

企业生产计划与调度的实践研究述评^①

——社会技术系统视角

丁 珈,万国华*

(上海交通大学安泰经济与管理学院,上海 200030)

摘要: 生产计划与调度是企业运营管理的重要环节. 由于其重要性, 科研和管理人员对其实施逻辑、实现技术及企业实践进行了大量研究, 取得了丰硕成果. 然而当企业面临不确定环境和复杂调度问题时, 这一问题迄今仍未有满意的解决方案. 事实上, 企业的生产计划与调度过程是一个高度耦合的社会技术系统. 本文从这一视角出发, 基于信息处理理论和权变理论, 对企业计划与调度实践中的“人”、“技术”、“组织”及三者间的交互作用研究进行了文献回顾与总结. 进一步, 提出了考虑不确定性和复杂性两个维度的计划与调度研究的理论框架, 并利用该框架讨论了若干重要的未来研究方向.

关键词: 生产计划与调度; 生产管理实践; 社会技术系统; 不确定性; 复杂性

中图分类号: C935 文献标识码: A 文章编号: 1007-9807(2020)12-0110-14

0 引 言

生产计划与调度是企业运营管理的重要环节, 对于制造企业提升运营绩效起着重要作用. 近年来, 信息技术的快速发展、产品生命周期的缩短和顾客需求的多样化, 导致企业生产过程及其管理出现高度的不确定性和复杂性, 为企业生产计划与调度带来了新的挑战.

半个多世纪以来, 国内外研究人员和管理者对生产计划与调度问题进行了长期而深入的探索, 并取得丰硕的成果. 其研究工作聚焦于两个方面: 第一, 生产计划与调度的数学模型及求解算法. 例如: Blazewicz 等^[1]系统、深入地讨论了计算机和制造系统中确定性排序与调度的数学模型和算法; Baker 和 Trietsch^[2]特别讨论了随机性排序与调度问题; Pinedo^[3]除系统地讨论确定性和随机性排序与调度理论、模型和算法外, 还专门讨论了实际的排序与调度规则和系统; 万国华^[4]对制

造及服务系统中的确定性排序与调度理论、模型和算法进行了系统、全面的讨论. Potts 和 Strusevich^[5]的综述论文对这方面的研究做了一个很好的总结.

第二, 面向企业实践的生产计划与调度系统. 数学模型和算法可以得到在特定条件下问题的最优解, 但由于这些条件的限制, 难以在管理实践中直接应用. 然而, 数学模型和算法的研究提供了问题求解的方法以及管理洞见, 成为解决实际调度问题的启发式规则、计算智能或人工智能的基础. 例如: Morton 和 Pentico^[6]讨论了能够在较短的时间内找到合理调度方案的启发式规则; Zweben 和 Fox^[7]、Brown 和 Scherer^[8]则研究了基于计算智能和人工智能的排序与调度系统. 当面临企业生产实践时, 排序与调度决策还受到企业计划的直接影响, 由此, Sule^[9]将排序与调度问题的解决方案扩展至涵盖工厂选址、产能确定直至工厂内部的

① 收稿日期: 2020-01-26; 修订日期: 2020-07-20.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71520107003; 71421002).

通讯作者: 万国华(1966—), 男, 江西南昌人, 博士, 教授, 博士生导师. Email: ghwan@sjtu.edu.cn

运营; 进一步, Stadler 等^[10] 讨论了供应链与高阶排序与调度系统 (advanced planning system, APS)。

尽管研究人员在上述两方面取得了丰富的研究成果, 但企业生产计划与调度问题仍未能较好地得到解决^[11], ERP 和 APS 等系统在实施和运行过程中还存在各种问题, 许多生产计划与调度人员仍然被迫基于 Excel 表格进行人工排程。与此同时, 生产计划与生产调度这两个阶段缺乏有效链接, 比较精准的主生产计划无法有效地转化为细致的生产调度方案。Fransoo 等^[12] 和 Herrmann^[13] 指出, 目前的计划与调度理论与模型所解决的问题过于简化和聚焦, 最优方案脱离企业管理实际, 忽略或缺乏对组织和行为因素的考虑。

为深入理解企业生产计划与调度实践, 使理论紧密联系实际并指导实践, 传统的实施逻辑、实现技术和数学模型及算法的“主流”研究范式需要进一步拓展, 需要从社会技术系统的视角深入研究企业生产计划与调度问题。

本文对聚焦实践的生产计划与调度文献进行系统的梳理, 从理论基础、研究框架、研究方法和研究进展等方面进行归纳和总结, 旨在为该领域提供一个新的理论框架, 并讨论未来可能的研究方向。

1 生产计划与调度实践研究的理论基础、研究框架和研究方法

生产计划与调度指的是企业为匹配供需, 对其生产活动按时间最优地分配资源的管理活动。其中, 生产计划反映了企业生产过程的中长期计划, 指的是企业基于需求预测、库存水平和资源状况, 对产品组合和资源分配的规划; 生产调度则覆盖较短的时间范围, 旨在为一系列生产任务按时间最优地分配资源^[4]。由于生产计划与调度都是按时间配置资源的管理活动, 因此在下文中不作详细区分。

1.1 理论基础

生产计划与调度是一个面向不确定性和复杂性的信息处理过程。它需要计划的对象、达到的目

标和满足的约束等作为输入, 然后通过计划与调度过程, 以生成的计划与调度方案、目标实现及约束是否满足等作为输出。这一过程中的不确定性和复杂性, 提升了信息处理的需求和难度。信息处理理论^[14-17] (information processing theory) 作为研究企业信息处理活动的理论, 为研究生产计划与调度过程提供了合适的理论基础。

个人层面, 信息处理理论将人的大脑视为信息处理器, 人们需要收集、使用和交换各种信息以进行决策; 组织层面, 信息处理理论将组织视为信息处理器, 并指出组织应采取减少信息处理需求和提升信息处理能力两种策略应对输入的不确定性^[14-17]。然而, 减少信息处理需求往往导致绩效水平的降低, 因此, 组织应聚焦于信息处理能力的提升, 即研究如何建立及完善组织内各种信息处理机制并借助技术手段提升信息处理能力。

另一方面, 企业的生产计划与调度面临高度变化的情境, 在不同的情境中, 需要不同的生产计划与调度过程。通过识别权变因素区分企业所面临的生产计划与调度情境, 进而针对各情境设计最为契合的计划与调度方案, 并持续调整以适应不断变化的情境, 才有可能维持良好的运营绩效。因此, 权变理论 (contingency theory) 是研究企业生产计划与调度的另一理论基础^[18]。

本文将基于上述两个理论, 提出一个研究企业生产计划与调度的研究框架, 以此为基础, 分析相应的研究文献, 探讨面向实践的企业生产计划与调度问题的未来研究方向。

1.2 研究框架

1.2.1 不确定性与复杂性

实际生产系统中普遍存在的不确定性和复杂性为企业的生产计划与调度决策带来挑战, 同时也是企业将主生产计划转化为最优生产调度方案的困难所在。不确定性可定义为执行某一任务所需的信息量与已拥有的信息量之间的信息差^[14]。由于输入信息的缺乏, 生产计划与调度系统的输出结构的最优性和可靠性可能存在严重问题。复杂性指的是已知所有必要信息, 但由于相关因素众多且它们之间的相互关系复杂而导致信息无法有效处理^[19-21]。在生产计划与调度中, 对于约束

条件众多、调度目标多样等问题,即使输入信息均确定可得,也非常难以求解。

由于不确定性和复杂性是一个问题的不同侧面,它们在某种程度上存在关联,目前文献中没有明确区分不确定性和复杂性,往往将二者混为一谈。例如,Mula等^[22]提出环境不确定性和系统不确定性,Jonsson和Ivert^[23]、Bozarth等^[24]提出细节复杂性和动态复杂性,De Snoo等^[25]提出环境不确定性和执行不确定性,但都没有清晰地区分不确定性和复杂性。事实上,不确定性来自于计划与调度的外部环境,上游供应方、下游需求方和企业自身的生产环境均会引入不确定性;而复杂性则是计划与调度问题的内生属性和固有特征,来自于实际生产中企业的产品结构、制造流程、响应时间等,表现为计划与调度问题本身的组合爆炸性质。

本文根据上述定义,明确区分企业生产计划与调度中的不确定性和复杂性,这对于寻求生产计划与调度问题的合理解决方案具有重要意义。

1.2.2 社会技术系统

由于不确定性和复杂性的存在,实践中的生产计划与调度不仅是一个需要求解的数学问题,它更多的是一个需要管理的过程^[25]。纵向上,企业的生产计划向上对接战略层的组织目标和经营

计划,向下连接运作层的物料需求和生产运行;横向上,整个计划与调度过程与生产、销售、采购部门紧密关联。因此,为了全面、深入地理解实践中的计划与调度过程,应在整个生产管理和执行系统中从系统的视角进行研究。

生产系统是一个由社会子系统及技术子系统组成的社会技术系统(socio-technical system),组成生产系统的社会、技术两个子系统必须整合为一个有机整体,才能实现企业的成功运营^[26]。生产计划与调度中的社会子系统关注负责生产管理的人员(例如:人的技能、心理、行为)和组织(例如:组织架构、业务流程)^[27],而技术子系统则包括用于解决企业生产计划与调度问题的模型、算法和软硬件系统。

从以上分析可以看出,企业生产计划与调度的研究和实际脱节的主要原因在于大量研究仅聚焦于技术子系统而缺乏对社会子系统的关注,同时对于实际问题中的不确定性和复杂性考虑不够。因此,研究实践中的企业计划与调度应基于社会技术系统视角,考虑存在高度不确定性和复杂性的企业情境下,如何协同两个子系统以实现人、技术和组织的融合,从而更好地解决生产计划与调度这一难题。为此,本文提出图1所示的基本研究框架。

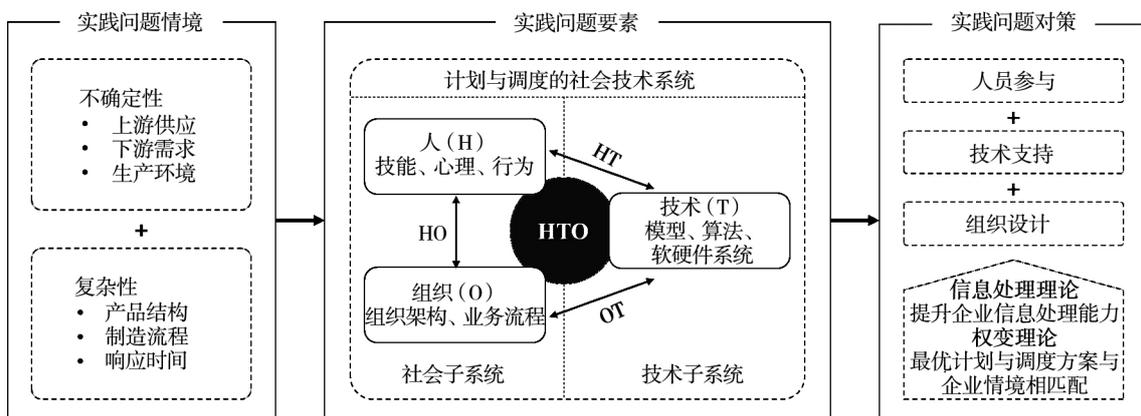


图1 生产计划与调度实践研究的基本研究框架

Fig. 1 Framework of practice-focused research on planning and scheduling

1.3 研究方法

企业生产计划与调度实践研究聚焦企业情境,关注计划与调度过程中构成社会子系统的人与组织。因此,实证研究是研究实践问题的主要研究方法,具体包括案例研究、实验研究和问卷调

查法。

案例研究侧重于组织和系统层面,能够深入企业情境进行分析并产生丰富的描述。当缺乏相关理论,现象错综复杂且缺乏准确的定义和度量标准时,案例研究方法最为适用^[28]。因此,案例研

究方法有助于研究不确定和复杂环境下,计划与调度问题中人、技术、组织的交互作用及其产生的影响,厘清复杂现象背后的各种关系.实验研究则侧重于个体和团队层面,主要研究计划与调度过程中人的心理及行为,例如,生产计划人员的启发

式(heuristics)与偏见(bias),计划与调度活动中的目标设置、过程中的反馈与控制策略等.问卷调查则介于案例研究与实验研究之间,主要研究计划与调度过程中的现象、问题及相关观点.表1对各类实证方法的适用性进行了总结.

表 1 生产计划与调度实践研究的实证方法

Table 1 Empirical methods for practice-focused research on planning and scheduling

研究范畴	研究问题	研究方法		
		案例研究	实验研究	问卷调查
生产计划与调度中的个人	生产计划相关人员的启发式、偏见	★	★★★★★	★★★★
生产计划与调度中的组织	计划与调度的绩效标准、组织元素的相互依赖、集体决策	★★★	★★★★★	★★★
生产计划与调度系统	系统中的人、技术和组织的耦合	★★★★★	★★★	★★

注:改编自 Bendoly 等^[29,30] 星号标记代表研究方法的适用性.

2 生产计划与调度实践研究进展

国外学者针对实践中的生产计划与调度进行了大量研究,但国内的相关研究较少.根据图1的基本研究框架,本文从构成计划与调度系统的人、技术、组织,以及三者之间的交互对相关研究进行回顾和总结(表2).

2.1 人(H)

在生产计划与调度中,人的因素非常重要.对计划员和调度员在生产计划与调度中所承担的角色和任务,Jackson 等^[31]识别出三种重要角色,即:与利益相关方社交互动的人际角色,收集和传递信息的信息角色,以及制定计划与调度方案的决策角色;Larco 等^[32]在此基础上补充了监控角色和事务角色,并发现调度员在信息角色上花费的时间大大高于决策角色.在日常计划与调度活动中,计划员和调度员需要充分发挥不同角色的作用.这些角色促使他们在完成例行的计划与调度任务外,还承担维护与补救任务,以应对不断变化且充满扰动的计划与调度环境^[31].

计划员和调度员的认知和行为也会影响计划

与调度活动.Fransoo 和 Wiers^[33]发现,面对复杂的计划与调度任务时,计划员和调度员会增加调度的次数和多样性;Gasser 等^[34]发现在充满不确定性、快速变化、有限信息的环境中,人的决策很大程度上是非算法的,往往依据经验而非计算预期风险和效用.因此在实践中,计划员和调度员会根据生产和业务知识及个人经验进行计划与调度决策^[35].不同于新手对战术细节的考虑(例如:约束是否满足),有经验的计划员更加关注调度问题的策略(例如:目标制定、程序步骤等)^[36].

综上所述,计划与调度实践研究与基于数学模型和软件研究的主要区别在于对人的因素的考虑.实践中的计划与调度活动离不开人的参与,他们影响着计划与调度的过程与结果.人的灵活性和适应性,在矛盾冲突下的协调与沟通,以及应对模糊问题时的创造性解决方案在计划与调度活动中有着重要作用.然而,McKay 和 Wiers^[37]指出,相比于在数学模型和软件开发方面的研究,人的作用与贡献在研究中很大程度上被忽视.

2.2 技术(T)

聚焦实践的生产计划与调度研究关注技术的实际应用.Jonsson 和 Ivert^[23]的实证研究发现,简

单粗放的方法(例如:根据个人经验做出的粗能力计划)对计划可行性和交付服务有负面影响,而精密复杂的计划方法(例如:考虑均衡能力、优化的有限负荷方法)可以减少复杂环境带来的负面影响,生成优化的调度方案。尽管精密、复杂的模型和算法有很多优势,但在实际中却未被充分利用。Jonsson 和 Mattsson^[38]、Tenhiälä^[39]的问卷调查显示仅约 30%~40% 的企业使用有限负荷方法。McKay 等^[11]认为其主要原因在于这些调度算法:1) 缺乏灵活性和可配置性以应对多样且动态的实际问题;2) 无法持续稳定地生成最优调度方案;3) 缺乏适应性和学习能力以应对不断发生变化的目标和约束;4) 无法应对实际问题中往往存在冲突的多个目标。

2.3 组织(O)

实践中企业一般采用分层生产计划(hierarchical production planning)对其生产活动进行管理^[40]。分层生产计划的优势在于可降低问题复杂度,促进快速响应,并尽可能多地使用所在层级的信息解决问题^[41,42]。O'Reilly 等^[43]指出分层生产计划有助于明确战略层面和执行层面计划的制约因素和优先事项,进而指导运作层计划的制定;分层计划体系也能帮助中小企业聚焦关键运营指标,促进内部整合,提升企业绩效;Moscoso 等^[44]研究了在分层计划系统中如何降低计划的不稳定性问题,并通过案例研究发现,采取集中式的计划与调度决策能够显著改善计划结果,实现按期交付并大幅减少订单积压;Meyer 等^[45]和 Arica 等^[41]则认为理想的计划与调度决策应综合集中式与分散式决策的优点,从而对不确定性事件进行及时有效的响应,企业在实践中应该通过二者的整合设计生产计划与调度的组织结构与业务流程。

生产计划与调度实践研究中对组织因素的研究主要聚焦于计划与调度的组织模式和架构。由于组织是所有计划与调度活动的载体,同时反映了聚合意义上的个体行为,因此对于组织的分析需要进一步结合与人的交互、与技术的交互开展。

2.4 人与组织交互(HO)

组织中沟通与协作机制的建立是研究生产计划与调度中人与组织交互的重点。计划员和调度

员要充分发挥信息角色,在动态、不确定的环境下传递及处理来自企业内外部的信息,实时应对变化与扰动,以保证生产任务的顺利完成。因此,组织设计应关注如何促进信息流通,因为信息共享可以显著减少不确定性带来的负面影响^[46]。

De Snoo 等^[25]通过企业访谈发现,传统的计划与调度绩效指标(例如:完工时间、延迟、提前、拖期等)是不充分的。在不确定环境中需要更为频繁的信息交换,人们对调度过程的关注基于对最优调度方案的关注,及时性、灵活性、沟通和协调等因素是实践中评判调度方案优劣的重要绩效标准。因此,在更为切实完善的绩效指标下,企业需要关注考虑组织与行为因素的沟通协作机制,从而优化计划与调度方案。

文献中已涉及的沟通与协作机制主要包括:

1) 集中办公。De Snoo 等^[47]通过将计划部门安置在车间附近的准实验研究发现,计划员和车间调度员因此增加了面对面交流的次数,该举措带来的沟通便利性的提高对生产活动的顺利进行产生正面影响;2) 正式与非正式沟通渠道的建立。Tenhiälä 和 Salvador^[48]发现,相比于电话、邮件等非正式沟通渠道,会议、ERP 系统等正式沟通渠道更有助于缓解生产计划执行过程中扰动带来的负面影响,且正式与非正式沟通渠道相互补充效果最佳;3) 跨部门合作。Oliva 和 Watson^[49]通过单案例研究发现,在各职能部门目标冲突的情况下,计划制定过程中的相关属性—信息质量、流程质量,尤其是人员达成共识的对齐质量—可以促进跨职能的整合,进而实现计划的有效制定。此外,计划员和调度员感知的任务相互依赖性^[50]和目标不一致性^[51]也会影响计划与调度过程中的沟通与协作,需要通过组织设计进行干预。

2.5 人与技术交互(HT)

生产计划与调度中,计划员和调度员需要使用相关的硬件设备和软件系统,因此存在大量人与技术的交互。一方面,技术会带来不确定性,因此他们需要经常深入一线、巡视车间,检查生产情况并应对生产过程中由技术带来的突发事件和扰动,例如工厂停电、设备故障、设备精度不达标、工装不符合标准等,并第一时间解决或上报问题,尽

可能减少技术对生产的影响。

另一方面,技术是完成生产任务、处理复杂问题的有力手段,主要载体是决策支持系统。Wiers^[52]指出决策支持系统负责生产计划与调度活动中例行、费力和重复性的任务,但异常情况和突发事件则必须人工处理。由于人只能应对有限的复杂性,因此人机合作非常重要^[53]。Bendul 和 Knollman^[54]指出,为了避免生产计划与调度实践中人的认知偏差造成的负面影响,决策支持系统在设计时应考虑提前期综合症(lead time syndrome); Letmathe 和 Zielinski^[21]通过实验证明,对于新的复杂生产计划与调度任务,信息过载和员工有限的认知能力会使反馈信息无效,因此在设计支撑复杂决策的反馈系统时,必须将决策者的个人特征(教育背景、工作经验)纳入考虑才能真正提高决策绩效并提升员工的学习效率。然而在实际中,决策支持系统的用户界面和处理流程不友好、人机任务设计不合理^[11]等问题依旧突出。这导致在数字化转型和工业 4.0 等概念被广泛提及的今天,人们仍然频繁使用自行开发的小工具和电子表格进行计划与调度^[35,55]。

决策支持系统的成功不仅取决于其客观输出,还取决于与用户相关的主观因素,例如接受度、易用性、使用风险等^[56],而后者在计划与调度技术的研究中经常被忽略。由于实践中的计划与调度问题具有复杂的目标与约束,单纯依托技术解决方案,或是人的经验知识均无法有效解决问题,因此,研究技术如何支撑人的决策,人与技术如何交互在生产计划与调度中尤为重要。

2.6 组织与技术交互(OT)

企业情境会影响计划与调度的技术选择和实施,而组织与技术应相互匹配^[38]。Silver 等^[57]给出了计划与调度技术选择的框架:对于混杂多任务加工,计划与调度往往采用特定的排序规则,且与设施的物理布置有关;离散的流水批量加工,应采用优化生产技术进行生产调度;对于连续的流水装配线,备货型生产以准时生产(JIT)为原则,而订货型生产则基于 MRP 制定生产计划与调度方案;大宗商品的连续型生产,则仅需定期审查和周期性制定调度方案。Tenhiälä^[39]通过实证说明

生产能力计划与企业制造流程之间的适应性与运营绩效显著正相关,即:多任务加工使用粗能力计划,批量生产使用能力需求计划,需要进行瓶颈控制的批量生产和流水线使用有限负荷方法。进一步,技术与组织的相互匹配才能实现高效运营。

在不确定性很高的环境中,使用 ERP 系统进行生产计划与控制对企业有益^[58]。Tenhiälä 等^[59]对比了 ERP 系统和具有特定业务功能的独立应用软件(stand-alone enterprise applications, SEA),如生产计划常用的 Aegis、Apriso 和 Quintiq 解决方案。他们发现,当组织中的业务部门相互独立时,使用 SEA 管理信息比 ERP 系统更为有效;反之,若组织中各业务部门相互依赖程度较高,则 ERP 系统更为有效。

2.7 人、技术与组织的交互(HTO)

针对生产计划与调度实践,有学者综合考虑人、技术与组织因素并提出概念模型。Jackson 等^[31]认为实践中的生产计划与调度受生产过程、组织架构、信息系统、人员和绩效度量标准五大要素的影响;Berglund 和 Karlton^[35]指出计划与调度过程中人的作用难以被计算机替代,正式和非正式组织、生产系统的技术限制和计划与调度软件均会影响生产计划与调度过程。

也有许多研究以计划与调度系统成功实施的关键因素为切入点,力图揭示人、技术与组织之间的交互关系。Framinan 和 Ruiz^[60,61]指出计划与调度系统应考虑用户界面及与企业现有信息系统集成问题,并关注企业的业务逻辑。张喆等^[62]和叶强等^[63]研究发现,组织环境和用户环境是 ERP 系统成功推行的关键要素,其中组织环境包括高层管理者和企业范围内的支持、业务流程重组、有效的项目管理和组织文化;用户环境则包括教育和培训、用户参与和用户特征。Li 等^[64]认为,在环境不确定性、竞争压力和合作伙伴准备度的外部影响下,包含内部文化、组织结构、资源可用性和技术能力在内的组织准备是促进组织间知识共享,提高 ERP 实施效率的关键因素。APS 系统的成功实施则依赖于成熟的员工、技术和组织^[65],以及组织内部关于生产控制决策权的归属是否已达成一致^[66]。

表 2 生产计划与调度实践研究文献总结

Table 2 Literature on practice-focused research on planning and scheduling

研究主题	研究问题	代表文献	主要研究结论	实践研究侧重点
人(H)	计划员与调度员的角色和任务	Jackson 等 ^[31] , Berglund 和 Karlun ^[35] , Larco 等 ^[32]	计划员与调度员需要承担与利益相关方社交互动的人际角色、收集和传递信息的信息角色、制定计划与调度方案的决策角色、监控角色和事务角色	研究人对计划与调度过程的影响及发挥的作用
		Jackson 等 ^[31]	计划员和调度员日常需要执行例行任务、维护任务和补救任务	
		Berglund 和 Guinery ^[67]	尽管计划员与调度员的正式权力不大,但在实践中因为他们能获取相关信息、具备经验知识和社交技能而具有很大的影响力,进而能够支持满足客户需求的订单履行和快速响应	
	计划员与调度员的认知和行为	Fransoo 和 Wiers ^[33]	随着任务复杂性的提高,计划员与调度员会增加采取计划行动的次数及多样性	
		Berglund 和 Karlun ^[35] , Gasser 等 ^[34]	在不确定的环境中,人的决策往往是非算法的,计划员与调度员使用大量生产和业务知识及个人经验进行决策	
		Guerin 等 ^[36]	经验会改变计划员和调度员的计划策略,相比于新手,专家更加关注策略层面而非战术层面的问题	
技术(T)	计划与调度技术	McKay 等 ^[11]	调度算法缺乏灵活性、可配置性、鲁棒性、适应性和学习能力,无法应对实际的多目标问题,因此实际中难以真正应用	研究如何建立可以应用于实践的计划和调度技术及系统
		Jonsson 和 Ivert ^[23]	精密复杂的计划方法可以减少复杂计划环境带来的负面影响并生成更可行的计划方案	
组织(O)	计划与调度的组织模式和架构	Moscato ^[44]	采取集中式的计划与调度决策能够显著改善计划结果,降低计划的不稳定性	研究如何进行组织设计以支撑实践中计划与调度的全过程
		Meyer 等 ^[45] , Arica 等 ^[41]	理想的计划与调度决策应结合集中式决策与分散式决策的优点,从而对不确定性事件进行及时和有效的响应	
		O'Reilly 等 ^[43]	层级式的生产计划有助于明确战略层和执行层计划的制约因素和优先事项,进而指导运作层计划的制定;能够帮助中小企业聚焦关键运营指标,促进内部整合,提升企业绩效	

续表 2

Table 2 Continue

研究主题	研究问题	代表文献	主要研究结论	实践研究侧重点
人与组织交互 (HO)	计划与调度绩效指标	De Snoo 等 ^[25]	不确定环境下需要更为频繁的信息交换,因此人们对调度过程的关注甚于对最优排序方案等调度结果的关注,及时性、灵活性、沟通和协调等调度过程因素是人们评判调度方案优劣的重要绩效标准	研究如何建立组织中的沟通协调机制以提升信息处理能力
		Wiengarten 等 ^[46]	采购、生产和需求的不确定性会增加车间级别的工作场所事故,而信息共享能显著减少不确定性的负面影响	
	沟通与协作机制	Nauta 和 Sanders ^[51]	计划员感知到的目标差异与部门冲突的频率及严重程度正相关,可以通过组织层面的干预降低目标不一致的感知	
		De Snoo 等 ^[47]	通过将计划部门安置在车间附近,计划员和调度员增加了面对面交流的次数;该举措带来的沟通便利对生产的顺利进行产生正面影响	
		Oliva 和 Watson ^[49]	在各职能部门目标冲突的情况下,计划制定过程中的相关属性—信息质量、流程质量、对齐质量—可以促进跨职能整合,进而促进计划的有效制定	
		De Snoo 和 van Wezel ^[50]	在进行重调度时,团队决策协作模式优于分散决策协作模式,因为计划员能够感知到任务相互依赖性	
Tenhialä 和 Salvador ^[48]	相比于电话、邮件等非正式沟通渠道,会议、ERP 系统等正式沟通渠道更有助于缓解生产计划执行过程中扰动带来的负面影响,且正式与非正式沟通渠道互补效果更佳			
人与技术交互 (HT)	决策支持系统设计	Wiers ^[52] , Yahoui ^[53]	决策支持系统主要负责生产计划与调度活动中例行的、费力的和重复性的任务,而一些异常情况和突发事件则必须由计划员与调度员进行处理;由于人只能应对有限的复杂性,因此需要人机合作	研究如何构建决策支持系统以提升信息处理能力
		McKay 等 ^[11]	用户界面和流程不友好,人机任务设计不合理导致生产计划与调度系统无法成功应用于实践	
		Bendul 和 Knollman ^[54]	为避免计划与调度过程中人的认知偏见造成的负面影响,决策支持系统在设计时应充分考虑人的因素以防止因人员过度反应或误解而造成人为错误	
		Letmathe 和 Zielinski ^[21]	针对新的复杂生产计划任务,信息过载和员工的认知能力有限会使反馈信息无效,因此在设计支撑复杂决策的反馈系统时,应将决策者的个人特征纳入考虑以提高决策绩效,提升员工学习效率	
		de Man 和 Strandhagen ^[55]	尽管有 ERP、APS 系统,基于电子表格的人工计划与调度依然占据主导地位	

续表 2
Table 2 Continue

研究主题	研究问题	代表文献	主要研究结论	实践研究侧重点
组织与技术交互(OT)	计划与调度技术和企业情境	Silver 等 ^[57]	生产计划与调度技术需要与企业的产品及制造过程两个维度进行匹配	研究组织与技术如何相匹配以支撑计划与调度活动
		Jonsson 和 Mattsson ^[38] , Tenhiälä ^[39]	生产计划与调度技术应与计划环境相匹配,生产能力计划与企业制造流程之间的适应性运营绩效显著正相关	
		Tenhiälä 和 Helkiö ^[58]	当面临动态市场需求时,使用 ERP 系统进行生产计划与控制对企业有益	
		Tenhiälä 等 ^[59]	当组织中的业务部门相互独立时,使用具有特定业务功能的独立应用软件管理与流程相关的信息比 ERP 系统更为有效;相反,若组织中各业务部门相互依赖程度较高,则 ERP 系统更为有效	
人、技术、组织的交互(HTO)	实践中计划与调度的概念模型	Jackson 等 ^[31]	实践中的调度活动受制造过程、组织架构、信息系统、相关人员和绩效衡量标准五大要素的影响	研究人、技术、组织三者如何有机耦合,针对不同的不确定性和复杂性情境,人员参与、技术支持和组织设计如何有所侧重
		Berglund 和 Karlton ^[35]	生产调度过程受人、技术、组织方面的影响,其中人发挥的作用难以被计算机替代,正式和非正式组织、生产的技术限制和计划与调度软件均影响生产计划与调度过程	
	计划与调度系统成功实施的关键因素	张喆等 ^[62] 叶强等 ^[63]	组织环境和用户环境是 ERP 系统成功的关键要素,其中组织环境包括高层管理者和企业范围内的支持、业务流程重组、有效的项目管理和组织文化,用户环境则包括教育和培训、用户参与和用户特征	
		Wiers ^[66]	APS 等系统的成功实施很大程度取决于组织内部关于生产控制决策权的归属是否达成一致	
		Framinan 和 Ruiz ^[60,61]	构建计划与调度系统应考虑系统范围、建模、求解、方案评估、反应式调度、容量分析、用户界面、与现有业务信息系统集成等问题;应包括数据库管理模块、用户界面模块、计划生成模块及业务逻辑和数据提取管理模块	
		Ivert 和 Jonsson ^[65]	APS 系统能够支持企业应对复杂环境及实现远大运营目标,但其成功实施依赖于成熟的员工、组织和技术	
Li 等 ^[64]	在环境不确定性、竞争压力和合作伙伴准备度的外部影响下,包含内部文化、组织结构、资源可用性和技术能力在内的组织准备是促进组织间知识共享,提高 ERP 实施效率的关键因素			

3 一个新的理论框架及未来研究展望

3.1 新的理论框架

分析并综合上述研究进展可以发现, 实践中的计划与调度问题已获得了许多学者的关注, 但国内学者较少涉及该领域的研究, 针对中国情境、立足中国制造业发展的生产计划与调度研究尚处于起步阶段.

但是, 尽管一些研究已关注到实践中计划与调度中的不确定性和复杂性是造成理论脱离实践的重要原因, 但由于未能对二者清晰地加以区分, 导致对问题原因的分析 and 解决方案的提出不能切中要害. 进一步, 这些研究也未将不确定性和复杂性视为权变因素, 研究不同不确定性和复杂性水平下, 如何从人、技术、组织等方面进行计划与调度问题的信息处理和相应应对策略的制定. 有鉴于此, 本文提出一个新的理论框架, 并根据 1.2.1 节的定义给出了相应的企业示例(表 3).

表 3 生产计划与调度的理论框架和企业示例

Table 3 A theoretical framework with exemplar enterprises

		不确定性			
		低		高	
复杂性	低	T	技术	HO	人、组织
		(杂货、五金件制造)		(时装制造)	
	高	HT	人、技术	HTO	人、技术、组织
		(飞机、火箭制造)		(个人电脑、手机制造)	

从上表可以看出, 实践中有效的计划与调度需要人员参与、技术支持和组织设计, 但在不同情境下应有所侧重. 当不确定性和复杂性水平较低时, 企业计划与调度过程易于管理. 在此情境下, 需要处理的信息比较完整、准确, 干扰因素少, 因此, 最优的计划与调度方案可借助数学模型和算法由计算机自动生成, 技术能够有效支撑整个计划与调度过程; 当复杂性高、不确定性水平低时, 计划与调度过程需要同时依赖于人与技术, 复杂问题的求解既需要技术提供数据存储和计算能力的支持, 也需要人对复杂问题的逻辑关系进行梳理和分析, 为技术开发提供输入, 才能较好地解决问题; 当不确定性高、复杂性水平低时, 人需要大量参与计划与调度过程, 而组织需要建立有效的信息处理机制以帮助计划人员在动态多变的环境中进行决策; 当不确定性和复杂性均处于较高水平时, 企业的计划与调度过程将变得非常困难, 需要人、技术和组织三者之间有效耦合, 相互补充, 共同支撑, 其解决方案应该在技术的基础上, 结合人的能动性和组织支撑, 建立起柔性的人机互动系统以提供生产计划与调度问题的解决方案.

3.2 未来研究展望

中国作为世界第一制造业大国, 其产业已经覆盖国际标准中制造业大类所涉及的所有行业, 是制造体系最为完整的国家. 为进一步提升中国制造业的效率, 优化其生产计划与调度过程十分重要. 考虑中国制造业不同行业中企业的具体情况, 并根据其不确定性和复杂性水平, 有针对性地研究它们的生产计划与调度解决方案, 极具理论和实践意义. 特别地, 未来研究可围绕以下方面开展.

第一, 探索计划与调度理论和实践之间的差距, 尤其在中国情境下, 通过理论构建解释差距如何产生、为什么产生以及如何缩小差距. 一方面, 通过实证研究为理论建模提供依据与输入, 使理论模型真正能够反映实践问题、指导实践活动; 另一方面, 对企业计划与调度活动中的重要影响因素进行研究, 为优化模型、先进技术在企业的成功应用奠定基础.

其次, 针对新的理论框架(表 3)中不同不确定性和复杂性水平的组合, 研究相应的人员参与、技术支持和组织设计策略. 当复杂性高、不确定性水平低时, 研究如何建立具有鲁棒性、适应性和学

习能力的计划与调度系统,更好地辅助人们进行计划与调度决策;当不确定性高、复杂性水平低时,研究如何进行组织设计以支撑实践中计划与调度的全过程,探讨有效的沟通机制提升人员和组织的信息处理能力;当不确定性和复杂性均处于高水平时,探索人、技术、组织三者之间如何有效耦合,研究在企业具体组织模式下,如何发挥人类智能和人工智能二者的优势以管理实践中的计划与调度活动。

4 结束语

生产计划与调度具有组织并指导企业生产活动有序开展的重要作用,是制造企业生产管理的重要环节。研究人员和管理者对于生产计划与调度问题的探索由来已久。然而,以往的大量研究聚焦实施逻辑、实现技术和数学模型及算法等理论研究,缺乏对现实中广泛存在的不确定性和复杂

性的考虑,导致学术研究与企业实践较为严重的脱节。基于社会技术系统视角,本文提出研究实践中计划与调度问题的新思路,即通过考虑生产实践中不确定性和复杂性的权变因素,以人、技术、组织及其交互作用为切入点进行研究。具体而言,在复杂性高、不确定性低的环境中,需要人机合作从而有效进行计划与调度活动;不确定性高、复杂性低的环境则需要人的参与和组织的支持以提升信息处理能力;当不确定性和复杂性都处于高水平时,人、技术和组织三者必须进行有效耦合加以应对。通过加强对人的因素、组织因素的关注,有利于弥合理论与实际的差距,从而使丰富的计划与调度技术能够真正支撑或指导实践中的企业运营。本文对企业生产计划与调度实践该领域的主要研究进展进行了总结与分析,并提出一个新的理论框架,探讨了未来的研究方向,希望引起研究人员和管理者对中国情境下企业生产计划与调度实践问题的关注。

参考文献:

- [1]Blazewicz J, Ecker K H, Pesch E, et al. Scheduling Computer and Manufacturing Processes [M]. 2nd ed. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 2013.
- [2]Baker K R, Trietsch D. Principles of Sequencing and Scheduling [M]. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 2013.
- [3]Pinedo M. Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems [M]. 5th ed. New York: Springer, 2016.
- [4]万国华. 排序与调度的理论、模型和算法 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2019.
Wan Guohua. Theory, Models, and Algorithms for Sequencing and Scheduling [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2019. (in Chinese)
- [5]Potts C N, Strusevich V A. Fifty years of scheduling: A survey of milestones [J]. Journal of the Operational Research Society, 2009, 60(1): S41-S68.
- [6]Morton T, Pentico D W. Heuristic Scheduling Systems: With Applications to Production Systems and Project Management [M]. New York: John Wiley & Sons, 1993.
- [7]Zweiben M, Fox M S. Intelligent Scheduling [M]. San Francisco: Morgan Kaufmann, 1994.
- [8]Brown D E, Scherer W T. Intelligent Scheduling Systems [M]. New York: Kluwer Academic Publishers, 1995.
- [9]Sule D R. Production Planning and Industrial Scheduling: Examples, Case Studies and Applications [M]. 2nd ed. Boca Raton: CRC press, 2007.
- [10]Stadler H, Kilger C, Meyr H. Supply Chain Management and Advanced Planning: Concepts, Models, Software, and Case Studies [M]. 5th ed. Berlin: Springer, 2015.
- [11]Mckay K, Pinedo M, Webster S. Practice-focused research issues for scheduling systems [J]. Production and Operations Management, 2002, 11(2): 249-258.
- [12]Fransoo J C, Waefler T, Wilson J R. Behavioral Operations in Planning and Scheduling [M]. New York: Springer, 2011.
- [13]Herrmann J W. Handbook of Production Scheduling [M]. New York: Springer, 2006.
- [14]Galbraith J. Designing Complex Organizations [M]. Reading: Addison-Wesley, 1973.

- [15] Tushman M L , Nadler D A. Information processing as an integrating concept in organizational design [J]. *Academy of Management Review* , 1978 , 3(3) : 613 – 624.
- [16] Daft R L , Lengel R H. Organizational information requirements , media richness and structural design [J]. *Management Science* , 1986 , 32(5) : 554 – 571.
- [17] Flynn B B , Flynn E J. Information-processing alternatives for coping with manufacturing environment complexity [J]. *Decision Sciences* , 1999 , 30(4) : 1021 – 1052.
- [18] Sousa R , Voss C A. Contingency research in operations management practices [J]. *Journal of Operations Management* , 2008 , 26(6) : 697 – 713.
- [19] Anderson P. Perspective: Complexity theory and organization science [J]. *Organization Science* , 1999 , 10(3) : 216 – 232.
- [20] Campbell D J. Task complexity: A review and analysis [J]. *Academy of Management Review* , 1988 , 13(1) : 40 – 52.
- [21] Letmathe P , Zielinski M. Determinants of feedback effectiveness in production planning [J]. *International Journal of Operations & Production Management* , 2016 , 36(7) : 825 – 848.
- [22] Mula J , Poler R , García-Sabater J P , et al. Models for production planning under uncertainty: A review [J]. *International Journal of Production Economics* , 2006 , 103(1) : 271 – 285.
- [23] Jonsson P , Ivert L K. Improving performance with sophisticated master production scheduling [J]. *International Journal of Production Economics* , 2015 , 168: 118 – 130.
- [24] Bozarth C C , Warsing D P , Flynn B B , et al. The impact of supply chain complexity on manufacturing plant performance [J]. *Journal of Operations Management* , 2009 , 27(1) : 78 – 93.
- [25] De Snoo C , Van Wezel W , Jorna R J. An empirical investigation of scheduling performance criteria [J]. *Journal of Operations Management* , 2011 , 29(3) : 181 – 193.
- [26] Slomp J , Ruël G C. A Socio-Technical Approach for the Design of a Production Control System: Towards Controllable Production Units [R]. Groningen: University of Groningen , Research Institute SOM , 2000.
- [27] Maccarthy B. Organizational , Systems and Human Issues in Production Planning , Scheduling and Control [M]. *Handbook of Production Scheduling* , New York: Springer , 2006: 59 – 90.
- [28] Stuart I , McHeoncut D , Handfield R , et al. Effective case research in operations management: A process perspective [J]. *Journal of Operations Management* , 2002 , 20(5) : 419 – 433.
- [29] Bendoly E , Van Wezel W , Bachrach D G. The Handbook of Behavioral Operations Management: Social and Psychological Dynamics in Production and Service Settings [M]. Oxford: Oxford University Press , 2015.
- [30] Bendoly E , Croson R , Goncalves P , et al. Bodies of knowledge for research in behavioral operations [J]. *Production and Operations Management* , 2010 , 19(4) : 434 – 452.
- [31] Jackson S , Wilson J R , Maccarthy B L. A new model of scheduling in manufacturing: Tasks , roles , and monitoring [J]. *Human Factors* , 2004 , 46(3) : 533 – 550.
- [32] Larco J , Fransoo J , WIERS V C. Scheduling the scheduling task: A time-management perspective on scheduling [J]. *Cognition , Technology & Work* , 2018 , 20(1) : 1 – 10.
- [33] Fransoo J C , Wiers V C. Action variety of planners: Cognitive load and requisite variety [J]. *Journal of Operations Management* , 2006 , 24(6) : 813 – 821.
- [34] Gasser R , Fischer K , Wäfler T. Decision Making in Planning and Scheduling: A Field Study of Planning Behaviour in Manufacturing [M]. *Behavioral Operations in Planning and Scheduling* , Berlin: Springer , 2011: 11 – 30.
- [35] Berglund M , Karlton J. Human , technological and organizational aspects influencing the production scheduling process [J]. *International Journal of Production Economics* , 2007 , 110(1 – 2) : 160 – 174.
- [36] Guerin C , Hoc J M , Mebarki N. The nature of expertise in industrial scheduling: Strategic and tactical processes , constraint and object management [J]. *International Journal of Industrial Ergonomics* , 2012 , 42(5) : 457 – 468.
- [37] McKay K N , Wiers V C S. The Human Factor in Planning and Scheduling [M]. *Handbook of Production Scheduling* , New York: Springer , 2006: 23 – 57.
- [38] Jonsson P , Mattsson S A. The implications of fit between planning environments and manufacturing planning and control methods [J]. *International Journal of Operations & Production Management* , 2003 , 23(8) : 872 – 900.

- [39] Tenhiälä A. Contingency theory of capacity planning: The link between process types and planning methods [J]. *Journal of Operations Management*, 2011, 29(1-2): 65-77.
- [40] Anthony R N. *Planning and Control Systems: A Framework for Analysis* [M]. Boston: Harvard Business School Press, 1965.
- [41] Arica E, Haskins C, Strandhagen J O. A framework for production rescheduling in sociotechnical manufacturing environments [J]. *Production Planning & Control*, 2016, 27(14): 1191-1205.
- [42] Neureuther B D, Polak G G, Sanders N R. A hierarchical production plan for a make-to-order steel fabrication plant [J]. *Production Planning & Control*, 2004, 15(3): 324-335.
- [43] O'Reilly S, Kumar A, Adam F. The role of hierarchical production planning in food manufacturing SMEs [J]. *International Journal of Operations & Production Management*, 2015, 35(10): 1362-1385.
- [44] Moscoso P G, Fransoo J C, Fischer D. An empirical study on reducing planning instability in hierarchical planning systems [J]. *Production Planning & Control*, 2010, 21(4): 413-426.
- [45] Meyer G G, Wortmann J, Szirbik N B. Production monitoring and control with intelligent products [J]. *International Journal of Production Research*, 2011, 49(5): 1303-1317.
- [46] Wiengarten F, Longoni A. How does uncertainty affect workplace accidents? Exploring the role of information sharing in manufacturing networks [J]. *International Journal of Operations & Production Management*, 2018, 38(1): 295-310.
- [47] De Snoo C, Van Wezel W, Wortmann J C. Does location matter for a scheduling department? [J]. *International Journal of Operations & Production Management*, 2011, 31(12): 1332-1358.
- [48] Tenhiälä A, Salvador F. Looking inside glitch mitigation capability: The effect of intraorganizational communication channels [J]. *Decision Sciences*, 2014, 45(3): 437-466.
- [49] Oliva R, Watson N. Cross-functional alignment in supply chain planning: A case study of sales and operations planning [J]. *Journal of Operations Management*, 2011, 29(5): 434-448.
- [50] De Snoo C, Van Wezel W. Coordination and task interdependence during schedule adaptation [J]. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 2014, 24(2): 139-151.
- [51] Nauta A, Sanders K. Causes and consequences of perceived goal differences between departments within manufacturing organizations [J]. *Journal of Occupational and Organizational Psychology*, 2001, 74(3): 321-342.
- [52] Wiers V C. *Human Computer Interaction in Production Scheduling: Analysis and Design of Decision Support Systems for Production Scheduling Tasks* [D]. The Netherlands: Eindhoven University of Technology, 1997.
- [53] Yahouni Z, Mebarki N, Belkadi F, et al. Human-machine cooperation in planning and scheduling: A case study on an unstable environment [J]. *European Journal of Industrial Engineering*, 2018, 12(6): 757-780.
- [54] Bendul J C, Knollman M. The human factor in production planning and control: Considering human needs in computer aided decision-support systems [J]. *International Journal of Manufacturing Technology and Management*, 2016, 30(5): 346-368.
- [55] De Man J C, Strandhagen J O. Spreadsheet application still dominates enterprise resource planning and advanced planning systems [J]. *IFAC-PapersOnLine*, 2018, 51(11): 1224-1229.
- [56] Van Wezel W, McKay K, Wäfler A. *Outflanking Undecided, Ever-Changing Puzzles: The Role of the Human Behavior in Scheduling* [M]. New York: Oxford University Press, 2015.
- [57] Silver E A, Pyke D F, Peterson R. *Inventory Management and Production Planning and Scheduling* [M]. New York: Wiley, 1998.
- [58] Tenhiälä A, Helkiö P. Performance effects of using an ERP system for manufacturing planning and control under dynamic market requirements [J]. *Journal of Operations Management*, 2015, 36: 147-164.
- [59] Tenhiälä A, Rungtusanatham M J, Miller J W. ERP system versus stand-alone enterprise applications in the mitigation of operational glitches [J]. *Decision Sciences*, 2018, 49(3): 407-444.
- [60] Framinan J M, Ruiz R. Architecture of manufacturing scheduling systems: Literature review and an integrated proposal [J]. *European Journal of Operational Research*, 2010, 205(2): 237-246.
- [61] Framinan J M, Ruiz R. Guidelines for the deployment and implementation of manufacturing scheduling systems [J]. *International Journal of Production Research*, 2012, 50(7): 1799-1812.

- [62]张 喆,黄 沛,张 良. 中国企业 ERP 实施关键成功因素分析: 多案例研究[J]. 管理世界,2005,(12): 137 – 143.
Zhang Zhe ,Huang Pei ,Zhang Liang. Key success factors for ERP implementation in Chinese enterprises: Multiple case studies[J]. Management World ,2005 ,(12) : 137 – 143. (in Chinese)
- [63]叶 强,方安儒,鲁 奇,等. 组织因素对 ERP 使用绩效的影响机制——基于中国数据的实证研究[J]. 管理科学学报,2010,13(11): 77 – 85.
Ye Qiang ,Fang Anru ,Lu Qi ,et al. Impact of organizational factors on ERP usage and performance: An empirical investigation in China [J]. Journal of Management Sciences in China ,2010 ,13(11) : 77 – 85. (in Chinese)
- [64]Li Y ,Wu F ,Zong W ,et al. Supply chain collaboration for ERP implementation: An inter-organizational knowledge-sharing perspective [J]. International Journal of Operations & Production Management ,2017 ,37(10) : 1327 – 1347.
- [65]Ivert L K ,Jonsson P. When should advanced planning and scheduling systems be used in sales and operations planning? [J]. International Journal of Operations & Production Management ,2014 ,34(10) : 1338 – 1362.
- [66]Wiers V C. The relationship between shop floor autonomy and APS implementation success: Evidence from two cases [J]. Production Planning & Control ,2009 ,20(7) : 576 – 585.
- [67]Berglund M ,Guinery J. The influence of production planners and schedulers at manufacturing and commercial interfaces [J]. Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries ,2008 ,18(5) : 548 – 564.

Review of researches on practice-based production planning and scheduling: A socio-technical systems perspective

DING Jia , WAN Guo-hua *

Antai College of Economics and Management , Shanghai Jiao Tong University , Shanghai 200030 , China

Abstract: Production planning and scheduling play essential roles in production management in manufacturing enterprises. Scholars have conducted comprehensive studies on the logic , technologies , and mathematical models and algorithms for enterprise production planning and scheduling , and have made significant progresses. However , when confronting high uncertainty and complexity , there are still no satisfactory solutions to the problems. In fact , production planning and scheduling in enterprises are influenced by human , organization , technologies , and their interactions , thus form coupled socio-technical systems. Therefore , it is worth studying production planning and scheduling from the perspective of the socio-technical system , which is certainly an important starting point for exploring the problems. Through a systematic literature review , the paper summarizes the related literature , proposes a theoretical framework for studying production planning and scheduling problems and discusses several important future research directions.

Key words: production planning and scheduling; production management practice; socio-technical system; uncertainty; complexity