



北京航空航天大学
B E I H A N G U N I V E R S I T Y

第二十三届“冯如杯” 学生参赛作品(论文)

通风量自控窗户



摘要

“通风量自控窗户”是通过利用我们创新出的“类纱窗”装置代替“纱窗”来实现通风量窗户自我控制，稳定气流的一种新型窗户。为了实现通风量自控，我们采取的方案是利用“方形风压弹片”结构感应风速。具体是利用材料表面结构因风压产生微小的形变，改变通风口大小，风小时可自动复原，来控制窗户的通风量。材料方面实验研究后确定最佳选材为橡胶。

关键词：通风量自控, 橡胶, 弯曲力矩, 高弹性



Abstract:

“ventilation quantity self-controlled windows” is a sort of window that can control and stabilize the ventilation quantity automatically by the device like screen window replacing screen window. So as to achieve the goal, we use the structure “square-shade swing door” to react according to the wind. The screen window deforms tingly according to the pressure of window and change the ventilation quantity. When the window became mild, this kind of window is capable of resume. As for the material, we find rubber material which is determined in the light of following analysis.

Keywords: ventilation quantity self-controlled, rubber material, bending moment, high elasticity



目录

1 引言（创意来源）	1
1.1 发现问题.....	1
1.2 问题分析.....	1
1.3 解决问题.....	1
1.4 最终目的.....	1
2 具体方案.....	2
2.1 工作原理.....	2
2.1.1 装置结构.....	2
2.1.2 压强与风速的关系.....	3
2.1.3 压强与风力施加在“方形风压弹片”上弯曲力矩 M 的关系.....	4
2.2 工作过程.....	5
2.2.1 状态 1：风速 $v=0$	5
2.2.2 状态 2：风速 $0 < v < 12\text{m/s}$ ，且风速增大.....	5
2.2.3 状态 3：风速 $v=12\text{m/s}$	5
2.2.4 状态 4：风速 $0 < v < 12\text{m/s}$ ，且风速减小.....	5
2.3 材料的选用.....	6
2.3.1 “方形风压弹片”所需材料弹性性能分析.....	6
2.3.2 橡胶的性能介绍.....	7
3 方案可行性分析.....	8
3.1 相关技术分析.....	8
3.2 应用前景分析.....	8
3.3 预计技术难点与解决方案.....	8
4 方案优劣性分析.....	8
4.1 优点.....	8
4.2 缺点.....	8
5 方案创新点分析.....	9
[参考文献].....	10
致谢.....	11



1 引言（创意来源）

1.1 发现问题

我们都有这样的经验，现在的房屋窗户并不能实现通风量的控制，导致在窗户旁边摆放的轻质物体，如纸张、书本，经常因突如其来大风而被刮散，刮飞。不开窗通风，屋内的空气质量不能保证，而开了窗，会给在窗户附近学习、工作的人带来很多不便。这样的矛盾在教室与办公室内很常见，因此我们团队产生了“通风量自控窗户”的创意。

1.2 问题分析

我们的目的是需要改变风速的大小，想要改变风速的大小首先要能让窗户能够“知道”风速的大小，如果用压敏的材料来感压再反馈风速，这样的方法太大费周章，应该是很不可行的，不利用这种传感器原理，就需要改变结构，我们提出了通过使用“类纱窗”通风孔的结构来达到“感知”风速和控制风速的目的。

1.3 解决问题

我们希望能够制作小孔透风的“类纱窗”，通过材料表面结构因风压产生微小的形变，来改变通风口大小，风小时可自动复原，来控制窗户的通风量。

1.4 最终目的

窗户自主控制通风量，稳定气流，解决通风与风大干扰学习工作的矛盾。



2 具体方案

2.1 工作原理

2.1.1 装置结构

我们的通风量自控窗户的核心设计为如图 1 所示的“类纱窗”，它将用来代替普通纱窗的位置，做到普通纱窗做不到的通风量自控功能。

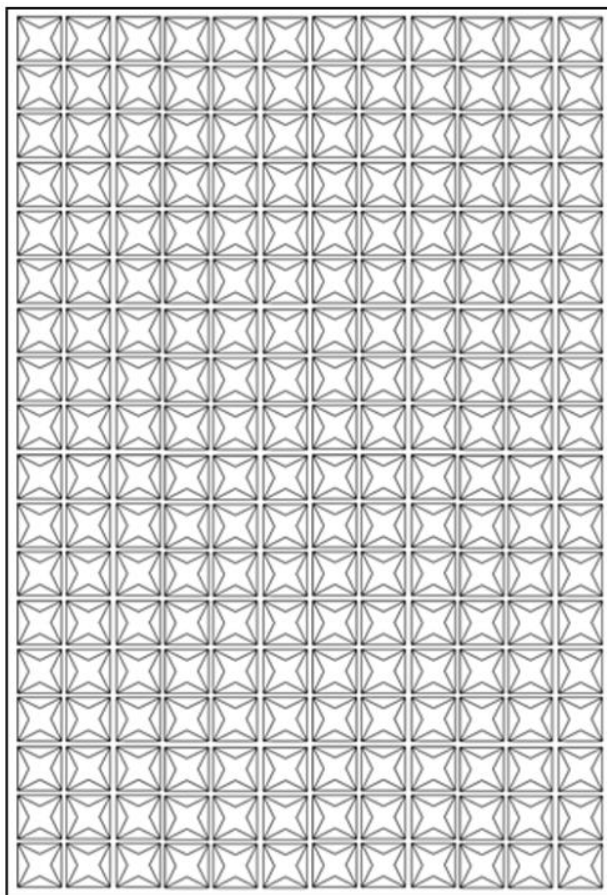


图 1 类纱窗

“类纱窗”中的小型模块我们称它为“方形风压弹片”。当“类纱窗”的迎风速度为 0 时，“方形风压弹片”的正视图与俯视图如图 2 所示，当“类纱窗”的迎风速度为 12m/s 时，“方形风压弹片”的正视图与俯视图如图 3 所示。

参考了普通纱窗的网格尺寸，我们设计的“方形风压弹片”的具体尺寸为：

弹片完全张开的角度 $\alpha = 60^\circ$

每个弹片为正方形，边长 $a = 10.00\text{mm}$

弹片厚度为 0.05mm

弯曲半径 0.30mm

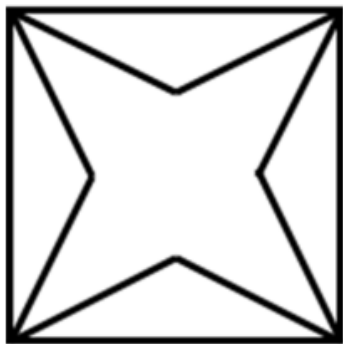
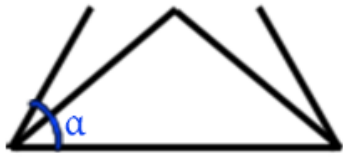


图 2

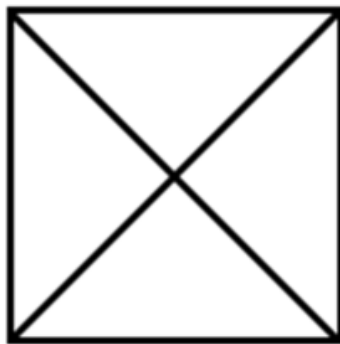


图 3

2.1.2 压强与风速的关系

我们的压强与风速的关系模型如图 4 所示

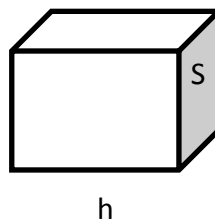


图 4

单位体积 $V=Sh$ 的垂直吹向“方形风压弹片”的有效受风面积的空气的质量为

$$m = \rho Sh$$

这些空气所具有的动能为

$$\begin{aligned} E_K &= \frac{1}{2}mv^2 \\ &= \frac{1}{2}\rho Shv^2 \end{aligned}$$

由动能定理得



$$pSh = E_K = \frac{1}{2} \rho Shv^2$$

$$p = \frac{1}{2} \rho v^2$$

首先我们查询资料得风力等级与风速的关系，如表 1 所示

表 1 风力等级与风速的关系

风级	名称	风速 (m/s)
0	无风	0.0-0.2
1	软风	0.3-1.5
2	轻风	1.6-3.3
3	微风	3.4-5.4
4	和风	5.5-7.9
5	清风	8.0-10.7
6	强风	10.8-13.8

考虑到我们实际生活中的通风情况，我们决定我们的“通风量自控窗户”的适用范围应为 0-6 级风，风速范围

$$v \in [0, 12]$$

空气密度 ρ 我们取绝对压力为 0.1MPa，空气温度为 298.15K 时的数值为

$$\rho = 1.1691 \text{kg/m}^3$$

我们可以绘制 $p-v$ 曲线如图 5

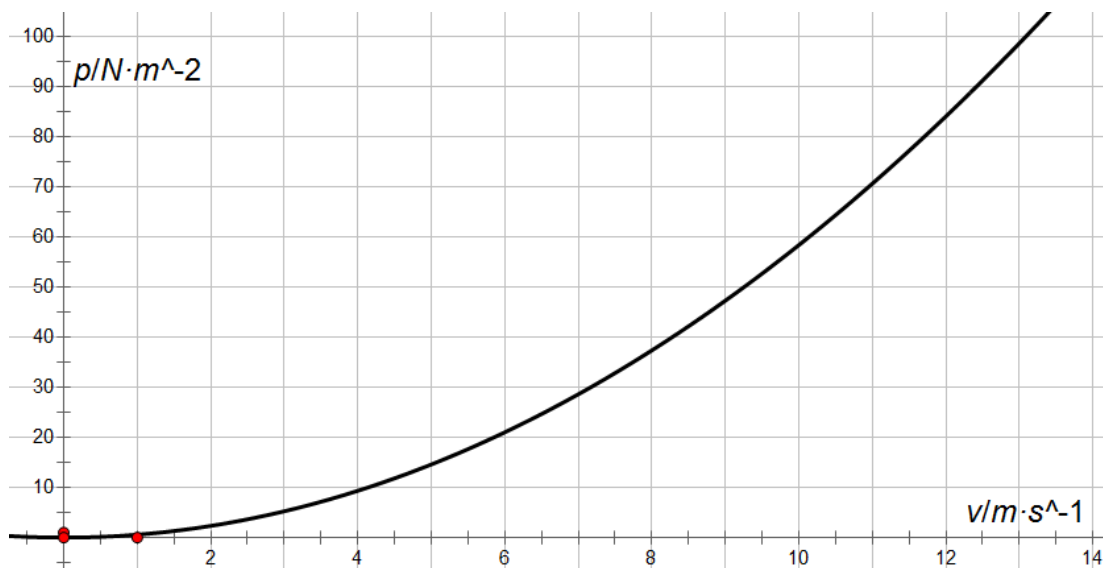


图 5

2.1.3 压强与风力施加在“方形风压弹片”上弯曲力矩 M 的关系

由于在非垂直风的情况下受力较复杂，现假设施加在“方形风压弹片”上的风正对弹片

建如图 6 所示坐标系

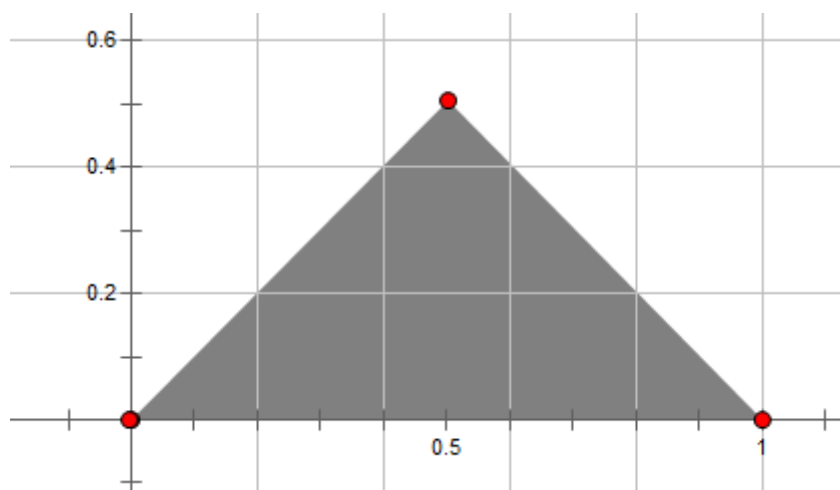


图 6

可得压强 P 与风力施加在“方形风压弹片”上弯曲力矩 M 的关系

$$M = 2 \int_0^{\frac{a}{2}} dx \int_0^x P \cos \alpha y dy$$

其中 a 为“方形风压弹片”的边长；
 α 为弹片张开的角度。

2.2 工作过程

2.2.1 状态 1：风速 $v=0$

此时“类纱窗”的“方形风压弹片”张开成与完全闭合时呈 60° 角，作用与普通纱窗一样。如图 7 所示。

2.2.2 状态 2：风速 $0 < v < 12\text{m/s}$ ，且风速增大

此时“类纱窗”的“方形风压弹片”因风的压力增大而变形， α 减小，导致通风口面积缩小，使进入室内的风量减少。如图 8 所示。

2.2.3 状态 3：风速 $v=12\text{m/s}$

此时“类纱窗”的“方形风压弹片”因风的压力而变形到刚好完全闭合。如图 9 所示。

2.2.4 状态 4：风速 $0 < v < 12\text{m/s}$ ，且风速减小

此时“类纱窗”的“方形风压弹片”因风的压力减小而慢慢恢复形变，导致通风

口增大，使进入室内的风量增大。如图 10 所示。



图 7

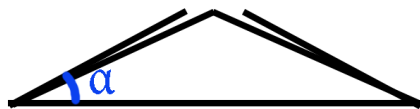


图 8



图 9

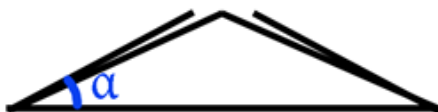


图 10

2.3 材料的选用

在“类纱窗”的材料的选择上，由于“方形风压弹片”主要以弹力为主要工作来源，因此我们需要弹性性能好且能够多次变形的材料。经过了对弹性性能的分析，我们选择了橡胶作为我们“类纱窗”的材料，但我们仍需要进一步在材料方面的研究，以确定最终的具体材料选择。下面是我们目前的研究所得。

2.3.1 “方形风压弹片”所需材料弹性性能分析

要正确计算弯曲力矩，非常困难，需要作出几点基本假设，才能进行近似计算，这些假设是：

- (1) 弯曲过程是纯弯曲；
- (2) 卸载前后中性层在断面中的位置保持不变，并通过断面重心；
- (3) 弯曲过程中的应力—应变状态为线性的，只考虑切向产生的应力 σ_θ 和应变 ϵ_θ ；
- (4) 应力—应变间的关系，在弹性变形区 $\epsilon_\theta \leq \epsilon_s$ 遵守胡克定律 $\sigma_\theta = E\epsilon_\theta$ ；在塑性变形区 $\epsilon_\theta > \epsilon_s$ 遵守简化的直线规律 $\sigma_\theta = \sigma_s \left(1 - \frac{D}{E}\right) + D\epsilon_\theta$ ，式中 D、E 分别为塑性、弹性模量。

运用材料力学和弹性—塑性形变技术计算方法，可得到一般应力状态时线性弹塑性弯曲的外加弯矩 M 的表达式，需注意公式(1)的适用范围。

$$M = \sigma_s \left(1 - \frac{D}{E}\right) \left(\frac{Bt^2}{4} - \frac{Bt_s^2}{4}\right) + \frac{E}{\rho_0} \left(1 - \frac{D}{E}\right) \frac{Bt_s^2}{12} + \frac{D}{\rho_0} \frac{Bt_s^2}{12} \quad (1)$$

对于弹性弯曲，令 $D=E$ ，即可得到纯弹性弯曲时外加弯矩公式：

$$M = \frac{E}{\rho} \times \frac{Bt^3}{12} = \frac{1}{\rho} EI \quad (2)$$

公式(1)～(2)中， M——线性弹塑弯曲的外加弯矩；

σ_s ——材料屈服强度；

D ——材料塑性模量;
 E ——材料弹性模量;
 t_s ——断面内弹性变形区的厚度;
 B ——弯曲材料的板料宽度;
 t ——弯曲材料的板料厚度;
 S ——板料弯曲时断面静矩;
 I ——板料弯曲时剖面惯性矩;
 ρ ——弯曲半径(如图 11 所示).

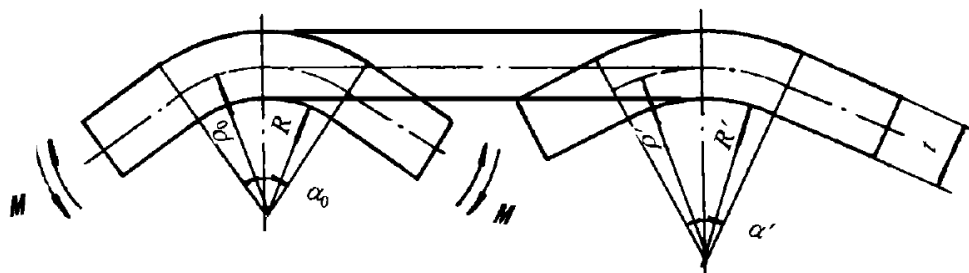


图 11

我们将我们的“方形风压弹片”的 ρ 、 B 、 t , 以及用原理部分求 M 的方法求出 M 带入 (2), 可得我们所需要的材料的弹性模量 E 。

(如果微小结构能够达到目的, 必须使不同的风速对应不同的形变, 即不同的通风面积, 由于我们主要针对的是较大的风速, 所以主要矛盾就是在较大的风速时“方形风压弹片”能够“随机应变”, 我们选择六级风, 因为六级风是最常见的强风, 风速定为 12m/s 左右, 压强则近似为 85Pa。取风速最大时的情况研究)

$$E = \frac{\frac{1}{2} P a^3 \rho}{B t^3} = \frac{\frac{1}{2} \times 85 \times 0.01^3 \times 0.0003}{0.01 \times 0.00005^3} = 1.02 \times 10^7 \text{ Pa}$$

根据材料的弹性模量 E , 我们就可以找到我们的材料, 我们选择的是橡胶。

2.3.2 橡胶的性能介绍

如果单就橡胶在高弹态所呈现的力学性能——高弹性而言, 具有以下几个特点:

1. 橡胶高弹性的本质是熵弹性, 熵越大越稳定, 而一般材料的普弹性则是能量的弹性, 能量越低越稳定;
2. 可逆弹性形变大, 最高可达 1000%, 即一根完好的橡胶条可以拉伸 10 倍后还会恢复到它原来的状态, 而金属材料的可逆弹性形变一般不会超过百分之几;
3. 弹性模量(高弹模量)小, 只有 $10^5 \sim 10^6 \text{ N/m}^2$, 竟比一般金属的弹性模量 10^{10} N/m^2 约小 4~5 个量级;
4. 随温度增加高弹模量是增加的, 而金属材料的弹性模量随温度的增加而减小;
5. 快速拉伸(绝热过程)时, 橡胶会因放热而升温, 金属材料则会因吸热而降温。



3 方案可行性分析

3.1 相关技术分析

该装置不违背自然规律，合理运用风速与压强的关系等物理规律，理论上可以实现制造这种“通风量自控窗户”。而在实际生产中，我们相信橡胶可以用来制作我们的“类纱窗”，且“方形风压弹片”的成型并不困难。整个“通风量自控窗户”的制作是简单可行的。

3.2 应用前景分析

该“通风量自控窗户”可运用在教室、办公室、书房等轻质物体如纸张、书籍易靠近窗户的地方。在这些地方，都存在着通风与风大影响学习工作的矛盾，因此市场需求很高。而随着材料的制作技术逐渐成熟，材料整体的成本将大幅降低，我们相信我们的“通风量自控窗户”最终有一天可以取代普通纱窗。

3.3 预计技术难点与解决方案

所选的材料为橡胶，性能好的橡胶多数不透光，而且多数橡胶易老化，在直接风吹日晒的情况下容易变形，伸缩，使原有结构不能很好地发挥用处，因此橡胶的具体选用是技术难点。而对于透光性问题，我们的“类纱窗”结构可以不覆盖窗户的全体部分。对于斜风，该“通风量自控窗户”的对通风量的控制能力有所降低，可通过在“方形风压弹片”的四个小片间加上橡胶丝连结以达到同时开闭的目的，进而提高对斜风情况下对通风量的控制，但其制作难度会加大，且较易损坏。

4 方案优劣性分析

4.1 优点

该窗户的适用范围广，在风速不大于 12m/s 时适用。利用我们的“方形风压弹片”，可以有效地控制风的流量，且自控过程中是利用材料本身的力学性能，并不消耗电能等其他能源，节能环保。整体的制作成本也很低，便于更换与修理。

4.2 缺点

该窗户因使用的材料橡胶的透光性不是很好，所以整体的透光率不是很理想。另



外所做的每个“方形风压弹片”为 10mm*10mm，孔径较大，夏天时窗格太大防蚊虫功能需要改进，但对于防蚊虫功能，可以在纱窗后安装一层网格更小的防蚊网，可是成本会增高。而且，对于斜风的情况，该窗户的减少通风量的能力会有所下降，通过橡胶丝的连动可部分解决，但制作成本和维修也会增高。

5 方案创新点分析

我们的“方形风压弹片”类似心脏瓣膜的结构，通过改进纱窗的纱格，仿照心脏瓣膜控制血液流向和流速制造小装置，当风速大的时候通风孔变小，使整体通风面积减小，从而达到自主控制通风量的目的，且不通电，节能环保。



[参考文献]

- [1] 黄春峰. 弯曲弹性回弹及其工艺技术控制方法[J]. 模具技术. 1998(06)
- [2] 何平笙, 朱平平, 杨海洋. 如何理解橡胶高弹性的特点[J]. 高分子通报. 2009(12)



致谢

这个论文的完成过程中，许多人给了我极大地帮助，让这篇论文可以较完美地呈现出来。

首先要感谢我的辅导员。本课题是在我辅导员的悉心指导下完成的。在我编写论文阶段，我的导员一直鼓励我，让我有动力把这个最初认为不可能完成的项目完成，导员在学习上给予我悉心的指导，在我最需要帮助的时候给我以思路上的提示，让我理顺思路，深入分析，对我以后的学习也会有很大的帮助；而且，我的导员在做人的方面堪称我学习的典范，平易近人的态度和一丝不苟的精神都深深地感染着我，使我受益匪浅！

另外感谢我的两个组员，他们各自发挥自己的优势帮助我逐步完成这篇论文，他们每一个思想的火花都能给我很多提示，帮我解决问题。感谢他们的帮助，使我在轻松愉悦的气氛中完成这篇论文。

最后对参加本文评审和答辩的各位老师表示衷心的感谢，我相信您的意见会令我受益终身！