

# 一种发电鼠标的结构设计

成 兴, 陈海伦, 张 杰, 唐白华, 王春林, 赵延杰, 周仁宇, 李小虎, 黄 彪  
贵州理工学院, 贵州 贵阳

收稿日期: 2022年11月30日; 录用日期: 2022年12月23日; 发布日期: 2022年12月30日

## 摘 要

由于计算机大量应用于工作学习之中, 计算机的配件之一鼠标也被大量的使用, 无线鼠标作为鼠标的一种以其简洁易用而受人喜爱。在现有的无线鼠标中, 全部都是依赖于外界提供的能量, 无线鼠标消耗的能量来源通常由干电池或者蓄电池提供, 无论是干电池或者是蓄电池, 其寿命都是有限的且使用过程中都会出现断电的情况, 需要定期给鼠标更换电池。本次设计的自发电系统应用于无线鼠标之中, 可以让鼠标在使用过程中进行自发电, 不需要依赖外部提供能量即可进行工作, 改善无线鼠标的用户体验。

## 关键词

按键发电, 滚轮发电, 滑动发电, 棘轮整速

# Structure Design of Self Generating System Based on Wireless Mouse

Xing Cheng, Hailun Chen, Jie Zhang, Baihua Tang, Chunlin Wang, Yanjie Zhao, Renyu Zhou, Xiaohu Li, Biao Huang

Guizhou Institute of Technology, Guiyang Guizhou

Received: Nov. 30<sup>th</sup>, 2022; accepted: Dec. 23<sup>rd</sup>, 2022; published: Dec. 30<sup>th</sup>, 2022

## Abstract

A large number of computers are used in work and learning. Mouse, one of the computer accessories, is also widely used. Wireless mouse, as a kind of mouse, is popular for its simplicity and ease of use. In the existing wireless mouse, all depend on the energy provided by the outside world. The energy source of the wireless mouse is usually supplied by dry batteries or storage batteries. Whether dry batteries or storage batteries, their life is limited and power failure will occur in the use process. It is necessary to replace the batteries for the mouse regularly. The self-generating system designed in this paper is applied to wireless mouse, which can make the mouse self-generating

in the process of using. It can work without relying on external energy to improve the use experience of wireless mouse.

## Keywords

Button Power Generation, Roller Power Generation, Sliding Power Generation, Ratchet Speed Regulation

Copyright © 2022 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

随着电脑的普及，电脑的重要配件鼠标在生活中大量使用。鼠标是控制电脑的一只手，这只虚拟的手大大提高了电脑的使用效率，如今智能移动已经非常普及但是依旧无法取代电脑的地位，其中一部分原因就是移动设备不能像电脑一样进行精确的操作，而鼠标正是精确操作的输入设备。

有线鼠标成本低工作可靠，但是不利于移动线材收纳麻烦，在高速试验鼠标过程中线材有时会被物品卡住的问题，需要调整到合适的线材长度，多数台式电脑使用者通常会为电脑配备有线鼠标。无线鼠标简洁利落，摆脱了线的束缚，对于经常移动的笔记本电脑用户来说，无线鼠标可以非常方便的收纳于背包中，相对于有线鼠标稳定可靠，无线鼠标则需要经常更换电池，在使用中需要经常关注其电力问题，一旦电池耗尽立即罢工，可靠性不如有线鼠标。无线鼠标在使用过程中，需要经常更换电池，普通一次性电池对环境污染很严重[1]，如果使用可充电电池，因为鼠标使用过程中电流很小，使用充电电池很容易造成电池过度放电而损坏电池，所以无线鼠标很少使用可充电电池[2]。无论是市场上还是使用中都保存有大量的无线鼠标，而这些鼠标中几乎所有的鼠标都使用的是使用干电池供电，大量的鼠标势必产生大量的废电池，这些废电池直接丢入垃圾桶中，随着普通垃圾进行处理，对环境造成污染[3]。另一方面，由于鼠标需要定期更换电池，使用过程中无疑增加了使用成本，造成社会经济的一种浪费，鼠标需要的电流非常的少，电池失效类似于自放电[4]。基于以上情况，本次设计的一种可以自我发电的无线鼠标来解决这些问题，通过鼠标自身发电，鼠标不需要在更换电池，因为鼠标内部没有电池，这样不仅降低了鼠标使用过程中的成本还减少了废电池的污染。

### 1.1. 国内外发展状况研究

#### 1.1.1. 自发电无线鼠标国内研究状况

目前国内对于自发电无线鼠标的研究还处于理论阶段，虽然已经有相关的文献和专利但是并未有可以使用的实物产品[5]，目前自发电无线鼠标的发电方式有两种，一直是靠人体使用鼠标过程中的能量转换，例如压电发电、电磁感应发电等，一种是靠传统的发电手段进行发电，只不过是将传统的发电方法嫁接到鼠标之上，例如太阳能发电等[6]。还有一种通过鼠标底板加装线圈进行感应发电的，这种发电方式实质上不属于发电而是无线充电[7]。

#### 1.1.2. 自发电无线鼠标国外研究状况

相对国内而言，国外的研究更加深入，在进行理论设计的同时给出了更多的计算方程，进行的理论分析更多，建立了数学模型分析，对实践有非常好的指导作用。

1995年英国设菲尔德大学的Williams课题组发表了第一篇关于电磁式微型振动发电机的论文,此后世界上许多研究机构都在致力于该方面的研究[8]。电磁式发电机需要针对具体应用场合,设计合适的结构,通过振动·电磁场的耦合分析,对发电机进行优化设计,以提高功率、功率密度和效率等指标[9]。

## 2. 自发电无线鼠标设计参数

### 2.1. 自发电无线鼠标电气设计参数

本次设计的自发电无线鼠标目的在于取缔传统无线鼠标,自发电鼠标的发电能力是发电鼠标的核心,本节就根据无线鼠标耗电量对自发电无线鼠标发电能力进行参数设计。

鼠标在运行的过程中,需要电源提供合适的电压和功率,市售的无线鼠标每一款的鼠标所需的电压和功率都不尽相同。通常有使用一节干电池和两节电池之分,现在少数的无线鼠标也有使用可充电锂电池进行供电的。使用一节干电池的无线鼠标供电电压为1.5 V,使用两节干电池的鼠标供电电压为3 V,使用锂电池供电的鼠标供电电压为3.7 V。

无线鼠标工作在3 V的电压下时,仅需5 mA的电流就可以驱动无线鼠标进行工作,无线鼠标在待机的过程中,消耗的电流低至0.5 mA以下。可以得出本次设计自发电无线鼠标的基本电气要求参数,要想满足鼠标的正常使用,在1.5 V的供电条件下,鼠标运行需要电流为10 mA,鼠标待机电流为0.5 mA。整理得表1。

**Table 1.** Electrical design parameters of self-electric mouse

**表 1.** 自发电鼠标电气设计参数

自发电无线鼠标电气设计参数	
工作电压	1.5 v
工作电流	10 mA
待机电流	0.5 mA

### 2.2. 自发电无线鼠标结构参数

自发电无线鼠标的设计过程中使用了很多现有的零件,自发电无线鼠标的结构尺寸需要对现有零件进行兼容。鼠标在使用过程中长时间与人的手进行接触,相应的结构尺寸按照人机工程学进行设计。

#### 2.2.1. 鼠标外形尺寸设计

自发电无线鼠标由于内部的发电机构占用了大量的尺寸,所以允许比一般的鼠标要大一些,但是须控制在 $100*100*150\text{ mm}^3$ 的体积以内设计最终参数如下表2所示。

**Table 2.** Self-electric mouse limit size

**表 2.** 自发电鼠标极限尺寸

自发电无线鼠标外形尺寸要求	
总长	200 mm 以内
总宽	100 mm 以内
总高	60 mm 以内

### 2.2.2. 鼠标质量设计

本次设计要求是自发电无线鼠标的总质量不大于 0.5 kg。150 g 以上的鼠标偏重，200 g 的鼠标就已经是目前鼠标设计的极限总量了，本次设计的自发电无线鼠标由于有多个发电机构，这些发电机构包含了磁铁因此重量不会太轻，鼠标的质量应控制在 200 g 以内，鼠标的重量或多或少会影响玩家在使用中的体验。根据目前的统计，大多数玩家会选择更轻的鼠标。这是因为大多数玩家在鼠标使用过程中都会快速或大幅度的移动鼠标，而且大多数用户在使用鼠标得时间很长。因此，有必要选择更轻的鼠标。在设计是尽量控制发电鼠标的质量在 200 g 以内。

## 3. 发电机构设计

线鼠标设计的核心是鼠标的发电机构，鼠标在使用过程中按键、滚轮和鼠标滑动都可以通过一定的发电机构将运动的机械能收集起来。设计自发电无线鼠标时先将这些发电机构设计出来，然后再设计鼠标的壳体将发电机构进行安装固定。

### 3.1. 鼠标发电量分配

鼠标使用过程中可以利用的能量源有鼠标按键按压过程中的机械能、滚轮滚动过程中的机械能和鼠标滑动过程中的机械能，本次设计的自发电无线鼠标将从鼠标使用中的三个机械运动来收集能量提供给鼠标来使用。这三个机构分别命名为按键发电机构、滚轮发电机构和滑动发电机构。

#### 3.1.1. 发电机构总发电量设计

自发电无线鼠标在使用过程中产生的电能须大于消耗的电能，由上一小结已经得知，无线鼠标在 1.5 V 电压下运行时的工作电流是 10 mA 待机电流是 0.5 mA。

鼠标在使用过程中消耗的能量分为两种情况，一种是鼠标不运动，消耗电流为待机电流，一种是鼠标一直在运动，消耗电流为工作电流，设鼠标运行一分钟，由能量计算公式可以分别计算出这两种情况下鼠标能量消耗的极限。

设鼠标在待机状态下运行一分钟，电流  $I = 0.5 \text{ mA}$ ，消耗最少的能量， $W_{\min}$  为：

$$W_{\min} = P \times T = U \times I \times T = 0.045 \quad (1)$$

设鼠标在不停的移动，运行在工作模式下运行一分钟，消耗的能量达到最大值，此时鼠标消耗的能量  $W_{\max}$  为：

$$W_{\max} = P \times T = U \times I \times T = 0.9 \text{ J} \quad (2)$$

鼠标在使用过程中有工作时间也有待机时间，按照重度使用进行鼠标使用时间模拟，假设鼠标运行一分钟，其中有 40 秒工作，有 20 秒待机，那么消耗的电能：

$$W = P \times T = U \times I \times T + U \times I \times T = 0.615 \text{ J} \quad (3)$$

在如上假设的工作条件下，鼠标消耗的电能是 0.615 J 的能量，由于计算的参数是按照实际使用中的重度使用进行计算，由此可得发电鼠标的发电能力只要大于 0.615 J/min 就可以保证鼠标的正常使用。

#### 3.1.2. 各发电机构发电量设计

发电鼠标的三个发电机构每个机构发电能力各不相同，其中滚轮发电机构发电能力较强，按键发电机构和滑动发电机构发电能力都比较弱。由上一节的计算结果可以得知，鼠标每分钟消耗的最大电能是 0.9 J 最小电能是 0.045 J。最小消耗电流时是鼠标不进行移动的时候，这时候发电鼠标的滑动发电机构不参与发电所有电能由按键发电和滚轮发电两部分构成。由此可以都到一个条件，也就是每分钟滚轮发电

量和按键发电量最小值为 0.045 J。鼠标在最大消耗能量的情况下工作是鼠标不停的移动的情况下，此时消耗的能量为 0.9 J，鼠标的各个发电机构均参与发电。鼠标平均每分钟消耗 0.615 J，鼠标个机构发电总量需要大于此数值。

为了获得各个发电机构在鼠标使用过程中的运动情况，使用鼠标专用数据统计工具对鼠标使用情况进行统计。使用过程中模拟了日常的鼠标使用情况，包括使用浏览器浏览网页，在资源管理器中浏览和管理文件，浏览和修改 Word 文档，使用社交软件聊天，使用图库软件查看图片的日常使用场景，各个使用场景交叉混合。统计时间为 10 分钟通过放大统计时间求平均值的方式来保证数据的可靠性。从日常使用中统计发电量。统计原始数据如表 3。

**Table 3.** Mouse usage statistics  
**表 3.** 鼠标使用统计

按键统计		滚轮统计	
左键	244 次	向后滚动	583 格
中键	0 次	向前滚动	282 格
右键	7 次	合计	865 格
合计	251 次	移动距离	合计 24.5 米

由上表可以得出鼠标各个机构在使用过程中的运动情况，经查得鼠标滚轮滚动一圈为 24 格，有次可以计算出滚轮在 10 分钟内滚动的圈数为  $865 \div 24 = 36.04$  (圈)。将数据进行整理换算，则鼠标在一分钟内的使用情况如表 4。

**Table 4.** Each part of the mouse uses data in one minute  
**表 4.** 一分钟鼠标使用情况

鼠标使用情况统计(1 分钟)	
按键次数	25 次
滚轮滚动	3.6 圈
移动距离	2.45 米

从表 2 进行发电量分配，设计分配 80% 发电量由滚轮提供，15% 发电量由滑动发电机构提供，5% 发电量由按键提供，发电量分配如表 5。

**Table 5.** Distribution of power generation  
**表 5.** 发电量分配

发电机构	分配发电量(J/min)
滚轮发电机构	0.492
滑动发电机构	0.09225
按键发电机构	0.03075

### 3.2. 按键发电机构设计

鼠标在使用过程中按键上下运动，本节将设计一种机构将这种运动的机械能转换为电能的机构。

#### 3.2.1. 按键发电机构设计

按键几何结构设计

按键发电机构有左右按键和底部磁铁固定槽口构成，首先更具鼠标尺寸设计按键的截面轮廓如图 1，按键表面使用 R120 的曲面结构，按键贴合手指提升按键的手感。

按键固定在按键轴上进行运动，由于受力不大，按键轴使用 2 mm 标准轴，材料使用普通碳钢制造。按键材料使用 ABS 工程塑料制作而成，可采用注塑工艺进行加工。

按键运动过程中，按键离轴端越远的部分运动线速度越快，将线圈固定于离轴远的一端而按键按压部分靠近轴心一端，以此来增加运动的速度和行程。按键线圈中心距离轴心距为 45 mm，线圈位于按键的中轴线上保证受力均匀。线圈外部支撑架长度设计为 10 mm，宽度设计为 4 mm，线圈绕上后为一个 10\*4 mm 的矩形线圈。按键距离底板距离较远，设计了一个圆柱体进行按压按键，圆柱体以按键转轴为轴心，距离按键轴心的距离设置为 10 mm，按键驱动圆柱位于按键中心轴线之上，圆柱直径根据按键的大小设计为 4 mm，按键按压行程为 0.8 mm，按键运动机构具有运动放大作用，通过 CAD 软件进行测量，按键在按压 0.8 mm 的过程中按键沿转轴转动 4.74°，按键按压后线圈位移为 3.35 mm，按键下方放置了磁铁，线圈下降过程中磁通量改变从而发电。按键运动过程如图 2 所示。

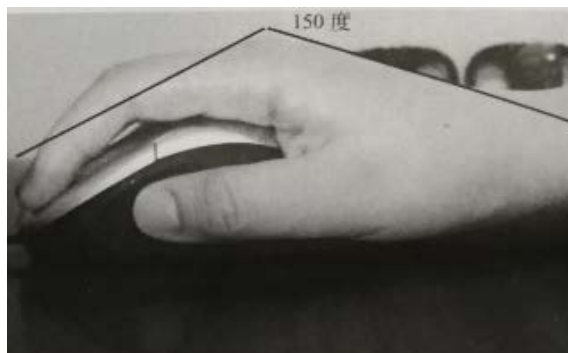


Figure 1. Mouse use comfort  
图 1. 鼠标使用舒适角度

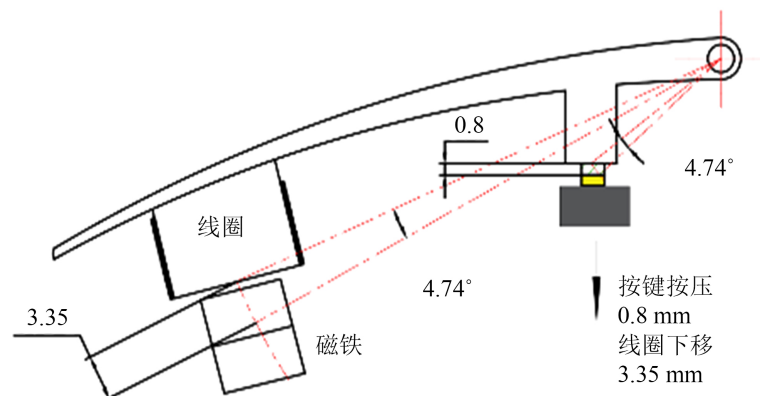


Figure 2. The process of mouse movement  
图 2. 按键运动过程

要计算按键按压过程中的发电量，按键的运动速度是一个关键的参数，运动速度直接关系着磁通量的变化速率。通过连续点按鼠标按键一分钟统计按键次数，然后根据按键次数来求解单次按键的时间，求解出时间后因为位移是已知的，可用位移对时间的微分求解按键运动速度进而获得线圈的速度，进而求解电动势。

为了获得按键一次所需要的时间，使用按键计时器对一分钟按键次数进行统计，统计结构如图 3，按键一分钟可以按压 329 次，容易计算出每次按键时间为 0.18 秒，实际按键时间比计算出的时间更短，根据此数据进行计算的发电电动势具有一定的冗余量。

按键统计		
左键	329	次
中键	0	次
右键	0	次
合计	329	次

Figure 3. Number of keystrokes in a minute  
图 3. 一分钟按键次数

按键一次按压的过程可近似看成匀加速运动的过程，运动行程为按键行程的两倍，运动速度  $v_{\max}$  易求得为

$$v_{\max} = \frac{2S}{t} = 0.0744 \text{ (m/s)} \quad (5)$$

### 3.2.2. 按键电气参数设计

发电方式

按键发电机构遵循的基本原理是法拉第电磁感应定律：当穿过闭合回路(线圈)所围面积的磁通量发生变化时，回路中就会产生感应电动势。按键线圈产生的感应电动势可以表示为：

$$U_e = -N_e \frac{\partial \Phi}{\partial T} = -N_e \frac{\partial (\mathbf{B} \cdot \mathbf{S})}{\partial T} \quad (6)$$

式(6)中  $U_e$  表示按键发电部分的感应电动势， $B_{wr}$  是矩形磁铁的磁感应强度， $N_e$  为按键部分闭合回路的线圈匝数， $\Phi$  为穿过按键线圈的磁通量， $\mathbf{S}$  是线圈的面积矢量。

经计算得到按键发电量大于分配的发电量 0.03075 J/min，可以保证鼠标运行。

### 3.3. 滑动发电机构设计

鼠标在使用过程中移动光标时需要滑动鼠标，根据使用模拟统计，鼠标在一分钟的日常使用中滑动的距离为 2.45 m，传统的轨迹球鼠标底部有一个小球，小球和桌面接触，鼠标在移动过程中小球进行滚动，鼠标内部设计有两个互相垂直的滚轴与小球相互接触，小球滚动时可以带动内部的轴进行滚动，两根轴将小球滚动的运动分解为 X 轴和 Y 轴，轴的末端带有码盘，码盘外是红外对管，通过码盘的旋转红外对管产生脉冲来识别鼠标的运动轨迹。轨迹球鼠标移动过程中驱动轴进行旋转，轴旋转的机械能可以转换成电能供鼠标使用。如今的鼠标已经没有轨迹球而是使用光电传感器，在本次设计的自发电无线鼠

标中“轨迹球”回归，不过不是用来作为信号输入设备而是用来发电。本次设计的鼠标中有一个滚动的球形磁铁，这个滚动的球形磁铁外部设计有线圈，通过小球的滚动使线圈感应发电以供鼠标使用。

### 3.3.1. 滑动发电原理

自发电无线鼠标中设计了一个磁性小球，小球的滚动方式与旧式的轨迹球鼠标类似，小球周围设计了支撑架，小球在支持架的滚子上滚动，小球底部从鼠标底部的孔与外界摩擦滚动，小球顶部由外壳上的限位管对小球进行限位。通过一系列结构保证小球可以平稳的滚动，小球滚动结构如图 4。磁性小球外部设计有感应线圈，小球滚动的时候线圈的磁通量发生变化从而感应发电。发电的类型属于动铁式发电，小球滚动的过程中磁场变化很大，线圈做切割磁感线而发电，产生的电动势是动生电动势。

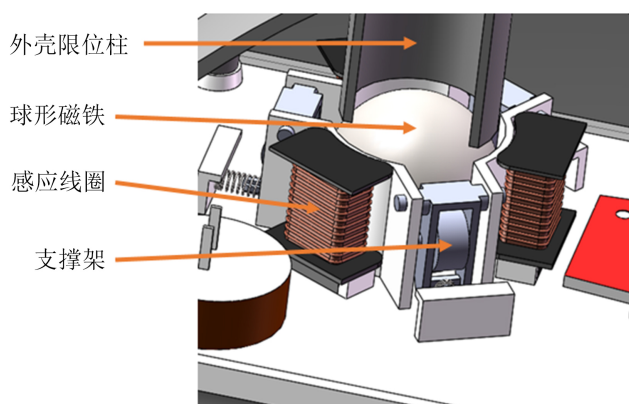


Figure 4. Rolling power generation structure  
图 4. 滚动发电结构

### 3.3.2. 滚动磁铁外壳设计

#### 1) 球形滚动磁铁运动行程设计

滚动磁铁的外壳设计要求需要保证滚动磁铁可以接触到桌面，磁铁滚动过程中尽量减小摩擦力，磁铁不能在鼠标中碰撞到其他零部件。见图 5 所示。

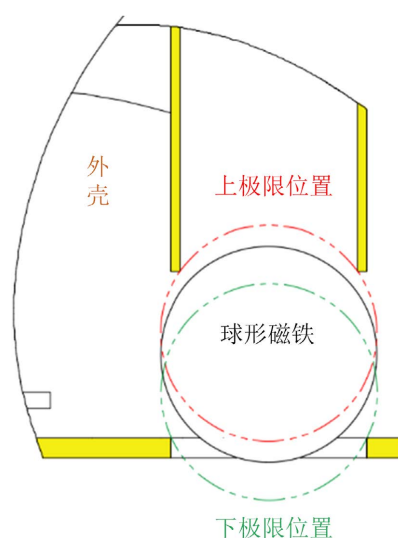


Figure 5. Spherical magnet motion limiting mechanism  
图 5. 球形磁铁运动限制机构



滚动球形磁铁选择直径 22 mm 的钕铁硼磁铁。底板开一个孔让球形磁铁从孔中接触到桌面，孔的直径设计为 20 mm，20 mm 的孔保证了小球不会掉下来同时小球有足够的上下移动空间，小球移动空间越大磁通量变化也越大，增强发电能力。滚动球型磁铁上部由外壳上的限位圆管进行限位，圆管的内径设计为 18 mm，球形磁铁在圆管轴向的力并不大，所以圆管的厚度设计为 1 mm。设计完成后磁性滚动小球可以沿垂直方向运动的行程为 5.99 mm，小球可以凸出鼠标外壳 4.31 mm。

## 2) 球形磁铁支架设计

球形磁铁在运动过程中由 3 个支撑架支撑小球，小球滚动时与支撑架上的滚子的摩擦为滚动摩擦，滚动摩擦可以有效减低摩擦力。由于支撑架零件很小，不能使用传统的轴和轴承进行旋转，支撑架采用尼龙材质，尼龙材质具有自润滑的特性可以替代轴承。零件的安装使用扣位安装，扣位可以在一些低强度低负荷的固定结构上使用，扣位零件需要结合紧密，保证测试强度，达到安装目的即可。在支架设计过程中，支架与底板的安装采用卡扣设计，底板材质为 ABS 具有弹性，支架轴直接通过底板的弹性变形安装。

滚动体与支架同意采用卡扣安装，但是由于支架的轴向距离较短，不容易产生较大的弹性变形，所以在支架的轴线两端设计了一个凸台，在凸台上开一个槽孔，延长轴向距离，让滚动体的安装更方便。带有滚动体后可以降低球形磁铁滚动过程中的摩擦力，减小滚动磁铁的磨损，延长滚动磁铁的使用时长。滚动体与支架安装后如图 6 所示。

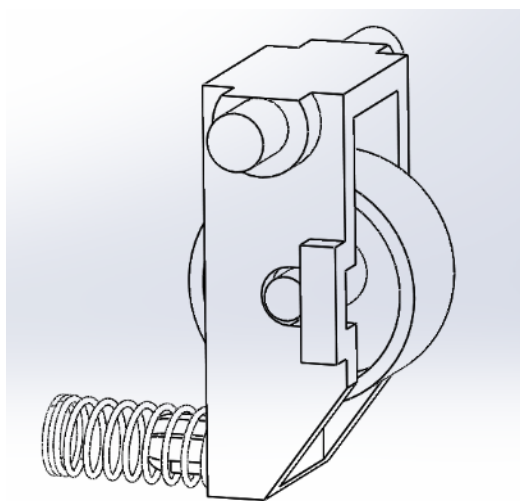


Figure 6. Spherical magnet holder

图 6. 球形磁铁支架

滚动磁性小球运动过程中其与支撑架支架的距离不断改变，因此支撑架需要使用一个弹簧来让滚动体与滚动磁铁接触，滚动磁铁的质量较小，使用市售的小型弹簧来作为压紧弹簧，弹簧安装在支架的弹簧轴上。

### 3.3.3. 滑动线圈设计

滑动发电机构外部由三个线圈，线圈绕在线圈支架上，线圈支架主要由底部卡扣和线圈骨架组成。卡扣底座为 10 mm\*5 mm 的长方体，底座固定于底板的卡槽中。卡扣和底板的装配关系限制了 X 和 Y 轴的移动，限制了 X、Y、Z 三个轴的转动。

线圈支架的 Z 轴有一个等腰三角形的卡扣进行限制，卡扣形状设计为一个 1 mm 的等腰三角形，第

三边长度为 1.5 mm，方便卡扣压入。详细设计尺寸见图 7。通过截面法设计线圈匝数，支架设计完毕后线圈截面为 1.5 mm\*12.28 mm，线圈围绕面积为 10 mm<sup>2</sup>。

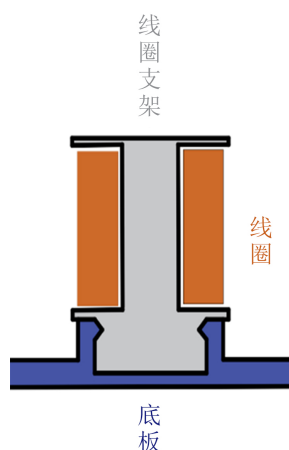


Figure 7. Coil bracket mounting structure  
图 7. 线圈支架安装结构

磁铁选择 22 mm 直径的球形磁铁，其他参数与按键发电部分相同，同为钕铁硼强力磁铁。

### 3.4. 滚轮发电机构设计

使用鼠标在进行翻页时，需要转动鼠标滚轮，尤其是在快速浏览长文档时滚轮高速转动，本次设计了一种小型发电机构，小型发电机构与滚轮轴通过一定的传动装置连接，鼠标滚轮在转动时驱动小型发电机发电，小型发电机的能量通过处理后存入电容器中。

平时使用鼠标滚轮时，有时顺时针滚动有时逆时针滚动，如果直接将发电机连接到滚轮上，发出的电流的方向势必会不停的变化，虽然可以使用整流电路将电流方向调整为恒定，但在滚轮反转的瞬间，转动的加速度会变大，转轴由于连接了发电机，转动惯量增大，直接连接就会影响鼠标的使用手感，影响控制的精准度。基于以上原因，本次设计的滚轮发电机构中设计了一个机械式“整速”电路，无论输入轴如何变换转向，输出轴的转向保持恒定方向输出。这样一来发电机的转向永远为一个方向，发电机的运转不会对滚轮产生机械冲击，提高了使用手感，保证了鼠标功能的完整。

#### 3.4.1. 发电原理

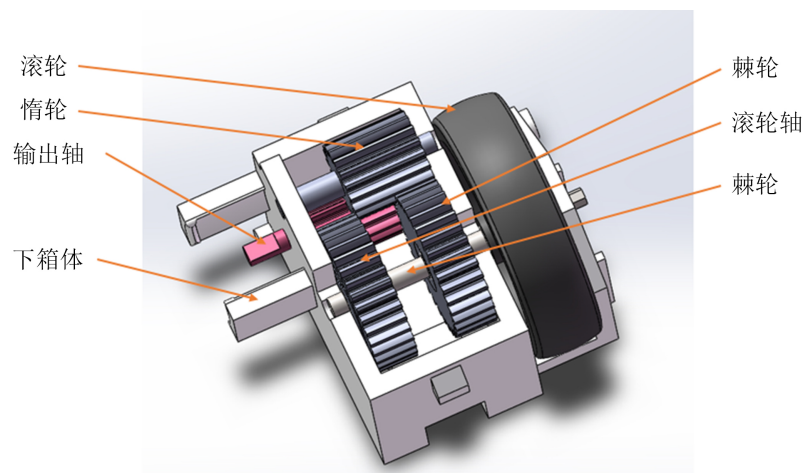
发电机是指将其他形式的能量转换为电能的机械设备。它由机械设备驱动。它将机械能转化为电能。

发电机种类繁多，但其工作原理是基于电磁感应定律和电磁力定律。因此，其构造的一般原则是利用适当的导磁材料和导电材料形成相互的电磁感应电路和电路，产生电磁功率，达到能量转换的目的。

在自发电无线鼠标中滚轮发电部分带有一个微型发电机，该微型发电机采用动铁结构，转轴为磁铁定子为线圈。线圈外部有导磁的槽。通过滚轮滚动时的扭矩驱动改发电机，发电机对外供电。

#### 3.4.2. 传动设计

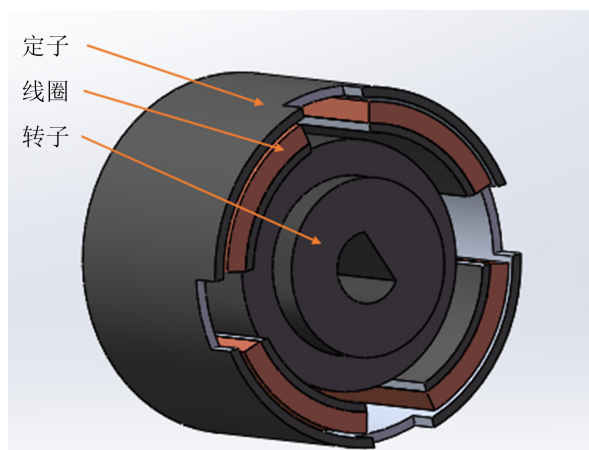
传统的发电系统使用整流的方法将发出的交流脉动电流进行整流后进行存储，自发电无线鼠标舍弃了整流的方法而使用“整速”的方法来产生稳定的电流。为了达到“整速”的效果，设计了两个反向安装的棘轮进行传动，将其中一个棘轮的转向通过惰轮进行改变，无论输入轴如何旋转，输出轴的转向保持不变。这套转向调节系统包括滚轮轴、棘轮、惰轮、输出轴和箱体的设计。装配体如图 8 所示。



**Figure 8.** Roller assembly  
**图 8.** 滚轮装配体

### 3.4.3. 微型发电机设计

自发电无线鼠标的微型发电机采用动铁的形式进行发电，磁铁加工成异形结构，磁铁末端与外壳进行装配，磁铁前端设计了一个内六角的槽与输出轴进行连接。发电机定子有线圈和支架构成，支架为导磁材料，支架上开有槽，线圈绕组固定在槽的内部。微型发电机结构如图 9 所示。



**Figure 9.** Microgenerator  
**图 9.** 微型发电机

### 3.5. 转换电路设计

发电鼠标各个发电机构发出的电并不是稳定的直流电而是脉动的交流，使用全桥式整流电路对各个发电部分分别进行第一步处理，进行整流后分别使用稳压管 MM5Z3V0T1G 对其进行稳压到 3 V，稳定后的电压经二极管 M7 充入法拉电容器，二极管 M7 的压降为 0.7 V，电容器充电后的电压为 2.3 V。电容器经过二极管 M7 降压后对鼠标电路板进行供电，供电电压为 1.6 v。电路原理如下图 10 所示。

整流桥选择 mb6s 贴片原件最大电流 0.5 A 耐压 600 V，稳压二极管使用 MM5Z3V0T1G 稳定电压为 3 V 功率 0.5 W，整流二极管为 M7 贴片二极管，该二极管管压降为 0.7 V，输出端接了一个作为降压作用。

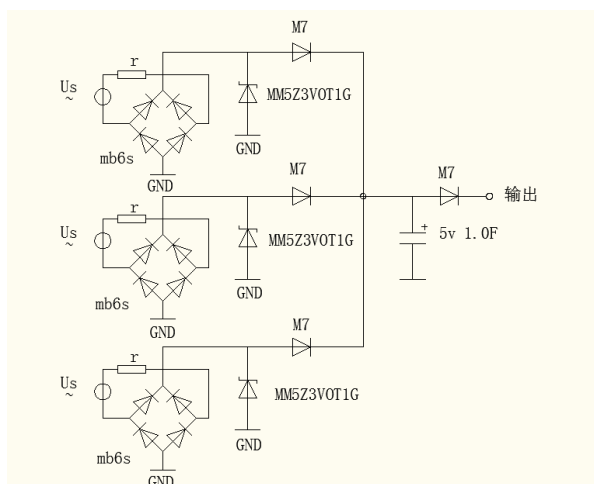


Figure 10. Switching circuit

图 10. 转换电路

### 3.6. 按键有限元分析

按键作为鼠标的主要的运动部件,本次分析选择对按键进行。在分析按键之前对按键结构进行简化,去除按键线圈部分复杂的细节,不压缩细节则会导致分析软件停止运行。

首先给按键添加材料,按键材料设置为 ABS,然后对按键进行固定,按键的固定主要有按键轴的铰链固定,按键驱动微动开关的圆柱体的滑动固定。固定好后如图 11 所示。

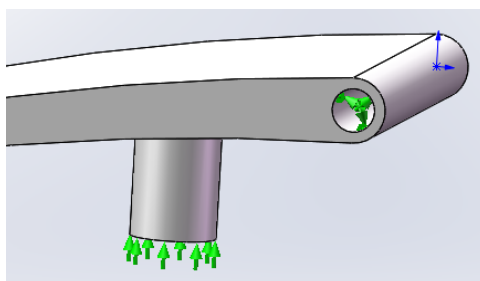


Figure 11. Key fixation

图 11. 按键的固定

固定完成后给按键添加一个压力,按键在极限情况下受到的压力设置为 2.5 N,添加玩压力后对按键进行网格化后进行分析。按键附加压力如图 12 所示。

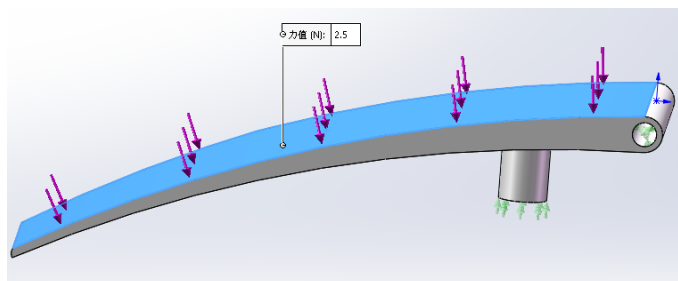


Figure 12. Pressure on the key

图 12. 按键所受压力

按键网格化如图 13 所示，网格大小 1 mm，对应力集中且重要的部分添加网格控制，控制网格大小为 0.5 mm，比率为 1.1。

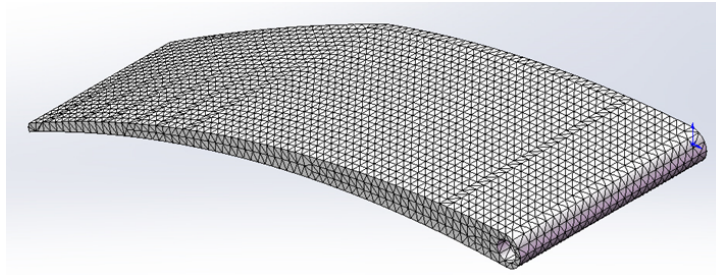


Figure 13. Grid  
图 13. 网格化

求解完成后获得应力图 14、位移图 15 和应变图 16。

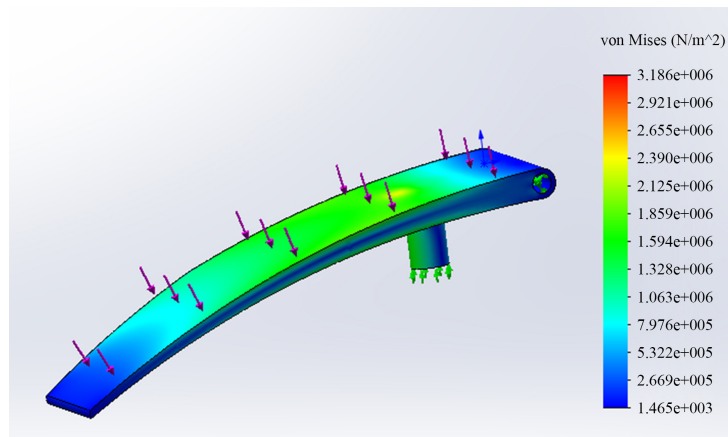


Figure 14. Stress  
图 14. 应力

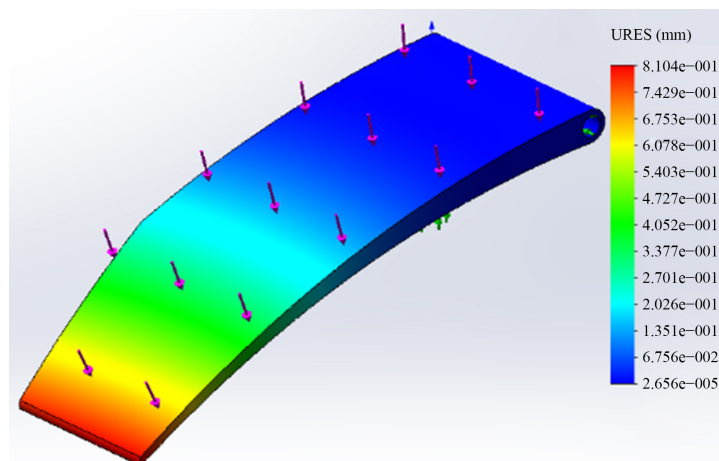


Figure 15. Displacement  
图 15. 位移图

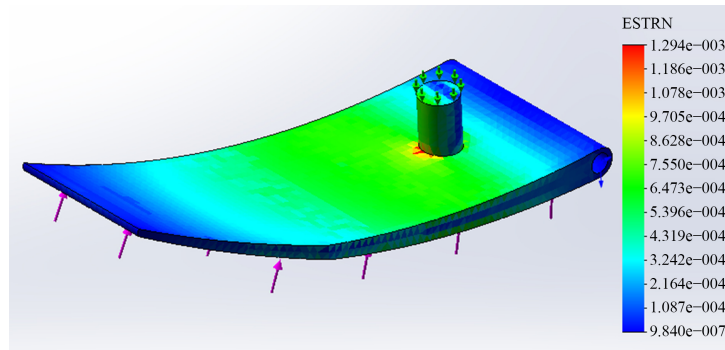


Figure 16. Strain

图 16. 应变图

根据 SolidWorks 提供的材料参数可得 ABS 材料的中抗剪模量  $3.189 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ ；张力强度  $3 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ 。本次分析结果如图 17 显示按键最大应力为  $3.186 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ ，此应力远小于材料的抗剪模量和张力强度仅为其中较小的张力强度的 1/9，强度符合使用要求。由图 15 可得最大位移为 0.81 mm 位于鼠标按键的前端，由于前端没有定位或者配合关系，运动过程中允许有变形量，0.81 mm 的变形量不影响鼠标的正常使用。最大应变位于鼠标的按键驱动圆柱的底板，且最大应变与最小应变相差了 4 个数量级，有限元分析的结果。对圆柱底部添加一个圆角，减低了最大应变。降低后如图 17 所示，应力差也降低到三个数量级。

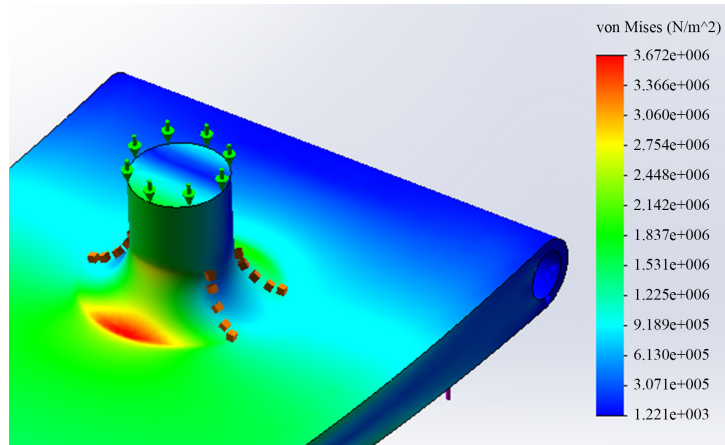


Figure 17. The strain diagram of the optimized structure

图 17. 优化结构后的应变图

通过有限元分析对按键的结构强度进行了校核，同时对结构不合理的部分进行了针对性优化，最终完成零件的设计。

#### 4. 结论

本课题自主设计了一款可以自行发电的无线鼠标，该无线鼠标充分利用鼠标使用过程中的各个运动机构进行发电。

鼠标的按键部分设计了感应线圈和感应磁铁，对感应线圈的最佳位置进行了理论分析。滑动发电部分设计了线圈的支架和磁铁的限位结构，设计了弹性支撑系统对球形磁铁进行支撑减低滑动摩擦力。滚

轮发电部分设计了棘轮调数系统对输入的扭矩进行变换后驱动发电机进行工作,本次设计的创新点亦在与此调速系统。设计完成各个发电机构后对外壳底板进行了设计,底板的结构设计比较复杂,加工难度较大,由于本次设计的材料多数为塑料包括 ABS 材料和尼龙材料,这些材料的性能都不是很了解,在设计的过程中很多相关尺寸要求都是按照金属材料来标注的。

在设计完成三维模型后偶然拆解了一个机械式转数测量仪,拆解过程中对其内部精美的齿轮传统机构而感叹,由于个人经验的不足,尤其是微小零件的设计反面严重缺乏理论和眼界,在设计过程中有很多的局限性。

自发电无线鼠标的结构设计完成后制作了电路部分,电路部分在制作过程中遇到一个麻烦的问题那就是线圈的绕制。由于不能制作一个精密的线圈导致鼠标的发电能力不能发挥。虽然鼠标目前发电仅仅停留在理论上,但是通过本次设计对鼠标的各个机构运动都进行了分析,优化一下电路工艺和机械加工工艺制作出更好的结构和电路,那么发电将不出问题。

设计完成后对自发电无线鼠标的按键进行了有限元分析,分析了按键的应力位移和应变,经过分析表明按键符合使用要求。

## 基金项目

高层次人才启动项目(XJGC20190927);贵州省科技计划项目(黔科合基础[2019] 1152 号);国家级大学生创新创业训练计划项目(项目名称为智慧梦幻鼠标,项目编号为 202114440040)。

## 参考文献

- [1] 桑杰. 磁致伸缩振动发电理论和能量采集电路的研究[D]: [硕士学位论文]. 天津: 河北工业大学, 2015.
- [2] 杜小振, 曾祥伟, 关乐, 等. 微型压电电磁振动能量采集器设计制作工艺研究[J]. 压电与声光, 2016, 38(3): 445-449.
- [3] 罗元, 万沙浪. 微型压电及磁电式能量采集器的研究进展[J]. 重庆邮电大学学报(自然科学版), 2016, 28(1): 1-8+65.
- [4] 林晨宽. 电磁式低频振动能量收集装置的设计与研究[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江工业大学, 2013.
- [5] 刘祥建, 朱莉娅. 微型电磁振动发电装置研究新进展[J]. 机械设计与制造工程, 2016, 45(6): 18-22.
- [6] 丁立群, 方玉明, 王小丽, 等. 振动能量收集结构及其电源管理电路发展现状[J]. 南京邮电大学学报(自然科学版), 2016, 36(3): 128-134.
- [7] 赵帅. 基于压电发电的环境信息监测节点自取能技术研究[D]: [硕士学位论文]. 太原: 太原理工大学, 2016.
- [8] 郝汉. 如何用楞次定律判断感应电流的方向[J]. 农村电工, 2010, 18(9): 29.
- [9] 王鹏. 可控超越离合集成系统的设计方法与非线性特性研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 北京交通大学, 2014.