

引文格式:刘敏,王大维,杨艳瑞,等.空客 A220 飞机舱门精益生产线规划研究[J].航空制造技术,2021,64(8):50-57.

LIU Min, WANG Dawei, YANG Yanrui, et al. Lean production line planning for Airbus A220 aircraft door[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2021, 64(8): 50-57.

空客 A220 飞机舱门精益生产线规划研究

刘敏,王大维,杨艳瑞,杨五兵

(中航沈飞民用飞机有限责任公司,沈阳 110000)

[摘要] 为了提高空客 A220 飞机舱门生产线装配效率,降低人力工时成本,首先采用精益思想,利用时间测量法测量了舱门生产现场的装配工时数据,确定产能提高所需的工装数量;其次利用意大利面条图统计了现场操作者在装配操作过程中的物流动向,分析可能存在的浪费现象。基于浪费现象和舱门装配工艺流程特点,选择产品聚簇式的原则布置舱门生产线,同时按照工业工程方法确定整体站位串行、局部瓶颈站位并行的布局形式,建立了舱门精益生产线。最后通过 3ds Max 软件对整体布局进行三维渲染。

关键词: A220 舱门;精益思想;工业工程;生产线;3ds Max

DOI: 10.16080/j.issn1671-833x.2021.08.050



刘敏

高级工程师,主要从事飞机部件数字化装配及仿真、精益生产线规划以及智慧工厂建设方面研究。

精益生产是起源于日本丰田汽车公司的一种生产管理方法。其核心是追求消灭包括库存在内的一切“浪费”,并围绕此目标发展了一系列具体方法,形成了一套独具特色的生产经营管理体系^[1]。精益生产思想的最终目标是企业利润的最大化。但管理中的具体目标,则通过消灭生产中的一切浪费来实现成本的最低化^[2]。因此精益生产线规划主要研究生产线上面积浪费、搬运浪费、等待浪费、动作浪费等行为,通过降低或消除非增值时间,达到提高员工工作效率的目的。目前国内众多学者对精益生产理念进行了大量的研究,其中杨国荣等^[3]提出了总装移动生产线构建架构及各系统的基本组成,并以新舟国产涡桨支线飞机精益化构建具体实例证明了精益生产在生

产线建设中的重要性;林炜生^[4]通过对精益生产、生产线平衡等理论的研究,实现了手机装配生产线平衡改善,提升企业的核心竞争力;王晶^[5]采取取消、合并作业工序,平衡生产线节拍以及作业标准化等精益改进措施,优化了雷达数字阵列模块组件生产线,提高了生产线产能。当前,德国的工业 4.0 为全球制造业描绘出了第四次工业革命的宏伟蓝图,建立人机一体的智慧工厂(Smart factory)。实施工业 4.0 的核心问题之一是构建智慧工厂的生产线,即将大量先进技术组织为有机整体,并固化为生产线及管理模式,从而通过大幅提升生产效率,将生产线的精益化水平推向新高峰^[6]。

空客 A220 飞机,前身为加拿大庞巴迪 C 系列客机,是一款窄体、双

引擎、中程喷气客机,中航沈飞民用飞机有限责任公司承担着 A220 项目前、中、后机身,舱门,尾锥,中央翼盒和翼身整流罩 7 个工作包产品的装配任务(图 1)。目前, A220 飞机舱门工作包月产 4 架,按照公司规划目标需求,需保证在现有人力基础上,通过生产线规划改善,满足月产 6 架的生产能力,由于在以往的舱门布局中,车间着重于装配工艺的实现,即装配出满足客户需求的舱门工作包产品,对现场工时数据、浪费现象缺乏足够的认识,导致员工工作效率低。为了满足舱门爬坡生产需求,需要对当前工艺布局进行改善,消除生产现场种种不良浪费现象,提高员工工作效率,打造精益化的舱门生产线。

生产现场数据采集

1 舱门生产工艺流程

A220 飞机舱门工作包单架份需完成 8 个门的装配任务,分别是前登机门(FPD)、后登机门(APD)、前服务门(FSD)、后服务门(ASD)、前货舱门(CCD-1)、后货舱门(CCD-2)、左应急门(OWEED-1)、右应急门(OWEED-2)各 1 个,图 2 为前登机门装配流程图(其他门装配顺序与前登机门相同)。如图 2 所示,前登机

门从主结构定位至存储发运共分为 8 个站位节拍,除检验调试工位上/下架过程中需使用吊车外,其余各站位节拍之间全部需要采用人工拖车转移。

2 基础数据测量

在生产规划过程中,各工序工时是最重要的基础数据,为了对工时数据准确收集,采用现场观察的时间测量法,对生产节拍内每道工序进行装配时间测量,表 1 为经过数据

统计后舱门结构组件装配周期,其中 VA 表示增值时间,即客户认为有价值的活动时间,例如完成舱门产品装配的一系列操作,清洁、钻孔、铆接等活动产生的时间。NVA 表示非增值时间,即在客户眼中只增加成本,而不增加价值的活动行为产生的时间,例如停滞、等待、搬运、不良动作等产生的时间均属于非增值时间。根据精益改善的原则,在生产规划中,需要制定策略,消除非增值时间,进



图 1 沈飞民机空客 A220 项目
Fig.1 Airbus A220 program of SACC

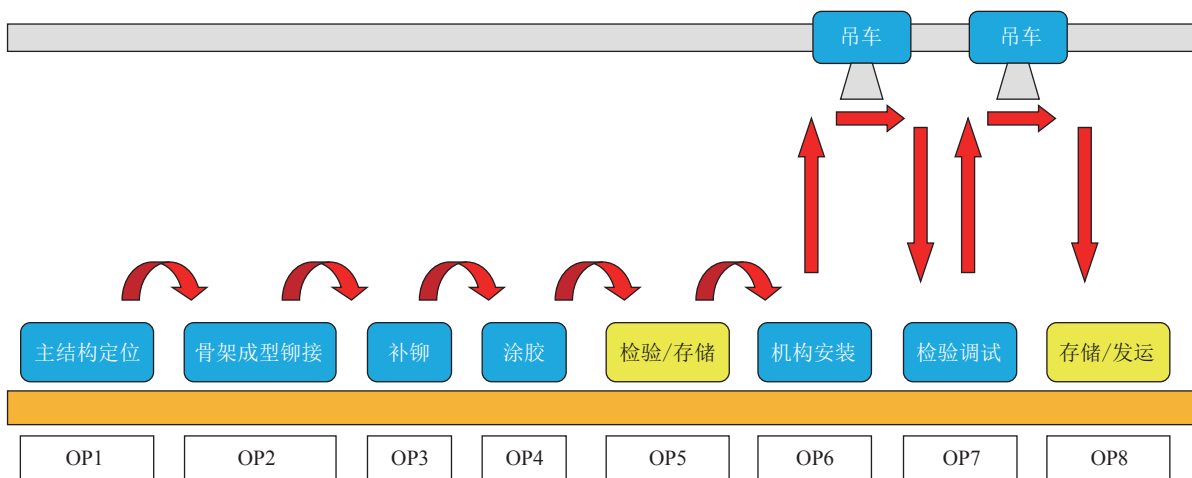


图 2 前登机门装配流程图
Fig.2 FPD assembly flow chart

而提高单位时间产出比。图3为各站位节拍有效增值时间参考工作人力后得到的装配工时数据曲线。

根据公司规划目标需求, A220项目舱门生产线未来年产量为72架,即月产6架,按照每个月有效工作天数24d、每天工作时间为7.5h计算,生产线节拍CT(Cycle time)为 $24/6=4d/架$ 。基于上述工时曲线和客户生产节拍要求计算得出新增工装数量如表2所示。

同时,通过现场实际观测,绘制意大利面条图,分析浪费现象的来源,如图4所示,以前登机为例,从现场观测的意大利面条图中可以得出如下结论:

(1)各工位辅助装配设施距离加工位置较远,单位面积产出比非最佳,造成面积浪费。

(2)操作者需要反复拿取搬运零件和工具,产生搬运浪费。

总体布局规划

1 总体布置原则

生产线规划设计是一种将空间、设备与成本等因素,运用科学方法进

行分析、研究和选择,从而适应企业的经营管理模式、各环节的变化以及

市场对产品需求的多元化要求。它有6个主要目标^[7]:

表1 舱门结构产品装配周期
Table 1 Operator cycle time of A220 door

门类型	装配周期 OCT/h	增值时间 VA/h	非增值时间 NVA/h
登机门	185.3	173.9	11.4
服务门	157.1	147.7	9.4
货舱门	168.5	156.3	12.2
应急门	128.4	121.5	6.9

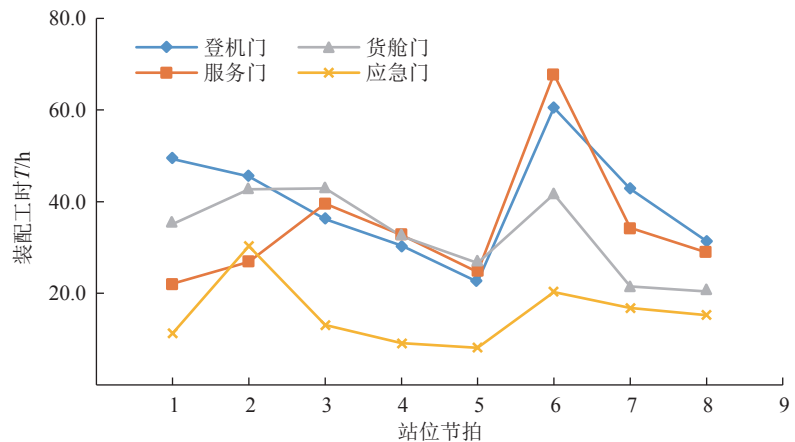


图3 舱门装配工时数据曲线图

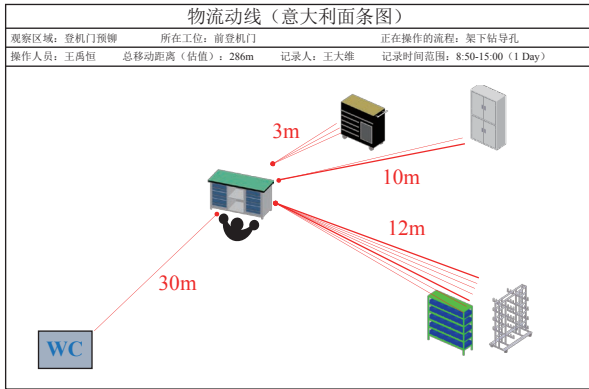
Fig.3 Assembly time data curve of A220 door

表2 舱门工装需求数量

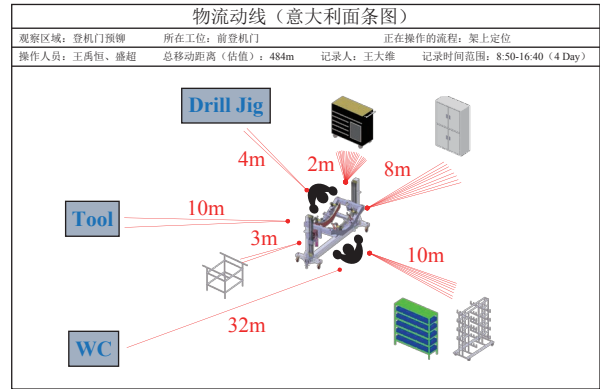
Table 2 Quantity of A220 door tooling jig

套

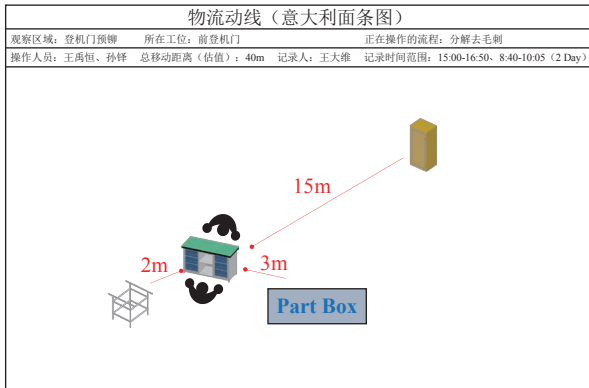
序号	工装名称	工装编号	所需工装数量	当前数量	新增数量
1	前登机门装配工装	S2B-FAJ-C01518150	2	1	1
2	后登机门装配工装	S2B-FAJ-C01538350	2	1	1
3	前服务门装配工装	S2B-FAJ-C01528250	2	1	1
4	后服务门装配工装	S2B-FAJ-C01548450	2	1	1
5	货舱门装配工装	S2B-FAJ-C01550000	2	1	1
6	应急门装配工装	S2B-3FAJ-C01570000	2	1	1
7	补铆工装	S2B-RVJ-C01550000	4	3	1
8	前登机门检验工装	S2B-CF-C01518150	1	1	0
9	后登机门检验工装	S2B-CF-C01538350	1	1	0
10	前服务门检验工装	S2B-CF-C01528250	1	1	0
11	后服务门检验工装	S2B-CF-C01548450	1	1	0
12	货舱门通用检验工装	S2B-CF-C01550000	1	1	0
13	应急门通用检验工装	S2B-CF-C01570000	1	1	0



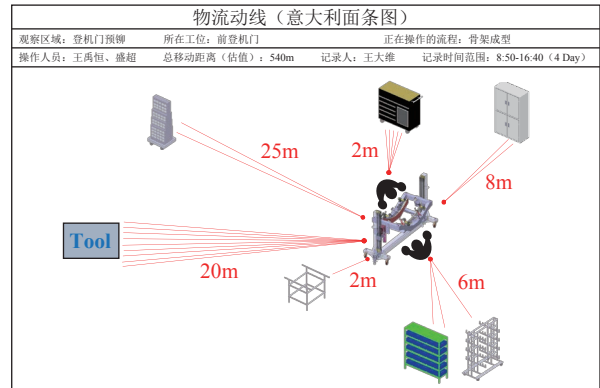
(a) 架下钻导孔工序



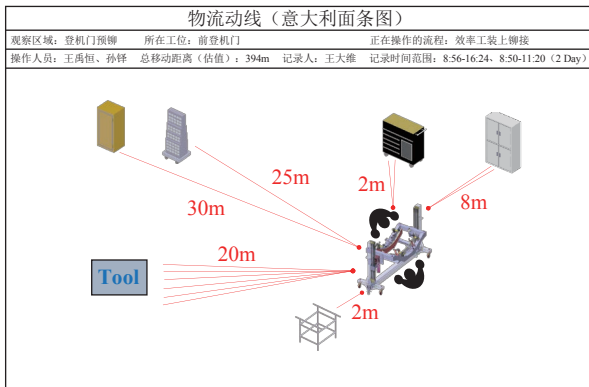
(b) 架上定位工序



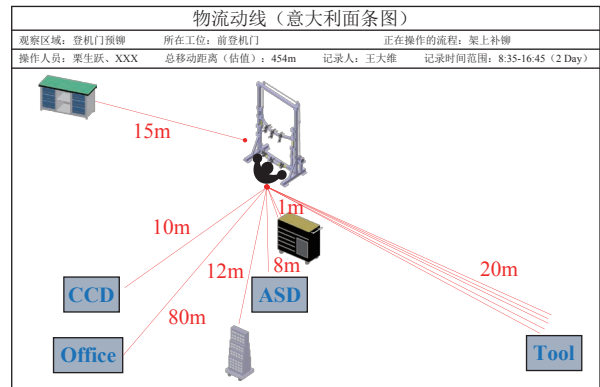
(c) 分解去毛刺工序



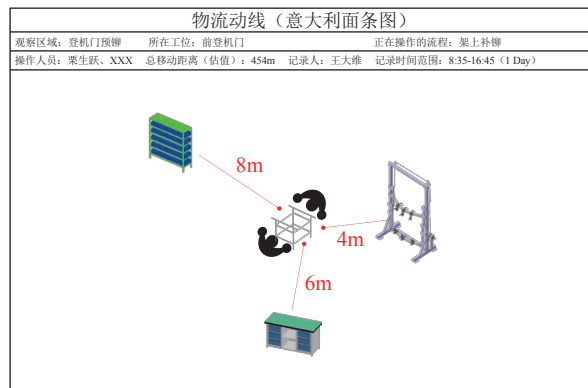
(d) 骨架成型工序



(e) 铆接工序



(f) 补铆工序



(g) 支架安装工序

图4 前登机门结构件安装工序意大利面条图

Fig.4 Spaghetti diagram of installation procedure for FPD structural parts

(1) 工艺要求。生产对象流动顺畅,避免工序之间的交错叠加。

(2) 最有效地利用空间。

(3) 物料搬运费最少。

(4) 保持生产和安排的柔性。

(5) 适应组织结构的合理化和管理的方便。

(6) 为职工提供安全、方便、舒适的作业环境。

为了确定生产线中的工位、设备、缓存区的数量和位置,同时达到上述规划目标,通常参考以下四种布置形式:产品原则布置、工艺原则布置、产品簇布置、固定工位布置。其中产品原则布置是按照生产线要求进行布置;工艺原则布置按照机群进行布置;产品簇布置按照分组归纳的方式进行布置;固定工位布置按照工位要求进行布置^[8]。

尽管单架份 A220 飞机舱门产品有 8 个,但是其装配工艺流程和生产节拍基本相同,因此可以将具有相似工艺路线的工序集中在一个单元内,建立柔性生产线,同时相似工序集中在一个单元内便于生产线上辅助设施、工具、器材的集中管理,优化面积的使用,可有效解决当前舱门生产现场存在的由于辅助设施、工具、器材距离加工位置较远而导致的浪费问题,因此综合考虑后舱门生产线整体上应按照产品簇式布置,即单元模块化布置。在生产线布局规划中,生产线平衡率是一个很重要的评价指标,用于衡量流程中各站节拍符合度,其计算公式如下^[9]:

生产线平衡率 = 各工序时间总和 / (最长作业时间 × 总工序数)

图 5 为采用产品簇式布局且消除非增值时间后,得到的理论上 8 个站节拍生产线平衡情况,经过计算,生产线平衡率为 84.1%。

2 总体布局形式

在确定了生产线的工艺流程、工装设备数量、生产线总体布置原则之后,开始着手具体生产线方案设计,

此时需确定生产线布局形式,一般生产线的布局形式见表 3。表 3 为不同布局方式的优缺点对比。

在确定生产线布局形式时,除了考虑工艺流程外,还需考虑各站节拍之间的物流情况,即通过作业单位物流相关图(穆德图)对各节拍站进行物流相关强度分析,通常在物流强度分析中将作业单位间的物流强度划分为 5 个等级, A (非常重要), E (较重要), I (重要), O (一般), U (无关)^[8]。图 6 为舱门生产线的作业单位物流表。通过相关表可以看出舱门整体工艺流程仅上下相邻工序之间存在物流搬运,特别地,在舱门主结构定位,骨架成型、铆接和补铆 3 个节拍之间存在跨工位物流搬运,其原因在于主结构定位完成后个别支架或者隔板零件需要在补铆工位安装,且零件数量较少,因此物流强度定位 I 级。

根据舱门装配工艺流程图(图 2)以及作业单位物流相关图(图 6)可知, A220 项目舱门工作包在整体上装配工艺顺序上下衔接,整体上应采用串联布局方式。由于未来舱门需达到年产 120 架的生产能力,交付节奏较快,因此需要保证生产线持续稳定生产,对生产线应对风险能力要求较高,因此局部瓶颈站采用并联布局方式,即鱼骨型布局为最佳选

择,总体布局方式见图 7。

3 详细布局设计

生产线具体规划通常借助 AutoCAD 等二维绘图软件,将工装、设备模型等投影成二维平面线条图,按照 1:1 的尺寸在待规划区域内进行放置,上述传统方法仅能在二维的角度上笼统地进行规划,图纸展示效果差,无法从三维空间的角度评价工艺流程的优劣,如吊车的空间布置和吊装方案等^[10]。

目前,航空制造企业都采用达索系统公司的 CATIA 进行飞机设计,故后期的厂房布局和仿真也较多地采用 CATIA、DELMIA 或 Quest 等软件。CATIA 对于厂房前期规划这类频繁更改的工作显得效率很低,不适合快速建模工作,且其展示效果较差; DELMIA 更适合产品进入详细设计阶段的装配工艺过程仿真等工作,且必须要有详细的数模才可体现其实用价值; Quest 一般在汽车等标准化作业程度很高的领域使用,主要用于物流以及生产节拍的精确模拟和优化。与上述软件相比, 3ds Max 有着强大的建模手段,可以实现 CATIA 格式的飞机产品、工装外形数据等的无损转换,特别是其特有的网格建模技术在物体建模和修改方面非常高效和灵活。同时 3ds Max 可以实现全方位的、快速的建模及装

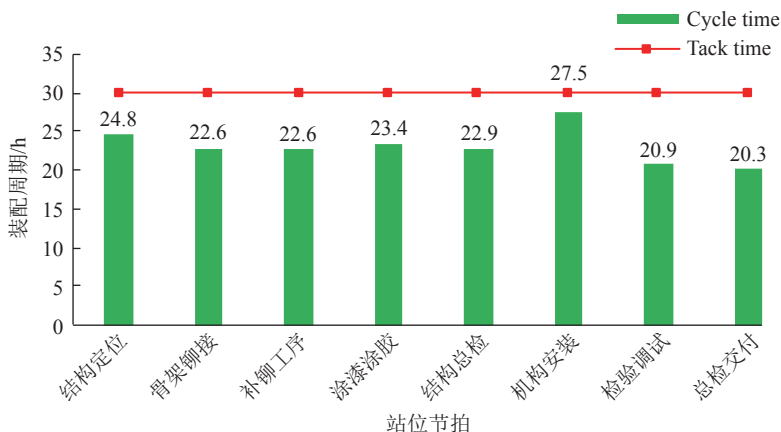


图 5 簇式布置下的舱门生产线平衡图

Fig.5 Balance figure of A220 door production line under cluster layout

表 3 常见生产线布局方式对比

Table 3 Comparison of common production line layouts

布局方式	布局示意图	优点	缺点
并联布局		零件流动方向一致 操作者 U 型区域内行走, 缩小活动范围 可单人操控多台设备	布局规划较为复杂 U 型区域内物流曲折 占用面积更大, 管理难度高
串联布局		零件单向流动, 布局简单, 便于管理 适合自动化程度高的生产线	受各站操作人员熟练度影响较大 某站发生故障影响整条生产线
鱼骨布局		生产线布局调整灵活, 当产能提升时直接在分支 位置增加效率工装 有备用生产线, 不受操作者熟练度、工位故障影响	规划难度较高, 需充分考虑未来产能变化因素 预留产能提升面积, 占地面积不经济

配模拟仿真制作工作并可渲染输出高质量的动画和图片进行展示^[10]。

在 3ds Max 软件中按照厂房尺寸快速建立厂房模型, 包括绿色通道、厂房立柱等模型, 利用 CATIA 对舱门工装和产品进行模型轻量化后直接导入 3ds Max 软件中, 根据计算得出的生产线所需工装数量、舱门生产线整体布局, 将所需工装设备在相应区域内进行排列, 在详细规划阶段除考虑本工位占地面积外, 还需考虑完成本工序装配流程所需的相应物流周转面积, 同时在工装、产品布局完成后, 将工位辅助装配设施包括工具、器材、操作者等模型一并导入模型, 以便更好地展示三维布局效果。图 7 为舱门生产线骨架成型和结构补铆站位详细规划效果展示, 如图 8 所示, 在进行产品聚簇式布置后, 可根据单元内工序配置辅助设施和器材工具, 同时单元模块化便于人员管理以及工作熟练度的提升, 在有效解决了装配现场的浪费现象问题的基础上, 进一步提高了 A220 飞机舱门生产线装配效率, 图 9 为 A220 飞机舱门生产线整体规划效果展示图。

结论

本文针对空客 A220 飞机舱门生产线按照精益和工业工程思想进行了 A220 飞机舱门生产线布局规

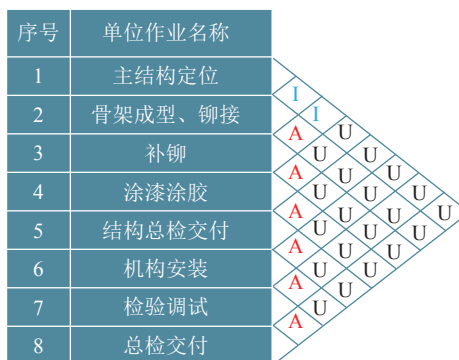


图 6 舱门生产线作业单位物流相关图

Fig.6 Operation unit logistic relationship for A220 door

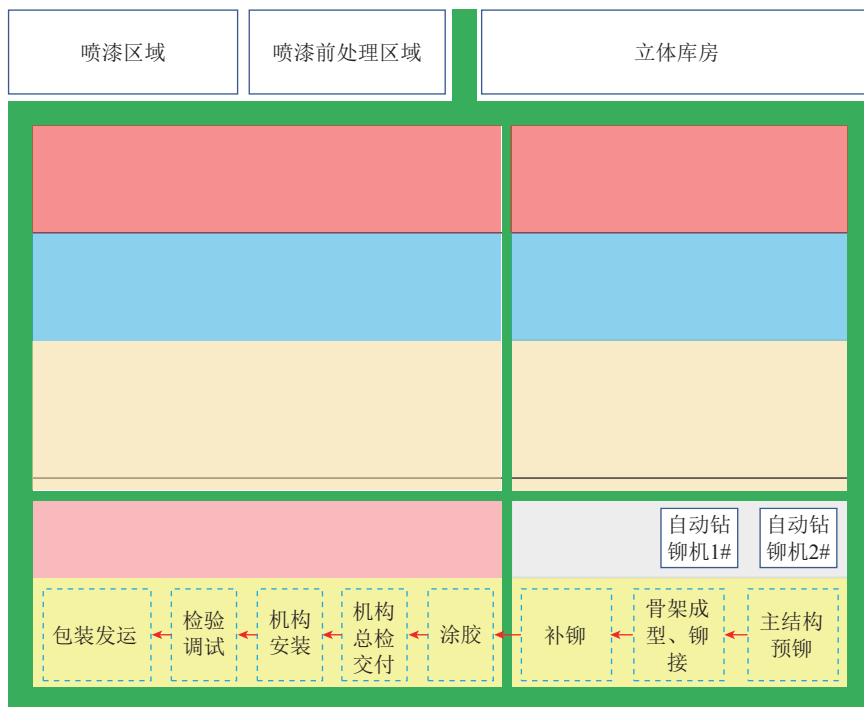


图 7 舱门生产线整体布局

Fig.7 Overall layout of A220 door production line

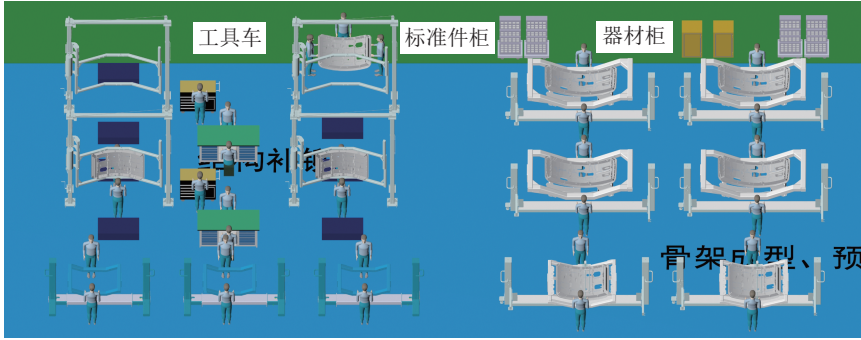


图8 舱门生产线布局细节展示
Fig.8 Production layout details display for A220 doors

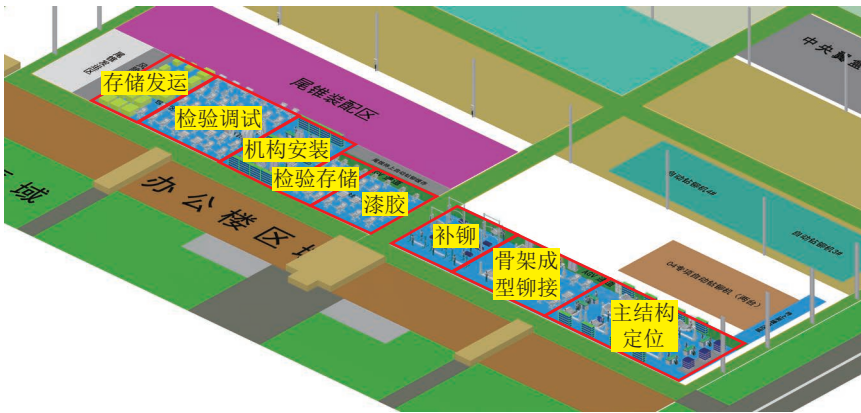


图9 舱门生产线三维工艺布局效果展示
Fig.9 3D process layout effect of A220 door production line

划,主要得到以下结论:

(1) 基于精益思想,通过对现场操作的实时观察和记录,识别出现场浪费现象的主要来源,在后续生产线规划过程中,通过将生产线总体布置原则调整为单元聚簇式,实施单元模块化管理,同时配合单元内相关辅助设施的集中配套管理手段,杜绝了搬运浪费现象,提升了员工工作效率,经过统计,单架次舱门工作包产品节省人力搬运工时 94h。

(2) 基于 3ds Max 软件的厂房布局规划,展示效果更加逼真,通过各个工位工艺流程的人体工程学模拟,优化了舱门工区的占地面积,在满足装配生产需要的前提下节省舱门工区生产面积 416m²。

(3) 空客 A220 飞机舱门精益生产线规划,以现场实测装配工时、识别现场浪费现象为基础,以工业工程方法为依据,以计算机辅助软

件为实施手段,最终制定出了满足爬坡生产需求的精益化生产线,为其他飞机装配厂生产线精益改善提供参考。

参考文献

[1] 约翰·德鲁,布莱尔·麦卡勒姆,斯蒂芬·罗根霍夫,等.精益之道[M].北京:机械工业出版社,2007.
JOHN Drew, BLAIR McCallum, STEFAN Roggenhofer, et al. Journey to lean: Making operational change stick Journey to lean[M]. Beijing: China Machine Press, 2007.
[2] 石晓萍.基于精益生产的生产线改善研究[D].广州:华南理工大学,2015.
SHI Xiaoping. Research on the improvement of production line based on lean production[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2015.
[3] 杨国荣,来云峰,解安生,等.新舟飞机智能化精益生产线构建技术研究[J].航空制造技术,2020,63(12): 24-30.
YANG Guorong, LAI Yunfeng, XIE

Ansheng, et al. Research on construction technology of intelligent lean production line of MA aircraft[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2020, 63(12): 24-30.

[4] 林炜生.基于精益生产的A公司手机装配线平衡改善研究[D].广州:华南理工大学,2019.

LIN Weisheng. Research on balance improvement of mobile phone assembly line of A company based on lean production[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2019.

[5] 王晶.基于精益生产的生产线效率提升方法研究[J].装备机械,2017(3): 25-29.

WANG Jing. Research on the method of improving production line efficiency based on lean production[J]. Machine Tool, 2017(3): 25-29.

[6] 张伦彦.面向工业4.0的精益生产线设计和实施方法[J].航空制造技术,2014,57(18): 44-47.

ZHANG Lunyan. Design and implementation methods of industrie 4.0 oriented lean production line[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2014, 57(18): 44-47.

[7] 冯伟俊.W公司精益生产线规划设计[D].天津:天津大学,2014.

FENG Weijun. Lean production line planning and design of W company[D]. Tianjin: Tianjin University, 2014.

[8] 蔡元君.某汽车发动机生产线规划及仿真研究[D].上海:上海交通大学,2015.

CAI Yuanjun. An automobile engine production line planning and simulation study[D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2015.

[9] 卢海洋,栗继祖.工业工程在F公司生产线平衡中的应用[J].物流技术,2014,33(2): 295-299.

LU Haiyang, LI Jizuo. Application of industrial engineering methods in balancing of production line of company F[J]. Logistics Technology, 2014, 33(2): 295-299.

[10] 巩玉强,苏成林.基于3ds Max的厂房前期工艺规划[J].航空制造技术,2015,58(S2): 81-84.

GONG Yuqiang, SU Chenglin. Factory process planning in the early stage based on 3ds Max[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2015, 58(S2): 81-84.

通讯作者:刘敏, E-mail: liu.min@saci.net.cn。

Lean Production Line Planning for Airbus A220 Aircraft Door

LIU Min, WANG Dawei, YANG Yanrui, YANG Wubing
(AVIC SAC Commercial Aircraft Company LTD., Shenyang 110000, China)

[ABSTRACT] In order to improve the assembly efficiency of Airbus A220 aircraft door production line and reduce the labor and man-hours, firstly, the assembly time data of door production line was measured by time measurement method based on lean thinking in this paper, and the number of tooling needed to improve the production capacity is determined; Secondly, the Spaghetti diagram was used to analyze the logistics trend of operators in the assembly process, and the possible waste phenomenon is analyzed. Based on the waste phenomenon and the characteristics of door assembly process flow, the door production line is arranged according to the principle of product clustering. At the same time, the layout form of the whole station serial and the local bottleneck station parallel are determined referring to the IE (industrial engineering) method, then the door lean production line is established. Finally, 3D rendering was conducted for the overall layout by 3ds Max software.

Keywords: A220 door ; Lean concepts ; Industrial engineering (IE); Production line; 3ds Max

(责编 一元)

(上接第 40 页)

A Data-Driven Method for Machining Feature Recognition for Aircraft Structural Parts

LU Kai¹, LI Yingguang¹, LIU Xu², DENG Tianchi¹

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics,
Nanjing 210016, China;

2. School of Mechanical and Power Engineering, Nanjing Tech University, Nanjing 210009, China)

[ABSTRACT] Machining feature recognition is an essential way to realize the integration of CAD/CAM, and is significant to improve the quality and efficiency of CNC machining of the aircraft structural parts, which contains plenty of complex interacting features with complex structure. Existing machining feature recognition methods require predefinition of feature interacting patterns before recognizing interacting features, which is difficult to meet the recognition requirements of complex interacting features of the aircraft structural parts. Therefore, a data-driven method for machining feature recognition for aircraft structural parts is proposed, which transforms the problem of machining feature recognition into a graph learning problem, and adaptively learns feature recognition rules from historical process data by constructing a graph neural network model. The proposed method breaks the limits of the pre-defined feature interacting patterns. With typical aircraft structural parts as test parts, the correct recognition rates of isolated features, interacting features and total machining features reach 98.11%, 94.62% and 96.18%, respectively, which verifies the effectiveness of the proposed method.

Keywords: Data-driven; Aircraft structural part; Machining feature recognition; Interacting feature; Graph neural network

(责编 一元)