

文章编号: 1001-0920(2007)03-0337-04

基于模糊数学的企业综合竞争力评价和实证

李存芳^{1,2}, 周德群¹

(1. 南京航空航天大学 经济与管理学院, 南京 210016; 2. 徐州师范大学 经济管理学院, 江苏 徐州 221116)

摘要: 科学地评价企业综合竞争力, 关键在于构建企业综合竞争力的评价指标体系, 并采取定性与定量相结合的系统评价。基于对企业综合竞争力内涵、要素的分析, 构建了评价的指标体系, 研究了模糊系统评价的可行性, 建立了模糊系统评价的数学模型, 并对一大型国有企业的综合竞争力进行了系统评价与实证分析。

关键词: 竞争力评价; 模糊数学; 模型构建; 实证分析

中图分类号: F271 **文献标识码:** A

Evaluation and demonstration of the synthesis competitive capacity of enterprises basing on fuzzy maths

LI Curfang^{1,2}, ZHOU Dequn¹

(1. College of Economics and Management, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China; 2. College of Economics and Management, Xuzhou Normal University, Xuzhou 221116, China.
Correspondent: LI Curfang, E-mail: licf@xznu.edu.cn)

Abstract: As to scientific evaluation of the synthesis competitive capacity of enterprises, the most important point is to construct the evaluation index system for the synthesis competitive capacity of enterprises, and adopt the methods of combining both qualitative analysis and quantitative analysis. Based on the analysis on the meaning and the elements of the synthesis competitive capacity of enterprises, the evaluation index system is assumed, the feasibility of carrying out fuzzy system evaluation is investigated, the maths models for fuzzy systematically evaluating are upbuilt, the synthesis competitive capacity of a large state enterprise is systematically evaluated, and analytic demonstration is provided.

Key words: Competitive capacity evaluation; Fuzzy maths; Model building; Analytic demonstration

1 引言

近 20 年来, 围绕企业竞争力与核心竞争力这一前沿问题, 国内外学者展开了大量的研究, 主要进展与成果有: 1) 从不同角度阐述了企业竞争力与核心竞争力的内涵、作用和特性。企业核心能力是“组织中的积累性学识, 特别是关于如何协调不同生产技能和有机结合多种技术流的学识”^[1]。文献[2]认为核心竞争力是在企业知识和技能的基础上形成的与企业组织结构和外部环境相适应的竞争合力。而且大多数研究认为这种能力具有独特性、独占性和不可仿效性^[3]。2) 从不同途径分析了企业竞争力与核心竞争力的来源和相关因素。文献[4]提出竞争优势来源于企业为客户创造的超出其成本的价值, 有成

本领先和标歧立异两种基本形式。进一步研究给出了核心能力关系图, 认为企业的竞争力是其基础能力的有机协调与结合^[5]。文献[6]指出, 全球市场上的佼佼者往往也是那些具备有效协调内外部力量和管理能力, 对市场变化能够及时作出反应的公司。文献[7]分析了企业竞争力的来源和判断标准。3) 从不同层面论述了企业竞争力与核心竞争力的识别、管理和评价。在高层管理人员识别、培育核心竞争力必须遵循 4 项准则^[8]提出之后, 研究分析了核心竞争力管理的关键过程: 核心竞争力的培育、扩散、整合、发挥、更新^[6], 进而系统地研究了产业竞争力评价分析问题^[9], 又拓展了企业竞争力研究的思路和视野。

本文采取整合的思路, 提出企业综合竞争力分

收稿日期: 2005-11-18; 修回日期: 2006-03-17.

基金项目: 教育部博士点基金项目(20050287026); 江苏省科技厅重点招标项目(BR2004005).

作者简介: 李存芳(1963—), 男, 江苏兴化人, 副教授, 博士生, 从事经济与产业管理的研究; 周德群(1962—), 男, 江苏盐城人, 教授, 博士生导师, 从事能源系统工程、企业战略转移等研究。

析和评价的课题,力图探索企业竞争的市场表现和力量,进一步优化现有的研究体系。

2 企业综合竞争力的内涵与要素

将基于企业各种资源、能力与环境有机整合的竞争优势所表现出的市场力量界定为企业综合竞争力。它是一种代表知识经济特征的管理理念,是一个具有多维性和层次性的复杂系统。

企业综合竞争力与核心竞争力既有联系又有区别,主要体现在:1)企业综合竞争力是一种整合性的能力,是多种一般竞争力与核心竞争力融合、优化的结果,它基于单项竞争力,而又超越它们的叠加。核心竞争力是在多种竞争力中居于核心地位的能力。2)企业综合竞争力是一种显现性的能力,是企业在竞争中表现的外在市场力量。企业参与市场的竞争表面为产品性能价格比的竞争,实际是综合竞争力的较量。核心竞争力是一种隐含性的能力,由内部因子透过学习过程而产生^[10],蕴藏于企业内质之中,支撑其综合竞争力。3)企业综合竞争力是一种可测性的能力,其影响因素在企业之间具有可比性和计量性。核心竞争力难以直接量化和比较。由此可进一步分析企业综合竞争力的构成要素。

2.1 竞争生存能力

竞争生存能力是企业激烈的市场竞争中维持正常生产经营的能力。它包括产品的生产能力、产品的市场渗透能力、现有的技术水平、管理水平等,具体体现为企业劳动生产率、投资收益率、资产负债率和贷款回收率的高低等。

2.2 创新发展能力

创新发展能力是企业对生产要素重新组合的能力,也是企业根据市场供求的变化、消费倾向的改变和技术革新的进展而作出敏锐反应以获得或保持增长的能力。它主要体现在企业科技开发力量的强弱、经费投入的多少、科技水平的领先程度、学习创新劲头的大小等,是竞争生存能力的延伸。

2.3 整合协调能力

整合协调能力是企业通过管理工作的规范化、程序化、人性化,将人力、技术、信息、财力等资源向市场优势整合转换的能力。它涉及到企业的经营理念、运行机构、信息沟通、奖惩机制和文化氛围等因素,主要体现在企业领导班子决策力、各级管理层执行力和企业文化感召力的强弱,对企业整体行为起着决定性的作用。

2.4 社会影响能力

社会影响能力是企业成长过程中对社会和市场所能发挥的作用,主要体现为产品市场占有率和企业资信度的高低,直接或间接地决定着企业综合

竞争力的强弱。

3 企业综合竞争力评价的指标体系

基于企业综合竞争力内涵与要素的分析,把评价指标体系设计为3个层次,即目标A,一级指标B,二级指标C,如表1所示。

表1 企业综合竞争力评价指标体系

目标 A	一级指标 B	二级指标 C
企业综合竞争力	竞争生存能力 X_1	投资收益率 X_{11}
		资产负债率 X_{12}
		全员劳动生产率 X_{13}
		贷款回收率 X_{14}
创新发展能力 X_2		企业科技人员比重 X_{21}
		学习研发经费比重 X_{22}
		产品和技术领先程度 X_{23}
		发展相关产业业务的优势 X_{24}
整合协调能力 X_3		领导班子的决策力 X_{31}
		各级管理层的执行力 X_{32}
		企业文化的感召力 X_{33}
社会影响能力 X_4		产品市场占有率 X_{41}
		企业资信度 X_{42}

二级指标的内涵如下:

- 1) 投资收益率 X_{11} = 企业利润总额 / 企业投资总额,它反映了企业的资产回报水平;
- 2) 资产负债率 X_{12} = 企业的总负债 / 企业的总资产,它反映了企业对经营风险的抵抗能力;
- 3) 全员劳动生产率 X_{13} = 本期全部产值 / 本期平均职工人数,它反映了企业的生产能力和效率;
- 4) 贷款回收率 X_{14} = 本期已收货款 / 本期应收货款,它反映了企业抵抗经营风险的能力;
- 5) 企业科技人员比重 X_{21} = 企业科技人员数量 / 企业职工总数,它反映了企业整体科技素质状况;
- 6) 学习研发经费比重 X_{22} = 企业学习研发经费数额 / 企业销售收入总额,它反映了企业用于科技开发的资金能力;
- 7) 产品和技术领先程度 X_{23} ,它反映了企业拥有专利等关键性技能或技术的能力;
- 8) 企业占有依托主业发展相关产业业务的优势 X_{24} ,它反映了企业技术衍生和科技开发能力;
- 9) 领导班子决策力 X_{31} ,它体现了领导班子对重要问题作出科学判别和果断选择的能力;
- 10) 管理层的执行力 X_{32} ,它反映了管理层在贯彻企业决策过程中组织、协调、落实的能力;
- 11) 企业文化感召力 X_{33} ,它反映了企业通过特色文化而产生共同愿景和不竭动力的状况;
- 12) 产品市场占有率 X_{41} = 本企业商品销售额 / 同行业销售总额,它体现了企业的市场渗透能力;
- 13) 企业资信度 X_{42} ,它反映了企业信用评估等级和今后发展能够获得外部财力支持的能力。

4 企业综合竞争力的模糊系统评价

企业综合竞争力由多因素构成,必须对相关因素作综合考虑,采用多指标的系统评价.同时,因为企业综合竞争力构成要素的界定具有模糊性,如产品和技术领先程度、领导班子决策力、企业文化感召力等,且企业综合竞争力等级的划分也具有模糊性,各等级的标准难以严密确定,划分只是一种人为判断.所以对多因素、多层次具有模糊性的复杂问题应基于模糊变换原理进行模糊系统评价.

4.1 构建评价指标集合

在综合竞争力构成体系中,着眼因素集合为

$$X = (X_1, X_2, X_3, X_4). \tag{1}$$

其中

$$X_1 = (X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}),$$

$$X_2 = (X_{21}, X_{22}, X_{23}, X_{24}),$$

$$X_3 = (X_{31}, X_{32}, X_{33}),$$

$$X_4 = (X_{41}, X_{42}).$$

4.2 分配各指标层的权重

设一级指标 B 对目标 A 的权重集为

$$b = (b_1, b_2, b_3, b_4), \quad b_i = 1. \tag{2}$$

二级指标 C 对一级指标 B 的权重集分别为

$$C_1 = (C_{11}, C_{12}, C_{13}, C_{14}), \quad C_{1j} = 1; \tag{3}$$

$$C_2 = (C_{21}, C_{22}, C_{23}, C_{24}), \quad C_{2j} = 1; \tag{4}$$

$$C_3 = (C_{31}, C_{32}, C_{33}), \quad C_{3j} = 1; \tag{5}$$

$$C_4 = (C_{41}, C_{42}), \quad C_{4j} = 1. \tag{6}$$

4.3 建立识别模式

设企业综合竞争力的强度评价模式为 Y , 决择等级分为 4 级, 即 Y_1 表示很强, Y_2 表示较强, Y_3 表示一般, Y_4 表示较弱, 则 $Y = (Y_1, Y_2, Y_3, Y_4)$.

4.4 构造模糊评价矩阵并进行模糊评价

首先从二级指标 X_{ij} 着眼, 确定它对决择等级 $Y_i (i = 1, 2, 3, 4)$ 的隶属度 r_{ijt} , 则 X_{ij} 的单因素评价集为

$$r_{ij} = (r_{ij1}, r_{ij2}, r_{ij3}, r_{ij4}).$$

依此类推, 由于一级指标 X_i 由 m 个着眼因素构成, 其相应的评价集可构造出一个模糊关系矩阵

$$R_i = \begin{bmatrix} r_{i11} & r_{i12} & r_{i13} & r_{i14} \\ r_{i21} & r_{i22} & r_{i23} & r_{i24} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{im1} & r_{im2} & r_{im3} & r_{im4} \end{bmatrix}. \tag{7}$$

由广义模糊合成运算模型 $M(\overset{*}{*})$ 得到一级指标的评价集合为

$$\bar{A}_i = C_i \circ R_i, \quad i = 1, 2, 3, 4. \tag{8}$$

同理, 可得评价对象的模糊评价矩阵为

$$\bar{A} = b \circ [\bar{A}_1, \bar{A}_2, \bar{A}_3, \bar{A}_4]^T. \tag{9}$$

经归一化处理得

$$\bar{A} = (A_1, A_2, A_3, A_4), \tag{10}$$

其中 $A_t (t = 1, 2, 3, 4)$ 为综合竞争力对决择等级的隶属度. 根据最大隶属度原则作最终评价^[11].

5 综合竞争力的模糊评价实例

大屯煤电集团为国有独资有限责任公司, 拥有 4 对生产矿井, 年设计生产能力 585 万 t; 3 座选煤厂, 年设计洗选能力 405 万 t; 13 万 kW 火力发电厂; 自营铁路 171 km, 年设计运输能力 660 万 t; 机械制修厂, 年制修能力 1 万 t, 以及矿井建设施工单位等. 2001 年该集团已在上海证交所上市. 目前, 其综合竞争力二级指标中可以定量表示的分别为 $X_{11} = 9.8\%$, $X_{12} = 49.5\%$, $X_{13} = 7.4$ 万元/人, $X_{14} = 90.7\%$, $X_{21} = 18.5\%$, $X_{22} = 2.9\%$, 经调查 $X_{42} = AAA$.

基于模糊系统评价模型进行评价的关键在于确定各指标层的权重、构造模糊评价矩阵. 本文采用专家调查法, 邀请了 36 位专家, 其中集团的技术与管理专家、政府相关部门官员、相关专业的副教授及以上专家各占三分之一.

5.1 根据专家调查确定各指标层的权重

由于

$$b_i = \frac{\sum_{j=1}^n b_{ij}}{\sum_{j=1}^n \left(\sum_{i=1}^4 b_{ij} \right)} = \frac{\sum_{j=1}^n b_{ij}}{n}, \quad i = 1, 2, 3, 4, \tag{11}$$

则将专家评价的数据代入上式, 得到一级指标权重集为

$$b = (0.29, 0.37, 0.18, 0.16).$$

类似地可得到二级指标的权重集为

$$C_1 = (0.27, 0.28, 0.25, 0.20),$$

$$C_2 = (0.19, 0.21, 0.26, 0.34),$$

$$C_3 = (0.43, 0.31, 0.26),$$

$$C_4 = (0.57, 0.43).$$

5.2 根据专家调查构造模糊评价矩阵

Step 1: 将企业综合竞争力二级指标的强度列表征求专家意见, 并将相应的概率汇于表 2.

Step 2: 由表 2 写出一级指标对应的模糊关系矩阵 R_i 为

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.08 & 0.33 & 0.42 & 0.17 \\ 0.08 & 0.17 & 0.42 & 0.33 \\ 0.17 & 0.33 & 0.42 & 0.08 \\ 0.17 & 0.33 & 0.33 & 0.17 \end{bmatrix}, \tag{12}$$

表2 二级指标强度评价分析汇总表

指 标	等 级			
	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄
投资收益率 X ₁₁	0.08	0.33	0.42	0.17
资产负债率 X ₁₂	0.08	0.17	0.42	0.33
全员劳动生产率 X ₁₃	0.17	0.33	0.42	0.08
货款回收率 X ₁₄	0.17	0.33	0.33	0.17
企业科技人员比重 X ₂₁	0.09	0.33	0.33	0.25
学习研发经费比重 X ₂₂	0.17	0.33	0.42	0.08
产品和技术领先程度 X ₂₃	0.08	0.25	0.50	0.17
企业发展相关产业优势 X ₂₄	0.21	0.29	0.42	0.08
领导班子的决策力 X ₃₁	0.17	0.42	0.33	0.08
各级管理层的执行力 X ₃₂	0.19	0.43	0.31	0.07
企业文化的感召力 X ₃₃	0.08	0.25	0.42	0.25
产品市场占有率 X ₄₁	0.08	0.17	0.42	0.33
企业资信度 X ₄₂	0.42	0.33	0.17	0.08

$$R_2 = \begin{bmatrix} 0.09 & 0.33 & 0.33 & 0.25 \\ 0.17 & 0.33 & 0.42 & 0.08 \\ 0.08 & 0.25 & 0.50 & 0.17 \\ 0.21 & 0.29 & 0.42 & 0.08 \end{bmatrix}, \quad (13)$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} 0.17 & 0.42 & 0.33 & 0.08 \\ 0.19 & 0.43 & 0.31 & 0.07 \\ 0.08 & 0.25 & 0.42 & 0.25 \end{bmatrix}, \quad (14)$$

$$R_4 = \begin{bmatrix} 0.08 & 0.17 & 0.42 & 0.33 \\ 0.42 & 0.33 & 0.17 & 0.08 \end{bmatrix}. \quad (15)$$

Step3: 根据评价模型,写出一级指标的评价集合为

$$\begin{aligned} \bar{A}_1 &= C_1 \circ R_1 = \\ &(0.27, 0.28, 0.25, 0.20) \circ \\ &\begin{bmatrix} 0.08 & 0.33 & 0.42 & 0.17 \\ 0.08 & 0.17 & 0.42 & 0.33 \\ 0.17 & 0.33 & 0.42 & 0.08 \\ 0.17 & 0.33 & 0.33 & 0.17 \end{bmatrix} = \\ &(0.17, 0.27, 0.28, 0.28), \end{aligned}$$

同理可得

$$\begin{aligned} \bar{A}_2 &= C_2 \circ R_2 = (0.21, 0.29, 0.34, 0.19), \\ \bar{A}_3 &= C_3 \circ R_3 = (0.19, 0.42, 0.33, 0.25), \\ \bar{A}_4 &= C_4 \circ R_4 = (0.42, 0.33, 0.42, 0.33). \end{aligned}$$

Step4: 计算并建立模糊评价矩阵.

$$\begin{aligned} \bar{A} &= b \circ [\bar{A}_1, \bar{A}_2, \bar{A}_3, \bar{A}_4]^T = \\ &(0.29, 0.37, 0.18, 0.16) \circ \\ &\begin{bmatrix} 0.17 & 0.27 & 0.28 & 0.28 \\ 0.21 & 0.29 & 0.34 & 0.19 \\ 0.19 & 0.42 & 0.33 & 0.25 \\ 0.42 & 0.33 & 0.42 & 0.33 \end{bmatrix} = \\ &(0.21, 0.29, 0.34, 0.28). \end{aligned}$$

作归一化处理得

$$\bar{A} = (0.187, 0.259, 0.304, 0.250).$$

由此,对大屯煤电集团的综合竞争力认定为很强有 18.7% 的把握、较强有 25.9% 的把握、一般有 30.4% 的把握、较弱有 25.0% 的把握. 根据最大隶属度原则,可认定其强度为一般.

6 结 语

本文将模糊数学和系统思想引入企业综合竞争力的分析与评价理论中,阐述了企业综合竞争力的内涵和要素,构建了评价体系和模型,进行了实证分析,达到了对企业综合竞争力进行定性定量相结合评价的目的,从而为企业综合竞争力的提升提供了主要依据,为评价理论的发展提供了新的思路.

参考文献(References)

- [1] Prahalad C K, Hamel G. The core competence of the corporation[J]. Harvard Business Review, 1990, 68(3): 79-91.
- [2] 赵国浩. 企业核心竞争力理论与实务[M]. 北京:机械工业出版社, 2005.
(Zhao G H. Corporate core competence — Theory and practice[M]. Beijing: China Machine Press, 2005.)
- [3] Teece D J, Shuen A. Dynamic capabilities and strategic management[J]. Strategic Management J, 1997, 18(7): 334-363.
- [4] Porter M E. Competitive Advantage[M]. New York: The Free Press, 1985.
- [5] Mansour J. Core competence: What does it mean in practice? [J]. Long Range Planning, 1998, 31(1): 60-71.
- [6] 安德鲁·坎贝尔. 核心能力战略[M]. 大连:东北财经大学出版社, 1999.
(Campbell A. Core competency-based strategy [M]. Dalian: Dongbei University of Finance and Economics Press, 1999.)
- [7] 胡大立. 企业竞争力决定因素及其形成机理分析[M]. 北京:经济管理出版社, 2005.
(Hu D L. The analysis of decision elements on the competitive capacity of enterprises and emergent principle[M]. Beijing: Economic Management Press, 2005.)
- [8] Amy S, William H. Targeting a company's real core competences[J]. J of Business Strategy, 1992, 13(6): 26-32.
- [9] 赵彦云, 张明倩. 中国制造业产业竞争力评价分析[J]. 经济理论与经济管理, 2005, (5): 23-26.
(Zhao Y Y, Zhang M Q. China manufacturing industrial competence: Evaluation and analysis [J]. Economic Theory and Business Management, 2005, (5): 23-26.)

(下转第 348 页)

- [2] Krishna KB, Kabore P. On the design of integral and proportional integral observers [C]. Proc of the American Control Conference. Chicago, 2000: 3725-3729.
- [3] Duan GR, Pattoton RJ. Robust fault detection using Luenberger-type unknown input observers: A parametric approach[J]. Int J System Science, 2001, 32(4): 533-540.
- [4] Shafai B, Nork S. Simultaneous disturbance attenuation and fault detection using proportional integral observers [C]. Proc of the American Control Conf. Alaska, 2002: 1647-1649.
- [5] Chu DL. Disturbance decoupled observer design for linear time-invariant systems: A matrix pencil approach [J]. IEEE Trans on Automatic Control, 2000, 45(8): 1569-1575.
- [6] Magham PG. Model refinement using eigensystem assignment[J]. J of Guidance, Control and Dynamics, 2000, 23(4): 683-692.
- [7] Duan GR, Wang GS, Liu GP. Eigenstructure assignment in a class of second-order linear systems: A complete parametric approach [C]. Proc of the CACSCUK. Manchester, 2002: 89-96.
- [8] Wang GS, Duan GR. Robust pole assignment via P-D feedback in a class of second-order dynamic systems [C]. Int Conf of Automation, Robots and Computer Vision. Kunming, 2004: 1152-1156.
- [9] Wang GS, Liang B, Duan GR. Reconfiguring second-order dynamic systems via state feedback eigenstructure assignment[J]. Int J of Control, Automation, and Systems, 2005, 3(1): 109-116.
- [10] Duan GR, Wang GS. Two analytical general solutions of equation $EVJ^2 - AVJ - CV = BW$ [J]. J of Harbin Institute of Technology, 2005, 37(1): 1-4.
- [11] Duan GR, Wang GS. Eigenstructure assignment in a class of second-order descriptor linear systems: A complete parametric approach[J]. Int J of Automation and Computing, 2005, 2(1): 1-5.

(上接第 336 页)

- [5] 刘永清, 谢胜利. 滞后分布参数系统的稳定与变结构控制[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 1998.
(Liu YQ, Xie SL. Stability and variable structure control of distributed parameter systems with time delay [M]. Guangzhou: South China University of Technology Press, 1998.)
- [6] 崔宝同, 邓飞其. 时滞分布参数系统的指数渐近稳定性[J]. 系统工程与电子技术, 2003, 25(5): 579-583.
(Cui BT, Deng FQ. Exponential asymptotical stability for distributed parameter systems with time delays[J]. Systems Engineering and Electronics, 2003, 25(5): 579-583.)
- [7] 崔宝同, 邓飞其. 不确定时滞分布参数系统的滑动模控制[J]. 计算技术与自动化, 2003, 122(12): 21-24.
(Cui BT, Deng FQ. Sliding mode control for uncertain distributed parameter systems with delays [J]. Computing Technology and Automation, 2003, 122(12): 21-24.)
- [8] 周国鹏, 邓飞其. 一类时滞分布参数系统的指数渐近稳定性[J]. 武汉科技大学学报, 2004, 27(2): 211-213.
(Zhou GP, Deng FQ. Exponential asymptotical stability for a class of distributed parameter systems with time delays[J]. J of Wuhan University of Science and Technology, 2004, 27(2): 211-213.)

(上接第 340 页)

- [10] Hafeez K, Zhang YB, Malak N. Core competence for sustainable competitive advantage: A structured methodology for identifying core competence[J]. IEEE Trans on Engineering Management, 2002, 49(1): 28-35.
- [11] 朱剑英. 智能系统非经典数学方法[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2001.
(Zhu JY. Non-classical mathematics for intelligent systems[M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 2001.)

(上接第 344 页)

- [6] 苏玉鑫, 段宝岩. 一种新型非线性 PID 控制器[J]. 控制与决策, 2003, 18(1): 126-128.
(Su YX, Duan BY. A new class of nonlinear PID controller[J]. Control and Decision, 2003, 18(1): 126-128.)
- [7] 鄂加强. 铜精炼炉操作优化与智能控制应用研究[D]. 长沙: 中南大学, 2004.
(EJQ. Application and study on operation optimum and intelligent control of the copper refining anode furnace [D]. Changsha: Central South University, 2004.)