

# 基于灰色理论和多元回归分析方法的 江苏交通技能人才需求预测

金晓雯<sup>1</sup>, 陈 静<sup>2</sup>, 陆春其<sup>3</sup>

(1. 南京交通职业技术学院 继续教育学院, 江苏 南京 211188;

2. 南京交通职业技术学院 江苏省交通节能减排工程技术研究中心, 江苏 南京 211188;

3. 南京交通职业技术学院 院长办公室, 江苏 南京 211188)

**摘 要:**为科学预测江苏交通技能人才需求,运用灰色理论和多元回归分析方法,构建交通技能人才预测模型。预测结果表明,随着经济增长、交通运输投入持续增大,江苏省交通运输基础设施不断完善,客运和货运能力不断增强,交通运输管理、建设、研发等的人才需求总量也在逐年增加。“十四五”期间,江苏交通运输需求人数增长 8 万余人,至 2025 年,交通人才需求总量约为 64 万人。经检验分析,预测模型具有较高的精度,可为构建交通技能人才培养体系提供理论参考。

**关键词:**灰色预测模型;多元回归分析方法;交通运输行业;人才需求预测

中图分类号:F512

文献标志码:A

文章编号:2097-0358(2022)3-0055-07

## 0 引言

交通运输行业转型需要依靠总量充足、结构合理、素质优良、分布优化的人才队伍。江苏省交通运输建设发展快速,到“十三五”末期,全省综合交通网络得到优化完善,今后将加快交通强省建设,大力推进交通高质量发展。目前,行业人才总量与任务总量已经出现不协调、不平衡等问题,行业多领域人才严重不足,难以满足全省交通运输当前和未来的发展需求。国内外学者运用灰色理论<sup>[1-5]</sup>、BP 神经网络<sup>[6-7]</sup>、多元回归<sup>[8-11]</sup>等方法对人才需求预测开展了大量研究工作,为人才培养与储备奠定了良好的理论基础。由于交通运输行业具有复杂性和不确定性,要对该行业人才需求进行准确预测,面临较大挑战。有鉴于此,本研究以整体视角,提出一种基于灰色理论和多元回归的交通技能人才预测模型,定量预测江苏省交通技能人才需求总量。

## 1 交通技能人才需求预测方法选择

### 1.1 灰色系统理论

(1)灰色系统理论简介。灰色系统理论由邓聚龙教授于 1982 年创建,是一种处理数据缺失、信息不确定性问题的方法,通过提取已知小样本的有价值信息,研究不确定系统的运行关系与演化机理。<sup>[12]221-224</sup>该理论在农业、交通等领域得到较深入的研究和应用,有效解决了生产、生活和科学研究中的大量实际问题。

(2)灰色预测模型。灰色预测通过关联分析研究系统发展趋势的相异度,对已知数据进行处理来探索系统发展规律,形成有规律的数列,构建微分方程模型,以此预测系统发展趋势。灰色预测模型简称为 GM(grey models)模型,GM(1  $n$ )表示一阶的  $n$  个变量的微分方程型预测模型。

输入  $n$  个变量的数列:

$$X^{(0)} = \{X_{(t_1)}^{(0)}, X_{(t_2)}^{(0)}, X_{(t_3)}^{(0)}, \dots, X_{(t_n)}^{(0)}\} \quad (1)$$

对  $X^{(0)}$  进行累加,得到:

$$X^{(1)} = \{X_{(t_1)}^{(1)}, X_{(t_2)}^{(1)}, X_{(t_3)}^{(1)}, \dots, X_{(t_n)}^{(1)}\} \quad (2)$$

$$\text{其中 } X_{(t_i)}^{(1)} = X_{(t_i)}^{(0)}, X_{(t_i)}^{(1)} = \sum_{j=1}^i X_{(t_j)}^{(0)} (i = 1, 2, \dots, n)$$

收稿日期:2022-07-15

基金项目:江苏省交通运输职业教育行业指导委员会江苏省交通运输职业教育研究课题(2020001)

作者简介:金晓雯(1983—),女,江苏常州人,南京交通职业技术学院继续教育学院助理研究员,硕士。

建立微分方程,即

$$\frac{dX^{(1)}}{dt} + aX^{(1)} = u \quad (3)$$

式(3)中  $\mu$  为发展系数  $\mu$  为内生控制灰数。

按照最小二乘法估计参数,则有

$$\hat{a} = (B^T B)^{-1} B^T Y_1$$

$$B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}(X_{(t_1)}^{(1)} + X_{(t_2)}^{(0)}) & 1 \\ -\frac{1}{2}(X_{(t_2)}^{(1)} + X_{(t_3)}^{(0)}) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -\frac{1}{2}(X_{(t_{n-1})}^{(1)} + X_{(t_n)}^{(0)}) & 1 \end{bmatrix}$$

$$Y_1 = (X_{(t_2)}^{(0)}, X_{(t_3)}^{(0)}, \dots, X_{(t_n)}^{(0)})^T$$

求解微分方程(3),得到预测模型为:

$$X_{(t+1)}^{(0)} = (X_{(t_1)}^{(0)} - \frac{u}{a})e^{-at} + \frac{u}{a} \quad (4)$$

(3)精度分析。灰色预测模型构建后须开展精度检验,检验标准如表 1 所示。

表 1 精度检验等级参照表

精度等级	一级(优)	二级(良)	三级(合格)	四级(不适用)
相对误差	0.01	0.05	0.10	0.20

按照灰色理论可知,当  $-a \leq 0.3$  时,GM(1,1)模型适用于中长期预测;当  $0.3 < -a \leq 0.5$  时,GM(1,1)模型适用于短期预测;当  $0.5 < -a \leq 0.8$  时,慎用于短期预测;当  $0.8 < -a \leq 1$ ,应采用 GM(1,1)残差修正模型;当  $-a > 1$  时,不适宜采用 GM(1,1)模型。

## 1.2 多元回归分析

(1)多元回归简介。多元回归是建立多个变量之间线性或非线性数学模型数量关系式的统计方法。其中,多元线性回归是研究一个因变量与多个自变量之间线性关系的回归,是反映一种现象或事物的数量随多种现象或事物的数量变化而变化的规律。

(2)参数选择。影响交通运输人才的因素是多方面的、复杂的,借鉴以往研究成果<sup>[13]</sup>,选取公路里程、铁路里程、内河航道通航里程、旅客周转量、货物周转量、港口货物吞吐量、原油管道运输量和邮政运输量等作为影响交通运输人才的因素,运用灰关联分析法筛选交通技能人才需求重要参数。灰色关联度计算步骤如下:

设在研究时期内,有参考序列  $Y = \{y(1), y(2), y(3), \dots, y(n)\}$ ;有比较因素序列  $X_i = \{x_i(1), x_i(2), x_i(3), \dots, x_i(n)\}$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, N$ ),影响因素  $x_i$  在  $K$  点的关联系数  $\varepsilon_i(k)$  为:

$$\varepsilon_i(k) = \frac{\min_i \min_k |y(k) - x_i(k)| + \rho \max_i \max_k |y(k) - x_i(k)|}{|y(k) - x_i(k)| + \rho \max_i \max_k |y(k) - x_i(k)|} \quad (5)$$

式中  $\rho(0 < \rho < 1)$  为分辨系数,用于调控  $\rho \Delta(\max)$  对数据转化的影响  $\rho$  通常取值为 0.5。

(3)模型构建。交通人才需求量( $Y$ )与影响因素( $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8$ )存在相关关系,根据线性回归模型,建立以下关系式:

$$Y = c(1) \times x_1 + c(2) \times x_2 + \dots + c(8) \times x_8 + c \quad (6)$$

式中  $c(1), c(2), \dots, c(8)$  为待估参数,  $c$  为残差。

## 1.3 加权预测

灰色预测模型具有样本量少、便于计算、短期预测精度高、可检验等优点,但预测方式主要适用于单一的指数增长型数列,而现实中因受制于各种影响因素,导致大量数列呈现较大幅度的波动。线性回归模型按照系统发展的连续性与规律性、相关性与因果性,对系统进行预测分析,适用于短期预测。本研究将线性回

归模型与灰色模型进行加权平均组合,以弥补两种预测模型的缺陷与不足,公式如下所示:

$$y_t = \omega_1 y_{1t} + \omega_2 y_{2t} \quad (7)$$

式中  $\omega_1 = \omega_2 = 0.5$   $y_t$  表示第  $t$  时期加权平均预测值  $y_{1t}$  表示第  $t$  时期灰色预测值  $y_{2t}$  表示第  $t$  时期多元回归预测值。

## 2 江苏交通技能人才总量需求灰色预测

### 2.1 历年交通技能人才总量分析

2010—2019年间,江苏省交通运输行业从业人员数从28.21万人波动增长至48.34万人,2010—2012年间与2013—2019年间交通技能人才曲线出现明显的断层,这是由于2013年以后交通运输的统计范围发生了变化,自2013年起江苏交通技能人才数量趋于稳定,如图1所示。2013—2019年间江苏省交通运输行业从业人员结构情况如表2所示。

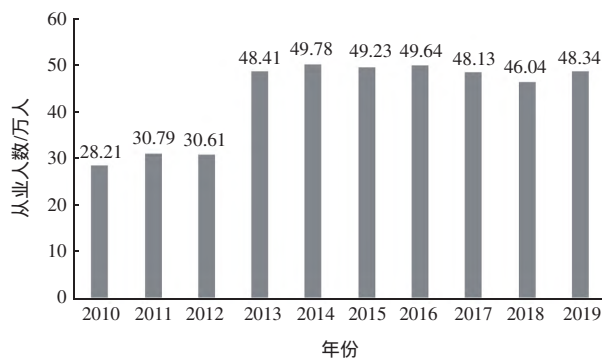


图1 2010—2019年江苏省交通运输行业从业人数

表2 2013—2019年江苏省交通运输行业从业人数

单位:万人

年份	交通运输、 仓储和邮政	铁路 运输业	道路 运输业	水上 运输业	航空 运输业	管道 运输业	装卸搬运和 运输代理业	仓储业	邮政业
2013	48.41	2.33	23.96	7.83	1.34	1.04	3.68	1.79	6.44
2014	49.78	2.42	25.34	8.11	1.32	1.16	3.68	1.76	5.99
2015	49.23	2.33	25.38	7.95	1.46	1.10	3.54	1.86	5.62
2016	49.64	2.32	25.90	7.73	1.58	1.06	3.42	1.92	5.71
2017	48.13	2.39	25.19	7.17	1.52	0.99	3.23	1.91	5.72
2018	46.04	2.01	24.67	6.21	1.51	0.87	1.96	3.66	5.15
2019	48.34	6.40	23.36	5.17	1.68	0.75	2.05	4.57	4.36

注:数据来源于江苏统计年鉴(2014—2020)。从2018年开始,江苏统计年鉴将“装卸搬运和运输代理业”“仓储业”两项统计指标变换为“多式联运和运输代理业”“装卸搬运和仓储业”,考虑到这两项指标数值相差较小且难以具体细分,因此表格中未重新按类别作区分。

从图1和表2可以看出,2014年至2016年间全省交通运输行业从业总人数有小幅增加,2014年全省交通运输行业从业总人数最多,2016年至2018年间,行业从业人员总量逐年稍有下降,2018年比2016年减少3.6万人,其中道路运输业减少1.23万人,装卸搬运和运输代理业减少1.46万人。装卸搬运和运输代理业人数的减少与统计指标的调整有关,2018年开始不再将装卸搬运和运输代理业一起统计,而是只统计多式联运和运输代理业的数据部分,2019年,全省交通运输行业中铁路运输业从业人员与2018年相比,同比增长2.2倍,达6.4万人,而在2019年之前,该领域从业人员仅有2万余人,造成该领域从业人员数量增长较大的原因可能是该年度江苏省铁路运输行业的快速发展以及铁路运输专业学生培养数量的增加。

### 2.2 灰色预测结果

基于图1所示的2010—2019年江苏省交通运输人才数据,笔者运用灰色预测模型(1)—(4),预测“十四五”期间江苏省交通技能人才需求量,具体计算步骤如下:

$$X^{(0)} = (28.21, 30.79, 30.61, 48.41, 49.78, 49.23, 49.64, 48.13, 46.04, 48.34)$$

由 1-AGO 得到

$$X^{(1)} = (28.21 \ 59 \ 89.61 \ 138.02 \ 187.8 \ 237.03 \ 286.67 \ 334.8 \ 380.84 \ 429.18)$$

运用 matlab 软件计算参数  $a, u$  ,可得 :

$$a = -0.039 \ 7 \ \mu = 35.986 \ 6$$

得到预测模型 :

$$X_{(t+1)}^{(1)} = (X_{(t)}^{(0)} - \frac{u}{a})e^{-at} + \frac{u}{a} = 934.673 \ 5e^{0.039 \ 7t} - 906.463 \ 5$$

即  $x(T)$  为  $T$  年的人才预测量,  $T$  为年份,  $T > 2010$

$$X_{(T)} = X_{(k)}^{(0)} - X_{(k-1)}^{(1)} = (X_{(t)}^{(0)} - \frac{u}{a}) = -934.973 \ 7(e^{0.039 \ 7(T-2011)} - e^{0.039 \ 7(T-2010)})$$

笔者根据以上模型预测“十四五”期间交通运输人才需求量,如表 3 所示。

年份	2021	2022	2023	2024	2025
预测值	56.292 5	58.571 5	60.942 8	63.410 1	65.977 2

### 2.3 精度分析

将人才需求预测值与实际值进行比较,相对误差如表 4 所示。根据对比及分析数据可知,从 2013 年起,交通运输的统计范围发生了变化,因此 2010 至 2012 年的数据异常。从 2013 年以后的分析数据可知,该模型符合精度要求,而且发展系数  $-a < 0.3$ ,因此其预测是科学可信的。

表 4 GM(1,1)模型人才数据拟合

年份	实际值	拟合值	相对误差	年份	实际值	拟合值	相对误差
2013	48.41	40.98	-0.153 5	2017	48.13	48.03	-0.002 1
2014	49.78	42.64	-0.143 5	2018	46.04	49.97	0.085 4
2015	49.23	44.36	-0.098 8	2019	48.34	52.00	0.075 7
2016	49.64	46.16	-0.070 1				

## 3 江苏交通技能人才需求总量多元回归预测

### 3.1 影响因素选择及历年数据分析

根据表 5 江苏交通技能人才总量及各影响因素的历史数据,利用公式(5)计算各影响因素的灰色关联度,如表 6 所示。

表 5 江苏交通技能人才及各影响因素的历史数据表

年份	影响因素								
	交通运输、 仓储和邮 政业/万人	公路里 程/公里	铁路里 程/公里	内河航道 通航里程/ 公里	原油管道 运输量/ 万吨	邮政运输 量/亿元	旅客周转量/ 亿人公里	货物周转量/ 亿吨公里	港口货物 吞吐量/ 万吨
2010	28.21	150 307	1 908	24 248	9 977	2 194.60	1 604.00	6 111.57	158 977
2011	30.79	152 247	2 348	24 272	10 491	974.30	1 777.80	7 514.00	180 683
2012	30.61	154 118	2 348	24 280	11 730	1 120.37	1 949.80	8 474.63	195 417
2013	48.41	156 094	2 554	24 315	12 617	1 252.18	1 451.14	10 536.84	213 987
2014	49.78	157 521	2 632	24 342	12 749	1 680.80	1 550.60	11 028.50	226 049
2015	49.23	158 805	2 679	23 559	12 881	2 316.49	1 566.40	8 887.71	233 289
2016	49.64	157 304	2 722	24 366	13 828	663.69	1 591.93	8 290.69	241 487
2017	48.13	158 475	2 771	24 366	13 781	880.93	1 659.45	9 726.51	256 976
2018	46.04	158 729	3 033	24 362	14 423	1 050.23	1 692.14	9 684.01	258 469
2019	48.34	159 937	3 539	24 354	14 765	1 426.94	1 736.98	11 114.6	283 111

表6 各因素与交通技能人才的关联度计算结果

因素	公路 里程	铁路 里程	内河航道 通航里程	旅客 周转量	货物 周转量	港口货物 吞吐量	原油管道 运输量	邮政 运输量
关联度	0.780 2	0.722 5	0.713 0	0.666 0	0.689 2	0.609 6	0.697 9	0.658 3

计算结果表明,交通人才需求量与公路里程等8个影响因素都有关联,而且,在这些影响因素中,关联度都超过0.5,说明这些因素都是交通技能人才的影响因子。

### 3.2 多元回归预测结果

根据公式(6),运用Stata软件对因变量和影响变量进行多元回归分析(表7),剔除不具有统计意义的变量,建立交通技能人才需求量与公路里程、旅客周转量、港口货物吞吐量与邮政运输量的四元线性回归人才需求预测模型为:

$$Y = 0.002\ 93x_1 - 0.002\ 679\ 6x_2 - 0.028\ 652\ 6x_3 - 0.000\ 057\ 4x_4 - 351.148\ 6$$

其中  $x_1$  是公路里程  $x_2$  是邮政运输量  $x_3$  是旅客周转量  $x_4$  是港口货物吞吐量。

表7 多元回归分析结果

自变量	系数	标准差	t	$P >  t $
$x_1$	0.002 93	0.000 5	5.46	0.003
$x_2$	-0.002 679 6	0.000 9	-3.03	0.029
$x_3$	-0.028 652 6	0.003 3	-8.77	0
$x_4$	-0.000 057 4	0.000 04	-1.28	0.258
c	-351.148 6	75.627 9	-4.64	0.006
R-squared	0.9 901			
Prob > F	0.0 000			

根据公路里程、旅客周转量等指标的预测值,预测“十四五”期间交通运输人才需求量,结果如表8所示。

表8 江苏交通技能人才需求量预测结果

年份	公路里程/ 公里	旅客周转量/ 亿人公里	港口货物 吞吐量	邮政运输量/ 亿元	交通运输人才 需求量/万人
2021	161 981.77	1 614.453 5	310 555.049 9	1 248.51	56.03
2022	162 825.37	1 606.361 2	326 435.041 5	1 246.14	57.83
2023	163 673.35	1 598.309 5	343 127.044 2	1 243.77	59.59
2024	164 525.76	1 590.298 2	360 672.579 5	1 241.40	61.32
2025	165 382.60	1 582.327 0	379 115.292 1	1 239.04	63.00

### 3.3 精度分析

表8中 R-squared 表示回归函数的可决系数,若 R-squared=1,则表示回归拟合效果达到最优状态;若 R-squared = 0,则表示回归拟合效果极差。表8显示,决定系数值(R-squared)为0.9 901,拟合度好。Prob > F = 0,说明回归结果具有解释力。从表9和图2可以看出,交通技能人才总量变化趋势与拟合曲线走势非常相似,相对误差极小,进一步说明了该回归函数拟合效果好。

表9 交通技能人才需求预测模型相对误差

年份	真实值	拟合值	相对误差	年份	真实值	拟合值	相对误差
2010	28.21	28.29	0.002 7	2015	49.23	49.67	0.008 9
2011	30.79	31.01	0.007 3	2016	49.64	48.50	-0.023 0
2012	30.61	30.33	-0.009 1	2017	48.13	48.52	0.008 2
2013	48.41	48.99	0.012 0	2018	46.04	47.79	0.038 1
2014	49.78	48.48	-0.026 1	2019	48.34	47.62	-0.014 8



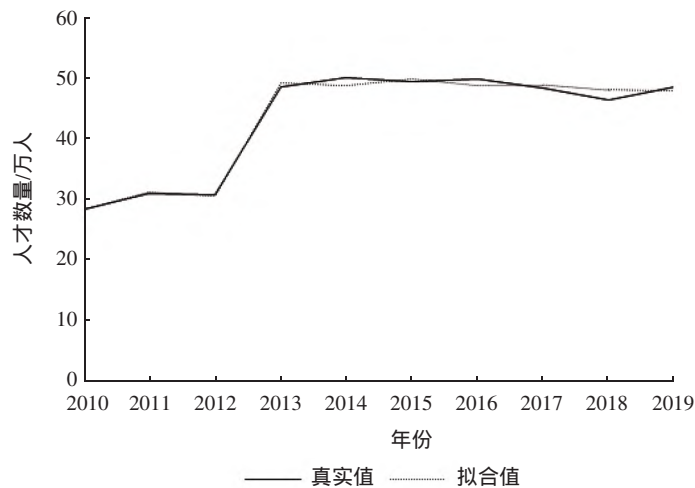


图2 交通技能人才需求预测模型拟合度曲线

#### 4 江苏交通技能人才需求加权预测

##### 4.1 加权计算结果

运用公式(7),计算加权预测值如表10所示。预测结果表明,随着经济增长、交通运输投入持续增大,江苏省交通运输基础设施不断完善,客运和货运能力也不断增强,运输量逐年增多,交通运输管理、建设、研发等需求的人才总量也在逐年增加。在“十四五”期间江苏省交通技能人才需求量增长8万余人,至2025年,交通技能人才需求量约为64万人。

表10 加权组合交通技能人才需求量预测值

年份	灰色预测结果	回归预测结果	加权预测结果	年份	灰色预测结果	回归预测结果	加权预测结果
2021	56.29	56.03	56.16	2024	63.41	61.32	62.37
2022	58.57	57.83	58.20	2025	65.98	63.00	64.49
2023	60.94	59.59	60.27				

##### 4.2 精度分析

鉴于2013年后江苏省交通技能人才统计范围发生了变化,笔者选取2013—2019年间江苏省交通运输行业人才总量数据进行预测,加权预测值与实际值相对误差如表11所示。从图3和表11可以看出,交通运输人才总量变化与拟合曲线较为吻合,相对误差小,表明加权预测结果科学可靠。

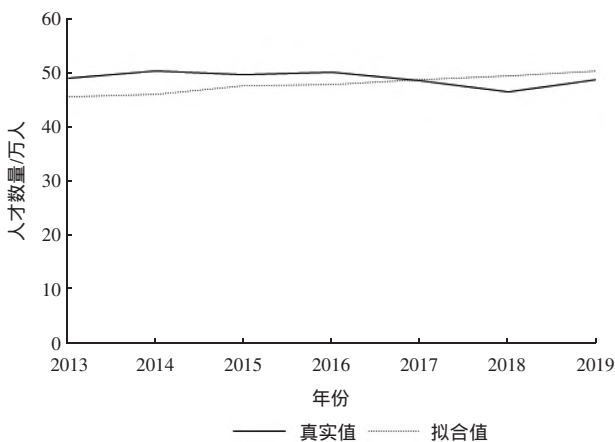


图3 交通技能人才需求预测模型拟合度曲线

表11 交通技能人才加权预测数据拟合

年份	真实值	拟合值	相对误差
2013	48.41	44.985	-0.070 7
2014	49.78	45.56	-0.084 8
2015	49.23	47.015	-0.045 0
2016	49.64	47.33	-0.046 5
2017	48.13	48.275	0.003 0
2018	46.04	48.88	0.061 7
2019	48.34	49.81	0.030 4

## 5 结束语

当前江苏省交通技能人才总量较为稳定,但随着交通建设任务的快速增长、交通发展方式的深度转型、交通服务质量的持续提升,对智慧交通、绿色交通、现代物流等专业技能人才的需求都会增加,使得现有人才总量难以满足交通运输事业发展的需要。本研究运用灰色预测和多元回归分析方法,构建交通技能人才预测模型,经模型量化测算可知,“十四五”期间江苏省交通技能人才需求量增长8万余人,至2025年,交通技能人才需求量约为64万人。通过精度分析,验证了预测模型的科学与可靠性。此方法可应用于交通运输行业人才培养与规划的实际工作中,为建立多领域、多层次的交通技能人才保障体系提供理论依据。

## 参考文献:

- [1]李慧英.基于灰色理论的长三角生物医药产业人才需求预测研究[J].江苏科技信息,2021(27):21-23.
- [2]江楠.芜湖市南陵县农村物流人才需求预测——基于灰色GM(1,1)模型[J].现代商业,2021(4):61-63.
- [3]白旭光.基于灰色系统理论的风险投资人才需求预测研究——以山西省为例[J].系统科学学报,2017(4):67-69.
- [4]刘思峰,杨英杰.灰色系统研究进展(2004—2014)[J].南京航空航天大学学报,2015(1):1-18.
- [5]江瑜,周志英.基于灰色系统理论的金融业人才需求预测[J].企业经济,2009(1):56-58.
- [6]雷明佳,孙钰涵,何欣远,等.基于BP神经网络的我国“卓越农林”人才需求预测与分析[J].现代商业,2020(20):68-69.
- [7]沈钰,韩永强.技术技能人才需求预测模型及其检验——基于BP神经网络视角[J].当代职业教育,2020(2):72-78.
- [8]陈燕莹,黑启明,刘春平,等.海南省大健康产业人才需求多元回归预测模型的构建——基于主成分分析与趋势外推组合预测法的视角[J].中国市场,2017(29):101-107.
- [9]熊远南.基于改进灰色-多元回归组合预测模型的燃煤电厂智慧水务研究[J].化工进展,2020(S2):393-400.
- [10]孙红严,马德新.基于多元回归分析的温室茶树腾发量预测模型[J].江西农业学报,2020(7):112-116.
- [11]刘军航,任达.影响税收因素的多元回归分析及预测[J].甘肃科学学报,2020(1):129-136.
- [12]邓聚龙.灰理论基础[M].武汉:华中科技大学出版社,2003.
- [13]黄樱.中原经济区新形势下河南省交通运输人才需求预测研究[D].西安:长安大学,2012.

(责任编辑:范可旭)

# Prediction of the Demand for Skilled Talents in Jiangsu Transport Industry Based on Gray Theory and Multiple Regression Analytical Method

JIN Xiao-wen<sup>1</sup>, CHEN Jing<sup>2</sup>, LU Chun-qi<sup>3</sup>

(1. School of Continuing Education, Nanjing Vocational Institute of Transport Technology,  
Nanjing 211188, China;

2. Jiangsu Transport Energy Saving and Emission Reduction Engineering Technology Research Center,  
Nanjing Vocational Institute of Transport Technology, Nanjing 211188, China;

3. President Office, Nanjing Vocational Institute of Transport Technology, Nanjing 211188, China)

**Abstract:** In order to scientifically predict the demand for skilled talents in Jiangsu transport industry, a prediction model of skilled talents in Jiangsu transport industry is constructed by using gray theory and multiple regression analysis method. The prediction results show that with the economic growth and continuous increase of transport investment, the transport infrastructure in Jiangsu Province has been improved and the passenger and freight transport capacity has been enhanced, and the total demand for talents in transport management, construction and research and development has been increasing year by year. During the “14<sup>th</sup> Five-year Plan” period, the demand for talents in Jiangsu will increase by more than 80,000, and by 2025, the total demand for transport talents will be about 640,000. After testing and analyzing, the prediction model is of high-level accuracy and can provide theoretical reference for constructing the talents cultivation system for Jiangsu transport industry.

**Key words:** gray prediction model; multiple regression analysis method; transport industry; talent demand prediction