

8-19-2021

Combination Weighting-based Comprehensive Evaluation for Discrete Workshop Production Plan

Zhangzhen Luo

School of Mechanical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China;

Haifan Jiang

School of Mechanical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China;

Jianlin Fu

School of Mechanical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China;

Guofu Ding

School of Mechanical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Combination Weighting-based Comprehensive Evaluation for Discrete Workshop Production Plan

Abstract

Abstract: Aiming at the lack of a general evaluation index system and a comprehensive evaluation method combining qualitative and quantitative for discrete workshop production planning, *an evaluation index system is constructed from the economy, timeliness and adaptability and a combination weighting-based comprehensive evaluation method is proposed. A combination weight of subjective and objective significance is obtained by combining the extension of analytic hierarchy process, entropy value method and improved CRITIC (Criteria Importance Through Intercriteria Correlation) method, which improves the scientific evaluation of discrete workshop production planning.* The verification results of examples show that the method is more sensitive to the data and has the better evaluation sensitivity.

Keywords

discrete workshop, extension AHP (Analytic Hierarchy Process), improved CRITIC (Criteria Importance Through Intercriteria Correlation) method, entropy method, comprehensive evaluation of production plan

Recommended Citation

Luo Zhangzhen, Jiang Haifan, Fu Jianlin, Ding Guofu. Combination Weighting-based Comprehensive Evaluation for Discrete Workshop Production Plan[J]. Journal of System Simulation, 2021, 33(8): 1856-1865.

基于组合赋权的离散车间生产计划综合评价

罗樟圳, 江海凡, 付建林*, 丁国富

(西南交通大学 机械工程学院, 四川 成都 610031)

摘要: 针对离散车间生产计划缺乏通用的评价指标体系以及定性和定量相结合的综合评价方法, 从经济性、时间性和适应性三个方面构建离散车间生产计划评价指标体系, 提出一种基于组合赋权的离散车间生产计划综合评价方法。该方法通过综合可拓层次分析法、熵值法和改进 CRITIC (Criteria Importance Through Intercriteria Correlation) 法得到具有主客观意义的组合权重, 提高了离散车间生产计划综合评价的科学性。实例验证结果表明该方法对数据的敏感程度更高, 具有更好的评价灵敏度。

关键词: 离散车间; 可拓层次分析法; 改进 CRITIC 法; 熵值法; 生产计划综合评价

中图分类号: TP391.9

文献标志码: A

文章编号: 1004-731X (2021) 08-1856-10

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.20-0287

Combination Weighting-based Comprehensive Evaluation for Discrete Workshop Production Plan

Luo Zhangzhen, Jiang Haifan, Fu Jianlin*, Ding Guofu

(School of Mechanical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: Aiming at the lack of a general evaluation index system and a comprehensive evaluation method combining qualitative and quantitative for discrete workshop production planning, an evaluation index system is constructed from the economy, timeliness and adaptability and a combination weighting-based comprehensive evaluation method is proposed. A combination weight of subjective and objective significance is obtained by combining the extension of analytic hierarchy process, entropy value method and improved CRITIC (Criteria Importance Through Intercriteria Correlation) method, which improves the scientific evaluation of discrete workshop production planning. The verification results of examples show that the method is more sensitive to the data and has the better evaluation sensitivity.

Keywords: discrete workshop; extension AHP (Analytic Hierarchy Process); improved CRITIC (Criteria Importance Through Intercriteria Correlation) method; entropy method; comprehensive evaluation of production plan

引言

离散制造业涉及广泛, 在国民经济发展中占有很大的比重^[1]。生产计划作为离散制造企业经营计划的重要组成部分, 是车间生产和管理的准绳以及生产决策的关键, 对协调各类制造资源分配和控制

调度决策具有重要意义^[2]。当前一般采用遗传算法、蚁群算法等启发式算法进行生产计划排程。由于启发式算法本身的特点, 不同的算法得到的排程方案以及同一算法多次运行结果往往不一致。虽然通过仿真可以得到不同排程方案下的仿真结果, 对排程方案进行验证, 但仍然缺乏必要的、可量化的

收稿日期: 2020-06-01 修回日期: 2020-07-14

基金项目: 四川省重大科技专项(2020YJ0215)

第一作者: 罗樟圳(1997-), 男, 硕士生, 研究方向为智能制造。E-mail: 493169500@qq.com

通讯作者: 付建林(1978-), 男, 讲师, 博士生, 研究方向为生产系统建模仿真、物流优化等。E-mail: jlfuhappy@swjtu.edu.cn

方法对不同排程方案进行对比分析和综合评价。因此, 离散制造企业迫切需要一种对生产排程进行量化评价的方法, 以便从不同生产排程中选出最佳排程方案^[3]。

生产计划综合评价是一个通过建立评价指标体系, 基于赋权方法构建车间生产计划评价模型, 从而帮助制造企业选择生产计划的过程。通过生产计划综合评价, 将不易评价的生产计划问题进行量化, 从而对多个生产计划进行评价优选, 可有效提高生产计划制定决策过程中的有效性、实时性、科学性水平, 为实现资源分配和调度决策提供依据, 改进车间生产组织, 提升企业效益^[4]。

针对上述问题, 张通^[5]从财务角度、运营管理角度、客户角度、生产品质、学习与成长等方面建立了汽车制造企业生产计划绩效评价体系, 通过层次分析法、模糊综合评价法构建生产计划模型评价模型, 解决了汽车制造企业多变不确定因素影响下的生产计划和生产管理问题, 提高了其市场竞争力; 针对钢铁制造企业, 雷崇武^[6]基于树状表示法、面向对象的知识表示方法建立生产合同计划决策系统, 通过正向推理方式, 对钢铁生产计划方案优劣进行评估, 提高了决策效率, 缩短了计划编制时间; 针对多品种小批量 MTO (Make to Order, 按照订单生产) 企业, 郭菁菁^[7]从时间、成本、鲁棒性、自适应范围四个层面建立紧急订单对生产计划的影响评价指标体系, 通过熵值法计算各评价指标权

重, 运用 Dempster-Shafer 证据理论进行评价, 提高了企业生产计划动态响应效率以及经营效益。

现有研究中仅针对部分特定离散制造企业的生产计划评价进行了研究, 尚缺乏一种具有通用性的离散车间生产计划评价指标体系; 另一方面, 当前应用于离散车间生产计划评价指标赋权的方法多为单一的主观、客观赋权法, 而通过单一的主观、客观赋权法得到的指标权重往往是不全面、不科学的, 会对生产计划评价结果造成较大的差异性。

本文针对离散车间生产计划评价问题, 从财务角度、客户角度、管理角度构建具有通用性的离散车间生产计划综合评价指标体系, 提出一种基于组合赋权的模糊综合评价方法, 能够更加全面、科学地对离散车间生产计划情况进行综合评价, 从而提升离散车间制定生产计划的水平。

1 离散车间生产计划评价指标体系

评价指标体系的构建是综合评价问题的基础, 是评价结果是否科学可靠的关键。根据全面性、科学性、可比性、可操作性等评价指标体系构建原则, 本文从企业财务角度选取经济性评价指标、客户角度选取时间性评价指标、车间管理角度选取适用性评价指标, 建立包含目标层、准则层、指标层的离散车间生产计划评价指标体系, 如图 1 所示。

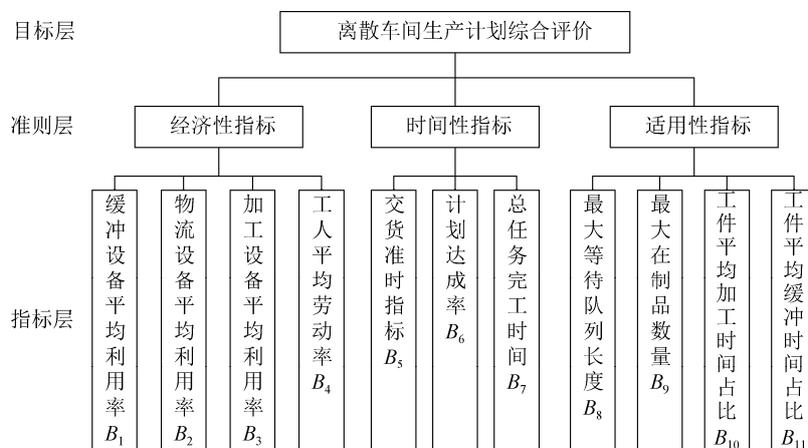


Fig. 1 Evaluation index system of discrete workshop production plan

<http://www.china-simulation.com>

• 1857 •

评价指标包括:

$$(1) \text{ 缓冲设备平均利用率 } B_1: \bar{bu} = \sum_{i=1}^I bu_i / I,$$

其中 bu_i 为第 i 个缓冲设备的利用率; I 为缓冲设备数量。

$$(2) \text{ 物流设备平均利用率 } B_2: \bar{lu} = \sum_{i=1}^I lu_i / I,$$

其中 lu_i 为第 i 个物流设备的利用率; I 为物流设备数量。

$$(3) \text{ 加工设备平均利用率 } B_3: \bar{pu} = \sum_{i=1}^I pu_i / I,$$

其中 pu_i 为第 i 个加工设备的利用率; I 为加工设备数量。

$$(4) \text{ 工人平均劳动率 } B_4: \bar{wu} = \sum_{i=1}^I wu_i / I,$$

其中 wu_i 为第 i 个工人的劳动率; I 为工人数量。

(5) 交货准时指标 B_5 :

$$T_d = \begin{cases} 1, & T_i^e - T_i^p < 0 \\ 0, & T_i^e - T_i^p > 0 \end{cases}$$

式中: T_i^e 为生产计划完工时刻; T_i^p 为生产计划规定交付期。

(6) 计划达成率 B_6 : $Pc = Q_c / Q$, 其中 Q_c 为生产计划下车间实际产量; Q 为预设产量。

(7) 总任务完工时间 B_7 : 从计划开始执行到完成该次生产计划所有物流、加工、缓存任务的时间。

(8) 最大等待队列长度 B_8 : $L_{i\max} = \max(L_i)$, L_i 表示第 i 个缓冲设备中排队等待加工的最大零件数量; $L_{i\max}$ 表示车间缓冲设备的最大等待队列长度。

(9) 最大在制品数量 B_9 : 生产计划开始执行到结束过程中某一时刻已投放到车间生产但尚未完成加工的最大工件数量。

(10) 工件平均加工时间占比 B_{10} : $\bar{pr} = \sum_{i=1}^I pr_i / I$, 其中 pr_i 为第 i 个工件的加工时间占比; I 为计划加工工件数量。

(11) 工件平均缓冲时间占比 B_{11} : $\bar{br} = \sum_{i=1}^I br_i / I$, 其中 br_i 为第 i 个工件的缓冲时间占比;

I 为计划加工工件数量。

2 基于组合赋权的模糊综合评价

基于离散车间生产计划评价指标体系, 离散车间生产计划评价流程如图 2 所示。

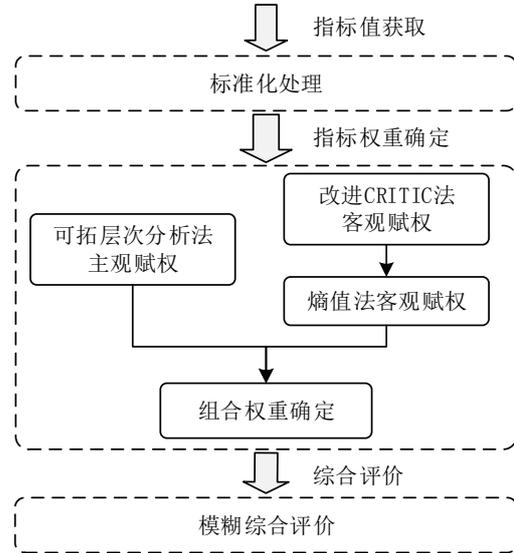


图 2 离散车间生产计划评价流程

Fig. 2 Discrete workshop production planning evaluation process

本文所用到的变量释义如表 1 所示。

表 1 变量释义表

Tab. 1 Variable interpretation table

变量	释义
n	样本数量
m	评价指标数
x_{ij}	第 i 个样本的第 j 项指标值
z_{ij}	x_{ij} 标准化后的无量纲值
p_{ij}	z_{ij} 归一化处理后的值
σ_j	第 j 项指标的标准差
u_j	第 j 项指标的均值
r_{jk}	第 j 项评价指标与第 k 项评价指标间的相关系数
w_j^{\pm}	第 j 项指标的主观权重
$w_{\text{熵}}$	通过熵值法确定的评价指标客观权重
$w_{\text{改}}$	通过改进 CRITIC 法确定的评价指标客观权重
$w_j^{\text{客}}$	第 j 项指标的客观权重
$w_j^{\text{组}}$	第 j 项指标的组合权重
H_i	第 i 个样本的综合评分
$y_1 \sim y_n$	生产计划样本方案 1~ n
$B_1 \sim B_m$	评价指标代号 1~ m

2.1 标准化处理

不同的评价指标具有不同的意义及量值, 为了使评价结果更加准确, 需要通过标准化处理消除指标间维度不同对评价结果产生的影响。评价指标可以分为四类: 越大越优型、越小越优型、越靠近某一固定值 β 越优型以及越靠近某一区间 $[\alpha_1, \alpha_2]$ 越优型, 各类指标的标准化处理公式为:

(1) 对于越大越优指标:

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - \min x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} \quad (1)$$

(2) 对于越小越优指标:

$$z_{ij} = \frac{\max x_{ij} - x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} \quad (2)$$

(3) 对于越靠近某一固定值 β 越优型指标:

$$z_{ij} = 1.0 - \frac{|x_{ij} - \beta|}{\max |(x_{ij} - \beta)|} \quad (3)$$

(4) 对于越靠近某一区间 $[\alpha_1, \alpha_2]$ 越优型指标:

$x_{ij} < \alpha_1$ 时:

$$z_{ij} = \frac{1.0 - |\alpha_1 - x_{ij}|}{\max (|\alpha_1 - \min x_{ij}|, (\max x_{ij} - \alpha_2))} \quad (4)$$

$x_{ij} < \alpha_2$ 时:

$$z_{ij} = \frac{1.0 - |x_{ij} - \alpha_2|}{\max (|\alpha_1 - \min x_{ij}|, (\max x_{ij} - \alpha_2))} \quad (5)$$

2.2 基于可拓层次分析法的主观权重确定

层次分析法^[8](Analytic Hierarchy Process, AHP) 是一种主观赋权方法, 其特点是对评价对象进行逐层分析, 对各层次内部的要素重要度进行两两对比, 构造出判别矩阵并进行一致性检验, 进一步确定各指标权重。传统层次分析法未考虑到人为判断的模糊性, 所构建的判别矩阵没有柔性; 另一方面, 判别矩阵不满足一致性检验时, 对判别矩阵进行调整具有较大的盲目性。可拓层次分析法^[9](Extension AHP) 在经典层次分析法的基础上, 结合可拓学理论进行改进, 充分考虑了人为判断的模糊性, 且根据可拓层次分析法得到的判断矩阵满足一致性,

无需再进行检验。

可拓层次分析法赋权步骤为:

(1) 构造可拓判别矩阵

根据建立的评价指标体系, 对评价目标下的评价对象的进行层次结构分析, 对于非指标层的某个元素, 将下一层属于该元素下的各要素进行两两比较(假定该元素包含 l 个要素), 根据各要素间的相对重要度构建可拓判别矩阵 $A = [a_{ij}]_{l \times l}$ 。可拓判别矩阵 A 中每个元素 $a_{ij} = (a_{ij}^-, a_{ij}^+)$ 都是可拓区间数, 其中 a_{ij}^- , a_{ij}^+ 为标度值, 如表 2 所示, 且 A 为互反矩阵, 即:

$$a_{ii} = 1, a_{ji} = a_{ij}^{-1} = (1/a_{ij}^+, 1/a_{ij}^-) \\ i = 1, 2, \dots, l; j = 1, 2, \dots, l$$

表 2 层次分析法标度

Tab. 2 Analytic hierarchy process scale	
标度	说明
1	i 和 j 相比, 两个要素同样重要
3	i 比 j 稍微重要
5	i 比 j 明显重要
7	i 比 j 非常重要
9	i 比 j 绝对重要
2, 4, 6, 8	表示两相邻标度的中间值

(2) 计算可拓判别矩阵特征向量

1) 根据可拓判别矩阵 A 构建左右判断矩阵, 即 $A = (A^-, A^+)$, $A^- = [a_{ij}^-]_{l \times l}$, $A^+ = [a_{ij}^+]_{l \times l}$;

2) 计算左右判断矩阵 A^- , A^+ 的最大特征值 λ^- , λ^+ 以及归一化后的特征向量 \mathbf{x}^- , \mathbf{x}^+ 。

3) 计算参数 p 和 q 的值, 即

$$p = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^l \frac{1}{\sum_{i=1}^l a_{ij}^+}}{l}} \quad (6)$$

$$q = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^l \frac{1}{\sum_{i=1}^l a_{ij}^-}}{l}} \quad (7)$$

根据上述步骤即可求得可拓判别矩阵 A 的特征向量 $S = (p\mathbf{x}^-, q\mathbf{x}^+)$ 。

(3) 单排序权重向量计算

对某元素下一层所属的每个要素, 有区间数:

$$\mathbf{Q} = (Q_1, Q_2, \dots, Q_l)^T = \langle px^-, qx^+ \rangle \quad (8)$$

式中: Q_l 为该元素下一层的第 l 个要素对于该元素的可拓区间权重。

令 $Q_i = \langle Q_i^-, Q_i^+ \rangle$, $Q_j = \langle Q_j^-, Q_j^+ \rangle$, 通过下式计算区间数 Q_i 比 Q_j 重要的可能程度:

$$V(Q_i \geq Q_j) = \frac{2(Q_i^+ - Q_j^-)}{(Q_j^+ - Q_j^-)(Q_i^+ - Q_i^-)}$$

取定 j 值, 使得 $\forall i=1, 2, \dots, l(i \neq j)$, 满足 $V(Q_i \geq Q_j) \geq 0$ 成立, 则取 $P_j = 1$, $P_i = V(Q_i \geq Q_j)$ 。

其中, P_i 指某元素下一层的第 i 个要素对该元素的单排序, 将各要素单排序归一化后可得到 $\mathbf{P} = [P_1, P_2, \dots, P_l]$, 表示某元素下一层各要素对于该元素的单排序可拓层次主观权重向量。

(4) 主观权重计算

以目标层为评价因素, 准则层各准则为要素, 根据上述步骤, 得到准则层各准则对于目标层的权重向量为:

$$\mathbf{P} = [P_1, P_2, P_3]$$

同理可得, 各经济性指标对于经济性指标准则的权重向量为 $\mathbf{P}_1 = [P_{11}, P_{12}, P_{13}, P_{14}]$, 各时间性指标对于时间性指标准则的权重向量为 $\mathbf{P}_2 = [P_{21}, P_{22}, P_{23}]$, 各适用性指标对于适用性指标准则的权重向量为 $\mathbf{P}_3 = [P_{31}, P_{32}, P_{33}, P_{34}]$ 。

各评价指标的主观权重:

$$\mathbf{w}^{\pm} = [P_1 \times P_{11}, P_1 \times P_{12}, P_1 \times P_{13}, P_1 \times P_{14}, P_2 \times P_{21}, P_2 \times P_{22}, P_2 \times P_{23}, P_3 \times P_{31}, P_3 \times P_{32}, P_3 \times P_{33}, P_3 \times P_{34}] \quad (9)$$

2.3 基于改进 CRITIC 法与熵值法的客观权重确定

CRITIC 法^[10]是一种根据评价指标在不同样本取值的差异性以及同一样本中各评价指标的冲突性确定各指标权重的客观赋权方法。CRITIC 法兼顾指标的差异性和冲突性, 但使用带量纲的标准差反应指标的差异性具有较大不足, 此外, 指标间的相关系数出现负值时, 会对赋权结果产生影响。改

进 CRITIC 法^[11]使用无量纲的标准差系数表示指标的差异波动情况, 并通过指标间的相关系数取绝对值以避免由于指标负相关对指标之间的冲突性判断造成影响。

改进 CRITIC 法计算评价指标权重公式为:

$$C_j = \frac{\sigma_j}{u_j} \sum_{k=1}^m (1 - |r_{jk}|), j = 1, 2, \dots, m \quad (10)$$

$$w_j^{\text{改}} = C_j / \sum_{j=1}^m C_j \quad (11)$$

式中: C_j 为第 j 个评价指标所包含的信息量; $w_j^{\text{改}}$ 为改进 CRITIC 法确定的第 j 项评价指标的权重; $\sum_{k=1}^m (1 - |r_{jk}|)$ 为第 j 项指标与其他指标冲突性的量化公式。

熵值法^[12]通过指标的离散程度表示其变异度的大小, 从而得到客观权重。通过将改进 CRITIC 和熵值法进行组合, 可兼顾考虑各指标间的差异性和冲突性, 使客观权重更为合理。

熵值法赋权步骤如下:

(1) 计算第 j 项指标的熵值 E_j

$$E_j = -k \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln p_{ij} \quad (12)$$

式中: $k = 1 / \ln m$, $p_{ij} = \frac{z_{ij}}{\sum_{i=1}^m z_{ij}}$ 。

(2) 计算第 j 项指标的差异系数 D_j

$$D_j = 1 - E_j, j = 1, 2, \dots, m \quad (13)$$

(3) 计算第 j 项指标的权重 $w_j^{\text{熵}}$

$$w_j^{\text{熵}} = \frac{D_j}{\sum_{j=1}^m D_j} \quad (14)$$

评价指标客观权重通过熵值法与改进 CRITIC 法共同确定:

$$w^{\text{客}} = (w^{\text{熵}} + w^{\text{改}}) / 2 \quad (15)$$

2.4 组合权重确定

层次分析法等主观赋权方法受专家学者知识水平等主观因素的影响, 而熵值法、CRITIC 法等客观赋权方法则依赖于所提供的评价客体样本数

据情况,不能综合考虑数据之外的情况。单一的主客观赋权法都具有较大局限性,通过组合赋权方式可以结合主客观赋权法的优点,在结合专家知识的同时,充分考虑样本数据的客观性,最大限度的减少信息的损失,提高评价可靠性^[13]。

传统的权重组合方法有乘法合成法及线性加权法。

乘法合成法:

$$w_j^{\text{组}} = \frac{w_j^{\text{主}} w_j^{\text{客}}}{\sum_{j=1}^m w_j^{\text{主}} w_j^{\text{客}}} \quad (16)$$

线性加权法:

$$w_j^{\text{组}} = \varepsilon^{\text{主}} w_j^{\text{主}} + \varepsilon^{\text{客}} w_j^{\text{客}} \quad (17)$$

式中: ε 为各策略权重的分配系数,且 $\varepsilon^{\text{主}} + \varepsilon^{\text{客}} = 1$ 。

乘法合成法对各指标权重差异性较为敏感,一般应用于指标个数较多、各指标权重分配较均衡的情况;线性加权法对各权重的差异性不敏感,适合各评价策略相互独立的情况。本文中离散车间生产计划评价指标体系指标数较少,各指标权重分配不均衡,故采用线性加权法进行组合权重计算,并取 $\varepsilon^{\text{主}}$ 为 0.5。

2.5 模糊综合评价

定义模糊评语集 $V = \{V_1, V_2, V_3, V_4, V_5\}$, 其中 $\{V_1 \sim V_5\}$ 分别对应{优,良,中,差,很差}, 各状态隶属区间划分如表 3 所示。

表 3 隶属区间表
Tab. 3 Membership interval table

综合评分值 H	评语
[0, 0.2]	很差
(0.2, 0.4]	差
(0.4, 0.6]	中
(0.6, 0.8]	良
(0.8, 1]	优

对各项生产计划方案进行模糊综合评价,将各生产计划样本下标准化后的指标值作为指标评分值,结合所确定的各项指标组合权重,得到各生产计划方案的综合评分值:

$$H_i = \sum_{j=1}^m w_j^{\text{组}} z_{ij} \quad (18)$$

其中, $i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$ 。

3 应用实例

如图 3 所示,制造执行系统(Manufacturing Execution System, MES)接受来自企业资源计划(Enterprise Resource Planning, ERP)下发的生产计划后,通过不同的启发式算法得到多个生产排程。以这些排程方案作为仿真输入,得到各排程方案的仿真结果。基于生产计划综合评价方法构建生产计划评价模型,对各仿真结果进行评价分析,得到综合评分最高的排程方案,反馈回 MES。最后, MES 将综合评分最高的排程方案下发离散车间执行。

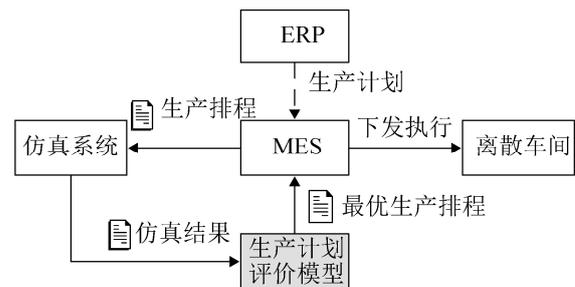


图 3 生产计划评价应用场景

Fig. 3 Production planning evaluation application scenarios

本实例以某结构件自动化生产线为研究对象,对其进行生产计划综合评价。该生产线无操作工人,在进行生产计划综合评价时,将 B_4 指标(工人平均劳动率)视为 0。某次 ERP 下发生生产计划后, MES 通过多个启发式算法得到 4 个生产排程方案 y_1, y_2, y_3, y_4 , 将 4 个方案作为样本,仿真后得到各样本的仿真结果。

基于所提生产计划评价指标体系,计算得到各样本的评价指标值,根据所提综合评价方法构建该生产线的生产计划评价模型。

3.1 标准化处理

根据公式(1)~(5),对各样本的评价指标值进行数据标准化,如表 4 所示。

表 4 指标标准化数据表
Tab. 4 Indicator standardization data sheet

样本	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_6	B_7	B_8	B_9	B_{10}	B_{11}
y_1	0	0	0.038	0	1	1	0.043	1	1	0.333	1
y_2	1	0.059	0	0	1	1	0	0	1	0.167	0.963
y_3	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0
y_4	1	0.647	0.008	0	1	1	0.034	0	1	0	0.389

3.2 指标权重确定

(1) 基于可拓层次分析法的主观权重确定

根据所建立的生产计划评价指标体系各项指标,由相关专家学者按照指标重要程度对各指标进行两两对比,从而构造可拓判别矩阵,通过可拓层次分析法算法处理后,得到各准则层以及各准则下评价指标的权重向量:

准则层权重向量: $P = [0.2, 0.6, 0.2]$

经济性指标权重向量: $P_1 = [0.15, 0.2, 0.5, 0.15]$

时间性指标权重向量: $P_2 = [0.45, 0.3, 0.25]$

适用性指标权重向量: $P_3 = [0.3, 0.2, 0.3, 0.2]$

通过公式(9)可得到各评价指标的主观权重。

(2) 基于改进 CRITIC 法的客观权重确定

汇总离散车间生产计划评价指标体系中各指标标准化数值之后,计算各评价指标均值以及标准差,如表 5 所示。

通过 SPSS 软件计算各评价指标间的相关系数 r_{ik} , 如表 6 所示。

基于表 5, 6 的数据, 通过公式(10), (11), 得到各评价指标的改进 CRITIC 法客观权重。

表 5 改进 CRITIC 法数据表
Tab. 5 Improved CRITIC data table

指标代号	均值 u_j	标准差 σ_j
B_1	0.75	0.50
B_2	0.426 50	0.481 14
B_3	0.261 50	0.492 60
B_4	0	0
B_5	1	0
B_6	1	0
B_7	0.269 25	0.487 52
B_8	0.25	0.50
B_9	1	0
B_{10}	0.375 00	0.438 28
B_{11}	0.588 00	0.484 56

表 6 评价指标相关系数矩阵

Tab. 6 Evaluation index correlation coefficient matrix

相关性	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_6	B_7	B_8	B_9	B_{10}	B_{11}
B_1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B_2	0	1	0.786	0	0	0	0.8	-0.591	0	0.585	-0.999
B_3	0	0.786	1	0	0	0	1	-0.302	0	0.958	-0.807
B_4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
B_5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
B_6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
B_7	0	0.8	1	0	0	0	1	-0.309	0	0.952	-0.819
B_8	0	-0.591	-0.302	0	0	0	-0.309	1	0	-0.064	0.570
B_9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
B_{10}	0	0.585	0.958	0	0	0	0.952	-0.064	0	1	-0.613
B_{11}	0	-0.999	-0.807	0	0	0	-0.819	0.570	0	-0.613	1

(3) 基于熵值法的客观权重确定

通过公式(12), (13), 得到各评价指标的熵值以

及差异系数, 如表 7 所示; 通过公式(14), 得到各评价指标的熵值法客观权重。

表 7 熵值法数据表
Tab. 7 Entropy data table

指标代号	熵值	差异系数
B_1	0.374	0.626
B_2	0.238	0.762
B_3	0.128	0.872
B_4	0	1
B_5	0.504	0.496
B_6	0.504	0.496
B_7	0.140	0.860
B_8	0.130	0.870
B_9	0.504	0.196
B_{10}	0.226	0.774
B_{11}	0.343	0.657

(4) 组合权重确定

通过公式(15), 得到各评价指标客观权重; 通过公式(17), 得到各评价指标组合权重。

各项指标权重结果如表 8 所示。

表 8 指标权重表
Tab. 8 Index weight table

准则层	指标代号	基于可拓层次分析法的 主观权重	基于改进 CRITIC 法的 客观权重	基于熵值法的 客观权重	组合权重
经济性指标	B_1	0.03	0.102	0.082	0.061
	B_2	0.04	0.107	0.100	0.072
	B_3	0.10	0.173	0.115	0.122
	B_4	0.03	0	0.131	0.048
时间性指标	B_5	0.27	0	0.065	0.151
	B_6	0.18	0	0.065	0.106
	B_7	0.15	0.169	0.113	0.146
	B_8	0.06	0.249	0.114	0.121
适用性指标	B_9	0.04	0	0.026	0.027
	B_{10}	0.06	0.122	0.102	0.086
	B_{11}	0.04	0.078	0.086	0.061

表 9 准则层分析表
Tab. 9 Criterion level analysis table

评分	y_1	y_2	y_3	y_4
经济性指标	0.015	0.215	0.842	0.358
时间性指标	0.653	0.638	1	0.650
适用性指标	0.806	0.339	0.383	0.172

4 方法验证与数据分析

本文采用结合改进 CRITIC 法与熵值法的组合客观赋权方法对无量纲化处理后的指标值进行数学

3.3 模糊综合评价

根据式(18), 得到各生产计划方案综合评分, $y_1=0.5056$, $y_2=0.4224$, $y_3=0.771$, $y_4=0.4213$ 。由表 3 可知, y_3 方案模糊综合评语为良, y_1, y_2, y_4 方案模糊综合评语为中, 故 y_3 生产计划为最优生产计划方案。

各生产计划方案准则层的评价结果如表 9 所示, y_3 方案各准则层得分均优于 y_2, y_4 方案。 y_3 方案与 y_1 方案相比, y_1 方案的适用性指标得分较高, 车间管理难度较低, 但其经济性指标得分最低, 从企业财务角度看, y_1 方案效益较低。从企业财务和客户角度看, y_3 方案的经济性指标与时间性指标得分最高, 为最优方案。而 y_3 方案的适用性指标得分较低, 可以从车间管理方面进一步优化生产排程, 提高 y_3 方案的适用性。

分析确定客观权重, 客观权重值由评价指标值决定, 当指标值数据获取出现变化时, 客观赋权结果可能会受到影响, 从而降低整体评价结果的准确性。

为了评估评价指标值出现变化时, 本文所提客观赋权方法感应数据变化的灵敏程度, 本文通过改变全局极值大小来验证提出的客观赋权法比传统熵值法具有更高的评价灵敏度^[14-15]。

采用文献[14]的无量纲化处理后的样本数据, 共 6 个样本方案 $\{y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6\}$, 各样本方案

包含 11 个评价指标, 如表 10 所示。

表 10 待评估方案指标值^[14]
Tab. 10 Index value of plan to be evaluated

样本	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_6	B_7	B_8	B_9	B_{10}	B_{11}
y_1	0.70	0.74	0.81	0.90	1.00	0.66	0.68	0.59	0.74	0.60	0.81
y_2	0.88	0.79	0.98	0.72	0.63	0.80	0.85	0.69	0.72	0.59	0.69
y_3	0.60	0.69	0.59	0.70	0.75	0.89	0.66	0.74	0.65	0.70	0.78
y_4	0.72	0.87	0.58	0.60	0.63	0.64	1.00	0.64	0.65	0.90	0.71
y_5	0.90	0.64	0.94	0.82	0.80	0.72	0.65	0.86	0.59	0.67	0.80
y_6	0.66	0.65	0.96	0.81	0.91	0.77	0.70	0.82	0.90	0.61	0.73

表 10 中 y_4 的 B_3 值为全局极小值, 为了比较基于改进 CRITIC 法与熵值法的组合客观赋权法与熵值法对极值的敏感程度, 将该极小值调整为更小的 0.3 与 0.1, 通过熵值法与组合客观赋权法分别进行赋权, 评价结果分别如图 4 和图 5 所示。

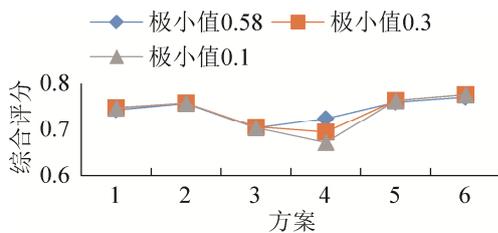


图 4 熵值法赋权
Fig. 4 Entropy weighting

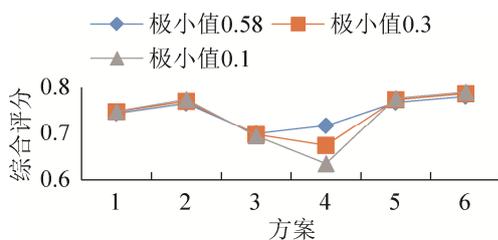


图 5 组合客观法赋权
Fig. 5 Combined objective weighting

由图 4 和图 5 可知, 熵值法与组合客观法两种赋权方法得到的评价结果一致。由熵值法得到的各样本方案评价得分波动较小, 而组合客观赋权方式得到的各样本方案评价得分波动较为明显, 更易分辨出各样本方案的优劣。当将全局极小值由 0.58 变为 0.3 和 0.1 时, 熵值法与组合客观法在所有样本方案中除了 y_4 , 其余方案评价结果与原始的评价基本相同。熵值法在极小值从 0.58 下降到 0.3 时,

y_4 综合评分下降 4.03%, 继续下降极值从 0.3 到 0.1 时, y_4 综合评分下降 3.77%。组合客观赋权方式在极小值从 0.58 下降到 0.3 时, y_4 综合评分下降 5.92%, 继续下降极值从 0.3 到 0.1 时, y_4 综合评分下降 5.86%。根据上述分析可得, 相对于熵值法, 组合客观法赋权能敏感地感应到极值数据的变化, 更能捕捉到数据中的微小信息, 具有更高的评价灵敏度。

5 结论

本文针对离散车间, 从经济性、时间性和适用性三个维度构建了离散车间生产计划评价指标体系, 提出基于组合赋权的生产计划评价方法。该方法通过可拓层次分析法确定主观权重, 无需再进行一致性检验; 通过改进 CRITIC 法、熵值法进行客观赋权, 有效结合评价指标数据的差异性、相关性, 对数据具有更高的评价灵敏度。应用实例结果表明该方法可以更加全面、科学地对离散车间生产计划进行定量和定性评价, 从而提升企业制定生产计划的水平。

本文以离散车间生产计划作为评价对象, 但所建立评价模型的方法同样适用于车间布局、产能和系统性能等评价。下一步将集成评价方法和仿真系统, 实现基于仿真的离散车间布局、产能、计划、性能等多维度、定量和定性相结合的综合评价体系。

参考文献:

- [1] Afshar S, Koroorian F, Ashjaei M. Investigating Alternatives for System Architectures to Enhance Discrete Manufacturing[J]. International Journal of Distributed Sensor Networks (S1550-1477), 2019, 15(8).
- [2] Gordic B. Flexible Optimization in the Process of Planning and Production Control[J]. Tehnicki Vjesnik-Technical Gazette (S1848-6339), 2017, 24(4): 1087-1094.
- [3] 李玉东. 全过程视角下某离散制造系统运行评价及应用[D]. 重庆: 重庆大学, 2015.
Li Yudong. Operation Evaluation and Its Application of One Discrete Manufacturing System under a Whole

- Process Perspective[D]. Chongqing: Chongqing University, 2015.
- [4] Li L H, Mo R. Production Task Queue Optimization Based on Multi-Attribute Evaluation for Complex Product Assembly Workshop[J]. PLoS One (S1932-6203), 2015, 10(9): e0134343.
- [5] 张通. 汽车制造企业 S 公司生产计划模型研究与评价[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2011.
Zhang Tong. Research and Evaluation of Production Plan Optimization for S Automobile Manufacturers Enterprise[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2011.
- [6] 雷崇武. 基于知识表示的钢铁生产合同计划决策支持系统研究[D]. 武汉: 武汉科技大学, 2015.
Lei Chongwu. Decision Support System of Iron and Steel Production Order Planning based on Knowledge Representation[D]. Wuhan: Wuhan University of Science and Technology, 2015.
- [7] 郭菁菁. 基于紧急订单的生产计划制定与影响评价研究[D]. 北京: 中国矿业大学, 2018.
Guo Jingjing. Study of Production Planning and Impact Evaluating Based on Rush Order[D]. Beijing: China University of Mining and Technology, 2018.
- [8] Tas O, Ekmekcioglu M. Mortgage Demanders Evaluation by Fuzzy AHP[J]. Journal of Multiple-Valued Logic and Soft Computing (S1542-3980), 2013, 21(5/6): 511-524.
- [9] 高炜, 张庆普, 敦晓彪. 基于改进的可拓层次分析法和动态加权的航天高技术综合评价研究[J]. 系统工程与电子技术, 2016, 38(1): 102-109.
Gao Wei, Zhang Qingpu, Dun Xiaobiao. Comprehensive Assessment of Advanced Military Aerospace Technologies Based on Improved EAHP and Dynamic Weighting[J]. Systems Engineering and Electronics, 2016, 38(1): 102-109.
- [10] Lin Z Z, Wen F S, Wang H F. CRITIC-Based Node Importance Evaluation in Skeleton-Network Reconfiguration of Power Grids[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems II-Express Briefs (S1549-7747), 2018, 65(2): 206-210.
- [11] 祝志川, 张国超, 张君妍. 基于改进 CRITIC 的修正 G2 赋权方法及实证[J]. 统计与决策, 2018, 34(18): 33-38.
Zhu Zhichuan, Zhang Guochao, Zhang Junyan. Modified G2 Weighting Method and Empirical Research Based on Improved CRITIC[J]. Statistics & Decision, 2018, 34(18): 33-38.
- [12] Li M, Sun H, Singh V P. Agricultural Water Resources Management Using Maximum Entropy and Entropy-Weight-Based TOPSIS Methods[J]. Entropy (S1099-4300), 2019, 21(4): 364.
- [13] 宋冬梅, 刘春晓, 沈晨. 基于主客观赋权法的多目标多属性决策方法[J]. 山东大学学报(工学版), 2015, 45(4): 1-9.
Song Dongmei, Liu Chunxiao, Shen Chen. Multiple Objective and Attribute Decision Making Based on the Subjective and Objective Weighting[J]. Journal of Shandong University (Engineering Science), 2015, 45(4): 1-9.
- [14] 曹东风, 王艳. 基于组合权重的制造系统能效贝叶斯评价方法[J]. 系统仿真学报, 2018, 30(11): 4313-4322.
Cao Dongfeng, Wang Yan. Bayesian Evaluation Method for Energy Efficiency of Manufacturing System Based on Combined Weights[J]. Journal of System Simulation, 2018, 30(11): 4313-4322.
- [15] 彭竹清, 王艳, 纪志成. 基于改进熵值法的离散制造系统能效评价方法[J]. 系统仿真学报, 2017, 29(9): 2121-2127.
Peng Zhuqing, Wang Yan, Ji Zhicheng. Energy Efficiency Evaluation of Discrete Manufacturing System Based on Improved Entropy Method[J]. Journal of System Simulation, 2017, 29(9): 2121-2127.