

辽宁装备制造业企业科技创新能力 测度指标体系构建与对策研究

关慧明¹,黄丽荣²,许敬³

(1. 辽宁大学商学院,辽宁 沈阳 110136;2. 中国建筑第二工程局有限公司北方分公司,辽宁 沈阳 110166;
3. 沈阳城市建设学院,辽宁 沈阳 110167)

摘要:对辽宁省装备制造业企业科技创新能力指标体系的构建与方法进行了研究,构建了一种结合层次分析法(Analytical Hierarchy Process, AHP)和信息熵的装备制造业企业科技创新能力测度指标体系。研究通过建立评价指标体系,构建层次模型、构造判断矩阵,计算层次单排序的权向量和一致性检验,最后用信息熵修正层次分析法得到的权重。结合评价结果,提出加强企业自主创新能力建设、建立横向关系层、建立产学研战略联盟、提高装备制造业的产业集中度、重塑市场与政府边界等对策建议。

关键词:装备制造业;科技创新能力;评价指标体系;信息熵

中图分类号:F426.4

文献标志码:A

制造业是国民经济发展的基础,影响着人们生活的方方面面^[1]。中国虽然已成为制造业大国,但仍存在高端核心技术依赖进口、创新体系不完善等问题^[2]。制造系统创新是一个新的制造方向^[3]。战略性新兴产业以创新为主要驱动力^[4],这是一个国家能否创造竞争优势的关键。

目前,中国装备制造业在东北、珠三角和长三角地区拥有三大基地,产值占全国的60%,出口额远超80%。总的来说,在中国装备制造业的发展中这3个地区占有最重要的地位^[5]。但也存在许多问题,主要表现在整体水平低、对外依存度高、关键核心技术缺乏等方面,关键技术仍然掌握在外国少数企业手中^[6]。中国应消化吸收和再创

新引进的技术,以提高技术水平和自主创新能力。

因此,研究以辽宁省为例,提出了一种采用“问题建议-问题分析-解决问题”的系统分析方法^[7]。第一,结合国内外相关研究成果,了解装备制造业企业科技创新系统的现状,并进一步探索研究装备制造业企业科技创新能力评价的测度方法。第二,构建一套科学的装备制造业企业科技创新系统、创新能力的评估指标体系,并选择理想的评价方法进行研究;第三,通过分析辽宁省装备制造业创新系统创新能力指标,筛选出影响创新系统可持续发展的主导障碍因子,并提出相应的创新能力提升的对策建议。

收稿日期:2022-09-09

基金项目:辽宁省科技重大专项(输变电装备健康管理与智能预警平台)(2020JH1/10100012);辽宁省社会科学规划基金项目(L20CGL005)

作者简介:关慧明(1977—),男,辽宁凤城人,高级经济师。

一、辽宁省装备制造业企业科技创新能力现状

1. 辽宁省装备制造业创新特征分析

辽宁的装备制造企业分布在全省 14 个城市,其中沈阳和大连占多数,两市装备制造企业数量占全省的 44.88%。2020 年以来,沈阳市规模以上装备制造业资产平均总额 955.89 亿元,大连市规模以上装备制造业资产平均总额 1 584.07 亿元,全省合计 181 134 亿元,占国家总量的 48.67%。

然而,辽宁装备制造业创新依然存在瓶颈,主要表现在创新模仿和吸收引进创新、行业自主创新等能力的缺乏。因此扎根于优化本土产业和技术结构,促进自主产业创新能力提升才是唯一正确的途径。

2. 辽宁装备制造业企业科技创新系统分析

装备制造业创新系统主要可以从两方面进行分析——垂直和水平方向。创新系统是由纵向产业链和横向关系层复合而成的“双锥”体。各创新主体的结构及其在创新体系运行过程中的相互作用和运作模式,具有促进、整合、吸收和规范创新活动的功能,构成了装备制造技术创新体系的作用机制。

二、辽宁装备制造业企业科技创新能力综合测度方法与结果分析

辽宁省装备制造业企业科技创新能力现有的评价方法缺乏普适性。层次分析法是最常用的多准则决策方法之一,它可以在决策支持系统判断的基础上处理定量和定性标准。另外,由于层次分析法具有一定的主观性,因此,研究将层次分析法和信息熵结合起来对装备制造业企业科技创新系统进行评价,建立相对较为完善的指标体系。

1. 评价指标体系的构建原则

研究利用中国科技统计年鉴和辽宁省科技统计年鉴的相关数据,建立了系统的评价指标体系^[8]。从创新投入能力、创新产出能力、创新动力 3 个方面构建装备制造业创新评价体系。在对辽宁省装备制造业进行全面

科学评价的过程中,结合辽宁省实际情况,遵守整体性原则、科学性原则、普遍性与代表性相结合原则以及可操作性原则等,建立了一套评价指标体系。

2. 基于层次分析法确定指标权重

指标体系的建立是综合评价的关键,是在一定原则下的有机组合,组合的方式直接影响评价结果的可靠性和准确性。权重是表示指标相对重要性的数值,一般来说,有两种确定权重的方法:主观赋权法和客观赋权法^[9]。主观赋权法受专家的主观判断力、知识结构性、判断者个人喜好等主观因素影响,其再现性较差^[10]。客观赋权法的缺点是过分依赖样本的内部信息,忽视了人们的主观意愿。因此,研究采用主客观、定性与定量相结合的层次分析法 (Analytical Hierarchy Process, AHP) 作为目前的理想方法,这也是未来发展的趋势^[11]。

(1) 判断矩阵判别依据

判断矩阵通过分析下级指标要素和上级指标要素的相对重要性来确定各层之间的相对重要性,并根据结果评定等级,再通过专家协商获得权重,并使用 1~9 标度法确定它们的相对重要性。指标的重要性等级及其赋值如表 1 所示。

表 1 判断矩阵

标度	含义
1	二者同等重要
3	前者略比后者重要
5	前者明显重要于后者
7	前者比后者重要的多
9	前者的重要性远大于后者
2,4,6,8	取值范围在两个相邻的奇数之间
倒数	$a_{ji} = 1/a_{ij}$

(2) 相对重要度的计算

相对重要性可以通过求根法计算,计算方法如下:

将矩阵按行求和

$$V_i = \sqrt[n]{\prod_j a_{ij}} \tag{1}$$

归一化可得

$$V_i = \sqrt[n]{\prod_j a_{ij}} \quad (i = 1, 2, \cdots, n) \tag{2}$$

最大特征根的计算表达式为

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{nW_i} \tag{3}$$

式中: a_{ij} 为*i*元素比*j*元素的重要等级; W_i 为自主权重; $(AW)_i$ 为向量*AW*的第*i*个元素;*A*为判别矩阵; V_i 为矩阵*A*的按行求和的结果。

(3)层次单排序

求出*A*的最大特征根 λ_{\max} ,利用

$$AW = \lambda_{\max} W \tag{4}$$

找到归一化的特征向量*W*即特定级别元素对更高级别元素的相对重要性的权重
 $W = (w_1, w_2, \cdots, w_n)$ 。

(4)层次总排序

单层排序的结果用于计算该层所有元素

中较高层次的重要性权重,即层次总排序,从上到下依次计算。

(5)一致性检验

对判断矩阵*A*的一致性进行检验

$$CR = \frac{CI}{RI} \tag{5}$$

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \tag{6}$$

式中:*CI*为一致性指标;*CR*为随机一致性比率;*RI*为平均随机一致性指标,选取方式如表 2 所示。如果 $CR < 0.10$,则一致性检验通过;如果 $CR > 0.10$,则检验失败,需要调整决策矩阵。然后重复上述步骤再次运行一致性检验,直到条件满足。

表 2 平均随机一致性 *RI* 取值

阶数	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<i>RI</i>	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41	1.46	1.49	1.52	1.54	1.56	1.58	1.59

3. 基于信息熵的的权重确定

层次分析法存在主观评价缺陷,需要利用信息的熵来比较不同指标的相对重要性,再得到相对重要性的测度,最后将评估者的自主权重引入工作权重聚合。用 AHP 法求得评价指标集 $U = [u_1, u_2, \cdots, u_n]$,权重为 $W = [w_1, w_2, \cdots, w_n]$,*n* 为被评价指标的个数,其中,判断矩阵为 $B = (b_{gh})_{q \times q}$, b_{gh} 为元素在矩阵中的行和列。那么,用信息熵对其修正的步骤如下:

(1)对*B*进行归一化处理。

(2)定义指标 $U_h = (1, 2, \cdots, n)$ 的输出熵

$$E_h = \sum_{g=1}^q b'_{gh} \ln b'_{gh} / \ln q \tag{7}$$

式中: E_h 为输出熵;*q*为定义指标的个数。

(3)求指标 U_h 的偏差度 $d_h = 1 - E_h$ 。

(4)确定指标 U_h 的信息权重

$$U_h = \frac{d_h}{\sum_{h=1}^q d_h} \tag{8}$$

(5)将权重数分配集合 $W = [w_1, w_2, \cdots, w_n]$ 修正为 $W' = [w'_1, w'_2, \cdots, w'_n]$,计算公式为 $W'_h = U_h w_h / \sum_{h=1}^q U_h w_h$ 。

4. 装备制造业企业科技创新能力测度指标体系的建立

构建辽宁装备制造业企业科技创新能力综合测度指标体系的思路:

(1)在赋权过程中上适度弱化横向关系层的指标权重,向纵向产业链指标稍作倾斜。

(2)科学性强调指标体系能一定程度上客观准确反映创新要素的作用关系和创新活动的价值逻辑,结构合理性是指一级指标的选择上要遵循适度原则,3~6 个即可,还要避免指标之间信息重复。

(3)基于数据匹配进行研究,即所选择的指标一定要有系统的统计、调查匹配数据。本研究所选指标均有统计数据支撑。

(4)在对于指标体系的完整性和数据支持能力的权衡中,强调数据可信,不因追求指标的数量而降低数据的质量。

5. 装备制造业企业科技创新能力测评结果

(1)装备制造业企业科技创新系统的构成要素

纵向产业链与横向关系层是装备制造业企业科技创新系统的主体分析和归类出来的两个子系统,是系统的两大构成要素。

纵向垂直产业链要素的划分是基于装备

制造产业链的属性,以供应商、制造商、用户等各个层次的关系链作为产业链的节点,基于系统运作与专业分工和交易的实际情况构建。横向关系层的要素包括政府、竞争/互补公司、大学/科研院所等。节点选择主要看是

否有共享价值活动,是否在产业链外具有相关性和创新性。

(2)构建层次模型

本研究构建的装备制造业企业科技创新能力综合测度指标体系如图1所示。

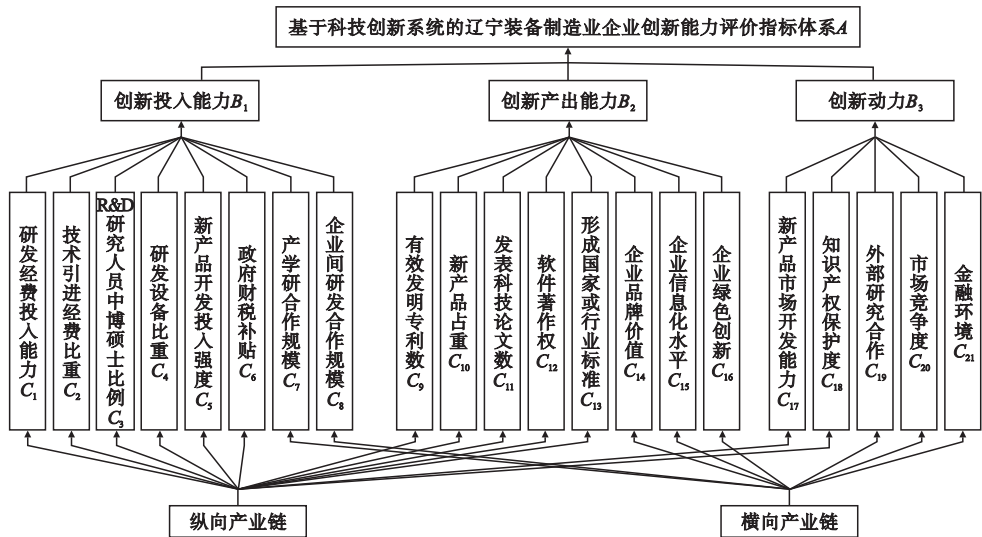


图1 层级结构模型

(3)构造判断矩阵

判断矩阵A和B:研究邀请了6位辽宁大学的专家学者和辽宁省企业界研发人员,对本研究所构建的企业自主创新能力指标进行比较量化打分,采用加权平均的方法得出近似结果(四舍五入取整),结果整理得到矩阵A—B(见表3),判别矩阵C_{B1}、C_{B2}、C_{B3}如式(9)~(11)所示。

$$C_{B_1} = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 2 & 2 & 3 & 3 & 4 & 4 \\ 1/3 & 1 & 1/2 & 1/2 & 1/3 & 2 & 3 & 5 \\ 1/2 & 2 & 1 & 3 & 2 & 3 & 2 & 3 \\ 1/2 & 2 & 1/3 & 1 & 3 & 4 & 2 & 4 \\ 1/3 & 3 & 1/2 & 1/3 & 1 & 4 & 5 & 3 \\ 1/3 & 1/2 & 1/3 & 1/4 & 1/4 & 1 & 1/3 & 1 \\ 1/4 & 1/3 & 1/2 & 1/2 & 1/5 & 3 & 1 & 2 \\ 1/4 & 1/5 & 1/3 & 1/4 & 1/3 & 1 & 1/2 & 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

表3 A—B判断

关系判别	创新动力 B_3	创新产出能力 B_2	创新投入能力 B_1
创新动力 B_3	1	1/2	1/3
创新产出能力 B_2	2	1	1/2
创新投入能力 B_1	3	2	1

$$C_{B_2} = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 2 & 2 & 1 & 1/4 & 1/3 & 1/6 \\ 1/2 & 1 & 5 & 2 & 2 & 1/2 & 1/4 & 1/3 \\ 1/2 & 1/5 & 1 & 1/2 & 1/3 & 1/4 & 1/5 & 1/3 \\ 1/2 & 1/2 & 2 & 1 & 2 & 1/5 & 1/3 & 1/5 \\ 1 & 1/2 & 3 & 1/2 & 1 & 1/5 & 1/7 & 1/6 \\ 4 & 2 & 4 & 5 & 5 & 1 & 1/2 & 1/3 \\ 3 & 4 & 5 & 3 & 7 & 2 & 1 & 2 \\ 6 & 3 & 3 & 5 & 6 & 3 & 1/2 & 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$C_{B_3} = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 7 & 3 & 5 \\ 1/3 & 1 & 5 & 3 & 5 \\ 1/7 & 1/5 & 1 & 1/5 & 1/3 \\ 1/3 & 1/3 & 5 & 1 & 3 \\ 1/5 & 1/5 & 3 & 1/3 & 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

(4)计算层次单排序的权向量和一致性检验

将判断矩阵数值导入层次分析软件,得到矩阵A的特征值 $\lambda = 3.109\ 2$,其最大归一化向量为 $w_i = (0.163\ 4, 0.197\ 0, 0.139\ 6)$ ($i = 1, 2, 3$)。进行一致性检验, $CI < 0.1$, 检验通过。进行随机一致性检验,一致性比例 $CR = CI/RI, RI = 0.52, CR = 0.108\ 8/0.52 =$

$0.116\ 9 < 0.1$, 检验通过。因此 $w_i = (0.163\ 4, 0.197\ 0, 0.139\ 6) (i = 1, 2, 3)$, 是准则层 B_i 相对目标层 A 的权重。重复以上步骤可得相对 B_i 、 C_j 各权重 ($j = 1, 2, 3, \cdots, 20$)。
 $w_{1j} = (0.153\ 3, 0.114\ 9, 0.107\ 4, 0.162\ 4, 0.107\ 0, 0.162\ 8, 0.149\ 5)$, $w_{2j} = (0.174\ 0, 0.185\ 1, 0.136\ 1, 0.154\ 5, 0.147\ 4, 0.172\ 7, 0.170\ 5, 0.159\ 6)$, $w_{3j} = (0.153\ 0, 0.176\ 6, 0.140\ 8, 0.155\ 4, 0.174\ 2)$ 。

最终可得 C_j 的权重, $w_j = (0.136\ 7, 0.154\ 1, 0.102\ 1, 0.188\ 4, 0.178\ 8, 0.135\ 0, 0.123\ 1, 0.121\ 4, 0.122\ 0, 0.125\ 3, 0.110\ 7, 0.116\ 2, 0.114\ 1, 0.180\ 3, 0.151\ 3, 0.177\ 1, 0.145\ 2, 0.174\ 0, 0.106\ 7, 0.125\ 4, 0.112\ 1)$ 。

最后,运用信息熵对其指标集进行修正,企业自主创新能力评价指标体系和相应权重对照表如表4所示,由图2可以直观地看出指标权重之间的大小关系。

表4 企业自主创新能力评价指标体系和权重对照表

科技创新系统构成要素	一级指标	组合权重	二级指标	组合权重
纵向产业链	创新投入能力	0.269 2	研发经费投入能力	0.027 3
			技术引进经费占比	0.068 7
			发人员中博硕士比例	0.031 9
			研发设备占比	0.060 5
	创新产出能力	0.145 8	新产品开发投入强度	0.080 8
			有效发明专利数	0.028 2
			新产品占比	0.053 1
			发表科技论文数	0.007 7
	创新动力	0.176 3	软件著作权	0.025 5
			形成国家或行业标准	0.031 3
			新产品市场开发能力	0.089 4
			知识产权保护度	0.086 9
横向关系层	创新投入能力	0.064 1	政府财税补贴	0.041 8
			产学研合作规模	0.010 7
			企业间研发合作规模	0.011 6
			企业品牌价值	0.052 8
	创新产出能力	0.187 5	企业信息化水平	0.066 3
			企业绿色创新	0.068 4
			外部研究合作	0.015 1
			市场竞争度	0.085 7
	创新动力	0.150 5	金融环境	0.050 2

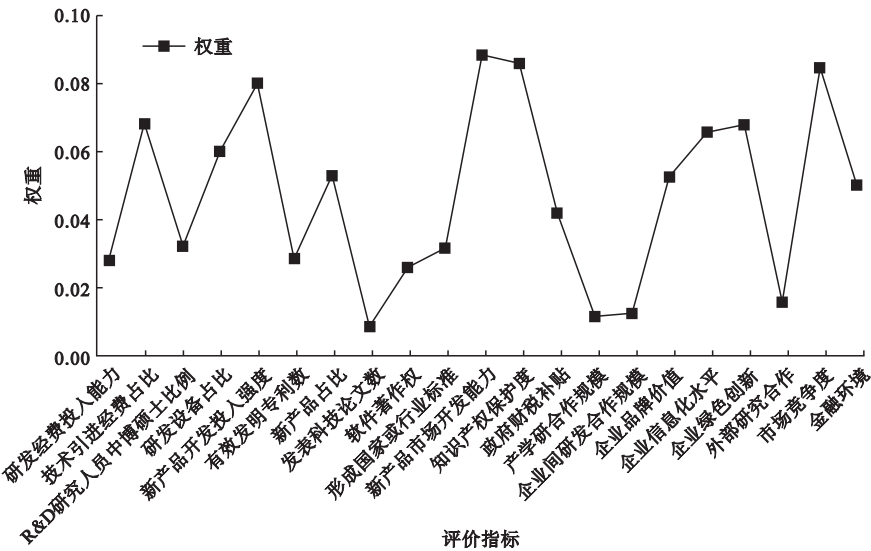


图2 企业自主创新能力评价指标权重

(5)装备制造业企业科技创新能力测评结果分析

本研究得到企业科技创新能力的纵向产业链权重为0.1913,横向关系层的权重为0.1027。在创新投入方面,纵向的技术引进经费与新产品开发投入权重较高,而横向的产学研合作规模与企业间研发合作规模占的比重较小;在创新产出能力方面,纵向上的发表科技论文数与软件著作权占的权重较小,而横向上的企业品牌价值、企业信息化水平与企业绿色创新占的权重较大;在创新动力方面,纵向上的新产品市场开发能力与知识产权保护度占的权重较大,横向上的市场竞争度占的比重较大,外部研究合作所占比重较小。辽宁装备制造业形成产学研创新生态系统具有一定的发展能力和竞争力,但发明专利总数、发明专利获批率与转化率均低于全国平均数。因此,辽宁装备制造业需要进一步加强自主研发、联合研发、实施、吸收和创新。

三、提升辽宁省装备制造业企业科技创新能力的对策

1. 加强企业自主创新能力建设

创新能力是装备制造业保持长盛不衰的动力之源。装备制造业在竞争激烈的市场环境中生存并实现可持续发展,就必须依靠创新体制。

2. 建立产学研战略联盟

针对产学研短期合作较多、合作水平低、组织结构松散的问题,建立产学研战略联盟。联盟可以长期紧密合作,促进大学学科建设和社会经济的紧密结合,利用“智库”有效赋能企业自主创新。

3. 健全系统自然功能

企业不仅要加大环境污染防治投入,还要提高工业固废的综合利用率,借鉴国内外发达城市的成功案例和经验,辽宁装备制造业积极推广绿色清洁生产理念,减少工业增加值资源消耗,减少污染物排放,提高市场竞争力和自然功能的健全性,建立企业小循环;

创新系统层面的组织架构,达到资源共享、利益互补的目的。

4. 加强政府监管和技术创新

技术创新对经济发展和工业环境保护具有重大影响。减少排放对于改善环境质量至关重要,因此推动环保的更大创新需要与遵守环境法规相辅相成。

四、结 语

装备制造业作为制造业的发展航标,其发展水平的高低对国家竞争力的强弱具有决定性作用。立足当下经济发展的国际宏观环境,装备制造业企业科技创新能力已成为各国争相占据的制高点,客观上中国与发达国家尚有差距,因此,发展企业科技创新能力,既是中国“十四五”发展规划和2035年远景纲要的一部分,也是中国高端装备制造业持续发展的内在动力和长期目标。本研究以科技创新相关理论为依据,以国内外研究成果为参考,系统的对辽宁省装备制造业企业科技创新能力进行了科学分析,提出加强企业自主创新能力建设、建立横向关系层、建立产学研战略联盟、提高装备制造业的产业集中度、重塑市场与政府边界等对策建议。

参考文献:

- [1] 凌丹,刘悦,刘慧岭. 国际经济秩序演化与中国制造业产业链重构研究[J]. 经济学家, 2022(8):119-128.
- [2] ZHONG R Y, XU X, KLOTZ E, et al. Intelligent manufacturing in the context of industry 4.0: a review [J]. Engineering, 2017, 3(5):616-630.
- [3] SUN H, GENG C. Environmental research on financing efficiency and dynamic adjustment of capital structure of strategic emerging industries [J]. Journal of environmental protection and ecology, 2019, 20(3):1586-1597.
- [4] LUO Q, MIAO C, SUN L, et al. Efficiency evaluation of green technology innovation of China's strategic emerging industries: an empirical analysis based on Malmquist-data envelopment analysis index [J]. Journal of

cleaner production,2019,238(20):117782.

[5] 张志元,李洋. 双循环新发展格局下东北地区制造业转型升级研究[J]. 东北亚经济研究, 2021,5(4):37-46.

[6] 朱风慧,刘立峰. 中国制造业集聚对绿色全要素生产率的非线性影响:基于威廉姆森假说与开放性假说的检验[J]. 经济问题探索, 2021(4):1-11.

[7] METACLFE S. Handbook of the economics of innovation and technological change [M]. Oxford:Blackwell publishers,1995.

[8] 巫英,涂佳航. 区域创新系统运行效率评价研究:基于长三角 22 个高科技园区的截面数据分析[J]. 生产力研究,2022(7):35-39.

[9] TEECE D J. Reflections on “profiting from innovation”[J]. Research policy,2006,35(8): 1131-1146.

[10] 付驰威,姚远,周黎,等. 基于主观赋权法的强制性标准实施情况统计分析评估的应用研究[J]. 现代商贸工业,2021,42(10):108-110.

[11] 李智军. 基于创新价值链的辽宁省“十四五”科技成果转化策略研究[J]. 沈阳建筑大学学报(社会科学版),2022,24(4):427-432.

Research on the Construction and Countermeasures of the Index System for Measuring the Scientific and Technological Innovation Ability of Liaoning Equipment Manufacturing Enterprises

GUAN Huiming¹,HUANG Lirong²,XU Jing³
(1 Business School, Liaoning University, Shenyang 110136, China; 2 China Construction Second Engineering Bureau Ltd., Northern Branch, Shenyang 110166, China; 3. Shenyang Urban Construction University, Shenyang 110167, China)

Abstract: Taking Liaoning Province as an example, this paper studies the construction and method of its equipment manufacturing enterprises' scientific and technological innovation capability index system, and constructs a measurement index system of equipment manufacturing enterprises' scientific and technological innovation capability combining the analytic hierarchy process(AHP) and information entropy. In this study, firstly, we need to establish an evaluation index system, secondly, we need to build a hierarchical model, construct a judgment matrix, and then calculate the weight vector and consistency test of hierarchical single ranking. Finally, we need to use information entropy to modify the weight obtained by AHP. Based on the evaluation results, the paper puts forward some countermeasures and suggestions, such as strengthening the construction of enterprises' independent innovation capacity, establishing a horizontal relationship layer, establishing a strategic alliance between industry, education and research, improving the industrial concentration of equipment manufacturing industry, and reshaping the boundary between the market and the government.

Key words: equipment manufacturing industry; scientific and technological innovation ability; evaluation index system; information entropy

(责任编辑:王丽娜 英文审校:林 昊)