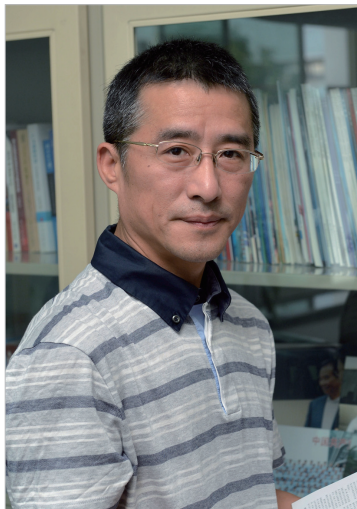


基于工艺流程及产能节拍的数字化工艺布局设计方法研究

Research on Digital Layout Design Method Based on Process and Cycle Time

中航工业成都飞机工业(集团)有限责任公司 帅朝林 陈雪梅 刘顺涛



帅朝林

工学博士,中航工业成飞总工程师,中航工业集团首席技术专家,511学术技术带头人,四川省青年学术带头人,主抓公司数字化建设、科技发展、技术改造及国家重点型号研制等工作,正在进行成飞的飞机数字化制造技术与能力平台的建设,致力于构建以“高效、精确、可持续发展”为核心的先进飞机制造技术与管理体系。

生产工艺布局作为制造系统在工厂的静态空间结构形式的具体体现,对企业的重要性毋庸置疑,其设计的合理性直接决定了生产物流是否顺畅、成本是否合理、生产节拍是否满足要求以及企业能否获得最大的效益等。可以说,工艺布局设计和

以某型飞机的数字化装配生产厂房的工艺布局为研究对象,通过飞机数字化装配工艺流程研究,探讨基于工艺流程及产能节拍的数字化工艺布局设计方法,在目前工艺布局领域最常用的系统布置方法 SLP 基础上引入了计算机仿真技术,对总体布局规划、产品工艺流程、生产节拍分析、设备和装配线布局及物流规划等内容进行了分析和实践。

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.13.026

最优化的本质是相应制造系统结构最优化的体现。

飞机自身结构的复杂性特点决定了其装配单元繁多、相互间协调复杂。传统的工艺布局设计方法是依靠工程人员的经验,直接在二维平面图纸上进行各装配单元及各类资源的规划布置,既无法考虑整个工艺布局在三维空间中的合理性,更无法提前判断实际运作时工艺流程及物流运转的合理性。近年来,随着计算机技术的发展,数字化工艺布局设计能够在工艺流程及生产节拍分析的基础上,快速实现三维空间尺度下的厂房工艺布局,并对其进行仿真验证,提前发现空间布置、生产流程、物流流转甚至人力资源配置等方面的问

题,为解决传统设计方法中存在的种种问题提供了有效途径^[1-2]。

本文以某型飞机的数字化装配生产厂房的工艺布局为研究对象,通过飞机数字化装配工艺流程研究,探讨基于工艺流程及产能节拍的数字化工艺布局设计方法,在目前工艺布局领域最常用的系统布置方法 SLP 基础上引入了计算机仿真技术,对总体布局规划、产品工艺流程、生产节拍分析、设备和装配线布局及物流规划等内容进行了分析和实践。

基本方法描述

1 布局设计方法

工艺布局是设施规划与设计的核心,也是物流设计分析的基础。常

用的布局设计方法有摆样法、数学模型法、图解法和系统布置法(SLP)^[3]。摆样法是按一定比例制成样片在同样比例的平面图上表示设施系统的组成,该方法适用于简单的布局设计,对复杂的系统不能精确解决;数学模型法是运用运筹学和系统工程中的模型优化技术研究最优布局方案,提高了系统布置的精确性和效率,但该方法无法满足条件复杂的问题求解;图解法将摆样法和数学模型法结合起来,但实践上较少应用;系统布置方法(SLP)是Muther提出的一套统一化、系统化的规划设计方法,该方法提出了作业单位相互关系密级表示法,使布置设计由定性阶段发展到定量阶段,通过明确的设计程序进行布置设计,求得合理布置,具有很强的实践应用性。

SLP方法本质上是一种循序渐进的方法,从物流分析的角度出发设计系统的布局,保证人流和信息流的通畅,使人、财、物合理利用,达到提高系统整体运行效益,降低运行成本的目的^[4]。该方法将布局的依据和切入点归纳为了产品P、产量Q、工艺过程R、辅助部门S及时间T共5个要素,并按如图1(a)所示的过程开展工作。SLP方法本身得到的结果是一系列的二维静态平面布局方案,无法反映具有时间概念的动态情况即系统实际运作的效果,布局过程

中虽然已经有了系统优化思想,但由于当时计算仿真手段落后,手工布置程序繁琐,往往仅能得到一些非劣解而非最优解,导致设计者能最终提供给决策者的方案较少,选择余地不大,该方法的优势得不到充分发挥。

为克服SLP方法的上述缺点,本文在传统SLP方法基础上引入了计算机仿真技术,对布局方案进行仿真建模和快速设计,提供更多的方案供选择,并对其进行评价和优化,以求得到布局的最优解,改进后的流程如图1(b)所示。

2 生产节拍

节拍,是指生产流水线上连续出产两个相同产品之间的时间间隔。流水化生产要求加工对象按既定的工艺顺序,以规定的节拍,连续不断地通过各道工序,具有连续性、比例性、平行性和节奏性等特点。生产线上设备和工艺装备针对加工对象的工艺要求配置,力求使各道工序具有大致相等的生产率或各道工序的生产能力符合比例性要求。

现代企业生产管理理论指出,每道工序的加工时间等于或接近流水线的节拍,或与节拍成整数倍关系。节拍是生产流水线的工作参数,可根据下式计算^[5]:

$$r = t = \frac{T}{N} \quad (1)$$

其中, r 为流水线平均节拍, t 为工序

的作业时间, T 为计划期内有效工作时间, N 为计划期内生产产品的数量。

3 生产节拍协调方法

飞机装配过程中根据工艺分离面的划分设置了多个装配工位,单纯从位置、生产时间及制造对象来看,各工位之间是相对独立的,但飞机产品的结构、装配流程及生产进度计划等因素将这些在空间与时间上相对独立的装配工位有机地紧密结合在一起,需要在正确的时间向对应的工位发出对应的生产指令,控制各个工位的运行,实现各工位之间的协调,以保证某个工位的产品在规定的时刻能够输送到另一个工位的特定工序处(从属模式,如图2(a)所示),或者多个工位的产品在规定的时刻能够同时输送到另一个工位的特定工序处(并列模式,如图2(b)所示)。

假设工位A的生产节拍为 r_A ,产品完工后进入工位B的*i*工序,假设工位B的生产节拍为 r_B ,根据公式(1),两个工位的生产节拍可表示为:

$$\begin{cases} r_A = t_A = \frac{T_A}{N} \\ r_B = t_B = \frac{T_B}{N} \end{cases} \quad (2)$$

对于从属模式,其装配关系为:

$$n_A \cdot t_A = i \cdot t_B + (n_B - i) \cdot t_B \quad (3)$$

其中, n_A 、 n_B 分别为工位A和工位B的工序数。

根据公式(2)、(3)可以得到:

$$n_A \cdot r_A = n_B \cdot r_B \quad (4)$$

因各工位的工序数固定,对公式(4)求导可得:

$$n_A \cdot \partial r_A = n_B \cdot \partial r_B,$$

$$\text{即: } \partial r_A = \frac{n_B \cdot \partial r_B}{n_A} \quad (5)$$

对于并列模式,其装配关系为:

$$T_A = T_B \quad (6)$$

由公式(2)可得:

$$r_A = r_B \quad (7)$$

两边求导可得:

$$\partial r_A = \partial r_B \quad (8)$$

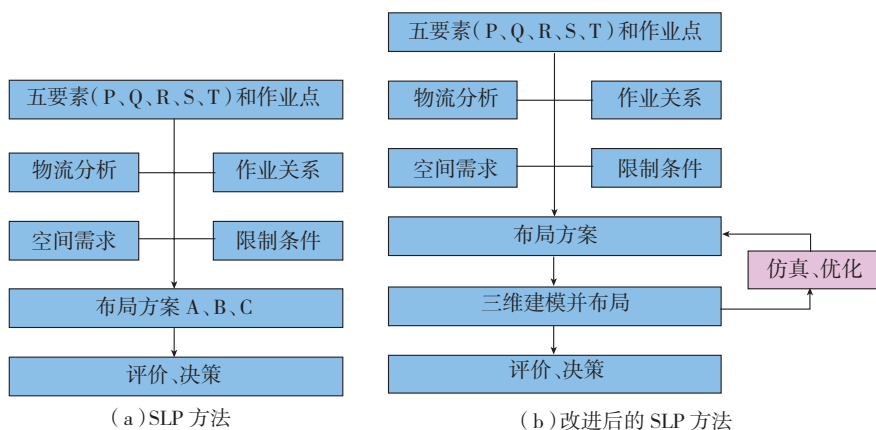


图1 SLP方法及改进

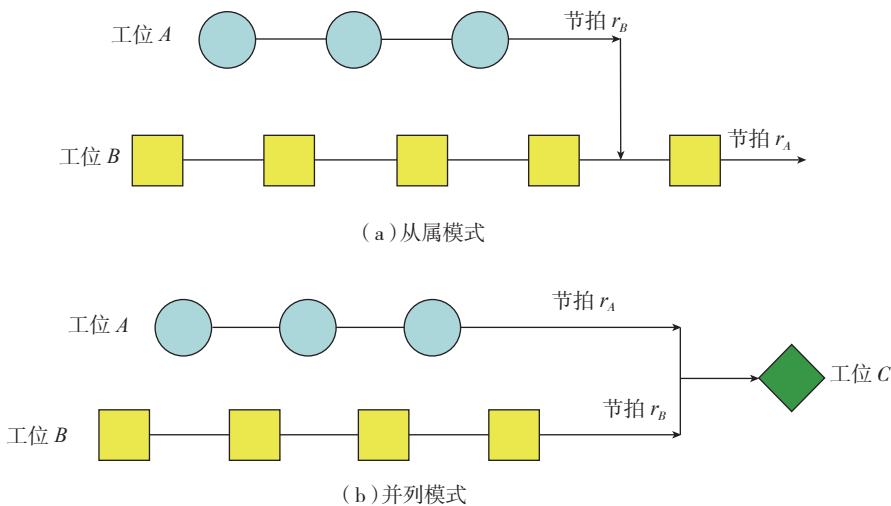


图2 装配过程中的工位协调关系

从上述分析可以看出,当两条生产线为从属关系时,要保持生产线之间的协调,工序数与节拍(或节拍的变化量)的乘积必须保持不变。换句话说,工序越多,节拍值(或节拍的变化量)越小;工序越少,节拍值(或节拍的变化量)越大。当两者之间不匹配时,现场生产呈现不连续,有些工位需要采取加班等措施,而有些工位则出现产品积压或等待现象。而当两条生产线为并列关系时,要保持两者之间的协调,它们的节拍(或节拍的变化量)必须保持相等。

方案和厂房结构,对整个装配生产过程中所涉及的工艺装备、吊装设备、运输设备等资源按照工艺流程及物流需求进行的三维布置。与传统的二维图布局相比,能够在上述各类资源实际安装布置前,提前直观地看到工艺布局方案的总体效果,避免后期因考虑不周而带来的不必要调整造成的巨大浪费和严重拖期。

空间布局主要包括如下工作内容:

(1) 三维建模。

进行空间布局所需的三维模型

主要包括厂房的三维模型和所有工艺装备、工装、工作梯、吊装设备、运输设备、可视化终端等,需严格按实际尺寸进行建模。以厂房为例,需包括墙体、横梁、立柱、门窗、地面等特征。这些模型是进行三维工艺布局的基础数据,其完整性直接决定了三维空间布局的完整性、真实性及合理性。

(2) 三维布置。

在 Delmia 的 Plant Layout 模块下将三维模型全部导入,并按照工艺流程中所确定的装配顺序及物流需求进行布置,布置完成后软件可根据模型的实际尺寸来确定工装的三维预留空间,以便于进行空间的物流规划,保证部件在空间维度上的转运畅通。

3 仿真分析及迭代优化

在初步规划的工艺布局完成后,为验证其布局的合理性,提前暴露可能发生的生产作业、物流运输等问题,需进行仿真分析。本研究中采用了 Delmia 仿真工具完成此项工作。

仿真分析工作主要包括如下工作内容:

(1) 流程分析。

流程分析是在三维静态布局的

数字化工艺布局设计

1 设计流程

进行数字化工艺布局设计的基本思路,是以工艺技术方案特别是工艺流程为基础,结合生产周期得到对应的生产节拍,结合产能需求获得各工位的配比关系及其他各类生产资源的配置,最终结合厂房的实际面积和结构进行空间布局设计。有了基本的布局方案后,再通过数字化仿真分析工具从流程、空间、人机工效等方面对布局进行仿真分析乃至优化,经过多轮迭代,以实现最优的工艺布局,整个设计流程如图 3 所示。

2 空间布局

三维空间布局是针对工位配置

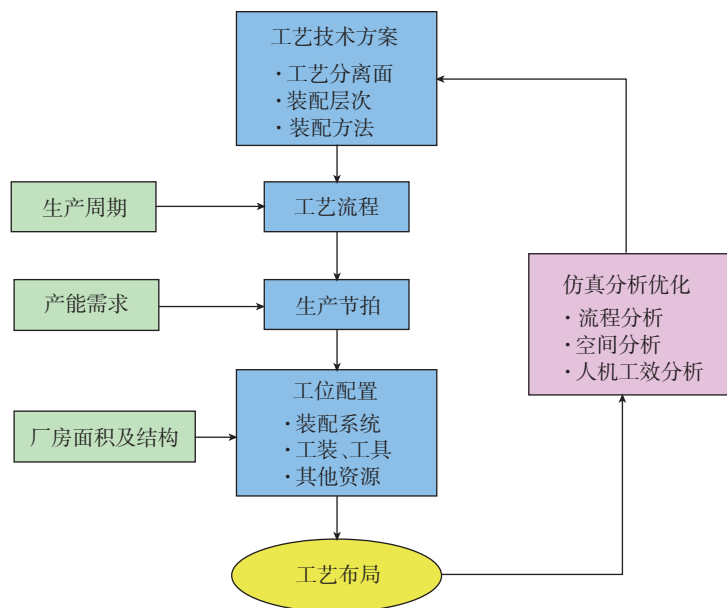


图3 数字化工艺布局设计流程

基础上,按照产品装配顺序进行的零件、组件、部件、运输设备等资源的合理性仿真,以验证装配顺序的合理性,并以此优化装配工艺布局;通过吊装仿真,验证产品在空间转运过程中的通畅性;通过物流仿真验证并优化产品在周转过程中的最优路径。

(2)空间分析。

传统平面布局中一般是通过经验对所有资源的平面尺度下的静态尺寸进行分析,常常造成平面布局与实际生产布局在空间尺度上的差异较大。通过三维工艺布局的空间仿真分析,可以观察各工位在装配过程中产品与工装等资源的动态空间干涉情况,以此确定需要预留的空间位置,如图4所示。

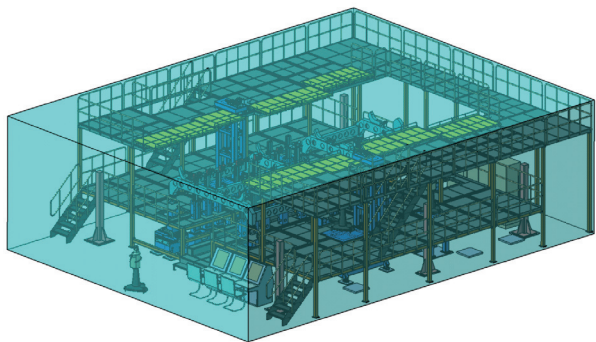


图4 空间仿真分析

(3)人机工效分析。

人机工效仿真分析是针对人员与工位布局、通道设置、工作梯设置、工作空间规划的合理性进行仿真验证,使人员进出工位的路径简捷、通畅,操作空间舒适、安全,减少或消除冗余时间消耗,如图5所示。通过人机工程学分析,确保在人的视线范围实现抓举与接触等动作。通过工程产品结构、工具及相关手工工具和外围设备的三维CAD几何数据,实现制造、维护工艺验证。通过模拟人体工作姿态、视线范围、上下楼梯或按预定义路径运动等,实现在3D环境下数字化装配过程,并且对这些过程进行仿真分析验证,直观地分析产品的可制造性、可达性及可维护性。

在上述各项仿真分析的基础上,可对工艺布局进行进一步优化,通过多次仿真、优化的迭代过程,找到布局的最优解,确定满足工艺流程和生产节拍的布局方案,在厂房面积、工位配置、物流路径等各方面达到精益化生产需求。

4 应用效果

在某型飞机数字化装配生产厂房的工艺布局工作中,全过程采用了本文所提出的数字化工艺布局设计方法进行设计仿真,取得了如下效果:

(1)从全局或局部视角清晰直观地显示完整的飞机装配生产流程。

(2)发现了在某些环节出现的拥堵现象而导致的生产停滞,布局方案以此为依据重新进行了资源分配方式和数量的调整。

(3)发现了在物流转运中大型部件吊装过程中旋转动作过多带来的安全隐患,布局方案以此为依据重新设计了工装及工作梯的摆放方式。

(4)为实施观察生产作业情况提供了数据输出,为生产决策提供了数据化支持。

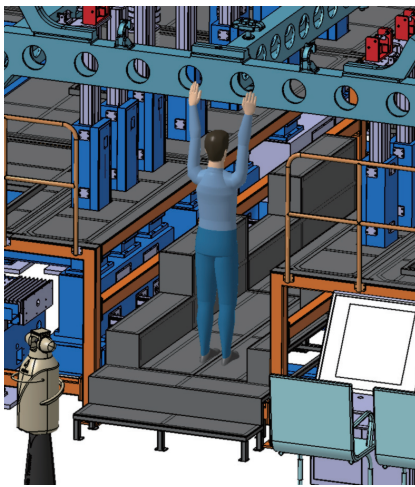


图5 人机工效仿真分析

结束语

本文针对飞机部件装配生产中人工操作与自动作业交叉进行的典型特点,对生产流程及节拍变化规律进行了研究,探讨了针对复杂结构与流程的飞机装配厂房的数字化工艺布局设计方法,为飞机装配能力尤其是数字化装配能力建设规划提供了理论依据和决策参考。对各装配工位之间生产率不平衡的现象进行合理搭配调整,获得各工位布置的合理配比关系,以保证各工位各工序作业的均衡协调和总体生产节拍的平衡,实现装配能力建设规划的科学性、合理性和经济性。

在进行数字化工艺布局的具体过程中,应重点关注如下方面:

(1)在进行工艺布局设计时,首先应重点研究和确定生产工艺流程,保证工序间的合理衔接,把握生产过程中物流和能量流的流向、变化及经过的设备等。

(2)工艺布局方案应与工艺技术方案、使用的工艺设备以及建设规模相适应,同时还要注意考虑主要装备同辅助设备间的配套,以保证设备的合理、实用。

(3)工艺布局设计还应体现工艺技术的先进性、实用性、可靠性、经济性、容错性及前瞻性,以适应航空行业新技术、新形势的飞速发展。

参考文献

- [1] 王伟,张鹏,刘庆云.基于CATIA的装配车间生产系统的静态仿真分析.现代制造工程,2013(12):26-29.
- [2] 万鹏,王红军.汽车零部件生产线数字化建模及分析.机械设计与制造,2012(12):86-88.
- [3] 石鑫.基于SLP的生产设施规划.机械设计与研究,2014,30(1):68-71.
- [4] 蓝海.设施规划与物流分析.北京:机械工业出版社,2005.
- [5] 潘家福.企业生产管理.北京:高等教育出版社,2001.

(责编 谷雨)