Evaluation Index System and Method for Collaborative Innovation Between Service-oriented Manufacturing Model and Aviation Industry

Wenchuan Li^{1,a,*}, Liangqing Feng^{1,b}

¹School of Economics & Management, Nanchang Hangkong University, Nanchang, Jiangxi, China

^aliwenc2001@163.com, ^bflq9848@163.com

Abstract. Collaborative innovation between service-oriented manufacturing model and aviation industry is the inevitable choice and important strategic measure for improving aviation manufacturing industry's comprehensive competitiveness, and now the research of evaluation index system and method for aviation industry collaborative innovation is weak. Firstly, the connotation and characteristics of collaborative innovation between service-oriented manufacturing model and aviation industry were analyzed. Secondly, evaluation index system of collaborative innovation was constructed from five aspects: innovation elements, innovation subject, innovation environment, innovation mechanism and innovation performance. Finally, the evaluation models of collaborative innovation were studied based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP) and matter element analysis method.

Keywords: Service-oriented manufacturing, Aviation industry, Collaborative innovation, Evaluation index system, Evaluation method.

服务型制造模式与航空产业协同创新评价指标及方法研究

李文川^{1,a,*}, 冯良清^{1,b}

¹南昌航空大学经济管理学院, 南昌, 江西, 中国

^aliwenc2001@163.com, ^bflq9848@163.com

中文摘要. 服务型制造模式与航空制造产业全面协同创新是开放式服务创新环境下提升我国航空制造业综合竞争力的必然选择和重要战略举措,但目前关于航空产业协同创新评价指标体系和评价方法的研究还不完善。首先对服务型制造模式与航空产业协同创新的内涵及特征进行了描述,然后从创新要素聚集、创新主体协同、创新支撑环境、创新机制、创新绩效等5个方面构建了航空产业协同创新评价指标体系,并利用模

糊层次分析法和物元分析法对研究了航空产业协同创新评价模型。

关键词: 服务型制造; 航空产业; 协同创新; 评价指标体系; 评价方法

1. 引言

制造业是我国工业的主体,在国民经济和社会发展中发挥着重要的支撑作用。当前,我国制造业还处于全球价值链的低端,面临着高污染、高能耗、技术水平低、附加

值低等一系列结构性困境,亟需通过产业整合升级来实现质的提升和飞越。随着全球经济社会逐步从产品经济向服务经济转型,制造业和服务业的边界弱化,其相互渗透、相互融合、相互促进的趋势愈加明显,并推动了服务型制造模式的出现。作为一种新的制造模式和组织方式,服务型制造有利于改变传统制造业的粗放型发展方式,优化产业结构和资源配置,真正实现产品价值增值和驱动企业创新^[1]。

作为国家综合国力和科技实力的重要体现,航空制造产业既是我国战略性先导产业,也是当前世界综合国力竞争的制高点。当前,我国航空制造业的整体竞争力还很弱,创新能力和水平也与国外存在很大差距,在国家实施创新驱动发展战略的背景下,推动航空制造产业服务化,实现服务型制造模式与航空制造产业全面协同创新是开放式服务创新环境下提升我国航空制造业综合竞争力的必然选择和重要战略举措。

在协同创新推进进程中,各创新主体的利益协调是保障和提升协同创新效用的前提和基础,这就需要一套科学合理的指标体系来起评估、激励和引导作用^[2]。协同创新评价问题已得到了学术界的广泛关注,并取得了诸多成果。李鹏等借助三阶段DEA方法,剔除外部环境因素和统计噪声的影响,测度了林果业科研团队各决策单元的协同创新绩效,并对各决策单元的技术效率进行分解,分析了团队协同创新技术效率较低的主因^[3]。李林等从协同创新合作伙伴配合度、协同创新能力和协同创新机制3个方面,建立了一套攻关项目的协同创新绩效评价指标体系,并进行了实际验证^[4]。顾菁等在分析我国高技术产业协同创新理论体系的要素及结构的基础上,引入复合系统协同度模型,并通过对2005-2010年相关数据的处理,分析我国高技术产业创新的协同度^[5]。邓富民等以复杂系统理论和耗散结构理论为基础,提出了基于协调度—管理熵的区域协调创新测度方法^[6]。杨道现在分析学科集群与产业集群协同创新激励的基础上,构造了双集群协同创新能力评价指标体系,并给出了基于OWA算子的指标权重确定方法^[7]。孔祥浩等以协同创新基本结构为基础,

构建了协同创新评价指标体系,建立了基于压缩感知的协同创新评价模型,并进行了样本测试^[8]。

综上,现有研究成果分别从协同创新水平、协同创新能力、协同创新绩效等方面对协同创新评价问题进行了研究,但研究视角单一且分散,使得研究成果无法对协同创新系统进行全面综合评价;此外,现有研究主要以区域协同创新系统为对象,面向高技术产业协同创新系统特别是航空产业协同创新系统的研究较少,也使得现有研究成果无法直接适用于航空产业的协同创新测度。鉴于协同创新水平、能力、绩效是协同创新系统运作的基本要素,且不同产业的协同创新行为又具有异质性,本文将从要素观、过程观视角出发,对航空产业协同创新评价指标及方法进行系统研究,期望为推动我国航空产业协同创新发展,切实提升协同创新能力、水平和绩效提供方法指导和决策支持。

2. 服务型制造模式与航空产业协同创新的内涵及特征

2.1 服务型制造模式与航空产业协同创新的内涵

借鉴国内外学者对服务型制造以及协同创新的定义,本文认为服务型制造模式与航空产业全面协同创新是指,在开放式服务创新环境下,航空制造企业以企业发展战略为导向,与所有利益相关者(用户、竞争者、科研机构、高等院校、政府)构建相对稳定的开放性服务创新网络,在对各网络节点上创新主体进行利益协调并形成创新合力的基础上,通过对航空制造产业全产业链、全过程、全服务创新要素的集成共享和优化配置,协同实现企业产品和服务的改进和创新,进而提高各创新主体创新效率、创新效益以及核心竞争力的一种协同创新模式。

2.2 服务型制造模式与航空产业协同创新的特征

根据上述定义及内涵的表述,服务型制造模式与航空产业全面协同创新系统具有如下典型特征:

开放性。组织创新边界的扩展,创新资源的全球整合和优化配置,使得航空制造企

业越来越需要借助组织外的开放资源来推动自主创新。服务型制造模式与航空产业协同创新系统必须与系统外部环境进行充分交流,才能为其创新活动提供动力支持,不断提升其创新能力。

系统性。在服务型制造模式与航空产业协同创新系统中,各创新主体通过利益协调形成一个稳定的开放式创新网络,组织内部与组织外部网络的创新主体之间经过创新需求与服务供给的匹配,来实现多主体行为之间的交互,并实现协同效应的最大化。

柔性。在服务型制造模式与航空产业协同创新系统中,各创新主体是一种融合共生协同创新关系,不存在明显的组织边界,这有利于提升创新系统应当外界环境变化的反应能力,使得系统柔性大大增强。

动态性。服务型制造模式与航空产业协同创新系统是在开放式服务创新环境下,通过一系列协同创新机制的支持,协同创新要素的聚集,创新主体的协同,不断增强协同创新能力,进而实现协同创新绩效的过程。从要素聚集到能力形成,从能力提升到绩效实现,需要经历多次动态成长和演化阶段。

3. 服务型制造模式与航空产业协同创新评价指标体系

3.1 指标体系的构建原则

为了对服务型制造模式与航空产业全面协同创新系统进行公正客观全面科学的评价,指标体系的构建应至遵循如下原则:

科学性与现实性原则。指标体系的设置应当以相关理论为支撑,而且要做到全面性和针对性相结合,所选择的指标要与航空行业的特色相结合,并能真实地反映出航空产业协同创新的运作情况。

系统性原则。指标体系应该体现出系统性、层次性特征,要能全面系统分层次地表征出创新主体、创新要素、创新环境、创新机制、创新绩效等基本要素及其相互关系。

可操作性原则。对于定量指标,应当能够通过某种途径获得反映指标水平的数据资料。对于定性指标,应该能通过一定方式转化为某种可量化指标。

3.2 指标体系的构建

为构建航空产业协同创新评价指标体系,本文采用以下构建方法:

首先对国内外相关研究成果进行系统的元分析,为评价指标体系的构建提供理论基础和参考借鉴;其次,结合服务型制造模式与航空产业协同创新的内涵及特征,基于系统观和过程观视角,从协同创新主体、协同创新要素、协同创新机制、协同创新环境、协同创新结果等方面形成指标体系的构建思路;然后,通过问卷调查,咨询相关专家意见,利用德尔菲方法形成初始指标体系;最后,采用指标变异系数对初始指标进行筛选,剔除不显著指标,最终得到的航空产业协同创新评价指标体系如表1所示。

表1 航空产业协同创新评价指标

目标层	准则层	指标层
服务型制造模式与航空产业协同创新评价	协同创新网络要素聚集	创新要素网络容量
		创新要素网络密度
		创新要素网络可达性
		创新要素网络路径
	协同创新主体协同	资源互补程度
		知识分享程度
		目标一致程度
		关系信任程度
		利益分配程度
		沟通交流程度
		项目协调程度
		经费保障及利用程度
	协同创新机制	协调沟通机制
		主体合作机制
		风险分摊机制
		考核机制
		奖惩机制
		技术标准制定机制
		科技成果转化机制
		项目管理机制
		资源共享机制
		知识产权保护机制
	协同创新支撑环境	可持续发展机制
		研发机构数量
		研发费用比重
		科技拨款比重
		合作研发费用比重
		科技活动经费支出总额
	协同创新绩效	企业融资难易程度
		技术市场成交合同
		航空产业科技项目数
		规模以上新产品开发项目数
		技术转让比重
		技术市场引进比重
		产品质量提升程度
		项目实施效率优化
		创新成果发表数量
		有效发明专利数量
		联合培养人才数量
		协同创新平台建设数量

4. 服务型制造模式与航空产业协同创新评价模型

为对航空产业协同创新系统进行科学评价,在建立好的评价指标体系基础上,还需解决两个关键问题:指标权重的确定以及选择具体的评价方法。

关于指标权重的确定,常见的方法有层次分析法,但层次分析法有诸如判断矩阵一致性与思维一致性差异、一致性检验工作量大以及判断标准缺乏科学依据等问题,为此,本文采用模糊层次分析法。

模糊层次分析法的定义和定理如下:

定义1: 如果矩阵 $A=(a_{ij})_{n \times n}$ 满足 $0 \leq a_{ij} \leq 1$, $(i, j=1, 2, \dots, n)$, 则称矩阵 A 为模糊矩阵。

定义2: 如果模糊矩阵 $A=(a_{ij})_{n \times n}$ 满足 $a_{ij}+a_{ji}=1$, $(i, j=1, 2, \dots, n)$, 则称模糊矩阵 A 为模糊互补矩阵。

定义3: 如果模糊互补矩阵 $A=(a_{ij})_{n \times n}$ 对 $\forall i, j, k$ 满足 $a_{ij}=a_{ik}-a_{jk}+0.5$, 则称模糊矩阵 A 为模糊一致矩阵。

定理1: 模糊互补矩阵 $A=(a_{ij})_{n \times n}$ 是模糊一致矩阵的充要条件为任意指定行(列)和其他各行(列)对应元素之差为某一常数。

定理2: 模糊一致矩阵 $A=(a_{ij})_{n \times n}$ 中的元素与其权重满足关系式 $a_{ij}=\lambda(w_i-w_j)+0.5$ 或 $w_i=\frac{1}{n}-\frac{1}{2\lambda}+\frac{1}{n\lambda}\sum_{k=1}^na_{ik}$, 其中 $\lambda \geq \frac{n-1}{2}$; 且 $\forall ij \in \Omega$, 存在 $|w_i-w_j| \leq \frac{1}{n-1}$, $0 \leq w_i \leq \frac{2}{n}$ 。

模糊层次分析法的基本步骤如下:

① 建立各层级模糊判断矩阵

模糊判断矩阵 $A=(a_{ij})_{n \times n}$ 表示针对上层某一特定指标,其在本层次所隶属的所有次级指标之间的相对重要性。模糊判断矩阵一般可以表示为

$$A_{n \times n} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & ann \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中 a_{ij} 表示指标 x_i 相对于指标 x_j 的相对重要程度的模糊隶属度,通常采用0.1~0.9九标度进行定量描述。根据所建立的层次分析结构模型,对模型中各个层级的指标进行

比较,由下至上地建立若干个模糊判断矩阵。

② 模糊判断矩阵一致性检验及修正

模糊判断矩阵是否具有一致性是一个非常关键的问题,它关系到判断矩阵能否准确地反映各指标之间的相对重要性。一般通过定理1对模糊判断矩阵的一致性进行检验。如果判断矩阵满足一致性条件,则直接进入下一步骤;如果不满足,则需要对判断矩阵进行修正,直到满足一致性条件为止。

③ 计算各层级指标相对权重向量

设 x_i^{f-1} 为层次模型中第 $f-1$ ($f \geq 2$) 层的第 i 个指标, x_{ih}^f ($h=1, 2, \dots, n$) 为第 f 层中隶属于指标 x_i^{f-1} 的全部次级指标。依据定理2,计算第 f 层中第 h 个指标在上层指标 x_i^{f-1} 准则下的相对权重,组成权重向量 $W_i^f=(w_{i1}^f, w_{i2}^f, \dots, w_{in}^f)$ 。在定理2中, $\lambda \geq (n-1)/2$, 且 λ 取值越小表明指标间重要性分辨率越高。因此取 $\lambda=(n-1)/2$, 则有

$$w_i = \frac{1}{n(n-1)} \left(2 \sum_{k=1}^n a_{ik} - 1 \right) \quad (2)$$

④ 计算底层指标综合权重向量

在各层指标相对权重的基础上,可计算底层指标的合成权重,即底层各指标相对于最高目标的权重值。这一过程应由层次模型由上而下逐层进行。

设最高目标 x^1 包含 m 个次级指标 $x_1^2, x_2^2, \dots, x_m^2$, 其单层相对权重向量为 $W^2=(w_1^2, w_2^2, \dots, w_m^2)$ 。第三层次中隶属于指标 x_l^2 的 n 个指标为 $x_{l1}^3, x_{l2}^3, \dots, x_{ln}^3$, 它们相对于指标 x_l^2 的相对权重向量为 $W_l^3=(w_{l1}^3, w_{l2}^3, \dots, w_{ln}^3)$, 则第三层各指标的综合权重为 $r_{lh}=w_l^2 \cdot w_{lh}^3$, ($l=1, 2, \dots, m$, $h=1, 2, \dots, n$)。重复以上过程,直至计算出底层各指标综合权重值,组成底层指标综合权重向量。

考虑到在评价指标体系中,许多指标属于非定量值,需要进行数量化处理,且评价指标的定量化描述以及评价结果等级判定都具有不确定性,本文采用物元分析方法对航空产业协同创新系统进行具体评价。

物元分析法的基本思路是:把各项指标的运行情况分为优、良、中、可、差等5个等级,总结并给定各等级的数值范围。在具

体评价过程中,评价结果按照它与某等级的关联度大小进行比较,关联度大者与相应等级的符合程度好,最后将各项指标的等级乘以相应的权重,得到航空产业协同创新系统的评价值及总的等级^[4]。

5. 结束语

实现服务型制造模式与航空制造产业的全面协同创新是开放式服务创新环境下提升我国航空制造业综合竞争力的必然选择和重要战略举措。但目前关于航空产业协同创新评价指标体系及评价方法的研究还不完善。本文首先对服务型制造模型与航空产业协同创新的内涵及特征进行了描述,然后从系统观、过程观的视角构建了航空产业协同创新评价指标体系,并利用模糊层次分析法和物元分析法对研究了航空产业协同创新评价模型。本研究成果可为正确评价航空产业协同创新,提升协同创新成效提供理论基础和方法支撑。

致谢

本文为江西省社会科学规划项目《服务型制造模式与航空战略性新兴产业全面协同创新研究》(12GL24)和江西省软科学基金项目《基于区域低碳创新系统的服务型制造网络发展模式研究》(20132BBA10016)的阶段性成果之一。

References

[1] Y. L. Wang, Boosting service-type manufacturing— A strategic consideration on optimizing the adjustment of China's industrial structure, *Journal of Xi'an*

Jiaotong University (Social Sciences), vol. 30, pp. 26-31, 2010.

- [2] W. H. Ma, S. Y. Li and M. Y. Lan, Some evaluation issues in collaborative innovation, *Higher Education Exploration*, vol. 4, pp. 32-35, 2013.
- [3] P. Li and J. B. Zhang, An empirical studies of agricultural scientific research team cooperative innovation efficiency, *Soft Science*, vol. 4, pp. 88-93, 2013.
- [4] L. Li and Y. Gong, The design and application study of the evaluation index system of research project collaborative innovation performance, *Science & Technology Progress and Policy*, vol. 1, pp. 123-129, 2014.
- [5] J. Gu and W. X. Xue, Study on collaborative innovation of the high-tech industry, *Science & Technology Progress and Policy*, vol. 29, pp. 84-89, 2012.
- [6] F. M. Deng, J. G. Zhang and X. D. Liang, Measurement on the capability of regional collaborative innovation based on coordination degree- management entropy, *Science & Technology Progress and Policy*, vol. 3, pp. 1-5, 2014.
- [7] D. X. Yang, Research on evaluation method for subject clusters and industrial clusters cooperative innovation ability, *Science & Technology Progress and Policy*, vol. 23, pp. 132-136, 2012.
- [8] X. H. Kong, M. Ding and J. Zhou, The research of collaborative innovation evaluation method based on compressive sensing, *Value Engineering*, vol. 5, pp. 1-4, 2013.