

地面垃圾捡拾清扫装置的结构设计

秦浩力^{1,2}, 于天生^{1,2}, 陈顶明^{1,2}, 王金锋^{1,2}

¹安徽理工大学机械工程学院, 安徽 淮南

²安徽理工大学矿山智能装备与技术安徽省重点实验室, 安徽 淮南

收稿日期: 2022年1月14日; 录用日期: 2022年2月11日; 发布日期: 2022年2月18日

摘要

针对目前现有垃圾捡拾装置的研究现状, 本文运用皮带轮传动的机械传动原理, 设计了一种手推式的地面垃圾捡拾清扫装置。该装置结构合理, 传动稳定, 工作效率是传统人力清扫的6~9倍, 能够适应不同的地面环境进行清洁环卫工作, 且该垃圾捡拾装置无需外接动力装置, 节省了时间和人力。通过对地面垃圾的种类以及形态进行分析, 利用solidworks三维制图软件对地面垃圾捡拾装置进行整体的结构设计以及各个部件零件图的绘制, 并对转轮进行仿真和优化设计。

关键词

垃圾捡拾, 结构设计, 转轮, 应力分析, 优化

Design Structure of Ground Garbage Picking Up and Cleaning Device

Haoli Qin^{1,2}, Tiansheng Yu^{1,2}, Dingming Chen^{1,2}, Jinfeng Wang^{1,2}

¹College of Mechanical Engineering, Anhui University of Science and Technology, Huainan Anhui

²Anhui Key Laboratory of Mine Intelligent Equipment and Technology, Anhui University of Science & Technology, Huainan Anhui

Received: Jan. 14th, 2022; accepted: Feb. 11th, 2022; published: Feb. 18th, 2022

Abstract

In view of the current research status of the existing garbage pickup device, this paper uses the mechanical transmission principle of belt pulley transmission to design a hand push ground garbage pickup and cleaning device. The device has reasonable structure, stable transmission, and the working efficiency is 6~9 times that of traditional manual cleaning. It can adapt to different ground environments for cleaning and sanitation. Moreover, the garbage pickup device does not

need an external power device, saving time and manpower. Through the analysis of the types and forms of ground garbage, the overall structure design of the ground garbage pickup device and the drawing of each component part drawing are carried out by using solidworks three-dimensional drawing software, and the runner simulation and optimization design.

Keywords

Garbage Collection, Structure Design, Wheel, Stress Analysis, Optimization

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

中国城市现代化在迅速发展,环境问题也日益严峻,无论是城市道路还是乡村小道,清扫垃圾都是极其重要的。随着人们生活水平的不断提升,人们对于生活环境的要求也逐渐变高,传统的使用扫帚的垃圾清扫方式已经不能满足现代的垃圾清扫需求[1],其不仅效率底下,费时费力,而且不利于环卫工人的生命健康安全,与此同时,绿色可持续发展不仅是当今时代发展的主题,也是每个人应该追求的目标,同时也是衡量一个国家发展水平的重要指标[2]。因此,设计一种地面垃圾捡拾机具有重要的应用价值和现实意义。

现如今,市场上具有各种垃圾清扫车,但大多数的垃圾清扫装置主要针对的还是城市道路,但对于生活用地区域的小型垃圾清扫装置仍需要进一步发展。针对当前环境污染较为严重,地面垃圾捡拾费力,环卫工人清扫地面劳动强度大,打扫卫生效率较低,投入成本较大等一系列问题,本方案结合了大型地面垃圾捡拾机的结构特点,运用简单的机构传动原理,进行结构的设计,使用 solidworks 进行三维建模,设计了一种垃圾捡拾装置,并主要对垃圾捡拾清扫装置的转轮进行了仿真分析和优化设计。

2. 垃圾捡拾机总体结构设计

图 1 所示为地面垃圾捡拾清扫装置的总体结构图。可见,该垃圾捡拾机主要是由动力机构,传动机构和清扫机构组成,动力机构主要通过电机来带动的。使用电机进行驱动使得功率更加稳定,输出更加

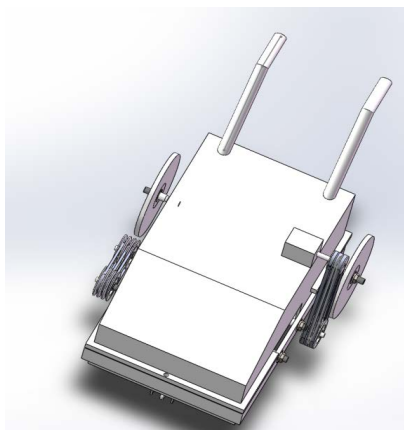


Figure 1. Shape overall structure of the pickup machine

图 1. 捡拾机整体结构

平稳,电机通过皮带轮来带动后滚刷轴,后刷滚轮逆时针转动,然后由后滚刷轴通过皮带来带动前滚刷轴,前刷滚轮做顺时针转动,前滚刷轴和后滚刷轴上面均套接清扫刷[3] [4] [5] [6] [7]。清扫地面时,前后滚刷轴带动清扫滚刷,各个机构之间相互配合,最终实现整个机构的传动,然后由中间的两个做逆时针转动轴上滚刷带动垃圾进入机身的垃圾箱内。各个零部件之间相互配合,最终实现了地面垃圾的清扫捡拾工作。

3. 部分零部件的材料选择

3.1. 箱体和机架的材料选择

地面垃圾捡拾机的箱体是用来进行清扫垃圾的存放装置,由于常见的地面垃圾不仅包含纸屑,树叶,塑料,沙石,还包括一些果皮,食材的废料,瓜皮果核等带有少量液体的垃圾,会直接的与一些带有酸性或者带有酸性或者碱性的废物垃圾接触,因此在地面垃圾捡拾装置材料的选择上,应当做好充分的研究,要充分的考虑所选材料的实际可行性,结合实际情况和经济因素综合判断,选用热固性树脂复合材料。它不仅防水,而且具有良好的抗摩擦性,单位体积内的重量非常轻。其生产成本相比钢材,铸铁都要低很多,热固性树脂复合材料本身具有较好的抗酸碱腐蚀的能力[8] [9],更适用于经常需要接触干湿垃圾的垃圾箱,因此使用热固性的树脂复合材料作为垃圾箱的材料是可行的。

3.2. 轴的材料的选择

图2所示为捡拾机的后轮轴。轴向零件是机器中的典型零件之一[3] [10] [11]。地面垃圾捡拾清扫装置所用后轮轴主要起支撑的作用,轴端的螺纹用于固定捡拾机的转轮。45钢是轴类零件的常用材料,经过调质(或正火)后,可得到较好的切削性能和高强度的机械性能[12] [13],其耐用性也会得到很大提升,而且,相对于合金钢,碳素钢的造价更加便宜,性价比更高,因此对于地面垃圾捡拾装置来说,45号钢能够达到轴类零件对于材料的满足需求。

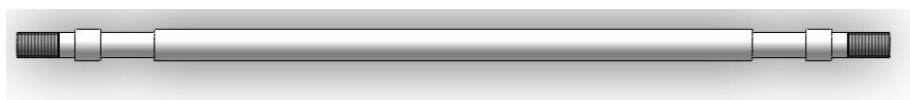


Figure 2. The back axle of the pickup machine

图2. 捡拾机的后轮轴

3.3. 轴承的材料的选择

滚动轴承对材料的基本要求在很大程度上取决于轴承的性能。滚动轴承材料的选择将对其使用寿命产生重大影响。一般而言,滚动轴承的主要损坏形式是不断变化应力作用下的疲劳层,由于摩擦而使精度下降。此外,还有其他原因,例如裂缝,凹槽,生锈等可能会导致轴承损坏。因此,滚动轴承应具有较高的塑性稳定性,减少摩擦损失,良好的旋转精度,尺寸精度和稳定性,以及长期接触的耐久性。

轴承钢具有较高的均匀硬度和较高的弹性极限,可防止轴承在高负荷下过度塑性变形,具有一定的柔韧性,可以防止轴承在货物接触过程中损坏,还具有一定的防腐性能,长期存放或使用不会引起尺寸变化。因此,选用轴承钢作为垃圾清扫车后轮轴承是非常合适的。

4. 设计计算

4.1. 电动机和蓄电池的选择

地面垃圾捡拾装置的电动机是通过将蓄电池的电能转化为输出轴扭矩的装置,其通常放置于箱体内部,输出稳定。在垃圾捡拾装置中,电动机通常具有两种选择,一种是直流电动机,一种是步进电动机。

考虑到输出的稳定性, 能耗的降低, 能否承受复杂的道路情况造成的电机过载的压力, 以及尽可能的减少电机所占空间, 最终选择直流减速电机, 最高转速 2500 r/min。

电动机的额定电压 24 V, 额定功率 3 kW, 平均每次工作 4 h, 故蓄电池容量:

$$Q > KIT/K_d = 1.25 \times 3000 / 24 \times 4 / (1 + 0.75) = 357.2 \text{ A} \cdot \text{h}$$

为了有利于保证蓄电池的寿命, 实际选用 2 块 12 V, 360A·h 的锂电池串联。

4.2. V 带的带型

电动机功率 $P = 3 \text{ kW}$; 转速 $n_0 = 2500 \text{ r/min}$; 滚刷转速 $n = 300 \text{ r/min}$; 电动机输出装有一个减速器, 减速比为 2.5, 减速后电动机最高输出转速为 1000 r/min; 为保证清扫车的装束有一定的可调性, 在清扫车正常工作时, 经过减速器的减速后使其电机的输出转速为 $n_1 = 960 \text{ r/min}$, 因此, 减速后输出轴与后轮滚刷之间的传动比 $i = n_1 / n = 960 / 300 = 3.2$ 。

4.2.1. 确定计算功率 P_{ca}

由机械设计手册[14]查得工作情况系数 $K_a = 1.1$, 故

$$P_{ca} = P \times K_a = 3 \times 1.1 = 3.3 \text{ kW}。$$

4.2.2. 选择 V 带的带型

根据 P_{ca} , n_1 , 由机械设计手册[14]查得带型为 A 型。

4.3. 带轮的选择

带轮材料多采用灰铸铁, 牌号一般选用 HT150 或 HT200, 铸铁带轮允许的最大圆周速度为 25 m/s, 由于带速不大于 10 m/s, 所以带轮选用铸铁 HT200。

4.3.1. 确定带轮的基准直径

查机械设计手册[14], 选取小带轮的基准直径 $d_{d1} = 100 \text{ mm}$, 则大带轮的基准直径为

$$d_{d2} = i \times d_{d1} = 3.2 \times 100 = 320 \text{ mm}$$

查机械设计手册, 取 $d_{d2} = 315 \text{ mm}$

$i_{\text{误}} = \Delta i / i = (i - d_{d2} / d_{d1}) / i = [(3.2 - 315 / 100) / 3.2] \times 100\% = 0.16\% < 5\%$, 故可用。

4.3.2. 验算带的速度

$$v = (\pi d_{d1} n_1) / (60 \times 1000) = (\pi \times 100 \times 960) / (60 \times 1000) = 5.03 \text{ m/s}$$

因为 $5 \text{ m/s} < v < 30 \text{ m/s}$, 故带速合适。

4.4. 确定 V 带中心距 a 和基准长度 L

根据 $0.7(d_{d1} + d_{d2}) \leq a_0 \leq 2(d_{d1} + d_{d2})$ 初步确定中心距:

$$0.7 \times (315 + 100) \leq a_0 \leq 2 \times (315 + 100)$$

$290.5 \leq a_0 \leq 830$, 选取 $a_0 = 500 \text{ mm}$

计算带的基准长度:

$$\begin{aligned} L_{d0} &= 2a_0 + \pi/2(d_{d1} + d_{d2}) + (d_{d1} + d_{d2})^2 / 4a_0 \\ &= 2 \times 500 + \pi/2 \times (100 + 315) + (100 + 315)^2 / 4 \times 500 \\ &= 1738 \text{ mm} \end{aligned}$$

查机械设计手册[14]，选取带的基准长度 $L_d = 1800$

计算实际中心距：

$$\begin{aligned} a &= a_0 + (L_d - L_{d0})/2 \\ &= 500 + (1800 - 1738)/2 \\ &= 531 \text{ mm} \end{aligned}$$

4.5. 验算小带轮上的包角 α_1

$$\alpha_1 = 180^\circ - [(d_{d2} - d_{d1})/a] \times 57.3^\circ = 180^\circ - [(315 - 100)/531] \times 57.3^\circ = 156.8^\circ > 90^\circ。$$

4.6. 计算带的根数

根据 $d_{d1} = 100 \text{ mm}$ 和 $n_1 = 960 \text{ r/min}$ ，查机械设计手册可得单根 V 带所能传递的功率 $P_0 = 0.96 \text{ kw}$ ， $\Delta P_0 = 0.11 \text{ kw}$ ， $K_a = 0.95$ ， $K_L = 1.01$ 。

计算带的根数：

$$\begin{aligned} Z &= P_{ca} / [(P_0 + \Delta P_0) K_a K_L] \\ &= 3.3 / [(0.96 + 0.11) \times 0.95 \times 1.01] \\ &= 3.18 \end{aligned}$$

取带的根数 $Z = 3$ 。

5. 捡拾机的转轮的仿真分析

前期结合相关理论分析，计算并设计了地面垃圾捡拾清扫装置的尺寸，利用 SolidWorks 对各个零部件和整体进行建模。并利用 SolidWorks Simulation 对各个零部件进行应力仿真，进行改进优化。

地面垃圾捡拾清扫装置的后轴固定在机架上，后轴与转轮通过滚动轴承相连，所以后轴只受到弯矩，不受扭矩。后轴通过轴承几乎将整个装置的载荷施加在转轮上，无法根据经验准确选择转轮，在结构设计方面，如何设计转轮的大小和形状结构，可以通过 SolidWorks Simulation 对转轮进行受力分析，利用分析结果作为依据，设计转轮。

5.1. 转轮的仿真分析

转轮首先设计选用半径为 160 mm，内圆孔半径为 20 mm，厚度为 20 mm 的普通碳钢，应力分析过程如下。

图 3 和图 4 分别为转轮的应力图和位移图。对转轮进行整体建模，为了方便分析和计算，对转轮进行简化处理，不影响仿真结果。地面垃圾捡拾清扫装置在工作中，随着垃圾的增加，整体重量也在增加，考虑到实际工作中，工作人员会将一些重物放在装置上，所以假定载荷 $F = 650 \text{ N}$ 。

通过仿真分析结果可以看出，转轮的最大应力集中在与地面的接触处，为 4.1 Mpa，远小于材料的屈服应力，在中间圆孔处，也有应力集中产生，而从位移图看出，转轮的最大位移量发生在转轮的上方，这是因为转轮与地面有固定约束，转轮的位移只能发生在相反的自由端。考虑到在对转轮外圆部分做优化后，中间圆孔应力集中部分会不会产生位移，再对转轮添加一个固定约束来代替转轮外圆部分优化结果，进行仿真分析。如图 5 为添加约束后的位移图。

从仿真结果可以看出，在对外圆优化后，在中间圆孔处产生了最大的位移。因此，可以根据仿真结果，对整个转轮进行优化设计。

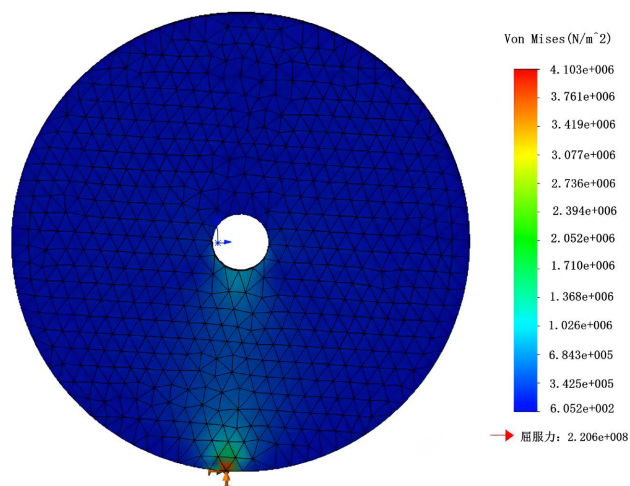


Figure 3. Strain diagram of the runner
图 3. 转轮的应力图

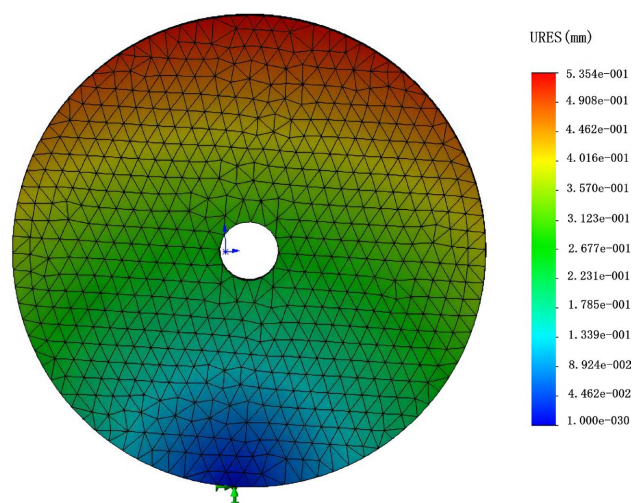


Figure 4. The displacement of the runner
图 4. 转轮的位移图

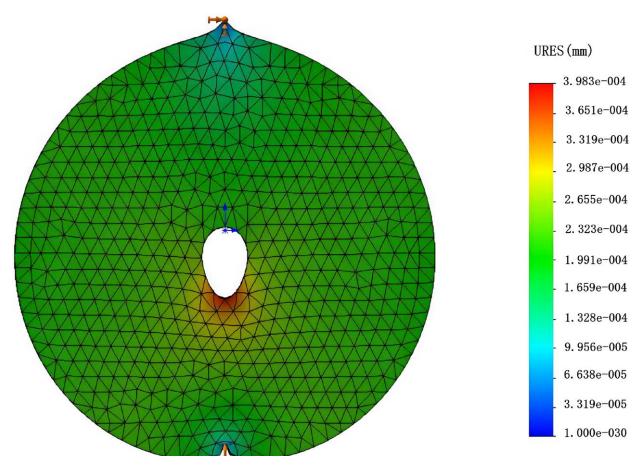


Figure 5. The displacement
图 5. 位移图

5.2. 转轮的优化设计

通过仿真分析，可以看出转轮设计存在的问题。现在对转轮的外圆和内圆孔处进行加强设计，增加厚度，并做倒角，减少应力集中。整体材料改用 1060 铝合金，满足材料力学性能的同时，减轻了材料的重量。在转轮的中间部分，并没有发生应力集中，为了转轮的美观和轻量化要求，在转轮中间开阵列的孔。对转轮进行优化设计后，再进行仿真分析，分析结果如下。

在有限元静力分析中，必须采用足够的约束来稳定模型。为了便于分析和计算，将模型进行简化，提高运算效率，不影响仿真的结果。本文将垃圾捡拾机的转轮外侧圆柱面与地面接触处用外侧圆柱上生成的分割线来代替，分割线来作为约束条件的边线，建立转轮中轴线为“基准轴 1”，作为参考几何体。基准轴 1 如图 6 所示。

优化后的垃圾捡拾机的转轮半径为 200 mm，加强部分厚度为 40 mm，材料为 1060 铝合金。轴承对转轮产生的压力只会产生在转轮内圆柱面的下半部分，所以在转轮内圆柱面建立分割线。建立坐标系在转轮中心，施加轴承载荷在轴孔圆柱面的下半面作为轴承载荷的圆柱面，在这个面上施加相同的正弦载荷力 $F = 650 \text{ N}$ ，进行静力学仿真。

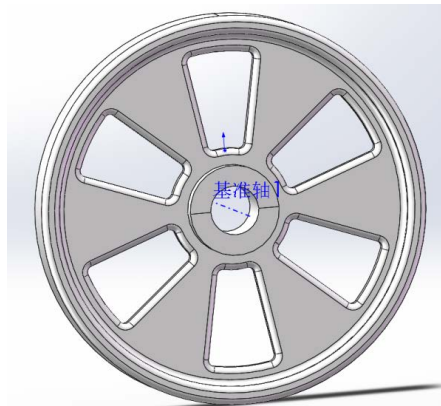


Figure 6. Datum axis 1
图 6. 基准轴 1

图 7 和图 8 分别为优化后转轮静应力分析图和位移图。可见最大应力发生在约束处，即为转轮与地

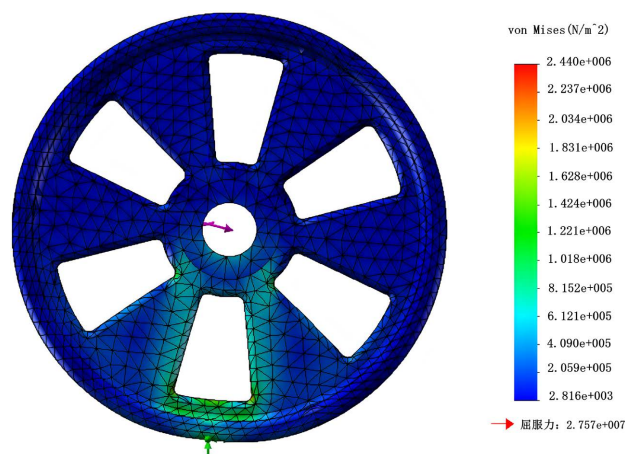


Figure 7. The displacement
图 7. 位移图

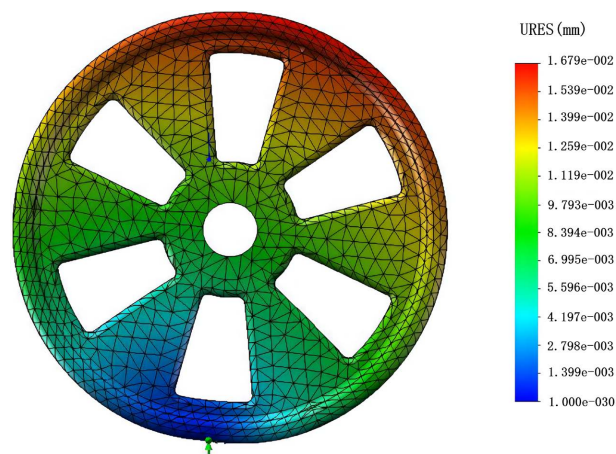


Figure 8. Displacement diagram of runner after optimization
图 8. 优化后转轮的位移图

面接触处，且在轴承载荷为 650 N 时，它的最大应力为 2.440 MPa，远小于材料的屈服力 27.57 MPa，故转轮选用 1060 铝合金满足要求。它的最大位移量为 0~3 mm，变形可忽略不计，在捡拾机运动时，该变形不会影响装置的稳定性。

6. 结论

随着人们物质生活的不断丰富，日常生产生活所产生的垃圾越来越多，本文所设计的垃圾捡拾机结构简单，传动稳定，实用性较强，能适应不同地形，在较小的空间内执行地面垃圾的清扫工作，工作效率是传统人力清扫的 6~9 倍，符合绿色可持续发展的时代主题，而且，就目前的垃圾清扫装置而言，小型地面垃圾清扫装置操作简单，易上手，无需较为繁琐的操作程序以及较为复杂的操作规程，会受到更多人的青睐。利用 SolidWorks Simulation 对装置进行应力分析得到相关数据，能指导对装置的材料型号选择和结构设计，通过仿真分析，直观地看出设计缺陷，进一步进行优化设计，通过优化设计，使结构既能达到相关的力学要求，又能最大限度地减小产品的总质量，达到节约成本的目的。

参考文献

- [1] 吴华彬, 戴丽华, 钱梓峰, 张磊. 智能全自动垃圾回收系统的设计[J]. 电子制作, 2019(7): 37-38.
- [2] 阮鑫. 智能垃圾回收装置[J]. 科技创新与应用, 2017(16): 74.
- [3] 郑昊, 牟智刚. 基于 PLC 的生活垃圾回收存放装置设计[J]. 信息与电脑(理论版), 2015(23): 126-127.
- [4] 张海军, 曹建波, 方建军, 于军伟, 马栋栋, 张晓梅, 范云龙, 李晓梅. 多功能水上垃圾清洁装置设计[J]. 科技视界, 2015(30): 81.
- [5] 马玉鑫, 韩召阳, 张应鹏, 冯韶璐. 多功能道路清扫车的设计[J]. 工程建设与设计, 2015(1): 100-102+106.
- [6] 徐小六, 白甫停, 余雨. 小型手推式落叶清扫车的研制[J]. 科技资讯, 2013(33): 50-51.
- [7] 徐维铮, 刘春正, 徐波, 郑卫刚. 一种分类回收垃圾车的设想[J]. 机械制造, 2013, 51(1): 36-37.
- [8] Schneider, M., Stenger, A. and Goeke, D. (2014) The Electric Vehicle-Routing Problem with Time Windows and Recharging Stations. *Transportation Science*, **48**, 500-520. <https://doi.org/10.1287/trsc.2013.0490>
- [9] Clarke, G.U. and Wright, J.W. (1964) Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points. *Operations Research*, **12**, 568-581. <https://doi.org/10.1287/opre.12.4.568>
- [10] Toth, P. and Vigo, D. (2002) Models, Relaxations and Exact Approaches for the Capacitated Vehicle Routing Problem. *Discrete Applied Mathematics*, **123**, 487-512. [https://doi.org/10.1016/S0166-218X\(01\)00351-1](https://doi.org/10.1016/S0166-218X(01)00351-1)
- [11] Colormi, A., Dorigo, M. and Maniezzo, V. (1991) Distributed Optimization by Ant Colonies. *Proceedings of the 1st European Conference on Artificial Life (ECAL'91)*, Paris, 11-13 December 1991, 134-142.

- [12] 左朝永. 后装压缩式垃圾车压缩装置设计研究与仿真分析[D]: [硕士学位论文]. 南宁: 广西大学, 2008.
- [13] 王嫦娟, 曹明通, 张庆云, 王力军. 垃圾收集装置的设计与制造[J]. 机械设计与制造, 2004(4): 55-56.
- [14] 机械设计手册编委会. 机械设计手册(新版第三卷) [M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.