



## (12) 实用新型专利

(10) 授权公告号 CN 201880473 U

(45) 授权公告日 2011. 06. 29

(21) 申请号 201020619579. 7

B03C 3/16 (2006. 01)

(22) 申请日 2010. 11. 22

(ESM) 同样的发明创造已同日申请发明专利

(73) 专利权人 浙江富春江环保热电股份有限公司

地址 311418 浙江省杭州市富阳市灵桥镇春永路 188 号

专利权人 浙江工商大学

(72) 发明人 吴祖良 张中梅 孙培德 陆豪  
张岳平 叶明华

(74) 专利代理机构 杭州天勤知识产权代理有限公司 33224

代理人 胡红娟

(51) Int. Cl.

B01D 53/60 (2006. 01)

B01D 53/78 (2006. 01)

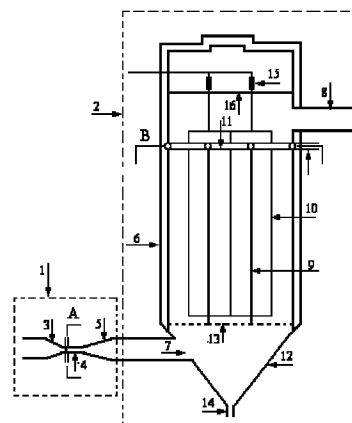
权利要求书 1 页 说明书 5 页 附图 1 页

### (54) 实用新型名称

文丘里喷雾复合湿式静电烟气治理反应器

### (57) 摘要

本实用新型公开了一种用于燃煤工业锅炉的文丘里喷雾复合湿式静电烟气治理反应器,包括文丘里喷雾段和湿式静电除雾段,文丘里喷雾段包括收缩管、喉管和扩散管,喉管入口处设有吸收剂喷嘴;湿式静电除雾段包括壳体,壳体下端设有与扩散管连接的进气口,壳体上端设有出气口;壳体内下部设有多孔气流均布板;壳体内部设有多个由放电极板和放电电极组成的单元放电通道组;放电极板上方设有喷水管;湿式静电除雾段底部设有灰斗和出水口;湿式静电除雾段顶部还设有绝缘子和绝缘板。本实用新型反应器可以实现烟气中多种污染物粉尘、SO<sub>2</sub>和NO<sub>x</sub>同时脱除,烟气污染物的脱除效率高,工艺简单可靠,大大节省投资和运行成本。



1. 一种文丘里喷雾复合湿式静电烟气治理反应器,包括文丘里喷雾段(1)和湿式静电除雾段(2),其特征在于:所述的文丘里喷雾段(1)包括收缩管(3)、喉管(4)和扩散管(5),喉管(4)的入口处沿喉管(4)的周边设置有吸收剂喷嘴(17);所述的湿式静电除雾段(2)包括壳体(6),壳体(6)下端设有进气口(7),进气口(7)与扩散管(5)连接,进气口(7)的上方设有多孔气流均布板(13);壳体(6)的上端设有出气口(8),壳体(6)的内部设有单元放电通道组(18),每个单元放电通道组(18)包括放电极板(9)和放电电极(10),放电电极(10)设在放电通道中心,放电极板(9)接地,放电电极(10)接负高压;湿式静电除雾段(2)的上部设有绝缘板(16),绝缘板(16)上方设有绝缘子(15);湿式静电除雾段(2)的底部设有灰斗(12)和出水口(14)。

2. 根据权利要求1所述的文丘里喷雾复合湿式静电烟气治理反应器,其特征在于:所述的文丘里喷雾段(1)水平布置,所述的湿式静电除雾段(2)垂直布置。

3. 根据权利要求1所述的文丘里喷雾复合湿式静电烟气治理反应器,其特征在于:所述的喉管(4)入口处沿周边均匀布置4~8个吸收剂喷嘴(17)。

4. 根据权利要求1所述的文丘里喷雾复合湿式静电烟气治理反应器,其特征在于:所述的喉管(4)的长度为喉管(4)直径的0.8~1.2倍。

5. 根据权利要求1所述的文丘里喷雾复合湿式静电烟气治理反应器,其特征在于:所述的收缩管(3)的收缩角为 $20^{\circ}$ ~ $30^{\circ}$ 。

6. 根据权利要求1所述的文丘里喷雾复合湿式静电烟气治理反应器,其特征在于:所述的扩散管(5)的扩散角为 $4^{\circ}$ ~ $8^{\circ}$ 。

7. 根据权利要求1所述的文丘里喷雾复合湿式静电烟气治理反应器,其特征在于:所述的单元放电通道(18)为边长为300~400mm的正方形。

8. 根据权利要求1所述的文丘里喷雾复合湿式静电烟气治理反应器,其特征在于:所述的放电极板(9)为不锈钢钢板,放电极板(9)上方布置有喷水管(11);所述的放电电极(10)为不锈钢管,不锈钢管直径为5~10mm;不锈钢管表面缠绕螺旋线(19),螺旋线(19)间距20~30mm,螺旋线(19)直径2~3mm。

9. 根据权利要求8所述的文丘里喷雾复合湿式静电烟气治理反应器,其特征在于:所述的喷水管(11)材料为PPR,直径为5~10mm;喷水管(11)正下方每隔100mm开设喷水口,喷水口高于放电极板(9)5mm。

## 文丘里喷雾复合湿式静电烟气治理反应器

### 技术领域

[0001] 本实用新型涉及一种燃煤工业锅炉烟气治理的反应器,尤其涉及一种文丘里喷雾复合湿式静电烟气治理反应器。

### 背景技术

[0002] 我国是世界上最大的煤炭消耗国,2008 年我国煤炭消费高达 27 亿吨以上,约占世界煤炭消费总量的 45%。在未来相当长的时期内,我国以煤炭为主要能源的格局不会改变,煤炭消耗量将持续增长。据统计,2008 年我国在用工业锅炉 50 多万台,量大面广,其中 80% 以上是燃煤锅炉。作为重要的能源转换设备,目前我国燃煤工业锅炉的年总耗煤量近 5 亿吨,约占全国煤炭消费总量的 1/5,是除发电锅炉以外的第二大耗能设备,是我国能源的消费大户和主要的大气污染源之一,其粉尘和  $\text{SO}_2$  等大气污染物的排放量仅次于燃煤电站锅炉。目前,国外发达国家对燃煤污染物的控制主要集中在除尘、脱硫和脱硝,且这些高效的污染物控制技术重点用于燃煤电站锅炉的污染物减排。针对燃煤工业锅炉,国外发达国家和地区主要从洁净煤技术角度,从源头控制燃煤污染的生成和排放。发达国家和地区对燃煤烟气污染物的逐步控制已经历了近百年的时间,已拥有了成熟的大型燃煤电站锅炉烟气除尘、脱硫和脱硝技术,但在工业锅炉污染治理方面没有成熟的技术可供借鉴。

[0003] 在国内,燃煤工业锅炉多数容量较小,且基本燃用未经净化的原煤,煤种又多变,末煤比例大,加上管理和自动控制水平低,在用锅炉的平均运行效率大大低于设计效率,不仅耗煤量大,而且污染物排放强度大。但是,由于我国一般工业企业的经济实力较差和现有烟气污染控制技术较为落后,大多数燃煤工业锅炉除尘脱硫设备依然比较落后,有些甚至无除尘脱硫装置,极少有脱硝装置。目前,国内燃煤工业锅炉烟气污染治理主要集中在除尘,配套使用的除尘设备绝大部分为旋风除尘器,但 50% 的旋风除尘器未正常运行,正逐步淘汰。究其原因主要是旋风除尘器易堵塞,易漏风,使得除尘效率显著下降;我国于 90 年代初开始研发燃煤工业锅炉的烟气脱硫技术,目前能稳定运行的烟气脱硫方法大约有 10 余种,但真正进入市场也就是几种,且投资及运行费用比较昂贵,推广应用较为困难。一些棘手的技术问题,如运行效率低、腐蚀、结垢、堵塞、二次污染、汽水分离及灰水分离等仍未得到很好解决,使燃煤工业锅炉烟气脱硫的发展举步维艰;而对于燃煤工业锅炉的烟气脱硝,目前国内尚属空白。

[0004] 传统的燃煤烟气污染物控制,是一种污染物采取一套烟气净化装置的控制方式,当需要同时控制多种污染物时,势必导致系统复杂、占地面积大、成本高等问题。目前普遍采用静电除尘投资费用大约 50 ~ 80 元/kW,能耗接近  $1\text{Wh}/\text{Nm}^3$ ;而我国火电机组普遍采用的湿法石灰石石膏法脱硫技术,系统复杂,脱硫过程压力降较大,初期投资达到 100 ~ 150 元/kW,能耗甚至达到了  $10\text{Wh}/\text{Nm}^3$ ,运行费用在 2 分/kWh 以上;烟气脱硝采用的选择性催化还原(SCR)技术由于催化剂价格昂贵,且要定期更换致使投资和运行费高,初期投资达到 100 ~ 150 元/kW,运行费用也达到 2 分/kWh 以上。为此,研发高效经济的烟气多种污染物一体化脱除技术已成为国内外诸多研究机构的关注热点。

[0005] 近年来,美国、日本等发达国家对燃煤多种污染物一体化脱除技术的研究较为活跃,其中一些技术已处于早期商业化阶段。研究主要集中在同时脱硫脱汞、同时脱硫脱硝及同时脱硫脱硝脱汞等方面,主要有催化还原方法和氧化吸收方法。典型的催化还原技术有 SNOX (WSA-SNOX)、SNRB (SOX-NOX-ROX-BOX) 工艺、NOXSOX 工艺、CuO/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 工艺等。但这些技术都还不是十分成熟,大都处于示范阶段,未实现大规模工业化应用。而氧化吸收法是利用各种氧化物将不溶于水的 NO 氧化生成溶于水的 NO<sub>2</sub>,从而再利用碱液在尾部同时吸收 NO<sub>2</sub> 和 SO<sub>2</sub>,实现同时脱硫脱硝。此类同时脱硫脱硝技术大致可分为:添加剂氧化法和电晕放电氧化法。前者针对烟气脱硫平台难以吸收 NO 的难题,通过采用氧化性添加剂(如 NaClO<sub>2</sub>、HClO<sub>3</sub>、KMnO<sub>4</sub> 等)使 NO 转化成易被吸收的 NO<sub>2</sub>,可实现基于烟气脱硫平台的多种污染物一体化脱除;后者利用电晕放电技术产生的自由基和多种激发态分子等活性物质(O、OH、HO<sub>2</sub> 等)实现了 NO 的高效氧化,再结合化学吸收过程实现 SO<sub>2</sub> 和 NO<sub>x</sub> 的一体化脱除。虽然燃煤烟气污染物一体化控制技术研究已经取得了初步进展,但离工业化应用尚需时日,需解决系统设计、工艺控制、技术集成等关键技术问题。

## 发明内容

[0006] 本实用新型针对燃煤工业锅炉未有能经济有效的脱除其烟气中粉尘、SO<sub>2</sub> 和 NO<sub>x</sub> 的技术空白,提供了一种用于燃煤工业锅炉烟气综合控制的文丘里喷雾复合湿式静电反应器,该反应器综合粉尘结核凝聚技术、SO<sub>2</sub> 喷雾吸收技术、NO 的氧化吸收技术以及高效除雾技术,实现粉尘、SO<sub>2</sub> 和 NO<sub>x</sub> 的高效一体化脱除。

[0007] 一种文丘里喷雾复合湿式静电烟气治理反应器,包括水平布置的文丘里喷雾段和垂直布置的湿式静电除雾段。

[0008] 所述的文丘里喷雾段包括收缩管、喉管和扩散管,喉管入口处沿喉管四周均匀布置多个吸收剂喷嘴。所述的喉管的长度为喉管直径的 0.8 ~ 1.2 倍。所述的收缩管的收缩角为 20 ~ 30°,所述的扩散管的扩散角为 4 ~ 8°。

[0009] 所述的湿式静电除雾段包括壳体,壳体下端设有进气口,进气口与文丘里喷雾段的扩散管连接,壳体上端设有出气口,与烟囱连接,同时进气口上部还设有多孔的气流均布板。壳体内部由多个单元放电通道组合而成,每个单元放电通道内均包括放电极板和放电电极,放电电极设在放电通道中心,放电极板接地,放电电极接负高压。所述的单元放电通道为边长为 300 ~ 400mm 的正方形。静电除雾反应段的横截面积可根据所处理的烟气量和单元通道内的烟气流速来确定,单元通道内的烟气流速一般控制在 0.3 ~ 0.5m/s。湿式静电除雾段的顶部还设有绝缘子,用绝缘板将绝缘子与烟气隔离。湿式静电除雾段的底部设有灰斗和出水口,放电过程中捕集的液滴自上而下沿着放电极板流动,最后在出水口汇集,流入吸收剂循环池并进行水封。

[0010] 所述的放电极板为不锈钢钢板,放电极板上方设有喷水管。所述的喷水管材料为 PPR,直径为 5 ~ 10mm,喷水管正下方每隔 100mm 开设喷水口,喷水口高于放电极板 5mm。所述的放电电极是不锈钢管,不锈钢管的直径为 5 ~ 10mm,不锈钢管表面缠绕螺旋线,螺旋线间距 20 ~ 30mm,螺旋线直径 2 ~ 3mm。

[0011] 本实用新型反应器的湿式静电除雾段由多个正方形的单元放电通道组合而成。正方形的单元放电通道与常见的圆形相比,结构更加紧凑,加工更加方便,反应器容易放大适

应不同的锅炉容量。单元放电通道由放电极板和放电电极组成,由于除雾段在结露的状态下运行,为了防止  $\text{SO}_2$  和  $\text{NO}_x$  的腐蚀性,保证稳定运行,所以放电极板和放电电极的材料均为不锈钢。由于长期运行粉尘颗粒会粘结在放电极板上,所以在放电极板上布置喷水器,定期向极板喷水进行清洗。由于湿式静电除雾段的运行温度一般在  $90^\circ\text{C}$  以下,所以喷水管材料为 PPR。

[0012] 本实用新型反应器的放电电极采用缠绕螺旋线的不锈钢管,这是因为:由于放电空间湿度较大,放电时容易发生火花放电,导致放电电压整体下降,从而降低除雾效果,所以不适合采用常规的芒刺状电极。螺旋线型的放电电极,不易击穿,能够提高放电电压,从而提高液滴的捕集效果。

[0013] 本实用新型装置中的文丘里喷雾段具有除尘脱硫的功能。烟气进入收缩管后流速逐渐增大,气流的压力能够逐步转化为动能,在喉管入口处气流速度达到最大,形成  $80 \sim 120\text{m/s}$  的高速流动的气体,吸收剂沿喉管周边均匀分布的喷嘴进入,喷嘴个数  $4 \sim 8$  个,液滴在喉管被高速气流雾化和加速。由于液滴和粉尘颗粒之间存在惯性碰撞,可实现细微颗粒物的捕集。虽然喉管处烟气停留时间较短,但是雾化的细小液滴具有极大的比表面积,能够和烟气中的  $\text{SO}_2$  发生高效传质吸收反应,达到  $\text{SO}_2$  的初步脱除。因为碰撞捕集效率与相对速度(液滴和粉尘颗粒之间)成正比,所以喉管入口处的烟气速度必须高。为了形成较大的烟气流速,因此收缩管的收缩角较大,一般为  $20 \sim 30^\circ$ 。喉管直径可根据所处理的烟气和喉管的设计流速来确定,喉管内烟气流速一般为  $80 \sim 120\text{m/s}$ 。在扩散管中,气流速度的减小和压力的回升,使以粉尘颗粒为凝结核的凝聚速度加快,形成直径较大的含尘液滴,大大有助于捕集脱除。同时由于烟气流速的减少,停留时间增大,  $\text{SO}_2$  和液滴之间的吸收反应将得到进一步强化,  $\text{SO}_2$  的脱除效率进一步提高。粉尘颗粒的核化凝聚和  $\text{SO}_2$  的传质吸收都需要较长的停留时间,改善凝聚颗粒的重力沉降脱除和  $\text{SO}_2$  的吸收,所以扩散管的扩散角通常取  $4 \sim 8^\circ$ ,而且适当延长扩散管后面的直管段至  $2\text{m}$  以上。烟气经过文丘里喷雾段后,大的液滴在重力沉降作用下流入湿式静电除雾段底部的灰斗,但还有大量的微细液滴和粉尘无法脱除,需要在湿式静电除雾段内完成高效脱除。

[0014] 本实用新型装置的湿式静电除雾段具有同时除尘脱硫脱硝的功能。细小的含尘液滴经过放电通道时被荷上负电荷,在电场力的作用下向放电极板运动,最后被放电极板捕集,自上而下沿着放电极板流入灰斗,最后在出水口汇集排出。同时,  $\text{SO}_2$  在湿式静电除雾段与液滴的传质吸收反应仍在进行,而且液滴中的粉尘对亚硫酸根具有催化氧化作用,能够进一步提高  $\text{SO}_2$  的吸收效果。另外,在高湿度下电晕放电过程能够产生较多的氧化性自由基  $\text{OH}\cdot$ 、 $\text{HO}_2\cdot$  等等,能够氧化烟气中的  $\text{NO}$  成为  $\text{NO}_2$ 、 $\text{HNO}_2$  和  $\text{HNO}_3$ ,而且液滴中的粉尘具有催化氧化作用,能够促进这些氧化物质被液滴吸收,最终实现  $\text{NO}_x$  的脱除。所以,与常规的电除尘器相比,湿式静电除雾器对于含尘液滴的捕集更加有效,无需振打清灰装置,从本质上避免了常规电除尘设备粉尘返混率高、净化效果不佳等致命问题,有效改善运行性能,特别是对小颗粒的捕集效果将会明显改善,而且具有同时脱硫脱硝功能。

[0015] 本实用新型与现有技术相比具有的有益效果:

[0016] 1) 可以实现烟气中多种污染物粉尘、 $\text{SO}_2$  和  $\text{NO}_x$  同时脱除,大大节省投资和运行成本,工艺简单可靠;

[0017] 2) 烟气污染物的脱除效率高,其中粉尘的脱除效率达到  $99\%$  以上,  $\text{SO}_2$  脱除效率可

以达到 95% 以上, NO<sub>x</sub> 的脱除效率也可以达到 50% 左右;

[0018] 3) 该装置能够解决传统湿法脱除尾部气溶胶排放浓度高的问题, 有效的控制细微颗粒 (PM<sub>2.5</sub>) 和气溶胶的污染。

### 附图说明

[0019] 图 1 是本实用新型反应器的结构示意图;

[0020] 图 2 是本实用新型反应器中喉管入口处喷嘴的分布示意图;

[0021] 图 3 是本实用新型反应器中放电极板喷水管的布置图;

[0022] 图 4 是本实用新型反应器中螺旋线放电电极的结构示意图。

[0023] 图中各附图标记说明:

|        |           |            |         |         |
|--------|-----------|------------|---------|---------|
| [0024] | 1- 文丘里喷雾段 | 2- 湿式静电除雾段 | 3- 收缩管  | 4- 喉管   |
| [0025] | 5- 扩散管    | 6- 壳体      | 7- 进气口  | 8- 出气口  |
| [0026] | 9- 放电极板   | 10- 放电电极   | 11- 喷水管 | 12- 灰斗  |
| [0027] | 13- 气流均布板 | 14- 出水口    | 15- 绝缘子 | 16- 绝缘板 |
| [0028] | 17- 喉管喷嘴  | 18- 放电通道   | 19- 螺旋线 |         |

### 具体实施方式

[0029] 一种文丘里喷雾复合湿式静电烟气治理反应器, 包括水平布置的文丘里喷雾段 1 和垂直布置的湿式静电除雾段 2。文丘里喷雾段 1 依次由收缩管 3、喉管 4 和扩散管 5 组成。收缩管 3 的收缩角为 20 ~ 30°。喉管 4 内的烟气流速控制在 80 ~ 120m/s, 喉管 4 长度为 0.8 ~ 1.2 倍的喉管直径, 喉管 4 入口处沿周边均匀布置 4 ~ 8 个喷嘴 17。扩散管 5 的扩散角为 4 ~ 8°。湿式静电除雾段 2 包括壳体 6, 壳体 6 下端设有进气口 7, 与扩散管 5 连接, 连接段的长度在 2m 以上。湿式静电除雾段 2 上端设有出气口 8, 与烟囱连接。同时进气口 7 上部设有多个孔气流均布板 13, 开孔率为 30 ~ 50%。壳体 6 内部由多个单元放电通道 18 组合而成, 可根据烟气量的大小和污染物脱除的要求进行放大。单元放电通道 18 为正方形, 正方形边长为 300 ~ 400mm。单元放电通道 18 内烟气流速控制在 0.3 ~ 0.5m/s。单元放电通道 18 由放电极板 9 和放电电极 10 组成, 放电电极 10 设在放电通道的中心位置。放电极板 9 接地, 放电电极 10 接负高压, 形成负电晕。绝缘子 15 布置在湿式静电除雾段 2 的顶部并采用绝缘板 16 与出口烟气隔离。电晕放电过程中捕集的液滴自上而下沿着放电极板 9 流动, 流入湿式静电除雾段的灰斗 12, 最后在出水口 14 汇集, 流入吸收剂循环池并进行水封。

[0030] 喉管 4 周边均匀布置 4 ~ 8 个喷嘴 17, 喷嘴 17 直径为喉管 4 直径的 1/20。具体布置如图 2 所示。

[0031] 放电极板 9 上方设有喷水管 11, 喷水管 11 定期喷水, 清洗极板。喷水管布置如图 3 显示。喷水管 11 材料为 PPR, 直径为 5 ~ 10mm。喷水管 11 正下方每隔 100mm 开设喷水口, 并比放电极板 9 高 5mm。具体布置如图 3 所示。

[0032] 放电电极 (10) 为不锈钢管, 不锈钢管直径为 5 ~ 10mm。不锈钢管表面缠绕螺旋线 (19), 螺旋线 (19) 间距 20 ~ 30mm, 螺旋线 (19) 直径 2 ~ 3mm。具体如图 4 所示。

[0033] 应用例 1

[0034] 采用如图 1 所示的反应器,其中收缩管收缩角为  $30^{\circ}$ 。喉管内的烟气流速控制  $100\text{m/s}$ ,扩散管的扩散角为  $5^{\circ}$ ,湿式静电除雾段的单元放电通道为边长  $300\text{mm}$  的正方形,通道内烟气流速为  $0.3\text{m/s}$ 。处理  $3000\text{m}^3/\text{h}$  的燃煤工业锅炉烟气,以  $\text{NaOH}$  碱液作为吸收剂,施加  $55\text{kV}$  的直流高压,经环保部门监测,烟尘排放浓度  $7.03\text{mg}/\text{m}^3$ ,除尘效率  $99.15\%$ ;  $\text{SO}_2$  排放浓度  $45.1\text{mg}/\text{m}^3$ ,脱硫效率  $96.91\%$ ;氮氧化物排放浓度  $161\text{mg}/\text{m}^3$ ,脱硝效率  $47.57\%$ 。

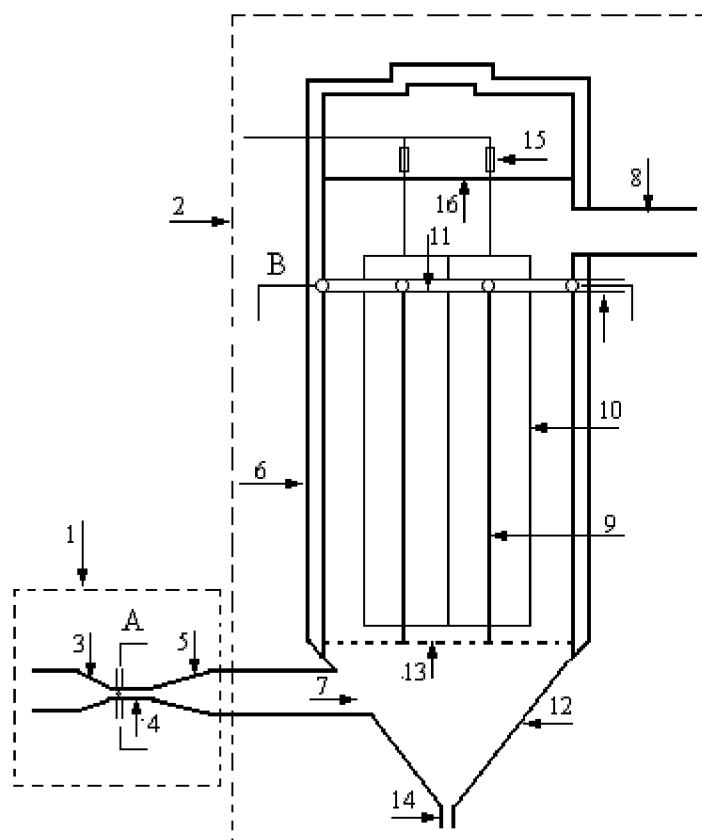


图 1

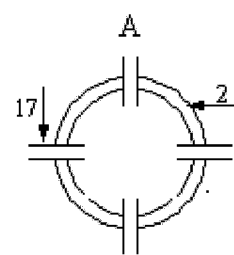


图 2

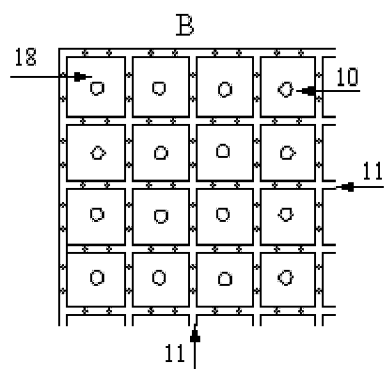


图 3

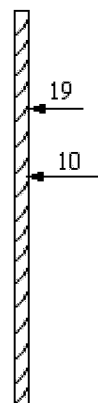


图 4