



全国中文核心期刊
中国科技核心期刊

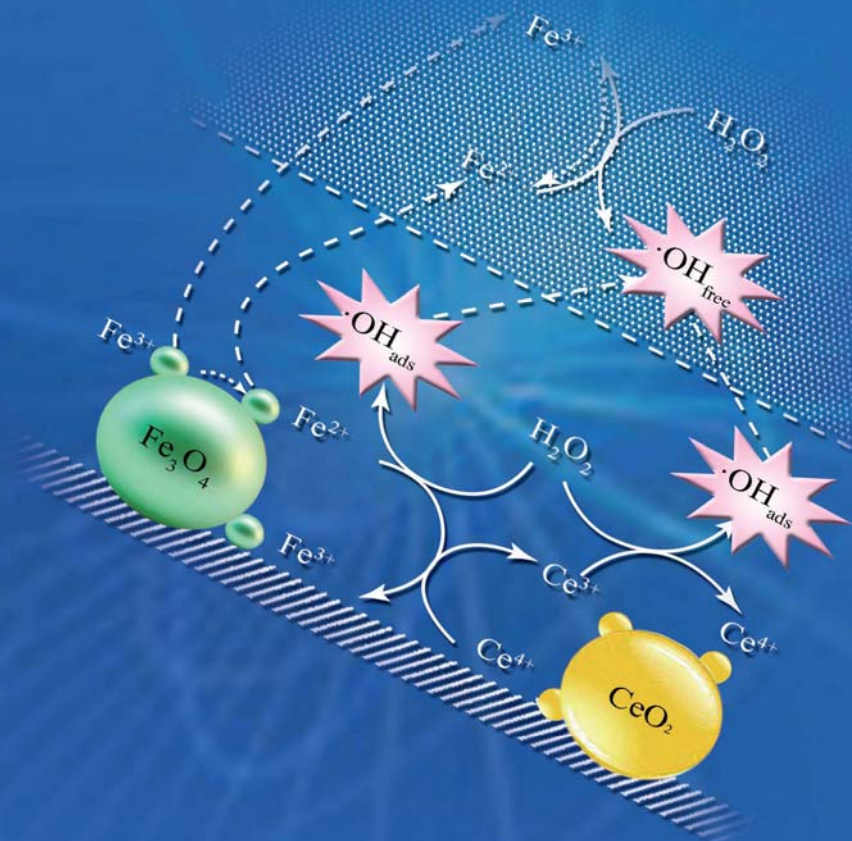
环境工程学报

Chinese Journal of Environmental Engineering

封面文章

磁性 Fe_3O_4 纳米颗粒的制备及在水处理中的应用

展思辉, 张宇, 朱丹丹, 等, 2016, 10(1): 1-11



中国科学院
生态环境研究中心

主办



科学出版社

出版

Vol. 10 No. 1

2016.1

目次

综 述

磁性 Fe₃O₄ 纳米颗粒的制备及在水处理中的应用 展思辉 张 宇 朱丹丹 邱明英 于雯超 史 强(1)

水 污 染 防 治

人工湿地对水产养殖废水典型污染物的去除 黄翔峰 王 坤 陈国鑫 陆丽君 刘 佳(12)

选矿废水中黄药的生化处理 夏丽娟 胡学伟 张雅琳 靳松望 王亚冰(21)

增强型中空纤维膜生物反应器处理污水 赵 微 肖长发 权 全 胡晓宇 环国兰(27)

TEMPO 氧化微晶纤维素和马来酸酐接枝微晶纤维素的制备及对 Cu²⁺ 的吸附 ... 杨 阳 王一宁 潘远凤 肖惠宁(33)

利用活性氧分子消除污水中的 COD 白敏茹 毛首蕾 李超群 周建纲(38)

污水颗粒尺寸分布对深度过滤中雌激素去除的影响 胡碧波 阳 春 刘 达(43)

于桥水库溶解性有机碳分布特征及三卤甲烷的生成势 牛志广 魏晓婷 张 颖(48)

不同 pH 下纳米级天然黄铁矿对水中 ReO₄⁻ 的去除规律 丁 峰 钱天伟 丁庆伟 赵东叶 崔晋艳 王莉霄(55)

聚酰胺小球负载 *Comamonas* sp. (bdq06) 生物降解水中的喹啉 蔺 尧 陈 瑜 郭树君 邵德武 耿 直 霍明昕 刘志强 朱遂一(60)

草酸改性柚子皮对废水中镉离子的吸附性能 毛艳丽 康海彦 吴俊峰(65)

合肥城郊典型排水沟渠沉积物磷形态及其释放风险 唐文坤 李如忠 钱 靖 金菊良 常 笑(73)

新型缓释碳源的制备及其性能 王润众 郝瑞霞 赵文莉(81)

乳液电纺纤维膜固定化漆酶及其对水中酚类污染物的降解 袁 钰 代云容 宋永会 于彩虹(88)

螺蚌和沉水植物搭配对微污染水体的净化作用 李雪娟 和树庄 常学秀 谭福广 申 意 陆福田 侯文通(95)

HRT 和 SRT 对 AO 工艺去除四环素及耐药菌的影响 郑 宇 黄满红 陈 亮 徐 奇(103)

对乙酰氨基磺酰氯生产废水的 UASB 处理及硫酸盐的影响 李伟成 张 红 戚伟康 牛启桂 刘予宇 李玉友 高迎新(110)

炼化污水的厌氧生物预处理技术 王 宇 许双双 阎光绪 王庆宏 李 敏 马文峰 马静园 郭绍辉(115)

多胺改性 PGMA-DAAM 树脂的合成及对 Pb²⁺ 的吸附性能 杨迎霞 宋明超 陶子元 刘春萍(121)

光催化剂磷酸钾的制备及结构表征 刘天成 黄家卫 王天丽 唐光阳 贾丽娟 王博涛 王红斌(127)

重庆市加油站周边浅层地下水中石油烃污染调查与特征分析 赵 丽 张 韵 郭劲松 张 丹 邓春光(131)

太湖地区典型降雨水稻田径流污染物输出特点及相关性分析 陈育超 李 阳 于海明 乔 斌 孙井梅(137)

铁屑耦合生物麦饭石的 PRB 系统修复含铬酸根与硝酸根地下水 狄军贞 朱志涛 戴男男 江 富(145)

山核桃加工废水的成分测定与分析 张贝贝 刘文洪 李俊峰 叶志青(150)

煤基活性炭的改性及其对含铜废水的吸附性能 吕 游 刘树根 谢容生 宁 平 谷俊杰(157)

以养殖固体废弃物发酵产物为碳源的 SND 系统的脱氮除磷效果 成小婷 罗国芝 李 丽 谭洪新(163)

石墨烯/TiO₂ 复合物的制备及其光催化性能 张宏忠 秦小青 王明花(169)

剩余污泥对活性黑和酸性大红混合染料的吸附 王春英 黄平清 黄晓霞 刘 茹(175)

狭叶香蒲活性炭对 Cd²⁺ 与 Pb²⁺ 的吸附及机理分析 舒 艳 李科林 宋金凤 李 冰 汤春芳(181)

催化湿式氧化法处理垃圾渗滤液 蔡先明 秦 侠 张 丽 崔红蕊(189)

印染废水中氮硫形态转化和去除效率 王兴华 李 蕾 刁新星 王 浩(194)

反硝化生物滤池用于再生水脱氮效能及动力学研究 高建锋 杨碧印 赵建树 张金松(199)

TiO₂ 光催化耦合 SO₄²⁻· 体系对硝基苯酚的降解性能及动力学 唐 海 沙俊鹏 颜酉斌 蔡昌凤 王军刚(205)

铁碳微电解/H₂O₂ 耦合类 Fenton 法预处理高浓度焦化废水 殷旭东 李德豪 毛玉凤 朱越平 刘正辉(212)

生化-Fenton 氧化联合工艺处理石化净化水的回用 王泳超 李玉平 陈 娟(217)

模拟优化模型在地下水监测布井中的应用 熊 锋 苏 婧 翟秋敏 孙源媛 吴 超 姜永海 席北斗(223)

活性炭负载 CuO 催化过硫酸盐去除活性艳红 X-3B 染料 王宇轩 王应军 方明珠(230)

生物接触氧化法应急处理原水突发性藻类污染 许 骆 罗建中 邓俊强 刘敏强(237)

次氯酸钠降解水中萘普生的效果 纪夏玲 吕文英 李富华 陈 平 李若白 范斯娜 姚 琨 张祥丹 刘国光(243)

大 气 污 染 防 治

活性炭纤维负载功能化离子液体的脱硫性能 王建英 张丽喆 穆惠英 陈 莹 胡永琪(248)

滤袋式膜生物反应器净化二甲苯 徐孟孟 陈 效 蒋轶锋 吴成强(257)

电极配置对多针-板脉冲等离子体反应器放电特性的影响 董冰岩 周海金 施志勇 黄尝伟 丁奇岷 王 晖(262)

油茶果壳炭对油烟的吸附性能	刘 超	廖 雷	覃爱苗	周江喜	彭 娟(267)
防止中小型锅炉脱硫除尘一体化系统中引风机积灰振动的研究	吕 太	贺培叶(272)			
程序升温脱附法测定活性炭上酯类有机物的脱附活化能	任爱玲	孟少左	田森	张丁超	韩梦非(277)
大流量低浓度 VOCs 气体二次吸附浓缩净化技术开发	苟志萌	李照海	何 娇	羌 宁	覃兰雪
挥发性有机物生物增溶性能及效果	徐素玮	曹 熠(283)			
制备条件对锰氧化物 SCR 脱硝性能的影响	刘育松	高凤雨	唐晓龙	易红宏	赵顺征
	李国惠	许亚楠	李慧敏(289)		
	曹雨萌(295)				

固 体 废 物 处 置

水泥回转窑共处置含砷污泥	熊正为	朱 雷	杨博豪	戴清伟	陆 森(301)
进出料频率对牛粪两相厌氧发酵特性的影响	王光远	李文哲	李 雷	蔡康妮	王忠江(306)
城市污泥过热蒸汽薄层干燥初始段凝结特性	张绪坤	孙瑞晨	王学成	温祥东	吴 起
家电报废量预测模型与安徽省实例分析	刘志峰	张雅堃	黄海鸿	薛亚琼	王 玲(317)
药渣与煤共热解动力学模型及逸出气红外特性分析	刘宝宣	蒋旭光	吕国钧	王 飞	池 涌
温度对热水解预处理高含固污泥特性的影响	程 瑶	韩 芸	卓 杨	代 璐	严建华(323)
疏浚底泥固化改性资源化利用技术				武博然	彭党聪(330)
利用旋转炉热解城市污泥的产物特性	王学涛	张兴宇	徐 斌	柴晓利(335)	
次氯酸钠氧化废轮胎胶粉对改性沥青性能的影响	于 凯	张 琛	王 欢	张 楠	陆宇鹏
聚乙烯醇/超细羽绒粒子共混膜的制备及其染料吸附动力学	陈凤翔	谢文雅	董兵海	王世敏	赵 丽
以粉煤灰为原料制备高纯度 NaP 型分子筛	周慧云	徐婷婷	陈彦广	解聪浩	宋 华(355)
核桃壳骨架构建剂对污泥脱水性能的影响	董凌霄	丁绍兰	谢林花	蔡 丽	杨慧佳(360)
巢湖蓝藻酸提取液提高玉米秸秆的酶解效率	吴玉杰	王 进	崔康平	洪天求	岳正波(365)
稻壳基高比表面积介孔活性炭的制备与表征	薛广钊	侯贵华	乔仁静	董鹏玉	张勤芳(370)
改性油菜秸秆对 Co(II) 的吸附				董鹏玉	张勤芳(375)
化工污泥基轻质填料的制备及其应用	俞敏洁	胡 俊	孙 婧	李 溪	徐炎华(379)
不同碱剂对污泥与餐厨垃圾联合厌氧发酵产氢余物产甲烷的影响	郑育毅	林 鸿	林志龙	罗鸿信	刘常青(385)
废弃 LCD 面板金属铜的超声协同浸出	庄绪宁	李英顺	杨义晨	胡冰倩	赵颖璠(393)
脉冲电场在污泥处理中的应用	姜俊杰	梁美生	李 伟	裴旭倩(399)	

土 壤 污 染 防 治

外源铅在不同类型土壤的形态转化	宋 波	曾炜铨(410)
荧光假单胞菌产铁载体对油菜麦吸收砂基和水基中镉的影响	晋银佳	刘 文
再生水灌溉区土壤对头孢噻肟的吸附特征	虞敏达	张 媛
化学氧化法治理焦化厂 PAHs 污染土壤	杨 勇	张蒋维
循环流化床燃煤固硫灰改良云南红粘土	李勇辉	王群英
	邓庆德	景文斌
	宋 波	曾炜铨(415)
	朱 跃	王丰吉(421)
	席北斗	杨津津(427)
	牛 静	王瑜瑜(432)
	景文斌	张石华(439)

生 态 修 复 工 程

不同沉水植物组配对北大港水库水体净化效果的影响	常素云	吴 涛	赵静静(439)
生态修复工程对城市内河水体细菌多样性的影响	唐方园	张秋芳	周阳靖
组合型生态浮床处理农家乐污水	王 郑	崔康平	许为义
微宇宙法研究环境因子对南方典型梯级水库群藻类生长的影响	周 利	朱嘉成	朱 佳
	陈力行	徐继荣	程军蕊(445)
	孟 蓉	孙 鹏	陈鸿汉(455)
	高静思(461)		

环 境 生 物 技 术

水葫芦多环芳烃含量及其与脂肪含量的关系	杨海燕	郭金鹏	卢少勇	曲洁婷	贾九敏(467)
金鱼藻对不同扰动方式下悬浮物的生理响应	张翠英	王丽萍	万 蕾	张后虎(473)	
以不同底物和苯胺为燃料的微生物燃料电池的产电特性	佟海龙	黄力群	何 燕	刘解答	刘承鸿
含固率和电极间距对牛粪发酵产电性能的影响	王成显	张艺臻	吴淑娜	张小梅	沈建国
				丁仕林	辛言君(485)

工 程 实 例

城镇污水处理厂的综合绩效评价	魏 亮	陈 滢	刘 敏	翟宇超(490)
膜工艺在电镀废水处理工程中的应用	夏仙兵	蔡邦肖	缪 佳	林建平
				倪 政(495)

环 境 监 测 与 评 价

SPE-HPLC 法检测环境水样中的痕量三氯卡班	朱开抗	曾庆玲	沈春花	周真明	李 飞(503)
--------------------------------	-----	-----	-----	-----	----------

大风量低浓度 VOCs 气体二次吸附浓缩 净化技术开发

荀志萌 李照海 何 娇 羌 宁 覃兰雪 徐素玮 曹 熠

(同济大学环境科学与工程学院, 上海 200092)

摘 要 针对许多生产工艺过程的 VOCs 排放呈现出大风量、低浓度和间歇排放的特点, 本研究以活性炭和异丙醇为例进行了一种针对低浓度气体的吸附加中温再生二次吸附净化工艺的研发。结果表明, 在入口浓度约 400 mg/m^3 时, 活性炭在 30°C 和 70°C 的平衡温度之间存在约 4% 的吸附有效工作容量。对再生能耗对比发现, 进口 VOCs 浓度越低, 新工艺节能效果越明显。吸附穿透曲线表明, 随着过滤风速的减小, 穿透前能处理的风量随之增加。对于低浓度吸附净化过程, 采用中温脱附可以有效浓缩有机气体, 最大可达 5.62 倍。以上结果表明, 对于低浓度吸附净化过程, 采用中温脱附加二次吸附可起到经济有效地浓缩有机气体的作用。

关键词 大风量 低浓度 VOCs 吸附等温线 穿透曲线 中温脱附

中图分类号 X701 **文献标识码** A **文章编号** 1673-9108(2016)01-0283-06

Technology development for second adsorption and concentration of large air flow waste streams containing low-concentration VOCs

Xun Zhimeng Li Zhaohai He Jiao Qiang Ning Qin Lanxue Xu Suwei Cao Yi

(College of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract Considering the characteristics of the waste gas from some manufacture process, which have large flow rate loaded with low-concentration VOCs and are emitted intermittently, this study focused on development of a new treatment technology based on adsorption of low-concentration VOCs combined with mesothermal regeneration and second adsorption. Activated carbon and isopropanol were utilized on the research. The results show that when inlet concentration is about 400 mg/m^3 , there is a 4% available working capacity for the activated carbon between 30°C and 70°C . The results of comparing the energy consumption of activated carbon regeneration show that the lower inlet concentration, the higher effect of energy saving. The volume of cleared gas for per kg carbon increases with the decline of superficial velocity. In general, results indicate that mesothermal desorption with in-second adsorption is economical way to concentrate the low concentration organic gas flow.

Key words large air flow; low-concentrated VOCs; adsorption isotherm; adsorption breakthrough curves; mesothermal desorption

许多挥发性有机化合物 (VOCs) 属于有毒有害物质, 而排放到大气中的 VOCs 会与氮氧化物 (NO_x) 在一定温度及湿度条件下发生光化学反应, 生成臭氧 (O_3) 和二次有机气溶胶 (SOA)。二次有机气溶胶是颗粒物形成的重要来源之一, 近年来, 随着灰霾天气在我国的不断出现, VOCs 作为光化学反应的重要前体物越来越受到管理者及大气污染防治工作者的重视^[1-3]。

在石油化工、轻工、塑料、印刷、涂装、电子产品和材料生产等许多行业的生产工艺过程都伴有大量的 VOCs 废气的排放^[4-6]。许多工艺排放的 VOCs 呈现出大风量、低浓度且为非连续排放的特点, 浓度

范围大致在 $150 \sim 500 \text{ mg/m}^3$, 直接排放无法满足标准要求, 而采用沸石转轮浓缩工艺的投资较大, 且由于再生的缘故主要适合于一些连续排放气流场合的处理净化。各类燃烧法在直接处理低浓度废气时需添加额外的补充燃料, 运行费用高^[7,8]。吸附法作为一种适合于低浓度、大流量有机气体的处理方式

基金项目 同济大学大学生创新实践训练计划 (SITP)

收稿日期 2015-10-26; **修订日期** 2015-11-22

作者简介 荀志萌 (1990—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为挥发性有机物污染控制。E-mail: xunzhimeng90@163.com

* 通讯联系人, E-mail: tj1926@126.com

得到广泛应用,目前,许多净化工艺采用活性炭吸附-热空气脱附浓缩的方式将 VOCs 浓度提高,然后进行后续处理,但其脱附空气的温度通常在 $100 \sim 150^{\circ}\text{C}$ [9,10] 之间,安全风险大,同时,由于低浓度时平衡吸附容量低,一次到位加热过程的能耗较高。

针对以上的情况,本研究通过测定较低温度范围内的吸附平衡线和中温脱附曲线,提出一种针对低浓度气体的中温吸附再生、二次吸附净化工艺,通过对活性炭不同能级吸附容量的合理利用,可减少大风量低浓度气体尤其是非连续排放场合净化过程的运行成本。配合分散收集,集中处理的区域系统 VOCs 减排控制模式,可以避免一定区域内各家工厂需要单独新建全套处理设施而带来的高昂费用,同时也解决分散点源 VOCs 排放污染的问题。目前,对活性炭吸附法的研究有较多报道,但多集中于苯系物 [11-14]、醛酮类 [15]、酯类 [16,17] 等,而异丙醇作为一种重要的化工产品和原料,广泛用于制药、化妆品、塑料、香料、涂料等,且沸点相对较低。本研究采用异丙醇作为吸附质进行工艺开发的实验验证。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验所用吸附剂为市售煤制柱状活性炭,粒径 $\Phi 4\text{ mm}$,其碘值为 982 mg/g ,四氯化碳吸附值为 62.81% ;所用的异丙醇为市售分析纯。

1.2 实验流程及装置

1.2.1 吸附等温线测定和吸附过程研究装置

采用动态吸附法研究低浓度异丙醇在活性炭固定床上的吸附平衡容量。异丙醇在活性炭上吸附等温线实验在如图 1 所示实验装置上进行,其由配气系统、吸附系统、检测系统组成。

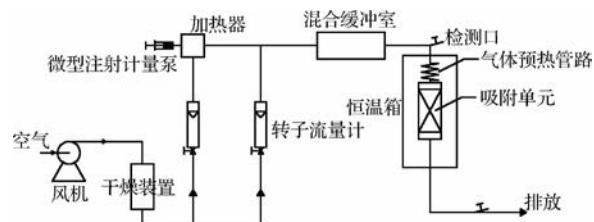


图 1 吸附等温线及吸附研究实验流程图

Fig. 1 Experimental flow diagram for research of adsorption isotherms

风机出口的空气经干燥后分成两路,经过流量计计量调节后,一路空气作为稀释气流,另一路空气作为异丙醇溶液注射加热发生系统的载气。两路气

体在混合缓冲室混合后以设定的浓度和流量进入吸附系统。

吸附系统由气体预热管路和玻璃管吸附柱组成,吸附柱中装填柱状活性炭,吸附系统设置恒温柜中。在吸附系统前后设置检测口。

异丙醇吸附过程研究装置与吸附等温线实验装置相同。

1.2.2 脱附实验装置

脱附实验装置流程如图 2 所示。脱附实验装置基本与吸附装置类似,不同在于取消了注射泵,而且吸附单元处于恒温装置外,活性炭装填高度约 19.5 cm 。脱附装置出口设置检测口。

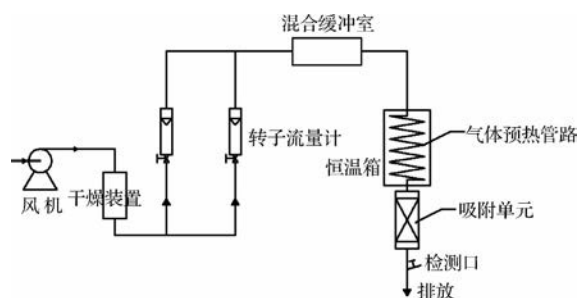


图 2 脱附规律研究实验流程图

Fig. 2 Experimental flow diagram for research of desorption

1.3 分析测试方法

由于进行的是单一物质的实验,因此采用华瑞公司的 ppbRAE 3000 分析仪作为测定设备。

实验时使用 ppbRAE 3000 分析仪在各检测口测量浓度,然后,通过定期更新制作的异丙醇标准曲线折算出对应的质量体积浓度。

1.4 吸附容量曲线

异丙醇在活性炭上的吸附等温线采用动态吸附法测定。采用称重法和穿透曲线面积积分法相互验证的方式绘制,即对于已称重的活性炭通入一定浓度的异丙醇气体,持续测定其进出口浓度,待进出口浓度基本一致时,称重得到吸附量,同时通过进出口浓度曲线面积积分进行复核校验。活性炭处理有机废气时一般要求废气温度低于 40°C [18],因此,本研究中吸附等温线的温度选择为 30 、 50 和 70°C 。

2 结果与讨论

2.1 异丙醇的活性炭吸附等温线

实验得到的吸附等温线如图 3 所示。从图 3 中可以看出,活性炭对低浓度的异丙醇吸附容量不高。但不同温度下平衡吸附量差异较显著,当进气浓度

约为 400 mg/m^3 时,在 30°C 时活性炭对异丙醇的吸附容量可达 5%,而在 70°C 时则不到 1%,仅为 30°C 时的约 1/5。因而可利用两温度间得吸附容量的差异作为工作容量来进行大风量低浓度 VOCs 处理,即在常温条件下进行 VOCs 吸附处理,然后通过中温热脱附再生。

尽管中温脱附再生活性炭的再生率不是很高,但从图 3 可见,即使采用高温(150°C)完全脱附,工作吸附容量最多也就增加 25%,但升温所需的能耗费用将会大幅上升,相比较而言经济性不佳,且存在安全风险。

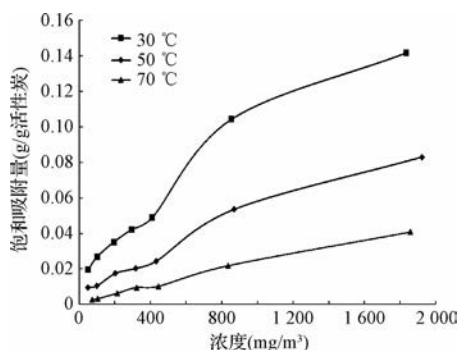


图 3 异丙醇在活性炭上的吸附等温线

Fig. 3 Adsorption isotherms of isopropanol on GAC

用 Freundlich 等温方程式(1)对图 3 进行拟合,从而可以半定量的描述低浓度下活性炭对有机物的饱和吸附量。在低浓度段($< 500 \text{ mg/m}^3$)将实验数据拟合得到的吸附等温线如式(2)~(4)所示,其 R^2 分别为 0.9997、0.955 和 0.9817,拟合度较好。

$$X_T = KC^{\frac{1}{n}} \quad (1)$$

$$30^\circ\text{C}: X_T = 0.0017 * C^{0.4325} \quad (2)$$

$$50^\circ\text{C}: X_T = 0.0006 * C^{0.4605} \quad (3)$$

$$70^\circ\text{C}: X_T = 0.00002 * C^{0.8012} \quad (4)$$

式中: X_T 为被吸附组分与吸附剂的质量比; C 为平衡时被吸附组分在气相中的分压(Pa); K 和 n 为经验常数,与吸附剂和吸附质的性质和温度有关,通常 $n > 1$,其值由实验确定。

在式(2)~(4)中, $1/n \approx 0.4365$ 、 0.4605 和 0.8012 ,根据文献[19]报道,如果此值在 $0.1 \sim 0.5$,说明吸附性能较好。根据 $1/n$ 的值,可以发现 30°C 和 50°C 下吸附性能较好。

2.2 新工艺的原理及能耗分析

从图 3 可知,同一温度下气体浓度越高活性炭

平衡吸附容量越大。 30°C 时, 400 mg/m^3 的容量为 5% 左右,而 1835 mg/m^3 的容量可达 14%,即 400 mg/m^3 浓度以下的气体一次吸附后,当通过中温脱附后浓集气体的浓度超过 1835 mg/m^3 时,只需要原一次吸附炭量的 29.6% 就可完成二次吸附。因此,开发的新工艺(如图 4 所示)中的一级吸附装置拟采用中温脱附再生,当其中一个一级吸附装置穿透后,气路切换至另一个一级吸附装置,该一级吸附装置活性炭就地再生循环利用,脱附出的浓缩气体经冷却后被二级吸附装置吸附净化后排放。较低的再生温度,可有效控制装置运行成本并确保安全。二次吸附装置的使用,可以用更少的需深度再生的吸附剂来实现达标排放的目的。

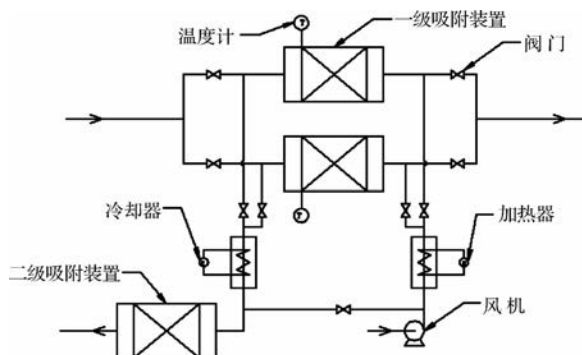


图 4 新工艺装流程图

Fig. 4 Flow diagram of new treatment technology

下面进行新工艺和传统工艺的能耗分析比较。活性炭比热统一取 $0.84 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 。对于传统吸附脱附工艺,取工作容量为 30°C 时活性炭吸附容量,并假设在 110°C 时完全脱附再生。对于新工艺,取工作容量为 30°C 与 70°C 两个温度之间吸附容量差值,在 70°C 中温下脱附再生,浓缩气体二次吸附装置净化,按 14% 的吸附容量计算,二次吸附后的活性炭也设定为在 110°C 下再生,如果加热壳体以及散热等影响按照所需热量的 20% 计,将新工艺每处理 1 kg 异丙醇所需能量相比于传统工艺能源使用量的减少的比例定义为能源节约率,则其随 VOCs 浓度的变化趋势如图 5 所示。

从图 5 中可见,进口 VOCs 浓度越低,新工艺相对传统工艺的节能效果越明显,且其中 60% 以上的能源只需要小于 80°C 的低品位热能,因此新工艺可以更加经济的方式实现对低浓度大风量 VOCs 废气的净化处理,同时较低的再生温度可以使处理过程更加安全。

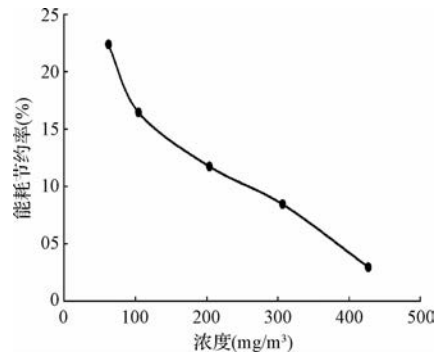


图 5 不同浓度下单位 VOCs 处理量的能源节约率
Fig. 5 Energy saving ratio curves of per unit VOCs with different VOCs concentrations

2.3 异丙醇在活性炭固定床上的吸附透过曲线实验

实验研究了不同过滤风速下异丙醇气体通过相同高度活性炭吸附层时吸附穿透曲线。吸附实验过滤表观风速分别约为 0.3、0.4 和 0.5 m/s,进口浓度分别约 322、318 和 345 mg/m³,吸附系统温度控制在 30℃。3 种过滤风速条件下吸附穿透曲线分别如图 6 所示。

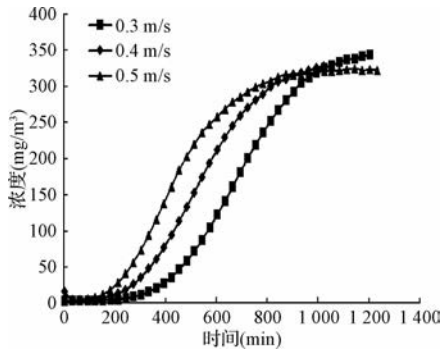


图 6 不同过滤风速下异丙醇在活性炭上的吸附穿透曲线
Fig. 6 Adsorption curves of isopropanol on GAC with different superficial velocities

以出口浓度为 50 mg/m³ 时作为穿透点,在 0.3 m/s 过滤风速和 345 mg/m³ 的低浓度下,活性炭吸附柱的保护作用时间约为 462 min,与鄢瑛等^[20]在入口浓度为 2 900 mg/m³ 的条件下的保护作用时间相比,活性炭的保护作用时间得以大大延长,但并非线性增加。原因在于,吸附剂的吸附容量与平衡浓度在较大的区域范围内并非线性增长关系。

在进口浓度基本相同的条件下,以出口浓度达到 50 mg/m³ 时为限定时刻,则在 0.3 m/s 的过滤风速下,每公斤活性炭可以处理的风量为 72.0 m³,而

0.4 和 0.5 m/s 则分别可以处理 70.3 和 67.5 m³。在这 3 种风速下,0.3 m/s 的过滤风速相对可以处理更多量的气体。

2.4 异丙醇在活性炭固定床上的脱附曲线

对 0.3 m/s 过滤风速下吸附后的活性炭进行了脱附再生实验。脱附实验的加热气体温度控制为 70℃,脱附实验进气方向与吸附过程相反,再生气体的断面风速控制为 0.3、0.2 和 0.1 m/s,3 种断面风速下脱附实验出口浓度相对于其吸附时进口浓度的比例,即浓缩比曲线分别如图 7 所示。

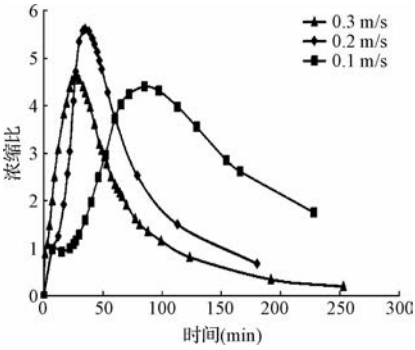


图 7 不同断面风速下异丙醇在活性炭上脱附浓缩比曲线
Fig. 7 Concentration ratio curves of isopropanol desorpted from GAC with different superficial velocities

在脱附实验过程中,当断面风速为 0.3 和 0.2 m/s 时,脱附浓度曲线分别在 27 和 38 min 时达到了峰值浓度,相对吸附进口浓度浓缩了约 4.61 倍和 5.62 倍,当断面风速为 0.1 m/s 时,脱附浓度曲线在约 85 min 时达到了峰值浓度,相对吸附进口浓缩了约 4.40 倍,说明在低浓度下吸附-中温脱附过程确实可以对 VOCs 气体起到一个浓缩作用。

由图 8 可知,3 种断面风速下脱附量随时间逐

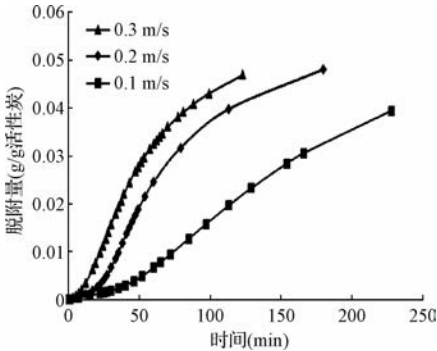


图 8 不同断面风速下脱附量变化曲线
Fig. 8 Desorption capacity curves of isopropanol with different superficial velocities

渐增加,增加的速率呈现出先增后减的趋势,尤其是 0.2 m/s 的状况下。3 种断面风速下脱附量的变化表明风速的增加,单位时间内的脱附量也在增加,这与输入的热量有关,因为脱附是一个吸热的过程。达到 4% 工作容量的时间则是 0.3 m/s 最短,约需要 88 min 时,0.2 m/s 则耗时 113 min,而 0.1 m/s 耗时最长,花费约 228 min 才达到。在实验的 3 种断面风速条件下,断面风速越大,则越快恢复所需要的工作容量。

从图 9 中可以看出,采用中温脱附可浓缩气体 4 倍以上,同时随着输入热量速率的增加,中温脱附再生过程中的峰值浓缩比呈现先增后减的趋势。而达到约 4% 工作容量时的平均浓缩比亦呈现相同趋势。

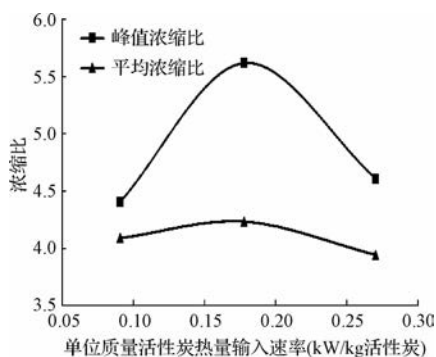


图9 热量输入速率对浓缩比的影响

Fig. 9 Influence of heat input rate on concentration ratio

实验结果表明,中温脱附再生确实可以实现低浓度 VOCs 的浓缩,且中温脱附可恢复活性炭在两条等温线间的约 4% 工作容量。

3 结 论

(1) 活性炭对低浓度异丙醇的吸附容量虽然不大,但在入口浓度为约 400 mg/m³ 时,活性炭在 30℃ 和 70℃ 的平衡温度之间存在约 4% 的吸附容量差值可供使用。由于低浓度下实现达标排放的净化率要求并不高,因而中温脱附工艺可以用于低浓度 VOCs 废气的净化处理。

(2) 通过一次吸附-中温脱附-二次吸附的运行方式,可以用更少的需高温再生的吸附剂来实现达标排放的目的,并总体上提高吸附再生过程的经济性。在新工艺条件下,进口有机物浓度越低,净化处理的经济性越好。

(3) 再生过程中,随着再生用热风输入热量速

率的增加,中温脱附过程的排放气流的峰值浓缩比呈现先增后减的趋势。同时,达到约 4% 工作容量时的平均浓缩比亦呈现相同趋势。

(4) 新工艺可应用于工业园区的多个大风量低浓度排放源的控制,即每个企业只需安装全风量吸附的一级吸附装置,定期用一个尺寸较小的可移动二次吸附装置利用低品位热源对一级吸附装置再生,处理较高浓度和较小风量的二次吸附设备运送到园区的再生中心进行常规的集中再生处置。该系统可有效减少园区内的总体污染控制的投资和运行成本,同时可以对 VOCs 实现集中化的专业安全的处理,从而降低每个企业单独高温处理的安全风险。

参 考 文 献

- [1] 刘金凤,赵静,李滢滢,等. 我国人为源挥发性有机物排放清单的建立. 中国环境科学, 2008, 28(6): 496-500
Liu Jinfeng, Zhao Jing, Li Tiantian, et al. Establishment of Chinese anthropogenic source volatile organic compounds emission inventory. China Environmental Science, 2008, 28(6): 496-500 (in Chinese)
- [2] 张远航,邵可声,唐孝炎,等. 中国城市光化学烟雾污染研究. 北京大学学报(自然科学版), 1998, 34(2-3): 392-400
Zhang Yuanhang, Shao Kesheng, Tang Xiaoyan, et al. The study of urban photochemical smog pollution in China. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinesis, 1998, 34(2-3): 392-400 (in Chinese)
- [3] Chameides W., Walker J. C. G. A photochemical theory of tropospheric ozone. Journal of Geophysical Research, 1973, 78(36): 8751-8760
- [4] 张科灵. 低浓度、大风量和成分复杂的有机废气的处理. 科技促进发展, 2011, (S1): 74-75
- [5] 徐庆嫦. 有机废气活性炭吸附法工程应用及其前景探讨. 广东化工, 2012, 39(6): 148-149
Xu Qingchang. Discussion on the prospect for the application of active carbon adsorption in treating organic gases. Guangdong Chemical Industry, 2012, 39(6): 148-149 (in Chinese)
- [6] 黄炳潮. 低浓度大风量有机废气处理工艺. 机电工程技术, 2013, 42(7): 171-172
Huang Bingchao. The processing of low-concentrated and high air volume organic waste gas. Mechanical & Electrical Engineering Technology, 2013, 42(7): 171-172 (in Chinese)
- [7] 姜宁. 城市空气质量管理与控制. 北京: 科学出版社, 2003

- [8] 萧琦,姜泽毅,张欣欣.蓄热式热氧化器的改进与应用.环境工程学报,2011,5(6):1347-1350
Xiao Qi, Jiang Zeyi, Zhang Xinxin. Improvement and application of regenerative thermal oxidizer. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2011, 5 (6) : 1347-1350 (in Chinese)
- [9] 尹维东,乔惠贤,陈魁学,等.蜂窝状活性炭在大风量有机废气治理技术中的应用.环境科学研究,2000,13(5):27-30
Yin Weidong, Qiao Huixian, Chen Kuixue, et al. Honeycomb-shaped active carbon applied in organic pollution control technique for large airflow capacity. Research of Environmental Sciences, 2000, 13 (5) : 27-30 (in Chinese)
- [10] 乔惠贤,尹维东,袁义胜,等.包装印刷 VOCs 废气治理.环境工程,2005,23(2):42-44
Qiao Huixian, Yin Weidong, Yuan Yisheng, et al. Treating volatile organic compounds-bearing exhaust gas in packing printing house. Environmental Engineering, 2005, 23 (2) : 42-44 (in Chinese)
- [11] 裴冰.活性炭吸附净化低浓度甲苯气体工艺改进研究.上海:同济大学硕士学位论文,2008
Pei Bing. Study on adsorption improvement of low concentrations toluene on active carbon. Shanghai: Master Dissertation of Tongji University, 2008 (in Chinese)
- [12] 李海龙.吸附法净化有机废气模拟与实验研究.长沙:湖南大学硕士学位论文,2007
Li Hailong. Mathematical and experiment study of volatile organic exhaust gas abatement by adsorption. Changsha: Master Dissertation of Hunan University, 2007 (in Chinese)
- [13] 王稚真,卢晗锋,张波,等.水蒸气对改性椰壳活性炭吸附 VOCs 的影响.环境工程学报,2010,4(11):2566-2570
Wang Zhizhen, Lu Hanfeng, Zhang Bo, et al. Effect of water vapor on adsorption of VOCs by modified cocoanut activated carbon. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2010, 4 (11) : 2566-2570 (in Chinese)
- [14] 黄学敏,苏欣,杨全.污泥活性炭固定床吸附甲苯.环境工程学报,2013,7(3):1085-1090
Huang Xuemin, Su Xin, Yang Quan. Adsorption of toluene by fixed sludge-based activated carbon bed. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2013, 7 (3) : 1085-1090 (in Chinese)
- [15] 曹利,黄学敏,宋文斌,等.用修正的 E-L 模型描述二元 VOCs 气体在活性炭上的吸附平衡.环境工程学报,2011,5(10):2326-2330
Cao Li, Huang Xuemin, Song Wenbin, et al. Modified E-L model to correlate the adsorption equilibrium of binary VOCs gases on activated carbon. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2011, 5 (10) : 2326-2330 (in Chinese)
- [16] 张宝,刘志广,王新平.活性炭对乙酸乙酯的吸附和再生.应用化学,2009,26(3):337-341
Zhang Bao, Liu Zhiguang, Wang Xinping. Adsorption of Ethyl acetate on activated carbons and their regeneration. Chinese Journal of Applied Chemistry, 2009, 26 (3) : 337-341 (in Chinese)
- [17] 杨全,张俊香,杨俊. Mn 改性活性炭吸附 VOCs 性能.环境工程学报,2015,9(6):2963-2966
Yang Quan, Zhang Junxiang, Yang Jun. Adsorption of VOCs on activated carbon modified by Mn. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2015, 9 (6) : 2963-2966 (in Chinese)
- [18] 中华人民共和国环境保护部. HJ 2026-2013 吸附法工业有机废气治理工程技术规范.北京:中国环境科学出版社,2013
- [19] 郝吉明,马广大,王书肖.大气污染控制工程(第3版).北京:高等教育出版社,2010
- [20] 鄢瑛,刘玲英,张会平.异丙醇在活性炭固定床上的吸附动力学.化工进展,2011,30(S):46-49
Yan Ying, Liu Lingying, Zhang Huiping. Adsorption dynamics of isopropanol in fixed bed with activated carbon. Chemical Industry and Engineering Progress, 2011, 30 (S) : 46-49 (in Chinese)