文章编号: 1002-0411(2000)01-086-05

冷轧薄板厂 CIMS 环境下经营决策系统

彭　威　薛劲松
(中国科学院沈阳自动化研究所　沈阳　110015)

摘　要: 本文针对冷轧机薄板生产线的生产特点, 以鞍钢冷轧机薄板厂为具体背景, 讨论了 CIMS 环境下三种为同生产驱动方式的优化经营决策方法. (1) 订单方式驱动; (2) 市场预测方式驱动; (3) 订单和市场预测混合方式驱动. 对于企业的冷轧厂来说, 非常有实用价值.

关键词: 冷轧生产线, CIMS, 经营决策
中图分类号: TP14　　文献标识码: B

1　前言

冷轧薄板是钢铁企业中凝聚着高新技术的深加工产品, 是汽车、机械制造、建筑和电气等行业所必须的原材料. 一般来说, 冷轧薄板生产线的特点是具有并行机组的串行生产线, 整体上具有串行生产线的特征, 每道工序又有多个机组并行生产, 我们把这样的生产线称为冷轧生产线. 在该生产线中, 生产经营决策的主要功能就是确定生产厂家每月生产的品种规格和数量, 即制定月份生产经营计划, 进而制定年度生产经营计划。根据市场情况, 在繁多的产品规格中, 制定出符合本厂生产情况, 获得最佳利润的生产经营决策, 这不仅是企业家们追求的目标, 也是学者们研究的热门课题. 关于经营决策文献已有很多, 即使冷轧生产线的经营决策也被讨论过, 比如文献[1], 但真正实用的方法并不多见. 本人认为, 诸多经营决策方法之所以不能实用, 是由于实际生产过程中的数据不完整. 在 CIMS 环境下, 凭借信息集成的优势, 可对单品种消耗利润等进行核算. 在这个前提下, 本文针对冷轧厂的实际生产情况, 研究订单方式驱动、市场预测方式驱动、订单及市场预测混合方式驱动三种方式生产驱动的生产经营决策优化方法. 所谓订单方式生产驱动就是生产厂家根据用户订单进行签定合同组织生产, 这当然也包括计划经济部分. 所谓市场预测方式生产驱动就是厂家根据市场预测情况, 这种需求由于没有订单是不能准确预测的, 只能根据市场调查和以往的市场需求数据进行预测, 一般可得出概率分布规律, 然后依据这种概率分布, 进行优化决策, 以组织生产. 所谓订单与市场预测混合方式生产驱动就是既以订单方式, 也以市场预测方式进行组织生产. 一个企业的生产方式, 只能是上述三种方式之一, 别无其它方式. 下面我们分别讨论每种方式的决策方法.

2　经营决策方法

2.1　订单方式生产驱动的决策方法

前两年鞍钢冷轧机薄板厂就是订单方式生产驱动的, 每年召开两次订货会, 在订货会上, 客户提出订单, 厂方根据订单情况, 确定与哪个客户、签定多少供货合同. 由于各品种规格生产成本、销售价格不同, 所以利润也不同. 同时由于机组和设备的生产能力以及生产不同规格

收稿日期: 1999-03-27
基金项目: 国家自然科学基金资助(59990470)

品种的生产效率不同等因素, 使得决策方法很复杂 . 可根据不同的企业目标, 建立不同的求解方法模型 . 本节讨论的将考虑机组生产能力和机组生产不同规格品种的效率, 在获得最佳利润的企业目标下建立优化的决策方法, 确定与哪个订单签定多少供货合同 . 考虑机组生产能力, 考虑机组生产不同规格品种的效率, 争取最佳利润的决策目标, 是符合企业实际生产情况的 .

由于鞍钢冷轧厂实施了 CIMS 工程, 所以本文所需要的参数是可以采集或计算的 . 设

钢种规格为 S_l, $l \leqslant N$, l 为钢种规格序号, N 为钢种规格总数:

生产机组为 M_{ij}, $i = 1 \cdots I$, $j = 1 \cdots J_i$, i 为生产工序(车间) 号, I 为生产工序总数, 冷轧生产经过酸洗、轧制、热处理、平整、剪切、包装共六道工序, j 为机组序号, J_i 为第 i 道工序中机组总数 .

生产 S_l 钢种规格产品的利润为 P_l, P_l 的计算为 S_l 的销售收入减去其成本 .

机组 M_{ij}的生产能力为 T_{ij}, T_{ij}的计算为决策周期内 M_{ij}的额定工时减去维修工时和故障工时 .

机组 M_{ij}生产 S_l 的生产效率为 E_{ijl}(单位时间生产吨数) , 当机组 M_{ij}不能生产 S_l时, 则 $E_{ijl} = 0$.

首先我们考虑一种简单的订单决策方式, 即在决策周期内没有交付期拖迟惩罚也不考虑库存费用, 这种情况, 在决策周期不长时最合适的 .

对于冷轧生产线来说, 无论设计时多么合理, 但在实际生产过程中, 总存在阶段性的瓶颈工序 . 鞍钢冷轧厂目前的瓶颈工序是热处理, 像这样具有瓶颈工序的生产线, 考虑机组能力做决策时, 一般只考虑瓶颈工序的机组生产能力即可满足实际需求了 .

设对订单进行汇总后, 相对 S_l 的订单份额为 Q_l, 供货合同额为 X_l, 那么上述的优化经营决策可归结为求解下列线性规划方程 .

$$\max \quad \sum_{l=1}^{N} P_l X_l = A_i \tag{1}$$

$$\text{S. T} \quad \sum_{l=1}^{N} X_{ijl} / E_{ijl} \leqslant T_{ij} \qquad j = 1, \cdots, J_i \tag{2}$$

$$\sum_{j=1}^{J_i} X_{ijl} = X_l \qquad l = 1, \cdots, N \tag{3}$$

$$X_{ijl} \geqslant 0 \tag{4}$$

$$X_l \leqslant Q_l \qquad l = 1, \cdots N \tag{5}$$

这里, X_{ijl}表示第 i 道工序(在此是瓶颈工序) 第 j 号机组生产 S_l 产品的数量 . (1) 式是目标和声函数, (2) 式是机组能力约束, (3) 式是各机组生产数量之和, (4) 式是非负约束, (5) 式是客户需求量约束 . 从(1) ~ (5) 求解出 X_{ijl}, 便是最优决策 .

以上是假设了有瓶颈情况, 如果没有瓶颈, 即 i 不是一个确定的数, 我们可在上述(1) ~ (5) 的基础上, 让 $i = 1, \cdots l$, 令

$$\min_l \{A_l\} \qquad i = 1, \cdots l \tag{6}$$

从(6) 式求出 i, 这样 X_{ijl}便是该问题的解 .

以上的方法适用于订单交付期较短的情况, 但一般情况不是这样, 事实上, 订单要求是多种多样的, 交付期的要求也是分布不均的, 比如订单的交付期集中在某一段时间, 这时就该考

虑拖迟惩罚和库存费用问题．鞍钢冷轧薄板厂的定货情况是每半年召开一次定货会, 客户提出每月对各产品规格的需求, 一般交付时间单位为月, 也就上说, 在该月的任何一天交货都不惩罚, 但拖迟到下个月就将受惩罚, 对于这种一般的情况, 我们做如下的详细讨论．

设 $C_1^{(k)}$ 和 $C_2^{(k)}$ 分别为拖期惩罚因子和库存费用因子, 因为这两个因素是时间的不确定函数, 尤其是前者, 需和用户协商确定, 无法从成本和利润中体现出来, k 为月分变量, 假设基础周期为 K 个月, 考虑到累积效果, 一般情况的经营决策可归结为求解如下线性问题。

$$\max \sum_{k=1}^{K} \sum_{l=1}^{N} [P_l - (C_1^{(k)} + C_1^{(k)})]X_l = A_i \tag{7}$$

$$\text{S.T} \quad \sum_{l=1}^{N} X_{ijl}/E_{ijl} \leqslant T_{ij} \qquad i = 1, \cdots, J_i \tag{8}$$

$$\sum_{j=1}^{J_i} X_{ijl} = X_l \qquad l = 1, \cdots, N \tag{9}$$

$$X_l \leqslant Q_l \qquad l = 1, \cdots N \tag{10}$$

$$X_{ijl} \geqslant 0 \tag{11}$$

$$\min_i \{A_i\} \qquad i \in \{1, \cdots, I\} \tag{12}$$

这里(7)式为目标函数, (8)式为机组能力约束, (9)为求和, (10)为订单需求约束, (11)非负约束, (12)为确定瓶颈工序．通过求解(7)~(12), 便可得到一般情况的决策．

2.2 市场预测方式生产驱动的决策方法

市场预测方式生产驱动的决策方法是一种不能够依赖于订单, 而只能依赖于市场预测的一种决策方法．我们假设在决策周期内, 对 S_l 的需求量是一个随机变量 ξ_l, 它服从某一分布, 比如[a, b]区间上的均匀分布、正态分布等等, 当然 ξ_l 服从某一分布, 需大量的统计数据进行统计分析才可得到结论, 这里不做详细讨论．

设对 S_l 的决策量为 X_l, 如果我们暂且不考虑机组生产能力问题, 也就是说, 假设机组有足够的生产能力．由其生产效益 η_l 也是一个随机变量, 设 C_1 为生产量小于实际需求量的损失系数, C_2 为生产量大于实际需求量的库存损失系数, 则效益函数

$$\eta_l = H(\xi_l) = \begin{cases} P_l X_l - C_1(\xi_l - X_l) & \xi_l \geqslant X_l \\ P_l \xi_l - C_2(X_l - \xi_l) & \xi_l \leqslant X_l \end{cases} \tag{13}$$

我们所关心的问题是, 怎样确定 X_l, 使得效益 η_l 最佳．为此, 我们首先考虑平均获得效益情况, 在此, 我们仅以 ξ_l 服从[a_l, b_l]均匀分布为例, 这时有分布密度函数

$$f(X) = \begin{cases} 1/(b_l - a_l) & X \in [a_l, b_l] \\ 0 & X \notin [a_l, b_l] \end{cases} \tag{14}$$

$$E\eta_l = \int_{-\infty}^{+\infty} H(X) f(X) \mathrm{d}X = \frac{1}{b_l - a_l} \int_{-\infty}^{+\infty} H(X) \mathrm{d}X$$

$$= \frac{1}{b_l - a_l} \int_{a_l}^{X_l} [P_l X - C_2(X_l - X)] \mathrm{d}X + \frac{1}{b_l - a_l} \int_{p_l X_l}^{b_l} p_l x_l - C_1(X - X_l)] \mathrm{d}X$$

$$= \frac{1}{b_l - a_l} \{ \frac{1}{2}(P_l + C_2)(X_l^2 - a_l^2) - C_2 X_l (X_l - a_l)$$

$$+ (P_l + C_l)) X_l (b_l - X_l) - \frac{1}{2} C_l (b_l^2 - X_l^2) \} \tag{15}$$

显然平均效益值是生产量 X_l 的函数 . 当 ξ_l 服从其它分布时, 同样可以求出 $E\eta_l$.

我们将(15) 式对 X_l 求导数并令其等于零, 则当

$$X_l = \frac{C_2 a_l + P_l b_l + C_1 b_l}{P_l + C_1 + C_2} \tag{16}$$

时, 效益值最大 . 用同样的方法, 我们可以求出 X_i, $i \in \{1, \cdots, I\}$, 这便是上述情况的最优决策 .

定理　(16) 式求得的 X_l, 其值一定在(a_l, b_l)区间内 .

证明　$X_l - a_l = \dfrac{(b_l - a_l)(P_l + C_1)}{P_l C_1 + C_2} \succ 0$

$X_l - b_l = \dfrac{C_2(a_l - b_l)}{P_l + C_1 + C_2} \prec 0$　　#

以上是在不考虑机组能力的情况下的优化决策, 但这种假设不符合实际情况, 特别是市场需求量大于机组生产能力的时候, 必须考虑机组生产能力, 我们把在(16) 式得到的 X_l 记为 $\overline{X}_l$, 则市场预测驱动生产的一般决策方法可归结为求解如下线性方程 .

$$\max \sum_{k=1}^{K} \sum_{l=1}^{N} [P_l - (C_1^{(k)} + C_2^{(k)})] X_l = A_i \tag{17}$$

$$\text{S.T} \quad \sum_{l=1}^{N} X_{ijl}/E_{ijl} \leqslant T_{ij} \qquad i = 1, \cdots, J_i \tag{18}$$

$$\sum_{j=1}^{J_i} X_{ijl} = X_l \qquad l = 1, \cdots, N \tag{19}$$

$$X_l \leqslant \overline{X}_l \qquad l = 1, \cdots N \tag{20}$$

$$X_{ijl} \geqslant 0 \tag{21}$$

$$\min_i \{A_i\} \qquad i \in \{1, \cdots, I\} \tag{22}$$

各式的意义与 2.1 节中的相似 . 上述的解, 便是市场预测生产驱动的决策 .

2.3　订单和市场预测混合方式生产驱动的决策方法

目前, 多数冷轧企业采用了这种生产驱动方式 . 上面我们已经详细地讨论了两种生产驱动的决策方法, 这种混合方式生产驱动的决策方法可以看为是两种方法的迭加 .

设 $X_l^{(1)}$ 为订单部分的决策量, $X_l^{(2)}$ 为市场预测部分的决策量, 则混合型的决策可归结为求解如下线性规划问题 .

$$\max \sum_{k=1}^{K} \sum_{l=1}^{N} [P_l - (C_1^{(k)} + C_2^{(k)})](X_l^{(1)} + X_l^{(2)}) = A_i \tag{23}$$

$$\text{S.T} \quad \sum_{l=1}^{N} X_{ijl}^{(1)} + X_{ijl}^{(2)})/E_{ijl} \leqslant T_{ij} \qquad i = 1, \cdots, J_i \tag{24}$$

$$\sum_{j=1}^{J_i} X_{ijl}^{(1)} = X_l^{(1)} \qquad l = 1, \cdots, N \tag{25}$$

$$\sum_{j=1}^{J_i} X_{ijl}^{(2)} = X_l^{(2)} \qquad l = 1, \cdots, N \tag{26}$$

$$0 \leqslant X_l^{(1)} \leqslant \overline{X}_l \qquad l = 1, \cdots N \tag{27}$$

$$0 \leqslant X_l^{(2)} \leqslant Q_l \qquad l = 1, \cdots, N \tag{28}$$

$$\min_i \{A_i\} \qquad i \in \{1, \cdots, I\} \tag{29}$$

从(23)~(29)式中求解出 $X_l(X_l^{(1)}$ 和 $X_l^{(2)})$，便是该问题的决策.

3 一个例子

为了说明上述方法的应用, 我们看一个简单的例子.

设在决策周期内市场对某钢种规格的需求为3000吨~5000吨之间, 也就是说该需求服从[3000, 5000]的均匀分布. 设每销售1吨钢可获利1500元, 当生产量大于需求量时每吨损失2000元, 当生产量小于需求量时每吨少获利1500元, 不考虑设备能力约束时, 我们可用(16)式

$$X_l = \frac{C_2 a_l + P_l b_l + C_1 b_l}{P_l + C_1 + C_2} = \frac{2000 \times 3000 + 1500 \times 5000 + 1500 \times 5000}{1500 + 1500 + 2000} = 4200(\text{吨})$$

4 结束语

本文针对冷轧生产线的实际背景, 在CIMS环境下, 提出了订单生产驱动、市场预测生产驱动及订单与市场预测混合生产驱动的一种决策方法, 该方法的结果是一个线性规划问题, 关于线性规划问题的求解, 早有方法可借用, 这里不多叙.

本文讨论的问题清楚, 实际背景明确, 在决策过程中, 将市场需求与厂方的生产能力在一个模型中优化, 其方法实用可靠, 可应用于实施CIMS工程的冷轧薄板厂计算机辅助经营决策.

参 考 文 献

1 LASSAF M CHEN, J KAYZBERG. Steel Production Schedule Generation. INT. J. PROD, RES, 1997, **35**(2): 467~477

AN APPROACH OF OPTIMAL PRODUCTION DECISION FOR ROLLING MILL IN CIMS

PENG Wei XUE Jinsong

(*Shenyang Institute of Automation Chinese Academy of Science. Shenyang 110015 prc*)

Abstract: This paper describes the characteristics of rolling production line based on Anshan rolling mill and also presents three different optimal approaches to production decisions which include order-driven, market-driven and their hybrid. Because of only three approaches used for rolling mill plant. These approaches will be valuable and referential in implementation of CIMS.

Keywords: rolling mill, CIMS, decision

作者简介

彭 威, 硕士. 研究领域为CIMS的控制结构、建模及优化算法等.

薛劲松, 1964年毕业于清华大学, 现在中国科学院沈阳自动化研究所工作, 曾从事过自动控制、系统工程方面的研究和开发. 目前在国家863计划和基金项目中承担有关课题.