

学术论文

# 基于纳米光催化的旅客机座舱新型空气净化系统

宁献文, 李运泽, 王 浚

(北京航空航天大学航空科学与工程学院, 北京 100083)

**[摘要]** 旅客机座舱空气质量关系到机组成员和乘客的安全、健康和舒适; 座舱内空间狭小, 人员密集, 空气质量与地面建筑环境不同。针对旅客机的座舱环境, 提出了基于纳米光催化的新型座舱空气净化系统; 与传统的高效过滤器/活性炭复合净化装置相比, 纳米光催化装置全寿命期费用非常低, 不仅能控制座舱内挥发性有机污染物, 还能净化座舱内的微生物, 有助于旅客机环境控制系统减小新风量, 节省能耗, 降低飞机成本。

**[关键词]** 旅客机座舱; 光催化氧化; 空气净化; 挥发性有机物; 活性炭; 高效过滤器

**[中图分类号]** V245.3 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2006)04-0060-03

## 1 前言

旅客机座舱环境特殊, 空间狭小, 人员密集, 飞行过程中需要从外部高空环境引入空气使座舱压力、温度等参数处于合适的范围。乘员的新陈代谢、设备运行、材料释放以及从外部高空环境引入的空气, 会使座舱内的空气成分变得十分复杂, 除了含有自然界中的主要空气成分外, 还含有大量的无机污染物和有机污染物。

有资料表明, 长期以来, 乘客和机组人员一直抱怨旅客机的空气质量, 普遍反映存在疲劳、头晕、头疼、耳部疾病、干眼症以及咽喉疼痛问题, 甚至偶尔会出现神经系统功能紊乱以至丧失<sup>[1]</sup>。

为了节省能源, 未来的旅客机需要更高的空气再循环率, 座舱的空气质量会更加恶化<sup>[2,3]</sup>, 当今飞机的空气净化装置无法有效地解决这一问题, 需要引入新的空气净化技术。

笔者针对目前存在的旅客机座舱空气质量问题, 提出了一种基于纳米光催化的座舱新型空气净化系统, 探讨了其在旅客机中的应用前景。

## 2 旅客机座舱空气净化系统简介

对于旅客机座舱来说, 控制污染的方法主要有3种: a. 通过发动机引气, 用座舱外新鲜空气稀释; b. 用空气净化装置去除; c. 两种方法结合使用。空气净化原理如图1所示。

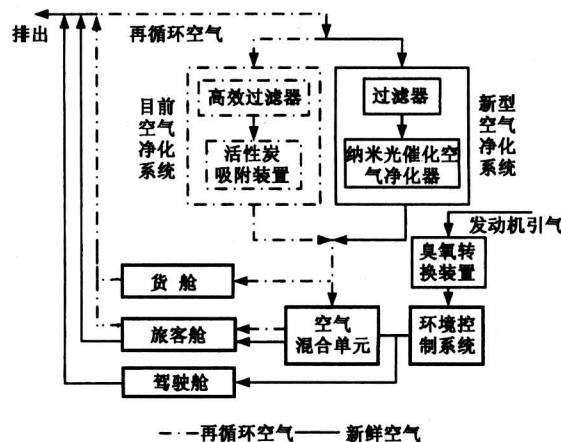


图1 旅客机座舱空气净化原理图  
Fig.1 Sketch of air quality purifier system for airliner cabin

**[收稿日期]** 2005-05-24; **修回日期** 2005-07-12

**[作者简介]** 宁献文 (1976-), 男, 河南商丘市人, 北京航空航天大学博士生, 研究方向为干线飞机综合环境控制技术; 王浚 (1935-), 男, 山西孝义市人, 中国工程院院士, 北京航空航天大学教授, 博士生导师

目前国内外正在服役的旅客机主要依靠外部新鲜空气通过高效过滤器来控制座舱污染物；波音 767 的某些改进飞机曾试验采用第 3 种方法来控制座舱污染，将高效过滤器/活性炭（HEPA/AC）复合净化装置安装在再循环空气管路上，以净化由座舱回收的再循环空气，净化后一部分空气直接送往货舱，另一部分与环境控制系统（ECS）供给的新鲜空气混合后送往客舱；驾驶舱对空气质量的要求比较高，直接使用环境控制系统提供的新鲜空气。

该复合装置的缺点是：**a.** 高效过滤器阻力大，须加大再循环风扇的功率，能耗高；**b.** 活性炭净化装置体积大而笨重，还存在活性炭的再生问题，且维护费用高。

### 3 旅客机座舱新型空气净化系统

为了克服高效过滤器/活性炭复合净化装置之不足，笔者提出了一种新型的基于纳米光催化的空气净化系统（见图 1）。用一般过滤器取代高效过滤器，以减少阻力；用纳米光催化空气净化器取代活性炭吸附装置。

纳米光催化空气净化器不仅能有效地去除有机污染物，还能净化座舱里的微生物，取代高效过滤器，效率高、体积小、质量轻、阻力小及应用范围广，非常适用于旅客机。

#### 3.1 纳米光催化空气净化器

如图 2 所示，新型纳米 TiO<sub>2</sub> 复合光催化空气净化器是由支承体与 TiO<sub>2</sub> 光催化剂组成的具有直通孔的多层结构蜂窝状整体式空气净化器。为了提高光催化效率，在每层结构之间安装多个紫外线灯管，以保证污染气流与纳米光催化剂的接触表面积足够大，有效地利用光子。



图 2 空气净化器内部结构

Fig.2 Interior structure of air purifier

这种净化器的独特结构及复合方式的特点是：**a.** 紫外光在无遮挡的情况下直接作用在 TiO<sub>2</sub> 光催化剂上，光的利用率高；**b.** 采用紧凑式结构设计，使空气净化器的体积小、质量轻，适合飞机安装使

用；**c.** 特有的蜂窝状直通孔为气体的流动提供了通道，阻力很小，节省能耗。

#### 3.2 两种复合空气净化装置的性能对比

笔者根据文献[4, 5]提供的数据，对纳米光催化装置与高效过滤器/活性炭吸附复合装置的性能做了详细的对比分析。

图 3 和图 4 分别比较了高效过滤器/活性炭复合净化装置与纳米光催化净化装置在处理相同风量、达到相同净化指标时的系统质量和体积。可以看出，纳米光催化装置明显优于高效过滤器/活性炭复合净化装置，并且风量越大越明显，有助于提高旅客机空气再循环率，节省能源。

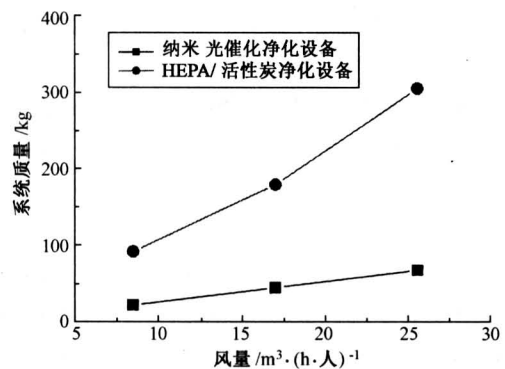


图 3 空气净化器系统质量对比

Fig.3 Weight comparison of air purifier

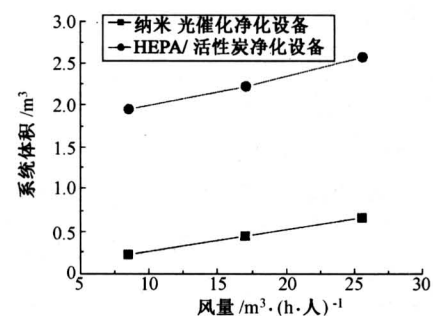


图 4 空气净化器系统体积对比

Fig.4 Volume comparison of air purifier

随着世界经济的发展、航空工业的激烈竞争以及严峻的能源问题，旅客机设计必须在更大范围内全面考虑设计质量标准，即从系统工程角度来评价的“全寿命期费用”——设备从设计阶段开始一直到使用结束的整个时期内的投资费用。图 5 给出了 2 种系统全寿命期费用的对比。可以看出，纳米光催化装置远优于高效过滤器/活性炭吸附复合装置。

基于纳米光催化空气净化器的上述优点，可以

针对目前的旅客机进行改型设计,用纳米光催化空气净化器取代高效过滤器/活性炭复合净化装置;若结合新机型设计,将更能体现纳米光催化空气净化器低压降的优点,减小再循环风扇的体积和功率,最大限度地减轻飞机质量、节省能耗。

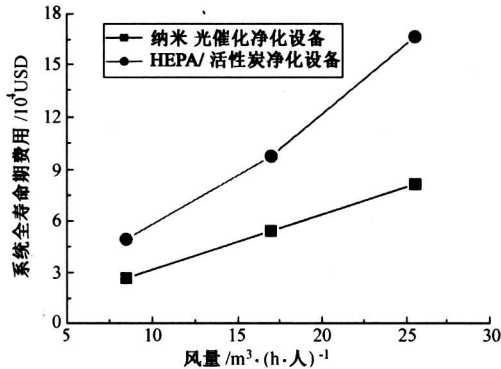


图 5 空气净化器全寿命期费用对比

Fig.5 Life-cycle comparison of air purifier

#### 4 结论

笔者结合旅客机独特的座舱环境,分析了纳米光催化技术的优点,提出了一种基于纳米光催化的新型座舱空气质量控制系统。与目前用于旅客机空气净化的高效过滤器/活性炭复合净化装置相比,纳米光催化装置适用于旅客机座舱环境,其全寿命期费用、体积和质量都非常低,不仅能控制座舱内挥发性有机污染物,还能净化座舱内的微生物,减少飞机环境控制系统的新风量,节省能源。

纳米光催化技术实际应用于旅客机空气净化中,尚需做进一步的理论和实验验证,光催化效率还不太高。我国目前正在研制具有自主知识产权的大型干线飞机的论证工作,笔者建议结合新机设计,进一步研究纳米光催化技术的机理,开发可实际应用的产品。为了提高光催化效率,还可开展活性炭-纳米光催化复合空气净化装置的研究。

#### 参考文献

- [1] National Research Council. The Airliner Cabin Environment and the Health Passengers and Crew [M]. National Academy Press, 2002
- [2] Proposed ASHRAE. Cabin Air Quality Standard (161P) [A]. ASTM STP 1393 [C]. Nagda N L, ed. American Society for Testing and Materials, West Conshocken, PA, 2000
- [3] Hunt E H, Reid D H, David R, et al. Commercial airliner environmental control system [EB/OL]. www.boeing.com/commercial/cabinair/ecs.pdf, 1995-05
- [4] Henschel D B. Cost analysis of activated carbon vs. photocatalytic oxidation for removing VOCs from indoor air [A]. Specialty Conference on Engineering Solutions to Indoor Air Quality Problems [C]. Research Triangle Park, NC, 1997
- [5] Hall R J, Sangiovanni J J, Hollick H H, et al. Design of air purifiers for aircraft passenger cabins based on photocatalytic oxidation technology [A]. ASTM STP 1393 [C]. Nagda N L, ed. American Society for Testing and Materials, West Conshocken, PA, 2000

## A New Airliner Cabin Air Quality Control System Based on Nanophotocatalytic Oxidation

Ning Xianwen, Li Yunze, Wang Jun

(School of Aeronautics Science and Technology, Beihang University, Beijing 100083, China)

[Abstract] The airliner cabin air quality is related to the safety, health and comfort of passengers and cabin crew. Considering the unique cabin environment, a new cabin air purifier system based on nanophotocatalytic oxidation is described. A detailed performance comparison has been made between the photocatalytic oxidation reactor and the carbon adsorption/high efficiency particulate arresting filters for airliner cabin. The life-cycle costs for carbon adsorption/high efficiency particulate arresting filters are significantly higher than that for photocatalytic oxidation reactor. It also indicates that photocatalytic oxidation reactor can not only control the level of volatile organic compounds but also purify airborne bioaerosols. These characteristics can help to decrease the replenishment of fresh air, save the power and reduce airliner cost.

[Key words] airliner cabin; photocatalytic oxidation; air purification; volatile organic compounds; activated carbon; high efficiency particulate arresting filters