

数控瓦楞纸板印刷模切机伺服配置设计与评价研究

朱火美¹, 蒲洪彬², 李伟光²

(1. 宁波大红鹰学院, 宁波 315175; 2. 华南理工大学, 广州 510641)

摘要: 在综合考虑数控瓦楞纸板印刷模切机生产、运行、服务过程中的特征参数基础上, 研究了数控瓦楞纸板印刷模切机伺服配置评价体系结构, 并采用了模糊集、层次分析法和区间分析法, 实现了瓦楞纸板印刷模切机伺服配置评价指标分析与计算。构建了基于 iSIGHT 的瓦楞纸板印刷模切机伺服配置设计系统, 实现了数控瓦楞纸板伺服配置需求与伺服配置候选方案的映射。最后, 采用逼近于理想解法方法, 进行了候选瓦楞纸板印刷模切机伺服配置方案的优选研究。实验结果表明, 提出的方法可以有效、合理实现数控瓦楞纸板印刷模切机伺服配置评价。

关键词: 伺服配置; 配置评价; 模糊层次分析法; 瓦楞纸板印刷机; TOPSIS

中图分类号: TS803 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2012)03-0085-04

Servo Configuration and Evaluation of Numerical Printing and Die-cutting Machinery of Corrugated Board

ZHU Huo-mei¹, PU Hong-bin², LI Wei-guang²

(1. Ningbo Dahongying University, Ningbo 315175, China; 2. South China University of Technology, Guangzhou 510641, China)

Abstract: The evaluation system structure of servo configuration of the machinery was studied considering its characteristic in production, running and service. The analysis and calculation of the evaluation index of the servo configuration of the machinery was realized using fuzzy set, analytic hierarchy process, and range analysis method. A servo configuration design system based on iSIGHT was developed, and the alternatives were evaluated by using technique for order preference by similarity to ideal solution (TOPSIS). An example of servo configuration was used verify the proposed approach. The result showed that the proposed approach with FAHP and TOPSIS can perform the configuration evaluation more effectively and objectively for the machinery.

Key words: servo configuration; configuration evaluation; FAHP; print machinery of corrugated board; TOPSIS

传统的瓦楞纸板印刷机模切机, 由一个主电机带动主传动轴和机械传动部件将动力传递到各印刷机组, 各印刷机组通过机械传动实现同步运转。而所谓的数控无轴瓦楞纸板印刷模切机^[1], 就是在各机组之间, 甚至每个滚筒或辊子之间的动力, 都是相互独立的, 分别采用单独的伺服系统, 通过伺服驱动技术实现同步运转, 省去了传递运动和动力的机械长轴。伺服驱动系统作为无轴瓦楞纸板印刷模切机关键系统, 是产品设计重点。产品设计是产品开发的重要组成部分, 有效开展产品设计评价可以节约 70% 开发成本, 并缩短产品开发周期^[2]。由于产品配置作为产品设

计的初期阶段, 开展产品配置设计评价可以帮助设计者使产品在性能、成本和开发周期等方面, 更好满足客户需求^[3]。瓦楞纸板印刷模切机是复杂的机电设备, 包含几十套伺服驱动部件, 伺服配置方案的合理与否直接影响瓦楞纸板印刷模切机制造成本、开发周期以及整机伺服性能, 并进而影响产品技术水平与市场竞争能力。

笔者研究数控瓦楞纸板印刷模切机伺服配置评价体系结构, 并采用模糊集、层次分析法和区间分析法实现瓦楞纸板印刷模切机伺服配置评价指标分析与计算。构建基于 iSIGHT 的瓦楞纸板印刷模切机

收稿日期: 2011-12-13

作者简介: 朱火美(1983—), 女, 浙江龙泉人, 硕士, 宁波大红鹰学院讲师, 主要研究方向为数控技术、机械制造及其自动化。

伺服配置设计系统,实现瓦楞纸板伺服配置需求与伺服配置候选方案的映射。最后,采用逼近于理想解法(TOPSIS)方法进行瓦楞纸板印刷模切机伺服配置方案的优选研究。

1 评价方法介绍

1.1 模糊层次分析法介绍

模糊层次分析法(FAHP)是将模糊逻辑原理引入到 Saaty 的 AHP 中,拓宽了 AHP 的运用范围。模糊层次分析法步骤如下^[4]。

1) 构建模糊判断矩阵。

结合专家知识和评价指标,采用模糊集理论,实现瓦楞纸板印刷模切机伺服配置评价模糊判断矩阵的构建。

2) 矩阵一致性检验。

对模糊判断矩阵解模糊化,求取最大特征值及对应向量,根据下面公式完成矩阵一致性检验。

$$CI=\frac{\lambda_{\max}-n}{n} \tag{1}$$

$$CR=\frac{CI}{RI} \tag{2}$$

其中 RI 的取值参见文献[5]。

3) 判断矩阵综合模糊程度值计算。

根据区域分析法^[4],每个对象分别与目标进行区域分析,因此可以得到 m 组区域分析值,并进一步得到模糊综合程度值。

4) 权向量计算及归一化。

1.2 TOPSIS 介绍

C. L. Hwang 于 1981 年提出了 TOPSIS, TOPSIS()方法包含以下步骤^[6]。

步骤 1:构造评价决策矩阵。

假设有 m 个候选方案, n 个评价指标,每个方案按照 n 个指标进行评价,评价决策矩阵见表 1。

表 1 评价决策矩阵
Tab.1 Decision matrix of evaluation

	指标 1	指标 2	...	指标 n
候选 1	x_{11}	x_{12}	...	x_{1n}
候选 2	x_{21}	x_{22}	...	x_{2n}
...	...	...	...	...
候选 m	x_{m1}	x_{m2}	...	x_{mn}

步骤 2:规范化决策矩阵。采用下式对评价决策矩阵归一化。

$$r_{ij}=\frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^n x_{ij}^2}} \tag{3}$$

式中: $i=1,2,\cdots,m;j=1,2,\cdots,n$ 。

步骤 3:计算权重化决策矩阵。按照下式对规划化决策矩阵权重化。

$$v_{ij}=w_j * r_{ij} \tag{4}$$

式中: $i=1,2,\cdots,m;j=1,2,\cdots,n$ 。

步骤 4:确定理想解与负理想解。

假设 I' 是效益型指标, I'' 是成本型指标; A^+ 是理想解, A^- 是负理想解。通过以下公式实现理想解与负理想解的确定。

$$\begin{aligned} A^+ &= \{v_1^+, v_2^+, \cdots, v_n^+\} \\ &= \{(\max_j v_{ij} | i \in I'), (\min_j v_{ij} | i \in I'')\} \end{aligned} \tag{5}$$

$$\begin{aligned} A^- &= \{v_1^-, v_2^-, \cdots, v_n^-\} \\ &= \{(\min_j v_{ij} | i \in I'), (\max_j v_{ij} | i \in I'')\} \end{aligned} \tag{6}$$

式中, $i=1,2,\cdots,m;j=1,2,\cdots,n$ 。

步骤 5:计算距离。根据以下 2 式实现候选方案与理想解与负理想解距离计算。

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_j^+ - v_{ij})^2} \tag{7}$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_j^- - v_{ij})^2} \tag{8}$$

步骤 6:计算相对接近程度指数。其相对接近程度指数计算公式见下式。

$$c_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \tag{9}$$

步骤 7:排序方案。根据相对接近程度指数,实现候选方案的排序。

2 产品配置评价指标构建

数控瓦楞纸板印刷模切机是复杂的机电设备,涉及的评价指标较多,包含性能指标、功能指标、经济服务指标等。规划的数控瓦楞纸板印刷模切机评价指标结构见图 1,包含目标层、分类层、子分类层、属性层和对象层等 4 层,目标层由选定的瓦楞纸板印刷模切机产品组成,分类层包含工作性能 B_1 ,使用性能 B_2 ,工艺、加工与服务性能 B_3 等 3 组指标。套印精度 C_1 ,墨色均实性 C_2 ,生产效率 C_3 ,印刷尺寸 C_4 是对 B_1 的细分;操作性能 C_5 ,安全性能 C_6 ,耐用性 C_7 是对 B_2 的细分;加工工艺性 C_8 ,制造成本 C_9 ,装配与维

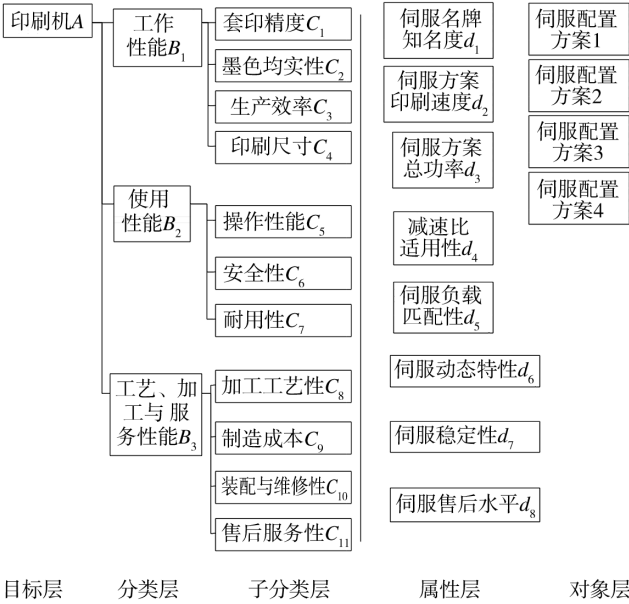


图1 无轴瓦楞纸板印刷模切机评价指标结构
Fig. 1 Structure of evaluation index for shaftless printing and die-cutting machinery of corrugated board

修性 C_{10} 和售后服务性 C_{11} 是对 B_3 的细分。由于只研究瓦楞纸板印刷模切机伺服配置评价,在属性层中只研究与伺服配置评价相关的指标。伺服配置评价指标包含伺服名牌知名度 d_1 、伺服方案印刷速度 d_2 、伺服方案总功率 d_3 、减速比适用性 d_4 、伺服负载匹配性 d_5 、伺服动态特性 d_6 、伺服稳定性 d_7 和伺服售后水平 d_8 。对象层由待评价瓦楞纸板印刷模切机伺服配置 $e_1, e_2, \dots, e_n$ 方案组成。

3 实验与应用

3.1 伺服配置设计

基于 MDO 方法并结合瓦楞纸板印刷模切机伺服配置特点,构建了包含系统层、任务层和子任务层等 3 层的基于 iSIGHT 的数控瓦楞纸板印刷模切机伺服配置设计系统,设计系统的结构模型见图 2,其中系统层由系统优化器组成,实现伺服配置全局管理与控制,任务层包含前缘送纸部、印刷部和模切部。由于瓦楞纸板印刷模切机印刷部的伺服配置类似,因此任务层只实现一组印刷部伺服配置,其他色组(印刷部)采用同样的伺服配置。任务层的前缘送纸部实现送纸轮伺服设计、拉纸轮伺服设计和抬板伺服设计等子任务的协调和管理。任务层的印刷部实现印刷

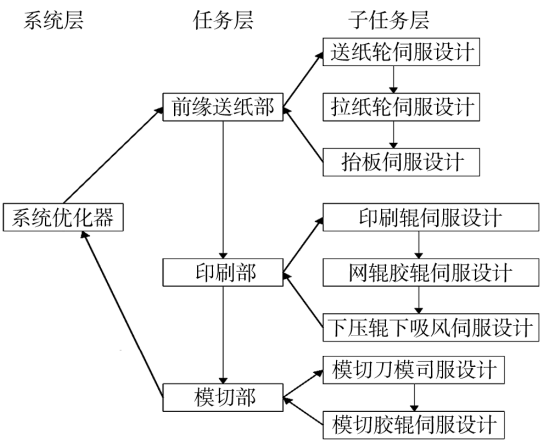


图2 瓦楞纸板印刷模切机伺服配置设计模型
Fig. 2 Module of servo configuration of printing and die-cutting machinery of corrugated board

辊伺服设计(见图 3)、下压辊下吸风伺服设计和网辊

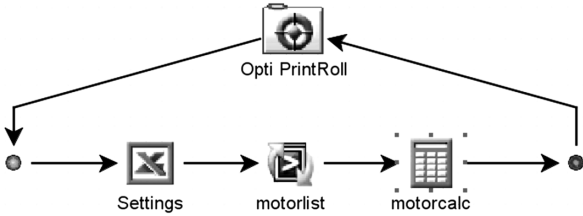


图3 基于 iSIGHT 的印刷辊伺服配置设计
Fig. 3 Diagram of iSIGHT-based servo configuration for printing roll

胶辊伺服设计等子任务的协调和管理。任务层的模切部实现子任务层模切刀辊伺服设计和模切胶辊伺服设计的协调和管理。子任务层的伺服设计针对瓦楞纸板印刷模切机机构具体功能部件构造伺服配置设计变量、约束条件和优化目标,采用 iSIGHT 实现伺服配置设计。当客户技术需求:瓦楞纸板印刷模切机印刷速度为 260 r/min,给定伺服制造商代号为 0 或 1 时,运行基于 iSIGHT 的数控瓦楞纸板印刷模切机伺服配置设计系统,得到 5 个由进纸部、印刷部和模切部组成的瓦楞纸板伺服配置候选方案(其中,瓦楞纸板印刷模切机印刷部印刷辊伺服配置见表 2)。

3.2 伺服配置评价指标权重计算

采用 FAHP 方法构建瓦楞纸板印刷模切伺服配置指标模糊比较矩阵,通过式(1)与(2)实现指标模糊比较矩阵一致性检验,并采用区间分析法计算相关矩阵权重,分别得到分类层权重 $\omega^{(2)}$ 、子分类层权重 $\omega^{(3)}$ 和属性层权重 $\omega^{(4)}$,具体结果见表 3。

表 2 印刷辊伺服配置信息

Tab.2 Configuration information of printing roll

信息项	配置 方案 1	配置 方案 2	配置 方案 3	配置 方案 4	配置 方案 5
印刷速度 ($r \cdot \min^{-1}$)	260	260	240	240	220
制造商代号	0	1	0	1	0
电机编号	16	5	16	4	16
电机型号	MCA21X25	1PH7105-F	MCA21X25	1PH7103-G	MCA21X25
减速比	10	7	10	10	10
惯量比	9.816	12.43	9.816	10.393	9.816
动态时间比	28.151	31.40	34.57	39.35	41.16
速度比	1.044	1.213	0.96	1.2	0.88

表 3 层次排序全局权重

Tab.3 The total weights of level

层次	全局排序向量
$w^{(2)}$	[0.333 0.333 0.333]
$w^{(3)}$	[0.106 5 0.100 8 0.106 5 0.019 2 0.198 1 0.024 2 0.110 7 0.038 3 0.156 0 0.024 8 0.113 9]
$w^{(3)}$	[0.157 1 0.158 1 0.129 5 0.106 4 0.114 3 0.103 0 0.110 7 0.119 9]

3.3 伺服配置评价决策

伺服配置评价指标包含伺服名牌知名度、伺服方案印刷速度、伺服方案总功率、减速比适用性、伺服负载匹配性、伺服动态特性、伺服稳定性和伺服售后水平。

数控瓦楞纸板印刷模切机伺服配置评价流程如下。

1) 确定评价语言标度分为 1,3,5,7,9 五个分度,分别表示一般、比较好、好、非常好和特别好等。选择专家按照伺服配置评价指标对由 iSIGHT 伺服配置设计系统得到的 5 个配置方案评价,得到评价决策矩阵,见表 4。

表 4 伺服配置设计评价矩阵

Tab.4 Decision matrix of servo configuration

评价指标	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4	方案 5
伺服品牌知名度	5	9	5	9	5
伺服方案印刷速度	7	7	7	5	5
印刷方案总功率	3	7	3	7	3
减速比适用性	3	5	3	5	3
伺服负载匹配性	3	3	9	9	7
伺服动态特性	3	5	3	5	5
伺服稳定性	3	3	5	5	7
伺服售后水平	5	7	5	7	5

2) 采用式(3)对评价决策矩阵归一化操作。

3) 根据表 3 中指标权重与式(4),得到权重化评价决策矩阵。

4) 按照 TOPSIS 方法特点,规划伺服方案总功率这个指标为成本型指标,其他指标为效益型指标。

5) 根据式(7),(8)和(9)计算 5 个伺服配置方案的相对接近程度系数,见表 5。

表 5 候选方案计算结果

Tab.5 Calculation result of alternatives

	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4	方案 5
相对接近程度指数	0.228	0.163	0.230	0.158	0.220
排序	2	4	1	5	3

6) 根据 5 个方案的相对接近程度系数,得到优选伺服配置方案,即最满足客户需求的是方案 3。

4 结论

基于 iSIGHT 多学科分析平台,实现了面向客户需求的瓦楞纸板印刷模切机伺服配置设计,构建了数控瓦楞纸板印刷模切机伺服配置评价指标,并通过模糊层次分析法定量分析了评价指标。采用 TOPSIS 方法可实现数控瓦楞纸板印刷模切机伺服配置设计方案的排序。

参考文献:

[1] 胡瑛,管力明,鲁聪达.无轴印刷机结构原理[J].包装工程,2006,27(3):100—102.
HU Ying, GUAN Li-ming, LU Chong-da. Principle of Shaftless Printing Presses [J]. Packaging Engineering, 2006,27(3):100—102.

[2] NEVINS J L, WHITNEY D. Concurrent Design of Product and Process-A strategy for the Next Generation in Manufacturing[M]. New York: McGraw-Hill, 1989.

[3] YOUNGSEOK C, JAEHYUN P, HAN S H, et al. Development of a Web-based Survey System for Evaluating Affective Satisfaction[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2011(41):247—254.

[4] SAATY T L. The Analytic Hierarchy Process[M]. New York: McGraw Hill, 1980.

[5] GOLDEN BL, HARKER P T, WASIL E E. The Analytic Hierarchy Process: Applications and Studies[M]. Berlin: Springer-Verlag, 1989.

[6] SHYUR H J, SHIH H S. A Hybrid MCDM Model for Strategic Vendor Selection[J]. Mathematical and Computer Modeling, 2006(44):749—761.