

文章编号:1000-582X(2012)12-015-06

不确定条件下外协生产库存系统控制策略与参数优化

曹 乐,朱晓锋,刘 飞,王海霞

(重庆大学 机械传动国家重点实验室,重庆 400044)

摘 要:针对协作企业生产能力和运输时间不确定条件下的外协生产库存系统优化控制问题,提出了一种基于生产点和生产批量的生产库存控制策略。用统计概率分布对协作企业生产能力和运输时间的不确定性进行描述,以库存成本、生产准备成本和协作企业生产能力损失成本最小为目标,建立了生产能力和运输时间随机变动条件下生产库存系统控制策略的参数优化模型,设计了一种基于仿真的控制参数优化算法,通过实例对生产库存系统控制策略及控制参数优化算法进行了验证,并分析了生产点和生产批量等参数变化对与外协生产库存系统性能的影响。

关键词:生产控制;外协;优化;算法;仿真

中图分类号:TH164

文献标志码:A

Control strategy and parameters optimization outsourcing production inventory system under uncertainty

CAO Le, ZHU Xiaofeng, LIU Fei, WANG Haixia

(State Key Laboratory of Mechanical Transmission, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: This paper proposes a control strategy for the optimal control of the outsourcing production inventory system based on production point and production batch. The statistical probability distribution is used to describe the uncertainty of the production capacity of cooperative enterprises and the transportation time. The optimization model of the control parameters is developed with random production capacity for cooperative enterprises and random transportation time in order to minimize the holding cost, setup cost as well as the cost of production capacity waste. A simulation-based control parameters optimization algorithm is designed to solve the proposed model. The control strategy of production inventory system and the control parameters optimization algorithm proposed are validated by an example. We analyze the influence of the variation of the production point and production batch to the performance of the outsourcing production inventory system.

Key words: production control; outsourcing; optimization; algorithms; simulation

生产库存控制策略是影响制造系统性能的重要因素。制造环境中不确定因素及其随机变动使得制造系统控制问题变得越来越复杂,相应地,对制造系统生产库存控制策略及其适应性的要求也越来越高^[1-2]。

生产库存控制策略是制造系统优化控制研究的主要内容之一。不确定条件下生产库存系统的控制策略是目前国内外研究者关注的重点。在现有研究中,不确定条件下的生产库存系统控制策略主要包括 (s, S) 策略^[3]、经济生产批量策

收稿日期:2012-07-04

基金项目:国家 863 计划资助项目(2012AA040914)

作者简介:曹乐(1975-),男,重庆大学副教授,博士,主要从事制造系统优化控制研究,(E-mail)lecao@cqu.edu.cn。

略^[4]、模糊生产批量策略^[5-6]、联合经济生产批量策略^[7]、安全库存生产策略^[8-9]、连续生产策略^[10]、连续盘点策略^[11-12]等,这些控制策略多以减少库存作为控制的目标。然而,对于具有协作生产特性的外协生产库存系统而言,仅以减少库存作为控制目标显然不够^[13]。在外协生产库存系统中,当主生产企业库存控制的较小而协作企业生产能力变化幅度较大时,制造系统内部库存与外协生产能力之间就很难实现良好的匹配,从而造成协作企业生产能力的浪费。因此,需要针对具有协作生产特性的外协生产库存系统研究更加有效的生产库存控制策略。

笔者以生产能力和运输时间具有随机变动特性的外协生产库存系统为研究对象,用统计概率分布对外协生产能力和运输时间进行描述,提出一种基于生产点和生产批量的控制策略,以协作企业生产能力损失成本、库存成本和生产准备成本最小为目标对控制策略的参数进行优化。

1 外协生产库存系统控制策略描述

将外协生产库存系统简化为图 1 所示的制造系统。产品在主生产企业加工完成后进入半成品库房,再经外部协作企业加工后转变为成品。假设协作企业的生产能力和运输时间具有不确定性,可通过对某时间段内协作企业生产能力随机变动情况的统计得到协作企业生产能力变化的经验分布。同理,可通过对某时间段内运输时间随机变动情况的统计得到运输时间变化的经验分布,并用所得到的经验分布来分别表示协作企业的生产能力和运输时间。

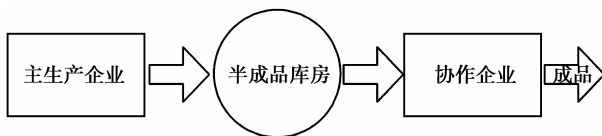


图 1 外协生产库存系统简图

在外协生产库存系统中,由于协作企业生产能力和运输时间存在不确定性,当主生产企业生产批量过大或生产过早而协作企业生产能力不足时,会产生大量的库存;当主生产企业生产批量过小或生产不及时而协作企业生产能力充裕时,又会造成协作企业生产能力得不到充分利用。为此,本文提出一种基于生产点和生产批量的外协生产库存系统控制策略,通过控制生产点和生产批量实现外协生产库存系统的优化控制。具体如下:

任意时刻 t , 判断该时刻以后各时刻的运输时间,如果可以在运输时间将零件运至协作企业,则判断该时刻库存是否能够满足符合该运输时间对应时刻的协作企业生产能力。如果能够满足,表明该时刻库存充裕,能够利用协作企业生产能力,同时将与协作企业生产能力相应数量的零件从库存中取出并运往协作企业进一步生产,剩余零件将被保存到下一时刻;如果不能满足或只能部分满足,表明该时刻产生能力损失现象,协作企业生产能力得不到充分利用,能力损失程度视库存与相应时刻协作企业生产能力而定。确定一个库存盘查周期,当所盘查的库存水平低于生产点,并且上一次生产已经结束时,主生产企业开始新一次给定生产批量零件的生产,将给定生产批量的毛坯初步加工成为半成品后暂存入半成品库房,该批零件的生产时间与生产批量成正比。主生产企业单位时间生产能力具有上限约束,如果零件生产批量大于单位时间生产能力上限,则将该批零件分为多次生产直至批量完成。

2 外协生产库存系统控制参数优化

生产点和生产批量直接影响半成品库存和协作企业生产能力的利用率,生产点过高会增加库存成本,生产点过低,则会增加协作企业生产能力损失的概率;生产批量太小会增加生产准备成本,生产批量太高又会增加生产库存成本。因此,必须对外协生产库存系统的生产点和生产批量两个控制参数进行优化。以系统总生产成本最小化为目标建立外协生产库存系统控制参数优化模型,其中总成本包括库存成本,能力损失成本和生产准备成本。

2.1 外协生产库存系统控制参数优化模型

首先对用到符号和参数等进行描述。令 r 表示生产点, $r=0,1,2,\dots$; Q 表示主生产企业生产批量, $Q=0,1,2,\dots$; M 表示主生产企业单位时间生产能力上限; $P(t)$ 表示 t 时刻的半成品库存量; $W(t)$ 表示 t 时刻协作企业的生产能力; δ 表示协作企业生产能力利用率; $N(t)$ 表示 t 时刻主生产企业的生产状态, $N(t)=1$ 表示 t 时刻主生产企业处于生产状态, $N(t)=0$ 表示 t 时刻主生产企业处于空闲状态; $g(t)$ 表示 t 时刻运往协作企业的零件数, $g(t)\leq W(t)$; τ_m 表示由本成品运往协作企业的运输时间; λ_m 表示 m 时刻主生产企业完成 Q 件半成品生产需要的时间; h 表示单位时间库存成本; c 表示协作企业的能力损失成本; f 表示主生产企业生产准备成本。

给定时间段 n , 则时间段 n 内的生产准备成本 α 可表示为

$$\alpha = f \sum_1^n N(t), \quad (1)$$

式中: $N(t) = \begin{cases} 1, & t \text{ 时刻准备生产,} \\ 0, & \text{其他状态.} \end{cases}$

t 时刻的库存为 $t-1$ 时刻库存减去运出零件数后剩余库存, $t-1$ 时刻产生的库存成本为 $HP(t)$, 则时间段 n 内的库存成本 β 可表示为

$$\beta = h \sum_2^n P(t). \quad (2)$$

当 $P(t-\tau_t) < W(t)$ 时, 协作企业生产能力不能得到充分利用产生能力损失, 时间段 n 内的能力损失成本 γ 可表示为

$$\gamma = c \sum_0^n (W(t-\tau_t) - g(t)). \quad (3)$$

式中:

$$g(t) = \begin{cases} W(t), & P(t-\tau_t) \geq W(t); \\ P(t-\tau_t), & P(t-\tau_t) < W(t). \end{cases} \quad (4)$$

时间段 n 内的总生产成本包括库存成本, 能力损失成本和生产准备成本。用 C_n 表示时间段 n 内的总生产成本, 则有

$$C_n = \alpha + \beta + \gamma = f \sum_0^n N(t) + h \sum_0^n P(t) + c \sum_0^n (W(t-\tau_t) - g(t)). \quad (5)$$

以时间段 n 内的总生产成本最小化为目标建立外协生产库存系统控制参数优化模型, 即

$$Z = \min C_n. \quad (6)$$

$$\text{s. t.} \quad \sum_0^n N(t) \leq n \quad (7)$$

$$P(t) \leq H, t = 0, 1, 2, \dots, n; \quad (8)$$

$$f > 0; h > 0; c > 0. \quad (9)$$

约束条件(7)为企业生产次数约束, (8)为库存上限约束, (9)确保 f, h, c 非负。

2.2 基于仿真的外协生产库存系统控制参数优化算法

外协生产库存系统参数优化的目的是寻找合适的生产点和生产批量使系统总生产成本最小。本文针对运输时间和协作企业生产能力不确定条件下的外协生产库存系统控制参数设计了一种基于仿真的控制参数优化算法。其基本思想是: 在 eM-Plant 中建立仿真环境, 在 r 和 Q 的可行域内, 搜索使总成本最小的最优 (r, Q) 组合, (r, Q) 组合的目标函数值由同一仿真环境下的程序循环得出^[14-15], 其流程如图

2 所示, 具体步骤如下。

步骤 1 设定仿真运行的时间 n , 将时间参数 t 初始化为 1; 确定 Q, r 的可行取值范围, 并用 Q_{\min} 和 r_{\min} 初始化 Q 和 r , 其中 Q 和 r 为正整数; 将 $Z_{\text{opt}}, Q_{\text{opt}}, r_{\text{opt}}$ 控制参数最优值初始化为 0; 将 f, h, c, H , 初始库存等系统参数初始化为特定值; 确定 $W(t)$ 和 τ_t 的分布规律并按分布生成 $W(t)$ 和运输时间 τ_n 。

步骤 2 t 时刻, 将辅助参数 k, h 初始化为 1。

步骤 3 若 $\tau_{t+k} = k$ 则执行步骤 4, 若 $\tau_{t+k} \neq k$ 则转步骤 5。

步骤 4 若 $P(t) \geq W(t + \tau_{t+k})$, 则 $g(t) = W(t + \tau_{t+k}), P(t) = P(t) - W(t + \tau_{t+k})$, 累计库存成本: $\beta = \beta + hP(t)$; 若 $P(t) < W(t + \tau_{t+k})$, 则 $g(t) = P(t), P(t) = 0$ 累计能力损失成本: $\gamma = \gamma + c(W(t + \tau_{t+k}) - P(t))$, 累计库存成本: $\beta = \beta + hP(t)$ 。

步骤 5 若 $h = n$, 则执行步骤 6, 若 $h \neq n$ 则 $h++$, $k++$ 转步骤 3。

步骤 6 若 $P(t) \geq r$, 则转步骤 7; 若 $P(t) < r$, 则转步骤 10。

步骤 7 若 $t = n$, 计算 C_n 。当 $r = r_{\min}, Q = Q_{\min}$ 时, 则 $Z = C_n, Q_{\text{opt}} = Q, r_{\text{opt}} = r$, 否则若 $C_n < Z$, 则 $Z = C_n, Q_{\text{opt}} = Q, r_{\text{opt}} = r$ 。若 $t < n, t++$, 转步骤 2。

步骤 8 若 $r = r_{\max}$, 转步骤 9, 否则 $r++$, 转步骤 2。

步骤 9 若 $Q = Q_{\max}$, 转步骤 17, 否则 $Q++$, 转步骤 2。

步骤 10 判断上次生产是否完成。若 $N(t-1) = 1$, 则表示上次生产未完成, 则不安排生产, 转步骤 7; 若 $N(t-1) = 0$, 则表示上次生产已完成, 则令 $N(t) = 1$ 安排一次生产, 转步骤 11。

步骤 11 判断 Q 与 M 大小关系。若 $Q \leq M$, 则转步骤 12; 若 $Q > M$, 则转步骤 13。

步骤 12 生产, 累计生产准备成本: $\alpha = \alpha + fN(t)$, 更新库存: $P(t+1) = P(t+1) + Q$ 。

步骤 13 初始化辅助参数 i 和 λ 为 1。

步骤 14 生产, 累计生产准备成本: $\alpha = \alpha + fN(t)$, 更新库存: $P(t+\lambda) = P(t+\lambda) + Q$ 。

步骤 15 判断批量是否完成。若 $i = \text{ceil}(Q/M)$, 则转步骤 16; 若 $i < \text{ceil}(Q/M)$, 则 $\lambda++$, $i++$, 转步骤 14。

步骤 16 结束本次生产。

步骤 17 结束计算, 输出 C_n, Q_{opt} 和 r_{opt} 。

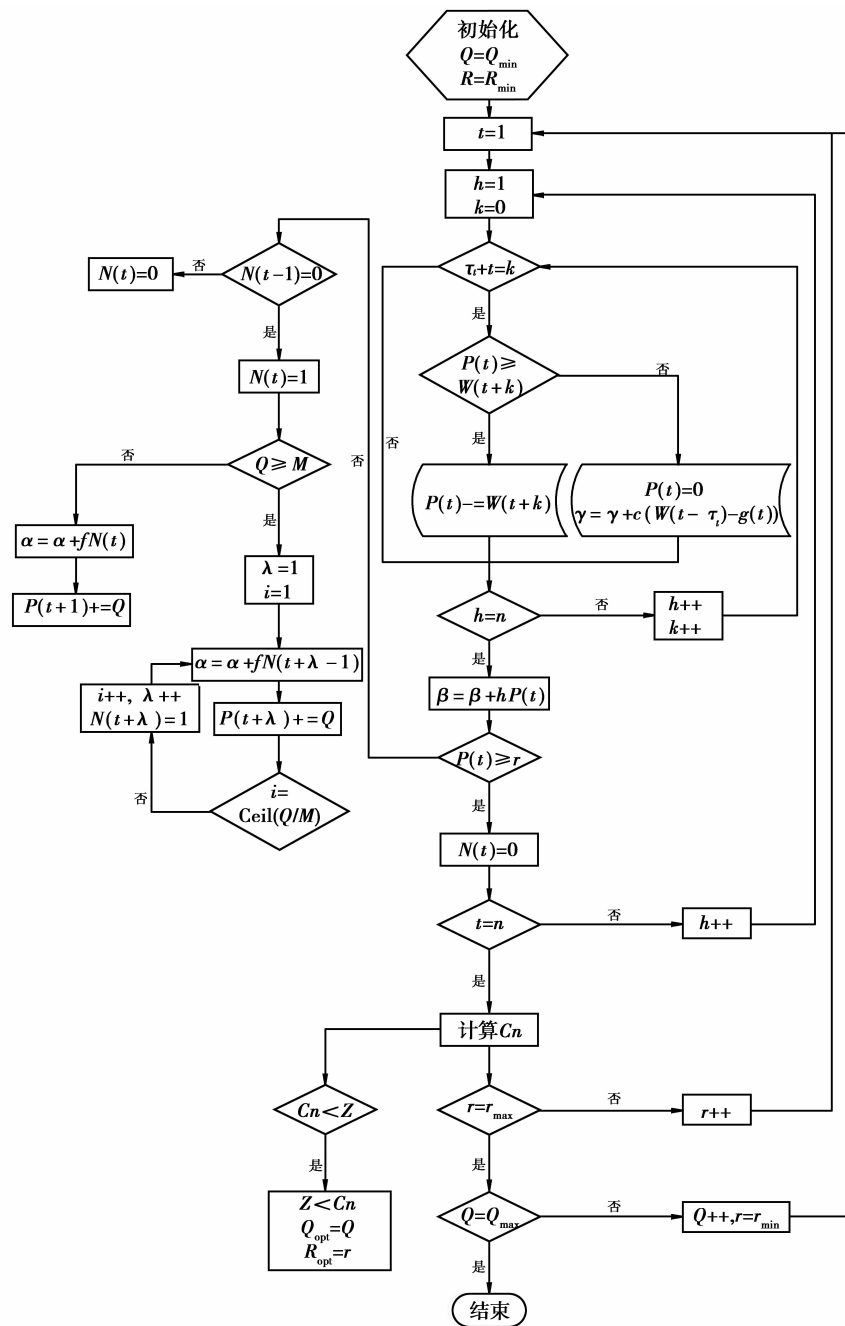


图 2 基于仿真的外协生产库存系统控制参数优化算法流程

3 举例分析

某外协生产库存系统中根据历史统计得到的协作企业生产能力的分布如表 1 所示,运输时间分布如表 2 所示。假设初始库存为 100,生产准备成本为 200,库存容量为 5 000,主生产企业单位时间最大生产能力为 500,能力损失成本、库存成本等其它参数如表 3 所示。

表 1 协作企业生产能力分布

生产 能力	0	10	20	30	40	50	60	70
概率	0.15	0.062 5	0.087 5	0.187 5	0.25	0.125	0.1	0.037 5
累计 概率	0.15	0.212 5	0.3	0.487 5	0.737 5	0.862 5	0.962 5	1

表 2 运输时间分布

运输时间	0	1	2	3	4
概率	0.175	0.25	0.325	0.1875	0.0625
累计概率	0.175	0.425	0.75	0.9375	1

表 3 生产库存系统其他参数

f	c	h	$P(0)$	n	Q	r	M	H
200	4	1	100	1000	10~500	20~200	500	5000

令 Q 和 r 的取值范围分别设为 $[10, 500]$ 和 $[20, 200]$, 进行仿真运算, 当 $r=31, 32 \dots 40, Q=120$ 时, 系统具有最小总生产成本, 如图 3 所示。此时系统单位时间内的平均库存、协作企业生产能力的平均利用率、最小总生产成本以及系统单位时间的平均产出如表 4 所示。相同条件下, 采用 (s, S) 策略进行控制, 当系统具有最小总生产成本时, 参数 s, S 的取值分别为 $s=30$ 和 $S=131$ 。此时系统单位时间内的平均库存、协作企业生产能力平均利用率、最小总生产成本以及系统单位时间内的平均产出如表 4 所示。

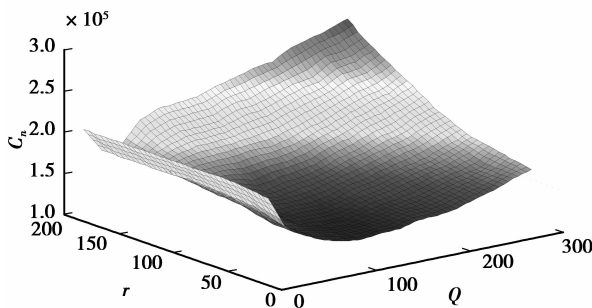


图 3 Q, r 与 C_n 的关系

表 4 控制策略比较

控制策略	协作企业 生产能力 平均利用率	平均 库存	最小总 生产成本	平均生 产准备 成本	平均 产出
基于生产点和生产批量的控制策略	73.98%	38.570	1.186×10^5	37.8	30.470
(s, S)	73.54%	40.136	1.209×10^5	36.4	30.297

对比表 4 中各项数据可以看出, 在最小总生产成本对应的控制参数下, 所提基于生产点和生产批

量的控制策略比 (s, S) 策略的生产准备成本高 3.8%, 库存低 3.9%, 协作企业生产能力的平均利用率高 0.44%, 最小总生产成本低 1.9%, 平均产出高 0.57%。分析后不难发现, 尽管本策略在生产准备成本方面略高于 (s, S) 策略, 但是在库存控制、协作企业生产能力利用、系统生产效率提升等方面仍具有一定优势。

进一步分析得到 Q 与库存成本的关系如图 4 所示, Q 与生产准备成本的关系如图 5 所示, Q 与能力损失成本的关系如图 6 所示, Q 与单位时间协作企业生产能力利用率的关系如图 7 所示, Q 与总生产成本的关系如图 8 所示, $Q=120$ 时 r 与总生产成本的关系如图 9 所示。

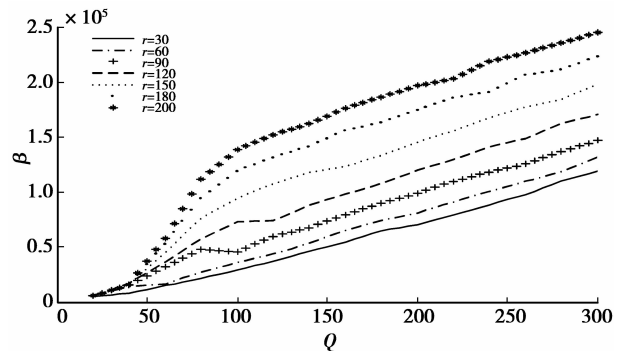


图 4 Q 与 β 的关系

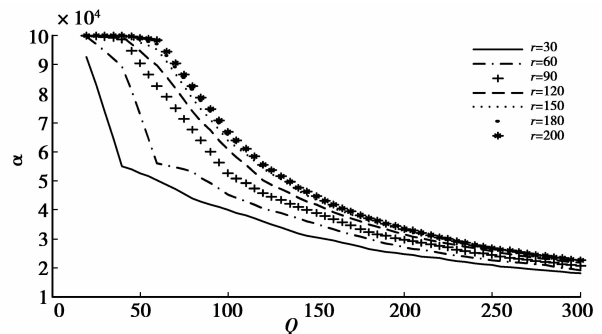


图 5 Q 与 α 的关系

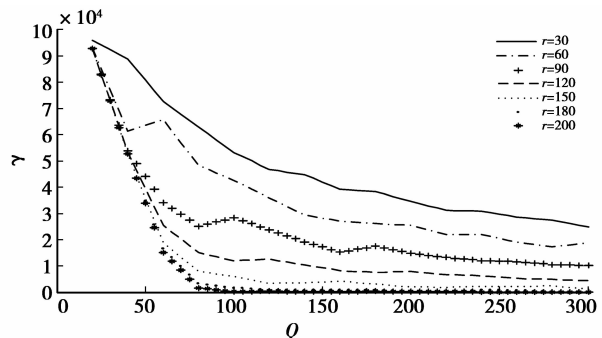
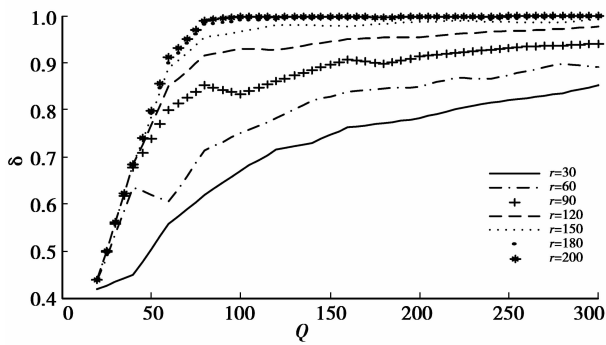
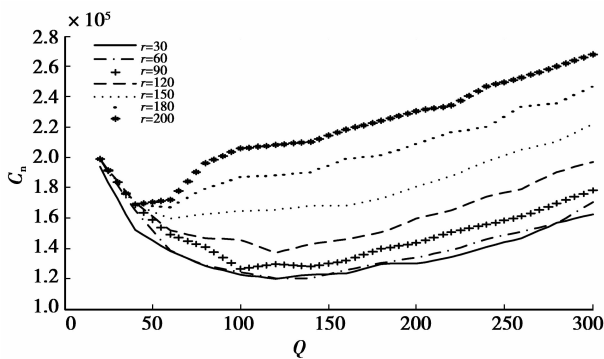
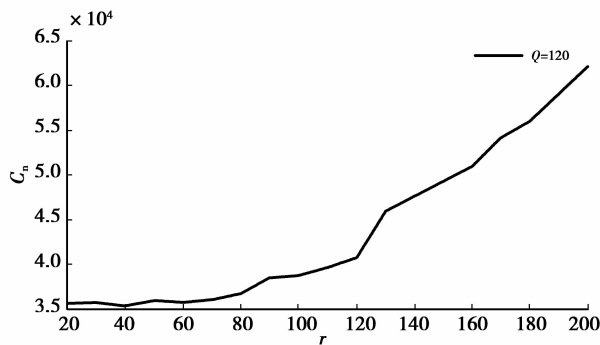


图 6 Q 与 γ 的关系

图 7 Q 与 δ 的关系图 8 Q 与 C_n 的关系图 9 $Q=120$ 时, r 与 C_n 的关系

当 r 值一定时,随着 Q 值的增大,库存成本逐渐提高,如图 4 所示;生产准备成本和能力损失成本逐渐减低,如图 5 和图 6 所示;协作企业生产能力利用率增大,但 Q 对其影响越来越小,如图 7 所示;总生产成本随着 Q 的增加先减小后增大,如图 8 所示。因此,在固定 r 值下提高 Q 值会增加库存成本,但可有效减少生产准备成本,改善能力损失。

当 Q 值一定时,随着 r 值的增大,库存成本和生产准备成本相应提高,如图 4~图 5 所示;能力损失成本会降低,协作企业生产能力利用率会迅速提高,分别如图 6~图 7 所示;因此,在 Q 值一定时,提高 r 值会造成生产准备成本和库存成本的增加,但可有

效减少协作企业的生产能力损失,总生产成本也会随着 r 值的增大而增加,如图 8~图 9 所示。

分析可知,生产点与生产批量与外协生产库存系统性能紧密相关,为了实现系统的有效控制,生产点和生产批量的设置应该综合考虑库存、协作企业生产能力利用等多种因素。

4 结 论

1)针对外协生产环境下协作企业生产能力和运输时间的不确定性,采用统计概率分布对协作企业生产能力和运输时间的不确定性进行描述,提出了一种基于生产点和生产批量的控制策略。

2)将设定时间段内协作生产库存系统的总生产成本表示为库存成本、能力损失成本与生产准备成本之和,建立了以系统总生产成本最小化为目标的外协生产库存系统控制参数优化模型,设计了一种基于仿真的控制参数优化算法,得到了生产点和生产批量控制策略的最优控制参数。

3)通过比较所提基于生产点和生产批量的控制策略与已有控制策略在系统单位时间平均库存、协作企业生产能力平均利用率、最小总生产成本以及系统单位时间平均产出等指标上的差异,验证了该控制策略在库存控制、协作企业生产能力利用以及系统产出率等方面的优势。

4)研究了生产点、生产批量与外协生产库存系统性能之间的关系。结果表明,提高生产批量和生产点可有效减少外协生产能力损失,但会相应增加生产准备成本和库存成本。

参考文献:

- [1] 田俊峰, 杨梅. 随机需求条件下生产-库存系统优化与仿真[J]. 系统仿真学报, 2004, 16(11): 2522-2524.
TIAN Junfeng, YANG Mei. Optimization and simulation of production-inventory system with stochastic demand[J]. Journal of System Simulation, 2004, 16(11): 2522-2524.
- [2] 施文武, 严洪森, 往峥. 一种多周期随机需求生产/库存模型[J]. 中国机械工程, 2006, 17(18): 1950-1954.
SHI Wenwu, YAN Hongsen, WANG Zheng. A multi-period production/inventory model under random demands[J]. China Mechanical Engineering, 2006, 17(18): 1950-1954.
- [3] Yang J, Qi X T, Xia Y S. A production-inventory system with markovian capacity and outsourcing option[J]. Operations Research, 2005, 53(2): 328-349.

(下转第 45 页)

- capacitor used in power conversion circuit[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument, 2010, 24(1):29-33.
- [10] 刘成印,严仰光. 高频开关电源系统可靠性指标 MTBF 的计算方法[J]. 电工技术杂志,2001(12):3-5.
LIU Chengyin, YAN Yangguang. The method of calculating for reliability parameter MTBF of high-frequency switch power supply system [J]. Electrotechnical Journal,2001(12):3-5.
- [11] PANG H M, Pong B M H. A method to analysis and design for long life power converter[C]// Proceedings of the 25th Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, February 21-25, 2010, Palm Springs, CA. Piscataway: IEEE Press, 2010:1857-1864.
- [12] 杨柏禄,王书堂,陈永真. 电解电容器的发热分析与冷却措施[J]. 元器件应用,2008(7):67-70.
YANG Bailu, WANG Shutang, CHEN Yongzhen. Heating analysis of electrolytic capacitors and cooling measures[J]. Elements Application,2008(7):67-70.
- [13] Ma H, Wang L G. Fault diagnosis and failure prediction of aluminum electrolytic capacitors in power electronic converters[C]// Proceedings of the 31st IEEE Annual Conference of Industrial Electronics Society, November 6-10, 2005, Raleigh, USA. Piscataway: IEEE Press, 2005:842-847.
- [14] Riz A, Fodor D, Klug O, et al . Inner gas pressure measurement based life-span estimation of electrolytic capacitors[C]// Proceedings of the 13th International Conference of Power Electronics and Motion Control, September 1-3, 2008, Poznan, Poland. Piscataway: IEEE Press, 2008:2096-2101.
- [15] 沈海平. 大功率 LED 可靠性预测机制研究[D]. 杭州: 浙江大学信息学院, 2008.

(编辑 张小强)

(上接第 20 页)

- [4] Hill R M. Batching policies for linearly increasing demand with a finite input rate [J]. International Journal of Production Economics, 1996, 43 (2/3): 149-154.
- [5] Hsieh C H. Optimization of fuzzy production inventory models[J]. Information Sciences, 2002, 146(1/2/3/4): 29-40.
- [6] Chen S H, Chang S M. Optimization of fuzzy production inventory model with unrepairable defective products[J]. International Journal of Production Economics, 2008, 113(2):887-894.
- [7] Goyal S K. A joint economic-lot-size model for purchaser and vendor: a comment [J]. Decision Sciences, 1988, 19(1):236-241.
- [8] Potamianos J, Orman A J, Shahani A K. Modelling for a dynamic inventory-production control system [J]. European Journal of Operational Research, 1997, 96(3): 645-658.
- [9] Rau H, OuYang B C. An optimal batch size for integrated production-inventory policy in a supply chain[J]. European Journal of Operational Research, 2008, 185(2):619-634.
- [10] 齐二石,张颖. 基于控制理论的连续生产库存管理[J]. 工业工程, 2007, 10(6):10-12.
- QI Ershi, ZHANG Ying. Inventory management of continuous production based on control theory[J]. Industrial Engineering Journal, 2007, 10(6):10-12.
- [11] 夏海洋,黄培清. 随机需求下提前期可控的生产-库存联合优化模型[J]. 控制与决策, 2008, 23(6):631-636.
XIA Haiyang, HUANG Peiqing. Integrated production-inventory model with stochastic demand and controllable lead time [J]. Control and Decision, 2008, 23(6): 631-636.
- [12] Okubo B. Reserve production capacity in a production inventory system [J]. International Journal of Production Economics, 1996, 44(1/2):159-166.
- [13] Hui I K, Lau H C W. A dynamic inventory-production scheduling model for small scale organization [J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2003, 22(1/2):89-100.
- [14] 施於人,邓易元,蒋维. eM-Plant 仿真技术教程优技[M]. 北京:科学出版社,北京希望电子出版社,2009.
- [15] 李国朝, MATLAB 基础及应用[M]. 北京:北京大学出版社, 2011.

(编辑 张小强)