



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115418256 A

(43) 申请公布日 2022. 12. 02

(21) 申请号 202211159703.X

(22) 申请日 2022.09.22

(71) 申请人 天津大学

地址 300350 天津市津南区海河教育园区
天津大学北洋园校区54楼

(72) 发明人 潘伦 邹吉军 薛康 李怀宇

史成香 张香文 王涖

(74) 专利代理机构 武汉知产时代知识产权代理

有限公司 42238

专利代理师 康靖

(51) Int. Cl.

C10L 5/00 (2006.01)

C06D 5/00 (2006.01)

B01J 13/02 (2006.01)

C10L 9/10 (2006.01)

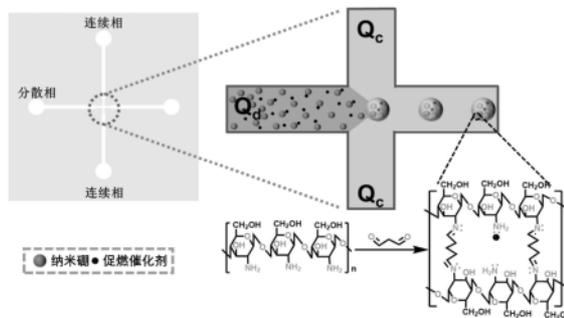
权利要求书2页 说明书9页 附图3页

(54) 发明名称

燃料微球及其制备方法、推进剂

(57) 摘要

本发明提供了燃料微球及其制备方法、推进剂。燃料微球包括：硼颗粒，所述硼颗粒的粒径为纳米级；壳聚糖，所述壳聚糖包覆在所述硼颗粒的表面。有机物壳聚糖的引入能够使得燃料中的纳米级的硼颗粒在存储过程中以微球的形式存在，而在燃烧过程中硼颗粒以纳米尺度参与燃烧反应，因此燃料微球既保持了硼颗粒的低点火温度又防止了燃烧过程中的产物的团聚，还可以有效避免硼颗粒与空气中的氧气和水发生反应，提高了硼颗粒的燃烧效率和燃烧速率。



1. 一种燃料微球,其特征在于,包括:
硼颗粒,所述硼颗粒的粒径为纳米级;
壳聚糖,所述壳聚糖包覆在所述硼颗粒的表面。
2. 根据权利要求1所述的燃料微球,其特征在于,还包括:
金属促燃催化剂,所述金属促燃催化剂吸附在所述壳聚糖的表面;
所述金属促燃催化剂包括乙酰丙酮金属盐、金属硝酸盐和金属硫酸盐中的至少一种;
和/或,所述乙酰丙酮金属盐包括乙酰丙酮钼、乙酰丙酮铁、乙酰丙酮钴、乙酰丙酮镍和乙酰丙酮铅中的至少一种;
和/或,所述金属硝酸盐包括硝酸铁、硝酸钴、硝酸镍和硝酸铅中的至少一种;
和/或,所述金属硫酸盐包括硫酸铁、硫酸钴、硫酸镍和硫酸铅中的至少一种;
和/或,所述金属促燃催化剂的质量是所述硼颗粒的的质量的4-10wt%。
3. 根据权利要求1或2所述的燃料微球,其特征在于,所述燃料微球的直径为10-40 μm ;
和/或,基于所述燃料微球的总质量,所述壳聚糖的含量为5-50wt%;
和/或,所述硼颗粒的粒径为50-80nm。
4. 一种权利要求1-3任一项所述的燃料微球的制备方法,其特征在于,包括:
将壳聚糖包覆在硼颗粒的表面,得到所述燃料微球。
5. 根据权利要求4所述的制备方法,其特征在于,还包括:
将金属促燃催化剂吸附在所述壳聚糖的表面,得到所述燃料微球。
6. 根据权利要求4或5所述的制备方法,其特征在于,将壳聚糖包覆在硼颗粒的表面包括:
S11、将所述硼颗粒分散到含有所述壳聚糖的水溶液中获得分散相溶液、将司班-80分散到正辛醇中获得连续相溶液,将戊二醛分散到含司班-80的正辛醇溶液中获得接收相溶液;
S12、将步骤S11中制备的所述分散相溶液和连续相溶液以一定的流量通入到液滴微流控装置中,获得单分散液滴;
S13、将步骤S12中得到的所述单分散液滴通入到步骤S11中的所述接收相溶液中,反应后得到所述燃料微球;
和/或,步骤S12中得到的所述单分散液滴的直径为18.5-108 μm 。
7. 根据权利要求6所述的制备方法,其特征在于,步骤S11中制备的所述分散相溶液中硼颗粒的浓度为1-5wt%,壳聚糖的浓度为0.5-1wt%,醋酸浓度为1-2wt%;所述连续相溶液中司班-80的浓度为1-3wt%;所述接收相溶液中戊二醛的浓度为1-3wt%;
和/或,所述步骤S12中,所述分散相溶液以5-10 $\mu\text{L}/\text{min}$ 的流量通入到液滴微流控装置中;
和/或,所述步骤S12中,所述连续相溶液以10-100 $\mu\text{L}/\text{min}$ 的流量通入到液滴微流控装置中。
8. 根据权利要求5所述的制备方法,其特征在于,将金属促燃催化剂吸附在所述壳聚糖的表面包括:
S21、将所述硼颗粒和所述金属促燃催化剂分散到含有所述壳聚糖的水溶液中获得分散相溶液、将司班-80分散到正辛醇中获得连续相溶液,将戊二醛分散到含司班-80的正辛

醇溶液中获得接收相溶液；

S22、将步骤S21中制备的所述分散相溶液和连续相溶液以一定的流量通入到液滴微流控装置中,获得单分散液滴；

S23、将步骤S22中得到的所述单分散液滴通入到步骤S21中的所述接收相溶液中,反应后得到所述燃料微球；

和/或,步骤S22中得到的所述单分散液滴的直径为18.5-108 μm 。

9. 根据权利要求5所述的制备方法,其特征在于,将金属促燃催化剂吸附在所述壳聚糖的表面包括:

S31、将所述壳聚糖包覆在所述硼颗粒的表面,得到中间产物；

S32、将所述中间产物分散到含有所述金属促燃催化剂的水溶液中,吸附后得到所述燃料微球。

10. 一种推进剂,其特征在于,包括权利要求1-3任一项所述的燃料微球。

燃料微球及其制备方法、推进剂

技术领域

[0001] 本发明涉及化工技术领域,尤其涉及燃料微球及其制备方法、推进剂。

背景技术

[0002] 硼具有较高的体积热值(137.45MJ/L)和质量热值(58.74MJ/kg),被认为是理想的冲压发动机固体燃料。然而硼燃烧产物具有低熔点、高沸点的特点,导致燃烧过程中会产生液态氧化硼使得硼与氧化剂反应困难。同时相比于其他金属燃料,硼具有点火温度高、燃烧速率慢等缺点。

[0003] 纳米硼颗粒相较于传统的微米硼颗粒具有更低的点火温度和更高的燃烧速率。然而,纳米硼颗粒由于其较高的表面能使得其在存储过程中极易发生团聚同时与空气中的氧气和水发生反应造成纳米硼颗粒的点火困难和燃烧恶化,往往需要对纳米硼颗粒进行改性。但是目前对纳米硼颗粒的改性结果仍不能满足需求,有鉴于此,特提出本发明。

发明内容

[0004] 本发明旨在至少在一定程度上解决相关技术中的技术问题之一。为此,本发明的一个目的在于提出一种燃料微球,有机物壳聚糖的引入能够使得燃料中的纳米级的硼颗粒在存储过程中以微球的形式存在,而在燃烧过程中硼颗粒以纳米尺度参与燃烧反应,因此燃料微球既保持了硼颗粒的低点火温度又防止了燃烧过程中的产物的团聚,壳聚糖的存在还可以有效避免硼颗粒与空气中的氧气和水发生反应,提高了硼颗粒的燃烧效率和燃烧速率。

[0005] 在本发明的一个方面,本发明提供了一种燃料微球,燃料微球包括:

[0006] 硼颗粒,所述硼颗粒的粒径为纳米级;

[0007] 壳聚糖,所述壳聚糖包覆在所述硼颗粒的表面。

[0008] 进一步地,燃料微球还包括:

[0009] 金属促燃催化剂,所述金属促燃催化剂吸附在所述壳聚糖的表面;

[0010] 所述金属促燃催化剂包括乙酰丙酮金属盐、金属硝酸盐和金属硫酸盐中的至少一种;

[0011] 和/或,所述乙酰丙酮金属盐包括乙酰丙酮铝、乙酰丙酮铁、乙酰丙酮钴、乙酰丙酮镍和乙酰丙酮铅中的至少一种;

[0012] 和/或,所述金属硝酸盐包括硝酸铁、硝酸钴、硝酸镍和硝酸铅中的至少一种;

[0013] 和/或,所述金属硫酸盐包括硫酸铁、硫酸钴、硫酸镍和硫酸铅中的至少一种;

[0014] 和/或,所述金属促燃催化剂的质量是所述硼颗粒的质量的4-10wt%。

[0015] 进一步地,所述燃料微球的直径为10-40 μ m;

[0016] 和/或,基于所述燃料微球的总质量,所述壳聚糖的含量为5-50wt%;

[0017] 和/或,所述硼颗粒的粒径为50-80nm。

[0018] 在本发明的另一方面,本发明提供了一种前面所述的燃料微球的制备方法,包括:

- [0019] 将壳聚糖包覆在硼颗粒的表面,得到所述燃料微球。
- [0020] 进一步地,燃料微球的制备方法还包括:
- [0021] 将金属促燃催化剂吸附在所述壳聚糖的表面,得到所述燃料微球。
- [0022] 进一步地,将壳聚糖包覆在硼颗粒的表面包括:
- [0023] S11、将所述硼颗粒分散到含有所述壳聚糖的水溶液中获得分散相溶液、将司班-80分散到正辛醇中获得连续相溶液,将戊二醛分散到含司班-80的正辛醇溶液中获得接收相溶液;
- [0024] S12、将步骤S11中制备的所述分散相溶液和连续相溶液以一定的流量通入到液滴微流控装置中,获得单分散液滴;
- [0025] S13、将步骤S12中得到的所述单分散液滴通入到步骤S11中的所述接收相溶液中,反应后得到所述燃料微球;
- [0026] 和/或,步骤S12中得到的所述单分散液滴的直径为18.5-108 μm 。
- [0027] 进一步地,步骤S11中制备的所述分散相溶液中硼颗粒的浓度为1-5wt%,壳聚糖的浓度为0.5-1wt%,醋酸浓度为1-2wt%;所述连续相溶液中司班-80的浓度为1-3wt%;所述接收相溶液中戊二醛的浓度为1-3wt%;
- [0028] 和/或,所述步骤S12中,所述分散相溶液以5-10 $\mu\text{L}/\text{min}$ 的流量通入到液滴微流控装置中;
- [0029] 和/或,所述步骤S12中,所述连续相溶液以10-100 $\mu\text{L}/\text{min}$ 的流量通入到液滴微流控装置中。
- [0030] 进一步地,将金属促燃催化剂吸附在所述壳聚糖的表面包括:
- [0031] S21、将所述硼颗粒和所述金属促燃催化剂分散到含有所述壳聚糖的水溶液中获得分散相溶液、将司班-80分散到正辛醇中获得连续相溶液,将戊二醛分散到含司班-80的正辛醇溶液中获得接收相溶液;
- [0032] S22、将步骤S21中制备的所述分散相溶液和连续相溶液以一定的流量通入到液滴微流控装置中,获得单分散液滴;
- [0033] S23、将步骤S22中得到的所述单分散液滴通入到步骤S21中的所述接收相溶液中,反应后得到所述燃料微球;
- [0034] 和/或,步骤S22中得到的所述单分散液滴的直径为18.5-108 μm 。
- [0035] 进一步地,将金属促燃催化剂吸附在所述壳聚糖的表面包括:
- [0036] S31、将所述壳聚糖包覆在所述硼颗粒的表面,得到中间产物;
- [0037] S32、将所述中间产物分散到含有所述金属促燃催化剂的水溶液中,吸附后得到所述燃料微球。
- [0038] 在本发明的另一方面,本发明提供了一种推进剂,包括前面所述的燃料微球。
- [0039] 与现有技术相比,本发明至少可以取得以下有益效果:
- [0040] 有机物壳聚糖的引入能够使得燃料中的纳米级的硼颗粒在存储过程中以微球的形式存在,实现了燃料微球的单分散,有效地解决了硼颗粒团聚的问题;壳聚糖在燃烧过程中会产生大量气体,使硼颗粒在燃烧过程中重新以纳米尺度参与燃烧反应,因此燃料微球既保持了硼颗粒的低点火温度又防止了燃烧过程中的产物的团聚,壳聚糖的存在还可以有效避免硼颗粒与空气中的氧气和水发生反应,提高了硼颗粒的燃烧效率和燃烧速率;另外,

本发明的燃料微球点火温度低、燃烧效率高、尺寸可控。

附图说明

- [0041] 图1是利用微流控装置合成单分散液滴的过程示意图。
[0042] 图2是实施例1-5的单分散液滴制备过程示意图。
[0043] 图3是实施例1-15的单分散液滴粒径分布图。
[0044] 图4是实施例2、16、17、18燃料微球以及对比例1的燃料的SEM(扫描电镜)图。
[0045] 图5是实施例19、20、21的燃料微球的光学图像。
[0046] 图6是实施例2、16、17、18、19、20、21的燃料微球的粒径分布图。

具体实施方式

[0047] 下面详细描述本发明的实施例。下面描述的实施例是示例性的,仅用于解释本发明,而不能理解为对本发明的限制。实施例中未注明具体技术或条件的,按照本领域内的文献所描述的技术或条件或者按照产品说明书进行。所用试剂或仪器未注明生产厂商者,均为可以通过市购获得的常规产品。

[0048] 在本发明的一个方面,本发明提供了一种燃料微球,燃料微球包括:

[0049] 硼颗粒,所述硼颗粒的粒径为纳米级;

[0050] 壳聚糖,所述壳聚糖包覆在所述硼颗粒的表面。

[0051] 有机物壳聚糖的引入能够使得燃料中的纳米级的硼颗粒在存储过程中以微球的形式存在,实现了燃料微球的单分散,有效地解决了硼颗粒团聚的问题;壳聚糖在燃烧过程中会产生大量气体,使硼颗粒在燃烧过程中重新以纳米尺度参与燃烧反应,因此燃料微球既保持了硼颗粒的低点火温度又防止了燃烧过程中的产物的团聚,壳聚糖的存在还可以有效避免硼颗粒与空气中的氧气和水发生反应,提高了硼颗粒的燃烧效率和燃烧速率;另外,本发明的燃料微球点火温度低、燃烧效率高、尺寸可控。

[0052] 在本发明的一些实施方式中,燃料微球还包括:金属促燃催化剂,所述金属促燃催化剂能够与壳聚糖分子中氮原子的孤对电子发生配位作用,从而吸附在所述壳聚糖的表面;所述金属促燃催化剂包括乙酰丙酮金属盐、金属硝酸盐和金属硫酸盐中的至少一种。由此,通过壳聚糖对金属促燃催化剂的吸附实现了金属促燃催化剂在燃料微球中的低载量及均匀分布;在燃烧过程中金属催化剂在nB(纳米级硼颗粒)的表面发生界面催化作用,与壳聚糖燃烧引发的微爆过程相耦合,因此,获得的燃料微球进一步降低了硼颗粒的点火温度又解决了纳米级的硼颗粒的团聚问题,并进一步提高了硼颗粒的燃烧效率和燃烧速率。

[0053] 在本发明的一些实施方式中,所述乙酰丙酮金属盐包括乙酰丙酮钼、乙酰丙酮铁、乙酰丙酮钴、乙酰丙酮镍和乙酰丙酮铅中的至少一种;所述金属硝酸盐包括硝酸铁、硝酸钴、硝酸镍和硝酸铅中的至少一种;所述金属硫酸盐包括硫酸铁、硫酸钴、硫酸镍和硫酸铅中的至少一种。

[0054] 在本发明的一些实施方式中,所述金属促燃催化剂的质量是所述硼颗粒的质量的4-10wt%(例如可以为4wt%、5wt%、6wt%、7wt%、8wt%、9wt%或者10wt%等)。相对于上述含量范围,当金属促燃催化剂的含量过高时,则微球的理论热值降低,当金属促燃催化剂的含量过低时,则金属促燃催化剂的促燃效果降低。

[0055] 在本发明的一些实施方式中,基于所述燃料微球的总质量,所述壳聚糖的含量为5-50wt% (例如可以为5wt%、10wt%、15wt%、20wt%、25wt%、30wt%、35wt%、40wt%、45wt%或者50wt%等)。相对于上述含量范围,当壳聚糖的含量过低时,无法形成燃料微球;当壳聚糖的含量过高时,则燃料微球的理论热值和燃烧热值均降低。

[0056] 需要说明的是,本文中的“微球”指的是粒径为微米级的球状,其具有尺寸均匀性,变异系数小于5%。在本发明的一些实施方式中,所述燃料微球的直径为10-40 μm 。

[0057] 在本发明的一些实施方式中,所述硼颗粒的粒径为50-80nm。

[0058] 在本发明的一些实施方式中,将燃料微球用于TG-DSC (热重分析法和差示扫描量热法联用)热分析试验,在空气条件下,显著降低了硼颗粒的点火温度。

[0059] 在本发明的另一些实施方式中,将燃料微球用于氧弹式热量计燃烧试验,在3MPa氧气条件下,燃烧热大于30MJ/kg,燃烧压力峰值不低于4.8MPa。

[0060] 在本发明的另一方面,本发明提供了一种前面所述的燃料微球的制备方法,包括:将壳聚糖包覆在硼颗粒的表面,得到所述燃料微球。

[0061] 可以理解的是,壳聚糖和硼颗粒与前面的描述一致,在此不再过多赘述。

[0062] 在本发明的一些实施方式中,采用液滴微流控技术将壳聚糖包覆在硼颗粒的表面,制备了尺寸可控的单分散燃料微球。

[0063] 在本发明的一些实施方式中,燃料微球的制备方法还包括:将金属促燃催化剂吸附在所述壳聚糖的表面,得到所述燃料微球。

[0064] 可以理解的是,金属促燃催化剂与前面的描述一致,在此不再过多赘述。

[0065] 在本发明的一些实施方式中,将壳聚糖包覆在硼颗粒的表面包括:

[0066] S11、将所述硼颗粒分散到含有所述壳聚糖的水溶液中获得分散相溶液、将司班-80分散到正辛醇中获得连续相溶液,将戊二醛分散到含司班-80的正辛醇溶液中获得接收相溶液;S12、将步骤S11中制备的所述分散相溶液和连续相溶液以一定的流量通入到液滴微流控装置中,获得单分散液滴;S13、将步骤S12中得到的所述单分散液滴通入到步骤S11中的所述接收相溶液中,反应后得到所述燃料微球。由此,首先采用正辛醇为连续相,硼颗粒的壳聚糖分散液为分散相,通过液滴微流控装置可控制备了单分散液滴,随后液滴通过液相萃取和化学交联法制备了尺寸均一的燃料微球。

[0067] 在本发明的一些实施方式中,步骤S12中得到的所述单分散液滴的直径为18.5-108 μm 。

[0068] 在本发明的一些实施方式中,步骤S11中制备的所述分散相溶液中硼颗粒的浓度为1-5wt%,壳聚糖的浓度为0.5-1wt%,醋酸浓度为1-2wt%;所述连续相溶液中司班-80的浓度为1-3wt%;所述接收相溶液中戊二醛的浓度为1-3wt%。

[0069] 在本发明的一些实施方式中,所述步骤S12中,所述分散相溶液以5-10 $\mu\text{L}/\text{min}$ 的流量通入到液滴微流控装置中;所述步骤S12中,所述连续相溶液以10-100 $\mu\text{L}/\text{min}$ 的流量通入到液滴微流控装置中。由此,通过控制分散相溶液和连续相溶液的流量可以有效控制燃料微球的粒径。

[0070] 本发明的发明人发现,金属促燃催化剂的引入能够有效的降低硼颗粒的点火温度提高硼颗粒的燃烧速率及燃烧效率,然而目前金属促燃催化剂的加入方法多采用机械混合法,该方法操作简单,但金属促燃催化剂难以在硼颗粒中均匀分布,同时由于金属促燃催化

剂颗粒较大,降低了金属促燃催化剂与硼颗粒的接触面积,导致燃速促进效率低,不能有效的降低点火温度,需要加入大量金属促燃催化剂来解决上述问题,从而降低了燃料的能量密度。本发明采用液滴微流控技术将金属促燃催化剂引入到燃料微球中,通过壳聚糖对金属促燃催化剂的吸附实现了金属促燃催化剂在燃料微球中的低载量及均匀分布。

[0071] 在本发明的一些实施方式中,将金属促燃催化剂吸附在所述壳聚糖的表面包括:S21、将所述硼颗粒和所述金属促燃催化剂分散到含有所述壳聚糖的水溶液中获得分散相溶液、将司班-80分散到正辛醇中获得连续相溶液,将戊二醛分散到含司班-80的正辛醇溶液中获得接收相溶液;S22、将步骤S21中制备的所述分散相溶液和连续相溶液以一定的流量通入到液滴微流控装置中,获得单分散液滴(单分散液滴的合成过程示意图如图1所示);S23、将步骤S22中得到的所述单分散液滴通入到步骤S21中的所述接收相溶液中,反应后得到所述燃料微球。

[0072] 在本发明的一些实施方式中,步骤S22中得到的所述单分散液滴的直径为18.5-108 μm 。

[0073] 在本发明的一些实施方式中,步骤S21中制备的所述分散相溶液中硼颗粒的浓度为1-5wt%,壳聚糖的浓度为0.5-1wt%,醋酸浓度为1-2wt%;所述连续相溶液中司班-80的浓度为1-3wt%;所述接收相溶液中戊二醛的浓度为1-3wt%;所述金属促燃催化剂的含量为硼颗粒质量的4-10wt%。

[0074] 在本发明的一些实施方式中,所述步骤S22中,所述分散相溶液以5-10 $\mu\text{L}/\text{min}$ 的流量通入到液滴微流控装置中;所述步骤S22中,所述连续相溶液以10-100 $\mu\text{L}/\text{min}$ 的流量通入到液滴微流控装置中。由此,通过控制分散相溶液和连续相溶液的流量可以有效控制燃料微球的粒径。

[0075] 在本发明的一些实施方式中,将金属促燃催化剂吸附在所述壳聚糖的表面包括:

[0076] S31、将所述壳聚糖包覆在所述硼颗粒的表面,得到中间产物;

[0077] S32、将所述中间产物分散到含有所述金属促燃催化剂的水溶液中,吸附后得到所述燃料微球。

[0078] 可以理解的是,步骤31中将所述壳聚糖包覆在所述硼颗粒的表面的具体步骤可以包括如下:

[0079] 1) 将所述硼颗粒分散到含有所述壳聚糖的水溶液中获得分散相溶液、将司班-80分散到正辛醇中获得连续相溶液,将戊二醛分散到含司班-80的正辛醇溶液中获得接收相溶液;步骤1)中制备的所述分散相溶液中硼颗粒的浓度为1-5wt%,壳聚糖的浓度为0.5-1wt%,醋酸浓度为1-2wt%;所述连续相溶液中司班-80的浓度为1-3wt%;所述接收相溶液中戊二醛的浓度为1-3wt%;

[0080] 2) 将步骤1)中制备的所述分散相溶液以5-10 $\mu\text{L}/\text{min}$ 的流量通入到液滴微流控装置中;将步骤1)中制备的连续相溶液以10-100 $\mu\text{L}/\text{min}$ 的流量通入到液滴微流控装置中,获得直径为18.5-108 μm 的单分散液滴;

[0081] 3) 将步骤2)中得到的所述单分散液滴通入到步骤1)中的所述接收相溶液中,反应后得到所述中间产物。

[0082] 在本发明的另一方面,本发明提供了一种推进剂,包括前面所述的燃料微球。

[0083] 可以理解的是,推进剂除了包括前面所述的燃料微球之外,还可以包括粘结剂、固

化剂、增塑剂、键合剂等常规材料,在此不再过多赘述。

[0084] 为了更好地理解本发明,下面结合实施例进一步阐明本发明的内容,但本发明的内容不仅仅局限于下面的实施例。

[0085] 实施例

[0086] 实施例1

[0087] 燃料微球的制备方法包括如下步骤:

[0088] (1) 分散相、连续相和接收相的制备

[0089] 分散相的制备:将0.075g (0.75wt%) 壳聚糖、0.15g醋酸加入到9.475g去离子水中搅拌获得澄清溶液,将0.3g (3wt%) 纳米硼 (nB, 粒径为50-80nm) 加入上述溶液后超声3h使其分散均匀得到分散相。

[0090] 连续相的制备:将1.2g (2wt%) 司班-80加入到58.8g正辛醇中搅拌获得澄清溶液得到连续相。

[0091] 接收相的制备:将0.5wt%饱和戊二醛的正辛醇溶液加入到含有2wt%司班-80的正辛醇溶液中搅拌获得澄清溶液得到接收相。

[0092] (2) 燃料微球的制备

[0093] 如图1所示,采用单通道注射泵将分散相(Q_d)以5 μ L/min的流速注入到液滴微流控装置中,采用双通道注射泵将连续相(Q_c)以10 μ L/min的流速注入到液滴微流控装置中,分散相在连续相的持续剪切下,形成了尺寸均一的单分散液滴(单分散液滴的制备过程见图2,单分散液滴的粒径如图3所示),将液滴持续通入接收相,搅拌固化12h后,通过离心、洗涤、真空干燥12h即可获得单分散的燃料微球。

[0094] 实施例2:

[0095] 燃料微球的制备方法基本同实施例1,不同之处在于连续相的流量为20 μ L/min;本实施例中单分散液滴的制备过程见图2,单分散液滴的粒径如图3所示,燃料微球的SEM图如图4所示,燃料微球的粒径分布如图6所示。

[0096] 实施例3:

[0097] 燃料微球的制备方法基本同实施例1,不同之处在于连续相的流量为30 μ L/min;本实施例中单分散液滴的制备过程见图2,单分散液滴的粒径如图3所示。

[0098] 实施例4:

[0099] 燃料微球的制备方法基本同实施例1,不同之处在于连续相的流量为40 μ L/min;本实施例中单分散液滴的制备过程见图2,单分散液滴的粒径如图3所示。

[0100] 实施例5:

[0101] 燃料微球的制备方法基本同实施例1,不同之处在于连续相的流量为50 μ L/min;本实施例中单分散液滴的制备过程见图2,单分散液滴的粒径如图3所示。

[0102] 实施例6:

[0103] 燃料微球的制备方法基本同实施例1,不同之处在于分散相的流量为7.5 μ L/min,连续相的流量为15 μ L/min,本实施例中单分散液滴的粒径如图3所示。

[0104] 实施例7:

[0105] 燃料微球的制备方法基本同实施例6,不同之处在于连续相的流量为30 μ L/min,本实施例中单分散液滴的粒径如图3所示。

[0106] 实施例8:

[0107] 燃料微球的制备方法基本同实施例6,不同之处在于连续相的流量为45 μ L/min,本实施例中单分散液滴的粒径如图3所示。

[0108] 实施例9:

[0109] 燃料微球的制备方法基本同实施例6,不同之处在于连续相的流量为60 μ L/min,本实施例中单分散液滴的粒径如图3所示。

[0110] 实施例10:

[0111] 燃料微球的制备方法基本同实施例6,不同之处在于连续相的流量为75 μ L/min,本实施例中单分散液滴的粒径如图3所示。

[0112] 实施例11:

[0113] 燃料微球的制备方法基本同实施例1,不同之处在于分散相的流量为10 μ L/min,连续相的流量为20 μ L/min,本实施例中单分散液滴的粒径如图3所示。

[0114] 实施例12:

[0115] 燃料微球的制备方法基本同实施例11,不同之处在于连续相的流量为40 μ L/min,本实施例中单分散液滴的粒径如图3所示。

[0116] 实施例13:

[0117] 燃料微球的制备方法基本同实施例11,不同之处在于连续相的流量为60 μ L/min,本实施例中单分散液滴的粒径如图3所示。

[0118] 实施例14:

[0119] 燃料微球的制备方法基本同实施例11,不同之处在于连续相的流量为80 μ L/min,本实施例中单分散液滴的粒径如图3所示。

[0120] 实施例15:

[0121] 燃料微球的制备方法基本同实施例11,不同之处在于连续相的流量为100 μ L/min,本实施例中单分散液滴的粒径如图3所示。

[0122] 实施例16:

[0123] 燃料微球的制备方法基本同实施例2,不同之处在于分散相中的纳米硼含量为2wt%,燃料微球的SEM图如图4所示,燃料微球的粒径分布如图6所示。

[0124] 实施例17:

[0125] 燃料微球的制备方法基本同实施例2,不同之处在于分散相中的纳米硼含量为4wt%,燃料微球的SEM图如图4所示,燃料微球的粒径分布如图6所示。

[0126] 实施例18:

[0127] 燃料微球的制备方法基本同实施例2,不同之处在于分散相中的纳米硼含量为5wt%,燃料微球的SEM图如图4所示,燃料微球的粒径分布如图6所示。

[0128] 实施例19:

[0129] 燃料微球的制备方法基本同实施例17,不同之处在于向分散相中加入0.033g的乙酰丙酮钼作为促燃催化剂,燃料微球的光学图像如图5所示,燃料微球的粒径分布如图6所示。

[0130] 实施例20:

[0131] 燃料微球的制备方法基本同实施例17,不同之处在于向分散相中加入0.033g的乙

酰丙酮铁作为促燃催化剂,燃料微球的光学图像如图5所示,燃料微球的粒径分布如图6所示。

[0132] 实施例21:

[0133] 燃料微球的制备方法基本同实施例17,不同之处在于向分散相中加入0.033g的乙酰丙酮钴作为促燃催化剂,燃料微球的光学图像如图5所示,燃料微球的粒径分布如图6所示。

[0134] 对比例1

[0135] 燃料为纳米硼(粒径为50-80nm),燃料的SEM图如图4所示。

[0136] 点火温度测试:

[0137] 分别取5mg实施例1-21的燃料微球以及对比例1的燃料,采用TG-DSC综合热分析仪在空气氛围下,以10℃/min的升温速率测试样品的热性质,测试温度为室温到1000℃,点火温度通过切线法获得,点火温度如表1所示。

[0138] 恒容燃烧及燃烧热值测试:

[0139] 取0.15g燃料(燃料分别包括实施例1-21的燃料微球以及对比例1的燃料)采用氧弹式热量计在3MPa氧气氛围下测试样品的燃烧热值同时采集燃烧过程的压力变化。实施例1-21的燃料微球以及对比例1的燃料的燃烧热及最大压力峰值如表1所示。

[0140] 表1

样品	点火温度(℃)	燃烧热值(MJ/kg)	压力峰值(MPa)
实施例 1	461.3	30.99	4.40
实施例 2	462.2	30.04	4.51
实施例 3	464.5	30.69	4.23
实施例 4	455.8	30.79	4.29
实施例 5	453.9	31.66	4.39
[0141] 实施例 6	454.5	30.22	4.57
实施例 7	459.6	29.70	4.39
实施例 8	451.2	29.61	4.31
实施例 9	453.1	31.23	4.59
实施例 10	454.8	31.29	4.59
实施例 11	447.9	29.00	4.44
实施例 12	458.1	29.61	4.22

[0142]	实施例 13	454.2	29.11	4.27
	实施例 14	445.3	30.61	4.28
	实施例 15	447.3	30.32	4.34
	实施例 16	449.1	27.52	4.36
	实施例 17	459.6	31.49	4.67
	实施例 18	461.0	29.61	4.47
	实施例 19	393.2	29.94	4.85
	实施例 20	452.0	31.29	4.80
	实施例 21	464.4	31.94	4.84
	对比例 1	509.6	14.03	3.43

[0143] 以上未涉及之处,适用于现有技术。

[0144] 在本说明书的描述中,参考术语“一个实施例”、“一些实施例”、“示例”、“具体示例”、或“一些示例”等的描述意指结合该实施例或示例描述的具体特征、结构、材料或者特点包含于本发明的至少一个实施例或示例中。在本说明书中,对上述术语的示意性表述不必针对的是相同的实施例或示例。而且,描述的具体特征、结构、材料或者特点可以在任一个或多个实施例或示例中以合适的方式结合。此外,在不相互矛盾的情况下,本领域的技术人员可以将本说明书中描述的不同实施例或示例以及不同实施例或示例的特征进行结合和组合。

[0145] 虽然已经通过示例对本发明的一些特定实施例进行了详细说明,但是本领域的技术人员应该理解,以上示例仅是为了进行说明,而不是为了限制本发明的范围,本发明所属技术领域的技术人员可以对所描述的具体实施例来做出各种各样的修改或补充或采用类似的方式替代,但并不会偏离本发明的方向或者超越所附权利要求书所定义的范围。本领域的技术人员应该理解,凡是依据本发明的技术实质对以上实施方式所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围。

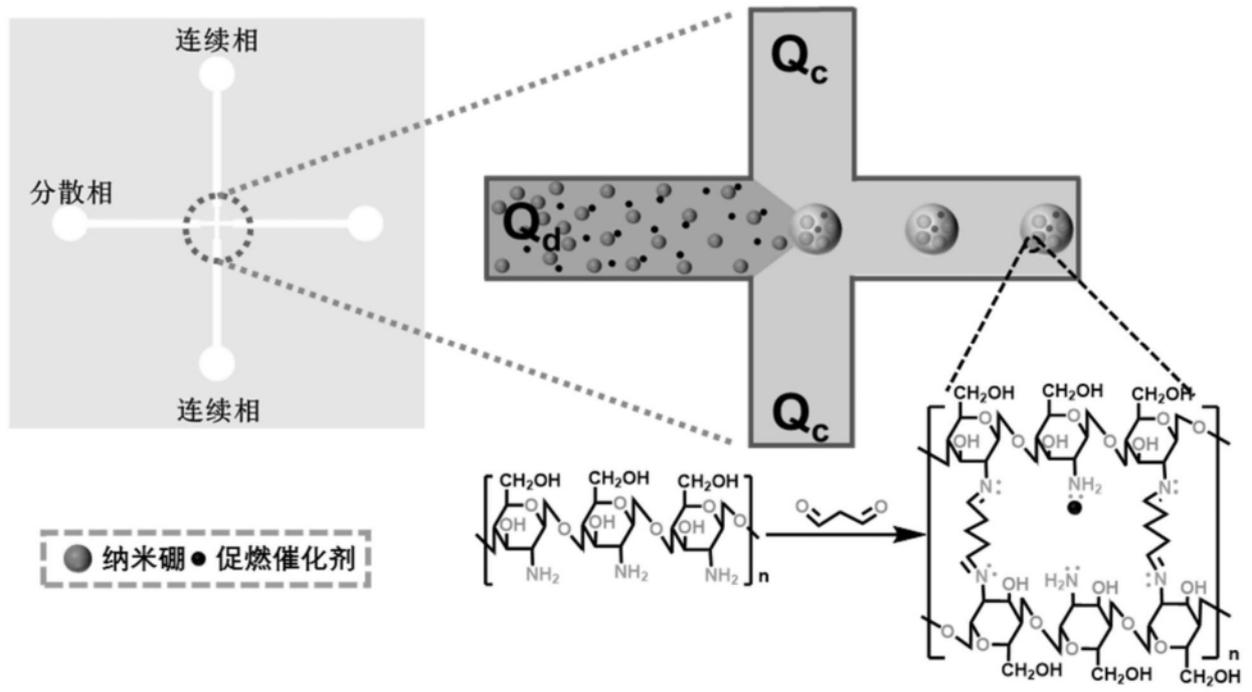


图1

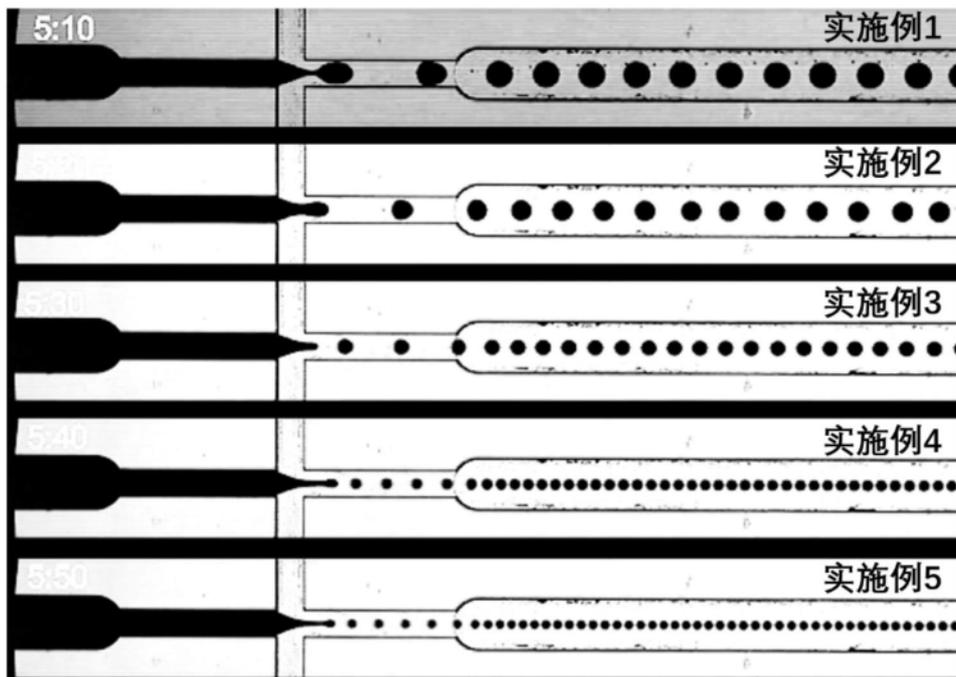


图2

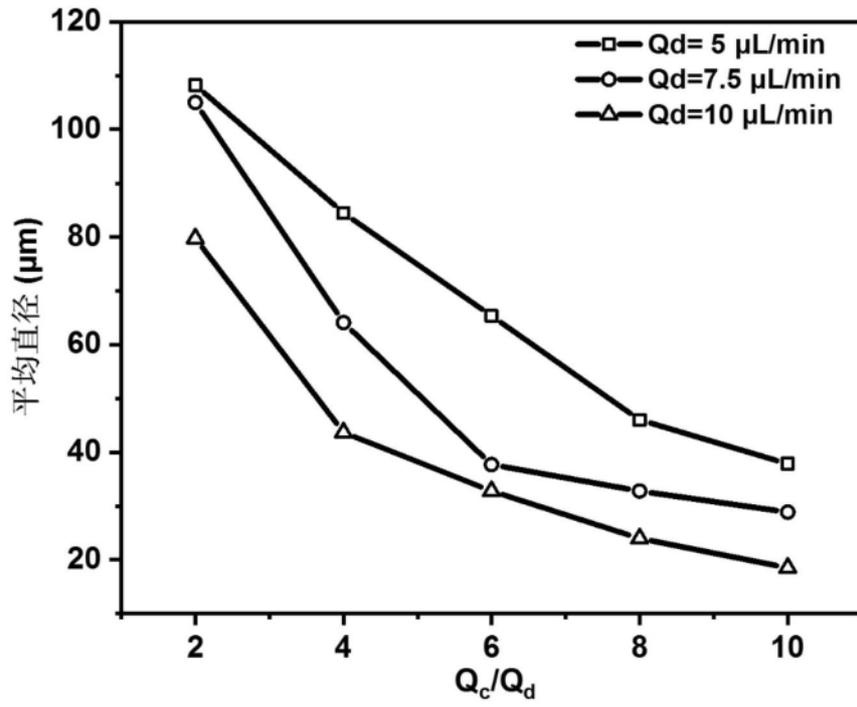


图3

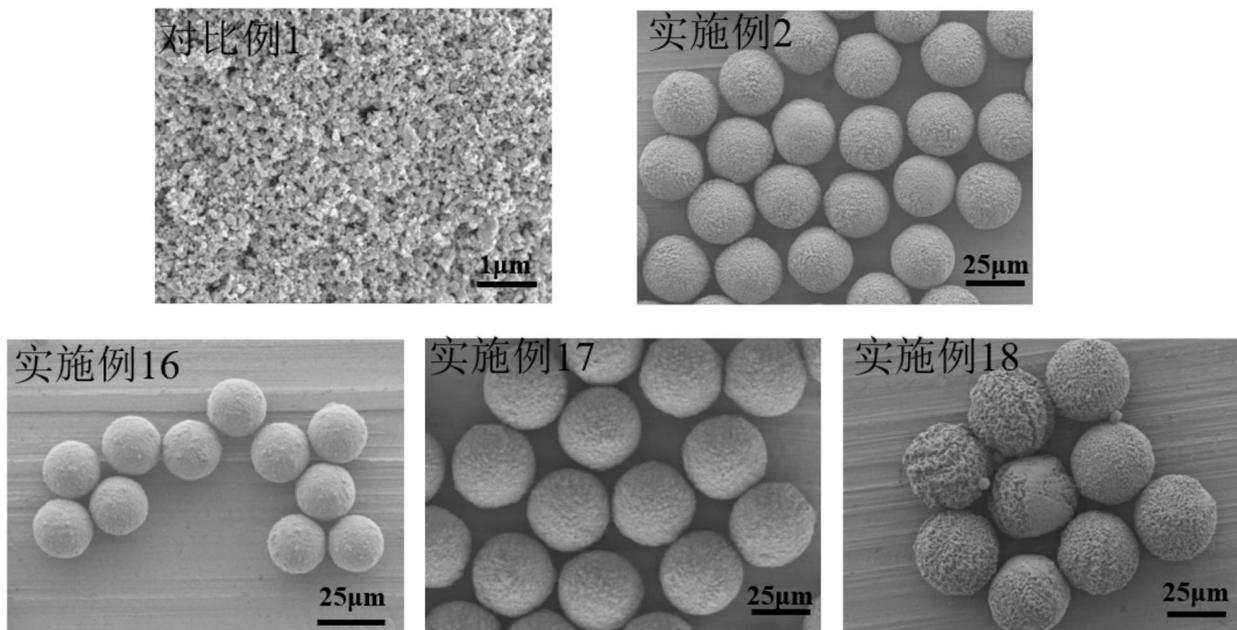
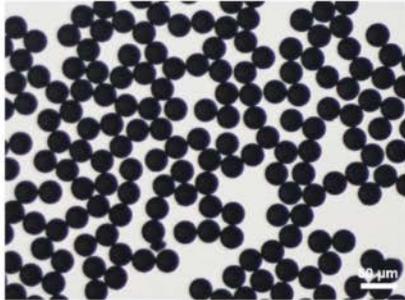
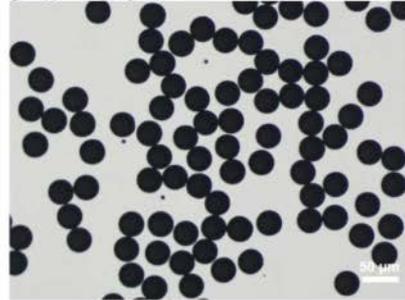


图4

实施例19



实施例20



实施例21

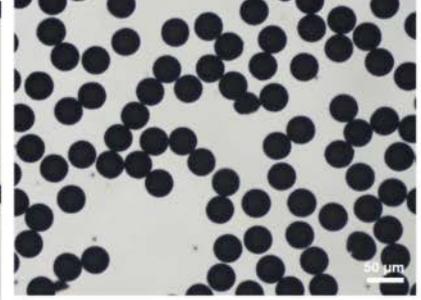


图5

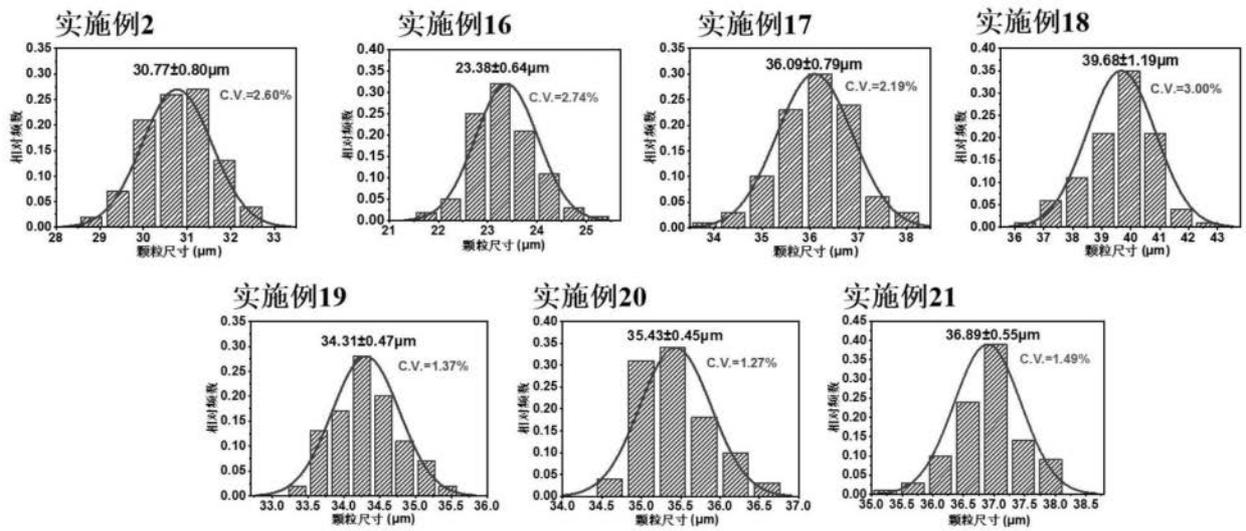


图6