

基于 JAVA 技术的碳市场仿真系统^①

徐 梅, 唐文文

(天津大学 管理与经济学部, 天津 300072)

摘 要: 二氧化碳排放量的急剧升高引发了一系列的环境问题, 碳排放权交易系统作为一种以较低成本达到碳减排目标的经济手段, 对中国的减排之路具有重要意义. 本研究基于 Agent 建立了钢铁行业的碳排放权交易市场模型, 考虑了企业真实的减排技术以及决策方式, 并使用 NetLogo 软件对模型进行仿真. 系统的前台界面采用 Java 语言编写, 通过与 NetLogo 程序的连接, 实现了数据的相互传输. 在 Java 程序中, 运用多种技术动态输出仿真结果, 建立了一个多功能的碳市场仿真系统.

关键词: 碳排放权交易市场; Java; NetLogo; 仿真系统; 钢铁行业

Carbon Market Simulation System Based on Java

XU Mei, TANG Wen-Wen

(School of Management, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: A dramatic increase in carbon dioxide emissions leads to a series of environmental problems. As a kind of lower cost economic means to achieve carbon reduction target, carbon emissions trading system is of great significance to the road of China's emissions. In this study, we establish an agent-based carbon market model of steel industry through NetLogo software. This model considers the enterprises' real abatement technologies and decision-makings. We use java language to complete the interface and achieve data transmission with NetLogo. The java program can output simulation results dynamically by using a variety of techniques. In conclusion, we build a multi-functional carbon market simulation system based on java technology.

Keywords: carbon emission trading market; java; NetLogo; simulation system; steel industry

1 引言

目前我国正处于工业化进程后期, 面临着产业结构调整、经济增长与环境保护的多重压力, 能源问题已成为制约经济增长的关键问题之一. 但是, 化石能源消耗过程中, 不可避免会形成二氧化碳等温室气体, 这与人类延缓气候变化, 追求低碳经济增长的目标不符, 增强二氧化碳的减排力度势在必行. 中国在哥本哈根气候变化会议上做出了 2020 年单位国内 GDP 碳排放量相比 2005 年降低 40%-45% 的承诺^[1]. 我国的排放权交易市场刚刚初步建立, 作为我国首批 7 个开展碳排放权交易试点的省市, 广东省首批碳排放权配额于 2013 年 3 月发放^[2]. 因此本研究建立碳市场仿真系统, 有助于我国碳排放权交易市场的稳定运行.

基于 Agent 的市场建模方法在碳交易领域内被运

用的并不多, 本文依据目前世界上成熟的碳排放市场的运行机制, 自底向上地建立适合于中国特定行业的碳排放交易体系. 采用 NetLogo 软件, 可以达到高效真实的仿真效果, 尽可能接近现实, 减少不切实际的假设. 并通过 Java 软件与 NetLogo 相连接, 生动展示仿真结果, 在理论与实践两方面发挥积极作用.

2 碳市场仿真系统构建相关概念

碳排放权指排放企业在不会影响公众权益的条件下, 向环境部门申请并得到许可后, 按照排放主体所获得的碳排放指标, 向外部排放温室气体的权利^[3].

排放交易的基本原理并不复杂, 由于各行业在减排技术、管理方式等方面存在差异, 因此不同企业的边际减排成本不同, 碳市场的目的就是通过对交易使所

^① 收稿时间:2013-10-27 收到修改稿时间:2013-11-21

有企业的减排成本相同,以最小的成本达到目标减排量^[4].企业会得到一定的排放配额,企业的排放量不能超过自己拥有的总配额.如果排放量高于初始配额,企业就必须改进技术降低排放量或者通过从其它企业购买多余的配额达到要求.如果企业的技术水平高,剩余的配额可以在碳市场中卖出,以此获利,达到激励企业减排的目标^[5].

主体(Agent)是指某一事物在某一特定的环境中,具有独立性,能够自主在环境中运行,不但受到外部环境的影响,而且还反作用于自己生存的环境^[6].每一个在碳市场中进行交易的厂商都可以被看做是一个主体(Agent),而每个主体都有它自己的信息与决策方式.

3 系统设计

3.1 输出仿真图形模块

为了得到不同政策机制对碳市场的影响,系统需要输出很多碳市场中的关键指标.在众多指标中最为重要的无疑是碳价格以及成交量,碳价是多个主体依据自己的具体情况与决策准则进行市场操作后所形成的,是市场参与者与决策者最为关注的指标,可以反映市场的总体状况^[7].交易中心在对所有订单进行处理时采用双向拍卖机制,碳价受多空双方出价的影响,了解买方的最高出价与卖方的最低要价对于了解当前的碳排放权的行情有着重要作用.与碳价相对应的便是成交量,成交量的高低直接反映整个市场的活跃程度,较为活跃的市场伴随着较高的成交量,各交易主体之间通过大量的碳排放权的买卖过程使得总体的边际减排成本趋于一致,降低总体的减排控制成本.买入量与卖出量同样可以显示多空双方对碳配额的需求程度,是市场非常重要的统计指标.

除了碳价与成交量这两个直接反映市场状况的指标以外,还有其他一些重要的指标,例如:各减排技术的采用情况、总体的减排控制成本、企业在期初期末的碳强度分布等.碳排放权交易与碳税政策相比的一个最大优势便是以较低的减排成本实现减排目标,因此减排成本是对碳市场效率高低的一个重要评价,不仅包括累积减排成本,还需要包括企业的平均减排成本,全方位对企业的减排成本进出观察评价.综上所述,本系统在图形显示方面需要包括碳价、成交量、减排技术采用、减排成本以及企业碳强度分布等内容,

同时还需包含每项中细化的其它具体指标.

3.2 展示统计数据模块

图形显示虽然生动直观,但是不能具体的展示仿真数据,而且得到的图形都是未经加工的原始数据,缺乏统计信息.故需要在 Java 界面中通过表格输出一些图形的统计数据,例如碳价方面,需要知道它的均值、最大值、最小值等统计信息.对于成交量,需要了解成交总量以及均值等.这些经过处理的统计数据将会给用户带来一个直观的感受.

3.3 详细数据导出模块

在界面中显示出来的统计数据毕竟有限,而且并不一定是用户想要得到的.对于仿真系统来说,重要的一点便是用户对仿真结果进行加工,从中找到相关的规律.数据越细致,用户进行后期处理的选择范围就越广.因此需要将每一轮的所有仿真结果记录下来,用户可以方便地将这些数据导入到 excel 中进行后续处理.

3.4 参数输入模块

本系统的目的是研究不同的政策机制下碳市场的运行状况.为了可以模拟多种不同的情况,本系统将输入参数设置为 3 种情况,分别是初始配额分配、主体行为偏好和其它政策参数.其中输入不同的初始配额的目的,是为了研究在碳市场中碳配额如何分配可以使总体减排效率最高的问题.而主体行为偏好侧重于研究市场参与者的决策特点,使其尽可能地符合现实中的厂商,不同的行为偏好会对市场产生重要影响.其它政策参数包括交易限量等机制,使得模拟的范围变得更加广泛,模拟的碳市场更加真实.

碳市场仿真系统的功能分解图如图 1 所示.

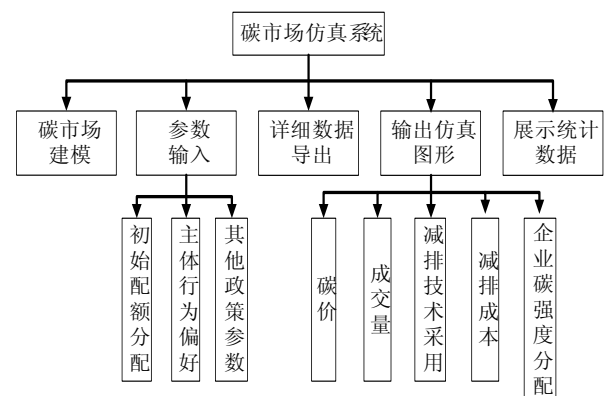


图 1 功能分解图

4 关键技术选择

4.1 Java 相关类库

本系统采用 Java 语言编写, java 具有跨平台等优势. 本系统主要用到了它的一些扩展类库, 包括用于图形绘制的 JFreeChart, 用于导出数据的 jxl 和图形用户界面 swt.

(1) 碳市场仿真系统需要大量图形显示仿真结果, JFreeChart 很好地满足了系统的技术要求. JFreeChart 是 Java 平台上的一个免费开源的图形绘制类库, 提供了折线图、甘特图、饼图、柱状图等多种图表, 是一组功能强大、简单易用的 API. 它完全是由 Java 编写的, 是为 Java 桌面应用程序、Applet 小程序、JSP 网页程序等使用而设计的. 由于性能稳定、且属于轻量级软件, 因此使用是效率很高、程序的运行速度也较快.

(2) 在仿真中, 每一阶段的数据都很有价值, 不仅需要图形显示出数据, 更需要将全部数据导入 excel 进行后续处理, 因此本文选择使用 jxl. Jxl 是通过 Java 操作 excel 的工具类库, 它支持图像、图表、字体和日期等操作并且可以修饰单元格属性, 可以满足一般导入导出数据的要求. 它同样完全是由 Java 编写, 具有跨平台的优势.

(3) Swt 是 IBM 推出的一种在 eclipse 中使用的集成开发环境. Java 界面并不美观, 无论是 awt 还是 swing 都难以达到人们满意的程度, 这也成了 java 桌面应用程序的一个限制. 但 swt 的出现改善了这种情况, 它拥有标准的外观, 与同一操作系统平台下的其它软件相比显得很相似, 更为重要的是它仍然是跨平台的. Swt 使得 java 桌面应用程序更加美观、得体.

4.2 NetLogo

NetLogo 是一款对自然和社会现象进行仿真的编程软件, 适合对随着时间而不断进行演化的复杂系统建模[8]. NetLogo 完全由 Java 编写, 因此留有与 Java 相连的接口, 可以通过 Java 调用 NetLogo 进行运算, 这也是本研究选择 Java 作为编程语言的一个重要依据. NetLogo 为编程者提供了一个非常方便的数据结构, 编程者可以向多个独立运行的主体发出命令, 这些因素降低了仿真编程的难度.

NetLogo 模型分为三大部分: 行为者、环境和观察者. 观察者是指系统程序编写者, 行为者即主体, 主体可以在环境中自由移动, 在碳市场中进行交易的各

个企业即为主体. 观察者的主要任务是在设定了主体与主体、主体与环境之间的行为规则后, 在 NetLogo 平台中自行设置环境和行为者以及一些系统环境变量, 从而让行为者和环境在这些设定规则下运行出复杂的结果^[9].

5 仿真实例

本研究的碳市场仿真系统的主体仅限于我国的钢铁行业, 由于钢铁行业是主要的二氧化碳排放行业, 因此研究钢铁行业对我国实现总体碳减排目标具有重要意义. 在我国, 钢铁行业的工艺主要分为两大类: 转炉炼钢和电炉炼钢. 本系统一共设计了 200 个主体, 这里既包括转炉炼钢的企业也包括电炉炼钢的企业. 每个主体基于一个确定的标准被提供排放权利, 每个主体必须拥有与它排放量相对应的排放权. 如果某个主体没有足够的排放权, 它必须减少它的排放量或者是从别的有多余排放权的主体处购买配额.

每一次仿真过程都将一年作为一个循环周期, 每一天要进行一轮交易, 故系统一共进行 365 轮交易. 每个企业每天都要根据自身的情况以及目前碳市场的总体行情来进行一次决策, 企业的目标是使自己的成本最小化, 不考虑交易成本和投机行为, 也不允许企业存储与高借碳配额. 减排技术固定, 一共分为 13 种, 具体技术名称如表 1 所示. 减排措施一旦实施便不可逆转, 用于改进技术的投资变为沉没成本, 为了简化模型, 忽略减排技术的上马时间, 既一旦决定上马某项技术, 则这项技术所带来的减排量立刻实现.

表 1 减排技术

编号	技术名称	编号	技术名称
1	氧燃烧嘴	8	热风炉还原
2	使用废料	9	烟气回收余热利用
3	DC 电弧炉	10	预防性控制
4	能源监测与管理系 统	11	热轧带钢轧机的过程控 制
5	高炉控制系统	12	高效钢包预热
6	蓄热式烧嘴	13	自动检测定位系统
7	含氧量的控制和变速驱动器上燃烧风机		

碳市场中的企业年初会得到自己的相关数据, 包括今年该企业的排放量 E、分得的配额量 A、自己的

边际减排成本 MAC 以及初始碳价 P1. 企业在进行决策之前首先要根据之前的碳价信息来预测当天的碳价 P, 不同的企业由于其特点的不同预测方式也不同, 这样才会造成价格差, 从而导致交易的发生. 本系统共提供四种预期方式: 把前一天的碳价作为今天的碳价、将前 5 天的碳价进行移动平均作为今天的碳价、将前 30 天的碳价进行移动平均作为今天的碳价、连续 3 天的碳价均涨则预测今天的价格同幅度上涨, 反之亦然. 不同的企业拥有不同的预期方式, 具体使用每种预期方式的企业数量可以通过参数设置模块进行调节. 每个企业根据当前的排放价格 P 会有三种选择. 如果这个企业的 MAC 高于目前的排放价格 P 时, 这个公司应该作为买家. 如果这个企业的 MAC 低于目前的排放价格 P, 它应该作为卖家, 同时进行减排. 如果 MAC 等于排放价格 P, 这个企业在价格改变之前不会有任何交易. 具体的情况如图 2 所示.

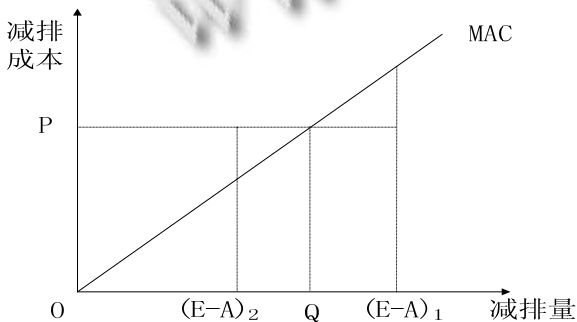


图 2 企业策略分析

图 2 中的 Q 为当减排成本 MAC 等于碳价 P 时所对应的减排量, E-A 表示企业需要减排的数量. 此时 E-A 大于 Q, 企业会选择采用技术减少二氧化碳排放量 Q, 然后以价格 P 购买数量为 E-A-Q 的配额, 这样企业的总体成本最小. 当 E-A 小于 Q, 即 E-A 为负数时, 那样表示这个企业的配额量大于自身的排放量. 在此种情况下, 企业仍然会选择采用技术减少二氧化碳排放量 Q, 然后以价格 P 卖出数量为 Q-(E-A) 的配额, 这是因为碳价 P 较高, 大于进行减排的成本, 故可以将减排所带来的配额多出的部分卖出, 以此来获得更多的收益.

企业在确定自己是否进行买卖后, 会进一步确定自己的出价以及想要购买的数量. 为了避免交易量全部出现在前期, 需要设定一个交易限量, 即每个主体在每一轮交易中可以买卖的最大量. 与此同时, 为了

获得更多的收益, 买家会在自己预期的碳价的基础上降低一些价格进行出价, 而卖家则相反, 在要价时会在预期碳价的基础上提高. 提高和降低的幅度依据不同的企业而不尽相同.

当各个主体确定了自己在当天的策略之后, 会把订单提交的交易中心, 交易中心会将所有买方报价从高到低排列, 将所有卖方报价从低到高排列, 最高的买价与最低的卖价相匹配, 前提是买方价格高于或等于卖方价格, 交易数量为两订单中较小的数量. 其余数量仍然放入交易中心中继续匹配, 直到系统中卖方价格高于买方价格, 所有匹配的交易价格均为最后一次匹配双方报价的均价, 形成统一的碳价.

在交易中心进行完当天的所有交易之后, 并不是所有的主体都成功地进行了交易. 企业会有一个学习的过程, 即根据上一次的交易结果来调整这一次交易的报价. 如果买家在上一次交易中取得了成功, 那么在下次交易中它会降低自己的出价, 而如果卖方取得了成功, 它会在下次交易中提高自己的要价. 反之亦然. 学习过程使得主体的行为更加合理、贴近现实. 碳市场中主体的决策过程如图 3 所示.

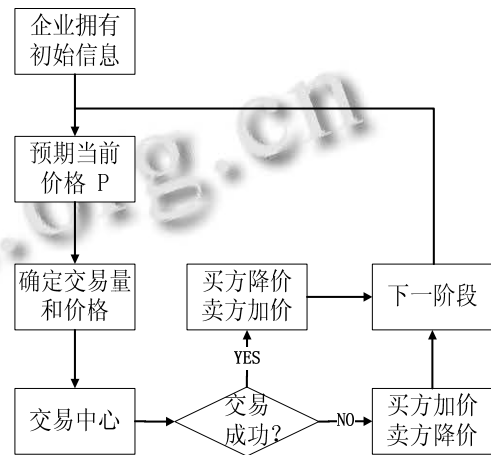


图 3 企业决策流程图

6 系统实现

6.1 技术实现

系统前台如何实现与后台仿真软件的连接是本系统开发的关键. NetLogo 由 java 编写, 留有与 java 相互传输数据的接口. NetLogo 中的 HeadlessWorkspace 类可以实现在不开启 NetLogo 软件的同时, 对 NetLogo 程序进行操作. 首先通过 open 函数打开编译好的

NetLogo 程序, 然后使用 `command` 函数对程序进行操控, 包括参数的设置、按钮的点击等. 后台程序计算结束后, 通过 `report` 函数将一些指标的仿真结果输出到 `java` 中, 使用数组将所有的数据保存起来. 当全部计算结束之后, 使用 `dispose` 函数释放资源, 关闭 NetLogo 程序.

在对仿真结果进行展示的方式中, 图形是最为直观生动的一种方式. 本系统使用 `JFreeChart` 生成图形, 由于 `JFreeChart` 只能将生成的图片放置在使用 `awt` 编写的程序中, 而本系统使用 `swt` 进行界面的编写, 因此需要使用 `SWT_AWT` 桥接器将生成的图片嵌入到容器中. 将计算得到的数据输入到 `JFreeChart` 的数据集 `xyseries` 中, 调用 `CreateChart` 函数生成 `Java` 界面的图形. 如果是建立柱状图需要使用 `dataset` 数据集, 并调用 `ChartFactory` 类中的 `createBarChart` 函数.

图形的动态显示功能是本系统的难点之一, 本系统采用多线程的方法实现了这个功能. 系统每隔 0.08 秒进行一轮碳市场的模拟, 并将数据输入到 `JFreeChart` 的数据集中, 创建图片. 由于相隔两张图片的替换时间极短, 用户不会发现图片之间替换所造成的闪烁现象. 另外, 在线程的 `run` 函数中不能出现对界面的操作, 而系统需要在线程进行的过程中输出一些数据到统计信息的表格中, 本文的解决方法是使用 `asyncExec(Runnable)`, 同步开启另一个可以操作界面的线程, 解决输出数据的问题.

6.2 仿真界面

本系统的界面使用的是 `swt` 编程框架, 它拥有标准的外观, 系统共分为三个区域: 参数输入区、图形输出区与统计数据输出区. 图形输出模块需要输出 5 类指标, 它们分别是: 碳价、成交量、减排技术采用、减排成本和企业碳强度分布.

(1)碳价仿真结果

碳价图形中一共包含 3 条折线, 最上方曲线代表最高买方出价, 中间曲线代表碳价, 最下方曲线代表最低卖方要价. 横轴代表时间, 每一单位代表一天, 同时也是仿真过程中的一轮, 因此每一天都会产生一个价格.

(2)成交量仿真结果

与碳价的图形相似, 成交量的仿真结果仍然包括

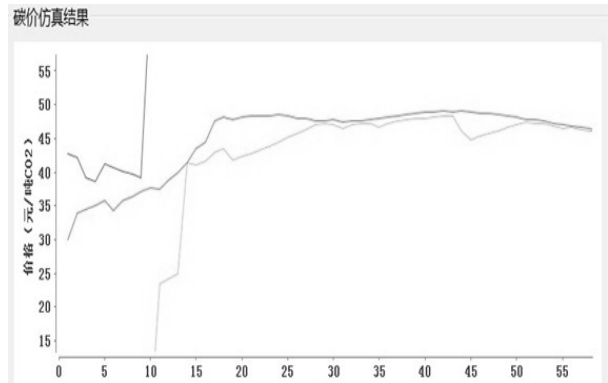


图 4 碳价

三条曲线, 在本图中呈下降趋势的曲线代表成交量, 最下方的曲线表示买入量, 最后一条曲线代表出售量. 横轴表示时间, 纵轴表示成交数量. 单位量是进行交易时所规定的最低限额, 这个最低限额可以在参数设置中进行调整. 在本次模拟中, 如图 5 所示, 出售量在第 50 天之后一直处于较高状态, 而成交量却很少, 只有 1000 单位量左右. 这是配额过剩的一种表现, 碳排放权供过于求.

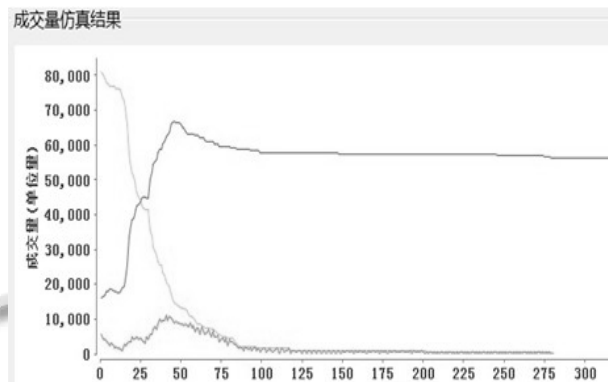


图 5 成交量

(3)减排技术采用仿真结果

减排技术采用的仿真结果是采用柱状图进行表示的, 横轴代表系统中设定的 13 种固定技术, 在表 1 中有各种技术的详细描述. 纵轴代表每种技术当前被使用的次数. 图 6 显示了前 4 种技术被使用的频率较高, 相对来说, 后面编号的技术的边际减排成本较高, 在碳配额充足的时候, 不需要进行技术改进.

(4)总体减排成本仿真结果

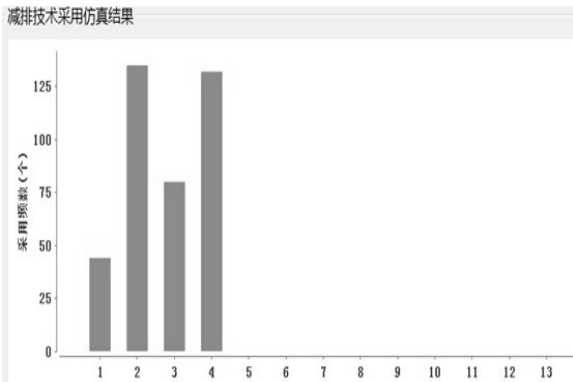


图6 减排技术采用

总体减排成本是评价一个碳排放权交易市场效率高低的重要指标,如图7所示,减排成本图形中分为两个曲线,上方曲线表示累积减排量,下方曲线表示累积减排成本。

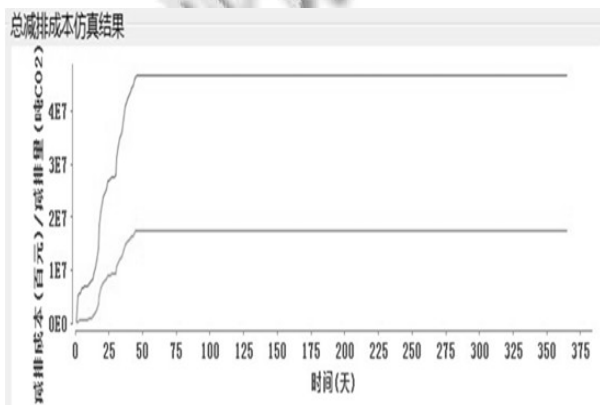


图7 总体减排成本

(5)碳强度分布仿真结果

碳强度分布的仿真图形采用的是柱状图的形式,横轴代表碳强度,碳强度的分布范围在400至600之间。纵轴表示处于某个碳强度的企业数量。对于企业的碳强度分布,主要关心初始以及终止的碳强度分布,反映了在进行碳市场交易之后对企业碳强度的总体影响。图8是期初的分布图,所有企业均存于500至600之间,当碳交易模拟全过程结束之后,会发现总体的柱状图有向左平移的趋势,有部分企业的碳强度会降至500以下。

7 总结

本研究的开发对象是碳排放权交易市场的仿真程

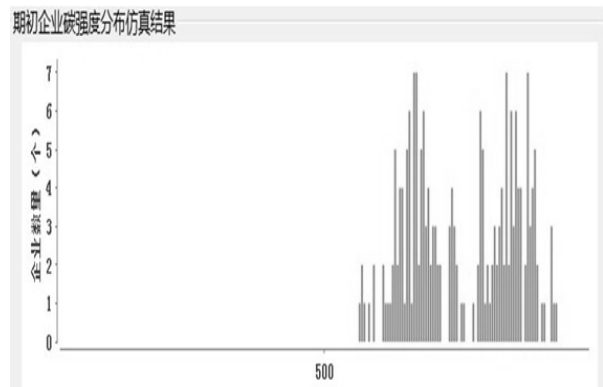


图8 企业碳强度

序,使用的工具包括java和NetLogo,本研究详细介绍了系统开发的流程。从多个方面介绍了系统开发过程中使用到的软件、工具、方法以及如何将它们整合成一个整体,以达到预期的仿真效果。

参考文献

- 陈晓红,王陟昀.碳排放权交易价格影响因素实证研究——以欧盟排放交易体系(EUETS)为例.系统工程,2012,30(2):53-60.
- 刘燕华,冯之浚.走中国特色的低碳经济发展道路.科学学与科学技术管理,2010,31(6):5-6.
- Massetti E, Tavoni M. A developing Asia emission trading scheme (Asia ETS). Energy Economics, 2012, 34(Suppl.3): 436-443.
- Zhang B, Zhang Y, Bi J. An adaptive agent-based modeling approach for analyzing the influence of transaction costs on emissions trading markets. Environmental Modeling & Software, 2011, 26(4): 482-491.
- Aatola P, Ollikainen M, Toppinen A. Price determination in the EU ETS market: Theory and econometric analysis with market fundamentals. Energy Economics, 2012, 36: 380-395.
- 黎建兴,毛新军,束尧.软件Agent的一种面向对象设计模型.软件学报,2007,18(3):582-591.
- 李昊,赵道致.基于多Agent的碳排放权交易机制建模与仿真.计算机工程与应用,2012,48(25):9-14.
- 陈晓红,王陟昀.欧洲碳排放权交易价格机制的实证研究.科技进步与对策,2010,27(19):142-147.
- 宗利永,孙绍荣,顾宝炎.基于多主体建模方法的行为管理制度设计研究.管理学报,2011,8(9):1318-1324.