

组合模型下陕西科技人才需求数量预测

罗 静, 屈静雯, 杨睿娟

(西安石油大学 经济管理学院, 西安 710065)

摘要:基于陕西省科技人才发展现状,运用统计年鉴动态数据,结合 Granger 因果关系检验和逐步回归分析构建时间序列-BP 神经网络组合预测模型,预测 2021—2025 年陕西省科技人才需求数量。研究表明:与灰色 GM(1,1)模型相比,时间序列模型对规上工业企业工业总产值的预测精度更高;陕西省规上工业企业总产值能够有效预测陕西省科技人才需求数量;陕西省科技人才需求数量将呈指数趋势显著上升,到 2025 年达 26.7 万人。从此从关注陕西省重点产业、完善陕西省科技人才管理方案和充分利用陕西省科技人才 3 个方面提出相关建议,充分激发科技人才创新潜能。

关键词:科技人才;Granger 检验;GM(1,1)模型;BP 神经网络模型

中图分类号:C93 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2023)05-0019-06

科技人才是创新驱动发展的不竭动力,培养和引进科技人才是支撑经济社会发展、促进科技进步并进一步驱动高质量发展的重要基础,科技人才的需求预测是起点和前提。对科技人才进行需求预测,能够掌握某一地区科技人才需求变化趋势,为制定科技人才发展规划、完善科技人才管理相关政策和建设科技人才高地提供依据。基于陕西省科技人才发展现状,通过 Granger 检验和逐步回归分析筛选出科技人才需求预测指标,构建时间序列-BP 神经网络组合模型,对陕西省 2021—2025 年科技人才需求进行预测,为陕西省科技人才规划、引进与开发管理提供科学参考,为助推陕西创新驱动发展提供源动力,同时为科技人才需求预测的科学方法提供新思路。

1 人才需求预测模型

国内外人才需求预测研究主要采取单一模型预测和组合模型预测。单一预测模型主要包括灰色 GM(1,1)模型^[1]、差分自回归移动平均模型^[2](ARIMA)、趋势外推法预测^[3]以及 BP 神经网络模型^[4]等;组合模型包括相关性分析-回归预测组合模型^[5]、ARIMA-LSSVM 组合模型^[6]、灰色 GM(1,1)-时间序列组合模型^[7]以及多元回归-灰色预测组合模

型^[8]等。

学界大量研究表明,人才需求受到经济、城市、政策等的影响,并不仅仅是简单的线性变化,单一预测模型可能存在不足。因此,本研究在 Granger 检验和逐步回归分析的基础上,探究灰色 GM(1,1)模型、时间序列模型分别和 BP 神经网络组成组合预测模型对于人才需求预测的可行性和有效性。

2 数据来源和研究方法

2.1 数据来源

科技人才是接受过高等教育,掌握丰富的专业知识,拥有某项或多项能够达到一定水平的技能,具有良好的创新思维和创造能力,或者不具备较高学历但是具备科技特长、从事科技相关职业,能够为科技和经济社会的进步做出贡献的技术、经济管理人才。本研究从 2010—2020 年《中国统计年鉴》《陕西统计年鉴》《西安统计年鉴》中选取陕西省 R&D 人员存量(人)的历史数据对陕西科技人才需求展开预测。结合以往研究,从经济、人民生活、社会发展和科技活动等维度选取 GDP、第二产业增加值等指标作为陕西省科技人才需求预测的备选指标。

2.2 研究方法

首先,运用 Eviews 和 SPSS 软件对所摘录数据

收稿日期:2022-10-12

基金项目:陕西省创新能力支撑计划项目(2020KRM064);陕西省高等教育教学改革项目(17BY044)。

作者简介:罗静(1964—),女,陕西兴平人,西安石油大学经济管理学院,教授,博士,硕士研究生导师,研究方向为人力资源管理;屈静雯(1998—),女,河南许昌人,西安石油大学经济管理学院,硕士研究生,研究方向为人力资源管理;杨睿娟(1974—),女,陕西西安人,西安石油大学经济管理学院,教授,博士,硕士研究生导师,研究方向为人力资源管理、人才规划与发展、职业心理健康。

进行 Granger 因果关系检验及逐步回归分析,筛选得出科技人才需求预测指标。然后,运用灰色 GM(1,1)模型和时间序列模型分别预测“科技人才需求预测指标”5 年的变化趋势,根据两种模型的 RMSE 值选择预测效果更优的模型。最后,运用 MATLAB 软件对相关数据进行 BP 神经网络训练,得到陕西省 2021—2025 年科技人才需求的预测值。

3 科技人才需求预测指标筛选

为了检验时间序列之间的因果关系,参考 Granger 因果关系检验方法对所选指标的分析结果,以筛选与科技人才存量存在因果关系的指标。本文所选待筛选指标包含 11 项,见表 1。

表 1 待筛选指标

类别	指标
经济发展	陕西省 GDP X_0 /亿元
	陕西省第二产业增加值 X_1 /亿元
	陕西省第三产业增加值 X_2 /亿元
人民生活	陕西省城镇居民人均可支配收入 X_3 /元
社会发展	陕西省全社会固定资产投资 X_4 /亿元
	陕西省规上工业企业工业总产值 X_5 /亿元
	陕西省建筑业总产值 X_6 /万元
科技活动	陕西省 R&D 人员存量 Y /人
	陕西省 R&D 经费投入 X_7 /亿元
	陕西省技术市场成交额 X_8 /万元
	陕西省 R&D 经费支出占 GDP 比重 X_9 /%

3.1 单位根检验

不平稳的时间序列可能会导致虚假回归问题,Granger 因果关系检验要求时间序列具备平稳性,需进行 ADF 平稳性检验,运用 Eviews7.0 软件对待筛选指标 2010—2019 年的数据进行单位根检验。表 2 表明,11 项指标的 P 值均小于 0.1,其中 X_5 、 X_9 在 10%的水平上拒绝原假设, $X_0 \sim X_3$ 4 项指标在 5%的水平上拒绝原假设,其余指标均在 1%的水平上拒绝原假设,即全部指标序列均平稳,不存在单位根。

表 2 单位根检验结果

变量	T 统计值	P	检验结果
Y	-3.550 477	0.004 5	平稳
X_0	-2.339 874	0.029 5	平稳
X_1	-2.219 460	0.034 6	平稳
X_2	-3.540 076	0.042 4	平稳
X_3	-2.449 725	0.022 9	平稳
X_4	-3.316 011	0.006 2	平稳
X_5	-3.679 551	0.092 0	平稳
X_6	-8.009 899	0.006 0	平稳
X_7	-3.001 495	0.008 9	平稳
X_8	-12.629 10	0.000 5	平稳
X_9	-4.139 165	0.056 8	平稳

3.2 格兰杰因果关系检验

在数据平稳的基础上,进行 Granger 因果关系检验,结果(表 3)显示: X_0 、 X_2 、 X_5 均为 Y 的单向格兰杰原因; Y 是 X_4 和 X_9 的单向格兰杰原因; X_1 、 X_3 、 X_6 、 X_7 、 X_8 均与 Y 不构成因果关系。即陕西省 GDP、第三产业增加值和规上工业企业工业总产值会对 R&D 人员存量产生影响。

表 3 格兰杰因果关系检验结果

原假设	F	P	滞后阶数	是否拒绝原假设
X_0 不是 Y 的格兰杰原因	6.892 62	0.075 6	2	拒绝
Y 不是 X_0 的格兰杰原因	0.396 19	0.703 6	2	接受
X_1 不是 Y 的格兰杰原因	3.653 72	0.157 0	2	接受
Y 不是 X_1 的格兰杰原因	0.007 67	0.992 4	2	接受
X_2 不是 Y 的格兰杰原因	3.864 53	0.096 9	1	拒绝
Y 不是 X_2 的格兰杰原因	0.374 47	0.563 0	1	接受
X_3 不是 Y 的格兰杰原因	1.686 72	0.322 9	2	接受
Y 不是 X_3 的格兰杰原因	1.256 03	0.401 5	2	接受
X_4 不是 Y 的格兰杰原因	1.728 88	0.316 6	2	接受
Y 不是 X_4 的格兰杰原因	7.606 97	0.066 8	2	拒绝
X_5 不是 Y 的格兰杰原因	8.166 26	0.061 1	2	拒绝
Y 不是 X_5 的格兰杰原因	0.892 07	0.496 6	2	接受
X_6 不是 Y 的格兰杰原因	2.171 58	0.261 1	2	接受
Y 不是 X_6 的格兰杰原因	1.434 11	0.365 5	2	接受
X_7 不是 Y 的格兰杰原因	2.591 39	0.222 0	2	接受
Y 不是 X_7 的格兰杰原因	1.361 14	0.379 6	2	接受
X_8 不是 Y 的格兰杰原因	3.030 17	0.190 5	2	接受
Y 不是 X_8 的格兰杰原因	3.269 35	0.176 4	2	接受
X_9 不是 Y 的格兰杰原因	1.605 75	0.335 7	2	接受
Y 不是 X_9 的格兰杰原因	8.942 62	0.054 4	2	拒绝

3.3 回归分析

以 2010—2019 年每年的陕西省 R&D 人员存量(Y)为因变量,根据上文 Granger 检验选取陕西省 GDP(X_0)、第三产业增加值(X_2)和规上工业企业工业总产值(X_5)为自变量,运用 SPSS25.0 软件对以上进行逐步和线性回归分析。

3.3.1 逐步回归分析

逐步回归分析是研究多个自变量对因变量的影响时使用的方法,利用回归模型剔除自变量中对因变量影响不显著且与其余变量高度相关的变量,能够尽可能地降低多重共线性。表 4 展示了逐步回归模型拟合度结果, R^2 为 0.907,表明该模型具有较高的解释力。即规上工业企业工业总产值(X_5)对陕西省 R&D 人员存量(Y)的变化情况具有 90.7%的解释力。

表 4 陕西省 R&D 人员存量影响因素的逐步回归结果

模型	R	R^2	调整后 R^2	标准估算的错误
1	0.952	0.907	0.895	6 981.671

注:预测变量为 X_5 ;因变量为 Y 。

根据表 5 显示的结果,陕西省 GDP(X_0)和第三产业增加值(X_2)的 VIF 值均大于 10,即存在共线性,在该回归模型中被剔除。

表 5 剔除共线性变量 X_0 、 X_2 的回归结果

变量	输入 Beta	t	显著性	偏相关	共线性统计		
					容差	VIF	最小容差
X_0	-0.390	-0.506	0.629	-0.188	0.022	46.222	0.022
X_2	-0.149	-0.340	0.743	-0.128	0.068	14.648	0.068

注:因变量为 Y ;模型中的预测变量为 X_5 。

3.3.2 线性回归分析

根据逐步回归分析得到的结果,规上工业企业工业总产值(X_5)是陕西省 R&D 人员存量(Y)的预测变量,因此,选取陕西省 R&D 人员存量(Y)为因变量,规上工业企业工业总产值(X_5)为自变量进行线性回归分析(表 6),得出以下回归方程:

$$\hat{Y}=47\,832.364+4.255X_5$$

(1)

表 6 线性回归分析结果($n=10$)

变量	非标准化系数		标准化系数	t	P	VIF	R^2	调整 R^2	F
	B	标准错误	Beta						
常量	47 832.364	9 860.109	—	4.851	0.001**	—	0.907	0.895	$F(1,8)=77.805$, $P=0.000$
X_1	4.255	0.482	0.952	8.821	0.000**	1.000			

注:因变量为 Y ;**表示 $P<0.01$ 。

4 科技人才需求预测

构建组合模型进行陕西省科技人才需求预测。首先,分别运用灰色 GM(1,1)模型和时间序列模型对 2021—2025 年规上工业企业工业总产值(X_5)进行预测,并根据均方根误差(RMSE)值选择最优的预测模型;然后,经过 BP 神经网络模型训练后得到 2021—2025 年陕西省 R&D 人员存量(Y)的预测值。

4.1 陕西省规上工业企业工业总产值预测

4.1.1 灰色 GM(1,1)模型

灰色 GM(1,1)模型适合对规上工业企业工业总产值(X_5)这种数据少的时间序列数据进行中短期预测,并且不考虑分布规律或变化趋势。

4.1.1.1 级比值检验

级比值检验是对数据原序列是否适合模型构建进行的初步检验,检验结果见表 7,根据 $[e^{-2/(n+1)},e^{2/(n+1)}]$ 计算得出该模型的级比值标准范围区间,以此判断出原数据未通过级比值检验,在原始值的基础上加入平移转换值 26 623.00 进行平移转换后数据级比检验值均介于标准范围区间 $[0.834,1.199]$ 内,该数据适合构建 GM(1,1)模型。

该模型 R^2 为 0.907,即意味着规上工业企业工业总产值(X_5)能够解释陕西省 R&D 人员存量(Y)90.7% 的变化原因。表 6 显示,该模型可通过 F 检验($F=77.808,P=0.000<0.05$),且 X_5 的回归系数值为 4.255($t=8.821,P=0.000<0.05$),即 X_5 全部会对 Y 产生显著正向影响。

表 7 GM(1,1)模型级比值

序号	级比值 λ	转换后的级比值 λ
1	—	—
2	0.925	0.925
3	0.939	0.939
4	0.955	0.955
5	0.978	0.978
6	0.993	0.993
7	0.969	0.969
8	0.961	0.961
9	0.974	0.974
10	0.973	0.973

4.1.1.2 后验差比检验

表 8 显示,模型计算发展系数 $a=-0.029\,9$,小于 0.3,适用于中长期预测,且模型计算出后验差比 C 值为 $0.014\,7<0.35$,模型精度等级非常好。

表 8 模型构建结果

发展系数 a	灰色作用量 b	后验差比 C 值
-0.029 9	40 263.642 3	0.014 7

注: $C<0.35$,精度等级好; C 小于 0.5,精度等级合格; $C<0.65$,精度等级基本合格。

4.1.1.3 模型拟合和预测

在构建模型后得到模型拟合值以及最近 12 期

的预测值,由于灰色预测模型更适合做中短期预测,故选取近 6 期预测值(表 9),即灰色 GM(1,1)模型预测出 2021—2025 年规上工业企业工业总产值(X_5)的预测值分别为 2 175.427、2 281.660、1 390.603、2 502.323 以及 2 616.892 亿元。表 9 为预测值,拟合图(图 1)显示,数据原始值和预测值的拟合效果较好。

表 9 模型预测值 单位:亿元

序号	原始值	预测值
1	11 199.840	11 199.840
2	14 283.480	15 399.358
3	16 926.490	16 676.800
4	18 982.470	17 992.075
5	20 015.880	19 349.364
6	20 333.980	20 746.883
7	21 837.610	22 186.885
8	23 825.180	23 670.662
9	25 192.360	25 199.545
10	26 623.110	26 774.904
向后 1 期	—	28 398.153
向后 2 期	—	30 070.747
向后 3 期	—	31 794.186
向后 4 期	—	33 570.016
向后 5 期	—	35 399.830
向后 6 期	—	37 285.269

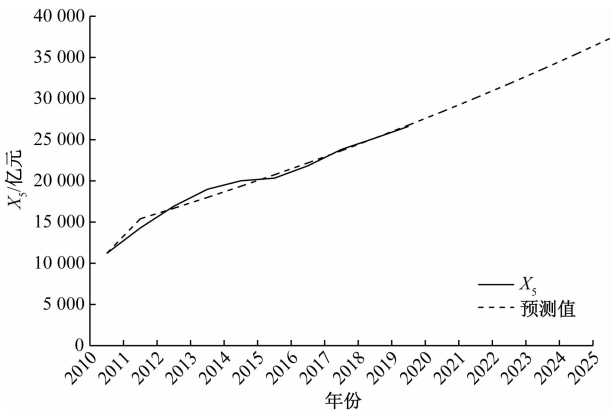


图 1 模型拟合图

4.1.1.4 模型残差检验

灰色 GM(1,1)模型预测的最后一个步骤是模型残差检验,称事后多重比较法,①比较相对误差值;②比较级比偏差值。利用残差值绝对值与原始值的比值计算出相对误差值,当相对误差值小于 20%时证明拟合良好,该模型相对误差值最大为 7.812% < 20%,表明拟合效果达到较高要求。一般情况下,级比偏差值小于 0.2 即达到要求,模型级比偏差值最大为 0.192 ≤ 0.2,达到模型拟合效果要求。该模型通过模型残差检验,具体见表 10。

表 10 GM(1,1)模型检验结果

序号	残差	相对误差/%	级比偏差
1	0.000	0.000	—
2	-1 115.878	7.812	0.192
3	249.690	1.475	0.130
4	989.395	5.212	0.081
5	666.516	3.330	0.023
6	-412.903	2.031	-0.014
7	-349.275	1.599	0.041
8	154.518	0.649	0.056
9	-7.185	0.029	0.026
10	-151.794	0.570	0.025

4.1.2 时间序列模型

对 2010—2019 年规上工业企业工业总产值(X_5)数据绘制散点图(图 2),根据图 2 显示, X_5 在 2010 年起的 10 年间整体呈上升趋势,即未来规上工业企业工业总产值会继续呈上升趋势。

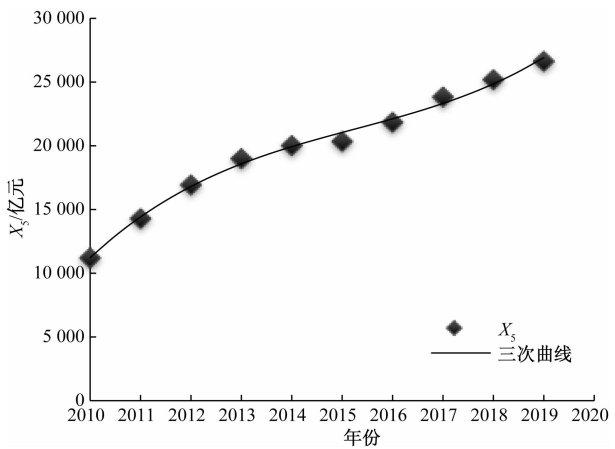


图 2 2010—2019 年陕西省规上工业企业工业总产值(X_5)

运用 SPSS 拟合各点变化趋势,拟合值 R^2 最大为 0.994,为三次拟合的结果,即表明该时间序列更符合三次曲线增长趋势(结果见图 2),适合进行时间序列模型分析,由于本文使用的数据是年度数据,因此不做季节性分析,构建传统时间序列预测模型,运用专家建模器自动选择最优的预测模型为 Brown 模型,预测结果见表 11。

表 11 2021—2025 年陕西省规上工业企业工业总产值(X_5)

年份	规上工业企业总产值/亿元
2021	29 484.600
2022	30 915.345
2023	32 346.090
2024	33 776.835
2025	35 207.580

4.1.3 最优模型选择

本文选择了灰色 GM(1,1)模型和时间序列模型分别对 2021—2025 年规上工业企业工业总产值(X_5)进行了预测,为了确保预测效果最优,对两种预测模型的均方根误差(RMSE)值进行比较,灰色 GM(1,1)模型的 RMSE 值为 1 752.177,时间序列模型的 RMSE 值等于 676.99,依照均方根误差值越小,预测模型越优的原则,选取时间序列模型对 2021—2025 年规上工业企业工业总产值(X_5)的预测结果。

4.2 科技人才需求的神经网络模型预测分析

将时间序列模型预测的 2021—2025 年规上工业企业工业总产值(X_5)作为输入值,输入 MATLAB 软件进行神经网络训练。BP 神经网络模型是一种常见数学模型,通过构建类似于大脑神经突触联接结构进行信息处理,处理过程包括输入层、隐含层和输出层。本文所构建的 BP 神经网络模型中输入层为陕西省规上工业企业工业总产值(X_5),输出层为陕西省 R&D 人员存量(Y)这一变量,隐含层

的个数根据公式 $\sqrt{m+n}+\alpha$ 确定,其中 m 和 n 分别为输入和输出层的变量数, α 为区间 $[1,10]$ 的常数,且 α 最小大于输入层即 $\alpha \in [2,10]$,即本模型的隐藏层个数在区间 $[3,11]$ 。训练结果显示,隐藏层数为 11 时网络训练均方误差(MSE)等于 0.047 128,预测效果最优。BP 神经网络模型如图 3 所示。

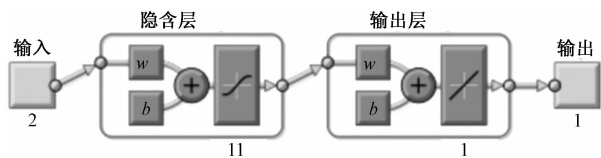


图 3 BP 神经网络模型

BP 神经网络做预测没法还原 100%一样的结果,故需要对输入的数据进行多次训练并取多次训练结果的平均值为最终预测值,取多次结果的平均值能够有效避免某次训练结果的特殊性。本次预测选取 10 次较好的训练结果,并取平均值作为 2021—2025 年陕西省 R&D 人员存量(Y)预测值最终结果,见表 12。

表 12 BP 神经网络 10 次训练结果及平均值 单位:人

年份	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	第 6 次	第 7 次	第 8 次	第 9 次	第 10 次	平均值
2021	193 820	193 740	178 610	204 100	173 950	196 580	219 270	202 060	173 790	178 180	191 410
2022	196 230	200 660	188 920	206 830	175 230	212 940	223 020	208 540	175 530	178 820	196 672
2023	197 870	206 840	201 210	207 300	177 220	228 020	223 890	220 750	178 830	179 100	202 103
2024	198 790	212 610	214 690	207 400	180 020	244 320	224 100	247 520	183 140	179 370	209 196
2025	199 010	217 390	228 290	207 440	183 660	262 250	224 170	279 760	187 410	179 750	216 913

5 结论和建议

5.1 结论

本文创建时间序列-BP 神经网络组合模型对 2021—2025 年陕西省 R&D 人员存量进行预测,得出以下结论:

1)规上工业企业总产值(X_5)能够有效预测陕西省科技人才需求。通过 Granger 检验得出陕西省 R&D 人员存量的格兰杰原因为陕西省 GDP(X_0)、第三产业增加值(X_2)和规上工业企业总产值(X_5),但陕西省 GDP 和第三产业增加值存在共线性,规上工业企业总产值对陕西省科技人才需求进行预测效果更佳。

2)与灰色 GM(1,1)模型相比,时间序列模型对规上工业企业工业总产值(X_5)的预测精度更高。通过对 GDP 等经济指标与陕西省科技人才需求的相关性进行筛选后得出 X_5 能够解释科技人才 90.7%的变化。分别采取灰色 GM(1,1)模型和时间序列模型对 2021—2025 年规上工业企业工业总

产值(X_5)进行预测,根据模型的 RMSE 值越小,预测精度越高的原则,选择时间序列模型,有效地提高了预测精度。

3)陕西省科技人才需求预估以指数趋势上升。本文构建了时间序列-BP 神经网络组合模型对陕西省科技人才需求进行预测,充分利用了时间序列模型和 BP 神经网络的优势,丰富了人才需求预测方法。时间序列模型预测得出 X_5 在 2021—2025 年以三次曲线趋势增长至 35 207.58 亿元,BP 神经网络模型预测得出对陕西省科技人才需求自 2021 年起以指数趋势显著上升,到 2025 年增至 26.7 万人。

5.2 建议

1)关注陕西省重点产业,助力科技人才蓬勃发展。根据 Granger 因果关系检验的原理和结果,陕西省经济发展、服务业和商业发展以及工业发展会对科技人才需求产生影响。为了适应科技人才需求增长,需要结合陕西省各区域产业发展现状,关

注重点产业发展,促进各区域优势产业和优质人才蓬勃发展。

2)完善陕西省科技人才管理方案,缓解人才管理压力。时间序列-BP 神经网络组合模型预测得出陕西省科技人才需求会呈指数趋势增长,将给陕西省科技人才管理带来较大的压力,在积累科技人才存量的基础上,统筹科技资源,积累科技人才存量,充分激发其创新活力,克服关键环节和重点领域技术难关,从而解决“卡脖子”难题。

3)加大力度建设“秦创原创新驱动平台”,助力创新驱动发展战略。随着陕西省经济和社会发展,科技人才存量得到积累,科技人才创新活力有所激发,在此坚实的发展基石上,充分利用科技人才的高精尖技能和创新能力对创新驱动发展起着举足轻重的作用。具有陕西省产业发展特点的“秦创原创新驱动平台”是陕西省科技人才充分利用的新思路。合理有效地利用好这个创新驱动平台,做到科技人才发展和陕西省经济社会发展的相互促进,助推未来陕西省高质量发展。

Forecasting the Aem and Quantity of Science and Technology Talents in Shaanxi Province under the Combination Model

LUO Jing, QU Jingwen, YANG Ruijuan

(School of Economics and Management, Xi'an Shiyou University, Xi'an 710065, China)

Abstract: Based on the development status of scientific and technological talents in Shaanxi Province, using the dynamic data of statistical year-book, combined with Granger causality test and stepstep regression analysis, the prediction model of time series and BP neural network is established to predict the demand for scientific and technological talents in Shaanxi Province from 2021 to 2025. The results show that compared with the grey GM (1,1) model, the time series model can predict the total industrial output value more accurately. The total output value of regulated industrial enterprises in Shaanxi province can effectively predict the demand for scientific and technological talents in Shaanxi Province. The demand for scientific and technological talents in Shaanxi province will increase exponentially and reach 267 000 by 2025. In order to fully stimulate the innovation potential of scientific and technological talents, suggestions are put forward from three aspects: paying attention to key industries in Shaanxi Province, improving the management plan of scientific and technological talents in Shaanxi Province and making full use of them.

Keywords: technology talents; Granger causality test; GM(1,1) model; BP neural network model

参考文献

[1] 姚娟,刘鸿渊,刘建贤. 科技创新人才区域性需求趋势研究:对四川、陕西、上海的预测与比较分析[J]. 科技进步与对策,2019,36(14):46-52.

[2] 李晓,张庆华. 基于 ARIMA 模型的黑龙江创意产业人才需求预测研究[J]. 科技管理研究,2016,36(18):122-125.

[3] 赵东旭. 基于趋势外推法的吉林省英语旅游人才需求预测及培养对策[J]. 职业技术教育,2015,36(20):13-16.

[4] 杨俊生,薛勇军. 基于 BP 神经网络模型的东盟自由贸易区人才需求趋势预测:兼议云南省的应对措施[J]. 学术探索,2014(4):83-87.

[5] 李锡元,王艳姣. 重点产业海外高层次人才需求研究:以湖北省汽车和钢铁产业为例[J]. 科技进步与对策,2014,31(8):135-139.

[6] 杨焕海. 人才需求组合预测的建模与仿真分析[J]. 计算机仿真,2013,30(10):253-256.

[7] 瞿群臻,王嘉吉,唐梦雪,等. 基于组合模型的“十四五”期间中国科技人才需求预测[J]. 科技管理研究,2021,41(21):129-135.

[8] 谭凯,汪文生,张利,等. 基于多元回归-灰色预测组合方法的煤炭行业人才需求预测[J]. 煤炭工程,2019,51(3):151-154.