

基于 IRIS 机构的医疗废弃物垃圾箱设计与实现

符莎

(中山市技师学院, 广东 中山 528403)

摘要: **目的** 针对现有垃圾箱类产品多为单层结构, 垃圾中的有害气体和气溶胶易挥发至空气中, 导致周围空气受到二次污染, 用户易于接触有害气体并被病菌感染的情况, 设计一种可防止有害气体和气溶胶物质溢出的垃圾箱产品。**方法** 结合 IRIS 机构在空间占用方面的优势, 设计一种采用 IRIS 机构, 具有内部隔离门的医疗废弃物垃圾箱方案, 并进行内部机构零部件的设计及机构运动仿真, 确保垃圾箱产品的实现。**结果** 设计出的垃圾箱产品采用双层隔离的方式, 内部隔离门采用 IRIS 机构, 占用空间小。**结论** 具有内部隔离门的垃圾箱产品可以有效防止有害气体挥发和气溶胶物质溢出, 减少周围环境受到污染的可能性, 从而降低因垃圾箱设计不合理导致使用者感染病菌的风险。

关键词: IRIS 机构; 垃圾箱; 设计

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2022)18-0370-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.18.044

Design and Implementation of Medical Waste Bin Based on IRIS Mechanism

FU Sha

(Zhongshan Technician College, Guangdong Zhongshan 528403, China)

ABSTRACT: Most of the existing waste bin products are single-layer structure, the harmful gases and aerosols in the garbage are easily volatilized into the air, resulting in secondary pollution of the surrounding air, and users are easily contacted and infected by germs. In view of this situation a design scheme of a medical waste bin is carried out, combined with the IRIS mechanism in the space taking advantage of the occupancy, the medical waste bin with an internal isolation door that used IRIS mechanism is proposed. And then the motion simulation of the internal mechanism is carried out. The waste bin product adopts double-layer isolation, and the internal isolation door adopts IRIS mechanism, which takes up a small space rate. The waste bin product can effectively prevent the overflow of harmful gases and aerosols by means of the isolation door, thereby reducing the risk that users are infected with germs due to unreasonable design of the waste bin.

KEY WORDS: IRIS mechanism; waste bin; design

近年来, 新冠肺炎疫情在世界各地传播, 人们使用医疗防护物品的数量呈几何级增长, 尤其是在各大医院及居民生活区, 每天都会产生大量医疗废弃物垃圾, 医疗废弃物中多含有病菌、易挥发性和气溶胶等有害物质^[1-3], 医院环境的消毒、防止有害物品和气体外溢等都是医院重要的感染防控工作^[4]。随着人们对新冠肺炎疫情的愈发重视, 气溶胶逐渐成为大众关注的焦点, 国内外多位学者通过对国内青岛、西安等, 国外拉各斯等地区多个城市的垃圾场环境进行研究分

析后表明, 在垃圾收集处空气中的真菌浓度较高^[5-7], 气溶胶颗粒中包裹着真菌、病毒等有害微生物, 在空气中存留时间长^[8], 相比其他污染物更容易被吸入人体内造成二次感染^[9-11]。我国目前居民区和医院大多数采用脚踏翻盖式垃圾箱或医疗废弃物收集箱, 这类垃圾箱箱体多为单层结构, 用户在投放垃圾时, 脚踩踏板开启垃圾箱盖时, 垃圾箱内的挥发性微生物和一些气溶胶粒子很容易被垃圾箱盖抬起形成的气流带出^[12], 另外, 当垃圾箱盖关闭时, 大多数盖体未考虑

收稿日期: 2022-04-20

作者简介: 符莎(1978—), 女, 硕士, 高级讲师, 主要研究方向为机械设计与计算机辅助设计。

阻尼，导致垃圾箱盖关闭时快速闭合，空气中的气流会再次将箱内的病菌等物质冲出，导致垃圾箱内的有害气体多次挥发至周围空气中被垃圾投放者吸入，严重影响使用者的身体健康，影响人们的生活^[13-15]。基于以上问题，无论对医院还是居民生活区而言，都急需设计一种能够防止垃圾中有害物质挥发的垃圾箱，减少垃圾对周围环境的危害，从而降低用户使用垃圾箱导致二次感染的风险。

1 初步设计

随着垃圾分类活动在我国的逐步普及，市场上开始出现各种类型的垃圾箱产品，科技的进步和人们生活水平的提高也让用户更加倾向于使用具有美观性、便捷性的垃圾箱。因此，在原有简单结构的垃圾箱中逐渐出现了脚踏式、翻盖式、感应式、周转式等垃圾箱形式^[16]，它们有的收纳功能单一，有的机构相对脆弱，使用频次过高后容易损坏，有的则外露垃圾，容

易与人体直接接触，易引发使用者感染病菌。近年来，市面上还出现一些智能垃圾箱^[17-18]，主要是以红外感应翻盖和太阳能蓄电垃圾箱为主，主要解决垃圾分类等问题。这一类垃圾箱解决了不需要脚踏就能开盖的情况，用户不用非常靠近垃圾箱即能完成投放垃圾的动作，但在开关垃圾箱盖过程中气流带出有害气体的问题仍没有得到有效解决。医疗废弃物是比较特殊的一种垃圾类型，一般分为感染性废弃物垃圾、病理性废弃物垃圾、损伤性废弃物垃圾、药物性废弃物垃圾、化学性废弃物垃圾。除此之外还有一些锐器废弃物垃圾、基因毒性废弃物垃圾、放射性废弃物垃圾。特殊的垃圾类型通常有专业的回收容器，但普通的医疗废弃物一般不太受重视，大多使用普通垃圾箱进行初步收纳，而这些垃圾反而容易造成有害病菌的溢出。表 1 展示了收纳普通医疗废弃物的多数垃圾箱形式，可以看出，医院环境使用的垃圾箱与普通民用垃圾箱基本一致。

表 1 医疗废弃物垃圾箱形式
Tab.1 Different forms of medical waste bin

名称	用途	优点	缺点
废弃利器盒	收集一次性针头，刀片等锐器	方便移动	小型，只能收纳少部分垃圾
脚踏式医用垃圾箱	收集医疗废弃物垃圾	使用方便	不耐用，易损坏、气体易溢出
翻（摇）盖式医用垃圾箱	收集医疗废弃物垃圾	价格低、经济效益高	与人体直接接触，易引发感染
周转箱	贮存经过密封包装的医疗垃圾	移动方便，密闭性强	只收纳专门的医疗废弃物垃圾

这些垃圾箱的共性问题在于其结构导致垃圾箱内的有害气体和气溶胶物质非常容易扩散溢出，亦未考虑垃圾箱与用户之间的人机关系。通常情况下，大多数垃圾箱由于内部收纳的物品为废弃物，且放置位置会和人们的主要活动区域保持一定距离，因此垃圾投放者从心理上一般会认为其不卫生，不应近距离靠近，尽量不去触碰等，经过垃圾箱时甚至会做出掩鼻、迅速离开等动作行为；从生理上，大多数垃圾箱，无论是手动式还是脚踏式都需由用户近距离自行打开，垃圾箱盖打开过程中会出现箱盖运动带来的内部气体外溢，这样就增加了用户接触病菌感染的风险。因此，从人机工程角度来看，无论从生理还是心理层面都需要对垃圾箱产品进行优化。针对上述问题，基于以用户为中心的设计思想，本文提出一种具有双层隔离的医疗废弃物垃圾箱，也适用于普通生活区居民用户使用。其箱体内部采用了两道隔离门，可有效防止有害气体溢出，垃圾投放者靠近时，垃圾箱盖自动打开，避免了直接接触；投放垃圾时，临时隔离室内部干净清爽，有消毒气味，在视觉和嗅觉 2 个层面给用户带来安全的心理暗示，其主要结构见图 1。

1) 垃圾箱内舱舱门，该结构为抽屉抽拉结构，在保证尺寸配合的基础上增加密封胶条的辅助，可以保证内部气体不易溢出。

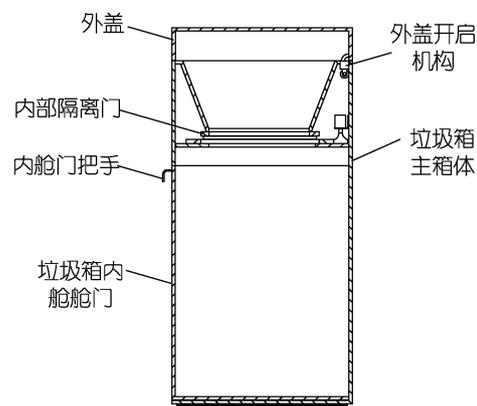


图 1 垃圾箱整体结构
Fig.1 The waste bin structure

2) 垃圾箱内舱舱门把手，用来抽拉垃圾箱内舱舱门。

3) 内部隔离门，也是本次设计的重点部分，需要能有效地开启闭合，并将垃圾箱分为上下 2 个隔离室，开合机构不能占用太大空间，以免影响垃圾存储容量。

4) 垃圾箱外盖。

5) 垃圾箱外盖开启机构，目前大多数智能垃圾箱都具备电动驱动垃圾箱盖开合功能。

6) 垃圾箱箱体, 上部为一个圆锥斜面方便垃圾投放, 内侧安装驱动模块用来开合内部隔离门机构。

其主要工作流程如图2所示: 垃圾箱待机; 当用户靠近垃圾箱时, 红外感应装置触发垃圾箱外盖缓慢开启, 此时, 内部隔离门为关闭状态, 有害气体无法溢出; 用户投放垃圾, 此时垃圾处于上部临时的隔离室, 与垃圾箱内原有垃圾处于不同空间; 用户离开垃

圾箱, 红外感应装置识别到投放者远离后, 缓慢闭合垃圾箱盖; 内部隔离门开启、倾倒医疗垃圾; 内部隔离门关闭; 开启空气净化装置对临时隔离室进行空气净化; 垃圾箱待机, 等待下一次工作。该垃圾箱包含电源控制模块、红外感应模块、空气净化模块、隔离门开闭模块等, 由于大部分模块相对成熟, 本文的主要内容集中在内部隔离门的设计上。

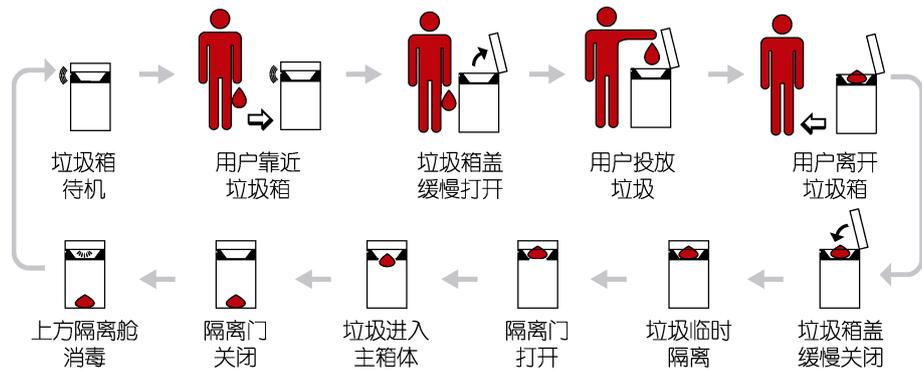


图2 垃圾箱工作流程

Fig.2 Workflow of the waste bin structure

2 IRIS 机构实现内部隔离门

由于垃圾箱的内部空间有限, 为了能够存储更多的垃圾, 内部隔离门的结构设计要求较高, 是本次设计的核心。在考虑过单开门式、双开门式、侧面旋转式等结构后, 发现多数机构要么需要巨大的开合空间, 要么容易与内部存储垃圾产生干涉, 无法打开, 或导致内部存储垃圾量降低等结果, 在综合评估多种开合机构的优缺点之后, 本文采用 IRIS 机构进行内部隔离门设计。

2.1 IRIS 机构设计

IRIS 机构, 多用于相机光圈的制造, 用以通过设定光圈开合大小控制相机光圈曝光量, 其最大的优点在于结构扁平化, 节省空间, 生产工艺成熟。本次设计的垃圾箱内部隔离门以 IRIS 机构为基础, 通过设计叶片旋转产生滑动实现隔离门开合状态, 见图3。由图中可以看出, IRIS 机构对于空间的要求较低, 通过侧面电机带动齿轮驱动, 当机构处于打开状态时, 所有叶片收纳于周围的圆周空间, 恰好与垃圾箱上层圆锥口契合, 既便于用户投放垃圾, 也便于将机构安装于

箱体上; 当机构关闭时, 叶片通过滑动旋转交错, 将开口封闭。这种机构可以满足内部隔离门的功能需求。

该机构主要由4组部件组成, 分别是上、下定盘、动盘、叶片组, 这4组部件通过连接组成了一个可以精确开合的机构, 见图4。

1) 上定盘, 位于 IRIS 机构的最上层, 主要用以固定所有叶片的上端, 同时与下定盘上的滑柱配合, 形成一个固定的类三明治结构, 其中间层用以安装动盘和叶片组。

2) 下定盘, 位于 IRIS 机构的最下层, 只需考虑设计滑柱的高度和直径即可, 上下定盘形成的结构决定了 IRIS 机构的高度, 由于 IRIS 机构中的叶片均为旋转运动, 所以可以保证整体机构的高度尺寸小, 非常节省空间。

3) 动盘, 通过电机驱动, 可形成往复旋转运动。动盘上主要考虑3个部分的设计, 分别为滑轨、供叶片产生转动的滑槽及外圈齿轮。其中滑轨的设计中需要计算动盘旋转角度, 通过几何关系即可以计算得出, 叶片开合过程中转过的角度为动盘旋转角度; 滑槽需与叶片配合, 形成曲柄滑块机构, 需要设计滑槽数目及滑槽长度; 齿轮则根据箱体尺寸设计即可。

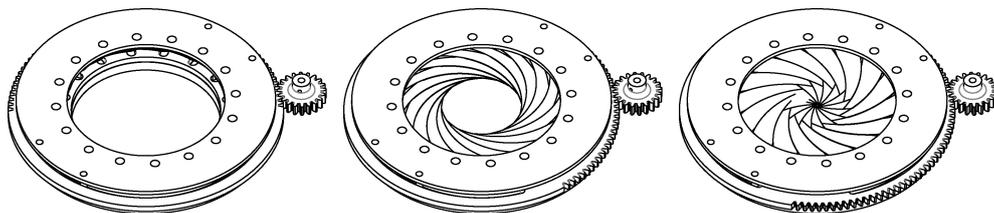


图3 IRIS 机构开合状态

Fig.3 Open and closed state of the IRIS mechanism

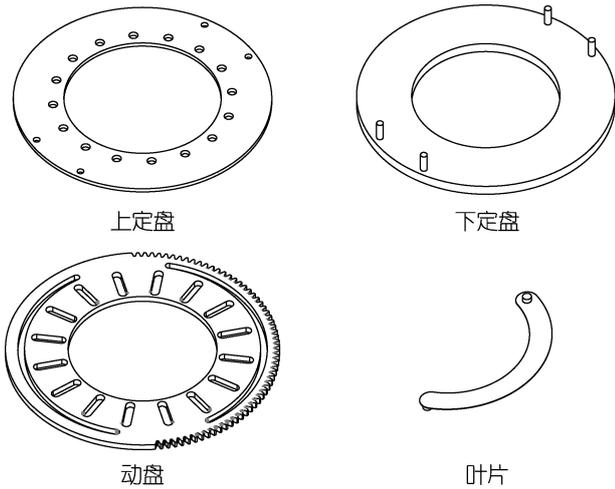


图 4 IRIS 机构零件
Fig.4 Parts of the IRIS mechanism

4) 叶片, 叶片是 IRIS 机构设计的精髓, 叶片的宽度决定了结构的外围尺寸和叶片数量, 同时, 叶片圆弧的直径尺寸与上下定盘之间也存在一定的几何关系, 要确保叶片在滑动过程中不脱离轨道, 则叶片两端固定点之间的距离需大于下定盘的半径。

2.2 IRIS 机构动盘与叶片设计

IRIS 机构的核心是通过控制叶片的位置, 进而实现隔离门的开合。单独分析一个叶片的运动, 可以抽象为经典的曲柄滑块机构, 其中 OA 是曲柄、AB 是连杆、滑块 B 在沿 OB 方向的滑槽上做直线往复运动, 一般情况下, 连杆机构需要调整各个杆件长度比例关系来实现运动参数的调节^[19], 见图 5。在本文垃圾箱机构的设计中, 曲柄 OA 为 IRIS 机构的动盘上与叶片端点配合处到动盘圆心的距离、连杆 AB 为 IRIS 机构的叶片两端点间的距离、滑块 B 在 OB 方向上往复运动的轨迹极限位置即为动盘滑槽的长度。显然, 在设计动盘时要考虑到垃圾箱的整体尺寸, 因此, 应先确定其尺寸, 然后自顶而下展开设计, 可理解为此时曲柄的长度已给定。另外, 为了使叶片组闭合时可以充分密闭, 需要控制叶片的数量, 同时叶片的数量又受叶片宽度的影响, 为了保证可利用空间最大化, 叶片的宽度应尽量小, 在保证空间效率最大化与机构简化的平衡下, 本文设计的机构采用了 16 片叶片组成叶片组。由于在该机构中是通过动盘的转动来控制开合, 所以在设计曲柄滑块机构时, 需要控制曲柄的转动角度, 可以借助设计滑轨的弧度来实现, 为了将动盘的旋转角度表示更为清楚, 在本文中同时将动盘外齿轮以不完全齿轮的方式进行表达, 以清晰的呈现动盘旋转角度。

动盘滑槽的尺寸则需分析曲柄滑块机构后进行计算, 曲柄滑块机构本质是具有移动副的四杆机构的基本形式^[20], 主要通过调整各杆长度、铰链 A 与铰链 O 之间的相对位置来控制运动轨迹, 见图 6。

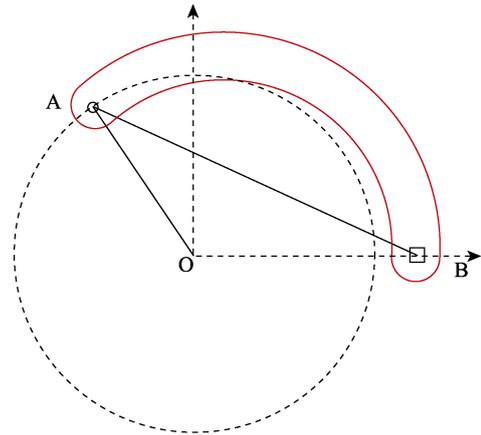


图 5 单叶片运动
Fig.5 Schematic diagram of single blade movement

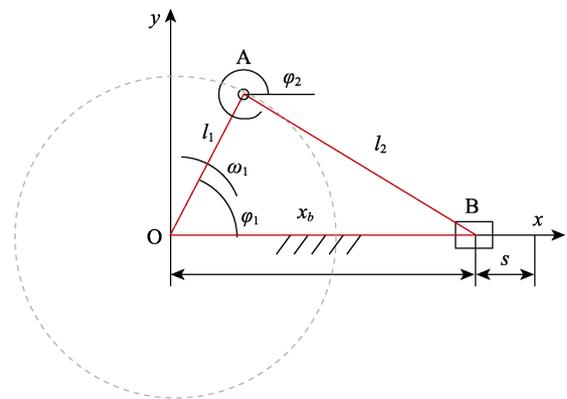


图 6 曲柄滑块机构
Fig.6 Schematic diagram of crank-slider mechanism

曲柄滑块设计计算过程如下^[21], 根据图 6 中各矢量方向有:

$$\vec{l}_1 + \vec{l}_2 = \vec{x}_b \tag{1}$$

1) 位置求解, 以复数矢量表示 (1) 式

$$l_1 e^{i\varphi_1} + l_2 e^{i\varphi_2} = x_b \tag{2}$$

可得

$$l_1 \cos \varphi_1 + l_2 \cos \varphi_2 = x_b$$

$$l_1 \sin \varphi_1 + l_2 \sin \varphi_2 = 0$$

得到滑块的位置:

$$x_b = l_1 \cos \varphi_1 + l_2 \cos \varphi_2$$

$$\varphi_2 = \arcsin\left(\frac{-l_1 \sin \varphi_1}{l_2}\right)$$

2) 速度求解, (2) 式对时间求导

$$l_1 \omega_1 e^{i\varphi_1} + l_2 \omega_2 e^{i\varphi_2} = v_b \tag{3}$$

两边同时乘 $e^{-i\varphi_2}$

$$l_1 \omega_1 e^{i(\varphi_1 - \varphi_2)} + l_2 \omega_2 i = v_b e^{-i\varphi_2}$$

取实部

$$-l_1 \omega_1 \sin(\varphi_1 - \varphi_2) = v_b \cos \varphi_2$$

$$\rightarrow v_b = -\omega_1 \frac{l_1 \sin(\varphi_1 - \varphi_2)}{\cos \varphi_2}$$

将(3)式展开取虚部

$$l_1 \omega_1 \cos \varphi_1 + l_2 \omega_2 \cos \varphi_2 = 0$$

$$\rightarrow \omega_2 = -\omega_1 \frac{l_1 \cos \varphi_1}{l_2 \cos \varphi_2}$$

结合本文提出的垃圾箱 IRIS 结构, 通过上述计算, 可获得动盘滑槽的长度和角度、叶片 2 个端点的位置及与动盘装配时的位置与角度信息。根据不同的应用场景, 垃圾箱有不同的尺寸, 一般以容量或外部尺寸进行标记。本文设计的垃圾箱预设尺寸为 1 200×750×600 mm, 为了能够最大利用空间, 设定 IRIS 机构动盘直径 580 mm, 各盘中间孔洞, 即垃圾投放孔直径为 300 mm, 孔叶片宽度为 50 mm, 马达安置于箱内侧面预留位置。设定上定盘与叶片一端点装配处 (A 点) 与圆心距离 (OA) 为 190 mm, 叶片两端点之间的距离 (OB) 为 360 mm, 构造曲柄滑块机构, 见图 7。经过对单个叶片测试得出, 当 $\varphi_1=130^\circ$ 时, $\varphi_2=335^\circ$ 机构可完全打开, 根据上述公式可计算

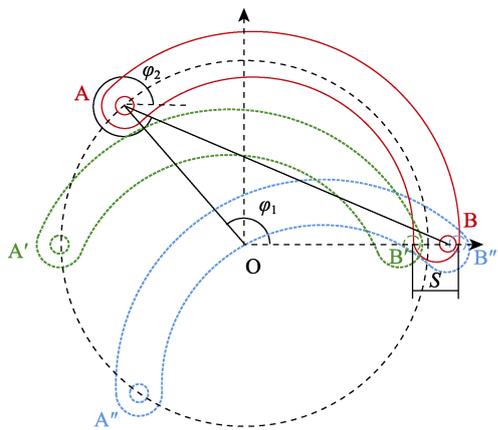


图7 叶片运动

Fig.7 Schematic diagram of blade movement

出 $OB=204.14\text{ mm}$; 当 $\varphi_1=180^\circ$ 时, $\varphi_2=360^\circ$, 机构为半开启状态, $OB'=170\text{ mm}$, 此时, 滑块 B 位于 OB 轴的一个极限位置处; 当 $\varphi_1=234^\circ$ 时, φ_2 为 335° , 叶片边缘掠过 O 点, 机构可完全封闭, $OB''=213.25\text{ mm}$ 。由此, 可计算出滑块 B 的最大位移 s 为 OB' 与 OB'' 的差, 即动盘上滑槽最小长度为 43.25 mm , 为了使机构运动有足够的间隙, 滑槽长度可适当增加。此时, 也可由上述两个角度差计算得出动盘的转动角度为 104° 。

2.3 IRIS 机构运动仿真

对垃圾箱所有零件进行建模装配处理, 并导入至 SolidWorks Motion 中进行运动分析, 为了更好地观察零件运动状态, 隐藏垃圾箱主体结构及 IRIS 机构中的上定盘, 并只对其中一个叶片进行运动分析, 如图 8 所示, 叶片在动盘转动的驱动下产生了运动。

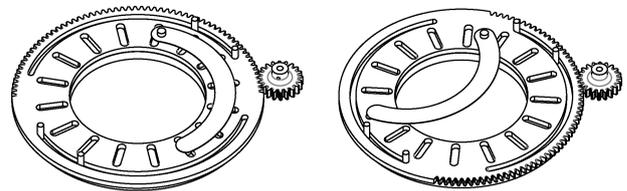


图8 IRIS 机构运动仿真

Fig.8 IRIS mechanism movement simulation

为动盘施加马达, 使其在上下定盘之间转动 104° , 其转动角度由下定盘 4 个导轨柱进行限制。分析叶片可动端点的运动状态, 图 9 显示了叶片端点的位移信息, 其中蓝色、红色、绿色线条分别表示端点在 x 轴、y 轴、z 轴的位移信息。可以看出当加载马达后, 叶片端点仅在 x 轴、y 轴方向产生位移, 说明该机构有沿 x 轴及 y 轴方向移动的自由度。叶片端点运动时的速度信息见图 10。

最终对这个叶片组和垃圾箱整体进行可视化处理, IRIS 机构的开合状态见图 11, 垃圾箱整体最终设计效果和打开状态见图 12。

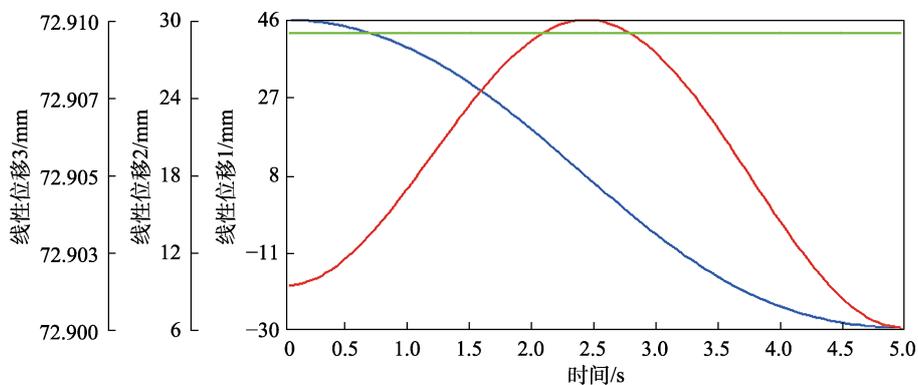


图9 叶片运动位移分析

Fig.9 Displacement analysis of blade movement

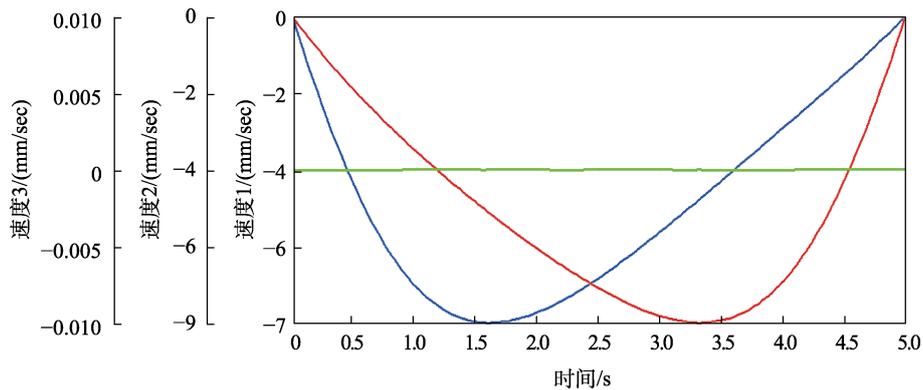


图 10 叶片运动速度分析
Fig.10 Velocity analysis of blade movement



图 11 IRIS 机构可视化结果
Fig.11 IRIS mechanism movement visualization



图 12 垃圾箱设计最终效果
Fig.12 Final design of the waste bin

3 结语

由于 IRIS 机构的扁平结构及其叶片旋转开合对空间的弱需求,采用该机构可以极大提高垃圾箱本身的垃圾存储量。该垃圾箱产品各电子控制模块相对成熟,成本易于控制,其采用的 IRIS 机构零部件种类少、装配关系简单、易于实现、易于加工及便于推广,根据其设计的具有内部隔离门的医疗废弃物垃圾箱,可以在很大程度上防止有害垃圾气体和气溶胶等物质挥发,减少用户接触、受到伤害和感染的可能性,

对降低各种病毒传播,尤其是在全球新型冠状病毒肺炎肆虐的情况下,降低传染风险等具有重要的实用意义。同时,IRIS 机构在对于类似需进行空间隔离的产品设计中也具有重要的参考价值。

参考文献:

[1] 马嘉伟, 杨凯雄, 柴风光, 等. 生活垃圾填埋场细菌气溶胶粒径分布及种群特征[J]. 环境科学, 2019, 40(8): 3470-3476.
MA Jia-wei, YANG Kai-xiong, CHAI Feng-guang, et al. Particle Size Distribution and Population Characteristics of Airborne Bacteria Emitted from a Sanitary Landfill Site[J]. Environmental Science, 2019, 40(8): 3470-3476.

[2] 许鸿飞, 刘婷, 李露, 等. 封场后垃圾填埋场的生物气溶胶浓度及粒径分布[J]. 环境科学与技术, 2016, 39(12): 124-127, 143.
XU Hong-fei, LIU Ting, LI Lu, et al. Concentration and Size Distribution of Bioaerosols in a Closed Landfill[J]. Environmental Science & Technology, 2016, 39(12): 124-127, 143.

[3] CYPROWSKI M, LAWNICZEK W A, GOLOFIT S M, et al. Bacterial Aerosols in a Municipal Landfill Environment[J]. Science of the Total Environment, 2019, 660: 288-296.

[4] 王秋惠, 王雅馨. 医院消杀机器人作业安全与交互设计策略[J]. 图学学报, 2022, 43(1): 172-180.
WANG Qiu-hui, WANG Ya-xin. Work Safety and Interaction Design Strategies of Hospital Disinfection Ro-

- bot[J]. *Journal of Graphics*, 2022, 43(1): 172-180.
- [5] 韩晨, 谢绵测, 祁建华, 等. 青岛市不同空气质量下可培养生物气溶胶分布特征及影响因素[J]. *环境科学研究*, 2016, 29(9): 1264-1271.
HAN Chen, XIE Mian-ce, QI Jian-hua, et al. Size Distribution Characteristics of Culturable Bioaerosols in Relation to Air Quality Levels in Qingdao[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2016, 29(9): 1264-1271.
- [6] 李婉欣, 路瑞, 谢铮胜, 等. 西安市秋冬季不同空气质量下可培养微生物气溶胶浓度和粒径分布[J]. *环境科学*, 2017, 38(11): 4494-4500.
LI Wan-xin, LU Rui, XIE Zheng-sheng, et al. Concentration and Size Distribution Characteristics of Culturable Bioaerosols at Various Air Quality Levels during Fall and Winter in Xi'an, China[J]. *Environmental Science*, 2017, 38(11): 4494-4500.
- [7] AKPEIMEH G F, FLETCHER L A, EVANS B E. Exposure to Bioaerosols at Open Dumpsites: A Case Study of Bioaerosols Exposure from Activities at Olusosun Open Dumpsite, Lagos Nigeria[J]. *Waste Management*, 2019, 89: 37-47.
- [8] 张婧, 夏立江, 杜文利, 等. 垃圾填埋场空气微生物浓度的时空分布特征[J]. *农业环境科学学报*, 2009, 28(6): 1332-1336.
ZHANG Jing, XIA Li-jiang, DU Wen-li, et al. Time-Space Distribution Characteristics of Airborne Microbes' Concentration in a Municipal Landfill Site[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(6): 1332-1336.
- [9] 刘盈盈, 张崇森, 张少华, 等. 生活垃圾填埋场细菌气溶胶分布及职业暴露风险评估[J]. *环境科学学报*, 2021, 41(11): 4459-4466.
LIU Ying-ying, ZHANG Chong-miao, ZHANG Shao-hua, et al. Distribution and Occupational Exposure Risk Assessment of Bacterial Aerosols at a Sanitary Landfill Site[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2021, 41(11): 4459-4466.
- [10] 王莹, 韩云平, 李琳. 卫生填埋场微生物气溶胶的逸散及潜在风险[J]. *微生物学通报*, 2020, 47(1): 222-233.
WANG Ying, HAN Yun-ping, LI Lin. Emission and Potential Risks of Bioaerosols in Sanitary Landfill[J]. *Microbiology China*, 2020, 47(1): 222-233.
- [11] LÖNDAHL J, PAGELS J, SWIETLICKI E, et al. A Set-up for Field Studies of Respiratory Tract Deposition of Fine and Ultrafine Particles in Humans[J]. *Journal of Aerosol Science*, 2006, 37(9): 1152-1163.
- [12] FRĄCZEK K, RÓŻYCKI H, ROPEK D. Statistical Analyses of Bioaerosol Concentration at Municipal Landfill Site[J]. *Ecological Chemistry and Engineering S*, 2014, 21(2): 229-243.
- [13] 钱华, 章重洋, 郑晓红. 呼吸道传染病气溶胶传染病机理及预测方法[J]. *科学通报*, 2018, 63(10): 931-939.
QIAN Hua, ZHANG Yang-zhang, ZHENG Xiao-hong. The Function of Aerosols in Transmitting and Infecting of Respiratory Infectious Diseases and Its Risk Prediction[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2018, 63(10): 931-939.
- [14] DOUWES J, THORNE P, PEARCE N, et al. Bioaerosol Health Effects and Exposure Assessment: Progress and Prospects[J]. *The Annals of Occupational Hygiene*, 2003, 47(3): 187-200.
- [15] 魏山森, 梁建芳. 新冠肺炎疫情对服装可持续消费关注度的影响——基于旧衣回收, 旧衣改造和旧衣捐赠的百度指数分析[J]. *丝绸*, 2021, 58(12): 40-46.
WEI Shan-sen, LIANG Jian-fang. The Impact of Covid-19 on the Attention to Sustainable Clothing Consumption: Analysis of Baidu Indexes on Old Clothes Recycling, Old Clothes Renovation and Old Clothes Do-nation[J]. *Journal of Silk*, 2021, 58(12): 40-46.
- [16] 黄劲松, 甘卓伦. 基于场景分析的家用智能垃圾桶设计研究[J]. *机械设计*, 2021, 38(4): 139-144.
HUANG Jin-song, GAN Zhuo-lun. Intelligent Household Trash can Design Based on Scenario Analysis[J]. *Journal of Machine Design*, 2021, 38(4): 139-144.
- [17] 康庄, 杨杰, 郭濠奇. 基于机器视觉的垃圾自动分类系统设计[J]. *浙江大学学报(工学版)*, 2020, 54(7): 1272-1280.
KANG Zhuang, YANG Jie, GUO Hao-qi. Automatic Garbage Classification System Based on Machine Vision[J]. *Journal of Zhejiang University (Engineering Science)*, 2020, 54(7): 1272-1280.
- [18] 谢川, 彭颖. 基于 RFID 技术的智能垃圾回收协作研究[J]. *四川大学学报(自然科学版)*, 2011, 48(3): 556-560.
XIE Chuan, PENG Ying. Research of Intelligent Garbage Collection Collaboration Based on RFID Technology[J]. *Journal of Sichuan University (Natural Science Edition)*, 2011, 48(3): 556-560.
- [19] 杜力, 任亨斌, 黄勇刚, 等. 平面连杆机构曲柄调速结构设计[J]. *图学学报*, 2013, 34(5): 20-24.
DU Li, REN Heng-bin, HUANG Yong-gang, et al. Crank Speed Structure Design of Planar Linkage[J]. *Journal of Graphics*, 2013, 34(5): 20-24.
- [20] 马璇, 马英, 高英敏. 无急回特性的曲柄摇杆机构的性质及设计[J]. *机械科学与技术*, 2003, 22(S2): 152-153.
MA Xuan, MA Ying, GAO Ying-min. The Nature and Design of No-Fast-Return's Peculiarity of Crank Rocker Mechanism[J]. *Mechanical Science and Technology*, 2003, 22(S2): 152-153.
- [21] 蔡汉忠, 欧阳富, 廖明军. 机构结构新旧自由度计算公式对比之应用研究[J]. *中国机械工程*, 2011, 22(1): 35-38.
CAI Han-zhong, OUYANG Fu, LIAO Ming-jun. Comparable Study and Application on New and Old Formulas of Calculating DOFs of Mechanisms and Structures[J]. *China Mechanical Engineering*, 2011, 22(1): 35-38.