

装备与成套技术

基于改良折弯机的超宽且多型孔产品系列化的组合冲孔工艺

束茌娇¹, 束军平², 杨雨辰¹, 赵松², 严秋锋¹

(1. 南通大学 电气与自动化学院, 江苏 南通 226019; 2. 浙江亿利达科技有限公司, 浙江 台州 318014)

摘要: 通过产品系列化拓展, 推出 3 款蜗壳产品图。对 3 款蜗板的工序加工图进行工艺优化, 以经济且规整的群孔替代原产品的群孔。为解决系列化拓展后蜗板超宽、多型孔的冲压加工难题, 对液压折弯机作系统化改良, 成为可用的电液伺服折弯机, 提供了加工设备保障。经对 3 款蜗板开展冲压加工分析, 拟用一台电液伺服折弯机匹配一套由滑板行位控制、移动式跳步的组合冲孔模来进行群孔加工。通过群孔列表推演, 能实现群孔加工。经验证, 优化后蜗板的超宽孔距、多孔型加工符合要求且品质得到提升; 对比原手工加工, 采用改良折弯机配套组合冲孔模能显著提高加工效率。对设备进行改良并配套优化模具, 是实现企业“降本增效”的好途径。

关键词: 蜗板系列化拓展; 冲孔; 超宽多型孔; 移动式跳步; 滑板行位

DOI: 10.13330/j.issn.1000-3940.2024.11.014

中图分类号: TG76 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3940 (2024) 11-0101-12

Combined punching process for series of ultra-wide and multi-shaped hole products based on improved bending machine

Shu Jiangjiao¹, Shu Junping², Yang Yucheng¹, Zhao Song², Yan Qiufeng¹

(1. School of Electrical Engineering and Automation, Nantong University, Nantong J226019, China;

2. Zhejiang YiLiDa Science and Technology Co., Ltd., Taizhou 318014, China)

Abstract: Through the expansion of product seriation, three volute product diagrams were introduced. The process optimization on the three types of volute plate process machining diagrams was carried out to replace the group holes of original product with economical and regular group holes. In order to solve the stamping process problem of ultra-wide and multi-shaped holes for the volute plate after seriation expansion, the hydraulic bending machine was systematically improved to become a usable electro-hydraulic servo bending machine, which provides the processing equipment guarantee. After analyzing the stamping process of three types of volute plate, an electro-hydraulic servo bending machine was proposed to match a set of combined punching die controlled by slide row position and with mobile skip step for the machining of group holes. Group hole machining can be realized through the of deduction group hole list. It is proved that the processing of ultra-wide hole spacing and multi-shaped hole for volute plate after optimization meets the requirements and the quality is improved. Compared with the original manual machining, the efficiency of machining can be significantly improved with the combined punching die and the improved bending machine. It is shown that the equipment improvement combined with die optimization is a good way to achieve “cost reduction and efficiency increase”.

Key words: volute plate; serialization expansion; punching; ultra-wide and multi-shaped holes; mobile skip step; slide row position

图 1 为某通风机蜗壳系列化拓展^[1]后的 3 款蜗壳产品图, 图 2 为 3 款蜗壳展平后的蜗板 (蜗壳曲面展平后称为蜗板) 工序加工图, 该系列化蜗板工序加工图具有超宽、多型孔^[2]的特点。系列化

蜗板工序加工图中的超宽特征, 是指 1120 型蜗板轴向宽度为 1363.0 mm、1250 型蜗板轴向宽度为 1498.0 mm、1400 型蜗板轴向宽度为 1698.0 mm, 相比于轴向宽度不超 800 mm 的冲压加工件, 其宽度特征已大大超出常见加工范围。系列化蜗板工序加工图中的多型孔特征, 主要指这 3 款蜗板不仅具有相同的法兰固定孔^[3], 孔型为长圆孔, 尺寸为 9.0 mm×13.0 mm; 而且具有相同的出风口加强杆固定孔, 孔型为圆孔, 直径为 $\Phi 7.0$ mm。这 3 款蜗板不仅孔数多而且孔的数量不尽相同^[2] (可称为孔

收稿日期: 2024-02-29; 修订日期: 2024-06-04

基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (62273188)

作者简介: 束茌娇 (2002-), 女, 本科生

E-mail: 1518594468@qq.com

通信作者: 严秋锋 (1988-), 男, 博士, 讲师

E-mail: yanqf@nuaa.edu.cn

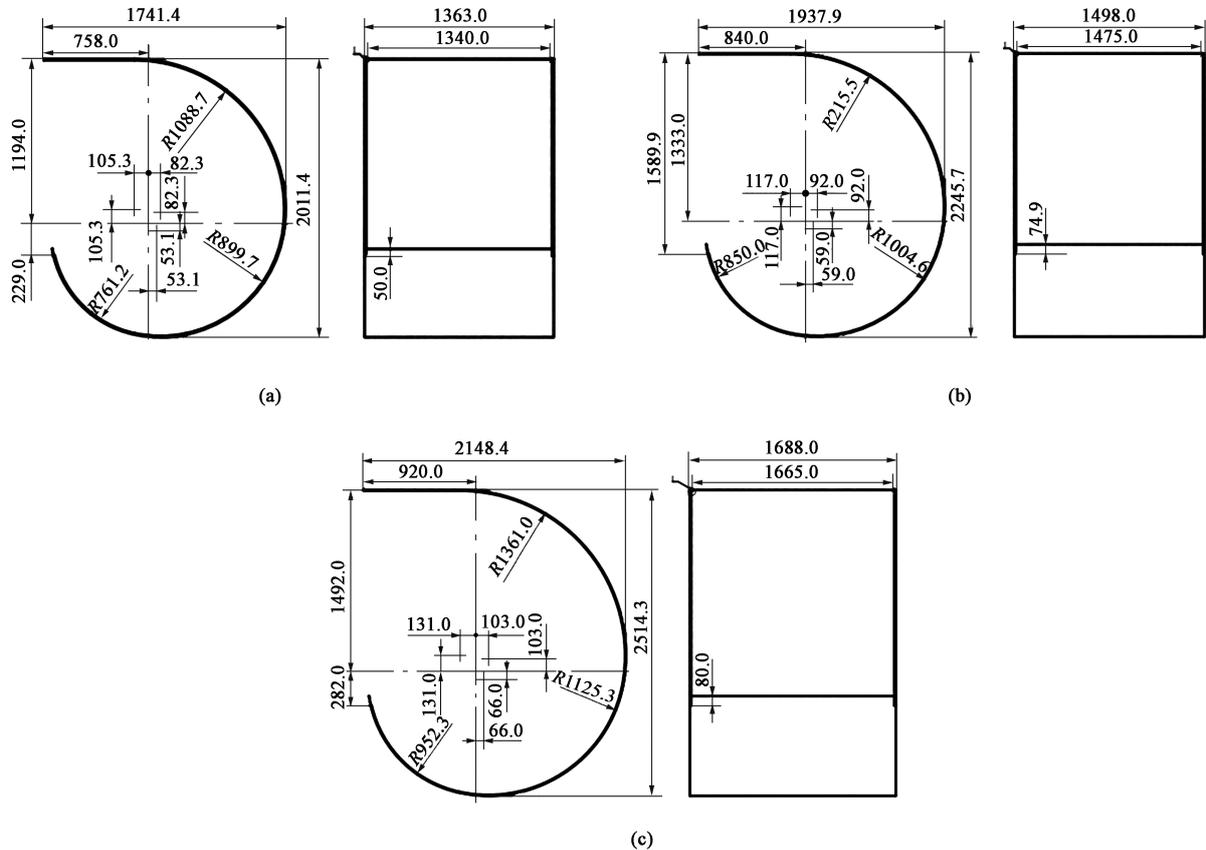


图 1 某通风机蜗壳系列化拓展后的 3 款蜗壳产品图

(a) 1120 型 (b) 1250 型 (c) 1400 型

Fig. 1 Product diagrams for three types of volute after seriation expansion of a fan volute

(a) 1120 type (b) 1250 type (c) 1400 type

群), 1120 型蜗板具有一排 9 个法兰固定孔、一组双排共 2×9 个出风口加强杆固定孔; 1250 型蜗板具有一排 10 个法兰固定孔、一组双排共 2×10 个出风口加强杆固定孔; 1400 型蜗板具有一排 11 个法兰固定孔、两组双排共 $2 \times 2 \times 11$ 个出风口加强杆固定孔。这些孔群参数有如下特征: 孔与孔的横向中心距相同, 为 150 mm; 双排孔的纵向中心距相同, 为 52 mm, 如图 2 所示。约 80%~90% 的材料为热镀锌薄钢板^[4], 其余材料为 3 系不锈钢板^[4], 材料厚度 δ 为 1.2 mm。该系列化产品在生产数量上有一个爬坡过程, 因此, 浙江亿利达科技有限公司在产品前期规划上拟用不超过两台设备解决这 3 款超宽、多型孔的产品。

1 产品加工分析及配套设备分析

1.1 产品冲压工艺性分析及优化

根据公司产品系列化拓展规划, 对于原开发的

1120 型、1250 型、1400 型这 3 款蜗壳, 其展开后的蜗板孔型大小、横向孔中心距及孔数、纵向孔中心距及孔数均不相同, 如图 3 所示。

对该系列化拓展后的 3 款蜗板开展了产品冲压工艺性分析后, 认为该 3 款蜗板若按原图纸生产, 则需要多套专用工装 (主要指模具)、多位生产操作工协调加工, 存在经济性不佳、可操作性不强的弊端。具体生产工艺规划如表 1 所示, 系列化拓展后 3 款蜗壳各需制造 2 套专用模具, 共需 6 套专用模具。

根据产品在实际组装的要求, 从产品整体结构受力分析、生产加工的可操作性及便捷性、产品系列化拓展的经济性等多角度出发, 进行了蜗壳产品工艺优化^[5], 优化后的加工图如图 2 所示。3 款蜗壳加工工艺对比如表 2 所示, 系列化拓展后 3 款蜗壳仅需制造 1 套专用模具, 调整定位可共用模具。按蜗壳产品优化图制作了多多样板并进行测试, 对系列化拓展后的 3 款蜗壳产品从孔形与孔数的变化

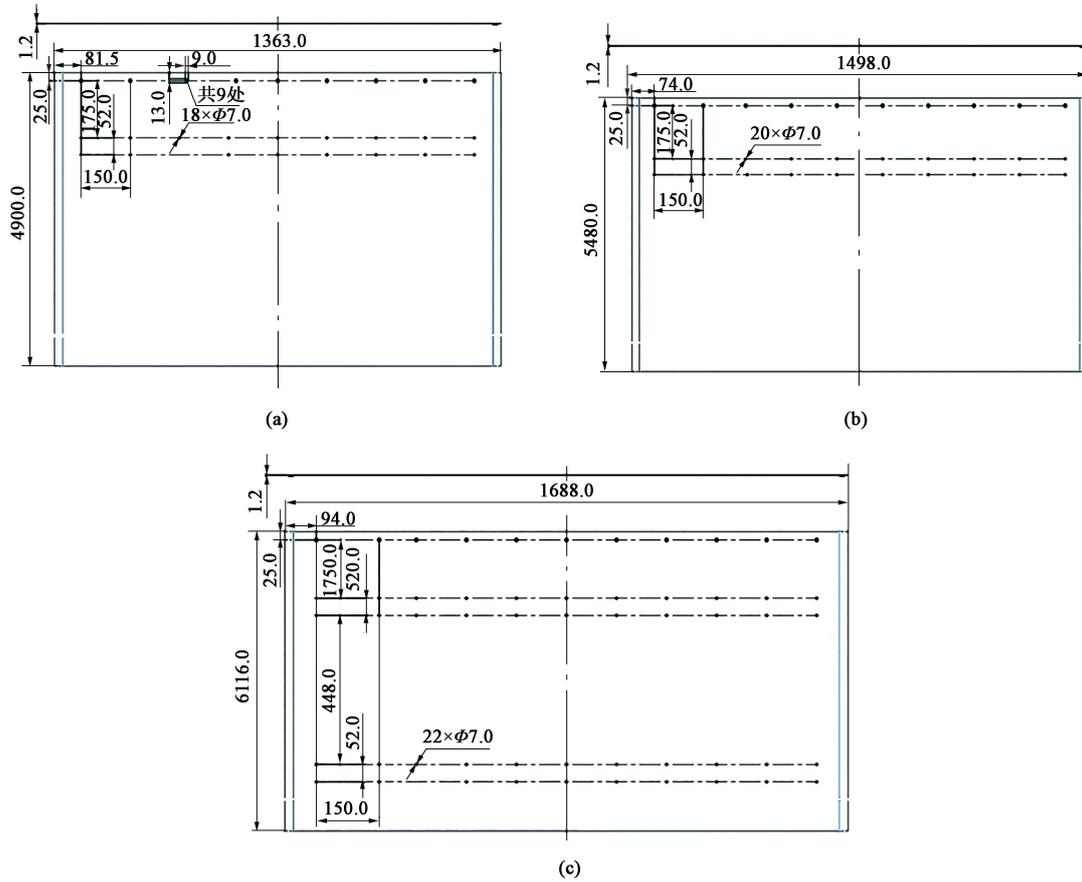


图 2 蜗壳展平后 3 款蜗板的工序加工图

(a) 1120 型 (b) 1250 型 (c) 1400 型

Fig. 2 Process machining diagrams of three types of volute plate after flattening of volute

(a) 1120 type (b) 1250 type (c) 1400 type

到生产操作、从组装便捷性再到产品稳定性等进行了确认。

围绕 3 款蜗壳展平后蜗板工序加工所需冲压设备的匹配需求，从加工超宽、多型孔产品的生产能力来分析，通常有大吨位闭合式冲床、大型全电伺服数控转塔冲^[6]、大型非标专用机械^[7]作为主要加工设备，如拓展到其他相关设备，具有超宽工作台的折弯机在加工大型钣金折弯方面则是相当好的加工平台；如能将折弯机改装成具有钣金冲孔功能的设备^[8]，则需要根据该设备资料进行综合评估。浙江亿利达科技有限公司现有大吨位闭合式冲床，其工作台面宽度为 2500.0 mm，符合加工 3 款蜗板超宽的要求；该 3 款蜗板的外形尺寸不仅具有超宽且超长的特点，而且每道加工工序需要配 3~4 名操作人员，整条线需 15~18 名人工才能开展生产；综合分析如不考虑前期模具成本的投入，仅生产资源（包括生产人员）的配套成本也已很高，因此，产品生产的经济性不强。如采用

大型全电伺服数控转塔冲加工，设备工作台面的宽度为 2000.0 mm、长度为 3200.0 mm，加上材料存放区上、下料的长度 3500.0 mm，工作台能容纳下蜗板轮廓，但难支撑材料在工作台面上横向与纵向的快速移动；基于这些尺寸参数，认为生产的可操作性不强、生产效率慢；综合来看，采用该设备加工蜗板不仅生产的经济性不强，而且易在此工位形成生产瓶颈，影响其他生产计划的正常开展。如依托公司的设备研发能力而开发大型非标专用机械，前期不仅需要投入大量资金，且需集中结构、电、气、液等设计工程师耗费时间进行技术攻关，组装后需耗时进行测试与调整；结合对生产量的评估，目前无稳定、大批量订单，不支持这种需大资金投入、开发周期较长的大型非标专用机械生产方式。

是否可用适当数量的“改良折弯机+配套专用模具”解决系列化蜗板的生产，已成为重要课题。

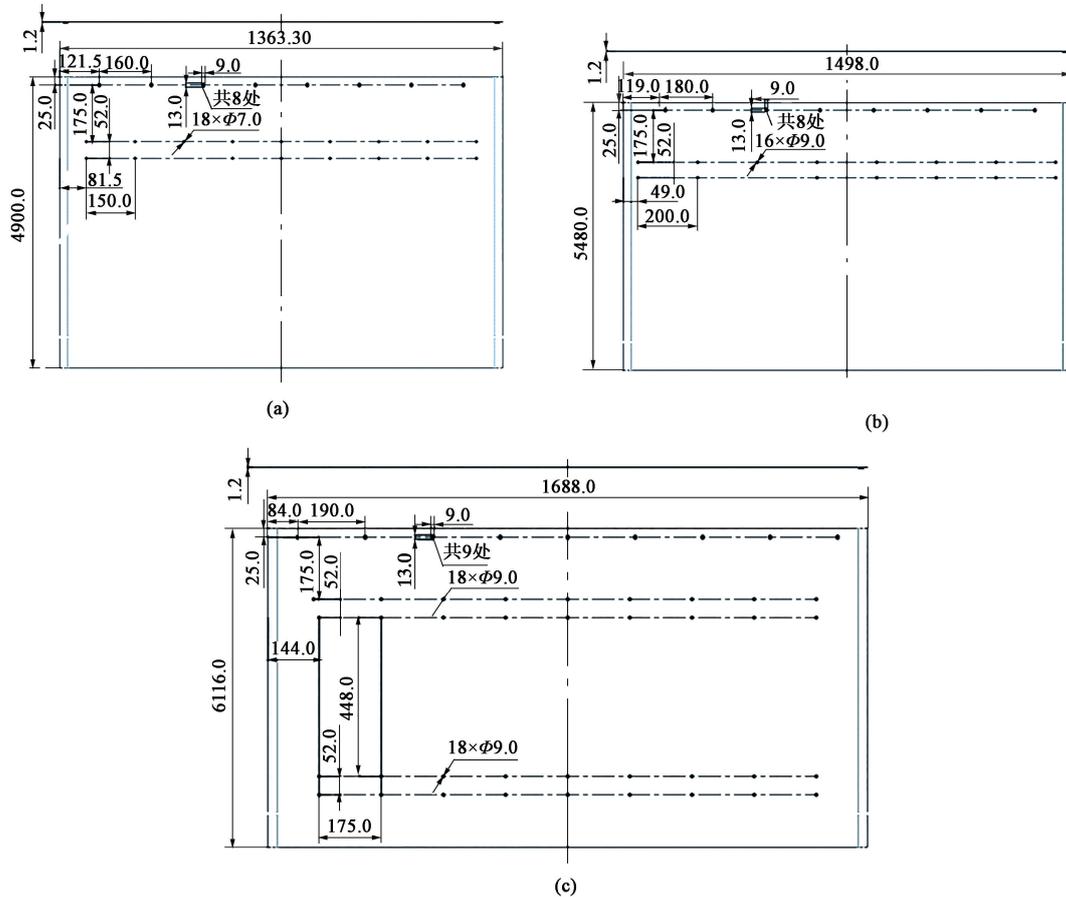


图 3 原蜗壳展平后 3 款蜗板工序加工图

(a) 1120 型 (b) 1250 型 (c) 1400 型

Fig. 3 Original process machining diagrams of three types of volute plate after flattening of volute

(a) 1120 type (b) 1250 type (c) 1400 type

1.2 产品配套设备分析

公司现有数台数控折弯机和液压折弯机，其中液压折弯机因生产订单不足而有充余产能。该液压折弯机工作台面的横向宽度为 3200.0 mm，纵向深度为 200.0 mm，不包括台面在内的喉口深度为 210.0 mm，后部两侧竖板净宽度为 2000.0 mm，其内置的机械式定位端至折弯端的长度为 1000.0 mm。数控折弯机具有操控界面直观，折弯力可控且行程可调的诸多优点，因此更易被生产者接受及使用。基于此点，需对液压折弯机进行适应性改良，升级为电液伺服折弯机。在将机械式定位改良为电伺服型^[9]定位系统、升级控制模块后，可在控制面板上输入待生产产品型号，控制系统即可按产品的孔边距作自动调整，完成控制系统升级，从而实现可控化生产。依据该液压折弯机改良设想及待加工件的外形特征，对该台液压折弯机进行了技术调研，确认在有限参数范围内改良为电液伺服折弯机的可行

性，改良后的结构如图 4 所示，其中， B 为折弯机总宽度， B_1 为折弯机有效宽度， B_3 为上工作台台面厚度， B_2 为下工作台台面宽度， H 为最大工装装夹高度， H_1 为下工作台台面厚度， H_2 为高度调节量， H_3 为上吸口限位高度， B_4 为喉口深度。

控制系统在功能模块升级后，在控制面板内输入待生产的产品型号，系统即弹出控制顶端定位参数界面，在确认或修正预设参数后，控制系统驱动伺服电机迅速将定位模块移到设定或修正距离（也称“跳步”到设定距离），从而完成顶端定位的设定。设备（电液伺服折弯机）完成预定动作（一个冲压行程）后，预设控制程序弹出，确认加工是否完成。按“是”表示完成加工动作，按“否”表示未完成加工动作。在输入“否”后，提示输入下一个预设数值，控制系统再次驱动伺服电机“跳步”到设定距离，从而完成端部定位的再设定；设备再完成预定动作后，预设控制程序再弹出，确认加工

表 1 原 3 款蜗壳工序表

Table 1 Original processes of three types of volute

加工内容	蜗壳型号			特征	优缺点		
	1120 型	1250 型	1400 型				
毛坯料	定宽滚剪 (通用设备)	定宽滚剪 (通用设备)	定宽滚剪 (通用设备)	宽度不同	形状符合要求		
规格料	定长切断 (通用设备)	定长切断 (通用设备)	定长切断 (通用设备)	长度不同	形状符合要求		
蜗板加工阶段	工位 1	冲型孔 (8 孔)	冲型孔 (8 孔)	冲型孔 (9 孔)	孔型相同, 孔数不同	需保证孔边距	
	群孔加工	工位 2	冲双排圆孔 (每排各 9 孔)	冲双排圆孔 (每排各 8 孔)	冲双排圆孔 (每排各 9 孔)	孔径不同, 孔数不同	需保证孔边距
	工位 3	—	—	再冲双排圆孔 (每排各 9 孔)	孔径、孔数相同	需保证孔边距	
蜗壳加工阶段	两侧成形	滚卡扣咬合槽 (专用设备)	滚卡扣咬合槽 (专用设备)	滚卡扣咬合槽 (专用设备)	边距不同, 卡扣槽相同	形状符合要求, 孔边距易产生偏差	
	蜗壳成形	蜗壳滚形 (专用机设备)	蜗壳滚形 (专用机设备)	蜗壳滚形 (专用机设备)	外形相近, 加工参数不同		
蜗壳工序数	6	6	7	—	—		
配套工装数	设备	通用、专用设备各 2 台	共用通用、专用设备	共用通用、专用设备	调整已有通用、专用设备	—	
	模具	2 套	2 套	2 套	参数不同, 不能共用	—	

表 2 3 款蜗壳优化工序表

Table 2 Optimized processes of three types of volute

加工内容	蜗壳型号			型号特征	优缺点	
	1120 型	1250 型	1400 型			
毛坯料	定宽滚剪 (通用设备)	定宽滚剪 (通用设备)	定宽滚剪 (通用设备)	宽度不同	形状符合要求	
规格料	定长切断 (通用设备)	定长切断 (通用设备)	定长切断 (通用设备)	长度不同	形状符合要求	
蜗板加工阶段	两侧成形	滚卡扣咬合槽 (专用设备)	滚卡扣咬合槽 (专用设备)	滚卡扣咬合槽 (专用设备)	边距不同, 卡扣槽相同	形状符合要求
	工位 1	冲型孔 (9 孔)	冲型孔 (10 孔)	冲型孔 (11 孔)	孔型相同, 孔数不同	形状符合要求, 孔边距易管控
	群孔加工	工位 2	冲双排圆孔 (每排各 9 孔)	冲双排圆孔 (每排各 10 孔)	冲双排圆孔 (每排各 11 孔)	
工位 3	—	—	再冲双排圆孔 (每排各 11 孔)	孔径、孔数相同		
蜗壳加工阶段	蜗壳成形	蜗壳滚形 (专用机设备)	蜗壳滚形 (专用机设备)	蜗壳滚形 (专用机设备)	外形相近, 加工参数不同	—
蜗壳工序数	6	6	7	—	—	
配套工装数	设备	通用、专用设备各 2 台	共用通用、专用设备	共用通用、专用设备	调整已有通用、专用设备	—
	模具	1 套专用模	共用专用模	共用专用模	孔距相同, 调定位	共用模具

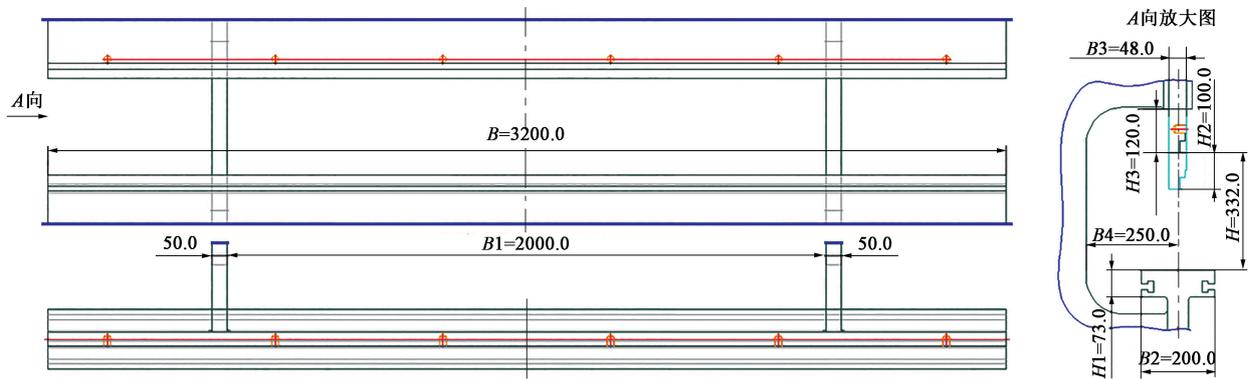


图 4 由原液压折弯机改良的电液伺服折弯机的结构示意图

Fig. 4 Structure diagram of electro-hydraulic servo bending machine improved by original hydraulic bending machine

是否完成。当输入“是”后，即表示完成本次工件加工，控制系统驱动伺服电机将顶端定位再次调回起始或设定位置。当本批次工序件全部完成加工，需要加工下个型号或下批次工件时，系统按操作程序退回至原始或设定界面或退出控制界面，关闭系统，从而结束加工。

在电液伺服折弯机改良的同时，怎样用较少数量的模具加工群孔中的多型孔、多排孔模具，已成为模具设计人员推进降本增效的一项重要课题。依据蜗板特征，按常规思路开发模具，再配备相应人数进行生产，则生产投入的要素不仅调配困难，而且从系列化产品来分析缺乏经济性，不具有成本优势。基于此点，管控生产模具数量的投入，对工序件参数进行复合化或创新^[10]设计，显得非常有必要。

2 移动式跳步组合冲孔模具结构

2.1 移动式跳步组合冲孔模方案提出

从 3 款蜗板的工序加工图来分析，目前有 2 种型孔，即横向单排的 $9.0 \text{ mm} \times 13.0 \text{ mm}$ 长圆孔，横向双排的 $\Phi 7.0 \text{ mm}$ 圆孔（因蜗板较宽，中部纵向 4 列孔可采用 $\Phi 9.0 \text{ mm}$ 圆孔）；横向中心距不仅相同，而且长圆孔与圆孔在纵向上呈对齐状态；双排圆孔纵向中心距为 52.0 mm ，此尺寸恰好在电液伺服折弯机下工作台台面宽度中间区域内（即在 200.0 mm 中心区 $1/3$ 段内、折弯机竖板承压范围内）。

根据 3 款蜗板孔群，即横向上均有一排长圆孔或孔距相同的双排圆孔，纵向上的孔数依型号不同

而有差异（1120 型为 9 列孔、1250 型为 10 列孔、1400 型为 11 列孔）；通过滑板行位控制长圆孔是否工作的方式达到长圆孔与圆孔之间的切换；采用移动定位的方式解决横向上不同型号与不同孔数的问题、采用跳步的方式解决纵向上不同型号与不同孔数及排数的问题，简称为组合冲孔模的解决方案。从过程上来看，拟设计 1 套组合冲孔模，其包含 11 组或 12 组子模块^[11]，每组子模块包含 3 支冲针：中间为冲长圆孔 $9.0 \text{ mm} \times 13.0 \text{ mm}$ 的型孔冲针，滑板行位按生产需要作横向移动，在顶出（即通过顶出冲针实现冲压加工）及回位（即通过回位避让而不冲压加工）之间切换^[2]；前、后两支冲针的中心距则参考 3 款蜗板纵向双排孔型的特征参数 52.0 mm ；通过滑板行位移动实现冲长圆孔与冲圆孔互锁，按生产需求实现切换。当冲型孔冲针顶出工作时，前、后冲圆孔冲针处于回位状态；当冲型孔冲针处于回位时，前、后冲圆孔冲针处于顶出状态。因组合冲孔模与电液伺服折弯机相配，可用设备已有的电或液作为本模具的驱动力源^[1]。组合冲孔模匹配 11 或 12 组子模块，各模组的生产工况会产生较大差异；若使用电模块作为动力源，变化负载时有驱动力偏小的隐忧，即便在配备若干电模块元件后，设备的匹配空间有不足，生产维护也会相应增大；若使用液压作为动力源，液压力不仅本身比较稳定而且其驱动力较大，能较好克服因模具制造精度不足等原因而引起的运动阻力，保持 11 组或 12 组子模块较长时间同时往复运动。从这 11 组或 12 组子模块需同时运动的特性来看，偏向采用可靠性更强的机械滑块组联接，各子模块通过附件与液压推动的模具滑板共同联接，从而实现同时运动；子模

块及附件可称滑板行位，模具滑板可称为共用滑板行位。电液伺服折弯机通过控制系统将端部定位迅速推至需要位置，实现“跳步”定位；侧边定位根据生产型号不同，在组合冲孔模左端匹配含有刻度标识的侧边可调定位块，快速移动定位块后实现“移动式”

控制。在考虑关于产品系列化拓展规划后，组合冲孔模决定采用 11 组子模块，制定了各型蜗板冲压加工参数与组合冲孔模动作参数对应的动作推演表，各工序件与组合冲孔模端部定位跳步、侧边定位移动、各型冲针顶出与回位动作关系如表 3 所示。

表 3 3 款蜗板群孔冲压加工参数与组合冲孔模动作参数对应表

Table 3 Corresponding of stamping parameters of group holes and action parameters of combined punching die for three types of volute plate

群孔冲压加工	参数	蜗壳型号			纵向定位特点	横向定位特点
		1120 型	1250 型	1400 型		
工位 1	端部孔边距/mm	25.0	25.0	25.0	同型号、不同型号共同前跳步 25.0 mm	同型号移动距离相同、不同型号移动距离有差异
	侧边孔边距/mm	81.5	74.0	94.0		
	孔型及数量	冲长圆孔 (9 孔)	冲长圆孔 (10 孔)	冲长圆孔 (11 孔)		
	配套模具特点	油缸前推，滑板行位向左移动，处于左侧；子模块中间长圆孔冲针顶出，前、后圆孔冲针回位避让				
工位 2	端部孔边距/mm	175.0	175.0	175.0	同型号、不同型号再次向前跳步 175.0 mm	同型号移动距离相同，不同型号移动距离有差异
	侧边孔边距/mm	81.5	74.0	94.0		
	孔型及数量	冲双排圆孔 (9 孔)	冲双排圆孔 (10 孔)	冲双排圆孔 (11 孔)		
	配套模具特点	油缸收缩，滑板行位向右移动，处于右侧；子模块中间长圆孔冲针回位避让，前、后圆孔冲针顶出				
工位 3	端部孔边距/mm	500.0	—	—	同型号、不同型号再次向前跳步 500.0 mm	同型号移动距离相同，不同型号移动距离有差异
	侧边孔边距/mm	94.0	—	—		
	孔型及数量	冲双排圆孔 (11 孔)	—	—		
	配套模具特点	1120 型、1250 型滑板行位向左移动，各型冲针切换状态进入下个行程；1400 型滑板行位保持不动，子模块中间长圆孔冲针、圆孔冲针保持不动				

2.2 移动式跳步组合冲孔模结构规划

依据表 3，在参考电液伺服折弯机可用空间、冲压模具及滑块结构后，设计了如图 5 所示的电液伺服折弯机组冲孔模^[12]。

当加工某一款蜗板工序件时，动作如下。

(1) 第 1 步，将侧边可调定位块快速调整至对应加工型号的标识线位处。

(2) 第 2 步，将经滚压卡扣咬合槽加工的工序件以卡扣咬合槽的面朝下，摆放于电液伺服折弯机正前方的大型托架上（支架安装块 10 相联接，可快速装拆、多段组合式支架），暂时不放置于组合冲孔模下模面的加工区上。

(3) 第 3 步，接通电液伺服折弯机电源，启动系统界面，输入待加工件型号，进入群孔冲压加工的界面。

(4) 第 4 步，在控制面板上弹出“首工位”加工，点击“是”，设备后面端部定位块“跳步”至系统设定的数值；同时组合冲孔模共用滑板行位 9 左移，顶出冲长圆孔的型孔冲针；若组合冲孔模共用滑板行位 9 已处左侧，则系统仍有此动作，确保组合冲孔模在冲长圆孔的位置上。

(5) 第 5 步，取小段待加工样板放于组合冲孔模下模面加工区上；左侧靠侧边可调定位块 13 定位，将材料平推直至顶到端部伺服定位块 19。

(6) 第 6 步，踩下电液伺服折弯机脚踏开关，在待加工样板上试冲组合冲孔模中间型孔，即 9.0 mm×13.0 mm 长圆孔。

(7) 第 7 步，对试冲样件的型孔进行孔位测量，若侧边孔边距有偏差，则微调侧边定位；若端部定位孔边距数据有偏差，则在控制面板上对弹出

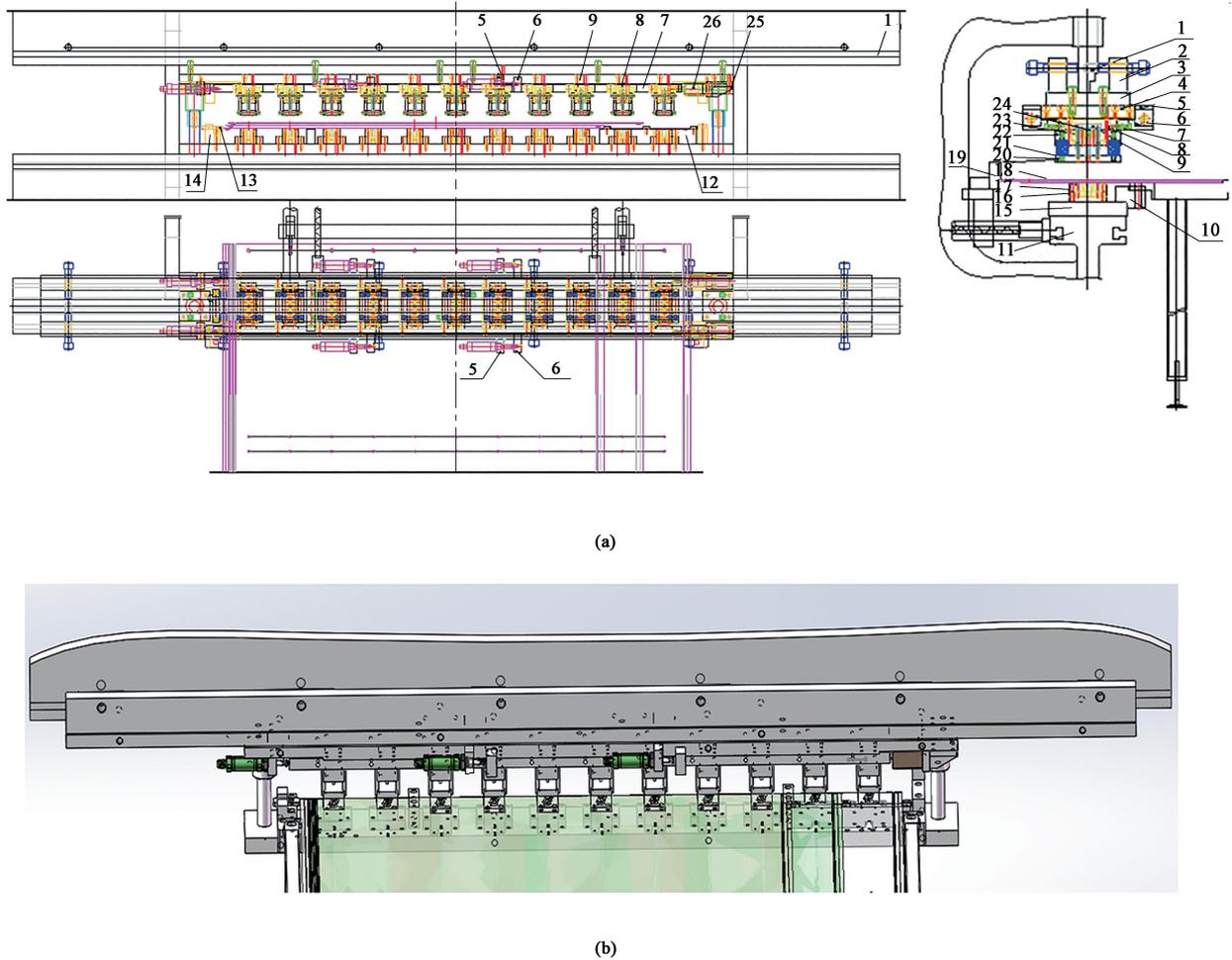


图 5 电液伺服折弯机与组合冲孔模联接结构示意图

(a) 2D 示意图 (b) 3D 示意图

1. 折弯机竖板 2. 前后侧压板 3. 上装夹板 4. 上模座 5. 汽缸固定块 6. 汽缸推动块 7. 共用滑板行位 8. 上垫块 9. 滑板行位
10. 支架安装块 11. 折弯机下台板 12. 定位支撑板 13. 侧边可调定位块 14. 限位定位座 15. 下模座 16. 下垫板 17. 下模板
18. 型孔入子镶块 19. 端部伺服定位块 20. 脱料板 21. 脱料连接板 22. 上夹板 23. 冲针上浮弹簧 24. 型孔冲针
25. 油缸固定座 26. 油缸

Fig. 5 Schematic diagrams of coupling structure for electro-hydraulic servo bending machine and combined punching die

(a) 2D schematic diagram (b) 3D schematic diagram

的“继续二工位”点击“否”，继续首工位，并在定位距离上修改偏差值，直至侧孔边距、端部孔边距符合要求为止。

(8) 第 8 步，在控制面板上对弹出的“继续二工位”点击“是”，电液伺服折弯机在系统控制下再次快速“跳步”到设定距离；同时组合冲孔模共用滑板行位 9 右移，冲长圆孔的型孔冲针回位，冲圆孔冲针顶出；若组合冲孔模共用滑板行位 9 已处右侧，则系统仍有此动作，确保组合冲孔模在冲圆孔的位置上。

(9) 第 9 步，将试冲样板继续放置于下模面工作区，左侧仍然靠侧边定位，再将试冲工序件平推

直至顶到端部伺服定位块 19。

(10) 第 10 步，踩下电液伺服折弯机脚踏开关，在待加工样板上进行试冲组合冲孔模双排圆孔，即 $\Phi 7.0$ mm 圆孔。

(11) 第 11 步，对试冲样件的双排孔进行孔位测量，若侧边孔边距有偏差，则微摆样板长度方向上的位置，并在适当位置做侧边标记；若端部孔边距有偏差，则在控制面板上对弹出的“继续三工位”点击“否”，继续二工位，在定位距离上修改偏差值，直至侧边孔边距、端部孔边距符合要求为止。

(12) 第 12 步，在控制面板上对弹出的“继续

三工位”点击“是”，电液伺服折弯机在系统控制下再次“跳步”到设定距离；若点击“否”，则控制面板弹出“继续二工位”，再次点击“否”，则控制面板弹出“继续首工位”，点击“是”，电液伺服折弯机在系统控制下快速“跳步”到起始设定或修定距离。

(13) 第 13 步，把试冲的样板继续放置于下模板工作区，左侧仍然靠侧边定位，再次将试冲工序件平推直至顶到端部伺服定位块 19。

(14) 第 14 步，踩下电液伺服折弯机脚踏开关，在待加工样板上进行试冲组合冲孔模双排圆孔，即 $\Phi 7.0$ mm 圆孔。

(15) 第 15 步，对试冲样件的双排孔进行孔位测量，若侧边孔边距有偏差，则微摆样板长度方向上的位置，并在适当位置做侧边标记；若端部孔边距有偏差，则在控制面板上对弹出的“继续三工位”点击“是”，在定位距离上修改偏差值，直至侧边孔边距、端部孔边距符合要求为止。

(16) 第 16 步，在控制面板上对弹出的“继续下工位”，点击“是”，系统默认程序回到“首工位”；电液伺服折弯机在系统控制下快速“跳步”

到起始设定或修定距离。

(17) 第 17 步，将待加工蜗板工序件推至上下模板工作区上，左边靠侧边定位、长边靠标识线上；将工件端部平推直至顶到端部伺服定位块 19。

(18) 第 18 步，按样板加工循环流程第 6~第 17 步的方法进行操作，完成待加工工件群孔冲压加工。

至此，1 个蜗板完整的群孔冲压加工完成；下 1 个蜗板，则重复上述第 2 和第 5 步，将工序件左侧靠侧边定位、将材料端部平推直至顶到端部伺服定位块 19，再重复第 6~第 17 步冲压加工流程，循环操作，直至完成蜗板群孔冲压加工。

2.3 移动式跳步组合冲孔模结构实施

移动式跳步组合冲孔模的实物按设计图纸制造，虽然在制造及组装时出现方案预计中的一些困难，主要表现是组合冲孔模为适应电液伺服折弯机的超宽、较窄特点而呈现细长型结构设计，致使部分工件的刚度不足。为较好解决这一困难，一方面采用多组气缸辅助动作缓解运动阻碍；另一方面对采用的钢材作适当热处理，以提高其刚性及耐磨性。组合冲孔模在适配电液伺服折弯机后的整体结构如图 6 所示。



图 6 适配电液伺服折弯机后的组合冲孔模整体结构

Fig. 6 Overall structure of combined punching die under adaptation of electro-hydraulic servo bending machine

3 模具零件材料的选用

基于 80%~90% 的蜗板材料为热镀锌薄钢板、剩余为 3 系不锈钢板料的实际情况，要控制冲孔加工的品质，如降低毛刺高度及其产生的快速维修性，即需从模材的淬透性、耐用性、韧性与耐磨性等方面进行综合考量^[13]；且组合冲孔模不仅是由 11 组子模块组成，同时还需容纳液压缸、气缸的固定及滑行移动结构。因此，组合冲孔模不仅在模材的选用上需要更加合理，而且在结构上需要适配快速拆装^[14]。

鉴于以上选材要求及结构考虑，同时蜗板滚压卡扣咬合槽方向朝下，下模板上需要有适度的让位空间^[15]，且 3 款蜗板侧边孔边距不同，因此，组合冲孔模 11 组子模块在作“移动式跳步”时对下模板外形有限制。从整体上看，下模采用塔形结构^[16]，以便模具快拆及维修，同时采用小尺寸模板^[16]，有利于 3 套蜗板工序件在移动时有充足的空间避开已滚压的卡扣咬口槽。下模板上采用快拆镶件（也称入子）结构，一方面有利于模具在设备上即能实现拆卸与更换；另一方面便于采用好的模材做冲孔镶件，以提高组合冲孔模的整体经济性^[13]。采用左右两边比下模板宽适当距离的下垫板，一方

面是便于模具快拆结构的需要,另一方面在其背面开设前后相通的冲孔漏料导料槽,便于快速疏通已堆叠的废料。上模部分的脱料板,采用刚性限位侧压结构^[17];当上模向下冲压时,脱料板受下模与工件的支撑力而压缩弹簧;当上模向上回程时,脱料板在弹簧释压缩力作用下脱出工件,当余冗距离用完后,限位起作用停止继顶,脱料板脱离工件表面;在此过程中,脱料板四角通过方形销一端固定另一端与上夹板活动联通,在行程内起导向和保护作用。上夹板为固定 3 支冲针结构,厚度相对较厚,以便在冲针台肩下容纳适度弹顶力的弹簧。上垫板采用暗式抽屉结构^[17],背面设有与移动距离相对应且在冲针位上方设有回位避让结构;其外延结构搭扣在滑动行位上。

具体模材选用如下:前后侧压板 2 选用 A3 钢,有利于与上装夹板 3 焊接,形成凹槽结构件,与电液伺服折弯机超宽竖板形成侧压夹紧组装。上装夹板 3 选用 A3 钢,原因同前,后侧压板一致,同时易于加工孔吊装上模板。上模座 4、下模座 15 为主要的模具承力件,通常选用 45 钢制造。汽缸固定块 5 是为前后侧压板提供助推力而增设,因其在上模座上固定需要焊接,故选择 45 钢为宜。汽缸推动块 6 作为固定小型汽缸推力的承力件,一方面与前后两侧共用滑板行位 7 焊接固定,同时承担汽缸交替变化的推、拉力,采用 45 钢更适宜。油缸固定座 25 是固定小型油缸的结构件,由多件板焊接而成,采用 A3 钢更适宜。油缸在前后侧各设置 1 个,外购常见标准型的小型油缸 YBG-ZD32 * 30W,不作特殊要求。前后两侧滑板行位 9 不仅是组合冲孔模主要运动部件的联接载体,而且需具有强度与刚度适当、质量轻等要求;鉴于其横断面较小且超长的特点,为适应往复磨擦运动因而需有适度的耐磨性,因此,宜用 45 钢并作局部火焰淬火。上垫块 8 一方面承担着冲孔时传递的冲裁力,另一方面需适应滑板行位 9 的往复运动,受力工况较复杂,宜用 Cr12 钢并作适度的热处理。下垫板 16 与上垫块 8 类似,承担着型孔入子镶块 18 冲孔时传导的冲裁力,同时承担多种冲孔废料及时疏导的功能,受力相对复杂,宜用 Cr12 钢并作适度的热处理。脱料板 20 承担着使冲压加工件及时脱离冲针的功能,考虑到加工材质多样的特性,宜用 Cr12 钢并作适度热处理。脱料连接板 21 与脱料板固定,在冲压过程中不仅限制脱料板在一定范围内运动,而且保持其与上夹板 22 在冲压过程中保持相对位置的一致性,宜用 45 钢或

Cr12 钢并作适当热处理;如从维修方面来考虑,用 45 钢更适宜。在组合冲孔模中上夹板 22 为核心件之一,从功用上看主要有 3 方面功能:一是固定型孔冲针 24 并保护冲针;二是容纳预埋在型孔冲针下的弹簧,以便型孔冲针在与滑板行位 9 的避让位对应时,能顺利将其顶入避让位,从而实现型孔冲针在随上模运动时不参与冲压作用的目标;三是支撑前后两侧共用滑板行位 7 作往复运动。基于这些因素的考量,对脱料连接板 21 采用 Cr12 钢并作适度的热处理更为妥当。

型孔冲针 24 是移动式跳步组合冲孔模的核心零件,一方面,它不同于常规冲孔模中将冲针进行有效固定的结构,而是要在滑板行位往复运动下作顶出与回位;同时,在完成工序件加工时不能粘黏材质;因此,宜选用 DC53^[18]钢为基材,且并不低于 HRC61 热处理、冲压端采用 TD 镀层的要求^[13]。冲压常见的镀锌薄钢板,常选用 Cr12MoV 钢并作适度热处理;但在冲压 3 系不锈钢材质时,需更高一档的模材如 D2、SKD-11、DC53^[13]钢等;因 DC53 钢的组织致密性更优于 SKD-11 钢、D2 钢等,冲压端采用 TD 镀层,能较好隔绝模材与加工板材的粘黏性^[18];基于经济性、实用性考量,DC53 钢为冲针材料首选。型孔入子镶块 18 是下模板内的固定件,主要承担加工材料的分离,在模材选择上依次从低向高可为 Cr12MoV、D2、SKD-11、DC53 钢等;从冲压 3 系不锈钢材质易粘黏来考量,选用适当的模具,且尽可能降低加工面的粗糙度、采用冷却液辅助润滑^[19];因此,从经济、适用性方面考量,采用 D2 或 SKD-11 钢并作适当热处理可满足使用要求。下模板 17 是固定型孔入子镶件的固定件,承担工序件在其表面上移动及跳步时的磨擦,耐磨性是主要考虑指标,一般选用 Cr12 或 Cr12MoV 钢,基于经济、适用性,选用 Cr12MoV 钢居多。

移动式跳步组合冲孔模在制造完成后,经试模调试,测试件符合使用要求。在组织 3 款蜗板工序件小批试产后,模具状态符合整体方案预想。移动式跳步组合冲孔模生产状态如图 7 所示。

4 设备改良效益

通过将原有折弯机适当改良为电液伺服折弯机并为适配电液伺服折弯机空间开发出移动式跳步组合冲孔模,不仅根治了产线上病垢的孔位与孔距品

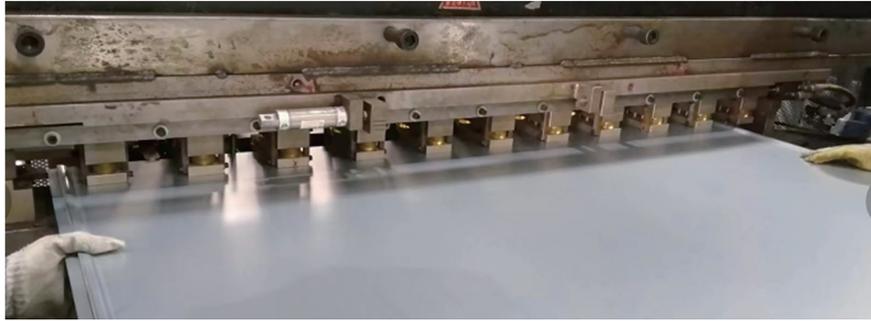


图 7 试制 1400 型蜗板工序件

Fig. 7 Trial production of 1400 type volute plate process parts

质不良的状态，也让产线的生产效率实现了翻倍提高，取得了较好的产品列化拓展的经济效益。具体的生产效率对比可参见表4和表5，不仅原产线上

的作业人数从6人优化至3人，而且充分缓解了产线上人员紧张的局面，使原本的生产瓶颈工位变成无障碍工位。

表 4 系列化拓展后原 3 款蜗板手工加工工时

Table 4 Manual processing hours of original three types of volute plate after seriation expansion

加工内容	蜗板型号			操作说明	优缺点	
	1120 型	1250 型	1400 型			
手持冲孔机加工	型孔数/个	8	8	9	—	
	画标识线时间/s	80	80	90	采用靠板划线	孔距有偏差，位置有偏差
	冲孔机加工孔时间/s	120	120	135	按标识线加工孔	
手持电动钻加工	圆孔数/个	18	16	36	—	孔距有偏差，位置有偏差
	画标识线时间/s	216	192	432	采用靠板划线	
	电动钻加工孔时间/s	324	288	648	按标识线加工孔	
合计/s		740	680	1305	—	—
工效对比（生产倍数）		19.6	17.9	23.2	—	—

表 5 系列化拓展后原 3 款蜗板优化冲床加工工时

Table 5 Optimized processing hours of original three types of volute plate during stamping after seriation expansion

加工内容	蜗壳型号			操作说明	优缺点	
	1120 型	1250 型	1400 型			
型孔数/个	9	10	11	按产品特征决定	由电液伺服折弯机驱动器，模具定位精度及生产操作共同决定孔位偏差；工件符合要求	
调整定位	调整定位次数/次	2	2	3		从控制面板调用
	单次调定位耗时/s	10	10	10		从控制面板调用
	调整定位总耗时/s	20	20	30	—	
专用模具加工	冲孔次数/次	2	2	3	按产品特征决定	由专用模具加工精度，生产操作共同决定孔位偏差；工件符合要求
	单次冲孔时间/s	8	8	8	由模具操作决定	
	折弯机冲孔耗时/s	16	16	24	—	
合计/s		36	36	54	—	—
与优化前工效对比（生产倍数）		19.6	17.9	23.2	生产更简易，操作性更佳	孔位更精准，孔型品质更好

5 结语

通过蜗板产品系列化拓展的案例，增强了企业

推广“降本增效”、“提质增效”的内在需求。通过对原有设备的技术改造，使其成为二次资产投入的增值器；同时面对目前市场上新技术、新设备、新工艺不断涌现的情况，可将通用化设备转变成适应

企业自身特点的生产优势;企业通过适应性技改,更重要的是培养和锻炼了人才队伍。这对于原本设备较多、在经营上受到产能限制的企业具有很好的借鉴意义。

参考文献:

- [1] 李振光,张磊,吕祥龙,等.油电混合数控折弯机的技术发展及应用[J].世界制造技术与装备市场,2021(1):71-72.
Li Z G, Zhang L, Lyu X L, et al. Technical development and application of oil-electric hybrid CNC bending machine [J]. World Manufacturing Engineering & Market, 2021 (1): 71-72.
- [2] 赵德世,杜坡,刘杰.汽车加强板多工位级进模设计[J].锻压技术,2023,48(8):219-223.
Zhao D S, Du P, Liu J. Design on multi-station progressive die for automobile reinforcement plate [J]. Forging & Stamping Technology, 2023, 48 (8): 219-223.
- [3] 束国栋,张维光.厚板零件精密冲裁工艺分析与模具设计[J].模具工业,2015,41(5):51-53,57.
Shu G D, Zhang W G. Precision blanking process analysis and die design of thick plate parts [J]. Die & Mould Industry, 2015, 41 (5): 51-53, 57.
- [4] 姜银方,袁国定.冲压模具工程师手册[M].北京:机械工业出版社,2011.
Jiang Y F, Yuan G D. Stamping Die Engineer's Manual [M]. Beijing: China Machine Press, 2011.
- [5] 余归城,阮金华,张健民,等.细长变截面非轴对称工件模锻模具优化设计[J].锻压技术,2022,47(10):229-235.
Yu G C, Ruan J H, Zhang J M, et al. Optimization design of die forging mold for slender non-axisymmetric workpiece with variable cross section [J]. Forging & Stamping Technology, 2022, 47 (10): 229-235.
- [6] 卞正其,徐朝忠,张志兵.SERVO GUIDE在EP20型全电伺服数控转塔冲床上的应用[J].锻压装备与制造技术,2015,50(5):29-32.
Bian Z Q, Xu C Z, Zhang Z B. Application of SERVO GUIDE in EP20 full electric servo CNC turret press [J]. China Metalforming Equipment & Manufacturing Technology, 2015, 50 (5): 29-32.
- [7] 刘海燕,苏宇,林春兰,等.基于RobotStudio的生产线料系统设计及仿真[J].制造技术与机床,2019(5):67-71,75.
Liu H Y, Su Y, Lin C L, et al. Design and simulation of production line material system based on RobotStudio [J]. Manufacturing Technology & Machine Tool, 2019 (5): 67-71, 75.
- [8] 胡金龙,余健,吴正刚.一种全电伺服数控折弯机的创新设计[J].机械工程与自动化,2014(6):107-109.
Hu J L, She J, Wu Z G. Innovative design of an all-electric servo CNC bending machine [J]. Mechanical Engineering & Automation, 2014 (6): 107-109.
- [9] 曹光荣.电伺服折弯机关键技术研究[D].扬州:扬州大学,2009.
Cao G R. Research on Key Technology of Electric Servo Bending Machine [D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2009.
- [10] 束军平,刘斌.一种采用拉伸与液压胀形的复合成形工艺与模具设计[J].模具工业,2014,40(2):30-33.
Shu J P, Liu B. The invention relates to a composite forming process and a die design using tensile and hydraulic expansion [J]. Die & Mould Industry, 2014, 40 (2): 30-33.
- [11] 中国机械工程学会.中国模具设计大典.第三卷[M].南昌:江西科学技术出版社,2003.
Chinese Society of Mechanical Engineering. China Mold Design Ceremony. Volume 3 [M]. Nanchang: Jiangxi Science and Technology Press, 2003.
- [12] 王孝培.实用冲压技术手册[M].北京:机械工业出版社,2011.
Wang X P. Practical Stamping Technical Manual [M]. Beijing: China Machine Press, 2011.
- [13] 束军平,莫仁春.超厚不锈钢零件的冲模设计[J].模具工业,2022,48(9):40-44.
Shu J P, Mo R C. Die design for super thick stainless steel parts [J]. Die & Mould Industry, 2022, 48 (9): 40-44.
- [14] 李厚佳,金龙建.紧固连接件级进模设计[J].模具工业,2022,48(9):27-34.
Li H J, Jin L J. Design of progressive die for fastening connector [J]. Die & Mould Industry, 2022, 48 (9): 27-34.
- [15] 张维光,束国栋.弧形烤箱面板的成形工艺分析与模具设计[J].模具工业,2015,41(4):28-33.
Zhang W G, Shu G D. Forming process analysis and mold design of curved oven panel [J]. Die & Mould Industry, 2015, 41 (4): 28-33.
- [16] 金龙建.冲压模具-从入门到精通[M].北京:化学工业出版社,2022.
Jin L J. Stamping Die-rom Introduction to Mastery [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2022.
- [17] 陈炎嗣.冲压模具设计实用手册[M].北京:化学工业出版社,2011.
Chen Y S. Stamping Die Design Practical Manual [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2011.
- [18] 王希亮,滕斌,庄严.弹簧片精密级进模设计[J].模具工业,2022,48(5):26-28.
Wang X L, Teng B, Zhuang Y. Design of progressive die for leaf spring [J]. Die & Mould Industry, 2022, 48 (5): 26-28.
- [19] 徐腾,王鑫,冉家琪,等.伺服拉伸成形粘模行为及粘模抑制研究[J].锻压技术,2023,48(1):1-13.
Xu T, Wang X, Ran J Q, et al. Research on viscous die behavior and inhibition of servo tensile forming [J]. Forging & Stamping Technology, 2023, 48 (1): 1-13.