

The Design for a New Type Energy-Saving and Environment Protection Ventilation and Sound Insulation Window

Daolai Cheng¹, Houran Zhu¹, Yuanjun Lei², Hui Xu¹, Lei Xu³

¹School of Mechanical Engineering, Shanghai Institute of Technology, Shanghai

²Shanghai Jinxing Environment Protection Co., Ltd., Shanghai

³School of Railway Transportation, Shanghai Institute of Technology, Shanghai

Email: daolaicheng@163.com, 18910872243@163.com

Received: Jun. 5th, 2019; accepted: Jun. 19th, 2019; published: Jun. 26th, 2019

Abstract

In view of the situation of urban traffic noise and air pollution, combined with the insufficiency of the existing ventilation and sound insulation window, based on the technology of nanometer TiO₂ photocatalytic degradation a ventilation purification sound insulation window was designed, improving the traditional window adopting physical filtration adsorption purification method in the market now. The connecting rod mechanism and its components are optimized to solve the interference problem of opening two windows. Then the stress analysis and check of sliding brace for window opening are made. Through the combination of the fork and the corner shifter, the effect of three kinds of window opening states of inner and outer windows can be achieved by an interactive way. This design has the reference and the guidance function to the traditional window in energy saving, emission reduction, and noise reduction.

Keywords

Energy-Saving, Environmental Protection, Ventilation, Sound Insulation Window, Photocatalytic Degradation

一种新型节能环保通风隔音窗的设计

程道来¹, 朱浩然¹, 雷院军², 徐辉¹, 许磊³

¹上海应用技术大学机械工程学院, 上海

²上海静欣环保科技有限公司, 上海

³上海应用技术大学轨道交通学院, 上海

Email: daolaicheng@163.com, 18910872243@163.com

收稿日期：2019年6月5日；录用日期：2019年6月19日；发布日期：2019年6月26日

摘要

针对城市交通噪声及空气污染严重的现状，结合现有通风隔声窗的不足，设计了一种基于纳米二氧化钛光催化降解技术的通风净化隔音的新型环保窗，改善现在市场上采用物理过滤吸附的方法的传统净化窗。对开启内外窗的连杆机构及其部件进行优化，解决两窗开启的干涉问题，对开窗的滑撑进行受力分析及校核；通过拨叉与转角器的组合，实现用一种交互方式达到内外两窗的三种开窗状态的效果。本设计对传统窗户的节能减排降噪具有借鉴和指导作用。

关键词

节能，环保，通风，隔音窗，光催化降解

Copyright © 2019 by author(s) 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

1. 引言

近年来随着中国的不断发展，国内大型城市雾霾问题频频出现，雾霾天气会让交通更加堵塞，为城市交通埋下隐患；与此同时，城市噪声污染问题也日益严峻。在如此环境下，将严重影响到人们的日常生活和身体健康[1]，因此，城市急需一类既能降低外界噪音又可以净化外界空气污染的窗户来替代现有的传统窗户。

在此背景下，不少研究者开始对自然通风窗进行改进，希望能达到通风、除噪等多重效果。早在1937年，Ford和Kerry研究发现双层玻璃的降噪效果比单层玻璃强[2]。而在2004年，翟国庆等使用隔声性能好的中空玻璃来制作窗户[3]。近几年来，通风方式通常为机械式和自然式相结合[4][5][6]。但是，多数研究仅仅是针对通风和隔声两种性能的研究，针对窗户的净化性能的研究和设计较为罕见。在双层隔音窗的基础上，设计了一款兼顾净化与通风功能的隔声窗。

2. 通风净化隔音窗整体设计方案

2.1. 全闭状态，用于冬季保温

如图1所示，双层玻璃窗结构的真空隔层空间形成封闭空间，当太阳辐射通过外层窗时，热量将会

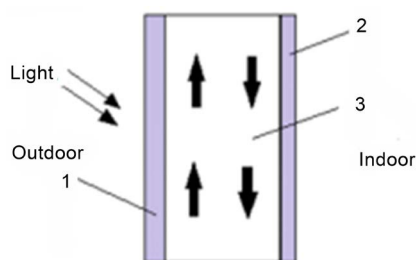


Figure 1. Double glazing mechanism and air flow diagram in winter: 1: outer window; 2: inner window; 3: space between floors

图 1. 冬季双层玻璃窗机构及空气流动图：1：外层窗；2：内层窗；3：隔层空间

被吸收、透过、反射。导致外层窗窗体热量上升，外层窗窗体通过对流传热使隔层空间中的空气的热量提高，另外透过的热量将以辐射传热的形式使隔层空间中的空气热量上升。这样隔层空间中的空气会将热量通过对流换热和辐射传热传到内层窗，内层窗在通过上述两种传热方式加热室内空气，进而减少了建筑室内的采暖能耗，实现了窗的保温性能。

2.2. 外窗开启内窗关闭状态，用于夏季隔热

如图 2 所示，夏季开启外层窗。此时窗体一侧的通风口与隔层空间形成流动空气，通过对流传热将隔层空间中空气的热量带走。隔层空间之中的热量降低从而降低了内层窗的表面温度，从而减少了室内制冷能耗，实现窗户的隔热性能。

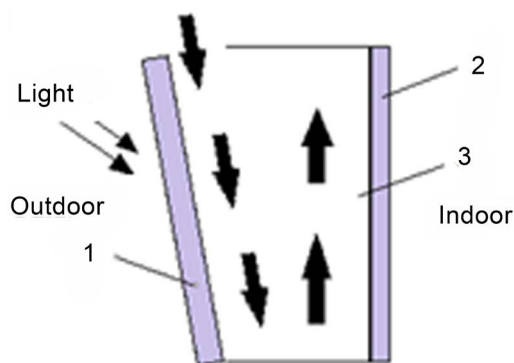


Figure 2. Double glazing mechanism and air flow diagram in summer: 1: outer window; 2: inner window; 3: space between floors

图 2. 夏季双层玻璃窗机构及空气流动图：1：外层窗；2：内层窗；3：隔层空间

2.3. 全开状态，即通风状态

如图 3 所示，想要通风时，打开内外层窗任意角度，室外空气将通过纳米级二氧化钛薄膜过滤网，过滤降解室外空气的污染物再通过内窗进入室内，保证了输入空气的洁净度，达到了通风换气的性能。

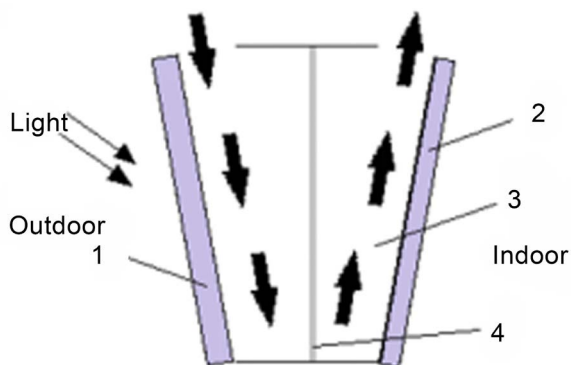


Figure 3. In ventilation double glazing mechanism and air flow diagram: 1: outer window; 2: inner window; 3: space between floors; 4: screen pack

图 3. 通风情况下双层玻璃窗机构及空气流动图：1：外层窗；2：内层窗；3：隔层空间；4：过滤网

其中，通风窗的双层玻璃结构和其中的真空区大大增强了声波的反射、吸收与转化，体现了窗户的隔音性能。

2.4. 开窗机构的选择设计

内外两窗为了在保持各自不相同的运动轨迹，开窗后同时保持内外两窗的间距，因此需要不同的开窗机构。利用不同机构开启关闭之间的空间差，避免两窗干涉。

表 1 中列举了市面上常见的几种开窗机构[7]，通过对比各大重要属性的数据，选择最合适的开窗机构应用于本设计中。

Table 1. Data comparison of several common windowing mechanisms

表 1. 几种常见开窗机构的数据对比

开窗机构	基本功能	支撑强度	可开角度	开窗位置	安装位置
滑撑	开窗支撑	强	90°	向中线移动	上下侧边
风撑	固定支撑	强	任意	固定	上下侧边
铰链	开窗支撑	弱	90°~180°	略微向外侧移动	左或右单侧边
合页	开窗支撑	弱	90°~180°	固定	左或右单侧边

由表 1 可以清楚的看到各种开窗机构的优缺点：

对于外层窗，杆件的受力较小、需要贴近旋转轴一侧做开窗动作，本设计选择铰链与风撑的组合运用在外层窗上较为合适。

对于内层窗，考虑到需要与外层窗保持一定间距，选择开窗动作向中线移动的滑撑机构较为合适。

3. 净化隔音原理

3.1. 净化原理

最常用的光催化剂—二氧化钛是一种电子导电型半导体氧化物，光催化机理的机理如下图 4 所示：当用光照射半导体化合物时，并非任何波长的光都能被吸收和产生激发作用，只有其能量 E 满足式(1)的光量子才能发挥作用[8]，即：

$$E = \frac{hc}{\lambda} \geq E_g, \text{ eV} \quad (1)$$

式中： h -普朗克常数， $4.138 \times 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}$ ； c -真空中光速， $2.998 \times 10^{17} \text{ nmgs}^{-1}$ ； λ -光子波长， nm 。

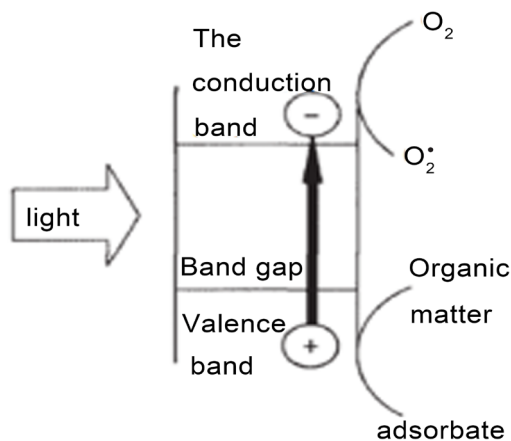


Figure 4. Schematic diagram of photocatalytic mechanism

图 4. 光催化机理示意图

整个光催化反应可以看作是作为两个步骤的结合:

光催化剂吸收光能,使表面发生光激发,产生电子(e^-)和正孔(h^+);

光照之后,电子流失即凭空消散(氧的还原),正孔的作用是氧化分解吸附物质,产生有机物。

本设计所采用的是基于纳米二氧化钛光催化降解技术的净化方案。因此,相比之其他的净化方案,本设计所使用纳米光催化降解技术具有以下优点:

1) 全面性:光催化剂在理论上可以完全有效地降解包括甲酸、苯、甲苯、二甲苯、氨等污染物,同时还具有高效的消毒性能,它可以将细菌释放出的毒素进行分解及无害化处理;

2) 持续性:在光催化降解反应过程中,光催化剂本身是不会产生任何变化或者损耗,只需要在光的照射下就可以实现持续不断地净化污染物,如此光催化剂的持续作用时间十分可观;

3) 安全性:光催化剂是属于无毒、无害的物质,对人体的伤害等于零,安全可靠。其反应的最终产物是水、二氧化碳和其他无害物质,而且不会产生任何二次污染;

4) 高效性:光催化剂,只需利用取之不尽、用之不竭的太阳能就可以实现将扩散开来的污染物以及低浓度气体清除甚至净化。

而在光催化剂中,纳米二氧化钛光催化剂的特性及效果尤为突出且稳定,相比之其他的光催化剂,它具有以下三项优点:

1) 氧化分解能力强,具有显著的效果;

2) 光催化剂本身最为稳定,耐候性好,而且安全无毒;

3) 成本极低,只需光源就可实现净化,无二次污染。

因此该催化剂又誉为“环境催化剂”环保材料,作用广泛,适合用作本设计净化方案。

3.2. 隔音原理

3.2.1. 隔声量

本设计所提到的隔声,即构件对声音的隔绝能力,一般用隔声量 R (单位 dB)来表示。隔声量又称为传声损失,对于给定的隔声构件,隔声量与声波频率密切相关,低频时的隔声量较低,高频时的隔声量较高。其中构件透射系数 τ 的定义是其两边的透射波声功率 W_2 与入射波声功率 W_1 之比,即:

$$\tau = \frac{W_2}{W_1} \quad (2)$$

那么,隔声量 R 为:

$$R = 10 \lg \frac{1}{\tau} = 10 \lg \frac{W_1}{W_2} \quad (3)$$

3.2.2. 声强

声强是一个具有方向性的,描述声场内声能流的物理量。其定义是通过垂直于声传播方向的单位面积上的平均声能流[9],即:

$$I = \frac{\bar{W}}{S} \quad (4)$$

式中 \bar{W} 为一定面积内的平均声能量, S 为该面积的值。声场中某点的瞬时声强可以用该点瞬时声压 $p(t)$ 和瞬时质点速度 $u(t)$ 的积来表示。

$$I(t) = p(t) \times u(t) \quad (5)$$

提高窗扇的隔声能力,有以下几种做法:

- 1) 改善窗扇轻、薄、单的声学特性;
- 2) 密封缝隙,减少缝隙的透声;
- 3) 使用多层玻璃,并且保证足够的玻璃间距。

由上几点可以看出,隔声主要与窗扇以及玻璃的材料结构以及性质有关,密实的结构一般具有良好的隔音效果。普通结构单窗的隔声量会随着窗扇质量的增大而提高。

4. 分析与校核

4.1. 对滑撑受力分析

本设计对于滑撑的进行受力分析,分成了三种情况:

窗扇没有开启或者关闭的外力时,稳定在某一位置上的情况下(图 5):

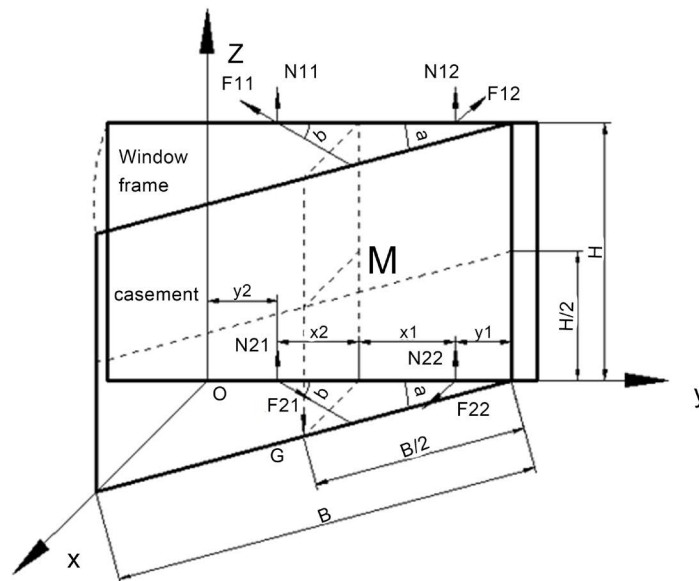


Figure 5. The force model of sliding brace without opening and closing force
图 5. 无启闭力的滑撑受力模型

图中符号的含义分别如下: F_{11} -窗扇上沿滑撑长连杆所受的拉力; F_{12} -窗框上沿滑撑滑块所受的拉力; N_{11} -窗扇上沿滑撑中连杆铆接点所受的压力; N_{12} -窗框上沿滑撑滑块所受的拉力; F_{21} -窗扇下沿滑撑长连杆所受的拉力; F_{22} -窗框下沿滑撑滑块所受的拉力; N_{21} -窗扇下沿滑撑中连杆铆接点所受的压力; N_{22} -窗框下沿滑撑滑块所受的拉力; G -窗扇自身的重量; a -窗扇开启的角度; b -长连杆开启的角度。

为了简化操作,根据空间力学平衡原理,本设计只对有用的力列出了力矩方程:

$$\begin{cases} F_{12} + F_{22} = 0 \\ F_{11} + F_{21} = 0 \end{cases}$$

其中对于 Y 轴,做力矩方程:

$$G \times \frac{B}{2} \times \sin a = F_{11} \times \sin b \times H + F_{12} \times H \quad (6)$$

对于 M 轴(M 轴是窗扇的重心轴线在窗框 $y-z$ 平面上的投影),做力矩方程:

$$F_{11} \times \left(\frac{B}{2} \times \cos a - y_2 \right) \times \sin b = F_{12} \times \left(\frac{B}{2} \times \cos a - y_1 \right) \quad (7)$$

可以得出:

$$F_{11} = -F_{21} = G \cdot \frac{B}{2H} \cdot \frac{\sin a}{\sin b} \cdot \frac{\frac{B}{2} \cos a - y_1}{B \cos a - (y_1 + y_2)} = G \cdot \frac{B}{2H} \cdot \frac{\sin a}{\sin b} \cdot \frac{x_1}{x_1 + x_2} \quad (8)$$

$$F_{12} = -F_{22} = G \cdot \frac{B}{2H} \cdot \frac{\sin a}{\sin b} \cdot \frac{\frac{B}{2} \cos a - y_2}{B \cos a - (y_1 + y_2)} = G \cdot \frac{B}{2H} \cdot \frac{\sin a}{\sin b} \cdot \frac{x_2}{x_1 + x_2} \quad (9)$$

中对于 X 轴, 做力矩方程:

$$G \times \frac{B}{2} \times \cos a = N_{11} \times y_2 + N_{12} \times (B \times \cos a - y_1)$$

$$\sum Z = 0 \quad (10)$$

$$G = 2 \times N_{11} + 2 \times N_{12}$$

由以上, 可以得出:

$$N_{11} = N_{21} = \frac{G}{2} \cdot \frac{\frac{B}{2} \cos a - y_1}{B \cos a - (y_1 + y_2)} = \frac{G}{2} \cdot \frac{x_1}{x_1 + x_2} \quad (11)$$

$$N_{12} = N_{22} = \frac{G}{2} \cdot \frac{\frac{B}{2} \cos a - y_2}{B \cos a - (y_1 + y_2)} = \frac{G}{2} \cdot \frac{x_2}{x_1 + x_2} \quad (12)$$

4.2. 对滑撑变形校核

本设计所用的为平开窗, 在承受窗扇重力的情况下, 会出现一定的受力变形。需要对窗扇的重力压力引起的滑撑变形分析。

现在市面上的滑撑当中长连杆的尺寸一般为宽 18 mm, 厚 2.5 mm; 材料一般为 304 不锈钢钢板。

代入弯曲刚度公式:

$$EI_z = E \times \frac{bh^3}{12} \quad (13)$$

可以计算得出长连杆的弯曲刚度: $EI_z = 85.05 \times 10^5 \text{ N} \cdot \text{mm}^2$ 。

单独对滑撑部分进行简化成力学模型(如图 6)

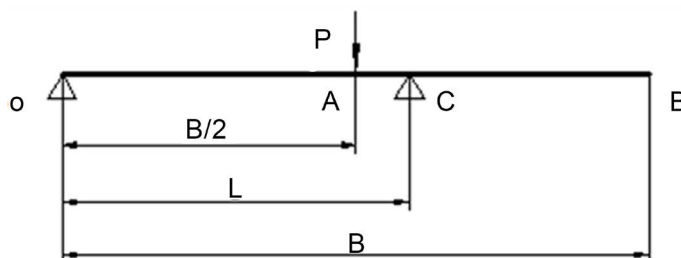


Figure 6. Force model of sliding support parts

图 6. 滑撑部件的受力模型

图中符号的含义分别如下： A -窗扇的重心点； P -窗扇重力的一半； L -滑撑托臂的长度；

考虑到滑撑是成对使用，起到分担窗扇重量的效果，所以取重量 $P = G/2$ ，可以得出下垂变形量 y_A ：

$$y_A = \frac{P \left(L - \frac{B}{2} \right) \cdot \frac{B}{2}}{6EIL} \left[L^2 - \left(L - \frac{B}{2} \right)^2 - \left(\frac{B}{2} \right)^2 \right] \quad (14)$$

取用市面上 12 寸的平开窗用滑撑，尺寸为 600 mm × 1000 mm，中空玻璃采用常见的 5 + 9A + 5 型号，那么 $G \approx 120$ N， $L = 250$ mm，如此可以得出： $y_A \approx 2$ mm。

由此可见，在平开窗中使用滑撑部件所需要的承重能力是不可忽视的，若要减小连接杆的下垂变形量，连接杆的长度需要更接近窗宽的一半。

5. 联动设计

5.1. 转角器

为了不影响开窗过程，消除干涉，内外两窗的联动杆位置安装在上下两侧。通过把手来控制联动杆部件的运作时，需要一个把竖向运动转化为横向运动的装置，转角器[10]就是这样一个部件。

转角器，因使连杆动作转过一个角度而得名。本设计在窗体状态切换装置中运用转角器部件(如图 7)，安装在窗角上，上连杆连接拨叉部件，下连杆通过长连接杆与把手部件配合。

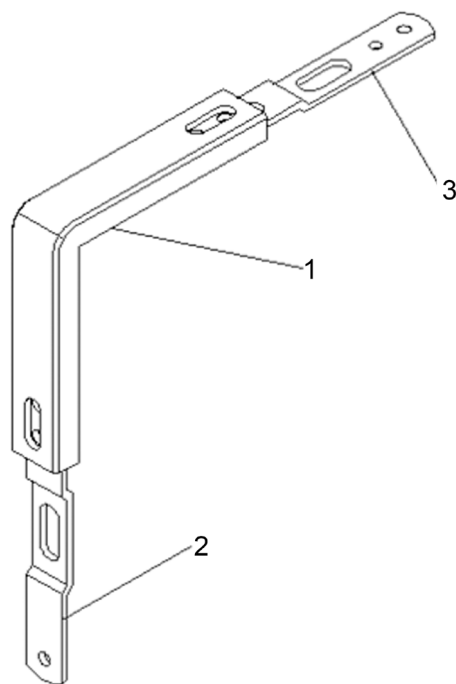


Figure 7. Corner detector: 1: shell; 2: lower connecting rod; 3: upper connecting rod

图 7. 转角器：1：壳体；2：下连杆；3：上连杆

由转角器的剖面图(图 8)可以清楚地看到，转角器的工作原理大致为：把手部件的动作带动下连杆往下移动(由于垫块和螺钉的限位，下连杆只可做上下移动)，与下连杆铆接相连的皮带通过转角把力转到了横向的上连杆，使上连杆向左平移，从而使得与上连杆相连的拨叉向左平移，与联动杆分离。从而实现了，把手控制联动杆切换窗体状态的动作。

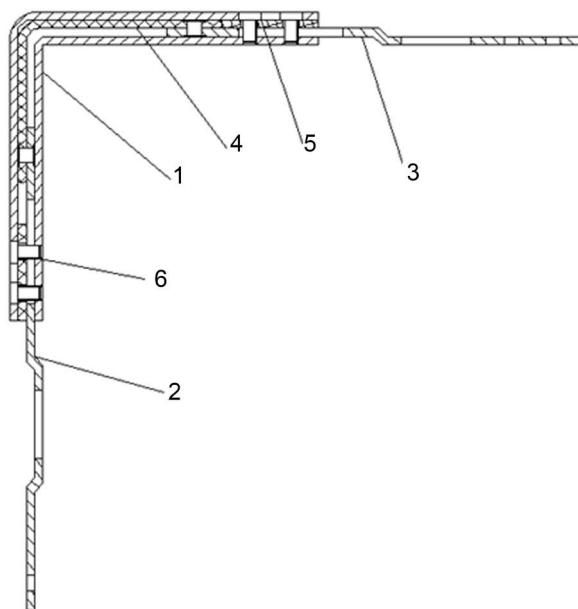


Figure 8. Angulator profile: 1: shell; 2: lower connecting rod; 3: upper connecting rod; 4: belt; 5: block; 6: screw

图 8. 转角器剖面图: 1: 壳体; 2: 下连杆; 3: 上连杆; 4: 皮带; 5: 垫块; 6: 螺钉

5.2. 拨叉

拨叉与联动杆均为整个联动部件最直观的部分,同时也是最简易的部分。这两个零件安装与窗扇的上下两侧,主要传导内外两窗之间的力,使得两窗之间产生联动。

如图 9 为拨叉与联动杆及其周边零件的部分联动部件图。拨叉与图 8 中的上连杆相接,转动把手触发上连杆移动时,拨叉会向外移动,撤除对联动杆的限位。此时,移动内层窗时为独立动作,不会产生联动效果,可单独开关窗,达到方案要求。

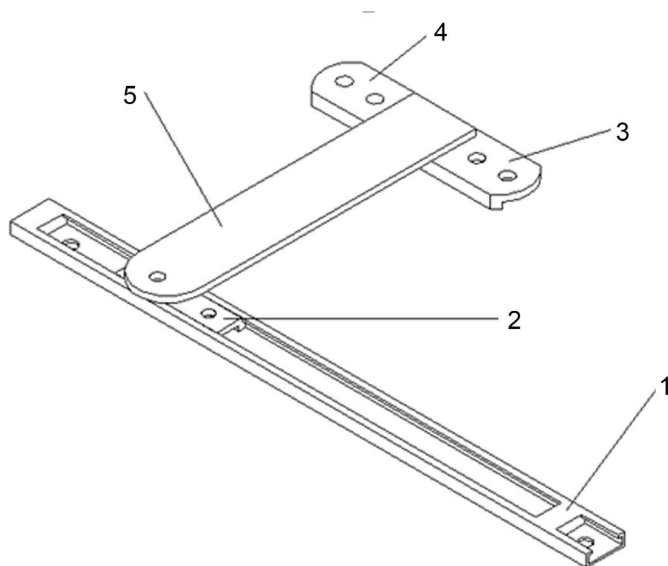


Figure 9. Linkage diagram: 1: chute; 2: the slider; 3: fork; 4: fixed block; 5: link

图 9. 联动部件图: 1: 滑槽; 2: 滑块; 3: 拨叉; 4: 固定块; 5: 联动杆

5.3. 联动扣锁

本设计中, 内外两窗在全关闭状态下都需要有扣锁限位。内窗的扣锁就跟常见外开窗相似, 通过把手边上的挡块与窗框的配合实现限位。由于单侧操作的缘故, 需要设计一个内外两窗的联动锁扣, 可以让操作者在室内对外层窗操作扣锁进行限位。

如图 10, 当把手逆时针转过 90° 时, 挡板离开窗框失去作用, 从而使得窗扇能够开启。当把手转过 180° 时, 凸轮顶起与之相连的连接杆, 使其向上或向下运动, 从而联动转角器等部件, 实现状态切换。

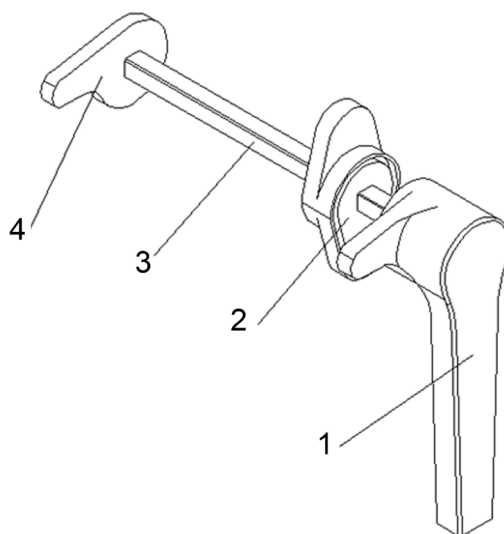


Figure 10. Handle assembly diagram: 1: the handle; 2: CAM combination; 3: connecting rod; 4: outer baffle

图 10. 把手组合部件图: 1: 把手; 2: 凸轮组合; 3: 连杆; 4: 外挡板

6. 结论

本文设计了一种新型通风净化隔声窗, 通过校核计算验证了其设计的合理性。目的在于面对目前大气污染及噪声污染等问题窗户是每个建筑物必不可少的一部分。从中国门窗行业发展分析及投资潜力研究报告[11]了解到市场上将会不断出现一些以低碳环保减排为目标的新技术和新标准, 在这样的市场环境下, 掌握最新的主被动降噪技术的通风净化隔声窗将会在新一轮的市场竞争中占据先机, 是隔声窗行业的重要发展方向之一。

基金项目

本研究得到上海市联盟计划项目“新型通风净化隔声窗的研制与应用(LM201766)”资助。

参考文献

- [1] 季运康, 刘丹, 陈自勇, 陈程, 郑卫刚. 基于被动降噪技术的自然通风隔声净化窗[J]. 可编程控制器与工厂自动化, 2015(8): 31-34+40.
- [2] Ford. R.D. and Kerry, G. (1973) The Sound Insulation of Partially Open Double Glazing. *Applied Acoustics*, **6**, 57-72. [https://doi.org/10.1016/0003-682X\(73\)90029-7](https://doi.org/10.1016/0003-682X(73)90029-7)
- [3] 翟国庆, 张邦俊. 通风隔声窗的设计[J]. 噪声与振动控制, 2004, 24(1): 45-46.
- [4] 贾猛虎. 一种通风隔声窗[P]. 中国专利, 101220726B, 2008.
- [5] 刘晓华. 一种自然通风隔声窗优化设计的降噪研究[D]. 太原: 太原理工大学, 2015.

-
- [6] 黄华华. 自然通风有源隔声窗研究[D]. 南京: 南京大学, 2011.
- [7] 付建平. 浅谈门窗五金配件的试验设计与质量控制[J]. 中国建筑金属结构, 2013, 12(19): 82-86.
- [8] 李金田, 耿世彬. 纳米二氧化钛光催化机理及应用分析[J]. 洁净与空调技术, 2006, 12(1): 23-25.
- [9] 蔡阳生. 建筑和建筑构件空气声隔声测量技术研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2013.
- [10] 易波, 邬维辉. 多用不锈钢门窗转角器[P]. 中国专利, CN105201363A, 2015-12-30.
- [11] 董国防. 我国铝合金门窗行业市场前景分析[D]. 北京: 北京大学, 2004.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2328-0530, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

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

期刊邮箱: ojav@hanspub.org