

基于演化博弈的供应网络企业收益与合作行为的关系仿真^{*}

何喜军, 武玉英

(北京工业大学 经济与管理学院, 北京 100124)

摘要: 利用演化博弈的理论,探讨了供应网络中处于不同位置的核心企业和非核心企业两个群体间的成员其投入合作的策略根据收益变化而改变的演化过程;建立了复制动态方程并求得平衡点解,据此通过复制动态的相位图直观反映了博弈的演化稳定策略;并通过 Netlogo 软件对企业行为选择与收益的关系进行了仿真,其行为选择的演化结果与相位图展示结果具有一致性。研究结论表明,收益获得及变化是企业合作行为改变以及合作策略选择的重要依据,企业间演化稳定策略不仅仅局限于参与合作与放弃合作,长时间观望也是企业可能的策略选择;最后针对如何提高供应网络企业间合作的稳定性提出了对策建议。

关键词: 演化博弈; 供应网络; 动态仿真

中图分类号: TP301.5

文献标志码: A

文章编号: 1001-3695(2013)03-0825-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2013.03.047

Simulation on relationship between enterprises behavior and profit in supply network based on evolutionary game theory

HE Xi-jun, WU Yu-ying

(School of Economy & Management, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

Abstract: Using the evolutionary game theory, this paper discussed the cooperative strategy evolution process with profit changes between the core enterprises and non-core enterprises in supply network. It established the replicated dynamic equations and obtained equilibrium solutions, according by the phase diagram of replicate dynamic reflected the stable strategies of evolutionary game. It carried out the simulation on the relationship between enterprises' behavior and the profits using Netlogo software, proved the results had consistency with the phase diagram showing. The research results indicate that the profit obtained and changes are the most important basis for enterprises to change behavior and select strategy, the stable strategies of evolutionary game for enterprises not only participate and cooperate, give up cooperation or watching for long time are also the possible strategy choice. Finally it put forward suggestions for how to improve the stability of enterprises cooperation in supply network.

Key words: evolutionary game theory; supply network; dynamic simulation

著名供应链专家马丁·克里斯多弗曾说:真正的竞争不是企业之间的竞争,而是供应链之间的竞争。随着市场需求快速变化,突发性事件增加,使供应链面临的经营环境不确定性和随机性增强,供应链节点企业间的动态合作行为变得复杂,供应网络系统运行的稳定性受到威胁。由于企业个体的有限理性、趋利性以及企业地位的差异性,使得企业间虽因供应链功能实现和优势互补而形成了上下游依赖的合作关系,但各自的行为及策略又不断受到收益变化的影响,进而导致在合作中双方积极投入的程度有差异性。因此经历较长时间的演化博弈后,供应网络企业间或形成较稳定的合作关系,或者解体。本文将重点探讨供应网络中核心企业和非核心企业群体的行为策略选择与各自收益获得及变化的关系,并利用演化博弈的思想及仿真方法预测供应网络企业间关系的演化趋势,进而提出网络治理的建议和对策。

1 研究现状

演化博弈理论的产生源于生物进化论和行为生态学,将演化与博弈相结合,关注有限理性的群体在长期反复博弈的过程中其策略及状态的变化趋势,从而寻找到群体演化的稳定均衡。演化博弈的最重要动因,即演化的动力问题, Taylor 和 Jonker 在 1978 年提出了演化博弈的复制动态模型^[1],作为一种确定性动态模型被广泛应用。此后王玉燕等人^[2]采用演化博弈的方法研究了生产商实施 RSC 与消极对待两种策略下其收益演化的趋势,验证了演化稳定策略需要满足的条件,并通过政府干预机制反映演化机制。高晶等人^[3]运用演化博弈的理论和方法分析了价值网络模式下企业的协同竞争机制,并总结了系统的初始状态、发展阶段以及利益分配机制等对演化博弈过程的影响。石岚然等人^[4]建立了两种群演化动态模型,

收稿日期: 2012-07-20; **修回日期:** 2012-08-27 **基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(71071005);北京市哲学社会科学规划青年项目(12-JGC106)

作者简介: 何喜军(1979-),女,河北廊坊人,博士研究生,主要研究方向为供应链管理(hexijun@bjut.edu.cn);武玉英(1966-),女,山西人,副教授,主要研究方向为系统工程。

研究了企业组织模式选择问题,结论表明不存在稳定的内点演化均衡。孙庆文等人^[5]基于不完全信息的状态,利用复制动态的思想,对非对称 2×2 演化博弈均衡进行了渐进稳定性的分析。吴昊等人^[6]探讨了合作竞争博弈中的复杂性,并借助复制动态的机制模拟了合作竞争博弈的长期演化趋势及演化均衡与稳定性。刘德海等人^[7]运用演化博弈理论构建了重大突发公共卫生事件的疫情传播方程,讨论了政府作为对疫情传播的影响。

上述研究均没有考虑决策环境中的不确定因素^[8],由于现实系统运行的环境中存在诸多随机因素,因此1993年Kandori等人^[9]建立了离散时间的随机演化博弈模型,并根据随机过程特点分析系统的均衡状态。此后随机演化博弈的研究成为了学术界关注的热点,徐岩等人^[10]引入了白噪声来反映确定性动态过程受到的随机干扰,分析战略联盟演化过程中成员行为。陈学梅等人^[11]引入漂移来刻画环境的不确定性对博弈方行为策略的影响,分析国际合资企业的机会主义行为的可能性。

综上所述,已有研究大多对参与博弈的群体不进行细化区分,如文献^[2~4,11]等,而默认为参与博弈的各主体地位均等,因此得出不同策略组合收益矩阵具有对称性,与现实的符合度较差。本文重点探讨供应网络中核心企业与非核心企业群体的非对称演化博弈,剖析不同群体策略行为选择与收益变化的关系以及对合作关系的影响。

2 模型构建与仿真分析

2.1 模型假设及构建

a) 供应网络中根据企业的功能及重要性,分为核心企业与非核心企业两大类。核心企业分布于供应网络的不同功能层,核心企业之间形成了较稳定的供应关系,而核心企业与非核心企业之间则形成了较复杂的不稳定的合作关系。因此核心企业与非核心企业间的演化博弈是本文研究的重点,关系示意图如图1所示。

b) 两类企业都不确定对方的策略选择及其所付出的成本,包括彼此之间的依赖度。博弈处于信息不对称状态,但相对于非核心企业,核心企业对环境变化的洞察力更强,信息获取能力高。

c) 各群体中的企业在博弈过程中会通过不断学习、比较、思考来调整自身的策略,从而演化至均衡策略。博弈方可选择的策略空间为积极投入与消极等待,其中非核心企业的消极等待有可能导致搭便车,而核心企业的消极等待有可能规避市场风险减少损失。

d) 假设 A 为供应网络中核心企业的集合, B 为供应网络中非核心企业的集合。核心企业中选择积极投入合作的比例为 p ,选择消极等待的比例 $1-p$;非核心企业中选择积极投入合作的比例为 q ,选择消极等待的比例 $1-q$ 。其中, $p \in (0,1)$; $q \in (0,1)$,并随时间的演化其比例发生变化。

e) 假设双方均采取消极等待策略,则只能获得保守收益,分别为 U_A, U_B ;双方采取积极投入策略所付出的成本分别为 C_A, C_B ;双方均通过积极投入所得的额外收益分别为 R_A, R_B ;当有一方积极投入而另一方消极等待,则会造成消极等待方搭便车而获得额外收益或规避风险减少损失。假设当核心企业积极投入,非核心企业消极等待的策略状态下双方所得额外收益

分别为 $R_A - \delta_A, R_B - \delta_B$,其中 $\delta_A > 0, \delta_B > 0$;当核心企业消极等待,非核心企业积极投入的策略状态下双方所得额外收益分别为 $R_A - \delta_A^*, R_B - \delta_B^*$,其中 $\delta_A^* > 0, \delta_B^* > 0$ 。在此不对变量之间的大小关系进行约束,得出演化博弈的收益矩阵如表1所示。

表1 核心企业与非核心企业演化博弈的收益矩阵

策略	收益	非核心企业 B	
		积极投入 q	消极等待 $1-q$
核心企业 A	积极投入 p	$U_A + R_A - C_A$; $U_B + R_B - C_B$	$U_A - C_A + (R_A - \delta_A)$; $U_B + (R_B - \delta_B)$
	消极等待 $1-p$	$U_A + (R_A - \delta_A^*)$; $U_B - C_B + (R_B - \delta_B^*)$	$U_A; U_B$

2.2 模型求解及演化博弈仿真

根据表1,核心企业采取积极投入的收益为

$$M_1 = q(U_A + R_A - C_A) + (1-q)(U_A + R_A - C_A - \delta_A) \quad (1)$$

核心企业采取消极等待的收益为

$$M_2 = q(U_A + R_A - \delta_A^*) + (1-q)U_A \quad (2)$$

核心企业的平均收益为

$$M_A = pM_1 + (1-p)M_2 \quad (3)$$

同理,根据式(1)~(3),得出核心企业采取积极投入策略比例及非核心企业采取积极投入策略比例的复制动态方程为

$$\begin{aligned} \dot{p} &= p(M_1 - M_A) = p\{M_1 - [pM_1 + (1-p)M_2]\} = \\ &= p(1-p)(M_1 - M_2) = p(1-p)[q(\delta_A^* - C_A) + (1-q)(R_A - C_A - \delta_A)] = \\ &= p(1-p)[q(\delta_A + \delta_A^* - R_A) + R_A - C_A - \delta_A] \end{aligned} \quad (4)$$

$$\dot{q} = q(1-q)[p(\delta_B + \delta_B^* - R_B) + R_B - C_B - \delta_B^*] \quad (5)$$

联立式(4)(5),令 $\dot{p} = 0$ 且 $\dot{q} = 0$,可得系统的平衡点:(1, 1), (1, 0), (0, 1), (0, 0), $(\frac{C_B + \delta_B^* - R_B}{\delta_B + \delta_B^* - R_B}, \frac{C_A + \delta_A - R_A}{\delta_A + \delta_A^* - R_A})$,当

$C_B < \delta_B$,且 $C_A < \delta_A^*$ 时,此解存在。因此得到该演化的复制动态相位图如图2所示,并可判断(积极投入,积极投入)和(消极等待,消极等待)均属于演化的稳定策略,(积极投入,消极等待)和(消极等待,积极投入)均属于不稳定策略。演化的最终结果是趋向(积极投入,积极投入)还是趋向(消极等待,消极等待),则依赖于相位图中 C 和 D 区域面积的大小。下面通过Netlogo软件仿真在不同收益情况下企业行为策略选择及演化的趋势。

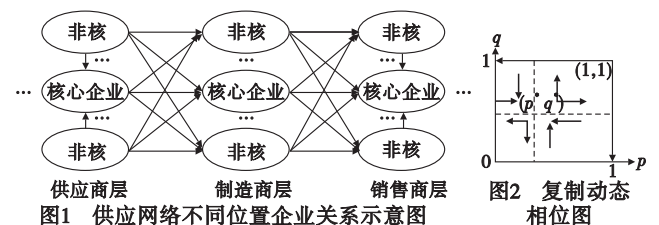


图1 供应网络不同位置企业关系示意图

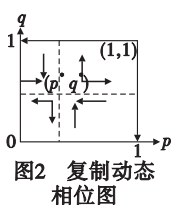


图2 复制动态相位图

设定核心企业的数量为100个,非核心企业的数量为500个, p, q 的初始值均为0.1; $U_A = 100, U_B = 50, R_A = 80, R_B = 30, C_A = 40, C_B = 20$ 。取值依据为:供应网络中处于核心位置的企业是少数,单独行为情况下核心企业的获利能力较非核心企业要强,在合作博弈的初始阶段,很多新加入供应网络的企业处于试探和观望状态,因此积极参与合作的企业比例较低。当企业参与合作时,核心企业相对于非核心企业其投入较高,成本较高。 $C_A - \delta_A^*$ 为当非核心企业积极投入,而核心企业选择消极等待的诱惑收益; $R_A - C_A - \delta_A$ 为当非核心企业消极等待,核心企业选择积极投入时的奖励收益; $C_B - \delta_B$ 为当核心企业积极投入,而非核心企业选择消极等待的搭便车收益; $R_B - C_B -$

δ_B^* 为核心企业等待,而非核心企业积极投入的奖励收益,假设双方积极投入的成本、收益以及分配规则都是确定的,因此从收益矩阵可以得出影响企业行为选择的变量为 δ_A^* 、 δ_B 、 δ_A 、 δ_B^* 。假设非核心企业的行为对核心企业的对策具有跟随性,则对上述四个变量赋不同的值共 81 组数据,利用 Netlogo 仿真企业行为演化的路径并针对路径的特征进行归类后,得出结果如图 3~8 所示。

a) 当 $C_A - \delta_A^* = 0, R_A - C_A - \delta_A = 0, C_B - \delta_B = 0, R_B - C_B - \delta_B^* = 0$ 时,即核心企业与非核心企业都无法确认能够获得奖励收益或者诱惑收益及搭便车收益时,双方采取保守策略维持博弈的初始状态而不进行任何行为的改变,博弈处于前期观察阶段。而观察的结果有可能采取合作,也有可能无法合作,具体情形见后面的分析。

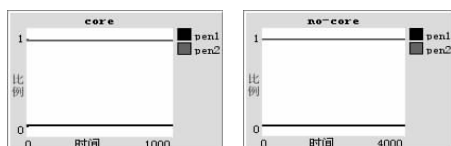


图3 仿真结果1

b) 当 $C_A - \delta_A^* = 0, R_A - C_A - \delta_A = 0, C_B - \delta_B \neq 0, R_B - C_B - \delta_B^* \neq 0$ 时,核心企业中会有少部分企业试图改变策略积极投入而希望获得更多收益;而非核心企业则试图通过比较搭便车收益及奖励收益的大小而进行策略选择,如果搭便车收益较大则消极等待,否则选择积极投入,仿真趋势如图4。同理,当非核心企业无法确认是否能得到搭便车收益或奖励收益时,因为判断核心企业会有行为,则非核心企业中会有部分成员采取积极投入,而依然无法判断是否获得收益时,维持现状。这充分说明供应网络形成的初始阶段,当一方判断对方会有行为发生时,一般会有积极投入的倾向,而其行为是是否能够保持稳定则依赖后续的收益获得,这与现实中某些企业加入网络起初目标并不是获得短期收益而是占据位置的情况类似,此时双方博弈进入试探性阶段。

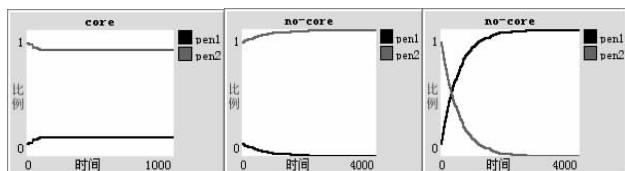


图4 仿真结果2

c) 当 $C_A - \delta_A^* > R_A - C_A - \delta_A, C_B - \delta_B < R_B - C_B - \delta_B^*$ 时,核心企业采取消极等待策略,而非核心企业只有积极投入才不会损失收益;或当 $C_B - \delta_B > R_B - C_B - \delta_B^*, C_A - \delta_A^* < R_A - C_A - \delta_A$,非核心企业采取消极等待策略,而核心企业只有积极投入才不会损失收益,即彼此进入博弈的相持阶段,此阶段双方没有形成较高的信任,处于被动依赖,这种模式属于不稳定状态。

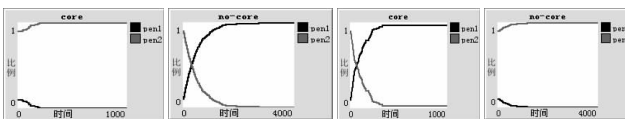


图5 仿真结果3

d) 当 $C_A - \delta_A^* < 0, R_A - C_A - \delta_A = 0, C_B - \delta_B > 0, R_B - C_B - \delta_B^* < 0$ 时,即核心企业判断只要消极等待就要损失收益,但积极投入虽然无法使自身收益增加,但确可能为非核心企业带来收益时,依然有大部分核心企业选择积极投入,从而使双方博弈进入到行为调整阶段,彼此信任逐步形成。这也说明在供应

网络中核心企业承担的责任更加重要,核心企业的行为选择更加兼顾网络整体利益的实现。

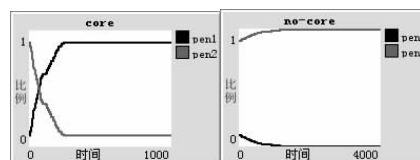


图6 仿真结果4

e) 当 $C_A - \delta_A^* > 0, R_A - C_A - \delta_A > 0, C_B - \delta_B < 0, R_B - C_B - \delta_B^* < 0$;或者 $C_A - \delta_A^* < 0, R_A - C_A - \delta_A < 0, C_B - \delta_B > 0, R_B - C_B - \delta_B^* > 0$ 时,即双方中的任一方都没有绝对占优的策略,都会因为某种策略的实施而受到损失,从而使对方获得收益,则双方博弈进入到相持阶段,两个群体中的积极投入和消极等待的比例处于波动状态并在 1/2 附近徘徊。

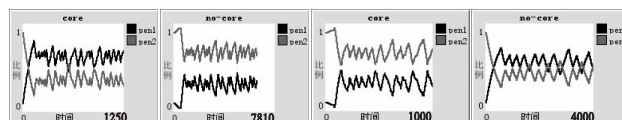


图7 仿真结果5

f) 当 $C_A - \delta_A^* < R_A - C_A - \delta_A, C_B - \delta_B < R_B - C_B - \delta_B^*$ 时,双方都积极投入合作均能获得最优收益,则博弈进入到稳定的合作状态,彼此信任程度较高,任何一方单独改变策略都有可能失去部分收益。

g) 当 $C_A - \delta_A^* > R_A - C_A - \delta_A, C_B - \delta_B > R_B - C_B - \delta_B^*$ 时,双方均采取消极等待策略从而使博弈进入解体阶段,达到另外一种意义上的均衡,即只有解体才不至于有更多损失。现实中很多供应网络运行时间不长即失败或者解体,与此类博弈是相符合的。

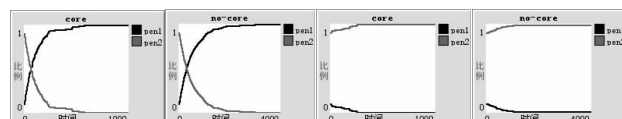


图8 仿真结果6

图9 仿真结果7

通过上述仿真,可以得出供应网络的企业间合作博弈是分阶段进行的,合作不是一蹴而就,解散也不是一朝一夕。而不同阶段企业的行为选择除与自身收益相关外,也与彼此的信任相关,具体情形为:

a) 当一方只能选择积极投入合作才能获得收益,而另一方只要搭便车消极等待就能获得收益时,演化策略则为:积极投入,消极等待;消极等待,积极投入。此种情况类似铲雪博弈,以双方的基本信任为前提进行博弈的相持和策略调整,从而合作属于不稳定的状态。在现实中,这两种合作模式均不是企业追求的战略合作模式,需要设计惩罚机制惩罚消极等待的一方,或设计新的分配机制,从而使双方积极投入合作;而惩罚和分配机制的设计一方面要依赖于与奖励和惩罚相关的 δ_A^* 、 δ_B 、 δ_A 、 δ_B^* 这四个变量的调整,也要从各个企业自身的投入成本以及如何增加整体收益提高彼此信任等方面出发。

b) 当双方只能选择消极等待才能获得收益或不至于损失时,说明环境及市场的风险较大,任何一方采取积极投入都会受到收益方面的损失。而此种情况下,(消极等待,消极等待)策略对双方则是稳定的演化博弈策略,企业最终选择观望不参与合作,则供应网络最终解体,博弈进入囚徒困境。例如当某类市场需求被完全替代或者有重大的危机发生,则网络中的成员针对此类需求的合作只能停止,或者面临危机无法抵抗时则只能选择等待,进而有机会选择新的合作伙伴形成新的供应网

络,完成供应网络发展的蜕变和升级;另外当双方信任程度非常低,博弈处于初始阶段,双方都不确定对方采取怎样的策略时,也有可能都选择观望状态。

c)通过上述仿真还可得出,对于两个群体的演化博弈,当 $p^*=0.5$ 且 $q^*=0.5$ 时,其策略变化的速度最快,说明此点对扰动和变化最敏感,此点后的行为变化则决定了演化稳定策略是趋向于(积极投入,积极投入);还是(消极等待,消极等待),而成为两种模式的分界线。它验证了在现实中某种合作在遇到突发事件时,如果处理方式得当,则双方成为战略合作伙伴进而长期持续合作并形成高度信任的可能性增加,进而提高合作的稳定性;而处理不当的话则逐渐分道扬镳,关系解体。而最容易发生改变的状态为双方势均力敌的情况,这与通过相位图的面积比较判断演化趋势具有一致性。

3 结束语

对供应网络中两类地位不同的大规模有限理性企业间的演化行为进行了研究;并主要针对企业收益变化对行为策略选择的影响和关系进行了仿真,得出了行为策略演化的敏感区域以及演化的稳定均衡策略。说明从长远发展看,铲雪博弈及囚徒困境式的博弈模式最终都有可能导致供应网络企业间的合作关系解体,而解体在某种情况下可能是双方朝着更有利的方向发展的必经之路。因此对供应网络的关系治理要依据具体情况,在能够促进合作的基础上设计惩罚或者鼓励措施推进双方积极投入,向战略合作的稳定状态演化;而在市场、环境、双方信任等各方面条件不具备的情况下,要设计相关引导政策和机制促进解体,从而为新一轮的合作关系形成创造条件。

供应网络中的企业除了地位不同,其行为偏好也不同,行

为策略也表现出多样性,如何将企业的行为偏好要素带入模型并进行仿真,是逼近供应网络中企业真实行为的重要组成部分。下一步将在后续研究中继续深入探讨行为偏好对策略选择及演化稳定策略的影响。

参考文献:

- [1] TAYLOR P D, JONKER L B. Evolutionary stable strategies and game dynamics [J]. *Mathematical Biosciences*, 1978, 40 (1/2): 145-156.
- [2] 王玉燕,李帮义,申亮. 两个生产商的逆向供应链演化博弈分析[J]. *系统工程理论与实践*, 2008, 28(4): 43-49.
- [3] 高晶,关涛,王雅林. 价值网络中企业协同竞争机制的演化博弈分析[J]. *哈尔滨工程大学学报*, 2007, 28(10): 1177-1180.
- [4] 石岩然,肖条军. 基于演化博弈理论的企业组织模式选择[J]. *东南大学学报:自然科学版*, 2007, 37(3): 538-540.
- [5] 孙庆文,陆柳,严广乐,等. 不完全信息条件下演化博弈均衡的稳定性分析[J]. *系统工程理论与实践*, 2003, 23(7): 12-17.
- [6] 吴昊,杨梅英,陈良猷. 合作竞争博弈中的复杂性与演化均衡的稳定性分析[J]. *系统工程理论与实践*, 2004, 24(2): 90-93.
- [7] 刘德海,王维国,孙康. 基于演化博弈的重大突发公共卫生事件情景预测模型与防控措施[J]. *系统工程理论与实践*, 2012, 32(5): 938-942.
- [8] 王先甲,全吉,刘伟兵. 有限理性下的演化博弈与合作机制研究[J]. *系统工程理论与实践*, 2011, 31(10): 83-90.
- [9] KANDORI M, MAILATH G J, ROB R. Learning, mutation, and long run equilibria in games[J]. *Econometrica*, 1993, 61(1): 29-56.
- [10] 徐岩,胡斌,钱任. 基于随机演化博弈的战略联盟稳定性分析和仿真[J]. *系统工程理论与实践*, 2011, 31(5): 921-925.
- [11] 陈学梅,孟卫东,胡大江. 国际合资企业中机会主义行为的演化博弈[J]. *系统工程理论与实践*, 2009, 29(2): 54-58.
- [12] 标注[J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2001, 13(4): 294-298.
- [9] 刘颖滨,田景成,唐卫清,等. 钢结构节点详图的自动标注算法[J]. *中国图象图形学报:A版*, 2001, 6(6): 582-585.
- [10] 罗志伟,颜巍,蔡士杰. 截面表示法柱平面图的自动识别方法[J]. *计算机应用研究*, 2004, 21(8): 132-135.
- [11] 颜巍,罗志伟,蔡士杰. 建筑楼板结构平面图的自动识别方法[J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2003, 13(12): 1101-1105.
- [12] 贾哲明,付永刚,戴国忠. 建筑平面图理解中对墙体符号的识别方法[J]. *计算机工程与应用*, 2004, 40(10): 201-204.
- [13] LAI C P, KASTURI R. Detection of dimension sets in engineering drawings[J]. *IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1994, 16(8): 848-855.
- [14] 席晓鹏,路通,糜宁芳. 建筑图自动识别中的坐标系处理方法研究[J]. *南京大学学报:自然科学版*, 2002, 38(Z1): 268-272.
- [15] 芮明,路通,苏丰,等. 基于视觉的表格自动识别方法[J]. *计算机应用研究*, 2005, 22(4): 256-257, 260.
- [16] 范帆,关佳红. 工程图纸字符串及标注信息提取[J]. *计算机工程与应用*, 2012, 48(7): 161-164.
- [17] 胡笏,杨若瑜,曹阳,等. 基于图形理解的建筑结构三维重建技术[J]. *软件学报*, 2002, 13(9): 1873-1880.
- [18] 路通,杨若瑜,杨华飞,等. 三维结构构件渐进式整合与重组方法[J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2007, 19(4): 491-495.
- [19] 杨若瑜,蔡士杰. 三维数字建筑的自动生成和应用技术研究[J]. *智能系统学报*, 2008, 3(1): 1-8.
- [20] 杨晔,姜晓彤,况迎辉. 基于图形理解的室内建筑三维重建算法[J]. *信息与电子工程*, 2011, 9(11): 105-108.
- [1] 董玉德,赵韩,王平,等. 工程图纸识别与理解的研究现状分析[J]. *合肥工业大学学报:自然科学版*, 2005, 28(1): 29-33.
- [2] AHSOON C, TOMBRE K. Variations on the analysis of architectural drawings[C]//Proc of the 4th International Conference on Document Analysis and Recognition. Los Angeles: IEEE Computer Society, 1997: 347-351.
- [3] AH-SOON C. A constraint network for symbol detection in architectural drawings[C]//Proc of the 2nd International Workshop on Graphics Recognition Algorithms and Systems. Berlin: Springer-Verlag, 1998: 80-90.
- [4] LU Tong, TAI C L, SU Feng, et al. A new recognition model for electronic architectural drawings[J]. *Computer Aided Design*, 2005, 37(10): 1053-1069.
- [5] 任爱珠,喻强,王洪深. 基于图形识别的剪力墙标注方法[J]. *计算机工程*, 2002, 28(5): 115-117.
- [6] 田景成,刘晓平,唐卫清,等. 钢结构中节点图的自动标注算法[J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 1999, 11(3): 210-213.
- [7] 贾根莲,黄晓剑,唐卫清,等. 钢结构CAD系统自动布置设计研究[J]. *计算机应用*, 2000, 20(增刊): 73-75.
- [8] 贾根莲,黄晓剑,唐卫清,等. 钢结构计算简图中荷载的自动分层