

# 基于 RBF 神经网络视角的 区域次级中心城市选择发展研究

——以云南为例

晏威

(四川大学 经济学院, 四川 成都 610065)

**摘要:** 省域次级中心城市选择问题, 是区域平衡发展、协调发展的关键, 日前选择区域次级中心城市的方法多为定性探讨, 存在科学性和满意度较差等缺陷。从系统角度出发辅助决策, 基于径向基神经网络构建能够综合考虑多种指标因素的选择模型, 并以云南省为例进行实证论证, 最后围绕发展次级中心区域经济、协同重构区域功能布局、加强区域间人才、技术联系等提出了发展建议。

**关键词:** 次级中心城市; 指标体系; 径向基神经网络

**中图分类号:** F127 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-723X(2016)05-0104-06

在经济全球化与区域经济一体化进程不断加快的时代背景下, 由于区域中心城市设施和服务条件所产生的集聚效应, 为区域中心城市带来了一系列负面城市问题, 如城市整体占地面积扩张、交通堵塞、地价上升、住房紧张、基础设施超负荷运行和环境质量下降等等, 严重地制约了整个区域经济的发展。从我国经济发展良好的省域来看, 它们都拥有多个经济增长中心。昆明作为区域性中心城市, 在经济发展方面处于云南省的龙头位置, 但由于昆明与云南省其他城市的发展程度差距过大, 导致它对云南省的辐射和带动能力并没有得到充分的发挥。另一方面, 由于昆明市主城区经济集聚效应吸引了大量的人流、物流, 在促进昆明经济发展的同时也带来了城市拥挤、交通堵塞等负面问题, 严重地影响了云南省的经济效率。因此, 大力发展次级中心城市, 不仅有利于构建云南省的城市序列结构, 完善云南省的城市体系, 缓解昆明市发展过程中带来的交通拥堵等社会问题, 而且还有利于打造云南省新的经济增长点, 加快其他地区的建设, 缩小区域间社会经济发展不平衡现象, 促进云南省社会经济的协调健康发展。

## 一、研究综述

国内专家学者关于次级中心城市方面的相关研究主要集中在建设意义、发展问题等方面, 李锦章、初玉岗、周志斌(2003)系统地阐述了次级中心城市在区域经济发展中的必要性、作用以及形成条件和机制。孙久文、李华香(2012)研究指出目前西部地区城市首位度不高, 次级中心城市发育不健全, 而加强次级中心城市的建设, 不仅有利于次级中心城市形成规模经济和集聚效应, 而且还有利于次级中心城市在区域经济发展中发挥辐射带动作用。马恒新(2013)研究指出次级中心城市是大城市和农村的产业和人口聚集的产物, 并认为省域次级中心城市的建设有利于平衡区域经济的发展。邓清华、朱桥(2006)着重分析了重庆在培育次级中心城市过程中应着力解决户籍制度、发展环境、管理效率等问题。曹佳(2007)研究指出培养产业集群是促进次级中心城市发展的最佳途径。杨柳(2010)认为石家庄从京津冀地区城市群整体发展水平来看, 石家庄处于次中心城市的地位, 但石家庄在城市化进程中存在发展动力不足的缺陷, 并据此提出了促进石家庄发展的建议。杨海莲(2011)研究指出南京和杭州作为长三角城市群次级中心城市, 它们需要提高综合承载能力和服务功能, 实现错位发展。谢新鹅(2014)基于共生理念和嵌入式理念构建了组团城市群内次级中心城市的“主体结构 and 保障机制”发展模式。杨晓波和孙继琼(2014)研究指出成渝经济区中存在“中部塌陷”的现象, 川南5市处于经济低谷的位置, 为加快成渝经济区第三增长极的形成, 需要推动内江和自贡两个城市的一体化建设。

在如何选择次级中心城市的研究方面, 曹佳(2007)在分析增长极开发、点轴开发、网络开发三种空间开发模式的基础上认为这三种模式均不适用于成渝经济区的空间开发, 最终使用

引力模型来选择成渝经济区次级经济中心。郑治伟、孟卫东（2010）从经济发展水平、区位条件和发展环境三个方面构建了区域次级中心城市选择的综合评价体系，并以成渝经济区为例进行了实证研究。而随后关于次级中心城市的选择问题几乎都沿用了郑治伟、孟卫东（2010）提出的解决思路。可见，专家学者对次级中心城市的选择研究多采用主成分分析法和引力模型的方法，为深化我国次级中心城市选择方面的研究成果，本文在提出次级中心城市选择综合指标体系的基础上，从系统的角度出发，基于神经网络的理论和方法构建了选择次级中心城市的方法。

## 二、区域次级中心城市指标体系

### （一）指标选择

选择合理的次级中心城市受到经济、社会、人口等众多因素的影响。分析我国选择次级中心城市影响因素，必须根据城市发展现状，归纳和选择影响次级中心城市决策的各种因素，并充分考虑这些影响因素间存在的相互关系。

第一，经济发展水平。区域经济中心的形成是城市经济发展历史积淀的结果，而城市经济综合反映着该城市政府管理能力、企业创新能力、科技发展水平等管理与发展能力。川城市经济发展水平决定了其发挥辐射和带动作用的能力。因此，区域次级中心城市需要有较好的经济发展基础才能在区域发展中发挥导向作用。

第二，政府作用。政府在我国社会经济运行中，发挥着宏观调控的作用，而且地方财政支出对地方经济发展存在显著影响。

第三，人力资源。人力资源是促进区域经济发展的“第一资源”，区域的人力资源存量不均是导致区域经济发展存在巨大差异的重要原因。

第四，科技实力。知识经济时代，科技与经济之间的联系将更加密切，同时，科技创新的差异也是我国区域经济发展不平衡的重要因素之一。

第五，发展环境。发展环境是城市发展的催化剂，发展环境包括基础设施、对外联系、环境水平三个方面。

除了以上主要影响因素以外，还有其他因素也会对区域次级中心城市的选择产生影响，如发展意识、文化素养、公众的观念、社会秩序等，但这些因素难以量化，因此这些因素不在本次研究考虑范围内。

### （二）指标体系的建立

根据上述分析以及综合性、操作性、可比性、可获性原则，筛选出影响区域次级中心城市选择的主要因素，如表 1 所示。

表 1 区域次级中心城市指标体系

目标层	一级指标	二级指标	目标层	一级指标	二级指标
区域次级中心城市	经济实力	人均国内生产总值( $x_1$ )	区域次级中心城市	人力资源	总人口( $x_{13}$ )
		第二、三产业产值比重( $x_2$ )			第二产业就业人员比重( $x_{14}$ )
		限额以上工业总产值( $x_3$ )			第三产业就业人员比重( $x_{15}$ )
		社会固定资产投资( $x_4$ )			科研人员( $x_{16}$ )
		公路客运总量( $x_5$ )			高等学校和研究机构总数( $x_{17}$ )
		公路货运总量( $x_6$ )		R&D 经费内部支出( $x_{18}$ )	
		邮电业务总量( $x_7$ )		发展环境	公路通车里程数( $x_{19}$ )
		金融机构年末存款余额( $x_8$ )			区域经济联系量( $x_{20}$ )
		金融机构年末贷款余额( $x_9$ )			实际使用外资金额( $x_{21}$ )
		社会消费品零售总额( $x_{10}$ )			建成区绿化覆盖率( $x_{22}$ )
	财政收入( $x_{11}$ )	工业固体废物综合利用率( $x_{23}$ )			
	政府作用	财政支出( $x_{12}$ )	污水处理厂集中处理率( $x_{24}$ )		

### 三、区域次级中心城市的选择

#### (一) 数据来源

本次研究的社会经济数据来源除了区域经济联系量以外,其余各指标均来源于历年《中国城市统计年鉴》《云南统计年鉴》《广东统计年鉴》《四川统计年鉴》《江苏统计年鉴》《南京统计年鉴》。

区域经济联系量是用来衡量中心城市和非中心城市间经济联系强度的指标,它反映着中心城市的辐射能力和非中心城市的接收辐射能力,其计算公式为:

$$L_{ij} = (\sqrt{P_i G_i} \sqrt{P_j G_j}) / D_{ij}^2$$

其中, $L_{ij}$ 为区域经济联系量, $P_i$ 、 $G_i$ 分别表示中心城市、非中心城市的国内生产总值, $P_j$ 、 $G_j$ 分别表示中心城市、非中心城市的人口数, $D_{ij}$ 表示中心城市和其他城市的最短公路里程。

#### (二) 区域次级中心城市选择方法

为了克服郑治伟、孟卫东(2010)在进行次级中心城市综合力评价时,仅将经济发展水平、区位优势、发展环境三个单项得分简单相加,而没有将其放在一个系统里来计算出各候选城市的综合得分并进行排序的局限性,本文采用径向基(Radial Basis Function, RBF)神经网络对所统计的数据进行处理。

RBF神经网络是一种性能良好的前向网络,不仅具有学习速度快、非线性映射功能强的能力,而且还具有能以任意精度逼近任意连续函数,实现全局最优的性能,可以通过学习历史数据,提取隐含的知识和规律,找到影响次级中心城市发展的因素与次级中心城市选择的映射关系,较好地揭示在选择区域次级中,合城市时所表现出的非线性结构,同时也减少了选择过程中的主观或偶然因素的影响。其基本结构如图1所示。

若输入层中有 $X_n^p$ 个输入样本,其中 $p=1,2,\dots,k$ ;  $k$ 为输入模式数;选取高斯函数为激活函数,则隐含层的输出为:

$$U_n^p = R(X_n^p - T_l) / \sum_{j=1}^L R(X_n^p - T_l) \quad (j=1,2,\dots,L) \quad (1)$$

$$R(X_n^p - T_l) = \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2 \|X_n^p - T_l\|^2}\right) \quad (2)$$

式(1)和(2)中, $U_j^p$ 为归一化处理后的

函数; $R(X_n - T_l)$ 为高斯函数; $T_l$ 是第  $l$  个隐含层节点的圆心; $\sigma$  为高斯函数的方差。

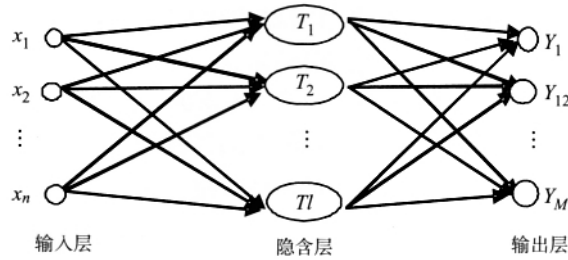


图1 RBF神经网络结构

因此,从输入层到输出层的映射函数关系,即 RBF 神经网络的输出表示为:

$$Y_i^p = \sum_{j=1}^L \omega_{ij} U_j^p \quad (i=1, 2, \dots, M) \quad (3)$$

式(3)中, $Y_i^p$  为第  $i$  个输出; $\omega_{ij}$  为隐含层到输出层的权值。

### (三) RBF 神经网络模型的建立

#### 1. 模型构建

《全国城镇体系规划》将沈阳、南京、武汉、深圳、成都、西安作为我国国家级区域次级中心城市,因此为决策出其他省域最佳的区域次级中心城市提供了参考。结合数据的可获性,选取了 2011 -2013 年间深圳、南京、成都三个城市的各项指标数据作为训练输入样本,区域次级中心城市综合竞争力为输出指标进行模拟与仿真,则网络的输入矩阵为  $x=[x_1, x_2, x_3, \dots, x_{24}]$ , 输出矩阵为  $y=[3, 2, 1]$ 。

为消除个指标量纲的差异性对选择结果的影响,首先需要对数据通过式(4)进行无量纲化处理。2011 - 2013 年间深圳 II、南京、成都三个城市消除量纲后的指标数据见表 2。

$$x = x_i / x_i^{\max} \quad (4)$$

其中, $x_i$  为第  $i$  个影响因素指标的实际值, $x_i^{\max}$  为第  $i$  个影响因素指标中的最大值。

在 MATLAB 中为 RBF 神经网络提供了 4 个工具箱函数,其中 `nerwb()` 函数用迭代方法设计 RBF 网络能够自动增加网络的隐含层神经元模数使得模型的均方差满足精度要求,因此本次研究采用 `nerwb()` 函数训练区域次级中心城市的样本数据。在 MATLAB 命令窗口中输入命令(见表 3),系统自动调用 `nerwb()` 函数,至此,完成了网络模型参数的率定工作,即构建完成了区域次级中心城市选择的 RBF 神经网络模型。

表 2 无量纲化后的指标数据

年份	城市	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$	$x_{11}$	$x_{12}$
2013	深圳	1.00	1.00	1.00	0.38	1.00	0.52	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	南京	0.27	0.97	0.54	0.78	0.05	0.26	0.28	0.61	0.70	0.80	0.48	0.50
	成都	0.07	0.96	0.40	1.00	0.48	1.00	0.33	0.79	0.89	0.85	0.52	0.69
2012	深圳	0.26	1.00	0.92	0.36	0.92	0.56	0.96	0.87	0.87	0.90	0.86	0.93
	南京	0.19	0.97	0.50	0.70	0.22	0.52	0.20	0.54	0.62	0.70	0.42	0.46
	成都	0.12	0.96	0.34	0.91	0.47	0.91	0.30	0.68	0.79	0.75	0.45	0.58
2011	深圳	0.24	1.00	0.88	0.33	0.83	0.51	0.61	0.76	0.79	0.79	0.77	0.94
	南京	0.16	0.97	0.45	0.58	0.20	0.47	0.18	0.47	0.56	0.61	0.37	0.39
	成都	0.10	0.95	0.33	0.76	0.45	0.79	0.29	0.57	0.70	0.65	0.39	0.51
年份	城市	$x_{13}$	$x_{14}$	$x_{15}$	$x_{16}$	$x_{17}$	$x_{18}$	$x_{19}$	$x_{20}$	$x_{21}$	$x_{22}$	$x_{23}$	$x_{24}$
2013	深圳	0.26	1.00	0.49	0.90	0.06	1.00	0.07	1.00	0.49	1.00	0.79	0.99
	南京	0.54	0.37	0.33	1.00	1.00	0.08	0.49	0.34	0.36	0.99	0.91	0.64
	成都	1.00	0.68	1.00	0.06	0.72	0.38	1.00	0.48	1.00	0.89	0.99	0.91
2012	深圳	0.24	0.49	0.41	0.95	0.06	0.87	0.07	0.85	0.47	1.00	0.79	0.98
	南京	0.54	0.24	0.23	0.85	0.95	0.07	0.05	0.31	0.37	0.98	0.92	0.65
	成都	0.99	0.39	0.30	0.06	0.67	0.32	0.98	0.43	0.77	0.87	0.99	0.94
2011	深圳	0.23	0.47	0.38	0.75	0.06	0.73	0.07	0.73	0.41	1.00	1.00	0.97
	南京	0.54	0.23	0.22	0.75	0.91	0.05	0.48	0.28	0.32	0.99	0.91	0.62
	成都	0.98	0.37	0.27	0.05	0.71	0.26	0.94	0.37	0.58	0.87	0.99	1.00

表 3 训练命令

步骤	命令
01.	$x = [x_1; x_2; x_3; \dots; x_{23}; x_{24}]'$ ;
02.	$y = [3, 2, 1]$ ;
03.	$goal = 0.0000001$ ;
04.	$spread = 0.8$ ;
05.	$net = newrb(x, y, goal, spread)$ ;

## 2. 模型仿真

用构建的区域次级中心城市选择的 RBF 神经网络模型，以云南省区域次级中心城市选择为实证进行模拟与仿真。在 MATLAB 命令中输入命令  $y = \text{sim}(net, a)$ ，其中  $a$  表示无量纲化后的评价对象的指标值， $y$  表示评价对象的评价值。

由于历年《中国城市统计年鉴》中只统计了云南省地级市的相关数据资料，并未统计各民族自治州的数据资料；另一方面，虽然《云南统计年鉴》统计了各民族自治州的数据，但也仅统计了部分指标数据，因此根据所建立的指标体系和数据的可获性原则，本次研究只考虑了除昆明以外的曲靖、玉溪、保山、昭通、丽江、普洱、临沧这七个城市作为云南省区域次级中心城市的候选对象，用  $i$  表示第  $i$  个候选城市在第  $j$  年无量纲化后的数据 ( $i=1, 2, \dots, 7; j=2011, 2012, 2013$ )。

由于篇幅有限，仅以 2013 年曲靖 ( $a_{12013}$ ) 为例，进行数据的处理，并得出它的评价值。在 MATLAB 命令中输入以下命令：

$$a_{12013} = [0.0527; 0.8176; 0.0728; 0.1570; 0.0320; 0.2866; 0.1322; 0.0471; 0.0514; 0.0853; 0.0702; 0.1758; 0.5403; 0.0967; 0.0647; 0.0006; 0.0380; 0.0059; 0.9644; 0.1711; 0.0051; 0.7729; 0.6289; 0.9351; ]$$

$$y_{12013} = sim(net, a_{12013})$$

得到 2013 年曲靖的综合得分值为 0.981824。

RBF 神经网络的输出结果，即云南省区域次级中心候选城市综合得分值结果。

2011-2013 年间各区域次级中心候选城市综合得分值呈现递增的趋势，说明各城市的发展水平在逐步提高。2011-2013 年间曲靖的综合得分值在各候选城市中稳居首位，保持着良好的发展态势。虽然从玉溪的各指标来看要明显优于其他城市，然而玉溪则由 2011 年的第二位下降至 2013 年的第四位，连续两年位居昭通、临沧之后，说明玉溪在经济社会发展过程中的某些环节与该地区的总体发展方向出现了不匹配的现象。普洱则由 2011 年的第三位下降至 2013 年的第 7 位，说明普洱近年来发展速度呈现了巨大的下滑趋势。而保山、丽江则长期处于靠后的排名，说明两地的发展未能实现较大的突破。

#### (四) 变且重要性分析

研究如何选择区域次级中心城市的一个重要内容是研究影响城市综合竞争力的影响因素，明确哪些指标对城市综合竞争力影响最大，使各城市准确地把握自身发展过程中应着力解决的问题，为提高城市综合竞争力，促进云南省各区域间的协调发展提供政策建议和方面。

结合各城市历史发展情况和政策建议的时效性特点，本次研究根据区域次级中心城市选择指标和 2011-2013 年间各候选城市综合得分值，运用 Spss19.0 软件提供的 RBF 神经网络中变量重要性分析模块，得出各指标因素对云南省区域次级中心候选城市发展的影响程度，见表 4。

表 4 指标因素的重要性

排序	指标因素	重要性	排序	指标因素	重要性
1	区域经济联系量( $x_{20}$ )	0.137	13	邮电业务总量( $x_7$ )	0.033
2	限额以上工业总产值( $x_3$ )	0.118	14	社会固定资产投资( $x_4$ )	0.032
3	R&D 经费内部支出( $x_{18}$ )	0.089	15	第三产业就业人员比重( $x_{15}$ )	0.020
4	公路货运总量( $x_6$ )	0.070	16	公路通车里程数( $x_{19}$ )	0.018
5	财政收入( $x_{11}$ )	0.068	17	财政支出( $x_{12}$ )	0.011
6	人均国内生产总值( $x_1$ )	0.068	18	总人口( $x_{13}$ )	0.010
7	第二产业就业人员比重( $x_{14}$ )	0.062	19	科研人员( $x_{16}$ )	0.008
8	金融机构年末贷款余额( $x_9$ )	0.059	20	工业固体废物综合利用率( $x_{23}$ )	0.006
9	金融机构年末存款余额( $x_8$ )	0.049	21	高等学校和研究机构总数( $x_{17}$ )	0.004
10	社会消费品零售总额( $x_{10}$ )	0.049	22	实际使用外资金额( $x_{21}$ )	0.003
11	公路客运总量( $x_5$ )	0.046	23	建成区绿化覆盖率( $x_{22}$ )	0.003
12	第二、三产业产值比重( $x_2$ )	0.034	24	污水处理厂集中处理率( $x_{24}$ )	0.003

由表 4 可知，在所建立的指标体系中，最为重要的指标因素是区域经济联系量 ( $x_{20}$ ) 和限额以上工业总产值 ( $x_3$ )，表明目前云南省在评选区域次级中心城市时应着重考虑各候选城市与昆明的经济联系量和各候选城市的工业实力；排列靠后的指标为实际使用外资金额 ( $x_{21}$ )、建成区绿化覆盖率 ( $x_{22}$ ) 和污水处理厂集中处理率 ( $x_{24}$ )，表明这些因素对云南省评选区域次级中心城市的影响较小。指标因素的重要性分析表明，云南省各城市要提高发展水平，就要注重城市间的经济交往，积极发展新型工业，提高外资利用率，加强城市环保建设。

#### (五) 区域次级中心城市综合竞争力聚类分析

为了更加清晰地了解云南省各城市的总体发展情况，本次研究根据所建立的指标数据以及

各城市的综合得分值，利用 Spss19.0 软件对云南省的城市综合竞争能力进行 K - mean 聚类分析，聚类分析结果如表 5。

表 5 聚类分析结果

城市	曲靖	玉溪	保山	昭通	丽江	普洱	临沧
2013 年	1	2	3	4	3	4	3
2012 年	1	2	3	4	3	3	3
2011 年	1	2	3	4	3	3	3

表 5 中，1-4 均表示聚类类别，1 表示最优的类别，4 表示最差的类别。从表 5 可知，近年来，云南省城市发展呈现出明显的层次性和不平衡性，其中曲靖在云南省各非中心城市中发展态势良好、稳居第一类，表现出了极大的优势；玉溪也稳居第二类，相对较强；保山、丽江、临沧三个城市属于第三类别，城市发展水平相对较弱；普洱在第三类和第四类之间徘徊、昭通属于第四类，城市发展水平与其他城市相比还有很大的提升空间。因此，可以将曲靖和玉溪培育为云南省区域次级中心城市。

#### 四、区域次级中心城市发展的建议

从区域经济发展的角度来看，每个省域要整体上提高经济社会的发展水平，缩小城市间的发展差距，就要加强城市间的联系，培育区域次级中心城市，实现与中心城市的功能互补，形成多极发展的城市体系。根据变量重要性分析和聚类分析提出以下发展建议：

##### （一）积极发挥政府的宏观调控职能，发展次级中心区域经济

政府要积极发挥宏观调整的职能，通过相关政策的引导，构建区域次级中心城市政府投融资、社会投资特别是民间投资、海外引资等多渠道的城市建设投资、融资体系。注重优化投资结构，按照市场经济运行规律，建立合理、高效的城市建设资金运用机制。

次级中心城市的发展实质主要是培育新的经济增长极，提升科技创新能力，充分带动周边地区经济快速发展，进而提升区域经济发展的竞争力，有效弥补中心城市经济辐射效用存在的不足之处。

##### （二）加强省域区域间的经济联系，协同重构区域功能布局

省域区域经济发展的巨大差异对区域经济发展产生了较大影响，但由于经济发展的互补性，为各区域间经济联系又奠定了合作的基础。从长期来看，加强各区域间的经济联系不仅能促进地区本身的经济增长，而且有利于促进人流、信息流、资金流在城市间的自由流动，实现区域全方位、多领域、多层次的联动和互动，提高省域整体经济发展水平和经济活力。因此，要加强区域性软、硬环境以及基础设施共建，尤其是像云南省这样具有特殊自然地理环境的省域，交通基础设施建设成本高，施工难度大等，更需加强交通基础设施共建，提高设施利用效率，并促进多元包容的文化氛围的营造。此外，省域内各区域还应根据各自的优势合理配置市场资源，在区域功能重构、空间布局和产业结构调整等方面统筹考虑、协同发展。

##### （三）加大人才引进力度，加强区域间人才、技术联系

从整体来看，限制省域经济发展的核心是进行生产活动所必备的一些高级要素，科研人员、工业固体废物综合利用率、高等学校和研究机构总数这三项指标在区域次级中心选择变量重要性分析中排列次序虽相对靠后，但指标对应的生产要素却是研发能力、技术人才、高级知识人才。因此需要积极引进和培养知识储备丰富、研发能力强、专业技术扎实的高级人才，并加强省域各区域间人才的有序流动和技术交流，才能提升区域次级中心的科技创新能力，提升传统产业的科技含量，进而推动发展环境和区位条件的改善，共同为省域区域经济发展提供动力。