

基于系统动力学的资源枯竭型矿业 城市产业转型仿真分析 ——以吉林省辽源市为例

卢万合^{1,2}, 刘继生¹, 那 伟³

(1. 东北师范大学城市与环境科学学院, 吉林 长春 130024; 2. 吉林师范大学旅游与地理科学学院,
吉林 四平 136000; 3. 吉林省农业科学院农村能源研究所, 吉林 长春 130033)

摘要: 伴随着矿产资源的逐步枯竭, 资源枯竭型矿业城市的经济发展面临着诸多困境, 产业转型已经迫在眉睫。吉林省辽源市的产业转型取得了良好的效果, 被誉为“辽源样本”。基于系统动力学研究方法, 通过对系统结构的深入分析, 构建辽源市经济系统的SD模型, 将CD生产函数嵌入到模型当中, 根据辽源市2005~2010年数据进行趋势外推仿真, 得到2005~2030年经济系统的若干仿真曲线。结果表明: 在2027年辽源市煤炭资源完全枯竭, 煤炭产业产值降低为0, 但这对其整体经济的扰动很小, 辽源市GDP、第二产业产值、接续产业产值、第一产业产值、第三产业产值、其它工业产业产值均呈现快速上升的态势, 并且包括人均GDP在内的人均指标亦都将呈现上升的趋势, 辽源经济将呈现整体繁荣的局面。

关 键 词: 系统动力学; CD生产函数; 资源枯竭型矿业城市; 仿真; 辽源市

中图分类号: F224.12 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2012)05-0577-07

矿业城市的兴起大多是依靠当地丰富的矿产资源, 其主导产业也多为资源型产业, 然而随着矿产资源由禀赋走向衰竭, 矿业城市的经济发展也必然经历巨变^[1]。经济系统中一个要素的变化就可能引起整个系统的变化, 加之矿业城市经济系统本身就是一个十分脆弱的系统, 其脆弱性最主要的扰动因素就是资源产业, 而资源产业的兴衰则很大程度上取决于矿产资源的存存量^[2-6]。目前, 中国的绝大多数矿业城市都面临着资源枯竭的困境, 如何走出困局实现矿业城市持续、健康的发展是政府面临的一个棘手问题, 也是学术界的一项重要课题^[7-8]。只有不断调整系统结构, 才能增强产业系统的适应性, 故而产业转型是矿业城市摆脱畸形产业结构限制, 走向可持续发展的必由之路^[9-12]。20世纪30年代, 加拿大的地理学家英尼斯(H A Innis)开始从事矿业城市研究, 直至20世

纪60年代以后, 此领域才开始有比较系统的实践尝试和理论探讨^[13-16]。资源枯竭型矿业城市产业转型实践中, 三种以其典型实践区命名的模式取得了较好的效果, 分别是休斯敦模式、洛林模式、鲁尔模式^[17]。东北三省是中国矿业城市最为集中的地区, 阜新、辽源、大庆等城市的产业转型也取得了一定的效果^[2, 5, 6]。然而无论何种模式的产业转型, 都是一个逐步发展的动态过程, 即对这一过程的当前状态进行正确评价, 又对这一过程的未来趋势进行科学的预测, 才能够保证矿业城市突破发展的瓶颈, 并最终实现其可持续发展。本文运用系统动力学的分析方法, 从系统结构分析入手, 结合具体的实例——吉林省辽源市, 建立模型, 对资源枯竭约束下的矿业城市经济系统的发展进行仿真模拟。

收稿日期: 2011-10-18; **修订日期:** 2012-05-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(40635030)、吉林省社会科学基金项目(2011B336)、吉林省教育厅“十二五”科学技术研究项目(2012480)资助。

作者简介: 卢万合(1981-), 男, 吉林榆树人, 讲师, 博士研究生, 主要从事人文地理学研究。E-mail: jlsdlwh@163.com

通讯作者: 刘继生, 教授。E-mail: liujis362@nenu.edu.cn

1 研究区与研究方法

1.1 研究区

辽源市是典型的矿业城市,煤炭资源是其最主要的矿产资源。其工业结构以重工业为主,重工业中又以煤炭产业为最主要产业,事实上煤炭产业一直是辽源市的主导产业。经过长期的超强开采,辽源市的矿业城市类型处于从中年期向老年期过渡的阶段,特别是1990年以后,辽源市的煤炭产量开始下滑,煤炭资源已经逐步枯竭。从2001年开始,辽源矿业集团积极开发域外煤炭资源,使其煤炭产量又逐年上升。与此同时,辽源市又提出发展新材料产业、新型能源产业、健康产业、装备设备加工制造产业、冶金建材业、纺织产业等6大接续产业,为经济发展注入了新的活力^[18-20]。在上述双重因素的作用下,辽源市经济迅速增长,2004~2009年,全市生产总值增速均在20%以上,2010年地区生产总值达到410亿元,同比增长15.6%。第一、二、三产业对全市生产总值增长的贡献率分别为10.0%、66.5%和23.5%。人均地区生产总值为33 167元,同比增长22.1%。

1.2 研究方法

系统动力学的出现始于1956年,创始人美国麻省理工学院的福瑞斯特教授,初期主要应用于工业、企业管理,自此系统动力学的应用领域不断扩大,几乎遍及各类系统^[21-23]。SD模型可以很好的反馈系统内部要素的相互作用,借助计算机建模,完成对复杂问题的思考与研究,将其应用于中国区域可持续发展一般问题的研究,有着明显的优势和巨大的潜力^[24-25]。

运用系统动力学解决问题主要包含3个步骤:第一,结合系统动力学理论、原理和方法对研究对象进行系统分析,明确系统变量和边界;第二,进行系统结构分析,划分系统的层次与子块,确定总体与局部的反馈机制,建立符合数学规范的模型;第三,对模型进行模拟、分析^[23]。本研究利用系统动力学进行区域产业转型及产业发展趋势仿真,在进行具体仿真中,采用SD模型中嵌入CD生产函数的做法,提高了仿真精度,使研究成果具有更大的参考价值。另外,本文采用了钟永光等人提出的入树模型方法^[25],使得系统动力学模型更加明晰,简化了复杂的分析过程,同时也能够避免出现错误的概率。

2 辽源市经济系统的仿真模型

2.1 系统的变量和边界

根据模型边界确定的一般原则,首先基于研究目的确定系统的核心状态变量,接下来分析这些核心状态变量受哪些相关状态变量的控制,从而将一些新的状态变量纳入到系统当中,并继续追踪新的状态变量的自变量,一直重复到不必再追究其自变量为止,从而确定了系统的边界^[26]。接下来对系统的变量进行整理,处于系统边界之内的变量就是内生变量,系统边界以外的变量就是外生变量。当然无论是边界和变量的确定都要充分考虑研究目的,并以此为准,在保证模型可靠性的基础上对系统的变量和边界不断的调整、精简。根据研究目的,本文将煤炭产业的生产总值及六大接续产业的生产总值作为系统的核心状态变量,之后按前述步骤确定系统的内生变量、外生变量,并最终确定系统的边界。其中系统的内生变量包括煤炭选洗业生产要素、接续产业生产要素、煤炭储量,外生变量包括国内生产总值、人口数、总投资、其它工业产业产值以及由外生变量衍生出来的其它相关变量。

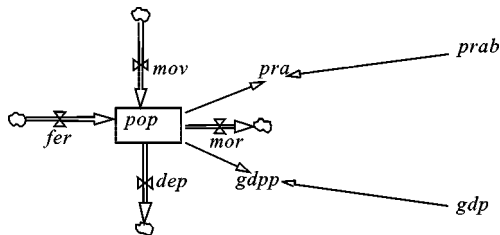
2.2 系统模型

构建模型是进行仿真模拟的前提条件,系统中每一个状态变量实质上都对对应着一个微分方程,整个系统就是一个由多个微分方程构成的微分方程组。目前,系统动力学最常用的仿真软件是Vensim PLE软件,运用这个软件进行建模首先需要建立存量流量图,然后根据流图写出软件能够识别的方程,从而完成模型的模拟。本文的模拟仿真亦是运用这一软件,考虑到基本入树模型变量关系清晰、规范,而且基本入树和存量流量图对系统的描述是两个等价方法^[26],本文采用基本入树描述模型结构,系统中每一个状态变量就对应一棵入树,在把时间内的系统演化过程分解为四个子系统,分别建立模型,各个入树模型实际上是紧密联系在一起的,系统仿真过程中也并不是完全独立进行的,相互交叉部分很多,在此就不一一赘述了。

2.2.1 人口入树模型

区域人口数量的变化取决于人口出生与死亡、迁入与迁出的数量,以此为基础建立模型,人口入树模型中的状态变量是人口数量(*pop*),其它

变量和参数分别是人口出生人口(fer)、死亡人口(mor)、迁入人口(mov)、迁出人口(dep)、全部就业人数(pra)、全部就业人数占总人口的比例($prab$)、国内生产总值(gdp)、人均国内生产总值($gdpp$)。人口入树模型的变量间的关系如图1。



图中双线箭头表示状态变量存量的流入、流出方向,单线箭头表示辅助变量间的作用方向,下文图中箭头符号含义均与此相同

图1 人口入树模型

Fig.1 Tree model of population

2.2.2 资源产业产值入树模型

结合柯布—道格拉斯生产函数建立模型,资源产业产值入树模型的状态变量为资源产业理论产值(rio)、资源约束下的资源产业实际产值($rios$)、其它在本文未说明的变量有资源产业增加值(ria)、资源产业产值增长率($rioiz$)、资源产业技术进步增长率($ritz$)、资源产业技术进步率(rit)、资源产业技术进步增长量($ritl$)、资源产业投资增长率($cliz$)、资源产业投资额(cli)、资源产业投资额增长量($clil$)、资源产业投资占总投资的比例($clib$)、总投资(inv)、资源产业从业人数增长率($ciez$)、资源产业从业人数(cie)、资源产业从业人数增长量($ciel$)、资源产业从业人数占全部就业人数的比例($cieb$)、资源约束系数($riay$)、资源储量(cor)、资源开采量(cop)、工业生产总值(tio)、资源产业产值占国民生产总值的比例($riosb$)、总投资占国民生产总值的比例($invb$)。模型变量相互关系如图2。

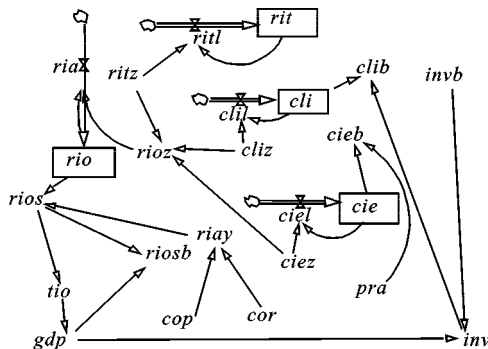


图2 资源产业入树模型

Fig.2 Tree model of resources industry

2.2.3 第*i*个接续产业产值入树模型

前面所述,辽源市共有六大接续产业,事实上这个“六大接续产业”是一个宏观的概念,相关统计数据中涉及到产业与此并不是一一对应的关系,本模型假设其接续产业的个数为 n ,并结合柯布道格拉斯生产函数建立模型,第*i*个接续产业入树模型的状态变量为第*i*个接续产业产值($fioi$),其他未在本文出现的变量有第*i*个接续产业增加值($fapi$)、第*i*个接续产业产值增长率($fioiz$)、第*i*个接续产业的技术进步增长率($airiz$)、第*i*个接续产业的技术进步增长量($airil$)、第*i*个接续产业的技术进步率($airi$)、第*i*个接续产业的从业人数增长率($iaiz$)、第*i*个接续产业的从业人数增长量($iaii$)、第*i*个接续产业的从业人数占全体从业人数的比例($iaib$)、第*i*个接续产业的投资增长率($eaiz$)、第*i*个接续产业的投资增长量($eaail$)、第*i*个接续产业的投资额($eaii$)、第*i*个接续产业投资额占总投资的比例($eaiib$)、接续产业产值占国内生产总值的比例($fioib$)、接续产业产值(fio)。模型变量相互关系如图3,因软件Vensim PLE相关功能的限制,图中无法准确再代表第*i*个接续产业的下标,但这对本研究毫无影响,故在此处并不做其它处理。

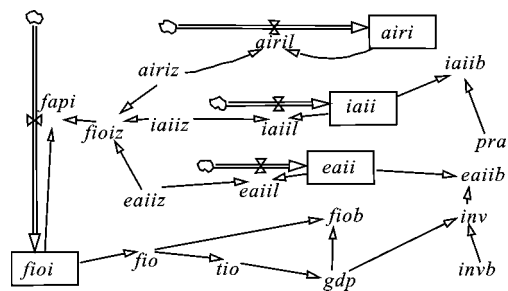


图3 第*i*个接续产业入树模型

Fig.3 Tree model of the *i*th continuous industry

2.2.4 其它工业产业产值入树模型

此处的其它工业产业指的是除了资源产业和接续产业外的产业,把他们看成一个整体进行研究,得出模型,其它工业产业产值入树模型的状态变量为其它工业产业产值(oio),其它在本文未出现的变量为其它工业产业产值增加值($oiol$)、其它工业产业产值增长率($oiolz$)、第一产业产值(pig)、第一产业产值增长量($pigl$)、第一产业产值增长率($pigz$)、第三产业产值(tig)、第三产业产值增长量($tigl$)、第三产业产值增长率($tigz$)。模型变量关系如图4。

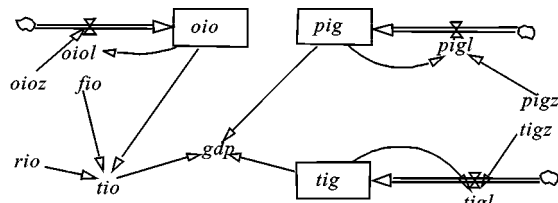


图4 其它工业产业入树模型

Fig.4 Tree model of other industries

2.3 模型的主要数学表达式

系统模型中所包含的数学表达式总数达到30多个,其中绝大多数根据模型变量间的关系很容易得出,篇幅限制,不再详列,此处仅列出模型的主要数学表达式,包括:

$$dpop/dt = mov + fer - mor - dep \quad (1)$$

$$drio/dt = ria \quad (2)$$

$$rio = ritz + \alpha_1 * cli + \beta_1 * cie \quad (3)$$

$$riay = \max \{ \text{sgn}(cor - cop), 0 \} \quad (4)$$

$$dfioi/dt = fapi \quad (5)$$

$$fioiz = airiz + \alpha_i * eaiiz + \beta_i * iaiiz \quad (6)$$

$$gdp = tio + pig + tig \quad (7)$$

式中的 α_1 是CD函数中资源产业投资增长率的系数, β_1 是资源产业劳动力增长率的系数,公式(6)中 α_i 是CD函数中第*i*个接续产业投资增长率的系数, β_i 是第*i*个接续产业劳动力增长率的系数。

3 辽源市经济系统仿真结果分析

3.1 人口仿真结果及分析

运用上述模型对辽源市经济系统进行模拟,其中外生变量和参数的取值以辽源市2005~2010年的数据为基础^[27],以2005年为基年,步长为1a,时间边界从2005~2030年,采用趋势外推法得出各变量的变化趋势,进而进行仿真模拟,Vensim PLE软件模拟过程在此不再赘述,其中仿真方程与公式(1)虽形式并不相同,但本质一致,可互相替代,此处下文将不再特殊说明。在人口入树模型中,有关人均国内生产总值的数学表达式因其与人口数量关系紧密而列入其中,在该步骤仿真过程中不进行具体仿真,其中人口数量(*pop*)及全部就业人数(*pra*)仿真曲线如图5、图6。从图5中可以看出人口数量仿真曲线随时间的推移,平稳地下降,2005年辽源人口总数为123.37万人,如果没有突发状况,按此趋势到2030年辽源人口数量预计为119.37万人,通过分析辽源人口数量变化影响因素

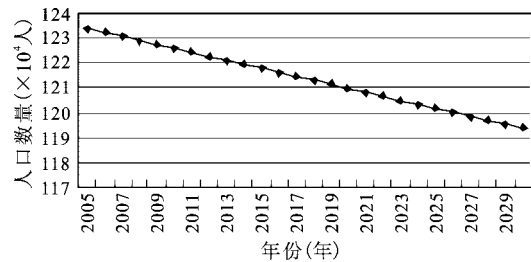


图5 人口数量仿真曲线

Fig.5 Simulation of population quantity

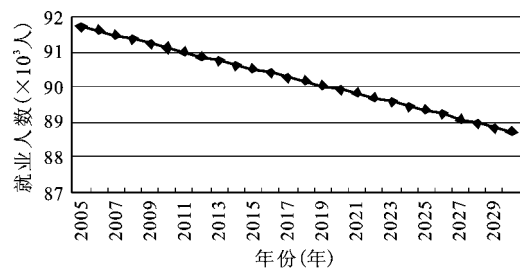


图6 全部就业人数仿真曲线

Fig.6 Simulation of full employment

可以知道,辽源人口下降最主要的影响因素就是人口的外迁,伴随辽源煤炭产业的外迁,产业工人随之会相应外迁,并且中国目前人口城市化进程异常迅猛,加之辽源经济较之国内发达城市有一定差距,这也造成辽源人口数量减少的重要原因。从图6(全部就业人数仿真曲线)可以看出,随着人口数量的降低,就业人口也相应减少,2005年辽源全部就业人口总数为91 722人,到2030年这一数据预计为88 752人,但减少幅度不大。

3.2 煤炭开采和选洗业的仿真结果及分析

辽源市的资源产业在这里就是指煤炭资源开采和选洗业,如前所述,长期以来该产业一直是辽源市的主导产业。辽源市煤炭开采和选洗业过去一直由辽源矿务局经营,2005年12月,辽源矿务局改制为辽源矿业(集团)有限责任公司。辽源矿业(集团)有限责任公司现为国有大型煤炭企业,有辽源、梅河、金宝屯、万宝、龙家堡5个煤田,分布于吉林省辽源、梅河口、白城、长春市和内蒙古通辽市,煤炭地质储量3.6亿t,可采储量2.35亿t^[28]。

在进行仿真之前,首先要对模型中部分参数加以确定,这其中包括公式(2)中的 α_1 、 β_1 ,为了计算这2个指标,首先将柯布道格拉斯生产函数公式线性化^[29],即 $rio = rit \times cli^{\alpha_1} \times cie^{\beta_1}$ 两边求自然对数,假定 $\alpha_1 + \beta_1 = 1$,可以得到 $\ln rio / cie = \ln rit + \alpha_1 \ln cli / cie$ 。为了使相应的值具有更大参考价值,并考虑到辽源

经济转型因素及各部分数据的一致性,本文以2005~2010年数据为基础对上述线性公式进行回归分析,得到 β_1 的值是0.734, α_1 的值为0.266。对柯布道格拉斯生产函数整理得 $drio/rio=drit/rit+\alpha_1(dcli/cli)+\beta_1(dcie/cie)$,用差分近似代微分可得 $\Delta rio/rio=\Delta rit/rit+\alpha_1(\Delta cli/cli)+\beta_1(\Delta cie/cie)^{[29]}$,代入2005~2010年数据,资源产业入树模型方程中所需参数即可推出,利用Vensim PLE软件进行仿真模拟。

由图7的仿真结果可知,煤炭产业产值呈现逐年上升的局面,2005年其产值为160 841.1万元,到2027年可达17 803 600万元,之后煤炭产业产值急速降低为0,并保持稳定,由此可以推断按本文所采用的煤炭储量及年开采量,到2027年辽源所开采的煤炭资源将完全枯竭,其资源产业将面临巨大打击,当然,仿真选取的具体参数不同,资源产业完全枯竭的年份亦会有一定差异,但对于人类来说,煤炭资源是不可再生资源,终将枯竭,本文所给仿真趋势同样具有重要意义。从图8的仿真结果可以看出,辽源市煤炭产业的投资额成明显的指数增长趋势,尤其是2015年后的绝对数更是惊人,原因在于本文仿真增幅参数是2005~2010年的平均值,而这段时期恰逢中国资源型城市转型的时期,国家、地方政府投资增长很快,事实上要一直保持仿真曲线中这么大的投资拉动是十分困难的。

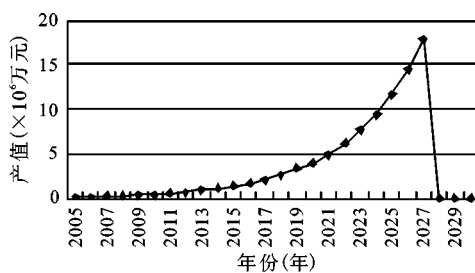


图7 煤炭产业实际产值仿真曲线

Fig.7 Simulation of the actual value of coal industry

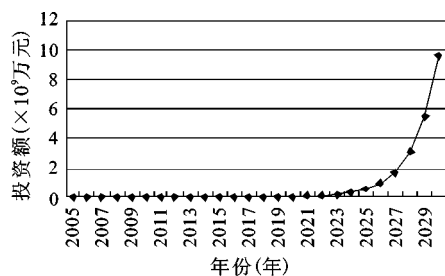


图8 煤炭产业投资额仿真曲线

Fig.8 Simulation of investment of coal industry

3.3 接续产业的仿真结果及分析

辽源市所提出的6大接续产业,在相关统计数据中对应如下10个工业产业:农副产品加工业、纺织业、化学原料及化学制品制造业、医药制造业、化学纤维制造业、非金属矿物制品业、有色金属冶炼及压延加工业、金属制品业、专用设备制造业、交通运输设备制造业。以辽源市2005~2010年的数据为基础,采用与资源产业模型一样的计算方法,利用Vensim PLE软件进行仿真模拟,再将模拟结果汇总输入到Excel软件中绘图,得到各接续产业产值的仿真曲线(图9)。由图9很容易看出,除了化学原料及化学制品业,辽源市各接续产业产值均呈现快速增长的局面,并且自2020年以后各接续产业增长的绝对量更大,并呈现产业间绝对差值逐步扩大的趋势,到2030年各接续产业产值排序已经发生了颠覆性的变化,专用设备制造业排名第一,之后依次是农副产品加工业、金属制品业、纺织业、医药制造业、有色金属冶炼及压延加工业、化学纤维制造业、交通运输设备制造业、有色金属冶炼及压延加工业,化学原料及化学制品业则在十大接续产业中排名最后。

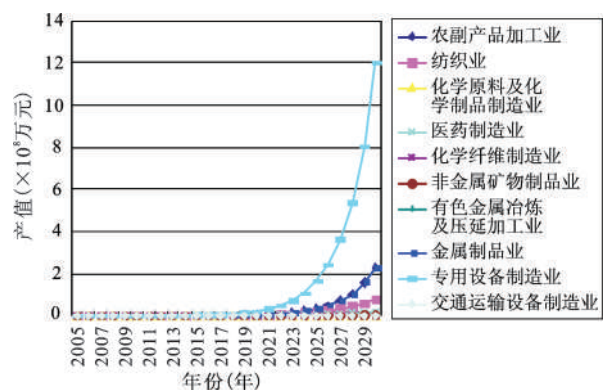


图9 辽源市各接续产业产值仿真曲线

Fig.9 Simulation of production value of continuous industry in Liaoyuan City

3.4 GDP的仿真结果及分析

以辽源市2005~2010年的数据为基础,采用趋势外推的方法对辽源市其它工业产业、第一产业、第三产业进行仿真模拟,并最终模拟出辽源市地区生产总值的仿真曲线(图10)。从图10可以看出,辽源市第二产业产值在3个产业中一直居于主体地位,尤其是2020年以后其绝对量与第一、第三产业的差距更为明显,整个仿真曲线中都呈现出

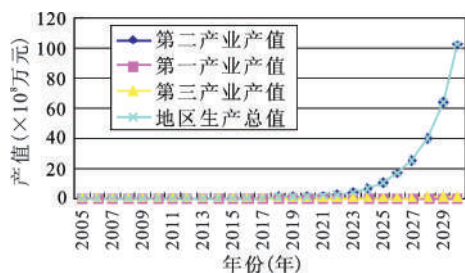


图 10 辽源市 GDP 仿真曲线

Fig.10 Simulation of GDP in Liaoyuan City

“二、三、一”的产业产值排序,相比之下,辽源市第一、第三产业发展趋势要平缓的多,特别是第一产业,2005年的生产总值为23 200万元,到2030年也仅为32 886 646万元,第二产业的迅猛增长也导致辽源市GDP呈现快速增长趋势,并且伴随时间的推移,这种趋势愈加明显。

4 结 论

从辽源市经济系统仿真结果可知,辽源市产业转型相当成功,即使2027年后煤炭资源完全枯竭,辽源市工业产业产值及辽源市的GDP所受的影响也是微乎其微,地区经济不但从资源枯竭的阴霾中走了出来,而且走上了高速发展的快车道。从2005~2010年数据所得到仿真趋势来看,辽源市GDP、第二产业产值、接续产业产值、第一产业产值、第三产业产值、其它工业产业产值均呈现快速上升的态势,而人口仿真曲线表明辽源市人口在这段时间内将呈现下降趋势,其结果必然是包括人均GDP在内的所有人均指标都将呈现上升的趋势,经济将呈现整体繁荣的局面。在中国资源型城市转型实践中,“辽源模式”无疑是较为成功的,成熟经济模式的移植可以为被移植地提供良好的经验借鉴,从而节约大量的实践成本,经济转型模式的移植也能取得同样的效果。“辽源模式”的本质清晰,效果明显,而且该模式的区域特殊性不强,完全可以作为其它资源枯竭型经济转型的模板,甚至可以将“辽源模式”直接移植到其他城市。

但从前述仿真结果也发现辽源市经济转型中出现的一些问题,比如,辽源市2005~2030年产业产值一直呈现“二、三、一”的排序,而且第二产业所占比例不断增加,众多周知,经济发展到成熟阶段其产业排序结果应当是“三、二、一”,这就充分表明,辽源市短期内以工业产业带动整体经济增

长的方式不具有长期优势,需要进行必要的调整,调整的方向就是加快构建并完善第三产业体系。另外,辽源市一些接续产业的仿真曲线具有下行趋势,比如化学原料与化学制品制造业,该产业属于资源产业的衍生产业,作为资源产业转型的接续产业并不合适,伴随资源的枯竭其发展潜力可想而知。

参考文献:

- [1] Sinha R K, Sharma N L. Mineral economics [M]. New Delhi: Oxford & IBH Publishing Co.,1980.
- [2] Li He, Zhang Pingyu, Cheng Yeqing. Economic vulnerability of mining city—a case study of Fuxin City, Liaoning Province, China[J]. Chinese Geographical Science, 2009, 19(3): 211-218.
- [3] Qiu Fangdao, Tong Lianjun, Zhang Huimin et al. Decomposition analysis on direct material input and dematerialization of mining cities in Northeast China[J]. Chinese Geographical Science, 2009, 19(2): 104-112.
- [4] 陆大道.关于地理学的“人—地系统”理论研究[J].地理研究, 2002, 21(2): 135-145.
- [5] 那 伟,刘继生.辽源市经济系统的脆弱性及其规避措施研究[J].地理科学, 2009, 29(5): 666-672.
- [6] 苏 飞,张平宇.基于集对分析的大庆市经济系统脆弱性评价[J].地理学报, 2010, 65(4): 454-464.
- [7] 刘云刚.中国资源型城市的职能分类与演化特征[J].地理研究, 2009, 28(1): 153-160.
- [8] 樊 杰.我国煤矿城市产业结构转换问题研究[J].地理学报, 1993, 48(3): 218-226.
- [9] 许光洪.我国矿业城市的产业结构调整及其发展途径[J].中国人口资源与环境, 1998, 8(1): 26-30.
- [10] 沈 镭,程 静.大同市煤炭型矿业城市可持续发展优化研究[J].自然资源学报, 1998, 13(1): 52-57.
- [11] 高迎春,佟连军.吉林省产业系统适应性分析[J].人文地理, 2011, 26(3): 111-115.
- [12] 蒋建权,马延吉,佟连军.东北区煤矿城市可持续发展问题探讨[J].地理科学, 2000, 20(3): 241-245.
- [13] Randall J E, Ironside R G. Communities on the edge: an economic geography of resource-dependent communities in Canada[J]. The Canadian Geographer, 1996, 40(1): 17-35.
- [14] (日本)通产省资源能源厅石炭部. コール・ノート [M]. 东京: 资源产业新闻社, 1995.
- [15] Bradbury J H. Living with boom and cycles: new towns on the resource frontier in Canada[C]//Resource Communities. CSIRO, Australia, 1988: 3-19.
- [16] Greg Halseth. Resource town employment: perceptions in small town British Columbia [J]. Tijdschrift Voor Economische En Sociale Geografie, 2002, 90(2): 196-210.
- [17] 黄溶冰,刘国禹,丁 艳.休斯敦、鲁尔及洛林转型及启示[J].辽宁工程技术大学学报, 2004, 6(6): 592-594.
- [18] 王国栋,申守勤.资源枯竭型城市转型规划理论与实践[M].长

- 春:吉林摄影出版社,2009.
- [19] 梅 林,孙春暖.东北地区煤炭资源型城市空间结构的重构——以辽源市为例[J].经济地理,2006, **26**(6):950~955.
- [20] 李 鹤,张平宇.东北地区矿业城市经济系统脆弱性分析[J].煤炭学报,2008,**33**(1):116~121.
- [21] Forrester J W. Industrial dynamics: a breakthrough for decision makers [J].Harvard Business Review,1958,**36**(4):37-66.
- [22] Schroeder W W,Sweeney R E, Alfeld L E. Readings in urban dynamics Vol II [M].Cambridge MA: Productivity Press,1975.
- [23] 王其藩.高级系统动力学[M].北京:清华大学出版社,1994.
- [24] 梁友嘉,徐中民,钟方雷. 基于 SD 和 CLUE-S 模型的张掖市甘州区土地利用情景分析[J].地理研究,2011,**30**(3):564~576.
- [25] 钟永光,贾晓菁,李 旭.系统动力学[M].北京:科学出版社,2009.
- [26] 王 桥,毛 锋.运用系统动态学方法研究区域可持续发展问题的一些探讨[J].地理科学,1998,**18**(6):574~579.
- [27] 辽源市统计局.辽源统计年鉴 2005~2010[M].北京:中国统计出版社,2005~2010.
- [28] 辽源市国家税务局. 吉林辽源矿业(集团)有限责任公司集团[EB/OL]. <http://www.jl-n-tax.gov.cn/ly/NewContent.jsp?id=13227>, 2010-4-30.
- [29] 薛 欣,赵成龙,房 亮.科技进步对山东省经济增长贡献率的实证分析[J].泰山学院学报,2011,**33**(3):30~34.

Industry Conversion Simulation Analysis of Resources-exhausted Mining City Based on The System Dynamics: Taking Liaoyuan City of Jilin Province as Example

LU Wan-he^{1,2}, LIU Ji-sheng¹, NA Wei³

(1. School of Urban and Environmental Sciences, Northeast Normal University, Changchun, Jilin 130024, China;

2. School of Tourism Management and Geography, Jilin Normal University, Siping, Jilin 136000, China;

3. Institute of Rural Energy Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun, Jilin 130033, China)

Abstract: With the gradual depletion of mineral resources, the economy of resources-exhausted mining city is facing many difficulties, and industrial transformation has been imminent. The industrial transformation of Liaoyuan City has achieved remarkable progress, known as the “Liaoyuan sample”. This article establishes the SD model of economic system of Liaoyuan City through analyzing the system structure of the in-depth analysis based on the system dynamics method, and the CD production function is embedded into the model. We conduct the model based on the data of Liaoyuan from 2005 to 2010, a plurality of simulation curves of economic system of Liaoyuan City in 2005-2030 are derived, and the results show that: coal industry production value of Liaoyuan City is reduced to 0 because coal resource would completely dry up in 2027, which however exerts limited perturbation over the economy. Many economic indicators are showing rapid upward trend, including GDP, the output value of the second industry, the output value of the third industry, the output value of continuous industry, the output value of other's industry. Further, other's indexes such as the per capita GDP will also show an increasing tendency, the economy of Liaoyuan will present an overall prosperity.

Key words: system dynamics; CD production function; resources-exhausted mining cities; simulation; Liaoyuan City