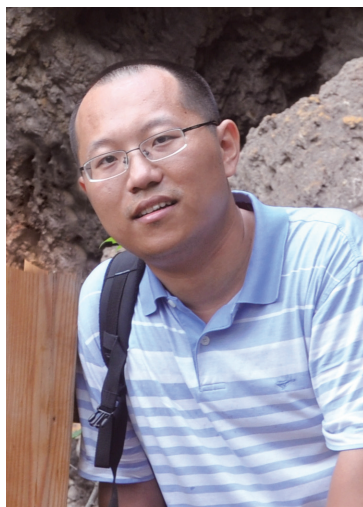


面向工业4.0的精益生产线 设计和实施方法

Design and Implementation Methods of Industrie 4.0 Oriented Lean Production Line

中航工业信息技术中心 张伦彦



张伦彦

中航工业信息技术中心(金航数码)副总工程师,主要从事制造执行系统、精益制造、企业信息化等方面的研究,主持和参与了多家航空制造企业的生产管理系统建设工作。

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:基于赛博-物理系统(Cyber-Physical System, CPS),建立人机一体的智慧工厂(Smart Factory)^[1]。实施工业 4.0 的核心问题之一是构建智

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:基于赛博-物理系统,建立人机一体的智慧工厂。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。

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。下文将围绕工业 4.0 环境中的精益生产线设计和实施方法展开讨论。

工业 4.0 对企业的影响

截至 20 世纪末,工业界已经发生了 3 次工业革命,从传统时代逐步过渡到了蒸汽机时代、电气化时代、电子信息技术时代。针对新世纪工业企业的发展,德国提出了工业 4.0 的概念,认为第四次工业革命是应用

赛博-物理系统的时代。对于工业企业而言,工业 4.0 的特点主要集中在 3 个方面:

(1) 借助网络化实现价值链的横向集成。

自 20 世纪后期,市场竞争愈发复杂和激烈,工业企业不得不加强核心竞争力建设,分包缺乏核心竞争力的企业群逐步形成。供应链的发展方向是最优价值链,企业群中新加入的企业不仅能够提供更低成本、更高质量的产品,还能够提供更完善的服务。

网络化对于工业企业基于价值链进行横向集成非常重要: 网络化能够发现更有竞争力的企业, 从而帮助优化价值网络; 网络化能够在企业间快速传递设计、工艺和制造信息, 从而支撑协同设计和协同制造; 网络化能够使得采购和物流过程显性化, 从而缩短产品的交付周期; 网络化能够统一销售和维护方式, 从而降低销售和维护成本。

(2) 借助数字化实现工程链的信息贯通。

在工业 4.0 描绘的智慧工厂里, 数字化定义的产品被快速、准确地转变为实物产品。数字化定义的产品既是智慧工厂的输入, 更是实现工业 4.0 的重要前提。产品有着自身的生命周期, 数字化定义的产品也应当是覆盖产品全生命周期的, 也就是说在包括设计、制造、服务在内的整条工程链上, 产品都应当被数字化定义。

实现产品数字化定义的最佳手段是使用基于模型定义的技术, 基于模型定义的技术可以保证产品的数字化定义信息在整条工程链上被准确、完整地传递。基于模型定义的产品数据并不是简单地沿着工程链从上游向下游流转, 还需要将下游的产品数据传递回上游, 这也是产品创新和持续改进的一种源动力。

(3) 借助物联网实现纵向集成的智慧制造。

借助车间现场的物联网设备(如连网 DNC 的加工设备等), 数字化定义的产品从虚拟世界走进现实世界, 数字信号被传入加工设备, 驱动加工设备进行生产加工。虚拟世界的模拟和现实世界的加工总是存在着差异, 车间现场的物联网设备(如带有传感器的测量设备等), 又能够将制造过程中的数据转换为数字信号, 返回给虚拟世界。具有智慧的制造系统根据现实世界返回的数字信号, 发送新的数字信号给加工设备, 从而及时调整现场生产加工。

这种从虚拟世界到现实世界的纵向集成是实现智慧制造的重要基础, 而物联网设备则是支撑这种纵向集成的核心手段, 也是赛博-物理系统的重要组成部分。

精益是生产线永恒的主题

随着科学技术的发展, 生产线的硬件设备和技术手段不断更新换代。不可否认, 硬件设备和技术手段的更新换代使得生产线的效率得到了很大的提升。但同时也应当看到, 生产线经常有半数以上的潜能没有得到发挥, 其中有生产线设计不合理的原因, 也有实施管理的原因, 而这些正是精益的最佳用武之地。

生产线的设计和实施都应当围绕着精益这个主题展开。对于工业 4.0 的生产线而言, 网络化、数字化、物联网都是服务于精益的技术手段, 简单地堆砌这些技术手段很难达到预期的效果, 这就如同不从审美出发, 堆砌高档服装达不到理想的衣着效果一样。

工业 4.0 的精益生产线设计

如上文所述, 精益是生产线永恒的主题, 精益是将工业 4.0 的各项先进技术组合为一体的最佳工具。精益生产线设计的核心是生产线的价值流设计, 一切设计工作都需要围绕着这个核心开展, 下面从几个方面分别进行介绍。

(1) 加工设备的设置。

加工设备是生产线的主体硬件,

加工设备的设置决定了生产线的基本形态, 因此这方面的设计非常关键, 在设计中需要注意以下 3 方面。

对于产量足够大的产品, 可以单独为其建线; 对于多品种小批量的产品, 可以将具有相似工艺路线的产品集中于一条生产线上, 这就是柔性生产线。可以不夸张地说, 无论批量大小如何, 任何产品都可以建线, 因为精益生产线设计的本质特点就是用小批量生产模拟大批量生产。图 1 描述的波音卫星脉动生产线(年产量仅 10 多个)就是为小批量产品建线的生动体现^[2]。

不能简单地按照初始工艺路线来配置生产线上的设备, 需要适当地调整工艺路线以节省设备投资成本和优化生产价值流。比如, 将一道工序拆分为多道工序, 前面的几道简单工序配置低端设备, 最后一道复杂工序配置高端设备, 从而在生产价值流不退化的情况下降低了设备投资成本; 将多道复杂工序合并, 减少高端设备的换装时间, 从而优化了生产价值流。

对于打算单独建线的产品, 可以严格按照生产节拍配置设备; 对于支持多产品的柔性生产线, 则不能死板地按照生产节拍来配置设备, 为了满足生产线的柔性, 需要在关键设备前增加缓冲时间, 其结果就是让排在其前面的非关键设备适当地加快生产节拍。另外, 生产节拍在时间上也需要细化, 比如分为准备时间、加工时间、检验时间、交接时间, 这种时间



图1 波音的卫星脉动生产线

细化将使得加工设备与外围设备的配合度得到加强。

(2) 先进测量技术的应用。

新世纪的测量技术得到了快速发展,从离线测量发展为在线测量,从直接测量发展为间接测量,从接触式检验升级为非接触式检验。测量设备也逐步自动化,不仅有大型的专用自动测量装置(如三坐标测量机),还有小型的便携式测量器具(如手持自动测量器具)。

很多自动化加工设备也已经集成了先进测量技术,能够实现加工过程中的在机测量和自动矫正加工、换刀后的自动测刀和数控程序自动插补。图2汇总给出了一些先进测量设备的截图。

要在生产线上合流搭配各项测

量设备,使其构成一套能够支撑精益生产线的测量系统。测量系统设计的关键在于将检测活动层次化、分散化,使生产价值流尽可能地保持连续性,而对于检测活动的重新划分,除了需要配置相应的自动检测设备,更需要对检测工艺和管理方式做出调整。

比如可将检测活动分为4个层次:第一层是加工过程中的检测,通过自动化设备上的在机检测模块,实现边加工边测量;第二层是加工工序流转前的检测,该环节的检测项目需要大幅减少,以减少由此带来的生产线等待和价值流中断,要达到这个目的,除了要配置便携式检测设备外,更需要优化工序分离面,将许多检测工作转移到在机检测环节;第

三层是某阶段加工完成后的终端检验,因为终端检验是生产线的环节,所以检验时间需要与生产线的节拍相吻合;第四层是所有加工完成后的测量间检测,常用的有三坐标测量机等,是否将这部分测量移到生产线外并没有定论,需要综合考虑大型测量设备的成本和利用率。

(3) 柔性工装和激光定位的应用。

柔性工装技术是基于产品数量尺寸协调体系的可重组的模块化、自动化装配工装技术,其目的是免除设计和制造各种零部件装配的专用固定型架、夹具,可降低工装制造成本、缩短工装准备周期、减少生产用地,同时大幅度提高生产率。激光定位技术能够结合三维制造模型和室内GPS定位数据,准确定位到加工或装配的位置,从而引导机器人完成自动加工或装配。如图3所示,F-35脉动装配线上就大量应用了柔性工装和激光定位,取得了较好的应用效果。

柔性工装和激光定位简化了辅助制造资源的管理,这是实现无人值守加工的重要基础。辅助制造资源的准备是生产过程中不增值的环节,这个环节的自动化对于改进生产线的价值流大有裨益。

(4) 自动化物流的应用。

生产过程中的不增值环节还有物流环节,如图4所示。自动化物流系统通过传送皮带或自动引导车(Automated Guided Vehicle, AGV),能够实现物流运输的自动化,促进了生产线的价值流优化。

但若想获得更大程度的精益效果,仅仅配置自动化物流设备是远远不够的,还需要在工艺设计和管理方式上作出调整。

以物料配送或刀具配送为例:传统配送是按照工序计划准备配送清单,物料和刀具的品种多,准备工作量较大且复杂。在建立生产线后,



图2 工业4.0环境中的先进测量设备

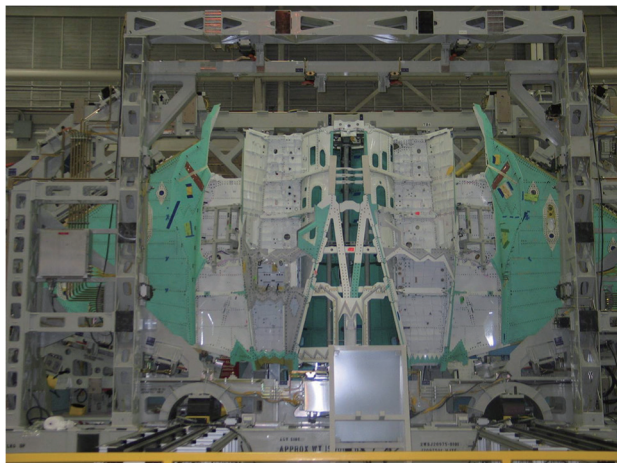


图3 使用柔性工装和激光定位的F-35脉动装配线

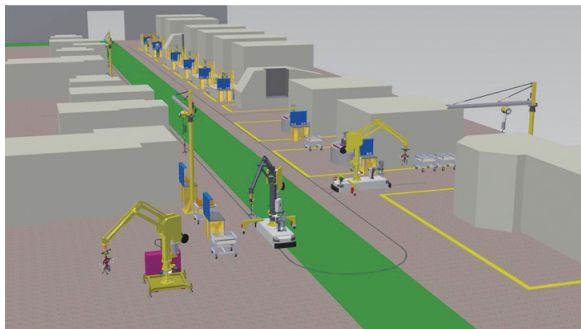


图4 生产现场的自动化物流设备

相似的工序集中于某个柔性设备,可以计算出物料或刀具消耗,建立起日程表式的配送,即固定多长时间配送某种物料或刀具,这也被称为配餐式的配送;由于物料和刀具的品种比较固定,工艺规范上甚至能够指定物料或刀具在配送车上的位置信息,使得现场甚至省去了刷条码确认的必要性;对于相对廉价的物料或刀具,甚至可以在设备附近建立一定的库存,监控库存消耗做定时补货,标准件开架管理、刀具自动发售机都是这方面应用的实例。

(5) 仿真技术的应用。

生产线的设计方案可以通过仿真来进行验证,当生产线运行过程中存在一些不确定因素时,使用仿真技术更加能够帮助发现设计方案中的问题。

基于精益的实施方法

生产线按照精益方法设计和建成后,并不一定能达到预期效果,因为生产线的运作实施也有很多工作要做。生产线的运作实施是一项系统工程。对于生产管理中暴露的很多问题,不能简单地按照表面症状来解决,而应当分析其内在原因,予以系统性解决。这就如同治病不能头痛医头,脚痛医脚一样。对于生产线的运作实施方法,将从以下几个方面进行解读。

(1) 设备利用率解决之道。

企业投入大量资金购买了先进的加工设备,但是设备却不能充分地

利用起来,分析和解决思路如下:不均衡的生产计划会造成设备空闲,这需要根据生产节拍优化产品或零件进入生产线的品种、数量和时间,使用计算机辅助排产工具能够快速制定均衡化的生产

计划;材料、工装工具的缺件也会导致设备无法开工,这就要求制造资源的准备工作具有前瞻性并且常态化;设备利用率低的另一个原因是设备维修周期过长,信息化能够使得维修流程显性化,从而缩短设备维修周期。

(2) 现场透明化解决之道。

车间现场就像一个黑匣子,各级领导无法及时快速地了解生产状况,难以为决策提供有效的依据,分析和解决思路如下:车间的管理要素很多,首先需要收集工序执行进度的信息,然后对问题工序做原因归类和信息收集,如缺少哪些材料、工装工具,发生哪些技术或质量问题等,使用条码扫描等信息化手段,能够提高工序信息采集的及时性和准确性。

(3) 工程更改解决之道。

产品结构和加工工艺总是在变,加工者无法确定现在加工的图纸和工艺是否是最新的,造成这种状态的根本原因是:工程更改的贯彻和控制缺乏有效的手段,信息化是提升这方面管理水平的利器。工艺员通过系统监控生产现场受工程更改影响的在制品,及时下现场指导;系统自动锁定受工程更改影响的在制品,计划员确认技术状态后解锁在制品;系统提示工人有工程更改信息,能够链接查看工程更改的相关单据,以及最新的图纸和工艺文件。

(4) 生产可行性解决之道。

车间接到生产订单后,不能及时了解和掌握生产现场各种资源的可

用情况,很难制定出一个切实可行的生产计划,造成这种状态的根本原因是:无法准确掌握车间的生产能力和资源准备情况,需要实施信息化来支撑这方面的业务工作。通过系统的产能分析模块发现瓶颈设备,及早安排加班或外协;通过查询库存数据,过滤出不具备开工条件的生产订单。

(5) 质量追溯解决之道。

客户投诉后,很难快速、准确追溯产品的相关信息,如:原材料供应商、生产订单、加工设备、加工人员、工艺路线、检验记录等,造成这种状态的根本原因是:生产和质量记录分散在许多纸质文件中,数据提取和关联分析困难。实施信息化能够解决这方面的问题。在采购阶段,需要记录材料及其供应商的信息;在加工阶段,需要记录人机料法环测的完整信息;在装配阶段,需要记录装入件的明细信息。各阶段的信息都可以借助条码实现快速采集。

结束语

工业 4.0 预示着第四次工业革命的到来,每次工业革命都必然导致生产线的升级换代。精益是生产线永恒的主题,工业 4.0 的生产线更应该是精益的。只有从精益出发设计生产线,才能够使得工业 4.0 的各项新技术组合为有机整体;只有从精益出发实施生产线运作管理,才能够保证工业 4.0 的生产线高效运行。

参考文献

[1] Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. The Industrie 4.0 Working Group. [2013-04]. http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Material_fuer_Sonderseiten/Industrie_4.0/Final_report__Industrie_4.0_accessible.pdf.

[2] 陈绍文. 精益制造和飞机移动式装配线. 航空制造技术, 2011(16):34-37.

(责编 叶枫)