



基于神经网络的人口与经济系统的耦合协调发展分析

摘要

针对人口与经济系统提出自适应耦合协调度与自适应协调区间,借助 RBF 网络学习算法实现了银川和石嘴山两市的人口与经济系统协调发展的预警策略与影响因素分析.首先,通过引入自适应耦合协调度与自适应协调区间,形成人口与经济系统发展关系的预警策略;其次,结合影响人口与经济系统的二级因子、自适应协调度,利用三层网络学习模型,得到影响人口与经济系统耦合协调发展的关键因子并予以分析,在此基础上,对关键因子加以干预和控制;最后,将本文所得方法和结论用于银川、石嘴山两市人口与经济系统的耦合协调分析,验证了本文模型与算法的实用性和有效性.

关键词

人口与经济系统;耦合协调度;RBF 神经网络;因子贡献度

中图分类号 F061.5;N941.4;O233

文献标志码 A

收稿日期 2021-09-22

资助项目 宁夏自然科学基金(2020AAC34);中央高校基本科研业务费资助项目(2020XYSJ01)

作者简介

张光晨,男,博士,讲师,硕士生导师,主要从事网络化控制系统、信息物理系统等研究.guangchen_123@126.com

宗鑫(通信作者),男,博士,讲师,硕士生导师,主要从事区域生态经济与资源环境经济研究.zongxin85@126.com

1 北方民族大学 数学与信息科学学院,银川,750021

2 北方民族大学 经济学院,银川,750021

0 引言

人口与经济是影响国家发展和社会进步的重要因素.近年来,大数据技术、信息物理系统等理论的进一步成熟,使得信息产业与现代工业的数字化、智能化进程加快,社会生产方式也取得了空前的进步,这对人口、经济与文化的发展提出了更高的要求.在经济增长、教育进步以及城镇化进程加快等多种因素的综合影响下,人口结构和质量不断地从低级向高级演进,形成复杂的动态人口系统.在技术进步、产业结构优化以及人力资本存量提升的带动下,社会财富大量累积,发展动力竞相迸发,经济系统亦呈现出体系化、联动性等特征.人口和经济相互作用、相互制约、协调配合,呈现为一种相互依赖的耦合关系.

“耦合”常用于描述电子电路系统、控制系统、计算机理论中两个实体或模块与模块之间信息或参数间的依赖程度.在社会科学中耦合现象也普遍存在,例如,多元产业之间的联动发展是经济中的耦合现象,人口质量和人口结构是影响人口系统演化的耦合因素.自“耦合”概念被引入经济社会领域等问题研究以来,国内学者围绕经济、资源环境系统的耦合协调发展问题进行了许多有益的探索.例如,杨士弘从耦合协调发展的角度,构建协调度模型,分析了广州市环境与经济协调发展情况^[1].随后,众多专家学者分别在不同领域,从不同角度研究了经济与环境^[2-4]、人口与经济^[5-7]、人口与环境^[8-9]之间的耦合协调关系,其中以经济与资源环境之间耦合关系的研究最为成熟.最近,一些学者致力于人口、经济、环境间的相关研究,并取得了一些有益的成果^[10-12].

由于影响人口与经济耦合发展内、外因素众多,各种因素之间耦合并存,构成了复杂的耦合非线性网络.遗憾的是,现有的分析方法和处理手段已不能有效刻画多约束并存影响下的人口与经济系统呈现的网络结构复杂性与系统间的非线性关系;另一方面,相较于中东部发达省份而言,宁夏人口较少、区域发展不平衡,呈现出北强南弱、能源偏煤、产业偏重、科技服务不足、创新驱动偏弱的特点,目前尚缺乏灵活多变的可操作控制策略和评价体系.本文将银川市、石嘴山市为例,构建基于耦合度、耦合协调度的径向基神经网络模型,探索影响人口经济耦合协调发展的主要因素,进而对其影响因素加以干预和控制.

本文的贡献与创新之处在于:1)引入了自适应耦合协调度与区

间,从参数自适应选取的角度,构建自适应预警策略;2)通过引入径向基函数(Radial Basis Function, RBF)神经网络学习算法,以解决人口系统和经济系统的外生性耦合协调关系.

1 相关指数、数据来源及处理

1.1 评价指标体系与数据来源

影响人口系统的因素主要包括人口结构指数、人口生活指数以及人口产出指数等,本文称之为影响人口系统的一级因子.人口自然增长率、社会劳动力、城镇人口比重等影响人口结构指数,城镇居民人均消费支出、居民消费价格指数等影响人口生活指数,人均粮食占有量、人均蔬菜产量等会影响人口产出指数,本文称之为影响人口系统的二级因子.具体如图1所示.

影响经济系统的因素主要包括生产、消费、投资等,本文称之为经济发展指数,作为影响经济系统的一级因子.经济发展指数受地方生产总值、地方财政收入、城镇居民可支配收入等因素影响,本文称这些因素为影响经济系统的二级因子.具体如图2所示(“+”表示正向指标,“-”表示逆向指标).

注1 图1与图2中所列指标的数据来源于2011—2020年《宁夏统计年鉴》、《银川统计年鉴》、《石嘴山统计年鉴》,以及部分年份国民经济和社会

发展统计公报.

1.2 数据处理、综合评价指数及权重确定

为消除量纲影响,本文拟对采集的人口与经济系统样本数据进行标准化处理.设 z_{ij} 表示第 i 年第 j 个指标的样本值, Z_{ij} 表示样本值对应的标准化值,即:

$$Z_{ij} = \frac{z_{ij} - \min\{z_j\}}{\max\{z_j\} - \min\{z_j\}}, \quad (1)$$

$$Z_{ij} = \frac{\max\{z_j\} - z_{ij}}{\max\{z_j\} - \min\{z_j\}}. \quad (2)$$

注2 当二级因子样本数值越大对系统发展越有利时,采用正向指标式(1);当数值越小对系统发展越有利时,采用负向指标式(2).

基于样本值的标准化处理(1)、(2),引入人口系统、经济系统的综合评价函数^[15]:

$$E(Z_i) = \sum_{j=1}^n c_j z_{ij}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, m,$$

其中, c_j 满足 $0 \leq c_j \leq 1, \sum_{j=1}^n c_j = 1$,称为影响系统的因子权重.特别地,在本文中,分别用 $E(X_i)$ 和 $E(Y_i)$ 表示第 i 年人口与经济系统综合评价指数,即:

$$E(X_i) = \sum_{j=1}^{21} a_j x_{ij}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, 10, \quad (3)$$



图1 人口系统评价指标体系

Fig. 1 Comprehensive evaluation index system for population

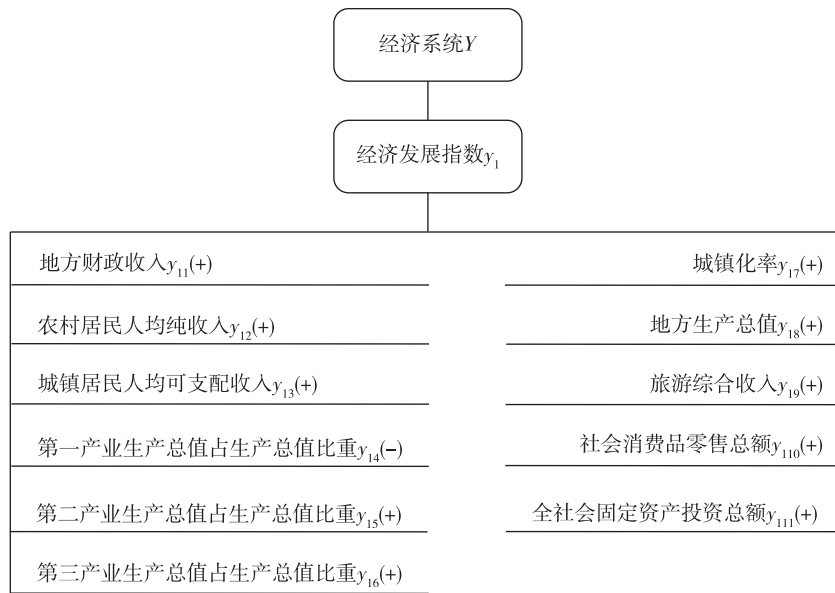


图2 经济系统评价指标体系

Fig. 2 Comprehensive evaluation index system for economic development

$$E(Y_i) = \sum_{j=1}^{11} b_j y_{ij}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, 10. \quad (4)$$

注3 利用综合评价指数可判定人口与经济系统综合发展水平类型,指数越高,表明人口发展水平越高、经济发展状况越好,反之越低(差).

结合变异系数法^[14],给出人口与经济系统综合评价指数(3)、(4)中权重 a_j 和 b_j 的求解公式:

$$V_j = \frac{\sigma_j}{z_j}, \quad (5)$$

$$a_j(b_j) = \frac{V_j}{\sum_{j=1}^n V_j}. \quad (6)$$

进一步,根据求解公式,可以给出求解参数 a_j 和 b_j 的算法流程如图3所示.

注4 变异系数法是一种客观赋权法,客观赋权还包括熵权法和主成分分析法,经过本文验证,发现变异系数法更适合本指标体系(参见附录1、附录2).

2 预警策略与学习网络模型

在本节将根据综合评价指数,引入人口与经济系统的自适应耦合度与自适应耦合协调度.在此基础上,定义基于耦合协调度的自适应耦合协调度区间,并提出预警人口与经济系统策略.进一步地,构建网络学习模型,以分析和控制人口与经济系统的耦合影响关系.

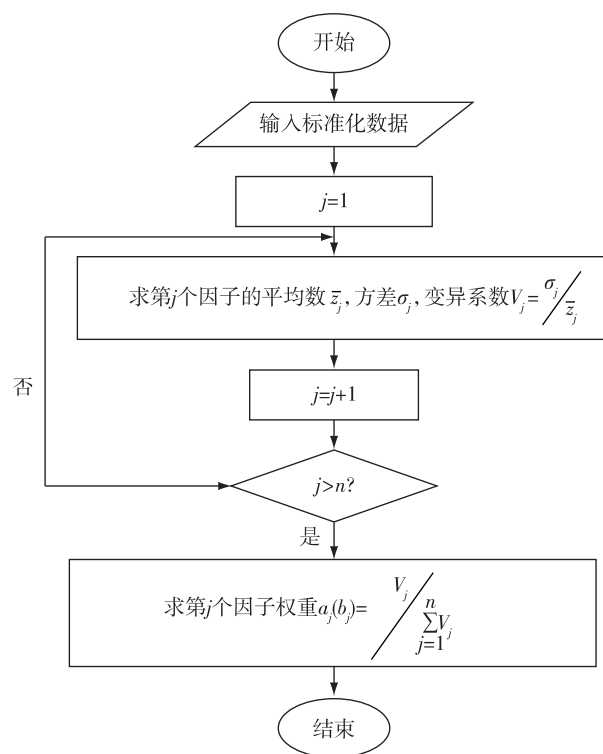


图3 权重计算流程

Fig. 3 Flow chart of weight calculation

2.1 自适应预警策略

首先,借鉴廖重斌^[2]提出的经济与环境协调发展模型,引入人口与经济系统自适应耦合协调度:

$$C_i = \sqrt[k]{\left\{ \frac{E(X_i) \times E(Y_i)}{[(E(X_i) + E(Y_i))/k]^k} \right\}}, \quad (7)$$

式中, $C_i \in [0, 1]$ 为第 i 年的耦合度, k 为系统的个数. 在本文中 $k = 2$, 即人口系统和经济系统. 耦合度 C_i 根据影响人口系统和经济系统因素自适应地求得, 起到分析和判别人口与经济系统耦合强度的作用. 但是, 在有些情况下耦合度难以反映出人口与经济系统的整体功能或发展水平, 因此需要构建人口与经济系统的耦合协调度模型, 即:

$$D_i = \sqrt{C_i \times [\alpha E(X_i) + \beta E(Y_i)]}. \quad (8)$$

根据自适应耦合协调度, 构建自适应耦合协调度区间, 以预警两者发展秩序, 即根据历史数据和经验, 设定自适应耦合协调度区间, 即: $(d_{i-1}, d_i]$, 其中 d_{i-1} 与 d_i 满足 $0 \leq d_{i-1}, d_i \leq 1, i = 1, \dots, N$. 当 $D_i \in (d_{i-1}, d_i]$ 时, 可设置不同的自适应协调状态, 形成自适应预警策略, 以实现人口与经济系统之间协调关系的预警目的.

注 5 当 $C_i = 1$ 时, 耦合度最大, 系统间相互作用、相互影响的程度最大, 系统之间或系统内部各要素之间能够达到良性共振耦合, 系统将趋向新的、更高级的功能体; 当 $C_i = 0$ 时, 耦合度极小, 系统间不存在相互作用和相互影响, 系统之间或系统内部各要素之间处于无关状态, 系统将向无序发展.

2.2 网络学习模型

通过本文提出的预警策略, 基于人口与经济系统的关系, 以自适应耦合协调度为输出层节点, 辅以人口系统和经济系统为输入层, 形成三层广义 RBF 学习网络模型(图 4). 图 4 通过设计适当的算法, 确定隐含层节点数 k 与数据中心 c_i , 以求得隐含层节点与输出层节点之间的权重矩阵 B , 是本文借助输入层中人口系统、经济系统二级因子来计算耦合协调度 D_i 的关键步骤(参见图 4).

本文采用自组织学习方法确定数据中心 c_i , 数据中心的个数 k 即为隐含层节点个数. 在具体计算

中, 数据中心的自组织选择分为两个阶段: 第一阶段为无导师学习, 主要采用 K-mean 聚类分析法, 本文给出聚类中心算法如下:

1. 初始化聚类中心
2. **for** $m = 1; 1; m_{\max}$
3. **for** $p = 1; 1; p_{\max}$
4. **for** $i = 1; 1; i_{\max}$
5. 计算 p 点到 i 聚类中心的距离
6. $i = i + 1$
7. **end for**
8. $p = p + 1$
9. **end for**
10. 更新聚类中心
11. **if** (前后两次中心没有变化)
12. **break**
13. **end if**
14. **end for**
15. **print**(聚类完成)

聚类完成后, 即进入第二阶段: 监督学习. 本阶段选用梯度下降法训练隐含层与输出层之间神经元的连接权值. 首先, 选用从中心到两边递减, 能够得到局部有限回应的高斯函数作为隐含层节点的核函数, 即:

$$\varphi(z_p - c_k) = \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2} \|z_p - c_k\|^2\right). \quad (9)$$

然后, 拓展常数即方差可由以下公式求解:

$$\sigma_i = \frac{C_{\max}}{\sqrt{2k}}, \quad i = 1, 2, \dots, k, \quad (10)$$

C_{\max} 为所选取中心点之间的最大距离. 在此基础上, 输入层与隐含层的权重矩阵 B 可由最小二乘法直接计算得到, 公式如下:

$$B = \exp\left(\frac{N}{C_{\max}^2} \|z_p - c_k\|^2\right). \quad (11)$$

3 案例分析

本文选取银川和石嘴山两市作为研究对象, 开展人口与经济系统的耦合发展分析. 其中, 银川市作为宁夏回族自治区首府, 地区生产总值占据区域生产总值的一半以上, 人口数量也位居区域首位; 石嘴山市人口总数居于区域末位, 但地区生产总值位居自治区第三. 因此, 选取以上两市进行人口与经济耦合发展分析具有代表性.

3.1 综合评价指数分析

通过求解人口与经济系统二级因子权重公式

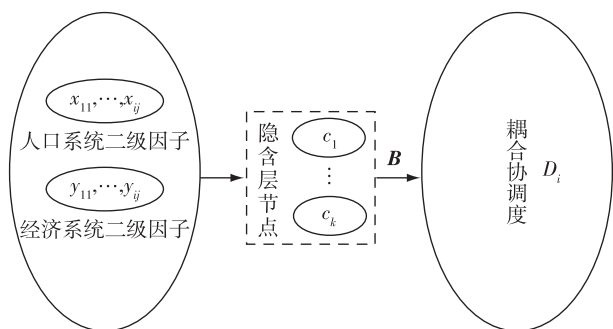


图 4 网络学习模型

Fig. 4 Network learning model

(5)、(6),可获取影响银川市与石嘴山市人口系统排名前5的二级因子(表1和表2).

由表1中可知:人均猪牛羊肉占有量 x_{35} 对两个城市人口系统影响均较大,这与宁夏打造高端肉牛

生产基地和中国滩羊之乡的产业布局政策相符合.另外,银川乡村就业者占总就业人员比重 x_{16} 与石嘴山就业人员占总人口比重 x_{14} 均排列前5,印证了人口系统发展的政策引导性.

表1 人口系统排名前5的二级因子

Table 1 The top five secondary factors for population

排名	银川	石嘴山
1	居民消费价格指数 x_{26} (0.077)	人均牛羊肉占有量 x_{35} (0.067)
2	第一产业劳动生产率 x_{36} (0.073)	人均蔬菜产量 x_{33} (0.064)
3	人均猪牛羊肉占有量 x_{35} (0.064)	人均财政收入 x_{32} (0.064)
4	城镇居民人均消费支出 x_{21} (0.062)	社会劳动力 x_{11} (0.062)
5	乡村就业者占总就业人员比重 x_{16} (0.060)	就业人员占总人口比重 x_{14} (0.060)

表2 经济系统排名前3的二级因子

Table 2 The top three secondary factors for economic development

排名	银川	石嘴山
1	第一产业生产总值占生产总值比重 y_{14} (0.157)	城镇化率 y_{17} (0.166)
2	旅游综合收入 y_{19} (0.108)	地方财政收入 y_{11} (0.109)
3	第三产业生产总值占生产总值比重 y_{16} (0.104)	第三产业生产总值占生产总值比重 y_{16} (0.109)

由表2中可知:两个城市第三产业生产总值占生产总值比重 y_{16} 排名均较高,这也真实反映了第三产业已经取代第一产业和以采矿业、制造业以及建筑业为主的第二产业成为经济发展的主要动力.凭借独具特色的旅游资源,旅游业已发展成为银川、石嘴山两市的支柱产业,是带动经济发展的重要力量;另外,依靠对产业调整、科技进步等的推动作用,城镇化已成为影响石嘴山市经济系统发展的重要因素.

根据所求人口与经济系统的二级因子权重,进一步求得综合评价指数(表3).

由表3可知:受人均粮食占有量、人均肉类占有量明显下滑的影响,银川市2014年人口系统综合评价指数下降,但在此后的年份里,城镇居民人均消费支出 x_{12} 以及就业人员占总人口比重 x_{14} 等二级因子表现良好,综合评价指数稳步上升,表征了人口发展水平也越高.

另一方面,2012—2016年石嘴山市人均粮食占有量 x_{34} 、人均蔬菜占有量 x_{33} 以及人均财政收入 x_{32} 等人口产出增长乏力,造成人口系统发展后劲不足,进而导致综合评价指数增长缓慢甚至偶有下降.

得益于第三产业生产总值占生产总值比重 y_{16} 和旅游综合收入 y_{19} 等指标的稳健表现,银川市经济呈现近似于一次函数的发展态势;受制于第三产业生产总值占生产总值比重 y_{16} 以及地方财政收入 y_{11}

等指标的不稳定,石嘴山市经济发展历程较为曲折,经济综合评价指数在上涨势头中间偶有下降或持平(图5).

表3 人口与经济系统综合评价指数

Table 3 Comprehensive evaluation index for both population and economic development

年份	银川		石嘴山	
	人口	经济	人口	经济
2010	0.199	0.143	0.310	0.195
2011	0.296	0.242	0.498	0.306
2012	0.331	0.338	0.477	0.379
2013	0.395	0.409	0.478	0.422
2014	0.391	0.466	0.477	0.436
2015	0.445	0.566	0.420	0.477
2016	0.527	0.621	0.483	0.614
2017	0.558	0.694	0.509	0.551
2018	0.649	0.715	0.696	0.608
2019	0.717	0.748	0.605	0.641

3.2 耦合度与耦合协调度分析

根据综合评价指数,求出银川市和石嘴山市在2010—2019年间的耦合度及耦合协调度 D_i .进一步,根据所求耦合度与耦合协调度,设计自适应耦合协调参数及耦合协调区间.本文采用平均分的方式设定判别标准及类型划分(表4).

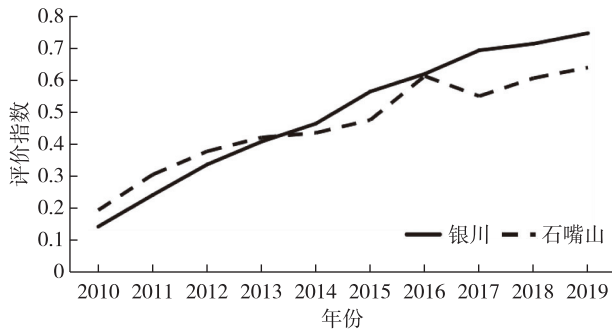


图5 银川、石嘴山经济系统综合评价指数

Fig. 5 Comprehensive evaluation index for economic development in Yinchuan and Shizuishan

表4 耦合协调发展的判别标准及类型划分

Table 4 Classification of coupling coordinated development levels

判别标准	耦合协调发展水平分类	判别标准	耦合协调发展水平分类
$D_i \in (0, 0.1]$	极度失调	$D_i \in (0.5, 0.6]$	勉强协调
$D_i \in (0.1, 0.2]$	严重失调	$D_i \in (0.6, 0.7]$	初级协调
$D_i \in (0.2, 0.3]$	中度失调	$D_i \in (0.7, 0.8]$	中级协调
$D_i \in (0.3, 0.4]$	轻度失调	$D_i \in (0.8, 0.9]$	良好协调
$D_i \in (0.4, 0.5]$	濒临失调	$D_i \in (0.9, 1]$	优质协调

根据表4,可以求得2010—2019年银川市和石嘴山市人口与经济系统的耦合度及耦合协调度(表5).

表5 耦合度及耦合协调度

Table 5 Coupling degrees and coupling coordination degrees

年份	银川			石嘴山		
	耦合度	耦合协调度	协调类型	耦合度	耦合协调度	协调类型
2010	0.959 5	0.385 9	轻度失调	0.973 7	0.495 7	濒临失调
2011	0.964 7	0.475 3	濒临失调	0.971 0	0.624 9	初级失调
2012	0.985 9	0.528 8	勉强协调	0.993 5	0.651 8	初级协调
2013	0.996 7	0.603 3	初级协调	0.998 1	0.670 3	初级协调
2014	0.998 4	0.643 5	初级协调	0.999 0	0.675 6	初级协调
2015	0.996 4	0.696 5	初级协调	0.998 0	0.669 0	初级协调
2016	0.995 0	0.763 4	中级协调	0.992 9	0.738 0	中级协调
2017	0.991 7	0.796 6	中级协调	0.999 2	0.727 7	中级协调
2018	0.993 5	0.852 9	良好协调	0.997 7	0.806 5	良好协调
2019	0.990 8	0.906 3	优质协调	0.999 6	0.789 0	中级协调

从表5中可以发现:第一,2010—2019年,银川市和石嘴山市的人口与经济系统之间的耦合度保持在0.9以上,仅有微小的波动,说明两个城市两系统之间互相作用、相互依赖、相互促进的程度很高;第二,得益于城镇居民人均消费支出 x_{12} 以及就业人员占总人口比重 x_{14} 、第三产业生产总值占生产总值比

重 y_{16} 以及旅游综合收入 y_{19} 等人口与经济系统二级因子的稳健表现,银川市人口与经济系统耦合协调度呈明显递增趋势,且总体上高于石嘴山市;第三,受人均粮食占有量 x_{34} 、人均蔬菜占有量 x_{33} 以及地方财政收入 x_{32} 等人口与经济系统二级因子增长乏力影响,石嘴山市人口与经济系统耦合协调度呈波动上升趋势,且增幅明显低于银川市.

3.3 耦合协调度影响因子贡献度分析

本文利用RBF神经网络模型式(9)—(11),计算银川市与石嘴山市耦合协调度影响因子 x_{ij}, y_{ij} 的贡献度矩阵 B ,结果如表6所示.

表6 基于RBF神经网络模型的人口与经济系统因子贡献度

Table 6 Contribution of population and economic factors based on RBF neural network model

排名	银川	石嘴山	排名	银川	石嘴山
1	x_{17} (10.38%)	y_{111} (8.53%)	17	y_{13} (2.26%)	x_{36} (2.74%)
2	x_{32} (7.31%)	x_{31} (7.72%)	18	y_{12} (2.32%)	x_{22} (2.72%)
3	y_{11} (6.00%)	y_{15} (5.47%)	19	x_{16} (2.31%)	x_{25} (2.49%)
4	x_{26} (5.36%)	x_{24} (5.21%)	20	y_{18} (2.15%)	x_{23} (2.42%)
5	x_{24} (4.90%)	y_{11} (4.46%)	21	x_{22} (2.01%)	x_{35} (2.34%)
6	x_{13} (4.76%)	x_{11} (4.30%)	22	x_{38} (1.96%)	y_{12} (2.29%)
7	x_{37} (4.37%)	x_{13} (3.84%)	23	y_{19} (1.89%)	y_{19} (2.29%)
8	x_{23} (4.31%)	x_{14} (3.78%)	24	x_{31} (1.85%)	y_{18} (2.11%)
9	y_{111} (4.28%)	x_{32} (3.70%)	25	x_{11} (1.72%)	x_{21} (2.06%)
10	y_{16} (3.94%)	x_{26} (3.31%)	26	x_{14} (1.65%)	y_{13} (2.06%)
11	y_{15} (3.89%)	x_{12} (3.12%)	27	x_{36} (1.11%)	x_{16} (1.97%)
12	x_{33} (3.46%)	x_{34} (3.11%)	28	x_{12} (1.09%)	x_{15} (1.94%)
13	x_{35} (3.10%)	x_{37} (3.07%)	29	y_{17} (1.08%)	x_{17} (1.86%)
14	y_{110} (3.10%)	y_{16} (3.05%)	30	x_{21} (0.77%)	x_{33} (0.87%)
15	x_{25} (2.94%)	x_{38} (2.89%)	31	x_{34} (0.71%)	y_{17} (0.82%)
16	x_{15} (2.69%)	y_{110} (2.87%)	32	y_{14} (0.23%)	y_{14} (0.59%)

在银川市人口与经济系统为达到耦合协调的动态变化过程中,贡献度最高的二级因子为中学及以上在校生占总人口比重 x_{17} ,直接证明了知识要素、教育发展以及人才资源在城市人口与经济系统耦合发展中的重要作用,这与国家科教兴国、人才强国战略相一致.人均财政收入 x_{32} 以及地方财政收入 y_{11} 因子贡献度紧随其后,进一步验证了财政对城市发展的推动作用.

在石嘴山人口与经济系统迈向耦合协调发展的过程中,全社会固定资产投资 y_{111} 、人均GDP x_{31} 以及第二产业生产总值占生产总值比重 y_{15} 三个二级因子的贡献度累计超过20%,较为符合石嘴山市的实际情况.作为一个资源丰富、人口总量少、经济体量

小的西北小城,石嘴山市基础设施建设尚未完善,需要不断增加投资,以支持城市建设,并带动经济发展.特别地,银川市和石嘴山市万人拥有医院床位数 x_{24} 的因子贡献度均较高,这说明无论是人口较多、经济发展较好的中心城市,还是人口较少、经济滞后的地方小城,均需重视医疗系统的建设.

3.4 干预与控制措施

本文将累计贡献度占前30%的二级因子称为关键因子.基于表6,可以得出影响银川市人口与经济系统耦合协调度的关键二级因子分别为:中学及以上在校生占总人口比重 x_{17} 、人均财政收入 x_{32} 、人均GDP x_{31} 、居民消费价格指数 x_{26} 以及万人拥有医院床位数 x_{24} .为使银川市人口与经济系统实现更高层次的耦合协调发展,拟提出以下干预措施和控制手段:

1) 应推动教育走向高质量发展道路,一方面更加注重基础教育,创新教育方式,补齐义务教育短板,提高高中教育质量;另一方面,要以人才培养为核心,以科学研究为基础,充分调动政府、学校、企业、社会等各方面力量,提高高等教育的区域竞争力.

2) 深化“放管服”改革,进一步减税降费,激发企业活力,让社会财富充分涌流,以拓展税基,增加财政收入;深化供给侧结构性改革,调整产业结构,增强科技创新能力,为经济增长注入新的动力;加强价格监管、维护市场秩序、保持金融稳定,进而促进物价稳定.

3) 稳步推进医疗卫生体系建设,进一步加大基层医疗资源投入,改善医疗卫生环境,提升医疗系统应对突发事件的能力.

影响石嘴山市人口与经济系统耦合协调度的关键二级因子分别为:全社会固定资产投资 y_{111} 、人均GDP x_{31} 、第二产业生产总值占生产总值比重 y_{15} 、万人拥有医院床位数 x_{24} 以及地方财政收入 y_{11} .为推动石嘴山市人口与经济系统迈向更高层次的耦合协调发展,拟在以下几方面采取干预与控制措施:

1) 应扩大投资需求,加大投资力度,进一步完善城市基础设施建设;应充分发挥地区特色,加强黄河流域生态保护,增强创新能力,促进经济高质量发展.

2) 在绿色发展前提下,发挥第二产业优势,并合理引导产业结构向合理化、高级化方向转变.

3) 充分调动政府、企业、社会等各方力量,增加医疗资源投入,完善医疗基础设施建设.

4) 在激发市场活力,增加税基的同时,加强非

税收管理,以增加地区财政收入.

4 结束语

本文在提出自适应预警策略的基础上,通过网络学习模型确定了影响人口与经济系统耦合协调发展的关键因子,对其进行了分析,并提出控制手段和干预措施.在银川、石嘴山两市的案例分析中,本文发现:在2010—2019年间,一方面,两市的耦合度均保持在0.9以上,且耦合协调度经历了从轻度失调、濒临失调等逐步向中极协调以及良好协调的演进过程,这说明银川市与石嘴山市人口与经济系统之间相互依赖、相互促进的程度较高,且呈递进趋势;另一方面,在两市实现耦合协调发展的历程中,各二级因子表现差异明显但仍有共同点,即万人拥有医院床位数 x_{24} 以及地方财政收入 y_{11} 对两个城市的贡献度均较大,说明对同处西北内陆的银川和石嘴山而言,增加财政收入、加快城市基础设施建设、推动经济高质量发展,对实现人口与经济系统耦合协调发展至关重要.

参考文献

References

- [1] 杨士弘.广州城市环境与经济协调发展预测及调控研究[J].地理科学,1994,14(2):136-143,199
YANG Shihong. A study on the forecast and regulation of coordinated development of urban environment and economy in Guangzhou [J]. Scientia Geographica Sinica, 1994, 14(2): 136-143, 199
- [2] 廖重斌.环境与经济协调发展的定量评判及其分类体系:以珠江三角洲城市群为例[J].热带地理,1999,19(2):171-177
LIAO Chongbin. Quantitative judgement and classification system for coordinated development of environment and economy: a case study of the city group in the Pearl River Delta [J]. Tropical Geography, 1999, 19(2): 171-177
- [3] 姚光明,杨浩,王丽欣,等.民族地区经济与生态系统耦合协调问题研究:以宁夏回族自治区为例[J].环境保护科学,2018,44(6):7-12,41
YAO Guangming, YANG Hao, WANG Lixin, et al. Study of the problems of national regional economy and ecological system coupling and coordination: a case study of Ningxia Hui Autonomous Region [J]. Environmental Protection Science, 2018, 44(6): 7-12, 41
- [4] 张红军,胡月英,赵伟峰.安徽农业经济-生态系统耦合协调研究[J].中南林业科技大学学报(社会科学版),2019,13(1):31-36
ZHANG Hongjun, HU Yueying, ZHAO Weifeng. Study on the coordinated development countermeasures of agricultural economy-eco system in Anhui province [J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology

- (Social Sciences), 2019, 13(1):31-36
- [5] 王美霞,任志远,杨忍,等.关中-天水经济区人口与经济发展协调性分析[J].干旱区资源与环境, 2011, 25(1):34-38
WANG Meixia, REN Zhiyuan, YANG Ren, et al. Coordination between population and economic development in Guanzhong-Tianshui economic area[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2011, 25(1):34-38
- [6] 王国霞,秦志琴.山西省人口与经济空间关系变化研究[J].经济地理, 2013, 33(4):29-35
WANG Guoxia, QIN Zhiqin. The evolution of spatial relationship between population and economy in Shanxi province[J]. Economic Geography, 2013, 33(4):29-35
- [7] 吴连霞,赵媛,马定国,等.江西省人口与经济发展时空耦合研究[J].地理科学, 2015, 35(6):742-748
WU Lianxia, ZHAO Yuan, MA Dingguo, et al. The space-time coupling between population and economic development in Jiangxi province [J]. Scientia Geographica Sinica, 2015, 35(6):742-748
- [8] 付云鹏,李燕伟,徐琛,等.城市人口结构与资源环境耦合的时空特征分析[J].环境工程, 2017, 35(4):160-164
FU Yunpeng, LI Yanwei, XU Chen, et al. Temporal and spatial characteristics of the coupling degree between population structure and environment: taking Liaoning province as an example[J]. Environmental Engineering, 2017, 35(4):160-164
- [9] 吴文恒,牛叔文.甘肃省人口与资源环境耦合的演进分析[J].中国人口科学, 2006(2):81-86, 96
WU Wenheng, NIU Shuwen. Evolutional analysis of coupling between population, resources and environment in Gansu province [J]. Chinese Journal of Population Science, 2006(2):81-86, 96
- [10] 南翠,曹丽娜.长江经济带人口、经济与环境耦合协调度评价[J].中央民族大学学报(自然科学版), 2019, 28(3):84-89
NAN Cui, CAO Lina. Evaluation of the coupling degree of population, economy and environment in the Yangtze River economic belt [J]. Journal of Minzu University of China (Natural Sciences Edition), 2019, 28(3):84-89
- [11] 付云鹏,马树才.中国区域人口、经济与资源环境耦合的时空特征分析[J].管理现代化, 2015, 35(3):31-33
- [12] 姜伟军.人口-区域经济-环境发展耦合协调度分析[J].统计与决策, 2017(15):101-104
- [13] 宋洁.黄河流域人口-经济-环境系统耦合协调度的评价[J].统计与决策, 2021(4):185-188
- [14] 宗鑫.人口、经济与资源环境系统耦合演进问题分析:以宁夏回族自治区为例[J].北方民族大学学报, 2020(3):50-55
ZONG Xin. Coupled evolution problem of population, economy and resource environment system: a case of Ningxia Hui Autonomous Region in China [J]. Journal of North Minzu University (Philosophy and Social Science), 2020(3):50-55

Analysis of coupling and coordinated development for population and economic system based on neural network

ZHANG Guangchen¹ HAO Pengfei² ZONG Xin²

1 School of Mathematics and Information Science, North Minzu University, Yinchuan 750021

2 School of Economics, North Minzu University, Yinchuan 750021

Abstract This paper proposes the adaptive coupling coordination degree and adaptive coordination interval for the population and economic system, then employs the RBF network learning algorithm to realize the warning strategy and the analysis of influencing factors for the coordinated development between population and economic system for Ningxia's Yinchuan and Shizuishan. First, the adaptive coupling coordination degree as well as the adaptive coordination interval is introduced to formulate an adaptive warning strategy for the development relationship between population and economic system. Second, a three-layer network learning model is employed to determine and analyze the key factors affecting the coupling and coordinated development between population and economic system. Finally, the approach proposed in this paper is applied to Yinchuan and Shizuishan, based on which key factors are determined and interpreted for the coupling and coordinated development between population and economic system in these two cities.

Key words population and economic system; coupling and coordination degree; RBF neural network; factor contribution

附录1 人口系统二级因子客观赋权法权重比较

Appendix 1 Comparison of objective weighting methods for secondary factors in population system

二级因子	银川			石嘴山		
	主成分分析	熵权法	变异系数法	主成分分析	熵权法	变异系数法
x_{11}	2.827 2	0.047 7	0.034 2	4.471 4	0.047 6	0.061 9
x_{12}	0.919 0	0.047 7	0.038 4	1.323 6	0.047 7	0.030 0
x_{13}	14.454 5	0.047 6	0.050 6	11.012 5	0.047 6	0.051 1
x_{14}	0.609 5	0.047 7	0.030 1	0.828 0	0.047 6	0.060 5
x_{15}	0.223 3	0.047 7	0.028 5	0.438 1	0.047 7	0.043 9
x_{16}	0.259 8	0.047 6	0.060 2	0.586 5	0.047 7	0.031 2
x_{17}	1.488 6	0.047 6	0.040 5	2.252 7	0.047 6	0.044 6
x_{21}	0.185 2	0.047 6	0.062 1	0.052 7	0.047 6	0.047 7
x_{22}	0.033 0	0.047 6	0.047 0	0.034 6	0.047 6	0.044 1
x_{23}	0.000 0	0.047 6	0.042 6	0.000 0	0.047 6	0.044 9
x_{24}	0.000 0	0.047 6	0.041 8	0.000 0	0.047 6	0.056 6
x_{25}	0.000 0	0.047 5	0.058 4	0.000 0	0.047 6	0.054 9
x_{26}	0.000 0	0.047 6	0.077 1	0.000 0	0.047 6	0.030 0
x_{31}	0.000 0	0.047 6	0.043 7	0.000 0	0.047 7	0.033 8
x_{32}	0.000 0	0.047 7	0.031 3	0.000 0	0.047 5	0.064 2
x_{33}	0.000 0	0.047 6	0.053 2	0.000 0	0.047 6	0.064 4
x_{34}	0.000 0	0.047 7	0.029 6	0.000 0	0.047 6	0.048 1
x_{35}	0.000 0	0.047 6	0.064 5	0.000 0	0.047 6	0.066 9
x_{36}	0.000 0	0.047 5	0.036 0	0.000 0	0.047 6	0.047 1
x_{37}	0.000 0	0.047 7	0.056 9	0.000 0	0.047 7	0.030 0
x_{38}	0.000 0	0.047 6	0.044 1	0.000 0	0.047 6	0.044 1

附录2 经济系统二级因子客观赋权法权重比较

Appendix 2 Comparison of objective weighting methods for secondary factors in economic system

指标	银川			石嘴山		
	主成分分析	熵权法	变异系数法	主成分分析	熵权法	变异系数法
y_{11}	3.745 3	0.090 9	0.069 6	1.600 7	0.090 7	0.109 5
y_{12}	0.425 2	0.090 8	0.096 2	0.776 9	0.090 9	0.087 6
y_{13}	0.109 4	0.090 9	0.094 4	0.604 6	0.090 9	0.082 9
y_{14}	0.030 9	0.091 0	0.157 4	0.317 6	0.091 0	0.066 8
y_{15}	0.016 5	0.090 9	0.064 5	0.115 5	0.091 0	0.080 4
y_{16}	0.005 4	0.090 8	0.104 4	0.038 1	0.090 8	0.108 6
y_{17}	0.000 0	0.091 0	0.078 9	0.000 0	0.090 9	0.165 8
y_{18}	6.663 0	0.090 9	0.092 9	7.532 9	0.091 0	0.075 2
y_{19}	0.000 0	0.090 8	0.107 9	0.000 0	0.090 9	0.086 4
y_{110}	0.000 2	0.091 0	0.064 0	0.001 2	0.090 9	0.081 1
y_{111}	0.004 2	0.090 9	0.069 8	0.012 5	0.091 0	0.055 6

附注1:利用主成分分析法计算指标权重仅列出指标特征根值.