

中小型农机制造企业生产存储策略研究

程小川, 李成松*, 宋海草, 曹卫彬, 马信春 (石河子大学机械电气工程学院, 新疆石河子 832000)

摘要 为了得到中小型农机制造企业在某产品一个生产周期内的生产存储策略, 在考虑农机生产销售特征的基础上, 提出了具有备货期及阶段性产能调整的多元非线性生产模型。在此基础上, 对模型进行分析与简化, 得到了2种产能安排策略下的生产存储模型, 并运用 Matlab 软件对2种情况进行数值仿真计算, 得到模型最优解, 最后, 运用 S-M 法对原材料订购进行分析。结果表明, 阶段性的产能调整策略能获得最优成本, 备货期的长度是确定整个周期内生产存储策略的关键因素。

关键词 农机企业; 季节性; 生产存储策略; 数学建模; 原材料订购

中图分类号 S22 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)23-0199-05

Research on Production and Storage Strategy of Small and Medium-sized Agricultural Machinery Manufacturing Enterprises
CHENG Xiao-chuan, LI Cheng-song*, SONG Hai-cao et al (College of Mechanical and Electrical Engineering, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832000)

Abstract To obtain the production-inventory strategy of the small and medium-sized agricultural machinery manufacturing enterprises in a production cycle, by considering the characteristic of the production-sales of agricultural machines, a multiple non-linear model provided with stocking period and stage of production capacity adjustment was proposed. Basing on this, by analyzing and simplifying the model, a binary production decision model for two kinds of capacity plan strategy was built. In the meanwhile, Matlab was used to solve the model, and got the optimal solution. At last, S-M method was used to analyze the ordering of raw materials. The result showed that adjust the production capacity could help getting the optimimal cost, and the production-inventory strategy in one production cycle was determined by the length of the stocking period to a great extent.

Key words Agricultural machinery enterprise; Seasonal; Production-inventory strategy; Mathematical modeling; Raw material order

近年来, 农机行业在市场需求增速下降的情况下实现了利润上扬, 显示出农机行业依旧存在着较大的市场空间与利润空间^[1]。中小型农机制造企业由于其较小产能与较大的市场需求之间的矛盾, 要想获得更多的订单并按时交货, 只能选择备货型生产(Make To Stock, MTS)。由于农业生产的季节性特征明显, 农机生产企业也必须按阶段性、季节性生产某一种农具。如何恰当地安排生产, 使得在满足订单需求获取最大利润的基础上, 使总的生产成本和存储成本最小, 是众多农机生产企业亟待解决的问题。在解决生产与存储问题上, 通常的做法是应用传统的经济订货批量模型(Economic Order Quantity, EOQ)与经济生产批量模型(Economic Production Quantity, EPQ)分别确定各种原材料采购批量和各种产品生产批量^[2]。

传统的 EOQ 模型^[3-4]主要是针对买方市场建立的。在此基础上, Panda 等^[5]针对易逝率因子是常数情况下的单一品种的库存管理问题, 提出了产品生命周期内基于有限时间跨度的最优补货策略。Peng^[6]针对季节性产品的存储问题, 提出了一个季节性需求产品的库存模型, 并给出了确定最优价格及订购批量的方法。Jia 等^[7]针对产品的最优定价与订货批量问题, 对需求不确定且价格敏感的系统进行了研究, 得出了定价、订货量与库存和批发价之间的关系模型。

事实上, 对于企业的生产过程而言, 针对生产环境建立的 EPQ 模型更具备参考意义。林欣怡等^[8]针对易变质产品存在部分短缺量拖后这一问题, 建立利润随机状态下的生产

存储模型, 为解决易变质产品的存储问题提供了思路。杨涛等^[9], 周思宇等^[10]针对变质率、需求率为常数且补货率有限的易变质产品在有限计划期内的生产存储问题, 建立了相应策略模型, 并验证了策略的可行性。Sarkar 等^[11]考虑了市场波动以及产品质量不稳定情况下的最优 EPQ 模型, 根据需求分布得到了最优利润函数。Wee 等^[12]考虑在存在延迟交货率的情况下, 提出一个整个生产周期内的最优 EPQ 模型, 为决策者提供了决策参考。陈宪章等^[13]针对企业生产率有限的情况, 建立了一个考虑冲击性需求、生产率变化, 以启动机器数量为决策关键的最优生产存储库存策略。周凌等^[14]针对季节性产品在生命周期内的生产存储问题, 提出了具有固定需求转移和增长特征的生产销售模型。

现有的研究主要针对不同产品的库存和补货策略进行了探索, 尤其是连续生产的订单型生产模式下的研究成果颇丰, 但部分研究人员将产品需求假设为一固定函数, 与实际情况出入较大。笔者在上述学者研究的基础上, 以目前研究较少的中小型农机制造企业为研究对象, 根据农机制造企业生产存储特征进行建模, 得到了具有备货期及阶段性产能调整的生产存储策略, 为农机企业生产运作提供参考。

1 问题与假设

1.1 问题描述 传统的备货型生产是边生产边销售, 而由于农机需求的不连续性, 农机企业在备货阶段不存在销售行为。针对中小型农机制造企业产品生产、销售不连续, 订单完全呈现季节性且冲击性强等特征, 在考虑存在退货的情况下, 引入备货期与需求迁移率, 讨论备货期长度与产能调整过程中的赶工策略以及产品生产、存储成本之间的相关关系; 并在前述研究已知每月需生产数量的基础上, 计算最佳原材料订购批量与订购周期, 以获取最小成本, 为企业创造利润。建模流程如图 1 所示。

基金项目 国家自然科学基金(51445015); 石河子大学基础应用研究项目(2014ZRKXYQ06)。

作者简介 程小川(1994—), 男, 重庆人, 硕士研究生, 研究方向: 生产系统与集成技术。* 通讯作者, 教授, 博士生导师, 从事农业机械化、工业工程研究。

收稿日期 2017-06-07

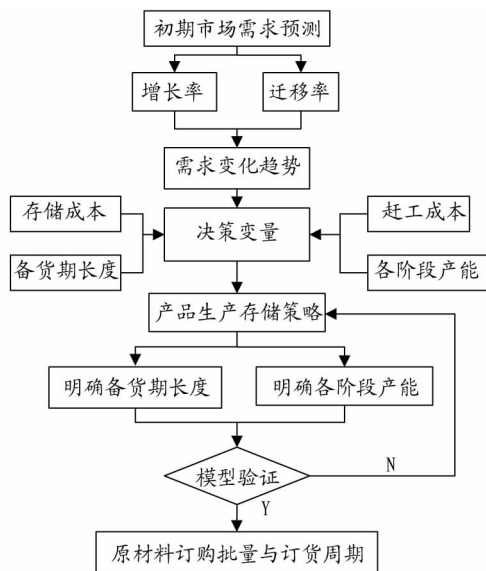


图1 建模流程

Fig.1 Modeling process

1.2 模型假设 为获取更多利润,中小型农机制造企业在产能较低的情况下采取备货型生产模式,因此存在一个备货期 m ,为销售期的冲击性需求做准备,备货期间以常规产能 P_0 进行生产,不存在赶工情况。而在销售期需求冲击性很大,企业需要安排赶工,设各阶段调整过后的产能为 $P_t (1 \leq t \leq n)$,且赶工产能仍小于订单需求。市场初始需求由历史销售数据预测得出,对具有一般竞争力的季节性产品,当不考虑市场需求出现大幅波动时,可以设单位时间内的需求增长率为常数 $\beta^{[14]}$ 。由于农业机械的特殊作业环境,时常会出现产品工作不理想而导致退货情况的发生,因此在考虑存在退货的情况下引入需求迁移率 α ,表示上一个月的退货量对下个月订单的影响,二者线性相关。为了避免设备存在反复启动的情况,造成额外启动费用,假定生产过程中后一个月的产能始终不小于前一个月。模型的目标是确定备货期 m ,并确定每个月调整后的产能,使总的成品生产、存储费用最小。其他符号及假设如下: n 为销售期月份数量; R_t 为 t 月市场需求,其中 R_1 通过需求预测得出; C_0 为每月固定成本; C_1 为单位产品生产成本; C_2 为单位产品赶工成本,且为赶工量的函数,记为 $C_2 = \psi(P_t)$; C_3 为一次产能调整费用; S_0 为单位成品月存储成本; F_t 为 t 月退货量; α_t 为 t 月需求迁移率, $\alpha_t = \frac{-F_t}{R_t}d$,其中 d 为常数; C' 、 S' 分别为备货期的总生产成本和存储成本; C'' 、 S'' 分别为销售期的生产成本和存储成本,具体每月的成本设为 C'' 、 S'' ; s 为库存量。

通过以上描述与假设,可建立以备货期、各阶段产能为决策变量的多元函数模型,生产过程中的产出总量变化趋势以及库存量变化趋势如图2、图3所示。在 $[0, m]$ 时间段内,不存在销售行为,企业按照常规产能生产并入库,由图2、3可知,此阶段生产量等于库存量;在 $[m, n]$ 时间段内企业开始销售行为,由于需求量的冲击性巨大,企业加大产能继续生产,并同时消耗库存, n 时间点该周期结束,此时总生产量

达到最大,库存归零。

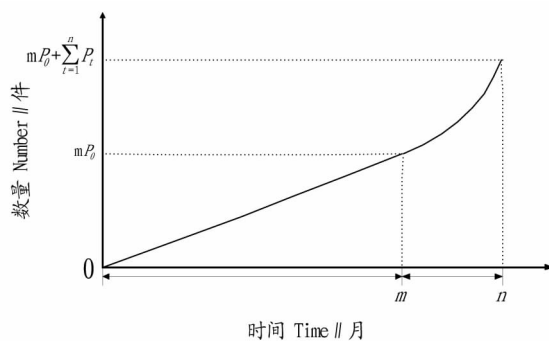


图2 生产量变化趋势

Fig.2 Change trend of production

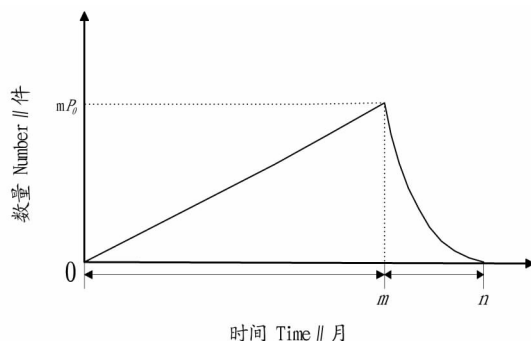


图3 库存量变化趋势

Fig.3 Change trend of inventory

在上述模型基础上,采用希尔弗-米尔启发式方法对原材料订购进行规划。希尔弗-米尔启发式方法简称S-M法,由加拿大学者 E. A. Silver 和 H. C. meal 共同提出,该方法采用期间平均总库存成本作为判别函数,通过调整订货批量使原材料订购成本和原材料存储成本之和最小,具体函数如下:

$$TAC(K) = \frac{H + S_1 \sum_{i=B}^K (i-B)U(i)}{K-B+1} \quad (1)$$

式(1)中, B 为订货区间的起始阶段; H 为单次订货成本; K 为订货区间的任意时段; S_1 为单位原材料存储成本; $U(i)$ 为第 i 时段的原材料需求; $TAC(K)$ 为任意时段 K 的判别函数。

2 生产存储模型

2.1 模型描述 在备货期 $[0, m]$ 时间内,企业按常规产能 P_0 安排生产,生产的成品全部入库,产生库存成本。因此,在备货期内的生产成本可表示如下:

$$C' = (P_0 C_1 + C_0) m \quad (2)$$

备货期的存储成本可表示如下:

$$S' = \sum_{x=1}^m x P_0 S_0 \quad (3)$$

而在销售期,每月需要根据需求进行产能调整,并且由于存在退货的情况,需要考虑需求迁移率,情况比较复杂,因此进行分段讨论。

第1月:需求为 R_1 ,产能调整为 P_1 ,并在第1个月维持这一产能进行生产,因此,该月需消耗的库存量为 $\Delta s^1 = R_1 - P_1$ 。所以,第1个月的生产成本和存储成本可依次表示为

$$C^m = P_0 C_1 + (P_1 - P_0) C_2 + C_0 \quad (4)$$

$$S^m = [mP_0 - R_1 + P_1] S_0 \quad (5)$$

第2月:由前述假设可知,第2个月需求量的增量由2部分组成,一是市场需求增长率 β ,二是由于退货引起的需求迁移率 α 。因此有:

$$R_2 = R_1 \left(\beta + \frac{-F_1}{R_1} d + 1 \right) \quad (6)$$

产能调整为 P_2 ,并在第2个月维持这一产能进行生产,因此,第2个月消耗的库存为

$$\Delta s^{n2} = R_2 - P_2 = R_1 \left(\beta + \frac{-F_1}{R_1} d + 1 \right) - P_2 \quad (7)$$

由于第1个月退货量为 F_1 ,因此,第2个月相对第1个月的需求迁移率为 $\alpha_1 = \frac{-F_1}{R_1} d$ 。所以,第2个月的生产成本和存储成本可依次表示为

$$C^{n2} = P_0 C_1 + (P_2 - P_0) C_2 + C_0 \quad (8)$$

$$S^{n2} = [mP_0 - R_1 + P_1 - R_1 \left(\beta + \frac{-F_1}{R_1} d + 1 \right) + R_2] S_0 \quad (9)$$

同理,第 n 月:第 n 月的需求量为

$$R_n = R_{n-1} \left(\beta + \frac{-F_{n-1}}{R_{n-1}} d + 1 \right) \quad (10)$$

产能调整为 P_n ,并在第 n 月维持这一产能进行生产,因此,第 n 月消耗的库存为

$$\Delta s^{nm} = R_n - P_n = R_{n-1} \left(\beta + \frac{-F_{n-1}}{R_{n-1}} d + 1 \right) - P_n \quad (11)$$

所以,第 n 月的生产成本和存储成本可依次表示为

$$C^{nm} = P_0 C_1 + (P_n - P_0) C_2 + C_0 \quad (12)$$

$$S^{nm} = [mP_0 - R_1 + P_1 - R_1 \left(\beta + \frac{-F_1}{R_1} d + 1 \right) + P_2 \cdots - R_{n-1}$$

$$\left(\beta + \frac{-F_{n-1}}{R_{n-1}} d + 1 \right) + P_n] S_0 \quad (13)$$

综上所述,在一个生产周期内,产品的生产成本和存储成本可表示如下:

$$\begin{aligned} C &= C' + C^n = C' + C^{m1} + C^{n2} + \cdots + C^{nm} \\ &= (P_0 C_1 + C_0) m + P_0 C_1 + (P_1 - P_0) C_2 + C_0 + P_0 C_1 + \\ &\quad (P_2 - P_0) C_2 + C_0 + \cdots + P_0 C_1 + (P_n - P_0) C_2 + C_0 \\ &= C_1 P_0 (m + n) + C_2 \left(\sum_{i=1}^n P_i - n P_0 \right) + C_0 (m + n) \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} S &= S' + S^n = S' + S^{m1} + S^{n2} + \cdots + S^{nm} \\ &= \sum_{x=1}^m x P_0 S_0 + [mP_0 - R_1 + P_1] S_0 + [mP_0 - R_1 + P_1 - R_1 \\ &\quad \left(\beta + \frac{-F_1}{R_1} d + 1 \right) + P_2] S_0 + \cdots + [mP_0 - R_1 + P_1 - R_1 \\ &\quad \left(\beta + \frac{-F_1}{R_1} d + 1 \right) + P_2 - \cdots - R_{n-1} \left(\beta + \frac{-F_{n-1}}{R_{n-1}} d + 1 \right) + \\ &\quad P_n] S_0 \\ &= S_0 \left\{ \sum_{x=1}^m x P_0 + n m P_0 + \sum_{i=1}^n \left[-R(t-1) \left(\beta + \frac{-F_{i-1}}{R_{i-1}} d + 1 \right) + \right. \right. \\ &\quad \left. \left. P_i \right] (n-t+1) \right\} \end{aligned} \quad (15)$$

所以,周期内的总成本最小化模型可表示为

$$\min W = C + S$$

$$\begin{aligned} &= C_1 P_0 (m + n) + C_2 \left(\sum_{i=1}^n P_i - n P_0 \right) + \\ &\quad C_0 (m + n) + S_0 \left\{ \sum_{x=1}^m x P_0 + n m P_0 + \sum_{i=1}^n \left[-R_{i-1} \left(\beta \right. \right. \right. \\ &\quad \left. \left. \left. + \frac{-F_{i-1}}{R_{i-1}} d + 1 \right) + P_i \right] (n-t+1) \right\} \end{aligned} \quad (16)$$

由于期初无库存,期末无库存,因此存在一个周期内产量等于销量,即:

$$m P_0 + \sum_{i=1}^n P_i = \sum_{i=1}^n R_i \quad (17)$$

同时,由于销售阶段市场需求冲击性大,因此赶工产量依旧小于当月需求量,所以存在: $R_i > P_i \geq P_0$ 。因此,约束条件如下:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n [R_i - P_i] = m P_0 \\ R_i > P_i \geq P_0 \\ m > 0 \\ 1 \leq t \leq n \end{cases} \quad \text{s. t.}$$

2.2 生产存储模型分析 模型(16)为一个多元动态规划模型,决策变量 m 、 α_i 、 P_i 等均为离散变量,难以获得解析解。因此,在前述假设的基础上,为保证在整个生产周期内总成本最优,考虑将部分约束条件简化,以便于组织生产。由于每月的退货量无法提前得知,因此,需要将需求迁移率量化,通过对历史退货数据的分析得知,在市场稳定的情况下,每月的退货比例也相对稳定,因此将周期内的需求迁移率根据历史销售数据确定为一常数 α ,即:

$$\alpha_i = \frac{-F_i}{R_i} d = \alpha \quad (18)$$

将式(18)代入模型(16),可变形简化为

$$\begin{aligned} \min W &= C + S \\ &= C_1 P_0 (m + n) + C_2 \left(\sum_{i=1}^n P_i - n P_0 \right) + C_0 (m + n) + \\ &\quad S_0 \left\{ \sum_{x=1}^m x P_0 + n m P_0 + \sum_{i=1}^n \left[-R_{i-1} \left(\beta + \alpha + 1 \right) + P_i \right] \right. \\ &\quad \left. (n-t+1) \right\} \end{aligned} \quad (19)$$

在确定市场初期需求的情况下,销售期需要赶工的量与备货期的长短负相关,为保证产能调整过程中不出现设备反复开闭、人员频繁变动的情况,减少设备的启动费用等,现有2种方案可选,即赶工生产过程中产能动态调整或者以一个不变的产能持续生产。

2.2.1 产能动态变化。假设在赶工期内的生产产能逐渐提升,且由于企业规模限制和订单的强大冲击性,提升后的产能仍小于需求量。由于库存成本随时间增加,因此库存越早消耗越好,这就需要将工作量向后积压;同时,单位赶工成本会随赶工量的增加而增加,太多的工作量往后积压又会使得加工成本变高。为解决二者的矛盾,就需确定恰当的产能安排以达到适当的库存消耗速度。在这种调整策略下,通常会出现 γ 次的产能调整,因此有 γ 次产能调整费用($0 \leq \gamma \leq n$),此时模型如下:

$$\begin{aligned} \min W &= C + S \\ &= C_1 P_0 (m + n) + C_2 \left(\sum_{i=1}^n P_i - n P_0 \right) + C_0 (m + n) + \end{aligned}$$

$$S_0 \left\{ \sum_{x=1}^m xP_0 + mnP_0 + \sum_{t=1}^n [-R_{t-1}(\beta + \alpha + 1) + P_t] (n - t + 1) \right\} + \gamma C_3 \quad (20)$$

$$s. t. \begin{cases} \sum_{t=1}^n [R_t - P_t] = mP_0 \\ R_t > P_t \geq P_0 \\ m > 0 \\ 1 \leq t \leq n \end{cases}$$

2.2.2 产能维持恒定。假设在赶工期内维持同一产能进行生产,即在备货期结束后,立刻提升产能,并以此产能一直生产到周期结束,设产能为 P ,即 $P_t = P$ 。采用这种策略每次只进行一次产能调整,因此只存在一次产能调整费用。将改动代入式(19),成本最小化模型的目标可转化为确定备货期 m 以及 P 的值,使周期内的生产存储成本最小,即:

$$\min W = (C_1 P_0 + C_0)(m + n) + C_2 n(P - P_0) + S_0 \left\{ \sum_{x=1}^m xP_0 + mnP_0 + \sum_{t=1}^n [-R_{t-1}(\beta + \alpha + 1) + P] (n - t + 1) \right\} + C_3 \quad (21)$$

$$s. t. \begin{cases} \sum_{t=1}^n [R_t(\beta + \alpha + 1)^{t-1} - P] = mP_0 \\ R_t(\alpha + \beta + 1)^{t-1} > P \geq P_0 \\ m > 0 \\ 1 \leq t \leq n \end{cases}$$

综上所述,通过对约束条件和假设进行简化,可将多元非线性模型(16)分成2种不同的情况进行讨论,当赶工成本、产能调整费用、每月固定生产成本等因素发生变化时,模型最优解也会随之变化,恰当选择最优生产方式能得出最小生产成本。

3 实例分析

R公司为农机装备制造企业,生产各类农机具。排种器

是精量播种机的关键部件,主要分为机械式排种器和气力式排种器两大类^[15],市场需求巨大。因此,公司每年年底开始进行各种型号的排种器的备货生产,第2年年初销售,销售期为2个月,即 $n = 2$ 。2015年,通过历史销售数据得出第1月市场需求为20 000件。正常产能 P_0 为4 000件/月,正常生产成本 C_1 为400元/件,在此基础上,产能每增加1件/月,生产成本增加0.1元/件,即赶工成本 $C_2 = (P_t - P_0)0.1 + 400$,产能调整费用10 000元/次,每月固定成本 C_0 为10 000元,单件存储费用 S_0 为10元/月, $\beta = -0.4, \alpha = -0.1$ 。

利用Matlab对模型(20)和模型(21)进行求解,通过约束条件可以得到最优备货期 $m = 5$ 。其中模型(20)当产能动态变化时,模型函数图像如图4所示,可见模型为凹函数,且在(1 900, 1 950)处取得最小值,但由于 $4 000 \leq P_1, 4 000 \leq P_2, P_1 \leq P_2$;因此,在定义域范围内,可得模型在(5 000, 5 000)处取得最小值,得出总费用为12 858 000元。

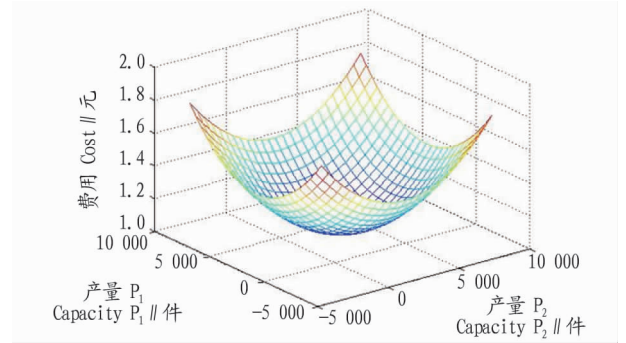


图4 模型函数图像

Fig. 4 Model function image

将2种策略下的产能安排、生产费用、存储费用等与实际情况进行对比,如表1所示。

表1 模型与实际生产存储策略成本比较

Table 1 Comparison of cost between model and practical production

策略 Strategy	备货期 Stocking period / 月	产能 P ₁ Capacity P ₁ / 件	产能 P ₂ Capacity P ₂ / 件	生产费用 C Production cost C / 元	存储费用 S Storage cost S / 元	总费用 W Total cost W / 元
实际策略 Realistic strategy	4	6 000	8 000	14 080 000	480 000	14 560 000
模型策略(1) Model strategy(1)	5	5 000	5 000	12 280 000	650 000	12 930 000
模型策略(2) Model strategy(2)	5	5 000	5 000	12 280 000	650 000	12 930 000

从实例中可以看出,此时2种模型策略的最小成本相等,事实上,最优生产安排策略需要综合赶工成本、产能调整费用、每月固定生产成本等各方面因素,针对不同产品不同生产情况需要合理选择模型才能获得最佳成本。

在此基础上,已知最佳生产周期为7个月,且每月生产的量已知,运用希尔弗-米尔启发式方法(S-M)对原材料的订购确定一个最佳周期与订购批量,已知单位产品所需原材料存储费用为 $S_1 = 5$ 元/月,订货成本 $H = 20 000$ 元/次。

初始时,令 $B = 1$,当 $K = 1$ 时,存在 $TAC(1) = H = 20 000$;

$$\text{当 } K = 2 \text{ 时, } TAC(2) = \frac{H + S_1 \sum_{i=1}^2 (i - B) U(i)}{2 - 1 + 1} =$$

$$\frac{20 000 + 0 + 20 000}{2} = 20 000; \text{ 当 } K = 3 \text{ 时, } TAC(3) =$$

$$\frac{H + S_1 \sum_{i=1}^3 (i - B) U(i)}{3 - 1 + 1} = \frac{20 000 + 0 + 40 000}{3} = 26 666.7。$$

由于 $TAC(3) > TAC(2)$,所以第1个月和第2个月为第1个订货区间,订货量为 $Q = \sum_{i=1}^2 U(i) = 4 000 + 4 000 = 8 000$ 。

下一步从第3个月开始,重新令 $B = 3$,重复以上过程,结果如表2所示。

综上所述,通过模型求解能更合理地安排生产,在企业规模较小,产能不能满足订单要求时,采用备货型生产以及合适的赶工策略能为企业降低成本、提高利润;在明确

原材料需求量的基础上更能有效进行科学合理地原材料采购,减少原材料订货成本与存储费用。

表 2 用 S-M 法得到的原材料订货批量

Table 2 Quantities of ordered raw materials obtained by S-M method

时段 Time interval 月	需求 U(i) Demand U(i) 件	订货区间 Order interval	订货量 Order quantity 件	订货成本 Ordering cost 元	存储成本 Storage cost 元	总成本 Total cost 元
1	4 000	1	8 000	20 000	20 000	40 000
2	4 000	1				
3	4 000	2	8 000	20 000	20 000	40 000
4	4 000	2				
5	4 000	3	4 000	20 000	0	20 000
6	5 000	4	5 000	20 000	0	20 000
7	5 000	5	5 000	20 000	0	20 000
总计 Total	30 000		30 000	100 000	40 000	140 000

4 结语

该研究以中小型农机制造企业为研究对象,根据农机的季节性、周期性、阶段性等特征构建了一个生产周期内的生产存储决策模型,并进行了实例验证。得出如下结论:

(1) 在市场需求增长率和需求迁移率已知的情况下,备货期的长度不仅直接影响产品的库存成本,也间接影响后期生产成本,合理地选取备货期开始时刻对整个生产周期内的生产存储策略而言至关重要。

(2) 根据库存量的变化进行阶段性的产能调整是减少成本的一项有效措施,恰当的产能调整策略能使得生产成本与存储成本之和达到一个最小值。

该研究是建立在以月为生产单位的情况下,针对生产柔性更强的企业,若继续对生产阶段进行细分,能更加高效地安排生产存储策略,为企业降低成本。

参考文献

- [1] 张华光. 2015 年农机市场十大关键词 [EB/OL]. (2016-02-18) [2017-03-11]. <http://www.cinn.cn/zbzz/nyjx/353205.shtml>.
- [2] 胡飞. 生产系统的经济批量与速率控制模型研究 [D]. 天津: 天津大学, 2009.
- [3] 胡运权. 运筹学基础及应用 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2008.
- [4] 王周宏. 运筹学基础 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2011.

- [5] PANDA S, SENAPATI S, BASU M. Optimal replenishment policy for perishable seasonal products in a season with ramp-type time dependent demand [J]. Computer and industrial engineering, 2008, 54(2): 301-314.
- [6] PENG S Y. Optimal replenishment policy for product with season pattern demand [J]. Operations research letters, 2005, 33(1): 90-96.
- [7] JIA J X, HU Q Y. Dynamic ordering and pricing for a perishable goods supply chain [J]. Computer and industrial engineering, 2011, 60(2): 302-309.
- [8] 林欣怡, 文晓巍, 达庆利. 随机生产中拖后需求的变质产品最优生产策略 [J]. 东南大学学报(自然科学版), 2007, 37(4): 731-736.
- [9] 杨涛, 古福文. 一类变质性物品在不稳定生产系统中的最优生产库存策略 [J]. 物流技术, 2009, 28(3): 127-129, 147.
- [10] 周思宇, 古福文. 一类变质性物品的最优生产-库存策略 [J]. 物流技术, 2007, 26(4): 43-46.
- [11] SARKAR B, MOON I. An EPQ model with inflation in an imperfect production system [J]. Applied mathematics and computation, 2011, 217(13): 6159-6167.
- [12] WEE H M, WANG W T. A supplement to the EPQ with partial backordering and phase-dependent backordering rate [J]. Omega, 2012, 40(3): 264-266.
- [13] 陈宪章, 汪定伟, 刘崇. 冲击型负荷下的生产存储模型研究 [J]. 管理科学学报, 2004, 7(4): 33-39.
- [14] 周凌, 杜文. 基于柔性产能的季节性产品生产决策模型 [J]. 计算机集成制造系统, 2014, 20(11): 2863-2868.
- [15] 何亚豪, 从锦玲, 坎杂, 等. 气力式精量排种器辅助夹持装置凸轮轮廓曲线的设计与仿真 [J]. 石河子大学学报(自然科学版), 2016, 34(3): 391-396.

(上接第 168 页)

移入陇县的居多, 对应新集川冰雹(大冰雹)最多。上游原始风暴移入陇县的时间为 18~100 min, 据此气象台可提前发布冰雹预警信号, 人工影响天气办公室及时进行防雷作业准备。

(3) 风暴出现旁瓣回波和三体散射将产生大冰雹, 风暴只出现旁瓣回波产生小冰雹。强单体风暴会激发新单体, 造成二次降雹。

(4) 雷达分析表明, “2015. 7. 18” 和 “2016. 6. 12” 2 次大冰雹非常典型, 自上游华亭移入发展的强单体风暴及其右后一侧产生新单体风暴, 致陇县产生两轮降雹。其中 “2015. 7. 18” 过程是有勾状回波形态、存在中气旋的超级单体风暴, “2016. 6. 12” 过程是强单体风暴。

(5) 大冰雹产生于风暴 $VIL \geq 55 \text{ kg/m}^2$ 且 $CR \geq 60 \text{ dBz}$ 出现三体散射和旁瓣回波特征的时段; 风暴三体散射出现

1~2 个体扫开始降冰雹。

(6) 雷达 HI、STI 产品可参考发布预警。HI 产品预测风暴产生大冰雹的概率 100% 具有提前量、预测冰雹尺寸偏大。未来风暴影响地可考虑 STI 产品预测风暴路径左右 30° 区域。

参考文献

- [1] 刘引鸽, 文彦君, 张转霞. 陇县冰雹灾害特征分析 [J]. 宝鸡文理学院学报(自然科学版), 2007, 27(2): 159-163.
- [2] 李金辉. 陇县防雷作业前后雷达回波变化分析 [J]. 陕西气象, 2009(6): 9-12.
- [3] 李金辉, 樊鹏. 冰雹云提前识别及预警的研究 [J]. 南京气象学院学报, 2007, 30(1): 114-119.
- [4] 俞小鼎, 姚秀萍, 熊延南, 等. 多普勒天气雷达原理与业务应用 [M]. 北京: 气象出版社, 2006: 106.
- [5] 刁秀广, 朱君鉴, 黄秀韶, 等. VIL 和 VIL 密度在冰雹云判据中的应用 [J]. 高原气象, 2008, 27(5): 1131-1138.
- [6] 胡胜, 罗聪, 张羽, 等. 广东大冰雹风暴单体的多普勒天气雷达特征 [J]. 应用气象学报, 2015, 26(1): 57-65.