

基于视觉识别的生活垃圾分类装置设计

崔传坤,王舜,张乐乐,冯麟皓,江亚峰,申燧
(江苏科技大学 机电与动力工程学院,江苏 张家港 215600)

摘要: 为了减少人工垃圾分类工作强度,提高垃圾分类效率和准确率,设计一种基于视觉识别的新型生活垃圾分类装置。进行分类装置的机械结构设计,包括投放识别机构、分类储运机构等部分;进行控制系统的设计,完成关键元器件的选型及各单元电路设计;基于 MobileNet 可分离卷积神经网络建立垃圾识别模型,构建数据集训练样本;完成分类装置的实验测试。测试结果表明:该装置能够完成可回收、有害、厨余和其他共 4 类垃圾的自动识别及分类,平均正确识别率可达 93.33%,运行可靠。

关键词: 生活垃圾;分类装置;视觉识别;神经网络

中图分类号: TP391.41 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-5276(2022)06-0193-05

Design of Domestic Garbage Classification Device Based on Visual Recognition

CUI Chuankun, WANG Shun, ZHANG Lele, FENG Linhao, JIANG Yafeng, SHEN Yi

(College of Mechanical Electrical and Power Engineering, Jiangsu University of Science and Technology, Zhangjiagang 215600, China)

Abstract: In order to reduce the work intensity of manual garbage classification and improve the efficiency and accuracy of garbage classification, a new type of domestic garbage classification device based on visual recognition is designed. Its mechanical structure including the placement identification mechanism, the classification storage and transportation mechanism, etc. is constructed. The control system is designed to complete the selection of key components and the circuit design of each unit. The garbage recognition model is established based on the MobileNet separable convolutional neural network, and the data set training samples are constructed. The experimental test of the classification device is conducted, with the results showing that the designed domestic waste sorting device can complete the automatic identification and classification of four types of recyclable, hazardous, food waste and other garbage, and the average correct recognition rate is 93.33%, which verifies the effectiveness and reliability of the device.

Keywords: domestic garbage; classification device; visual recognition; neural network

0 引言

近年来,随着人口不断增长及经济快速发展,生活垃圾也随之不断增加。垃圾分类回收有助于减少环境污染,提高再生资源利用率等^[1],因此如何设计高效垃圾分类装置是关键。魏子瑄等^[2]基于 LD3320 语音识别芯片和 VS1053 语音播报芯片设计了一款智能分类垃圾桶。通过识别投放者的语音信息,实现了垃圾自动分类投放,但效果受限于投放者的主观行为;SU S X 等^[3]基于物联网设计了智能垃圾分类系统。该系统通过语音告诉投放者进行垃圾分类,清洁工可以通过物联网进行垃圾桶容量的远程查看。但该系统仍然取决于投放者的主观自觉性;王玥等^[4]通过红外检测仪识别传送带上垃圾,并基于 STC89C52 单片机设计了智能分类垃圾桶,但不能实现不同种类垃圾的分类;张方超等^[5]基于图像视觉设计了垃圾分类机器人,该机器人通过对瓶罐类垃圾进行图像分割和识别,并用机械手臂抓取实现垃圾分类,但是垃圾分类

种类有限且效率不高。从已有设计来看,目前垃圾分类装置或受主观性影响,或识别垃圾的种类不多,尚未达到社会对各类生活垃圾的高效、精确识别和分类需求。为此,文中基于机器视觉设计了一款新型智能垃圾分类装置。通过机器学习进行可回收、厨余、有害和其他共 4 类垃圾的自动识别及分类。实验测试也验证了装置的有效性,满足了社会对生活垃圾的识别和分类回收要求。

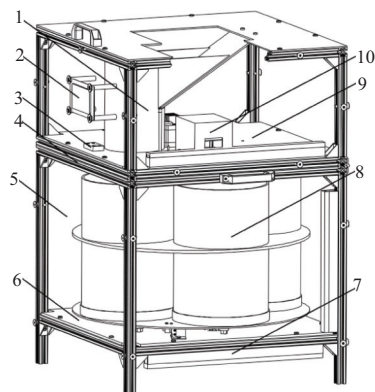
1 垃圾分类装置结构设计

为了更好地实现生活垃圾的分类储运,本设计装置需具备识别、分类、投放和储存等功能。为此本装置采用双层框架式结构,整体为长×宽×高=500mm×500mm×700mm的长方体,如图1所示。装置整体以铝型材作为框架,上下两层框架间通过合页连接,主要便于实物装置的安装及使用过程中的垃圾倾倒。在上层装置的上层支撑板上装有投放识别机构、光电传感器、理线槽及系统控制盒等;在下层装置的下层支撑板上装有分类储运机构、

基金项目:江苏省大学生创新创业训练计划项目(202013991019Y)

第一作者简介:崔传坤(2001—),男,江苏徐州人,学士,研究方向为智能装备设计。

限位开关、万向轮等;在下层支撑板的底面装有理线槽。分类装置的四周及顶部安装有亚克力板密封板,触摸显示屏固定在上方装置的侧面密封板上。

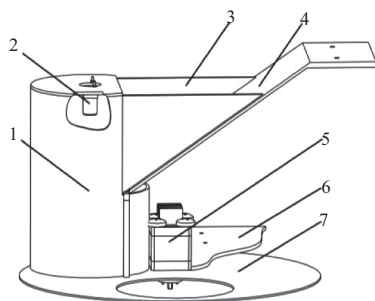


1—投放识别机构;2—触摸显示屏;3—光电传感器;
4—铝型材框架;5—侧板;6—下层支撑板;7—理线槽;
8—分类储运机构;9—上层支撑板;10—系统控制盒。

图1 智能垃圾分类装置整体外观图

1.1 投放识别机构

投放识别机构如图2所示,主要用于生活垃圾的图像采集、识别及分类投放。该机构由滑料板、摄像头、驱动电机和投放转盘等组成。滑料板固定在落料桶及上层顶板上,摄像头安装在落料桶的顶部盖板上,投放转盘位于上层支撑板下方并固定在电机轴上,用于驱动投放转盘旋转的电机安装在上层支撑板上。当生活垃圾通过滑料板落入落料桶时,投放转盘挡住落料桶便于摄像头进行垃圾识别。当识别完成后,电机驱动投放转盘旋转直至转盘上圆形孔与落料桶对中,从而便于垃圾进入分类储运机构。



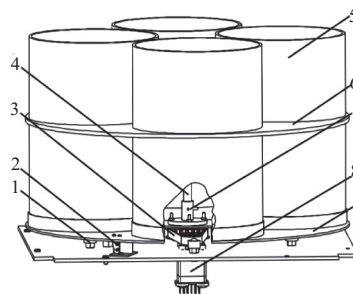
1—落料桶;2—摄像头;3—挡板;4—滑料板;
5—驱动电机;6—上层支撑板;7—投放转盘。

图2 投放识别机构

1.2 分类储运机构

分类储运机构如图3所示,主要是为了实现4类生活垃圾的分类存储。该机构由中间轴、支撑座、驱动电机、垃圾桶、固定板、万向球、同步带轮等组成。中间轴上固定有支撑座、固定板和大同步带轮,4类垃圾桶放置于支撑座上方并穿过固定板上的孔来限制径向运动,用以支撑分类储运机构并减少摩擦力的万向球和用以回转定位的限位开关安装在下层支撑板上;电机固定在下层支撑板的下

方,电机轴上安装有小同步带轮,与中间轴上的大同步带轮以同步带连接,并保证传动比为2:1。当识别结束后,电机驱动与识别结果对应的垃圾桶旋转至落料桶的下方,等待垃圾落入。待垃圾落入后,分类储运机构开始在电机的驱动下进行回转运动直至触碰到限位开关。



1—万向球;2—限位开关;3—同步带轮;4—中间轴;
5—垃圾桶;6—固定板;7—法兰;8—驱动电机;9—支撑座。

图3 分类储运机构

2 控制系统设计

2.1 控制系统框图

垃圾分类装置的控制系统主要是将由摄像头识别的垃圾准确投入到各类垃圾桶中,并通过光电传感器对垃圾桶内垃圾量进行满载监测,控制系统框架如图4所示,总共包括识别检测单元、投放显示单元和分类储运单元。识别检测单元中的图像识别模块主要是对投放生活垃圾进行准确识别,并将识别结果通过UART回传至单片机^[6],而满载检测模块主要是用漫反射方式进行测距,当距离达到预设值后将会回传电信号,进行满载报警。投放显示单元一方面通过单片机控制电机实现投放转盘的转动,另一方面利用UART口实现单片机与触摸显示屏的连接,完成宣传动画、垃圾种类、满载检测结果、垃圾投入状态等信息的播放。分类储运单元主要通过单片机控制电机并基于带轮传动实现垃圾桶的转动,此外,采用LXW5-11N1限位开关进行垃圾桶的回转定位。

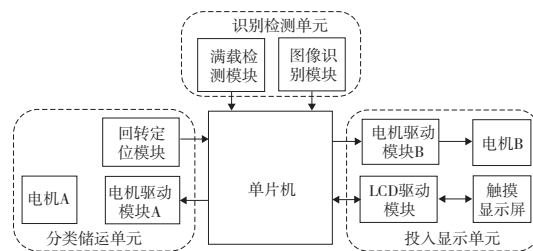


图4 控制系统框架图

2.2 关键元件选型及其电路设计

1) 单片机

为了实现垃圾分类装置的驱动控制、图像识别与屏幕显示等功能的相互配合,设计中采用功耗低、性价比高的STC89C52单片机作为控制核心。该单片机工作电压为

3.8 V~5 V,采用 12 MHz 的晶振,电容 C1、C2 主要用于过滤高频信号,使晶振工作更加稳定,其外围电路如图 5 所示。图中 I/O 口 P1.0~P1.2、P1.3~P1.5 分别用于连接电机驱动器 A、B;P2.4、P2.5 用于接收光电传感器及限位开关所回传的电信号。

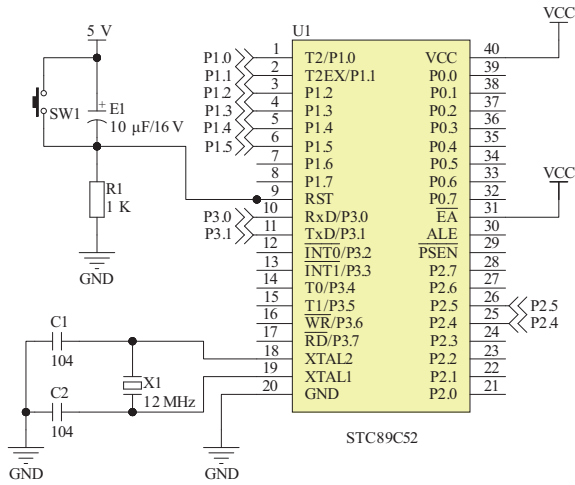


图 5 单片机外围电路

2) 图像识别模块

本装置的图像识别模块需要实现生活垃圾的采集,并且可嵌入神经网络模型进行图像识别及分类,故文中选用 OpenMV4 H7 PLUS 作为图像识别模块,如图 6(a) 所示,其集成一块主频 480 MHz 的 STM32H743II,拥有更为优异的性能,在导入已训练好的模型后有助于实现垃圾的准确识别和分类。图 6(b) 为 STM32H743II 与 STC89C52 的电路连接图,使用 STM32H743II 中的串口 1 与 STC89C52 进行通信,其上的 P0 为 UART1 RX 端,P1 为 UART1 TX 端,分别与 STC89C52 中的 P3.1、P3.0 相连。

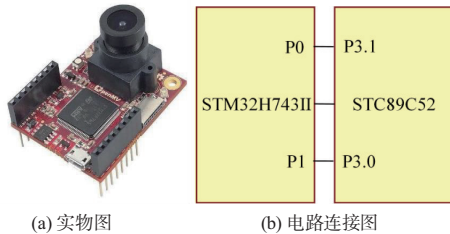


图 6 图像识别模块

3) 电机及其驱动模块

为了实现投放转盘及分类储运机构的精确旋转角度控制,文中选用 42 步进电机作为执行动力源,其步距角为 1.8°,即当细分器处于 n 细分状态时,要使输出轴旋转 1.8°,细分器需接收 n 个方波脉冲^[7];选用 ZD-M42S 作为步进电机驱动器,其支持脱机、使能、锁定、128 细分可调等功能,基于步进电机控制原理及该驱动器的 128 可调细分功能,可实现步进电机的精准定位,以保证投放的准确性。图 7 为步进电机驱动模块的实物图及电路连接图,STC89C52 中的 P1.0、P1.1、P1.2 分别与驱动器中的 CP、DIR、EN 端相连,42 步进电机中的黑、绿、红、蓝线分别与驱动器中的 A+、A-、B+、B-相连。

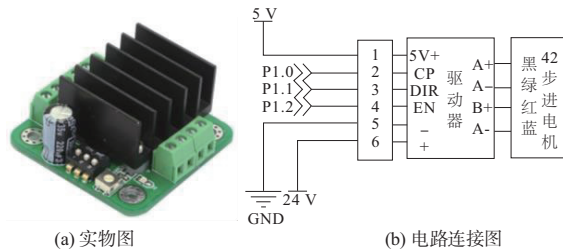


图 7 步进电机驱动模块

4) 满载检测模块

为了监测桶内垃圾是否已满,选用 E3F-DS30F1 漫反射光电传感器作为本装置的满载检测模块。当传感器上发射器射出光束时,由于障碍物遮挡而造成光束漫反射,待接收器接收到足够强度光束后,传感器输出相应开关信号。该传感器可调距离 7~30 cm,响应时间在 2 ms 以下,采用 NPN 输出,满足本装置的满载检测使用要求。光电传感器实物图和电路图如图 8 所示,其中 P2.4 用于检测高低电平变化,传输电信号。

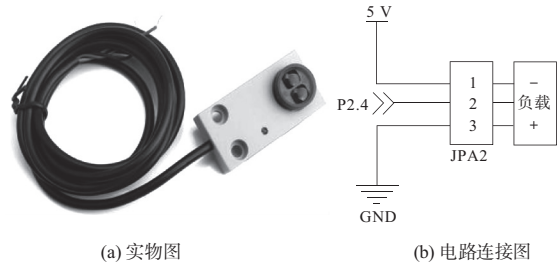


图 8 光电传感器电路图

3 智能识别系统设计

3.1 网络识别模型的设计

本文所设计的垃圾分类装置主要用于可回收、有害、厨余及其他共 4 类垃圾的识别与分类。为了实现垃圾的精确分类,文中选用 MobileNet V1 可分离卷积神经网络作为数据集训练模型^[8]。MobileNet V1 是 Google 提出的用于嵌入式设备的轻量化神经网络,其能够在保证模型性能的前提下大大减少网络参数量,且可以在计算资源有限的条件下通过小型化参数来实现识别率的最大化。相比起传统卷积神经网络,该模型的主要特点在于将标准卷积拆分为深度卷积和逐点卷积两部分。图 9 给出了 MobileNet V1 模型可分离卷积的原理。首先是对采集到图片信息进行深度卷积,深度卷积指不跨通道的卷积,是将输入特征中的通道与对应的该通道上的卷积核进行卷积操作,并保证特征图的数量不变,以此达到对输入特征的滤波;接着进行逐点卷积,采用 1×1 的卷积核将滤波后的特征图在通道方向进行扩展和整合处理,用以获得输出特征图,即提取出输出特征^[9]。在 MobileNet V1 模型中有两个超参数:宽度因子 α 和分辨率因子 ρ 。通过调整上述参数能够实现模型计算量的缩放,从而有助于改变模型大小来满足不同设备的需求。

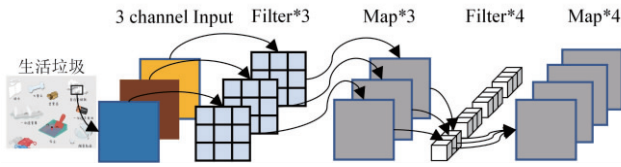


图9 MobileNet V1 原理图

在垃圾识别过程中,通过摄像头获取垃圾图像信息,再将获取的图像导入至已训练好的 MobileNet 模型中进行图像匹配,根据轮廓、色彩、材质等特征识别方法^[10]寻求两者间的共同点,进而根据识别算法识别出所投垃圾类别。

3.2 数据样本的构建

文中用于训练和测试的数据集来源于网络和 OpenMV 摄像头拍摄。依据现行分类标准,在保证数据集具有典型性和代表性的同时兼顾训练效率,采集可回收垃圾、厨余垃圾、有害垃圾及其他垃圾共 3 600 张形态、颜色、角度等影响因素均不同的照片,其中训练样本占比 80%,即 2 880 张;测试样本占比 20%,即 720 张^[11]。

4 实验测试与分析

4.1 模型训练测试

在完成数据集采集后,利用 MobileNet 模型进行学习 与训练。调整宽度因子 α 为 1.0、分辨率因子 ρ 为 0.86,设置学习率为 0.001,置信度为 0.75,并使用全连接层作为分类器进行训练,共训练 80 轮,输出其训练过程中训练效果最好的模型。经过训练后,结果如图 10 所示,其训练数据集的平均准确率达 97.18%,测试集的平均准确率达 95.55%,训练效果较为理想,表明该模型具有较好的可靠性^[12]。

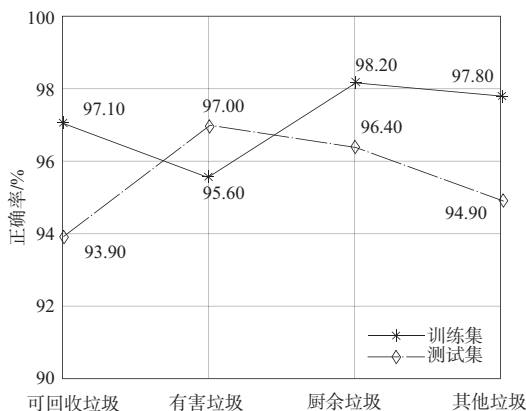
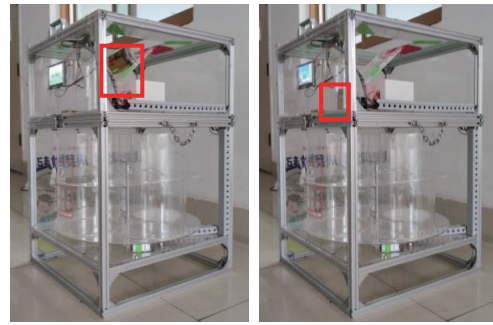


图 10 模型训练结果

4.2 实物制作及测试

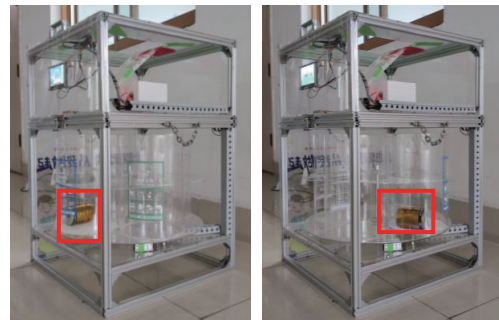
根据上述设计方法,课题组进行了基于视觉识别的智能垃圾分类装置制作及实验测试,如图 11 所示。测试时完全根据实际生活中的垃圾投放,实验在户外正常光照条

件下进行,分早晨、中午、晚上 3 个时间段,分别针对上文经模型训练后的 16 种垃圾进行 400 次随机投放测试。



(a) 垃圾投放

(b) 垃圾识别



(c) 分类回收

(d) 结束归位

图 11 智能垃圾分类装置运作流程

表 1 给出了实验测试结果。由表可以看出在中午光照充足的时候,分类平均正确率可达 94.00%;在早晨、晚上光照不足的条件,本装置自带的光源起到良好作用,分类平均正确率也可达 92.00%、94.00%。此外,本装置 3 个时间段累计 1 200 次的分类投放平均准确率达 93.33%,符合预期效果,验证了文中所设计装置具有较好的垃圾分类性能。

表 1 垃圾投放测试结果 单位: %

时间段	正确率				平均
	可回收垃圾	厨余垃圾	有害垃圾	其他垃圾	
早晨	92.00	96.00	92.00	88.00	92.00
中午	96.00	92.00	96.00	92.00	94.00
晚上	96.00	96.00	92.00	92.00	94.00

5 结语

为了解决现行垃圾分类效率不高、人工成本过大等问题,提出了一种基于机器视觉的新型智能垃圾分类装置。通过理论设计和实物测试可得出如下结论:

1) 文中所设计的智能垃圾分类装置采用双层框架式结构,并将投放识别结构和分类储运机构分别安装于上、下两层,实现了不同位置不同功能,提高了垃圾分类效率,同时使得垃圾在倒取过程中更为便捷;

2) 文中所设计的控制系统实现了旋转角度的精准控

制、满载的准确检测及垃圾的正确回收,同时实现了人机交互界面的实时显示,控制性能优异;

3)文中通过对 MobileNet V1 模型的训练以及两个超参数的调整,展现了识别系统的优异性能,实现了可回收、其他、厨余和有害这 4 类垃圾的准确识别与分类,避免了人工分类过程中主观因素的影响。

由装置的应用测试表明,其具备了生活垃圾的自动识别、分类回收、满载检测和界面显示等功能,且性能优异,对于减少环境污染和提高资源利用具有积极的应用价值;但在生活实际应用场景中,生活垃圾种类更为繁杂。因此,后续仍将会对本装置的识别模型进行进一步的训练,不断扩大样本数据,从而满足日常生活垃圾分类需求。

参考文献:

- [1] 王佳佳,赵娜娜,李金惠. 中国海洋微塑料污染现状与防治建议[J]. 中国环境科学,2019,39(7):3056-3063.
- [2] 魏子瑄,刘小刚,陈真贵,等. 基于语音识别技术的智能分类垃圾桶[J]. 单片机与嵌入式系统应用,2020,20(1):79-82.
- [3] SU S X, MA X H, LI C, et al. Research and design of intelligent garbage classification system based on Internet of Things [J]. International Journal of Higher Education Teaching Theory, 2021, 2(1):156-159.
- [4] 王玥,刘苇,崔昊. 基于 STC89C52 单片机的智能分类垃圾桶的设计[J]. 科技经济导刊,2019,27(16):66.

- [5] 张方超,董振,张栋,等. 基于图像视觉的垃圾分类机器人识别控制系统算法设计[J]. 电子测量技术,2019,42(20):63-67.
- [6] 叶志祥. 智能分类垃圾箱设计研究[J]. 中国资源综合利用,2019,37(4):191-193.
- [7] 金琦淳,任俊,袁明新,等. 复杂竞赛任务中的自动分拣搬运机器人系统设计[J]. 轻工机械,2019,37(2):17-23,28.
- [8] HOWARD A G, ZHU M L, CHEN B, et al. MobileNets: efficient convolutional neural networks for mobile vision applications [EB/OL]. 2017:arXiv:1704.04861[cs.CV]. (2017-04-17) [2021-05-20]
<https://arxiv.org/abs/1704.04861>.
- [9] 易强,李成娟,李宝清,等. 基于改进 MobileNet V1 网络的野外车辆识别[J]. 工业控制计算机,2020,33(7):104-107.
- [10] 谢堂,吴居豪,温泉河. 基于机器学习的智能垃圾分类箱[J]. 现代计算机,2020(12):139-143.
- [11] 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):1272-1280,1307.
- [12] 吴碧程,邓祥恩,张子懂,等. 基于卷积神经网络的智能垃圾分类系统[J]. 物理实验,2019,39(11):44-49.

收稿日期:2021-08-23

(上接第 176 页)

3 结语

本文数值研究了正弦及方波形式非定常冷气射流影响对转涡轮高压级气动性能的规律及流动机理,得到结论如下。

1)射流影响下涡轮进口流量、膨胀比变化量仅与时均射流流量相关,与射流非定常性无关,时均射流流量越大,涡轮流量及膨胀比改变量越大;低速射流堵塞流道引起涡轮喉道面积减小,是造成涡轮流量降低的原因。

2)涡轮效率衰减量与时均射流流量、射流频率相关,时均射流流量越大,涡轮效率衰减越大,射流频率越低,涡轮效率衰减量略微减少。

3)非定常射流较定常射流并不能显著提升涡轮气动性能,而定常射流实现更加简单,故建议对转涡轮气动调节方案采用定常射流。

参考文献:

- [1] 周琨,邹正平,刘火星,等. 航空发动机对转涡轮气动设计技术研究进展[J]. 科技导报,2012,30(15):61-74.
- [2] 雒伟伟,张磊,王会社,等. 可调高压导叶对 1+1/2 对转涡轮性能影响的数值研究[J]. 航空动力学报,2011,26(12):

2741-2748.

- [3] KLINE J, NOSEK S. Two-dimensional cascade test of a jet-flap turbine rotor blade[R]. ANSA TM X-2183, 1971.
- [4] 杨咏. 气动方式调节涡轮流量[D]. 北京:北京航空航天大学,2009.
- [5] 付超. 先进涡轮气动设计技术若干问题研究[D]. 北京:北京航空航天大学,2010.
- [6] 史文斌. 叶轮机械叶栅流动数值与试验研究[D]. 北京:北京航空航天大学,2011.
- [7] 闫晨,叶建,付超. 利用端区射流调节涡轮流量的数值研究[J]. 燃气涡轮试验与研究,2011,24(2):9-12,4.
- [8] SARACOGLU B H, PANIAGUA G, SALVADORI S. Energy analysis of pulsating coolant ejection[C]//Proceedings of ASME Turbo Expo 2014: Turbine Technical Conference and Exposition, Düsseldorf, Germany:[s.n.], 2014.
- [9] 张少博,史伟,刘火星. 脉冲式喷气调节涡轮流量的数值研究[J]. 燃气涡轮试验与研究,2015,28(6):26-30.
- [10] 杨荣非,李云朋,仲冬冬,等. 采用冷气射流调节对转涡轮高压部件流量的数值研究[J]. 机械制造与自动化,2021,50(1):29-32.
- [11] HB 7081—2012 航空燃气涡轮发动机轴流涡轮气动性能试验方法[S].

收稿日期:2021-07-26