

飞鸟驱赶系统设计

齐建豪, 尹 猛, 吕青青, 杨立权*, 黄 鑫, 王 硕

平顶山学院河南省超声技术应用工程研究中心, 河南 平顶山

收稿日期: 2024年12月28日; 录用日期: 2025年1月21日; 发布日期: 2025年1月29日

摘 要

近年来农场、高压输电线路、光伏产业园等场所发生的鸟害事故增多, 并且市场上存在的各类驱鸟装置使用效果都不好, 存在防护范围有限、作用有时效性和安全稳定性差等缺点。所以我们设计出一款高效的驱鸟系统, 其中包含了反光驱鸟、仿生驱鸟、超声波语音驱鸟。三种驱鸟装置同时工作, 进一步提高了驱鸟效率。在设计中主要对系统驱动装置进行模态分析和主要受力装置进行静力学分析, 为系统选择低能耗的超声波语音模块, 设计超声波语音模块的驱鸟电路。

关键词

风轮, 摇杆, 偏心轮, 超声波

Design of Flying Bird Repelling System

Jianhao Qi, Meng Yin, Qingqing Lyu, Liquan Yang*, Xin Huang, Shuo Wang

Henan Province Engineering Research Center of Ultrasonic Technology Application, Pingdingshan University, Pingdingshan Henan

Received: Dec. 28th, 2024; accepted: Jan. 21st, 2025; published: Jan. 29th, 2025

Abstract

In recent years, there has been an increase in bird damage accidents in farms, high-voltage transmission lines, photovoltaic industrial parks and other places, and the use of various bird repellent devices on the market is not good, and there are shortcomings such as limited protection range, poor timeliness and safety stability. Therefore, we have designed an efficient bird repellent system, which includes reflective bird repellent, bionic bird repellent, and ultrasonic voice bird repellent. Three bird repellent devices work at the same time, which further improves the efficiency of bird repellent work. In the design, the modal analysis of the system driving device and the static analysis of the main stressed device are carried out, the low-energy ultrasonic voice module is selected for the system, and the bird-repellent circuit of the ultrasonic voice module is designed.

*通讯作者。

文章引用: 齐建豪, 尹猛, 吕青青, 杨立权, 黄鑫, 王硕. 飞鸟驱赶系统设计[J]. 建模与仿真, 2025, 14(1): 1263-1275.
DOI: 10.12677/mos.2025.141114

Keywords

Wind Wheel, Rocker, Eccentric Wheel, Ultrasound

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

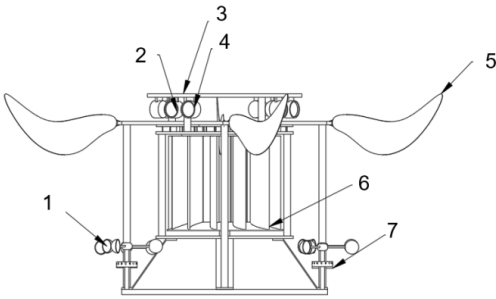
1. 引言

飞鸟对人类生产生活的危害从未停止，尤其是在农业生产、电力输送等方面。近些年，人们普遍有了环保意识，鸟类的数量不断增长，并且鸟类的栖息环境也变得多种多样，活动的范围也越来越广。在农业生产方面：鸟类不仅大量偷食谷物、成熟的果子，而且还存在一些鸟类啄食作物幼苗，使鸟类自身携带的病菌感染到农作物上。因此极大地影响了农田、果园的收成，降低了农产品的质量；在电力输送系统中：鸟类经常落在输电线上，严重危及线路供电的安全。鸟类对线路的危害包括鸟类啄食造成的绝缘子损坏、鸟粪和鸟巢引起的线路跳闸等[1]。在大型的光伏发电地区，由于飞鸟的粪便掉落在光伏板上，影响了发电的效率；在我国贵州建设的大型射电望远镜 FAST 也常常因为掉落到反射球面上鸟粪而影响 FAST 工作灵敏度等。这些危害的存在时刻都在提醒人们研制一款多功能、多应用场合的驱鸟系统是急需的。鉴于目前国内的驱鸟现状，结合自己对前辈论文和专利的学习，提出并设计了一套应用于多种场合飞鸟驱赶系统的设计方案。本次设计中所有的机械构件的运动都是采用风力，电子部分采用了太阳能光伏板供电，所以整个系统不需要外部电源，符合绿色、无污染的环保理念；因为本次设计采用了机械驱鸟和电子驱鸟相结合的方式，一方面系统中的机械装置不易受外界环境的影响，可以弥补电子模块容易损坏的缺点，另一方面电子模块的智能化要远远高于纯机械装置，所以两者的结合提高了系统的稳定性，比以往单一功能的驱鸟设备效果好很多。同时，电子驱鸟运用了声音驱鸟、超声波驱鸟，并且有检测模块，几种模块的结合极大地降低了飞鸟对系统的适应性，同时也不会伤害鸟类。

2. 总体方案设计

2.1. 系统总体结构

系统整体有机械装置和电子模块两部分构成，机架用来固定整个系统，驱动风轮作为主要的动力装置来驱动仿生翅膀做摇摆运动，反光镜、发音器作为系统的辅助装置，总体构成如图 1 所示。



1. 反光镜 2. 音频发生器 3. 太阳能光伏板 4. 超声波发生器 5. 飞鸟仿生翅膀 6. 驱动风轮 7. 发声器

Figure 1. Schematic diagram of the system structure
图 1. 系统结构简图

2.2. 主要构件设计

该系统主要构件由发声器，反光镜，风轮，摇杆四部分组成，如图 2 所示。

发声器主要由金属球、金属板、弹性杆构成。主要靠金属球与圆筒内壁上的金属板发生碰撞，发出的声音会通过圆筒内壁上发声孔传出，起到驱赶飞鸟的作用。

反光镜由连杆和半球形扇叶组成，半球形扇叶与连杆的外侧端固定连接，所述半球形扇叶的内侧贴有反光膜。反光膜反射光线起到驱赶飞鸟的作用。

驱动风轮作为驱动仿生翅膀的主要动力装置，由 12 片风叶组成，其能在微风下仍然能转动，为机械装置提供动力。

仿生翅膀的摆动是靠摇杆机构来实现的，四周的偏心轮由主动齿轮传动，使四个偏心轮做整周回转，从而使摇杆往复摆动。

为了环保，系统的供电部分采用太阳能光伏板，光伏板为锂电池充电，系统通过锂电池来获取电能。

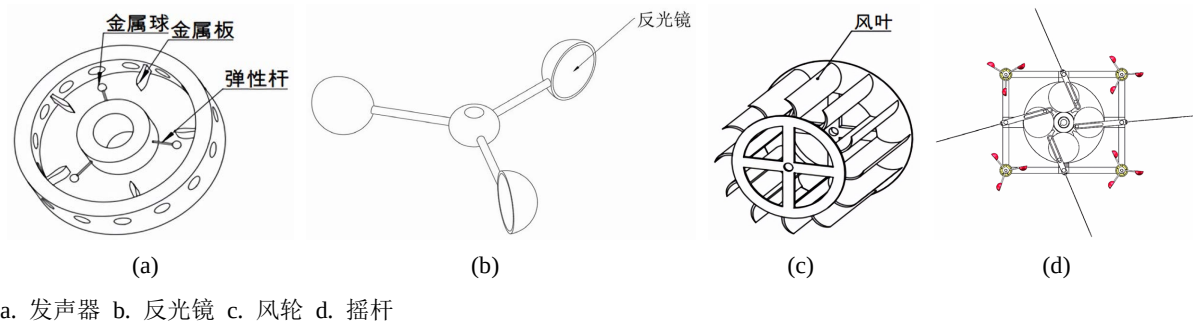


Figure 2. Main building blocks
图 2. 主要构件

3. 驱动装置设计

3.1. 工作原理

驱动风轮的工作原理如图 3 所示，由图中可看出风轮围绕垂直于纸面的中心轴 O 旋转。设风轮进口处的绝对风速为 V_1 ，出口处的绝对风速为 V_2 ，风轮的外圆和内圆的半径为 r_1 、 r_2 ； a_1 为 v_1 与外圆切线的角度， a_2 为 v_2 与内圆切线的角度。 AC 、 BD 为两片相邻的叶片，设 AC 、 BD 两叶片之间的气流为一个质点系，其风流量为 Q 。

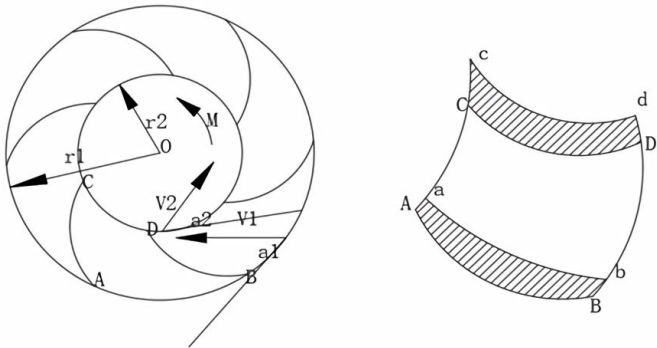


Figure 3. Schematic diagram of the wind wheel
图 3. 风轮原理图

现就驱动风轮转动某一时刻进行分析, 设某一时刻 t , 气流充满 $ABCD$, dt 时间后, 整个质点系移动到位置 $abcd$ 内, 则整个质点系对中心轴 O 的动量矩增量为:

$$dL = L_{abcd} - L_{ABCD} = L_{CDcd} - L_{ABab} \quad (1)$$

设空气的密度为 ρ , 则有:

$$L_{CDcd} = Q\rho dt v_2 r_2 \cos \alpha_2 \quad (2)$$

$$L_{ABab} = Q\rho dt v_1 r_1 \cos \alpha_1 \quad (3)$$

由此可知:

$$dL = Q\rho dt (v_2 r_2 \cos \alpha_2 - v_1 r_1 \cos \alpha_1) \quad (4)$$

根据动量矩定理, 则在叶片 AC 、 BD 之间, 空气所受到对中心轴 O 的总力矩为:

$$M' = \frac{dL}{dt} = Q\rho (v_2 r_2 \cos \alpha_2 - v_1 r_1 \cos \alpha_1) \quad (5)$$

设风轮所受的转动力矩为 M , 则 M 与 M' 等值反向, 其方向如图 3, 且有:

$$M = \frac{dL}{dt} = Q\rho (v_1 r_1 \cos \alpha_1 - v_2 r_2 \cos \alpha_2) \quad (6)$$

因为叶片的曲率影响到出口处空气的绝对速度, 当叶片的曲率为零时, 也就是叶片为直线时, 气流在出口处的时间小于具有一定曲率的弯曲叶片的出口处的时间。如果进口风速保持不变, 出口风速的绝对值保持不变, 可以用公式(6)计算出, 当叶片是直的时候, 风轮的旋转力矩很小, 风轮的效率很低。当叶片为弧形时, 风轮的旋转力矩很大[2], 因此, 在这种情况下, 风轮的效率很高。

3.2. 功率的估算

3.2.1. 风功率

若质量为 m 的空气以速度 v 运动, 则它所具有的动能为:

$$E = \frac{1}{2}mv^2 \quad (7)$$

某一时刻通过该平面的空气质量 m 为:

$$m = vS\rho \quad (8)$$

则可得风功率为:

$$P' = \frac{1}{2}vS\rho v^2 = \frac{1}{2}S\rho v^3 = 0.6Sv^3 \quad (9)$$

上式中: ρ 为空气密度, 标准状态为 1.293 kg/m^3 , 综合工况条件取 $\rho = 1.25 \text{ kg/m}^3$ 。

3.2.2. 功率系数

如果把风轮机在单位时间内可以从风获得的能量称为功率 P , 那么功率因数就被定义为风轮机的功率 P 与风的功率之比, 用 C_p 表示:

$$C_p = \frac{P}{P'} = \frac{P}{0.6Sv^3} \quad (10)$$

即功率系数是衡量风所具有的能量中, 驱动风轮到底能从中获取多少能量的性能评价指标。

3.3. 驱动风轮的具体参数的设计

3.3.1. 叶尖速比

叶尖速度比是指叶片旋转速度(叶尖速度)和设计风速(实际风速)之间的关系。用 λ 表示叶尖速比。叶尖速比计算公式:

$$\lambda = \frac{V}{v} = \frac{2\pi Rn}{60v} \quad (11)$$

式中: V 为叶片旋转速度; n 为风轮转速; v 为实际风速; R 为风轮半径。

在允许的范围内, 叶片尖端的速度与驱动风轮机的旋转效率密切相关; 叶片尖端的速度越高, 风能消耗就越大。但在确定驱动风轮的叶尖速比的过程中, 还要考虑其他因素的影响, 例如, 叶片数, 叶片的结构等。

叶片的数目取决于叶片的叶尖速比, 一般高速风轮叶片比较少, 而低速风车的叶片比较多, 本飞鸟驱赶系统的设计运用的为低速风轮, 即叶尖速比 $\lambda < 5$, 如表 1 所示, 取叶片为 12 片, 叶尖速比 $\lambda = 2$, 保证了风轮机平稳运转。

Table 1. Matching table of leaf number and blade tip velocity ratio

表 1. 叶片数与叶尖速比匹配表

叶尖速比 λ	叶片数	叶尖速比 λ	叶片数
1	8~24	4	3~5
2	6~12	5~8	2~4
3	3~8	8~15	2~1

3.3.2. 风轮的扫风面积和直径的确定

(1) 驱动风轮叶片扫风面积

驱动风轮的迎风面积定义为来流方向上的投影面, 其迎风面积可由下式计算:

$$S = 2RL \quad (12)$$

式中: R 为风轮的半径, L 为叶片的长度, $L = 0.54 \text{ m}$ 。

风轮的扫风面积与输出功率 P 有如下关系:

$$p = \eta C_p p' = \frac{1}{2} \eta C_p S \rho v^3 \quad (13)$$

上式中: η 为风轮的总效率, 取 0.7; C_p 为风能利用系数, 取 0.6; v 为额定风速, 取 4 mg/s 。

根据本论文中设定的功率目标, 计算得风轮的扫风面积为:

$$S = \frac{2p}{\eta C_p \rho v^3} = \frac{2 \times 35}{0.7 \times 0.6 \times 1.25 \times 6^3} = 0.39 \text{ m}^2 \quad (14)$$

(2) 风轮直径的确定

由公式(14)得 $R = \frac{S}{2L} = \frac{0.39}{2 \times 0.54} = 0.36 \text{ m}$, 所以风轮的直径为:

$$D = 2R = 2 \times 0.36 = 0.72 \text{ m} \quad (15)$$

(3) 确定单个叶片的面积 S_y

叶片翼型、尖速比等因素决定了驱动风轮接受风能效率的高低。同时, 叶片的密实比也是决定风轮

效率高低的主要因素[3]。密实比是叶片本身的面积 kS_y 与叶片扫风面积 S 之比。密实比越高，叶片转速就越低，风力机需要的叶片数量也就越多。

$$S_y = \frac{K'S}{k} = \frac{0.64 \times 0.39}{6} = 0.0416 \text{ m}^2 \quad (16)$$

式中： K' 为密实比，取 $K' = 0.64$ ， k 为风轮叶片的数目。

3.4. 风轮叶片的设计

由上一章计算得单个叶片的面积为 $S_y = 0.0416 \text{ m}^2$ ， $L = 0.54 \text{ m}$ ，计算得叶片的另一边为：

$$l = \frac{S_y}{L} = \frac{0.0416}{0.54} \approx 0.077 \text{ m} \quad (17)$$

叶片采用圆弧形设计，由弧长公式：

$$l = 2\pi R \frac{n}{360} = \frac{n\pi R}{180} \quad (18)$$

式中： R 为圆弧半径， n 为弧长所对圆心角，取 $n = 30^\circ$ ，得圆弧半径为：

$$R = \frac{180l}{n\pi} = \frac{180 \times 0.077}{30 \times \pi} = 0.147 \text{ m} \quad (19)$$

3.5. 叶片的有限元建模与分析

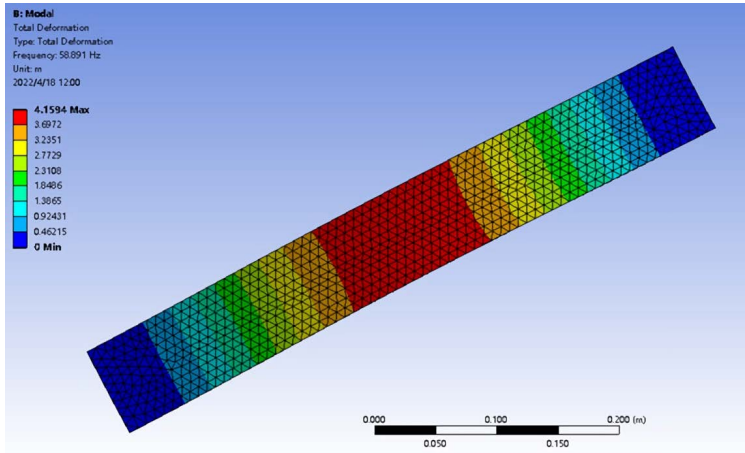
通过前面章节对驱动风轮尺寸的计算，在 Solidworks 中建立风轮的三维模型，将该几何模型引入到有限元分析程序 Workbench 中进行模态分析[4]。对叶片进行模态分析的关键就是防止叶片在转动过程中激振源的频率与固有频率重合，避免达到叶片发生共振的条件，导致叶片发生共振，破坏了叶片的结构。叶片的材料选为玻璃钢，弹性模量为 $E = 17.6 \text{ GPa}$ ，泊松比为 $\nu = 0.17$ ，拉伸强度为 325 MPa 。

叶片的各阶模态特性的分析参数，如表 2 所示。

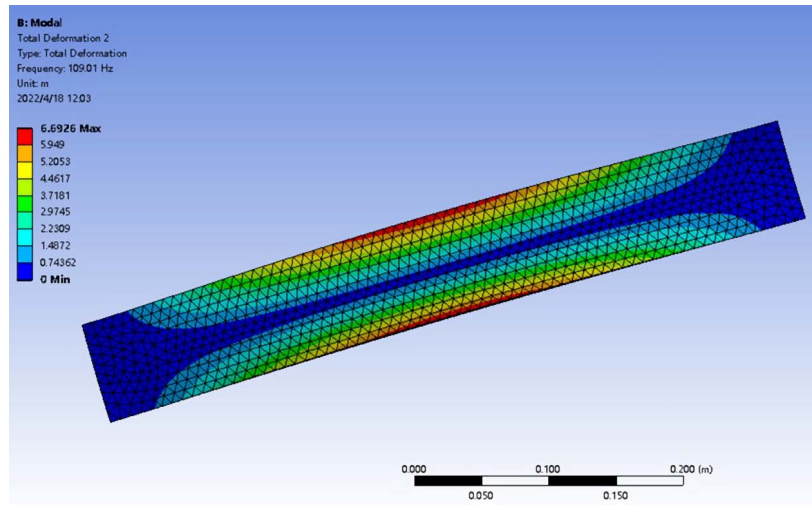
Table 2. Blade modal frequency

表 2. 叶片模态频率

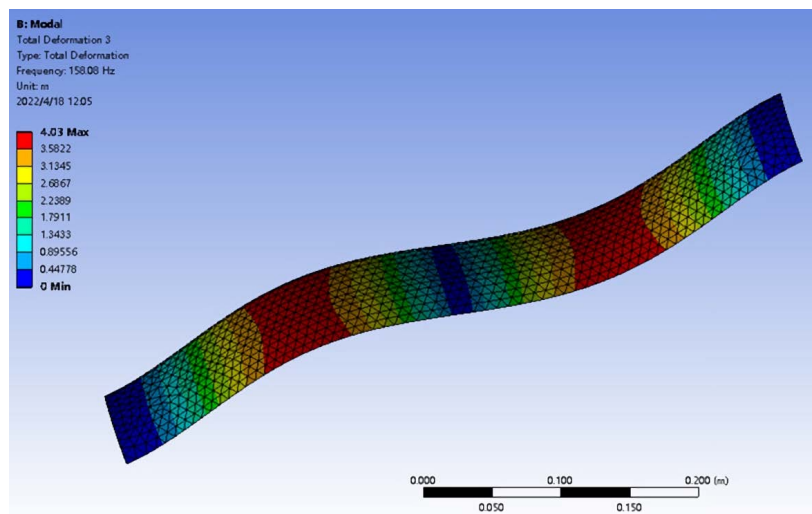
阶数	1	2	3	4	5
频率(Hz)	58.891	109.01	158.08	222.96	299.01



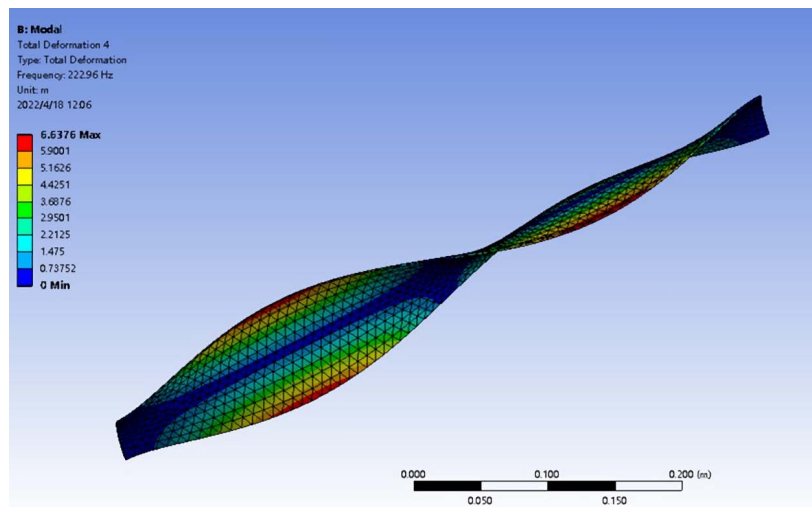
一阶



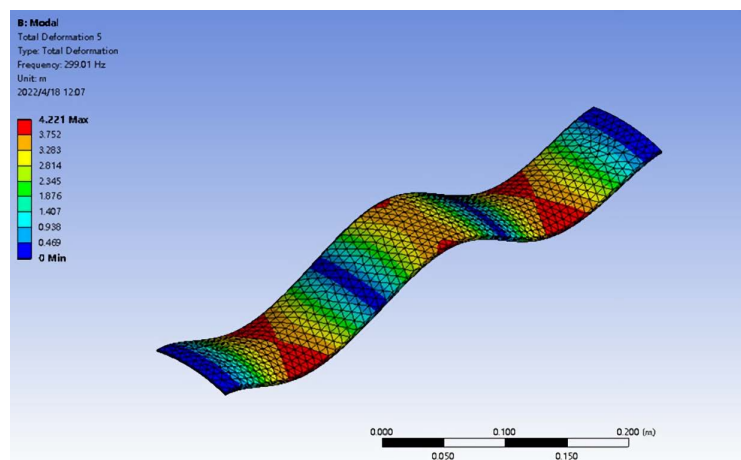
二阶



三阶



四阶



五阶

Figure 4. Modal analysis mode shape diagram**图 4.** 模态分析振型图

如图 4 所示, 叶片的一阶振型变形不大, 这时叶片的形状依然为直线形; 叶片的二阶振型能看出叶片仍然为直线形, 但是叶片的两侧有向内测弯曲的趋势; 叶片的三阶、五阶振型主要发生了弯曲变形, 使叶片变为了波浪形; 叶片的四阶振型主要为弯曲和扭转的叠加, 叶片即发生了弯曲又发生了扭转。

风轮在转速为 $n = 100 \text{ r/min}$ 时, 风轮的工作频率为:

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = 1.667 \text{ Hz} \quad (20)$$

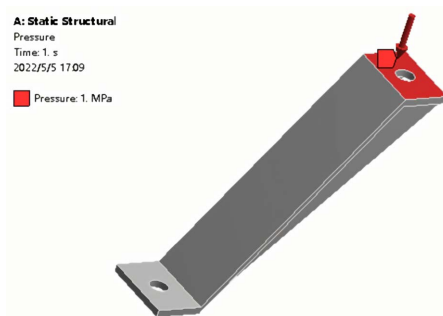
当驱动风轮转速从静止到在 100 rad/s 之间变化时, 风轮的激振源频率与工作频率都不重合, 因此该风轮叶片设计满足要求。

4. 辅助装置设计

4.1. 机架的静力学分析

机架整体呈现长方形结构, 与框架相连的为 4 个支承板, 与支承板上端相连接的为驱动风轮的底盘, 整个系统的大部分重量由 4 个支承板来承担。支承板选用调质处理的 45 号钢, 其余机架的材料为 304 不锈钢[5]。

支承板的一端固定在支架的底盘上, 另一端与风轮的底盘相连接, 所以设置支承板一端固定, 一端受载, 受载大小为 1 MPa , 如图 5 所示。

**Figure 5.** Load applied**图 5.** 载荷施加

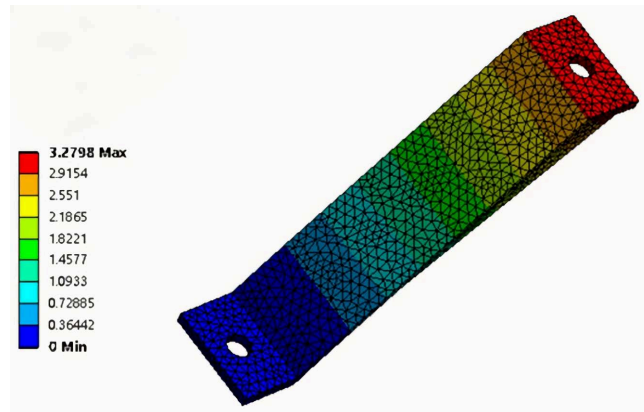


Figure 6. Displacement deformation
图 6. 位移形变

由图 6 得到支承板在受载时最大变形为 3.28 mm，最大变形量在支承板与风轮底板连接处，从整个系统总体来看，该变形量在允许的范围内。

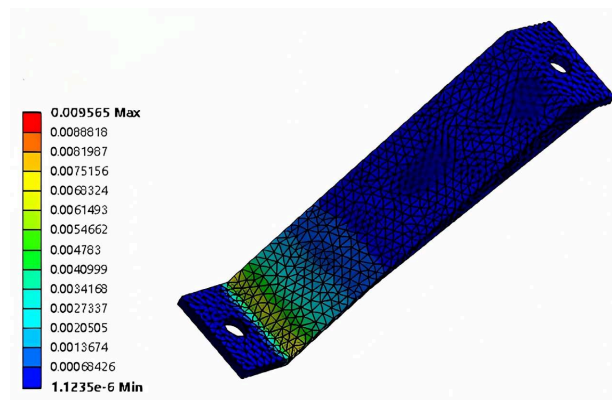


Figure 7. Elastic strain
图 7. 弹性应变

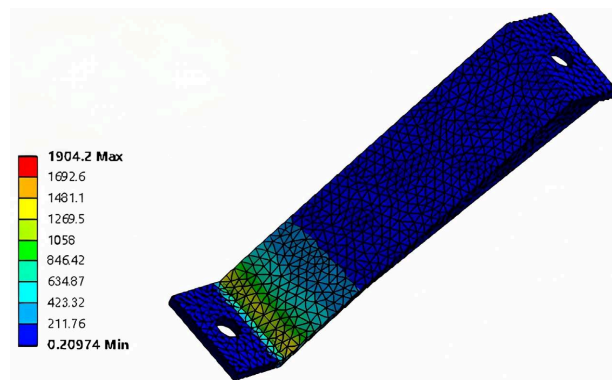


Figure 8. Stress
图 8. 应力

由图 7 和图 8 能清晰的看出，在支承板与支架的底板连接处存在最大应力，在该处支承板有结构突变，但是最大应力仍然小于材料的许用应力。

4.2. 传动装置设计

4.2.1. 齿轮传动

传动装置是由风轮驱动，主要由齿轮和摇杆机构组成。其中，主动齿轮与风轮相连，另外四个从动齿轮由主动齿轮驱动，如图 9 所示。主动齿轮与驱动风轮通过轴连接，风轮是由风力驱动，风轮的旋转随之带动了主动齿轮的旋转，进而 4 个小齿轮也进行旋转[6]。

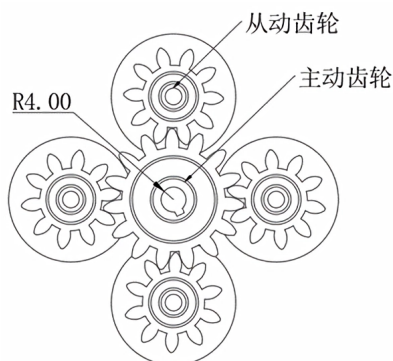


Figure 9. Transmission gears

图 9. 传动齿轮

4.2.2. 偏心摇杆设计

工作过程为偏心轮通过主动齿轮驱动使其旋转，摇杆一端固定，另一端的滑槽和偏心轮的偏心轴端配合，当偏心轮转动时，摇杆就进行了往复摆动。如图 10 摇杆的滑槽长为 80 mm，摇杆定点到偏心轮中心距离为 80 mm。

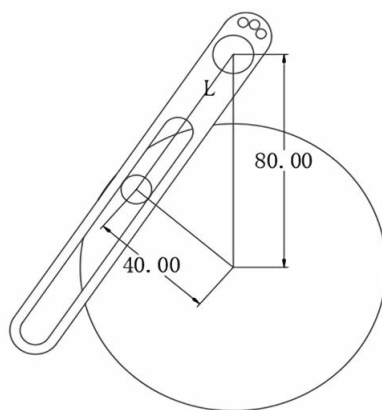


Figure 10. Eccentric rocker mechanism

图 10. 偏心摇杆机构

当摇杆摆动到极限位置时，摇杆与偏心轮直径方向垂直，于是得另一边长为：

$$l = \sqrt{80^2 - 40^2} = 69.282 \text{ mm} \quad (21)$$

由余弦定理得摇杆最大旋转角度为：

$$\theta = 2 \arccos\left(\frac{69.282}{80}\right) = 2 \times 30^\circ = 60^\circ \quad (22)$$

5. 控制单元模块的选择与设计

5.1. 太阳能电池板及红外检测模块的选择

5.1.1. 太阳能电池板的选型

在本次设计中采用两块钢化玻璃及防水树脂进行封装的单晶硅太阳能电池板，使用寿命可达 25 年。太阳能电池板给锂电池充电，用来给单片机供电，驱动控制模块和执行模块动作。

将两块太阳能电池板并联，经过稳压后输出电压为 5 V，在天气晴朗时，输出电流为 2400 mA 左右，考虑充电效率，对两节 3200 mAh 的锂电池充电，在日照充足的情况下大约需要 3.2 h [7]。

5.1.2. 红外检测模块的选择

选用德国原装 LHI778 探头的 HC-SR501 红外检测模块，能够远距离检测鸟类释放的红外线。其工作电压为 5 V，静态电流 < 50 uA，最大探测距离 10 m，工作温度(-15℃~70℃) [8]。

每套飞鸟驱赶系统四周各安装一个红外探头，有效探测距离以驱鸟器为圆心，做到了全方位无死角驱鸟。

5.2. 超声波模块的选择及电路设计

本次设计的电路主要由单片机与电源的连接电路、系统的控制电路、超声波发射模块电路，如图 11 所示。

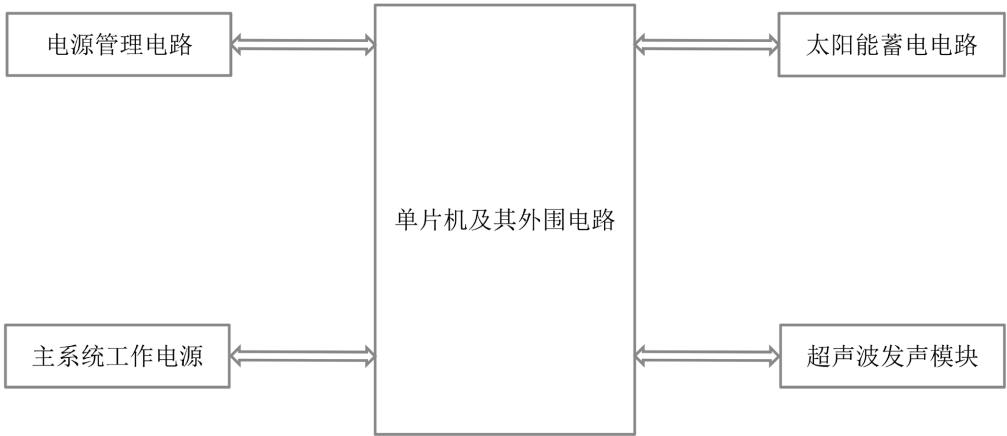


Figure 11. Peripheral device
图 11. 外围设备

5.3. 超声波模块的选择

超声波喇叭是建立在晶体材料的反压电作用的理念上研制，能产生频率超过 20 kHz 的声波。根据市场上主要的超声波喇叭的性能和过去的案例，本研究选择了 T40-16 超声波喇叭，其具体规格见表 3。

Table 3. T40-16
表 3. T40-16

引脚间距 (mm)	直径 (mm)	标称频率 (kHz)	发射声压 (dB)	工作温度 (℃)	额定电压 (V)
10	16	40	≥117	-10~60	5

5.4. 超声波驱鸟器电路设计

本装置设计采用超声波发射电路，由前置组合电路推动，在本设计中采用 T40-16 超声波发射模块发射超声波，由于 T40-16 发生超声波频率为 40 kHz，所以不会对周围市民产生影响和危害，但能很好地达到驱鸟效果[9]，超声波模块电路如图 12 所示。

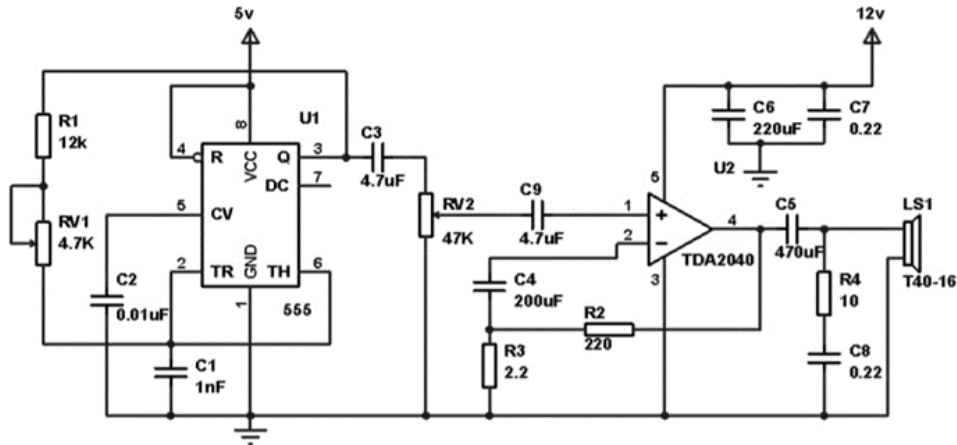


Figure 12. Ultrasonic bird repellent circuit
图 12. 超声波驱鸟电路

5.5. 单片机总体控制的说明

当系统第一次被唤醒并且没有紧急任务时，它首先初始化每个硬件模块，然后进入低功耗休眠模式。当红外探测模块探测到鸟时，它向微控制器发送一个高级中断信号，使 STC89C52 打开并开始工作，进而激活超声波和数字语音模块[10]。当飞鸟被评估为已被击退时，系统会切换到低功率模式，并在 5 秒钟的延迟后，关闭超声波和数字语音模块。如果飞鸟没有被击退，再产生不断变化频率的超声波，营造一种鸟类无法适应的声波环境，从而达到驱鸟的效果，直到确定飞鸟飞走。

6. 结论

本次设计的飞鸟驱赶系统，主要运用在电塔、农场、光伏发电等场合，用来驱赶飞鸟，减少鸟类对人类的影响。在设计中主要使用机电结合的方式，机械结构的运动都由风力驱动，辅助装置的用电则由太阳能提供，整个系统绿色无污染。在设计中，对风轮叶片进行了模态分析，对受力较大的支承板进行了静力学分析，确保装置的稳定运转，在辅助装置中加入了超声波、语音模块，进一步提高了系统的驱鸟效率。

基金项目

河南省重点研发与推广专项(科技攻关) (242102111173)；平顶山学院机械重点学科基金项目(PXY-JXZDXK-202306)。

参考文献

- [1] 赵媛媛. 一种应用于电力杆塔的驱鸟器设计与实现[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连海事大学, 2008.
- [2] 马乐群. 风力机叶片的设计与结构特性分析[D]: [硕士学位论文]. 济南: 齐鲁工业大学, 2015.
- [3] 吕仁川. 独立型垂直轴风力发电系统的设计与有限元分析[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 山东科技大学, 2014.

-
- [4] 宗楠楠. 小型水平轴风力机叶片设计与有限元分析[D]: [硕士学位论文]. 上海: 上海交通大学, 2009.
 - [5] 赵晨. 电力线路驱鸟器带电安装工具的设计与开发[D]: [硕士学位论文]. 郑州: 郑州大学, 2016.
 - [6] 王巧红. 小型垂直轴风力发电机风轮的优化设计[D]: [硕士学位论文]. 郑州: 郑州大学, 2009.
 - [7] 曾珍珍. 光伏发电系统最大发电量的智能控制[D]: [硕士学位论文]. 上海: 东华大学, 2016.
 - [8] 邓小波. 架空输电线路鸟害故障分析及防范措施[J]. 低碳世界, 2018(4): 76-77.
 - [9] 张驰, 李光林, 金城, 等. 农田智能驱鸟器设计与试验[J]. 西南师范大学学报, 2016, 41(5): 81-87.
 - [10] 艾健, 严浪涛. 基于超声波技术的浮标驱鸟器的设计[J]. 船电技术, 2024, 44(5): 96-100+108.