

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102417230 A

(43) 申请公布日 2012. 04. 18

(21) 申请号 201110321496. 9

(22) 申请日 2011. 10. 20

(71) 申请人 大连海事大学

地址 116023 辽宁省大连市高新区凌海路
1号

(72) 发明人 张芝涛 高金莹 白敏冬 田一平
李延建 李日红 金忠林 蔡丽娇

(74) 专利代理机构 大连理工大学专利中心

21200

代理人 梅洪玉

(51) Int. Cl.

C02F 1/72(2006. 01)

C02F 1/50(2006. 01)

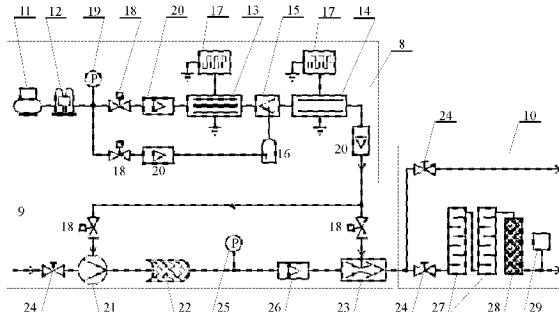
权利要求书 1 页 说明书 8 页 附图 2 页

(54) 发明名称

一种灾害环境下的车载饮用水应急消毒净化
装置

(57) 摘要

一种灾害环境下的车载饮用水应急消毒净化装置，属于气体放电应用与饮用水安全保障技术领域。本发明的技术特征是在窄间隙介质阻挡强电场放电反应器的基础上，增加宽间隙介质阻挡放电反应器构建氧活性粒子非平衡等离子体发生体系，采用混溶加压泵加文丘里气液混溶器的二级气液高效混溶模式强化氧活性粒子形成羟基自由基的链反应过程，采用插板式消毒灭菌罐延长饮用水流经路线，增加饮用水消毒灭菌作用时间，装置可以整体安装在汽车钢制底台上，便于运输。本发明的效果和益处是可以在灾害环境下，提高饮用水的消毒灭菌效果，增加饮用水的安全性与应急供应量。



1. 一种灾害环境下的车载饮用水应急消毒净化装置,其特征在于:

该净化装置包括高浓度氧活性粒子发生单元(8)、高浓度羟基自由基制备反应单元(9)和饮用水消毒灭菌单元(10);

高浓度氧活性粒子发生单元(8)包括空气压缩机(11)、制氧机(12)、窄间隙介质阻挡强电场放电反应器(13)、宽间隙介质阻挡放电反应器(14)、汇合器(15)、储液瓶(16)、高频高压电源(17)、电磁阀(18)、气体压力表(19)和气体流量计(20);其中,空气压缩机(11)以0.8MPa的压力为制氧机(12)稳定提供压缩空气,制氧机(12)以0.4MPa的压力输出含氧量高于90%的高纯度氧气,供给窄间隙介质阻挡强电场放电反应器(13)和储液瓶(16);高浓度氧活性粒子依靠窄间隙介质阻挡强电场放电反应器(13)和宽间隙介质阻挡放电反应器(14)共同作用产生,窄间隙介质阻挡强电场放电反应器(13)为平板式双电离腔结构,放电间隙0.25~0.64mm,电介质层采用纯度96%~99%的 α -Al₂O₃材料制成,厚度0.47~0.64mm,工作气压90~110kPa,激励电压5~10kV,激励频率5~10kHz;宽间隙介质阻挡放电反应器(14)则为平板式单电离腔结构,放电间隙1.00~1.50mm,电介质层厚度0.64~1.00mm,工作气压90~110kPa,激励电压5~8kV,激励频率15~20kHz;窄间隙介质阻挡强电场放电反应器(13)、宽间隙介质阻挡放电反应器(14)、汇合器(15)、储液瓶(16)及连接管路采用保温材料包裹;

高浓度羟基自由基制备反应单元(9)包括混溶加压泵(21)、过滤器(22)、文丘里气液混溶器(23)、手动阀门(24)、液体压力表(25)和液体流量计(26);混溶加压泵21在泵体内依靠高压环流对月牙状空间的反复压缩和膨胀在水中形成20μm以下的微小气室,依此将高浓度氧活性粒子与水高效混溶并压送至滤孔直径为20μm的过滤器(22),滤出其中的悬浮物;文丘里气液混溶器(23)依靠负压吸入效应和空化作用再次促使高浓度氧活性粒子与水高效混溶,文丘里气液混溶器(23)的入水口操作压力为0.4~0.5MPa,出水口操作压力为0.03~0.09MPa,水流量/气体流量为2~6;

饮用水消毒灭菌单元(10)包括:消毒灭菌罐(27)、残余氧化剂消除器(28)和水质分析仪(29);其中,消毒灭菌罐(27)的直径为150~500mm,管内设置10~15对相互交叠的在直径1/4处开口的插板;残余氧化剂消除器(28)内装有生物活性碳;

高浓度氧活性粒子发生单元(8)、高浓度羟基自由基制备反应单元(9)、饮用水消毒灭菌单元(10)、发电机(30)、原水接口(31)、饮用水接口(32)整体安装在钢制底台上,以汽车(33)为载体运输。

一种灾害环境下的车载饮用水应急消毒净化装置

技术领域

[0001] 本发明属于气体放电应用技术及饮用水安全保障技术领域,涉及一种可车载移动的饮用水处理系统,尤其是一种灾害环境下的车载饮用水应急消毒净化装置。

背景技术

[0002] 我国是自然灾害和生化灾害频繁发生的国家,突发卫生事件也时有发生,在灾害发生地域,水源往往会受到严重污染,供水系统也会遭受严重破坏,生活饮用水难以保障。不仅如此,随着我国工业快速发展和城市化进程加快,大量工业和生活污水被直接排入受纳水体,致使 82% 水域和 93% 城市饮用水水源被污染,产生大量的致癌、致畸、致突变物质,饮用水安全受到严重威胁;同时,我国部分农村贫困地区人口分散,社会经济发展不平衡,饮用水安全问题比城市更为严峻;另外,我国边防部队驻地分散、点多、线长、面宽,饮水卫生与安全问题极为突出,官兵身体健康和生命安全受到危害。因此,适用于灾区、战地以及水质污染地区的饮用水应急净化技术与装置对保障受灾群众生活用水、减少群众因灾损失、确保灾区社会稳定,提升我国对突发事件的应急处理能力具有重要意义。

[0003] 目前,国内外饮用水应急净化多数采用吸附过滤的技术模式,如美国的野战轻型净水器采用的是反渗透技术,英国的“救命”水壶 (Lifesaver Bottle) 采用的是多孔聚合物过滤技术,过滤孔径小于 10^{-9} m,瑞士的手动加压滤水器采用的是 $0.2 \mu\text{m}$ 掺银陶瓷过滤技术,天津军事医学科学院研制的野战班用净水器,采用功能性过滤及吸附材料作为净化单元,兰州铁道学院研制的小型净水器,采用了双层高分子滤膜吸附过滤技术及活性炭与消毒树脂混合吸附灭菌技术。采用吸附过滤技术模式的应急净水设备的结构虽然简单、多样,但普遍存在着处理量低(一般不超过 5 吨 / 小时),滤芯易堵塞、不易再生,使用寿命短等问题;有些还需要投加化学药剂辅助杀灭微生物,因此会产生有毒副产物,出水有异味,并且还须配备消毒药剂对分装容器、管道预先消毒灭菌。

[0004] 使用消毒灭菌剂也是饮用水应急消毒净化的常用模式,消毒灭菌剂主要有氯 (Cl_2)、氯胺 (NH_2Cl 、 NHCl_2) 和二氧化氯 (ClO_2) 等,在小型净水装置中或在应急状况下,也可使用漂白粉 [$\text{CaO} \cdot 2\text{Ca}(\text{ClO})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$]、漂白精 [$\text{Ca}(\text{ClO})_2$] 及次氯酸钠 (NaClO) 等,作用是氧化降解化学毒剂、有机污染物以及杀灭致病微生物。存在的问题是消毒灭菌时间长、投加剂量大、选择性强、生化反应后会残留氯有机污染物,如三氯甲烷和卤乙酸等。

[0005] 饮用水应急消毒净化需要解决污染源多样、净化时间长、二次污染等难题,要求所使用的消毒灭菌剂生化反应速度快,反应速率常数大于 $10^7\text{L/mol} \cdot \text{s}$,具有广谱致死特性,消毒剂本身无毒性,无药剂残留,反应的最终产物为 CO_2 、 H_2O 及无机盐等,稳定性好,成本低,易操作。

[0006] 羟基自由基 ($\cdot\text{OH}$) 是强氧化剂,氧化电位高达 2.8V、具有广谱致死特性,反应速度极快,其反应速率常数是氯、过氧化氢和臭氧等氧化剂的 10^7 倍以上,在数秒内即可完成整个生化反应过程;剩余的 $\cdot\text{OH}$ 可分解成 O_2 和 H_2O ,无任何残余药剂,能够满足饮用水应急消毒净化的要求。然而,目前的羟基自由基主要是通过光激发氧化技术和光催化氧化技术

产生,虽然在去除有机污染物时的效率很高、甚至能使有机污染物矿化,转变成无害物质,但这些方法产生羟基自由基的浓度很低,还难以解决饮用水应急消毒净化问题,更不能用于饮用水运输容器和管道的消毒灭菌。大连博羽环保技术开发有限公司(实用新型专利,申请号:200820218658.X;发明专利,申请号:200810228249.2)发展了一种利用臭氧/空化效应协同产生羟基自由基的方法,并将其应用到应急深度处理水和消毒灭菌溶液的制取上,提升了羟基自由基的产生量。但这种方法也存在一些问题:仅使用臭氧在水中分解引发自由基链反应产生羟基自由基的过程不稳定,受水质状况影响非常大;射流器空化作用非常有利于提高气体在水中的溶解度,但对产生羟基自由基引发剂 HO_2^- 的促进作用有限,产生的羟基自由基浓度不够理想;羟基自由基链反应在主管路二次混合过程中会造成部分链反应中断,降低了饮用水消毒灭菌的效率。

[0007] 提高羟基自由基浓度的方法之一是提高羟基自由基引发剂 HO_2^- 的产生量。依据大气压强电场放电激发等离子体化学反应的调控机理,在窄间隙介质阻挡强电场放电反应器中,将电子加速到 12.5eV 以上,通过高能电子的非弹性碰撞将输入的 O_2 电离、离解生成 O_2^+ 和 O_3 等活性粒子,这些活性粒子在汇合腔中与不饱和的气态 H_2O 或 H_2O_2 混合后再进入宽间隙介质阻挡放电反应器,在该反应器中,动态强电场将不饱和的气态 H_2O 或 H_2O_2 电离、离解高效产生羟基自由基引发剂 HO_2^- ,羟基自由基引发剂 HO_2^- 与 O_2^+ 和 O_3 等构成氧活性粒子非平衡等离子体化学反应强化生成体系,其生成量由两个不同放电体系的电子能量和电子密度调节。这种方法生成氧活性粒子的浓度要高于常规方法 3 倍,反应速率常数要高出常规方法 3 万倍。这样,由窄间隙介质阻挡强电场放电反应器和宽间隙介质阻挡放电反应器共同作用产生的高浓度氧活性粒子直接与原水通过混溶加压泵和文丘里气液混溶器两级高效混溶制备成高浓度羟基自由基链反应体系,在饮用水的输送过程中,在 0.5~2s 的时间内即可快速高效地完成饮用水消毒净化,也可直接将高浓度的羟基自由基用于饮用水输送管道、分装容器的快速消毒。

[0008] 以羟基自由基为消毒灭菌剂的饮用应急消毒净化是一种绿色技术模式,可实现快速、高效、低成本、无残余药剂或副产物致死饮用水中的病原微生物、氧化降解饮用水中的有机污染物,实现在突发事件区域、灾区和战地的饮用水应急净化,对分装容器、管道及污染器物快速消毒灭菌。

[0009] 羟基自由基饮用水应急消毒净化装置以微污染水为消毒净化对象,车载情况下饮用水处理量可达 40 吨 / 小时,处理的阈值时间在 0.5~2.0s,出水指标达到《生活饮用水水质卫生规范》的要求。

发明内容

[0010] 本发明克服了现有饮用水应急消毒净化装置的不足和缺陷,提供一种灾害环境下的车载饮用水应急消毒净化装置。本发明是在窄间隙介质阻挡强电场放电反应器的基础上,增加宽间隙介质阻挡放电反应器构建大气压氧活性粒子非平衡等离子体发生体系,采用混溶加压泵加文丘里气液混溶器的二级气液混溶模式强化氧活性粒子形成羟基自由基的链反应过程,采用插板式消毒灭菌罐延长饮用水流经路线,增加饮用水消毒灭菌作用时间,以此提高饮用水的消毒灭菌效果,保障灾害环境下的饮用水安全供应,提升饮用水的应急供水量。

[0011] 本发明的技术方案是：

[0012] 灾害环境下的车载饮用水应急消毒净化装置包括高浓度氧活性粒子发生单元、高浓度羟基自由基制备反应单元和饮用水消毒灭菌单元三部分，高浓度氧活性粒子发生单元的高浓度氧活性粒子出口采用聚四氟乙烯软管连接到高浓度羟基自由基制备反应单元的混溶加压泵的入气口和文丘里气液混溶器的入气口，高浓度羟基自由基制备反应单元的出水口采用 PVC 管路连接到饮用水消毒灭菌单元的入水口。

[0013] 高浓度氧活性粒子发生单元包括：空气压缩机、制氧机、窄间隙介质阻挡强电场放电反应器、宽间隙介质阻挡放电反应器、汇合器、储液瓶、高频高压电源、电磁阀、气体压力表和气体流量计。空气压缩机的出气口采用不锈钢管路连接到制氧机的空气入口；制氧机的氧气出口则采用聚四氟乙烯软管分别连接到窄间隙介质阻挡强电场放电反应器入气口和储液瓶入气口，连接管路中串接电磁阀和气体流量计用以调节输入氧气流量；窄间隙介质阻挡强电场放电反应器出口采用聚四氟乙烯软管连接到汇合器侧面入气口，储液瓶出气口采用聚四氟乙烯软管连接到汇合器底部入气口；汇合器出气口采用聚四氟乙烯软管连接到宽间隙介质阻挡放电反应器的入气口；宽间隙介质阻挡放电反应器的出气口采用聚四氟乙烯软管经气体流量计将高浓度氧活性粒子输运到高浓度羟基自由基制备反应单元；高频高压电源与窄间隙介质阻挡强电场放电反应器、宽间隙介质阻挡放电反应器之间采用不低于 25kV 的高压电缆连接。其中，窄间隙介质阻挡强电场放电反应器采用平板式双电离腔结构，接地电极水冷，冷却水温度控制在 5～10℃，放电间隙为 0.25～0.64mm，电介质层采用纯度为 96%～99% 的 α -Al₂O₃ 材料制成，电介质层厚度为 0.47～0.64mm，由 5～10kHz 高频高压电源激励，激励电压为 5～10kV，工作气压为 90～110kPa。窄间隙介质阻挡强电场放电反应器输入的工作气体为氧气，在非平衡等离子体电离腔内，O₂ 被电离、离解生成的 O₂⁺、O(³P)、O(¹D) 等活性粒子，但由于 O(³P)、O(¹D) 的寿命极短，分别为 5 μ s 和 5ns，它们很快与 O₂ 结合生成 O₃，窄间隙介质阻挡强电场放电反应器输出的活性粒子主要为 O₂⁺ 和 O₃；宽间隙介质阻挡放电反应器采用平板式单电离腔结构，接地电极水冷，冷却水温度控制在 5～10℃，放电间隙为 1.00～1.50mm，电介质层采用纯度为 96%～99% 的 α -Al₂O₃ 材料制成，电介质层厚度为 0.64～1.00mm，由 15～20kHz 高频高压电源激励，激励电压为 5～8kV，工作气压为 90～110kPa。宽间隙介质阻挡放电反应器输入的工作气体由两部分组成，一部分是非饱和的气态水 H₂O 或 H₂O₂，非饱和的气态 H₂O 在电离腔中被电离生成 H₂O⁺，再结合一个 H₂O 可生成 H₂O₂ 和 H₃O⁺，H₂O 激发生成了 H₂O*，H₂O* 不稳定与高能电子碰撞后生成了 H₂O₂；另一部分就是窄间隙介质阻挡强电场放电反应器输出的活性粒子 O₂⁺ 和 O₃。在宽间隙介质阻挡放电反应器中，H₂O₂ 被分解生成羟基自由基引发剂 HO₂⁻，同时部分 O₂ 又进一步被转化为 O₂⁺ 和 O₃，因此，宽间隙介质阻挡放电反应器输出的是富含 O₂⁺、O₃ 和羟基自由基引发剂 HO₂⁻ 的高浓度氧活性粒子。

[0014] 工作气体 O₂ 在现场制备，空压机抽取原料气体空气后，通过净化、冷凝等过程对空气进行预处理，制备压力为 0.8MPa 的压缩空气注入空气储气瓶，再经变压吸附式制氧机制取含氧量高于 90% 的高纯度氧气，并以 0.4MPa 的压力储存在氧气储气瓶中备用，为窄间隙介质阻挡强电场放电反应器和储液瓶提供氧气。非饱和气态水由 O₂ 经储液瓶携带输入到宽间隙介质阻挡放电反应器，储液瓶中安装有超声波振荡器，控制气态水的产生，储液瓶中添加 H₂O₂ 有助于羟基自由基引发剂 HO₂⁻ 的产生。窄间隙介质阻挡强电场放电反应器、宽间

隙介质阻挡放电反应器、汇合器、储液瓶及其相互间的连接管路均应用保温材料包裹。

[0015] 高浓度羟基自由基制备反应单元包括：混溶加压泵、过滤器、文丘里气液混溶器、手动阀门、液体压力表和液体流量计。混溶加压泵的入水口经手动阀门连接不锈钢软管，不锈钢软管的入水口放入取水源，混溶加压泵的出水口采用 PVC 管路连接到过滤器的入水口，混溶加压泵的入气口经由电磁阀连接到高浓度氧活性粒子发生单元的高浓度氧活性粒子出气口；过滤器的出水口采用 PVC 管路经由液体流量计连接到文丘里气液混溶器入水口，文丘里气液混溶器的入气口经由电磁阀连接到高浓度氧活性粒子发生单元的高浓度氧活性粒子出气口；文丘里气液混溶器的出水口将含有高浓度羟基自由基的水输运到饮用水消毒灭菌单元。取自江、河、水库、湖、塘或地下的微污染（主要是浊度污染和微生物污染）原水首先由混溶加压泵抽吸上来，并在混溶加压泵中将原水与高浓度氧活性粒子进行初级混溶，混溶过程中高浓度氧活性粒子通过链反应形成羟基自由基，并在输送过程中将原水中的有机污染物、无机污染物（如铁、锰等）预氧化，杀灭致病微生物，去除藻类物质及其代谢产物，并在过滤器中将水中的悬浮物、胶体滤出，过滤后的水高速流经文丘里气液混溶器，利用文丘里气液混溶器形成的负压再次吸入高浓度氧活性粒子并通过链反应形成高浓度羟基自由基，工作时，文丘里气液混溶器入水口的操作压力控制在 0.4 ~ 0.5MPa，文丘里气液混溶器出水口的操作压力控制在 0.03 ~ 0.09MPa，注入比（水流量 / 气体流量）控制在 2 ~ 6。由于采用了混溶加压泵加文丘里气液混溶器的二级气液混溶模式，羟基自由基的浓度和产生效率均得到大幅提高，此时的高浓度羟基自由基可直接用于管道的快速消毒、分装容器的快速消毒和污染器物的快速消毒。

[0016] 羟基自由基的产生是一个动态的链反应过程，活性粒子 O_2^+ 、 O_3 及 H_2O^+ 、 H_2O_2 等主要通过 3 条路径生成 $\cdot OH$ ：路径一， H_2O_2 分解生成羟基自由基引发剂 HO_2^- ， HO_2^- 可引发 O_3 与含 H 的其它活性粒子反应生成羟基自由基，该路径是生成 $\cdot OH$ 的主反应；路径二， O_2^+ 和 H_2O 反应形成水合离子簇进而离解生成 $\cdot OH$ ；路径三， H_2O^+ 和水合电子 e_{aq}^- 反应生成 $\cdot OH$ 。

[0017] 饮用水消毒灭菌单元包括：消毒灭菌罐、残余氧化剂消除器和水质分析仪。由高浓度羟基自由基制备反应单元文丘里气液混溶器输出的含有高浓度羟基自由基的水在饮用水消毒灭菌单元被分为两路，一路经由手动阀门直接输运到应用管路或容器，用于对容器和输水管路的消毒灭菌；另一路经由手动阀门连接到消毒灭菌罐的入水口，消毒灭菌罐的出水口与残余氧化剂消除器的入水口连接，残余氧化剂消除器的出水口则采用 PVC 管路或消防水带连接至饮用水应用管路或容器，残余氧化剂消除器的出水口设检测口，检测口与水质分析仪入水口连接。羟基自由基对饮用水消毒灭菌的效果决定于羟基自由基浓度 (C) 和作用时间 (T) 的乘积 (CT 值)，CT 值越高，消毒灭菌效果越好。虽然在高浓度羟基自由基制备反应系统中形成的羟基自由基浓度很高，而且对饮用水的消毒灭菌实际上从混溶加压泵和文丘里气液混溶器的气液混溶过程就开始了，但由于作用时间很短，CT 值不高，细菌、病毒和孢子等还不能得到完全有效地杀灭，需要经消毒灭菌罐充分作用才能完全杀灭细菌、病毒和孢子。消毒灭菌罐是由两个直径为 150 ~ 500mm 的圆管制成，每个圆管内设置 10 ~ 15 对相互交叠的插板，插板由与圆管内径相等的圆板制成，在直径的 1/4 处切去一弧面作为水流通道，插板垂直于圆管交叠安装，使饮用水以曲折往返的路径通过消毒灭菌罐，进一步改善羟基自由基的混溶效果，增加消毒灭菌作用时间，提升消毒灭菌效率。水流经消毒灭菌罐的时间控制在 2 ~ 10s，CT 值控制在 1.2 ~ 6.0 (mg/L) • s。水从消毒灭菌罐流出

后,大量的羟基自由基等氧化剂已经在饮用水消毒净化过程中消耗,部分剩余羟基自由基分解成氧气和水,但仍有部分氧化剂残留,需经残余氧化剂消除器清除,残余氧化剂消除器内装有生物活性碳,可对残余氧化剂及其微量残存污染物起到清除的作用。从残余氧化剂消除器输出的水经由水质分析仪监测,达到中国《生活饮用水水质卫生规范》要求后可作为应急条件下的生活饮用水使用。

[0018] 本发明的效果和益处是由于采用放电间距不同的两个介质阻挡放电反应器共同作用产生氧活性粒子,强化了形成羟基自由基所需的氧活性粒子的形成过程;采用混溶加压泵加文丘里气液混溶器的二级气液混溶模式助推氧活性粒子形成高浓度羟基自由基的链反应过程,提高了羟基自由基浓度;采用插板式消毒灭菌罐延长饮用水流经路线,增加了饮用水消毒灭菌作用时间,不仅可以提高灾害环境下的饮用水消毒灭菌效果,而且可以大幅提升饮用水的安全性与应急供应量。

附图说明

[0019] 图 1 是车载饮用水应急消毒净化装置工艺流程示意图。

[0020] 图 2 是车载饮用水应急消毒净化装置工作原理示意图。

[0021] 图 3 是车载饮用水应急消毒净化装置安装示意图。

[0022] 图中:1 高浓度氧活性粒子发生阶段;2 氧活性粒子初级混溶阶段;3 饮用水过滤阶段;4 氧活性粒子文丘里高级混溶阶段;5 饮用水消毒灭菌阶段;6 残余氧化剂消除阶段;7 饮用水水质分析;8 高浓度氧活性粒子发生单元;9 高浓度羟基自由基制备反应单元;10 饮用水消毒灭菌单元;11 空气压缩机;12 制氧机;13 窄间隙介质阻挡强电场放电反应器;

[0023] 14 宽间隙介质阻挡放电反应器;15 汇合器;16 储液瓶;17 高频高压电源;18 电磁阀;19 气体压力表;20 气体流量计;21 混溶加压泵;22 过滤器;23 文丘里气液混溶器;24 手动阀门;25 液体压力表;26 液体流量计;27 消毒灭菌罐;28 残余氧化剂消除器;29 水质分析仪;30 发电机;31 原水接口;32 饮用水接口;33 汽车。

具体实施方式

[0024] 以下结合技术方案和附图详细叙述本发明的具体实施方式。

[0025] 本发明所述的一种灾害环境下的车载饮用水应急消毒净化装置工艺流程如附图 1 所示,包括高浓度氧活性粒子发生阶段 1;氧活性粒子初级混溶阶段 2;饮用水过滤阶段 3;氧活性粒子文丘里高级混溶阶段 4;饮用水消毒灭菌阶段 5;残余氧化剂消除阶段 6;饮用水水质分析 7。高浓度氧活性粒子发生阶段 1 产生的高浓度氧活性粒子分成两路分别输送到氧活性粒子初级混溶阶段 2 和氧活性粒子文丘里高级混溶阶段 4,氧活性粒子初级混溶阶段 2 将原水与高浓度氧活性粒子混溶后依次输运到饮用水过滤阶段 3、氧活性粒子文丘里高级混溶阶段 4,氧活性粒子文丘里高级混溶阶段 4 再次将高浓度氧活性粒子混溶并输运到饮用水消毒灭菌阶段 5 或直接作为消毒水使用,饮用水消毒灭菌阶段 5 输出的水依次经由残余氧化剂消除阶段 6 处理和饮用水水质分析 7 检测合格后输出符合《生活饮用水水质卫生规范》要求的饮用水。其中,在高浓度氧活性粒子发生阶段 1,以 O_2 和非饱和气态 H_2O 或 H_2O_2 为原料,依靠大气压非平衡等离子体化学反应产生大量的富含 O_2^+ 、 O_3 和羟基自由基引发剂 HO_2^- 的高浓度氧活性粒子,输出的氧活性粒子浓度要高于 $120g/m^3$ 才能保证车载饮

用水应急消毒净化工艺后续阶段的处理效果；在氧活性粒子初级混溶阶段 2，来自高浓度氧活性粒子发生单元 8 的氧活性粒子通过混溶加压泵 21 与取自江、河、水库、湖、塘或地下的微污染原水混溶，依靠混溶加压泵 21 在泵体内依靠高压环流对月牙状空间的反复压缩和膨胀在水中形成数量极大的 20 μm 以下的微小气室，依此将高浓度氧活性粒子与水高效混溶并压送至饮用水过滤器 22。在混溶与压送过程中，高浓度氧活性粒子在水中产生羟基自由基链反应，并在输送过程中将原水中的有机污染物、无机污染物预氧化，杀灭致病微生物，去除藻类物质及其代谢产物；在饮用水过滤阶段 3，依靠 20 μm 的过滤器将羟基自由基预氧化处理过的水过滤，滤出其中的悬浮物，滤出的悬浮物在过滤器反冲洗过程中除去，过滤后的水再进入文丘里气液混溶器 23；在氧活性粒子文丘里高级混溶阶段 4，过滤后的水再次与来自高浓度氧活性粒子发生单元 8 的氧活性粒子经由文丘里气液混溶器与水高效混溶，要求文丘里气液混溶器入口与出口之间有足够的压力差以对高浓度氧活性粒子产生强烈的负压吸入效应和空化作用，文丘里气液混溶器入水口的操作压力需要控制在 0.4 ~ 0.5MPa 之间，文丘里气液混溶器出水口的操作压力需要控制在 0.03 ~ 0.09MPa 之间，注入比（水流量 / 气体流量）需要控制在 2 ~ 6 之间，通过文丘里气液混溶器的再次混溶，强化了羟基自由基链反应过程，此时羟基自由基的浓度很高，可以用来直接对饮用水输运管路、分装容器和被微生物污染的器物消毒；在饮用水消毒灭菌阶段 5，由文丘里气液混溶器输出的含有羟基自由基的水进入消毒灭菌罐 27，以增加羟基自由基对水中有机污染物、细菌、病毒和孢子等的作用时间，提高饮用水消毒净化效果；在残余氧化剂消除阶段 6，饮用水中的残余氧化剂被生物活性碳吸附，净化后的饮用水经水质分析仪 7 监测，达到中国《生活饮用水水质卫生规范》要求后输出饮用水。

[0026] 本发明所述的车载饮用水应急消毒净化装置工作原理如附图 2 所示，包括高浓度氧活性粒子发生单元 8、高浓度羟基自由基制备反应单元 9 和饮用水消毒灭菌单元 10。其中，高浓度氧活性粒子发生单元 8 的高浓度氧活性粒子出口采用聚四氟乙烯软管连接到高浓度羟基自由基制备反应单元 9 的混溶加压泵 21 的入气口和文丘里气液混溶器 23 的入气口，高浓度羟基自由基制备反应单元 9 的出水口采用 PVC 管路连接到饮用水消毒灭菌单元 10 的入水口。

[0027] 高浓度氧活性粒子发生单元 8，包括：空气压缩机 11；制氧机 12；窄间隙介质阻挡强电场放电反应器 13；宽间隙介质阻挡放电反应器 14；汇合器 15；储液瓶 16；高频高压电源 17；电磁阀 18；气体压力表 19；气体流量计 20。空气压缩机 11 的出气口采用不锈钢管路连接到制氧机 12 的空气入口；制氧机 12 的氧气出口则采用聚四氟乙烯软管分别连接到窄间隙介质阻挡强电场放电反应器 13 入气口和储液瓶 16 入气口，连接管路中串接电磁阀 18 和气体流量 20 计用以调节输入氧气流量；窄间隙介质阻挡强电场放电反应器 13 出口采用聚四氟乙烯软管连接到汇合器 15 侧面入气口，储液瓶 16 出气口采用聚四氟乙烯软管连接到汇合器 15 底部入气口；汇合器 15 出气口采用聚四氟乙烯软管连接到宽间隙介质阻挡放电反应器 14 的入气口；宽间隙介质阻挡放电反应器 14 的出气口采用聚四氟乙烯软管经气体流量计将高浓度氧活性粒子输送到高浓度羟基自由基制备反应单元 9；高频高压电源 17 与窄间隙介质阻挡强电场放电反应器 13、宽间隙介质阻挡放电反应器 14 之间采用不低于 25kV 的高压电缆连接。其中，空气压缩机 11 和制氧机 12 用于制备工作气体 O₂，要求空气压缩机 11 能够以 0.8MPa 的压力为制氧机 12 稳定提供压缩空气，制氧机 12 则通过变压

吸附模式制取含氧量高于 90% 的高纯度氧气，并以 0.4MPa 的压力储存在氧气储气瓶中，为窄间隙介质阻挡强电场放电反应器 13 和储液瓶 16 提供 O₂。窄间隙介质阻挡强电场放电反应器 13 用于产生活性粒子 O₂⁺ 和 O₃，该反应器采用平板式双电离腔结构，接地电极水冷，冷却水温度控制在 5 ~ 10°C，放电间隙为 0.25 ~ 0.64mm，电介质层采用纯度为 96% ~ 99% 的 α-Al₂O₃ 材料制成，电介质层厚度为 0.47 ~ 0.64mm，由 5 ~ 10kHz 高频高压电源激励，激励电压为 5 ~ 10kV，工作气压为 90 ~ 110kPa，工作气体 O₂ 来自制氧机 12。宽间隙介质阻挡放电反应器 14 用于强化产生富含 O₂⁺、O₃ 和羟基自由基引发剂 HO₂⁻ 的高浓度氧活性粒子，该反应器采用平板式单电离腔结构，接地电极水冷，冷却水温度控制在 5 ~ 10°C，放电间隙为 1.00 ~ 1.50mm，电介质层采用纯度为 96% ~ 99% 的 α-Al₂O₃ 材料制成，电介质层厚度为 0.64 ~ 1.00mm，由 15 ~ 20kHz 高频高压电源激励，激励电压为 5 ~ 8kV，工作气压为 90 ~ 110kPa，工作气体来自窄间隙介质阻挡强电场放电反应器 13 产生的活性粒子 O₂⁺ 和 O₃，以及来自储液瓶 16 的非饱和的气态 H₂O 或 H₂O₂、载气 O₂，宽间隙介质阻挡放电反应器 14 输出的氧活性粒子浓度需要高于 120g/m³。窄间隙介质阻挡强电场放电反应器、宽间隙介质阻挡放电反应器、汇合器、储液瓶及其相互间的连接管路均应采用保温材料包裹。

[0028] 高浓度羟基自由基制备反应单元 9，包括：混溶加压泵 21；过滤器 22；文丘里气液混溶器 23；手动阀门 24；液体压力表 25；液体流量计 26。混溶加压泵 21 的入水口经手动阀门 24 连接不锈钢软管，不锈钢软管的入水口放入取水源，混溶加压泵 21 的出水口采用 PVC 管路连接到过滤器 22 的入水口，混溶加压泵 21 的入气口经由电磁阀 18 连接到高浓度氧活性粒子发生单元 8 的高浓度氧活性粒子出气口；过滤器 22 的出水口采用 PVC 管路经由液体流量计 26 连接到文丘里气液混溶器 23 入水口，文丘里气液混溶器 23 的入气口经由电磁阀 18 连接到高浓度氧活性粒子发生单元 8 的高浓度氧活性粒子出气口；文丘里气液混溶器 23 的出水口将含有高浓度羟基自由基的水输运到饮用水消毒灭菌单元 10。其中，混溶加压泵 21 在泵体内依靠高压环流对月牙状空间的反复压缩和膨胀在水中形成大量的 20 μm 以下的微小气室，依此将高浓度氧活性粒子与水高效混溶并压送至饮用水过滤器 22，过滤器 22 的滤孔直径为 20 μm，具有反冲洗功能，可以将预氧化处理过的水过滤，滤出其中的悬浮物，滤出的悬浮物在过滤器反冲洗过程中除去，过滤后的水再进入文丘里气液混溶器 23，并再次与来自高浓度氧活性粒子发生单元 8 的氧活性粒子经由文丘里气液混溶器与水混溶，文丘里气液混溶器入水口的操作压力控制在 0.4 ~ 0.5MPa 之间，文丘里气液混溶器出水口的操作压力控制在 0.03 ~ 0.09MPa 之间，注入比（水流量 / 气体流量）需要控制在 2 ~ 6 之间。

[0029] 饮用水消毒灭菌单元 10，包括：消毒灭菌罐 27；残余氧化剂消除器 28；水质分析仪 29。由高浓度羟基自由基制备反应单元 9 文丘里气液混溶器 23 输出的含有高浓度羟基自由基的水在饮用水消毒灭菌单元 10 被分为两路，一路经由手动阀门 24 直接输运到应用管路或容器，用于对容器和输水管路的消毒灭菌；另一路经由手动阀门 24 连接到消毒灭菌罐 27 的入水口，消毒灭菌罐 27 的出水口与残余氧化剂消除器 28 的入水口连接，残余氧化剂消除器 28 的出水口则采用 PVC 管路或消防水带连接至饮用水应用管路或容器，残余氧化剂消除器 28 的出水口设检测口，检测口与水质分析仪 29 的入水口连接。其中，消毒灭菌罐 27 由两个直径为 150 ~ 500mm 的圆管制成，每个圆管内设置 10 ~ 15 对相互交叠的插板，插板由与圆管内径相等的圆板制成，在直径的 1/4 处切去一弧面作为水流通道，插板垂直

于圆管交叠安装,使饮用水以曲折往返的路径通过消毒灭菌罐 27,进一步改善羟基自由基的混溶效果,增加消毒灭菌作用时间,提升消毒灭菌效率。水流经消毒灭菌罐 27 的时间控制在 2 ~ 10s, CT 值控制在 1.2 ~ 6.0 (mg/L) • s。在消毒灭菌罐 27 中,羟基自由基等氧化剂已经在饮用水消毒净化过程中消耗殆尽,但仍有部分氧化剂残留,需经残余氧化剂消除器 28 清除,残余氧化剂消除器 28 内装有生物活性碳,可清除残余氧化剂及其微量残存污染物。从残余氧化剂消除器 28 输出的水经由水质分析仪 29 监测,达到中国《生活饮用水水质卫生规范》要求后可作为应急条件下的生活饮用水使用。

[0030] 本发明所述的车载饮用水应急消毒净化装置的安装如附图 3 所示,包括:高浓度氧活性粒子发生单元 8;高浓度羟基自由基制备反应单元 9;饮用水消毒灭菌单元 10;发电机 30;原水接口 31;饮用水接口 32;货运汽车 33。其中,高浓度氧活性粒子发生单元 8,高浓度羟基自由基制备反应单元 9,饮用水消毒灭菌单元 10,发电机 30;原水接口 31,饮用水接口 32 整体安装在钢制底台上,以货运汽车 33 为载体,便于机动,可在突发灾害事件发生时第一时间到达现场,支持灾害后期饮用水的安全应急供应。

[0031] 本发明采用两个放电间距不同的介质阻挡放电反应器共同作用产生高浓度的氧活性粒子,结合混溶加压泵加文丘里气液混溶器的二级气液混溶模式强化氧活性粒子形成羟基自由基的链反应过程,提高了羟基自由基浓度,采用插板式消毒灭菌罐延长饮用水流经路线,增加饮用水消毒灭菌作用时间,装置整体安装在钢制底台上,以货运汽车为载体,便于机动,不仅提高了饮用水的消毒灭菌效果,而且还可以在灾害环境下,大幅提升饮用水的安全性与应急供应量。

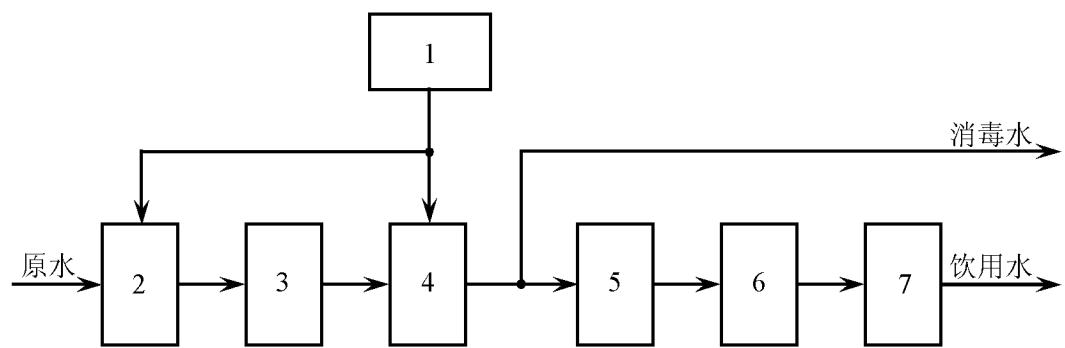


图 1

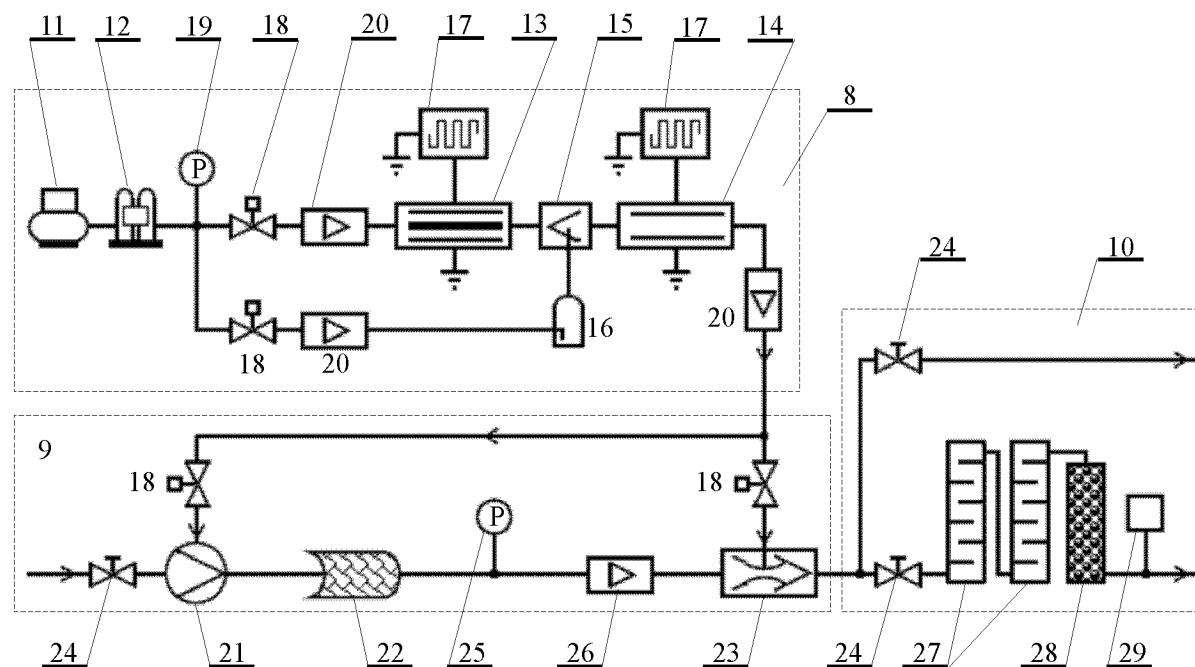


图 2

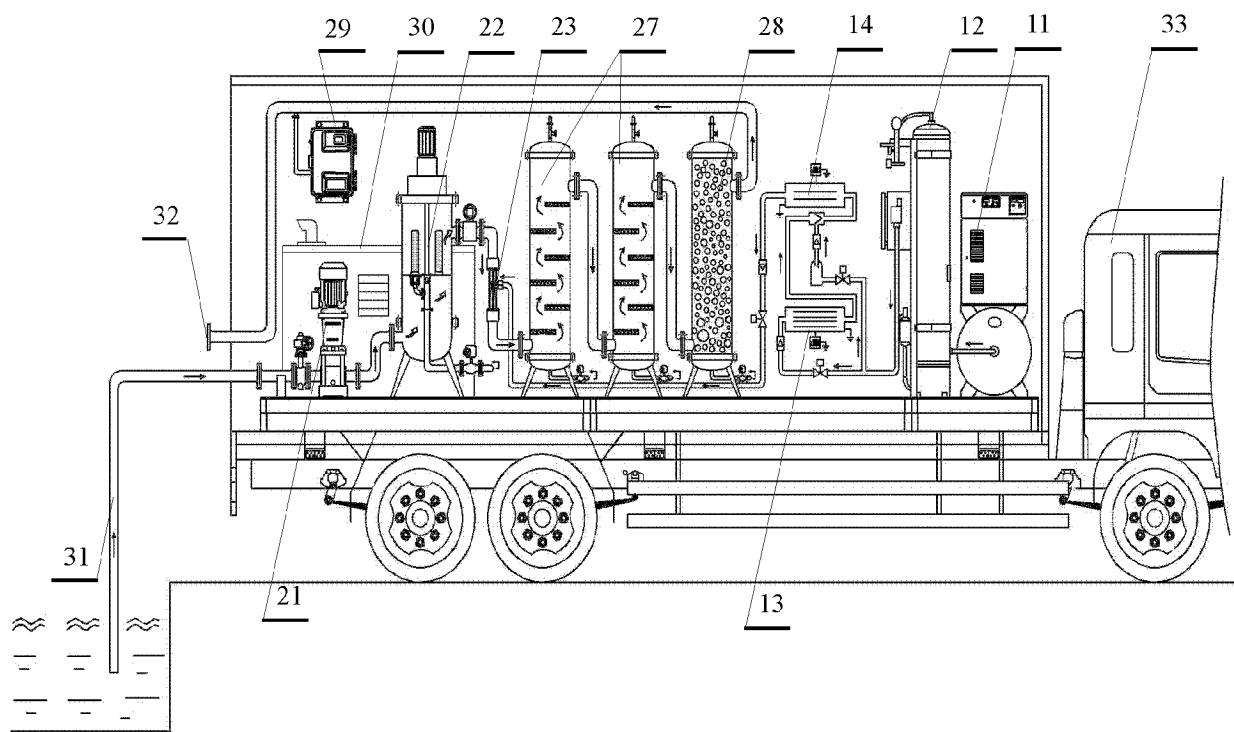


图 3