

基于 FAHP-CRITIC 法的服装企业 绿色供应链柔性评价

高旭¹, 韩曙光^{*2}

(1. 浙江理工大学 服装学院, 浙江 杭州 310018; 2. 浙江理工大学 理学院, 浙江 杭州 310018)

摘要:为提升服装行业供给体系和运营能力的柔性化水平,提出绿色供应链柔性评价方法。建立了由采购柔性、制造柔性、物流柔性和产出柔性4大一级评价指标组成的服装企业绿色供应链柔性评价指标体系;采用模糊层次分析法和客观赋权法分别确定各级评价指标的主观和客观权重,通过理想点法确定最优综合权重,采用模糊综合评价法评估服装企业绿色供应链柔性的等级;利用柔性评价方法对某服装企业的绿色供应链柔性进行实例分析,验证评价方法的可行性和实用性。研究表明,绿色供应链柔性评价方法可以帮助企业了解其供应链体系的优劣,进而针对不足之处进行优化或调整,以提升供应链的绿色水平和经济效益。

关键词:绿色供应链;供应链柔性;模糊层次分析法;客观赋权法;模糊综合评价法

中图分类号:F 407.86 **文献标志码:**A **文章编号:**2096-1928(2024)04-0369-08

Flexible Evaluation of Green Supply Chain of Clothing Enterprises Based on FAHP-CRITIC Method

GAO Xu¹, HAN Shuguang^{*2}

(1. School of Fashion Design and Engineering, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China; 2. School of Science, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract:In order to improve the flexibility level of supply system and operation capacity for the clothing industry, this paper proposed a flexible evaluation method for green supply chain. The green supply chain flexible evaluation index system for clothing enterprises was composed of four categories of first level evaluation indicators, such as procurement flexibility, manufacturing flexibility, logistics flexibility and output flexibility. According to the fuzzy analytic hierarchy process and criteria importance through intercriteria correlation methods, the subjective and objective weights of the indicators to be evaluated at all levels are determined, and the optimal comprehensive weight is determined through the ideal point method. The fuzzy comprehensive evaluation method was used to evaluate the flexibility level of green supply chain of clothing enterprises. The flexible evaluation method was applied to analyze the green supply chain flexibility of a certain clothing enterprise, and the feasibility and practicality of the evaluation method was verified through the case analysis. The research shows that the green supply chain flexible evaluation method can help enterprises understand the advantages and disadvantages of their green supply chain system, and optimize or adjust the deficiencies to improve the green level and economic benefits of the supply chain.

收稿日期:2024-02-28; 修订日期 2024-06-06。

基金项目:国家自然科学基金面上项目(12071436)。

作者简介:高旭(1998—),男,硕士研究生。

* 通信作者:韩曙光(1977—),男,教授,硕士生导师。主要研究方向为服装供应链管理及优化、数学建模及应用等。

Email:zist001@163.com

Key words: green supply chain, supply chain flexibility, criteria importance through intercriteria correlation, fuzzy analytic hierarchy process, fuzzy comprehensive evaluation method

服装行业是传统国民经济支柱产业,近年来,在推进双碳和绿色低碳循环发展的国家战略背景下,服装行业需在供应链的各个环节考虑绿色环保因素,因此打造绿色供应链也成为其可持续发展的必由之路^[1]。服装行业的订单有着批量小、品种多、交期短等特点,因而需要建立具有柔性的服装供应链网络,构建能够评估服装企业绿色供应链柔性水平的评价方法,以提升整体的快速响应能力,实现服装企业的绿色发展^[2-3]。

国内外学者已从绿色供应链、供应链柔性等角度展开研究。孙婷婷等^[4]基于产品生命周期绿色属性和绿色属性管理两个方面构建了绿色供应链评价指标体系,为绿色供应链评价研究提供参考。程晓虎等^[5]基于混合白化权函数的灰色聚类评估模型,对羊绒纺织业制造供应链的整体绿色化水平进行评估。施彦^[6]构建了物流企业的绿色供应链绩效评价体系,基于层次分析法确定指标权重,并通过模糊综合评价法对物流企业进行评价。苏旭东等^[7]从供应链整体的内部柔性和外部柔性出发,确立了供应链柔性评价指标,并基于结构熵权法和模糊综合评价法对供应链柔性进行评价。李伟华等^[8]结合服装企业的特点和专家意见,运用德尔菲法建立了科学合理的服装企业供应链柔性评价指标体系,并运用模糊层次分析法对服装企业的供应链柔性进行评价。MOON K K L 等^[9]基于多家纺织服装企业的实地调研和专家访谈结果,选取供应链柔性中的采购柔性、制造柔性、分销柔性和信息系统柔性 4 个维度,开发了一种测量纺织服装企业供应链柔性的量表。XIAO Y M^[10]认为,供应链动态匹配能力是衡量供应链柔性的准确指标,其从资源和时间 2 个维度出发,运用层次分析法和熵值法对供应链网络的资源匹配能力和快速响应能力进行量化,根据量化结果的数值大小对该供应链网络的柔性水平进行度量。LUO X C 等^[11]在建立供应链柔性评价指标体系和供应链柔性评价的物元模型后,计算待评物元与经典域物元的综合关联度,并根据综合关联度的数值大小对模型中各个柔性指标的柔性水平进行定量分析。

分析现有研究成果可以发现:①国内外不乏针对绿色供应链或供应链柔性的评价方法,但缺少将二者置于同一评价指标体系进行综合评价的方法;②国内外学者普遍单独使用主观评价方法或者客观评价方法对绿色供应链或供应链柔性进行评价分析。基于此,文中将绿色供应链和供应链柔性纳入同一研究框架之中,结合模糊层次分析法(fuzzy analytic hierarchy process, FAHP)的主观评价结果以及客观赋权法(criteria importance through intercriteria correlation, CRITIC)的客观评价结果,对绿色供应链的可持续性和供应链的柔性进行综合评价,并运用 FAHP-CRITIC 绿色供应链柔性评价方法对某服装企业的供应链柔性进行实例分析,使研究结果更贴合企业的发展方向,并契合国家的政策导向。

1 评价指标体系的构建

绿色供应链柔性的各种影响因素相互关联且相互制约,因此建立一个全面、系统、合理的综合评价指标体系是正确评估服装企业绿色供应链柔性的基础,科学可行性、完备性、可比性、实用性、目的性、相对稳定性等是评价指标体系构建过程中必须遵循的原则^[12]。指标体系构建的具体步骤如下:

1)通过对相关文献^[3-13]的整理和总结,结合服装企业所具有的特征,初步拟定 5 个 1 级指标,分别为采购柔性、制造柔性、物流柔性、关系柔性和产出柔性;拟定 14 个 2 级指标,包括供应柔性、生产柔性、协作柔性、运输柔性和交付柔性等;拟定 41 个 3 级指标,包括绿色原材料的采购、绿色成衣制作、快速响应能力、清洁能源配送方式的占比和客户满意率等。

2)通过专家咨询法,同服装领域的 10 位专家进行深入交流和探讨。综合考虑各评价指标的科学性和重要性,最终筛选出符合绿色供应链柔性关系的层次结构模型。该层次结构模型包含 4 个 1 级评价指标,10 个 2 级指标和 27 个 3 级指标,具体见表 1。

表 1 服装企业绿色供应链柔性评价指标体系			
Tab.1 Flexible evaluation index system of green supply chain of clothing enterprises			
目标层	1 级指标	2 级指标	3 级指标
绿色供应链柔性(A)	采购柔性(B ₁)	供应柔性(C ₁)	可选供应商数量(D ₁)
			供应商提供的产品和范围(D ₂)
		绿色采购柔性(C ₂)	及时更换供应商的能力(D ₃)
			绿色原材料的采购(D ₄)
	制造柔性(B ₂)	产品柔性(C ₃)	绿色供应商的选择(D ₅)
			数量柔性(D ₆)
		生产柔性(C ₄)	品种柔性(D ₇)
			产能柔性(D ₈)
			机器柔性(D ₉)
			劳动力柔性(D ₁₀)
	绿色制造柔性(C ₅)		绿色纺纱(D ₁₁)
			绿色织布(D ₁₂)
			绿色印染(D ₁₃)
			绿色成衣制作(D ₁₄)
	物流柔性(B ₃)	库存柔性(C ₆)	原材料安全库存(D ₁₅)
			在制品库存管理(D ₁₆)
		运输柔性(C ₇)	成品安全库存(D ₁₇)
			绿色物流柔性(C ₈)
		企业内部物料运输柔性(D ₁₉)	
			清洁能源配送方式的占比(D ₂₀)
			环保型仓储作业设备的占比(D ₂₁)
			绿色包装材料的使用(D ₂₂)
	产出柔性(B ₄)		利润柔性(C ₉)
		成本柔性(D ₂₄)	
交付柔性(C ₁₀)		准时交货订单比率(D ₂₅)	
		客户交货时间柔性(D ₂₆)	
		客户满意率(D ₂₇)	

2 指标权重的确定

2.1 FAHP 主观赋权法

FAHP 法是由美国运筹学家 SAATY T L^[14]提出的将层次分析法与模糊数学相结合的一种模糊评价方法,通过 FAHP 法可以处理复杂问题中的模糊信息,较好地体现参评专家判断的模糊程度。

2.1.1 模糊一致判断矩阵 依据表 1 中的服装企业绿色供应链柔性评价指标体系,采用 0.1~0.9 的数量标度对同一层级指标中两个元素相比较之后对于上一层关联指标的重要性进行定量描述(见表 2),并依据 10 位服装领域专家对各指标的打分情况建立各层级指标的比较矩阵。例如,其中 1 位专家对供应柔性(C₁)及其下层指标可选供应商数量(D₁)、供应商提供的产品和范围(D₂)和及时更换供应商的能力(D₃)两两比较,得出专家打分表,具体见表 3。

表 2 数量标度		
Tab.2 Quantitative scales		
标度	定义	说明
0.5	同等重要	2 个元素相比较同等重要
0.6	稍微重要	2 个元素相比较,前者稍微重要
0.7	明显重要	2 个元素相比较,前者明显重要
0.8	非常重要	2 个元素相比较,前者非常重要
0.9	极端重要	2 个元素相比较,前者极端重要
0.1,0.2,0.3,0.4	反比较	2 个元素交换顺序之后的比较结果

表 3 专家打分结果			
Tab.3 Expert grading results			
指标	D ₁	D ₂	D ₃
D ₁	0.5	0.6	0.8
D ₂	0.4	0.5	0.7
D ₃	0.2	0.3	0.5

由专家打分表进一步得出模糊一致判断矩阵 R_1 ,即

$$\boldsymbol{R}_1 = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.6 & 0.8 \\ 0.4 & 0.5 & 0.7 \\ 0.2 & 0.3 & 0.5 \end{bmatrix}。$$

同理,求出其他各层级柔性指标的模糊一致判断矩阵。

2.1.2 模糊一致性的检验和调整 通过模糊一致判断矩阵中第 1 行各个元素与其他行各对应元素作差时差值是否为常数进行检验,并根据差的情况作出相应调整^[15]。

2.1.3 各元素权重的计算 下层各指标对其隶属的上一层指标的主观权重值为 α_j ,其计算公式为

$$\alpha_j = \frac{\sum_{i=1}^n r_{ij} + \frac{n}{2} - 1}{n(n-1)} (j = 1, 2, \cdots, n)。$$
(1)

表 4 基于 FAHP 法的各评价指标客观权重

Tab.4 Objective weights of each evaluation index based on FAHP method

1 级指标	w_{B-A}	2 级指标	w_{C-A}	w_{C-B}	3 级指标	w_{D-A}	w_{D-B}	w_{D-C}
B ₁	0.323 7	C ₁	0.188 1	0.581 2	D ₁	0.076 8	0.237 3	0.408 3
					D ₂	0.067 4	0.208 2	0.358 3
					D ₃	0.043 9	0.135 6	0.233 3
		C ₂	0.135 6	0.418 8	D ₄	0.080 2	0.247 8	0.591 7
					D ₅	0.055 3	0.171 0	0.408 3
B ₂	0.352 7	C ₃	0.085 5	0.242 5	D ₆	0.025 6	0.072 6	0.299 3
					D ₇	0.059 9	0.169 9	0.700 7
		C ₄	0.095 2	0.270 0	D ₈	0.037 0	0.116 7	0.432 3
					D ₉	0.032 0	0.090 8	0.336 2
					D ₁₀	0.022 0	0.062 5	0.231 4
					D ₁₁	0.012 7	0.021 1	0.133 3
		C ₅	0.055 8	0.158 3	D ₁₂	0.008 4	0.023 7	0.150 0
					D ₁₃	0.022 3	0.063 3	0.400 0
					D ₁₄	0.017 7	0.050 1	0.316 7
					D ₁₅	0.020 0	0.083 6	0.358 3
B ₃	0.217 4	C ₆	0.050 7	0.233 3	D ₁₆	0.019 4	0.089 4	0.383 3
					D ₁₇	0.013 1	0.060 3	0.258 3
		C ₇	0.048 9	0.225 0	D ₁₈	0.031 7	0.140 6	0.625 0
					D ₁₉	0.018 3	0.084 4	0.375 0
		C ₈	0.056 1	0.258 3	D ₂₀	0.013 9	0.073 2	0.283 3
					D ₂₁	0.019 7	0.090 4	0.350 0
					D ₂₂	0.020 6	0.094 7	0.366 7
					D ₂₃	0.026 8	0.171 2	0.477 9
B ₄	0.106 3	C ₉	0.038 1	0.358 3	D ₂₄	0.019 9	0.187 1	0.522 1
					D ₂₅	0.015 5	0.261 9	0.408 1
		C ₁₀	0.068 2	0.641 7	D ₂₆	0.020 2	0.189 9	0.295 9
					D ₂₇	0.020 2	0.189 9	0.295 9

式中: r_{ij} 表示下层指标中的元素 i 和元素 j 与上层相对应指标进行比较时,元素 i 和元素 j 的隶属度; n 表示下层指标元素个数。

2.1.4 层级权重的计算 各层级指标相对于其他评价层级和目标层的主观权重大小^[16]为

$$w_{D-A} = w_{D-C} \times w_{C-B} \times w_{B-A};$$
(2)

$$w_{C-A} = w_{C-B} \times w_{B-A} \circ$$
(3)

式中:A 为目标层,B,C,D 分别为 1,2,3 级指标层; w_{B-A} 为 1 级指标层对目标层的权重; w_{C-A} 为 2 级指标层对目标层的权重; w_{D-A} 为 3 级指标层对目标层的权重; w_{C-B} 为 2 级指标层对 1 级指标层的权重; w_{D-C} 为 3 级指标层对 2 级指标层的权重。

各评价指标的客观权重计算结果见表 4。

2.2 基于 CRITIC 法的客观赋权

CRITIC 法是 DIAKOULAKI D 等^[17]提出的一种评价指标客观赋权方法。该方法在对各评价指标

进行权重计算时,主要考虑变异性和冲突性。相较于其他客观赋权方法,CRITIC 法在考虑评价指标间差异性的同时,还综合了评价指标间的相关性^[18]。

2.2.1 数据获取 选择达利(中国)有限公司、浙江伊芙丽实业有限公司、杭州福恩股份有限公司、卓尚服饰(杭州)有限公司 4 家拥有较为完备绿色供应链管理体系的服装企业,根据 4 家服装企业已有数据,或通过已有数据推导计算获得其 3 级指标相关数据(共包含 4 个待评价对象,27 个评价指标),由该数据构成原始数据矩阵 X ,即

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nm} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 16 & 18 & 17 & 16 \\ 19 & 22 & 21 & 20 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0.892 & 0.914 & 0.898 & 0.906 \end{bmatrix}。$$

式中: x_{nm} 代表第 m 个待评价对象第 n 个 3 级评价指标的数值。

2.2.2 无量纲化处理 为避免各评价指标因量纲不同对评价结果产生影响,使用正向化或逆向化的方法对各指标进行无量纲化处理,得到标准化矩阵 Z ,即

$$Z = \begin{bmatrix} 0 & 0.500\ 0 & 1.000\ 0 & 0 \\ 0 & 1.000\ 0 & 0.666\ 7 & 0.333\ 3 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0.272\ 7 & 1.000\ 0 & 0 & 0.636\ 4 \end{bmatrix}。$$

2.2.3 指标信息量的计算

1)计算指标变异性。用第 j 个指标的标准差 S_j 衡量各指标数值的差异情况,其计算公式为

$$S_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}{n-1}}。$$
(4)

式中: x_{ij} 表示第 i 个待评价对象第 j 个评价指标的数值; \bar{x}_j 为每个指标的数据均值。

2)计算指标冲突性。指标冲突性用第 j 个指标的相关系数 R_j 表示,其计算公式为

$$R_j = \sum_{i=1}^n (1 - h_{ij})。$$
(5)

式中: h_{ij} 表示第 i 个指标与第 j 个指标的相关系数。

3)计算指标信息量。指标信息量 C_j 计算公式为

$$C_j = S_j \times R_j。$$
(6)

4)根据式(4)~式(6)计算各指标信息量后,对 C_j 进行归一化处理,得到客观权重 β_j 。其中 S_j, R_j, C_j 和 β_j 的见见表 5。

表 5 基于 CRITIC 法的各评价指标客观权重

Tab. 5 Objective weights of each evaluation index based on CRITIC method									
3 级指标	S_j	R_j	C_j	β_j	3 级指标	S_j	R_j	C_j	β_j
D ₁	0.479 3	32.075 5	15.373 8	0.054 3	D ₁₅	0.427 8	20.516 4	8.776 9	0.031 0
D ₂	0.430 4	32.364 9	13.929 8	0.049 2	D ₁₆	0.408 4	21.907 0	8.946 8	0.031 6
D ₃	0.479 6	28.100 2	13.476 8	0.047 6	D ₁₇	0.408 6	19.540 3	7.984 2	0.028 2
D ₄	0.443 4	35.758 0	15.855 1	0.056 0	D ₁₈	0.476 2	25.506 4	12.146 1	0.042 9
D ₅	0.419 2	32.824 4	13.760 0	0.048 6	D ₁₉	0.502 2	17.533 4	8.805 2	0.031 1
D ₆	0.436 8	18.214 0	7.955 9	0.028 1	D ₂₀	0.427 1	19.290 6	8.239 0	0.029 1
D ₇	0.427 7	30.318 5	12.967 2	0.045 8	D ₂₁	0.476 4	19.136 6	9.116 7	0.032 2
D ₈	0.427 3	31.738 3	13.561 8	0.047 9	D ₂₂	0.459 5	19.902 1	9.145 0	0.032 3
D ₉	0.417 5	28.821 3	12.032 9	0.042 5	D ₂₃	0.479 9	20.649 0	9.909 4	0.035 0
D ₁₀	0.416 5	22.296 7	9.286 6	0.032 8	D ₂₄	0.415 8	28.394 4	11.806 4	0.041 7
D ₁₁	0.427 3	18.221 4	7.786 0	0.027 5	D ₂₅	0.479 7	19.772 3	9.484 8	0.033 5
D ₁₂	0.413 5	19.103 4	7.899 2	0.027 9	D ₂₆	0.408 9	20.356 9	8.323 9	0.029 4
D ₁₃	0.448 2	20.719 7	9.286 6	0.032 8	D ₂₇	0.435 6	19.499 1	8.493 8	0.030 0
D ₁₄	0.427 2	20.545 3	8.776 9	0.031 0					

2.3 基于理想点法确定最优组合权重

为确定最优组合权重,文中采用基于理想点法的组合赋权法。

组合赋权法将 FAHP 法确定的主观权重 α_j 与 CRITIC 法确定的客观权重 β_j 进行组合,确定组合权重 W_j ^[19],具体公式为

$$W_j = \frac{w_j}{\sum_{j=1}^n w_j}。$$
(7)

$$\text{式中:} w_j = \sqrt{\frac{\alpha_j^2 + \beta_j^2}{2}}, j = 1, 2, \cdots, n。$$

各指标的最优组合权重结果见表 6。

表 6 基于理想点法的各评价指标组合权重

Tab.6 Combined weights of each evaluation index based on ideal point method

评价指标	FAHP 法 权重	CRITIC 法 权重	综合权重
B ₁	0.323 7	0.255 7	0.289 6
B ₂	0.352 7	0.316 2	0.332 6
B ₃	0.217 4	0.258 4	0.237 1
B ₄	0.106 3	0.169 8	0.140 7
C ₁	0.188 1	0.151 1	0.183 4
C ₂	0.135 6	0.104 5	0.130 1
C ₃	0.085 5	0.073 9	0.085 9
C ₄	0.095 2	0.123 2	0.118 4
C ₅	0.055 8	0.119 1	0.100 0
C ₆	0.050 7	0.090 7	0.079 0
C ₇	0.048 9	0.074 0	0.067 4
C ₈	0.056 1	0.093 6	0.083 0
C ₉	0.038 1	0.076 8	0.065 2
C ₁₀	0.068 2	0.093 0	0.087 7
D ₁	0.076 8	0.054 3	0.071 4
D ₂	0.067 4	0.049 2	0.063 4
D ₃	0.043 9	0.047 6	0.049 2
D ₄	0.080 2	0.056 0	0.074 3
D ₅	0.055 3	0.048 6	0.055 9
D ₆	0.025 6	0.028 1	0.028 9
D ₇	0.059 9	0.045 8	0.057 2
D ₈	0.037 0	0.047 9	0.046 0
D ₉	0.032 0	0.042 5	0.040 4
D ₁₀	0.022 0	0.032 8	0.030 0
D ₁₁	0.012 7	0.027 5	0.023 0
D ₁₂	0.008 4	0.027 9	0.022 1
D ₁₃	0.022 3	0.032 8	0.030 1
D ₁₄	0.017 7	0.031 0	0.027 1
D ₁₅	0.020 0	0.031 0	0.028 0
D ₁₆	0.019 4	0.031 6	0.028 2
D ₁₇	0.013 1	0.028 2	0.023 6
D ₁₈	0.031 7	0.042 9	0.040 5
D ₁₉	0.018 3	0.031 1	0.027 4
D ₂₀	0.013 9	0.029 1	0.024 5
D ₂₁	0.019 7	0.032 2	0.028 7
D ₂₂	0.020 6	0.032 3	0.029 1
D ₂₃	0.026 8	0.035 0	0.033 5
D ₂₄	0.019 9	0.041 7	0.035 1
D ₂₅	0.015 5	0.033 5	0.028 0
D ₂₆	0.020 2	0.029 4	0.027 1
D ₂₇	0.020 2	0.030 0	0.027 5

3 实例分析

为了验证文中所提出评价方法的实用性和有效性,选取提供 CRITIC 法数据的 4 家服装企业中的 M 服装企业,对其进行绿色供应链柔性的模糊综合评价。

根据已构建的评价指标体系,邀请 20 位 M 服

装企业的相关工作人员根据企业实际情况对 3 级指标进行评价,评语集合 $V = \{ \text{很好,较好,一般,差,极差} \}$ 。根据企业相关人员的评价,得出各 3 级指标的隶属度(见表 7)和模糊评价矩阵 A :

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{411} & a_{412} & a_{413} & a_{414} & a_{415} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.20 & 0.65 & 0.10 & 0.05 & 0 \\ 0.10 & 0.65 & 0.25 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0.35 & 0.45 & 0.20 & 0 & 0 \end{bmatrix} \circ$$

表 7 M 服装企业绿色供应链柔性评价指标隶属度

Tab.7 Membership degree of green supply chain flexible evaluation index of M clothing enterprises

3 级指标	隶属度				
	好	较好	一般	差	极差
D ₁	0.20	0.65	0.10	0.05	0
D ₂	0.10	0.65	0.25	0	0
D ₃	0.05	0.75	0.15	0.05	0
D ₄	0.60	0.40	0	0	0
D ₅	0.45	0.50	0.05	0	0
D ₆	0.40	0.45	0.15	0	0
D ₇	0.10	0.45	0.30	0.15	0.05
D ₈	0.50	0.40	0.10	0	0
D ₉	0.15	0.60	0.15	0.10	0.05
D ₁₀	0.35	0.50	0.15	0	0
D ₁₁	0.55	0.45	0	0	0
D ₁₂	0.45	0.55	0	0	0
D ₁₃	0.50	0.50	0	0	0
D ₁₄	0.60	0.40	0	0	0
D ₁₅	0.45	0.45	0.10	0	0
D ₁₆	0.40	0.35	0.25	0	0
D ₁₇	0.50	0.45	0.05	0	0
D ₁₈	0.30	0.65	0.05	0	0
D ₁₉	0.25	0.60	0.15	0	0
D ₂₀	0.70	0.30	0	0	0
D ₂₁	0.65	0.35	0	0	0
D ₂₂	0.80	0.20	0	0	0
D ₂₃	0.05	0.50	0.35	0.10	0
D ₂₄	0.10	0.50	0.30	0.10	0
D ₂₅	0.45	0.50	0.05	0	0
D ₂₆	0.40	0.50	0.10	0	0
D ₂₇	0.35	0.45	0.20	0	0

由表6可得3级指标最优组合权重 $W_D = (0.071\ 4, 0.063\ 4, \dots, 0.027\ 5)$,通过模糊合成运算可得到综合评价结果 Y 为

$$Y = W_D \circ A = (0.171\ 4, 0.063\ 4, \dots, 0.027\ 5) \circ \begin{bmatrix} 0.20 & 0.65 & 0.10 & 0.05 & 0 \\ 0.10 & 0.65 & 0.25 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0.35 & 0.45 & 0.20 & 0 & 0 \end{bmatrix} = (0.350\ 6, 0.500\ 2, 0.118\ 8, 0.025\ 5, 0.004\ 9)。$$

根据评价集合 $V = \{\text{很好, 较好, 一般, 差, 极差}\}$ 和综合评价结果 $Y = (0.350\ 6, 0.500\ 2, 0.118\ 8, 0.025\ 5, 0.004\ 9)$,由最大隶属度原则可知M服装企业绿色供应链柔性的综合评价结果为“较好”。

M服装企业近些年为响应国家号召,制定了明确的绿色供应链战略,并引进数字化技术提高供应链柔性,评价结果与M服装企业的现实发展情况一致,表明该评价方法具有可行性。此外,评估服装企业各方面的绿色供应链柔性指标有助于企业决策者准确把握企业实际的运营状况,有针对性地改进评价结果较差的指标,提升整体绿色供应链柔性水平^[20]。例如,由表7中各3级指标的隶属度可知,M企业绿色供应链柔性中的品种柔性和机器柔性较差,后期可以通过产品模块化生产、改进工艺流程和引进智能设备等方式来提升。

4 结 语

1)文中建立了一个包括采购柔性、制造柔性、物流柔性和产出柔性4个1级评价指标的绿色供应链柔性评价指标体系。该评价指标体系从不同角度分析服装企业绿色供应链柔性的特点,为服装企业提供了较为全面、科学的绿色供应链柔性评价。

2)采用FAHP法和CRITIC法确定各评价指标的主、客观权重,并通过理想点法确定最优的组合权重。这种权重确定方法结合了定性和定量的评价,有效解决了权重分配的问题。

3)由文中最优组合权重的大小可知,制造柔性对服装企业绿色供应链柔性的影响程度较大,因此服装企业可以通过投资先进制造设备、采用模块化生产方式和推行绿色制造等措施助力服装企业提升自身的绿色供应链柔性。

未来可以从风险管理以及企业合作关系方面进一步完善和优化绿色供应链柔性评价指标体系,并将文中提出的主客观评价方法扩展到其他服装相关的评价工作中。

参考文献:

[1] 冉文学,徐腾,罗亚恒. 基于绿色碳排放的供应链协调机制研究[J]. 供应链管理, 2022(12): 21-34.
RAN Wenxue, XU Teng, LUO Yaheng. Research on supply chain coordination based on green carbon emission [J]. Supply Chain Management, 2022(12): 21-34. (in Chinese)

[2] 曹勇,李宇,田瑞晨,等. 供应链协同对企业创新绩效的影响:战略柔性的中介作用与环境扫描的调节效应[J]. 创新科技, 2022, 22(8): 70-80.
CAO Yong, LI Yu, TIAN Ruichen, et al. Influence of supply chain collaboration on enterprise innovation performance: the mediating effect of strategic flexibility and moderating role of environmental scanning[J]. Innovation Science and Technology, 2022, 22(8): 70-80. (in Chinese)

[3] 朱光好. 我国纺织服装绿色供应链管理及对策[J]. 纺织学报, 2012, 33(10): 153-160.
ZHU Guanghao. Problems and countermeasures of environmentally conscious supply chain management of China's textile and clothing industry [J]. Journal of Textile Research, 2012, 33(10): 153-160. (in Chinese)

[4] 孙婷婷,高宏伟,奚道云. 绿色制造评价指标体系构建[J]. 中国标准化, 2021, 31(8): 16-20.
SUN Tingting, GAO Hongwei, XI Daoyun. Construction of green manufacturing evaluation index system[J]. China Standardization, 2021, 31(8): 16-20. (in Chinese)

[5] 程晓虎,罗晓光. 羊绒纺织业制造供应链绿色化评价研究[J]. 科技与管理, 2021, 23(4): 72-78.
CHENG Xiaohu, LUO Xiaoguang. Research on green evaluation of manufacturing supply chain of cashmere textile industry [J]. Science-Technology and Management, 2021, 23(4): 72-78. (in Chinese)

[6] 施彦. 物流企业绿色供应链绩效评价研究——基于AHP-模糊综合评价法[J]. 陕西开放大学学报, 2023(1): 67-73.
SHI Yan. Research on performance evaluation of logistics enterprises' green supply chain—based on AHP fuzzy comprehensive evaluation [J]. Journal of the Open University of Shaanxi, 2023(1): 67-73. (in Chinese)

[7] 苏旭东,鲁文轩. 基于结构熵权法的供应链柔性模糊综合评价研究[J]. 物流科技, 2014, 37(1): 101-105, 113.
SU Xudong, LU Wenxuan. The fuzzy comprehensive evaluation study of supply chain flexibility based on structure entropy weight method [J]. Logistics Sci-Tech, 2014, 37(1): 101-105, 113. (in Chinese)

[8] 李伟华,陈素英,孙静,等. 基于FAHP的服装企业供应链柔性评价[J]. 西安工程大学学报, 2020, 34(3): 103-109.

LI Weihua, CHEN Suying, SUN Jing, et al. Supply chain flexibility evaluation of garment enterprises based on FAHP[J]. Journal of Xi'an Polytechnic University, 2020, 34(3): 103-109. (in Chinese)

[9] MOON K K L, YI C Y, NGAI E W T. An instrument for measuring supply chain flexibility for the textile and clothing companies[J]. European Journal of Operational Research, 2012(2): 191-203.

[10] XIAO Y M. Flexibility measure analysis of supply chain [J]. International Journal of Production Research, 2015, 53(10): 3161-3174.

[11] LUO X C, WANG Z L, LU L, et al. Supply chain flexibility evaluation based on matter-element extension[J]. Complexity, 2020: 8057924.

[12] 郑开心, 刘宇. 纺织产品绿色供应链管理评价体系研究[J]. 纺织检测与标准, 2021, 7(5): 36-40.
ZHENG Kaixin, LIU Yu. Study on evaluation system of green supply chain management of textile products[J]. Textile Testing and Standard, 2021, 7(5): 36-40. (in Chinese)

[13] 陈化飞, 尹璐. 考虑奖惩机制的纺织品回收供应链博弈研究[J]. 丝绸, 2023, 60(1): 97-105.
CHEN Huafei, YIN Lu. Game research on textile recycling supply chain considering the reward and punishment mechanism[J]. Journal of Silk, 2023, 60(1): 97-105. (in Chinese)

[14] SAATY T L. Applications of analytical hierarchies[J]. Mathematics and Computers in Simulation, 1979, 21(1): 1-20.

[15] 张吉军. 模糊层次分析法(FAHP)[J]. 模糊系统与数学, 2000, 14(2): 80-88.
ZHANG Jijun. Fuzzy analytical hierarchy process [J]. Fuzzy Systems and Mathematics, 2000, 14(2): 80-88. (in Chinese)

[16] 唐箫, 伍爱友, 李润求, 等. 基于改进 FAHP 的危化品道路运输风险综合评价[J]. 安全, 2023, 44(1): 32-37, 46.
TANG Xiao, WU Aiyu, LI Runqiu, et al. Comprehensive risk assessment for road transport of hazardous chemicals based on improved FAHP[J]. Safety and Security, 2023, 44(1): 32-37, 46. (in Chinese)

[17] DIAKOULAKI D, MAVROTAS G, PAPAYANNAKIS L. Determining objective weights in multiple criteria problems: the critic method[J]. Computers and Operations Research, 1995, 22(7): 763-770.

[18] 侯克鹏, 王黎蝶. 基于改进的 FAHP-CRITIC 法与云理论的露天矿边坡危险性评估模型[J]. 安全与环境学报, 2021, 21(6): 2443-2451.
HOU Kepeng, WANG Lidie. Risk assessment model of open-pit mine slope based on improved FAHP-CRITIC method and cloud theory[J]. Journal of Safety and Environment, 2021, 21(6): 2443-2451. (in Chinese)

[19] 刘畅, 刘建军, 刘福江. 基于 FAHP-CRITIC 和 VIKOR 法的 PC 构件供应商评价选择方法[J]. 科技和产业, 2022, 22(3): 108-113.
LIU Chang, LIU Jianjun, LIU Fujiang. Evaluation and selection method of PC component suppliers based on FAHP-CRITIC and VIKOR method[J]. Science Technology and Industry, 2022, 22(3): 108-113. (in Chinese)

[20] 许菱, 万艳红, 张克, 等. 基于在线评论的服装供应链的生产努力投入策略[J]. 现代纺织技术, 2024, 32(6): 97-107.
XU Ling, WAN Yanhong, ZHANG Ke, et al. Production effort investment strategy in the apparel supply chain based on online reviews [J]. Advanced Textile Technology, 2024, 32(6): 97-107. (in Chinese)

(责任编辑:沈天琦)