

等离子、光催化耦合空气净化装置的设计与研究

侯立安¹, 吴祖国², 王佑君²

(1.第二炮兵工程设计研究院, 北京 100011; 2.第二炮兵工程学院, 陕西 西安 710025)

摘 要: 设计了一基于等离子体与光催化耦合技术的气态污染物去除装置, 介绍了污染物的净化流程设计、脉冲电晕等离子体专用电源、等离子发生器和负载型光催化剂以及等离子与光催化有效耦合形式的设计。检验和实验结果表明, 该装置符合国家规定的电器性能指标, 对典型的气态有机污染物有较高的出去率 (80%~100%), 对气体中的除尘率可达 96.9%, 对微生物的杀灭率达 100%。

关键词: 低温等离子; 光催化; 空气净化; 耦合

中图分类号: X5 **文献标识码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1002-6673.2009.04.007

0 引言

等离子技术和光催化是近年来气态污染治理的热点技术。相比于传统的空气进化技术, 等离子体技术具有处理流程短、效率高、能耗低、适用范围广等特点^[1,2]。光催化技术则具有能耗低、操作简单、反应条件温和、二次污染少等优点^[3,4]。两者都被认为是一种极具前途的环境污染深度净化技术。将这两种净化技术有效结合, 实现空气净化已成为领域内研究的一个方向^[5,6]。

1 等离子、光催化净化原理

1.1 等离子、光催化净化原理

环境领域内常用的等离子技术是低温等离子体。它与气体接触过程中会产生大量活性物质并与有害气体发生化学反应生成无害产物^[7]。光催化剂 (TiO_2) 在光照下生成电子空穴对, 并向粒子表面迁移, 与吸附在半导体催化剂粒子表面上的物质发生氧化或还原反应^[8]。

这两种技术的结合可以选择不同的方式。一是分步进行, 即两种技术运用相对独立; 二是协同进行。即将光催化剂置于等离子体反应区域中, 低温等离子体与光催化耦合反应。由于耦合反应会促进这两种净化技术功能的发挥, 能够起到简单分步结合方式所不能达到的综合净化效果, 同时能提高能源利用率, 因此成为主要研究形式^[9]。

收稿日期: 2009-05-08

作者简介: 侯立安 (1957-), 男, 博士, 副总工程师, 高级工程师。主要从事水及空气污染治理技术研究。

1.2 影响净化的因素

光催化等离子体耦合净化空气的机理尚未完全被人认知。从目前国内外已进行的各种研究和实验情况来看, 高效率的低温离子体电源的研制、高活性的光催化剂及其负载方法的研究、等离子发生器与负载型光催化剂的高效率耦合形式是影响装置净化效率的主要因素, 也是当前等离子与光催化技术发展的几个主要内容^[2,3,6,8,10,11]。

2 等离子光催化耦合空气净化装置的设计

2.1 装置的流程设计

根据低温等离子体与光催化技术耦合净化空气污染物的作用机理以及密闭空间有机物污染的特点, 设计了装置净化方案, 见图 1。以脉冲电晕等离子体与纳米 TiO_2 光催化耦合净化为主要净化手段, 辅之以在进气口设置必要的过滤与吸附预处理, 在耦合净化单元之后设置

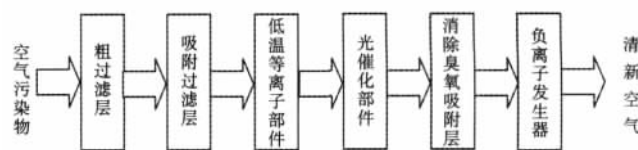


图 1 装置工艺流程图

Fig.1 The flow chart of Equipment

置消除臭氧吸附层以对 O_3 、 CO_2 等副产物进行吸附处理, 并在出气口安装负离子发生器以增加空气清新度。该装置研制的核心是等离子体发生单元、光催化部件以及两者耦合的有效形式。

2.2 主要仪器的设计

(1) 低温等离子体部件。低温等离子部件主要由脉

冲电晕等离子电源和等离子体反应器组成。

电源：本装置设计的脉冲电晕等离子发生器电源是一种脉冲变压器式开关电源。电源采用桥式高压逆变电路，可降低脉冲调整晶体管的反压，电源工作稳定可靠，晶体管容易选择且便于维修。电源技术参数见表1。

表1 电源技术参数

Tab.1 The power parameter

输入电压	220V
工作电压	8000V
输出频率	10KHz~100KHz
输出电流峰值	300mA

正脉冲电晕放电，线电极接正脉冲，而板电极接地。

等离子放电电极防腐蚀设计。为防止电极腐蚀，本装置电极材料采用具有一定厚度、经特殊涂料处理的铝板制成。经试运行表明，电极具有较好的防腐蚀性能。

(2) 光催化部件。本装置选择多孔活性炭纤维毡(ACF)为支撑载体，以分散有锐钛型晶体颗粒的二氧化钛溶胶为前驱体，通过喷涂、低温固化与晶化等工艺获得毡状负载锐钛矿型TiO₂的光催化薄板，兼具维持纳米颗粒形态和宏观有型结构。光催化薄板与石英玻璃紫外灯管组装成固定尺寸的光催化净化部件。紫外灯共计42根，平行阵列式排布，共6排，每排7根，固定在两块(200×170×3)mm的环氧树脂板上。紫外灯管与光催化薄板间距离设置为10mm。

表2 紫外灯管基本参数

Tab.2 The parameter of ultraviolet rays lamp

型号	TUV 8W/G8 T5 型(寿命 7500hr(70%亮度))
尺寸	300mm×Φ16mm
功率	8W
辐射强度	≥10μw/cm ²

不高。本装置在设计中在等离子发生器与光催化薄板间安装了一层紫外线灯管，原理见图2。紫外灯共计42根，单根功率8W，共计336W。

设计如图所示的耦合组装形式，在充分发挥等离子体与光催化各自功能的同时，还至少包含以下可能的促进耦合净化的因素：

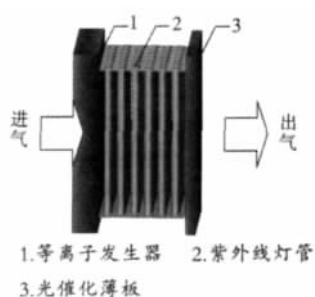


图2 等离子体发生器与光催化部件耦合组装的原理图

Fig.2 The blueprint of components for construction

①等离子体产生的相当强度的紫外光可与紫外灯共同照射光催化剂，增强光催化活性；②等离子体产生的相当数量的高能态中性活性粒子可随气流飘至光催化层，促进光催化剂的激活；③部分等离子产

生的O₃能到达光催化层，促进光催化作用；④充分的紫外光照射能促使活化的光催化剂充分地吸附由等离子体产生的大量中性基团粒子以及有害气体分子，从而促进了有害气体的氧化分解。

(4) 消除臭氧吸附层。等离子反应器产生的O₃容易造成浓度超标的。为此本装置在等离子发生器与光催化耦合单元的末端安装了一块自行研制的吸附过滤材料。该材料是在丙纶纤维布上喷涂一层特制的有害气体消除剂，用聚乙烯醇、羧甲基纤维素等和水按一定比例的混合液作为粘合剂，采用特殊的烘燥成型工艺制成。它不仅能有效吸附O₃，而且对装置产生的CO₂也有很好的吸附作用。

(5) 自动控制系统的设计。本装置设自动与手动两套控制系统，并设有与空气质量监测报警装置配套的传感器接口，可由监测报警装置根据空气质量实时监测情况自动控制启动和关闭该净化器，也可根据需要由手动控制。根据有害气体含量差别，设置了强、中、弱三种净化状态以及根据需要设定工作时间。

(6) 其它部件的设计。风机风道的设计中采用低噪声中转速轴流式风机作为动力源。将蜗牛风道配合壳体，采用立体风向流动，风道内形成负压的气流通道，并采用三面进出风，以最大限度地增大气流与预过滤吸附材料的接触面积。为了降低设备噪声，对风道进行了优化设计，最终可使净化装置的工作噪声低于65dB。排风口处共安装了四个负离子发生器，左右排风口各两个。

3 装置的净化实验和检验

该耦合净化装置由天津市质量监督检验站进行了电器与机械性能检验。参照国家标准对输入功率、电气强度、以及机械强度、噪声等16项电气和机械性能进行检验，全部合格。

整机对气体有机物的净化实验表明，该装置对苯、甲苯、二甲苯、甲醛、二氧化氮、氨、二氧化硫、硫化氢这八种典型气态有机污染物气体1h内的平均净化率均能达到良好的效果(80%~100%)；对气体中的除尘率达96.9%，对微生物的杀灭率达100%。整机最大出风量为538.4m³/h，正常工作状态下的噪声为55dB。

4 结论

设计采用的粗滤→吸附过滤→等离子与光催化耦合→臭氧吸附→负离子发生的净化工艺流程，可以有效的整合光催化与等离子技术净化的净化效果。采用的耦合净化形式能够达到课题要求。自行研制的脉冲电晕等离子体电源、等离子发生器以及在此基础上研制的光催化——等离子耦合空气净化装置，(下转第16页)

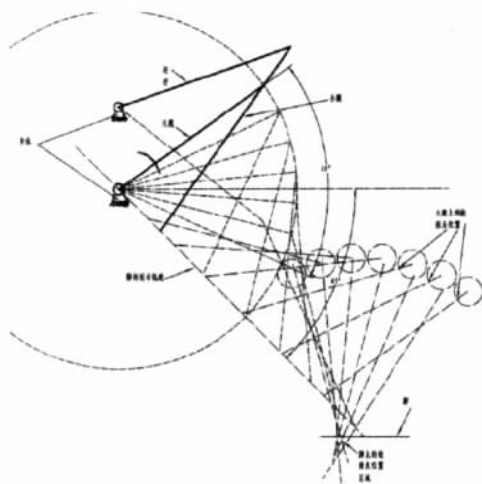


图5 脚相对于身体的动作设计

Fig.5 Feet-body relative movement design

总重最少的材料设计零件。在受力较小的部位尽量去除材料,使结构得到优化设计。最终总重量控制在0.85kg,总体尺寸为(256.8×108.6×105.2)mm。

5 结束语

此机器人设计提供了一种基于摩托车发动机原理的可靠,简便的方法来实现弹跳运动,用ADAMS软件模拟得到的试验数据与实际产品的各种运动参数吻合,特别地,强度计算表明,即使是强度要求最高的齿轮,扭簧部分,一般的45钢就能满足要求,而且传动机构是最常见的四连杆机构,这些都表明在可行性评估,研发过程中该设计表现出很强的优势,对以后该类仿生研究有指导意义。

参考文献:

- [1] 叶盛焱.摩托车发动机设计[M].北京:人民邮电出版社,1997.
- [2] 李增刚.ADAMS入门详解与实例[M].北京:国防工业出版社,2006.
- [3] 吴瑞祥.机械设计基础[M].北京:北京航空航天大学出版社,2005.
- [4] 单祖辉.材料力学[M].北京:高等教育出版社,2004.
- [5] 谢传峰.理论力学[M].北京:高等教育出版社,2005.
- [6] 杨天光.第十八届“冯如杯”学生课外学术科技作品竞赛项目论文[D].北京航空航天大学,2008.

The Simulation of Locust Movement Based on Motor Engine Features

JIN Gui-Ping, YAO Bing, WANG Ming-Kun, JIA Dong

(Beihang University, Beijing 100191, China)

Abstract: The motorcycle engine foot start-up agencies' movement characteristic of the principle and structure inspires us that we can apply the feature of this kind movement into simulating locust robot combined with the link system to realize the movement featuring intermission and single-way. We set out by discussing the feasibility of the plan, and then draw the sketch, we simulate the robot in the Adams environment afterwards, followed by the examination and optimization of the structure. The final product functions exactly in the way we expected, we believe this attempt will be positive in bionic engineering. In this paper, we introduced the mechanical part of the design process.

Key words: motor engine; single-way drive; link system; jump

(上接第18页) 对密闭空间典型有害气体净化具有良好的效果。

参考文献:

- [1] 张晓明,黄碧纯,叶代启.低温等离子体光催化净化空气污染物技术研究进展[J].化工进展,2005,7.
- [2] 袁长安,王佑君,侯立安.高压脉冲等离子体水处理装置的研制[J].机电产品开发与制造,2006,2.
- [3] 赵春禄,王培霞,张鹏.光催化降解模拟室内挥发性有机污染物研究[J].环境工程学报,2008,2.
- [4] 彭峰,等.TiO₂光催化降解气相有机物的研究进展[J].化工进展,2003,1.
- [5] K Urashima, J S Chang. Removal of Volatile Organic Compounds from Air Streams and Industrial Flue Gases by Non-thermal Plasma Technology [J]. IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation, 2000, 5.

- [6] 左莉,侯立安.介质阻挡放电与脉冲电晕放电净化气态污染物的试验研究[J].洁净与空调技术,2003,3.
- [7] 王承智,胡筱敏,石荣.等离子体技术应用于气相污染物治理综述[J].环境污染与防治,2006,3.
- [8] 吴志标,等.室内空气污染及净化技术[M].北京:化学工业出版社,2005.
- [9] 许天明,陈刚,牛炳晔,等.等离子体与光催化复合空气净化技术研究[J].环境工程学报,2007,2.
- [10] 张少军,王佑君,侯立安.等离子体与光催化耦合净化空气污染物研究现状[J].环境科学与技术,2007,8.
- [11] Lee S H. Development of photocatalyst plasma air cleaning filter used in air conditioner [J]. J. Adv. Oxid. Technol., 2003, 1.

Develop a Equipment for Air Purification by High Voltage Pulse Plasma

HOU Li-An¹, WU Zu-Guo², WANG You-Jun²

(1. Engineering Design & Research Institute of the Second Artillery Corps, Beijing 100011, China;

2. The Second Artillery Engineering College, Xi'an Shaanxi 710025, China)

Abstract: A new equipment based on plasma combined with photocatalysis for air purification is developed. The working flow of air purification was set down. An electric source of Pulsed Corona Induced Plasma was developed. The generator of plasma was optimized. The TiO₂-Loaded porous active carbon fibre photocatalytic material was fabricated. A special part combining with plasma and photocatalysis was designed. The testing result showed that the device is efficient to clean VOCs.

Key words: photocatalysis; plasma; air purification; coupling