

DOI: 10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2021.04.025

基于虚拟样机技术的一种智能花卉设计

邹俊俊,冯岩,冯小庭,毛骏

(西安铁路职业技术学院,陕西 西安 710014)

摘要:传统的城市景观主要以仿真花和景观灯为载体,功能单一、人景交互性不足。为满足市场需求设计了一款智能花卉,在普通仿真花的基础上增加发光装置、传感器装置、运动装置、控制单元等模块,实现仿真花的仿生运动和自动控制。设计过程中采用 CATIA 数字样机技术和 3D 打印技术,缩短了设计周期。通过组合机构运动装置实现花卉的“开花”过程,并通过系统仿真得出机构运动参数以及之间的关系。

关键词:智能花卉;虚拟样机;组合机构;3D 打印;智能控制

中图分类号:TH122 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2021)04-0097-04

Intelligent Flower Design Based on Virtual Prototype Technology

ZOU Junjun, FENG Yan, FENG Xiaoting, MAO Jun

(Xi'an Railway Vocational and Technical College, Xi'an 710014, China)

Abstract: With the simulation flower and landscape lamp as the carriers, the traditional urban landscape is single in function and insufficient in human scenery interaction. To meet the market demand, an intelligent flower based on common simulation flower was designed by installing modules such as luminescence device, sensor device, motion device and control unit to realize the simulation flower movement and automatic control. In the designing, the CATIA digital prototype and 3D printing technologies were adopted, which shortened design period. Through the combined mechanism motion device, “flowering” movement has been achieved, and the motion parameters in the mechanism and their relationship have been obtained through system simulation.

Keywords: intelligent flower; virtual prototype; combination mechanism; 3D printing; intelligent control

0 引言

随着经济发展和城市化的进步,城市景观已经成为必不可少的城市名片,它是体现城市文化生活品质的重要标志之一。现有城市景观多在造型设计、灯光效果两个维度上进行组合,以追求“立体、动态”的美感,但从本质来说仍属于平面景观及静态景观,仍存在以下几点不足:一是缺乏城市自身特点,千城一面;二是景观功能单一,无法实现人景互动。人们参观传统人文景观时,很难融入主题当中^[1-2]。

因此,本文阐述了在普通仿真花设计的基础上,增加造型结构、照明结构、检测装置、机械运动装置、辅助装置五大部分创新设计,为静态景观赋予“生机”,在造型、灯光、运动、交互性四个维度上展现科技、艺术之美,提高城市景观品质,打造多元化城市文旅新格局。

1 智能花卉设计思路和整体结构

本产品的整体设计思路为:利用超声波传感器检测范围内是否有人或者车辆经过,将检测信号输出至单片机控制核心;根据程序算法输出控制指令,控制灯光模块产生颜色、明暗变化,同时控制运动机构中的伺服电机驱动整

个机械结构运动,以控制花瓣的开合,向游客输出景观的色彩、运动姿态变化,使游客获得参与式、交互式的观景体验。整体设计方案如图 1 所示。

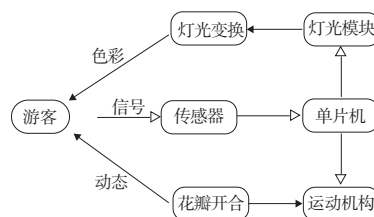


图 1 产品整体设计方案

按照上述设计思路本产品的具体结构如图 2 所示,由造型结构、照明装置、检测装置、机械运动装置、辅助装置五大部分组成。

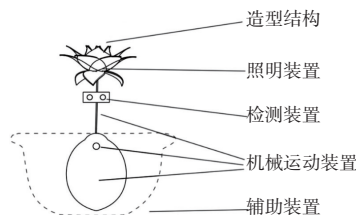


图 2 一种“4D”智能花卉景观产品结构示意图

基金项目:西安铁路职业技术学院 2019 年院级课题研究项目(XTZY19G04)

第一作者简介:邹俊俊(1984—),男,陕西安康人,讲师,硕士,研究方向为机械结构与金属材料。

1) 结构造型

智能花卉的结构造型步骤如下:1)通过逆向工程建模,以3次B样条曲线缩放参数生成叶片和花瓣的曲面造型结构,再将其数字模型导入3D打印机,高效快速制作出各种仿真花卉,然后安装固定在特制的骨架上,使其保持花卉的造型和美感;2)通过CATIA三维设计和3D打印技术制作的花瓣造型。通过胶粘剂附着于定制专用骨架。

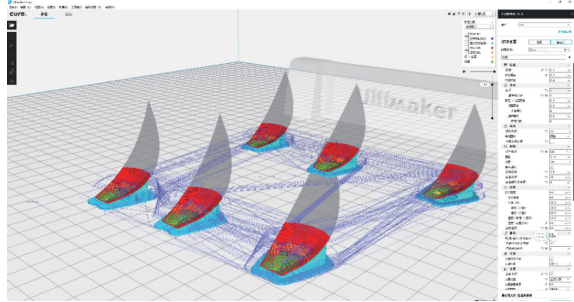


图3 花瓣结构3D打印切片模型

2) 照明装置

智能花卉的照明装置采用LED发光二极管+太阳能电池的组合,通过太阳能面板在白天吸收能量,到夜间时,当传感检测装置检测到行人和车辆通过时,启动LED发光二极管。

3) 检测装置

检测装置由超声波传感器和STM32F103单片机构成。利用STM32F103单片机定时器在5~10μs内产生高电平脉冲信号,超声波传感器接收到脉冲信号,发射向外的声波,遇到障碍物发生反射,经过电路处理滤波放大,再次送入STM32F103单片机^[3]。

4) 机械运动装置

根据花卉仿生原理,花瓣运动应为间歇运动。因此智能花卉使用伺服电机作为动力元件,以凸轮-连杆组合机构作为传动机构,以单片机为控制元件,以上述花瓣造型部分作为执行元件,将伺服电机输出的回转运动转换为执行元件的开合运动,模拟花开与花谢的动作^[4]。

2 花瓣运动组合机构分析与仿真

1) 花瓣运动机构位置分析

本产品以凸轮-连杆组合机构实现其功能,其运动简图如图4所示。凸轮机构采取对心直动布置形式,滚子从动件采取匀速运动规律上升和下降,同时为了保证凸轮在两个休止位之间运行时,连杆机构实现花瓣在0°~60°范围开合,滑块的行程范围须与下一步中的凸轮从动件行程范围相同。

运动机构的整体工作原理如图5所示。当单片机输出指令后,在伺服电机带动下,盘形凸轮机构从远休止点开始启动,此时花瓣处于闭合状态。随着盘形凸轮顺时针旋转,从动件开始回落,凸轮转角达到180°时,完成回程,凸轮机构达到近休止点,从动件位移处为0,花瓣执行机构处于“开花”状态。随后在近休止点保持一段时间,经过推程从动件继续上升至原来的位置,花瓣闭合。

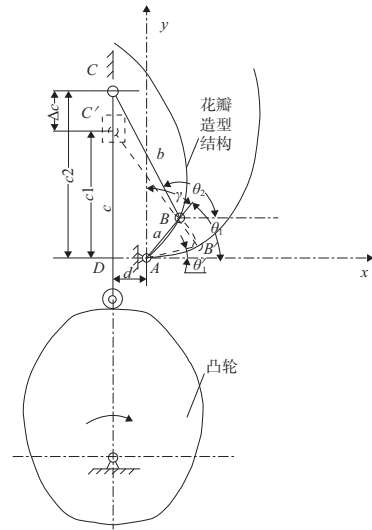


图4 花瓣机构运动简图

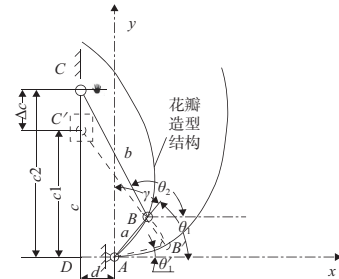


图5 曲柄滑块机构运动简图

该机构上半部分可以简化为一个偏置曲柄滑块装置,采用解析法进行该机构的运动分析,首先建立该机构的封闭矢量位置方程如下^[5]:

$$L_1 + L_2 - L_3 + L_4 = 0 \quad (1)$$

$$\text{可写为: } ae^{j\theta_1} + be^{j\theta_2} - ce^{j\theta_3} + de^{j\theta_4} = 0 \quad (2)$$

式中: L_1 为曲柄AB的矢量形式; L_2 为连杆BC的矢量形式; L_3 为滑块中心到x轴的矢量形式; L_4 为滑块偏心距的矢量形式; θ_1 、 θ_2 、 θ_3 、 θ_4 为图中构件AB、BC、CD、DA与坐标轴x的方位角。利用欧拉变换将式(2)实部和虚部分离改写可以得到:

$$a\cos\theta_1 + b\cos\theta_2 - c\cos\theta_3 + d\cos\theta_4 = 0 \quad (3)$$

$$a\sin\theta_1 + b\sin\theta_2 - c\sin\theta_3 + d\sin\theta_4 = 0 \quad (4)$$

根据机构几何条件可知 $\theta_3 = 90^\circ$, $\theta_4 = 0^\circ$,已知曲柄长度 $L_1 = 30\text{ mm}$,偏距 $L_4 = 10\text{ mm}$,花瓣张开的角度 γ 约为 $0^\circ \sim 60^\circ$,由图中几何关系得到 $\theta = 90^\circ - \gamma$,故 θ_1 的两个极限值为 30° 和 90° ,滑块行程 Δc 和连杆方位角 θ_2 为待求。联立式(3)和式(4),求得:

$$c = \frac{a\sin\theta_1 + b\sin\theta_2 + d\sin\theta_4}{\sin\theta_3}$$

$$\theta_2 = \cos^{-1}\left(\frac{-d\cos\theta_4 + c\cos\theta_3 - a\cos\theta_1}{b}\right)$$

$$\text{解此方程组得到: } \begin{cases} \theta_2 = 104.5^\circ \\ c = 68.4\text{ mm} \end{cases}, \begin{cases} \theta_2' = 154^\circ \\ c' = 32.2\text{ mm} \end{cases}$$

由此可知滑块的行程范围 Δc 为

$$\Delta c = c - c' = 36.2 \text{ mm}_0$$

2) 花瓣运动机构速度和加速度分析

式(2)对时间 t 求一阶导数,可得机构中各构件的速度为

$$ja \frac{d\theta_1}{dt} e^{j\theta_1} + jb \frac{d\theta_2}{dt} e^{j\theta_2} - jc \frac{d\theta_3}{dt} e^{j\theta_3} + jd \frac{d\theta_4}{dt} e^{j\theta_4} = 0 \quad (5)$$

由于 θ_4 为常数,其导数为 0,故可消去得到式(6)。

$$jae^{j\theta_1} + jb\omega_2 e^{j\theta_2} - jc\omega_3 e^{j\theta_3} = 0 \quad (6)$$

使用欧拉恒等式带入式(5),分离实部和虚部,联立得到连杆的旋转角速度 ω_2 和滑块的线速度 V_c 如下^[6]:

$$\omega_2 = -\frac{a \cos \theta_1}{b \cos \theta_2} \omega_1, V_c = -a\omega_1 \sin \theta_1 - b\omega_2 \sin \theta_2 \quad (7)$$

由于加速度又是速度的一阶导数,故式(5)对时间继续求导可以得到此机构中各构件运行的加速度如下:

$$(ja\alpha_1 e^{j\theta_1} + j^2 \omega_1^2 \alpha_1 e^{j\theta_1}) + (jb\alpha_2 e^{j\theta_2} + j^2 \omega_2^2 \alpha_2 e^{j\theta_2}) - \ddot{c} = 0 \quad (8)$$

继续使用使用欧拉恒等式带入式(5),分别将实部和虚部独立成式,联立并求解可以得到连杆的角加速度 α_2 和滑块的线加速度 \ddot{c} 如下:

$$\alpha_2 = \frac{a\alpha_1 \cos \theta_1 - a\omega_1^2 \sin \theta_1 + b\omega_2^2 \sin \theta_2}{b \cos \theta_2} \quad (9)$$

$$\ddot{c} = -a\omega_1^2 \cos \theta_1 - b\alpha_2 \sin \theta_2 - b\omega_2^2 \cos \theta_2$$

根据上述方程即可求出此机构各构件在运动过程中的速度和加速度。

2) 花瓣运动机构仿真分析

为了验证本产品的运动规律是否能够满足设计要求,通过 CATIA 建立相关零件的三维模型并按照尺寸约束进行装配,得到机构的虚拟数字样机如图 6 所示。对所有零部件赋予相应的材质参数后,导入 CATIA 中的 DMU 运动仿真分析模块进行分析。原点设定为曲柄的旋转中心, x 方向设置为水平向右, y 方向设置为水平向上,模拟产品实际工作状态。根据调研结果,花瓣开合时间一般设定为 12 s,即曲柄往复摆动时间为 12 s,故曲柄的平均角速度 $\omega_1 = 5 \text{ deg/s}$ 。按照此速度曲柄进行顺时针旋转至限位后回摆至初始位置进行仿真。

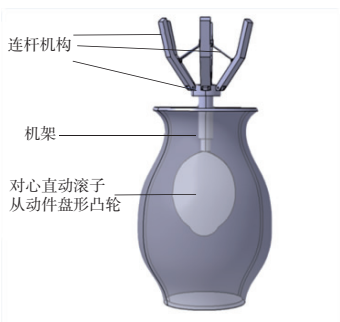
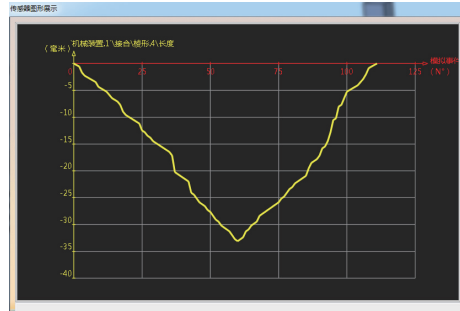


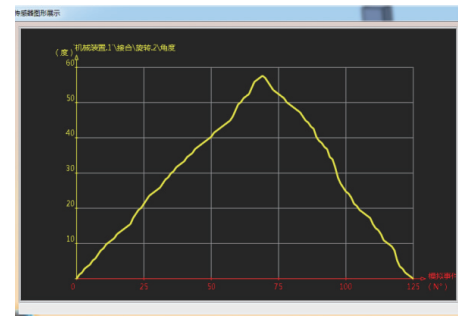
图 6 CATIA 中组合机构模型总装图

本产品滑块装置运动位移线图如图 7 所示。由仿真结果看出其行程范围约为 34 mm,且滑块在两个极限位置之间运动过程中曲柄的摆角范围约在 $0^\circ \sim 58^\circ$ 内。此结果说明滑块的行程在图示范围内时,机构能够完成“花瓣”的开合运动。由于本设计采用了凸轮-连杆的串联组合机构,滑块的行程范围还可以作为下一步凸轮轮廓曲线设

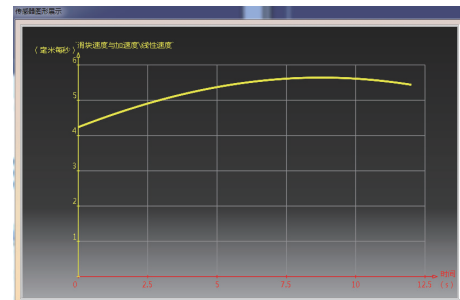
计的重要依据。



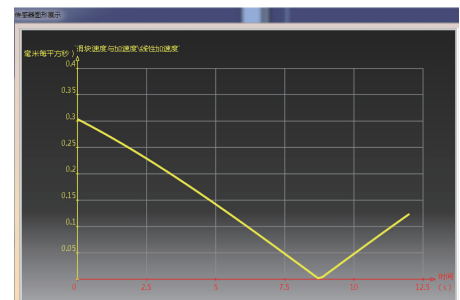
(a) 滑块运动行程曲线图



(b) 曲柄摆角范围曲线图



(c) 滑块线速度曲线图



(d) 滑块加速度曲线图

图 7 “花瓣”运动机构仿真结果

滑块的线速度和加速度如图 7(c)、图 7(d) 所示。由图线可以看出其速度波形的峰值约为 5.8 mm/s ,其运动过程为加速运动且加速度先减小后增大。因此在运动开始瞬间机构的加速度最大,由仿真结果看出此时加速度的峰值约为 0.3 mm/s^2 ,但由于滑块采用的是 ABS 工程塑料 3D 打印制作而成,其质量 m 约为 100 g 左右,故此机构所受的最大瞬时冲击力 $F_{\max} = 3 \times 10^{-4} \text{ N}$,对组合机构的整体强度和稳定性产生的影响较小,机构整体运动平顺,能够实现设计要求。

3 结语

本产品的设计与制作是将现代科技与传统景观结合的一次大胆尝试。产品设计过程中采用了虚拟样机技术,优化了工业设计到结构制造的整个流程。同时利用3D打印这种快速成型技术,直观了解结构设计的弊端并及时修正,降低设计与制造之间的时间成本,有利于产品的推进与优化,提高工作效率。在控制单元上使用单片机和传感器实现了产品的自动化控制,通过后续的产品软件系统完善,还可以实现“智慧夜景”的升级。本产品的推广使用将带动仿真花市场和旅游业的发展,具有良好的社会效益。

参考文献:

- [1] 温全平,詹颖. 交互性景观设计理论与方法初探[J]. 设计, 2018(3):70-72.
- [2] 匡纬. “人机交互技术”支持下的“动态”景观设计未来[J]. 风景园林, 2016(2):14-19.
- [3] 武宏涛,武丹,杨洋,等. 基于STM32的汽车轮胎胎压与温度监测系统[J]. 工业仪表与自动化装置, 2020(4):92-95.
- [4] NEIL Sclater, NICHOLAS P Chironis. 机械设计实用机构与装置图册[M]. 邹平,译. 北京:机械工业出版社, 2007.
- [5] 孙桓,陈作模,葛文杰,等. 机械原理[M]. 8版. 北京:高等教育出版社, 2013.
- [6] 罗伯特·诺顿. 机械设计[M]. 5版. 黄平,译. 北京:机械工业出版社, 2017.

收稿日期:2020-08-26

(上接第76页)

频率对应的转速160 692 r/min即为主轴的1阶临界转速,而本电主轴的最高工作转速为18 000 r/min,远远低于其1阶临界转速的75%,可以有效避免共振现象的发生,故该电主轴的工作转速是安全的。

表2 前6阶固有频率、振型及对应的临界转速

阶次	固有频率/Hz	振型	临界转速/(r/min)
1	2 678.2	弯曲	160 692
2	2 689.1	弯曲	161 886
3	2 822.2	轴向运动	169 332
4	4 283.5	轴向运动	257 010
5	6 267.3	摆动	376 038
6	6 281.3	摆动	376 878

5 结语

1) 电主轴的结构相对简单,但在高速运转时整个系统变得十分复杂。运用仿真研究是一种先进的方法,具有计算精度高、节约成本、缩短产品研发周期等优点,借助ANSYS有限元分析软件,通过对模型进行合理简化和二次建模,得到其数学模型和物理模型,可以求得电主轴的某些静动力学特性和重要参数,进行相应的问题分析。

2) 通过对电主轴的主要结构和关键参数进行研究分析,对模型进行合理的简化,并通过ANSYS Workbench 19.2建立有限元分析模型,用COMBIN214弹簧阻尼单元模拟

轴承支承,进行静力学分析和模态分析。通过分析可知该电主轴的静刚度和动态参数满足设计要求,从而初步认定该电主轴的设计是合理的。

参考文献:

- [1] 何强,李安玲. 高速精密电主轴仿真关键技术研究[M]. 武汉:华中科技大学出版社, 2018:1-3.
- [2] LIN C W, TU J F. Model-based design of motorized spindle systems to improve dynamic performance at high speeds[J]. Journal of Manufacturing Processes, 2007, 9(2):94-108.
- [3] JIANG S Y, ZHENG S F. A modeling approach for analysis and improvement of spindle-drawbar-bearing assembly dynamics[J]. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2010, 50(1):131-142.
- [4] 吴腾庆,刘恒,景敏卿,等. 高速电主轴支承刚度计算及模态分析[J]. 机械设计与制造, 2013(8):5-7, 11.
- [5] 范晋伟,李相智,张红亮,等. 基于ANSYS的砂轮架体及电主轴的静动态特性分析[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2019(2):27-32.
- [6] 崔方圆,李言,俞嘉艺,等. 高速电主轴静刚度仿真与实验研究[J]. 机械强度, 2017, 39(4):971-975.
- [7] 刘笑天,蒋超奇,江丙云,等. ANSYS Workbench有限元分析工程实例详解[M]. 北京:中国铁道出版社, 2017.
- [8] 蔡春源. 新编机械设计手册[M]. 沈阳:辽宁科学技术出版社, 1993:94-108.
- [9] 戴曙. 机床滚动轴承应用手册[M]. 北京:机械工业出版社, 1993.
- [10] 李红光. 滚动轴承预紧的意义和预紧力的估算及调整[J]. 机械制造, 2004, 42(9):45-48.

收稿日期:2020-08-05