

编号:

哈尔滨工业大学

大一年度项目立项报告

项目名称: 室内甲醛光催化降解小型设备研制

项目负责人: 孔令儒 学号: 1190401102

联系电话: 电子邮箱

专业集群: 资源环境与新材料化工 辅导员: 林洋恺

指导教师: 刘丽艳 职称: 副教授

联系电话: 电子邮箱:

院系及专业: 环境学院

哈尔滨工业大学基础学部制表

填表日期: 2019 年 11 月 13 日

一、项目团队成员（包括项目负责人、按顺序）

姓名	性别	所在专业集群	学号	联系电话	本人签字
孔令儒	男	资源环境与新材料化工	1190401102		
马志成	男	资源环境与新材料化工	1190401101		
王兴宇	男	资源环境与新材料化工	1190401103		
张翔	男	资源环境与新材料化工	1190401121		

二、指导教师意见

甲醛（HCOH）常温下为无色有强烈刺激性气味的气体，具有较高的毒性，在我国有毒化学品优先控制名单上居第二位，被世界卫生组织认定为致癌和致畸性物质，具有强烈的致癌和促癌作用。控制室内甲醛污染，减少其对人体健康的危害是急需解决的问题。本项目以 NiFe LDH（镍铁水滑石）作为 TiO_2 的载体，制备 GO、LDH、 TiO_2 复合材料，对该材料进行玻璃涂膜，负载于肋片上，制作镀膜式甲醛净化器，并应用该小型设备去除室内环境中的甲醛。

课题组的各位同学积极踊跃的参与本项目的设计工作，提出了很多有益的建议，并对本项目表现出了极大的兴趣。本项目的实施将提高各位同学的学习兴趣，培养科研创新能力和团队精神。课题组的各位同学开展了相关领域知识的学习和调研，有能力完成本项目的研究工作。

签 名：

年 月 日

三、项目专家组意见

批准经费： 元 组长签名： （学部盖章）

年 月 日

四、立项报告

室内甲醛光催化降解小型设备研制

1. 课题研究的背景、意义及目的

1.1 课题研究的背景和意义

1.1.1 研究背景和意义

(1) 甲醛的来源

甲醛主要来源于建筑物装饰装修材料,具有强粘合性,且能够加强板材硬度,兼具防腐、防蛀的功效,因此被普遍应用于酚醛树脂、脲醛树脂等粘合剂的生产。而居室装修中所使用的胶合板、刨花板等人造板都是以脲醛树脂、酚醛树脂等作为胶合剂粘合而成的。在粘合剂的制胶过程中,脲醛树脂、酚醛树脂等会残留少量甲醛,在板材的固化过程中,部分线性树脂因未形成网络状结构也会分解成自由状甲醛释放出来。因此,新式家具的制作,墙面、地面的装饰铺设均不可避免地引入污染源,造成室内的甲醛污染^[1]。

(2) 甲醛对人体的危害

甲醛(HCOH)常温下为无色有强烈刺激性气味的气体,具有较高的毒性,在我国有毒化学品优先控制名单上居第二位,被世界卫生组织认定为致癌和致畸性物质,具有强烈的致癌和促癌作用。甲醛对人体健康的影响主要表现在嗅觉异常、过敏性刺激、以及肺、免疫功能的异常等。长期接触低剂量甲醛可导致慢性呼吸道疾病,引起鼻咽癌、结肠癌、脑瘤、月经紊乱、细胞核的基因突变、DNA 单链内交联及 DNA 与蛋白质交联和抑制 DNA 损伤的修复、妊娠综合征、引起新生儿染色体异常、白血病,引起青少年记忆力下降^[2]。在接触者中,孕妇和儿童更为敏感,危害也就更大。

1.1.2 室内甲醛的去除方法

为了减少室内甲醛含量与浓度,通常采取室内空气污染源控制与处理、通风、室内空气净化这三种思路来提高室内空气质量。

(1) 室内空气污染源控制技术

室内空气污染源控制主要是指从源头避免或减少污染物的产生。对于室内甲醛来说,通过胶黏剂控制、改进人造板的工艺条件并进行后期处理控制,都可以有效减少污染源处甲醛的产生量^[3]。但改造工业流程和技术并非易事,需要足够的时间和资金来实现工业生产链的推广。

(2) 通风

通风是指在动力的作用下使空气连续流动,从而创造卫生、安全等适宜空气环境的技术^[4]。在新建筑使用时空气中甲醛等有害物质的含量较多,门窗关闭时间越长含量越高,贾树松^[5]等研究发现门窗关闭 7h 后甲醛的含量达到开窗前的 4~7 倍。但随着通风时间的延长,室内空气甲醛的浓度逐渐降低,4 个月后达到卫生标准要求。但通风法对于室内空气的净化效

果既依赖于外界空气状况，又受制于温度湿度；同时，耗时较长，见效缓慢也是其明显缺点。

(3) 室内空气净化的方法

目前净化室内甲醛的主要方法有吸附法，生物净化法和光催化法。

吸附法：吸附法是指将污染空气通过吸附剂层，使污染物被吸附而达到净化空气的目的。但随着使用时间的延长，吸附剂最终也会失去作用^[6]。

生物净化法：生物净化法指利用植物（或微生物）的自净能力净化室内空气。国家标准要求甲醛的释放值低于 $0.08\text{mg}/\text{m}^3$ ，一般的刚装修完的房子，甲醛浓度不低于 $0.2\text{mg}/\text{m}^3$ ，而吸收甲醛效率较高的波斯顿蕨，每小时吸收的甲醛仅为 $20\mu\text{g}$ 。对一个 30m^2 ，房高 3m ，甲醛值为 $0.2\text{mg}/\text{m}^3$ 的房间来讲，同时需要 500 多盆波斯顿蕨， 1 个小时，才能将有害物质降为 $0.1\text{mg}/\text{m}^3$ ^[7]。由此可以看出，植物的吸收能力极为有限，仅能对有害物质起到辅助的治理作用。

光催化氧化法：光催化氧化法主要有两种形式：一种是直接用适合的波长光照有机物而使其分解，另一种是外加半导体催化剂。光催化氧化法常用二氧化钛作催化剂，在紫外光照下同时降解多种有机物，兼有杀菌消毒的作用。光催化氧化法可在常温常压下操作、能耗小、无二次污染。且通常所用的催化剂 TiO_2 具有良好的光稳定性、价格低廉、无毒、再生方法简单，易于民用推广^[8]。

1.2 研究目的

(1) 以 NiFe LDH （镍铁水滑石）作为 TiO_2 的载体，将 GO 、 LDH 、 TiO_2 有效复合，探究该光催化剂玻璃涂膜的制备，并对其进行改良，使其具有实际应用的可能性。

(2) 将该玻璃涂膜负载于肋片上，用于镀膜式甲醛净化器的制作，并对其进行试验、调试和结构改良，使其具有实际应用和生产的可行性。

2. 国内外研究现状及分析

2.1 TiO_2 光催化材料及其催化原理

2.1.1 TiO_2 的光催化反应基本原理

TiO_2 的光催化原理大致可分为两步：第一步， TiO_2 材料在波长小于或等于 387nm 的光照射下，产生光生电子 (e^-) 和光生空穴 (h^+)，如图 2.1 所示。第二步，在电场力的作用下，光生电子 (e^-) 和光生空穴 (h^+) 漂移到 TiO_2 表面不同的位置，随后与水中的氧和氧化物发生反应，产生氧化能力极强的羟基自由基 $\cdot\text{OH}$ 和 $\cdot\text{O}^2$ ， $\cdot\text{OH}$ 和 $\cdot\text{O}^2$ 再通过一系列的反应，将大部分有机物和无机污染物矿化为无机小分子、二氧化碳和水等物质^[9]。

2.1.2 制约二氧化钛光催化性能因素

(1) 污染气体分子在催化剂表面的有效吸附性。气相中的分子浓度较低，移动的速度较快，分子与催化剂之间的接触几率较小。如果光催化材料的吸附能力较差，将限制光催化氧化反应速率。

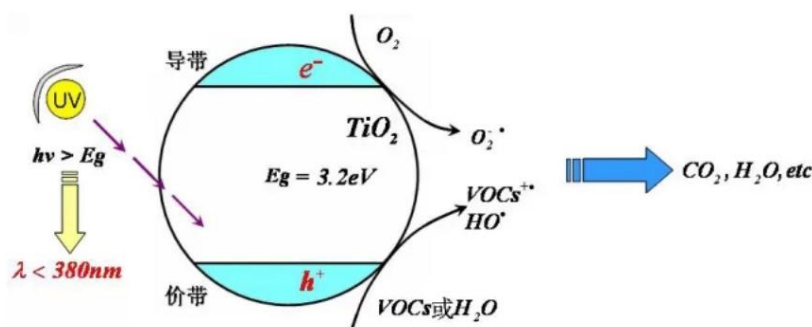


图 2.1 TiO₂ 光催化材料及催化原理^[10]

(2) TiO₂ 的光生电子空穴容易再次复合。研究表明，光生电子空穴的激发过程只需要几飞秒就能完成，而光生电子空穴被捕获的时间却远大于此，如果光生电子未被其它电子受体捕获，则将会在 100ns 内重新复合，而空穴的复合过程大概只需要 10ns。因此，实际光催化过程中，大概百分之九十的光生电子空穴会重新复合，并以热能的形式散发^[11]。

2.2 提高 TiO₂ 光催化活性研究现状

2.2.1 利用涂布或载体效应拓展辐照面积、增强其催化性能

程锦^[12]等采用低温水解法制备纳米 TiO₂，并以容器内的甲醛的降解率为评价指标，考察了不同条件对光催化涂料甲醛净化率的影响。实验表明，在室温 25℃左右，湿度 50%，紫外灯照射 120min 的条件下，5g 纳米 TiO₂ 负载到 200g 乳液体系中制成的光催化涂料的甲醛净化率达到 93%，明显优于市售 P25 纳米 TiO₂ 对甲醛的降解效果。

目前常见的用作过滤网的基体有陶瓷网、纸网和不锈钢网，这样就形成了陶瓷基、纸基和不锈钢基三种纳米 TiO₂ 光催化过滤网^[13]。杜峰^[14]选用了这三种过滤网各两块，在两块过滤网之间设置 4 只紫外灯。把它们分别放置在一个 71m³ 的密闭房间内，并测量研究甲醛的降解效果，测量结果显示，陶瓷基和不锈钢基纳米 TiO₂ 光催化过滤网对甲醛的降解效果比较显著。

2.2.2 掺杂改性以进一步拓宽激发光频段

Fu^[15]等考察了 Pd 负载 TiO₂ 光催化剂对低浓度气态甲醛的净化能力。实验中的甲醛初始体积浓度与受污染空气中甲醛的浓度比较接近，采用的光源为波长 185~254 nm 的低压汞灯。研究发现，经 30h 的光催化反应，空气中甲醛的体积浓度稳定在 10~50 ppb，催化剂本身性能没有发生改变，结构也保持完好。

2.3 TiO₂/LDH/GO 复合材料的研发现状

由于 GO 的碳原子紧紧地组成了二维蜂巢结构，具有非常完美和特征性的 sp² 杂化，所以 GO 也就因此拥有了理论上高达 2 600 m²/g 的比表面积和室温下对电子载体高达 20 000 cm²V⁻¹s⁻¹ 的迁移率。单层的碳原子结构使石墨烯，具有高的透明性，其透光率可达 97.7%，只吸收 2.3% 的可见光。受益于这样的独特性质，GO 可以承载 TiO₂ 颗粒并且有效地提高催化活性。在 TiO₂ 和 GO 的复合物中，GO 将高效地收集并传递电子，空穴则停留在 TiO₂ 颗粒上，生成羟基自由基，电子和空穴的复合被阻断，延长了光生电荷载体的寿命。连接处形成

的 Ti-O-C 键还可以使能带降低并且扩大光催化反应中可见光的吸收区。

Kamat^[16]等人发现在石墨烯 TiO₂ 的复合材料中, 石墨烯可以作为受电子体。石墨烯的理论功函数为 4.42eV, 而 TiO₂ 带宽为 3.2eV, 导带位置为-4.21eV, 当石墨烯与 TiO₂ 复合时, TiO₂ 上的光生电子将流向电位更负的石墨烯片层上, 实现光生电子空穴的有效分离。另外, 由于石墨烯具有巨大的比表面积和表面大 π 键, 使其对于有机分子, 特别是芳香族有机分子有强吸附能力。将其与 TiO₂ 复合之后可以有效促进复合材料对空气中挥发性有机物的捕获。

2.4 TiO₂/LDH/GO 复合材料的研究分析

- (1) 石墨烯具有优异的电子迁移率, 它可以作为电子吸收器和电子-空穴对的转运器, 从而减少了 TiO₂ 的电子-空穴对的复合。
- (2) GO 和 LDH 具有良好的吸附性能, 能够有效地吸附低浓度气态污染物。在光降解甲醛的过程中, 可以有效地将甲醛分子吸附在光催化剂表面
- (3) GO 表面具有大量的羟基基团, 经过煅烧 (400℃以下) 的 LDH 仍具有部分结合水, 可以有效的为羟基自由基的生成提供前体物质。

2.5 室内空气净化小型设备的发展历史

室内空气污染的危害引起了人们的广泛关注, 也推动了室内空气净化器技术的发展。使用空气净化器, 是改善室内空气质量、创建健康舒适住宅环境十分有效的办法, 在冬季供暖、夏季使用空调期间效果更为显著, 同时, 这也是最节约能源的空气净化方法之一^[17]。

第一代空气净化器根据物理原理设计, 具有过滤、吸附处理杂质等功能, 可以有效净化室内空气中的悬浮物和少部分有害物质。但是, 对室内空气中的异臭异味、病原菌、病毒、微生物以及装饰造成的空气污染往往无法消除, 同时, 净化器在过滤和吸附过程中会慢慢出现饱和直至失去功效。

第二代空气净化器从上世纪 80 年代开始进入市场, 并广泛用于家庭、宾馆、商店、学校、机关以及医院的病房。它增加了静电除尘、负离子发生器、臭氧发生器等功能, 但仍然存在不能分解有机污染物的弊病。

第三代净化器在原有净化器的基础上, 采用了先进的纳米技术, 并结合了高效率催化技术。它能在常温常压下使多种有味有害气体分解成无害无味物质。净化器的原理由单纯的物理吸附转变为化学吸附, 一边吸附一边分解, 提高了吸附效率和饱和容量且不产生二次污染, 大大延长了使用寿命^[18]。

2.6 空气净化小型设备结构

目前市场上性能比较好的空气净化器主要由以下几部分组成: 进风口、送风机、预过滤器、主过滤器、光催化净化层或活性碳层、负离子发生器、出风口。结合本项目研究目标, 预期甲醛净化器将由进风口、光催化反应器和出风口三部分组成。

(1) 风机

在家用空气净化器中, 一般选用离心式风机作为动力, 因为气流要克服各过滤器的阻力,

又要有一定的风量来保证房间的气流速度和气流组织。空气净化器的风机的选用主要考虑功率和噪声两个基本因素。足够的功率是使空气穿过净化器净化系统的必要条件，但大功率风机往往伴随大的噪声，但功率的不足会使得空气净化器的风机系统无法在室内空间形成足够的空气环流，也就无法使需要净化的空气全部穿过净化系统。因此，选择合适的风机就显得尤为重要^[18]。

(2) TiO_2 光催化反应器

这部分功能段是空气净化器的核心部分,更是目前空气净化器新产品开发的研究热点。空气通过进风口后,需通过光催化净化层来去除甲醛。用玻璃涂膜材料的优良特性来开发高性能甲醛净化器,是本项目研究的主要课题。

2.7 光催化反应器的类型及适用条件

2.7.1 光催化反应器的类型

根据光催化剂的反应形态将反应器的种类分为三种：流化床式反应器、填充床式反应器及镀膜式反应器。

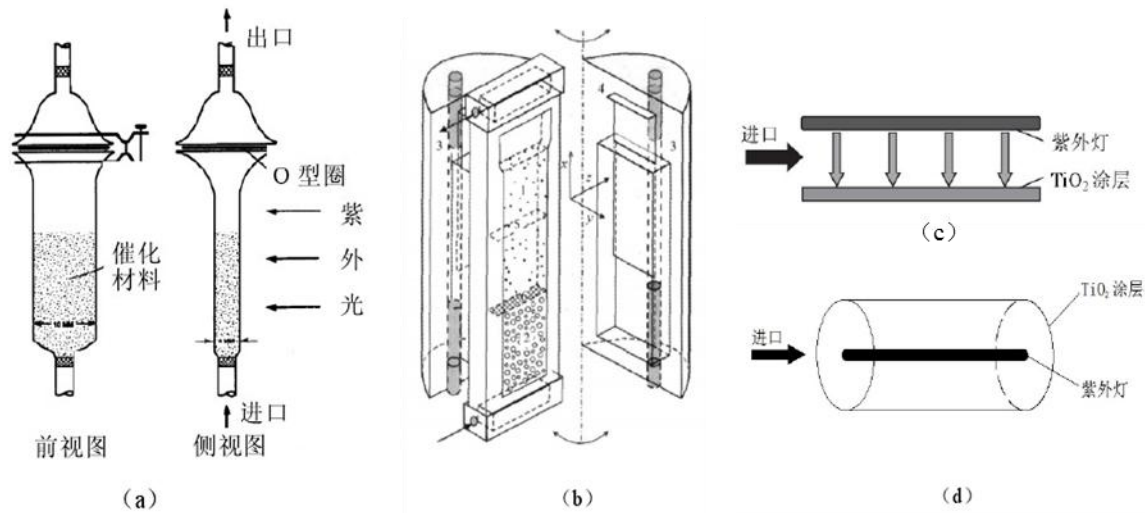


图 2.2 几种典型反应器的结构

(1) 流化床式光催化反应器

流化床式光催化反应器是一种催化剂不固定于某一位置的反应器。光催化剂粉末直接置于反应器内部，与进入反应器内的气体一起运动，光催化作用直接发生在流动过程中。图 2.2 (a)^[19]是一种早期设计的流化床式净化器，外壳材料采用硼硅酸盐玻璃，光源为紫外灯。

这种净化器的优点在于反应过程中，污染气体能够直接与光催化剂接触。但在其他方面也存在不足，首先催化剂粉末可能还未参与反应就被污染气体带出，降低了反应效率。其次催化剂不断流动会影响紫外光的穿透作用，使其表面的光强不稳定，降低了效率^[20]；且由于这种反应器在实际应用中反应条件比较难控制，因此其应用受到一定限制。

(2) 填充床式光催化反应器

填充床式光催化反应器是将催化剂固定于一定载体上，再将这些载体填充于反应器内。

载体一般选择结构相对紧密、多孔的物质，如玻璃珠及石英砂等。POZZO^[21]等将 TiO₂ 涂覆于石英砂表面，再将其填充于通道较窄的流化床中，如图 2.2 (b)，且依然将紫外灯管放置于反应器的外部。

与流化床式反应器相比，填充床式反应器解决了内部光催化剂的固定问题，但光催化剂与气体分子的接触受到了限制，一定程度上降低了光催化效率。

(3) 镀膜光催化反应器

镀膜光催化反应器也是一种将催化剂固定于载体上的类型，但催化剂是用膜的形式表现，通常是将光催化剂直接涂覆于适用于成膜的载体上，紫外光直接照射于催化剂薄膜上，这样便可降解吸附于催化剂薄膜表面的污染物。目前这种反应器的应用十分普遍，主要有管状、环状、平板等各种形式。

图 2.2 (c) 为一种平板式光催化反应器^[22]，污染气体通过中间的夹层，光催化剂在紫外灯的照射下发生作用，将污染气体氧化还原。

图 2.2 (d) 为一种管状光催化反应器^[23]，其是将紫外灯管固定在管状器具的中心轴处，而在管内壁处涂有光催化剂涂层，气体在光催化剂与紫外灯管的作用下得到净化。这种反应器的优点在于条件容易控制，且形式较多，容易掌握其反应特点，然而其传质会受到一定的限制且污染气体需扩散到催化剂薄膜表面才能发生反应，因此对这一问题的解决还待进一步研究^[24]。

2.7.2 镀膜式光催化反应器的适用条件

受限于光催化反应器的大小及进气原理，光催化型空气净化器无法应用于较大空间内和较多气体的净化，因此在病房、汽车、刚装修的房屋等较小型空间内，光催化反应器能发挥其最大作用。对于流化床式光催化反应器，其结构与设计使其只能通过主动加压通气来实现空气的流入和净化，仅这一点便决定了其无法在实际生产生活中应用；而对于填充床式光催化反应器，进气方式和接触面积上的缺陷同样致命；但对于镀膜光催化反应器，尤其是管状反应器，其对于膜材料的应用决定了其更为出色的甲醛净化性能，且中部镂空的结构使其具有较大的空间结构改造的可能性，因此这类净化器拥有最大的发展空间。

表 2.1 甲醛消除的主要方法及优缺点

光催化反应器类型	优点	缺点	适用条件
流化床式	接触面积大	催化剂不固定，进气条件苛刻	不适合实际应用
填充床式	催化剂固定	接触面积小，进气条件苛刻	不适合实际应用
镀膜式（管状）	接触面积大，膜材料光催化效果好，易改进	不易进气，接触几率小	适用于较小型空间

2.8 关于光催化甲醛净化器的总结

基于以上分析可知，并没有哪一种反应器达到理想的形式。但镀膜催化剂反应器以其广泛的应用受到广大学者的关注，目前这方面已有的研究也比较多，为后续的研究奠定了深厚的理论与实践基础。本文在此基础上选用类似镀膜催化剂反应器的类型，将光催化剂涂层由内壁转移到肋片上，通过叶片旋转来增强传质并增大接触概率，从而设计一种结构简单、反应效率高的甲醛净化器^[25]。

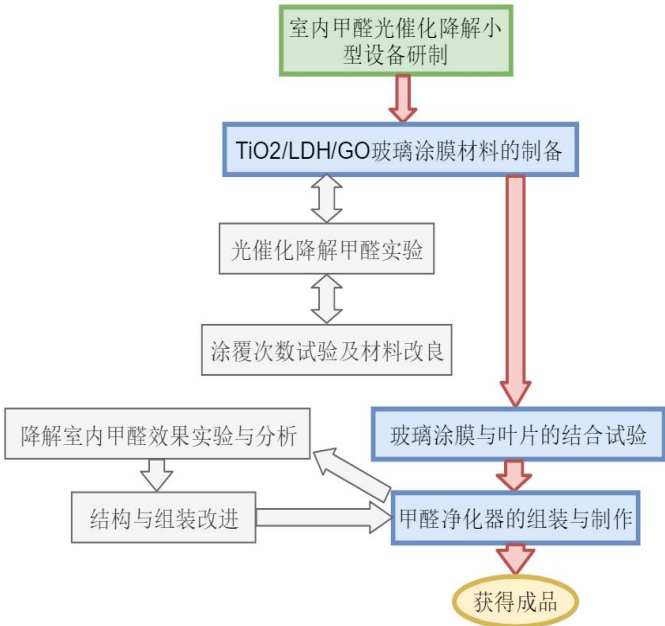


图 3.1 技术路线图

3.研究方案

3.1TiO₂/LDH/GO 和 TiO₂/GO 玻璃涂膜的制备与表征

3.1.1 制备 TiO₂/LDH/GO 和 TiO₂/GO 玻璃涂膜

采用改良 Hummers 法来制备氧化石墨烯的单层分散液，采用共沉淀法将 LDH 负载在 GO 表面复合材料，采用溶胶-凝胶法将纳米 TiO₂ 生长在 LDH/GO 和 GO 表面，制备成 TiO₂/LDH/GO 和 TiO₂/GO。借鉴上一步所获得的复合材料制备 TiO₂/LDH/GO 溶胶。运用浸渍法将该催化剂溶胶涂覆到玻璃片的表层。去掉玻璃片上多余的溶胶溶液后，真空干燥。干燥过程是为了将凝胶中含有的乙醇和水挥发去除避免凝胶龟裂，再将其放入管式炉 300℃煅烧 2h。同样的涂膜过程重复两次，以至于可以在玻璃基材上得到完好的介孔型 TiO₂/LDH/GO 薄膜。

3.1.2 TiO₂/LDH/GO、TiO₂/GO 玻璃涂膜光催化剂降解甲醛实验

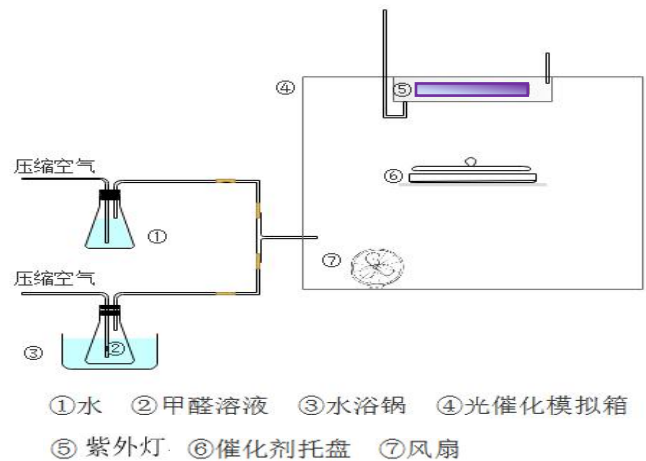


图 3.2 静态光催化反应模拟箱示意图

采用自制的静态光催化反应模拟箱进行 TiO₂/LDH/GO、TiO₂/GO 玻璃涂膜光催化降解甲醛实验。如图 5-1 所示，压缩空气从钢瓶中分两路，一路携带有甲醛溶液鼓泡所得的甲醛气体，一路携带水蒸气，得到所需的相对湿度，进入光催化反应模拟箱进行光降解实验。其中光催化反应器是 500mm×500mm×500mm 不锈钢反应器，壁面材料对甲醛气体的吸附可以忽略不计。选用 20W 的紫外灯作为光源。

光催化性能的实验条件控制在室内环境下：保持反应温度 25±0.5℃，甲醛的初始浓度设为 0.20g/m³，光催化反应时间设定为 6h，甲醛的浓度通过 PPM400-ST 甲醛检测器来检测，每隔 10min 检测一次，调整相对湿度（0%，30%，50%，90%），探究不同相对湿度下 TiO₂/LDH/GO、TiO₂/GO 膜材料对甲醛的降解效果。

3.1.3 TiO₂/LDH/GO 膜材料制备过程中的参数优化

在催化剂的制备过程中，涂覆次数是影响催化剂性能主要因素。本课题计划对其进行优化，具体水平为 2、3、4、5 次，在不同条件下进行玻璃涂膜的制备，根据实验结果判断最佳制备条件。

3.2 甲醛净化器的设计、制作与试验



图 4.3 净化器俯视和主视图

3.2.1 TiO₂/LDH/GO 膜材料与叶片的结合实验

本实验计划测试膜材料在不同材质叶片上的附着情况。将膜材料涂覆于不同材质的叶片上，进行对甲醛的净化实验，根据脱落情况和负载材料对膜材料净化甲醛效果的影响选择出最适合负载该膜材料的叶片材质。

3.2.2 甲醛净化器的制作与性能测试

利用上一步中得到的最佳材质的叶片，与净化器外壳和紫外灯初步组装空气净化器。在实验室中测试净化器的去除甲醛能力和噪音大小。分析和处理实验数据，对净化器的结构进行改进。

3.2.3 甲醛净化器在实际背景下的应用测试

将在上一步中制得的效果最佳的净化器应用于装修后的房间、汽车内等实际场合，测试净化器在实际应用中的处理能力与噪音、耗能等因素，并进行改进。

4.预期目标

4.1 中期目标

完成 TiO₂/LDH/GO 玻璃涂膜的制备、改良；完成甲醛空气净化器成品的制作。

4.2 结题目标

完成对中期制成的初版空气净化器的净化效果的检验，对实验数据进行总结与分析，并根据存在的问题对产品进行改进，在结题时制作出效果优良的成品并提供相关实验数据。

5.进度安排

课题的研究预期 9 个月完成，即从 2019 年 10 月到 2020 年 6 月。

2019.10-2019.11：查阅资料，确定研究方案，准备实验；搭建实验平台，进行材料的初步制备（已完成）

2019.11-2019.12：完成玻璃涂膜的制备

2019.12-2020.01：完成玻璃涂膜的性能评估以及改良；

2020.01-2020.02：数据的整理和深入分析，研究内容完善；

2020.02-2020.03：甲醛净化器的组装制作，对其净化效果进行试验；

2020.03-2020.05：对数据进行整理和深入分析，对其结构进行改良，使其达到预期效果；

2020.05-2020.06：论文撰写，准备答辩。

6.经费预算

类别	明细	价格	备注
书 费 (资料费)	无	25 元	含查询资料所用的图书、文献等
药剂费	无水乙醇 500ml	25 元	https://www.rhawn.cn/products/detail/49266
	尿素 500g	25 元	https://www.rhawn.cn/products/detail/51473
	石墨片 500g	75 元	https://www.rhawn.cn/products/detail/3784
	钛酸四丁酯 500ml	40 元	https://www.rhawn.cn/products/detail/12426
	纯 TiO ₂ (P25) 颗粒 400g	180 元	https://www.rhawn.cn/products/detail/7180
	九水硝酸铁 200g	40 元	https://www.rhawn.cn/products/detail/3640
	六水硝酸镍 50g	40 元	http://detail.1688.com/offer/591931376659.html?spm=b26110380.sw1688.mof001.62.289e14b56HdnVX
	磷酸 500ml	40 元	https://www.rhawn.cn/products/detail/15303
	高锰酸钾、硝酸钠、过氧化氢、盐酸、浓硫酸	60 元	无法购买，但实验室配备
材料与 仪器费	紫外灯管 2 个	140 元	https://item.taobao.com/item.htm?spm=a230r.1.14.7.11972a56jgG2Jo&id=572739091298&ns=1&abbucket=12#detail
	制作小型甲醛净化器(含电机)	310 元	
总计		1000 元	实际购买中价格可能出现波动

参考文献

- [1] 袁爽登, 周艺, 陈久存. 室内甲醛来源及其防治措施[J]. 广州化工, 2018, 46(16):59-62.
- [2] 严玉梅. 捕捉人类健康的杀手—甲醛[J]. 广东建材, 2006 (7); 43
- [3] 朱天乐, 室内空气污染控制 [J], 2002.12, 42-49
- [4] 刘婧, 刘慧卿, 任晓芬, 室内空气污染控制 [J], 2012.12, 122
- [5] 贾树松, 胡巅, 等, 新装修居室空气中甲醛浓度的变化 [J]. 环境与健康杂志, 2002 (6), 447-448
- [6] 韩旻, 白志鹏, 裘著革等, 室内空气污染与防治-2 版 [J], 2013.6, 142
- [7] 周家斌, 陈进富, 王铁冠等. 废气生物处理技术研究进展[J]. 河南农业大学学报, 2004, 38(4):482-486.
- [8] 齐红. 光催化氧化技术降解室内甲醛气体的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学环境学院, 2007, 6-7
- [9] 莫秋燕, 曾凡菊, 张颂, 吴家隐, TiO₂ 光催化原理及其应用综述[J], O643.36;O644.1
- [10] 付颖, 杜园园, 胡其兴, 吴长举, 二氧化钛及其复合材料对有机污染物光催化性能的研究, [A], X505;O643.36
- [11] Li Z, Luan Y, Yang Q, et al. Modification Strategies with Inorganic Acids for Efficient Photocatalysts by Promoting the Adsorption of O₂[J]. Acs Appl Mater Interfaces, 2015, 7(41):22727-22740.
- [12] 程锦, 李朝维, 李奇, 等. 纳米二氧化钛光催化涂料的制备及其甲醛降解效果研究[J]. 涂料工业, 2014, (11): 41-45
- [13] 杜峰, 空气净化技术与应用[J], 空气净化 2016.3, 126
- [14] 杜峰, 空气净化技术与应用[J], 空气净化 2016.3, 126
- [15] Fu P, Zhang P Y, Li J. Photocatalytic degradation of low concentration formaldehyde and simultaneous elimination of ozone by-product using palladium modified TiO₂ films under UV254+185 nm irradiation[J]. Applied Catalysis B: Environmental, 2011, 105(1-2):220-228
- [16] Williams G, Seger B, Kamat P V. TiO₂-Graphene Nanocomposites. UV-Assisted Photocatalytic Reduction of Graphene Oxide[J]. ACS Nano, 2008, 2(7):1487-1491.
- [17] 许钟麟. 空气洁净技术原理. 上海同济大学出版社, 1998: 363-370
- [18] 张妍. 纳米复合材料空气净化器的开发及性能评价研究[D], 上海: 同济大学, 2007
- [19] Dibblet L.A., Raupp G.B. Fluidized-Bed Photocatalytic Oxidation of Trichloroethylene in Contaminated Airstreams [J]. Environ. Sci. Technol. 1992, 26, 492-495.
- [20] M.F.J. Dijkstra, H. Buwalda, A.W.F. de Jong, et al. Experimental Comparison of Three Reactor Designs for Photocatalytic Water Purification [J]. Chemical Engineering Science, 2001, 56(4):547~555
- [21] POZZO R L, BRANDIR J, GIOMBIJ L, et al. Design of fluidized bed photoreactors: optical properties of photocatalytic composites of titania CV D-coated onto quartz sand [J]. Chemical

Engineering Science, 2005, 60(10) : 2785-2 794.

[22] Obee T N, Brown R T. TiO₂ photocatalysis for indoor air applications: effects of humidity and trace contaminant levels on the oxidation rates of formaldehyde, toluene, and 1, 3-butadiene [J].

Environmental Science & Technology, 1995, 29(5): 1223-1231.

[23] Mo J H, Zhang Y P, Yang R, Xu Q J. Influence of fins on formaldehyde removal in annular photocatalytic reactors[J]. Building and Environment, 2006, 43(3):238-245.

[24] P.F.Biarda, A.Bouzaza, and D.Wolbert. Photocatalytic Degradation of Two Volatile Fatty Acids in Monocomponent and Multicomponent Systems:Comparison between Batch and Annular Photoreactors[J].Applied Catalysis B:Environmental.2007, 74(3-4):187~196.

[25] 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