喷嘴的狭窄部分之后的速度高于1Ma，其中所述等离子体在所述拉瓦尔喷嘴的狭窄部分产生。

[0375] 19.根据前述方面中任一方面所述的方法，其中所述反应室设计为拉瓦尔喷嘴，其中所述等离子体在拉瓦尔喷嘴的狭窄部分中产生。

[0376] 20.根据前述方面中任一方面所述的方法，其中将所述反应室设计为拉瓦尔喷嘴，

以使气流在所述拉瓦尔喷嘴的狭窄部分之前的速度低于1Ma,在拉瓦尔喷嘴的狭窄部分中的速度低于1Ma,在拉瓦尔喷嘴的狭窄部分之后的速度低于1Ma,其中所述等离子体在所述拉瓦尔喷嘴的狭窄部分产生,所述狭窄部分中的气流速度比所述狭窄部分之前的气流速度高,所述狭窄部分之后的气流速度比所述狭窄部分中的气流速度高。

[0377] 21.根据前述方面中任一方面所述的方法,其中所述等离子气体在使气体经历等离子区之前被涡旋化,优选所述等离子气体的涡旋数在0.2-1.2之间,优选为0.3-0.8,更优选为0.5-0.7,还更优选为0.55-0.65。

[0378] 22.根据前述方面中任一方面所述的方法,其中所述等离子体是响应于通过微波能进行的所述等离子气体的激发而产生的并由此产生等离子区,其中所述微波辐射以垂直于所述反应器的中心纵轴或所述等离子气体的流动方向施加,和/或所述微波辐射以径向和周向于所述反应器的中心纵轴或所述等离子气体的流动方向施加。

[0379] 23.根据前述方面中任一方面所述的方法,其中所述等离子气体进一步包括H_2O,和/或在所述等离子区之后(下游)向产物混合物注入二氧化硅。

[0380] 24.根据前述方面中任一方面所述的方法,其中所述等离子区的温度在1200-5000K之间,例如1300-4000K、1300-3000K、1400-3500K、1300-2500K、1300-2000K、1300-1800K或1500-3000K。

[0381] 25.根据前述方面中任一方面所述的方法,其中所述炭黑原料为液体,优选在23℃和1atm下为液体。

[0382] 26.根据前述方面中任一方面所述的方法,其中所述炭黑原料包括非芳香族原料、芳香族原料、脂肪族原料、脂肪族油、可持续原料、可再生炭黑原料和/或生物基原料。

[0383] 27.根据前述方面中任一方面所述的方法,优选所述等离子气体包括氢气或为氢气,且来自于所述炭黑原料的热解。

[0384] 28.根据前述方面中任一方面所述的方法,其中所述方法进一步包括分离产物混合物中的炭黑和H_2,和/或提供分离的H_2作为等离子体供气。

[0385] 29.根据前述方面中任一方面所述的方法,其中等离子体供气或热等离子体供气不是通过燃料燃烧加热的。

[0386] 30.根据前述方面中任一方面所述的方法,其中,在使所述等离子气体经历等离子区之前,在所述等离子气体中注入第一炭黑原料,在所述等离子区中注入第二炭黑原料,但优选在产生所述等离子体的区域之后注入,其中,所述第一炭黑原料优选为如前述方面中任一方面所定义的炭黑原料。

[0387] 31.根据前述方面中任一方面所述的方法,其中在使所述等离子气体经历等离子区之前在所述等离子气体中注入第一炭黑原料,并且在所述等离子区之后直接注入第二炭黑原料,其中优选所述第一炭黑原料为在前述方面中任一方面所定义的炭黑原料。

[0388] 32.根据前述方面中任一方面所述的方法,其中生产的炭黑具有

[0389] (a)根据ASTM D6556-17测定的STSA表面积为40-140m^2/g,优选为60-130m^2/g,更优选为65-120m^2/g,以及根据ASTM D2414-18测定的吸油值(OAN)为40-200mL/100g,优选为60-180mL/100g,更优选为80-160mL/100g,

[0390] (b)根据ASTM D6556-17测定的STSA表面为40-120m^2/g,优选为50-100m^2/g,更优选为65-90m^2/g,以及根据ASTM D2414-18测定的吸油值(OAN)为40-180mL/100g,优选为50-

160mL/100g,更优选为70-150mL/100g,

[0391] (c)根据ASTM D6556-17测定的STSA表面积为200-600m^2/g,优选为250-500m^2/g,更优选为300-450m^2/g,以及根据ASTM D2414-18测定的吸油值(OAN)为50-150mL/100g,优选为60-120mL/100g,更优选为70-100mL/100g,和/或

[0392] (d)根据ASTM D6556-17测定的STSA表面积范围为140-210m^2/g,优选为150-200m^2/g,更优选为160-190m^2/g,以及根据ASTM D2414-18测定的吸油值(OAN)为100-200mL/100g,优选为110-170mL/100g,更优选为120-160mL/100g。

[0393] 33.根据前述方面中任一方面所述的方法,其中60-100重量%,优选90-100重量%,更优选97-100重量%,还更优选99-100重量%,最优选99.9-100重量%的炭黑原料包括包含至少5个碳原子的化合物。

[0394] 34.根据前述方面中任一方面所述的方法,其中所述等离子气体流量(或氢气流量)为10Nm^3/h至10000Nm^3/h,例如20Nm^3/h至5000Nm^3/h、30Nm^3/h至2000Nm^3/h、40Nm^3/h至1000Nm^3/h、或50Nm^3/h至500Nm^3/h。

[0395] 35.一种用于生产炭黑的反应器,所述反应器具有沿所述反应器的中心纵轴的流动通道,优选根据前述方面中的任一方面,所述反应器包括:

[0396] (A)反应室,

[0397] (B)用于提供炭黑原料的注入装置,以及

[0398] (C)在所述反应室中产生等离子体从而形成等离子区的装置,

[0399] 其中,(i)所述用于提供炭黑原料的注入装置位于所述等离子区的上游,(ii)所述用于提供炭黑原料的注入装置位于所述等离子区,但优选位于产生等离子体的区域之后,和/或(iii)所述用于提供炭黑原料的注入装置位于所述等离子区的下游,优选位于所述等离子区的紧邻的后方。

[0400] 36.根据第35方面所述的反应器,其中所述反应室设计为拉瓦尔喷嘴,包括产生等离子体的狭窄部分。

[0401] 37.根据方面35或36中任一方面所述的反应器,其中所述反应室为筒状导管。

[0402] 38.根据方面35-37中任一方面所述的反应器,其中产生等离子体的装置为电弧等离子体发生器、微波等离子体发生器、射频(RF)等离子体发生器、电晕放电等离子体发生器或介质阻挡放电(DBD)等离子体发生器,优选为微波等离子体发生器。

[0403] 39.根据方面35-38中任一方面所述的反应器,其中产生等离子体的装置为微波发生器,其中所述微波发生器位于反应室外侧。

[0404] 40.根据方面35-39中任一方面所述的反应器,其中产生等离子体的装置为微波等离子体发生器,其中所述微波等离子体发生器包括周向连接到反应室上的环形共振器。

[0405] 41.根据方面35-40中任一方面所述的反应器,其中产生等离子体的装置为微波等离子炬,其中微波等离子体发生器包括波导和共振器,以使微波能量相对于反应室的中心纵轴垂直地施加于等离子气体。

[0406] 42.根据方面35-41中任一方面所述的反应器,其中用于提供炭黑原料的注入装置位于所述等离子区的上游,并且为与反应器的中心纵轴同轴布置的原料喷枪。

[0407] 43.根据方面35-42中任一方面所述的反应器,其中用于提供炭黑原料的注入装置位于等离子区的上游,并且为与所述反应器的中心纵轴同轴布置的原料喷枪,所述用于提

供炭黑原料的注入装置位于等离子区,但优选位于产生等离子体的区域之后。

[0408] 44.根据方面35-43中任一方面所述的反应器,其中所述反应室的内衬包括氧化铝,优选地,所述等离子区的区域的反应室内衬包括氧化铝,优选90-100重量%的氧化铝,更优选95-100重量%的氧化铝,最优选98-100重量%的氧化铝。

[0409] 45.根据方面35-44中任一方面所述的反应器,其中所述反应器进一步包括可使所述等离子气体旋转的涡旋元件,并且其中所述涡旋元件连接到所述反应室的上游。

[0410] 46.根据方面35-45中任一方面所述的反应器,其中所述反应器进一步包括与所述反应室上游或与所述涡旋元件上游相连的导流装置,其中所述导流装置能够接收所述等离子气体并使所述等离子气体平行于所述反应器的中心纵轴流动。

[0411] 47.根据方面46所述的反应器,其中所述导流装置包括在壁上有开口的圆柱体,所述开口与所述反应器的中心纵轴基本垂直,优选为垂直,所述圆柱体与所述筒状导管连接,并沿所述反应器的中心纵轴定位。

[0412] 48.根据方面35-47中任一方面所述的反应器,其中所述原料注入装置为原料喷枪,并通过筒状导管延伸,所述导管内表面和所述原料喷枪外表面之间的间隙限定了用于所述等离子气体的通道,其中所述原料喷枪优选沿所述反应器的中心纵轴布置,或其中所述注入装置为喷枪,并通过所述筒状导管延伸,所述导管内表面和所述喷枪外表面之间的间隙限定了用于所述等离子气体的通道,其中所述喷枪优选沿所述反应器的中心纵轴布置。

[0413] 49.根据方面35-48中任一方面所述的反应器,其中所述反应器包括第一涡旋元件和第二涡旋元件,其中第一涡旋元件布置在更靠近所述反应室的位置。

[0414] 50.根据方面35-49中任一方面所述的反应器,其中所述涡旋元件各自独立包括至少一个叶片,优选多个叶片,其中多个叶片优选相对于所述反应器的中心纵轴旋转对称地布置。

[0415] 51.根据方面35-50中任一方面所述的反应器,所述涡旋元件各自独立包括至少一个叶片,优选多个叶片,其中优选至少一个叶片相对于所述反应器的中心纵轴倾斜,优选以10-70°,优选15-60°,更优选25-55°,最优选25-50°的角度倾斜。

[0416] 52.根据方面35-51中任一方面所述的反应器,其中至少一个叶片在包含所述反应器的中心纵轴和相应的横截轴的平面内相对于所述反应器的中心纵轴倾斜,其中相应的横截轴与反应器的中心纵轴垂直,并与相应的横轴垂直,其中,相应的横轴与反应器的中心纵轴垂直,并沿相应的叶片的宽度方向延伸,其中,所述叶片优选在上述平面内相对于所述反应器的中心纵轴以10-70°,优选以15-60°,更优选以25-55°,最优选以25-50°的角度倾斜。

[0417] 53.根据方面35-52中任一方面所述的反应器,其中至少一个叶片面向气流的一侧具有恒定的斜度,和/或在包含所述反应器的中心纵轴和相应的横截轴的平面内,相对于所述反应器的中心纵轴沿气流方向具有连续增大/减小的斜度,其中相应的横截轴与所述反应器的中心纵轴垂直,并与相应的横轴垂直,其中相应的横轴与所述反应器的中心纵轴垂直,并沿相应的叶片的宽度方向延伸。

[0418] 54.根据方面35-53中任一方面所述的反应器,其中至少一个涡旋元件包括一个沿反应器的中心纵轴形成连续螺纹的叶片,优选地,所述叶片具有2-10个绕组,例如2-5个绕组,优选地,连续螺纹具有不同的螺距,即第一螺距和第二螺距,其中第二螺距大于第一螺

距,和/或连续螺纹的螺距恒定,和/或连续螺纹的螺距连续增大/减小。

[0419] 55.根据方面35-54中任一方面所述的反应器,其中至少一个叶片具有平面或曲面形状或其组合,和/或其中至少一个叶片具有沿流动方向连续增大/减小的斜度。

[0420] 56.根据方面35-55中任一方面所述的反应器,其中所述第一涡旋元件具有至少一个叶片,其在包含反应器的中心纵轴和相应的横截轴的平面内,相对于反应器的中心纵轴以第一角度倾斜,其中所述第二涡旋元件具有至少一个叶片,其在包含反应器的中心纵轴和相应的横截轴的平面内,相对于反应器的中心纵轴以第二角度倾斜,其中相应的横截轴与反应器的中心纵轴垂直,并与相应的横轴垂直,其中相应的横轴与反应器的中心纵轴垂直,并沿相应的叶片的宽度方向延伸,其中第一角度大于第二角度,优选地,所述第一角度在15-70°之间,例如20-60°、30-55°、35-60°、35-55°或40-50°,和/或所述第二角度在10-60°之间,例如10-55°、15-50°、20-45°、20-40°或25-35°,和/或其中所述第一角度与所述第二角度相差至少5-40°,例如5-30°、8-25°、5-20°或10-20°。

[0421] 57.根据方面35-56中任一方面所述的反应器,其中至少一个涡旋元件固定在或整体形成在筒状导管的内表面和/或原料喷枪的外表面上,其中至少一个或多个涡旋元件优选可更换地固定在筒状导管的内表面和/或原料喷枪的外表面上。

[0422] 58.根据方面35-57中任一方面所述的反应器,其中所述筒状导管进一步包括相对于流动方向位于所述涡旋元件的前方的流入漏斗,其中所述流入漏斗的直径优选沿流动方向连续减小,所述流入漏斗的最大直径与最小直径之比优选为大于1-3,例如1.1-2或1.5-2。

[0423] 59.根据方面35-58中任一方面所述的反应器,其中原料注入装置包括至少一个注入口和/或至少一个喷嘴,其中至少一个注入口和/或至少一个喷嘴与反应器的中心纵轴基本垂直布置,和/或与反应器的中心纵轴以70-90°,例如75-89°、80-88°的角度布置。

[0424] 60.根据方面35-59中任一方面所述的反应器,其中所述反应器进一步包括位于反应室之后和下游的淬火室,优选地,所述淬火室包括用于将淬火介质沿反应器的中心纵轴注入流动通道,或使用热交换器降低温度的装置。

[0425] 61.根据方面1-34中任一方面生产的炭黑,优选使用根据方面35-60中任一方面所述的反应器。

[0426] 62.最低摩尔百分比的等离子气体、具有低于气体温度的临界温度的等离子气体、和/或具有低于气体温度的临界温度的物质(优选具有低于气体温度的临界温度的等离子气体)在用于生产炭黑,优选使用根据方面35-60中任一方面所述的反应器,优选使用根据方面1-34中任一方面的方法,以防止在反应器中形成液滴(或在反应器中冷凝)的用途,其中所述等离子气体和所述炭黑原料在使气体经历等离子区之前混合,其中基于包括炭黑原料的等离子气体的总摩尔量,最低摩尔百分比大于$x_{dilutant}$,其中根据式(V)、式(IX)和/或式(XVII)计算$x_{dilutant}$,

[0427] $$x_{dilutant} = max\left(1 - \frac{P_0\, exp\left(-\frac{\Delta_{vap}H_m}{RT} + \frac{\Delta_{vap}H_m}{RT_b}\right)}{P}, 0\right) \quad 100 \qquad \text{式(V)}$$

[0428] 其中$x_{dilutant}$为稀释度,P[Pa]为所述等离子气体混合物的压力,P_0[Pa]为大气压力,设为101325Pa,$\Delta_{vap}H_m$[J/mol]为所述炭黑原料的标准摩尔蒸发焓(例如,根据式(I)计

算),R[J/mol/K]为通用气体常数,即8.314463J/mol/K,T[K]为系统温度或所述等离子气体混合物的温度,T_b[K]为所述炭黑原料的标准(大气压P0=101325Pa时)沸点温度,

[0429] $$x_{dilutant} = max\left(1 - \frac{1}{P\sum_{i=1}^{N}\frac{x_i^{vapour}}{100\,P_i^S}}, 0\right)\ 100 \quad 式(IX)$$

[0430] 其中$x_{dilutant}$为稀释度,P[Pa]为所述等离子气体混合物的压力,i为所述炭黑原料中相应的化合物,$\sum_{i=1}^{N}$为从i等于1到N的总和,i为所述炭黑原料中化合物的化合物指数,x_i^{vapour}为所述炭黑原料中相应化合物的摩尔百分比,P_i^S [Pa]为所述炭黑原料中相应的化合物i在所述等离子气体温度T[K]时的蒸气压,根据式(X)计算P_i^S,

[0431] $$P_i^S = P_0 exp\left(-\frac{\Delta_{vap}H_{m,i}}{RT} + \frac{\Delta_{vap}H_{m,i}}{RT_{b,i}}\right) \quad 式(X)$$

[0432] P_0[Pa]为大气压力,设为101325Pa,$\Delta_{vap}H_{mi}$[J/mol]为所述炭黑原料中相应的化合物的标准摩尔蒸发焓(例如根据式(I)计算),R[J/mol/K]为通用气体常数,即8.314463J/mol/K,T[K]为系统温度或所述等离子气体混合物的温度,$T_{b,i}$[K]为所述炭黑原料中相应的化合物的标准(大气压P_0=101325Pa时)沸点温度,

[0433] $$x_{dilutant} = max\left(1 - \frac{1}{P\sum_{i=1}^{10}\frac{x_{pseudo,i}^{vapour}}{100\,P_{pseudo,i}^S}}, 0\right)\ 100 \quad 式(XVII)$$

[0434] 其中$x_{dilutant}$为稀释度,P[Pa]为所述等离子气体混合物的压力,i为所述炭黑原料的相应的样品,$\sum_{i=1}^{10}$为从i等于1到N的总和,i为所述炭黑原料的样品的化合物指数,$x_{pseudo,i}^{vapour}$为所述炭黑原料的相应的样品的摩尔百分比,$P_{pseudo,i}^S$ [Pa]为所述炭黑原料的相应的样品i在所述等离子气体温度T[K]下的蒸气压,根据式(XVIII)计算$P_{pseudo,i}^S$,

[0435] $$P_{pseudo,i}^S = P_0 exp\left(-\frac{\Delta_{vap}H_{m,i}}{RT} + \frac{\Delta_{vap}H_{m,i}}{RT_{b,i}}\right) \quad 式(XVIII)$$

[0436] P_0[Pa]为大气压力,设为101325Pa,$\Delta_{vap}H_{m,i}$[J/mol]为所述炭黑原料的相应的样品的标准摩尔蒸发焓(例如根据式(XIII)计算),R[J/mol/K]为通用气体常数,即8.314463J/mol/K,T[K]为系统温度或所述等离子气体混合物的温度,$T_{b,i}$[K]为所述炭黑原料的相应的样品的标准(大气压P_0=101325Pa时)沸点温度,

[0437] 优选地,所述等离子气体的摩尔百分比在大于$x_{dilutant}$至($x_{dilutant}$+20摩尔%)之间,更优选地,所述等离子气体的摩尔百分比在($x_{dilutant}$+1摩尔%)至($x_{dilutant}$+15摩尔%)之间,还更优选地,所述等离子气体的摩尔百分比在($x_{dilutant}$+3摩尔%)至($x_{dilutant}$+12摩尔%)之间,最优选地,所述等离子气体的摩尔百分比在($x_{dilutant}$+5摩尔%)至($x_{dilutant}$+10摩尔%)之间。

[0438] 62.至少两个用于炭黑原料的注入装置用于在生产炭黑的反应器中,优选为根据

方面35-60中任一方面所述的反应器中,优选根据方面1-34中任一方面所述的方法,防止在反应器中形成液滴(或在反应器中冷凝)的用途,所述反应器具有沿所述反应器中心纵轴的流动通道,其中所述反应器包括:(A)反应室,(B)用于提供炭黑原料的注入装置,和(C)在所述反应室中产生等离子体从而形成等离子区的装置,其中,(i)所述用于提供炭黑原料的注入装置位于所述等离子区的上游,(ii)所述用于提供炭黑原料的注入装置位于所述等离子区,但优选位于产生等离子体的区域之后,和/或(iii)所述用于提供炭黑原料的注入装置位于所述等离子区的下游,优选位于所述等离子区的紧邻的后方。

[0439] 63.根据方面62所述的用途,其中至少两个注入装置为:(i)位于等离子区的上游的用于提供炭黑原料的注入装置,和(ii)位于等离子区的用于提供炭黑原料的注入装置,但优选位于产生等离子体的区域之后。

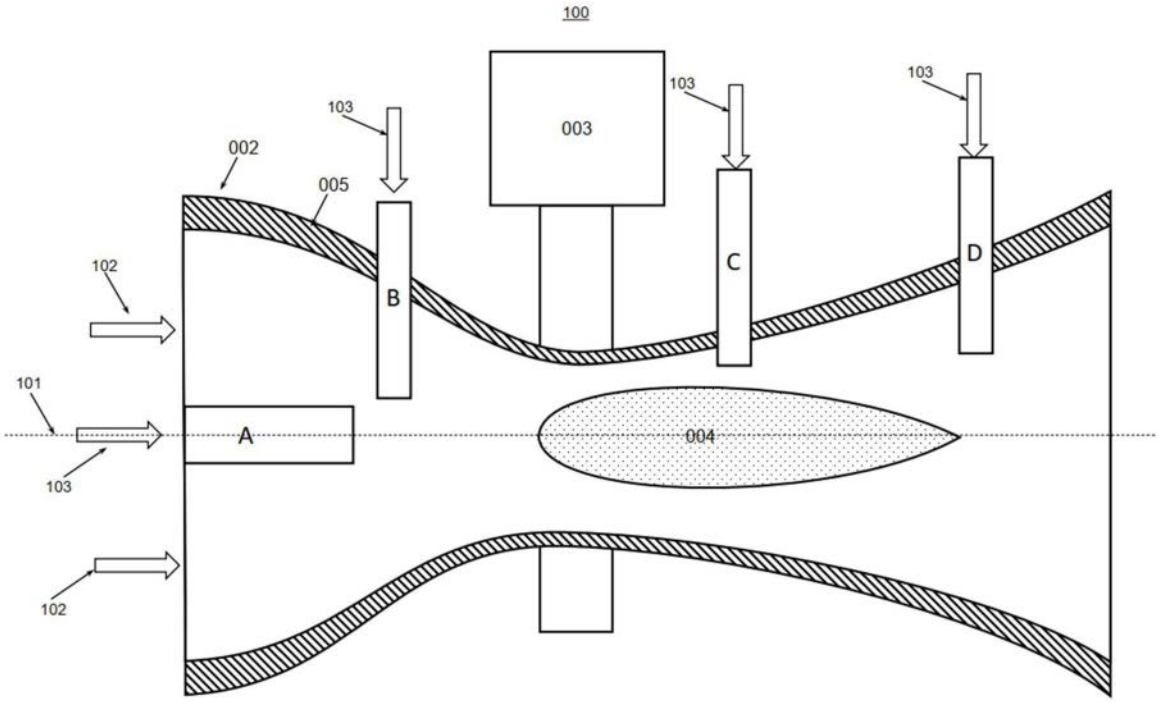

100
003
103
103
103
002
005
102
B
C
D
101
A
004
103
102

图1

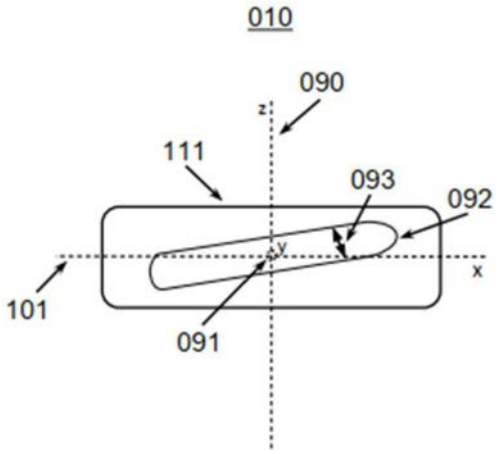

010
090
z
111
093
092
y
x
101
091

图2

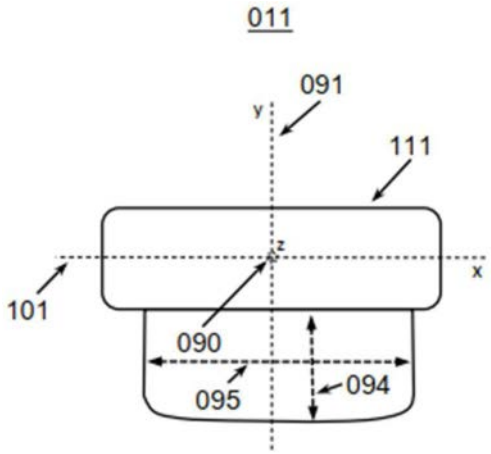


图3

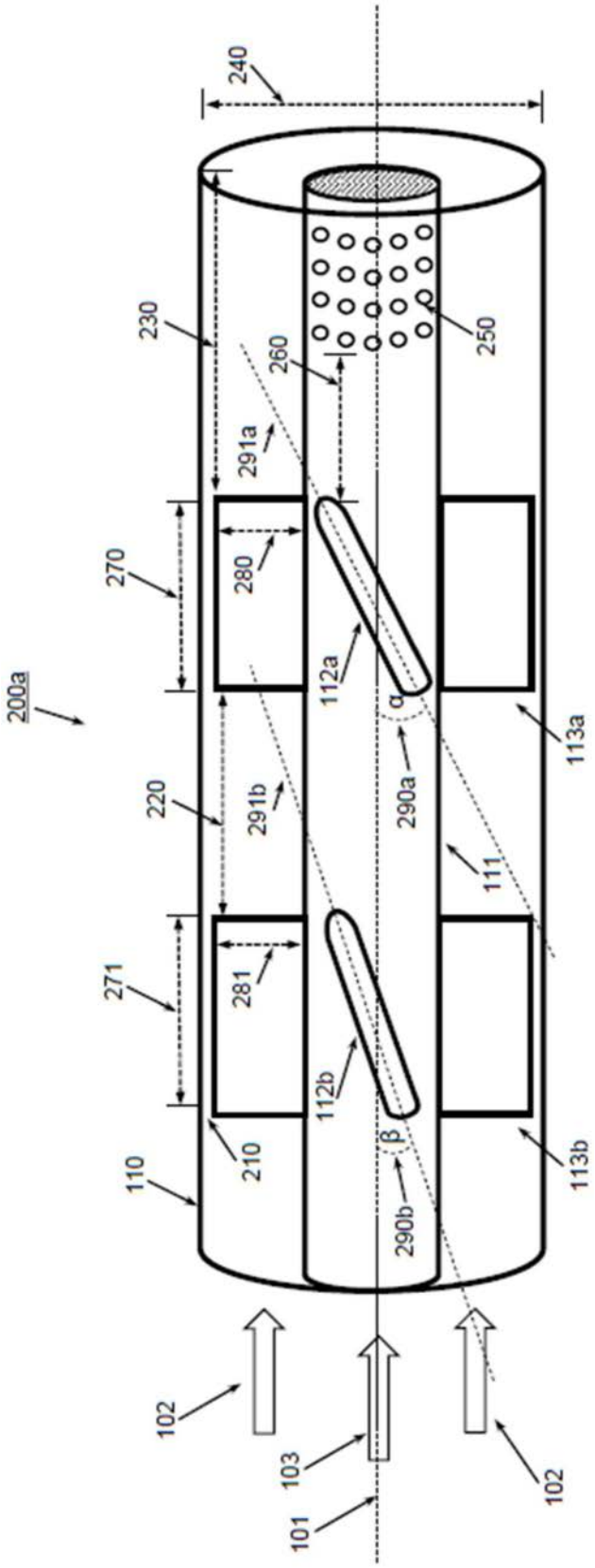

240
230
260
250
291a
270
280
112a
α
200a
113a
290a
220
291b
111
271
281
112b
β
210
110
113b
290b
102
103
101
102

图4

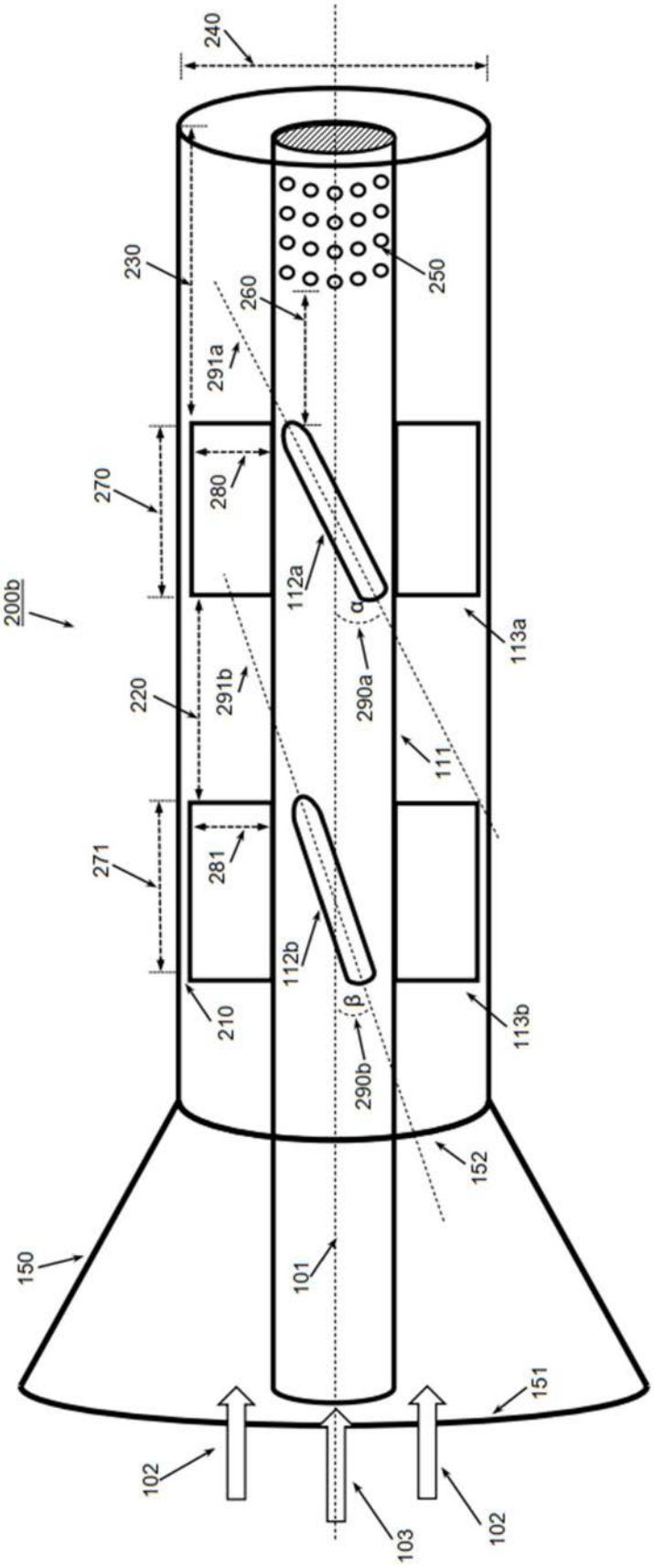

240
230
260
250
291a
270
280
200b
112a
α
113a
290a
220
291b
111
271
281
112b
β
210
113b
290b
152
150
101
151
102
103
102

图5

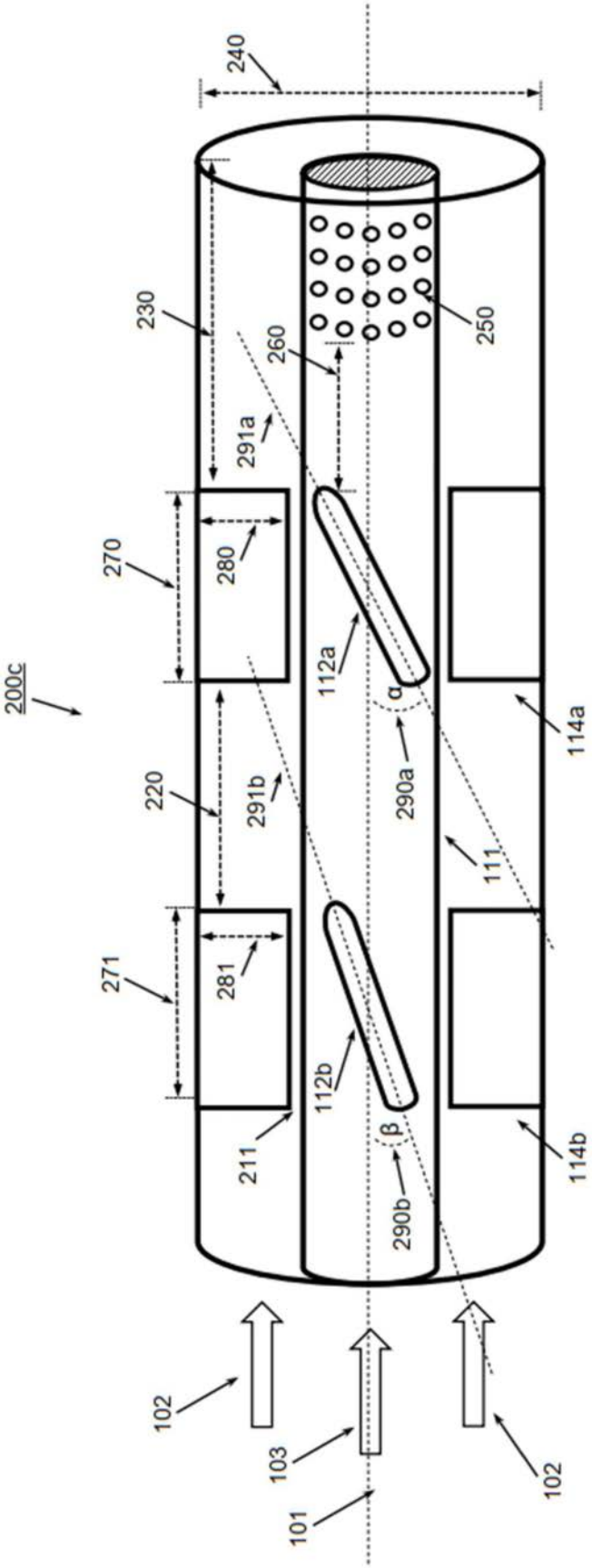

240
230
250
260
291a
270
280
200c
112a
α
114a
290a
220
291b
111
271
281
112b
β
211
114b
290b
102
103
101
102

图6

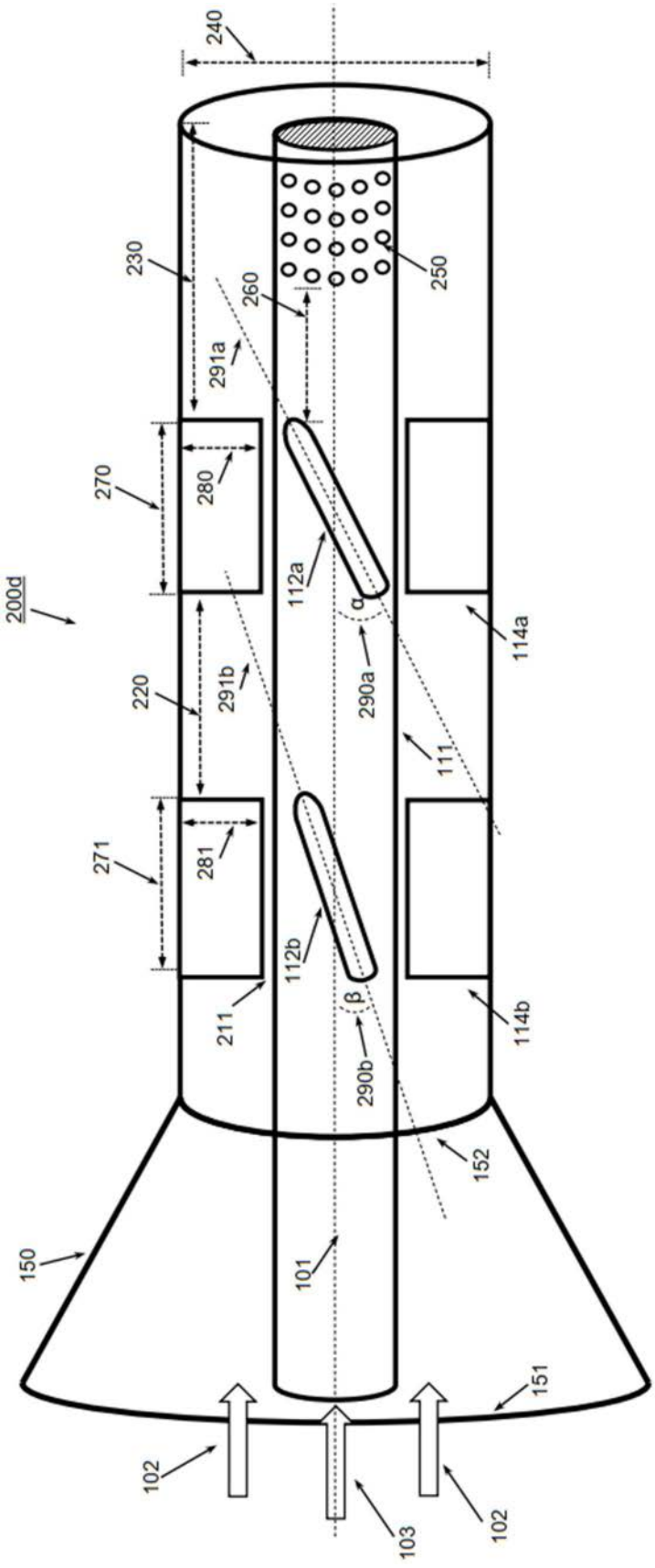

240
230
260
250
291a
270
280
200d
112a
α
114a
290a
220
291b
111
271
281
112b
β
211
114b
290b
152
150
101
151
102
103
102

图7

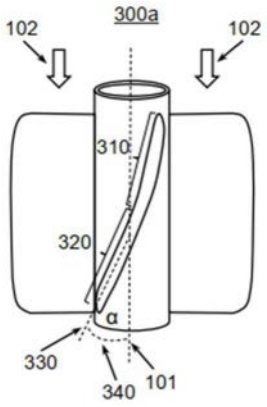

300a
102
102
310
320
α
330
340
101

图8

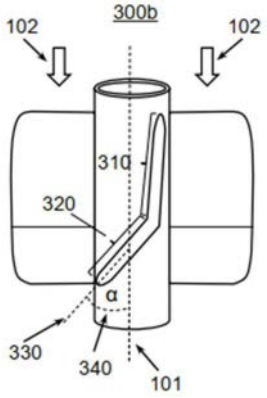

300b
102
102
310
320
α
330
340
101

图9

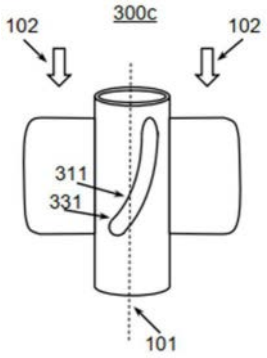

300c
102
102
311
331
101

图10

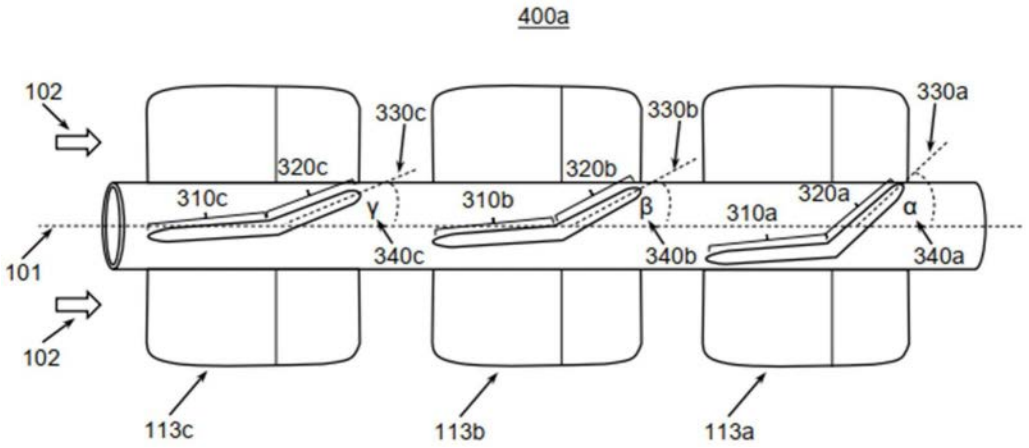

400a
102
330c
330b
330a
320c
320b
320a
310c
310b
310a
γ
β
α
101
340c
340b
340a
102
113c
113b
113a

图11

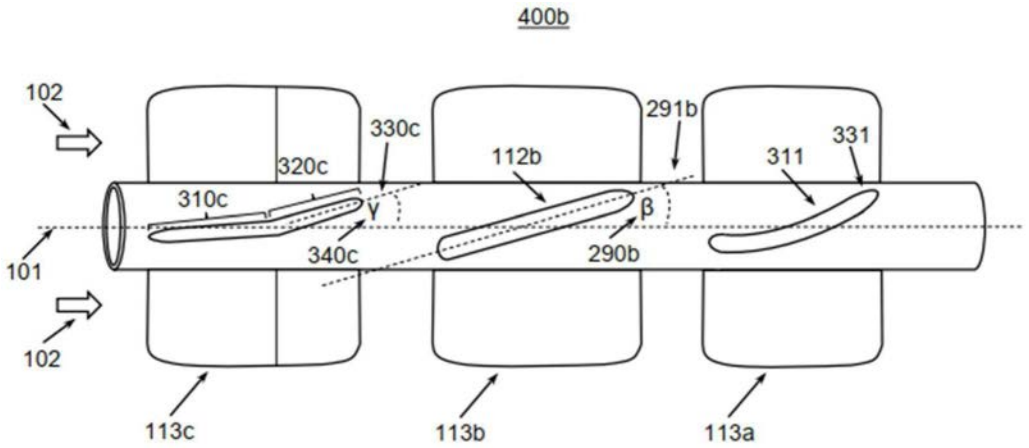

400b
102
330c
291b
331
320c
112b
311
310c
γ
β
101
340c
290b
102
113c
113b
113a

图12

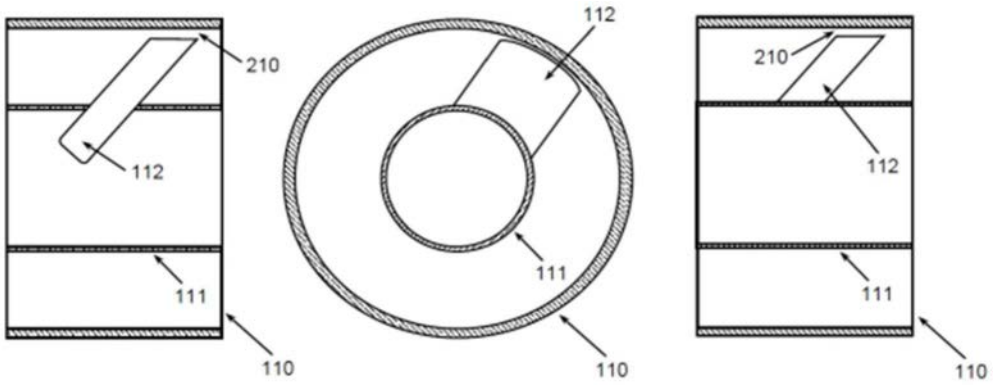

210
112
111
110
112
111
110
210
112
111
110

图13

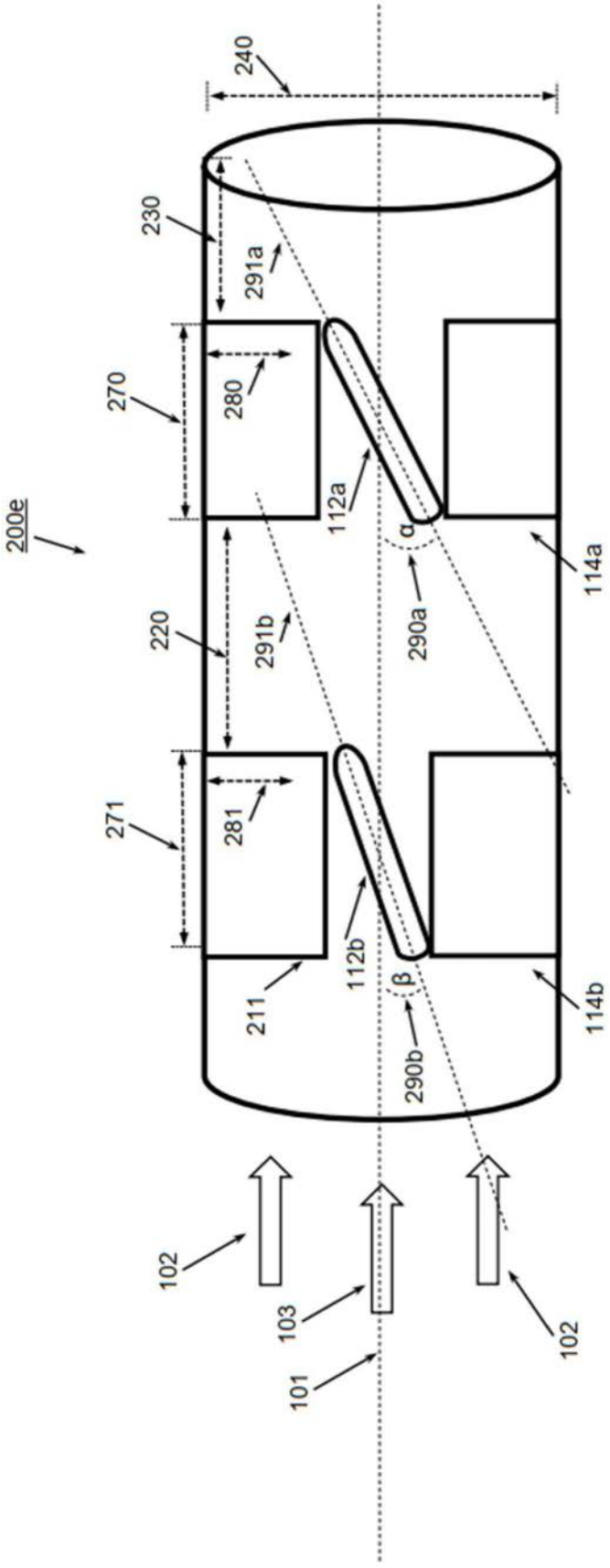

240
230
291a
270
280
112a
α
200e
114a
220
291b
290a
271
281
112b
β
211
114b
290b
102
103
101
102

图14