

基于工艺优化的工位节拍降低方法研究

于光辉¹ 郭东栋^{1,2} 牛振¹ 姚森¹

(1.北京奔驰汽车有限公司,北京 100176; 2.北京大学,北京 100871)

摘要:为解决焊装车间产能不足的问题,通过对生产线产能瓶颈区域进行分析研究,根据不同工位所具有的特点使用工艺再平衡和工艺顺序优化2种方法降低工位节拍,实施过程中使用影像动作分析法对每个工位进行动作分解,使每一部分的细微步骤都能展现出来,同时过程中借助 ECRS 原则对优化点进行改进优化,最终成功对2个点焊工位实施节拍优化,优化后有效解决了生产线产能不足的问题。在对点焊技术的优化中没有进行参数调整从而降低了质量风险,也为其他类似技术工位节拍优化提供了另一条途径。

关键词:节拍 工艺再平衡 工艺顺序 ECRS原则 生产线平衡

中图分类号:U468.1 文献标识码:B DOI: 10.19710/J.cnki.1003-8817.20220229

Research on Method of Reducing Station Cycle Time Based on Process Optimization

Yu Guanghui¹, Guo Dongdong^{1,2}, Niu Zhen¹, Yao Sen¹

(1. Beijing Benz Automobile Co., Ltd., Beijing 100176; 2. Peking University, Beijing 100871)

Abstract: In order to solve the problem of insufficient production capacity in the welding work shop, through the analysis and research on the production line production capacity bottleneck area, 2 process optimization methods, i.e. process rebalancing and process sequence optimization, were applied to reduce the station cycle time according to the characteristics of different stations. In the implementation process, the image motion analysis method was utilized for motion decomposition of each station, to reveal the small steps of every part. At the same time, ECRS principle was used to optimize the optimization points. Finally, the cycle time optimization was successfully implemented for the 2 spot welding stations. The cycle time reduction directly improves the production capacity of the production line. There was no parameter adjustment for the optimization of spot welding process, which provided another approach to reduce the cycle time of similar station.

Key words: Cycle time, Process rebalancing, Process sequence, ECRS principle, Line balance

1 前言

在汽车制造的冲压、焊装、涂装和总装4大工艺中,焊装制造工艺通过引入大量的机器人及自动化设备实现了点焊、弧焊、压铆、流钻、涂胶热连接、机械连接和胶接的技术跨越。在不断提高产品质量的同时也为后续序列化生产中

做精益管理提供机会,其中在不进行新投资的情况下,通过工艺优化、设备优化、机器人轨迹优化方法实现低成本的产能提升,有很大的改善空间,已经被越来越多的车企运用并有了很大的管理突破。对生产线实施工艺再平衡、工艺顺序优化、冗余工艺减少、工艺变更都属于工艺优化范畴。

作者简介:于光辉(1989—),男,工程师,硕士学位,研究方向为焊装制造技术及产能分析。

参考文献引用格式:

于光辉,郭东栋,牛振,等.基于工艺优化的工位节拍降低方法研究[J].汽车工艺与材料,2023(3):19-23.

YU G H, GUO D D, NIU Z, et al. Research on Method of Reducing Station Cycle Time Based on Process Optimization [J]. Automobile Technology & Material, 2023(3): 19-23.

2 生产线产能情况及工艺介绍

某车型随着市场需求的增加,原有的设计产能已无法满足要求,需要对生产线的潜能进行挖掘实现产能提升。通过对生产线的产能分析,识别出部分工位为瓶颈区域,需要对这些区域进行节拍优化。在设备综合开动率不变的情况下,通过节拍降低实现产能的提升,其中产能与节拍的关系如公式(1)所示^[1]。

$$JPH=(3\ 600\times OEE)/CT \quad (1)$$

式中, *JPH* 为单位小时产量; *OEE* 为综合设备开动率; *CT* 为生产线瓶颈节拍。

其中某生产线 TS11 为其中的节拍瓶颈区域,区域由 4 个工位组成,除生产线前后的提升机外,包括点焊补焊工位 ST330、点焊补焊工位 ST340、点焊补焊工位 ST350、人工工位 ST360,改善前生产线各工序工时如表 1 所示,生产线的平衡率 *LBR* 如公式(2)所示^[2-3]。

$$LBR = \frac{\sum T_j}{CT \times n} \times 100\% \quad (2)$$

式中, *T_j* 是每个工位标准作业时长; *n* 是生产线中工位总数; *CT* 是瓶颈工位节拍。

工位	ST330	ST340	ST350	ST360
工位工时	60	61	58	58

TS11 生产线的生产线平衡率为 97%,为实现该生产线更高的产能输出,需要对其中的 ST330 和 ST340 2 个工位的节拍进行优化,这 2 个工位完成点焊的补焊工作,单台机器人完成 11 点~18 点不等的点焊焊接。

3 分析与优化

3.1 节拍不平衡原因分析

按照原有设计产能要求,上述工位均能满足节拍要求,但从生产线潜能和二次产能提升的角度评估,生产线在工艺设计阶段还有进一步改善的空间。出现瓶颈情况的工位中的机器人工作量并不完全均衡,多余的部分工作量成为了产能提升优化的重点。所以在后续的项目设计中不但要

从全局的角度考虑整体生产线的节拍情况,也要从局部的角度评估岛内每台机器人的工作量均衡情况。

3.2 影像动作分析

在 TS11 生产线的 4 个工位中,工序时间较长的 2 个工位是自动化点焊机器人。对自动化率较高的工位进行节拍分析时,适合使用影像动作分析法^[4-5]。根据视频记录将整个过程根据不同的工艺内容划分为不同部分,对每一部分进行细节分析,借助 ECRS 减少等待时间、进行工序调整和工序重布原则,从而缩短整个工位的节拍时间^[6]。TS11 生产线如图 1 所示,ST330 工位为整条生产线的第 2 个工位,里面拥有 6 台六轴点焊机器人;ST340 工位有 4 台六轴点焊机器人,这 2 个工位的零件传输采用辊床输送的方式。

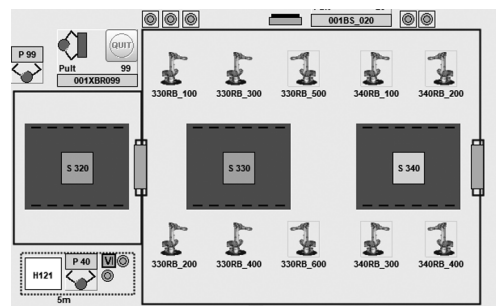


图 1 TS11 生产线

优化前对 ST330 和 ST340 工位进行视频录制,根据工艺内容将整个工作时段划分为 3 个部分,分别为辊床输送及定位夹具夹紧、点焊焊接工艺、定位夹具打开及辊床输送^[7]。对这 3 个部分进行分析,分别统计出各部分的所用时间。工位节拍分析如图 2 所示,ST330 工位辊床输送和定位夹具运行时间为 7 s,6 台点焊机器人中 ST330RB400 和 ST330RB300 用时最长且都是 46 s,所焊接的点数分别为 15 个和 16 个,这 2 台机器人是工时优化的重点突破口。

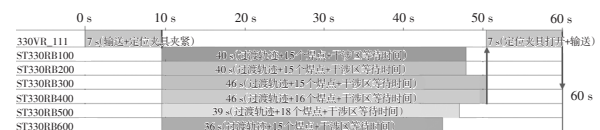


图 2 ST330 工位节拍分析

其中,ST340 工位的机器人中 ST340RB300 和 ST340RB400 用时最长。RB300 焊接 16 个焊点用时 47 s;RB400 焊接 14 个焊点用时 46 s。辊床输送和定位夹具动作时间和 ST340 相同,具体各部分所

用时间如图3所示。

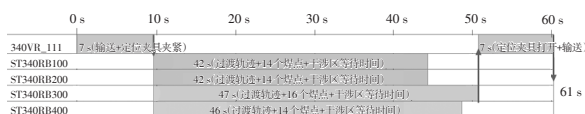


图3 ST340工位节拍分析

结合影像和PLC信号监控分析,对比发现多组夹具同步运行不存在某些气缸运动迟滞的现象,且运行速度适中,同时分析输送辊床水平运动方向和竖直运动方向的时间-速度曲线目前处在较为合适的范围内,不宜再次进行时间压缩,输送辊床时间-转速曲线如图4所示。经过分析焊点机器人焊接工艺部分存在很大的优化空间。

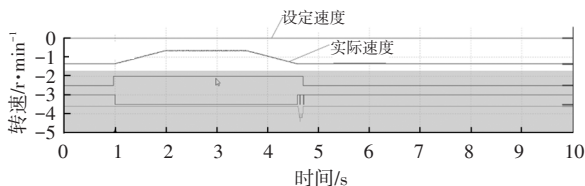


图4 输送辊床时间-转速曲线

同时,在核算工位节拍的过程中因焊点性质不一样,时间也略有不同。一般而言,带Framer夹具的定位点节拍为4.5s,普通定位点节拍为3s,普通补焊点节拍为2.5s。根据这些时间进行节拍优化方案的初步制定,而后在现场根据实际情况进行可实施性验证和优化后的工时测量。

3.3 工艺再平衡

工艺再平衡即对现有工位内的工艺进行重新梳理,统计出每台设备工作负荷量,将负荷量高的机器人工作内容向负荷量低的机器人进行内容的转移,从而实现不同机器人工作时长的均衡,缩短机器人整体运行时间^[8-9]。如对点焊工位ST340工艺梳理获得机器人负荷,340RB100机器人焊机14个焊点、340RB200机器人焊接14个焊点、340RB300机器人焊接16个焊点、340RB400机器人焊接14个焊点。其中340RB300和340BR400是工位的瓶颈机器人,对这2台机器人的焊点进行再平衡,经过排查在临近工位ST260的260RB300和260RB400机器人和上述瓶颈机器人工作区域范围有重叠,可以进行工艺再平衡方案评估。经过测定ST260节拍为55s,不是产能瓶颈区域,分别将340RB300和340RB400机器人的2个焊点移动到260RB300和260RB400机器人中,经过验证2把焊枪均能可达,

可以进行焊点再平衡转移。经过工艺平衡后2个工位的焊点数量和节拍变化情况如表2所示。

表2 ST340和ST260焊点数及节拍变化情况

统计	340RB 300/个	340RB 400/个	260RB 300/个	260RB 400/个	ST340 /s	ST260 /s
优化前	16	14	7	7	61	55.0
优化后	14	12	9	9	58	57.5

工艺再平衡可以通过工作量的转移来解决节拍的短板效应问题,但这种方式也有一定的局限性。首先接受工作内容的工位必须有工时余量,增加工作内容后节拍不会超出设定目标,不能成为新的瓶颈工位;其次工作内容转移必须考虑设备的可达性,只有2个工位的工作范围有一定的重叠区才有实施的可能性。在进行ST330工位节拍优化的过程中,其中一版方案也是将其中的2台机器人部分焊点进行转移,但是因为可达性存在问题,最终无法实施,只能采取其他方案。

3.4 工艺顺序优化

工艺顺序优化,即在一个循环内一台机器人需要完成多个工艺点,不同工艺点借助过渡轨迹先后进行加工,通过调整工艺点的先后顺序优化过渡轨迹路径,减少期间的等待时间,来降低节拍时间^[9]。如在ST330工位无法使用工艺再平衡的方式进行节拍优化的背景下,使用工艺顺序优化的方式深入分析瓶颈机器人焊点的焊接顺序。330RB300和330RB400机器人运行时间最长,是该工位的瓶颈。通过视频分析发现,这2台机器人运行时间长,原因是2台机器人先后进入与临近机器人干涉区内,其中330RB300在焊接完第10个焊点后与330RB500干涉,在干涉区外等待4s;并且330RB400在焊接完第9个焊点后与330RB600和330RB300干涉,在2个干涉区外总计等待7s,需要针对这2个较长的等待时间进行优化分析。ST330工位干涉区等待位置如图5所示。

对330RB500和330RB600机器人的焊点顺序进行优化。通过工艺卡确定可以进行焊接顺序优化的局部区域,确定原则是根据过渡轨迹中的等待时间来确定焊点顺序移动数量;同时结合焊点所处位置,尽量保证被移动的焊点处在同一区域,减少机器人过渡轨迹路径,实现更好的节拍缩减效果。

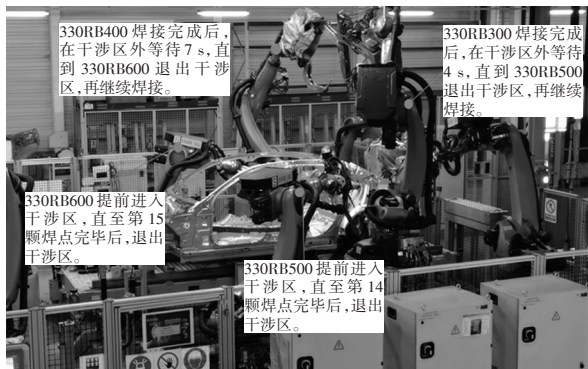


图5 ST340工位干涉区等待位置

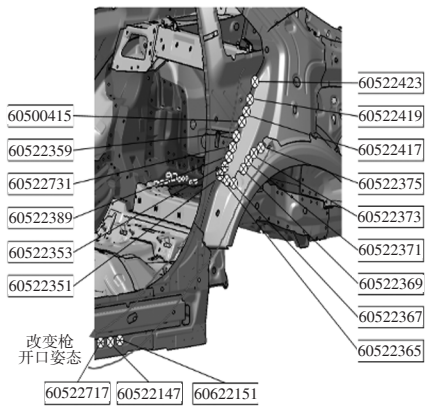
项目优化过程中根据等待时间和单个焊点的时间,确定对330RB500中3个焊点的焊接顺序进行调整,使330RB500提前对干涉区进行释放,330RB300更早进入干涉区进行焊接,减少等待时间,焊点顺序优化如图6所示。对330RB600的1个焊点的焊接顺序进行调整,使干涉区提前释放,330RB400更早进入第1个干涉区,同时随着330RB300的提前完成,提前释放第2个干涉区,330RB400进一步缩短等待时间,焊点顺序优化如图7所示。

4 实施与改善

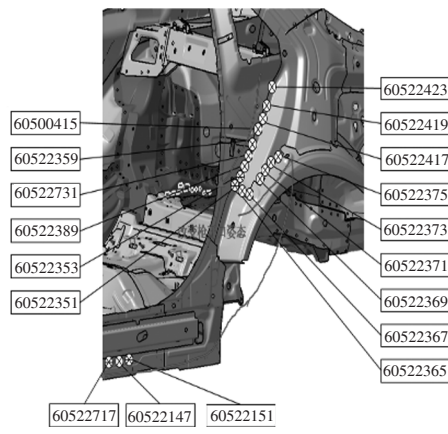
根据最新的焊点顺序移动方案,通过手动操作的方式确定新移动的焊点可达性。在这个过程中可以通过局部焊接程序剪切复制的方式快速完成新的焊接程序。其中最大的难点及风险点是剪切后连接两段新程序的过渡点,过渡点需要保证与其他机器人无碰撞风险,尽可能做最小的运动范围。在验证过程中如部分焊点无法达到或是过渡轨迹机器人调整姿态范围过大,应及时修改方案。

机器人干涉区验证^[10],焊点顺序调整过程中尽可能不要打破原有的机器人干涉区范围,如必须打破干涉区范围,需要添加必要新的干涉区监控信号并重新验证,保证无碰撞风险。新的机器人程序编辑完毕后手动操作进行验证,无误后采取逐渐增速的方式自动验证。

通过工艺顺序优化的方式对ST330工位进行优化,工位整体节拍由60s降低为57s,优化后的节拍分析如图8所示。通过工艺再平衡的方式对ST340工位进行优化,工位的整体节拍有了明显的改善,节拍时间由原来的61s降低为58s,优化后的节拍分析如图9所示。

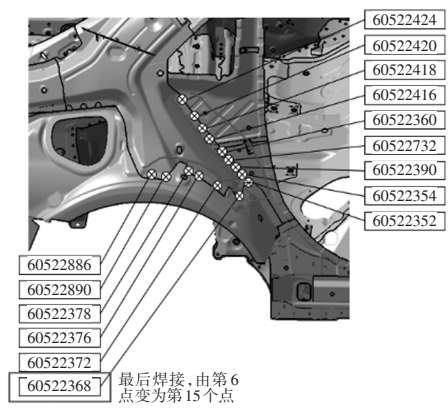


(a)改善前

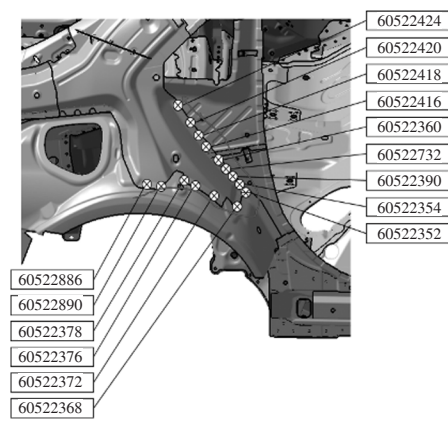


(b)改善后

图6 ST330RB500焊接顺序前后变化



(a)改善前



(b)改善后

图7 ST330RB600焊接顺序前后变化

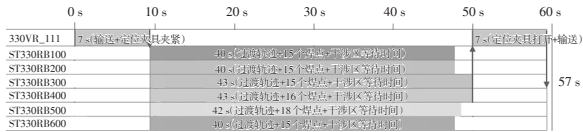


图8 ST330工位改善后节拍分析

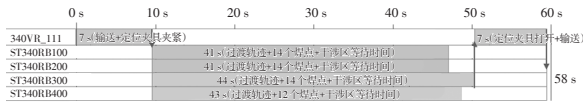


图9 ST340工位改善后节拍分析

5 结束语

综上所述,在对工位节拍优化的过程中通过使用工艺优化的方法从工艺再平衡和工艺顺序优化2种思路对自动化机器人展开分析研究,针对现场不同的情况和限制因素,选择合适的方法优化实施,才能有效破解节拍瓶颈之困局。优化实施后整体产线的平衡率提升至99%,产能提高2.6 JPH,有效解决了生产线的产能压力。

参考文献:

[1] 任伟,张锐辉,吴双强,等. JPH改善提升方法浅析[J]. 汽车实用技术, 2019(10): 236-237+240.
 [2] 吕秀杰. 传动轴生产线平衡性分析与改进[J]. 科技创新导报, 2010(13): 84-84.

[3] XIAO F, SHAO L. Optimizing Production Line Balance Based on Witness Simulation[C]// The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.(IEEE) Conference Proceedings, 2018.
 [4] 周凌君. C公司F生产线节拍平衡优化研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2017.
 [5] SHAN H Y, LI L N, YUAN Y, et al. Simulation and Optimization of Production Line in Em-plant Based Assembly Workshop[C]// 2018 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), 2018.
 [6] 张志强,周炳海. 基于流程分析法的汽车座椅装配生产线改善[J]. 机械制造, 2007, 45(10): 56-59.
 [7] 张晓龙,马立新,杨磊,等. 自动化焊装线的节拍设计与优化[J]. 汽车工艺与材料, 2021(2): 7-10.
 [8] 秦志刚,张洪亮. 汽车焊装生产线节拍分析及优化[J]. 汽车工艺与材料, 2021(8): 57-60.
 [9] 王洪涛,高琳琳,尚俊友,等. 焊接顺序对车身装焊工艺的影响[J]. 汽车实用技术, 2016(1): 119-121.
 [10] 王健强,王华国,童育华,等. 汽车白车身机器人焊装中的干涉区控制研究[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2010, 33(11): 1623-1626+1633.