

基于轨道按压式的智能插座的设计与分析



郭义, 姜世坤, 刘佳佳^{*}, 李晓骞, 何雨洁, 王府, 卢元奎, 胡延杰

临沂大学机械与车辆工程学院, 山东临沂 276000

摘要: 为解决插排因触水和误触造成的安全性问题, 导致大功率电加热设备的用电安全隐患、充电型用电设备及插座本身寿命降低和电能浪费等问题, 本文提出了一种基于轨道式插排按压弹出插头的设计和 STC89C52 为核心的无线控制智能插座, 无线通信控制采用 NRF24L01 芯片。其中, 本设计主要对插排的机械结构进行设计与分析, 并结合静力学理论优化插排的结构, 实现其可行性。利用 Solid Works 软件对插排三维建模, 对其机械部件进行静力学分析, 得到插排在负载状态下凸轮结构的受力和变形情况云图。最后, 通过插排在各种工况下的变形云图, 验证插座中的轮系结构的合理性和可行性。本设计主要利用凸轮结构按压弹出及轨道式圆盘插排, 该插排最大的特点在于安全性、可靠性和经济性。

关键词: 安全插排; 凸轮结构; 按压通/断电; 轨道式插座; 静力学分析

DOI: [10.57237/j.mse.2023.01.001](https://doi.org/10.57237/j.mse.2023.01.001)

Design and Analysis of Smart Socket Based on Track Pressing

Guo Yi, Jiang Shikun, Liu Jiajia^{*}, Li Xiaoqian, He Yujie, Wang Fu, Lu Yuankui, Hu Yanjie

School of Mechanical and Vehicle Engineering, Linyi University, Linyi 276000, China

Abstract: To solve the safety problems of the plug and row caused by touching the water and mistakenly touching, which leads to the hidden danger of electricity for high-power electric heating equipment, charging type electric equipment and the life of the socket itself is reduced and the electricity is wasted, this paper proposes a design based on the orbital plug and row pressed to eject the plug and STC89C52 as the core of the wireless control smart socket, wireless communication control using NRF24L01 chip. Among them, this design mainly designs and analyzes the mechanical structure of the plug and combines the static theory to optimize the structure of the plug and realize its feasibility. Solid Works software is used to model the plug and row in three dimensions, and its mechanical components are analyzed statically to obtain a cloud diagram of the force and deformation of the cam structure of the plug and row under the load condition. Finally, the deformation cloud diagram of the socket under various working conditions is used to verify the rationality and feasibility of the wheel system structure in the socket. The design mainly uses the cam structure to press the pop-up and orbital disc socket, and the biggest features of this socket are safety, reliability, and economy.

Keywords: Safety Plug and Socket; Cam Structure; Press on/off Power; Rail Type Socket; Statics Analysis

基金项目: 临沂大学大学生创新创业训练计划项目资助 (No. S202210452087), (No. X202210452428), (No. X202210452442).

*通信作者: 刘佳佳, liujajia@lyu.edu.cn

收稿日期: 2023-04-06; 接受日期: 2023-05-23; 在线出版日期: 2023-06-15

<http://www.mechscieng.com>

1 引言

随着中国民用电力和家用电器不断发展，人民群众的生活日益丰富，但与之而来的还有每年日益增高的因触电身亡的人数，每年因触电死亡的人数不仅是令人触目惊心的数字，还是一个个惨痛的案例，而设计一款避免触电风险的新型插排，是十分有必要的[1]。传统的插座只考虑在一定的场景下使用，而其最大的缺点就是固定不可移动，当生活中需要远距离用电时，由于传统插座不可移动的缺陷，会为我们的生活带来不便[2]。并且日常使用是需要频繁的用手去触摸来实现插头与插排的通断电。而在特定场景下，例如手上沾水时，用手直接触摸插座会带来无法预料的触电风险[3]。

而轨道式插座的设计结构可以有效避免传统插座不可移动的缺点。轨道插座由插座主体和移动轨道组成，不用在墙上开槽埋电线，只需要将我们需要移动的轨道安装在墙上即可，同时还可以随意改变插座数量[4]。轨道插座可以在滑轨上随心所欲地移动，以便应对各种使用场景[5]。凸轮结构在被发明之后被广泛应用在各处，可靠性高。同时其简单的结构使得产品小巧化袖珍化，使得产品兼具方便性和实用性。轨道式圆盘插排设计可以使空间利用率更高，解决常规插排插头拥挤现象。加上基于凸轮结构的按压式弹出电器插头，使产品更加方便[6]。

2 整体结构设计

为了解决插头插拔反复接触不良的安全问题，克服现有防触电保护措施的不足，本文设计了一种方便插拔的防触电安全充电插座，其外观如图 1 所示。该安全充电插座的本体部分结构尺寸与传统 C3 插座类似，在其内部增加辅助防护结构，可以完全替换现有插座具有广泛的适用性[7]。

本插排包括机械机构和电路结构。其中，机械结构，通过不同模块的相互配合实现插排功能插排由卡扣相互结合，通过螺丝和螺母配合，完成不同器件的固定[8]。通过各个部分的相互配合实现插排运行，插排控制示意图，如图 1 所示。

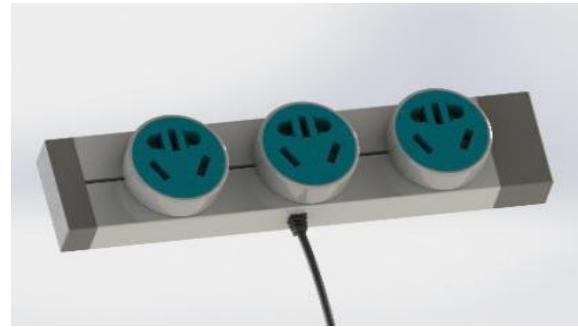


图 1 插排渲染图

2.1 机械结构

2.1.1 凸轮结构

凸轮结构通过按压按键，按键下方锯齿推动凸轮上部锯齿，从而将按键的直线运动转化为旋转运动，在底部弹簧的弹力作用下，按键向上运动，上凸轮上部凸齿与内壁锯齿结构接触，从而完成按压锁住的通电效果。当再次按压按键时，凸轮再次发生旋转，在弹力作用下，凸轮上的锯齿进入内壁导轨，从而完成弹出动作。

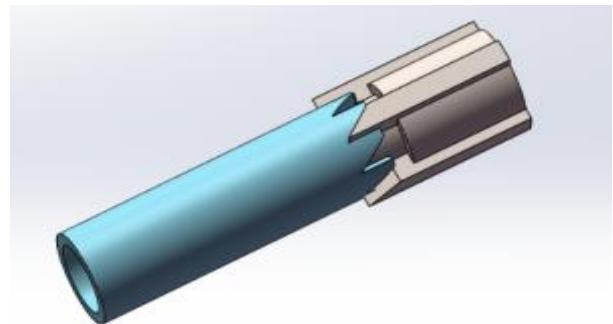


图 1 控制示意图

2.1.2 滑轨机构

滑轨结构中的导电部分在滑轨内部，滑轨外表面接地，保证插排的用电安全性。滑轨内有火线、零线和地线三组导电铜条，铜线连接电路，插座模块上存在导电片，电力轨道安装有接口，当滑轨插排的专用插座放入轨道后，导电部分与专用插座连通，实现插排的正常工作。

根据经典力学理论可知，插座滑轨结构的动力学通用方程为：

$$M\ddot{x} + C\dot{x} + Kx = F(t) \quad (1)$$

$$Kx = F \quad (2)$$

式中, M 是质量矩阵; C 是阻尼矩阵; K 是刚度矩阵; x 是位移矢量; \dot{x} 是力矢量; \ddot{x} 是速度矢量; \ddot{x} 是加速度矢量。

而在实际计算中, 与时间相关的量都将被忽略, 则上式简化为:

2.2 电路结构

插排断电电路如图 2 所示, 凸轮结构处的传感器提供给单片机 STM51 的信号, 使其实现于电流过大时自动断电。

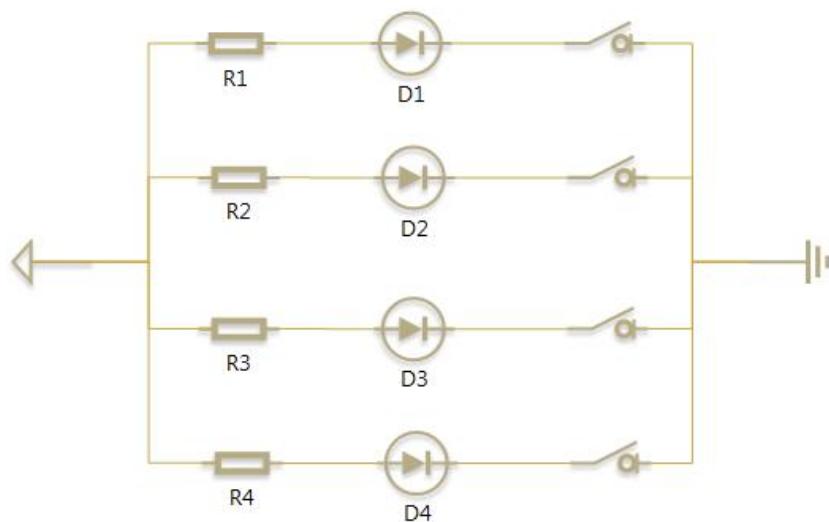


图 2 电路结构

从单片机硬件电路结构图如图 4 所示, 智能插座从单片机硬件电路主要包括从单片机 STM51、无线接收模块 nRF24L01、继电器驱动模块 ULN2003、继电器、DS18D20 温度采集模块、LCD 温度数据显示模块等[9]。从单片机同样选用 STM51 单片机, 具有实现无线数据传输可靠稳定, 低功耗, 编程简单等特点。

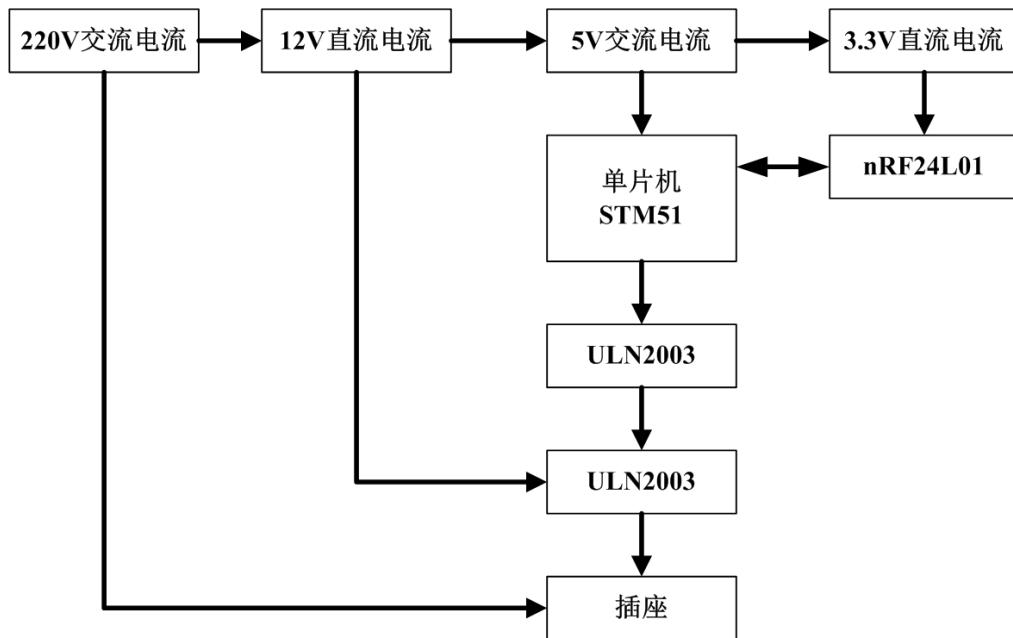


图 4 从单片机硬件电路结构图

其中，无线接收模块 NRF24L01（设置为接收模式）具有自动应答和自动再发射、片内自动生成报头和 CRC 校验码等功能，利用继电器驱动模块 ULN2003 控制继电器线圈电流接通或者断开，实现插头与插座的接通或者断开与 220V 交流电源的连接，实现对用电设备供电的接通或者断开功能[10]。如图 5 所示，为 NRF24L01 工作原理图。

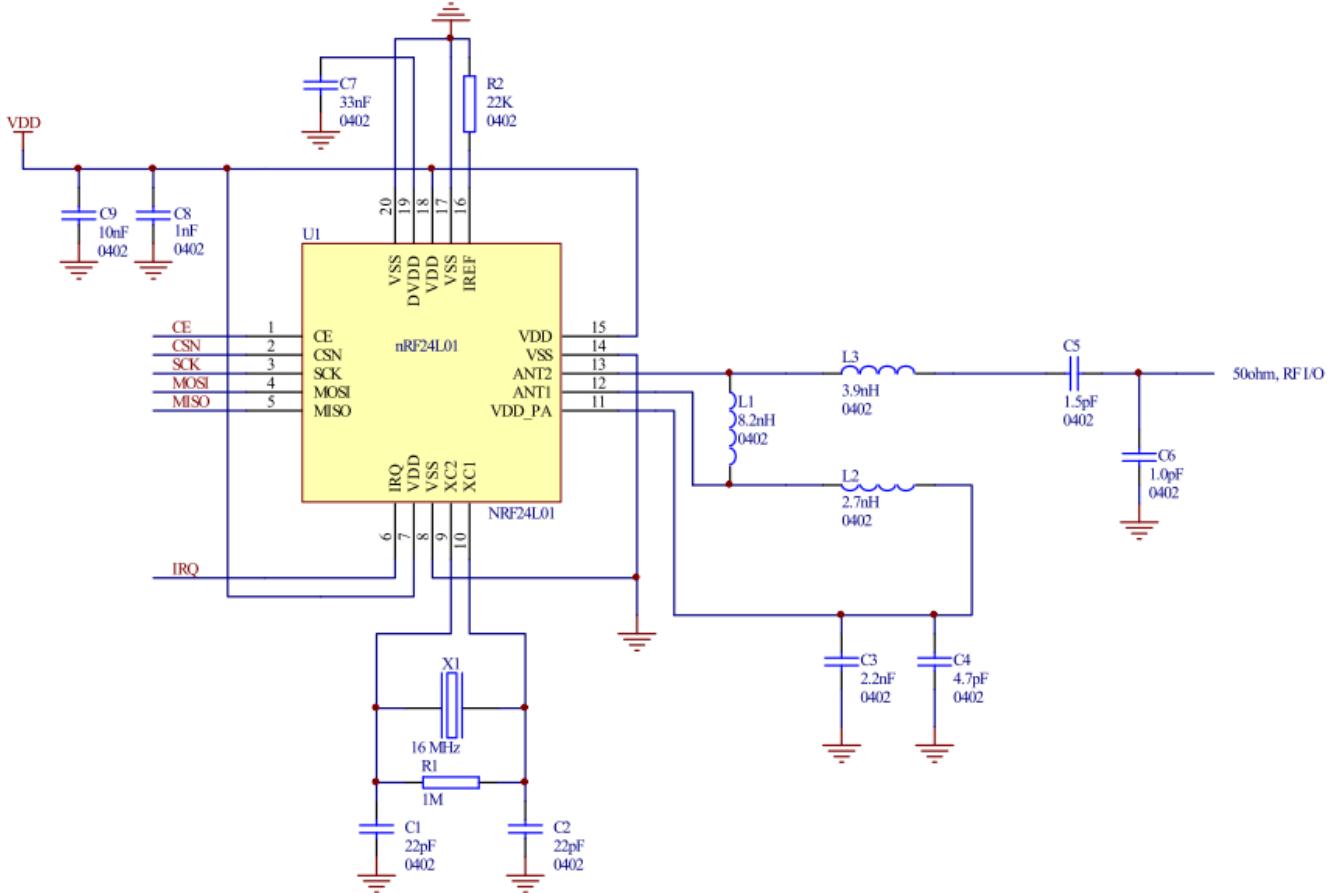


图 5 NRF24L01 工作原理图

轨道按压式插座结构装置在长期使用过程中，插接点容易发热而引起故障，发热的原因主要是电流流过接触点时在接触电阻上的热损耗[11]。为了使插座结构装置设计更加完善、安全可靠，应使接触电阻尽可能小，尽可能使接触电阻有一个稳定的数值，为此来分析影响接触电阻的诸多因素。

接触电阻的计算公式：

$$R_j = \frac{K_j}{(0.102F)^m} \quad (3)$$

式中：F 为接触压力 (N)； R_j 为接触电阻 (； m 为与接触形式有关的系数，从数据表中查出查的 (0.7~0.8)； K_j 为与接触材料、表面情况、接触方式

有关的系数 ($K_j = 100$)。

在轨道按压式插座中，温度较高的元件将热量传递给与之接触的温度较低的 PCB 板，PCB 板内部温度较高部分热量传递给温度较低部分都是属于热传导[12]。

在热传导过程中的轨道按压式插座的内部温度场满足某个微分方程，即热传导微分方程（假设和均为常数）。

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{\rho c} \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) + \frac{q_v}{\rho v} \quad (4)$$

对于稳态热传导，公式可以简化为：

$$\frac{\lambda}{\rho c} \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) + \frac{q_v}{\rho v} = 0 \quad (5)$$

在此，不考虑材料的密度 ρ 和比热 c 。把热流矢量和温度梯度联系起来，得到：

$$q = -\lambda \left(i \times \frac{\partial t}{\partial x} + j \times \frac{\partial t}{\partial y} + k \times \frac{\partial t}{\partial z} \right)$$

或

$$q = -\lambda \text{grad}t$$

2.3 传感器及其功用

传感器部分由安置在插排内的各种传感器组成，该部分负责对插排中情况做实时监控，再根据传感器采集到的实时信息反馈到电路控制器，提高插排的安全性[13]。

3 插排机械结构模型静力学分析

本文运用了 Solid Works 软件的 Simulation 对插排凸轮结构和插座部件进行了负载状态下的静力学特性进，具体过程如下：



图 6 凸轮结构

3.1 凸轮结构静力学分析

在负载的情况下，凸轮均匀分担载荷，则可得出作用扭矩，可以得到上下凸轮的应力变形图，如图 7 所示。

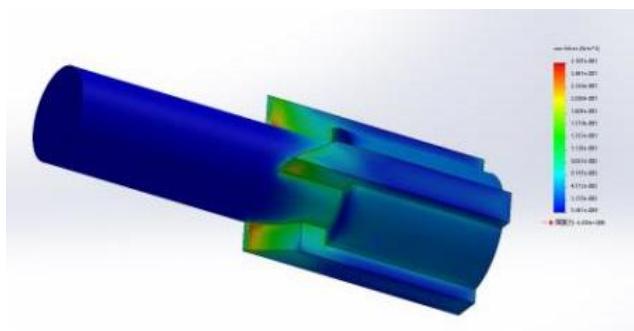


图 7 下凸轮应力变化图分析

如图所示，在施加负载的情况下，对上凸轮结构的各方向应力变形进行静力分析，确定凸齿接触点形

变程度最大[14]。

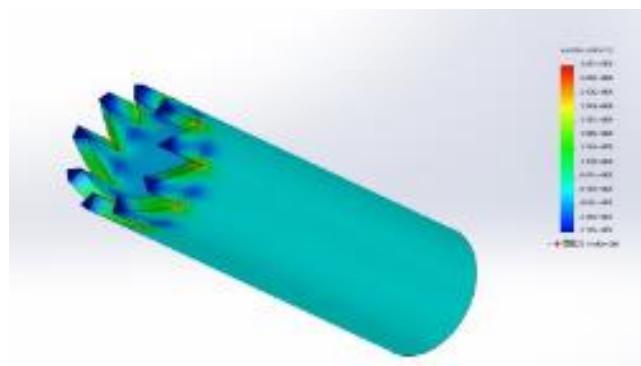


图 8 上凸轮应力分析

同样在负载下对下凸轮结构进行扭矩和静力分析，确定扭矩造成的变形在齿根处最大。

3.2 插座部件静力学分析

在约束和附加载荷的情况下，插排底座均匀分担荷载[15]。选择最大载荷及其重力载荷，对底座进行静力学分析，得到插排底座应力变形图，如图所示。

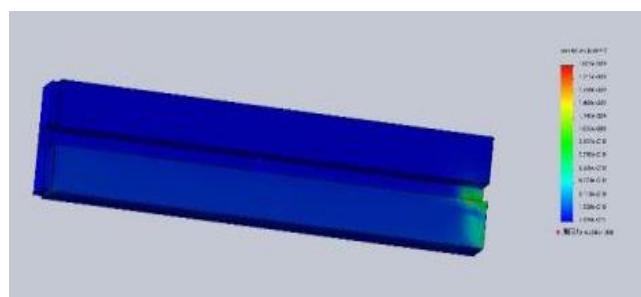


图 9 插排底座应力分析

在施加了负载力和车身自重的情况下，对插排滑轨的各方向应力变形情况进行分析。在静力学情况分析得出，在插排底座均用分布情况下，其右侧边框连接处最易发生应力变形。

4 结语

目前国内插排产品成熟，其在日常生活中广泛应用。但在不久的将来，多功能智能插排必将进入高速发展阶阶段。基于以上背景分析，通过对新型按压式插排进行设计，研究其凸轮结构，滑轨结构等机械结构静应力和动应力分析，对该插排的各处受力情况进行优化改进，以得到更加合理的插排结构设计，确保插排的简洁化、实用化、环保化，使其在将来具有广阔

的应用方面[16]。下一步将围绕基于轨道按压式的智能插座产品的智能化及结构优化进行研究。

参考文献

- [1] 张新星. 基于 Android 手机的智能插座设计 [D]. 浙江大学, 2014.
- [2] 殷振凯, 王中训, 刘培学. 基于单片机和云平台的模块化智能插座设计 [J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2022, 22 (11): 62-64.
- [3] 张本裕, 李昌奇. 基于无线网络的智能插座设计 [J]. 2022 (9): 133-134.
- [4] 张余明, 郭振军. 基于 STM32 的智能插座系统设计 [J]. 物联网技术, 2021, 11 (5): 42-44.
- [5] 梁李柳元. 基于 STM32 的无线红外智能插座系统设计 [J]. 现代电子技术, 2015, 38 (19): 156-158.
- [6] 谭一柳, 江淘, 王轩. 智能插座控制系统的设计 [J]. 电子测试, 2022, 36 (22): 30-32.
- [7] Tsai K L, Leu F Y, You I. Residence Energy Control System Based on Wireless Smart Socket and IoT [J]. IEEE Access, 2017, 4: 2885-2894.
- [8] 刘继中. 一种基于 WiFi 的智能插座控制系统设计与实现 [D]. 大连海事大学, 2016.
- [9] Marco S, Francesco G. A SMART SOCKET AND MONITORING AND CONTROL SYSTEM USING SAID SOCKET:, EP3549227B1 [P]. 2021.
- [10] 王志愿. 按压式安全电插排 [J]. 包装工程, 2019, 40 (10): 1.
- [11] Greenwald R M, Dean R C, Board W J. Volume Management: Smart Variable Geometry Socket (SVGS) Technology for Lower-Limb Prostheses [J]. JPO Journal of Prosthetics and Orthotics, 2003, 15 (3): 107-112.
- [12] 王乾丞, 吴俊宏, 邓永烈, 等. 一种防脱落弹出式的插头插座结构;, CN209119469U [P]. 2019.
- [13] 唐春兵. 一种防水防尘式电动自行车插头及插座;, CN113823947A [P]. 2021.
- [14] 窦建博, 吴清玉. 一种防触电防脱落插座;, CN113078495A [P]. 2021.
- [15] 张宗芳. 一种可视化智能防触电安全保护电子围栏设计与研究 [J]. 微计算机信息, 2022 (003): 000.
- [16] 林璐, 戴飞杰. 一种安全插座模块、嵌入式插座及移动插排;, CN207542444U [P].