

基于前照灯自动线的仿真优化 研究与应用

闫西平 宋丽君 张伟刚

常州星宇车灯股份有限公司

摘要: 本文通过使用 Plant Simulation 仿真软件, 模拟前照灯自动化生产线生产过程, 运用 Simtalk 语言实现设备动作逻辑仿真, 通过参考 ECRS 节拍库, 设置仿真参数, 模拟并设置产线的工作时间、设备停机时间和产品良率等, 保证了仿真数字化模型与实际产线的一致性。该方法有效地提升了自动化生产线的生产效率, 降低了设备投资费用并减少产线投产后的运行风险。

关键词: 前照灯生产线; 仿真优化; 生产效率

0 前言

车灯作为汽车的重要组成部分, 不仅承担着照明和信号传递的基本功能, 还逐渐演化为提升汽车美观和智能化水平的关键因素。因此, 车灯的设计与制造过程对提高整车性能和用户体验具有重要影响。

本研究旨在通过产线改造和仿真技术的应用, 实现车灯生产的自动化和智能化, 以提高生产效率和产品质量。首先, 本文将分析当前车灯生产线的现状, 识别存在的问题和需要改进的空间; 其次, 探讨生产线改造的必要性和方法, 再利用仿真技术优化生产流程, 模拟生产线运行; 最后, 设计并改造一套自动化前照灯生产线, 通过自动线实际运行数据验证改造效果。

本研究的意义在于, 通过技术创新推动车灯制造业的发展, 降低产线人员负荷, 并满足市场对高新车灯的需求。同时, 研究成果也可为公司其它传统前照灯生产线的改造提供参考和借鉴, 促进整个公司的技术进步和产业升级。此外, 本研究还将探索自动化与智能化技术在传统制造业中的应用前景, 为相关领域的学术研究和实践提供新的视角和思路。

1 车灯 G 项目生产线概况

1.1 车灯 G 项目生产线介绍

车灯 G 项目是一条 U 形前照灯手工装配线, 主要包含组装和检验两大工艺。首先, 壳体、灯罩和透镜等零部件经过一道道装配工序后组装成整灯, 再由气密、电

检及终检等工序检验产品是否合格, 最终装车。在生产过程中, 由人工完成灯具的搬运、装配和流转。为了达到省人提效的目的, 需对产线现状进行系统分析并改善。

1.2 车灯 G 项目产线主要设备

(1) 涂胶压合设备: 主要用于壳体涂胶与灯罩壳体结合工序。

(2) 静置架: 将产品放于固定环境区域内, 并且在一段时间内不对产品做任何触碰或者移动。

(3) 调光设备: 对灯具灯光进行调整, 并使用检测设备对相应类型灯光的照度值、角度、水平度和位置等进行检测, 保证其满足图样、法规等工艺要求。

(4) 气密设备: 将压缩空气(氮、卤素气体等)压入容器内, 通过容器内外气体的压力差检查是否存在泄漏现象。

(5) 电检设备: 负责电检设备气源压力、工装、工作电压、零件漏装检测。检测完成后, 输出整灯电检电流参数、电压参数。

2 G 项目生产线研究分析

2.1 G 项目生产线布局

G 项目生产线采用的是 U 形布局, 将所有装配、检验工序全部整合到一条 U 形生产线上, 通过调整人员的动作来缩小各站节拍差异, 提升生产线流动性。该生产线目前一共有 8 个作业单元, 每个作业单元均有一名中等技术水平的作业员。在各工序之间, 采用手持架作为线内缓存来实现产品的流转。生产线设备

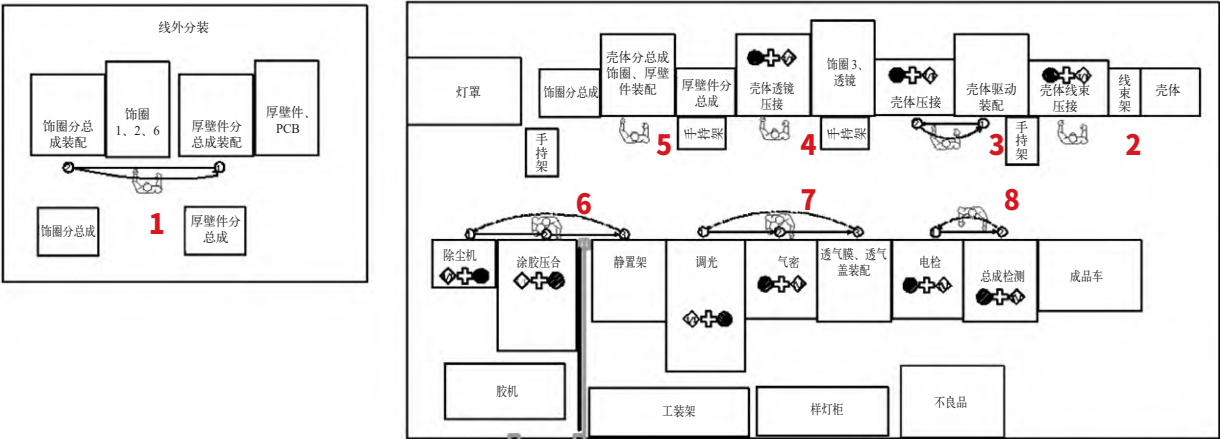


图 1 G 项目生产线布局

及人员布局如图 1 所示。

2.2 G 项目生产线工艺流程分析

G 项目生产线主要工艺流程有厚壁件分总成装配、饰圈分总成装配、壳体与线束装配、壳体与调光机构装配、壳体与调光齿轮压接、壳体与透镜装配、壳体与饰圈分总成、厚壁件分总成装配、除尘、涂胶压合、静置、调光、气密、透气盖装配、电检和终检，具体如图 2 所示。

2.3 G 项目生产线作业时间分析

在数据采集时，主要采用影像测时法对生产线的各个工序进行作业时间测定。选择中等技能水平的操作人员作为视频录制的对象进行影像采集，并使用专业的影像分析软件对视频进行动作要素的拆解和工时分析，剔除无效动作并确定作业时间。其次，分析软件通过对速度评比与系数修正，并结合宽放时间自动计算出标准工时。G 项目生产线各工序标准时间见表 1。

表 1 G 项目生产线各工序标准时间

工序	作业内容	配置人数	人员标准作业时间 /s	当站标准时间 /s
1	厚壁件分总成、饰圈分总成装配	1	70	70
2	壳体与线束装配	1	38	38
3	壳体与调光机构装配、壳体与调光齿轮压接	1	78	78
4	壳体与透镜装配	1	64	64
5	壳体与饰圈分总成、厚壁件分总成装配	1	60	60
6	除尘 / 涂胶压合 / 静置	1	52	80
7	调光 / 气密 / 透气盖装配	1	25	61
8	电检 / 终检	1	55	60

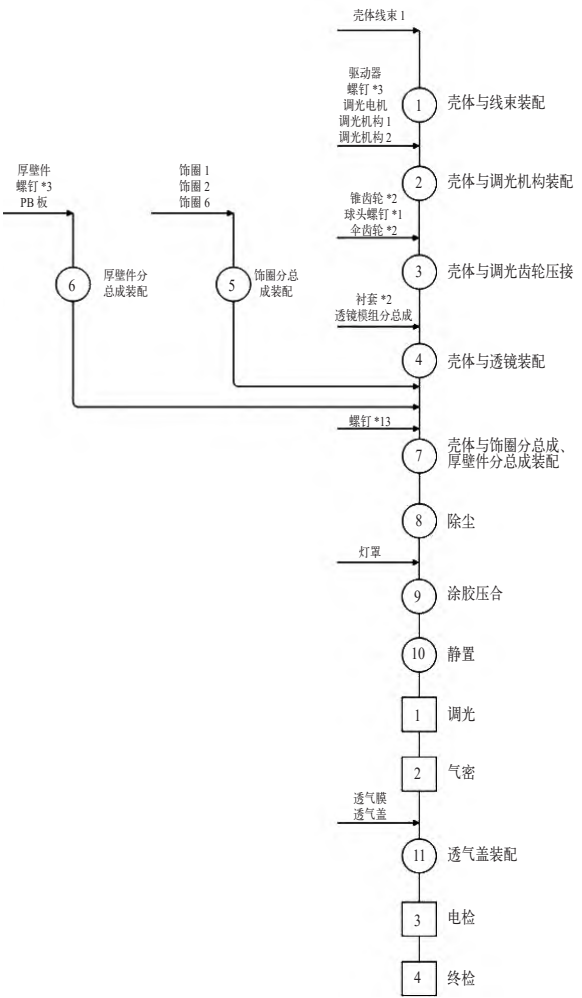


图 2 G 项目生产线工艺流程

2.4 G 项目生产线平衡分析

生产线平衡是指将所有生产过程均衡化，调整工作量，使每站操作时间尽可能相近的技术手段。其目的是消除工位之间不平衡造成的效率损失和生产过剩。根据表 1 所示各个工序的标准作业时间，可得出 G 项

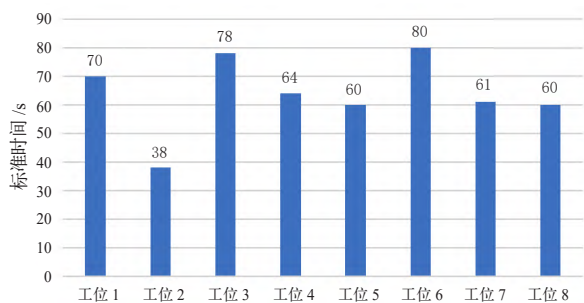


图3 G项目生产线线平衡状况

目生产线平衡状况,如图3所示。

由图3可知,存在瓶颈工序以及人员等待的状况,各工位作业时间参差不齐,存在较大的改善空间。该生产线生产节拍 $CT=80s$,由此可计算出生产线平衡率。

$$\text{生产线平衡率} = \frac{\text{各工序时间总和}}{\text{工站数} \times \text{瓶颈工序时间}} \times 100\% = 79.84\% \quad (1)$$

由计算结果可知,G项目生产线平衡状况有待提高,部分人员利用率较低,存在改善空间。

2.5 G项目生产线问题分析

根据以上分析,总结出G项目生产线主要存在以下几个问题。

(1) 工序瓶颈明显

根据分析,发现工位6作业时间较长,与其他工位的标准作业时间相差较大,导致线平衡较低。

(2) 人员负荷较低

工位2、工位6和工位7人员装配动作较少,多为搬运动作,且人员负荷较低,造成一定的浪费。

根据以上问题点,建议从人员配置的角度出发,优化产线。

3 G项目改造方案仿真分析

3.1 G项目改造方案分析

(1) G项目产线工位1~5为手工装配作业,工位6~8为设备作业工序,涉及设备多且人员作业负荷低,人员作业多为搬运非增值作业,同时考虑现有自动化技术水平,工位6~8手工搬运改为自动搬运技术成熟,工位6~8考虑改为机械手搬运,减少作业人员。

(2) 工位6~8含装配作业透气盖装配,考虑透气盖提前装配不影响后道检测及灯具性能,且工位2人员负荷低,移至工位2完成。

基于以上制定改造后生产线布局,如图4所示,

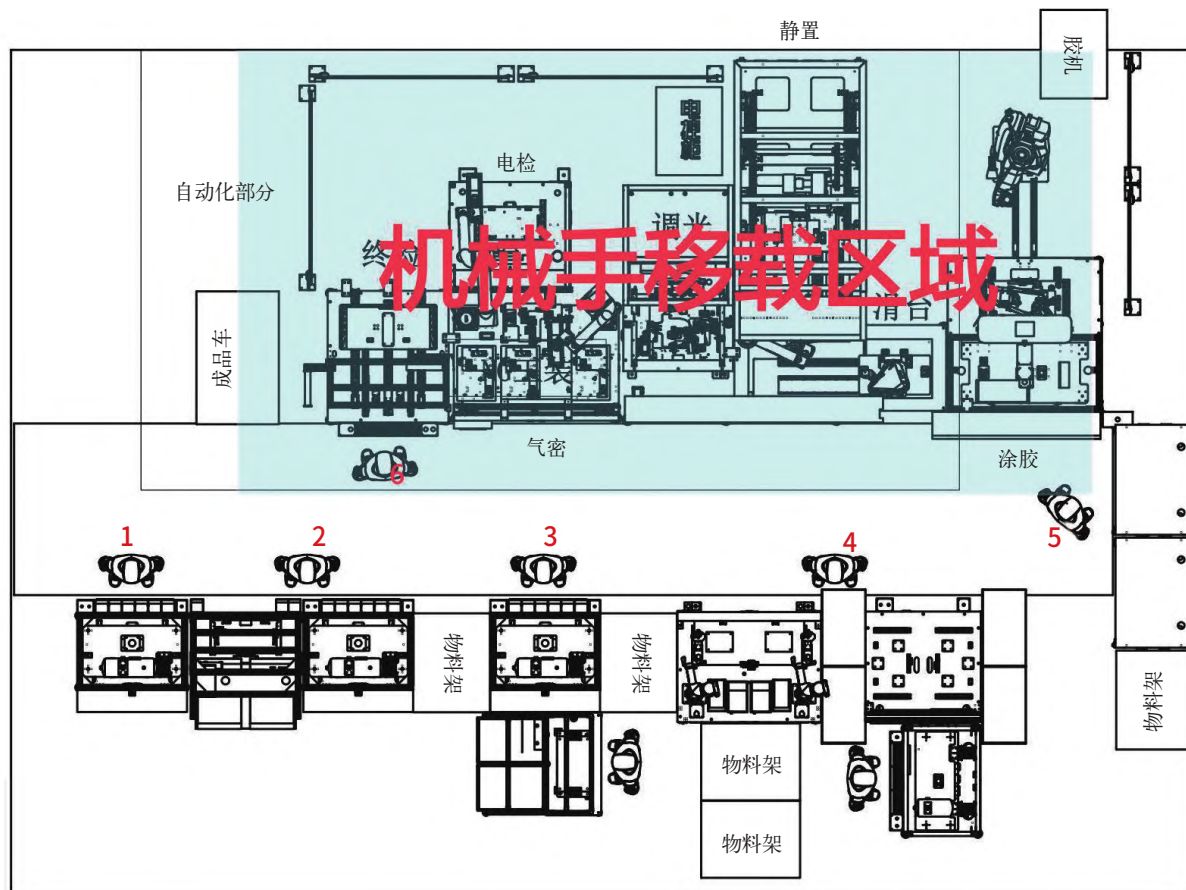


图4 G改造后生产线布局

改造后节拍要求 75 s。

3.2 仿真分析目标

产线仿真分析应用包括分析产能并找到瓶颈工位，确定瓶颈原因，为产线规划人员提供数据支撑；基于对人员、设备和缓冲区等资源利用率分析，优化资源配置；基于缓冲区数量对产能的影响分析，最小化在制品库存。

在本项目案例中，针对 G 项目组装线评估改造后产线方案产能是否满足需求，分析瓶颈工序，最小化静置缓存区数量。

3.3 仿真模型建立

在模型仿真前需对相关条件做出简化和假设：①第一道工序不会因来料造成等待，即来料充足；②最后一道工序不会出现阻塞情况，即物流工及时进行成品缓存，不会造成成品堆积；③产线设备只有正常工作和设备故障两种状态；④产线不会出现来料不良、工艺不良和质量异常情况。

仿真参数确认：依据前照灯生产线异常看板管理数据，调光设备及电检设备易出现故障，设备故障参数见表 2（平均修复时间，MTTR）。

表 2 设备故障参数

检测设备	可用性	MTTR/min
调光设备	98%	30
电检设备	99%	25

基于以上方案及输入参数，搭建产线仿真模型，定义仿真参数见表 3，设定产线运行逻辑，如图 5 所示，最终建立产线仿真模型如图 6 所示。

表 3 设备参数

设备	生产节拍
除尘设备	15 s/ 件
涂胶设备	30 s/ 件
静置时间	8 min
调光设备	51 s/ 件
气密设备	36 s/ 件
电检设备	45 s/ 件

3.4 仿真结果分析

基于实际生产过程中产线每天清料，设定每班运行时间 12 h，并设定运行 30 次重复试验得出最终节拍。产能数据如图 7 所示，节拍 77 s，不满足策划需求。

从产线平衡和缓存区两方面进行考虑分析。

(1) 从产线平衡考虑，设定静置缓存区容量 20（容量足够大），进行瓶颈分析，其中电检工序节拍不满足

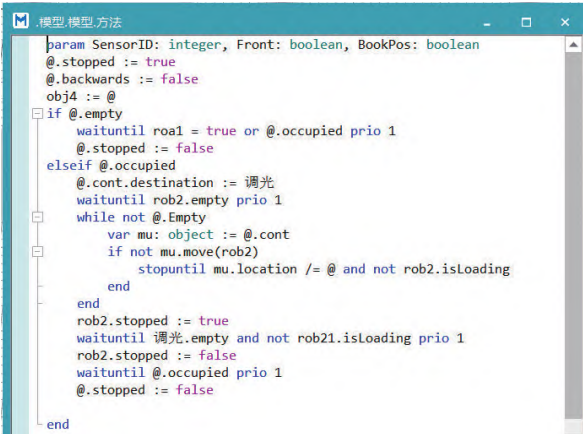


图 5 产线运行逻辑

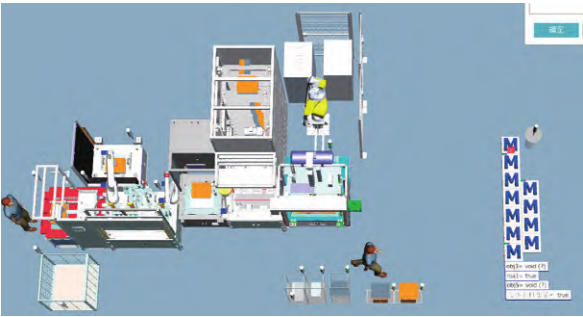


图 6 产线仿真模型



图 7 产线仿真产能节拍

策划需求 75 s，为瓶颈工序，如图 8 所示。基于成本与空间考虑，和自动化设计工程师沟通后，不考虑增加机械手资源和缓存区。对电检工序单站 CT 进行优化，通过 Process Simulate 分析对机械手轨迹进行及设备型材框架进行优化，可减少机械手过渡点 2 个，减少节拍 2.8 s。满足规划需求。

(2) 从缓存区考虑，对静置缓存区数量进行试验设计，考虑实际空间布局限制，缓存区数量最多 14 个，

设定静置缓存区数量 (5 ~ 14), 并设定每个实验观察数为 5, 结果如图 9 所示, 当缓存数量 ≥ 8 时, 节拍不再变化。最终产线方案缓存设计为 8 个, 最小化缓存区数量。

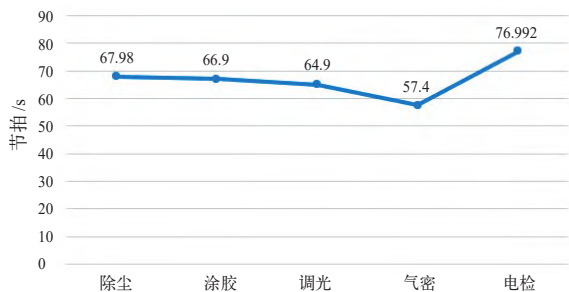


图 8 瓶颈分析

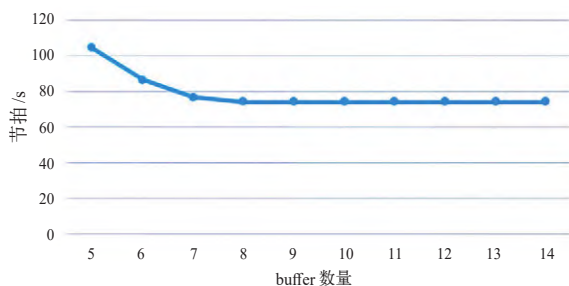


图 9 缓冲区数量分析

仿真结果表明, 通过瓶颈改善及缓冲区配置优化, 产线节拍 74.2 s, 满足规划需求。仿真分析充分考虑 OEE, 定量分析产线节拍、产能数据, 并最优化缓冲区数量, 有效地降低节拍、提高产能, 并优化资源配置, 控制产线成本。

4 结语

本研究借助 Plant Simulation 对前照灯自动化生

产线开展分析, 通过对产线瓶颈识别、缓冲区设置优化, 实现了对产线动态运行状态的量化评估, 并提出了基于目标优化的改进方案, 实现生产线生产效率提升 3.6%, 最小化缓冲区数量, 保障满足顾客订单需求。

在现代制造业追求精益及少人化的背景下, 本研究无疑为自动化方案设计提供了直观量化的分析方式, 突破了传统经验法配置缓冲区的局限性, 有效地降低了产线投产成本及风险, 提升自动化生产线的落地效率, 对车间实现自动化、无人化具有重要促进作用。

尽管取得了阶段性成果, 研究仍存在改进空间, 在多种混线生产场景有待进一步探索, 以扩大应用场景的覆盖面。

参考文献

- [1] 马靖, 黄士轩, 胡晓兵. 基于 Plant Simulation 的白酒包装生产线设计 [J]. 机械, 2022, 49(6): 1-7.
- [2] 闫俊材. 面向精益生产的 C 公司 JYD 市域轨道车辆总装线工位节拍平衡优化研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2023.
- [3] 张芮. 基于 PLANT SIMULATION 的 A 企业汽车总装车间关键生产线优化与仿真研究 [D]. 成都: 成都理工大学, 2021.
- [4] 肖福龙. 基于 Plant Simulation 的 L 公司生产线平衡优化研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2019.
- [5] 李浩, 王军令, 文笑雨, 等. 基于 Plant Simulation 的智能电表生产线设计优化 [J]. 中原工学院学报, 2023, 34(1): 49-58.