

# 电子商务环境下硬时间窗约束的复杂产品研制与生产商协同模式研究

任 静

贵州大学管理学院, 贵州 贵阳

收稿日期: 2024年6月27日; 录用日期: 2024年7月10日; 发布日期: 2024年8月14日

## 摘 要

在电子商务的快速发展和全球化经济背景下, 复杂产品的快速研制对企业竞争力至关重要。本研究着眼于硬时间窗约束下, 生产商在电子商务供应链中的参与模式, 探讨如何通过研发与生产的协同优化来提升整体收益。研究分析了串行、并行和部分重叠模式, 构建了量化模型来评估知识累积和设计返工对研制时间和产品质量的影响。本研究不仅提出了判定生产商最优参与时间的条件, 还揭示了其与技术创新、协同度和信息交流频率的关系, 为电子商务企业在紧张的市场节奏中高效研发复杂产品提供了策略指导, 具有显著的理论和实践价值。

## 关键词

电子商务, 复杂产品, 时间窗

## Research on Complex Product Development and Manufacturer Collaboration Model with Hard Time Window Constraints in E-Commerce Environment

Jing Ren

School of Management, Guizhou University, Guiyang Guizhou

Received: Jun. 27<sup>th</sup>, 2024; accepted: Jul. 10<sup>th</sup>, 2024; published: Aug. 14<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

In the context of rapid development of e-commerce and globalized economy, the rapid develop-

ment of complex products is crucial for the competitiveness of enterprises. This study focuses on the participation mode of manufacturers in the e-commerce supply chain under hard time window constraints, and explores how to improve overall profits through collaborative optimization of research and development and production. The study analyzed serial, parallel, and partially overlapping patterns, and constructed a quantitative model to evaluate the impact of knowledge accumulation and design rework on development time and product quality. This study not only proposes the conditions for determining the optimal participation time of manufacturers, but also reveals its relationship with technological innovation, collaboration, and information exchange frequency, providing strategic guidance for e-commerce enterprises to efficiently develop complex products in a tense market rhythm, and has significant theoretical and practical value.

## Keywords

E-Commerce, Complex Product, Time Window

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

在电子商务的浪潮中，为了迅速适应市场对小批量和个性化定制产品的需求，大型复杂产品的制造商，如飞机和火箭制造商，正在转变他们的产品开发策略。传统的模块化外包已逐步被供应链的协同开发模式所取代。在电子商务领域，拥有关键核心技术的企业能够主导市场走向，这促使企业在半导体和航空发动机等关键技术领域投入巨大的财力和物力，以打破技术壁垒。

复杂产品的概念已经扩展到包括传统航空装备制造以外的领域，如车辆装备、发动机等，形成了以主制造商为龙头，供应商为支撑的供应链结构[1] [2]。这种模式在电子商务供应链管理中得到了广泛应用，特别是在研发和生产的上游阶段。复杂产品的开发并不局限于产品创新[3] [4]，还包括工艺和装配的创新[5]，这要求生产商和研发所在电子商务平台上实现更紧密的协作，以促进产品的快速迭代和更新。

与一般产品不同的是，复杂产品所表现出来的特征使得研发更加过程复杂、投资更多[6]、风险更高[7] [8]、技术密集性更强[9]。因此，电子商务企业中如何有效地组织和协调研发资源，优化产品开发流程，已成为提升其市场竞争力的关键。通过电子商务平台的数据分析、客户反馈和供应链管理工具，企业能够更精准地预测市场趋势，快速响应消费者需求，缩短产品从设计到上市的周期，从而在激烈的市场竞争中占据优势。

在电子商务的快速发展下，供应链的协同研制变得尤为关键，尤其是在研发所与生产商之间的合作模式。随着市场对快速响应和个性化产品的需求日益增长，传统的串行参与模式已不足以应对电子商务环境下的敏捷性要求。并行参与模式和部分重叠参与模式因其在缩短产品研制周期和提高研制效率方面的潜力，成为电子商务供应链中的新宠。

本研究聚焦于电子商务环境下，以硬时间窗约束为条件的研发所与生产商如何利用协同研制模式来优化复杂产品的研制过程，进而实现供应链全局收益的最大化。通过对电子商务供应链管理文献的梳理和分析，本文构建了基于时间的知识累积函数和设计返工函数，发展了研发所与生产商协同研制的数学模型。该模型不仅分析了不同参与模式下的最优参与时间，还探讨了信息交流的最佳频率，为电子商务企业在供应链管理中提供了理论依据和实践指导。

本研究的主要贡献在于，它为电子商务环境下硬时间窗约束下复杂产品研制的供应链管理提供了新的视角和方法论，帮助企业更好地适应市场的快速变化，提高供应链的响应速度和效率，从而在激烈的电子商务竞争中获得优势。

## 2. 相关文献

由于本文研究主要集中于硬时间窗约束下复杂产品的协同模式研究，因此在相关文献部分，我们将其划分为了两部分，第一部分提出了关于复杂产品的概念，并介绍在供应链中供应商与主制造商的协同机制研究，第二部分提出关于时间窗的概念，关注了时间窗约束下的运输、调度和路径规划问题，为本文中硬时间窗约束下供应链协同研制的时间管理提供了理论和方法论支持。

关于复杂产品的概念，Hobday [10]将其定义为具有复杂客户要求、产品组成、产品技术、制造工艺和高精度的产品，他讨论了产品复杂性、创新性和产业组织之间的关系，典型的复杂产品包括飞机、汽车、复杂装备、发动机机体等，这些产品的特点是结构复杂，开发周期长，使得研发企业难以独立完成。实证研究表明，整合供应商与新产品能够研制成功存在着正相关关系，Wagner S M [11]的研究强调了供应商创新的重要性，这与本文中供应商(生产商)在产品创新中的角色相呼应，例如，让供应商参与新产品的研发可以提高产品质量、缩短研发时间或降低开发成本[12]-[14]。在一项关于新产品开发中的供应商整合的研究中发现，与美国和欧洲相比，来自亚洲汽车制造商的参与度更高[13] [15]，Gupta 和 Souder [16]比较了供应商整合程度低和整合程度高的新产品开发项目，得出了类似的结果。Feng [17]表明，供应商的参与可以降低产品的成本，LaBahn D W [18]认为“供应商参与”是指供应商为保证产品能更好地完成，在产品设计的前期阶段便与客户保持紧密的合作，并投入一定的资源。在供应商参与的基础上，Nair 和 Jayaram [19]表明选择一个合适的供应商对于降低成本，提高质量，按时交付等供应链绩效具有重要意义。从现有研究来看，关于复杂产品协同开发的主要对象集中在主制造商、供应商，并提出了“供应商参与”这一概念，尽管文章中所提到的研究主体为研发所与生产商，但却同样适用于供应商参与模式的研究中，在本文中，我们将生产商的参与模式划为串行、并行和部分参与三种模式，这种模式由 Krishnan [20]在产品开发项目中所提出，并为后续学者研究复杂装备产品协同研制提供了更多的方案与措施，这与本文中生产商与研发所的信息交流和协同研制有着直接联系。

然而，随着 JIT (Just In time)生产模式的广泛使用和对产品交货时间的日益重视，客户在签订合同时要求交货时间窗口，不仅是对时间要求严格的易腐商品，而且对每一种产品都有严格的时间要求。由于在时间窗口内及时交货将为企业维护良好的声誉和订单资源，提前或延迟交货将增加额外的成本，包括库存成本和运营成本，从而带来客户订单减少等损失。因此，通过将时间窗引入到生产 - 交付问题中，可以提高供应链各环节的效率和整体效率。Liang [21]等人针对考虑时间窗限制的生产 - 交付问题，提出了一种禁忌搜索和遗传算法的方法。Fu 和 Huo [22]讨论了生产 - 交货问题，时间窗口和交货能力受到约束，以实现利润最大化。Ullrich 和 Christian [23]考虑了机器调度和车辆路由的时间窗，目标是最小化总延误。Fu 等人[24]建立了一个考虑交货时间窗口的数学模型，其目标是使总设置成本和运输成本最小化。Kong 等[25]研究了单机集成问题，其中研究了具有生产期限的运输和 JIT 装配以实现生产效率最大化。Noroozi 等[26]旨在通过权衡订单接收、交货成本和延迟处罚来实现总效益最大化，以解决批量直接交货的集成生产 - 交货调度问题。然而，这些研究很少考虑成本或与碳排放相关的其他因素。

在供应链的交付模型中，关于时间窗的提出是起源于车辆路径规划与生产调度的时间窗口约束模型中，其中，关于时间窗约束下的车辆调度和最优路径的较早研究是 Solomon [27]。本文的研究问题是在硬时间窗口中寻求生产商的最佳参与模式，我们引用交付模型中时间窗的定义，其中，交付窗口被定义为最早可接受服务和最晚可接受服务之间的差值。当订单由客户下达给委托对象时，通常都会伴随一个

固定的交付期,在交付窗口的概念下,客户将会在交付时间窗进行交货,考虑时间窗时,我们可以将时间窗分为硬时间窗和软时间窗。在车辆调度问题中,硬时间窗的定义是指不允许在时间窗口之外进行交货,软时间窗虽然可以在时间窗口之外进行交货,但会产生一定的惩罚成本[28]。文献[21]-[28]主要关注了时间窗约束下的运输、调度和路径规划问题,这些研究为本文中硬时间窗约束下供应链协同研制的时间管理提供了理论和方法论支持。

借用上述研究对时间窗的概念与模型设置,本文在基于时间窗严格控制的情形下,讨论生产商的最佳参与时间与信息交流次数,与之前大多数研究不同的是,在车辆调度研究问题中,大多数涉及到时间的目标函数是为寻求目标最小化,也就是成本最小化,以及寻求车辆运行的最优路径,而本文以利润最大化为目标,以其时间窗为约束条件,给出了生产商选择参与模式的判定条件以及各因素对参与时间以及交流次数的影响。

### 3. 复杂装备协同研制开发

#### 3.1. 问题描述

现有两供应链主体研发所与生产商形成的长期战略合作模式共同研制发动机产品,其中订单需求军方(以下简称“客户”)下达,以其固定价格收购,但客户还提出一项要求,产品的交货时间窗必须要在时间段 $[s, s + \Delta s]$ 区内进行,未到交货时间 $s$ 或者超出交货时间 $s + \Delta s$ ,客户都将拒绝接受该产品,其中 $\Delta s$ 表示为时间窗的宽度,我们将这种严格交货时间窗称为硬时间窗[28],在此约束条件下,就使得研发所与生产商的研制时间较为苛刻。因其复杂产品固有属性和生产模式决定了交货时间既不能提前,也不能延后,研发所与生产商如何进行复杂产品的协同研制成为本文重点所要解决的问题,由于两参与者在研制时间上各有不同,考虑双方协同合作,共同对复杂产品进行研制创新,从而达到收益最大的目的。

#### 3.2. 研发所研制中的知识累积

研发所与生产商协同研制的过程其实就是参与主体之间知识交流与累积的一个过程[14]。研发所作为生产商的上游企业,具有对生产商管理与协调的能力,研制过程中主要针对产品的创新,处于供应链中领导地位。从产品的开发流程来看,首先进行研制的主体是研发所,随后才是生产商,生产商除了对上游研发所反馈而来的信息进行处理之外,还要对产品进行额外的创新研制,例如产品的工艺、装配,因此在此供应链中处于从属地位。由于各参与主体之间自身固有开发能力和管理能力的不同,造成研制过程中的差异,这种差异导致了研制完成时间与产品质量的不确定性,因此引入了一个基于时间的知识累积函数。

供应链中关于上游活动初始信息是产品开发设计活动重叠的一个基本概念之一[29],其知识累积函数描述的是上游企业研制活动中知识累积程度与研制活动完成时间之间的关系,不考虑组织因素,研制活动完成时间主要与产品的技术创新程度相关,这不仅反映了研发所与生产商固有开发能力的差异,也反映出高技术创新程度需要更多的时间和资源完成这一事实,一般来说,技术创新度越高,花费的时间越长,所需资源越多(不考虑赶工情况),基于此,我们定义了如下表达式:

$$f(t) = I \left( \frac{t}{T} \right)^\alpha + (1 - I) \quad (1)$$

其中 $f(t)$ 表示研发所研制活动时的知识累积率,始终有 $0 \leq f(t) \leq 1$ , $t$ 为研发所进行产品创新的时间, $T$ 表示研制活动完成时间,为了保证开发任务能够顺利完成,按时交货,我们对研制活动完成时间 $T$ 进行一个约束,满足 $s \leq T \leq s + \Delta s$ 关系,研制完成时间既不能早于交货期,也不能晚于交货期,否则客户将

会拒绝接受该产品。 $I$ 为产品的技术创新水平,决定了知识累计函数与 $y$ 轴的距离, $\alpha$ 表示知识累计演化路径指数,其决定了知识累计函数的形状,如图1所示。

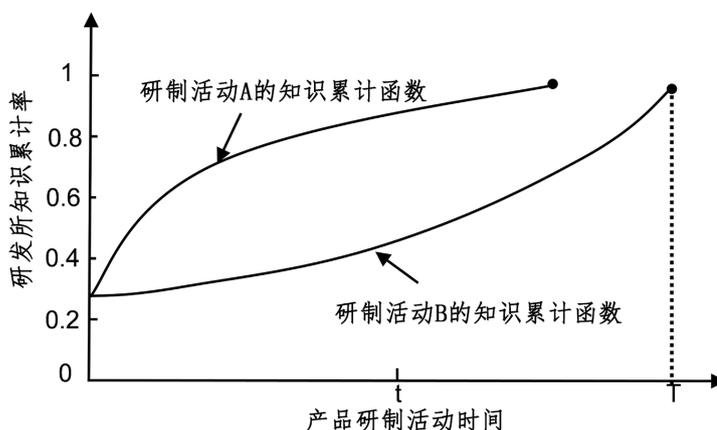


Figure 1. Schematic diagram of knowledge accumulation function for R & D activities  
图1. 研发所研制活动知识累积函数示意图

1) 当 $0 < \alpha < 1$ 时,研制初期投入大量资源,研发所知识快速积累,在经过产品创新的多个阶段后,实现了产品由低技术创新度到高技术创新度的一个过程,因此,知识累积在后期时增加得较为缓慢,形成一条向上得凸线,如图1中研制活动A所示。

2) 当 $\alpha = 1$ 时,知识累计率是一条关于研制时间的线性函数,呈现出均匀变化的状态。

3) 当 $\alpha > 1$ ,研制初期研发所知识累积缓慢增加,这与投入的资源相关,前期资源缓慢增加,在后期时呈现出一种加速趋势,形成一条上凹线,如图1中研制活动B所示。

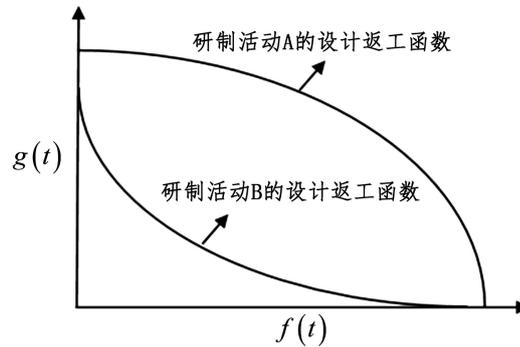
### 3.3. 生产商研制活动设计返工

一般来说,研发所进行产品创新所产生的信息对下游生产商来说至关重要,生产商需要根据研发所对产品的各处设计做出调整和改进。当知识累积率较低时,对下游产品研制的影响和程度就越大,就越有可能产生设计返工。下游在利用上游的研制信息时,如果知识累积率越小,意味着下游将做出更多的努力,投入更多的资源 and 时间,如若下游生产商自身研发能力不强,存在着在产品创新方面的某些局限性,则其设计返工量也就越大,在相同情况下,如果生产商是一家综合能力较强的企业,研发实力很强,则考虑到设计返工量就越小。与此同时,在研发所占主导地位,生产商居于从属地位的协同研制模式下,生产商自身的努力程度以及与研发所的合作程度决定了生产商研制活动的效率及进度安排[30],因此引入了协同度参数,用符号 $\mu$ 表示,且 $0 \leq \mu \leq 1$ ,如图2所示,生产商的设计返工函数可以表示为:

$$g(t) = \frac{m}{\mu} (1-t)^\beta \quad (2)$$

其中, $g(t)$ 为设计活动的返工率,且 $0 \leq g(t) \leq 1$ , $m$ 表示研发所的研制信息对生产商设计活动开展的重要程度,且 $0 \leq m \leq 1$ ,当 $m = 0$ 时,表示研发所设计活动的信息并不影响生产商的设计活动,不造成设计返工;当 $m = 1$ 时,表示研发所设计活动的信息对生产商来说至关重要,如果没有研发所的研制信息,生产商将无法向下开展活动。因此, $m$ 刻画了生产商对研发所信息的依赖程度,它的大小将直接决定设计返工率。此外,设计返工函数的期望 $E(g(t)) = \int_0^1 \frac{m}{\mu} (1-t)^\beta dt = \frac{m}{\mu(\beta+1)}$ ,反映了研发所的知识累积率对

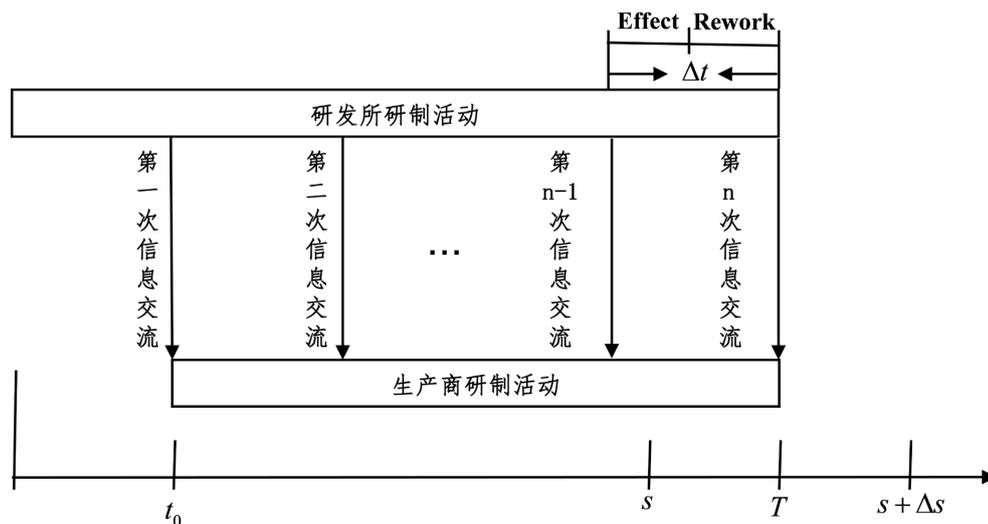
生产商设计返工的平均水平，当  $m$  和  $\mu$  处于不变状态时， $\beta$  越大，平均返工率越小，则生产商的开发能力也就越强，与知识累计函数中的  $\alpha$  类似， $\beta$  从设计返工的角度刻画了生产商技术开发能力大小的问题，故称其为技术能力指数，表示为设计返工函数的路径指数。



**Figure 2.** Schematic diagram of rework function for manufacturer's development activity design  
**图 2.** 生产商研制活动设计返工函数示意图

### 3.4. 研发所与生产商协同研制中的信息交流

研发所与生产商协同研制复杂产品进行技术创新的过程是一个信息交流的过程，如图 3 所示，研发所与生产商进行第一次交流后，生产商根据研发所的研制安排开始第一次技术创新与生产，经过  $\Delta t$  时间后，生产商开始接触研发所进行第二次的信息交流，由于双方在  $\Delta t$  时间内是同时进步的，受研发所研制信息的影响，生产商对反馈而来的信息对产品做出调整与修改，修改完成后研制活动继续进行，避免研制错误的累积，经过  $\Delta t$  时间后，开始进行第三次信息交流，重复此过程直到研制活动结束。



**Figure 3.** Schematic diagram of manufacturer's participation in the research and development process of the institute  
**图 3.** 生产商参与研究所研制过程示意图

研发所研制活动进行到时间  $t_0$  ( $0 \leq t_0 \leq T$ ) 时，生产商加入到研制活动中来，双方信息交流为单向传递，即由研发所向生产商传递，且来自上游的信息完全正确，生产商设计活动无反馈，假设研发所与生

产商之间的信息交流间隔是均匀离散分布的, 设生产商在  $T-t_0$  时间段进行了  $n(n>1)$  次信息交流, 则每次进行信息交流的时间间隔  $\Delta t = \frac{T-t_0}{n-1}$ , 基于此, 生产商与研发所进行协同研制时, 生产商的参与模式

分为了三种: 1)  $t_0=0$  当时, 生产商的参与模式为并行; 2) 当  $0 < t_0 < T$  时, 参与模式为部分重叠参与; 3) 当  $T \leq t_0 \leq s + \Delta s$  时, 参与模式为串行。由式(1)和式(2)可得:

1) 设计返工时间

$$T_{Rework} = \sum_{i=1}^{n-1} t_i^r = \sum_{i=1}^{n-1} g(t_i) \Delta t \quad (3)$$

2) 有效工作时间

$$T_{Effect} = \sum_{i=1}^{n-1} t_i^e = \sum_{i=1}^{n-1} (1-g(t_i)) \Delta t \quad (4)$$

将其(1)式带入(2)式, 生产商的设计返工函数

$$g(t_i) = \frac{m}{\mu} I^\beta \left( 1 - \left( \frac{t_i}{T} \right)^\alpha \right)^\beta \quad (5)$$

$$\Delta t = \frac{T-t_0}{n-1} \quad (6)$$

$$t_i = t_0 + (i-1) \Delta t \quad (7)$$

为了便于分析, 我们只考虑  $\alpha = \beta = 1$  的情况, 根据式(5), 式(6)和式(7), 可得生产商的设计返工时间和有效工作时间分别为

$$T_{Rework} = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{m}{\mu} I \left( 1 - \frac{t_i}{T} \right) \Delta t = \frac{nmI(T-t_0)^2}{2(n-1)\mu T} \quad (8)$$

$$T_{Effect} = \sum_{i=1}^{n-1} t_i^e = \sum_{i=1}^{n-1} (1-g(t_i)) \Delta t = T-t_0 - \frac{nmI(T-t_0)^2}{2(n-1)\mu T} \quad (9)$$

为了权衡研制活动时间与产品收益和成本之间的关系, 定义了生产商提前介入研发所研制项目的全局收益  $\pi$ , 假设复杂产品在有效的单位时间内的边际利润率为  $p$ , 生产商设计返工时单位时间的边际成本为  $c$ , 双方信息交流时单位总成本为  $c_1 + c_2$ , 其中,  $c_1$  表示研发所向生产商进行研制信息分享时的单位交流成本,  $c_2$  表示生产商向研发所进行信息分享时的单位交流成本。

综上所述, 结合等式(8)、(9), 全局收益可以表示为

$$\begin{aligned} \text{Max}_{t_0, n} \pi &= p \left( T-t_0 - \frac{nmI(T-t_0)^2}{2(n-1)\mu T} \right) - \frac{nmI(T-t_0)^2 c}{2(n-1)\mu T} - (n-1)(c_1 + c_2) \\ \text{s.t.} \quad &\begin{cases} 0 \leq t_0 \leq T \\ n > 1 \\ m, I, \mu, p, c, c_1, c_2 \geq 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (10)$$

由式(10)求解可得如下等式:

$$\frac{\partial \pi}{\partial t_0} = -p + \frac{I(p+c)nm(T-t_0)}{(n-1)\mu T} \quad (11)$$

$$\frac{\partial \pi}{\partial n} = -c_1 - c_2 + \frac{I(p+c)m(T-t_0)^2}{2(n-1)^2 \mu T} \quad (12)$$

$$A = \frac{\partial^2 \pi}{\partial t_0^2} = \frac{-I(p+c)nm}{(n-1)\mu T} \quad (13)$$

$$B = \frac{\partial^2 \pi}{\partial t_0 \partial n} = \frac{-I(p+c)m(T-t_0)}{(n-1)^2 \mu T} \quad (14)$$

$$C = \frac{\partial^2 \pi}{\partial n^2} = \frac{-I(p+c)m(T-t_0)^2}{\mu T(n-1)^3} \quad (15)$$

$$AC - B^2 = -\frac{(p+c)^2 m^2 I^2 (T-t_0)^2}{(n-1)^3 T^2 \mu^2} \quad (16)$$

为求得目标函数  $\pi$  的极值, 式(16)出现以下三种情况:

1) 当  $AC - B^2 \neq 0$  时, 单位有效时间内产品收益  $p > 0$ , 研究所研制信息对生产商设计活动的重要程度  $m > 0$ , 生产商协同意参数  $\mu > 0$ , 研究所与生产商的信息交流次数  $n > 1$ , 由于生产商是提前参与研究所的研制项目, 所以  $T > t_0$ , 不难看出  $AC - B^2 < 0$  且  $A < 0$ , 因此  $\pi$  存在极大值, 存在最优的  $t_0^*$ 、 $n^*$  使得供应链全局收益最大, 求解得出生产商最优的参与时间和交流次数如下:

$$\begin{cases} t_0^* = T - \frac{p\mu T}{Im(p+c)} \left( 1 - \frac{1}{p} \sqrt{\frac{2mI(c_1+c_2)(p+c)}{\mu T}} \right) \\ n^* = p \sqrt{\frac{\mu T}{2mI(c_1+c_2)(p+c)}} \end{cases} \quad (17)$$

2) 当  $AC - B^2 = 0$  时, 有以下三种情况

第一种情况,  $m = 0$  时, 表示为生产商的设计活动不受研究所研制信息的影响, 研究所研制活动发生变化时, 生产商的设计活动将不受影响, 因此也就不存在生产商设计返工。

第二种情况,  $I = 0$  时, 复杂产品的技术创新水平为零, 已知生产商的设计返工函数  $g(t) = \frac{m}{\mu}(1-t)^\beta$ , 由于研究所研制活动时知识累计率为 100%, 则生产商的设计返工率为零, 生产商将不会因为研究所研制信息的变化而发生设计返工。

第三种情况,  $t_0 \geq T$  时, 此时生产商的参与模式为串联, 即研究所完成自身的研制活动后, 生产商的产品设计活动才开始, 出现这种情况可能的原因是客户要求复杂产品的高技术创新度 ( $I \geq 1$ ), 导致研究所在研制过程中充满各种不确定性, 生产商由于过度依赖 ( $m \geq 1$ ) 研究所的研制信息, 不敢贸然参与, 一旦研究所研制信息发生变化时, 其产生的代价将会是巨大的。

**定理 1** 在研究所与生产商的协同研制项目中, 生产商的最优参与时间随着复杂产品技术创新水平的提高而增加, 也就是说, 技术创新水平越高, 生产商将会越晚参与研究所的研制。

证明:  $\frac{\partial t_0^*}{\partial I} = \frac{T\mu p - \sqrt{\frac{\mu T I m (c_1 + c_2)(p+c)}{2}}}{I^2 m (p+c)}$ , 生产商提前参与研究所研制活动时满足条件  $t_0 \leq T$ , 因

此可以得出  $p^2 \geq \frac{2mI(c_1+c_2)(p+c)}{\mu T} > \frac{mI(c_1+c_2)(p+c)}{2\mu T}$ , 则  $T\mu p - \sqrt{\frac{\mu T I m (c_1 + c_2)(p+c)}{2}} > 0$ , 从而推

导出  $\frac{\partial t_0^*}{\partial I} > 0$ 。

这与前面当  $t_0 = T$  时出现的原因类似，当客户要求产品的高技术创新水平或研发所在研制过程中产品知识不断累积，使得技术创新度不断提高。由于在上游研制过程中可能会出现产品质量、性能等各要素风险，使得不确定因素增加，生产商越是依赖上游研发所的研制信息时，越是不敢贸然参与，因此，当复杂装备技术创新水平不断增加时，生产商可能越晚参与到研制项目中来。同理可证明生产商对研发所研制信息的依赖程度  $m$ 。

**定理 2** 在复杂产品研制过程中，随着研发所与生产商信息交流次数  $n$  不断增加，生产商的最优参与时间  $t_0^*$  将不断减少，最终趋向于一个稳定的数值  $t_0^{**} = T - \frac{p\mu T}{Im(p+c)}$ 。

证明：已知生产商的最优参与时间  $t_0^*$  和  $n^*$ ，且  $t_0^* = T - \frac{p\mu T}{Im(p+c)} \left(1 - \frac{1}{n^*}\right)$ ，对  $t_0^*$  求  $n^*$  的一阶偏导数，

可求出  $\frac{\partial t_0^*}{\partial n^*} = -\frac{p\mu T}{(n^*)^2 Im(p+c)} < 0$ ，生厂商的最优参与时间与交流次数呈负相关关系，当  $n^*$  越大时， $t_0^*$  越

小，即研发所与生产商的交流次数越多时，生产商将会更早的参与到研发所的研制项目中来，出现这个结果的原因恰恰与定理 1 相反。当上游研发所的知识累计率不高时，这时候就要依赖于生产商对产品做出更多的努力，提高产品的技术创新水平，这个过程表现了研发所的研制信息对生产商设计活动( $m$ )影响较小，因此生产商的设计返工率将会很低，当双方信息交流次数达到一定程度时，生产商将会有固定的参与时间  $t_0^{**}$  (等式(18)所示)，因此，交流次数的增加并不会持续减少生产商的参与时间，缩短研制周期，相反，会由于过多的交流而产生资源的浪费，增加了研制成本。

$$\lim_{n^* \rightarrow +\infty} t_0^* = \lim_{n^* \rightarrow +\infty} \left( T - \frac{p\mu T}{Im(p+c)} \left(1 - \frac{1}{n^*}\right) \right) = T - \frac{p\mu T}{Im(p+c)} \quad (18)$$

综合定理 1 和定理 2，生产商的参与时间受到多方面因素的影响，在实际的研制过程中，应该注意到产品本身技术创新水平的一个变化，生产商对研发所研制信息的重要程度以及与生产商的协同度，确定最优的参与时间产品的研制效率。

**定理 3** 生产商的最佳参与时间  $t_0^*$  随着时间窗宽度  $\Delta s$  的增加而增加，也就是说，客户要求的交货时间窗宽度越长，生产商将越晚参与研发所的研制项目。

证明：我们将最佳参与时间  $t_0^*$  的变化表现在研制活动完成时间  $T$  上，已知研制活动完成时间  $s \leq T \leq s + \Delta s$ 。我们首先讨论两端点的情况，考虑研制活动完成时间等于最早交货期时间  $s$  和最晚交货时间  $s + \Delta s$  两种情况下，即当  $T = s$  和  $T = s + \Delta s$ ，我们只需要计算  $T = s + \Delta s$  即可，将其带入最优参与时间  $t_0^*$  中。

$$\text{最佳参与时间 } t_0^* = s + \Delta s - \frac{p\mu(s + \Delta s)}{Im(p+c)} \left( 1 - \frac{1}{p} \sqrt{\frac{2mI(c_1 + c_2)(p+c)}{\mu(s + \Delta s)}} \right), \text{ 对其分别求解关于 } s \text{ 和 } \Delta s \text{ 的一}$$

阶偏导数

$$\frac{\partial t_0^*}{\partial s} = \frac{\partial t_0^*}{\partial(\Delta s)} \frac{(s + \Delta s)((p+c)m + Ip\mu) + m(c_1 + c_2)(p+c) \sqrt{\frac{Im(c_1 + c_2)(p+c)}{2\mu(s + \Delta s)}}}{m(p+c)(s + \Delta s)} > 0 \quad (19)$$

通过式(19)观察得到，生产商的最优参与时间与最早交货时间以及交货时间窗的长度呈正相关关系，

对于研制活动完成时间  $T$  来说具有同样的关系。在现实生活中, 客户为了保证产品质量和需求能够在规定时间内得到满足, 对于交货时间窗的长度会做一个适当的设置。从定理 1 中可以得出, 产品的高技术创新水平会导致生产商越晚参与研发所的研制项目, 这可能与客户要求产品的高技术创新度所决定。

#### 4. 生产商参与模式下的判定条件

如第二章问题所述, 产品研制活动的结束有一个硬时间窗约束, 要求产品既不能早于交货期, 也不能晚于交货期, 那么, 硬时间窗约束下将会对生产商的参与模式有什么影响, 第三章将会详细讨论。由于我们假设了研制活动是从零开始, 到时间  $T (s \leq T \leq s + \Delta s)$  结束, 我们考虑了并行模式下  $t_0 = 0$ , 部分重叠参与模式  $0 < t_0 < T < s + \Delta s$  及串行模式下以  $T \leq t_0 \leq s + \Delta s$  三种情况, 且在并行与串行参与模式下, 生产商与研发所只进行了一次信息交流, 在此基础上, 给出了生产商参与模式下的判定条件。

##### 4.1. 并行参与模式的判定条件

当  $t_0^* = 0$  时, 即研制时间满足关系式  $T = \frac{2Im\mu(c_1 + c_2)(p + c)}{(p\mu - Im(p + c))^2}$  时, 生产商应该采取并行参与模式, 在客户的硬时间窗约束下, 各参数需要满足条件  $\frac{s(p\mu - Im(p + c))^2}{2I(p + c)} \leq m\mu(c_1 + c_2) \leq \frac{(s + \Delta s)(p\mu - Im(p + c))^2}{2I(p + c)}$ ,

保证在时间窗内交货。在这种模式下, 生产商的协同参数较高, 采用并行参与模式下的企业大都形成了长期战略合作模式, 企业之间配合度较高, 且固有开发能力相当, 双方企业可以为复杂产品的研制带来新的技术和经验, 降低了复杂产品研制的风险。

**定理 4** 在生产商采取并行参与模式的前提下, 生产商的设计活动受研发所研制信息的影响( $m$ )越大, 与研发所的协同度( $\mu$ )越低, 则复杂产品研制完成时间( $T$ )将会越长, 且技术创新水平将随着研制时间的增长而达到一个稳定状态  $I^* = \frac{p\mu}{(p + c)m}$ 。

证明: 生产商在并行参与模式下, 最佳参与时间  $t_0^* = 0$ , 出现等式(20):

$$T - \frac{p\mu T}{Im(p + c)} \left( 1 - \frac{1}{p} \sqrt{\frac{2mI(c_1 + c_2)(p + c)}{\mu T}} \right) = 0 \quad (20)$$

求解得出  $T = \frac{2Im\mu(c_1 + c_2)(p + c)}{(p\mu - Im(p + c))^2}$  或者  $I = \frac{(Tp - \sqrt{(c_1 + c_2)(2Tp + c_1 + c_2)} + c_1 + c_2)\mu}{T(p + c)m}$ , 对  $T$  求解关于

$m$ 、 $\mu$ 、 $I$  的一阶偏导数, 发现

$$\frac{\partial T}{\partial m} = \frac{2\mu^2(c_1 + c_2)(p + c)p}{((Im - \mu)p + Imc)^2} > 0 \quad (21)$$

$$\frac{\partial T}{\partial \mu} = \frac{-2Im^2(c_1 + c_2)(p + c)^2}{(Imc + Imp - p\mu)^2} < 0 \quad (22)$$

$$\frac{\partial T}{\partial I} = -\frac{2(c_1 + c_2)(p + c)\mu m(Im(p + c) + p\mu)}{(km(p + c) - p\mu)^3} < 0 \quad (23)$$

$$\lim_{T \rightarrow \infty} I = \frac{p\mu}{(p + c)m} \quad (24)$$

不难看出,产品研制时间  $T$  与  $m$  呈正相关关系,与  $\mu$  和  $I$  呈负相关关系,生产商的产品设计活动在很大程度上依赖于研发所的研制信息时,研制活动完成时间将会被拉长,产品技术创新水平越高,越是需要上游信息的反馈,且生产商与研发所协同度较低,造成合作困难,使得研制时间延长。一般来说,高技术创新水平的产品除了要投入更多的资源外,还需要更长的时间去转化知识,但是事实并非如此,研制时间越长,技术创新水平并没有得到提高,相反,正是因为企业专注于提高产品的技术创新程度,而忽略了某些事实,例如,知识的转化率达到饱和状态、企业的固有开发能力有限、合作双方的匹配度相当等等,都有可能使得技术创新水平达到某一程度而不在增加,而是处于一个平稳状态,这个时候的企业应该更加注重企业自身能力的增强和技术知识的转化等等,而不是一味的提高产品的技术创新水平,造成资源的浪费。

#### 4.2. 部分重叠参与模式的判定条件

当  $0 < t_0^* < T$  时,满足条件  $p - \frac{Im(p+c)}{\mu} < \sqrt{\frac{2mI(c_1+c_2)(p+c)}{\mu T}} < p$ , 生产商应该采取部分参与模式,

这种模式介于并行与串行模式之间,采取这种模式的生产商一般在供应链系统中占主导地位。在具体的研制活动中,应该具体考虑到产品的技术创新水平、研发所与生产商之间的协同度、生产商对研发所研制信息的依赖度等多因素进行模式的选择,以此确定生产商参与研制的最佳时间与交流次数,避免资源的浪费,实现资源的最大化利用。

#### 4.3. 串行参与模式的判定条件

当  $T \leq t_0 \leq s + \Delta s$  时,满足条件  $p \leq \sqrt{\frac{2mI(c_1+c_2)(p+c)}{\mu T}} \leq p - \frac{(T-s-\Delta s)mI(p+c)}{\mu T}$ , 生产商应该采

取串行参与模式,可能出现以下两种情况:

第一种情况,当产品研制完成时间在最早交货时间点上,即  $T = s$  时,满足关系式

$$p \leq \sqrt{\frac{2mI(c_1+c_2)(p+c)}{\mu s}} \leq p + \frac{mI(p+c)\Delta s}{\mu T}$$

第二种情况,当产品研制完成时间在最晚交货时间点上时,即  $T = s + \Delta s$ , 满足关系式

$$\sqrt{\frac{2mI(c_1+c_2)(p+c)}{\mu(s+\Delta s)}} = p, \text{ 此时, 生产商在最晚交货时间窗加入研发所的研制活动时, 但在整个供应链}$$

的研发创新中,其实只有研发所参与了产品的研制,因此并无实际意义。

无论是第一种情况还是第二种情况,研发所与生产商实行串行参与模式是因为产品研制过程中的复杂度较高,生产商在没有掌握研发所足够信息的情况下选择了串联模式,这造成了研制活动中极大的不确定性,如果生产商贸然参与研发所的产品研制时,可能会产生很高的返工率,这种返工率可能会造成巨大的成本,另一方面,由于生产商与研发所的协同度较低,所以一般采取串联参与模式。

### 5. 算例分析

贵阳某研究所因其受到客户委托,对航空飞机的发动机部位进行设计研发。发动机作为复杂产品,在其研发过程中需要各种专业知识和资源,而单一企业可能无法涵盖所有必要的技术和能力,且在研发过程中需要投入大量的资金,因此与某一生产商协同合作,整合双方的优势,共同解决技术难题,提升研发效率,与此同时,这种合作还可以分担成本,降低单个企业的研发压力。

现以某一型号的发动机为例,在产品开发期间,研究所主要负责发动机产品层面的研发,生产商主

要负责工艺、装配层面的研发，按照客户的特殊交货要求进行开发，且各研发企业职能部门间紧密协同。在产品研制项目设计并通过后，研发所与生产商之内的专家根据以往经验以及现有的研发任务，分别对产品的技术创新水平  $I$  和信息依赖度  $m$  以及各个参数进行了评估，如表 1 所示。

**Table 1.** Related parameters  
**表 1.** 相关参数

研发企业	技术创新水平 $I$	信息依赖度 $m$	协同度 $\mu$	边际利润率 $p$
研发所	0.3	\	0.57	3000
生产商	0.15	0.54		
研发企业	交流成本 $c_1$ 、 $c_2$	返工成本 $c$	完成时间 $T$	最早交货时间/ 时间窗宽度
研发所	200	5000	25	20/40
生产商	250		35	

从表中不难看出，研发所与生产商的研制活动的时间是在客户交货时间窗中的最晚交货期上，满足在硬时间窗内交货这一要求。首先计算出生产商应该采取哪种参与模式加入到研发所的研制活动中去。其中产品的总技术创新水平为两研发企业技术创新水平之和[31]，通过简单的计算，

$\sqrt{\frac{2mI(c_1+c_2)(p+c)}{\mu T}} \approx 159$ ， $p - \frac{Im(p+c)}{\mu} = -410$ ， $-410 < \sqrt{\frac{2mI(c_1+c_2)(p+c)}{\mu T}} < 3000$ ，根据生产商参与模式选择判定条件，属于部分重叠参与模式，其最佳的参与时间与交流次数分别为

$$\begin{cases} t_0^* = T - \frac{p\mu T}{Im(p+c)} \left( 1 - \frac{1}{p} \sqrt{\frac{2mI(c_1+c_2)(p+c)}{\mu T}} \right) \approx 11 \text{天} \\ n^* = p \sqrt{\frac{\mu T}{2mI(c_1+c_2)(p+c)}} \approx 13 \text{次} \end{cases}$$

研发所与生产商每次进行信息交流的时间间隔为

$$\Delta t = \frac{T-t_0}{n-1} \approx 3 \text{天/次}$$

由(8)式和(9)式可得生产商的设计返工时间和有效的工作时间分别为

$$T_{Rework} = \frac{nmI(T-t_0)^2}{2(n-1)\mu T} \approx 9 \text{天}$$

$$T_{Effect} = T - t_0 - \frac{nmI(T-t_0)^2}{2(n-1)\mu T} \approx 40 \text{天}$$

由式(10)计算得出整个供应链系统的总收益为

$$\pi = p \left( T - t_0 - \frac{nmI(T-t_0)^2}{2(n-1)\mu T} \right) - \frac{nmI(T-t_0)^2}{2(n-1)\mu T} c - (n-1)(c_1+c_2) = 67679.33 \text{元}$$

1) 根据上述算例分析, 发现生产商的最佳参与时间是在 11 天, 由于研发所进行产品研制的总时间是在 25 天, 相当于生产商在研发所研制活动中期加入了产品的设计研发。此时研发所掌握了一定发动机产品的知识信息, 此时生产商加入研制活动进行工艺研制, 减少了一定的返工时间, 相较于供应商采取串联模式, 其研制周期减少了 40 天。

2) 研发所与生产商在整个研制活动期间一共交流了 13 次, 每隔三天便进行了一次交流, 生产商研制得到来自研发所最新研制新的知道, 可以减少产品的返工时间, 可以看出来, 造成以此返工的成本比产品的单位收益要大得多得多, 此外, 尽管双方的交流信息成本并没有返工成本的昂贵, 但也应该适度的控制一下交流次数, 过多的交流次数可能会造成更多的交流成本。

## 6. 结语

本研究深入探讨了在电子商务环境下, 硬时间窗约束对复杂产品研制过程中生产商参与模式的影响。通过分析研发所与生产商在电子商务平台上的协同研制活动, 本文揭示了在严格的在线客户交货期望下, 如何通过精确调整生产商的参与时机和沟通频率来优化整个供应链的效率和利润。研究明确指出, 在电子商务的供应链协同开发中, 包括串行、并行和部分重叠的参与模式, 其中并行参与模式因其高效的信息交流机制而受到特别关注。研究发现, 随着产品技术含量的增加, 生产商的最优参与时间趋于后移, 而频繁的信息交流则有助于缩短这一时间。此外, 较长的交货时间窗为生产商提供了更多的灵活性, 但也可能导致其推迟参与研制活动。

通过实际案例分析, 本研究验证了理论模型在电子商务背景下的实用性和有效性。以贵阳某研究所与生产商合作开发航空发动机的案例为例, 展示了如何根据电子商务环境中的实际参数, 计算出生产商的最佳参与时间和交流策略, 以提升供应链的整体收益。

总体来看, 本研究不仅为电子商务领域中复杂产品的供应链管理提供了理论框架, 也为生产商在硬时间窗约束下如何高效参与产品研制活动提供了实践指导。未来研究将进一步考虑电子商务环境下不同类型复杂产品的特性, 以及不同行业背景下的供应链协同策略, 旨在为电子商务企业提供更加定制化的供应链优化解决方案。

## 参考文献

- [1] 程永波, 陈洪转, 庄雪松, 等. 供应商参与航空复杂装备协同研制的实施策略[J]. 系统工程理论与实践, 2017, 37(6): 1568-1580.
- [2] Wang, H., Fang, Z., Wang, D. and Liu, S. (2020) An Integrated Fuzzy QFD and Grey Decision-Making Approach for Supply Chain Collaborative Quality Design of Large Complex Products. *Computers & Industrial Engineering*, **140**, Article 106212. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106212>
- [3] Utterback, J.M. and Abernathy, W.J. (1975) A Dynamic Model of Process and Product Innovation. *Omega*, **3**, 639-656. [https://doi.org/10.1016/0305-0483\(75\)90068-7](https://doi.org/10.1016/0305-0483(75)90068-7)
- [4] Qi, Y., Mao, Z., Zhang, M. and Guo, H. (2020) Manufacturing Practices and Servitization: The Role of Mass Customization and Product Innovation Capabilities. *International Journal of Production Economics*, **228**, Article 107747. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107747>
- [5] Cherrafi, A., Garza-Reyes, J.A., Kumar, V., Mishra, N., Ghobadian, A. and Elfezazi, S. (2018) Lean, Green Practices and Process Innovation: A Model for Green Supply Chain Performance. *International Journal of Production Economics*, **206**, 79-92. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.09.031>
- [6] Du, B., Tan, T., Guo, J., Li, Y. and Guo, S. (2021) Energy-Cost-Aware Resource-Constrained Project Scheduling for Complex Product System with Activity Splitting and Recombining. *Expert Systems with Applications*, **173**, Article 114754. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.114754>
- [7] Li, R., Yang, N., Zhang, Y. and Liu, H. (2020) Risk Propagation and Mitigation of Design Change for Complex Product Development (CPD) Projects Based on Multilayer Network Theory. *Computers & Industrial Engineering*, **142**, Article 106370. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106370>

- [8] Li, R., Yang, N., Zhang, Y., Liu, H. and Zhang, M. (2021) Impacts of Module-Module Aligned Patterns on Risk Cascading Propagation in Complex Product Development (CPD) Interdependent Networks. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, **564**, Article 125531. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2020.125531>
- [9] Huang, X., Chen, H., Ma, P., Wang, W., Cai, X. and Nafis, M. (2021) A Two-Sided Matching Model for Complex Equipment Production of Military-Civilian Merging Platform with Reference Effects. *Soft Computing*, **25**, 10399-10421. <https://doi.org/10.1007/s00500-021-05731-3>
- [10] Hobday, M. (1998) Product Complexity, Innovation and Industrial Organisation. *Research Policy*, **26**, 689-710. [https://doi.org/10.1016/s0048-7333\(97\)00044-9](https://doi.org/10.1016/s0048-7333(97)00044-9)
- [11] Wagner, S.M. (2012) Tapping Supplier Innovation. *Journal of Supply Chain Management*, **48**, 37-52. <https://doi.org/10.1111/j.1745-493x.2011.03258.x>
- [12] Petersen, K.J., Handfield, R.B. and Ragatz, G.L. (2004) Supplier Integration into New Product Development: Coordinating Product, Process and Supply Chain Design. *Journal of Operations Management*, **23**, 371-388. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2004.07.009>
- [13] Clark, K.B. (1989) Project Scope and Project Performance: The Effect of Parts Strategy and Supplier Involvement on Product Development. *Management Science*, **35**, 1247-1263. <https://doi.org/10.1287/mnsc.35.10.1247>
- [14] 宋欣. 复杂产品设计知识模型构建及其重用方法研究[D]: [博士学位论文]. 天津: 天津大学, 2009.
- [15] Clark, K.B. and Fujimoto, T. (1989) Lead Time in Automobile Product Development Explaining the Japanese Advantage. *Journal of Engineering and Technology Management*, **6**, 25-58. [https://doi.org/10.1016/0923-4748\(89\)90013-1](https://doi.org/10.1016/0923-4748(89)90013-1)
- [16] Gupta, A.K. and Souder, W.E. (1998) Key Drivers of Reduced Cycle Time. *Research-Technology Management*, **41**, 38-43. <https://doi.org/10.1080/08956308.1998.11671221>
- [17] Feng, T., Sun, L. and Zhang, Y. (2010) The Effects of Customer and Supplier Involvement on Competitive Advantage: An Empirical Study in China. *Industrial Marketing Management*, **39**, 1384-1394. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2010.04.006>
- [18] LaBahn, D.W. and Krapfel, R. (2000) Early Supplier Involvement in Customer New Product Development: A Contingency Model of Component Supplier Intentions. *Journal of Business Research*, **47**, 173-190. [https://doi.org/10.1016/s0148-2963\(98\)00066-6](https://doi.org/10.1016/s0148-2963(98)00066-6)
- [19] Nair, A., Jayaram, J. and Das, A. (2015) Strategic Purchasing Participation, Supplier Selection, Supplier Evaluation and Purchasing Performance. *International Journal of Production Research*, **53**, 6263-6278. <https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1047983>
- [20] Krishnan, V., Eppinger, S.D. and Whitney, D.E. (1993). Iterative Overlapping: Accelerating Product Development by Preliminary Information Exchange. *5th International Conference on Design Theory and Methodology*, Albuquerque, 19-22 September 1993, 223-231. <https://doi.org/10.1115/detc1993-0024>
- [21] Liang, C.H., Hong, Z. and Jian, Z. (2011) Integrated Optimization Approach for Production-Distribution Planning in Supply Chain. *Control and Decision*, **26**, 27-31.
- [22] Fu, B., Huo, Y. and Zhao, H. (2012) Coordinated Scheduling of Production and Delivery with Production Window and Delivery Capacity Constraints. *Theoretical Computer Science*, **422**, 39-51. <https://doi.org/10.1016/j.tcs.2011.11.035>
- [23] Ullrich, C.A. (2013) Integrated Machine Scheduling and Vehicle Routing with Time Windows. *European Journal of Operational Research*, **227**, 152-165. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2012.11.049>
- [24] Fu, L., Aloulou, M.A. and Triki, C. (2017) Integrated Production Scheduling and Vehicle Routing Problem with Job Splitting and Delivery Time Windows. *International Journal of Production Research*, **55**, 5942-5957. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1308572>
- [25] Kong, L., Li, H., Luo, H., Ding, L., Luo, X. and Skitmore, M. (2017) Optimal Single-Machine Batch Scheduling for the Manufacture, Transportation and JIT Assembly of Precast Construction with Changeover Costs within Due Dates. *Automation in Construction*, **81**, 34-43. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.03.016>
- [26] Noroozi, A., Mazdeh, M.M., Heydari, M. and Rasti-Barzoki, M. (2018) Coordinating Order Acceptance and Integrated Production-Distribution Scheduling with Batch Delivery Considering Third Party Logistics Distribution. *Journal of Manufacturing Systems*, **46**, 29-45. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2017.11.001>
- [27] Solomon, M.M. and Desrosiers, J. (1988) Survey Paper—Time Window Constrained Routing and Scheduling Problems. *Transportation Science*, **22**, 1-13. <https://doi.org/10.1287/trsc.22.1.1>
- [28] Qureshi, A.G., Taniguchi, E. and Yamada, T. (2009) An Exact Solution Approach for Vehicle Routing and Scheduling Problems with Soft Time Windows. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, **45**, 960-977. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2009.04.007>
- [29] 马文建, 刘伟, 李传昭. 并行产品开发中设计活动间重叠与信息交流[J]. 计算机集成制造系统, 2008(4): 630-636.

- 
- [30] 陈洪转, 刘思峰, 何利芳. “主制造商-供应商”协同主体双重努力最优合作协调[J]. 系统工程, 2012, 30(7): 31-34.
- [31] Van den Broeke, M. and Paparoidamis, N. (2021) Engaging in or Escaping Co-Creation? An Analytical Model. *International Journal of Production Economics*, **231**, Article 107917. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107917>