

For citation: Zhang Zhi-Peng. Design of an automatic riveting device for an eight-station wiper crank plate rotator // Grand Altai Research & Education — Issue 2 (25)'2025 (DOI: 10.25712/ASTU.2410-485X.2025.02) — EDN: <https://elibrary.ru/LHBUNJ>

UDK 658.512.26

DESIGN OF AN AUTOMATIC RIVETING DEVICE FOR AN EIGHT-STATION WIPER CRANK PLATE ROTATOR

Zhang Zhi-Peng¹

¹ Hubei Digital Textile Equipment Key Laboratory, School of Mechanical Engineering and Automation,
Wuhan Textile University, Wuhan, 430073, China
E-mail: 2350743169@qq.com

Abstract. Addressing the issues of low efficiency and poor consistency in the riveting process of the crank plate ball head of automobile windshield wipers, a multi-station automated riveting system has been designed. The system utilizes a cam divider to drive an eight-station turntable with a diameter of 800mm, coupled with a radial riveting machine and an integrated XZ-axis robotic arm, to achieve automatic feeding, riveting, inspection, and sorting. With a system cycle time of less than 7 seconds per piece, the system features high precision, low cost, and easy maintenance, making it suitable for small and medium-sized automobile parts manufacturing enterprises.

Keywords: automotive components; multi-station riveting; automated sorting; cam indexer

雨刮器曲柄板旋转八工位自动铆接装置设计

张志鹏¹

¹ 武汉纺织大学, 湖北省数字化纺织装备重点实验室, 机械工程与自动化学院, 武汉 430073
E-mail: 2350743169@qq.com

摘要: 针对汽车雨刮器曲柄板球头铆接工艺效率低, 一致性差的问题, 设计了一种多工位自动化铆接系统. 系统采用凸轮分割器驱动直径 800mm 的八工位转盘, 配合径向铆接机与集成式 XZ 轴机械手, 实现自动上料, 铆接, 检测与分拣. 系统节拍时间小于 7 秒/件, 具备高精度, 低成本, 易维护等特点, 适用于中小型汽车零部件生产企业.

关键词: 汽车零部件; 多工位铆接; 自动化分拣; 凸轮分割器

0 引言

目前汽车雨刮器曲柄板球头铆接多依赖人工操作, 存在效率低, 质量不稳定, 工伤风险高等问题. 现有单工位自动铆接机虽有所改善, 但节拍慢, 占地面积大, 适配性差. 本研究提出一种八工位自动铆接装置, 具备以下特点: 采用悬吊式凸轮分割器, 降低设备高度 42%; 弹簧夹具配合固定盘实现纯机械夹紧; 集成式 XZ 轴机械手实现合格品与废品分拣; 系统成本控制在 13 万元以内, 适用于中小企业.

1 系统总体方案设计

1.1 设计需求

为了实现雨刮器曲柄板与球头销的批量自动装配, 铆接及质量控制, 保证生产效率及产能, 必须设计一条自动化流水线来实现曲柄板与球头销装配, 铆接及检测全自动操作. 因此 «雨刮器曲柄板旋转八工位自动铆接装置设计» 项目首先

需要深入分析曲柄板与球头销装配, 铆接和质量检测等操作规范和要求, 在此基础上提出一种雨刮器曲柄板旋转八工位自动铆接装置的设计方案; 并进行机械装置的计算, 标准件选型及机械结构设计. 工件关键尺寸以及性能指标如下所示:

- (1) 工件: 球头销直径 $8.02\pm0.06\text{mm}$, 曲柄板厚度 $5.0\pm0.1\text{mm}$;
- (2) 节拍时间: ≤ 7 秒/件;
- (3) 工位功能: 上料, 检测, 铆接, 分拣等 8 个工位.

1.2 总体方案

本设计拟采用 DT 系列平台桌面型凸轮分割器 [1], 并且分割器驱动方案为: 电机-减速器-联轴器-凸轮分割器; 分割器放置方案为: 采用悬吊式安装方法 [2]; XZ 二轴下线方案为: 采用 XZ 二轴机械手与电磁铁集成.

总体方案设计三维模型图见图 1.

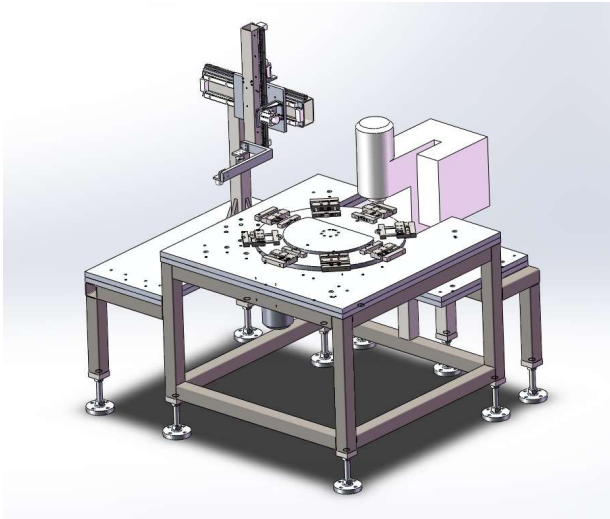


图 1 总体方案设计模型图
Figure 1. Overall Plan
Model Diagram

1.3 功能模块

八工位自动铆接系统的功能模块主要分为以下几个部分: 动力模块, 分度模块, 执行模块和分拣模块. 功能模块组成表见表 1.

表 1 功能模块组成
Table 1. Functional Module Composition

八工位自动铆接系统	
1.	动力模块 (1.5kW 电机 +RV 减速机 (速比 20) [3] +联轴器)
2.	分度模块 (DT 系列凸轮分割器 (轴距 140mm))
3.	执行模块 (力禾 TJM8 铆接机)
4.	分拣模块 (XZ 双轴机械手+电磁铁)

1.4 动力传递链验证

减速机输出转速计算见式 (1):

$$n_{output} = \frac{n_{motor}}{i} = \frac{1430rpm}{20} = 71.5rpm \approx 72rpm \quad (1)$$

减速机输出扭矩计算见式 (2):

$$T_{output} = 9550 \times \frac{P}{n_{output}} = 9550 \times \frac{1.5kw}{71.5rpm} \approx 200.3Nm \quad (2)$$

满足怡合达 ZLF25-8-270 分割器输入转速 60~80rpm 需求, 且满足分割器的入力轴最大所需扭矩 147Nm 需求.

1.5 关键参数

1.5.1 结构参数

分度盘采用直径 800mm, 厚度 25mm 的铝合金转盘 (6061-T6) 结构, 并且在中心进行了挖孔, 用于和分割器输出轴进行配合, 并且在孔周围设计有八个沉头孔与分割器输出轴端进行连接. 此外分度盘上也为八个夹具设计了定位销孔与螺纹孔. 焊接机架采用 80×4 空心方钢, 主要框架结构尺寸为 1200×1200×700mm.

1.5.2 工艺参数

(1) 铆接工艺参数见表 2.

表 2 铆接工艺参数

Table 2. Riveting Process Parameters

参数	理论值	设备能力	裕度
铆接力	603N	14000N	+2221%
行程精度	±0.05mm	±0.02mm	60%
同心度	≤0.1mm	≤0.03mm	70%

(2) 节拍时间分解计算见式 (3)

$$t_{total} = \max (t_1, t_2, t_3, t_4, t_5) + t_0 = 1.75s \quad (3)$$

其中:

t_0 为分度时间;

t_1 为上料时间;

t_2 为铆前检测时间;

t_3 为铆接时间;

t_4 为铆后检测时间;

t_5 为下线时间.

总时间远低于 7s/件的需求.

2 旋转分度系统设计

该系统的工作原理: 当动力从分割器输出轴输出后, 分度盘实现分度旋转动作, 此时 5 个放松状态的夹具依靠滚轮沿着固定盘轮廓运动, 另外 3 个没有与固定盘接触的夹具处于夹紧状态. 到达开启区域时, 固定盘压缩滚轮, 带动夹具实

现开合, 此时夹具被松开. 进入检测 (铆接前和铆接后), 铆接区域后, 固定盘与滚轮分离, 弹簧释放实现夹紧动作. 机构俯视图见图 2.

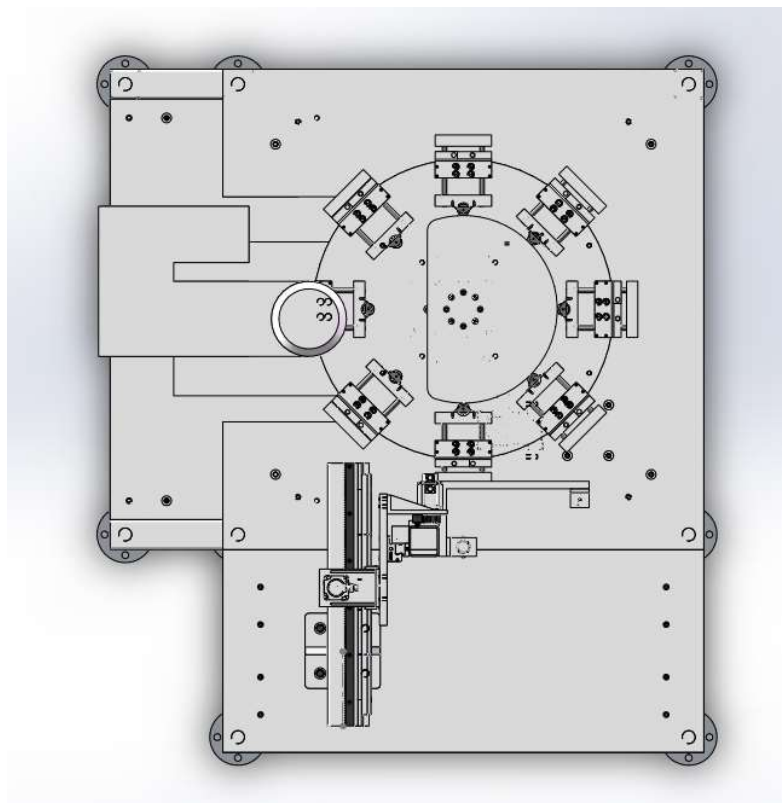


图 2 协同机构俯视图
Figure 2. Top View of the Coordinating Mechanism

2.1 分度盘-固定盘协同机构

(1) 运动分度盘为一个直径为 800mm, 厚度为 25mm 的 6061 铝制转盘. 其中心位置设计有八个沉头孔用于固定在凸轮分割器上, 并且中间有一个直径为 150mm 的圆形孔, 用于配合凸轮分割器输出轴. 分度盘直径与工位数的关系见式 (4):

$$D = \frac{N \times (L+C)}{\pi} \quad (4)$$

其中:

工位数 $N=8$

夹具安装面长度 $L=150\text{mm}$

安全间隙 $C=50\text{mm}$

计算得理论直径 763mm, 取整 800mm 可提供额外缓冲空间.

(2) 固定盘为 7075 铝制, 用于与夹具的顶板处滚轮进行配合, 当夹具进入固定盘的凸出端时, 夹具被顶开, 释放工件. 当夹具离开固定盘的凸出端时, 夹具弹簧被释放, 工件被夹紧. 固定盘磨损面主要是与滚轮接触的面. 固定盘的安装方式为安装在凸轮分割器静止轴上. 并且固定盘下端有外径小于分度盘中心孔径的圆柱形突起, 通过分割器静止轴支撑, 与分度盘保持 5mm 间隙.

2.2 弹簧夹具设计

利用弹簧的弹力实现夹具的夹紧和放松,在夹具顶板,即与固定盘接触位置设计有滚轮,主要摩擦力为滚动摩擦力,大大减小了固定盘的磨损,延长其使用寿命 [4]. 且在顶板与夹具座之间设计有弹簧模块,即该夹具在不受外力状态下为夹紧动作. 上线动作为球头销先上线,而后曲柄板进行上线,采用双轴定位,并且为便于上下线夹爪的抓取,夹具最高面与上线后的曲柄板最高面之间的距离设计为 5mm. 弹簧夹具模型图见图 3.

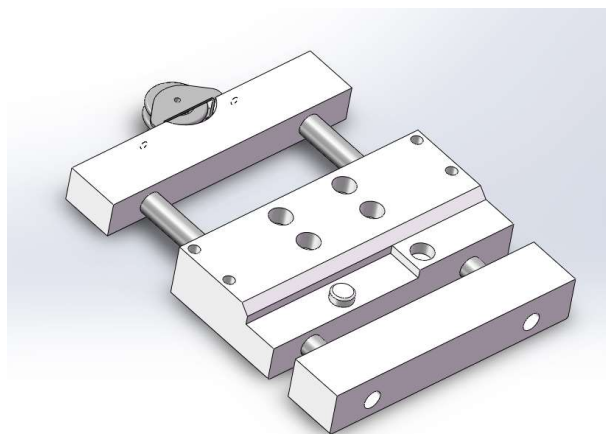


图 3 弹簧夹具模型图
Figure 3. Spring Clamp
Model Diagram

2.3 分割器选型与悬吊设计

2.3.1 凸轮分割器选型验证

凸轮分割器是八工位自动铆接旋转装置的核心部件,工位的分度旋转动作依靠分割器的精准分度实现. 考虑到分度盘设计为直径为 800mm 厚度 25mm 的圆形转盘,根据凸轮分割器选型经验公式可以初步得到分割器轴距大约在 130mm 至 140mm 之间,因而初步拟采用怡合达 ZLF25-DT 系列凸轮分割器,其轴距为 140mm. 且考虑到八工位选装装置上的其他工位占用空间问题,DT 系列平台桌面型凸轮分割器输出轴中心具有挖空结构,可以用于气动,电路走线. DT 系列平台桌面型凸轮分割器输出轴中心具有固定轴设计,可以进行连接固定板并与设计的夹具配合,对比在机架上设计固定板而言,该设计有效减小了分度盘上方空间的占用,为其他工序 (例如上下线,检测等) 留出更充裕的空间.

初步选择 ZLF25-DT140 平台桌面型凸轮分割器,其核心作用是将电机的连续旋转转换为间歇性分度运动,驱动直径 800mm 的转盘实现八个工位的精准定位. 其关键功能包括:

精确分度: 每 45° 分度一次,确保八个工位稳定切换.

动力传递: 分割器将扭矩高效传递至转盘,承载动态负载,总惯量为 $3.3\text{kg}\cdot\text{m}^2$.

以下是对该型号凸轮分割器进行的验算:

负载惯量计算: 采用复合形体惯量叠加法,验算其转动惯量 [5], 见式 (5).

$$J_{total} = \frac{1}{2} m_d R_d^2 + 8 \times \left(\frac{1}{12} m_f L_f^2 + m_f d_i^2 \right) \quad (5)$$

根据总惯量=转盘惯量+夹具惯量

带入设计参数:

转盘质量 $m_d = 32.4kg$ (6061 铝合金)

夹具质量 $m_f = 3.6kg$

安装半径 $d_i = 375mm$

总惯量 $J_{total} \approx 10.6kg \cdot m^2$

在加速度为 $15 rad/s^2$ 时, 产生的扭矩为 $159N$.

2.3.2 凸轮分割器悬吊设计

本方案采用了一种将凸轮分割器悬吊的设计, 采用四根光轴将凸轮分割器悬吊安装, 使转盘工作面离地高度降低至 $800mm$ 左右, 并且通过四轴对称支撑, 有效抑制转盘振动. 同时分割器与转盘整体可拆卸, 降低了后期维护成本与维护时间. 光轴型号为 SCJ08-D20-L176-M12-N12, 即该光轴直径为 $20mm$, 长度为 $176mm$, 且两端均有 $M12$ 螺纹孔.

3 部分受载部件有限元仿真分析

3.1 分度盘的静应力仿真分析

除重力外, 分度盘主要受到凸轮分割器输出轴扭矩, 八个夹具重力等力. 通过计算可得转盘中心受到扭矩为 $159N \cdot m$, 八个夹具的质量约为 $28.8kg$ 即 $288N$. 生成网格后对分度盘进行有限元分析得到:

(1) 网格品质图解:

在进行网格划分时, 可以观察到网格分布是不均匀的, 其主要原因在于分度盘所安装夹具位置留有的销孔与螺纹孔位削弱了分度盘的整体强度, 因此在这些部位网格采用较为密集的分布方式, 而在除此之外的非承载区, 网格分布较为稀疏. 网格品质图解见图 4.

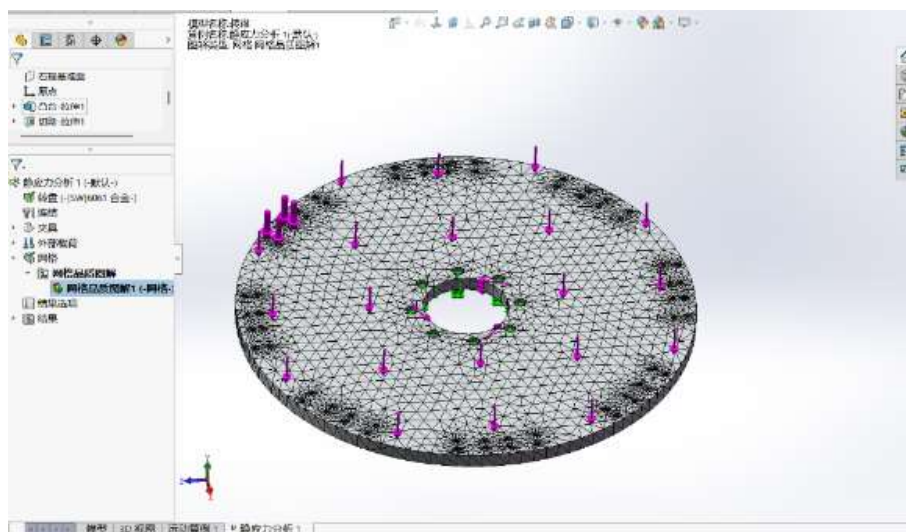


图 4 分度盘网格图解
Figure 4. Index Plate Grid Diagram

(2) 分度盘应力图:

通过该应力图可以得知,分度盘的最大应力分布在八个沉头孔处,并且最大应力为 $2.1 \times 10^6 \text{ N/m}^2$,而 6061-T6 铝合金屈服强度为 275 MPa ,远大于所受的最大应力,满足不发生破坏的最大应力值需求,符合强度要求. 分度盘应力图见图 5.

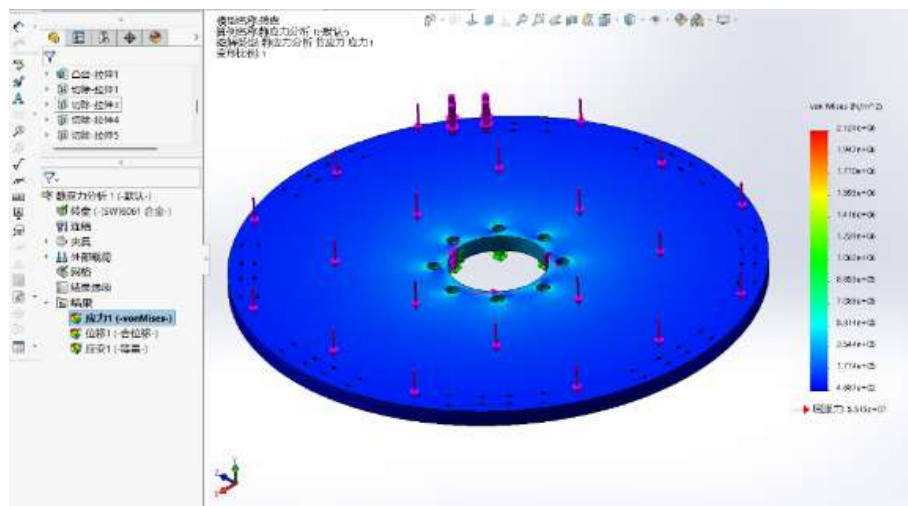


图 5 分度盘应力图
Figure 5. Index Plate Stress Diagram

(3) 分度盘位移图:

如图所示,最大位移形变量发生在分度盘外围,并向中部逐渐递减,其最大位移形变量为 $9.2 \times 10^{-6} \text{ mm}$,可知该细微的形变在合理范围之内,形变符合设计需求 [6]. 分度盘位移图见图 6.

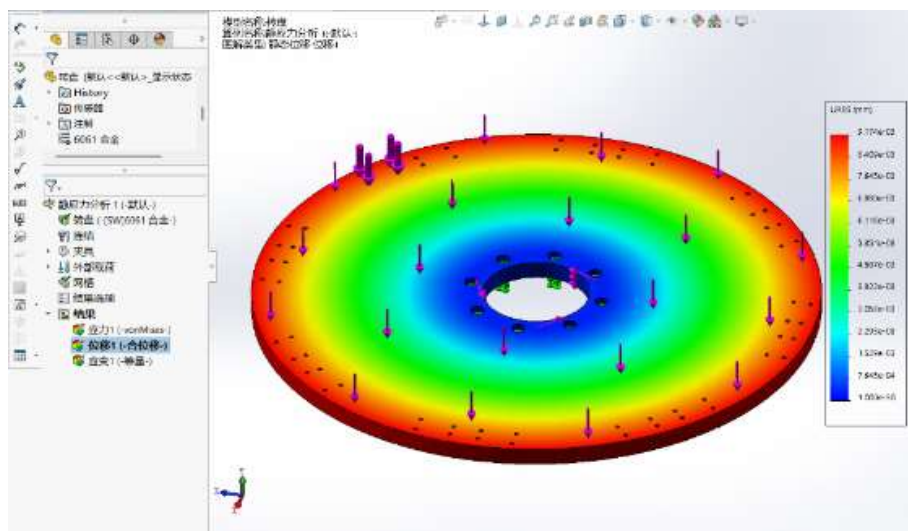


图 6 分度盘位移图
Figure 6. Index Plate Displacement Diagram

3.2 簧夹具的静应力仿真分析

按照如上步骤继续对弹簧夹具受铆接冲击的弹簧夹具进行仿真分析. 根据设计方案可知,弹簧夹具主要受到的较大的力为铆接机的冲压力,通过铆钉传导到夹具座上,铆接部位并非与分度盘边缘重合,而是通过延伸出分度盘外,其下方与铆接机工作台配合. 铆接力为 600 N ,建立网格后,对夹具进行有限元分析结果如下:

(1) 夹具网格品质图解:

通过对夹具座生成网格不难发现, 夹具主要受应力部位为铆接处, 即为铆钉留下的孔处网格较为密集. 此外夹具座材料应当能承受铆接的压力, 因此对于夹具座的材料选择方面, 选择了强度更高的 40Cr 作为夹具座的原材料. 夹具网格图解见图 7.

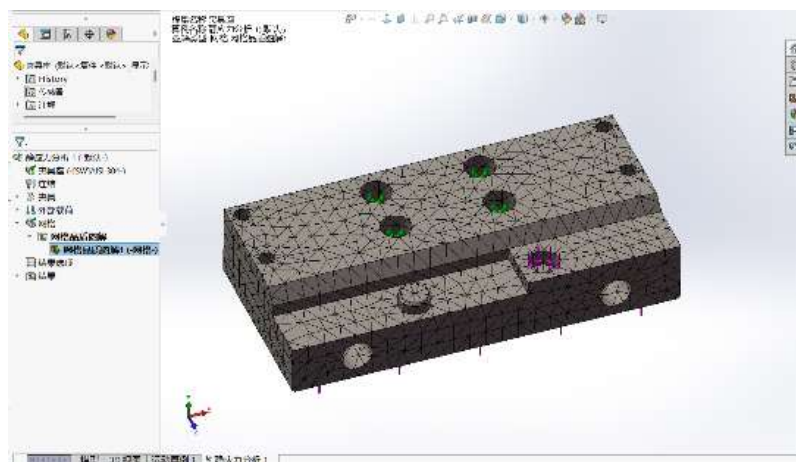


图 7 夹具网格图解
Figure 7. Fixture Grid
Diagram

(2) 弹簧夹具应力图:

通过对夹具四个沉头孔进行固定之后, 对铆接接触面施加 600N 外力, 并且生成网格之后进行仿真, 得出夹具的应力图. 如图所示最大应力集中在铆钉孔处, 为 $6.7 \times 10^6 \text{ N/m}^2$, 而夹具材料选择为 40Cr, 其屈服强度为 785MPa 以上, 远高于铆钉孔所受应力, 因而符合强度要求与设计需求. 夹具应力图见图 8.

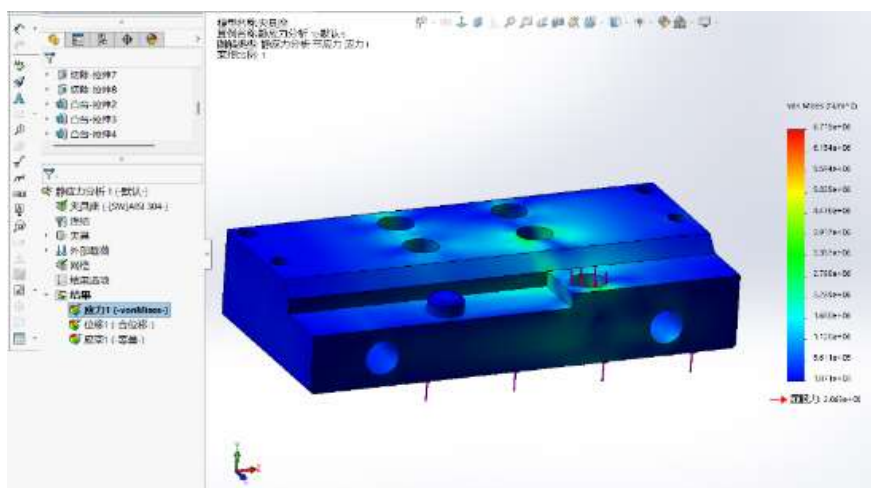


图 8 夹具应力图
Figure 8. Fixture Stress
Diagram

(3) 弹簧夹具位移图:

对弹簧夹具进行有限元分析, 其位移结果如图所示, 因为夹具需要承受径向铆接力, 因而最大位移发生在夹具铆钉孔处, 且最大位移为 $1.3 \times 10^{-3} \text{ mm}$ 符合设计需求. 夹具位移图见图 9.

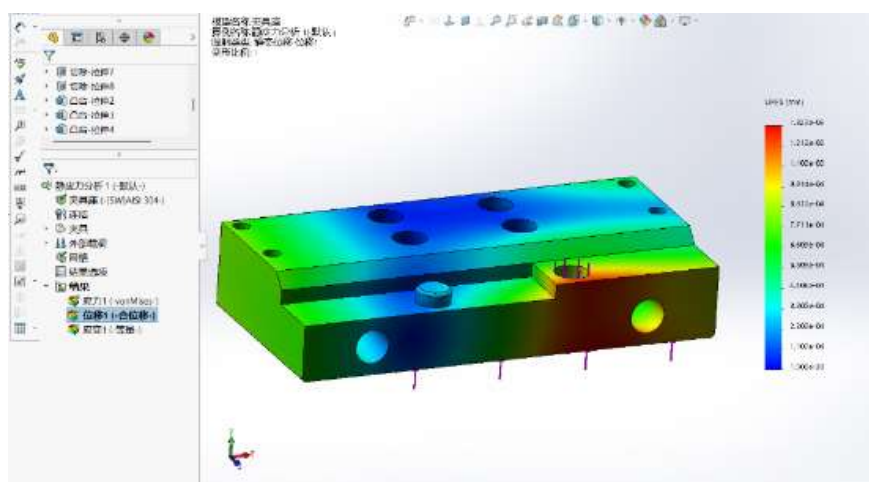


图 9 夹具位移图
Figure 9. Fixture
Displacement Diagram

4 经济性分析

不管是日常生活还是各个行业的设计生产,都应该对其进行经济性分析.产品的经济性分析包括设计,选材,后期维护,经济效益等方面.表 3 是主要标准零件汇总与价格表:

表 3 主要标准件价格
Table 3. Prices of Main Standard Parts

名称	型号	单价 (元)	数量 (件)	总价 (元)
凸轮分割器	ZLF25-8-270	17660.57	1	17660.57
三相异步电机	ZJS11-90L-4-1.5-B-B35	1514.29	1	1514.29
RV 减速机	ZMD51-63-20-S-90-B5	573.85	1	573.85
联轴器	DBN56-D104-d25-e30	622.37	1	622.37
气动夹爪	NGQ04-25	600	1	600
伺服电机	ECMA-E11320RS	1550	2	3100
自动压铆机	TJM8	20000	1	20000
合计				44071.08

通过上表统计可得知,本设计中主要标准件选型预计投入成本约为 44071 元左右.虽对比传统人工加工车间而言前期成本投入较高,但在车间管理,后期维护与高质量产出方面本设计拥有较高优势.经过以上分析可得知本设计方案经济性较高,并且可以广泛应用在不同规模的制造商中.

5 结束语

本设计构建了一套高效,经济的雨刮器曲柄板八工位自动铆接装置.通过采用悬吊式凸轮分割器,纯机械驱动的弹簧夹具以及集成化分拣机械手等创新结构,有效地解决了传统人工铆接及现有单工位设备在效率,精度与成本方面的瓶颈.并且通过有限元分析与参数校核,可以得出该系统性能稳定可靠,节拍时间远优于设计指标.为中小型汽车零部件企业提供了一套切实可行的自动化解决方案.

参考文献

- [1] 易平. 基于四工位转盘凸轮分割器的选型与应用 [J]. 现代工业经济和信息化, 2017, 7 (10): 78-80. DOI: 10.16525/j.cnki.14-1362/n.2017.10.34.
- [2] 刘阿奇, 孟晓亮, 厉伟, 等. 立式车床转盘工作台嵌入式直驱永磁电机研究 [J]. 电工技术, 2024, 45(19): 50-54. DOI: 10.19768/j.cnki.dgjs.2024.19.011.
- [3] 苏申, 于永慧, 张迅. 应用于 RV 减速机的三唇结构骨架油封的设计及验证 [J]. 现代制造技术与装备, 2024, 60 (12): 64-67. DOI: 10.16107/j.cnki.mmte.2024.0875.
- [4] 叶隆. 弹簧夹具在机械加工中的应用 [J]. 轻工标准与质量, 2020, 33(01): 95-96+100. DOI: 10.19541/j.cnki.issn1004-4108.2020.01.014.
- [5] 吴镇生, 王京, 罗昌杰, 等. 间歇分度凸轮机构的选型设计 [J]. 机械制造与自动化, 2016, 45 (01): 22-23+53. DOI: 10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2016.01.006.
- [6] Wang S., Gu B., Zhang F., et al. Research on strength reliability improvement of a high-speed cam based on stress-strength interference theory [J]. Journal of Physics: Conference Series, 2025, 2951 (1): 012030-012030.

References

- [1] Yi Ping. Selection and Application of Cam Splitter Based on Four Position Turntable [J]. Modern Industrial Economy and Informationization, 2017, 7 (10): 78-80. DOI: 10.16525/j.cnki.14-1362/n.2017.10.34.
- [2] Liu Aqi, Meng Xiaoliang, Li Wei, et al. Study on Embedded Direct-drive Permanent Magnet Motor for Vertical Lathe Turntable [J]. Electric Engineering, 2024, 45(19): 50-54. DOI: 10.19768/j.cnki.dgjs.2024.19.011.
- [3] Su Shen, Yu Yonghui, Zhang Xun. The Design and Verification of the Three-Lip Structure Skeleton Oil Seal Applied to RV Reducers [J]. Modern Manufacturing Technology and Equipment, 2024, 60 (12): 64-67. DOI: 10.16107/j.cnki.mmte.2024.0875.
- [4] Ye Long. Application of Spring Clamps in Machining [J]. Standard & Quality of Light Industry, 2020, 33(01): 95-96+100. DOI: 10.19541/j.cnki.issn1004-4108.2020.01.014.
- [5] Wu Zhensheng, Wang Jing, Luo Changjie, et al. Lectotype Design of Intermittent Sub-degree Cam Mechanism [J]. Machine Building & Automation, 2016, 45 (01): 22-23+53. DOI: 10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2016.01.006.
- [6] Wang S., Gu B., Zhang F., et al. Research on strength reliability improvement of a high-speed cam based on stress-strength interference theory [J]. Journal of Physics: Conference Series, 2025, 2951 (1): 012030-012030.