



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 109126433 B

(45) 授权公告日 2021.02.02

(21) 申请号 201810702999.2

B01D 53/44 (2006.01)

(22) 申请日 2018.06.30

B01D 53/74 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 109126433 A

(56) 对比文件

CN 205886562 U, 2017.01.18

CN 101041427 A, 2007.09.26

(43) 申请公布日 2019.01.04

KR 20020001020 A, 2002.01.09

(73) 专利权人 浙江工业大学

CN 107243234 A, 2017.10.13

地址 310014 浙江省杭州市下城区潮王路
18号

CN 107081036 A, 2017.08.22

审查员 杨颖

(72) 发明人 成卓韦 陈建孟 陈东之 张士汉
於建明 叶杰旭

(74) 专利代理机构 杭州天正专利事务所有限公
司 33201

代理人 黄美娟 李世玉

(51) Int. Cl.

B01D 53/81 (2006.01)

权利要求书1页 说明书7页 附图4页

(54) 发明名称

一种利用紫外激活气相过硫酸盐去除挥发性有机化合物的方法及装置

(57) 摘要

本发明公开了一种利用紫外激活气相过硫酸盐去除挥发性有机化合物的方法。将pH2~4的过一硫酸盐水溶液或pH10-12的过二硫酸盐水溶液加入过硫酸盐罐中,在空气量1-10mL/min条件下反应产生过硫酸盐气体,通过管路进入紫外反应罐,同时将含有机废气的气体通入紫外反应罐,反应5-60s,实现有机废气的去除。本发明利用了过硫酸盐在紫外光的激活下生成多种活性粒子,参与VOCs的氧化反应,最终将VOCs氧化为CO₂、H₂O等,具有操作简便、去除效果好等优点。对于浓度50-1000mg/m³的VOCs废气(如甲苯、氯苯等),当停留时间5-60s时,去除效率达到85%以上。

1. 一种利用紫外激活气相过硫酸盐去除挥发性有机化合物的方法,其特征在于所述方法利用紫外激活气相过硫酸盐装置进行,所述紫外激活气相过硫酸盐装置,包括鼓风机、过硫酸盐罐、有机溶液罐、废气罐和紫外反应器;所述过硫酸盐罐设有空气进口和气相出口,所述紫外反应器设有水浴加热套、温度计、紫外灯、进气口和排气口;所述鼓风机通过依次设有第一控制阀、第二控制阀和第一流量计的管路与过硫酸盐罐的空气进口连通,所述过硫酸盐罐的气相出口通过设有湿度计的管路与紫外反应器的进气口连通;所述有机溶液罐通过设有第二流量计的管路与第一控制阀连通,同时有机溶液罐通过管路与废气罐连通,所述废气罐通过设有第三流量计的管路与第二控制阀连通且通过设有第四流量计的管路与连接进气口设有湿度计的管路连通;

所述方法为:将过硫酸盐水溶液加入过硫酸盐罐中,通过鼓风机、第一控制阀、第二控制阀和第一流量计控制过硫酸盐罐的鼓气量为1-10mL/min;将有机溶液加入有机溶液罐中,通过鼓风机、第一控制阀和第二流量计控制有机溶液罐的鼓气量为0.05-5mL/min;通过鼓风机、第一控制阀、第二控制阀和第三流量计控制废气罐的空气进气量为0.1-2L/min;有机溶液罐产生的气体与废气罐内的空气混合后通过第四流量计与过硫酸盐罐内的气体混合并经湿度计进入紫外反应器,在185-254nm、20-60℃下反应,实现挥发性有机化合物的去除;所述过硫酸盐为过一硫酸钾盐、过一硫酸钠盐、过二硫酸钾盐或过二硫酸钠盐;所述有机溶液罐产生的有机气体浓度为50-1000mg/m³,所述有机气体为氯苯气体或甲苯气体;所述过硫酸盐为过一硫酸钾盐、过一硫酸钠盐时,其水溶液浓度为0.5-10g/L, pH为2-4;所述过硫酸盐为过二硫酸钾盐、过二硫酸钠盐时,其水溶液浓度为0.5-10g/L, pH为10-12;所述紫外氧化反应器内反应时间5-60s。

2. 如权利要求1所述利用紫外激活气相过硫酸盐去除挥发性有机化合物的方法,其特征在于废气罐的混合气体进入紫外反应器的进气量为0.5-2L/min。

3. 如权利要求1所述利用紫外激活气相过硫酸盐去除挥发性有机化合物的方法,其特征在于所述有机溶液罐并连有第二有机溶液罐,所述第二有机溶液罐通过设有第五流量计和第一控制阀的管路与鼓风机连通,同时通过管路与废气罐连通。

4. 一种权利要求1所述利用紫外激活气相过硫酸盐去除挥发性有机化合物的方法的专用装置,其特征在于所述专用装置为紫外激活气相过硫酸盐装置,包括鼓风机、过硫酸盐罐、有机溶液罐、废气罐和紫外反应器;所述过硫酸盐罐设有空气进口和气相出口,所述紫外反应器设有水浴加热套、温度计、紫外灯、进气口和排气口;所述鼓风机通过依次设有第一控制阀、第二控制阀和第一流量计的管路与过硫酸盐罐的空气进口连通,所述过硫酸盐罐的气相出口通过设有湿度计的管路与紫外反应器的进气口连通;所述有机溶液罐通过设有第二流量计的管路与第一控制阀连通,同时有机溶液罐通过管路与废气罐连通,所述废气罐通过设有第三流量计的管路与第二控制阀连通且通过设有第四流量计的管路与连接进气口设有湿度计的管路连通。

5. 如权利要求4所述的专用装置,其特征在于所述有机溶液罐并连有第二有机溶液罐,所述第二有机溶液罐通过设有第五流量计和第一控制阀的管路与鼓风机连通,同时通过管路与废气罐连通。

一种利用紫外激活气相过硫酸盐去除挥发性有机化合物的方法及装置

技术领域

[0001] 本发明涉及工业VOCs废气的净化,特别涉及一种利用紫外激活气相过硫酸盐去除挥发性有机化合物的方法,通过紫外激活过硫酸盐产生大量强氧化性活性粒子参与VOCs的氧化反应,获得VOCs较好地去除效果。该技术属于环境污染净化领域。

背景技术

[0002] 近年来,我国空气污染严重,大部分城市大气环境呈区域性灰霾、臭氧和酸雨三大复合型污染特点,而VOCs是其重要的诱因之一。VOCs主要来自于石油炼制、石油产品的储存和运输、溶剂使用等工业过程。

[0003] VOCs的控制方法主要有物理/化学法、物理化学法和生物法,如吸附、吸收、冷凝、焚烧、生物净化等。吸附法是利用具有吸附能力的物质(活性炭、分子筛等)吸附有害物质从而达到去除的目的;吸收法是利用低挥发性或不挥发性液体作为吸收剂,有害成分能在吸收剂中溶解或发生化学反应,从而去除有害物质的目的;冷凝法是利用VOCs在不同温度下具有不同饱和蒸汽压这一物理性质,采用降低系统温度或提高系统压力的方法,使处于蒸汽状态的VOCs冷凝并从废气中分离出来的过程;焚烧法是将含有VOCs的废气进行氧化然后或高温分解,使之转化为 H_2O 和 CO_2 的过程,等等。这些方法都有各自的适用性和技术弊端。如吸附和吸收法都会产生二次污染,冷凝法适合处理高浓度VOCs废气,焚烧法投资和运行费较大且存在安全风险,生物净化难以高效处理难降解VOCs等。

[0004] 高级氧化是最近兴起的一种VOCs治理技术,具有反应速率快、反应条件温和、净化效率高等特点,备受关注。高级氧化(如紫外光解、低温等离子体等)通过外界能量输入,可有效破坏VOCs的化学键,同时这些能量也可作用于反应介质(如空气、水汽等),产生氧化性更强的活性物质或自由基(如臭氧 O_3 、羟基自由基 $OH\cdot$ 等),从而提升对VOCs的破坏能力。

[0005] 以过一硫酸盐(peroxymonosulfate,PMS)、过二硫酸盐(persulfate,PS)、为代表的过硫酸盐作为一种新型氧化剂,在饮用水深度处理和难降解有机废水处理领域受到了广泛地关注,研究和应用十分活跃。过硫酸盐在常温常压体系中能被多种物质或能量激活(如紫外、热、金属氧化物催化剂等),不仅能产生 $OH\cdot$,还能产生氧化还原电位更高的 $SO_4^{\cdot-}$ (3.1eV),具有的氧化能力往往高于臭氧、双氧水体系。

[0006] 过硫酸盐作为一种新型氧化剂,在废气治理中的研究和应用相对较少。过硫酸盐在水中的溶解度远远高于 O_3 、高铁酸钾等氧化剂,常采用过硫酸盐溶液液相吸收气相污染物后,利用紫外、热等激活其强氧化性进而净化已被溶液吸收的污染组分。但该方法存在一些弊端,限制了其工业应用,如液相吸收后反应液的处理、大多数工业VOCs的水溶性较差等等。

[0007] 与液相紫外反应相比,气相中的紫外反应具有反应速度快、光能利用率高、反应不受溶剂分子影响等特点。若能使过硫酸盐直接参与气相反应,不仅能缩短反应时间,同时污染组分无需经过液相吸收而被直接氧化,能有效提升水溶性较差组分的氧化效果。

[0008] 基于此,本发明提出了一种利用紫外激活气相过硫酸盐去除挥发性有机化合物(VOCs)的方法,它包括气相过硫酸盐发生单元和紫外氧化反应单元,前置发生单元产生气相过硫酸盐随含VOCs废气一同进入后置紫外氧化单元,过硫酸盐在紫外光的激活下生成多种活性粒子,参与VOCs的氧化反应,最终将VOCs氧化为CO₂、H₂O等。

[0009] 专利号为201610407173.4公开了一种有机废气的处理方法,它是在微波辐射下,有机废气和氧化剂溶液(如过硫酸盐、次氯酸钠)混合后,经紫外线照射处理而净化有机废气的。该专利是利用液相吸收后再利用紫外光解,有机废气实质上是在液相中被氧化分解的,适用于那些易被水吸收的有机废气成分,且该公开专利还指出,后续需采用生物滤池进行进一步处理,可见对有机废气的净化效率有限。专利号为201710609313.0公开了一种微纳米气泡协同过硫酸盐氧化降解有机废气的方法,其实质还是利用液相吸收和液相反应实现有机废气的氧化分解与去除,仍然会产生吸收液需要进一步处理。专利号201610818901.0公开了一种氯苯废气的处理方法,采用的是氯苯废气与过硫酸盐水溶液进行接触,仍然是液相吸收与液相反应,并产生废液。纵观这些已经公开的专利,其本质都是利用液相吸收VOCs后再发生液相氧化反应,同时反应后会产生废液等二次污染。本发明公开方法的技术特点明显有别于上述专利,直接利用气相反应,而且本领域的技术人员无法通过上述专利而联想到本发明公开的技术,若不进行气相发生研究,不掌握气相过硫酸盐浓度的产生规律,是无法联想到本发明公开的技术。

发明内容

[0010] 本发明提供一种利用紫外激活气相过硫酸盐去除挥发性有机化合物的方法,解决了传统紫外工艺去除率低、去除不彻底等缺点。

[0011] 本发明采用以下技术方案:

[0012] 本发明提供一种利用紫外激活气相过硫酸盐去除挥发性有机化合物的方法,所述方法利用紫外激活气相过硫酸盐装置进行,所述紫外激活气相过硫酸盐装置,包括鼓风机、过硫酸盐罐、有机溶液罐、废气罐和紫外反应器;所述过硫酸盐罐设有空气进口和气相出口,所述紫外反应器设有水浴加热套、温度计、紫外灯、进气口和排气口;所述鼓风机通过依次设有第一控制阀、第二控制阀和第一流量计的管路与过硫酸盐罐的空气进口连通,所述过硫酸盐罐的气相出口通过设有湿度计的管路与紫外反应器的进气口连通;所述有机溶液罐通过设有第二流量计的管路与第一控制阀连通,同时有机溶液罐通过管路与废气罐连通,所述废气罐通过设有第三流量计的管路与第二控制阀连通且通过设有第四流量计的管路与连接进气口设有湿度计的管路连通;

[0013] 所述方法为:将过硫酸盐水溶液加入过硫酸盐罐中,通过鼓风机、第一控制阀、第二控制阀和第一流量计控制过硫酸盐罐的鼓气量为1-10mL/min(优选8mL/min);将有机溶液加入有机溶液罐中,通过鼓风机、第一控制阀和第二流量计控制有机溶液罐的鼓气量为0.05-1mL/min(优选1mL/min);通过鼓风机、第一控制阀、第二控制阀和第三流量计控制废气罐中空气进气量为0.1-2L/min(优选0.5-2L/min),有机溶液罐产生的气体与废气罐中的空气混合后通过第四流量计与过硫酸盐罐内的气体混合并经湿度计进入紫外反应器,在185-254nm、20-60℃(优选185nm、30℃)下反应,实现挥发性有机化合物的去除。

[0014] 进一步,所述过一硫酸盐为过一硫酸钾盐、过一硫酸钠盐、过二硫酸钾盐或过二硫

酸钠盐。

[0015] 进一步,所述过硫酸盐为过一硫酸钾盐、过一硫酸钠盐时,其水溶液浓度为0.5-10g/L(优选1-5g/L),pH为2-4。

[0016] 进一步,所述过硫酸盐为过二硫酸钾盐、过二硫酸钠盐时,其水溶液浓度为0.5-10g/L(优选1-5g/L),pH为10-12。

[0017] 进一步,所述过硫酸盐罐的鼓气量为1-10mL/min,优选8mL/min;有机溶液罐的鼓气量为1-10mL/min,优选1-5mL/min;废气罐的鼓气量为0.5-2L/min,废气罐的混合气体进入紫外反应器的进气量为0.5-2L/min。

[0018] 进一步,所述有机溶液罐产生的有机气体浓度为50-1000mg/m³,所述有机气体为氯苯气体或甲苯气体中的一种或两种的混合。

[0019] 进一步,紫外氧化反应器内反应时间5-60s。

[0020] 进一步,所述有机溶液罐并连有第二有机溶液罐,所述第二有机溶液罐通过设有第五流量计的管路与第一控制阀连通,同时通过管路与废气罐连通。

[0021] 本发明还提供一种所述利用紫外激活气相过硫酸盐去除挥发性有机化合物的专用装置,所述专用装置为紫外激活气相过硫酸盐装置,包括鼓风机、过硫酸盐罐、有机溶液罐、废气罐和紫外反应器;所述过硫酸盐罐设有空气进口和气相出口,所述紫外反应器设有水浴加热套、温度计、紫外灯、进气口和排气口;所述鼓风机通过依次设有第一控制阀、第二控制阀和第一流量计的管路与过硫酸盐罐的空气进口连通,所述过硫酸盐罐的气相出口通过设有湿度计的管路与紫外反应器的进气口连通;所述有机溶液罐通过设有第二流量计的管路与第一控制阀连通,同时有机溶液罐通过管路与废气罐连通,所述废气罐通过设有第三流量计的管路与第二控制阀连通且通过设有第四流量计的管路与连接进气口设有湿度计的管路连通。

[0022] 进一步,所述专用装置中,所述有机溶液罐并连有第二有机溶液罐,所述第二有机溶液罐通过设有第五流量计和第一控制阀的管路与鼓风机连通,同时通过管路与废气罐连通。

[0023] 本发明利用紫外激活气相过硫酸盐去除挥发性有机化合物(VOCs)的方法,气相过硫酸盐在紫外光的激活下生成多种活性粒子,参与VOCs的氧化反应,最终将VOCs氧化为CO₂、H₂O等,包括气相过硫酸盐发生单元和紫外氧化反应单元,前置发生单元产生气相过硫酸盐随含VOCs废气一同进入后置紫外氧化单元,过硫酸盐在紫外光的激活下生成多种活性粒子,参与VOCs的氧化反应,最终将VOCs氧化为CO₂、H₂O等。所述的气相发生单元是将空气通入过硫酸盐溶液进行吹脱,出气中将含有过硫酸盐分子、水分子等。所述的紫外氧化单元采用环形反应器,中央圆柱内置紫外灯,材质采用石英玻璃,外环材料采用玻璃,内、外环之间为反应区域;环形反应器外设置循环水装置,用于维持反应所需的温度;废气在反应器内呈推流式前进。

[0024] 与现有技术相比,本发明有益效果主要体现在:本发明通过气相发生单元产生富含过硫酸盐、水气等反应气氛,随含VOCs废气一同进入紫外氧化单元,在紫外灯的照射下,过硫酸盐被激活,产生大量活性粒子或强氧化性基团,参与VOCs的氧化过程,实现VOCs的去除与彻底净化。本技术对VOCs的处理时间短、效果好,同时操作便捷,不产生二次污染(吸收液),是一项有应用前景的VOCs净化技术。对于浓度50-1000mg/m³的VOCs废气,当停留时间

5-60s时,VOCs去除效率达到85%以上。

附图说明

[0025] 图1测定气相过硫酸盐浓度装置图,1-鼓风机,2-过硫酸盐罐,3-流量计,4-水吸收罐,5-控制阀门;

[0026] 图2实施例3紫外激活气相过硫酸盐装置图,1-鼓风机,2-过硫酸盐罐,3-第一流量计,4-有机溶液罐,5-废气罐,6-紫外反应器,7-水浴加热套,8-温度计,9-湿度计,10-紫外灯,11-进气口,12-第一控制阀,13-第二控制阀,14-第二流量计,15-第三流量计,16-第四流量计,17-排气口;

[0027] 图3不同溶液浓度下气相中过一硫酸钾和过二硫酸钾含量图。

[0028] 图4不同溶液pH下气相中过一硫酸钠和过二硫酸钠含量图。

[0029] 图5紫外/过一硫酸钾和紫外/过硫酸钾氧化工艺净化氯苯废气效果图。

[0030] 图6紫外/过一硫酸钠和紫外/过硫酸钠氧化工艺净化乙苯废气效果图。

[0031] 图7紫外/过硫酸钾氧化工艺净化不同进气浓度的氯苯废气效果图。

[0032] 图8紫外/过硫酸钠氧化工艺净化不同进气浓度的VOCs混合废气效果图。

[0033] 图9实施例6紫外激活气相过硫酸盐装置图,1-鼓风机,2-过硫酸盐罐,3-第一流量计,4-有机溶液罐,5-废气罐,6-紫外反应器,7-水浴加热套,8-温度计,9-湿度计,10-紫外灯,11-进气口,12-第一控制阀,13-第二控制阀,14-第二流量计,15-第三流量计,16-第四流量计,17-排气口,18-第五流量计,19-第二有机溶液罐。

具体实施方式

[0034] 下面结合附图和实施例对本发明作详细说明,但本发明的内容不仅仅限于此。

[0035] 实施例1:不同浓度溶液下气相中过一硫酸钾和过二硫酸钾发生及含量测定

[0036] 参照图1,所述测定气相过硫酸盐浓度的装置包括过鼓风机1、过硫酸盐罐2和水吸收罐4,所述过硫酸盐罐设有空气进口和气相出口;鼓风机通过设有控制阀门5和流量计3的管路与过硫酸盐罐空气进口连通,所述过硫酸盐罐气相出口通过管路与水吸收罐连通,采用去离子水吸收从过硫酸盐罐鼓出的气体。

[0037] 选择过一硫酸钾(potassium peroxydisulfate,以下简称为KPS)和过二硫酸钾(potassium peroxydisulfate,以下简称为KPS)作为过硫酸盐代表,研究其气相发生特点。

[0038] 分别配置浓度0.5、1、2.5、5和10g/L的KPS水溶液和KPS水溶液,pH均设置为8,置于过硫酸盐罐中,设置空气量为5mL/min,出气用去离子水进行吸收,吸收时间设置为1h。吸收结束后,吸收液中KPS浓度用 $\text{NaHCO}_3 + \text{KI}$ 分光光度法测定,KPS浓度用 $\text{KI} + \text{KI}$ 分光光度法测定。

[0039] KPS: NaHCO_3 (约0.2g) 和4g KI加入到40mL蒸馏水中,手动摇动溶液15分钟使其混合均匀。配置KPS浓度分别为1、2.5、5、10、20mg/L的水溶液,取出100 μL 加入到已混合均匀的上述溶液中,摇匀后在波长352nm测定吸光度值,以KPS浓度为横坐标,以吸光值为纵坐标制作KPS标准曲线,曲线方程为 $y = 0.009x + 0.018$,根据公式1,计算相同条件下吸收液中KPS浓度对应的气相浓度。

[0040] KPMS:NaHCO₃ (约0.2g) 和4g KI加入到40mL蒸馏水中,手动摇动溶液15分钟使其混合均匀。配置KPMS浓度分别为2、4、8、16、32mg/L的水溶液,取出100μL加入到已混合均匀的上述溶液中,摇匀后在波长464nm测定吸光度值,以KPMS浓度为横坐标,以吸光值为纵坐标制作KPMS标准曲线,曲线方程为 $y=0.008x+0.021$,根据公式1,计算相同条件下吸收液中KPMS浓度对应的气相浓度。

[0041] 由此测出来的KPS和KPMS液相浓度可以转化为其气相浓度,结果见图3所示。液相浓度转化为气相浓度可按下列公式进行计算:

[0042] 气相浓度=KPS或KPMS液相浓度 (mg/L) *吸收水溶液体积 (L) / [流量计读数 (mL/min) *吸收时间 (min) /1000 (mL/L)] 公式 (1)

[0043] 图3为折算后出气中KPS和KPMS的浓度。可以看出,KPS气相浓度明显高于KPMS气相浓度,同时两者气相中的浓度都是随着溶液初始浓度的增加而增加,但增加的幅度逐渐变小。通过比较不同初始浓度下每单位浓度产生的气相含量,优选KPS和KPMS的初始浓度均为1g/L。

[0044] 实施例2:pH不同溶液下气相中过一硫酸钠和过二硫酸钠发生及含量测定

[0045] 同实施例1测定气相过硫酸盐浓度装置图,选择过一硫酸钠 (Sodiumperoxymonosulfate,以下简称为NaPMS) 和过二硫酸钠 (Sodiumperoxydisulfate,以下简称为NaPS) 作为过硫酸盐代表,研究其气相发生特点。

[0046] 配置浓度1g/L的NaPMS水溶液和NaPS水溶液,pH分别设置为3、5、8、10和12,置于过硫酸盐罐中,设置空气量为10mL/min,出气用去离子水进行吸收,吸收时间设置为0.5h。吸收结束后,吸收液中NaPS浓度用NaHCO₃+KI分光光度法测定,NaPMS浓度用KI+分光光度法测定。由此测出来的NaPS和NaPMS液相浓度可以转化为其气相浓度。其测定方法和转化公式如实施例1。

[0047] 图4为折算后出气中NaPS和NaPMS的浓度。可以看出,溶液pH值对于出气中NaPS和NaPMS的浓度有显著地影响,酸性有利于NaPMS的气相发生,碱性有利于NaPS的气相发生。通过比较不同pH下每单位浓度产生的气相含量,优选NaPS和NaPMS的溶液的pH分别为10.0和3.0。

[0048] 实施例3:紫外/过一硫酸钾和紫外/过硫酸钾氧化工艺净化氯苯废气

[0049] 参照图2,紫外激活气相过硫酸盐装置,包括鼓风机1、过硫酸盐罐2、有机溶液罐4、废气罐5和紫外反应器6;所述过硫酸盐罐2设有空气进口和气相出口,所述紫外反应器6设有水浴加热套7、温度计8、紫外灯10、进气口11和排气口12;所述鼓风机1通过依次设有第一控制阀12、第二控制阀13和第一流量计3的管路与过硫酸盐罐2的空气进口连通,所述气相出口通过设有湿度计9的管路与紫外反应器的进气口11连通;所述有机溶液罐4通过设有第二流量计14的管路与第一控制阀12连通,同时有机溶液罐4通过管路与废气罐5连通,所述废气罐5通过设有第三流量计15的管路与第二控制阀13连通且通过设有第四流量计16的管路与连接进气口11设有湿度计9的管路连通。

[0050] 将pH3.0、1g/L的KPMS水溶液加入过硫酸盐罐中,通过鼓风机、第一控制阀、第二控制阀和第一流量计控制过硫酸盐罐的鼓气量为5mL/min;将纯氯苯液体加入有机溶液罐中,通过鼓风机、第一控制阀和第二流量计控制有机溶液罐的鼓气量为1mL/min;通过鼓风机、第一控制阀、第二控制阀和第三流量计向废气罐中通入空气,鼓气量为500-2000mL/min,与

有机溶液罐产生的含气相氯苯的气体在废气罐中混合后得到 $100\text{mg}/\text{m}^3$ 氯苯废气；废气罐的气体通过第四流量计与过硫酸盐罐内的气体经湿度计后以流量 $0.5\text{--}2.0\text{L}/\text{min}$ 进入紫外反应器(多余的气体流量直接排出反应体系)，紫外灯采用主波长为 185nm 的市售汞灯，反应温度维持在 30°C ，在紫外反应器内停留时间为 10 、 20 、 30 、 40 、 50 、 60s ，检测排气口氯苯含量，同样条件下，将 $\text{pH}3.0$ 、 $1\text{g}/\text{L}$ 的 KPMS 水溶液更换为 $\text{pH}10.0$ 、 $1\text{g}/\text{L}$ 的 KPS 水溶液，结果见图5所示。

[0051] 图5为 $100\text{mg}/\text{m}^3$ 氯苯废气经过紫外激活气相过硫酸盐装置后出气中氯苯废气浓度随反应时间变化图。可以看出，波长 185nm 的紫外辐照下气相 KPS 对于氯苯废气的处理效果要优于气相 KPMS ，且当反应时间越长时，这种处理效果上的差异性越明显。当反应时间为 60s 时， KPMS 和 KPS 对于氯苯的处理效率分别是 62% 和 100% 。同时，也比较了单独紫外条件下(即将 KPS 溶液或 KPMS 溶液更换为纯水) $100\text{mg}/\text{m}^3$ 氯苯废气的处理效果。可以发现，明显低于气相 KPS 和气相 KPMS 协同紫外工艺。当反应时间为 60s 时，单独紫外处理氯苯废气的效果仅为 25% 。

[0052] 实施例4：紫外/过一硫酸钠和紫外/过硫酸钠氧化工艺净化乙苯废气

[0053] 同实施例3紫外激活气相过硫酸盐装置。将 $\text{pH}4.0$ 、 $5\text{g}/\text{L}$ 的 NaPMS 水溶液加入过硫酸盐罐中，通过鼓风机、第一控制阀、第二控制阀和第一流量计控制过硫酸盐罐的鼓气量为 $8\text{mL}/\text{min}$ ；将纯乙苯液体加入有机溶液罐中，通过鼓风机和第一控制阀控制有机溶液罐的鼓气量为 $1\text{mL}/\text{min}$ ；通过鼓风机、第一控制阀、第二控制阀和第三流量计向废气罐中通入空气，鼓气量为 $500\text{--}2000\text{mL}/\text{min}$ ，与有机溶液罐产生的含气相乙苯的气体在废气罐中混合后得到 $200\text{mg}/\text{m}^3$ 乙苯废气；废气罐的气体通过第四流量计与过硫酸盐罐内的气体经湿度计后以流量 $0.5\text{--}1.5\text{L}/\text{min}$ 进入紫外反应器(多余的气体流量直接排出反应体系)，紫外灯采用主波长为 254nm 的市售汞灯，反应温度维持在 45°C ，在紫外光反应器内停留时间为 5 、 10 、 20 、 30 、 45s ，检测排气口乙苯含量，同样条件下，将 $\text{pH}4.0$ 、 $5\text{g}/\text{L}$ 的 NaPMS 水溶液更换为 $\text{pH}12.0$ 、 $5\text{g}/\text{L}$ 的 NaPS 水溶液，结果见图6所示。

[0054] 图6为 $200\text{mg}/\text{m}^3$ 乙苯废气经过紫外激活气相过硫酸盐装置后出气中乙苯废气浓度随反应时间变化图。可以看出，波长 254nm 的紫外辐照下气相 NaPS 对于乙苯废气的处理效果要优于气相 NaPMS 。当反应时间为 45s 时，气相 NaPS 和气相 NaPMS 对于乙苯的处理效果分别为 26.8% 和 51.2% 。同时，也比较了单独紫外条件下(即将 NaPS 溶液或 NaPMS 溶液更换为纯水) $200\text{mg}/\text{m}^3$ 乙苯废气的处理效果。当反应时间为 60s 时，单独紫外处理氯苯废气的效果仅为 12% ，低于紫外激活气相过硫酸盐工艺。

[0055] 实施例5：紫外/过硫酸钾氧化工艺净化不同进气浓度的氯苯废气

[0056] 同实施例3紫外激活气相过硫酸盐装置。将 $\text{pH}10.0$ 、 $2\text{g}/\text{L}$ 的 KPS 水溶液加入过硫酸盐罐中，通过鼓风机、第一控制阀、第二控制阀和第一流量计控制过硫酸盐罐的鼓气量为 $10\text{mL}/\text{min}$ ；将纯氯苯液体加入有机溶液罐中，通过鼓风机、第一控制阀和第二流量计控制有机溶液罐的鼓气量为 $1\text{--}5\text{mL}/\text{min}$ ；通过鼓风机、第一控制阀、第二控制阀和第三流量计向废气罐中通入空气，鼓气量为 $500\text{--}2000\text{mL}/\text{min}$ ，与有机溶液罐产生的含气相氯苯的气体在废气罐中混合后得到浓度分别为 50 、 100 、 250 、 500 和 $1000\text{mg}/\text{m}^3$ 氯苯废气；废气罐通过第四流量计与过硫酸盐罐内的气体经湿度计后以流量 $0.5\text{--}2.0\text{L}/\text{min}$ 进入紫外反应器(多余的气体流量直接排出反应体系)，紫外灯采用主波长为 185nm 的市售汞灯，反应温度维持在 30°C ，在紫外光反应器内停留时间为 10 、 20 、 30 、 40 、 50 和 60s ，检测排气口氯苯含量，结果见图7所示。

[0057] 图7为不同进气浓度氯苯废气经紫外激活气相过硫酸盐装置处理后出气中氯苯废气浓度随反应时间变化曲线。可以看出,不同进气浓度的氯苯废气均得到了去除。对于浓度较低的氯苯废气 ($50\text{--}100\text{mg}/\text{m}^3$),当反应时间为40s和50s时,去除率就达到了100%。而对于浓度较高的氯苯废气 ($500\text{--}1000\text{mg}/\text{m}^3$),去除率稍低些,当停留时间为60s时,去除效率60%以上。

[0058] 实施例6:紫外/过硫酸钠氧化工艺净化不同进气浓度的VOCs混合废气

[0059] 参照图9,在实施例3紫外激活气相过硫酸盐装置的基础上设置第二有机溶液罐19,所述第二有机溶液罐19通过设有第五流量计18的管路与第一控制阀连通,同时通过管路与废气罐5连通。

[0060] 将pH8.0、5g/L的KPS水溶液加入过硫酸盐罐中,通过鼓风机、第一控制阀、第二控制阀和第一流量计控制过硫酸盐罐的鼓气量为 $8\text{mL}/\text{min}$;分别将纯氯苯液体和纯甲苯液体加入第一有机溶液罐4和第二有机溶液罐19中,通过鼓风机、第一控制阀、第二控制阀和第二流量计控制有机溶液罐的鼓气量为 $1\text{--}3\text{mL}/\text{min}$,通过鼓风机、第一控制阀和第五流量计控制第二有机溶液罐的鼓气量为 $1\text{--}3\text{mL}/\text{min}$;通过鼓风机、第一控制阀、第二控制阀和第三流量计向废气罐中通入空气,鼓气量为 $500\text{--}2000\text{mL}/\text{min}$,与有机溶液罐及第二有机溶液罐中产生的含气相氯苯、气相甲苯的气体在废气罐中混合后得到各自浓度分别为50、100和 $250\text{mg}/\text{m}^3$ 氯苯和甲苯混合废气;废气罐的气体通过第四流量计与过硫酸盐罐内的气体经湿度计后以 $0.5\text{--}2.0\text{L}/\text{min}$ 的流量进入紫外反应器(多余的气体流量直接排出反应体系),紫外灯采用主波长为185nm的市售汞灯,反应温度维持在 30°C ,在紫外光反应器内停留时间为10、20、30、40、50和60s,检测排气口氯苯和甲苯含量,结果见图8所示。

[0061] 图8为不同初始浓度的混合废气处理效果图。结果表明,混合废气中各组分均得到了不同程度的去除,而且氯苯的去除效果要稍稍优于甲苯。当初始浓度低于 $100\text{mg}/\text{m}^3$,甲苯和氯苯的去除率均达到了100%。

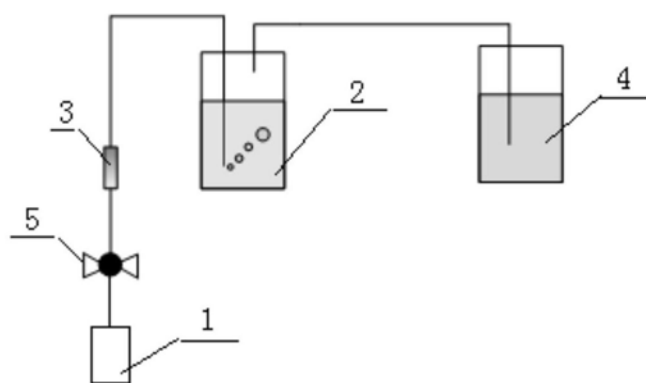


图1

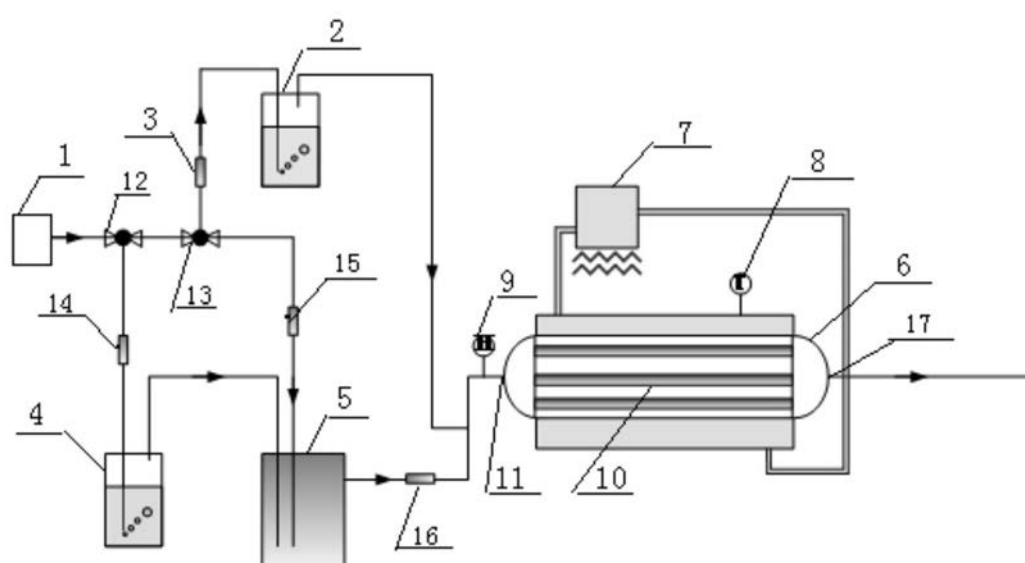


图2

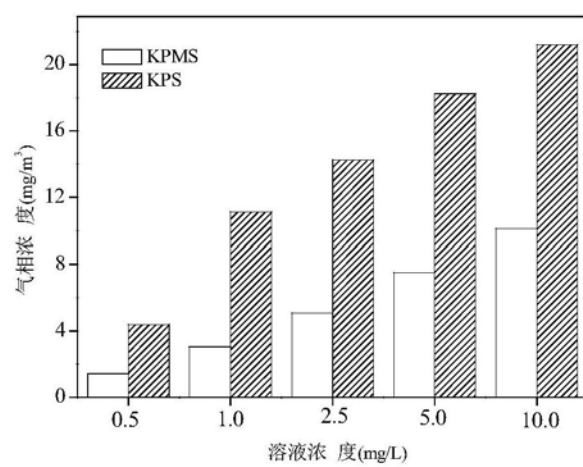


图3

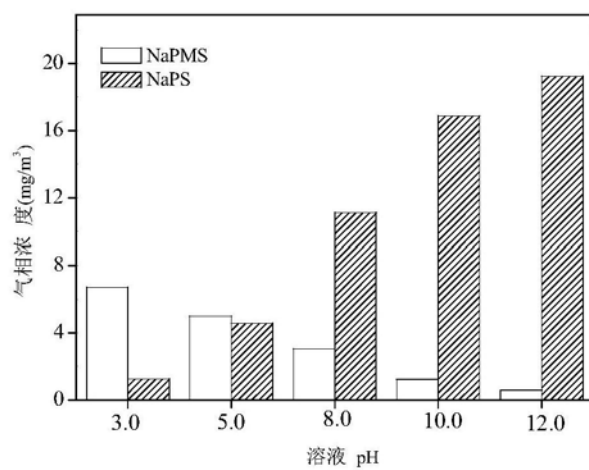


图4

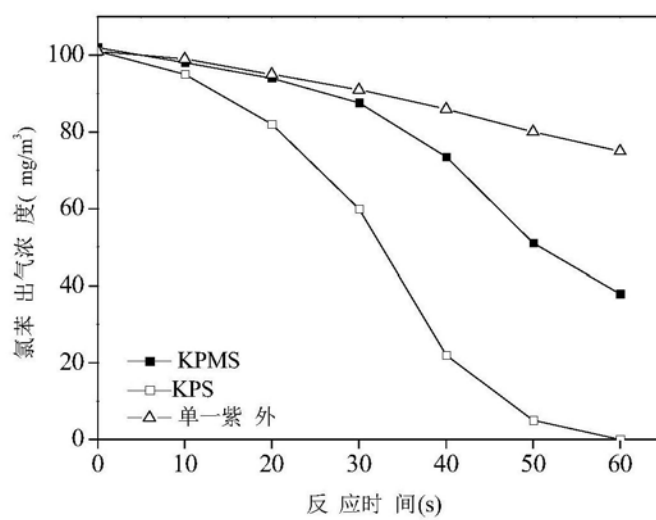


图5

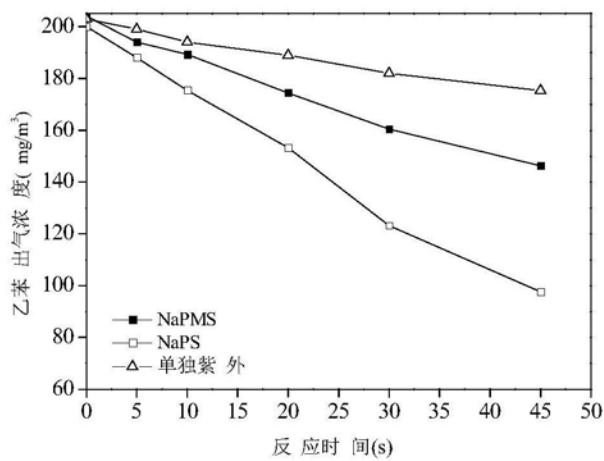


图6

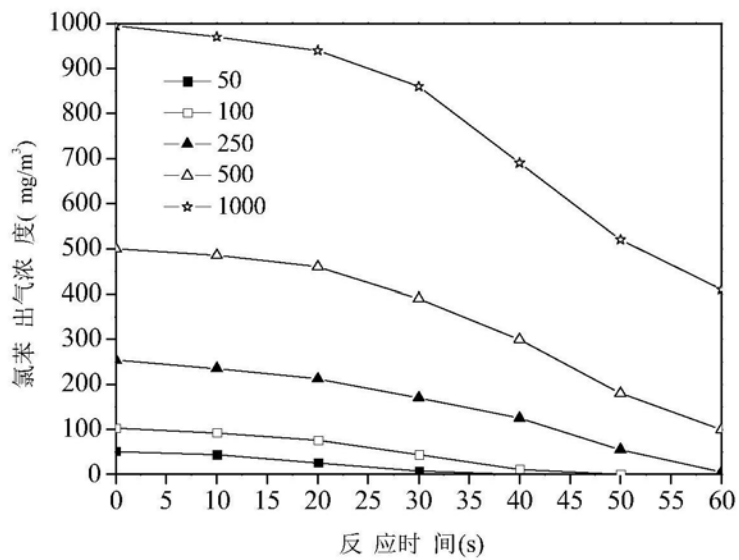


图7

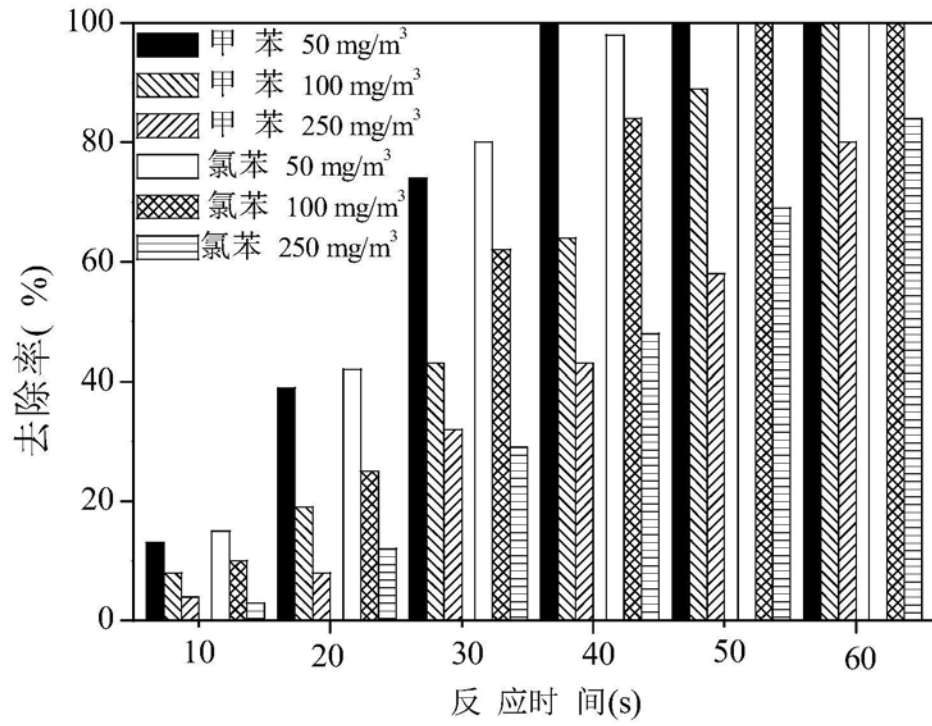


图8

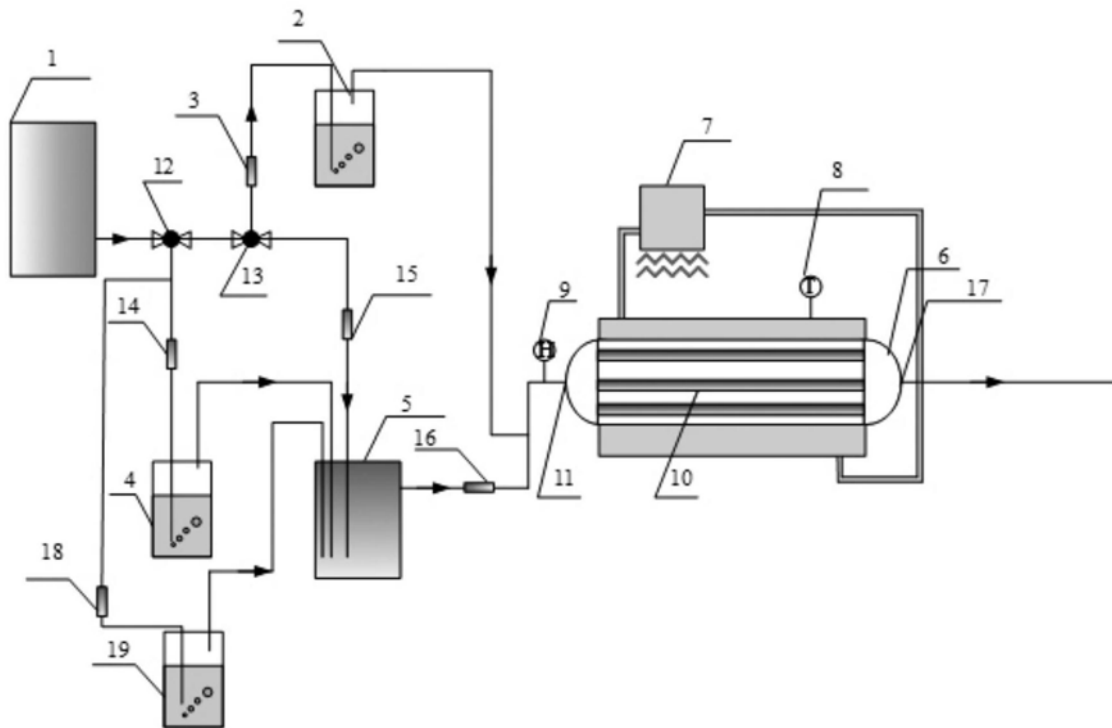


图9