



全球化背景下的制造业生产调度体系探讨

董 鹏¹、于昌利²、董银红³、崔春生⁴、董乃全⁵、赵良辉⁶

- (1.卡莱(梅州)橡胶制品有限公司计划部,广东 梅州 514759;
2. 哈尔滨工业大学船舶工程学院,山东 威海 264209;
3. 中南民族大学管理学院,湖北 武汉 430074;
4. 河南财经政法大学计算机学院,河南 郑州 450046;
5. 天津电子信息职业技术学院,天津 300132;
6. 五邑大学管理学院,广东 江门 529020)

摘 要:面对客户随机需求,制造业生产调度系统应促进生产的快速性、动态性和敏捷性。以制造业生产调度体系为研究对象,从生产车间调度的目标、方法、手段、资源等基本要素入手,总结传统生产调度系统在实际生产中的问题,并概括了系统集成视角下的生产调度方法及其改进措施,介绍了不确定条件下生产调度策略及评价指标。运用系统集成的思想,探讨了供需链环境下的制造业生产调度系统模式,最终提出了生产调度系统的集成化、动态化、高效智能化、柔性化和排程可视化等发展方向。

关键词:生产调度系统;系统集成;生产不确定性

中图分类号: TH18

文献标识码: A

文章编号: 1671-931X (2011) 05-0028-08

在生产过程中,很多企业实际加工时间占总加工时间不到 15%,而有 85% 以上的时间用于等待、搬运和排队。以机械加工为例,15% 的加工时间里,切削时间仅占 30%,其余 70% 的时间用于零件装夹及定位、及用于换刀具、测量、机床调整、消除屑末等,多数机器 90% 的时间处于闲置状态^[1]。因此,科学的生产调度系统模式就是要降低企业 85% 不增值的部分和优化生产过程,建立合理的生产调度模型,寻找有效的调度方法,改进生产调度方案,设计适宜的调度系统。传统的手段如降低库存、裁减雇员、精简机构、增加加工设备等已经达到了极限,不可能再有较多的进展,进一

步的成本缩减可转向企业内外资源的合理配置和高效利用^[2]。作业车间调度问题的研究于 1950 年展开,国内外对于生产调度问题的诸多研究可以归结为两个方面:生产调度问题的建模和生产调度问题算法设计与分析^[3]。虽然对车间调度领域的研究已有六十多年的历史,但至今尚未形成一套较为完备的系统理论和方法,加强生产调度系统理论和应用的深入研究非常必要。

生产管理通常分为三个阶段:生产计划、生产调度和生产控制,其中生产调度是生产管理领域内的关键环节。调度与很多其它经营管理活动有关,如生产计划的可行性分析、销售部门接受订单的提前期、生产线的

收稿日期:2011-10-10

作者简介:董鹏(1980-),男,汉族,陕西安康人,APS 研究员,生产调度主管,研究方向:生产调度、企业管理、供应链管理;于昌利(1981-),男,汉族,山东威海人,博士研究生,研究方向:生产调度、造船精度管理、船舶结构设计等;董银红(1982-),男,汉族,湖北黄冈人,中南民族大学管理学院讲师,中国人民大学技术经济及管理博士,中国社科院数量经济与技术经济研究所应用经济学博士后,研究方向:企业管理、技术经济等;崔春生(1974-),男,汉族,河南南阳人,北京理工大学博士,河南财经学院讲师,研究方向:生产调度智能算法、数量经济和系统过程等;董乃全(1957-),男,汉族,天津静海人,副教授,经济学博士,研究方向:生产管理、物流管理等;赵良辉(1973-),男,汉族,湖南邵阳人,讲师、博士,研究方向:生产调度、信息系统。

人力调配、设备保养维修、物料采购供应计划等。而实际生产过程中, 车间生产调度过程是一个多元化管理模式, 需要敏捷响应和反馈, 要求在宏观上规划生产, 微观上调控生产。科学合理的生产调度在满足客户要求 and 生产任务的前提下, 依据生产过程获得准确信息, 充分合理的利用与配置加工过程的各种制造资源、高效低耗地使用生产资源、合理安排加工工件的顺序、均衡设备负荷和生产、提高设备利用率、缩短换工装和物料准备时间、降低生产和人工成本、优化生产过程。生产调度围绕企业生产经营目标, 对企业生产活动进行有效组织、指挥、控制和调节, 根据生产目标和约束, 为每个加工对象确定具体的加工路径、时间、机器和操作等, 根据市场需求变化和产品订货, 及时调整生产结构, 及时应对和解决生产中的各种矛盾和问题, 以保证整个生产经营活动的正常进行, 保证在合适的时间, 将合适数量和合格质量的物料输送到合适的地点, 由已确定的人员进行加工, 最后生产出满足客户需求的产品。因此, 及时准确地生产调度对生产系统的高效运行有着重要地影响。

一、生产调度的分类、影响因素及优化模型

(一) 生产调度的分类

在不同的制造资源、约束条件、生产规模、生产形式和管理方法下, 生产调度问题的目标、调度策略也不同。任何优化模型都包含优化目标和约束条件, 生产计划优化也不例外, 但是约束计划的因素很多, 为全面地考虑优化模型中的约束因素, 需要对其进行分类, 就对象而言, 有模糊调度、离散事件和连续事件调度、静态和动态调度等; 就调度方法而言, 有 Gantt 图、分支定界、动态规划、规则调度和仿真等; 就调度优化目标而言, 有正规性能指标和非正规性能指标, 如生产成本、提前/延迟(E/T)指标等。就调度加工系统的复杂度而言, 可分为单机、多台并行机、流水车间调度和作业车间调度^[4-7]。

(二) 生产调度的影响因素

现代企业生产环节多、协作关系复杂、生产连续性强、情况变化快, 某一局部发生故障, 或某一措施没有按期实现, 往往会波及整个生产系统的运行。由于调度问题的复杂性和生产环境的动态性, 必须将资源、约束、规模和方法等因素综合考虑来研究。在这种更新速度快、生产系统稳定性差且复杂多变的制造环境下, 企业不仅仅要求能生产出质量高、性能优良的产品, 而且还需要快速生产出市场所需求的产品, 更要能够快速、准确地应对生产过程中频繁发生的各种扰动, 这显然要求整个生产系统对生产过程中的控制更严格、更有效、更有柔性。任何产品生产的直接因素从空间上看分别来自用户要求、企业自身生产状况和供应商的供货状况等方面, 它们对生产计划的约束通过施加到企业内部的影响体现出来。

首先, 用户一般提出交货期、数量、质量、规格、交货方式等要求。交货期和数量直接约束生产企业计划, 质量和规格通过设计部门转化为加工工艺要求, 工艺

部门进一步将加工工艺转化为加工次序和加工时间。用户需求对计划的约束体现在交货期、加工次序、加工时间、运输设备、运输次序等方面; 其次, 供应商对企业计划的约束主要是物料供货时间(物料到达企业的时间, 包括物料的出厂时间和运输时间等); 最后, 计划在企业内受到人力、资金、设备、库存、后勤保障(水、电、煤、气等)的约束, 其中设备主要包括运输设备、工具工装、加工设备、场地等, 工序负荷平衡、生产模式、现场实绩等非结构化约束, 加上变化的工作条件, 需要频繁地进行重调度。

大多数的研究对约束问题考虑不是很周全, 建模时也对真实环境进行了大量的简化, 因此, 车间调度系统应用到实际生产中时很容易碰上“计划赶不上变化”的困境。

(三) 生产调度的优化模型

在车间生产调度中, 生产计划调度的任务是根据生产目标和约束, 为每一个加工对象确定具体的加工路径、时间、制造设备资源和操作等, 以保证车间制造系统的某一性能指标达到最优, 具有静态特性。生产调度的优化模型如式(1)所示,

$$\left. \begin{array}{l} \text{求: } A(a_1, a_2, \dots, a_n) \\ \text{目标: } \text{Max} W(A) \text{ 或 } \text{Min} C(A) \\ \text{约束条件: } a_1, a_2, \dots, a_n \in \Omega \text{ 和 } N(A) \in \Phi \end{array} \right\} \quad (1)$$

式中, A 为加工对象的生产计划; $W(A)$ 为企业收益, $C(A)$ 为加工成本; a_1, a_2, \dots, a_n 为加工该加工对象的时间, 人员, 设备等生产条件, Ω 为企业所拥有的加工条件等内部约束条件; $N(A)$ 为生产出产品的质量, 数量等, Φ 为用户所提出的产品质量、数量等外部约束条件。

在理论研究中, 生产调度问题常被称为排序问题、资源分配问题或组织优化问题。当然, 调度不只是排序, 还需要根据排序结果确定各个任务的开始时间和结束时间, 并使约束得到满足, 同时使车间制造系统的性能达到最优或次优。这些特点决定了生产调度高复杂性、动态随机性、突发性、多目标性、多约束性、多资源相互协调、非线性、目标可变性、大规模性和多极小性等特点, 并且多数调度问题求解过程是 NP(Non-deterministic Polynomial)问题, 它的计算量随问题的规模呈指数增长。这导致生产调度要综合平衡这些条件自己的矛盾与冲突。多目标车间调度最终得到的解是一个解集, 如何从解集中选出一个最优妥协解作为实施方案, 使企业制定出合适的作业生产计划。生产调度问题作为现代制造系统的一个研究热点, 由于系统建模方法的多样性, 以及问题的侧重点不同, 调度方法和研究对象也明显不同。

二、传统生产调度体系下的生产问题

实际的生产系统是一个动态生产环境, 存在着大量不确定性因素, 往往会导致计划、调度与控制脱节, 不能有效协调和均衡的生产, 造成企业成本增加和效益下降。传统生产调度系统作用下的车间实际生产加工现场, 虽然每个待加工的工件都被分配到指定的加

工设备,并按照开始时已经规划好的调度方案进行加工。但由于实际生产情况复杂多变,生产现场工件到达时间随机性和制造过程中随机发生的扰动使得实际生产出现了与原调度方案的偏离,加工现场作业流程混乱,导致生产系统不能再按照原有的生产计划正常运行。为了保证生产顺利进行,这就要调整某些零件的加工顺序,而改变任何一道工序的顺序都可能会影响后面所有工序的加工顺序,导致作业计划要重排。在这些问题还没得到解决的同时,还要求实现产品生产周期短、制造成本低和相应市场变化能力迅速等目标,这些都要求中小型制造企业的调度系统具有良好的动态性和实现能力。因此,现有的落后生产计划管理模式不仅难以满足生产要求,也严重影响着公司的成本管理,造成公司效益提高缓慢,竞争力不强。具体体现如下。

(一)当前制造业企业生产调度体系弊端在生产中的体现

1.主观与经验性。在组织生产时,经常出现工艺流程、工时定额不完善等情况。生产计划与调度严重依赖管理者的经验、技巧,基础数据精确度低,缺乏科学的理论基础和现代管理理论的支撑,没有一个全面细致到位的科学调度安排。计划的及时性、均衡性、应变性差,造成在实际生产过程中,调度频繁,生产效率低下等不良现象。

2.拖期严重。工序流程周转不畅、产品生产周期不能满足客户订单要求的交货期,零部件的制造周期不能满足装配要求的交付期,并且各零件的加工状态无法追踪,生产过程的进度不能动态反映,严重影响了公司的信誉和市场竞争能力。

3.生产调度系统未能与库存管理系统进行有效集成、无法查看即时的生产现场信息或库存情况。生产发生变化时计划调整困难,响应速度慢,不能满足快速响应的要求。仓库摆放大量零部件和半成品,可装配现场仍频繁缺件,库存的零部件不是产品装配所需的零部件。

4.生产计划未能充分进行资源的平衡。一方面,部分设备能力不能满足生产需求,成为加工的瓶颈,而部分设备却有富余;另一方面,计划调度人员仅仅根据所主管的型号安排计划,没有考虑到生产能力的平衡,使整个生产过程时紧时松,人员和机器不能达到很好的利用。

(二)现行调度在企业实际生产中的缺陷表现

1.延迟性。生产车间的实时动态变化,统计数据不能够及时地反馈到调度部门,在时间上存在很大的滞后性。调度人员对数据手工分析,进而产生调度指令,时间上又有了一段延迟,信息处理和反馈速度慢。由于信息滞后,生产调度人员难以及时、全面地掌握生产信息,增加了对生产异常情况的处理难度,严重制约了生产正常进行。对车间缺乏有效的生产监控机制(包括生产计划监控、零件进度监控与产品或订单进度监控等),很难对生产进度实现有效管控,超差品常常得不到及时补救与处理。目前,调度管理基本上是采用反馈控制,该法是根据实际执行结果的反馈信息来调节和控制生产系统行为,具有时滞性,缺乏灵活性和适应

性。

2.不准确性。在调度管理工作中,从数据的汇总、传递、分析到指令的下达等工作,基本采用手工处理,且难以达到优化的目的。由于人工采集的信息数据具有不可靠性和不完整性,一方面容易造成决策者错误决策,另一方面不能向客户反映生产进度情况,降低了生产的透明度。

3.调度低效率。由于系统本身的复杂和非线性行为、随时间变化的行为、信息集成的因素等原因,造成了车间信息客观上的不确定和复杂性,轻重缓急得不到合理安排,优先级的零件得不到及时安排,关键、瓶颈设备得不到合理使用,造成资源浪费;难加工、周期长的零件不能按期完成,拖延产品齐套时间,影响交期。生产过程的脱期任务变为紧急任务,导致计划频频变更、生产系统运作效率低下。不能用数字说话,达不到科学管理的要求。没有考虑到人力资源的重要性,没有引入人工激励机制,没有将人工的心理因素引入到生产调度,从而在一定程度上导致了企业的效率不高。

4.缺乏全局性和科学性。由于调度人员的智力、经验和处理能力的限制导致调度缺乏全局性和科学有效性,造成生产计划和生产安排及生产工序之间不协调、物流不畅,生产缺料和车间在制品大的情况同时存在。

(三)生产计划和调度系统信息不完备

1.信息的缺乏。信息的不统一、不完整、不及时等诸多问题已经影响到企业生产经营,造成整个生产系统处于应急的状态,原材料不能按时到位,延长了交货期,有时货物不能按时送达;生产现场的管理混乱,原材料和半成品堆放随意,影响生产车间的对外形象。

2.信息的复杂性。这主要取决于人们处理大量信息的能力,如分类、简约等来获取有用的信息。

3.生产调度软件的问题。由于目前的智能调度系统并不能真实反映实际生产中经常出现的不确定性,而现实生产中的不可预测扰动经常导致智能算法的最优解决方案并不能很好执行。如果按照这些算法进行生产计划的安排,会造成正反馈的累积效应,使得计划越来越脱离实际。

(四)生产调度系统中的失控

实际生产过程中,会遇到各种各样的情况,有局部的,也有整体的;有内部的,也有外部的;有工艺方面的,也有设备方面的;有主观因素,也有客观因素。这些问题一旦出现,小则造成生产被动,大则造成生产过程中断,计划难于完成。我国工业虽已形成较为完整的生产体系,但技术装备和管理水平仍然比较落后,尤为突出的是由于缺乏生产计划造成宏观生产失控,以及调度系统不完善导致实时监控紊乱等方面的问题。

(五)综合管理能力弱

管理基础薄弱,生产管理基础数据相对较少,缺乏科学的管理方法和工具是大多数制造企业亟待解决的问题。目前大多数制造企业仍然采用制度化管理,这种层次过多、划分过细的组织结构造成信息的上传下达缓慢。部门间分割管理,造成调度计划协调困难甚至相互矛盾,难以实现企业的全局最优。不符合现在灵活、快速、多变的生产制造特点,难以快速响应市场变化。

同时各管理层各自编制的计划之间经常存在矛盾冲突,当产品到达现场时才进行解决,经常产生连锁不良反应。

(六) 部门间缺乏有效沟通

多个生产计划之间缺乏协商,在实施过程中经常互相冲突。各型号产品在定计划时,相关资源处于空闲状态,表面上看,产品交货节点可以保证,但是,由于各型号产品是同一时间内引用了相同的生产资源,在实际生产中,各产品会相互冲突,互相占用资源,生产节点无法保证。传统生产过程中,在工艺设计阶段人们关心的是加工方法的选择,加工顺序的确定,以及以手册和经验为依据的工艺参数的确定等纯技术设计,而不关心生产计划调度的内容和生产车间的实际状态。同理,在生产计划和调度过程中,人们把注意力放在生产进度和资源分配,而不考虑工艺过程和工序设计的细节问题。以卡莱橡胶制品有限公司为例,由于生产车间环境的变化,大约有30%的工艺加工计划在实施时需更改,这些更改往往只由调度人员进行,没有专业工艺人员参加,势必造成加工质量与加工效率的下降。在实际的生产过程中,过长的计划冻结期也会带来较大的负面影响:设备故障、人为操作失误、物料供应短缺、工艺流程过长等因素使得部分半成品被迫离线,而过长的计划冻结期会造成生产线旁半成品的大量累积,导致整个计划不能按时完成,延误了其它产品的生产。半成品的大量离线积压,会造成转运过程中不必要的质量损失和成本损失,也会造成部分产能的空闲累积。另外,在生产作业计划和实际作业之间存在偏差,还有需求变化、预测不准、库存控制指标不合理、外协计划未落实、生产作业计划衔接失误、设备维修计划失误等。

(七) 企业中存在信息化孤岛

企业在调度管理时,自动化设备的加工信息不能与电脑建立关联。由于缺乏准确、及时的企业数据和状况分析,导致调度管理失职。在传统生产中,降低产品成本主要通过批量优势来实现,但随着用户对产品需求的快速变化,不是按照产能生产、而是按照客户需求生产,用户要求制造企业提供质量高、成本低、交货准时和多样化的产品。因而而自动化孤岛模式已经不再适应现代工业企业的生产要求。目前制造业,特别是机械工业中生产调度和过程优化控制相互脱节,在过程控制和管理信息系统之间存在着“信息鸿沟”,割裂了流程企业经营管理与生产控制。显而易见,关键是如何选择实时关系数据库,使企业中大大小小的“自动化孤岛”、“信息化孤岛”的信息能够流畅地进入数据库系统。生产调度方式已经不满足现代生产的需求,现行生产调度的优劣评估目前没有一个明确的评价系统。

三、系统集成视角下的生产调度方法及其改进

生产调度问题同时也受到工厂管理方法的影响,在不同的管理方法下,调度问题的优化目标、优化策略及其优化数学模型均不同,几乎每一个生产环境都是唯一的,很难用一个生产环境的调度方案,去解决另一个生产环境的生产调度。一旦求解的问题改变,相应的

问题建模方法和调度软件就要改变,而原先的算法也不再适用,必须重新换用新的方法建立数学模型和求解优化,即缺乏较为通用的建模方法和优化算法。由此可以看出,系统的“适应性”和“实用性”是目前企业计划调度系统的瓶颈所在。与此同时,由于各种随机因素,如机器故障、操作工人的熟练程度、环境参数等影响,只能得到加工时间的一个大概数据以及数据的可能变化范围,很少能获得精确的加工时间。因此,将加工时间按模糊数处理更加符合生产实际,更能保证调度的可行性。

国内外企业界已把注意力转移到节能降耗、少投入多产出的高效生产模式上。即集直接数字控制、监控优化、生产调度、经营决策等功能于一体的综合自动化模式(CIPS)。其核心问题是充分发挥信息在生产指挥调度中的辅助决策作用,有利于从更大范围更高层次上优化资源的配置,从而提高企业的社会效益。由于生产环境的动态性,生产领域知识的多样性,调度问题的复杂性,必须将人、数学方法和信息技术结合起来进行生产领域管理调度问题的研究。近20年来,国际生产工程学会(CIRP)曾总结了40种先进的制造模式,无论哪一种制造模式都是以优化的生产调度为基础的^[8]。尽管调度方法逐渐走向复杂化和多元化,但是它们基本上可以归结为4种类型:基于运筹学的方法、启发式调度方法、基于仿真的方法和基于人工智能的方法。规则调度法是根据人们在生产实践中所总结、提炼出的很多行之有效的经验和规则(通常称其为调度规则)来决定下一步操作的调度方法。Panwalker等人总结了113个启发式调度规则,将其分为简单规则、复合规则、启发式规则,并对各规则的适应情况做了总结^[9]。随着分布式人工智能的发展,特别是多Agent技术在生产调度领域的应用,促使基于多Agent技术的生产调度系统研究成为了生产调度领域中的一个重要的研究方向。目前有关车间调度问题的较高效算法的研究与设计仍是整个生产调度领域的重要研究内容。迄今虽然有些新算法产生,但其性能还有待进一步研究和验证。现有的研究生产调度的方法主要有OPT(优化生产技术);PFS(过程流调度);SCM(供应链管理)等。由于调度问题涉及面广、因素复杂,单纯的运筹学方法、随机优化方法,离散事件仿真和人工智能方法等,尚不能对调度问题进行全面而有效的求解。实际生产当中,企业生产调度问题不只是针对某几台设备,而是生产全过程,需要构建起覆盖整个企业生产过程的、简单有效的全流程级动态调度模型。在过去几十年中,通常和其他的方法结合使用,人们将许多算法应用于调度领域,但是人们使用各种调度算法需要特定的应用环境,判断何种算法适合何种环境是一个很有现实意义的问题。

在现实生产环境中,生产任务的种类、批量、加工设备、工装状况和任务进度等因素千变万化,针对不同的加工环境,车间调度系统应能快速地选择或组合相应的调度模型和算法。实际上在计划与调度过程中,影响系统决策的不确定性因素广泛存在。在确定性假设下得到的最优计划 and 调度在实际生产过程中由于不确定因素的影响往往变为次优,甚至不可行,但不确定条

件下的计划与调度优化仍然没有得到充分的解决和实际应用。车间生产调度问题的复杂性和现实生产对优化调度的应用需求,促使从事现代制造研究人员提出很多解决方法,从而推动车间生产调度理论与实践的发展。实际生产中,各种工艺约束、资源约束、生产能力约束等平行存在,这就需要对生产作业进行合理的调度安排。而一个好的调度安排需要一个好的优化调度算法。以往车间调度系统只能适应某个具体车间环境且只能得到时间最短、设备负荷平衡一般的调度方案,这将严重影响企业的发展。生产计划与调度面临的难题包括不确定性的描述与求解、计算复杂性、基础数据采集、调度模型及其解算方法等。从已有的研究看,最优化方法虽然可以得到“最优解”,但单独应用优化模型无法考虑各种影响因素,难以反映制造的本质特征和动态运行过程,影响了模型及解的可信性、有效性,而仿真方法、启发式规则、人工智能以及遗传算法等具有计算效率高、适应性强等优点,在生产计划与调度研究中得到重视。因此,难有一个包罗万象的、普遍适用的调度策略、调度模型和算法。

综上所述,虽然对车间调度领域的研究已有六十多年的历史,但是至今仍未形成一套完备的系统理论和方法。主要存在的问题如下:

1.将算法进一步的实用化。现在许多的研究只注重算法本身,而将算法广泛地运用到实际中真正解决实际问题,且能给企业带来巨大效益的应用成果却少之又少,因此如何综合应用现有优化算法,真正的提高车间调度的信息化水平有待于进一步的研究。由于实际调度问题的高度复杂性和现有计算条件的局限性决定了不可能把实际调度中所有影响因素都纳入考虑之中,NFL(No Free Lunch theorem)定理表明不存在万能的适用于任何问题的优化算法,因此探索各算法的适用范围也是一件重要的研究工作。建立系统的算法框架有利于该领域的发展,并扬长避短发展混合型算法,从而提高算法的性能。

2.进一步确保解的次优性。总的来说,生产调度问题的研究方法主要有精确算法和近似算法。前者只能解决小规模的车间调度问题,虽然已有不少的改进,但是距离实用还有一段较大的距离。近似算法由于能在合理的时间产生比较满意的解,而被广泛应用于实际调度中,但是往往对解的次优性不能评估,所以解的次优性的保障及定量评估问题也是下一步要解决的问题。

3.探索新的调度算法。针对于现有生产调度算法所存在的局限性,应与生物工程及应用数学等交叉学科相结合,探索新的实用算法。系统、全面、合理的生产调度方法,已经成为先进制造技术实践的基础和关键。

四、不确定条件下的生产调度策略及评价指标

(一)不确定条件下的生产调度策略

针对不确定条件下的生产调度策略问题,近年来出现了一些新方法用来解决 NP 难题,目前已经形成了以下策略。

1.并行或分布策略。为适合不同车间控制结构与高度复杂问题的需要,不少学者利用并行或分布策略来解决车间调度问题。如用多智能体结构的分布式决策方法对柔性加工系统(FMS)进行动态调度。

2.分解与成组策略。利用分解生产计划或成组技术的调度策略,可以大大降低问题的计算复杂性和规模,求得调度问题的较优解,同时优化系统的一些性能指标。

3.人机交互策略。大量的研究成果表明:人机协同交互的策略可以减少系统的搜索空间,可在有限时间、背景知识条件下解决困难的问题。交互反应式调度的主要优点是:在交互反应排产之前,通过智能算法(如 GA、PSO 和 ANN 等)得到最优调度计划;一旦最优排产计划出现紊乱和扰动时,可通过交互反应,进行快速修复,使得调度方案能够快速适应变化。采用基于多智能体系统(MAS)的混合方法是解决模型的准确性、实用性和求解可行性的有效途径。

4.动态重调度策略。预测控制是上世纪 70 年代后期产生的一类新型的计算机控制算法,其基础是 3 个基本原理:预测模型、滚动优化和反馈校正。其与其他传统最优控制的根本区别在于,在预测控制中优化不是一次离线进行,而是反复在线进行。不是用一个对全局相同的优化性能指标,而是在每一时刻有一个相对于该时刻的优化性能指标。它放弃了全局最优的概念,通过在向优化每个滚动区间,使系统在此区间内达到最优,通过滚动而得到较为满意的控制结果。这使预测控制在工业过程控制中取得了广泛的应用。这一思想同样可以用于生产调度系统中。方剑等针对 Job-shop 调度问题,提出了基于工件的滚动调度的方法^[9]。张纯刚等运用基于预测控制的滚动优化的思想,对机器人路径进行规划^[10]。把这种思想用于生产调度,主要的研究内容在于怎样确定滚动窗口,以及怎样进行再调度以保证生产的连续性。车间制造过程的随时性和不确定性需要不断地进行重调度,以处理突发的事件。基于目前的研究,对于动态调度的具体策略有:周期调度,连续调度,事件驱动调度,周期与事件驱动混合调度,周期与连续调度混合的策略等^[12]。因此发展重调度和在线调度系统,建立具有鲁棒性的动态集成模型有现实意义。

5.生产计划、调度与监控集成策略。生产计划与调度的集成研究具有全局优化的特征,也符合先进制造模式的思想,同时提高了生产系统的柔性。全局调度与局部控制相结合:生产调度管理系统必须在宏观上把握生产的全过程,又必须对每一个车间和装置的具体生产作出指导,以保证生产的优质高效。传统生产作业计划、调度和控制三者是相互独立的,将三者结合的集成研究具有全局优化的特征,符合先进制造模式的思想,是目前研究领域中的热点问题。

6.异地生产调度策略。作为敏捷制造模式的关键技术之一,异地生产调度策略也成为近期的研究热点,具有比较广阔的应用前景。

7.生产调度工作要以预防为主、以生产进度计划为依据,这是生产调度工作的基本原则。生产调度工作的灵活性必须服从计划的原则性,要围绕完成计划任务

来开展调度业务。贯彻预防为主的原则,就是要抓好生产前的准备工作,避免各种不协调的现象产生。在生产过程中,不仅要抓配套保证需要,还要抓原辅料保证需要,防止只抓出产不抓投入,抓后不抓前的做法。通过对生产系统内、外部条件的观察、调查、预测和分析,预测生产系统可能出现的结果,将预测结果与期望结果进行比较,对可能存在的偏差或隐患提前采取处理措施,以获得预期的生产结果。生产调度工作要从实际出发,要经常深入生产第一线,掌握第一手资料,及时了解和准确地掌握生产活动中千变万化的情况,摸清客观规律,深入细致地分析研究问题。把调度的生产指令规范化、具体化,使调度工作有计划性、合理性、预见性,保证生产调度的各环节紧密衔接。加强生产调度管理,建立上下贯通、左右协调、集中统一、灵活高效的调度系统,及时了解、掌握生产进度,研究分析影响生产的各种因素,采取相应对策,是保证企业安全稳定生产的关键。因此生产调度就要及时了解掌握各类影响因素,组织有关部门、有关人员处理解决这些不平衡因素,消除隐患,来保证生产长周期安全运行,保证生产计划按要求实现。

8.完善成本预算。企业成本控制的一个重要方面就是全面实行成本预算管理,包括预算编制、预算实施、预算差异分析、事后对标管理、经济活动分析等。实践中的预算可以时刻生产进行差异分析,有效的加强对管理薄弱环节的控制,充分的提高生产设备的利用率及减少变动成本的浪费,从总体上降低生产成本。建立健全专门的预算管理机构,加强企业各部门间的信息沟通和相互约束,加强对预算执行情况的监督与考核,并对预算中不合理的地方做出调整,根据部门对预算的执行情况,把成本管理的责、权、利落实到每个职工,

将成本指标与工作绩效挂钩,严格考核、奖罚,通过预算管理的全过程来激发员工。

(二)生产调度系统评价指标

企业生产调度方案评估系统,是面向制造企业,结合企业的生产特点、生产订单、生产工艺和基础数据等信息,构建的智能决策系统。计划实施评价是计划目标与其实现情况的检查、对比和分析。实际的生产往往对一个调度问题有多个方面的优化目标,在生产过程中这些目标之间可能发生冲突,导致调度方案无法产生符合预期的优化效果。多个目标常常是交织在一起,需要用一种优化算法来找到几个目标的平衡点,这样就更增加了调度算法的复杂性,也增加了生产调度评估的难度。企业实际生产环境差异性很大,基于不同的考虑,对于不同的生产方式,企业生产调度评估的侧重点不同。比如有的侧重于效率,有的侧重于客户的满意度。因此程序不应该一成不变的设定评定指标,而应根据实际情况的需要,由专家灵活的选择。不同企业的制造执行系统是不同的,实际的生产过程千差万别,系统中机器配置和资源、调度目标、调度策略均多种多样,一个企业在不同市场形势下的调度问题也可能大相径庭。计划实施过程中的所有不确定因素,会使计划的实际与预期的目标相偏离。而提高对环境的响应能力最根本的是制造系统要将自身的资源进行合理快速的重组,通过内部变化来适应外部环境的变化。实施评价是一种反馈行为,它可以为计划的调整或者新计划的编制提供依据和经验。有必要定期把计划的实际执行结果与原始目标比较,作出系统、客观的评价。计划实施的评价可以在计划的过去、现在和将来之间建立起认识的桥梁,增强制造系统适应市场的变化能力,它是制造业策略的目标。

表 1 常用的生产调度评价指标

类别	评价指标
基于交货期(服务能力)	交货的准时率、交付方式、平均延迟时间、最大延迟时间、未完成生产任务数等
基于加工时间	总通过时间、平均完成时间、平均通过时间、最大等待时间等
基于在制品	平均等待加工零部件数、平均在制品、超过一定时间的等待生产任务数等
基于生产设备	生产设备利用率、平均空闲时间、可加工时间、最大产能等
基于生产成本	存储费用、机械制造费用、废次品费用、人工费控制、原材料耗用、延期惩罚、生产设备维修成本等
基于生产指标	生产任务不合格率、返工率等
基于质量控制	产品的性能、产品的废次品率等
基于生产柔性	机器效率、生产类型多样性、先进的生产方式等

生产调度系统评价指标体系如表 1 所示。每方面又各自包含多项评估指标,较为全面的概括了生产调度方案评估的内容。每项核心能力下属的指标是该项能力的不同程度反映,在实际操作中,企业就可以根据自身的需求和基础数据的特点灵活的选用评估指标。这些指标在进行调度评估时可以作为确定性因素考虑。而对于设备故障、原料供应变化、生产任务变化等非正常情况都是事先不能预见的,在进行调度评估时作为非确定性因素考虑。对于当今大多数的制造企业,生产策略评估的基本准则仍是安全、质量,成本,交付

与服务并重的原则。这要求企业运用先进的理论、科学的工具和与时俱进的创新思维,构建一套实用的生产调度管理系统,通过有效的企业基础数据采集、存储、处理、传递、算法分析、评价与改进,要充分发挥信息的作用,把生产线上的反映生产状态的数据信息集中于实时关系型数据库,再利用各种数据挖掘手段和工具进行开发,使之变为管理决策信息,为生产调度决策提供依据,及时反馈,以达到生产管理水平的持续改进。生产调度系统评估目标主要有:

1.验证先进合理的生产调度算法。通过优化调度算

法,优化生产指标参数。

2.为生产决策提供重要依据。生产调度系统可以为生产相关部门提供基本数据,这些数据是进行生产决策的基础。良好的生产作业排序方案是编制生产作业计划的重要依据。同时,生产调度方案的顺利实施要靠生产、供应、工艺等部门的密切协作来完成。

3.提高生产管理水平。生产调度系统中数据库及其管理模块的建立,促进了生产相关数据的规范化,对生产设备、产品、零件、加工工艺等实行有效管理,为整个生产管理系统的建立与运行提供条件。

五、结论及展望

适应市场的变化需要制造业在向多品种、小批量的生产模式转变,在这种模式下车间级的组织与控制方式对其生产调度要求更高,因此需要一个先进适用的调度系统,通过计算机进行准确的数据处理,对于下达的生产任务进行一定程度上的智能优化调度,最大程度地减少生产过程中的非增值时间。车间生产调度系统的研究已经成为一个提高车间生产效率、提高企业竞争力的关键技术,其发展趋势主要表现在以下几个方面。

(一)集成化

车间生产调度系统与工艺系统等其他系统的集成已经是车间生产发展驱使的必然结果,发展方向是计划调度控制一体化集成。只有将调度和控制综合考虑,实现信息与功能的集成,才能形成一个适应生产环境不确定性和市场需求多变性的全局优化的高质量、高柔性、高效益的智能生产系统。因此,调度系统应能与现有企业的信息基础结构进行通信和信息交换,并作为信息基础结构的一部分,这也是生产调度理论和方法的研究方向之一。信息化则可以在很大程度上使现有管理方式规范化,增加管理的透明度、增强各部门之间的沟通,使企业信息流、资金流、物流畅通无阻。调度层在 CIMS 结构中占有很大的比重,涉及生产进行的各个方面,其是承上启下、维持生产进行的中间环节。

(二)动态化

在加工过程遇到扰动和故障时,调度方法能根据系统的状态修改原定的加工顺序和调度系统的所有资源,使系统持续地、优化地运行;生产计划的安排基于实时能力信息和生产资源,能获取实时生产和调度信息,企业资源利用得到优化。对生产异常进行动态调度,系统每发一组指令,都要在当前的模型环境下运行这些调度指令,预测其后果,在不发生冲突并有利于调度目标的情况下,才能执行调度指令,保证生产能够在异常情况下也能够得以正常的运行。如果动态调度结果影响到下游分厂的生产,应及时将本分厂的调度结果通知给下分厂,下分厂即可对本厂的作业计划进行调整,保证生产的顺畅进行。进行动态调度时要在原有模型环境的基础上进行,减少大范围调整造成的生产混乱的局面。通过将动态多变的复杂生产调度与控制问题,转化为分散到各个决策节点上的局部决策问题,由于局部决策相对与全局决策规模小,借助于节点间

的协调、合作实现制造系统的整体调度与控制功能。

(三)高效智能化

寻找新的调度算法,该算法应该快速、高效地找到大规模调度问题的最优或次优解,并能对找到的解进行评估。其中,混合车间调度算法是当前和未来的研究热点之一。车间生产调度系统的算法正在朝着人工智能技术方向发展,如遗传算法、蚁群算法及模拟退火算法等。智能化的计算机具有学习功能,可以从旧有调度案例中获取调度规则用于指导工作,从而避免无法综合考虑所有影响因素的难题。由于 MAS 能够充分体现人类的社会智能,对开放、动态的现实环境具有良好的灵活性和适应性,因此 MAS 理论受到重视并迅速发展,在制造领域(如车间资源配置、生产调度与控制、生产管理决策等)获得越来越多的应用。

(四)柔性化

在传统的车间调度问题的研究中,仅考虑每一工件具有唯一确定加工工艺路线的情况。随着加工技术、自动化技术的发展,特别是 FMS 的出现,工件加工工艺路线必须唯一确定的传统限制已被突破,工件具有多个可选择的加工路线,即路径柔性已成为生产的实际需求。车间生产调度系统正在由单目标优化向多目标优化发展,使车间调度更贴近实际车间的情况。

(五)排程可视化、最优化、精准化

在生产能力负荷范围内避免拖期及无辜等待时间,对计划变更能做出快速的响应。排程系统为柔性的,满足生产组织的灵活性,支持插单功能,同时也支持数据的自动调整与修正等。提升计划的精确度及效率,建立高精度的未来生产计划,实现可视化和目标管理,以分钟的精度建立。工厂的每一台机器设备或者每位工作人员从明天到未来的生产计划,并且导出可行的生产指令。

随着生产调度研究的深入及调度算法与生产实践的进一步相结合,生产调度研究已经从理论探索转移到实际应用阶段。目前,在基础数据的制定和规范方面做了大量的工作,如物料的编码管理等,为企业进一步的信息化集成奠定了良好的规范化基础,促进企业向现代企业模式的转变,为企业的可持续发展提供动力。将信息技术与现代管理技术、工业过程控制技术等相结合,通过信息化带动工业化进而取得企业的进步和发展将是企业的必由之路。大规模动态复杂生产调度系统是未来研究中的一个热点与难点,对于生产调度问题这一具有 NP-Hard 特性的研究,随着应用数学方法的发展,必然朝着集成化、动态实用化、多目标化、高度优化方向深入。

参考文献:

- [1] 沈福金.缩短节拍时间与柔性实用相结合[J].世界制造技术与装备市场,2005,(2): 156-157.
- [2] 袁刚.多品种小批量机械制造企业生产管理流程优化研究[D].天津:天津大学研究院,2005:4.
- [3] 成浩.求解作业车间调度问题的禁忌演化算法[D].武汉:武汉理工大学机电工程学院,2006:10.
- [4] Brian Slack,James J. Wang.The Challenge of Peripheral

- Ports:all Asian Perspective [J].Geo Journal,2002,56 (2): 159-166.
- [5] Raymond K.Cheung, Judy H.Tong and Brian Slack.The Transition from Freight Consolidation to Logistics:the Case of Hong Kong [J].Journal of Transport Geography,2003,11(4): 245-253.
- [6] John R.M.Gordon,Pui—Mun Lee, Henry C.Lucas Jr.A Resource-Based View of Competitive Advantage at the Port of Singapore [J].Journal of Strategic Information Systems, 2005,14(1):69-86.
- [7] Jose Tongzon,Wu Heng.Port Privatization,Efficiency and Competitiveness:Some Empirical Evidence from Container ports (Terminals)[J].Transportation Research Part A:Policy and Practice,2005,39(5):405-424.
- [8] 朱剑英.现代制造系统模式、建模方法及关键技术的新发展[J].机械工程学报,2000,(8): 1-5.
- [9] 夏锐.基于约束理论的生产作业计划模型研究[D].江门: 五邑大学,2006:14.
- [10] 方剑.进化算法及其在 Job Shop 调度中的应用[D].上海: 上海交通大学自动化研究所,1996:9-15.
- [11] 张纯刚,席裕庚.动态未知环境中移动机器人的滚动路径规划[J].机器人,2002,(1):71-75.
- [12] 何霆.车间生产调度问题研究[J].机械工程学报,2000,36 (5):97-102.

[责任编辑: 孔康伟]

Discussion of Production Scheduling System under Globalization

DONG Peng¹, YU Chang-li², DONG Yin-hong³, CUI Chun-sheng⁴, DONG Nai-quan⁵, ZHAO Liang-hui⁶
(1.Carlisle (Meizhou) Rubber Manufacturing Co., Ltd, Meizhou514759, China; 2. School of Naval Architecture, Harbin Institute of Technology, Weihai 264209, China;3. School of Management, South-Central Nationalities University, Wuhan 430074, China;4. School of Computer, Henan University of Economics and Law, Zhengzhou 450046, China; 5. Tianjin Institute of Electronics and Information Technology, Tianjing 300132,China; 6. School of Management, Wuyi University, Jiangmen 529020, China)

Abstract: To cater for the customer's demand, production scheduling system shall be able to promote efficiency, dynamic and agility of the production. Taking the production scheduling system as the object, the paper summarizes problems arising in the operation of traditional production scheduling system in terms of the basic elements of production scheduling such as its objectives, methods, means and resources, and generalizes method of production scheduling from the perspective of system integration and the improvement measures. The paper introduces strategy coping with the uncertainty and evaluation indexes. With the idea of system integration, this paper probes into scheduling system model under the supply chain. Finally, it pictures the prospect of an integrated, dynamic, efficient and intelligent, flexibility and visualized scheduling system.

Key words: production scheduling system; system integration; production uncertainty