

基于视觉检测技术的冲压收料线监测系统开发

石 磊, 汪建余, 孙胜伟, 贺贵金, 张红杰, 赵绍昕

(一汽-大众汽车有限公司, 吉林 长春 130000)

摘要: 在传统生产模式中, 车身覆盖件的冲压生产均是在封闭的生产线中进行的, 生产过程无法实时对冲压收料线进行监测。通过采用视觉非接触检测技术结合图像 AI 算法, 搭建了冲压收料线监测系统, 生产线内部布置的 6 台高速镜头通过生产线压机信号触发拍照, 并自动与基准图像进行模板匹配, 能够在强震动、高节拍的环境下实现拉延零件不同区域收料线的实时监测, 输出 18 个监测区域的收料线偏差值, 并对超出设定阈值的零件进行预警。生产维护人员可在不停机的情况下根据曲线偏差情况对相应区域的压力值进行调整, 大大降低了生产线废品率及停台效率损失。结果表明, 系统投入运行后预计实现年废品率节约 26 万元, 停台效率节约 9 万元。

关键词: 冲压模具; 收料线; 视觉检测技术; 模板匹配; 智能监测

DOI: 10.13330/j.issn.1000-3940.2023.09.023

中图分类号: TG386

文献标志码: A

文章编号: 1000-3940 (2023) 09-0184-06

Development on monitoring system for stamping receiving line based on visual inspection technology

Shi Lei, Wang Jianyu, Sun Shengwei, He Guijin, Zhang Hongjie, Zhao Shaoxin

(FAW-Volkswagen Automotive Co., Ltd., Changchun 130000, China)

Abstract: In the traditional production mode, the stamping production of automobile body panels is carried out on the closed production line, and the stamping receiving line cannot be monitored in real time during the production process. Therefore, a monitoring system for the stamping receiving line was built by the visual non-contact detection technology combined with image AI algorithm, and the six high-speed lenses arranged inside the production line were triggered by the signal of production line press to take pictures and automatically perform template matching with the reference image, which could realize the real-time monitoring of receiving line in different areas of drawing parts in the environment of strong vibration and high beat, output the deviation values of receiving lines in eighteen monitoring areas, and give early warning to the parts exceeding the set threshold. Then, the production and maintenance personnel could adjust the pressure values in the corresponding area according to the curve deviation without stopping the machine, and the waste and return rates of parts for production line and the loss of shutdown efficiency were greatly reduced. The result shows that after the system is put into operation, it is expected to save 260000 yuan in annual waste and return parts and 90000 yuan in shutdown efficiency.

Key words: stamping die; receiving line; visual inspection technology; template matching; intelligent monitoring

当前, 智能制造已成为制造业革新新引擎, 汽车行业智能制造全面兴起, 目前冲压领域智能化、无人化工厂正在不断突破, 智能工艺开发应用日趋成熟, 智能化工厂管理也在不断探索与应用之中^[1]。在“中国制造 2025”和碳中和、碳达峰的大背景下, 有序推进数字化智能制造转型升级是我国传统车企迫切要完成的目标^[2]。

现代汽车行业对汽车的外观和强度等的要求越

来越高^[3]。冲压作为汽车制造领域的首道工艺, 冲压产品质量的好坏与生产效率的高低对整车生产起着重要作用^[4]。如果说冲压件的质量是整车外覆盖件质量的支柱, 那么冲压第 1 道工艺拉延工序则是冲压件质量的根基, 拉延工序的收料线便是冲压件质量名副其实的“生命线”。在模具制造过程中, 待模具调试稳定后会将理论拉延收料线加工刻蚀在压边圈上, 作为后续模具优化调整工作的基准, 如图 1 所示。模具达到批量稳定生产状态后, 此基准也是作为衡量板料成形程度的重要检查标准, 是快速判断零件状态的手段之一。流入量通常为沿板料边缘法向测量的成形前和成形后的边缘变化距离^[5], 如图 1 中数字所示。

收稿日期: 2023-02-01; **修订日期:** 2023-05-10

基金项目: 一汽-大众汽车有限公司 智慧工厂项目

作者简介: 石 磊 (1989-), 男, 硕士, 工程师

E-mail: Lei.shi.pl@faw-vw.com

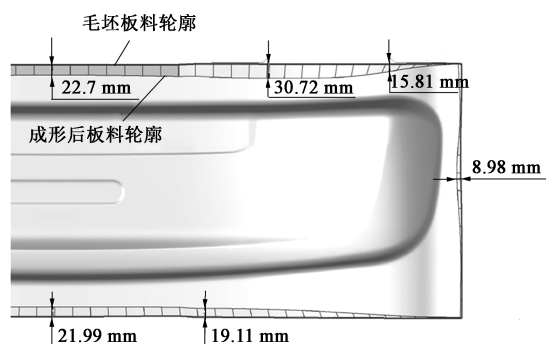


图1 某车型后盖外板下部收料线示意图

Fig. 1 Schematic diagram of receiving line for lower part of rear cover outer for a vehicle type

随着车型换代周期越来越短，汽车企业生产的车型越来越多，需要对生产过程进行监控与管理，并对生产运营过程中的数据进行收集、整理、分析，从而优化运营。但是，目前在大部分汽车行业仍然采用人工纸质采集、手工录入系统的方式进行生产数据采集，实际生产数据采集方式的不足导致了生产数据的完整性、准确性、时效性较差，难以满足制造企业信息化、实时化的发展需求^[6]。实际生产过程中，汽车冲压生产线往往工况复杂、环境变化大，而传统的冲压生产线的监测方式大多依赖人工巡查或单一的监测手段，环境抗干扰性弱，对专家经验依赖过多，导致监测困难且大规模的实际应用受限，同时，无法很好地满足生产环境中的监测需求^[7]。在整车制造企业中，为减小拉延状态波动引起的零件质量波动，避免因此导致的返修品、废品指标升高等问题，在传统生产模式下通常需要生产维护人员在一定生产间隔下拍停生产线、进入线体测量收料线的实际状态。这种操作方法会造成一定程度上的生产线效率损失。为了最大程度地减小效率损失，此检查间隔通常为几百至一千件。而在此期间，拉延敏感区域的收料线若出现微小变化，也极有可能造成尺寸或表面质量的波动，在后工序中出现异常返修及废品，造成生产成本的上升。图2为传统冲压生产模式下的质量控制环。

1 基于视觉图像 AI 算法的收料线监测系统

随着计算机芯片运算能力的提升以及人工智能算法的深入应用，目前，已出现通过计算机视觉检测取代人工检查的应用案例^[8]。例如，基于机器视觉的冲压件尺寸参数测量^[9]、冲压件冲孔缺陷的检测

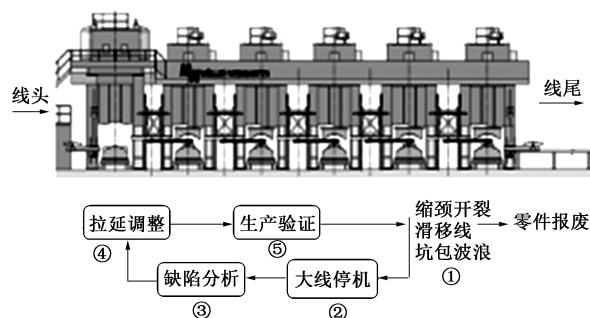


图2 传统生产模式下的冲压生产质量控制环

Fig. 2 Quality control loop of stamping production in traditional production mode

与识别^[10]、基于机器视觉的冲压件表面缺陷在线检测研究^[11]、基于机器视觉的冲压件感兴趣区域的尺寸测量^[12]。

本文基于视觉技术构建算法检测原则，通过与生产线信号关联，实现生产零件信息自动读取及检测模板匹配调用。硬件采用电荷耦合器件（Charge Coupled Device, CCD）工业相机、自动对焦镜头、高精度云台、高性能工控机，通过与生产线自动化信号关联触发方式，实现冲压零件的百分百监测。算法采用图像增强、图像分割、特征提取、模板匹配算法以满足远距离、强烈震动、快速生产节拍（最快每分钟17次）环境下，对目标区域收料线进行拍照，并完成基准比对计算，将监测结果实时输出至线体旁的客户端显示屏，并对检测结果超出设定阈值的零件进行预警显示。在此生产模式下，生产维护人员可以实现在不停线状态下对收料线状态进行实时检查，出现偏差后及时调整生产参数，避免缺陷流出，达到提高效率、降低生产报废的目标。图3为配置收料线监测系统后的冲压生产过程质量控制环。

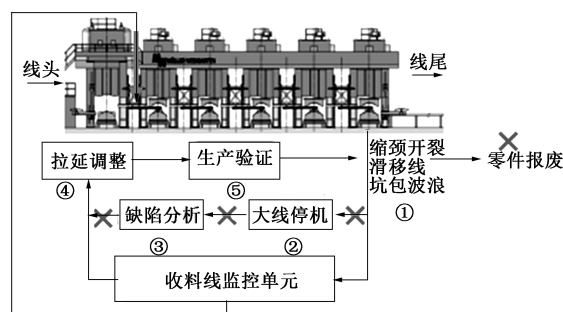


图3 基于收料线监测系统的冲压生产质量控制环

Fig. 3 Quality control loop of stamping production based on receiving line monitoring system

1.1 系统架构

1.1.1 硬件布置

在冲压线拉延工位配套6台高清工业相机和适配

的 6 套光源，结合相机视野进行全兼容。并结合实际生产情况，在更换模具后，为了方便相机能更好地适配模具，6 个相机搭配 6 套工业云台，实现相机拍照位置的调节。为延长相机和镜头的使用寿命，将单个工业相机、镜头和光源进行封装后形成一个整体，有利于防止油污及灰尘对相机造成的影响。

计算及控制单元使用 CPU I9 - 9900、硬盘 1TSSD 4THDD 和高性能工控机，保证实时接收收料

线延展图像，并快速进行算法检测。确保检测结果可以与冲压机床节拍同步，数据和图像稳定存储。

监测系统通过生产线信号读取实现零件信息自动关联，同时，通过与压机滑块、机械手信号关联实现拍照触发。线旁客户端可以实时显示选定区域的实时监测结果，对于偏移量超出设定阈值的区域进行预警显示。图 4 为收料线监测系统硬件组成示意图。

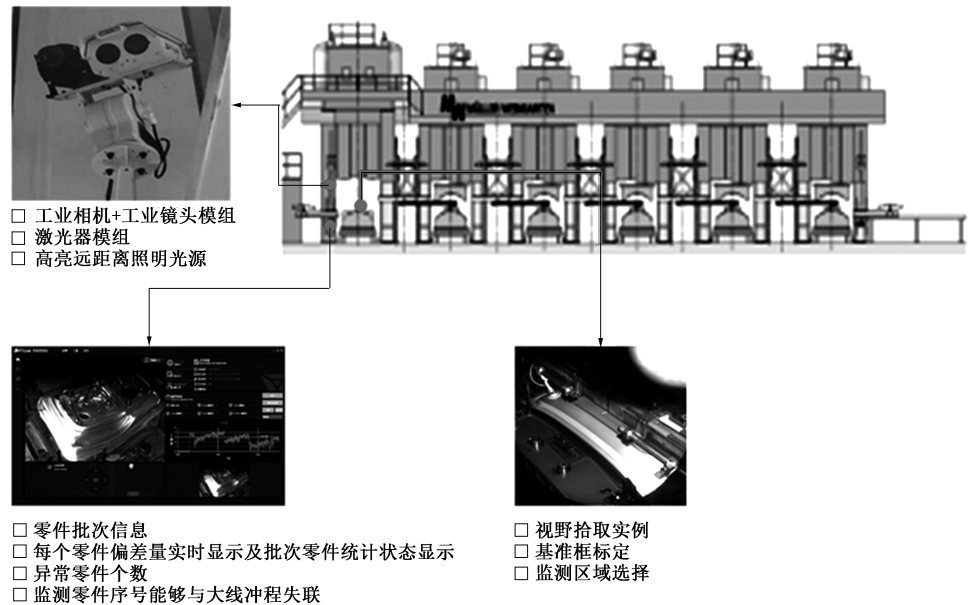


图 4 收料线监测系统硬件组成

Fig. 4 Hardware composition of receiving line monitoring system

1. 1. 2 监测算法

该项目采用影像模型对比算法。利用影像灰度值差异对比监测材料流入量的变化。

算法分为两大模块：

(1) 基准模板标定

在生产开始前，需要生产维护人员手动选择监测区域及定位框。

监测区域一般依据生产经验标定在对尺寸影响较大的收料线区域。每个摄像头视野内可标记 3 个监测区域，在线体内布置的 6 个摄像头可以实现零件在不同角度的全方位监测，消除监测盲区，如图 5 中线条 1~3 对应区域所示。

定位框的主要用途为：后续生产检测过程中，各摄像头实时拍照视野中的定位框框选区域与基准图定位区域进行最佳拟合，实现零件实时位置与基准零件位置的重合匹配。因此，定位框一般选择使用模具或零件上轮廓清晰、生产过程中不会发生变化的固定位置，如图 5 线框所示。

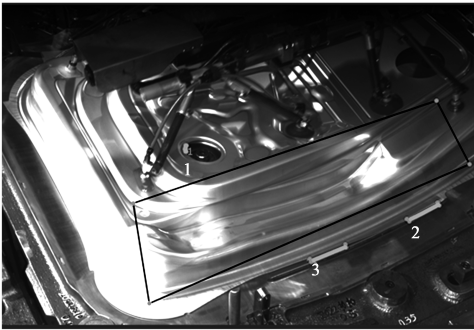


图 5 监测区域标定与定位框标定

Fig. 5 Monitoring area calibration and positioning frame calibration

以上基准标定工作完成后，该基准图将会作为检测模板存储并应用于生产监测中。

(2) 偏差值计算

在模板标定工作完成后，内存中会有模板信息、边缘信息等数据，当需要检测的图传入算法后，首先，通过定位框区域图像灰度值的最佳拟合实现检测图与基准图的位置找正。其次，通过

已选定检测区域的灰度值差异进行零件收料线边缘偏差的计算，如图 6 所示。检测图边缘与基准图边缘的差值即为收料线偏差值，并可以通过灰度值差值的正负数值逻辑关系来判断收料线是收缩还是外延。

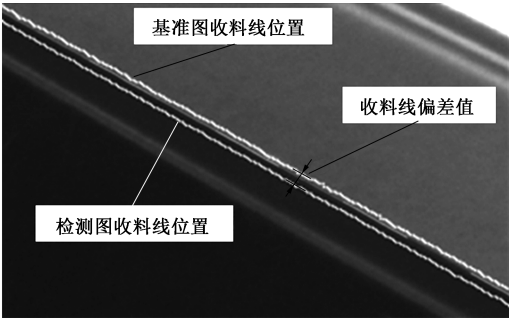


图 6 收料线偏差计算方法示意图

Fig. 6 Schematic diagram of receiving line deviation calculation method

1.1.3 用户界面开发

系统通过与生产线可编程逻辑控制器（Programmable Logic Controller, PLC）关联实现每批次生产零件信息的自动读取调用，并在客户端显示零件号、零件名称、生产批次等。同时，生产维护人员可在界面中对监测摄像头选择、检测区域单独调用显示、曲线整体对比显示等功能进行自由选择。对于不同零件，生产人员可根据拉延模拟或者生产经验对收料线偏差预警阈值进行设置，在监测运行中实时输出不同阈值内的偏差零件个数，对于超出极限阈值的零件进行预警显示。图 7 为软件操作界面及实时输出曲线界面。

1.2 运行效果评估

区别于传统生产控制方式，生产维护人员借助该套系统可实现零件收料线状态的实时监测，不再需要停线进行收料线手工测量，生产线效率得到有



图 7 收料线监测系统主界面

Fig. 7 Main interface of receiving line monitoring system

效提升，通过减少生产线停台，使年度能耗节约 10 万余元。另外，生产维护人员可实时维护生产参数进行拉延成形状态的前置控制，避免成批废品流向后续工序，实现拉延异常引起的废品返修品率下降，年度成本节约 26 万余元。

1.2.1 收料线监测精度

以某车型后盖为例。该零件为铝件，回弹较钢件更难控制，成形过程的局部回弹状态与拉延走料情况密切相关，零件尺寸对收料线的变化更为敏感。图 8 为某车型后盖外板（数值表示此处的板料流入

量），激光焊接面回弹控制在模具设计阶段即为工艺难点，激光焊接面尺寸的优劣将直接影响总成质量，异常偏差将会引起总成返修工时超标甚至零件报废。从模拟报告可以看出，激光焊接面对应区域的板料流入量达到 50 mm 以上，剧烈的材料流动将直接影响该区域的成形状态，因此选择图 9 中区域①、②、③进行收料线监测，选定零件上型面及棱线位置清晰的区域作为定位框，如图 9 中线框所示。

从图 10 监测曲线可以看出，在 120 ~ 260 件（次数）生产过程中，随着冲程次数的增加，模具

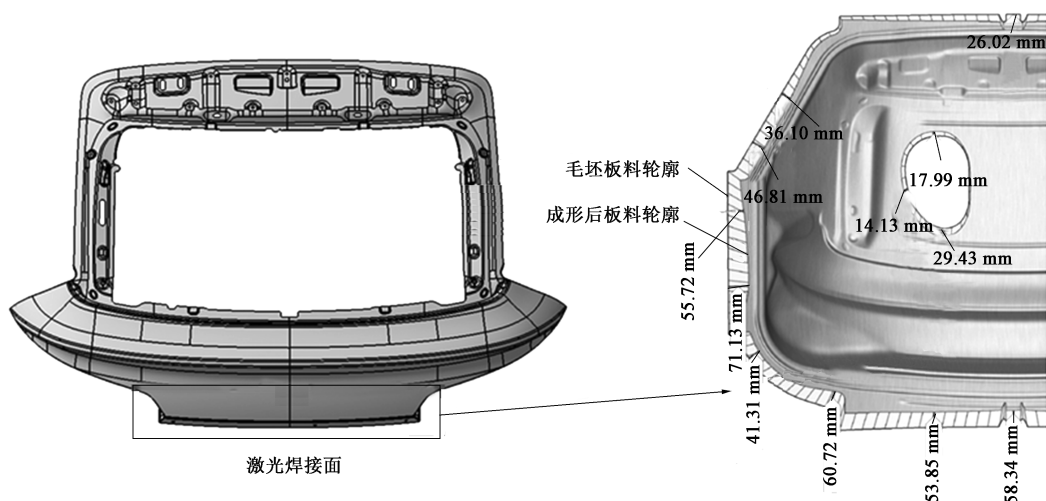


图 8 某车型后盖零件及拉伸走料模拟状态

Fig. 8 Simulation state of rear cover part for a vehicle type and draw-out material

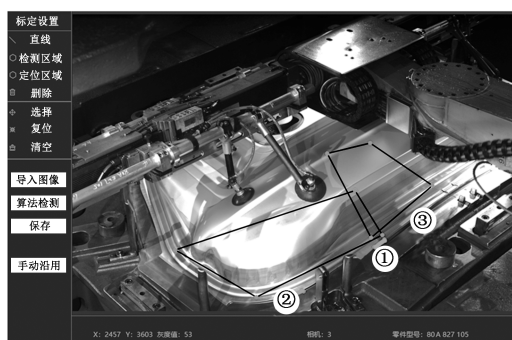


图 9 后盖监测区域和定位框标定

Fig. 9 Monitoring areas and positioning frame calibration of rear cover

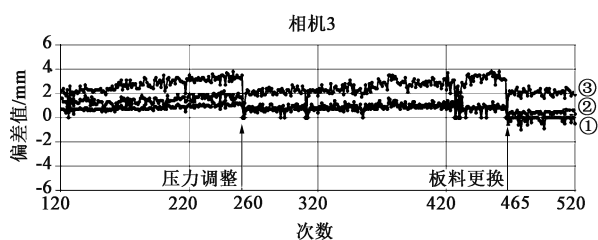


图 10 实时监测曲线

Fig. 10 Realtime monitoring curves

温度上升, 板料流入阻力增加, 3 个监测区域的收料线均存在一定程度的外延, 其中区域③最为敏感, 从外延 2 mm 变化至将近 4 mm, 这一结果与模拟实验结果吻合。在生产进行至 260 件时进行压力调整, 降低走料阻力, 曲线发生突变下降, 收料线外延偏差基本恢复至生产初始状态。在随后 200 件的生产过程中, 随着冲程次数的增加, 模具温度继续升高, 板料流入阻力增加, 各区域外延趋势进一步增加,

其中区域③仍最敏感, 增加至外延 4 mm 左右。在生产至 465 件时进行板料更换, 由于不同卷料之间力学性能的差异, 导致收料线再次发生下降突变。从整个生产过程的生产参数变化情况以及收料线偏差变化趋势来看, 该系统能够实时、准确地输出收料线的变化情况, 实现了指导生产过程质量控制的目标。

1.2.2 数据闭环条件下的生产参数自适应智能调整生产系统搭建

目前的生产模式仍需生产维护人员进行干预, 在某一区域收料线出现偏差预警后需要生产人员进行生产参数的手工输入调整。随着系统的投入运行, 生产线各个零件成形敏感区域的收料线变化规律数据累积完成后, 计划搭建成形压力与收料线变化的关联关系模型, 基于该系统进行压力自动控制的二次开发。将各监测区域收料线偏差数据与对应的拉伸垫液压缸压力进行关联, 在该区域料线超出偏差阈值后通过压力-收料线关联模型进行压力参数调整和计算, 并通过 PLC 反馈至相应拉伸垫液压缸, 进行生产过程成形压力的自适应调整, 最终实现拉伸生产过程的智能化自动控制。

2 结语

在冲压生产线拉伸工位布置 6 台工业相机以实现零件全区域监测覆盖, 用户可在软件界面实现监测区域的自主选择。基于图像模板匹配实现拉伸工序件收料线偏差值的实时监测, 并对超出设定阈值的监测区域进行预警。后续将继续基于此系统进行

二次拓展开发,通过大数据积累和控制模型的建立,实现收料线偏差后自动调整生产参数,达到生产过程智能控制的目的。

在“中国制造2025”和“碳中和”、“碳达峰”的大背景下,有序推进数字化智能制造转型升级是我国传统车企迫切需要完成的目标。当前,智能制造已成为制造业革新新引擎,汽车行业智能制造全面兴起,目前冲压领域智能化、无人化工厂正在不断突破,智能工艺开发应用日趋成熟,智能化工厂管理也在不断探索与应用之中。冲压生产负担着整车外覆盖件的生产制造重任,在整车质量和效率成本环节占据着举足轻重的地位。由于新能源汽车、燃料电池汽车、智能化汽车等多方面的市场导向需求,汽车产品更新换代更快,促使冲压车间生产技术的不断更新迭代。目前已部署部分数字化系统,例如油膜在线监测、废料滑道监测系统、基于视觉技术的零件缺陷检查、在线光学测量等,通过这些新型数字化智能技术融入到冲压车间的生产运营中,实现冲压领域的数智化转型升级。

参考文献:

- [1] 邵启明,江克洪,赵子海,等. 智能制造在冲压车间的开发与应用[J]. 锻造与冲压,2022,(10): 49-52.
Shao Q M, Jiang K H, Zhao Z H, et al. Development and application of intelligent manufacturing in stamping workshop [J]. Forging & Metalforming, 2022, (10): 49-52.
- [2] 韩明,邢晓威,冯永旺. 数字化智能冲压车间关键技术[J]. 锻造与冲压,2022,(18): 16-19.
Han M, Xing X W, Feng Y W. Key technologies of digital intelligent stamping workshop [J]. Forging & Metalforming, 2022, (18): 16-19.
- [3] 付磊磊. 冲压模具智能检测系统设计与研究[D]. 重庆:重庆大学,2019.
Fu L L. Design and Research of Intelligent Detection System for Stamping Die [D]. Chongqing: Chongqing University, 2019.
- [4] 秦鹏,方赫,杜庆辉,等. 冲压车间数字化规划技术应用探索[J]. 锻造与冲压,2020,(14): 18-21.
Qin P, Fang H, Du Q H, et al. Application of digital planning technology on stamping workshop [J]. Forging & Metalforming, 2020, (14): 18-21.
- [5] 谢迎欢,曹彪,孙祖团,等. 汽车覆盖件拉深模压边圈划线方案研究与应用[J]. 模具工业,2022,48(8): 11-15.
Xie Y H, Cao B, Sun Z T, et al. Research and application of blank holder dividing scheme in drawing die for automotive cover panel [J]. Die & Mould Industry, 2022, 48 (8): 11-15.
- [6] 张永刚. 冲压车间数字化管理系统[J]. 世界制造技术与装备市场,2021,(5): 80-83.
Zhang Y G. Digital management system of stamping shop [J]. World Manufacturing Engineering & Market, 2021, (5): 80-83.
- [7] 李春燕. 汽车冲压生产线状态监测系统设计与实现[D]. 重庆:重庆大学,2019.
Li C Y. Design and Implementation of Condition Monitoring System for Automobile Stamping Production Line [D]. Chongqing: Chongqing University, 2019.
- [8] 李驰,关家文,方伟滨. 冲压质量模板匹配视觉检测技术应用[J]. 锻造与冲压,2022,(4): 26-29.
Li C, Guan J W, Fang W B. Application of the visual inspection technology of the template matching of stampings quality [J]. Forging & Metalforming, 2022, (4): 26-29.
- [9] 李云峰,韩茜茜,李晟阳. 基于机器视觉的冲压件尺寸参数测量[J]. 工具技术,2015,49(11): 95-98.
Li Y F, Han Q Q, Li S Y. Dimension parameter measurement of stamping parts based on machine vision [J]. Tool Engineering, 2015, 49 (11): 95-98.
- [10] 田洪志,王东兴,林建钢,等. 冲压件冲孔缺陷的检测与识别[J]. 现代电子技术,2020,43(23): 35-38.
Tian H Z, Wang D X, Lin J G, et al. Detection and recognition of punching defects on punching parts [J]. Modern Electronics Technique, 2020, 43 (23): 35-38.
- [11] 陈广锋,管观洋,魏鑫. 基于机器视觉的冲压件表面缺陷在线检测研究[J]. 激光与光电子学进展,2018,55(1): 335-341.
Chen G F, Guan G Y, Wei X. Online stamping parts surface defects detection based on machine vision [J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2018, 55 (1): 335-341.
- [12] 杨延竹,路枚,韩阜益. 基于机器视觉的冲压件感兴趣区域尺寸测量[J]. 机械设计与制造,2019,(10): 150-153.
Yang Y Z, Lu M, Han F Y. The ROI of stamping parts dimensional measurement based on machine vision [J]. Machinery Design & Manufacture, 2019, (10): 150-153.

