

doi: 10.16104/j.issn.1673-1891.2023.01.011

轨道车辆 S 形截面结构件的排样设计与应用

李陶胜¹, 沈 晨², 王淑芳¹, 罗 林¹, 叶彩霞¹

(1. 安庆职业技术学院机电工程学院, 安徽 安庆 246003;
2. 马鞍山市汽车冲压模具先进设计工程技术研究中心, 安徽 马鞍山 243031)

摘要:轨道车辆 S 形截面结构件冲压成形容易产生回弹变形, 回弹变形又会带来制件上的孔洞和局部形状的二次形位误差。以轨道车辆 S 形截面结构件为对象, 参照坯料的排样设计流程, 通过制件工艺分析、CAE 仿真分析, 初步设计了坯料的十工序排样; 从成形工艺、模具概要设计角度详细分析了坯料排样各工序的设计目的; 依据所设计的坯料排样完成了级进模设计, 并在所设计、制造、调试好的级进模上做了实冲试验。结果表明: 所设计的十工序排样图适用于轨道车辆 S 形截面结构件的冲压加工。对该坯料排样设计方法与方案推广应用, 具有较好的经济效益和社会效益。

关键词: S 形截面; 结构件; 回弹变形; 排样设计; 实冲试验

中图分类号: TG386.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-1891(2023)01-0071-05

Layout Design and Application of Structural Parts of S-Shaped Section Rail Vehicles

LI Taosheng¹, SHEN Chen², WANG Sufang¹, LUO Lin¹, YE Caixia¹

(1. School of Mechanical and Electrical Engineering, Anqing Vocational & Technical College, Anqing, Anhui 246003, China; 2. Ma'anshan Engineering Technology Research Center of Advanced Design for Automotive Stamping Dies, Ma'anshan, Anhui 243031, China)

Abstract: The stamping of S-shaped cross-section structural parts of rail vehicles often produces spring-back deformation, which will cause holes in the parts and secondary form and position errors of local shapes. Taking the S-shaped cross-section structure of railway vehicle as the object, referring to the blank layout design process, through the process analysis and CAE simulation analysis, the ten-process layout of blank is preliminarily designed; The design purpose of each process of blank layout is analyzed in detail from the perspective of forming process and mold outline design; According to the designed blank layout, the progressive die design is completed, and the real stamping test is done on the designed, manufactured and debugged progressive die. The results show that the designed layout of ten processes is suitable for the stamping process of S-shaped structural parts of rail vehicles. The popularization and application of the blank layout design method and scheme should have good economic and social benefits.

Keywords: S-shaped cross-section; structural parts; spring-back deformation; layout design; real stamping test

0 引言

坯料排样是级进模设计中的基础与关键, 影响后期模具的选型、制模的工艺性与经济性、冲压件的质量以及材料的利用率, 是一项综合性技术很强的设计工作^[1]。众多学者对坯料排样进行了广泛而深入的研究。针对材料、形状各异的薄板件级进模

设计, 通常采用 2 种坯料的排样设计方法, 其区别主要在于 CAE 是否介入设计过程。针对非曲面车身结构件, 是采用直接计算其展开尺寸后, 再到 CAD 系统中按照排样工艺方案设计获得^[2-4]。针对包含不规则曲面的车身结构件, 由于其展开受到材料力学性能的各项异性影响, 通常需要借助 CAE 软件反求后, 再到 CAD 系统中设计获得^[5-7]。由于车身结

收稿日期: 2022-07-08

基金项目: 安徽省高校自然科学研究项目(KJ2021A1439、KJ2019ZD77、KJ2020A0837、KJ2020A1025); 马鞍山市工程技术研究中心开放基金项目(QMSG202102、QMSG202104)。

作者简介: 李陶胜(1976—), 男, 安徽安庆人, 高级工程师, 讲师, 硕士, 主要研究方向: 汽车冲压模具先进设计。

构件板材的综合力学性能较高、形状复杂且成形精度要求也高,故基本采用CAE介入的方法。

近年来,学者们主要针对车身结构特征件的排样设计,运用CAD/CAE技术对多弯角^[8-10]、盒形^[11-12]、半盒形^[13]、圆筒形^[5]等特征件的排样设计进行了深入研究,通过分析制件,发现各特征件均有自身的冲压成形特点,为此进行了全工序有限元仿真,获得的成形结果满足精度要求。考虑到特征件研究兼具较强的针对性与局限性,然而未见S形截面特征件的坯料排样设计研究。为此,本研究以轨道车辆S形截面结构件为研究对象,通过设计坯料的排样,并应用所设计、制造、调试后的级进模做实冲试验,通过对实冲产品的评估来反馈坯料的排样设计过程的有效性。本研究可为相关工程技术人员对S形截面特征件级进模开发提供参考。

1 坯料的排样设计流程

通过综合简单模和复合模的优势发展起来的级进模,是技术密集型模具的重要代表,也是冲模发展方向之一^[14]。虽然级进模复杂、设计难度大,但经过数十年的发展,其设计流程已近标准化。级进模设计流程^[15]中主要任务如下:第1阶段为工艺设计阶段,是分析确定制件的工艺方案并通过闭环反馈直至输出合格的CAE仿真分析结果;第2阶段为排样与概要设计阶段,是以所确定的工序排样为基础进行级进模结构概要设计,通过评估级进模的制造价格、制造周期等影响因素,确定是否继续开展第3阶段和第4阶段,即对级进模进行详细的结构设计及零件设计工作,具体如图1所示。

综上所述,通过该流程前2个阶段的工作即可完成坯料的排样设计,而这2个阶段具有对其设计结果的闭环反馈功能,其中排样设计经过工艺方案CAE仿真分析一次反馈后,在第2阶段又经过对级进模结构概要设计的多因素评估二次反馈。当然最终坯料的排样设计也要参考实冲制件的检测情况。因此,排样设计是一种精细化设计工作,它深刻影响着级进模的开发成效。

2 坯料的排样设计与分析

2.1 制件工艺分析

轨道车辆S形截面结构件UG数模如图2所示。该制件为典型的中型车身钣金件,包含冲裁、成形、整形、折弯等工序,最大外形尺寸为553.7 mm×208.6 mm,所用材料为冲压冷轧板JSC440W,板料厚度为1.0 mm。从图2外形上看,该钣金件本体101

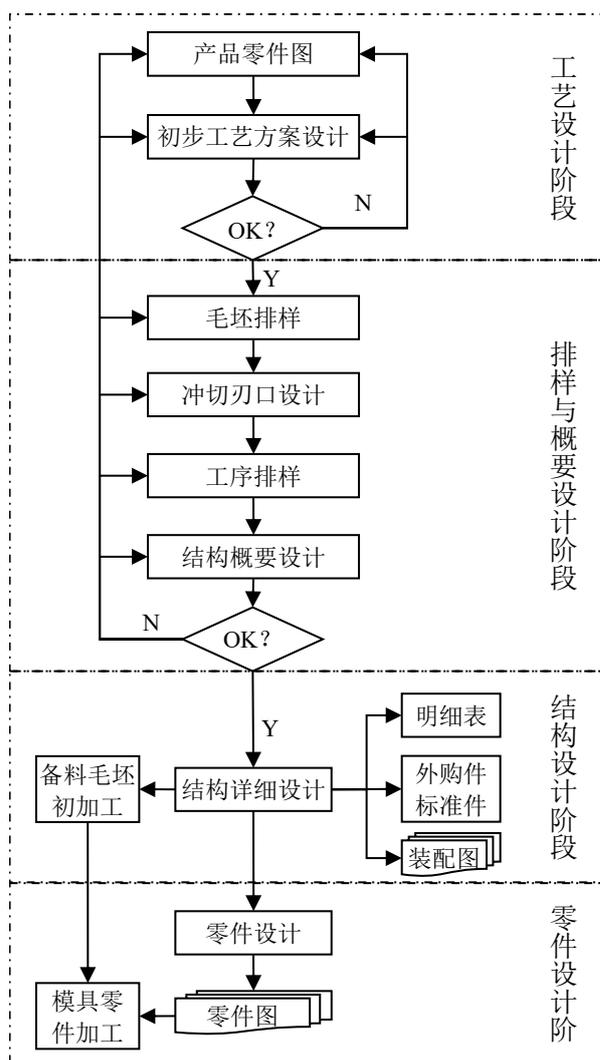
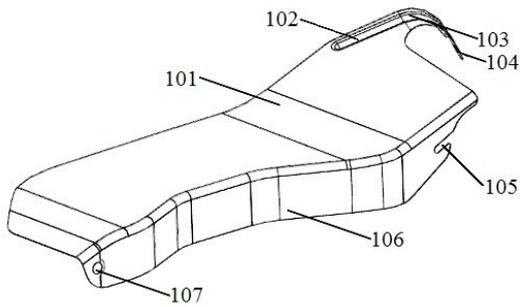


图1 级进模设计流程^[15]

部位的纵向截面为S形,需要考虑成形时的回弹变形。与本体连接的部位有第一成形部102、第二成形部103、第一圆形通孔104、U型缺口105、折弯部106和第二圆形通孔107。显然,这些部位成形时,由于101的回弹变形会带来2次形位误差。因此,针对其回弹影响提出如下冲压加工思路:(1)通过分步冲裁完成制件平展坯料的冲压加工;(2)对分步冲裁后的工序件做一次整形,减小其回弹变形;(3)通过分步成形完成101、102、103处的冲压加工;(4)对分步成形后的工序件做一次整形,减小其回弹变形;(5)进行折弯完成105处冲压加工。期间,合理布置斜楔机构完成104、106和107这3处圆孔或缺口的冲制也是决定钣金件排样优劣的重要因素。为了确保工位间的结构空间及制件的回弹释放,空步工序的布置也是需要考虑的。

2.2 坯料的排样设计

考虑2.1的分析,初步制定钣金件的十工序级



注:“101”表示本体;“102”表示第一成形部;“103”表示第二成形部;“104”表示第一圆形通孔;“105”表示 U 型缺口;“106”表示折弯部;“107”表示第二圆形通孔。

图 2 轨道车辆 S 形截面结构件

进冲压工序方案为:冲孔→冲裁→冲裁→成形→空步→整形和成形→折弯→冲孔和切边→空步→侧冲孔和切断。由于该钣金件不便与载体连接,故采用工艺系带沿长度方向连接钣金件和边料载体的两侧载体单排排样形式。图 3 是对坯料的设计方案进行 CAE 验证后,应用 UG 软件设计的三维坯料排样。图 4 是由三维 UG 坯料排样导入 AUTO CAD 软件生成的二维坯料排样设计,图 4 中条料宽度为

645.0 mm,送进步距为 260.00 mm,设计导正孔配合导尺(导正销直径为 16.0 mm、导引工艺孔 1 直径为 16.1 mm)对条料送进精定位,确保对送进步距的精确控制。设计定位工艺孔(定位导正销直径 8.0 mm、定位工艺孔 2 直径为 8.1 mm)配合 2 段工艺加强筋 9 约束钣金件本体 101 部位左侧边,用于减小其回弹量。分别设计 2 个 115.0 mm×5.0 mm 和 95.0 mm×5.0 mm 腰圆形工艺系带伸缩孔 3 对变形过程中的 S4~S9 工序件进行约束。按钣金件平展形状设计 3 个异形孔 4 和 3 个异形孔 5 对 S2 和 S3 工序件坯料进行分步冲裁。设计切断废料 8 包含部分载体 6 和工艺系带 7 用于 S9 工序件与料带分离。

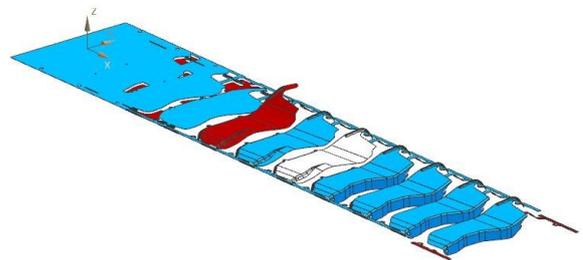
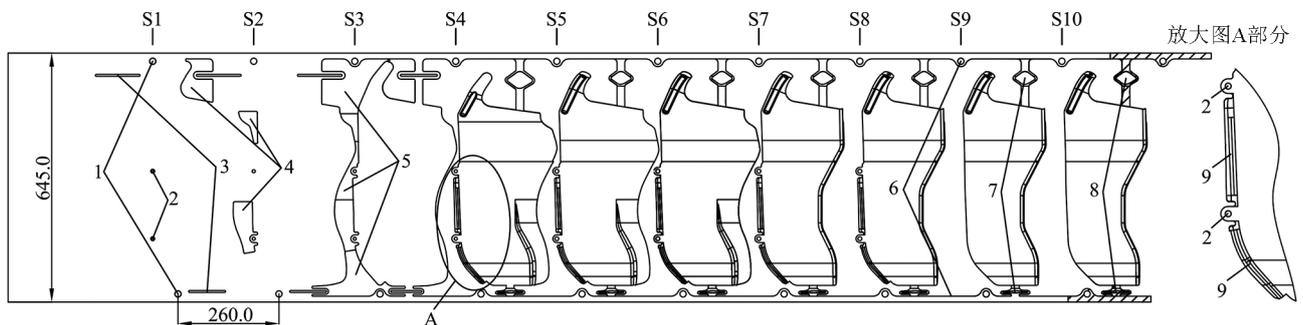


图 3 制件的三维 UG 坯料排样设计



注:“S1,S2,⋯,S9”表示工序编号;“1”表示导引工艺孔;“2”表示定位工艺孔;“3”表示伸缩孔;“4”表示异形孔;“5”表示异形孔;“6”表示载体;“7”表示工艺系带;“8”表示切断废料;“9”表示工艺加强筋。

图 4 二维 CAD 坯料排样设计

2.3 坯料的排样设计分析

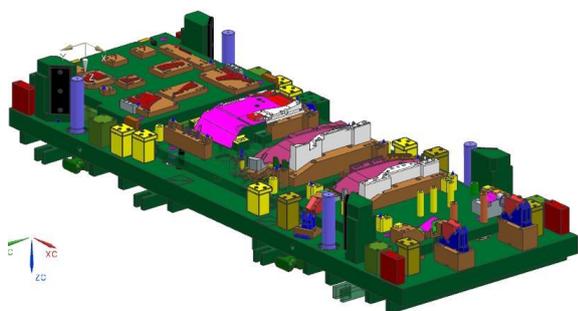
对图 4 的坯料的排样设计做如下分析:(1)工序 S1 是在坯料两侧载体上分别冲出 1 个导引工艺孔,并在坯料上侧冲出 1 个工艺系带伸缩孔,在坯料中部冲出 2 个定位工艺孔;(2)工序 S2 是在坯料下侧冲出 1 个工艺系带伸缩孔,在坯料上冲出 3 个包含制件局部边界和工艺补充边界的异形孔;(3)工序 S3 是在坯料上冲出 3 个包含制件局部边界和工艺补充边界的异形孔;(4)工序 S4 是在坯料的左侧成形出工艺补充加强筋和冲出工艺定位孔,并完成坯料整体向上的 S 形成形和 2 处局部成形;(5)工序 S5 和 S9 是考虑模具步距尺寸较小,为提高后工序对应模具中工作部件、固定部件的强度,同时保证各成形

零件安装位置不发生干涉,确保其结构空间合适;(6)工序 S6 是对工序 S5 中回弹后的坯料进行整形,并完成一处局部成形;(7)工序 S7 是对坯料的右侧折弯出制件的局部形状;(8)工序 S8 是在坯料的上端冲出一个孔,并切除工序 S4 中,在坯料的左侧成形出的工艺补充加强筋和冲出的工艺定位孔;(9)工序 S10 是在制件右侧的折弯部位上下侧分别冲出一个缺口和一个孔,并切断制件上下两端工艺系带。

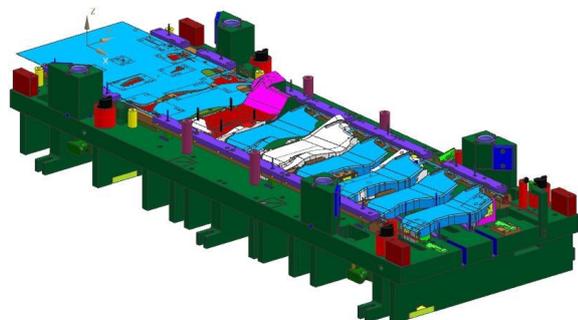
3 坯料的排样设计方案验证

依据上述轨道车辆 S 形截面结构件坯料排样设计方案设计制件的三维 UG 级进模(图 5)。按照工

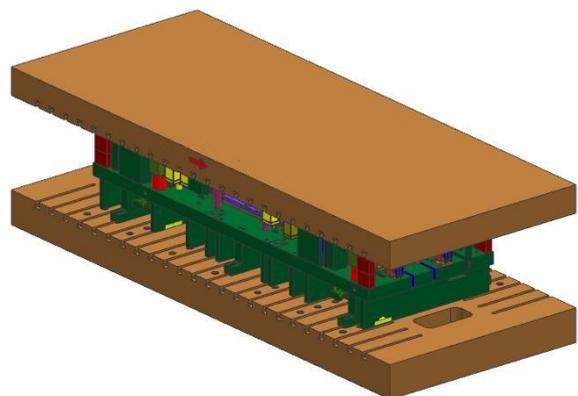
艺方案的 CAE 仿真分析结果对应的输入边界条件和压机规格参数,图 5c 中级进模整体装配模型的闭合高度 700 mm、送料高度 350~550 mm、锁模高度 60 mm。



a. 上模组件模型



b. 下模组件模型



c. 整体装配模型

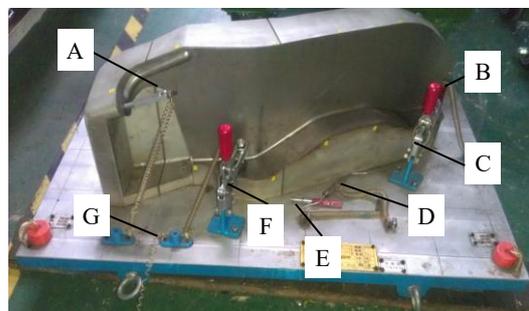
图 5 制件的三维 UG 级进模设计

用厚度为 1 mm、牌号为 JSC440W 冲压冷轧板在一台龙门闭式双点 600 t 冲床上试模,实冲产品如图 6a 所示。为检测实冲产品是否合格,本文应用检具结合三维坐标测量机检测法^[16],具体方法为:对实冲产品的边线、形面及孔径公差,对产品是否合格做出初步判断。若产品达到检测要求,则所开发的级进模合格;若产品未达到检测要求,则再应用三维坐标测量机针对性地检测制件的超差量,并对

级进模对应位置做出修配,直到冲压件满足检具检测要求为止。图 6b 为产品检具检测情景,图 6b 中检具所有面间隙基准均为 3 mm,具体定位与检测方法如下:(1)将被检测产品放入检具中,插入主副定位销 B、E;(2)确保被检测产品与压钳 C、F 压下位置的基准面完全贴合,则依次压下压钳 C、F,即可开始检测产品;(3)孔位检测:检测销 A 能顺利插入产品,则产品孔位合格;(4)型面检测:产品型面用 2.5~3.5 mm 通止规 D 的检测;(5)切边检测:产品切边用±0.5 mm 片规 G 检测。本研究中产品顺利通过了检具的孔位、型面与切边检测,反馈了上述坯料排样设计的合理性。



a. 实冲产品



b. 产品检具检测

注:“A”表示检测销;“B”表示定位销;“C”表示压钳;“D”表示通止规;“E”表示定位销;“F”表示压钳;“G”表示片规。

图 6 产品与检测

4 结语

本研究以轨道车辆 S 形截面结构件为对象,在规范级进模设计流程的基础之上,设计了一种适于轨道车辆 S 形截面结构件的排样,并应用所设计、制造、调试后的级进模做了实冲试验,获得了实冲产品;然后通过检具检测反馈了排样设计的合理性。并进一步说明所设计的排样适应轨道车辆 S 形截面结构件的生产,其中设计的过程,条料工艺的方案和参数,对轨道车辆结构件的级进模开发都具有一

定的工程价值和实际意义。

涉及件的特征不仅限于S形截面,因此难以使用一种方法解决所有特征件的成形精度问题。相

信随着精细化仿真与优化技术、高端精密制造的CNC数控加工技术的发展,未来各类型制件的级进模开发将会变得更加方便与快捷。

参考文献:

- [1] 王利,黄昭明,胡李勇,等.复杂边界钣金件激光料带试模法及其应用[J].锻压技术,2021,46(8):90-96.
- [2] 李静,唐鹏,伏思静.一种托片级进模设计[J].锻压技术,2020,45(12):151-154.
- [3] 孟玉喜.复合端子多工位级进模设计[J].模具制造,2020,20(4):11-16.
- [4] 郭光宜.L形插针的多工位级进模设计[J].盐城工学院学报(自然科学版),2016,29(4):27-31+52.
- [5] 黄昭明,赵恒文,刘小飞,等.筒形件多次拉延与反拉延成形仿真与优化[J].南京工程学院学报(自然科学版),2018,16(1):44-48.
- [6] 黄昭明,赵恒文,潘金元,等.多工位级进冲压成形联动数值模拟[J].山东理工大学学报(自然科学版),2018,32(4):35-39.
- [7] 陆青松,王利,栾阔,等.车身内板件多步冲压成形联动仿真方法及其应用[J].长春工程学院学报(自然科学版),2021,22(4):38-42.
- [8] 王利,黄昭明,赵恒文,等.多弯曲多形孔复杂边界钣金件级进模的开发[J].延边大学学报(自然科学版),2020,46(1):74-78.
- [9] 赵殿明,王利,黄昭明,等.多弯角车身钣金件多工位级进模设计与应用[J].锻压技术,2020,45(3):125-130.
- [10] 黄昭明,王利,刘小飞,等.基于Autoform多工位连续冲压成形数值模拟[J].合肥工业大学学报(自然科学版),2015,38(2):157-160.
- [11] 何凌,邓汝荣,黄雪梅.阶梯长圆盒形件拉深级进模设计[J].模具工业,2018,44(1):22-25.
- [12] 赵殿明,黄昭明,王利,等.发动机油底壳自动线多工位传递模设计与应用[J].锻压技术,2019,44(8):137-142.
- [13] 王利,黄昭明,胡李勇,等.半盒形特征件全工序多步冲压成形工艺优化[J].沈阳理工大学学报,2019,38(2):44-48+53.
- [14] 罗礼培,邢凤霞,付志坚,等.汽车冲压模具未来发展前景[J].模具制造,2017,17(1):1-4.
- [15] 沈现青,黄昭明,陈森林,等.一种车身钣金件级进模冲裁工位快速设计方法[J].长春工程学院学报(自然科学版),2019,20(4):35-38.
- [16] 王东涛,谢延敏,郭元恒,等.基于Kriging模型的高强钢成形回弹工艺优化和模面补偿研究[J].锻压技术,2021,46(10):62-69.

(上接第57页)

- [25] 高一凡.养老地产项目消费者购买意愿及营销策略研究[D].徐州:中国矿业大学,2021.
- [26] 葛腾飞.流动人口流入地购房意愿及其影响因素研究——基于全国流动人口动态监测调查数据[J].价格理论与实践,2021(10):71-74.
- [27] 张琪,闫娜娜,杭斌.购房意愿与家庭消费[J].统计与信息论坛,2021,36(7):120-128.
- [28] 黄烈佳,郭竞璟.基于Lars-Lasso的居民郊区购房意愿的影响因素分析——以武汉市为例[J].现代城市研究,2019(9):90-96.
- [29] 梁航.市民化视角下农民工购房意愿研究——基于CLDS2016数据的分析[J].荆楚学刊,2018,19(5):50-55.
- [30] 鲁鑫悦.日本房地产税改革的政策效果与对我国的启示[D].长春:吉林大学,2022.
- [31] 殷文,沈晓燕.城市青年住房消费意愿的实证研究——基于消费社会学视角[J].调研世界,2018(2):20-25.