

天津大学

---

博士学位论文

---

中国钢铁市场价格博弈及其复杂性研究

---

姓名：孙志慧

---

申请学位级别：博士

---

专业：管理科学与工程

---

指导教师：马军海

---

201105

## 中文摘要

本文在国内外研究工作的基础上，综合运用管理学理论，经济学理论和非线性动力学理论，来分析中国钢铁市场中的冷轧钢板市场以及管线钢市场价格竞争的复杂性。本文首先基于非线性需求函数建立伯川德模型，借助混沌理论得到了系统关于纳什均衡点的局部稳定区域，利用数值模拟的方法来体现系统的复杂动力学行为，诸如通向混沌的道路——倍周期分岔，混沌的特征——具有混沌吸引子以及系统对初值的敏感依赖性等。在此基础上利用系统变量的状态反馈和参数调节的控制策略对每种混沌市场进行混沌控制。本文的研究结果可以为今后我国钢铁行业的定价问题提供借鉴与参考。

1、本文把博弈论和混沌动力学理论相结合分别应用到具有典型寡头垄断特征的冷轧钢板市场以及管线钢市场定价问题的研究中来，做到了具体问题具体分析。考虑到不同种类型钢板市场竞争情形的区别，分别建立了模型，并引入了价格调整参数来模拟其价格演化过程。

2、在研究冷轧钢板市场的寡头博弈过程时，基于伯川德博弈模型分别建立了二寡头和三寡头博弈模型，并对系统进行复杂性分析。考虑到钢铁价格与需求量并非具有简单的线性关系，本文在非线性需求函数的基础上建立价格博弈模型。这使得模型更加贴近现实，其形式与以往也有所区别，从而在理论上也扩展了离散型非线性动力系统的形式。

3、在首钢进入冷轧钢板市场竞争的初期，首钢与宝钢、鞍钢的需求关系结构会有所区别。此外，三寡头企业通常会信息不对称，并且各自决策者对信息的处理能力也不尽相同。因此，本文把不同结构需求函数和不同价格决策等因素引入到伯川德模型中，建立三寡头价格博弈模型，使得模型更加贴近竞争初期的市场，以此为基础来研究竞争初期三寡头博弈过程的复杂性。

4、在研究管线钢市场的寡头博弈过程时，考虑到武钢、宝钢的品牌效应以及产品的质量性能具有差别，而这种差别可用价钱来度量，基于此建立了需求函数，并在此基础上建立了二寡头博弈模型，此模型是结合现实意义的前提下建立的，有较好的理论和实际应用价值。最后又对三寡头价格博弈进行展望，建立了三寡头博弈模型。

关键词：价格博弈模型 倍周期分岔 混沌 混沌控制 冷轧钢板 管线钢

# ABSTRACT

Based on the research at home and abroad, this dissertation uses management theory, economic theory and nonlinear dynamics theory to analyze the complexity of price competition in Chinese cold-rolled steel market and pipeline steel market. Firstly, Bertrand models are established which are based on non-linear demand functions. Secondly, the dissertation uses complexity theory to get local stable region of Nash equilibrium point and uses numerical simulation to describe the complex behavior of dynamic systems, such as period doubling bifurcations, chaos attractors, and sensitive dependence on initial values and so on. Finally, parameters adjustment control method is adopted to control each chaotic market and makes the chaotic state of price stable at the equilibrium state. The analysis and results are valuable for Chinese steel market.

1 This dissertation introduces game theory and nonlinear dynamic theory into the study of pricing strategy in Chinese cold-rolled steel market and pipeline market which are typical oligopoly. Because their situation of market competition is different, the price game models of cold-rolled steel market and pipeline market are established respectively. Parameters of price adjustment speed are introduced to simulate the process of price evolution.

2 This dissertation establishes duopoly and triopoly price game models in cold rolled steel market and analyzes the complexity of system. Due to relationship between steel price and demand is not simply linear, the dissertation establishes price game models on the basis of nonlinear demand functions which are different from the previous research. The models are closer to reality. Moreover, they extend the form of discrete nonlinear dynamic systems in theory.

3 When Shougang Group just enters into the cold rolled steel market, the demand relationship structure of triopoly will be different. In addition, three companies usually grasp asymmetric information and their ability to process information is not the same. Therefore, this dissertation proposes a triopoly game model with different rationality and different structure of demand functions which can describe triopoly price competition when Shougang Group just enters into cold rolled steel market. It is closer to reality. Then on the basis of the model the dissertation analyzes the complexity of triopoly game process.

4 Taking into account the measurable differences in brand of products and performance of pipeline project between Wuhan Iron and Steel group and Baosteel

group, the dissertation establishes demand functions. On this basis, duopoly price game model is built. It is of good theoretical and practical value. In addition, the dissertation looks ahead triopoly game and builds triopoly price game models.

Key words: price game model, period doubling bifurcations, chaos,  
chaos control, cold-rolled steel, pipeline steel

## 第一章 绪论

### 1.1 研究背景及意义

#### 1.1.1 本文研究背景

钢铁行业是中国的支柱产业，是中国重要的基础工业之一。近年来，伴随着中国经济的持续增长，各个领域对于钢铁的需求越来越旺盛。随着国家众多大型基础设施的建设以及房地产市场、汽车行业等钢铁产业下游相关市场的繁荣发展，钢铁产品的销售量大幅攀升，这些都促进了钢铁行业的飞速发展。因此，很多钢铁企业都大幅扩大产能，并引进高端技术生产高技术含量高附加值的优质钢精品钢，同时许多新的中小型民营企业也涌入了钢铁市场，参与市场竞争。随着市场经济体制的不断深入，中国钢铁市场的竞争越来越激烈，而这种激烈的竞争主要体现在价格竞争上。我国的钢铁价格从原来计划经济年代的国家统一定价到现在市场经济条件下的企业自主定价，钢铁企业的价值观念也随之相应转变。原来企业认为只有专心搞好技术开发、重视生产环节才是提升企业竞争力的唯一手段，而现在随着钢价的制定投入市场，企业的价格观念快速提升，国内钢铁企业逐渐地认识到价格决策是企业直接获得收入的重要来源，所以钢铁企业之间的价格竞争不可避免。价格决策对于钢铁企业来说变成了影响企业竞争力的关键因素之一，也是企业之间最普遍采用的一种竞争方式。如何合理地制定自身的价格，有效地分析竞争对手的价格行为，又如何适当地对自身的价格进行调整，这些都直接关系到企业在市场中的竞争力以及自身战略目标的实现。因此有必要对钢铁企业之间的价格竞争过程进行研究。

我国钢铁市场属于近似的寡头垄断市场，市场集中度比较低，所以我国虽然是钢铁大国，年产钢量近几年稳居世界第一，但并不是钢铁强国。过低的生产集中度，不仅导致钢铁企业无法享受规模经济的优势，企业之间面临低利润无序竞争的局面，而且使得产业结构不合理的现状很难得到改观。所以为了提升钢铁行业的竞争力，就要通过并购重组，缩减我国中小型钢铁企业的数量，增强大型钢铁集团的竞争力。目前，并购重组浪潮风起云涌，国内若干钢铁企业之间不断地进行兼并，目前已经逐渐形成了几个大型钢铁集团，所以今后中国钢铁市场竞争格局的趋势将是钢铁集团之间的寡头竞争，这种竞争主要体现在价格上。基于以上背景，有必要对钢铁寡头之间的价格博弈过程进行研究。由

于钢铁品种繁多，不同种类的钢铁市场价格竞争程度不同，呈现出的竞争格局也有所不同，今后的发展趋势也迥然不同，所以基于此，本文分别对具有典型寡头垄断特点的冷轧钢板市场以及管线钢市场的价格博弈展开研究。

### 1.1.2 本文研究意义

本文的研究主要有两方面的意义：一个是理论意义，另一个是现实意义。

在理论上，本文首先将经济学中的博弈理论与非线性动力学中的分岔与混沌理论相结合，运用到经济管理问题的研究中来，体现了学科交叉的特点在本文中的应用。利用两种理论相结合共同来研究一个问题，往往能达到一加一大于贰的效果，从而使得对问题分析的更为全面，研究的更加深入。其次，利用混沌动力学理论来研究现实的经济管理系统是一种前沿的分析、研究问题的方法，在中国还处于初级发展阶段，所以有必要扩展其应用领域，本文将其应用到中国钢铁市场价格竞争问题的研究中来，增加了混沌动力学理论的实用价值。最后，本文建立了一系列离散型非线性动力系统的模型，这些模型从形式上区别于以往的研究，它们的建立从理论上丰富了离散型非线性动力系统。

从现实意义来讲，首先中国的钢铁市场是一个近似的寡头垄断市场，并购重组是大势所趋，不可避免，并且目前通过兼并已形成了几家大型钢铁集团，所以今后中国钢铁行业的寡头垄断特性会越发突出，今后的竞争将是钢铁集团之间的寡头竞争。所以将寡头博弈理论与混沌动力学理论相结合来研究中国钢铁行业价格博弈过程具有一定的前瞻性。其次，本文通过对各品种钢铁市场的实际情况进行分析后，分别对中国冷轧钢市场和管线钢市场的价格重复博弈建立了模型，这样就做到了具体市场具体分析，在此基础上对模型进行数学推导以及数值模拟，通过利用混沌动力学理论进一步深入地分析研究各钢铁寡头在价格的博弈过程中所体现出的复杂动力学行为，从而为各钢铁寡头在博弈中如何采取更有效的价格策略提供理论支持，这对于身处激烈竞争中的钢铁寡头来说意义重大。最后，本文利用系统变量的状态反馈和参数调节的控制策略对混沌的市场状况进行了控制，并取得了良好的效果，这一控制效果不仅给钢铁寡头的定价策略提供了参考依据，更为重要的是能为政府如何进行宏观调控以保持钢铁行业的有效竞争提供良好地借鉴、指导作用，从而有助于钢铁行业保持稳定健康可持续的发展。

## 1.2 国内外研究现状及问题

### 1.2.1 博弈论在经济管理中的应用研究现状

利用博弈论来分析经济问题主要体现在应用各种博弈模型来研究实际市场中寡头之间的竞争行为。近年来，随着博弈模型的不断改进以及有限理性、信息等因素的加入，博弈理论在经济中的应用越来越广泛。张宇波等<sup>[1]</sup>引入机组自适应期望出力的概念，运用博弈论及动态经济学方法建立了非线性自适应动态古诺模型，以此为基础来求取下一生产周期电厂机组最佳出力方案。胡振华等<sup>[2]</sup>对经典古诺模型进行了改进，分别建立了边际成本为常数时的线性模型和边际成本变动时的非线性模型，讨论了在不同边际成本条件下寡头垄断市场上产量竞争的特点以及在竞争中取得优势的条件。孙丽芝等<sup>[3]</sup>运用蜈蚣博弈、情侣博弈等博弈模型，分析了寡头企业竟相降价的原因，讨论了价格联盟的不稳定性和可能性，给寡头企业定价策略提供参考。李伟等<sup>[4]</sup>对已有的霍特林模型不断完善，建立了适合双寡头垄断电力市场的霍特林模型，在此基础上利用博弈论的思想分析了两个火电站厂的最佳定位策略和定价策略。廖成林等<sup>[5]</sup>基于寡头企业之间的产品具有差异性这一假设条件，通过运用防降价均衡博弈模型来剖析“价格战”现象的原因，并讨论了寡头间的价格竞争策略。程成等<sup>[6]</sup>运用伯川德模型分析发电企业间的价格博弈和市场竞争，提出了解决我国电力市场不合理竞争的有效方法及相应的策略，诸如可以采用产品差异化发展思路、合理规划行业企业数量等策略。朱斌等<sup>[7]</sup>运用博弈论分析中国为什么会失去国际铁矿石价格谈判的话语权，探讨中国在国际铁矿石价格谈判中的策略，从而为新一轮的价格谈判提供建议。陆兴发等<sup>[8]</sup>从完全信息博弈的视角提出了企业间竞争性合作的具体策略。黄敏镁<sup>[9]</sup>将博弈论应用到供应链系统，基于演化博弈理论和方法，研究有限理性的制造商与供应商在长期的协同产品开发过程中的合作机制。饶育蕾等<sup>[10]</sup>在引入了异质性利他偏好的前提下构建了基于心理效用的随机扰动的异质性利他模型来拟合蜈蚣博弈实验数据，研究结果发现，利他偏好是蜈蚣博弈实验结果与传统博弈论预测的纳什均衡结果产生系统性偏离的一个重要影响因素。孙广毅等<sup>[11]</sup>运用蛙鸣博弈模型，分析了有限理性的基金投资者投资进化稳定策略，在此基础上研究了基金投资者的投资对证券市场的稳定性影响问题。李伟等<sup>[12]</sup>讨论了主从博弈、非合作博弈、合作博弈问题的相关性，提出了以非合作博弈为基础的网络控制模型并证明了该模型协同控制均衡态的稳定性。熊菲等<sup>[13]</sup>建立了人员个性不完全信息的博弈策略选择模型，并对其进行数值模拟。

### 1.2.2 混沌理论及其在经济管理中应用的研究现状

非线性动力系统在一定参数范围内所表现出的混沌特性已经渐渐受到更多学者的注视，越来越多的学者对于非线性动力系统进行研究，发现了其中丰富多彩的复杂动力学行为。王兴元<sup>[14]</sup>利用镜像操作方法，发现受控 Chen 系统的吸引子是由左、右两个吸引子所组成的复合结构，并给出了 Chen 系统从规则运动转化到混沌运动所具有的普适特征。韩明<sup>[15]</sup>利用庞加莱截面来研究二自由度混沌系统 Hénon-Heiles 体系在相空间的运动轨迹，并通过图像讨论了其复杂动力学特性和混沌的形成过程。李险峰<sup>[16]</sup>研究了二维间断离散混沌动力系统——Lozi 映射的线性状态反馈控制问题。冯明库<sup>[17]</sup>提出了一种能有效识别不同混沌运动随机性强弱的原理和算法。陆安山<sup>[18]</sup>由三平衡点非线性 Lorenz 系统、Chen 系统和 Lu 系统线性部分的系数矩阵行列式的特征，构造了一个二平衡点三维非线性动力学系统，并研究了其混沌动力学行为。刘晓君<sup>[19]</sup>分析了一个二维三次方离散系统平衡点的稳定性，给出了在不同初值和系统参数下系统的混沌行为。蒋玲<sup>[20]</sup>将不同强度的随机噪声叠加在混沌系统所产生的非线性时间序列上，计算在噪声叠加前后时间序列的复杂度指标。结果表明随着随机噪声强度的增加混沌系统的随机性增强，而当噪声强度过大时原系统的非线性动力学特性丧失转而变成随机性系统特征。邓斌<sup>[21]</sup>构造一个具有四翼吸引子的超混沌系统，利用数值模拟分析了系统的混沌特性。贾红艳<sup>[22]</sup>验证了一个三维四翼自治的混沌系统的拓扑马蹄的存在，并证明了该三维四翼自治系统的拓扑熵大于或等于  $\ln 2$ ，表明了该系统具有混沌运动行为。祝泽华<sup>[23]</sup>提出了一个新的四维自治超混沌系统，分析了系统的非线性动力学特性，并构造了混沌同步系统，有效地实现混沌同步。王震<sup>[24]</sup>分析了一类三维自治微分系统异宿环的存在性并证明了该系统具有 Smale 马蹄意义的混沌。王蕾<sup>[25]</sup>研究了可以生成四翅膀超混沌吸引子的一个新的四维连续自治超混沌系统的动力学行为。张荣<sup>[26]</sup>以 Lorenz 系统和 Rossler 系统为例，研究了连续的混沌系统存在“有序+有序=混沌”的现象。张建雄等<sup>[27]</sup>构造了一个新的三维连续时间混沌系统，并借助理论分析，利用数值模拟研究了系统的动力学特性。

近年来随着混沌理论的发展与完善，混沌理论在经济管理中的应用越来越广泛。美国经济学家本哈比(J.Benhabib)和德依(R.H.Day)于 1981 年发表了论文《合理选择与不规则行为》<sup>[28]</sup>，将混沌理论应用于研究效用函数的长期性态。德依(R.H.Day)<sup>[29]</sup>于 1982 年研究古典经济增长模型时得出人口变化呈现混沌状态与生活收入水平的关系。博尔丁(M·Boldrin, 1986)<sup>[30]</sup>于 1986 年的研究表明最优经

济增长轨道在一定条件下也会产生混沌。本哈比(J.Benhabib)<sup>[31]</sup>于 1992 年在经济均衡模型中找到了呈周期和混沌行为的条件。李红权等<sup>[32]</sup>针对金融时间序列的特点，采用特殊的对数线性趋势消除法处理数据、引入小数据量算法等计算混沌系统的特征量，分析了我国证券市场的混沌动力学结构。王庆飞<sup>[33]</sup>在局域预测法的基础上重点分析了一种基于利亚普诺夫指数的混沌时间序列预测方法，并将这种方法应用于解决电力系统短期负荷分配问题。吕爱群<sup>[34]</sup>结合中国联通发展过程中的重点问题，对中国联通同时经营两张移动网络的复杂性与混沌性进行分析。刘美菊<sup>[35]</sup>分析了电力系统在非线性模型下的混沌动力学行为特征，采用庞加莱相图法分岔理论和李亚普诺夫指数法，从定性和定量两个方面进行研究。阮浩新<sup>[36]</sup>介绍了混沌理论用于电力电子装置系统设计及其稳定性控制，电力电子装置信号检测、故障处理与诊断等方面的应用动态和研究成果，指出了混沌理论在未来电力电子装置应用中的发展方向。李立华等<sup>[37]</sup>运用混沌理论，研究了金融系统稳定性问题，借助混沌动力学中的 Logistic 模型对金融创新与金融监管这两个主要因素如何影响金融系统稳定性展开了深入的研究。李梅芳<sup>[38]</sup>构建了企业技术创新投资经济增长的非线性动力学模型来揭示企业技术创新投资的演化行为与规律。采用差分演化算法对模型进行了参数优化，利用数值模拟分析了该系统产生混沌运动的内在结构和外部扰动两大动力因素。吴淑花等<sup>[39]</sup>通过数值计算利亚普诺夫指数谱分岔图等，讨论了耦合发电机系统的混沌分岔行为和周期窗口的性态变化，计算和分析了系统在二维参数空间的双参数特性。结果显示系统动力学行为在两个控制参数的影响下有所差别。杨韬等<sup>[40]</sup>重点分析了新混沌动力系统的系统参数对整个系统的影响，得出了当系统参数在某一区间时新混沌系统的状态，并根据系统的数学模型给出各种参数值的电路实验相图。廖雪峰<sup>[41]</sup>提出了一种基于混沌和遍历矩阵的彩色图像密码算法，该算法具有良好的实用性。

### 1.2.3 混沌理论在博弈理论应用中的研究现状

寡头博弈理论与混沌理论相结合的研究是近年来科学的研究的前沿，也是国内外学者研究的热点之一，已有研究结果表明一些常见的寡头博弈模型中包含着非常复杂的动力学行为。纵观已有的研究成果，混沌理论与博弈理论相结合的研究主要集中于对古诺模型以及伯川德模型的重复博弈研究上。大量学者对经典的 Cournot 模型进行了改进，通过改变成本函数或是需求函数或是通过引入有限理性、不完全信息等因素使得模型更加贴近现实，从而发现寡头之间在重复博弈过程中随着产量决策的改变而引起的系统分岔、混沌等现象。也有少数学

者基于经典伯川德模型进行重复博弈研究，发现寡头之间随着价格决策的改变而引起的系统分岔、混沌现象。

Puu T.<sup>[42]</sup>发现了双寡头古诺模型会出现分维的混沌吸引子，并简单讨论了三寡头产量博弈的情形。Agiza<sup>[43-45]</sup>等引入了有限理性，建立了双寡头产量重复博弈模型，分析了系统纳什均衡点的稳定性，发现了系统随着产量调整参数的变化会出现分岔、混沌等复杂的动力学现象。此后 Agiza 等人又进一步研究了三寡头、四寡头以及 N 寡头产量博弈模型，并对其均衡点的局部稳定性区域进行了分析。Bischl 等学者<sup>[46-51]</sup>分别在线性成本函数前提下，引入有限理性预期建立古诺博弈模型，并分析了系统的复杂性。Ahmed E 等学者<sup>[52-54]</sup>分别在非线性成本函数的前提下，引入有限理性预期建立双寡头博弈模型以及需求函数被改进后的双寡头博弈模型。以上的研究结果均显示了博弈方对市场的调整速度过快时，系统将会出现分岔、混沌等复杂现象。张骥骥等<sup>[55,56]</sup>基于不同结构成本函数以及不同的产量决策建立了二寡头产量博弈模型，并对其博弈过程中的混沌现象进行分析。杨勇<sup>[57]</sup>等在企业成本不对称的情况下，研究了双寡头的技术创新投资决策问题，得出期权博弈模型的平衡条件。Yassen M.T.等<sup>[58-60]</sup>把时滞引入到产量博弈模型中，并发现系统会出现分岔、混沌等复杂动力学现象。Ettreby M F 等学者<sup>[61-66]</sup>把双寡头古诺博弈模型进行了推广，建立了多维博弈模型，并研究了博弈过程的复杂性，发现其中的分岔、混沌现象。徐峰<sup>[67]</sup>基于延迟决策建立了具有有限理性的双寡头广告博弈模型，研究了寡头在采用延迟策略的前提下，系统的稳定性对各寡头利润的影响。卢亚丽等<sup>[68]</sup>建立了具有有限理性的双寡头古诺重复博弈模型，研究了产量调整速度变动对二寡头产量和利润的影响及其随之产生的一系列复杂动力学现象。姚洪兴<sup>[69]</sup>等在非线性需求函数的前提下，建立了具有有限理的动态古诺模型，并利用该模型分析商业银行中各寡头博弈过程。吉伟卓<sup>[70-73]</sup>等将改进的基于非线性需求函数的古诺模型应用到电力市场和房地产市场中，分析了寡头间产量博弈过程的复杂性。陈芳<sup>[74]</sup>将有限理性引入到经典伯川德模型中，建立混沌动力学模型，以价格作为决策变量来分析中国 3G 市场三寡头重复博弈过程的复杂性。彭静<sup>[75]</sup>在延迟决策的前提下，建立了三寡头价格重复博弈模型，借助该模型研究空调行业中各寡头采用延迟决策对空调价格进行动态博弈过程中所表现出来的分岔、混沌等复杂的动力学行为。牟玲玲<sup>[76]</sup>基于博弈理论和蛛网理论建立了价格动态博弈模型，并将其引入到房地产市场，借助混沌理论分析了中国房地产市场土地供给价格的博弈过程，得到了关于系统的复杂动力学性态。

### 1.2.4 关于钢铁行业定价问题研究现状

#### 1、关于定价方法的研究

李拥军等<sup>[77]</sup>从营销模式的角度出发提出了钢铁企业的定价方法，有以下几种分别是：销售总部定价、外埠公司区域性定价、钢铁企业之间协商定价、钢铁企业与大的用户及经销商之间的协商定价，见表 1-1。

表 1-1 钢铁企业的定价方法

销售总部定价	由钢铁企业销售总部拥有产品价格的制订权，出厂价的表现形式简单明了。
外埠公司区域性定价	钢铁企业在重点区域市场建立本企业的销售子公司或分公司，由这些子公司或分公司对该区域内的产品实行统一定价。
钢铁企业之间协商定价	只是在某一地区内与某一类产品相关的钢铁企业之间有所运用。
钢铁企业与大的用户及经销商之间的协商定价	能够合理控制企业产品的库存，有助于提高钢铁企业的销售速度。

但是这几种定价方法也都分别存在缺陷，体现在：销售总部定价法很难适应不同地区市场的差异性；外埠公司区域性定价法虽然有助于钢铁企业根据具体区域的情况具体分析灵活定价。但目前真正赋予外埠公司拥有定价权的钢铁企业尚为数不多；钢铁企业之间协商定价法在市场上的使用面还很窄，对于整体钢铁市场的价格影响力不大。钢铁企业与大的用户及经销商之间的协商定价法很可能导致钢铁行业下游的一些大经销商拥有对钢铁流通渠道及终端市场的价格控制权，从而一旦钢铁企业协调不好这些经销商之间的关系，产品的恶性竞争就会爆发。

除此以外，钢铁行业所用的定价方法还有综合定价法<sup>[78]</sup>，它是一种综合考虑影响钢铁价格因素的定价方法。企业利用此种方法进行定价，就是在价格上限和下限之间制定自己的价格。具体来讲就是，首先考虑到消费者的支付意愿，支付能力，制定出钢铁产品的最高价——价格上限；接下来，考虑产品的直接成本制定短期内钢铁产品的最低价——短期内的价格下限，考虑产品的平均成

本制定长期内钢铁产品的最低价——长期内的价格下限。价格上限与下限制定出来后，再综合考虑影响钢铁价格的各种因素，包括每个阶段公司的战略目标，公司的定价目标；价格定位战略；竞争者的定价以及对市场的反应；新进入者的威胁；下游经销商的承受能力；替代品的影响；国家宏观调控政策；法律环境；其他内部或外部因素等等。综合考虑这些因素对钢铁价格的影响后，企业根据实际情况，在价格上限与价格下限之间找出合适的定位，制定出自身产品的价格。

## 2、关于定价流程的研究

Kotler<sup>[79]</sup>提出了一种直线型的企业定价流程：先选择定价目标（高或低），接下来确定消费者需求（是否旺盛），然后估计产品成本（高或低），此后分析竞争对手的行为（成本方面，价格方面等），最后选择定价方法，确定最终价格。这种直线型定价流一方面没有体现出来企业的战略目标，另一方面也没有体现出企业的价格随市场变化的不断调整过程。因此该定价流程与实际不符。

衣光喜<sup>[78]</sup>通过对钢铁企业的调研提出了钢铁企业的定价流程，见图 1-1。这是一个循环式的定价流程，形成一个闭环。该流程提高了定价在企业战略中的地位。

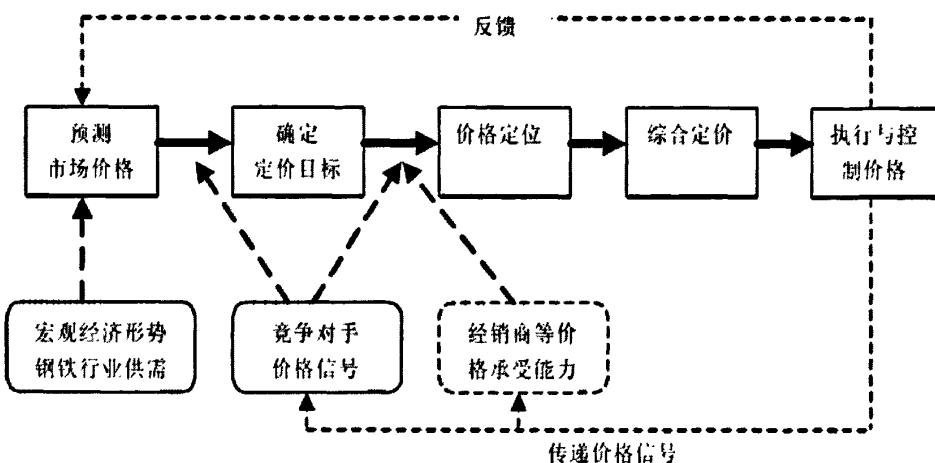


图 1-1 钢铁企业的定价流程<sup>[83]</sup>

### 1.2.5 国内外研究现状中存在的问题

目前，关于钢铁行业的定价问题，虽然已存在一些研究，但其共同点都是在定价时综合考虑影响钢铁价格的各种因素后的定价方案。这种方法虽然有一定

的好处，定价时考虑全面顾及了各种因素，但是如果影响因素中的某一种或几种因素有所变化，制定出的价格就无法及时进行调整。并且每种因素影响钢铁价格的重要程度不尽相同，所以这种定价方法还缺乏对某一种重要影响因素的重点分析。由于钢铁行业是近似的寡头垄断行业，所以有必要从寡头博弈的角度出发分析钢铁行业的价格行为。

近年来，寡头博弈模型不断完善，在经济管理中的应用越来越广泛，主要体现在利用古诺模型和伯川德模型来研究实际的经济问题，但这些模型都是基于线性需求函数的。经济学中有两类需求函数，一类是线性的，另一类是非线性的。以往的文献为了便于研究，都是选取线性需求函数，但实际生活中的价格与需求量往往并非具有简单的线性关系，而是呈现复杂的非线性关系。所以有必要提出基于非线性需求函数的寡头博弈模型来刻画现实的经济市场。

近几年，虽然有许多学者提出了一些多维混沌系统，并针对其动力学行为有所研究。但大多都是采用微分方程，提出了连续型非线性动力系统，而利用差分方程来表示多维离散型非线性动力系统还有待于进一步丰富。

目前，由于中国钢铁市场中的冷轧钢板市场以及管线钢市场属于典型的寡头垄断市场，所以相关文献对这两种市场的情况分析较多，但结合混沌理论来分别研究这两类市场在价格博弈过程中所体现出的复杂性态以及结论如何指导实际市场运行的研究还未涉及。

### 1.3 本文研究内容

本文以国内外已有的研究成果为基础，综合运用管理学理论，经济学理论和非线性动力学理论，来分析中国钢铁市场中的冷轧钢板市场以及管线钢市场价格竞争的复杂性。首先基于非线性需求函数建立伯川德模型，加入有限理性概念，建立寡头垄断价格重复博弈模型。借助混沌理论得到了博弈均衡点以及纳什均衡点的局部稳定性区域，利用具体数值来模拟系统的复杂动力学行为，诸如通向混沌的道路——倍周期分岔，混沌的特征：具有混沌吸引子以及对初值的敏感依赖性等。在此基础上还利用系统变量的状态反馈和参数调节的控制策略对每种混沌市场进行混沌控制，并利用倍周期分岔图进行了验证，取得了很好的控制效果，并联系实际提出了具体的控制策略，同时为我国政府对钢铁行业进行宏观调控提供了具体依据。本文详细内容如下：

第一章主要介绍了本文的研究背景、研究意义。详细阐述了国内外对博弈理论以及混沌理论在经济管理中的应用成果。此外，对钢铁行业定价问题的研究进行了综述，发现了其中存在的问题并指出了本领域的空白，从而为博弈论与混沌动力学的交叉合作研究提供了平台。进而引出了本文的研究内容和创新点。

第二章研究了寡头垄断市场的内涵以及测量指标，并针对以上研究反观我国钢铁市场，得出我国钢铁行业属于近似的寡头垄断市场，进而介绍了我国钢铁市场的概况。此外，对本文的理论基石——博弈理论、混沌理论、混沌控制的相关理论进行了介绍。

第三章对我国冷轧钢板市场作了简短介绍，得知这一市场主要是由宝钢、鞍钢垄断。根据古典伯川德理论以及有限理性的预期理论对这一市场的双寡头博弈过程建立了模型，在建模过程中，考虑到市场需求量与价格的变化并非具有简单的线性关系，因此需求函数选取了非线性函数，在这一基础上建立了二寡头价格博弈模型，使之更加接近现实，从而为后续研究的可靠性提供了保证。针对该系统，找出纳什均衡点，并分析其均衡点的稳定性，同时利用数值模拟研究了系统随参数变化的分岔现象、吸引子以及随时间变化的历程等混沌动力学特性。最后利用系统变量的状态反馈和参数调节的控制策略对系统进行混沌控制，并利用系统分岔图检验控制结果。

第四章研究了具有不同理性，不同结构需求函数的三寡头价格博弈及其复杂性。随着钢铁企业的蓬勃发展，我国冷轧钢板市场的竞争格局也悄然变化。首钢自2011年加入了冷轧钢板市场的竞争，未来我国冷轧钢板市场将是三寡头垄断。但是在首钢进入冷轧钢板市场竞争的初期，由于其与宝钢、鞍钢多年形成的品牌效应，技术水平，固定的下游客户群档次、容量，以及在产品质量等方面具有差距，致使竞争初期首钢与宝钢、鞍钢的需求关系结构会有所区别。此外，由于首钢进入冷轧板市场不久，三寡头企业掌握市场的信息量不一定对等，并且各自决策者对信息处理的能力也不尽相同。所以有必要考虑在市场信息不对称的情况下，理性层次不同的寡头采用不同价格策略的价格竞争。综合以上的分析，本章把不同结构需求函数和不同价格决策等因素引入到伯川德模型中，研究首钢进入冷轧钢板市场初期——三寡头价格竞争初期的博弈过程及其复杂动力学特性。

第五章介绍了具有相同结构需求函数的三寡头价格博弈及其复杂动力学研究。进入冷轧钢板市场后，随着首钢的日益发展，品牌的日益响亮，产品质量

的不断提升，其与宝钢、鞍钢的竞争也会渐渐势均力敌，首钢冷轧板的市场需求对于价格的敏感程度会呈现递减趋势，这样，首钢的需求函数结构也就会逐渐地与前两者趋同，即由竞争初期的线性需求函数向非线性关系转变，所以，随着首钢入市后的不断发展壮大，就会逐渐地与宝钢和鞍钢具有相同结构的需求函数。本章基于相同结构的非线性需求函数建立了三寡头价格动态博弈模型，并对模型进行了复杂性分析，研究其所产生的丰富的动力学特性。并利用系统变量的状态反馈和参数调节的控制策略对系统进行混沌控制，利用系统分岔图检验控制结果，并给出了实际市场中的控制策略。

第六章研究了我国管线钢市场的寡头博弈过程。我国管线钢市场主要是由宝钢、武钢二寡头垄断，由于这二者生产的管线钢是具有差别的，但这种差别可以用价钱来度量，基于此建立了非线性需求函数，并在此基础上建立了二寡头博弈模型，并对二维离散动力学系统的的复杂性进行了分析，采用数值模拟的方法演示了博弈主体之间的复杂博弈行为，最后利用系统变量的状态反馈和参数调节的控制策略对系统呈现出的混沌行为进行了控制，并且理论联系实际，给出了实际市场中的控制策略。最后本文又将模型推广到了三寡头博弈的情形，并对三寡头博弈进行展望。

第七章对全文工作进行总结，并对今后的研究前景进行展望。

#### 1.4 本文创新点

本文的主要创新性工作可以概括如下：

1、本文把博弈论和混沌动力学理论引入到钢铁市场定价问题的研究中来，并将博弈论与混沌理论相结合分别应用到具有典型寡头垄断特征的冷轧钢板市场以及管线钢市场中，做到了具体问题具体分析。考虑到不同种类型钢板市场竞争情形的区别，分别建立了相应的数学模型，并在模型中引入价格调整参数来模拟钢铁寡头的博弈过程，数值模拟结果给出了其价格演化过程。

2、在研究冷轧钢板市场中的寡头博弈过程时，本文基于伯川德博弈模型分别建立了二寡头和三寡头博弈模型，并对系统进行复杂性分析。考虑到钢铁价格与需求量并非具有简单的线性关系，所以与以往相关研究文献中的线性需求函数建模思路不尽相同，本文在非线性需求函数的基础上建立价格博弈模型，从而更加贴近现实，这使得模型的形式与以往有所区别。在理论上也丰富了离

散型非线性动力系统的形式。

3、在首钢进入冷轧钢板市场竞争的初期，由于各方面的原因，首钢与宝钢、鞍钢的竞争力相差较大，其与宝钢、鞍钢的需求关系结构就会有所区别。此外，三寡头企业掌握市场的信息量不一定对等，并且各自决策者对信息处理的能力也不尽相同。因此，考虑到这一实际背景，本文把不同结构需求函数和不同价格决策等因素引入到伯川德模型中，建立三寡头价格博弈模型，从而使模型更加贴近竞争初期的市场，以此为基础来研究竞争初期三寡头博弈过程的复杂性。

4、在研究管线钢市场的寡头博弈过程时，考虑到武钢、宝钢管线工程业绩以及长期积累的品牌价值方面具有差别，而这种差别是可以用价钱来度量的，基于此建立了非线性需求函数，并在此基础上建立了二寡头博弈模型，此模型是在结合现实意义的前提下建立的，有较好的理论和实际应用价值。最后对三寡头价格博弈进行展望，并建立了三寡头博弈模型。

## 第二章 中国钢铁市场概述及全文相关理论介绍

本章首先介绍了寡头垄断市场及其测量指标，在此基础上介绍了中国钢铁市场（一个近似的寡头垄断市场）的现状，最后介绍全文的理论基石：博弈理论以及混沌理论的研究内容及研究方法。

### 2.1 寡头垄断市场以及我国钢铁行业概述

#### 2.1.1 寡头垄断市场内涵及其测量指标

##### 1、寡头垄断市场的内涵

寡头垄断（oligopoly）市场是由势均力敌的少数企业控制一个行业的全部或大部分市场；各企业生产的产品可以是同质的，也可以有所区别；他们之间既相互依存同时又存在着激烈竞争；新进入者面临很高的资金、技术和行政壁垒。

寡头垄断市场的重要特征就是寡头之间具有相互关联性<sup>[80]</sup>。在寡头垄断市场中，企业往往生产一个行业绝大部分或全部的产品，因此，他们对市场具有很强的操控能力，每一个寡头的价格或产量的决策都会对整个市场产生重大影响。如果一个企业通过降低产品价格或其他的手段来扩大市场占有份额，就会导致其他寡头的产品市场需求量下降，这样必然会招致其对手采取相应措施收回市场，从而在寡头垄断市场中，每一个寡头的价格或产量的变动都会影响到其他寡头的利润。任何一个寡头制定战略决策，其结果自己无法掌控，而取决于竞争对手的反应<sup>[81]</sup>。所以，寡头之间的竞争行为是不确定的，某个寡头在进行产量或价格决策之前，都要预测其竞争对手的反应，并估算这种反应对自己利润的影响程度，寡头们之间是相互关联的。

##### 2、市场结构的测量指标

行业市场结构是指某一行业中企业在数量、市场份额、规模上的关系以及由此决定的行业内部竞争和价格形成的市场组织特征，它反映行业内生产者之间以及生产者与顾客之间的交易关系和地位，反映市场竞争与垄断程度<sup>[82]</sup>。一般认为，影响市场结构的 3 个主要因素分别是市场集中度，产品差异化程度和市场进入壁垒，其中市场集中度是测量市场结构的主要指标。

市场集中度是一个把握市场竞争状态的概念，也是测量市场竞争垄断程度的主要因素。它是从某个特定行业或市场中卖方或买方的企业数目以及企业相对市场规模的分布角度来把握市场垄断程度的<sup>[83]</sup>。一般来讲，市场集中度越高，行业中的某些企业操纵市场的能力就越强，该市场呈现的寡头垄断性就越高。测量市场集中度的指标有多种，其中绝对集中度是学者们用来测量企业市场集中度的最基本的指标，通常用规模处于行业前几位企业的生产销售资产或职工的累计数量占整个市场的生产销售资产或职工的累计数量的比重来表示<sup>[82]</sup>。贝恩教授是最早运用绝对集中度指标对市场的寡头垄断程度进行分类研究的，他用规模处于行业前 4 位企业的生产销售资产或职工的累计数量或数额占整个市场的生产销售资产或职工数量的比重来表示，记为 CR4（前四位企业市场占有率），以此将寡头垄断市场的竞争分成 5 个类型<sup>[84]</sup>即：CR4 大于 75% 的市场属于极高度寡头垄断市场，CR4 介于 65% 与 75% 之间的属于高集中度类型的寡头垄断，CR4 介于 35% 与 65% 之间的属于中集中度类型的寡头垄断，CR4 介于 30% 与 35% 之间的属于低集中度的寡头垄断市场，CR4 低于 30% 属于竞争型市场。

### 2.1.2 我国钢铁行业概述

#### 1、中国钢铁行业发展史

新中国成立后，中国钢铁工业的发展大致经历了三个阶段<sup>[85]</sup>。第一阶段，从 1949 年到 1960 年，钢铁业在“以钢为纲”和大炼钢铁运动的影响下获得了高速发展<sup>[85]</sup>，钢产量大幅攀升。第二阶段，从 1960 年到 1980 年，这一时期中国钢铁业的发展处于低迷状态，很多因素给钢铁业的发展带来了相当消极的影响，对钢铁产业极其不利，致使中国钢铁业停滞不前，陷入了严重的徘徊境地。第三阶段，20 世纪 80 年代以后，钢铁产业得以迅速发展，中国逐渐成为世界钢铁大国。年产钢量由世界排名第 26 位于 1996 年跃居世界首位，并且近年来年钢产量连续稳居世界第一，实现了钢铁业发展的飞跃。

最近的几十年来，中国钢铁产业蓬勃发展，中国已成为国际上的钢铁大国，但还不是钢铁强国。我国的钢铁产业中还存在着比较严重的制约钢铁产业进军世界强国的问题，一个问题是市场集中度偏低，另一个是产业结构不合理。前者表现为我国钢铁企业的竞争处于低利润的无序状态；而后者表现为我国钢铁产业高端产品供不应求与低端产品供过于求并存，并且各地区依然重复地进行低水平建设，形成了高耗能、高污染、低质量的情形，并且增加了落后产能。这两个问题的存在导致了我国钢铁企业既无法合理配置资源、实现规模经济，

同时又导致了企业的技术水平很难得到提升，制约了企业自身的技术创新能力。此外这两个问题的存在还致使我国在铁矿石谈判中一直受制于人，处于被动境地，从而限制了我国钢铁业的国际竞争力。下面就具体分析一下我国钢铁行业的市场结构以及产品结构的现状。

## 2、市场结构

基于以上的寡头垄断市场结构理论，我们这里就主要从市场集中度，产品差异化程度和市场进入壁垒这3个方面来分析中国钢铁行业的市场结构。

(1) 市场集中度 目前，我国钢铁行业的市场集中度还比较低。从国内钢铁行业发展历史来看，由于长期受计划经济体制影响以及区域经济发展不平衡等因素的影响，我国钢铁产业集中度一直不高<sup>[82]</sup>。随着经济体制的改革，在市场经济条件下，产业集中度不高的状况没有得到明显改变。一方面，近十余年来，某些地方政府为了推动本地的经济发展，往往不顾实际情况纷纷扶持组建一些中小型钢铁企业，这些企业往往规模有限，缺乏高水平的生产设备，先进的生产线以及高端的技术人才，产品多是技术含量不高的普通钢材，从而使得产品结构越发不合理，落后产能并没有淘汰，产业集中度没有得到提升。另一方面，钢铁企业要想退出市场，需要处理许多棘手的问题。企业一旦退出市场，大量的债务使得银行成为最大受害者，用于生产的技术设备专用性强，很难变现以收回投资，大量工人需要遣散下岗，造成社会的不稳定<sup>[86]</sup>。因此，许多效益不高的中小型钢铁企业在需要面对这样的退出壁垒的条件就不得不继续维持生产。虽然举步维艰，但是由于钢铁业存在一定利润空间，这些小企业会坚持运作，不断增加产能，提高产量，与大型钢铁企业展开一系列的竞争。从而妨碍了钢铁行业进一步做大做强，影响了钢铁行业的整体竞争力，造成了如今钢铁行业集中度低的现象<sup>[86]</sup>。

我国钢铁行业中规模处于市场前4位的企业分别是：宝钢、鞍钢、首钢、武钢，近几年的市场占有率，即CR4约为30%左右。将其与贝恩划分的寡头垄断市场类型的标准相对照，可以看出我国的钢铁行业还处于低集中度的寡头垄断状态。

(2) 产品差异化分析 目前，低技术含量的普通钢材几乎国内所有的钢铁企业都可以生产，然而一些高附加值的优质钢就只有为数不多的大企业才可以生产了。所以，国内钢铁企业的产品差异性主要体现在高附加值的优质钢的生

产以及质量等方面。而对于一些普通钢材，质量上的差异已微乎其微，差异性主要体现在企业的品牌效应上。所以，从行业整体来看，钢铁企业间的产品差异化程度不大。

(3) 进入壁垒分析 钢铁企业的新进入者会面临很高的资金壁垒，技术壁垒以及行政壁垒。首先建立钢铁企业需要巨大成本去购买土地，建设车间，需要大量资金采购原材料，同时还需要承担物流成本等，所以资金壁垒是阻挡新进入者的第一道障碍。此外，从原材料到钢铁成品的出炉需要经过一系列复杂的流程，每一道流程都需要配备相应的专业技术人员，尤其是高附加值的优质钢的生产，更需要企业具有较高的研发能力，所以技术壁垒是阻挡新进入者的第二道障碍。钢铁行业是受国家宏观调控政策影响较大的行业之一，近几年国家要求钢铁企业从粗放型向集约型转化。所以在国家宏观调控政策的要求下一批不适合工业发展趋势的钢铁企业就被迫关闭，一些缺乏竞争力的低水平重复建设项目也被严厉控制。因此钢铁行业的行政约束和管制不但不会消除反而会更高<sup>[87]</sup>。所以行政壁垒是阻挡新进入者的第三道障碍。

综合上述研究结果，我们可以看到，我国钢铁行业具有垄断行业的典型特征，处于低集中度的垄断状态，产品差异化程度不大，新进入者面临很高的资金，技术及行政壁垒，总体来说我国钢铁行业处于近似的寡头垄断状态。

### 3、产业结构

目前我国钢铁产业结构还存在以下两方面问题。首先，我国钢铁行业产品结构不合理，主要体现在高技术、高附加值的品种供不应求与低端普通钢品种供过于求并存。目前，国内对于一些高附加值的钢铁产品的生产还不能满足市场需求，只能依靠进口补充；而技术含量不高的粗钢则表现为产能过剩。如无缝管，线材、小型材、焊管和带钢等的自给率为 100%，产量可以完全满足国内需要；而硅钢片，彩涂板，冷轧不锈钢板、冷轧薄板、镀锌板、优质管线钢等品种的自给率还都小于 60%<sup>[87]</sup>，属于紧俏产品，每年仍要进口近 2000 万吨这些高技术含量的优质钢。近年来我国钢铁业产品结构升级进展缓慢，优质钢等高档次产品每年都需要部分进口。即使是一些国内钢铁企业自身能够生产的优质钢品种，与钢铁强国的同类产品相比，在产品质量、综合性能上也存在一定的差距<sup>[82]</sup>。

此外，我国钢铁行业低水平重复建设严重，钢铁企业的平均技术装备水平比

较低，技术改造和产业升级力度不大，整体竞争力较弱<sup>[88]</sup>。据冶金部门统计，我国钢铁企业中的落后工艺和装备还广泛存在，这些落后工艺的产能基本上超过了总生产能力的 30%<sup>[88]</sup>。而且这种低水平重复建设问题还尚未得到控制<sup>[89]</sup>。随着国际铁矿石价格的日益攀升，我国钢铁行业面临的成本也会随之日益提高，这种情况下，如果还重复地进行低水平建设就会造成投资过度增长<sup>[88]</sup>。这种投资不仅加剧了钢铁行业产业结构不合理的矛盾，而且阻碍了钢铁行业整体竞争力的提升。

#### 4、行业竞争格局

由于我国钢铁行业过低的生产集中度，致使各钢铁企业处于低利润无序地竞争状态，国内市场竟争惨烈。一方面，分散的钢铁企业加剧了产业结构不合理的矛盾，不利于资源有效配置，另一方面，分散的钢铁企业很难形成市场的合力，不利于企业竞争能力的提高。所以，我国钢铁企业要想做大做强，最佳路径就是企业间进行并购重组。

国家“十一五”发展规划纲要中明确提出要加快钢铁企业并购重组步伐，尽快提高行业生产集中度。2005 年 7 月 10 日，国务院出台的《钢铁产业发展政策》就明确指出要通过钢铁产业的并购重组，提高钢铁产业集中度，到 2010 年钢铁冶炼企业数量要大幅减少，国内排名前十位钢铁企业集团钢产量总和要占全国产量的 50%以上，2020 年要达到 70%以上<sup>[90]</sup>。2006 年 6 月 30 日，国家发改委等部门又联合发布了《关于钢铁工业控制总量淘汰落后加快结构调整的通知》，进一步指出要通过并购重组，扩大具有综合优势的骨干钢铁企业规模，淘汰落后产能，严格控制新增生产能力，提升行业市场集中度。

这些国家产业政策的先后出台，宣告了我国钢铁行业内部将迎来并购重组的时代。此后，我国钢铁企业间并购重组风起云涌。目前，通过并购重组已逐步形成了五大钢铁板块，形成了五个具有国际竞争力的大型钢铁企业集团，分别是：

- (1) 东北板块 2005 年鞍山钢铁和本溪钢铁联合重组为鞍本钢铁集团，成为垄断东北地区的一大钢铁集团。
- (2) 华北板块 河北是中国第一产钢大省，其中的唐钢、宣钢、承钢三大钢铁集团合并，成立河北新唐钢集团。2007 年 3 月 12 日新唐钢集团与首钢正式合作建设，在唐山曹妃甸新区建成了首钢京唐钢铁联合有限公司钢铁厂工程<sup>[86]</sup>。

(3) 中部板块 武钢与鄂钢进行了重组，之后又与广西柳钢联合重组。2007年8月1日，武钢又与昆明钢铁集团签署了并购重组协议，以此实现国内跨区域重组。

(4) 西部板块 攀枝花钢铁集团现已并购了成都无缝、长城钢厂、成都钢厂等企业。目前，该集团年产能近千万吨，并有意兼并重庆钢厂，成为我国西部的一大钢铁集团。

(5) 华东板块 宝钢和马钢签署了战略联盟框架协议，二者的合作成为华东地区钢铁业整合的一个突破。之后宝钢又与八一钢铁进行整合，并计划参股韶钢、兼并包钢。

国内钢铁企业的并购重组是大势所趋，这对于我国钢铁行业改善产品结构，加快技术创新，实现规模经济，进军世界钢铁强国，打造国际一流的钢铁企业具有重要意义。由此可见，今后我国钢铁行业的发展趋势主要是地方与地方钢铁集团的寡头竞争。

## 5、影响钢铁价格决策的主要因素

我国的钢铁价格从原来计划经济年代的国家统一定价到现在市场经济条件下的企业自主定价，在这样一个转变过程中，钢铁行业从行政性垄断逐渐演变成近似的寡头垄断，从而钢铁企业的价值观念也有了相应转变，于是价格观念快速提升，各钢铁企业都会不可避免地遇到产品定价问题。价格决策对于钢铁企业来说变成了影响企业竞争力的关键因素之一，所以钢铁企业之间的价格竞争非常激烈，这也决定了定价决策在钢铁企业中具有战略意义。影响钢铁价格的因素主要可以归纳为以下几个方面：

### (1) 国际经济大环境影响钢铁价格

首先，全球金融危机对中钢铁市场的价格会产生举足轻重的影响。世界金融危机会导致全球市场供需失衡，经济增长速度下滑，各领域对钢铁的需求受到影响，钢铁产品销量大幅下挫，进而影响钢铁价格。此外，世界金融危机对我国钢铁的出口还会产生很大影响，使得国内钢铁供大于求，钢铁产品滞销，从而对钢铁价格产生影响。中国钢铁价格还会受到国际钢铁价格的影响，一般而言，国际钢铁价格走势与国内钢铁价格走势基本一致，所以中国钢铁价格在一定程度上受国际钢铁价格的影响。

## (2) 国家宏观经济形势影响钢铁价格

### 1) 经济水平、供需状况

一般来说，钢铁行业的发展与国家经济的发展是一致的。钢铁行业是基础原材料行业，是国家的支柱产业，其产品主要用于交通运输、机械制造、基础建设、石油、金属加工等行业，因此钢铁行业下游这些相关产业的市场繁荣状况和生产成本的变化会对钢铁的需求产生变化，引起钢铁产品供求关系的变化，从而导致钢铁价格的变化。所以说经济增长速度的快慢直接影响社会对钢铁量的消费需求，从而影响钢铁产品的价格。当国民经济处于快速增长时期，钢铁产品的市场需求旺盛，价格上涨；当国民经济进入调整时期，钢铁产品的价格也将随之下跌。

### 2) 国家宏观调控政策

国家宏观调控政策对钢铁价格会产生举足轻重的影响。钢铁是国家的重要工业基础原料，是房地产、汽车等行业的重要原材料产品，所以国家宏观政策对这些钢铁下游产业的调控趋势，也会影响到钢铁的需求，进而影响钢铁价格。国家政策如果拉动需求，则钢价就会上升，反之，如果限制其下游行业的过度发展，钢价就会下降。此外，国家对于钢铁行业本身的宏观调控也是直接影响钢铁价格的重要因素。如果在一段时间内，钢价大幅上扬，国家就会采取措施，制止价格的过度增长，以保持市场的稳定。

## (3) 国内钢铁产业环境影响钢铁价格

### 1) 生产成本以及技术水平

铁矿石是钢铁工业的重要原料，是钢铁产品的主要生产成本。因此，铁矿石价格的变化是影响钢铁价格的关键因素。铁矿石价格的上涨，自然会带动钢铁产品价格的上调。同时，钢铁行业生产经营过程中需要耗用水、电、煤气等能源，此外，钢铁产品在运输过程中也需要运输费用，这些能源以及运输费都构成了钢铁行业的经营成本。如果这些经营成本价格变动，将会直接影响到钢铁产品的生产成本，进而影响钢铁价格。

此外，技术水平也是影响钢铁产品价格的重要因素之一。一方面，生产工艺的改进，能够缩短生产流程，节约能源的使用，节省原材料的消耗，从而能够

降低生产，这样钢铁价格就会下降；另一方面，技术进步能够使钢铁行业生产高附加值高技术含量的优质钢材，优质钢材性能高，它的大量使用能够减少钢材的使用总量，从而形成钢产量下降、但产值上升的现象，这种现象也会对钢铁的价格产生一定影响。

### 2) 有关钢材产品的市场信息

对于各种钢铁品种市场供需状况等信息的掌控有利于钢铁企业进行价格决策。此外，各地区钢材交易中心发布的一些关于各家企业的各类钢材的报价，以及本市场内每日的钢材出入库数据，这些信息在一定程度上反映了该地区钢铁市场供求关系的情况以及各企业的市场心态<sup>[91]</sup>。各钢铁企业可以对这些数据进行挖掘与分析，进而能够从中获得本企业进行价格决策所需要的有价值信息，因此，这些有关钢材产品的市场信息的获得能够在一定程度上影响企业进行价格决策。

### 3) 钢铁企业间的竞争压力

我国是一个钢铁大国，但不是一个钢铁强国，还属于低集中度的寡头垄断竞争状态。产品价格依然是一个很敏感的问题，任何一个大型钢铁企业在市场上都有着相对举足轻重的地位，对产品价格都具有一定的影响力，主动降价或主动提价都不可能对本企业完全有利<sup>[91]</sup>。此外，每一个钢铁企业有着不同的市场份额，不同的市场影响力，对各种信息掌握的速度以及调整价格的反应能力也各不相同。所以，钢铁企业在进行价格决策时，必须考虑到竞争对手的反应，进行均衡定价。基于此，本文建立了二寡头及三寡头价格博弈建模，在模型中考虑了各竞争对手价格调整的速度及力度因素。

## 2.2 博弈理论研究概述

1944 年由美国学者诺依曼 (von Neumann) 和摩尔根斯坦(Morgenstern)在合作的《博弈论和经济行为》中首次提出了博弈论 (game theory) 的概念，它是用来分析战略行为的一种方法。所谓战略行为是指考虑到预期的其他人的行为并相互承认彼此之间的关联性之后再采取行动的行为方式<sup>[80]</sup>。20 世纪 50 年代，合作博弈有了飞速发展，纳什(1928, John F.Nash, Jr.)和夏普里(Shapley)分别于 1950 年和 1953 年提出了“讨价还价”模型<sup>[92]</sup>。吉利斯(Gillies)和夏普里于 1953 年提出了关于合作博弈中的“核”的概念<sup>[93]</sup>。此后，纳什在 1950 年和 1951 年发表了

两篇关于非合作博弈的文章，分别是《 $n$ 人博弈中的均衡点》和《非合作博弈》<sup>[94,95]</sup>，这两篇文章对于非合作博弈的发展意义重大，而且其中首次定义了“纳什均衡”(Nash Equilibrium)的概念，自此非合作博弈论开始创立。塔克(Tucker)于1950年定义了“囚徒困境”(prisoners dilemma)。纳什与塔克两个人的著作基本上是现代非合作博弈论的理论基石<sup>[93]</sup>。此后，泽尔腾(1965)提出了“精炼纳什均衡”的概念；海萨尼(Harsanyi,J)则把不完全信息引入到博弈论的研究，这两位学者是20世纪60年代后期博弈论的杰出人物。到20世纪80年代，博弈论有了进一步的发展。科瑞普斯(Kreps)和威尔逊(Wilson)在1982年合作发表了关于动态不完全信息博弈的重要文章。伴随着博弈论的发展，其应用领域也不断扩大，目前，博弈论被广泛应用于军事、外交、政治、经济等领域的研究中，尤其在经济领域中的应用，被认为是微观经济学的重要发展。

### 2.2.1 博弈论的基本概念

博弈论又称为对策论，是研究决策主体的行为直接发生相互作用时候的决策以及这种决策的均衡问题，也就是说，博弈论研究的是当一个主体（一个人或一个企业）的策略选择受到其他人、其他企业选择的影响，同时他自身的策略反过来也会影响到其他人、其他企业的选择时的决策问题和均衡问题<sup>[93]</sup>。博弈是一个动态的过程。博弈论（Game Theory）对人的基本假定是：人是理性的（Rational），理性的人是指有一个很好定义的偏好，在给定的约束条件下使自己的偏好最大化<sup>[93]</sup>。博弈论研究的是理性的人之间是如何进行策略选择的。

博弈论的基本概念包括：参与人、行动、信息、战略、支付函数、结果、均衡<sup>[93]</sup>，如表2-1所示。

表2-1 博弈论的基本概念

博弈论的基本概念	解 释
参 与 人	指博弈中的决策主体，可以是个人或者团体，他们的目标是最大化自己的效用，并为此而选择行动
行 动	指参与人的决策变量
信 息	指的是参与人所具有的与博弈有关的，尤其是与其他参与人特征和行动有关的一些知识

战 略	是每个参与者选择行动的规则，它告诉参与人在什么时候选择什么行动（如“人不犯我，我不犯人；人若犯我，我必犯人”就是一种战略，这里的“犯”与“不犯”是两种不同的行动，战略规定了什么时候选择“犯”，什么时候选择“不犯”）
支付函数	是参与人从博弈中获得的效用水平，是所有参与人战略或行动的函数。每个参与人真正在意的东西就是支付函数
结 果	是个集合，这个集合是博弈参与者所感兴趣的要素构成的
均 衡	是每一个参与人的最优战略或行动的组合

### 2.2.2 博弈的类型

博弈论按照参与人的行为相互作用时，他们能否达成一个具有约束力的协议划分为合作博弈 (cooperative game) 和非合作博弈(non-cooperative game)，如果能达成协议，就是合作博弈，否则就是非合作博弈。纳什、泽尔腾和海萨尼是非合作博弈方面的代表。现代经济学家所谈及的博弈，一般均指非合作博弈。

非合作博弈可以从两个角度进行划分，第一个是从参与人行动的先后顺序的角度将博弈论划分为静态博弈 (static game) 和动态博弈(dynamic game)。静态博弈指的是博弈中各参与人同时选择战略行动或虽非同时行动但后行动者并不知道前面行动者所采取的具体战略，动态博弈指的是参与人的行动有先后顺序，且后行动者知道先行动者所选择的战略行动<sup>[93]</sup>。第二个角度是从参与人对所有其他参与人（对手）的特征、战略行动以及支付函数的知识掌握程度划分为完全信息博弈和不完全信息博弈。完全信息博弈指的是每一个参与人对所有其他参与人的特征、战略行动以及支付函数有准确的了解；否则，就是不完全信息博弈<sup>[93]</sup>。通过以上的划分，我们实际上可以得到四种类型的非合作博弈，分别是：完全信息静态博弈，不完全信息静态博弈，完全信息动态博弈，不完全信息动态博弈<sup>[93]</sup>，这四种博弈也就相应地产生了四种均衡，分别是纳什均衡 (Nash equilibrium)，贝叶斯纳什均衡(Bayesian Nash equilibrium)，子博弈精炼纳什均衡 (subgame perfect Nash equilibrium)，精炼贝叶斯纳什均衡(perfect Bayesian Nash equilibrium)<sup>[93]</sup>，如表 2-2。

表 2-2 非合作博弈的划分

按信息分 按行动顺序分	完全信息	不完全信息
静 态	完全信息静态博弈 纳什均衡 代表人物：纳什 (1950, 1951)	不完全信息静态博弈 贝叶斯纳什均衡 代表人物：海萨尼 (1967-1968)
动 态	完全信息动态博弈 子博弈精炼纳什均衡 代表人物：泽尔腾(1965)	不完全信息动态博弈 精炼贝叶斯纳什均衡 代表人物：泽尔腾 (1975), 科瑞普斯和威 尔逊(1982), 弗登伯格 和泰勒尔(1991)

### 2.2.3 博弈均衡的基本概念

西方经济学为了说明博弈结果达到平衡状态（相关量处于稳定值）提出了博弈均衡的概念。博弈均衡是指博弈中的所有参与者都不想改变自己策略的一种相对静止的状态<sup>[80]</sup>。博弈均衡主要有以下几种：

#### 1、纳什均衡

纳什均衡是指相互作用的经济主体，每一方都在另一方所选择的战略为既定时，选择自己的最优战略。一旦双方达到了这种纳什均衡，都不会再有做出其他决策的冲动或激励<sup>[80]</sup>。

表 2-3 纳什均衡

丙		丁	
甲	11	14	7
乙	10	12	13

如表 2-3 所示, A 有两个策略甲和乙, B 有两个策略丙和丁, 所以 A 和 B 两人共有四组策略组合分别是 (甲、丙)、(乙、丁)、(甲、丁)、(乙、丙)。对 A 来说, 当 B 选择策略丙时, A 会选择策略甲。因为 A 选择甲时, 效用是 11, 大于选择策略乙时的效用 10; 当 B 选择策略丁时, A 会选择策略乙。因为 A 选择乙时的效用是 12, 大于选择甲时的效用 7。可见, A 的策略随着 B 策略的变化而变化。反观 B 的策略, 当 A 选择策略甲时, B 会选择策略丙, 因为 B 选择丙时, 效用是 14, 大于选择策略丁时的效用 9; 当 A 选择策略乙时, B 会选择策略丁。因为 B 选择策略丁时的效用是 13, 大于选择丙时的效用 12。可见, B 的策略随着 A 策略的变化而变化。尽管如此, 在该博弈过程中, 对于策略组合 (甲、丙) 来说, 只要 A 选择了甲, 那么 B 就一定会选择丙; 同样, 只要 B 选择了丙, A 就一定会选择甲。这样, 策略组合 (甲、丙) 就达到了纳什均衡, 此外, 策略组合 (乙、丁) 也是纳什均衡。在策略组合 (甲,丁) 中, A 选择甲策略时, B 就会改变策略, 选择策略丙而不选择丁, 所以 (甲、丁) 策略组合不是纳什均衡。同样, 策略组合 (乙、丙) 也不是纳什均衡。纳什均衡有两种特殊情况, 一种是占优策略均衡, 另一种是重复剔除的占优均衡。

占优策略 (dominant strategy) 就是无论其他参与人采取什么策略, 某参与者都会选择唯一的策略, 这一策略会使自己在博弈中所得的效用最大化, 即这是一个最优策略。也就是说, 如果某一个参与者选择占优策略, 那么在其他参与者选择任何策略的情况下, 该参与者都确信自己所选择的这个策略都是最优的选择。一般来说, 由博弈中的所有参与者的占优策略组合所构成的均衡就是占优策略均衡<sup>[89]</sup>。下面我们用博弈论中经典的博弈案例——塔克给出的“囚徒困境” (Prisoners' Dilemma) 来解释占优策略均衡。有 A、B 两个小偷, 他们被怀疑犯罪被警方逮捕, 但是罪证不足, 警方将两人分别置于不同的房间内进行审讯, 对于二者的量刑原则取决于他们对犯罪事实的供认, 警方给出的原则是: 如果一方坦白了, 而另一方不坦白, 则坦白从宽, 抗拒从严, 坦白者判刑 1 年, 不交待的判 8 年; 如果两人都交代, 则两人各判 4 年; 如果两人都不交待, 则由于证据不足, 只能对两人各判 2 年。现在两囚犯都各有坦白, 不坦白两种策略, 这种情况下, 他们如何选择策略以使自己的效用最大化? 先看 A: 如果 B 坦白了, A 也坦白, A 将被判 4 年, 不坦白, 将被判 8 年, 于是, 在 B 坦白的前提下, A 也会坦白。如果 B 不坦白, A 坦白, 则 A 被判 1 年, 不坦白, 会被判 2 年。所以, 在 B 不坦白的前提下, A 仍会坦白。也就是说, 不管 B 是否坦白, A 囚犯都有一个占优策略——坦白。再看 B, 如果 A 坦白了, B 也坦白, B 将被判 4 年, 不坦白, 将被判 8 年, 于是, 在 A 坦白的前提下, B 也会坦白。

如果 A 不坦白, B 坦白, 则 B 被判 1 年, 不坦白, 会被判 2 年。所以, 在 A 不坦白的前提下, B 仍会坦白。也就是说, 不管 A 是否坦白, B 囚犯都有一个占优策略——坦白。因此, (坦白, 坦白) 是囚徒困境博弈中的一个占优战略均衡。

重复剔除的占优均衡是先找出某个参与人的劣战略, 然后将这个劣战略剔除掉, 再重新构造一个不包含这个劣战略的新博弈; 接下来再剔除这个新博弈中某个参与人的劣战略; 继续下去, 直到只剩下唯一一个战略组合为止, 这个唯一剩下的战略组合就成为重复剔除的占优均衡(iterated dominant equilibrium)<sup>[93]</sup>。我们用博弈论中经典的博弈案例——智猪博弈来解释重复剔除占优策略均衡。假设猪圈里有一头大猪、一头小猪。猪圈的一头有猪食槽, 另一头安装着控制猪食供应的按钮, 按一下按钮会有 10 个单位的猪食进槽, 但首先要付出 2 个单位的成本。若大猪先到, 大猪吃到 9 个单位的食量, 小猪吃到 1 各单位; 同时到槽边, 大猪吃到 7 个单位, 小猪吃到 3 个单位; 小猪先到槽边, 大猪吃到 6 个单位, 小猪吃到 4 个单位的食量。两头猪都有两种战略: “按”或“等待”。他们如何选择策略才能使自己的效用最大化? 先看小猪, 小猪的最优战略是选择“等待”, 因为无论大猪选择“按”抑或是“等待”, 小猪选择“等待”所获得的效用总是大于“按”。这样, 如果大猪会预测到小猪会选择“等待”, 大猪的最优策略只能是“按”。所以, 战略组合(按, 等待)就是此博弈中的一个纳什均衡, 此外, 在这个博弈中, 小猪的劣战略是“按”, 在剔除掉这个劣战略后的新博弈中, 小猪只剩下唯一的战略——“等待”, 而对于大猪来讲, 显然“等待”已是大猪在这个新博弈中的劣战略, 剔除掉这个劣战略后, 剩下唯一的战略组合(按, 等待)就是一个重复剔除的占优均衡。

## 2、子博弈精炼纳什均衡

子博弈就是在博弈过程中把其中的一个行动又作为一个新博弈的开始至博弈结束, 这个过程又构成了一个博弈, 称为“子博弈”。子博弈精炼纳什均衡就是参与人的策略在每一个子博弈中都构成了纳什均衡, 也就是组成精炼纳什均衡的策略必须在每一个子博弈中都是最优的<sup>[93]</sup>。子博弈精炼纳什均衡肯定是纳什均衡, 但反之不然。

我们用博弈论中经典的博弈案例——市场进入阻挠来解释子博弈精炼纳什均衡。假设一个企业独自垄断市场多年, 另有一个企业想进入该市场, 前者简称为在位者, 后者简称为进入者。在位者想保持自己的垄断地位, 于是就要阻挠进入者的进入。假设进入前在位者的垄断利润为 200, 进入后两寡头利润各为

50，进入者进入成本为 10。此时双方都有两种策略选择，在位者的策略分别是“默许”还有“斗争”，进入者的策略分别是“进入”还有“不进入”。他们将如何进行策略选择呢？如果进入者选择“进入”，在位者的最优策略就是“默许”；如果在位者选择“默许”，进入者的最优策略就是“进入”，所以（进入，默许）是一个纳什均衡。如果进入者选择“不进入”，那么对在位者来说“默许”或“斗争”没有区别，但只有在位者选择“斗争”时，“不进入”才是进入者的最优选择，所以（不进入，斗争）也是一个纳什均衡。但如果在给定进入者已经进入的情况下，在位者的“斗争”就不是最优策略了，所以（不进入，斗争）不是一个精炼纳什均衡，剔除掉这个均衡，此例中剩下的唯一子博弈精炼纳什均衡就是（进入，默许）。

### 3、贝叶斯纳什均衡

贝叶斯纳什均衡是指在静态不完全信息博弈中，参与人同时行动，没有机会观察到对手的策略选择，就是说，在给定自己的类型和别人类型概率分布的情况下，每个参与人的期望效用达到了最大化<sup>[93]</sup>。

在市场进入阻挠这个例子中，进入者并不完全了解在位者的信息，即是一个不完全信息博弈。假定在位者有两类成本（高或低），也就是在位者有两种类型（高成本和低成本），进入者只有一种类型，这样，进入者具有不完全信息而在位者具有完全信息。假定进入者选择“进入”，在位者选择的策略依赖于其成本的高低，如果是高成本，就“默许”，低成本，就“斗争”。虽然进入者不知道在位者的类型，但无非就是以下情况：高成本的可能性如果设为  $x$ ，低成本的可能性就为  $1-x$ ，那么，如果进入者选择“进入”获得的期望利润就是  $40x+(-10)(1-x)$ ，选择“不进入”获得的期望利润为 0。计算表明，当  $x$  大于 0.2 时，选择“进入”得到的期望利润大于选择“不进入”得到的期望利润，从而，“进入”是最优策略，在  $x$  大于 0.2 的前提下，贝叶斯纳什均衡就是进入者选择“进入”，在位者（高成本）选择“默许”，在位者（低成本）选择“斗争”。

### 4、精炼贝叶斯均衡

精炼贝叶斯均衡是指每个参与人在给定有关其他参与人类型信念的情况下，他的战略选择是最优的，每个参与人获得的有关他人的信念都是在假定其他参与人选择的是均衡战略的行为中获得的<sup>[93]</sup>。

我们可以用成语“黔驴技穷”来解释精炼贝叶斯均衡。老虎刚见到毛驴时，很新鲜，不知其为何物，更不知晓其本领，在获得了这个“信息”的情况下，老虎选择了一种最优策略——躲起来偷偷地观察毛驴。过了一段时间，老虎逐渐接近毛驴，想了解毛驴的真实本领。有一次，毛驴大叫一声，把老虎吓了一跳，于是老虎又采取了一种最优策略——赶快躲了起来继续偷偷观察。又过了一段时间，老虎发现毛驴没有什么特别的本领，但对毛驴的真实情况还没有完全了解，所以仍然不敢进攻。接下来，老虎又采取了一种最优策略——经常向毛驴进行挑衅，以此来了解毛驴的真实本领。有一次，毛驴无法忍受老虎的挑衅，用蹄子踢了它一脚。这一踢，使得毛驴的本领全部施展出来，从而老虎对毛驴的情况有了完全了解，认为毛驴无非就这点本领，于是又采取了一种最优策略——马上扑过去将其吃掉。这个故事中的老虎通过观察毛驴的举动逐渐修正自己前面获得的有关毛驴的信息，并且在每种给定的信息下，它选择的策略都是最优的，这是一个精炼贝叶斯均衡，这个均衡的关键在于老虎根据毛驴的行为逐步修正自己对于毛驴的看法，并由此选择自己的最优行动。

#### 2.2.4 经典博弈模型

利用博弈论来分析经济问题主要体现在应用各种博弈模型来研究实际市场中寡头之间的竞争行为。这些博弈模型中以产量作为决策变量，研究生产者之间的产量博弈行为的包括：古诺模型（A. A. Cournot，法国经济学家）、斯坦克贝模型（Heinrich Von staekelbeg 德国经济学家）和张伯伦模型（Edward Chamberlin，美国经济学家）等等，这些模型的共同点都是以产量作为决策变量，所利用的数学思想方法也都比较类似，区别只是体现在提出模型时的寡头市场的假设条件上。这些模型一经提出，就成为了分析寡头垄断市场产量决策的有力工具。此外，还有著名的伯川德模型，它是 1883 年由法国经济学家约瑟夫·伯特兰德（Joseph Bertrand）提出的，该模型与以上几种模型的区别在于 Bertrand 模型是以价格作为决策变量来研究寡头之间博弈行为的模型，而实际中寡头之间的竞争大多是价格竞争，所以该模型更为实用。此外，豪泰林（Hotelling）基于产品是有差异的这一前提条件下提出了豪泰林价格竞争模型，但这种差异只是体现在空间中，即路途远近的差异，产品的物质性能是相同的。由于不同地理位置的消费者购买同一企业的产品需要支付不同的交通费用，所以实际上消费者关心的并非只有商品价格，而是商品价格和交通成本之和。在这一前提下，豪泰林提出了价格竞争模型。所以，豪泰林（Hotelling）价格竞争模型是从几何的角度来分析寡头之间博弈行为的，豪泰林是利用几何模型分析博弈问题的开

先河人物。自从 20 世纪 70 年代以后，经济学家开始强调个人理性，他们发现信息在经济运行中的重要性，随后时序问题的重要性也日益凸显，从此信息与时序这两个问题备受经济学家关注。1982 年克瑞普斯、米尔格罗姆 (Milgrom)、罗伯茨(Roberts)和威尔逊提出的关于信誉(reputation)问题的“四人帮模型”对于上述两个问题的解决助了一臂之力<sup>[93]</sup>。至今为止这些经典的博弈模型还都是分析垄断市场中的寡头竞争的有力工具，目前还都被广为引用。我们这里重点介绍古诺模型 (Cournot model) 和伯川德 (Bertrand) 模型。

### 1、古诺模型<sup>[96]</sup>

古诺模型 (Cournot model) 是 1838 年法国经济学家古诺提出的寡头博弈模型，此模型是在假定企业不了解竞争对手反应函数的前提下提出的，即认为竞争对手不会对他的决策做出反应。

古诺模型以产量作为决策变量来建模。假设某寡头市场只有两个厂商，他们面对的消费者市场是完全竞争的，其目标是利润最大化。假设他们各自的成本都为 0。需求函数相同，都是：

$$p = z - (q_1 + q_2)$$

两企业的利润函数分别为：

$$\begin{aligned}\pi_1 &= p \times q_1 = z \times q_1 - q_1 \times q_2 - q_1^2 \\ \pi_2 &= p \times q_2 = z \times q_2 - q_1 \times q_2 - q_2^2\end{aligned}$$

两企业利润最大时，各自的边际利润为 0，即

$$\begin{aligned}\frac{\partial \pi_1}{\partial q_1} &= z - q_2 - 2q_1 = 0, \\ \frac{\partial \pi_2}{\partial q_2} &= z - q_1 - 2q_2 = 0\end{aligned}$$

从而可以得到两个厂商的反应函数，即

$$\begin{aligned}q_1 &= \frac{1}{2}(z - q_2) \\ q_2 &= \frac{1}{2}(z - q_1)\end{aligned}$$

所谓反应函数是反映一个企业的行为受另一个企业行为所决定的函数。根据两企业的反应函数，可以得到他们的均衡产量分别是：

$$q_1 = q_2 = \frac{1}{3}z$$

将其代入需求函数，得到其均衡价格是：

$$p = \frac{1}{3}z$$

后人称两个反应函数的交点即 ( $q_1 = \frac{1}{3}z, q_2 = \frac{1}{3}z$ ) 为古诺均衡，这个概念至今还被广为使用。古诺模型一经提出，便成为研究现实生活中寡头之间产量博弈的重要基础。后来人们对古诺模型进行了不断的改进，提出了许多更加符合现实的模型。

## 2、伯川德模型

伯川德模型 (Bertrand model) 是 1883 年由法国经济学家约瑟夫·伯特兰德 (Joseph Bertrand) 提出的，又称伯特兰德模型。古诺模型、斯坦克贝模型以及张伯伦模型都是以产量作为决策变量来研究寡头之间的竞争，而 Bertrand 模型是以价格作为决策变量来研究寡头之间竞争行为的模型。伯川德模型的假设为：各寡头通过选择价格进行竞争；他们生产同质的产品，并且产品之间可以完全相互替代；寡头厂商之间没有任何的联盟行为。

假设某市场上只有两个寡头，根据模型的假定条件，两寡头的产品是可以完全相互替代的，所以消费者就选择价格较低的同类产品。这样一来，价格竞争——竞相削价，就是两个企业为了争取更多的市场份额所采用的唯一武器。当价格下降到等于各自的边际成本时，价格达到均衡状态，即伯川德均衡，这种结果对于厂商来说是不希望发生的——无利可图。之所以会产生这种结果，原因在于模型的假设条件。模型假设的是各寡头的产品可以完全相互替代，所以价格就是选择产品的唯一标准。假如企业之间的产品具有差异性，那么选择哪种产品就不仅仅取决于价格了，从而直接的价格竞争就可以避免了。有学者为了避免这种结果，修正了模型的假设条件，引入了产品差异性。

假设在一个双寡头垄断市场中，两厂商的产品是同质的，二者之间可以相互替代，但也存在一定的差异性。逆需求函数为

$$\begin{aligned} q_1 &= l_1 - m_1 p_1 + n_1 p_2 \\ q_2 &= l_2 - m_2 p_2 + n_2 p_1 \end{aligned} \tag{2-11}$$

其中  $l_1, l_2, m_1, m_2, n_1, n_2 > 0$ 。假设两个厂商的固定成本分别是  $e_i$ ，边际成本分别为常数  $c_i$  ( $i, j = 1, 2$ )，则厂商  $i$  的利润是

$$\pi_i = p_i q_i - e_i - c_i q_i \tag{2-12}$$

厂商利润最大时，其边际利润为零，即  $\frac{\partial \pi_i}{\partial p_i} = 0$ ，所以两场商的反应函数为

$$p_i = M_i + N_i p_j \quad (2-13)$$

其中  $M_i > 0$ ,  $N_i > 0$ .

伯川德模型以价格作为决策变量具有现实意义，在产品存在差异性的前提下，上述伯川德模型就成为分析寡头垄断市场厂商之间价格竞争行为的有力工具。

### 2.3 混沌理论研究概述

法国学者庞加莱（Poincare）在 1903 年出版的《科学与方法》一书中明确指出，在研究三体问题时，系统在某类不稳定平衡点附近无法求出精确解，所以三体问题的解在一定范围内是随机的，这实际上是一种保守系统的混沌。庞加莱是世界上第一位预见到混沌现象的人<sup>[97]</sup>。50-60 年代，Arnold 与 Moser 先后证明了前苏联数学家 Kolmogorov 提出的“近似可积的保守系统具有非常复杂的相轨线结构”的猜想，后人称这一理论为 KAM 理论<sup>[98,99]</sup>；随后 Arnorld 又进一步研究了 Arnorld 发散<sup>[100]</sup>。1963 年，美国科学家洛伦兹（Lorenz）<sup>[98]</sup>研究的由气象预报抽象出的伯纳德对流问题时第一次在确定性动力系统中发现了非确定性现象，成为混沌研究的里程碑。Rossler 等也得到了确定性动力系统中的非确定性结果<sup>[101]</sup>，Ruelle<sup>[102,103]</sup>等对这类非确定性运动的特性进行了研究。1964 年法国天文学家赫农（Henon）<sup>[104]</sup>提出著名的赫农映射，并发现系统存在混沌吸引子。1971 年，法国物理学家茹勒（Ruelle）和荷兰数学家塔肯斯（Takens）在《论湍流的本质》一文中正式提出“混沌吸引子概念”，这一概念一经提出，被广泛应用于耗散系统的混沌研究中<sup>[97]</sup>。1975 年，美籍华人学者李天岩和美国数学家约克（Yorke）在美国《数学月刊》上发表了题为《周期 3 意味着混沌》的著名文章，正式从数学角度提出了混沌(Chaos)的概念<sup>[105]</sup>。1976 年，美国数学生态学家梅（May）在《自然》（Nature）杂志上<sup>[106]</sup>发表了题为《具有极复杂的动力学的简单数学模型》的文章，并以著名的逻辑斯谛（Logistic）映射为例，展示了这一简单的数学模型具有极其复杂的动力学行为。在此基础上，费根巴姆<sup>[107]</sup>（Feigenbaum）于 1978 年发现了从倍周期分岔通向混沌道路的两个普适常数，从而进一步丰富了混沌理论。80 年代以后，对混沌运动的研究成为非线性研究领域的热点。1989 年 Devaney<sup>[108]</sup>从拓扑的角度提出了关于混沌的定义，至今影响还较为广泛。

著名的物理学家 Joseph Ford<sup>[109]</sup>认为混沌是二十世纪物理学第三次重大的革命，他说：“相对论消除了关于绝对空间与时间的幻想，量子力学消除了关于可控测量过程的牛顿式的梦，而混沌则彻底消除了拉普拉斯关于决定论是可预测性的幻想”。现在，混沌与其他学科相互融合，共同发展，其应用领域不断扩大，除了在物理学中，它还在数学、生物学、信息科学、气象学、天文学、地质学、经济学等学科中都得到了广泛的运用，同时也促进了这些学科的发展。

### 2.3.1 混沌的定义

关于混沌的定义，至今还没有统一，目前影响力较大的是 Li-Yorke(李天岩-约克)的混沌定义<sup>[105]</sup>和 Devaney 的混沌定义<sup>[108]</sup>。我们这里重点介绍前者。

**Li-Yorke 定理<sup>[105]</sup>:** 设  $f(x)$  是  $[a,b]$  上的连续自映射，若  $f(x)$  有 3 周期点，则对任何正整数  $n$ ,  $f(x)$  有  $n$  周期点。

**Li-Yorke 的混沌定义<sup>[10]</sup> :**

$[a, b]$  上的连续自映射  $f$  称为是混沌的，若其满足：

1、 $f$  的周期点的周期无上界。

2、存在不可数子集合  $S=[a, b]$ ,  $S$  中无周期点，且满足

(1) 对任意  $x, y \in S$ , 有  $\liminf_{n \rightarrow \infty} |f^n(x) - f^n(y)| = 0$ ;

(2) 对任意  $x, y \in S$ ,  $x \neq y$ , 有  $\limsup_{n \rightarrow \infty} |f^n(x) - f^n(y)| > 0$ ;

(3) 对任意  $x \in S$  和  $f$  的任意周期点  $y$ , 有  $\limsup_{n \rightarrow \infty} |f^n(x) - f^n(y)| > 0$ 。

在 Li-Yorke 的混沌定义中，前两个极限表明子集中的点  $x$  和  $y$  可以相当分散又可以相当集中，第三个极限表明子集不会趋近于任意周期点<sup>[97,110]</sup>。对  $[a,b]$  上的连续自映射  $f$ ，如果存在一个周期为 3 的周期点，就一定存在周期为任何正整数的周期点，一定会出现混沌现象，即“周期 3 意味着混沌”<sup>[97,110]</sup>。

### 2.3.2 混沌的特征

混沌现象通常具有以下特征：有界性和遍历性、内在随机性、对初值的敏感依赖性、具有奇怪吸引子、具有正的 Lyapunov 指数等特性、普适性、标度性、分维性、以及连续功率谱等<sup>[111-117]</sup>。这里我们重点介绍与下文研究相关的几种混沌特征。

### 1、有界性和遍历性

混沌是有界的，它的轨线始终局限于混沌吸引域（一个确定的区域）。无论混沌系统内部怎样不稳定，其轨线始终不会冲出混沌吸引域，从整体上讲混沌系统是有界并且稳定的。此外，混沌轨道在有限的时间内能按自身规律不重复地经过混沌吸引域内的每一个状态点，混沌运动具有遍历性。

### 2、内在随机性

确定性非线性系统在混沌区的行为都表现出随机性，然而这种随机性不是由于外部环境的随机因素对系统造成的影响，而是系统内部自发产生的。内随机性意味着混沌行为之所以会产生源于系统本身，而并非外部的影响。

### 3、对初值的敏感依赖性

混沌系统具有蝴蝶效应，即系统对于初始值十分敏感。具体来讲，两条轨线从两个非常接近的初值出发后，经过长时间的演化，可能变得相距甚远。虽然两个初值相差不大，轨线路径最初是基本重合的，但这微小的差别会导致一段时间后两条轨线的路径迥然不同。原因就在于混沌系统具有对初值的敏感依赖性，这是混沌系统的典型特征，这一特征也使得混沌运动具有不可长期预报性。

### 4、奇怪吸引子

奇怪吸引子就是相空间（对连续型动力系统来说，至少是三维；对离散型动力系统来说，至少是二维）的一个有限区域内，由无穷多个不稳定点集组成的一个集合体。系统在所有相邻的轨道上运行最终都会被吸引到它的势力范围，但吸引子中两个任意接近的点，虽然同属于一个吸引子，却可能发生背离，轨道的背离是因为它具有初值敏感性<sup>[118]</sup>。

奇怪吸引子是耗散系统混沌现象的一个重要的特征，是混沌运动的徽标，很多经典的混沌模型都提出了奇怪吸引子。诸如：埃依（Henon）提出的二维混沌映射中就存在奇怪吸引子，1991年，M.Benedicks 和 L.Carleson<sup>[119]</sup>研究了埃依系统在特定的参数下，吸引子所具有的复杂性质。此后，M.Benedicks 和 Viana.M 进一步研究了埃依吸引子的统计规律<sup>[120]</sup>。还有著名的洛伦兹(Lorenz)奇异吸引子，数学家 Guckenheimer 和 Williams 用几何模型来研究了洛伦兹吸引子的动力学演化规律<sup>[121]</sup>。WarwickTucker 证明了洛伦兹吸引子确实存在<sup>[122]</sup>。此外，我们知道连续系统有 Chen 吸引子，Rossler 吸引子，离散系统有 Lozi 吸引子等等。

### 2.3.3 通向混沌的道路

系统从确定性运动转换为混沌运动的方式，即系统通向混沌的道路主要有以下几条分别是：倍周期分岔道路、阵发性道路，茹厄勒-塔根司（Ruelle-Takens）道路，拟周期分岔、非严格周期增加的分岔（周期数依次为 3, 5, 8……）、拟周期吸引子碎化、多吸引子共存以及周期 3 直接进入混沌等。本文中的系统都是经历倍周期分岔道路最终通向混沌运动的，所以下面我们主要介绍倍周期分岔道路。

混沌系统的运动变化不是杂乱无章的，其运动变化的周期是处于一种有序状态。在一定的条件下，改变相关参数能使系统轨道发生劈裂，周期加倍，即一分为二，参数继续改变，轨道的劈裂就继续发生，由二到四再到八成倍周期增长，继续下去，系统最终丧失周期而进入混沌。其运动的基本途径为：不动点 $\rightarrow$ 2 周期点 $\rightarrow$ 4 周期点 $\rightarrow$ …… $\rightarrow$ 无限倍周期凝聚（极限点） 奇怪吸引子<sup>[110]</sup>。下面就以著名的逻辑斯蒂（Logistic）映射为例来说明这种通向混沌的倍周期分岔道路。逻辑斯蒂映射为

$$X_n(t+1) = rX_n(t)[1 - X_n(t)]$$

它又叫做人口模型或种群模型，其中  $X_n(t) \in [0,1]$ ，代表某一物种在自然界中所占的百分比，这是与客观实际相符合的。下面我们先来求经过 1 次迭代后的平衡点，就是 1-周期解，即  $X_n(t+1) = X_n(t)$ 。由于  $X_n(t) = rX_n(t)[1 - X_n(t)]$ ，所以解得  $X_0 = 0$ ， $X_1 = 1 - 1/r$ 。显然  $r$  的取值，影响着系统的演化过程，下面就针对  $r$  值的不同范围讨论逻辑斯蒂映射从简单到复杂的性态变化。

1、当  $0 < r < 1$  时， $X_1 = 1 - 1/r < 0$ ，不满足  $X_n(t) \in [0,1]$  的要求，不具有现实意义。对于不动点  $X_0 = 0$  来讲，由于  $\lambda = \left| \frac{\partial X_n(t+1)}{\partial X_n(t)} \right|_{X_0=0} = r < 1$ ，所以  $X_0 = 0$

是逻辑斯蒂映射在  $[0, 1]$  内稳定的 1-周期平衡点。

2、当  $1 < r < 3$  时，逻辑斯蒂映射有两个周期点  $X_0 = 0$  和  $X_1 = 1 - 1/r$ 。但是对于  $X_0 = 0$  来讲，由于  $\lambda = \left| \frac{\partial X_n(t+1)}{\partial X_n(t)} \right|_{X_0=0} = r > 1$ ，所以  $X_0 = 0$  是映射在  $[0, 1]$  内的不稳定的 1-周期平衡点。对于  $X_1 = 1 - 1/r$  来讲，由于  $\lambda = \left| \frac{\partial X_n(t+1)}{\partial X_n(t)} \right|_{X_1=1-1/r} = 2 - r$

并且  $|\lambda| = |2 - r| < 1$ ，所以系统只有 1 个稳定的 1-周期平衡点，系统演化轨迹稳定于一个平衡点。

3、当  $3 < r < 1 + \sqrt{6}$  时，逻辑斯蒂映射有两个周期点  $X_0 = 0$  和  $X_1 = 1 - 1/r$ 。

但是对于  $X_0 = 0$  来讲，由于  $\lambda = \left| \frac{\partial X_n(t+1)}{\partial X_n(t)} \right|_{X_0=0} = r > 1$ ，所以  $X_0 = 0$  是 1-周期不稳定的平衡点。对于  $X_1 = 1 - 1/r$  来讲，由于  $\lambda = \left| \frac{\partial X_n(t+1)}{\partial X_n(t)} \right|_{X_1=1-1/r} = 2 - r < -1$ ，所以  $|\lambda| = |2 - r| > 1$ ，故  $X_1 = 1 - 1/r$  也是 1-周期不稳定的平衡点，此时系统没有稳定的 1-周期解。下面我们考虑经过 2 次迭代后的不动点，即 2-周期解，两次迭代后的映射为

$$X_n(t+2) = rX_n(t+1)[1 - X_n(t+1)] = r^2 X_n(t)[1 - rX_n(t)(1 - X_n(t))]$$

令上式中的  $X_n(t+2) = X_n(t)$ ，解得此时系统有 4 个平衡点，分别是  $X_0 = 0$ ， $X_1 = 1 - 1/r$ ， $X_3 = \frac{1+r+\sqrt{(1+r)(3+r)}}{2}$  和  $X_4 = \frac{1+r-\sqrt{(1+r)(3+r)}}{2}$ 。同理可证 4

个平衡点中  $X_0 = 0$  和  $X_1 = 1 - 1/r$  都是不稳定的平衡点，平衡点

$X_3 = \frac{1+r+\sqrt{(1+r)(3+r)}}{2}$  和  $X_4 = \frac{1+r-\sqrt{(1+r)(3+r)}}{2}$  是稳定的平衡点，所以系统有两个 2-周期解。

4、当  $r = 3.569945673$  时，系统的动力学行为变得非常复杂。逻辑斯蒂映射经历了 2 周期分岔、4 周期分岔、8 周期分岔、16 周期分岔等，即倍周期分岔过程，最终通向混沌， $r = 3.569945673$  是倍周期分岔到混沌的分界点。图 2-2 给出了逻辑斯蒂映射的倍周期分岔图。从图中可见，当  $3.569945673 < r < 4$  时，可以发现混沌区域中有周期窗口，这说明迭代出现周期循环（周期窗口就是混沌区域中的一些“空白带”）。

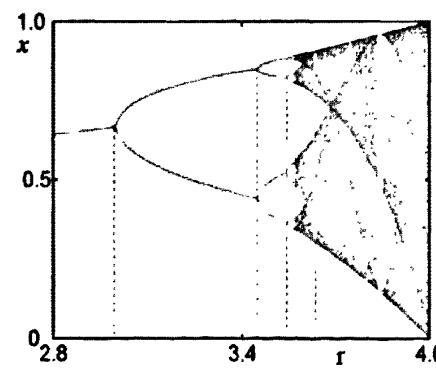


图 2-2 Logistic 分岔图，其中  $r \in [2.8, 4]$

### 2.3.4 混沌控制

混沌控制可以从广义与狭义两方面来理解。广义的混沌控制 (Chaos Control) 是指：人为地去影响混沌系统，使混沌系统转化为我们所需要的状态，具体来讲，当混沌运动有害时，就人为地去抑制混沌，避免混沌出现；当混沌运动有益时，就制造各种能够产生混沌运动的条件，使系统产生混沌；当系统处于混沌状态时，通过混沌控制产生出人们需要的各种输出。总之，广义的混沌控制共同点就是尽可能地利用混沌运动自身的各种特性来达到控制混沌的目的<sup>[110]</sup>。

狭义的混沌控制主要是指抑制和消除混沌现象<sup>[123]</sup>，即设法从各种各样的非线性系统所产生的混沌运动中，根据不同领域的实际需要，挑选出任意所需的各种周期信号，以及非周期信号，并实现其稳定有效的控制<sup>[124]</sup>。本文中提到的混沌控制都是指狭义的混沌控制。其控制目标主要有<sup>[125]</sup>：

- 1、抑制或消除某种类型的混沌；
- 2、稳定控制混沌吸引子中所期望的不稳定周期态；
- 3、通过混沌控制使系统产生新的动力学行为；
- 4、消除多重的混沌吸引子；
- 5、实现两个或多个相同动力系统的周期同步、混沌同步及其控制；
- 6、控制混沌吸引子中的非周期态、周期态及其同步的可能应用。

早在 1990 年，Ott, Grebogi 和 Yorke 提出利用 OGY 方法<sup>[126]</sup>来控制混沌运动，接下来 Ditto, Rouseot 和 Span 验证了 OGY 方法的有效性<sup>[127]</sup>，此后 Ott, Grebogi 与 Romeras, Daywansa 又将 OGY 方法进行了改进和推广<sup>[128]</sup>。从此以后许多学者热衷于混沌控制方法的研究与探讨，使得混沌控制成为非线性科学领域中的热点研究问题。至今为止，产生了很多混沌控制方法，诸如：自适应控制法<sup>[129]</sup>、连续反馈控制法<sup>[130]</sup>、参数周期扰动法<sup>[131]</sup>、周期激励法<sup>[132]</sup>、OPF 控制法<sup>[133,134]</sup>、系统变量脉冲反馈控制法<sup>[135,136]</sup>、神经网络法<sup>[137-139]</sup>、状态反馈和参数调整控制法<sup>[140]</sup>等。上述每种方法都各有优缺点，对于不同的应用领域，应根据具体情况选取相应的控制方法抑制或控制混沌运动<sup>[141]</sup>。

本文中对系统实施的混沌控制都是利用状态反馈和参数调整控制法进行的。所谓状态反馈和参数调整控制法是一种可以有效实现对离散型非线性动力系统的倍周期分岔进行延迟控制的方法<sup>[140]</sup>。下面就以  $n$  维离散型非线性动力系统为例来说明对系统的混沌控制，设  $n$  维离散型非线性动力系统为

$$x_{t+1} = g(x_t, \alpha) \quad (2-45)$$

其中  $x_t \in R^n$ ,  $t \in Z$ ,  $\alpha \in R$  为分岔参数, 即系统 (2-45) 的性态会随着  $\alpha$  的变化而发生改变, 随着  $\alpha$  的增大演化轨迹历经周期分岔直至混沌状态。对系统 (2-45) 采用参数调节和状态反馈控制策略, 受控后的系统变为

$$x_{t+1} = \beta g^m(x_t, \alpha) + (1 - \beta)x_t \quad (2-46)$$

其中  $\beta$  为调节参数,  $0 < \beta < 1$ , 特别的, 当  $\beta=1$  时, 受控后的系统 (2-46) 退化为原系统 (2-45), 此时二者具有相同的  $m$  周期轨道<sup>[142]</sup>。 $m$  为正整数,  $g^m()$  是函数  $g()$  的  $m$  次复合函数。 $m$  代表控制  $m$  周期轨道, 当  $m=1$  时, 意味着控制平衡点, 离散动力系统每一步迭代都加入一次控制。当  $m>1$  时, 系统每经过  $m$  次迭代才加入一次控制。这里主要讨论  $m=1$  时的情况,

对于原系统 (2-45), 假设其均衡点为  $x^*$ , 则均衡点  $x^*$  处的雅克比矩阵为

$$J_1 = \left| \frac{\partial g(x_t, \alpha)}{\partial x_t} \right|_{x_t = x^*} \quad (2-47)$$

均衡点  $x^*$  稳定的充要条件是  $J_1$  的所有特征根的模小于 1, 即  $| \lambda_i | < 1$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ), 据此可以得出原系统在均衡点  $x^*$  稳定时参数  $\alpha$  的取值范围。受控系统 (2-46) 在均衡点  $x^*$  处的雅克比矩阵为

$$J_2 = \left| \beta \frac{\partial g(x_t, \alpha)}{\partial x_t} + (1 - \beta) \right|_{x_t = x^*} \quad (2-48)$$

由于  $J_2$  中引入了调节参数  $\beta$ , 通过对  $\beta$  进行适当赋值, 就能够达到使均衡点  $x^*$  在分岔参数  $\alpha$  的更大取值范围内保持稳定的目的, 从而分岔、混沌现象就会被延迟。就是说即使在原系统平衡点  $x^*$  不稳定的  $\alpha$  值范围内, 受控后的系统亦可满足其所有特征值的模小于 1 ( $J_2$  的所有特征值  $| \lambda_i | < 1$  ( $i=1, 2, \dots, n$ )), 即受控后的系统均衡点  $x^*$  在原系统均衡点  $x^*$  不稳定的  $\alpha$  值范围内亦可保持稳定, 这样就延迟了分岔、混沌的发生。

## 2.4 本章小结

本章介绍了寡头垄断市场的内涵以及测量指标，在此基础上从市场集中度、产品差异化程度以及市场进入壁垒三个方面分析了中国钢铁市场的市场结构，得出中国钢铁市场属于近似的寡头垄断市场的结论。此外，本章还介绍了钢铁市场的竞争格局，钢铁市场正处于并购重组的过程之中，因此今后我国钢铁市场将是钢铁寡头之间的寡头竞争，而他们之间的竞争主要体现在价格上，所以接下来又进行了影响钢铁价格的因素分析。本章最后介绍了全文的理论基石——博弈论、混沌理论以及混沌控制理论的相关内容，为本文后续的研究内容奠定了基础。

### 第三章 中国冷轧钢板市场二寡头价格博弈的复杂性分析

随着近几年钢铁行业并购重组浪潮的兴起，我国钢铁行业的集中度有所上升。2009年的数据显示，国内前10位钢铁企业产业集中度由2004年的34.21%提高到2009年的43.49%<sup>[143]</sup>。现在看来，虽然结果与预期目标（到2010年国内前10位钢铁企业产业集中度达50%以上）还存在一定的差距，但总体来讲，通过并购重组，我国钢铁行业生产集中度确实有所提高。此外，国际钢铁市场大张旗鼓地进行重组，国际铁矿石价格不断地攀升等因素都促进了中国钢铁企业的相互兼并，所以中国钢铁市场的并购重组仍将继续下去，今后中国钢铁行业整体上将是钢铁寡头集团间的相互竞争。

中国钢铁市场按钢的品质可分为：普通钢市场、优质钢市场、高级优质钢市场，如表3-1所示。对于一些诸如碳素结构钢、低合金结构钢等普通钢国内所有的钢厂基本上都可以生产，而对于一些高级优质钢，譬如合金结构钢和冷轧钢板等只有为数不多的几家大企业才能生产，所以中国高级优质钢市场集中度相对较高，具有典型的寡头垄断特点。

表3-1 钢铁市场分类：按钢的品质分

钢铁名称	解 释
普通钢	钢中含杂质元素较多，含硫量一般小于等于0.05%，含磷量小于等于0.045%，如碳素结构钢、低合金结构钢等
优质钢	钢中含杂质元素较少，含硫及磷量一般均小于等于0.04%，如优质碳素结构钢、合金结构钢、碳素工具钢和合金工具钢、弹簧钢、轴承钢等
高级优质钢	钢中含杂质元素极少，含硫量一般小于等于0.03%，含磷量小于等于0.035%，如合金结构钢和冷轧钢板等。高级优质钢在钢号后面，通常加符号“A”或汉字“高”以便识别。

本文就以高级优质钢市场中的冷轧钢板为例，来研究寡头市场中的价格竞争过程。冷轧钢板属于高级优质钢，是用冷轧方法生产出来的钢材，与其他钢板相比尺寸更加精确，而且表面光滑、美观，力学性能好。主要用于汽车、家电、建筑、包装等制造行业。其市场竞争格局是：宝钢进入市场已有二十多年，在

市场中处于领导厂商的地位，紧随其后的是鞍钢。数据显示，宝钢 2009 年冷轧产品销售量为 883.9 万吨，其中冷轧汽车板销售量为 331.5 万吨，国内市场占有率为 50%；鞍钢在国内冷轧板市场占有率是 7.9%。数据显示，按照产品质量分，在生产冷轧钢板的国内企业中，宝钢、鞍钢属于第一梯队<sup>[144]</sup>。虽然鞍钢的市场占有率为 50%，但鞍钢的发展态势势不可挡，并经常制定具有诱惑力的价格，与宝钢争夺市场份额，所以鞍钢与宝钢的竞争会日趋激烈。就是说中国冷轧钢板市场主要由宝钢与鞍钢这二寡头垄断。

寡头垄断市场依据企业的行为方式，可分为有结盟行为的寡头垄断和独立行为的寡头垄断；依据产品特征，可分为无差别的寡头垄断和有差别的寡头垄断。宝钢与鞍钢两家钢厂在冷轧板的质量、性能上不完全相同，在顾客看来二者的产品是有差别的，但其产品具有一定的替代性。二寡头在市场竞争中没有任何结盟行为，他们通过产品价格、生产技术、销售业务各种渠道展开竞争。所以，中国冷轧钢板市场是有差别和独立行动的双寡头垄断市场，本章就针对中国冷轧钢板市场来研究宝钢、鞍钢这二寡头的价格竞争及其博弈过程的复杂性。

### 3.1 二寡头价格动态博弈模型

近年来，大部分学者热衷于将混沌理论与博弈理论结合起来对古诺模型的重复博弈进行研究，通过改变成本函数或改变需求函数或加入有限理性等，对经典古诺模型进行改进，来研究产量在重复博弈过程中出现的分岔、混沌等现象。也有少数学者基于经典伯川德模型进行了重复博弈研究，发现价格在重复博弈的过程中会出现混沌现象。伯川德模型以价格作为决策变量，在实际中更为常用。然而，为了便于研究，已有的伯川德模型都是基于线性需求函数的基础上建立的，而现实经济生活中的价格与需求量并非具有简单的线性关系，而是呈现复杂的非线性关系，所以关于改进的伯川德博弈模型及其动力学行为尚有待进一步研究。本文将基于一类非线性需求函数建立二寡头价格重复博弈模型，从而使模型更加贴近现实，增加后续研究结果的可靠性。

假设 A 与 B 分别代表宝钢和鞍钢，二者冷轧钢板的差异化程度不大，具有一定的替代性。根据经济学理论，需求量与价格成反向变化，并且在实际中，冷轧钢板需求量与价格关系复杂，通常并非具有简单的线性关系，因此，为了更加贴近实际，本文在国内外学者研究工作的基础上选取非线性需求函数作为中国冷轧板市场的需求函数： $q = ap^{-2}$  ( $a > 0$ )<sup>[145]</sup>。此外，考虑到在双寡头垄断

的市场中，A 与 B 产品具有一定的替代性，因此，对上述的非线性需求函数加以改进，添加一替代项，由此得到中国冷轧钢板双寡头垄断市场中 A 与 B 各自的需求函数为：

$$\begin{aligned} q_1 &= a_1 p_1^{-2} + b_1 p_2 \\ q_2 &= a_2 p_2^{-2} + b_2 p_1 \end{aligned} \quad (3-1)$$

其中， $p_1, p_2$  为 A、B 的产品价格，在  $p_1, p_2 > 0$  时， $q_1, q_2$  为 A、B 的需求量， $a_1, a_2 > 0$  表示需求量与价格成反向变化。由于产品 A 和 B 存在一定替代性， $b_1, b_2$  表示两家产品具有一定替代性的替代系数， $b_1, b_2 > 0$ 。设两个钢铁企业的成本函数分别为：

$$c_i = r_i + t_i q_i \quad (3-2)$$

其中  $c_i (i=1,2)$  表示 A 与 B 的成本， $r_i$  表示各自的固定成本， $t_i > 0, t_i q_i$  表示各自的可变成本。将公式 (3-1) 与 (3-2) 代入利润函数：

$$\begin{aligned} \pi_1 &= p_1 q_1 - c_1 = p_1 (a_1 p_1^{-2} + b_1 p_2) - r_1 - t_1 (a_1 p_1^{-2} + b_1 p_2) \\ \pi_2 &= p_2 q_2 - c_2 = p_2 (a_2 p_2^{-2} + b_2 p_1) - r_2 - t_2 (a_2 p_2^{-2} + b_2 p_1) \end{aligned} \quad (3-3)$$

对各自的利润函数求一阶导数可得到二寡头的边际利润分别是

$$\begin{aligned} \frac{\partial \pi_1}{\partial p_1} &= -a_1 p_1^{-2} + b_1 p_2 + 2a_1 t_1 p_1^{-3} \\ \frac{\partial \pi_2}{\partial p_2} &= -a_2 p_2^{-2} + b_2 p_1 + 2t_2 a_2 p_2^{-3} \end{aligned} \quad (3-4)$$

在实际的钢铁市场中，寡头之间的博弈是重复不断的，所以企业的价格决策是一个动态过程，他们会借鉴上期的博弈结果，来决定下期的博弈策略。如果企业对于上一期的博弈结果满意，那么企业会认为，在下一期博弈过程中继续利用该策略行动也将取得满意结果<sup>[110,146]</sup>。对于钢铁企业来说，他们所追求的最终目标与其他任何企业都是一样的——利润最大化。所以，钢铁企业就以边际利润为指标来决定价格博弈策略。如果上期博弈的边际利润大于零，则在当期继续执行该价格策略，利润就会继续增加。所以他们的价格重复博弈模型为<sup>[66]</sup>：

$$p_i(t+1) = p_i(t) + \alpha_i p_i(t) \frac{\partial \pi_i}{\partial p_i} \quad (3-5)$$

其中  $\alpha_i (i=1,2)$  为价格调整速度及力度。将  $\frac{\partial \pi_i}{\partial p_i}$  ( $i=1,2$ ) 代入上式，得到中国冷轧钢板市场双寡头价格重复博弈模型为：

$$\begin{aligned} p_1(t+1) &= p_1(t) + \alpha_1 p_1(t) (-a_1 p_1^{-2} + b_1 p_2 + 2a_1 t_1 p_1^{-3}) \\ p_2(t+1) &= p_2(t) + \alpha_2 p_2(t) (-a_2 p_2^{-2} + b_2 p_1 + 2t_2 a_2 p_2^{-3}) \end{aligned} \quad (3-6)$$

## 3.2 系统的复杂性分析

系统(3-6)表明宝钢和鞍钢在进行价格博弈时，都会根据各自上期边际利润的情况进行价格调整。若第t期的边际利润大于零，那么企业在第t+1期就会继续利用该策略来定价。即使在第t+1期竞争对手采取降价策略欲增加其市场需求量，企业也不会改变自身的定价策略，因为其最终目标的实现——利润最大化，没有受到影响。反之，若企业在第t期的边际利润小于零，那么他在第t+1期就不适于利用第t期的定价策略了，否则企业利润就会继续减少，所以企业在第t+1期应改用其他策略进行定价。在实际的竞争中，钢铁寡头间的动态博弈过程非常复杂，由于宝钢和鞍钢两企业价格制定者的业务能力会有所差异、所掌握的市场信息量也不一定对称，加之其他一系列影响定价的客观因素不同，二寡头对钢铁价格的调整力度及速度也就不可能完全相同，这样就会影响钢铁寡头之间价格博弈的结果。所以，钢铁寡头对价格策略的调整力度及速度，即模型中的 $\alpha_i$ 是影响价格博弈的主要因素。下面就针对 $\alpha_i$ 的变化对双寡头动态博弈过程进行研究。

### 3.2.1 市场均衡点及其稳定性分析

为了便于研究，我们将系统(3-6)中的参数赋值：  
 $a_1 = 1, a_2 = 2, b_1 = 3, b_2 = 4, t_1 = 0.1, t_2 = 0.1$ ，得到

$$\begin{aligned} p_1(t+1) &= p_1(t) + \alpha_1 p_1(t)(-p_1^{-2} + 3p_2 + 0.2p_1^{-3}) \\ p_2(t+1) &= p_2(t) + \alpha_2 p_2(t)(-2p_2^{-2} + 4p_1 + 0.4p_2^{-3}) \end{aligned} \quad (3-7)$$

这个系统是由两个差分方程组成，我们令其中的 $p_i(t+1) = p_i(t)$ ，得到

$$\begin{aligned} \alpha_1 p_1(t)(-p_1^{-2} + 3p_2 + 0.2p_1^{-3}) &= 0 \\ \alpha_2 p_2(t)(-2p_2^{-2} + 4p_1 + 0.4p_2^{-3}) &= 0 \end{aligned} \quad (3-8)$$

通过Matlab软件可以求得八个解，由于只有非负实根具有实际意义，我们仅考虑其中的四个非负实根（平衡点）分别是 $E_1 = (p_1 = 1.1, p_2 = 0.225)$ ， $E_2 = (p_1 = 0.434, p_2 = 0.954)$ ， $E_3 = (p_1 = 0.282, p_2 = 1.218)$ ， $E_4 = (p_1 = 0.205, p_2 = 0.203)$ 。为了研究平衡点的稳定性，我们考虑系统(3-7)的雅克比矩阵：

$$J = \begin{pmatrix} 1 + \alpha_1(p_1^{-2} + 3p_2 - 0.4p_1^{-3}) & 3p_1\alpha_1 \\ 4p_2\alpha_2 & 1 + \alpha_2(2p_2^{-2} + 4p_1 - 0.8p_2^{-3}) \end{pmatrix} \quad (3-9)$$

将 $E_1, E_2, E_3, E_4$ 分别代入(3-9)，计算各自的特征方程。我们知道，如

果平衡点稳定，则其特征方程的两个特征根的模都要小于 1<sup>[147]</sup>。通过计算我们发现  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$  都不满足此条件，所以它们是系统 (3-7) 的不稳定平衡点(鞍点)。系统 (3-7) 的纳什均衡点是  $E_4 = (p_1=0.205, p_2=0.203)$ 。纳什均衡点表明此时两寡头的边际利润为零，但它并不代表双方的博弈过程趋向稳定。如果此时博弈中的任何一方价格行为发生变化，博弈过程仍会变得极为复杂<sup>[146]</sup>。所以，纳什均衡点只是局部稳定的，其稳定区域由  $(\alpha_1, \alpha_2)$  决定。

为了研究纳什均衡点的稳定区域，我们将  $E_4$  代入 (3-9)，得到其特征多项式：

$$F(\lambda) = \lambda^2 - Tr\lambda + Det = 0 \text{。其中}$$

$$\begin{aligned} Tr &= 1 + \alpha_1(a_1 p_1^{-2} + b_1 p_2 - 4a_1 t_1 p_1^{-3}) + 1 + \alpha_2(a_2 p_2^{-2} + b_2 p_1 - 4a_2 t_2 p_2^{-3}) \\ &= 1 + \alpha_1(0.205^{-2} + 3 \times 0.203 - 0.4 \times 0.205^{-3}) + 1 + \alpha_2(2 \times 0.203^{-2} + 4 \times 0.205 - 0.8 \times 0.203^{-3}) \\ &= 2 - 22.026\alpha_1 - 46.279\alpha_2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Det &= [1 + \alpha_1(a_1 p_1^{-2} + b_1 p_2 - 4a_1 t_1 p_1^{-3})][1 + \alpha_2(a_2 p_2^{-2} + b_2 p_1 - 4a_2 t_2 p_2^{-3})] - b_1 p_1 \alpha_1 b_2 p_2 \alpha_2 \\ &= [1 + \alpha_1(0.205^{-2} + 3 \times 0.203 - 0.4 \times 0.205^{-3})][1 + \alpha_2(2 \times 0.203^{-2} + 4 \times 0.205 - 0.8 \times 0.203^{-3})] \\ &\quad - 3 \times 4 \times 0.205 \times 0.203 \\ &= (1 - 22.026\alpha_1)(1 - 46.279\alpha_2) - 0.499\alpha_1\alpha_2 \end{aligned}$$

我们将  $Tr$  与  $Det$  代入  $E_4$  的特征多项式中的  $\Delta$ ，

$$\begin{aligned} \Delta &= Tr^2 - 4Det \\ &= (2 - 22.026\alpha_1 - 46.279\alpha_2)^2 - 4 \times [(1 - 22.026\alpha_1)(1 - 46.279\alpha_2) - 0.499\alpha_1\alpha_2] \\ &= [(1 - 22.026\alpha_1) + (1 - 46.279\alpha_2)]^2 - 4(1 - 22.026\alpha_1)(1 - 46.279\alpha_2) + 4 \times 0.499\alpha_1\alpha_2 \\ &= [(1 - 22.026\alpha_1) - (1 - 46.279\alpha_2)]^2 + 4 \times 0.499\alpha_1\alpha_2 \end{aligned}$$

显然  $\Delta$  结果大于零，这说明  $E_4$  的特征多项式存在实特征根。所以我们可以根据 Jury 条件<sup>[148]</sup>来确定纳什均衡点的稳定区域：

$$\begin{aligned} a &: 1 - Tr + Det > 0, \\ b &: 1 + Tr + Det > 0, \\ c &: Det - 1 < 0 \end{aligned}$$

即

$$\begin{aligned} a &: 1 - (2 - 22.026\alpha_1 - 46.279\alpha_2) + (2 - 22.026\alpha_1 - 46.279\alpha_2 - 0.499\alpha_1\alpha_2) > 0, \\ b &: 1 + (2 - 22.026\alpha_1 - 46.279\alpha_2) + (2 - 22.026\alpha_1 - 46.279\alpha_2 - 0.499\alpha_1\alpha_2) > 0, \\ c &: (2 - 22.026\alpha_1 - 46.279\alpha_2 - 0.499\alpha_1\alpha_2) - 1 < 0 \end{aligned}$$

通过对上述不等式进行计算，我们可以得到纳什均衡点的局部稳定区域。这

个区域是由变量  $(\alpha_1, \alpha_2)$  决定的，横轴代表  $\alpha_1$ ，纵轴代表  $\alpha_2$ ，分岔曲线与两坐标轴的交点分别是  $(0.1, 0)$  和  $(0, 0.044)$ ，如图 3-1 所示（阴影部分）。

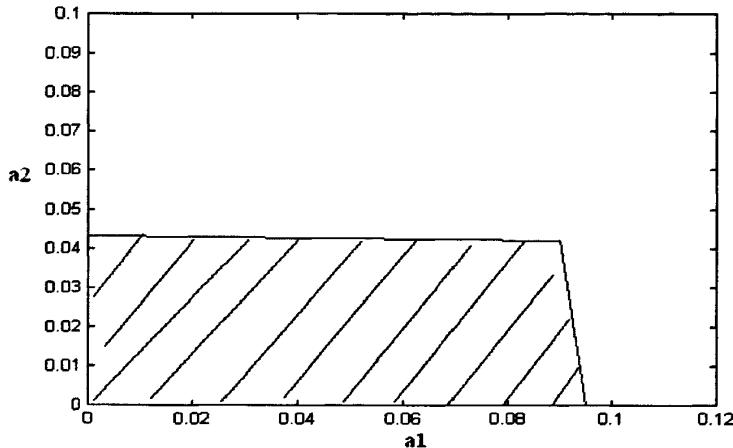


图 3-1 纳什均衡点的稳定区域

理论上变量  $\alpha_i$  的取值不会影响纳什均衡点的大小，但会对纳什均衡点的稳定性产生影响。纳什均衡点稳定区域的理论意义为：当变量  $(\alpha_1, \alpha_2)$  落在稳定区域内时，纳什均衡点才是稳定的。当  $(\alpha_1, \alpha_2)$  一旦超出稳定域，系统将变得不稳定，并会进行混沌运动。其反映出的实际意义可以理解为：实际竞争中，在钢铁价格还未达到纳什均衡前，两寡头为了获得更多的利润，会不断地进行价格博弈，即不断地调整各自的价格。当宝钢与鞍钢两家钢铁企业对于价格的调整速度都不快，能落在稳定域内时，冷轧板价格平稳，市场比较稳定。然而如果两寡头中任何一方价格调整速度过快，超出了稳定区域，整个冷轧板市场将陷入混乱状态，市场会动荡，钢铁价格会大幅波动，钢铁行业竞争激烈，在一定情况下需要国家进行宏观调控来维护市场的稳定。下面就利用数值模拟来分析  $\alpha_i$  的变化对系统的影响。

### 3.2.2 数值模拟

当  $(\alpha_1, \alpha_2)$  冲出了稳定区域，纳什均衡点的稳定性就会发生变化。图 3-2 和图 3-3 分别显示了系统(3-7)经过倍周期分岔最终进入混沌的过程。图 3-2 表明当  $\alpha_1=0.084$  时，随着价格调整速度  $\alpha_2$  的增加，两寡头价格曲线的变化。我们发现，当  $\alpha_2 < 0.043$ ，纳什均衡点是稳定的（一周期状态）。 $\alpha_2 \in (0.043, 0.052)$  时，均衡点的稳定性发生了变化，两寡头的价格发生倍周期分岔，进入二周期状态。当  $\alpha_2 \in (0.052, 0.058)$  时，系统再一次发生倍周期分岔，进入四周期状态，随着  $\alpha_2$

的增加，两寡头的价格经过倍周期分岔并最终进入混沌状态。图 3-4, 3-5 分别显示了在( $\alpha_1=0.084$ ,  $\alpha_2=0.07$ )以及( $\alpha_1=0.084$ ,  $\alpha_2=0.09$ )时系统的混沌吸引子图。图 3-3 显示了当  $\alpha_2=0.042$ , 随着价格调整速度  $\alpha_1$  的增加引起的系统分岔图, 可以看出当  $\alpha_1 \in [0,0.095]$  时, 系统是稳定的, 当  $\alpha_1$  大于 0.095 后, 系统经过倍周期分岔通向混沌态。图 3-6 和 3-7 也分别显示了当( $\alpha_2=0.042$ ,  $\alpha_1=0.149$ )时以及当( $\alpha_2=0.042$ ,  $\alpha_1=0.155$ )时系统的混沌吸引子。

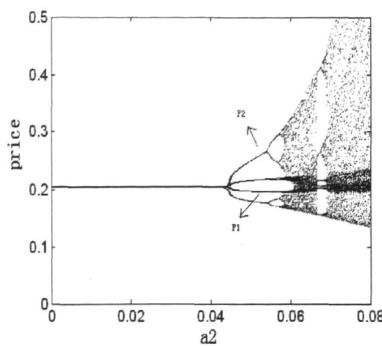


图 3-2  $\alpha_1=0.084$ ,  $\alpha_2 \in [0,0.08]$   
二寡头价格分岔图

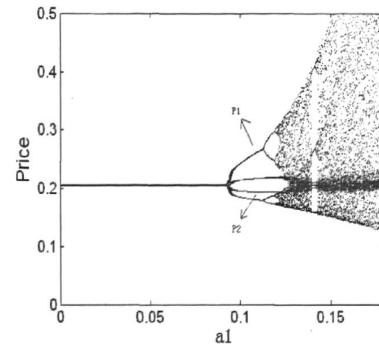


图 3-3  $\alpha_2=0.042$ ,  $\alpha_1 \in [0,0.18]$   
二寡头价格分岔图

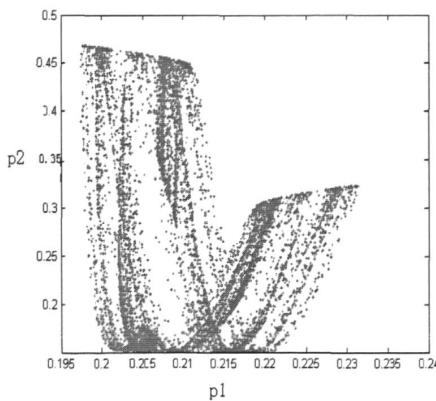


图 3-4 ( $\alpha_1=0.084$ ,  $\alpha_2=0.07$ )  
系统吸引子

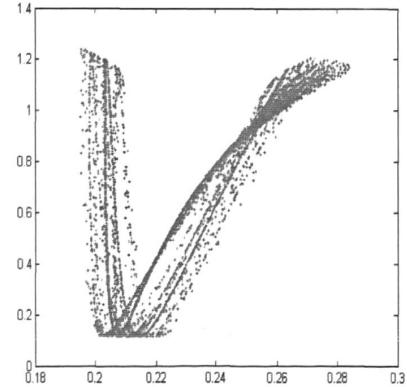
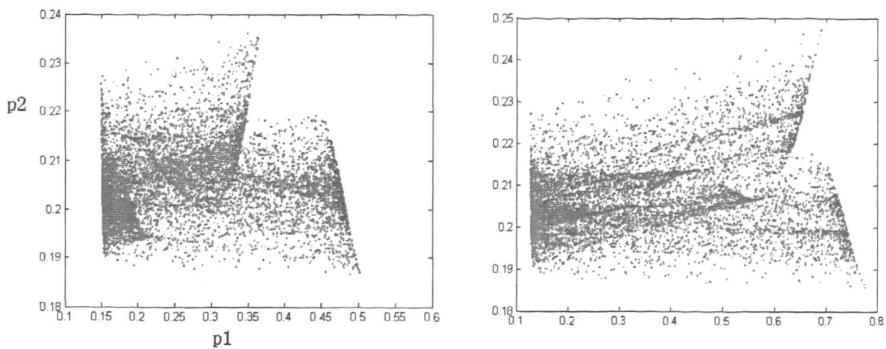


图 3-5 ( $\alpha_1=0.084$ ,  $\alpha_2=0.09$ )  
系统吸引子


 图 3-6 ( $\alpha_2=0.042, \alpha_1=0.149$ )

系统吸引子

 图 3-7 ( $\alpha_2=0.042, \alpha_1=0.155$ )

系统吸引子

对初值非常敏感是混沌系统的显著特点，两条初值非常接近的轨线经过时间的推移会相距越来越远。为了证明系统（3-7）具有混沌运动的这一特征，我们计算初值分别为( $p_1=0.205, p_2=0.203$ )和( $p_1=0.205001, p_2=0.203$ )的两条轨线，他们博弈过程的路径见图 3-8。

图 3-8 表明了当( $\alpha_1=0.149, \alpha_2=0.042$ )时，寡头 1 的价格对于初值极为敏感。我们发现博弈开始时两条轨线几乎是重合的，因为他们的初值相差无几，但是随着博弈次数的增加，两条路径的差距拉大了，并且越发显著。同理，图 3-9 显示了寡头 2 的价格对于初值极为敏感。这些都进一步验证了当( $\alpha_1, \alpha_2$ )冲出了稳定区域后，系统进入了混沌状态。

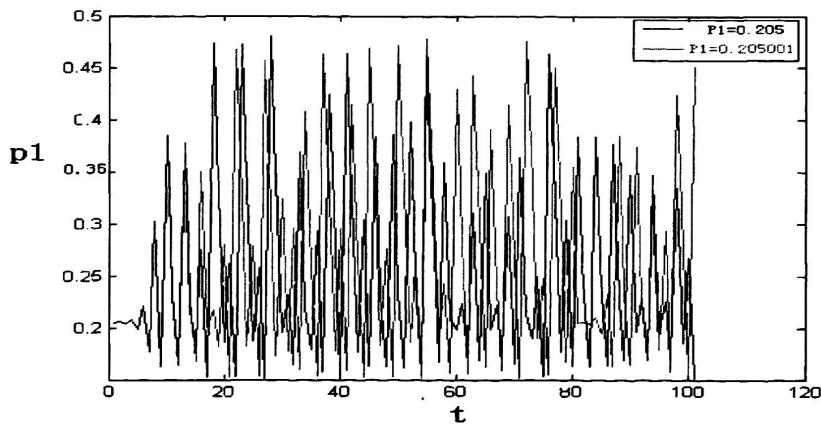


图 3-8 系统对初值的敏感性

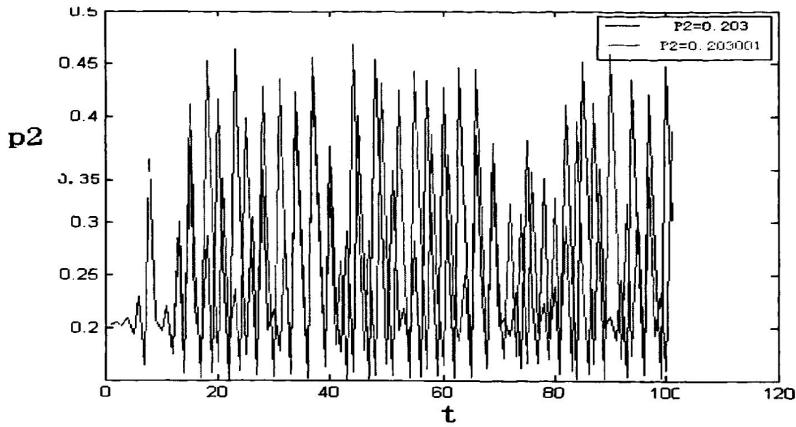


图 3-9 系统对初值的敏感依赖性

### 3.3 混沌控制

从以上的分析可以看出，混沌对于冷轧钢板市场来说意味着混乱，波动，不稳定，所以对于冷轧板市场来说是不希望混沌发生的，因此应该控制混沌。由于混沌控制包含两方面内容：如果混沌有害，就采取适当的控制方法，来抑制系统发生混沌；而如果混沌有益，就对系统进行诱导、控制，促使混沌产生。因此，对于冷轧板市场中的相关利益者来说，对于混沌的控制就意味着前者，即采取措施避免混沌发生，以此来稳定市场。

到目前为止，已有诸多关于混沌控制方法的研究，我们这里采用系统变量的状态反馈和参数调节的控制策略<sup>[140]</sup>，对系统进行混沌控制。其基本原理就是在系统中加入控制参数来延迟分岔的发生<sup>[71]</sup>，从而达到抑制混沌的目的。将原系统（3-6）设为：

$$\begin{aligned} p_1(t+1) &= X[p_1(t), p_2(t)] \\ p_2(t+1) &= Y[p_1(t), p_2(t)] \end{aligned} \quad (3-10)$$

受控系统为：

$$\begin{aligned} p_1(t+n) &= (1-\gamma)X''[p_1(t), p_2(t)] + \gamma p_1(t) \\ p_2(t+n) &= (1-\gamma)Y''[p_1(t), p_2(t)] + \gamma p_2(t) \end{aligned} \quad (3-11)$$

其中  $\gamma$  为控制参数， $\gamma \in [0, 1]$ ，其作用是能够延迟分岔的发生。当  $\gamma=0$  时，受控系统即为原系统。 $n$  代表控制  $n$  周期轨道。当  $n=1$  时，即控制纳什均衡点，相应的  $n=2, 4, 8, \dots$  即控制二周期，四周期，八周期轨道……，每经过  $n$  次迭

代加入一次控制<sup>[110, 146]</sup>。这里重点讨论  $n=1$  的情况，此时受控后的系统为：

$$\begin{aligned} p_1(t+1) &= (1-\gamma)(p_1(t) + \alpha_1 p_1(t)(-a_1 p_1^{-2} + b_1 p_2 + 2a_1 t_1 p_1^{-3})) + \gamma p_1(t) \\ p_2(t+1) &= (1-\gamma)(p_2(t) + \alpha_2 p_2(t)(-a_2 p_2^{-2} + b_2 p_1 + 2t_2 a_2 p_2^{-3})) + \gamma p_2(t) \end{aligned} \quad (3-12)$$

通过对  $\gamma$  进行适当赋值，就能够达到纳什均衡点在分岔参数的更大取值范围内保持稳定的目的<sup>[110, 146]</sup>。譬如当  $\gamma=0.7$ ,  $\alpha_1=0.084$  时，其他变量的取值与数值模拟中保持一致，受控系统 (3-12) 即为：

$$\begin{aligned} p_1(t+1) &= 0.3(p_1(t) + \alpha_1 p_1(t)(-p_1^{-2} + 3p_2 + 0.2p_1^{-3})) + 0.7p_1(t) \\ p_2(t+1) &= 0.3(p_2(t) + \alpha_2 p_2(t)(-2p_2^{-2} + 4p_1 + 0.4p_2^{-3})) + 0.7p_2(t) \end{aligned} \quad (3-13)$$

由图 3-2 与图 3-10 相比较很容易观察到，受控系统 (3-13) 关于纳什均衡点的稳定区域扩大了，由受控前系统 (3-7) 的二周期分岔点  $\alpha_2=0.043$  扩大为受控后系统 (3-13) 的二周期分岔点 0.065。说明系统被控制后，倍周期分岔被延迟了，从而混沌现象就被抑制了。

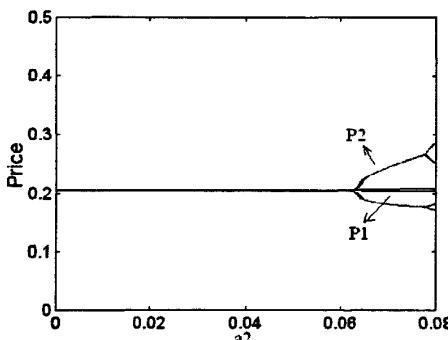


图 3-10 系统分岔图  $\alpha_1=0.084$ ,  
 $\alpha_2 \in [0, 0.08]$

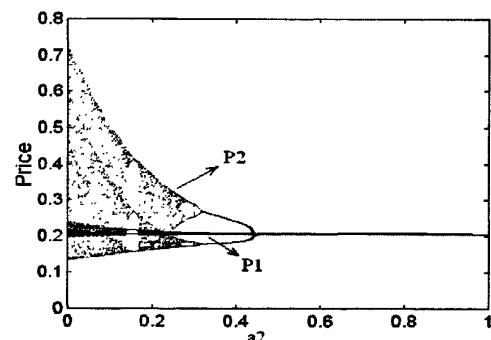


图 3-11 系统随  $\gamma$  增加的变化趋势  
 $(\gamma \in [0, 1])$

从图 3-11 可以看出，随着控制参数  $\gamma$  的增加，系统的混沌现象逐渐得到抑制，被控制在 8 周期、4 周期、2 周期、纳什均衡点，当  $\alpha_2 > 0.045$  时，系统逐渐稳定在纳什均衡点。

### 3.4 复杂性分析结论

钢铁行业的价格决策无疑是追求最大利润，所以他们将不断地调整价格来达到目标。随着双方价格调整速度的增加，系统的稳定性也随之改变。我们发现当博弈双方不断提高价格调整速度，一旦调整速度 ( $\alpha_1, \alpha_2$ ) 冲出稳定区域，那么系统便进入混沌状态。这一结果从理论上给出了实际的钢铁市场中企业之间由于激烈竞争而最终处于混乱的原因。而钢铁工业是国家的支柱产业，钢铁

市场的波动必然会影响到整个经济系统，所以，钢铁市场的混沌是我们所不希望的。因此，钢铁企业应该适当地调整各自的价格变化速度，尽量使 $(\alpha_1, \alpha_2)$ 保持在稳定区域内。在一定情况下，需要借助国家宏观调控。

近年来，关于钢铁行业的国家宏观调控政策不断出台。这里我们发现对于混沌系统，可用系统变量的状态反馈和参数调节的控制策略，最终会使系统稳定于纳什均衡点。这些结论将有助于钢铁企业的自身定价，并给政府制定相应政策进行宏观调控提供帮助，从而保持宏观政策的有效性、可行性。

### 3.5 本章小结

本章我们基于非线性需求函数建立了中国冷轧钢板市场二寡头价格博弈模型，并借助复杂性理论得到了纳什均衡点的稳定性，利用数值模拟的方法研究了系统通向混沌的道路——倍周期分岔；系统的混沌性质——具有混沌吸引子以及对初值的敏感性。并在此基础上，利用系统变量的状态反馈和参数调节的控制策略对混沌系统进行控制，最终使双方的价格稳定于纳什均衡价格，这些结论无疑会有助于二寡头冷轧钢板市场保持健康、稳定、可持续发展。此外，伴随着钢铁企业的加速发展，优质钢市场，尤其是冷轧钢板市场的竞争格局也在发生着悄然的变化。目前，首钢冷轧钢板领域日益壮大，它将进军中国冷轧钢板市场的竞争，与宝钢、鞍钢同时争夺市场份额，中国冷轧钢板市场将是三寡头垄断市场。由此，我们进入下一章——中国冷轧钢板市场三寡头价格博弈及其复杂性分析。

## 第四章 冷轧钢板市场不同理性三寡头价格博弈的复杂性研究

目前中国冷轧钢板市场处于寡头垄断状态。其市场竞争格局是以宝钢、鞍钢为首，作为行业中的两大寡头。但随着各个钢铁企业的不断发展，其竞争格局也悄然发生了变化，首钢自 2011 年也将加入冷轧钢板市场的竞争，与宝钢、鞍钢共同争夺市场份额。

2008 年年底，首钢冷轧厂的主要生产线贯通投产。2009 年，公司处于开发市场阶段，销售总额 45 亿元。全年产量为 127 万吨，其中，汽车板为 11.7 万吨，所占比例较小，家电板生产 23 万吨。2010 年年总产量达 170 万吨左右，汽车板将达 60 万吨左右。首钢迅速发展，目前已经展开全国市场战略布局，并且在保证产品质量和服务与其他钢厂一样的前提下，部分冷轧产品价格更加有优势，这就增加了其市场竞争能力，可见，虽然冷轧钢板市场一直是由宝钢、鞍钢二寡头垄断，但首钢的加入很可能会改变行业的竞争格局<sup>[144]</sup>。今后中国高端冷轧钢板市场将是三大钢铁寡头之间的竞争。

然而首钢在进入冷轧钢板市场的初期，虽然其冷轧设备非常先进，但由于其一向以生产建筑钢材以及中厚板为主业，所以进入冷轧钢板时间不长，公司员工存在技术上的适应性问题。此外，首钢冷轧厂从产品的质量、档次、内涵来看还处于中低端，其下游用户汽车企业大多是国内的自主品牌；而国内一些合资车企的供货商主要是宝钢、鞍钢。所以在首钢进入冷轧钢板市场的初期，由于其与宝钢、鞍钢多年形成的品牌效应，技术水平，固定的下游客户群档次、容量，以及在产品质量等方面的区别，致使竞争初期首钢与宝钢、鞍钢的需求关系结构会有所区别，所以，有必要对具有不同结构需求函数的三寡头博弈进行研究。

以往关于寡头博弈的研究大部分是将有限理性和不完全信息等因素引入到古诺模型或者对伯川德模型中，使之成为研究寡头市场产量或价格决策的工具，但这些模型都是建立在博弈方具有相同结构需求函数的假设基础上的。然而在现实的寡占市场中，由于业务能力、品牌效应、生产技术水平等众多因素都会对企业的需求关系结构造成影响，即各企业的市场需求函数结构并不都是一致的。所以有必要对具有不同结构需求函数的寡头博弈进行研究。由于宝钢、鞍钢势均力敌，具有很强的竞争力，并且进入冷轧板市场多年具有一定的品牌效应，其市场需求对于价格的敏感性会呈现递减趋势，体现出刚性需求，所以其

需求函数成非线性趋势，与之相对，首钢进入冷轧板市场不久，各方面的竞争力还较弱，其市场需求对于价格还比较敏感，所以假设其需求函数成线性趋势。

此外，由于首钢进入冷轧板市场不久，他对于市场信息量的获得与宝钢、鞍钢很可能不对称的，并且各自决策者对市场信息的反应能力以及业务处理能力的不同将导致他们的价格策略也不尽相同。所以有必要考虑在信息不对称的情况下，三寡头之间采用不同价格策略的竞争。张骥骥等<sup>[55,56]</sup>基于不同产量决策、不同结构成本函数的假设下建立二寡头产量博弈模型进行系统复杂性分析。本章则是把不同结构需求函数和不同价格决策等因素引入到伯川德模型中，研究首钢进入冷轧钢板市场初期——三寡头价格竞争初期的博弈过程及其复杂动力学特性。

#### 4.1 不同理性价格博弈模型

我们用  $p_i (i=1,2,3)$  分别代表宝钢、鞍钢、首钢的钢铁价格， $q_i (i=1,2,3)$  代表各自的需求量。假设宝钢与鞍钢的需求函数分别是非线性需求函数：

$$\begin{aligned} q_1 &= a_1 p_1^{-2} + b_1 p_2 + d_1 p_3, \\ q_2 &= a_2 p_2^{-2} + b_2 p_1 + d_2 p_3 \end{aligned} \quad (4-1)$$

其中  $a_i, b_i, d_i > 0, i = 1, 2$ ，竞争初期首钢的需求函数假设为线性需求函数

$$q_3 = a_3 - e p_3 + b_3 p_1 + d_3 p_2 \quad (4-2)$$

其中  $a_3, b_3, d_3, e > 0$ 。成本函数均选取线性函数：

$$c_i = r_i + t_i q_i \quad (4-3)$$

其中  $c_i$  代表各自的成本， $r_i, t_i > 0, i = 1, 2, 3$ 。通过

$$L_i = p_i q_i - c_i, i = 1, 2, 3 \quad (4-4)$$

很容易得到各自的利润函数分别是：

$$\begin{aligned} L_1 &= a_1 p_1^{-1} + b_1 p_1 p_2 + d_1 p_1 p_3 - r_1 - a_1 t_1 p_1^{-2} - b_1 t_1 p_2 - d_1 t_1 p_3 \\ L_2 &= a_2 p_2^{-1} + b_2 p_2 p_1 + d_2 p_2 p_3 - r_2 - a_2 t_2 p_2^{-2} - b_2 t_2 p_1 - d_2 t_2 p_3 \\ L_3 &= a_3 p_3 - e p_3^2 + b_3 p_1 p_3 + d_3 p_2 p_3 - r_3 - a_3 t_3 p_3 + e t_3 p_3 - b_3 t_3 p_1 - d_3 t_3 p_2 \end{aligned} \quad (4-5)$$

则三寡头的边际利润分别是：

$$\begin{aligned}\frac{\partial L_1}{\partial p_1} &= -a_1 p_1^{-2} + b_1 p_2 + c_1 p_3 + 2a_1 t_1 p_1^{-3} \\ \frac{\partial L_2}{\partial p_2} &= -a_2 p_2^{-2} + b_2 p_1 + c_2 p_3 + 2t_2 a_2 p_2^{-3} \\ \frac{\partial L_3}{\partial p_3} &= a_3 - 2ep_3 + b_3 p_1 + d_3' p_2 + et_3\end{aligned}\quad (4-6)$$

通过首钢的边际利润，可以得到首钢利润函数的最优解：

$$p_3 = \frac{a_3 + et_3 + b_3 p_1 + d_3' p_2}{2e} \quad (4-7)$$

具有有限理性的企业不可能知道关于市场需求的全部信息，所以他们调整当期钢价的依据就是考察自身前期边际利润的状况<sup>[149]</sup>。这里假设宝钢、鞍钢采取这种价格决策，那么宝钢、鞍钢的价格博弈模型为

$$p_i(t+1) = p_i(t) + \alpha_i p_i(t) \frac{\partial L_i}{\partial p_i} \quad (4-8)$$

其中  $\alpha_i$  ( $i=1,2$ ) 表示宝钢、鞍钢的价格调整反应速度。由于市场信息的不对称，以及其他因素的影响，博弈者将会采用不同的价格决策。在首钢进入冷轧钢板市场竞争的初期，其价格的调节能力不如宝钢、鞍钢老道，所以假设首钢仅仅具有“适应性预期”的能力<sup>[150]</sup>，即首钢只会根据前期的最优价格来决定自身的当期价格，因此首钢的价格博弈模型为

$$p_3(t+1) = (1 - \alpha_3) p_3(t) + \alpha_3 \frac{a_3 + et_3 + b_3 p_1 + d_3' p_2}{2e} \quad (4-9)$$

其中， $\alpha_3 \in [0,1]$ ，表示首钢对价格博弈过程适应的调整速度。根据公式 (4-8) 和 (4-9) 可以得到具有不同结构需求函数以及采用不同价格决策的冷轧板市场三寡头价格博弈模型，即以下三维离散动力系统

$$\begin{aligned}p_1(t+1) &= p_1(t) + \alpha_1 p_1(t) (-a_1 p_1^{-2} + b_1 p_2 + d_1' p_3 + 2a_1 t_1 p_1^{-3}) \\ p_2(t+1) &= p_2(t) + \alpha_2 p_2(t) (-a_2 p_2^{-2} + b_2 p_1 + d_2' p_3 + 2t_2 a_2 p_2^{-3}) \\ p_3(t+1) &= (1 - \alpha_3) p_3(t) + \alpha_3 \frac{a_3 + et_3 + b_3 p_1 + d_3' p_2}{2e}\end{aligned}\quad (4-10)$$

## 4.2 系统的复杂动力学分析

在模型 (4-10) 中, 我们对参数进行赋值, 其中认为  $\alpha_i (i=1, 2, 3)$  为可控参数, 对其他参数分别赋值:

$$\begin{aligned} a_1 &= 1, a_2 = 2, a_3 = 0.2, b_1 = 3, b_2 = 4, b_3 = 0.5, d_1 = 4, d_2 = 3, d_3 = 0.1, t_1 = 0.1, t_2 = 0.2, \\ t_3 &= 0.0515, e = 1 \end{aligned}$$

### 4.2.1 市场均衡点及其局部稳定性

将上述参数代入 (4-10), 得到系统

$$\begin{aligned} p_1(t+1) &= p_1(t) + \alpha_1 p_1(t)(-p_1^{-2} + 3p_2 + 4p_3 + 0.2p_1^{-3}) \\ p_2(t+1) &= p_2(t) + \alpha_2 p_2(t)(-2p_2^{-2} + 4p_1 + 3p_3 + 0.8p_2^{-3}) \\ p_3(t+1) &= (1 - \alpha_3)p_3(t) + \alpha_3 \frac{0.2515 + 0.5p_1 + 0.1p_2}{2} \end{aligned} \quad (4-11)$$

对于系统 (4-11), 令其中的  $p_i(t) = p_i(t+1)$ , 可得到:

$$\begin{aligned} \alpha_1 p_1(t)(-p_1^{-2} + 3p_2 + 4p_3 + 0.2p_1^{-3}) &= 0 \\ \alpha_2 p_2(t)(-2p_2^{-2} + 4p_1 + 3p_3 + 0.8p_2^{-3}) &= 0 \\ -\alpha_3 p_3(t) + \alpha_3 \frac{0.2515 + 0.5p_1 + 0.1p_2}{2} &= 0 \end{aligned} \quad (4-12)$$

利用 Matlab 软件可以从 (4-12) 中求出系统 (4-11) 的平衡点共 16 个, 但其中只有两个非负实根具有实际意义, 分别是  $E_1 = (p_1 = 0.2267, p_2 = 0.4897, p_3 = 0.2069), E_2 = (p_1 = 0.2477, p_2 = 0.7464, p_3 = 0.2250)$  我们先来讨论平衡点  $E_2$  的稳定性。经计算  $E_2$  的特征值均大于 1, 所以它是垄断均衡, 为不稳定的平衡点。只有平衡点  $E_1$  是唯一的纳什均衡点, 下面就讨论  $E_1$  的稳定性, 为此我们先计算系统 (4-11) 在  $E_1$  处的 Jacobian 矩阵:

$$J = \begin{pmatrix} 1 + \alpha_1 \phi_1 & 3\alpha_1 p_1 & 4\alpha_1 p_1 \\ 4\alpha_2 p_2 & 1 + \alpha_2 \phi_2 & 3\alpha_2 p_2 \\ 0.25\alpha_3 & 0.05\alpha_3 & 1 - \alpha_3 \end{pmatrix}$$

其中  $\phi_1, \phi_2$  分别为如下数值:

$$\begin{aligned} \phi_1 &= p_1^{-2} + 3p_2 + 4p_3 - 0.4p_1^{-3} \\ &= 1 \times 0.2267^{-2} + 3 \times 0.4897 + 4 \times 0.2069 - 0.4 \times 0.2267^{-3} \\ &= 12.6996 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi_2 &= 2p_2^{-2} + 4p_1 + 3p_3 - 1.6p_2^{-3} \\
 &= 2 \times 0.4897^{-2} + 4 \times 0.2267 + 3 \times 0.2069 - 1.6 \times 0.4897^{-3} \\
 &= 11.8995
 \end{aligned}$$

显然  $\phi_3 = -1$ 。  $E_1$  的特征方程为：

$$f(\lambda) = \lambda^3 + A\lambda^2 + B\lambda + C$$

其中

$$\begin{aligned}
 A &= \phi_1\alpha_1 + \phi_2\alpha_2 + \phi_3\alpha_3 - 3 = 12.6996\alpha_1 + 11.8995\alpha_2 - \alpha_3 - 3, \\
 B &= \phi_1\phi_2\alpha_1\alpha_2 + \phi_2\phi_3\alpha_2\alpha_3 + \phi_1\phi_3\alpha_1\alpha_3 - 2\phi_1\alpha_1 - 2\phi_2\alpha_2 - 2\phi_3\alpha_3 + 3 \\
 &= 151.1295\alpha_1\alpha_2 - 11.8995\alpha_2\alpha_3 - 12.6996\alpha_1\alpha_3 - 25.3992\alpha_1 - 23.799\alpha_2 + 2\alpha_3 + 3 \\
 C &= \phi_1\phi_2\phi_3\alpha_1\alpha_2\alpha_3 - \phi_1\phi_2\alpha_1\alpha_2 - \phi_2\phi_3\alpha_2\alpha_3 - \phi_1\phi_3\alpha_1\alpha_3 + \phi_1\alpha_1 + \phi_2\alpha_2 + \phi_3\alpha_3 - 1 \\
 &= -151.1295\alpha_1\alpha_2\alpha_3 - 151.13\alpha_1\alpha_2 - 11.8995\alpha_2\alpha_3 - 12.6996\alpha_1\alpha_3 + 12.6996\alpha_1 \\
 &\quad + 11.8995\alpha_2 - \alpha_3 - 1
 \end{aligned}$$

根据 Routh-Hurwitz 稳定性判断条件，系统的纳什均衡点局部稳定要求系统均衡点的特征多项式的所有零点都在单位圆内，因此应满足以下条件<sup>[151]</sup>：

$$\left\{
 \begin{array}{l}
 f(1) = A + B + C + 1 > 0 \\
 -f(-1) = -A + B - C + 1 > 0 \\
 C^2 - 1 < 0 \\
 (1 - C^2)^2 - (B - AC)^2 > 0
 \end{array}
 \right.$$

假定首钢对价格博弈过程适应的调整速度先固定，令  $\alpha_3 = 0.01$ ，通过对上述不等式的计算，得到了宝钢和鞍钢的价格调整速度  $(\alpha_1, \alpha_2)$  所在平面内的局部稳定区域，如图 4-1 所示。对于该区域内的  $\alpha_i$  ( $i=1,2$ ) 值，纳什均衡点  $E_1$  才是稳定的。其现实意义为：在纳什均衡点的局部稳定区域内，宝钢、鞍钢、首钢可以任意选择初始价格，经过有限次的价格调整后最终三家钢铁企业总会达到纳什均衡价格。同理将宝钢或鞍钢的价格调整速度分别固定，可得出关于  $(\alpha_2, \alpha_3)$  以及  $(\alpha_1, \alpha_3)$  平面内的稳定区域，本文从略。

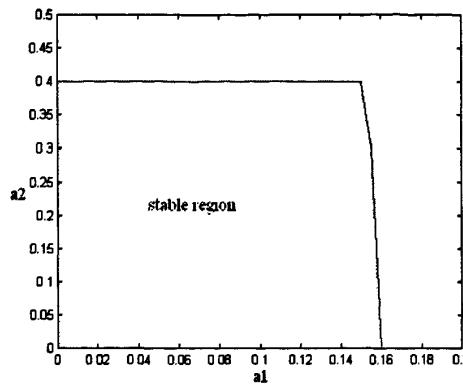


图 4-1 系统的纳什均衡点在 $(\alpha_1, \alpha_2)$ 平面内的稳定区域,  $\alpha_3=0.016$

#### 4.2.2 系统随着参数变化的运动行为

下面我们讨论 $\alpha_i$ 的变化对系统行为的影响。如图 4-2, 4-4 所示, 分别固定 $\alpha_1$ ,  $\alpha_3$ 的数值, 观察随着 $\alpha_2$ 的增大, 三寡头价格的变化趋势。不妨以 4-2 来说明, 我们发现当 $\alpha_2 < 0.4$  时, 三寡头的价格处于均衡状态, 纳什均衡点  $E_1$  是稳定的。随着 $\alpha_2$ 的增大, 宝钢与鞍钢的价格曲线出现了倍周期分岔, 但首钢的价格变化并不太明显;  $\alpha_2 \in (0.4, 0.6]$  是价格分岔的二周期区; 当 $\alpha_2$ 大于 0.6 后, 宝钢与鞍钢的价格再一次出现了分岔, 进入了价格分岔的四周期区; 随着 $\alpha_2$ 的继续增大, 价格曲线经历倍周期分岔, 很快进入了混沌状态。图 4-3 给出了提前固定 $\alpha_2 = 0.3$ ,  $\alpha_3=0.01$ , 随着 $\alpha_1$ 的增大三寡头的价格分岔图。

从图4-2, 4-3, 4-4的价格分岔过程可以看出首钢的价格并没有出现倍周期分岔, 其价格比较稳定, 变化不大, 说明首钢并不是引起混沌的主要因素。其实这一现象是与实际相符的, 在首钢进入冷轧钢板市场的初期, 其竞争力还不是很强, 加之具有区别于宝钢、鞍钢的需求函数, 需求函数的不同主要是由于其市场需求对于价格还较为敏感, 产品的品牌效应还不够响亮, 与宝钢、鞍钢的产品在质量性能上还存在一段差距造成的。并且在进行价格调整的过程中, 具有与另外两个寡头所不同的调整策略, 这些都会致使不论是宝钢抑或是鞍钢的价格调整速度过快都不会造成首钢价格混乱。

从经济学意义上讲, 对于市场上实力相当的两家钢铁寡头, 其中一家钢铁价格的变化速度对两家寡头的价格会产生举足轻重的影响, 是致使系统产生混沌的诱因。然而当某企业的产品与其他厂家的具有差异性时, 该企业的价格受其它厂家价格波动影响较小, 可以看成是混沌市场中的稳定因素。图4-2, 4-3, 4-4

的结论是与实际相符合的。

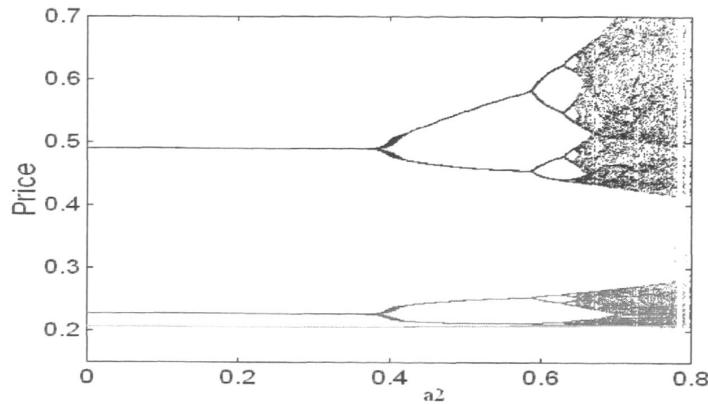


图 4-2 随着  $\alpha_2$  的增大三寡头价格分岔图, 固定  $\alpha_1=0.15$ ,  $\alpha_3=0.016$

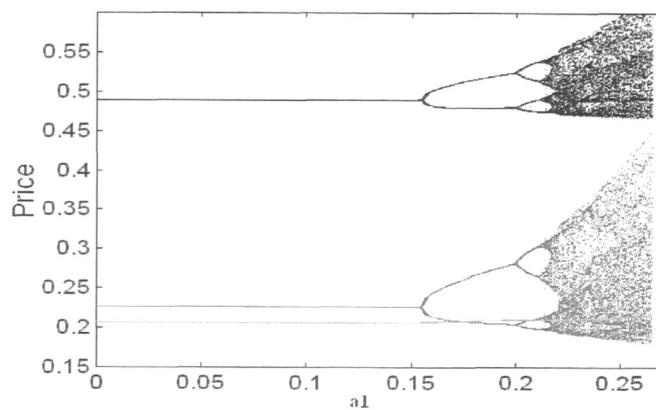


图 4-3 随着  $\alpha_1$  的增大三寡头价格分岔图, 固定  $\alpha_2 = 0.3$ ,  $\alpha_3=0.01$

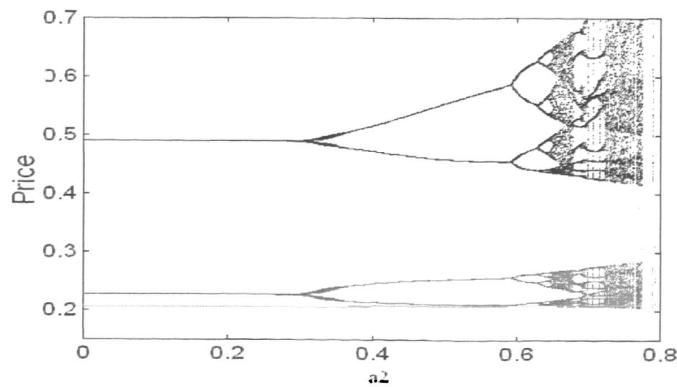


图 4-4 随着  $\alpha_2$  的增大三寡头价格分岔图, 固定  $\alpha_1=0.155$ ,  $\alpha_3=0.01$

下面我们来检验系统是否具有混沌运动的特征，从而验证系统处于混沌状态。当参数取值为 ( $\alpha_1 = 0.25$ ,  $\alpha_2 = 0.3$ ,  $\alpha_3 = 0.01$ )，且初始价格为 ( $p_1 = 0.2267$ ,  $p_2 = 0.4897$ ,  $p_3 = 0.2069$ ) 时系统(4-10)的混沌吸引子如图 4-5 所示，当参数为 ( $\alpha_1 = 0.155$ ,  $\alpha_2 = 0.75$ ,  $\alpha_3 = 0.01$ ) 且初始价格不变时系统(4-10)的混沌吸引子如图 4-6 所示。图 4-7, 图 4-8 是价格关于时间变化的历程图，当参数为 ( $\alpha_1 = 0.25$ ,  $\alpha_2 = 0.3$ ,  $\alpha_3 = 0.01$ )，三寡头初始价格分别取 ( $p_1 = 0.2267$ ,  $p_2 = 0.4897$ ,  $p_3 = 0.2069$ ) 及 ( $p_1 = 0.22671$ ,  $p_2 = 0.4897$ ,  $p_3 = 0.2069$ ) 时宝钢价格随时间变化的历程图，从图 4-7 可以看出，两条轨线刚开始几乎是重合的，因为他们的初值相差无几，但随着时间的推移，他们的差距越来越大，这些更加直观地说明了系统对初值具有敏感依赖性。结合相同条件下的混沌吸引子图 4-5，可以看出混沌系统还具有有界性和遍历性的特征，从图 4-7 中可以看出，宝钢的价格总是在 [0, 0.5] 范围内波动，就是说无论混沌系统内部怎样不稳定，系统的运动轨线总是在混沌吸引域内，从整体上讲体现出了混沌系统的有界性。同时轨线在运动过程中会历经混沌吸引域内的每一个点，体现出了混沌运动的遍历性。图 4-8 是参数为 ( $\alpha_1 = 0.155$ ,  $\alpha_2 = 0.75$ ,  $\alpha_3 = 0.01$ )，三寡头价 格 分 别 是 ( $p_1 = 0.2267$ ,  $p_2 = 0.4897$ ,  $p_3 = 0.2069$ ) 及 ( $p_1 = 0.22671$ ,  $p_2 = 0.48971$ ,  $p_3 = 0.2069$ ) 时鞍钢价格随时间变化的历程图。

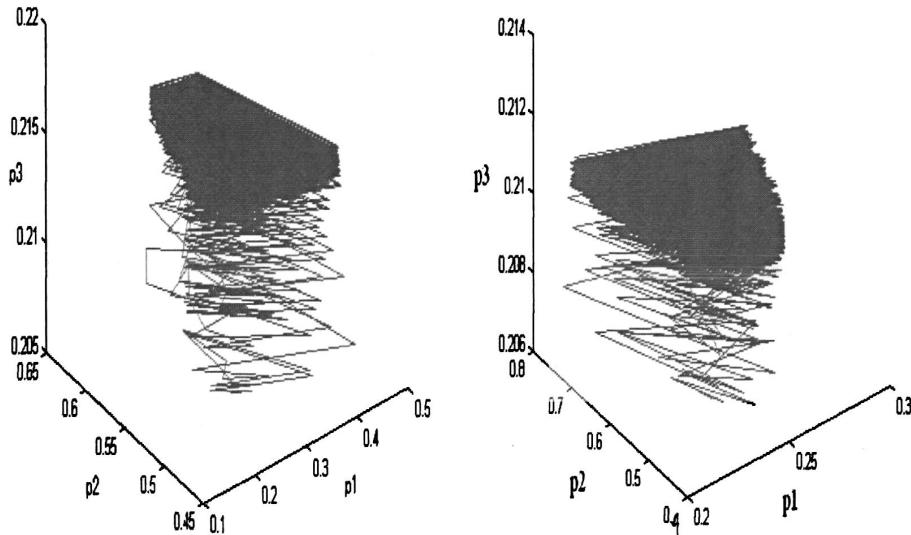
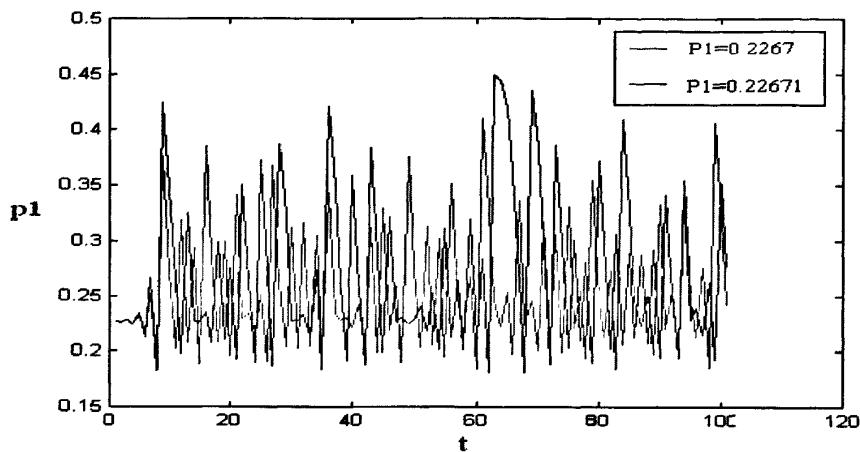
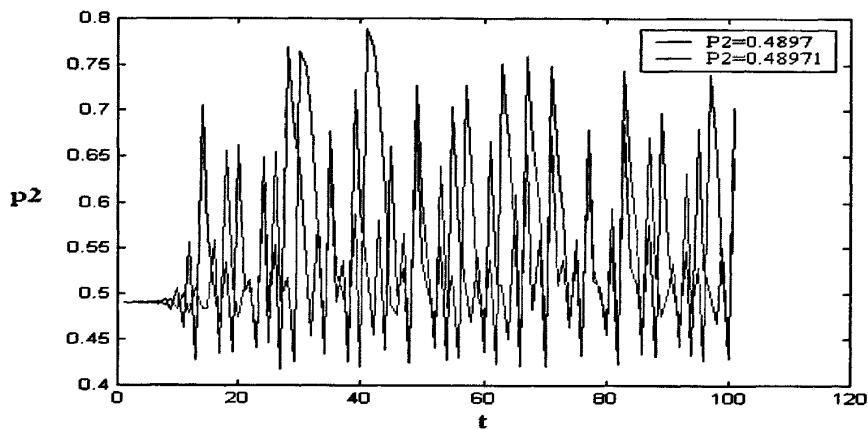


图 4-5 系统的混沌吸引子

 $(\alpha_1 = 0.25, \alpha_2 = 0.3, \alpha_3 = 0.01)$ 

图 4-6 系统的混沌吸引子

 $(\alpha_1 = 0.155, \alpha_2 = 0.75, \alpha_3 = 0.01)$

图 4-7 对初值的敏感依赖性 ( $\alpha_1=0.25$ ,  $\alpha_2=0.3$ ,  $\alpha_3=0.01$ )图 4-8 对初值的敏感依赖性 ( $\alpha_1=0.155$ ,  $\alpha_2=0.75$ ,  $\alpha_3=0.01$ )

### 4.3 复杂性分析结论

本章讨论了首钢进入冷轧钢板市场初期,三寡头价格博弈的过程。结果表明,对于较低的价格调整速度以及适应速度,三寡头博弈会趋向纳什均衡价格,但随着宝钢、鞍钢价格调整速度的增加,纳什均衡点的稳定性将发生变化,价格曲线出现倍周期分岔、系统呈现混沌运动等一系列复杂现象随之出现,但首钢所受影响不大,可以看成是混沌市场中的稳定因素,也就是说,首钢并不是引起混沌的主要因素。

其实际意义可以理解为:在首钢步入冷轧钢板市场初期,其首要目的是能在市场中立足,尽快让公司员工适应冷轧技术,不断提高自身的技术水平,提升

自己的产品质量，逐渐打出自己的品牌。所以首钢这一阶段的战略目标并不是与宝钢、鞍钢争夺市场份额，或是追求自身的高额利润。但是首钢的进入会使市场在位者，即宝钢、鞍钢不知所措，从而他们会快速地不断调整价格，认为通过这种手段能使自己的利润不会受到太大影响，然而他们的价格调整速度过快，最终致使整个冷轧板市场陷入混乱状态，所以实际上，这一举动对宝钢、鞍钢来讲是不利的。然而面对宝钢、鞍钢的举动首钢却泰然处之，首钢的定价一直比较稳定，不会大幅波动。主要是由于首钢明确自己现阶段的目标，不会快速地调整价格去追求自身的最大利润，所以受宝钢、鞍钢价格调整速度的影响不大，最终成为混乱市场中的稳定因子。

#### 4.4 本章小结

本章基于不同结构的需求函数和不同的价格决策建立三寡头价格博弈模型以此来刻画首钢进入冷轧板市场初期时三寡头的竞争。宝钢、鞍钢具有非线性需求函数，而首钢具有线性需求函数，在此基础上进行建模。此外建模时，考虑到首钢进入冷轧钢板市场初期，各寡头对于市场的信息量不一定对称等因素的影响，三寡头对于价格的调整策略也不完全相同。所以从这个实际出发，在建模时分别引入了价格的调整速度以及对博弈过程的适应速度。在此基础上分析了系统的局部稳定性并进行了数值模拟，描绘出了系统复杂的动力学特征。

## 第五章 中国冷轧钢板市场三寡头价格博弈的复杂动力学研究

首钢进入冷轧钢板市场后，随着企业规模的不断壮大，公司员工在技术上的日益娴熟，技术水平的不断提高，首钢冷轧厂的产品在内涵、质量、档次上也会不断提升，由此其下游客户群也由原来的国内自主品牌汽车企业定位于中级汽车企业。随着国内汽车制造业的发展，对原料的需求量在不断攀升，首钢的产能正好填补空缺，这样首钢的冷轧钢板就能进入中高端市场，企业的利润就能大幅提升。而国内一些合资车企的供货商一直以来主要是宝钢、鞍钢，所以首钢的加入必然会夺走宝钢、鞍钢的一部分市场份额，从而企业之间的竞争会更加激烈，三寡头之间的竞争正式展开，这种竞争主要体现在价格竞争上，以此来争夺市场占有份额。

随着首钢的日益发展，其品牌也会随着客户群容量的增多，档次的提高而越来越响亮，与宝钢、鞍钢的技术水平以及固定的下游客户群也会越来越趋同。由此首钢产品的市场需求对于价格的敏感度会逐渐成下降趋势，其需求关系也就由线性结构逐渐向非线性结构转化，最终会与宝钢、鞍钢具有相同结构的非线性需求函数。因此，本章基于相同结构的非线性需求函数建立三寡头价格博弈模型，在此基础上对中国冷轧钢板市场势均力敌的三大寡头之间价格博弈过程的复杂性进行研究，试图为现实中的寡头企业定价策略提供参考。

### 5.1 三寡头价格博弈模型

我们用  $p_i (i=1,2,3)$  分别代表宝钢、鞍钢、首钢的钢铁价格， $q_i (i=1,2,3)$  代表各自的需求量。由于三寡头企业生产同类产品，产品之间具有替代性，所以三寡头的需求函数为：

$$\begin{aligned} q_1 &= a_1 p_1^{-2} + b_1 p_2 + c_1 p_3 \\ q_2 &= a_2 p_2^{-2} + b_2 p_1 + c_2 p_3 \\ q_3 &= a_3 p_3^{-2} + b_3 p_1 + c_3 p_2 \end{aligned} \quad (5-1)$$

其中  $a_i, b_i, c_i > 0, i=1,2,3$ 。成本函数选取线性函数：

$$c_i = r_i + t_i q_i \quad (5-2)$$

其中  $c_i$  代表各自的成本， $r_i, t_i > 0, i=1,2,3$ 。通过 (5-1) 和 (5-2) 很容易得到各

各自的利润函数：

$$\begin{aligned}\pi_1 &= p_1 q_1 - c_1 = p_1(a_1 p_1^{-2} + b_1 p_2 + c_1 p_3) - r_1 - t_1(a_1 p_1^{-2} + b_1 p_2 + c_1 p_3) \\ \pi_2 &= p_2 q_2 - c_2 = p_2(a_2 p_2^{-2} + b_2 p_1 + c_2 p_3) - r_2 - t_2(a_2 p_2^{-2} + b_2 p_1 + c_2 p_3) \\ \pi_3 &= p_3 q_3 - c_3 = p_3(a_3 p_3^{-2} + b_3 p_1 + c_3 p_2) - r_3 - t_3(a_3 p_3^{-2} + b_3 p_1 + c_3 p_2)\end{aligned}\quad (5-3)$$

其边际利润分别是  $\frac{\partial \pi_i}{\partial p_i}$ ， $i=1,2,3$ 。

$$\begin{aligned}\frac{\partial \pi_1}{\partial p_1} &= -a_1 p_1^{-2} + b_1 p_2 + c_1 p_3 + 2a_1 t_1 p_1^{-3} \\ \frac{\partial \pi_2}{\partial p_2} &= -a_2 p_2^{-2} + b_2 p_1 + c_2 p_3 + 2t_2 a_2 p_2^{-3} \\ \frac{\partial \pi_3}{\partial p_3} &= -a_3 p_3^{-2} + b_3 p_1 + c_3 p_2 + 2t_3 a_3 p_3^{-3}\end{aligned}\quad (5-4)$$

由于宝钢、鞍钢、首钢各自获得的关于市场需求以及与竞争对手有关的信息量只是有限的，加之利润最大化又是三寡头所追求的最终目标，所以他们调整当期钢价的主要依据就是考察各自前期边际利润的状况，我们用下式表示价格重复博弈模型：

$$p_i(t+1) = p_i(t) + \alpha_i p_i(t) \frac{\partial \pi_i}{\partial p_i} \quad (5-5)$$

其中  $\alpha_i$  为价格调整参数。将各自的边际利润  $\frac{\partial \pi_i}{\partial p_i}$  代入 (5-5)，从而得到了三寡头冷轧板市场价格重复博弈模型：

$$\begin{aligned}p_1(t+1) &= p_1(t) + \alpha_1 p_1(t)(-a_1 p_1^{-2} + b_1 p_2 + c_1 p_3 + 2a_1 t_1 p_1^{-3}) \\ p_2(t+1) &= p_2(t) + \alpha_2 p_2(t)(-a_2 p_2^{-2} + b_2 p_1 + c_2 p_3 + 2t_2 a_2 p_2^{-3}) \\ p_3(t+1) &= p_3(t) + \alpha_3 p_3(t)(-a_3 p_3^{-2} + b_3 p_1 + c_3 p_2 + 2t_3 a_3 p_3^{-3})\end{aligned}\quad (5-6)$$

## 5.2 系统的复杂动力学分析

由于对市场信息的掌控等一系列客观因素的不同导致宝钢、鞍钢、首钢各寡头对价格的调整力度及速度不可能完全相同，这就必然会影响企业之间的价格博弈结果。所以，对价格策略的调整力度及速度，即模型中的  $\alpha_i$  是影响价格博弈的重要因素。下面我们就针对  $\alpha_i$  的变化对系统的非线性动力学特性进行分析。

### 5.2.1 市场均衡点及其局部稳定性

将系统(5-6)中的变量 $\alpha_i$ 设为可控参数，其它参数分别进行赋值：  
 $a_1 = 1, a_2 = 2, a_3 = 3, b_1 = 3, b_2 = 4, b_3 = 4, c_1 = 4, c_2 = 3, c_3 = 3, t_1 = 0.1, t_2 = 0.2, t_3 = 0.1$   
 我们得到三维离散动力系统为

$$\begin{aligned} p_1(t+1) &= p_1(t) + \alpha_1 p_1(t)(-p_1^{-2} + 3p_2 + 4p_3 + 0.2p_1^{-3}) \\ p_2(t+1) &= p_2(t) + \alpha_2 p_2(t)(-2p_2^{-2} + 4p_1 + 3p_3 + 0.8p_2^{-3}) \\ p_3(t+1) &= p_3(t) + \alpha_3 p_3(t)(-3p_3^{-2} + 4p_1 + 3p_2 + 0.6p_3^{-3}) \end{aligned} \quad (5-7)$$

它是由三个差分方程构成的，令其中的 $p_i(t) = p_i(t+1)$ ，可以得到

$$\begin{aligned} \alpha_1 p_1(t)(-p_1^{-2} + 3p_2 + 4p_3 + 0.2p_1^{-3}) &= 0 \\ \alpha_2 p_2(t)(-2p_2^{-2} + 4p_1 + 3p_3 + 0.8p_2^{-3}) &= 0 \\ \alpha_3 p_3(t)(-3p_3^{-2} + 4p_1 + 3p_2 + 0.6p_3^{-3}) &= 0 \end{aligned} \quad (5-8)$$

利用Matlab软件解得系统有28个不动点。其中只有两个非负实根具有实际意义，分别是：

$$E_1 = (p_1 = 0.248, p_2 = 0.769, p_3 = 0.210), E_2 = (p_1 = 0.227, p_2 = 0.490, p_3 = 0.207)。$$

下面我们分别来讨论平衡点 $E_1$ 与 $E_2$ 的稳定性。通过 $E_1$ 的特征多项式可以计算出 $E_1$ 的特征值，其模均大于1，所以 $E_1$ 为不稳定平衡点。只有 $E_2$ 是唯一的纳什均衡点，纳什均衡点只在局部区域内稳定，为了分析其局部稳定性，我们考虑 $E_2$ 的Jacobian矩阵：

$$J = \begin{pmatrix} 1 + \alpha_1 \phi_1 & \alpha_1 b_1 p_1 & \alpha_1 c_1 p_1 \\ \alpha_2 b_2 p_2 & 1 + \alpha_2 \phi_2 & \alpha_2 c_2 p_2 \\ \alpha_3 b_3 p_3 & \alpha_3 c_3 p_3 & 1 + \alpha_3 \phi_3 \end{pmatrix} \quad (5-9)$$

其中

$$\begin{aligned} \phi_1 &= a_1 p_1^{-2} + b_1 p_2 + c_1 p_3 - 4a_1 t_1 p_1^{-3} \\ &= 1 \times 0.227^{-2} + 3 \times 0.490 + 4 \times 0.207 - 4 \times 1 \times 0.1 \times 0.227^{-3} \\ &= 12.7 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi_2 &= a_2 p_2^{-2} + b_2 p_1 + c_2 p_3 - 4t_2 a_2 p_2^{-3} \\ &= 2 \times 0.490^{-2} + 4 \times 0.227 + 3 \times 0.207 - 4 \times 0.2 \times 2 \times 0.490^{-3} \\ &= 11.9 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi_3 &= a_3 p_3^{-2} + b_3 p_1 + c_3 p_2 - 4t_3 a_3 p_3^{-3} \\ &= 3 \times 0.207^{-2} + 4 \times 0.227 + 3 \times 0.490 - 4 \times 0.1 \times 3 \times 0.207^{-3} \\ &= 61.1\end{aligned}$$

$E_2$  的特征方程为:  $f(\lambda) = \lambda^3 + A\lambda^2 + B\lambda + C$ , 其中

$$\begin{aligned}A &= \phi_1\alpha_1 + \phi_2\alpha_2 + \phi_3\alpha_3 - 3 = 12.7\alpha_1 + 11.9\alpha_2 + 61.1\alpha_3 - 3, \\ B &= \phi_1\phi_2\alpha_1\alpha_2 + \phi_2\phi_3\alpha_2\alpha_3 + \phi_1\phi_3\alpha_1\alpha_3 - 2\phi_1\alpha_1 - 2\phi_2\alpha_2 - 2\phi_3\alpha_3 + 3 \\ &= 151.13\alpha_1\alpha_2 + 727.09\alpha_2\alpha_3 + 775.97\alpha_1\alpha_3 - 25.4\alpha_1 - 23.8\alpha_2 - 122.2\alpha_3 + 3, \\ C &= \phi_1\phi_2\phi_3\alpha_1\alpha_2\alpha_3 - \phi_1\phi_2\alpha_1\alpha_2 - \phi_2\phi_3\alpha_2\alpha_3 - \phi_1\phi_3\alpha_1\alpha_3 + \phi_1\alpha_1 + \phi_2\alpha_2 + \phi_3\alpha_3 - 1 \\ &= 9234.043\alpha_1\alpha_2\alpha_3 - 151.13\alpha_1\alpha_2 - 727.09\alpha_2\alpha_3 - 775.97\alpha_1\alpha_3 + 12.7\alpha_1 + 11.9\alpha_2 + 61.1\alpha_3 - 1\end{aligned}$$

根据 Routh-Hurwitz 稳定性判断条件<sup>[151]</sup>, 纳什均衡点的局部稳定区域应满足以下条件:

$$\left\{ \begin{array}{l} f(1) = A + B + C + 1 > 0 \\ -f(-1) = -A + B - C + 1 > 0 \\ C^2 - 1 < 0 \\ (1 - C^2)^2 - (B - AC)^2 > 0 \end{array} \right. \quad (5-10)$$

通过对以上不等式组的计算, 得出了系统局部稳定的区域。图 5-1、5-2、5-3 分别给出了  $\alpha_1 = 0.084$ 、 $\alpha_2 = 0.3$ 、 $\alpha_3 = 0.016$  时稳定域在  $(\alpha_2, \alpha_3)$ 、 $(\alpha_1, \alpha_3)$ 、 $(\alpha_1, \alpha_2)$  平面的截图 (其中的黄色区域)。

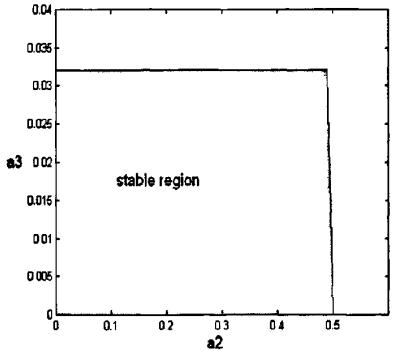


图 5-1 系统的纳什均衡点在  $(\alpha_2, \alpha_3)$  平面上的稳定区域,  $\alpha_1 = 0.084$

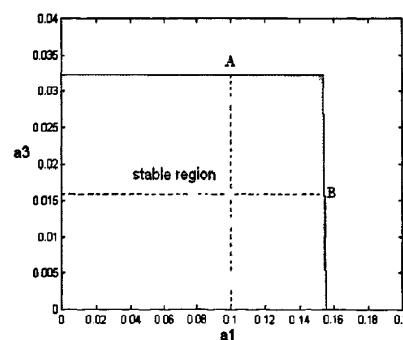


图 5-2 系统的纳什均衡点在  $(\alpha_1, \alpha_3)$  平面上的稳定区域,  $\alpha_2 = 0.3$

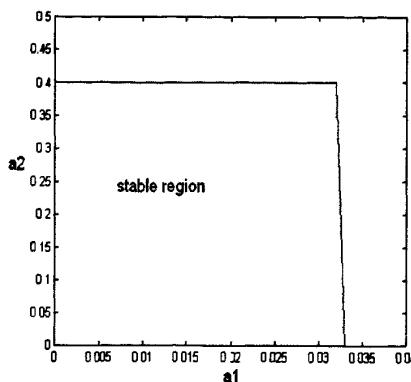


图 5-3 系统的纳什均衡点在 $(\alpha_1, \alpha_2)$ 平面内的稳定区域,  $\alpha_3=0.016$

钢铁企业为了增加利润会不断地对自身的价格进行调整, 虽然价格调整速度不能改变纳什均衡点的大小<sup>[146, 84]</sup>, 但会改变纳什均衡点的稳定性。如果三寡头中的任何一方价格调整速度过快并且超出稳定区域, 钢铁价格将会变得不稳定, 并最终陷入混沌状态。下面就利用数值模拟的方法进行验证。

### 5.2.2 价格调整参数的变化对系统的影响

只要寡头中的任何一方加快价格调整速度, 使得 $\alpha_i$ 冲出了稳定区域, 纳什均衡点的稳定性就会发生变化。不妨以宝钢(寡头1)为例来说明, 图 5-4 显示了随着宝钢的价格调整速度 $\alpha_1$ 的增大, 三寡头的价格演化过程。三寡头的钢价从纳什均衡状态经历了倍周期分岔最终达到混沌状态, 呈现出了复杂而丰富的演化结果。图 5-4 表明固定 $\alpha_2=0.3$ 时, 当 $\alpha_3=0.016$ 时, 随着 $\alpha_1$ 的增加, 三寡头价格曲线的变化, 绿色曲线见右边放大图。我们发现, 当 $\alpha_1 < 0.155$ , 纳什均衡点是稳定的, 即三寡头的价格均处于均衡状态(1 周期状态)。随着 $\alpha_1$ 的增加, 均衡点的稳定性发生了变化, 三寡头的价格出现了倍周期分岔, 区间 $\alpha_1 \in (0.155, 0.2]$ 是三寡头价格波动的 2 周期区。当 $\alpha_1 > 0.2$ , 三寡头价格再一次发生倍周期分岔, 区间 $\alpha_1 \in (0.2, 0.215]$ 是三寡头价格波动的 4 周期区; 区间 $\alpha_1 \in (0.215, 0.22]$ 是三寡头价格波动的 8 周期区, ..., 最终三寡头价格达到混沌状态。与图 5-4 相对应图 5-5 给出了固定 $\alpha_2=0.3$ , 当 $\alpha_1=0.1$ 时, 随着 $\alpha_3$ 的增加三寡头价格分岔图, 同样我们发现当 $\alpha_3$ 大于 0.032 后, 三寡头的价格出现分岔, 随着 $\alpha_3$ 的继续增加, 价格曲线历经倍周期分岔通向了混沌。结合分岔图 5-4, 5-5, 可以发现固定 $\alpha_2=0.3$ , 三寡头分岔曲线的边界点恰好对应于稳定域图 5-2 的 A (0.1, 0.032), B (0.155, 0.016) 两点, 从而也验证了当 $\alpha_i$ 冲出了稳定区域, 系统出现了分岔, 并走向混沌。图 5-6 给出了固定 $\alpha_3=0.016$ 时, 当 $\alpha_1=0.15$ 时,

三寡头的价格随  $\alpha_2$  的变化发生的分岔现象, 图 5-7 给出了固定  $\alpha_1=0.15$ , 当  $\alpha_2=0.2$  时, 随着  $\alpha_3$  的增加三寡头价格分岔图。图 5-8 给出了当  $\alpha_1=0.084$  时, 随  $\alpha_3$  的增加三寡头价格分岔图。图 5-9、5-10、5-11 分别显示了在  $(\alpha_1=0.255, \alpha_2=0.3, \alpha_3=0.016)$ 、 $(\alpha_1=0.15, \alpha_2=0.75, \alpha_3=0.016)$ 、 $(\alpha_1=0.084, \alpha_2=0.3, \alpha_3=0.052)$  时系统 (5-6) 的混沌吸引子。

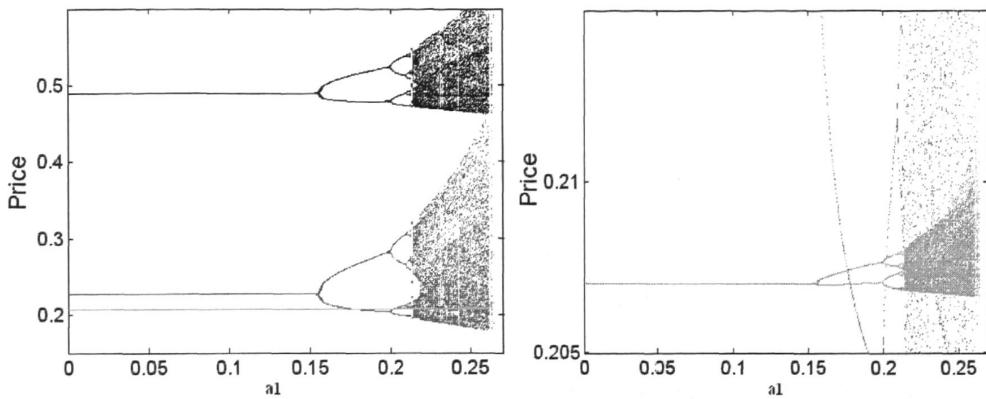


图 5-4 固定  $\alpha_2=0.3$ , 当  $\alpha_3=0.016$  时, 随着  $\alpha_1$  的增加三寡头价格分岔图

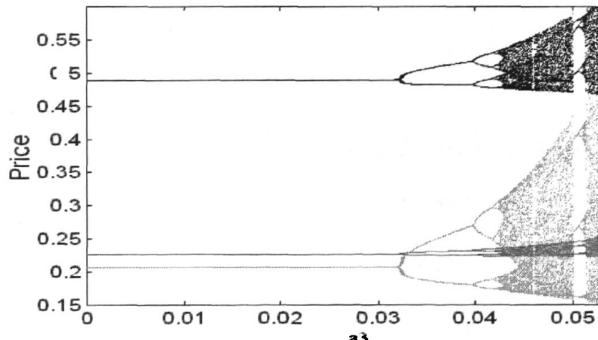


图 5-5 当  $\alpha_1=0.1$ , 固定  $\alpha_2=0.3$  时, 随着  $\alpha_3$  的增加三寡头价格分岔图

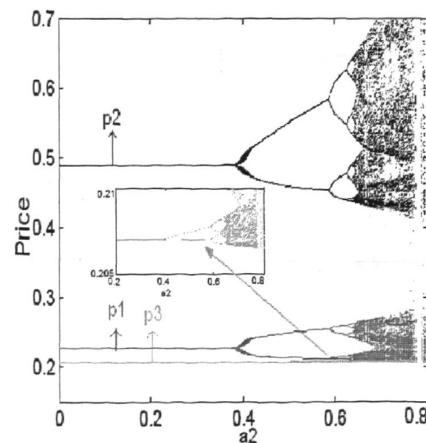


图 5-6 当  $\alpha_1=0.15$  时, 固定  $\alpha_3=0.016$  时, 随着  $\alpha_2$  的增加三寡头价格分岔图

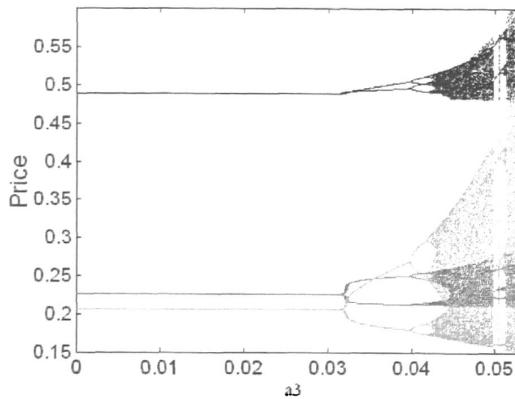


图 5-7 固定  $\alpha_1=0.15$ , 当  $\alpha_2=0.2$  时, 随着  $\alpha_3$  的增加三寡头价格分岔图

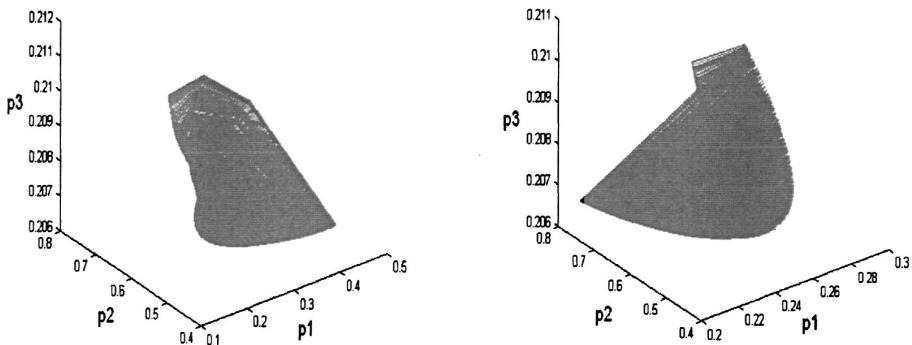


图 5-9 ( $\alpha_1=0.255, \alpha_2=0.3, \alpha_3=0.016$ )  
系统的混沌吸引子

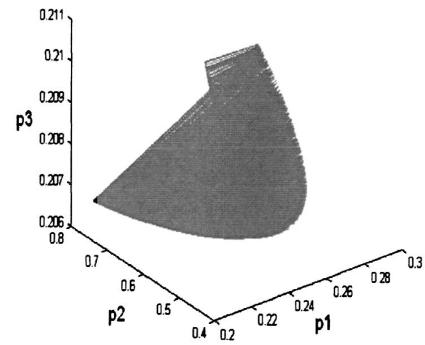


图 5-10 ( $\alpha_1=0.15, \alpha_2=0.75, \alpha_3=0.016$ )  
系统的混沌吸引子

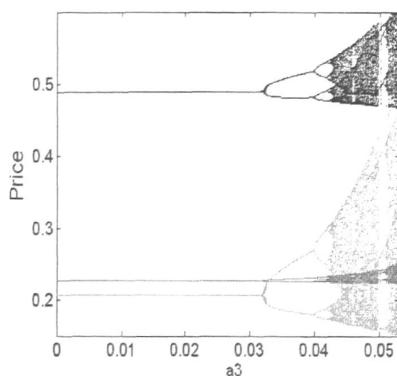


图 5-8 当  $\alpha_1=0.084$  时, 随  $\alpha_3$  的增加  
三寡头价格分岔图

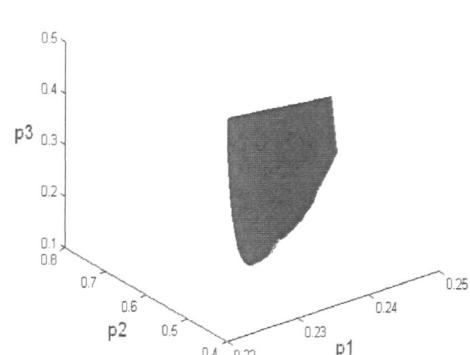


图 5-11 当 ( $\alpha_1=0.084, \alpha_2=0.3, \alpha_3=0.052$ )  
时, 系统的混沌吸引子

对初始条件的敏感依赖性也是混沌现象重要特征, 为了验证系统 (5-6) 是

否具有这一特征，图 5-12、5-13、5-14 分别显示了初始值微弱变化时关于价格和时间的关系图。我们以宝钢的价格为例来说明，计算当( $\alpha_1=0.255$ ,  $\alpha_2=0.3$ ,  $\alpha_3=0.016$ )时，初值分别为( $p_1=0.227$ ,  $p_2=0.490$ ,  $p_3=0.207$ )和( $p_1=0.2271$ ,  $p_2=0.490$ ,  $p_3=0.207$ )的两条轨线，我们发现博弈开始时两条轨线几乎是重合的，由于初值相差无几，但随着时间的推移，两条路径的差距拉大了，并且越发显著，如图 5-12 所示。这说明企业初始价格的细微差别，都会对数次博弈后的结果造成很大影响。也进一步验证了当  $\alpha_2=0.3$ , ( $\alpha_1, \alpha_3$ )冲出稳定域时系统陷入了混沌状态。图 5-13 与图 5-14 分别验证了鞍钢（寡头 2）与首钢（寡头 3）的价格对初值的敏感依赖性。

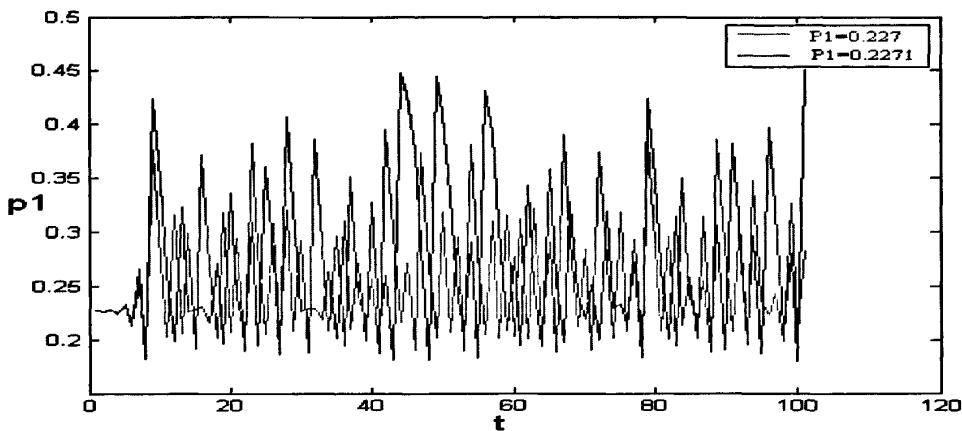


图 5-12 当( $\alpha_1=0.255$ ,  $\alpha_2=0.3$ ,  $\alpha_3=0.016$ )，寡头 1 的价格对于初值的敏感依赖

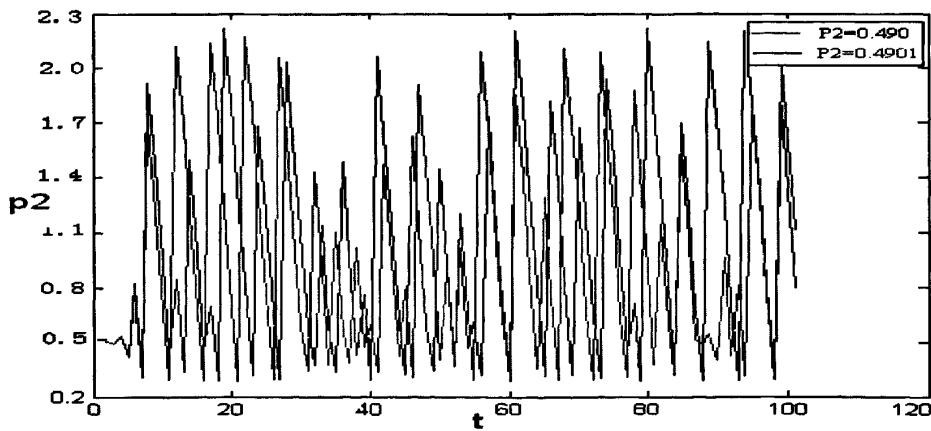


图 5-13 当 ( $\alpha_1=0.15$ ,  $\alpha_2=0.75$ ,  $\alpha_3=0.016$ ) 时，  
寡头 2 的价格对于初值的敏感依赖

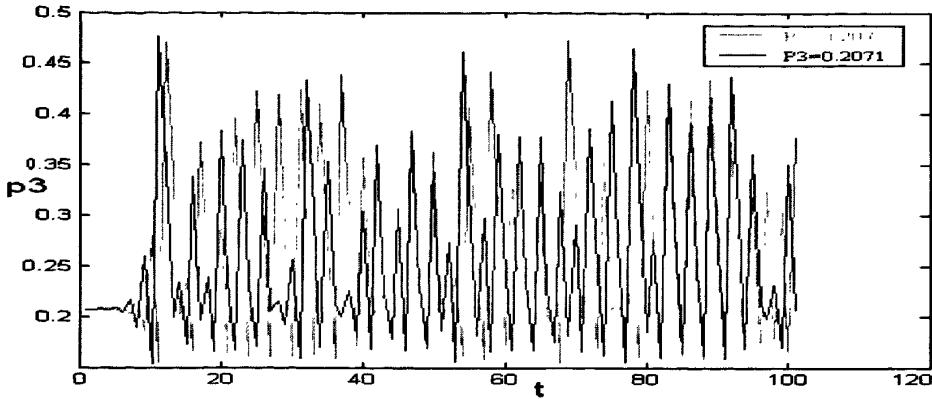


图 5-14 当 ( $\alpha_1=0.084$ ,  $\alpha_2=0.3$ ,  $\alpha_3=0.052$ ) 时,  
寡头 3 的价格对于初值的敏感依赖

### 5.3 对混沌系统的控制

上述研究发现, 各寡头不断提高价格调整速度将会使系统变得不稳定, 最终陷入混沌状态, 所以下面就利用系统变量的状态反馈和参数调节法来控制参数  $\alpha_i$  对系统复杂性态的影响。设原系统 (5-6) 为

$$\begin{aligned} p_1(t+n) &= X[p_1(t), p_2(t), p_3(t)] \\ p_2(t+n) &= Y[p_1(t), p_2(t), p_3(t)] \\ p_3(t+n) &= Z[p_1(t), p_2(t), p_3(t)] \end{aligned} \quad (5-11)$$

(5-11) 被控制后为:

$$\begin{aligned} p_1(t+n) &= (1-\mu)X'[p_1(t), p_2(t), p_3(t)] + \mu p_1(t) \\ p_2(t+n) &= (1-\mu)Y'[p_1(t), p_2(t), p_3(t)] + \mu p_2(t) \\ p_3(t+n) &= (1-\mu)Z'[p_1(t), p_2(t), p_3(t)] + \mu p_3(t) \end{aligned} \quad (5-12)$$

其中  $n$  代表控制  $n$  周期轨道。这里我们重点讨论受控系统 (5-12) 在  $n=1$  时的情形, 即控制原系统 (5-6) 的纳什均衡点, 此时受控系统为:

$$\begin{aligned} p_1(t+1) &= (1-\mu)[p_1(t) + \alpha_1 p_1(t)(-a_1 p_1^{-2} + b_1 p_2 + c_1 p_3 + 2a_1 t_1 p_1^{-3})] + \mu p_1(t) \\ p_2(t+1) &= (1-\mu)[p_2(t) + \alpha_2 p_2(t)(-a_2 p_2^{-2} + b_2 p_1 + c_2 p_3 + 2t_2 a_2 p_2^{-3})] + \mu p_2(t) \\ p_3(t+1) &= (1-\mu)[p_3(t) + \alpha_3 p_3(t)(-a_3 p_3^{-2} + b_3 p_1 + c_3 p_2 + 2t_3 a_3 p_3^{-3})] + \mu p_3(t) \end{aligned} \quad (5-13)$$

其中  $\mu$  为控制参数, 其他参数值与数值模拟时的数值保持一致。当  $\mu=0$  时,

受控系统 (5-13) 即为原系统 (5-6), 不妨以首钢 (寡头 3) 为例来说明, 此时受控系统 (5-13) 的纳什均衡点稳定时  $\alpha_3$  的取值与原系统 (5-6) 纳什均衡点稳定时参数范围相同, 即  $0 < \alpha_3 < 0.032$ 。随着控制参数  $\mu$  的增加, 混沌系统受到控制, 被逐渐控制在 8 周期、4 周期、2 周期、纳什均衡点, 当  $\mu > 0.375$  时, 系统逐渐稳定在纳什均衡点, 这一点从图 5-15 可以看出。

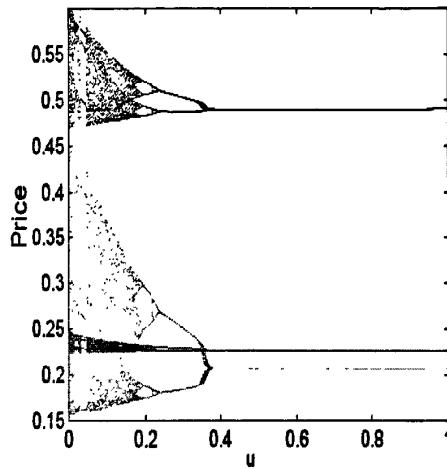


图 5-15 系统随控制参数  $\mu$  的变化趋势, ( $\alpha_1=0.084$ ,  $\alpha_2=0.3$ ,  $\alpha_3=0.052$ )

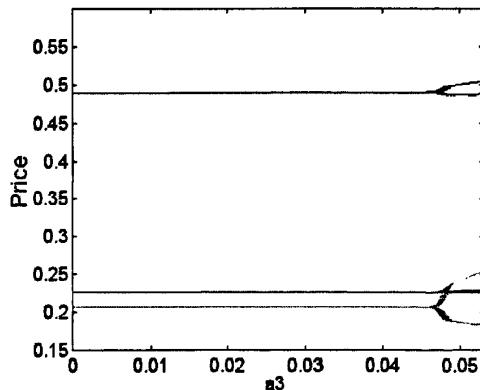


图 5-16 随  $\alpha_3$  的增加, 混沌控制后的三寡头价格分岔图,  $\alpha_1=0.084$

当  $\mu=0.2$  时, 受控系统 (5-13) 变为

$$\begin{aligned} p_1(t+1) &= p_1(t) + 0.8 \times \alpha_1 p_1(t) (-p_1^{-2} + 3p_2 + 4p_3 + 0.2p_1^{-3}) \\ p_2(t+1) &= p_2(t) + 0.8 \times \alpha_2 p_2(t) (-2p_2^{-2} + 4p_1 + 3p_3 + 0.8p_2^{-3}) \\ p_3(t+1) &= p_3(t) + 0.8 \times \alpha_3 p_3(t) (-3p_3^{-2} + 4p_1 + 3p_2 + 0.6p_3^{-3}) \end{aligned} \quad (5-14)$$

由图 5-16 可知受控系统 (5-14) 随着  $\alpha_3$  的增加, 纳什均衡点的稳定区域扩大了, 由原系统 (5-6) 的二周期分岔点  $\alpha_3 = 0.032$  如图 5-5 所示扩大为受控后系统 (5-14) 的二周期分岔点 0.046 如图 5-16 所示, 说明原系统 (5-6) 经过控制后, 倍周期分岔被延迟了, 从而混沌现象就可以被延迟或消除。

为了能够使以上的混沌控制更好地联系实际, 为现实的混沌市场提供启示, 将上述采用的混沌控制方法变形为对系统参数的调整, 受控系统 (5-13) 变形为:

$$\begin{aligned} p_1(t+1) &= p_1(t) + \alpha_1 p_1(t)[(a_1\mu - a_1)p_1^{-2} + (b_1 - b_1\mu)p_2 + (c_1 - c_1\mu)p_3 + (2a_1t_1 - 2a_1t_1\mu)p_1^{-3}] \\ p_2(t+1) &= p_2(t) + \alpha_2 p_2(t)[(a_2\mu - a_2)p_2^{-2} + (b_2 - b_2\mu)p_1 + (c_2 - c_2\mu)p_3 + (2t_2a_2 - 2a_2t_2\mu)p_2^{-3}] \\ p_3(t+1) &= p_3(t) + \alpha_3 p_3(t)[(a_3\mu - a_3)p_3^{-2} + (b_3 - b_3\mu)p_1 + (c_3 - c_3\mu)p_2 + (2t_3a_3 - 2a_3t_3\mu)p_3^{-3}] \end{aligned} \quad (5-15)$$

令上式中的  $a_i\mu = \Delta a_i, b_i\mu = \Delta b_i, c_i\mu = \Delta c_i, 2a_i t_i \mu = \Delta t_i$ , ( $i = 1, 2, 3$ ), 则 (5-15) 变形为:

$$\begin{aligned} p_1(t+1) &= p_1(t) + \alpha_1 p_1(t)[(\Delta a_1 - a_1)p_1^{-2} + (b_1 - \Delta b_1)p_2 + (c_1 - \Delta c_1)p_3 + (2a_1t_1 - \Delta t_1)p_1^{-3}] \\ p_2(t+1) &= p_2(t) + \alpha_2 p_2(t)[(\Delta a_2 - a_2)p_2^{-2} + (b_2 - \Delta b_2)p_1 + (c_2 - \Delta c_2)p_3 + (2t_2a_2 - \Delta t_2)p_2^{-3}] \\ p_3(t+1) &= p_3(t) + \alpha_3 p_3(t)[(\Delta a_3 - a_3)p_3^{-2} + (b_3 - \Delta b_3)p_1 + (c_3 - \Delta c_3)p_2 + (2t_3a_3 - \Delta t_3)p_3^{-3}] \end{aligned} \quad (5-16)$$

通过以上公式变换, 我们发现在实际中要想实现对混沌系统的控制, 可以通过控制成本、优化产品结构、提高企业营销能力等方法实现。首先企业生产成本的降低, 可以实现其利润的增加, 所以降低成本是剔除调整价格之外的另一种增加利润的方法。其次, 各寡头应更加注重生产具有自身特色的冷轧板, 这样就能避免消费者把价格作为衡量产品的唯一标准。要做到这一点就需要企业不断优化产品结构, 加强自主创新能力。此外, 要想避开激烈的价格竞争, 还需要企业提高自身的营销能力, 从而达到稳定自身市场份额的目的。具有说来, 可以采取如下策略:

## 1、控制成本

优化空间布局是降低成本的重要途径。如果钢铁企业要进行改造扩建, 应综合考虑矿产资源, 水、电、煤气等能源, 交通运输, 市场分布等因素, 在综合条件较为优越的地区进行扩建, 这样就可以达到降低生产成本和物流成本的目的。此外, 综合利用国内、国外矿产资源也能使成本保持相对稳定。钢铁企业

可以采用合资、合作等方式不断加强与国内、国外铁矿石、煤炭等原料生产企业的合作，签订长期的订货合同，获得稳定的原料来源，互利互惠。这样就使企业的生产成本不存在上升的空间，从而在市场中稳定立足，规避风险。

## 2、优化产品结构

物以稀为贵，要想提高竞争力，游离于价格战所带来的激烈竞争，钢铁寡头就应该集中生产国内稀缺产品，优化产品结构。冷轧产品分为冷轧薄板，冷轧中厚板等。其中冷轧薄板在国内更为紧俏，企业应扩大产能生产冷轧薄板，加强生产高技术含量和高附加值的这些国内还不能完全自给的优质钢材。此外随着国家对节能减排政策的高度重视，加强生产资源节约型钢材将会成为我国钢铁发展的新趋势，对于这些钢材的重点开发也是提高钢铁寡头竞争力的有力保障。

## 3、加强自主创新能力

要想避开激烈的价格竞争，钢铁寡头应不断加强自主创新能力。通过加大科技创新的投入，建立产品和技术的研发机构，积极采用先进的工艺和一流的技术设备，发展具有自主知识产权的冷轧工艺、装备技术和产品，并力争得到市场的认可，避免与对手雷同，这样定能提高企业的竞争力。此外，一流的大型专业化技术设备还能充分发挥钢铁企业的规模经济效益，从而能够降低企业的平均成本，为摆脱寡头之间的价格竞争提供砝码。

## 4、与下游企业建立长期合作的关系

与下游企业建立长期的战略合作关系能够使钢铁企业在日益激烈的市场竞争中立于不败之地。通过与冷轧产品下游产业诸如汽车、造船等行业的合作能够达到一箭双雕的目的。一方面能够共同开发下游产业所需的产品，从而在保证质量的前提下，有助于产品的研发，缩短企业开发时间；另一方面，通过与下游产业签订长期合同，钢铁寡头的产品就有了稳定的销售市场，企业市场份额就不存在下降空间，从而就能够实现在纷繁多变的需求市场中处于稳定地位。

## 5.4 复杂性分析结论

本章讨论了中国高端冷轧钢板市场三寡头价格博弈的非线性动力学特征，我们发现当某一钢铁企业为获取前期的竞争优势而加速价格的调整，系统将会变得不稳定，并会导致系统历经倍周期分岔走向混沌。在此模型中，每个钢铁企业都根据前期的边际利润情况来决定自身当前的价格调整力度，他们的这种有

限理性会使得三寡头需要进行长期动态重复博弈。而在博弈过程中参与者三方很容易陷入混沌状态，从而使系统的演化过程更加复杂。所以从规避风险的角度考虑，三寡头都满意的状态是保持纳什均衡价格。

以上我们利用复杂性理论以及数值模拟的方法研究了系统的混沌特性。对于钢铁寡头来讲，不希望看到钢价处于混沌状态。其实，系统运动的结果受各个变量取值的影响，混沌的产生尤其依赖于分岔参数的取值，因此，适当调节那些分岔参数就能达到控制混沌的目的。本文通过系统变量的状态反馈和参数调节的控制策略，延迟了三寡头高端冷轧钢板市场中离散非线性动力系统的倍周期分岔，最终使三寡头的价格都稳定于纳什均衡点，并通过系统分岔图验证了混沌控制过程。

## 5.5 本章小结

中国高端冷轧钢板市场的竞争格局将是三足鼎立的状态，有三个寡头相互竞争。为了研究寡头之间的竞争过程，本文在非线性需求函数的基础上建立了具有有限理性的三寡头价格重复博弈模型，该模型更加接近现实。我们发现，一方面，相较于二寡头价格博弈过程，三寡头博弈过程所体现出的动力学行为更加丰富多彩。另一方面，从理论上讲，通过对一类高次离散型非线性动力系统的复杂性分析，得出此非线性动力系统出现混沌运动的条件，并利用数值模拟进行了验证。

## 第六章 管线钢市场二寡头博弈的复杂性及三寡头博弈模型研究

随着国家工业化进程的加速，国民经济的飞速发展，各行各业对能源的需求也越来越旺盛。对于各种能源诸如天然气、石油等的输送需要依靠管道工程来完成，而管道工业的发展，必然需要钢铁行业提供大量的并且质量可靠的管线钢作为保障。近年来，顺应未来能源的需求，管道工程不断壮大，管线钢的需求量也就随之大幅提高。所以，国内管线钢市场的状况在一定程度上关系着我国能源的供应以及与能源相依存的各个行业的发展。

管线钢大致经历了三个较为明显的发展阶段<sup>[152]</sup>。第一阶段为 1960 年以前，国内管线钢是以元素碳、锰和碳、锰、硅为主要原料的普通碳钢，强度不高，级别在 X52 以下。第二阶段为 1960 年至 1972 年，在这一阶段，管线钢的生产工艺有所改进，原材料在普通碳钢的基础上添加了钒和铌，并利用相应的热轧工艺，生产出了强度级别为 X60、X65 的管线钢<sup>[153]</sup>。第三阶段为 1972 年至今，这一阶段，伴随着生产技术的提高，管线钢的强度以及综合性能也大幅提高，其各项性能与先进国家的管线钢差距明显缩短。目前我国已具备了生产级别为 X70、X80、X100 的高强度管线钢的生产能力了。

宝钢是我国生产管线钢的骨干企业，目前已较好地掌握了各种高强度、高韧性、高焊接性能管线钢板的设计、生产、冶炼、轧制的技术，可以进行批量生产的有强度级别为 X52、X65、X70、X80、X100 的管线钢<sup>[154]</sup>，并且能够提供质量保证。近年来，宝钢先后为我国“西气东输”等大型管线工程提供了大量优质的管线钢材，为我国管道业的发展做出了巨大贡献。上世纪末期，宝钢管线钢国内市场占有率为 65%左右，近十年来，随着武钢等钢铁企业管线钢产量的不断增长，宝钢的市场占有率下降为 30%左右<sup>[155]</sup>。

武钢是国内生产管线钢发展最快的企业，国内市场占有率由 1997 年仅 1%提高到 1999 年的 23%再到 2004 年的 40%左右。近年来，武钢先后承接了众多条管线工程的供货合同，合同量稳居国内第一，可以进行批量生产的有强度级别为 X70、X80、100 等的管线钢。并且其产品综合性能好，供货的实物在性能上通常高于标书协议的要求，受到了用户的好评。尤其是针状铁素体高韧性 X70 级管线钢已完全达到先进国家同类实物的水平。近几年随着国内许多钢铁企业投入到管线钢的开发生产之中，管线钢产量也大幅增加。目前来看武钢管线钢的市场占有率约在 30%~35%之间<sup>[154]</sup>。

将宝钢和武钢两企业的市场占有率与贝恩教授提出的寡头垄断市场的测量指标相对比，可以看出中国管线钢市场主要是由武钢、宝钢两家钢铁厂商寡头垄断。由于管线钢的销售方式较为特殊——以招投标方式进行，所以武钢和宝钢为了各自利益展开竞争，二者之间不存在结盟行为，是具有独立行为的寡头垄断。此外，由于武钢、宝钢对于管线工程的贡献不同，二者之间的品牌效应也具有差别，更为重要的是，虽然武钢、宝钢的产品在综合性能上都能满足顾客需求，但二者的生产设备，轧钢技术导致他们的产品仍存在细微的差别。所以在管线工程业主来看，这两家的管线钢还是存在着差别的，即管线钢市场是有差别的寡头垄断。但值得注意的是，虽然二者之间存在差别，工程业主对于二者的差别存在心理价位差，也就是二者之间的这种差别是可以用价钱来度量的。鉴于采购管线钢的形式是招标，因此，在二寡头都承诺能够保证质量的前提下，管线钢的价格就成了二寡头竞争的焦点<sup>[156]</sup>。当双方的价格都处于高位时，工程业主就选择相对便宜的进行购买；而当双方竞相削价，最终价格都处于低位时，工程业主就基于二寡头的产品差异，选择自身更为信赖的进行选择。本章就在这一背景下建立二寡头价格博弈模型，并在此基础上分析其动态博弈过程的复杂性。

## 6.1 二寡头价格博弈模型

假设 A 与 B 分别代表武钢、宝钢两寡头企业，他们共同垄断管线钢市场，二寡头的产品可以相互替代，但具有一定的差异性。设 A 与 B 各自的需求函数为：

$$\begin{aligned} q_1 &= m_1 p_1^{-2} + n_1 p_2^2 \\ q_2 &= m_2 p_2^{-2} + n_2 p_1^2 \end{aligned} \quad (6-1)$$

其中， $p_1, p_2$  为 A、B 的产品价格， $q_1, q_2$  为各自的需求量， $m_1, m_2, n_1, n_2$  为正参数。这个需求函数是与实际相符合的，体现在以下两点：一方面它表明各寡头的价格与需求量成反向变动，即  $p_i$  减小， $q_i$  会增加 ( $i = 1, 2$ )。另一方面它表明当二者价格较低，不妨设  $0 < p_1, p_2 < 1$  时，两企业的相互替代性相对较弱，此时经济意义为：博弈中的一方价格上涨，由于整体价格还是偏低的，所以不会对消费者产生太大影响，工程业主会依据双方产品的心理价位差进行适当选择，从而一方价格下降，不会极大地减少对方的需求量，即  $p_1$  下降， $q_2$  只会小幅减少；而当二者价格较高，不妨设  $p_1, p_2 > 1$  时，由于采购管线钢是以招标的形式进行，所以双方的价格是竞争的焦点。从而当双方的价格都处于高位，消费者

就会选择价格相对便宜的同类产品，则价格较低的企业管线钢的需求量就会显著增加，即  $p_1$  下降， $q_2$  就会大幅减少。 $p_2$  下降的结果与之类似，这里不再赘述。显然，这个需求函数是与实际相符合的。

设  $c_i$  表示 A 与 B 的成本， $d_i$  表示固定成本， $e_i$  为边际成本， $i=1,2$ 。武钢、宝钢的成本函数分别为：

$$c_i = d_i + e_i q_i \quad (6-2)$$

从而可得到二寡头各自的利润函数：

$$\begin{aligned} \pi_1 &= p_1 q_1 - c_1 = p_1(m_1 p_1^{-2} + n_1 p_2^2) - d_1 - e_1(m_1 p_1^{-2} + n_1 p_2^2) \\ \pi_2 &= p_2 q_2 - c_2 = p_2(m_2 p_2^{-2} + n_2 p_1^2) - d_2 - e_2(m_2 p_2^{-2} + n_2 p_1^2) \end{aligned} \quad (6-3)$$

对利润函数求一阶导数，分别得到两寡头的边际利润分别是

$$\begin{aligned} \frac{\partial \pi_1}{\partial p_1} &= -m_1 p_1^{-2} + n_1 p_2^2 + 2m_1 e_1 p_1^{-3} \\ \frac{\partial \pi_2}{\partial p_2} &= -m_2 p_2^{-2} + n_2 p_1^2 + 2e_2 m_2 p_2^{-3} \end{aligned} \quad (6-4)$$

两寡头企业的价格博弈模型为：

$$p_i(t) = p_i(t-1) + \omega_i p_i(t-1) \frac{\partial \pi_i}{\partial p_i} \quad (6-5)$$

其中  $0 < \omega_i < 1$  ( $i=1, 2$ ) 为价格调整速度及力度，从而得到了双寡头管线钢市场价格重复博弈模型为：

$$\begin{aligned} p_1(t) &= p_1(t-1) + \omega_1 p_1(t-1)(-m_1 p_1^{-2} + n_1 p_2^2 + 2m_1 e_1 p_1^{-3}) \\ p_2(t) &= p_2(t-1) + \omega_2 p_2(t-1)(-m_2 p_2^{-2} + n_2 p_1^2 + 2e_2 m_2 p_2^{-3}) \end{aligned} \quad (6-6)$$

## 6.2 系统的复杂动力学行为

### 6.2.1 纳什均衡点的稳定性分析

我们将系统 (6-6) 中的参数赋值：

$$m_1 = 1, m_2 = 2, n_1 = 0.1, n_2 = 0.1, e_1 = 0.3, e_2 = 0.2,$$

得到以下二维离散动力学系统

$$\begin{aligned} p_1(t) &= p_1(t-1) + \omega_1 p_1(t-1)(-p_1^{-2} + 0.1 p_2^2 + 0.6 p_1^{-3}) \\ p_2(t) &= p_2(t-1) + \omega_2 p_2(t-1)(-2 p_2^{-2} + 0.1 p_1^2 + 0.8 p_2^{-3}) \end{aligned} \quad (6-7)$$

此系统是由两个差分方程组成的，我们令其中的  $p_i(t) = p_i(t-1)$ ，能够得到

$$\begin{aligned} \omega_1 p_1(t-1)(-p_1^{-2} + 0.1 p_2^2 + 0.6 p_1^{-3}) &= 0 \\ \omega_2 p_2(t-1)(-2 p_2^{-2} + 0.1 p_1^2 + 0.8 p_2^{-3}) &= 0 \end{aligned} \quad (6-8)$$

方程组共两个非负实解，分别是( $p_1=4.183, p_2=0.7$ )和( $p_1=0.603, p_2=0.401$ )。下面我们分析这两个平衡点的稳定性。系统(6-7)的雅克比矩阵为：

$$J = \begin{pmatrix} 1 + (p_1^{-2} + 0.1 \times p_2^2 - 1.2 \times p_1^{-3})\omega_1 & 0.2 p_1 p_2 \omega_1 \\ 0.2 p_1 p_2 \omega_2 & 1 + (2 \times p_2^{-2} + 0.1 \times p_1^2 - 1.6 \times p_2^{-3})\omega_2 \end{pmatrix} \quad (6-9)$$

将平衡点( $p_1=4.183, p_2=0.7$ )代入(6-9)，可以计算出其特征值  $\lambda_i$ ，由于模均大于1，所以平衡点( $p_1=4.183, p_2=0.7$ )是不稳定的平衡点。平衡点( $p_1=0.603, p_2=0.401$ )才是纳什均衡点，但纳什均衡点只是在局部区域内稳定，下面就分析其局部稳定性。将纳什均衡点( $p_1=0.603, p_2=0.401$ )代入(6-9)，得到：

$$J = \begin{pmatrix} 1 - 2.706\omega_1 & 0.048\omega_1 \\ 0.048\omega_2 & 1 - 12.46\omega_2 \end{pmatrix} \quad (6-10)$$

$$Tr(J) = 2 - 2.706\omega_1 - 12.46\omega_2 \quad (6-11)$$

$$Det(J) = (1 - 2.706\omega_1)(1 - 12.46\omega_2) - 0.048^2 \omega_1 \omega_2 \quad (6-12)$$

其中， $Tr(J)$ 为雅克比矩阵(6-10)的迹， $Det(J)$ 为其行列式。其特征多项式为：

$$F(\lambda) = \lambda^2 - Tr J \lambda + Det = 0 \quad (6-13)$$

由于

$$\Delta = Tr^2 - 4 \cdot Det$$

$$\begin{aligned} &= (2 - 2.706\omega_1 - 12.46\omega_2)^2 - 4[(1 - 2.706\omega_1)(1 - 12.46\omega_2) - 0.048^2 \omega_1 \omega_2] \\ &= [(1 - 2.706\omega_1) + (1 - 12.46\omega_2)]^2 - 4(1 - 2.706\omega_1)(1 - 12.46\omega_2) + 4 \times 0.048^2 \omega_1 \omega_2^2 \\ &= [(1 - 2.706\omega_1) - (1 - 12.46\omega_2)]^2 + 4 \times 0.048^2 \omega_1 \omega_2 \end{aligned}$$

显然  $\Delta$  结果大于0，所以(6-13)有实特征根，从而纳什均衡点的局部稳定区域可以根据 Jury 判断条件得到<sup>[148]</sup>：

$$\begin{aligned} a: & 1 - Tr(J) + Det(J) > 0, \\ b: & 1 + Tr(J) + Det(J) > 0, \\ c: & Det(J) - 1 < 0 \end{aligned}$$

即

$$\begin{aligned} a: & 1 - (2 - 2.706\omega_1 - 12.46\omega_2) + (1 - 2.706\omega_1)(1 - 12.46\omega_2) - 0.048^2 \omega_1 \omega_2 > 0 \\ b: & 1 + (2 - 2.706\omega_1 - 12.46\omega_2) + (1 - 2.706\omega_1)(1 - 12.46\omega_2) - 0.048^2 \omega_1 \omega_2 > 0 \\ c: & (1 - 2.706\omega_1)(1 - 12.46\omega_2) - 0.048^2 \omega_1 \omega_2 - 1 < 0 \end{aligned}$$

通过对上述不等式进行计算，我们可以得到纳什均衡点的局部稳定区域。这个区域是由变量  $(\omega_1, \omega_2)$  决定的，横轴代表  $\omega_1$ ，纵轴代表  $\omega_2$ ，分岔曲线与两坐标轴的交点分别为  $(0.74, 0)$  和  $(0, 0.16)$ ，如图 6-1 阴影部分所示。它表明了当  $(\omega_1, \omega_2)$  落在稳定区域内，纳什均衡点才是稳定的。其对现实经济市场具有指导意义，即武钢与宝钢在纳什均衡点的局部稳定区域内可以任意选择初始价格，经过有限次价格调整后总会达到纳什均衡价格<sup>[89]</sup>。但如果双方的价格博弈过于激烈，价格调整力度过大，超出纳什均衡点的稳定区域，双方的价格演化就会呈现非常复杂的结果。

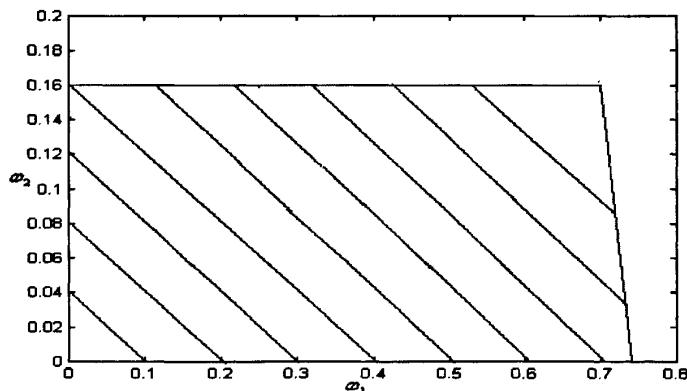


图 6-1 纳什均衡点的稳定区域

### 6.2.2 价格调整速度对系统的影响

图 6-5 显示了随着宝钢（寡头 B）价格调整速度  $\omega_2$  的增大，武钢、宝钢的价格呈现出复杂而丰富的演化结果。二寡头从纳什均衡价格历经倍周期分岔最终价格达到混沌状态。图 6-5 表明当  $\omega_1=0.5$  时，随着  $\omega_2$  的增加，两寡头价格曲线的变化。当  $\omega_2 < 0.16$ ，纳什均衡点是稳定的，即两寡头的价格均处于均衡状态（1 周期状态）。随着  $\omega_2$  的增加，均衡点的稳定性发生了变化，两寡头的价格出现倍周期分岔。区间  $\omega_2 \in (0.16, 0.2]$  是两寡头价格波动的 2 周期区。当  $\omega_2 > 0.2$ ，两寡头价格再一次发生倍周期分岔，区间  $\omega_2 \in (0.2, 0.22]$  是两寡头价格波动的 4 周期区；区间  $\omega_2 \in (0.22, 0.25]$  是两寡头价格波动的 8 周期区，……，最终两寡头

价格达到混沌状态。图 6-6、6-7 分别显示了在( $\omega_1=0.5$ ,  $\omega_2=0.26$ )以及( $\omega_1=0.5$ ,  $\omega_2=0.3$ )时系统的混沌吸引子。同理可得到随着寡头 A 价格调整速度  $\omega_1$  的增大, 两寡头价格的倍周期分岔图 6-2, 可以观察到当  $\omega_2=0.16$ ,  $\omega_1 \in (0, 0.75]$  时, 两寡头的价格稳定于纳什均衡价格, 当  $\omega_1$  大于 0.75 后, 两寡头价格曲线开始出现倍周期分岔最终进入混沌(蓝色曲线见其右边的放大图)。图 6-3, 6-4 分别显示了当( $\omega_1=0.96$ ,  $\omega_2=0.16$ )和( $\omega_1=0.99$ ,  $\omega_2=0.16$ )时的系统混沌吸引子。

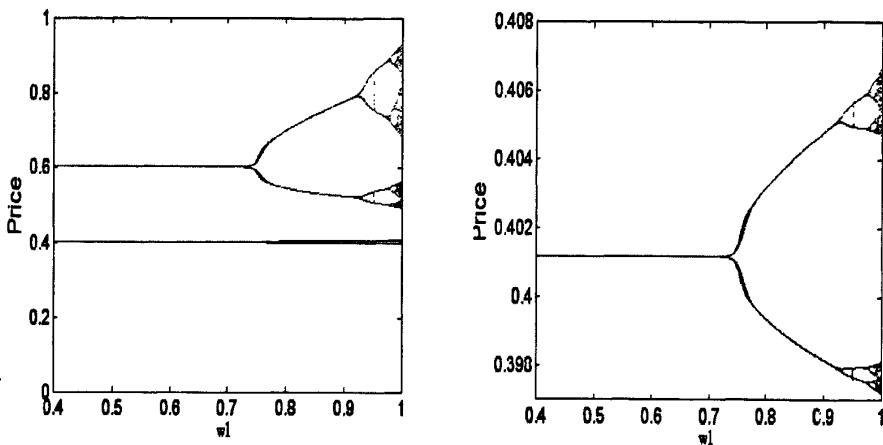


图 6-2 当  $\omega_2=0.16$  时, 随  $\omega_1$  的增大, 两寡头价格分岔图

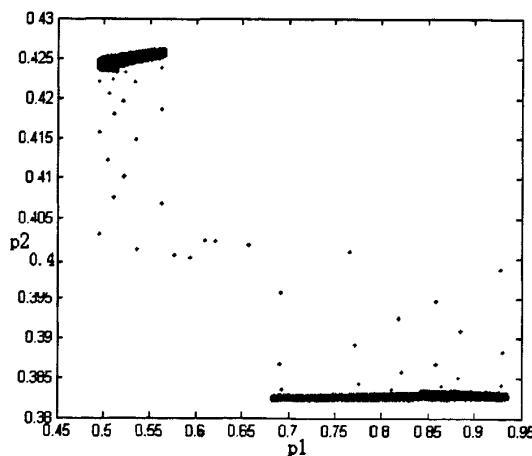


图 6-3 ( $\omega_1=0.99$ ,  $\omega_2=0.16$ ) 系统混沌吸引子

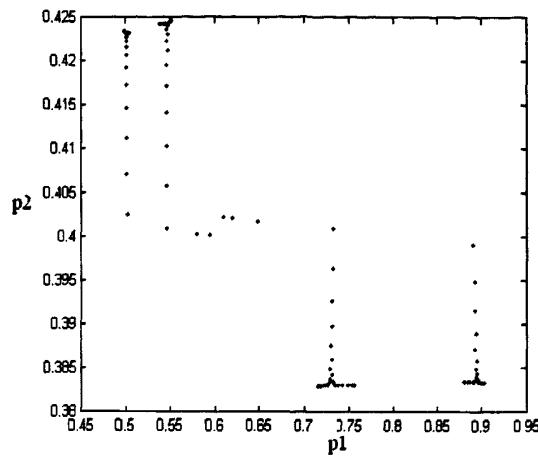


图 6-4 ( $\omega_1=0.96$ ,  $\omega_2=0.16$ ) 系统混沌吸引子

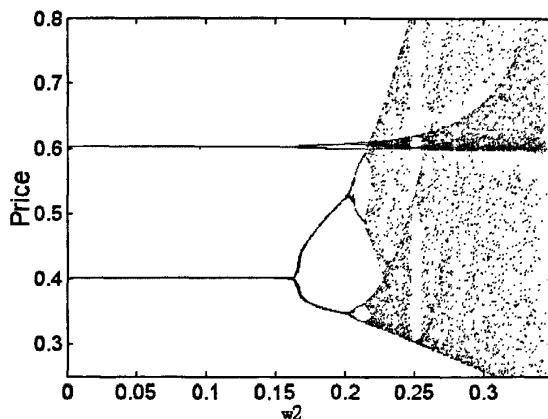


图 6-5 当  $\omega_1=0.5$  时, 随  $\omega_2$  的增大, 两寡头价格分岔图

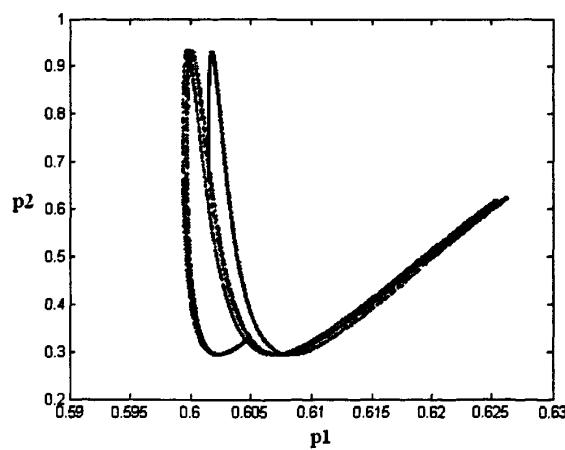


图 6-6 ( $\omega_1=0.5$ ,  $\omega_2=0.26$ ) 系统混沌吸引子

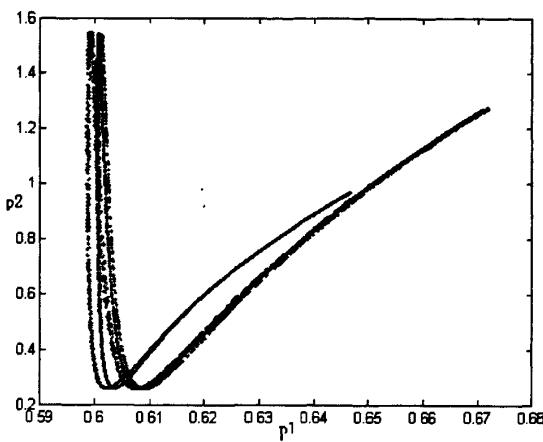


图 6-7 ( $\omega_1=0.5$ ,  $\omega_2=0.3$ ) 系统混沌吸引子

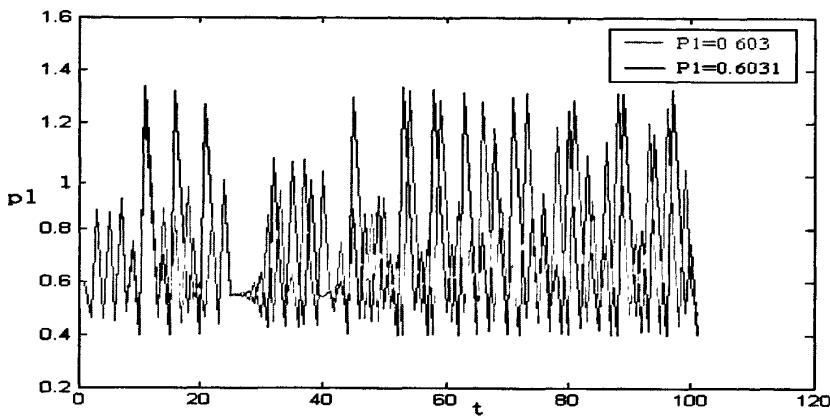


图 6-8 对初值的敏感依赖性( $\omega_1=0.99$ ,  $\omega_2=0.16$ )

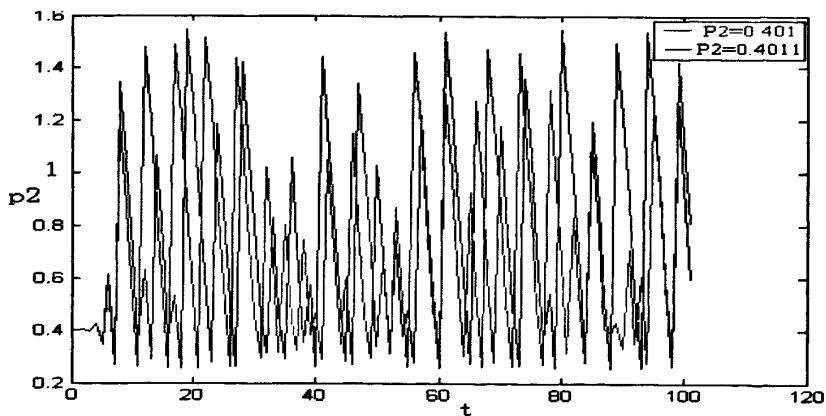


图 6-9 对初值的敏感依赖性( $\omega_1=0.5$ ,  $\omega_2=0.3$ )

蝴蝶效应，即对初始状态具有敏感依赖性是混沌区别于其他确定性运动的最

重要标志，初始条件的微小差别往往会使系统随时间的推移相邻轨道差距甚远，这是混沌系统的显著特点之一。为了证明系统（6-7）具有这一特性，我们以寡头2的价格为例来说明，计算当( $\omega_1=0.5$ ,  $\omega_2=0.3$ )时，初值分别为( $p_1=0.603$ ,  $p_2=0.401$ )和( $p_1=0.603$ ,  $p_2=0.4011$ )的两条轨线，博弈开始时两条轨线几乎是重合的，由于初值相差无几，但随着时间的推移，两条路径的差距拉大了，并且越发显著，如图6-7所示。图6-8显示了当( $\omega_1=0.99$ ,  $\omega_2=0.16$ )时，寡头1对于初值的敏感依赖性。

## 6.3 复杂性分析结果

### 6.3.1 降低价格调整速度是两寡头的明智之举

通过以上研究发现，博弈双方价格调整速度的改变，会使纳什均衡点的稳定性发生变化。我们发现只要博弈中的任何一方为了追求当期利润而不断提高价格调整速度，价格曲线就会经历倍周期分岔，系统最终进入混沌状态。混沌的产生会导致市场大幅波动，钢价忽高忽低，企业无法对市场进行预测，很难制定出有效的战略规划，从而混沌会使博弈双方利益受损。然而对于较低的价格调整速度，博弈双方会趋向纳什均衡价格。因此，降低价格调整速度是两寡头的明智之举。

### 6.3.2 保持纳什均衡价格是两寡头的最佳选择

为了实现最大利润，两寡头必然会对价格进行不断地调整。通过图6-2以及图6-5能够发现，只要寡头中的一方加快价格调整速度，两寡头很快就会进入到倍周期分岔并最终进入混沌状态。由于双方要进行反复多次博弈，在博弈过程中系统的动力学性质还会发生复杂的变化，并且不管是在二周期分岔或是四周期分岔阶段等等，历时时间非常短暂，只要寡头中的一方继续加快调整速度，系统便很快进入混沌状态，两寡头的利润就无从保障。所以从规避风险的角度考虑，保持纳什均衡价格是两寡头的最佳选择。

## 6.4 混沌控制

本文采用系统变量的状态反馈和参数调节的控制策略来讨论对系统的混沌控制，主要考察参数 $\omega_i$ 对系统复杂性态的影响。由于两寡头的最佳选择是保持纳什均衡价格，所以这里加入稳定性控制条件，目的是将系统控制在纳什均衡

点。此时受控后的系统为：

$$\begin{aligned} p_1(t+1) &= (1-\beta)(p_1(t) + \omega_1 p_1(t)(-m_1 p_1^{-2} + n_1 p_2^2 + 2m_1 e_1 p_1^{-3})) + \beta p_1(t) \\ p_2(t+1) &= (1-\beta)(p_2(t) + \omega_2 p_2(t)(-m_2 p_2^{-2} + n_2 p_1^2 + 2e_2 m_2 p_2^{-3})) + \beta p_2(t) \end{aligned} \quad (6-14)$$

其中  $\beta$  为调节参数， $\beta \in [0, 1]$ ，其作用是能够延迟分岔的发生。通过对  $\beta$  进行适当赋值，能够达到纳什均衡点在分岔参数的更大取值范围内保持稳定的目的<sup>[110,146]</sup>。当  $\beta=0.75$ ，其他变量的取值与数值模拟中保持一致，受控系统 (6-14) 为

$$\begin{aligned} p_1(t) &= p_1(t-1) + 0.25\omega_1 p_1(t-1)(-p_1^{-2} + 0.1p_2^2 + 0.6p_1^{-3}) \\ p_2(t) &= p_2(t-1) + 0.25\omega_2 p_2(t-1)(-2p_2^{-2} + 0.1p_1^2 + 0.8p_2^{-3}) \end{aligned} \quad (6-15)$$

图 6-10 显示纳什均衡点的稳定区域扩大了，由原系统 (6-7) 的二周期分岔点  $\omega_2=0.16$  扩大为受控后系统 (6-15) 的 0.21，这一点可以由图 6-5 与图 6-10 比较得出。说明系统经过控制后，倍周期分岔被延迟了。图 6-11 显示了增加调节参数  $\beta$  的值，系统由混沌状态逐渐被控制在 8 周期、4 周期、2 周期轨道，最后稳定在纳什均衡点。说明加入控制后系统的混沌现象能够消失，双方价格最终稳定在纳什均衡价格。

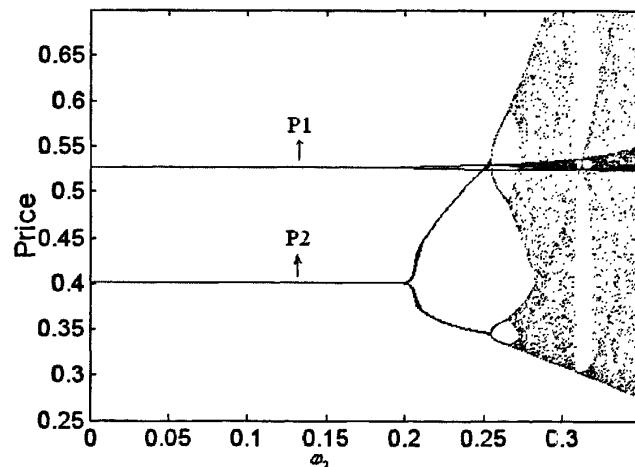
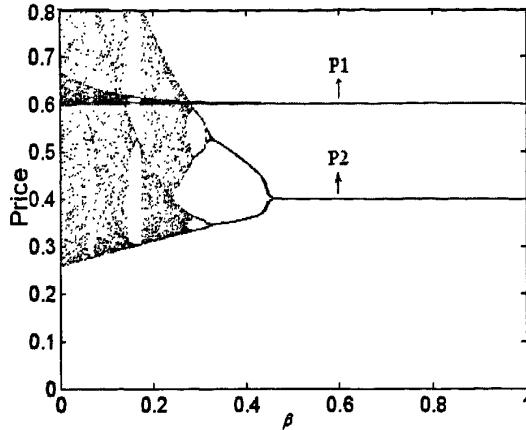


图 6-10 价格分岔图( $\omega_1=0.5$ ,  $\beta=0.75$ )

图 6-11 随着  $\beta$  的增大系统的变化趋势 ( $\omega_1=0.5$ ,  $\omega_2=0.3$ )

为了联系实际，使得上述混沌控制对实际中的混沌市场有所启示，将以上状态反馈法变形为对系统参数的调整形式。由 (6-15) 式整理得：

$$\begin{aligned} p_1(t+1) &= p_1(t) + \omega_1 p_1(t)[(m_1\beta - m_1)p_1^{-2} + (n_1 - n_1\beta)p_2^2 + (2m_1e_1 - 2m_1e_1\beta)p_1^{-3}] \\ p_2(t+1) &= p_2(t) + \omega_2 p_2(t)[(m_2\beta - m_2)p_2^{-2} + (n_2 - n_2\beta)p_1^2 + (2m_2e_2 - 2m_2e_2\beta)p_2^{-3}] \end{aligned} \quad (6-16)$$

令  $m_i\beta = \Delta m_i$ ,  $n_i\beta = \Delta n_i$ ,  $2m_i e_i \beta = \Delta e_i$ , ( $i = 1, 2$ ), 则上式变形为：

$$\begin{aligned} p_1(t+1) &= p_1(t) + \omega_1 p_1(t)[-(m_1 - \Delta m_1)p_1^{-2} + (n_1 - \Delta n_1)p_2^2 + (2m_1e_1 - \Delta e_1)p_1^{-3}] \\ p_2(t+1) &= p_2(t) + \omega_2 p_2(t)[-(m_2 - \Delta m_2)p_2^{-2} + (n_2 - \Delta n_2)p_1^2 + (2m_2e_2 - \Delta e_2)p_2^{-3}] \end{aligned} \quad (6-17)$$

通过以上公式的变换，我们发现在实际中要想实现对混沌状态下管线钢市场的控制，可以通过控制边际成本、提高产品质量、降低寡头产品之间的替代率等方法来实现。首先企业生产成本的降低，可以实现其利润的增加，从而企业就不会单一地依靠调整价格来追求利润最大化。此外，随着我国管道工程发展的加快，管线钢的生产将面临更大的商机，其市场竞争也会更加激烈。所以各寡头应该进一步加大管线钢的开发生产力度，重视管线钢生产的工艺流程，加大管线钢相关技术的研发力度，以自身过硬的产品去赢得更多的市场份额，从而在日趋激烈的价格竞争中立于不败之地。

## 6.5 对三寡头价格博弈的展望

随着管线钢需求的日益旺盛，管线钢市场开放的不断深入，越来越多的钢铁企业会投入到管线钢的开发生产中来，所以有必要将现有的二寡头博弈模型推广到多寡头博弈的情形。这里以三寡头为例，探究三寡头价格博弈模型。

假设 A、B、C 分别代表三个钢铁寡头企业，他们共同垄断管线钢市场，三者产品的差异化程度不大，具有一定的替代性。设他们的需求函数分别为：

$$\begin{aligned} q_1 &= l_1 p_1^{-2} + m_1 p_2^{-2} + n_1 p_3^{-2} \\ q_2 &= l_2 p_2^{-2} + m_2 p_1^{-2} + n_2 p_3^{-2} \\ q_3 &= l_3 p_3^{-2} + m_3 p_1^{-2} + n_3 p_2^{-2} \end{aligned} \quad (6-18)$$

其中， $p_1, p_2, p_3$  为 A、B、C 的产品价格， $q_1, q_2, q_3$  为各自的需求量， $l_1, l_2, l_3, m_1, m_2, m_3, n_1, n_2, n_3$  为正参数。设  $c_i$  表示他们的成本， $d_i$  表示固定成本， $e_i$  为边际成本， $i = 1, 2, 3$ 。三个企业的成本函数分别为：

$$c_i = d_i + e_i q_i \quad (6-19)$$

从而可得到三寡头各自的利润函数：

$$\pi_i = p_i q_i - c_i \quad (6-20)$$

对利润函数求一阶导数，就得到了三寡头的边际利润  $\frac{\partial \pi_i}{\partial p_i}$ ， $i = 1, 2, 3$ 。

三寡头企业的价格博弈模型可取如下形式：

$$p_i(t) = p_i(t-1) + \omega_i p_i(t-1) \frac{\partial \pi_i}{\partial p_i} \quad (6-21)$$

其中  $0 < \omega_i < 1$  ( $i = 1, 2, 3$ ) 为价格调整速度及力度，将三寡头的边际利润代入 (6-22)，从而得到了三寡头管线钢市场价格重复博弈模型为：

$$\begin{aligned} p_1(t) &= p_1(t-1) + \omega_1 p_1(t-1) (-l_1 p_1^{-2} + m_1 p_2^{-2} + n_1 p_3^{-2} + 2l_1 e_1 p_1^{-3}) \\ p_2(t) &= p_2(t-1) + \omega_2 p_2(t-1) (-l_2 p_2^{-2} + m_2 p_1^{-2} + n_2 p_3^{-2} + 2e_2 l_2 p_2^{-3}) \\ p_3(t) &= p_3(t-1) + \omega_3 p_3(t-1) (-l_3 p_3^{-2} + m_3 p_1^{-2} + n_3 p_2^{-2} + 2l_3 e_3 p_3^{-3}) \end{aligned} \quad (6-22)$$

我们发现上述三维离散型动力系统较为复杂，这对于现实管线钢市场来讲，三寡头价格博弈的动力学行为将更为复杂，这一点可作为今后工作的研究重点，

这里不再赘述。

## 6.6 本章小结

本章通过对非线性需求函数下的双寡头企业动态价格博弈模型的复杂性分析，研究了寡头企业价格在其调整速度变化时的动力学现象。结果表明，降低价格调整速度是两寡头的明智之举，保持纳什均衡价格是博弈双方的最佳选择。通过对管线钢市场双寡头进行价格博弈时的复杂动力学分析，试图为现实中寡头企业定价方案提供指导，有助于企业选择更有利的竞争策略，此外，也为政府制定相应的政策进行市场调控提供一定的参考。

## 第七章 结论及展望

### 7.1 全文总结

本文把博弈论和现代非线性动力学的分岔与混沌理论引入到钢铁市场定价问题的研究中来，将博弈论与混沌理论相结合分别应用到具有典型寡头垄断特点的中国冷轧钢板市场以及管线钢市场中。从理论和实际两方面出发展开研究。

#### 7.1.1 从理论上展开的研究

从理论上，以非线性需求函数为基础分别建立了二维离散型动力学系统和三维离散型动力系统，并且形式与已往有所区别，从而在形式上丰富了离散型动力系统。在此基础上，对二维和三维离散型动力系统分别进行了复杂的动力学分析。首先，借助分岔与混沌理论找到了系统的均衡点以及纳什均衡点的局部稳定区域，接下来对系统进行数值模拟，发现系统随着参数的变化呈现出的复杂动力学特征。研究发现，随着系统参数的不断增大，一旦超出了纳什均衡点的局部稳定区域，系统就会历经倍周期分岔进入混沌运动状态。本文利用 Matlab 软件模拟了系统处于混沌状态时的奇怪吸引子，发现本文的系统具有区别于以往形状的混沌吸引子。此外，取系统处于混沌状态时的参数值，验证了系统对于初值的敏感依赖性，从而进一步说明随着参数的变化本文所建立的离散动力系统会演化为混沌系统。本文采用系统变量的状态反馈和参数调节的控制策略对混沌系统进行控制，控制效果良好，并利用系统分岔图进行验证，发现纳什均衡点的稳定区域扩大了，倍周期分岔被延迟了，从而混沌运动被抑制了。

#### 7.1.2 从实际出发展开研究

本文分别研究了中国冷轧钢板市场和管线钢市场寡头博弈的过程。首先，对中国冷轧钢板市场进行了介绍，得知市场主要是由宝钢和鞍钢，即二寡头垄断，他们的竞争主要体现在价格竞争上。以非线性需求函数为基数建立了二寡头价格重复博弈模型，从而模型更加贴近实际，在模型中引入了价格调整参数。通过对模型进行理论分析以及数值模拟，发现只要宝钢和鞍钢中有一方价格调整速度过快，市场就会被代入混沌状态，即市场价格大幅波动，市场陷入混乱，初始值微小的变化都会使得数次博弈后的结果变化巨大，从而企业无法进行市场预测，无论是生产者还是消费者利益都得不到保障，所以混乱的市场状态是

我们不希望发生的。基于此可以得到结论即，对于具有有限理性的宝钢和鞍钢来说，尽管是为了追求利润，二者也应当保持价格调整速度的适度变化。对二寡头来说，他们应该不断的注意自身所处环境的变化，适时地调整自身的发展目标，促使博弈纳什均衡点的稳定区域扩大，从而有助于寡占市场的有序发展，避免价格竞争陷入混沌的不可预测状态。

自从 2011 年，首钢也加入了冷轧钢板市场的竞争。考虑到进入冷轧板市场初期，首钢与宝钢、鞍钢的需求关系结构会有所区别。此外，三寡头企业掌握市场的信息量以及各自决策者对信息处理的能力都不尽相同。本文把不同结构需求函数和不同理性等因素引入到伯川德模型中，建立三寡头价格博弈模型，从而使模型更加贴近竞争初期的市场，以此为基础来研究竞争初期三寡头的价格博弈过程。结果显示，在竞争初期，宝钢或鞍钢价格调整速度过快会使整个市场陷入混乱状态，但首钢受其影响不大，可以看成是混沌中的稳定元素。

随着首钢的迅速发展，其产品质量档次会不断提升，品牌也会越发响亮，因此其产品的市场需求对于价格的敏感度就会呈现递减趋势，所以首钢的需求函数也就逐渐地由线性结构向非线性关系转变，此种情况下首钢就与宝钢和鞍钢具有相同结构的需求函数了。因此本文基于相同结构的非线性需求函数建立了三寡头价格动态博弈模型，以此为基础来研究中国冷轧钢板市场中势均力敌的三寡头价格博弈的过程。结果显示，对于较低的价格调整反应速度，三方博弈会趋向唯一的纳什均衡点，但是随着价格调整反应速度的增加，纳什均衡点稳定性会发生变化，价格会出现波动，最终市场会出现混沌现象。因此市场是否进入混沌状态关键取决于三寡头的价格调整反应速度的快慢。最后对系统的混沌行为进行了控制，并且理论联系实际，给出了在实际市场中控制混沌现象出现的相关策略。

文章对中国管线钢市场的价格博弈也进行了研究。中国管线钢市场主要由宝钢和武钢二寡头垄断，属于独立的有差异的寡头垄断，但寡头产品间的差异是可以用价钱度量的。基于此，本文建立了二寡头价格博弈模型，并对博弈过程进行了研究。结果发现，降低价格调整速度是两寡头的明智之举，保持纳什均衡价格是两寡头的满意状态。

## 7.2 研究展望

混沌动力学的研究在理论上会随着数学的发展而进一步发展，理论如何指导

实践，如何将其与社会实践更好地结合，从而更准确地揭示社会经济系统中的混沌现象，这些还有待更加深入的研究。

1、从理论上讲，本文提出的二维、三维离散型动力系统从形式上丰富了混沌系统。混沌必然随着数学的发展而发展。分维就是一门新兴的数学分支，而混沌吸引子的一个重要几何特征就是分维，所以建议今后在理论研究上可以通过计算不同吸引子的各种维数，对混沌系统进行更有效、更细致的分类。

2、本文对于中国冷轧钢板市场价格博弈过程的研究是建立在高度抽象的理论模型基础上的，虽然形式上比经典 Bertrand 模型更加复杂，但却更加贴近冷轧钢板市场的实际情况，从而使得后续研究结果更具有可靠性。然而，随着并购重组的不断推进，各钢铁寡头集团会不断强大，进军冷轧钢板市场的寡头也会与日俱增，所以有必要研究多寡头市场的博弈模型，建议在今后的研究中将模型向多维离散型动力系统推广。

3、在研究管线钢市场的寡头博弈过程时，经分析管线钢市场属于独立的有差异的寡头垄断市场，但他们之间的差异是可以用价钱度量的，基于此本文建立了二寡头博弈模型，虽然模型是结合现实意义的前提下建立的，比较贴近实际，但较为抽象，所以为了使模型更便于实际操作，建议在今后的研究中利用实际数据建立博弈模型。此外，对于管线钢市场三寡头价格博弈的复杂动力学行为的研究也是今后工作的重点。

## 参考文献

- [1] 张宇波, 罗先觉, 薛钧义, 非线性市场需求下机组优化出力的自适应动态故  
诺模型, 中国电机工程学报, 2003, 23 (11): 80-84
- [2] 胡振华, 胡东滨, 寡头垄断市场古诺模型的研讨, 中南工业大学学报, 1997,  
28 (1): 99-102
- [3] 孙丽芝, 寡头垄断市场中的价格竞争策略分析, 企业管理, 2008(48): 50-51
- [4] 李伟, 黄仁辉, 牛东晓, 寡头垄断市场中火电厂定位和定价策略的博弈分析,  
电网技术, 2006, 30 (11): 66-70
- [5] 廖成林, 宋波, 关于寡头垄断企业定价的一个博弈分析, 经济管理, 2005,  
5 (10): 53-58
- [6] 程成, 李桂锋, 何永贵, 基于伯川德模型的发电企业价格博弈分析, 华北电  
力大学学报, 2007, 34 (4): 73-75
- [7] 朱斌, 潘海军, 博弈论视角下的中国钢铁业国际价格谈判困境, 决策与信息  
(下半月刊), 2008 (8): 123-124
- [8] 陆兴发, 朱晔, 赵序哲, 基于完全信息博弈的企业竞争性合作策略, 中国市  
场, 2010 (52): 43-44
- [9] 黄敏镁, 基于演化博弈的供应链协同产品开发合作机制研究, 中国管理科学,  
2010, 18 (6): 155-162
- [10] 饶育蕾, 张媛, 彭叠峰, 利他偏好是否导致博弈均衡的偏离——对蜈蚣博  
弈实验的解释, 系统管理学报, 2010, 19 (6): 676-683
- [11] 孙广毅, 贾书丽, 姜海珠, 有限理性下基金投资者的博弈分析, 金融领域,  
2010 (12): 91
- [12] 李伟, 卞正皓, 罗军舟, 基于博弈论的网络控制模型及稳定性分析, 东南  
大学学报 (自然科学版), 2010, 40 (6): 1174-1179
- [13] 熊菲, 刘云, 司夏萌, 不完全信息下的群体决策仿真, 系统工程理论与实  
践, 2011,31 (1): 151-157
- [14] 王兴元, 段朝峰, Chen 系统的动力学行为及其吸引子结构的研究, 工程图学  
学报, 2007 (4): 102-110
- [15] 韩明, 杨华, 孙亚威, Henon — Heiles 体系的相空间轨迹研究, 信息工程  
大学学报, 2006,7 (4): 408-410
- [16] 李险峰, 张建刚, 褚衍东, Lozi 混沌映射的线性反馈控制, 河北师范大学  
学报 (自然科学版), 2007, 31 (4): 479-483
- [17] 冯明库, 薛迎霄, 混沌吸引子随机性的一种判别方法, 计算机工程与应用,  
2007,43 (15): 56-58

- [18] 陆安山, 李尚平, 二平衡点非线性系统的混沌动力学特征, 桂林工学院学报, 2008, 28 (3): 430-433
- [19] 刘晓君, 李险峰, 何万生, 二维三次方离散系统的混沌控制与广义混沌同步, 河北师范大学学报(自然科学版), 2010, 34 (4): 406-410
- [20] 蒋玲, 随机噪声对混沌系统复杂度的影响, 西南师范大学学报(自然科学版), 2010, 35 (4): 90-93
- [21] 邓斌, 姚福安, 王忠林, 一个具有四翼吸引子的超混沌系统与电路实现, 青岛科技大学学报(自然科学版), 2010, 31 (6): 622-626
- [22] 贾红艳, 陈增强, 叶菲, 一个三维四翼自治混沌系统的拓扑马蹄分析, 物理学报, 2011, 60 (1) :010203
- [23] 祝泽华, 祝峻, 江浩, 一个新四维超混沌系统及其混沌同步, 温州大学学报(自然科学版), 2010, 31 (1): 11-17
- [24] 王震, 李永新, 惠小健, 一类 3D 混沌系统的异宿轨道和 backstepping 控制, 物理学报, 2011, 60(1): 010513
- [25] 王 蕺, 李玉霞, 赵兰英, 一类四翅膀超混沌吸引子的生成及实现, 山东科技大学学报(自然科学版), 2010, 29 (6): 61-66
- [26] 张 荣, 徐振源, 杨永清, 通过同步实现 有序 +有序 =混沌 的例子, 物理学报, 2011, 60 (1): 010515
- [27] 张建雄, 唐万生, 一类 Holder 连续的混沌系统分析和控制, 系统工程学报, 2010, 25 (6): 829-834
- [28] Day R H, Irregular growth cycles, American Economic Review, 1982, 72(3): 406-414
- [29] Michele Boldrin, Luigi Montrucchio, Acyclicity and stability for intertemporal optimization models, International Economic Review, 1988, 29(1):137-146
- [30] Benhabib J., Cycles and chaos in economic equilibrium, Princeton, Princeton University Press, 1992. 89-95
- [31] Rosser J.B., From catastrophe to chaos: a general theory of economic discontinuities, Klunier Academic Publishers, 1991.169-186
- [32] 李红权, 邹琳, 股票市场混沌吸引子的特征量——基于 G—P 算法与小数据量算法, 计算机工程与应用, 2007, 43 (6): 229-232
- [33] 王庆飞,混沌时间序列的预测及其在电力系统短期负荷预测中的应用, 河南师范大学学报(自然科学版), 2007, 35 (3): 161-164
- [34] 吕爱群, 中国联通同时经营两张移动网络的混沌与复杂性分析, 广东通信技术, 2007(8): 37-43
- [35] 刘美菊, 朴在林, 张 凤 , 非线性电力系统混沌动力学行为分析, 沈阳农业大学学报, 2010, 41 (3 ): 366-368

- [36] 阮浩新,混沌理论在电力电子装置中的应用,广东电力,2010,23 (12): 68-73
- [37] 李立华,张强,基于混沌理论的金融系统稳定性研究,经济数学,2010 , 27 (4) : 67-72
- [38] 李梅芳,企业技术创新投资动力学模型与演化分析,系统工程,2010, 28 (11): 33-37
- [39] 吴淑花,孙毅,郝建红,耦合发电机系统的分岔和双参数特性,物理学报,2011,60(1): 010507
- [40] 许刘崇新,杨韬,一种新型混沌系统的分析及电路实现,物理学报,2010, 59 (1): 131-139
- [41] 廖雪峰,结合混沌和遍历矩阵的彩色图像密码,计算机工程与应用 2011, 47 (1): 123-127
- [42] Puu T, The Chaotic Duopolists Revisited, Journal of Economic Behavior and Organization, 1998, 33(3-4): 385-394.
- [43] Agiza H N, On the Analysis of Stability, Bifurcation, Chaos and Chaos Control of Kopal Map. Chaos, Solitons & Fractals, 1999, 10(11): 1909-1916
- [44] Agiza H N, Explicit Stability Zones for Cournot Games with 3 and 4 Competitors, Chaos, Solitons & Fractals, 1998, 9(12): 1955-1966
- [45] Ahmed E., Agiza H. N., Dynamics of a Cournot Game within Competitors, Chaos, Solitons & Fractals, 1998, 9 (9):1513-1517
- [46] Bischi G I, Mammana C, Gardini L, Multistability and Cyclic Attractors in Duopoly Games, Chaos, Solitons & Fractals, 2000, 11(4): 543-564
- [47] Chen L, Chen G R. Controlling chaos in an economic model, Physica A, 2007, 374 (1):349 - 358.
- [48] Akio Matsumoto, Yasuo Nonaka. Statistical dynamics in a chaotic cournot model with complementary goods , Journal of Economic Behavior &Organization ,2006 ,61 (4) :769 - 783.
- [49] 杜建国,盛昭瀚,姚洪兴,一类混沌经济模型的阈值控制法研究,系统工程理论与实践, 2004 ,24 (10) :27 - 32.
- [50] 姚洪兴,徐峰,双寡头有限理性广告竞争博弈模型的复杂性分析,系统工程理论与实践 ,2005 ,25 (12) : 32 - 37.
- [51] 黄登仕,古诺双头垄断模型的密度周期性及其混沌机制研究,系统工程理论与实践 ,2002 ,22 (9) :34 - 41.
- [52] Ahmed E, Agiza H N, Hassan S Z, On Modifications of Puu's Dynamical Duopoly, Chaos, Solitons & Fractals, 2000, 11(7): 1025-1028

- [53] H. N. Agiza, A. A. Elsadany, Chaotic dynamics in nonlinear duopoly game with heterogeneous players, *Applied Mathematics and Computation*, 2004, 149 (3) : 843-860
- [54] Agiza H N, Hegazi A S, Elsadany A A, Complex Dynamics and Synchronization of a Duopoly Game with Bounded Rationality, *Mathematics and Computers in Simulation*, 2002, 58(2): 133-146
- [55] 张骥骥, 达庆利, 王延华, 寡占市场中有限理性博弈模型分析, *中国管理科学*, 2006,14(5): 109-113
- [56] 潘玉荣, 贾朝勇, 不同理性双寡头博弈模型的复杂性分析, *复杂系统与复杂性科学*, 2007, 6 (4): 71-76
- [57] 杨勇, 达庆利, 不对称双寡头企业技术创新投资决策研究, *中国管理科学*, 2005, 13(4): 95-99
- [58] Yassen M.T., Agiza H.N., Analysis of a duopoly game with delayed bounded rationality, *Applied Mathematics and Computation*, 2003, 138(2-3):387-402
- [59] Janusz A. Ho lyst, Krzysztof Urbanowicz, Chaos control in economical model by time2delayed feedback method, *Physica A*, 2000 ,287 (3 - 4) :587 - 598.
- [60] Chiarella C , Szidarovszky F, Cournot oligopolies with product differentiation under uncertainty, *Computers and Mathematics with Applications* ,2005 ,50 (3 - 4) : 413 - 424.
- [61] Elettreby M F ,Hassan S Z, Dynamical multi2team cournot game, *Chaos , Solitons & Fractals* , 2006 , 27 (3) :666 - 672.
- [62] Vittorio Cafagna, Paolo Coccorese. Dynamical systems and the arising of cooperation in a Cournot duopoly, *Chaos , S olitons & Fractals* ,2005 ,25 (3) : 655 - 664.
- [63] Ahmed E , Hegazi A S, On dynamical multi2team and signaling games, *Applied Mathematics and Computation* ,2006 ,172 (1) : 524 - 530.
- [64] Asker S S, On dynamical multi2team Cournot game in exploitation of a renewable res ource, *Chaos , S olitons &Fractals* ,2007 ,32(1) :264 - 268.
- [65] Ahmed E , Hegazi A S , Elettreby M F ,et al , On multi2team games, *Physica A* ,2006 ,369 (2) :809 - 816.
- [66] Agiza H N , Hegazi A S , Elsadany AA, The dynamics of Bowley's model with bounded rationality, *Chaos ,S olitons &Fractals* , 2001 ,12 (9) :1705 - 1717.
- [67] 徐峰, 盛昭瀚, 姚洪兴, 陈国华, 延迟决策对一类双寡头广告博弈模型的影响分析, *管理科学学报*, 2007, 10 (10): 1-10
- [68] 卢亚丽,薛惠锋,李战国, 一类经济博弈模型的复杂动力学分析及混沌控制, *系统工程理论与实践*, 2008 (4): 118-123

- [69] 姚洪兴, 王海平, 商业银行竞争博弈模型的夏复杂性分析, 统计与决策, 2007 (21): 55-57
- [70] JunHai Ma, WeiZhuo Ji, Complexity of Repeated Game Model in Electric Power Triopoly, Chaos, Solitons & Fractals, 2009,40 (4): 1735-1740
- [71] 牟玲玲, 房地产市场非线性博弈模型及其内在复杂性研究: [博士学位论文],天津; 天津大学, 2008
- [72] 马军海, 吉伟卓, 电力市场寡头垄断重复博弈模型及其内在复杂性研究, 系统管理学报, 2007, 16 (3): 251-256.
- [73] Junhai Ma, Lingling Mu,Complex Dynamics In A Nonlinear Cobweb Model For Real Estate Market, Discrete Dynamics in Nature and Society, vol. 2007, Article ID 29207, 14 pages, 2007
- [74] JunHai Ma,Fang Chen, XiaoQiang Chen, The study of dynamic process of the triopoly games in Chinese 3G telecommunication market, Chaos, Solitons and Fractals, 2009, 42(3): 1542-1551
- [75] 马军海, 彭静, 延迟决策对一类寡头博弈模型的影响分析, 系统工程学报, 2010, 25 (6)
- [76] 牟玲玲, 陈立文, 非均衡房地产市场博弈行为复杂性研究, 系统工程学报, 2010, 25 (6): 824-828
- [77] 李拥军, 于涛, 关于钢铁企业现行主要定价模式的优劣分析, 中国钢铁业, 2006 (3)
- [78] 衣光喜, 中国钢铁行业价格竞争模式研究: [硕士学位论文], 武汉; 华中科技大学 2005
- [79] 菲利普·科特勒, 营销管理-分析、计划、执行和控制, 上海: 上海人民出版社, 1999
- [80] 李楠, 王秀繁, 西方经济学, 北京: 中国铁道出版社, 2010: 112
- [81] 陈春根, 潘申彪, 经济学原理, 杭州: 浙江大学出版社, 2010: 103
- [82] 田志龙, 贺远琼, 衣光喜等, 寡头垄断行业的价格行为 —— 对我国钢铁行业的案例研究, 管理世界, 2005 (4): 68-69
- [83] 贾辉艳, 寡头垄断: 我国优化市场结构的最优选择: [硕士学位论文], 北京; 首都经济贸易大学, 2007
- [84] 彭静, 寡头垄断市场价格博弈模型复杂性及其应用研究: [博士学位论文], 天津; 天津大学, 2010
- [85] 王敏, 中国钢铁产业竞争环境研究: [硕士毕业论文], 大连; 东北财经大学, 2006
- [86] 韩文宾, 潘新雨, 我国钢铁业行业集中度分析, 农村经济与科技, 2009, 20 (3): 39-40

- [87] 黄金干, 客观分析钢铁工业发展形势, 冶金管理, 2004 (4): 14-16
- [88] 罗峰, 我国钢铁行业发展现状-问题及对策, 经济论坛, 2005 (5): 62-63
- [89] 郭凤梅, 浅谈钢铁行业的发展趋势, 武钢技术, 2003, 41 (5): 38-41
- [90] 罗安国, 并购重组——提高我国钢铁行业生产集中度的必然选择, 科技和产业, 2006, 12 (6): 3-5
- [91] 王琛, 王效俐, 我国钢铁企业价格决策中存在的问题及对策分析, 价格理论与实践, 66-67
- [92] Nash J. F., The Bargaining Problem, Econometrica, 1950, (18): 155-162
- [93] 张维迎, 博弈论与信息经济学, 上海: 上海人民出版社, 2004.4
- [94] Nash J. F., Equilibrium Points in N-Person Games, Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America, 1950, (36): 48-49
- [95] Nash J. F., Non-Cooperative Games, Annals of Mathematics, 1951, (54): 286-295
- [96] 杨安怀, 何璋, 西方经济学, 北京: 北京师范大学出版社, 2010.145
- [97] 张琪昌, 王洪礼等, 分岔与混沌理论及应用, 天津: 天津大学出版社, 2005. 170-171
- [98] Moser J. K, On invariant curves of area preserving mappings of an annulus, Nachr. Akad. Wiss. Gottubgeb II, Math. Physics. KL, 1962, (10) :1-20
- [99] Arnold V. L., Mathematical Methods of Classical Mechanics, Pringer-Verlag, New York, Heidelberg, Berlin, 1978, 28-35
- [100] Arnold V.L., Instability of dynamical systems with several degrees of freedom, Soviet Mathematics Doklady, 1964, 5: 342-355
- [101] Rossler O E, An equation for continuous chaos, Phys Lett A, 1976, 57(5): 397-398
- [102] Ruelle D, Takens F, On the nature of turbulence, Commun Math Phys, 1971, (20)
- [103] Ruelle D, Takens F, On the nature of turbulence, Commun Math Phys, 1971, (23): 343-344
- [104] Hénon M, Heiles C, The applicability of the third integral of motion: some numerical experiments, Astophys J, 1964, (69):73-79
- [105] Li Tien-Yien, Yorke J A. Period Three Implies Chaos, The American Mathematical Monthly, 1975, 82(10): 985-992.
- [106] May R M, Simple mathematical models with very complicated dynamics, Nature, 1976, 261(560): 459-467
- [107] Feigenbaum M J, Quantitative universality for a class of nonlinear transformation, J Stat Phys, 1978, (19):25-52

- [108] Devaney R L., An Introduction to Chaotic Dynamical Systems, 2nd ed. NY: Addison-Wesley Press, 1989: 48-50.
- [109] Ford J, Foreword of Symbolic Dynamics and Hyperbolic Dynamic System, Physics Reports, 1981, 75: 288.
- [110] 吉伟卓, 寡头垄断电力市场产量博弈模型及其混沌复杂性研究: [博士学位论文], 天津: 天津大学, 2008
- [111] Robinson C, Dynamical systems: Stability, Symbolic, Dynamics and chaos, Second Ed., CRC Press, Boca Raton-London-New York-Washington D.C. 1999
- [112] Oseledec V. I., A multiplicative ergodic theorem: Lyapunov characteristic exponents for dynamical systems, Trudy Mosko Mat. Obshch, 1968(19):179-210
- [113] Adler R. L, Konheim A.G, Mcandrew M. H., Topological Entropy, Trans. Amer. Math. Soc., 1965, 114(2): 309-319
- [114] Bowen R., Topological Entropy and Axiom A, Global Analysis, Proc. Sysmpos. Pure Math. Amer. Math. Soc., 1970
- [115] Kolmogorov A.N., Three approaches to the quantitative definition of information, Problems of Information Transmission, 1968, 2 (1-4):157-168
- [116] 林伟, 复杂系统中的若干理论问题及其应用: [博士学位论文], 上海: 复旦大学, 2002
- [117] 杨建浩等, 混沌及混沌控制, 声学与电子工程, 2003, (2): 31-34
- [118] [http://www.360doc.com/content/10/1118/04/4607721\\_70305640.shtml](http://www.360doc.com/content/10/1118/04/4607721_70305640.shtml)
- [119] Benedicks M., Carleson L., The dynamics of the Hennon map, Ann Math, 1991, 133:73-169
- [120] Benedicks M., Viana M., Solution of the basin problem for certain nonuniformly hyperbolic attractors, Invent Math., 2001, 143: 375-434
- [121] Guckenheimer J, Williams R, Struetural stability of the Lorenz attractor, Publ. Math. I.H.E.S., 1980(50):73-100
- [122] Warwick Tucker, A rigorous ODE solver and Smale's 14th Problem, 2000, 52-81
- [123] 关新平, 范正平等, 混沌控制及其在保密通信中的应用, 北京: 国防工业出版社, 2002.
- [124] 陈奉苏, 混沌控制及其应用, 北京: 中国电力出版社, 2006. 1-8.
- [125] 吕金虎, 陆君安, 陈士华, 混沌时间序列分析及其应用, 武汉: 武汉大学出版社, 2002: 202-204.
- [126] Ott E, Grebogi C, Yorke J A, Controlling chaos, Phys Rev Lett, 1990, 64(11):1196-1199

- [127] Ditto W L, Rauseo S N, Spano M L, Experimental control of chaos, Phys Rev Lett, 1990, 65(26): 3211-3214
- [128] Romeiras F J, Grebogi C, Ott E, Controlling chaotic dynamical systems, Physica D, 1992, (58): 165-192
- [129] Sinhna S, Ramaswamy R, Subba Rao J. Adaptive control in nonlinear dynamic, Physica D, 1990, (43):118-128.
- [130] Pyragas K, Continuous control of chaos by self-controlling feedback, Phys Lett A, 1992, (170): 421-428
- [131] Lima R, Pettini M, Suppression of Chaos by Resonant parametric perturbations, Phys Rev A, 1990, (41):726-728
- [132] Braiman Y, Goldhirsch I, Taming chaotic dynamic with weak perturbation, Phys Rev Lett, 1991, 66(20): 2545-2548.
- [133] Hunt E R, Stabilization high-period orbits in chaotic system: the diode resonator, Phys Rev Lett, 1991, 67(15): 1953-1955
- [134] Peng B, Petrov V, Showalter K, Controlling chemical chaos, J Chem Phys, 1991, (95): 4957-4963
- [135] Yang Tao, Yang Linbao, Yang Chunmei. Impulsive Synchronization of Lorenz System. Physics Letters A, 1997, 226(6): 349-354.
- [136] Yang Tao, Yang Chunmei, Yang Linbao. Control of Rossler System to Periodic Motions Using Impulsive Control Methods. Physics Letters A, 1997, 232(5): 356-361.
- [137] Alsing P M, Garielides A. Using Neural Networks for Controlling Chaos. Physical Review E, 1994, 49:1225-1231.
- [138] Lin C T. Controlling Chaos by GA-based Reinforcement Learning Neural Net Works. IEEE Transactions on Neural Net Works, 1999, 10: 846-859.
- [139] 康波, 吕炳朝等, 一种基于神经网络的混沌控制方法, 系统工程与电工技术, 2001, 23(5): 11-14.
- [140] 罗晓曙, 陈关荣, 汪秉宏, 状态反馈和参数调整控制离散非线性系统的倍周期分岔和混沌, 物理学报, 2003, 52(4): 790-794.
- [141] 李贤丽, 赵逢达, 李贤善等, 混沌控制的现状及发展前景, 大庆石油学院学报, 2004, 28(3): 102-105
- [142] 陈关荣, 汪小帆, 动力系统的混沌化——理论、方法与应用, 上海: 上海交通大学出版社, 2006
- [143] 费磊, 中国钢铁工业发展的深层次矛盾和问题突出亟待变革, 气体分离, 2010, 6: 30
- [144] <http://www.ce.cn/cysc/newmain/jdpd/yj/201009/21/t20100921-20508388.shtml>

- [145] 陈友龙, 缪代文.现代西方经济学, 北京: 中国人民大学出版社,2002:56.
- [146] 陈芳, 寡头垄断电信市场价格博弈模型及其复杂性研究: [博士毕业论文], 天津; 天津大学, 2008
- [147] 程丽, 彭建华, 黄秋楠, 控制混沌与超混沌同步, 东北师范大学学报(自然科学版), 2001, 33(3): 43-47.
- [148] 陈予恕, 唐云, 非线性动力学中的现代分析方法, 北京: 科学出版社, 1992.78-96
- [149] Dixit A. Comparative statics for oligopoly, International Economic Review, 1986, 27(3):107-122
- [150] Bischi G I, Kopel M. Equilibrium selection in a nonlinear duopoly game with adaptive expectations , Journal of Economic Behavior and Organization,2001,46(1):73-100
- [151] 王翼,自动控制中的基础数学-微分方程与差分方程,北京: 科学出版社,1987. 238-242.
- [152] 王春明, 鲁强, 吴杏芳, 管线钢的合金设计, 鞍钢技术, 2006, ( 6 ) : 22~ 28
- [153] 齐俊杰, 黄运华, 张跃. 微合金化钢, 北京: 冶金工业出版社, 2006.5
- [154] 孙决定, 我国管线钢生产现状概述, 鞍钢技术, 2006 ( 6 ): 10-14
- [155] 张庆国, 管线钢的发展趋势和生产工艺评介, 河北冶金, 2003, ( 5 ) : 12~ 17
- [156] 陈小海, 管线钢市场寡头垄断的行为分析与合作设想, 武钢技术, 2001 ( 6 ) :51-54

## 发表论文和参加科研情况

- 1、Zhihui Sun,Junhai Ma,Yutao Dong.Research on complexity of price games in Chinese steel market. Journal of Computational Information Systems 6:7(2010):2383-2388, EI:20104113292795
- 2、Zhihui Sun,Junhai Ma,Research on Complex Mechanism of Oligarchy Pricing Based on Price Repeated Game Model , Advanced Materials Research, vols.219-220(2011):578-581, EI:20111713936660
- 3、孙志慧，马军海，我国钢铁市场价格的动态重复博弈模型研究，西安电子科技大学学报（社会科学版），2009,19 (4): 43-47
- 4、Zhihui Sun,Junhai Ma, Research on complex dynamics of triopoly price game in Chinese high-end cold rolled steel market, Nonlinear Dynamics. SCI 已投
- 5、Junhai Ma, Zhihui Sun, Research on complexity of triopoly price game with different rationality. SCI 已投

## 致 谢

时光荏苒，再回首，三年的博士生涯已经接近尾声，不管如何挽留，如何珍惜，时光依然无情飞逝，在此，我要对三年来所有帮助过我的人表示感谢！

首先，我要感谢恩师——马军海教授。在我攻读博士学位的三年时间里，我的成长与进步都离不开马教授的教诲与指导，他学术思想丰富，对研究方法能够正确把握，使我受益无穷，启迪无限，使我的学术水平获得了很大的提高。同时，知识渊博、治学严谨、工作认真的马教授，在为人处世方面上也深深地感染了我，宽厚谦和的人格魅力都为我树立了难忘的榜样。本论文的工作是在马教授的悉心指导下完成的，自开始选题至完成论文的整个过程处处体现出导师的关怀，在此衷心感谢三年来马教授对我的关心和指导。

在撰写论文期间，师姐陈芳对我的论文给予了热情帮助，此外还要感谢课题组中张俊玲、郭悦红、刘艳芹、王玉玲、王冠辉等同学在学术交流上所给予的帮助，同时也难忘与他们在一起时共同度过的美好时光，在此向他们表达我的感激之情。

感谢父母在我成长及求学生涯中所给予的无私厚爱和全力支持，在完成博士学业过程中父母替我承担了照顾孩子的重任，解决了我的后顾之忧，他们的激励和理解始终伴随着我，谨将本文作为对他们的回报，并献上深深的祝福。还要感谢我的爱人董玉涛，在本论文的撰写过程中给与我的莫大帮助以及在生活上所给予的关照。

回首三年，许多老师、同学及朋友都给予我许多关怀与帮助，伴随我渡过这段辛苦却又美好的求学岁月，衷心感谢所有关心、鼓励、支持和帮助过我的老师和同学们！