

# Progresses on Formaldehyde Air Purifier and Photocatalytic Degradation of Formaldehyde

Jing Zeng, Zhicheng Jiang, Aiping Zheng, Menglin Xie, Mengqin Wu, Qiang Xiao

Key Laboratory of Authorized by China's Ministry of Education for Advanced Catalysis Materials, Institute of Physical Chemistry, Zhejiang Normal University, Jinhua Zhejiang  
Email: 1799225337@qq.com

Received: Nov. 3<sup>rd</sup>, 2016; accepted: Nov. 20<sup>th</sup>, 2016; published: Nov. 23<sup>rd</sup>, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

The paper summarizes the principle of elimination of indoor formaldehyde pollution in the commercialized air purifier. The status of the photocatalytic degradation reactor for the elimination of indoor formaldehyde pollution has been reviewed. The development direction and application prospects of photocatalytic degradation of indoor air formaldehyde are discussed.

## Keywords

Formaldehyde, Air Purifier, Photocatalytic Degradation

---

# 甲醛空气净化器及光催化降解甲醛的研究进展

曾 晶, 江志成, 郑爱苹, 谢梦淋, 吴梦芹, 肖 强

浙江师范大学, 物理化学研究所, 先进催化材料省部共建教育部重点实验室, 浙江 金华  
Email: 1799225337@qq.com

收稿日期: 2016年11月3日; 录用日期: 2016年11月20日; 发布日期: 2016年11月23日

文章引用: 曾晶, 江志成, 郑爱苹, 谢梦淋, 吴梦芹, 肖强. 甲醛空气净化器及光催化降解甲醛的研究进展[J]. 物理化学进展, 2016, 5(4): 131-136. <http://dx.doi.org/10.12677/japc.2016.54015>

## 摘要

综述市售空气净化器消除室内甲醛污染的作用原理, 分析应用光催化降解技术消除室内甲醛污染反应器的研究现状, 讨论光催化技术降解室内气态甲醛的发展方向以及应用前景。

## 关键词

甲醛, 空气净化器, 光催化技术降解

## 1. 引言

近年来, 甲醛污染新闻事件的频发引发民众对室内甲醛污染的重视。2014 年的世界居室卫生日里, 青岛晚报的一则“房子通风 1 年甲醛仍超标 5 倍最好建材毒死苍蝇”新闻引起民众的关注。2016 年深圳消费者委员会调查 120 户居民家装室内空气质量发现, 近四成的居民家里室内空气质量不合格。其中, 甲醛超标的不合格住房里, 最高污染值达到  $0.20 \text{ mg/m}^3$ , 为国家标准限值 2.5 倍[1]。2001 年我国颁布的《居室空气中甲醛的卫生标准》GB50325-2001 中明确规定, 居室空气中甲醛的浓度限值是  $0.08 \text{ mg/m}^3$ 。国内外针对于甲醛降解的研究在实验室研究中比较成熟, 但是, 应用这些技术的空气净化器作用原理各不相同。如今, 市面上销售的可去除甲醛型空气净化器品牌和种类也越来越多。同样地, 这些净化器的应用的技术的作用原理各有不同。

## 2. 净化器的作用原理

通过对于市场上部分可去除甲醛的空气净化器的调查发现目前市面上的空气净化器的作用原理主要有以下七种。

### 2.1. 活性炭吸附技术[2] [3] [4] [5] [6]

活性炭的多孔结构使其具有吸附性能。在活性炭的填充量及其粒径大小的选择上需要充分考虑气流等因素的影响, 选择适量填充量和适合大小的粒径才能充分、有效地增强含有活性炭滤网的空气净化器的吸附能力。除此之外, 市售的空气净化器中多以改性的活性炭为主。Air Proce 公司的一款 AI-600 的空气净化器中含有一层改性活性炭和浸渍氧化铝组合而成的 TVOC 滤网。活性炭吸附技术较为成熟, 但是仍然存在不足, 活性炭只是吸附, 并不分解, 并且活性炭存在的吸附饱和状态只是暂时性的。这导致活性炭如果吸附饱和, 就需要及时清洗或更换活性炭滤网。这就在无形中增加了使用成本。

### 2.2. HEPA 高效过滤技术[7]

空气净化器中的多层滤网中 HEPA (High efficiency particulate air filter) 表现了较重要的作用。HEPA 对于  $0.3 \mu\text{m}$  气溶胶来说, 具有超过 99.97% 的空气过滤效率, 通常用于去除亚微米气溶胶粒子。一般来说, HEPA 是由直径为  $0.5\sim 2 \mu\text{m}$  的具有有限的比表面积纤维随机排列的。因此, HEPA 的高过滤效率通常以高阻力和低容尘量为代价。Oransi 公司的 EJ120 型空气净化器使用了 HEPA 高效过滤技术。市售的空气净化器的滤网并不单一, 基本以改性后的活性炭滤网与 HEPA 滤网结合为主, 如飞利浦 AC4076/01、戴森 Pure Cool AM11 和 352 X80 等空气净化器使用的就是复合型滤网。

### 2.3. 负离子技术[8] [9] [10]

负离子能够有效地去除空气中多种有毒有害的污染物，如固体颗粒物、烟尘、部分 VOCs 等，这是由于空气中的污染物基本带正电，而强电场产生的负离子与颗粒污染物等结合形成“重离子”，发生沉降或吸附作用。负离子还能杀灭细菌，净化效果良好，但是，应用该技术的空气净化器在产生负离子的同时还会产生臭氧和氮氧化物等，造成二次污染。

最早将负离子技术应用于空气净化的国家是德国，除了德国具有先进的技术外，日本也是世界公认的该技术的领先国家。我国是在 80 年代开始引进负离子技术并进行研制和销售应用该技术的空气净化器。三菱重工 SPA-582AC、豹米空气净化器 2 代、松下 F-PDF35C 和海尔 KJ-F200/EA 等空气净化器都运用负离子技术与多种滤网结合从而达到一种高效去除室内污染物的目的。

### 2.4. HIMOP (海曼普)材料过滤技术[5]

HIMOP (海曼普)，即高效能的复合强氧化改性陶瓷颗粒，是表面布满蜂窝状磁极孔径的绿豆大小的球形颗粒。该材料能够迅速地捕捉甲醛、苯、TVOC、氨气、二氧化硫等有害污染物，并能迅速地破坏其分子结构，将其氧化为二氧化碳和水。海曼普材料对于甲醛具有高效的针对性，一小时即可使其达到国家标准(0.1 mg/m<sup>3</sup>)。海曼普空气净化器由 5 层滤网复合组成，其中一层为海曼普材料的滤网。虽然该材料甲醛等污染物的去除效果较好，但是，该材料的价格昂贵，较其他技术而言，生产成本低。

### 2.5. 低温非对称等离子体空气净化技术[11] [12] [13] [14]

低温非对称等离子体技术通过高压、高频脉冲放电，形成非对称等离子体电场，使空气中大量等离子体之间逐级撞击，产生一系列物理、化学反应，如“雪崩效应”。其与 VOCs 反应净化空气的过程大致描述为高能电子与 VOCs 分子发生碰撞，产生自由基等活性物质导致 VOCs 气体的净化。该技术具有节能、免拆洗、净化能力强等优点。但是，不足之处在于该技术目前在工业应用较广，在居室室内空气净化器中尚未普及该技术。

### 2.6. 光催化分解技术[14]-[20]

光催化技术是在 1972 年由 A. Fujishima 及其指导教授 K. Honda 发现 TiO<sub>2</sub> 半导体会在光照条件下出现类似植物光合作用的反应。甲醛的光催化氧化反应过程为产生甲酸中间产物，最终产生水和二氧化碳。光催化技术的研究多处于实验室研究，针对于该技术于空气净化器中的应用的研究并不多。3M、DESAY L352 和 cado AP-C500-BK 等空气净化器应用该技术去除室内甲醛。除了空气净化器之外，室内装修也会将 TiO<sub>2</sub> 与混凝土混合或者镀于墙体或者装饰品表面。该技术去除甲醛的效率较高，能够分解部分的污染物。但是，美中不足的是该技术需要紫外光照，而过多的紫外光照会引发人体各种不良症状。

### 2.7. 冷触媒技术[5]

冷触媒技术与光催化技术最大的不同在于不需要光照即可发生反应。常温下，冷触媒对甲醛边吸附边降解，将甲醛以及其他有害气体分解生成二氧化碳和水。虽然冷触媒技术具有良好的吸附和分解效果，但是随着温度和压力的变化，冷触媒中吸附的有害气体有可能发生脱附，再次污染空气。Airpal 空气净化器和 Chulux CL-AP2 空气净化机应用了该技术。

上述的作用原理里面，七种应用空气净化器中的技术分别有着各自的优点和缺点。而这些技术中，光催化降解技术具有经济、环保和彻底降解有机物等优点，同时，光催化剂(如 TiO<sub>2</sub>)具有低成本，安全，高稳定性，高的光催化活性等优点，它可以促进室温下室内空气主要污染物的氧化。近些年来，国内外

研究者对于光催化降解甲醛的研究工作较多,但是大部分的研究仍处于实验室基础研究阶段。针对于消除室内甲醛污染的空气净化器的国内外研究却较少。接下来将总结一些国内外研究者对于光催化降解甲醛的反应器的研究现状。

### 3. 光催化降解甲醛反应器的研究现状

Maolin Zhang 等[17]研究了在低浓度水平下紫外线照射纳米  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$  催化剂使用降解效率高的同轴三缸型流化床的光催化反应器进行气固非均相光催化分解四羰基化合物的混合物。Paul Chin 等[21]研制了一种具有光催化反应器的新型旋转蜂窝吸附模型。并且已经开发了两种模型:吸附-解吸模型;有 PCO 的吸附-解吸模型。他们使用这两种模型定性描述所观察到的气态甲醛的浓度与时间。Ringo C. W. Lam 等[22]进行了使用可见光辅助涂有注入铬离子的  $\text{TiO}_2$  薄膜的平行板反应器催化降解气态甲醛的研究。 $\text{Cr}/\text{TiO}_2$  光催化反应器性能的测定是根据污染气体流经反应器后其对甲醛气体的光催化降解。实验结果表明使用透光玻璃基板是允许外部光源中光的传输和分布,以实现太阳能光催化。Liping Yang 等[23]进行了涂有  $\text{TiO}_2$  多孔泡沫镍用于降解室内甲醛气体的光催化氧化反应器的设计考虑的研究。在理论分析的基础上,设计一种新的含有 15 并联单元 PCO 反应器。每个反应单元是由一个紫外线灯和一个二氧化钛涂层的管状泡沫镍组成。通过在室内的浓度水平降解气态甲醛对反应器的性能进行了测试。实验结果表明,该反应器具有很低的压力损失和良好的降解能力。彭人勇等[24]利用自制间歇式光催化气体反应器体系作为反应场所,玻璃弹簧负载  $\text{TiO}_2$  溶胶作催化剂,在紫外光照射下降解室内污染气体甲醛,探讨了催化剂的酸度、反应器内湿度、甲醛气体浓度和反应时间等因素对甲醛降解率的影响。结果表明:玻璃弹簧负载  $\text{TiO}_2$  并经  $\text{pH} = 5$  的蒸馏水酸浸后作催化剂对甲醛的降解效果最好;反应器内湿度约为 50% 时甲醛降解率最高;延长反应时间,甲醛降解率上升幅度逐渐减少;通过计算降解后甲醛的残余量可知,  $\text{TiO}_2$  光催化方法可以有效降解甲醛,并能使  $0.46\% \text{ mg}/\text{m}^3$  以内的  $\rho$  (甲醛)在 150 min 内达到国家标准。

A. Cloteaux 等[25]研究制作由 UV-A 灯照射  $\text{TiO}_2$  包覆拉西环用来降解甲醛的固定床催化反应器的模型。基于实验停留时间分布基础上描述反应器的水力特性,并且考虑该模型在反应器中的水力学,光分布,化学动力学和传质过程。结合朗格缪尔-欣谢尔伍德动力学模型的该模型用于计算反应器输出的浓度变化。通过增加体积和表面物质平衡方程之间的传输通量,区分传质和化学反应限制,并且确定化学动力学。不同初始浓度的实验数据来计算朗格缪尔-欣谢尔伍德动力学常数。在各种辐照和流量条件下验证化学反应扩散模型。结果表明,固定床光催化反应器在水溶液中可以有效地降解甲醛。

Andraž Šuligoj 等[26]的工作面向连续的单通气体流动反应器和以石英棉为载体的基础上的玻璃纤维过滤器(模仿在空气净化装置内置过滤器中的空气流动),并取得一定的进展。赵桂芳[27]、李玉华[28]、任卓[29]、王小艳[30]等也针对光催化降解甲醛空气净化器设计并且进行了试验,获得了较好的数据。

### 4. 结论

由于学习,工作和生活等因素,居民 80% 以上的时间都呆在室内。室内空气污染更需要引起人们的广泛关注,特别是针对于新装修房屋的室内甲醛污染问题亟待解决。光催化降解技术具有经济、环保和彻底降解有机物等优点。 $\text{TiO}_2$  具有低成本,安全,高稳定性,高的光催化活性等优点,它可以促进室温下室内空气主要污染物的氧化。虽然市面上有很多可去除甲醛的空气净化器在售,但是各种产品质量参差不齐,价格昂贵,降解效果存疑,降解效率以及光催化剂利用效率均不高。针对于能够消除室内甲醛污染的空气净化器净化效果的验证资料匮乏。鉴于此,将光催化降解技术应用于去除室内空气甲醛污染的实践,设计简洁、低成本的可去除甲醛的高效空气净化装置,将光催化降解技术从实验研究推动到室内空气净化实践具有重要意义。同样地,利用新技术降低成本有望于满足人们对于空气净化器低成本、



高效率的需求。与此同时,有关部门和机构可对市面的可去除甲醛型空气净化器检验其甲醛去除效果。

## 基金项目

浙江省新苗人才计划大学生科技创新项目(编号 2015R404012)。

## 参考文献 (References)

- [1] 付文博. 深圳消委会调查: 120 套住宅四成室内空气质量不合格[N]. 南方都市报, 2016-04-08.
- [2] 夏洪应. 优质活性炭制备及机理分析[D]: [硕士学位论文]. 昆明: 昆明理工大学, 2006.
- [3] 林艳波. 模块化家用空气净化器设计研究[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连理工大学, 2014.
- [4] 张铁光, 赵军. 利用空气净化器去除甲醛的研究进展[J]. 广东化工, 2015(11): 141-142.
- [5] 苏美先. 空气净化器的研究和设计[D]: [硕士学位论文]. 广州: 广东工业大学, 2014.
- [6] 宋剑飞. 活性炭吸附 VOCs 及其构效关系研究[D]: [博士学位论文]. 长沙: 中南大学, 2014.
- [7] Li, P., Wang, C.Y., Zhang, Y.Y. and Wei, F. (2013) High-Efficiency Particulate Air Filters Based on Carbon Nanotubes. *China NANO 2013 Abstract Book*.
- [8] 韩树璘. 负离子空气净化器设计与应用技术研究[D]: [硕士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2009.
- [9] 娄山林. 新型负离子空气净化器的研制[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连理工大学, 2006.
- [10] 王继梅. 空气负离子及负离子材料的评价与应用研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国建筑材料科学研究院, 2004.
- [11] 于欣. 低温等离子体—催化协同降解甲苯[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津大学, 2007.
- [12] 黄丽萍. 电晕放电与光催化协同净化室内空气研究[D]: [博士学位论文]. 大连: 大连海事大学, 2010.
- [13] 章旭明. 低温等离子体净化处理挥发性有机气体技术研究[D]: [博士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2011.
- [14] 白俊红. 居室空气净化器设计研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 清华大学, 2014.
- [15] 齐虹. 光催化氧化技术降解室内甲醛气体的研究[D]: [博士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2007.
- [16] 杨建军, 李东旭, 李庆霖. 甲醛光催化氧化的反应机理[J]. 物理化学学报, 2001, 17(3): 278-281.
- [17] Zhang, M., An, T., *et al.* (2006) Photocatalytic Degradation of Mixed Gaseous Carbonyl Compounds at Low Level on Adsorptive TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub> Photocatalyst Using a Fluidized Bed Reactor. *Chemosphere*, **64**, 423-431. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.11.062>
- [18] 丁震, 冯小刚, 陈晓东, 等. 金属泡沫镍负载纳米 TiO<sub>2</sub> 光催化降解甲醛和 VOCs[J]. 环境科学, 2006, 27(9): 1814-1819.
- [19] 于竹芹, 李坚, 金毓峯, 等. 活性炭纤维负载 TiO<sub>2</sub> 光催化降解甲醛研究[J]. 工业催化, 2008, 16(7): 71-74.
- [20] Hu, L., Wei, H., *et al.* (2014) TiO<sub>2</sub>/Carbon Paper Composite Materials with Hierarchically Porous Structure for Photocatalysis. *Materials Letters*, **119**, 88-91. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2013.12.108>
- [21] Chin, P., Yang, L.P. and Ollis, D.F. (2006) Formaldehyde Removal from Air via a Rotating Adsorbent Combined with a Photocatalyst Reactor: Kinetic Modeling. *Journal of Catalysis*, **237**, 29-37. <https://doi.org/10.1016/j.jcat.2005.10.013>
- [22] Lam, R.C.W., Leung, M.K.H., *et al.* (2007) Visible-light-Assisted Photocatalytic Degradation of Gaseous Formaldehyde by Parallel-Plate Reactor Coated with Cr Ion-Implanted TiO<sub>2</sub> Thin Film. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, **91**, 54-61. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2006.07.004>
- [23] Yang, L., Liu, Z., *et al.* (2007) Design Consideration of Photocatalytic Oxidation Reactors Using TiO<sub>2</sub>-Coated Foam Nickels for Degrading Indoor Gaseous Formaldehyde. *Catalysis Today*, **126**, 359-368. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2007.06.017>
- [24] 彭人勇, 刘淑娟, 丁禄彬, 等. 玻璃弹簧负载 TiO<sub>2</sub> 光催化降解甲醛的影响因素[J]. 环境科学研究, 2009, 22(4): 490-495.
- [25] Cloteaux, A., Gérardin, F., *et al.* (2014) Fixed Bed Photocatalytic Reactor for Formaldehyde Degradation: Experimental and Modeling study. *Chemical Engineering Journal*, **249**, 121-129. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.03.067>
- [26] Suligoj, A., Stangar Lavrenci, U., *et al.* (2016) TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> Films from Organic-Free Colloidal TiO<sub>2</sub> Anatase Nanoparticles as Photocatalyst for Removal of Volatile Organic Compounds from Indoor Air. *Applied Catalysis B: Environmental*, **184**, 119-131. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2015.11.007>

- [27] 赵桂芳. 室内甲醛的光催化治理及空气净化器的设计[D]. 大连: 大连理工大学, 2007.
- [28] 李玉华. 光催化氧化降解室内空气甲醛性能及数值模拟[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2007.
- [29] 任卓. 复合掺杂  $\text{TiO}_2$  降解室内甲醛的研究及光催化装置的设计[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2012.
- [30] 王小艳. 光催化空气净化器的设计及甲醛降解的实验研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2014.

**期刊投稿者将享受如下服务:**

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [japc@hanspub.org](mailto:japc@hanspub.org)