

程,严格按照新工艺、新技术执行,加强环境保护、节约能源。通过大数据动态管理系统中的生产管理系统、自动喷淋系统、自动张拉系统和自动测温养护系统将梁场各工艺中所有数据进行归结、统计并进行分析,发现生产过程中的问题,及时对现场的生产进行指导,保证质量的同时可以做到追溯。现场生产过程中的全自动钢筋剪切弯曲机,支座板防空鼓装置和压浆封气罩的利用,针对各工艺进行技术革新,可更好地保证质量。

参考文献:

[1] TZ 203 – 2008 客货共线铁路桥涵工程施工技术指南[S].  
TZ 203 – 2008 Technical Guide for Construction of Bridge and Culvert of Passenger and Cargo Common Line Railway [S].

[2] TB/T 3193 – 2016 铁路工程预应力筋用夹片式锚具、夹具和连接器[S].  
TB/T 3193 – 2016 Prestressed Tendons with Clip Type Anchorage, Fixture and Connector of Railway Engineering [S].

[3] TB 10424 – 2010 铁路混凝土工程施工质量验收标准[S].

TB 10424 – 2010 Acceptance Standard for Construction Quality of Railway Concrete Engineering [S].

[4] TB 10752 – 2010 高速铁路桥涵工程施工质量验收标准[S].  
TB 10752 – 2010 Acceptance Standard for Construction Quality of High Speed Railway Bridge and Culvert [S].

[5] JGJ 107 – 2016 钢筋机械连接技术规程[S].  
JGJ 107 – 2016 Technical Specification for Mechanical Connection of Steel Bar [S].

[6] TB 10005 – 2010 铁路混凝土结构耐久性设计规范[S].  
TB 10005 – 2010 Design Specifications for Railway Concrete Structure Durability [S].

[7] TB/T 3192 – 2008 铁路后张法预应力混凝土梁管道压浆技术条件[S].  
TB/T 3192 – 2008 Technical Conditions for Railway Post Tensioning Prestressed Concrete Pipe Grouting [S].

[8] TB/T 3432 – 2016 高速铁路预制后张法预应力混凝土简支梁[S].  
TB/T 3432 – 2016 Prefabricated Post Tensioned Prestressed Concrete Simply Supported Beam of High Speed Railway [S].

(编辑:车晓娟 苏玲梅)



(上接第 70 页)

[12] 郝文化,叶裕名,刘春山. ANSYS 土木工程应用实例[M]. 北京:中国水利水电出版社,2005.  
HAO Wenhua, YE Yuming, LIU Chunshan. ANSYS Application Examples for Civil Projects[M]. Beijing: China Waterpower Press, 2005.

[13] 杨新文,宫全美,周顺华,等. 高速列车作用下双块式无砟轨道与路基垂向耦合振动分析[J]. 铁道学报, 2014,36(8):75 – 83.  
YANG Xinwen, GONG Quanmei, ZHOU Shunhua, et al. Analysis on Vertical of Coupled Double – block Ballastless Track and Subgrade System under High – speed Train Running. [J]. Journal of the China Railway Society, 2014,36(8):75 – 83.

[14] 孙立. 武广客运专线双块式无砟轨道设计[J]. 铁道标准设计, 2006(S1):155 – 158.  
SUN Li. Design of Doule-block Ballastless Track of Wuhan –

Guangzhou Passenger Dedicated Line[J]. Railway Standard Design, 2006(S1):155 – 158.

[15] 崔国庆. 双块式无砟轨道合理刚度取值研究[J]. 铁道建筑,2009, 49(9):93 – 96.  
CUI Guoqing. Research on Reasonable Stiffness Value of Double – block Ballastless Track [J]. Railway Engineering, 2009, 49 ( 9 ): 93 – 96.

[16] 赵坪锐,刘学毅,杨荣山,等. 双块式无砟轨道温度荷载取值方法的试验研究[J]. 铁道学报,2016,38(1):92 – 97.  
ZHAO Pingrui, LIU Xueyi, YANG Rongshan, et al. Experimental Study of Temperature Load Determination Method of Bi-block Ballastless Track[J]. Journal of the China Railway Society, 2016, 38(1):92 – 97.

(编辑:赵立红 白雪)

文章编号: 1674—8247(2018)04—0099—04

## 城际铁路列车开行对数与客运量变化的灰色关联分析

王克楠 褚海林

(广东省铁路建设投资集团有限公司, 广州 510000)

**摘要:**为增加城际铁路列车客运量,改善运输企业经营效益,本文通过分析列车客运量影响因素,利用灰色关联理论建立城际铁路列车开行对数与客运量变化的影响程度模型,通过计算灰色关联度量化分析因素间紧密程度,并从企业运输效益的角度评价关联度结果。最后以珠三角城际铁路为研究案例,实际分析列车开行对数增加对客运量变化的影响,为铁路运输经济效益分析和列车开行方案优化提供科学依据。

**关键词:**客运量; 影响因素; 城际铁路; 列车开行对数; 关联分析

中图分类号: U292.4

文献标志码: A

### Grey Correlation Analysis between Operation Number of Intercity Trains and Change of Passenger Volume

WANG Kenan CHU Hailin

(Guangdong Provincial Railway Construction Investment Group Co., Ltd., Guangzhou 510000, China)

**Abstract:** In order to increase the passenger volume of intercity railway trains and improve the operating efficiency of transportation enterprises, through the analysis of factors affecting the passenger volume of trains, by means of the Gray Correlation Theory, establishing the model of influence degree between number of intercity trains and change of passenger volume, the degree of closeness between factors is quantified by calculating grey correlation, the result of grey correlation is evaluated from the angle of enterprise transportation benefit. Taking the Pearl River Delta intercity railway as the background, the paper analyzes the influence of train number increase on passenger volume, provides a scientific basis for the economic benefit analysis of railway transportation and optimization of train operation plan.

**Key words:** passenger volume; influence factor; intercity railway; train operation number; correlation analysis

### 1 城际铁路客运量影响因素分析

铁路运输客运量的影响因素众多。旅客出行需求是影响铁路客运量的重要因素,包括购买能力、时间成本、出行目的、个人偏好等;此外,运输企业所能够提供的客运服务质量也对铁路客运量产生直接影响,包括安全、便捷、准时、舒适和经济等特性。

城际铁路是指连接相邻城市的客运铁路系统,一般在城市群或城市地带中建设,路线总里程比较短,只提供旅客运输服务,以运营多班次城际列车为主,是服

务于相邻城市间或城市群快速、便捷的交通设施,与国家干线铁路的主要不同之处在于其更加强调相邻城市或城市中间地区的可达性。影响城际铁路客运量的主要因素可归纳为密度、速度、票价和服务。

#### (1) 密度

列车开行密度越高,为旅客提供的便捷程度就越高,更能体现“到站即走”的便捷性运输需求。城际铁路列车开行密度的直观指标即为列车开行对数,开行对数越多即密度越高,它是城际铁路便捷性的重要体现,也是影响其客流竞争力的主导因素。

收稿日期: 2017-10-12

作者简介: 王克楠(1991-),男,助理工程师。

引文格式: 王克楠,褚海林. 城际铁路列车开行对数与客运量变化的灰色关联分析[J]. 高速铁路技术,2018,9(4):99-102.

WANG Kenan, CHU Hailin. Grey Correlation Analysis between Operation Number of Intercity Trains and Change of Passenger Volume[J]. High Speed Railway Technology, 2018, 9(4): 99-102.

(2)速度

随着时间观念的不断增强,旅客对城际铁路快速、准时的要求越来越高。列车速度的提高、旅行时间的缩短,是激发旅客出行需求、特定交通方式吸引客流的重要因素。列车开行速度是出行时间的决定因素,是满足旅客出行需求、最大程度吸引客流的重要条件。

(3)票价

不同购买能力的旅客对于“可接受票价”的衡量标准不同,相比于其他交通方式,城际铁路票价水平不高,可接受程度较大,在稳定客流方面发挥了很大作用。

(4)服务

我国处于综合交通运输一体化大发展的趋势下,在多种运输方式的选择中,客运服务质量在旅客出行选择中所占的比重越来越大。城际铁路在突出其快速、便捷、通达等方面优势的同时,也致力于不断提升服务质量,满足旅客对舒适度的需求。

改善城际铁路客运量需针对上述主要因素采取科学的措施,迎合不同消费层次旅客的直观需求,增强城际铁路运输的旅客吸引力,进而引导出行客流更多向城际铁路运输分化。根据我国铁路运输经验,普遍采取优化线路规划、合理设置站点、提高列车速度、增加列车密度、改进列车配置、提升服务水平、改善换乘条件等措施满足旅客的出行需求。

城际铁路运营具有公交化、小编组、高密度等特点,通常考虑仅设置二等座或无座席别,在已确定列车速度及票价率的情况下,主要以调整列车开行对数来实现其便捷性的功能定位。

2 灰色关联分析

灰色系统是指目标对象整体内部同时存在已知和未知部分的系统结构,可将系统内能够明确获得的表示为“白”,无法确定的表示为“黑”,而部分已知的表示为“灰”。从本质上来说,灰色关联分析指的是某几类事物之间的不确定性关系,基于各对象因子间的几何曲线表现状况来研究其相关程度,也可以理解为对目标系统整体趋势的研究,其分析结果具有非常广泛的实用性。

2.1 基本特征

从量化角度来看,灰色关联分析包含以下特征:

(1)总体性

从表面看,以量化形式来表述目标系统内不同对象间的紧密程度是该分析的主要任务,但同时它也研究目标因素对某个特定函数偏离远近的程度。两两之间的关联度数值只作为量化指标出现,着重分析的则是其在总体中的排序及位置,将两两之间的量化指标统一于某特定规则中进行比较分析。

(2)非对称性

在客观世界中的因素都存在着错综复杂的关系,例如在同一系统中,A 元素较 B 元素是关系最为紧密的,但 B 元素较 A 元素来说却并不一定,即非对称性。灰色关联分析的这一点特征对于数理统计分析来说有明显的进步。

(3)非唯一性

研究过程与目标对象的各方面因素息息相关,对于不同的数据样本或约束条件,其关联结果也不相同。

(4)有序性

灰色关联分析主要针对数据顺序不能随意调换的离散型函数,若对数据顺序进行调整,则会改变序列分析的性质。

2.2 模型建立

灰色关联分析针对的是样本数据中的系统特征序列(或称参考数列, System Characteristic Sequence)与相关因素序列(或称比较序列, Related Factor Sequence),首先需对二者进行初始化处理,之后才能量化分析二者之间的紧密程度,继而以关联度计算结果大小为基础,展开现实层面的实际意义分析。分析过程模型建立如下。

设系统特征行为序列为:

$$X_0 = (x_0(1), x_0(2), \cdots, x_0(n))$$

$$X_1 = (x_1(1), x_1(2), \cdots, x_1(n))$$

.....

$$X_i = (x_i(1), x_i(2), \cdots, x_i(n))$$

.....

$$X_m = (x_m(1), x_m(2), \cdots, x_m(n))$$

对于  $\epsilon \in (0, 1)$ , 令:

$$\gamma(x_0(k), x_i(k)) = \frac{\min_{i,k} |x_0(k) - x_i(k)| + \rho \max_{i,k} |x_0(k) - x_i(k)|}{|x_0(k) - x_i(k)| + \rho \max_{i,k} |x_0(k) - x_i(k)|} \quad (1)$$

$$\gamma(X_0, X_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \gamma(x_0(k), x_i(k)) \quad (2)$$

则称  $\gamma(X_0, X_i)$  为  $X_0$  与  $X_i$  的灰色关联度,  $\gamma(x_0(k), x_i(k))$  表示在  $k$  处的关联系数, 记为  $\gamma_{0i}(k)$ 。

则灰色关联度量化过程可描述为:

(1)各序列的初值像(或称均值像)

对于初始值(或单位序列)不同的样本,须采取无量纲化处理之后才能将其用于深入研究。本文选取初值化方法处理数据,  $i=0, 1, 2, \cdots, m$ , 下同。

$$X'_i = X_i/x^1(1) = (x'_i(1), x'_i(2), \cdots, x'_i(n)) \quad (3)$$

(2)序列差

求解序列差的表达式为:

$$\Delta_{0i}(k) = |x'_0(k) - x'_i(k)|$$

$$\Delta_{0i} = (\Delta_{0i}(1), \Delta_{0i}(2), \cdots, \Delta_{0i}(n)) \quad (4)$$

(3) 两级最大差与最小差

分别取  $\Delta_{0i} = (\Delta_{0i}(1), \Delta_{0i}(2), \dots, \Delta_{0i}(n))$  中的最大、最小值为两级最大差 (M)、最小差 (m), 表示为:

$$M = \max_i \max_k \Delta_{0i}(k), m = \min_i \min_k \Delta_{0i}(k) \tag{5}$$

(4) 关联系数

关联系数指的是基于各因子序列的几何形状及发展趋势情况, 体现相互关联程度, 其表达式为:

$$\gamma_{0i}(k) = \frac{m + \rho M}{\Delta_{0i}(k) + \rho M}, \rho \in (0, 1), k = 1, 2, \dots, n \tag{6}$$

式中:  $\rho$ ——分辨系数;  $\rho$  值越小则其分辨能力越大。当  $\rho \leq 0.5463$  时, 其分辨能力达到最优, 一般取  $\rho = 0.5$ 。

(5) 关联度

对公式(4)的结果序列求平均值, 所得即为关联度, 其表达式为:

$$\gamma_{0i} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \gamma_{0i}(k) \tag{7}$$

3 城际铁路列车开行对数与客流量变化的灰色关联分析

3.1 灰色关联分析的适用性

增加列车开行对数将会影响企业运输支出, 若不能达到较为理想的客运量增长效果, 则会增加企业负担。故需量化研究列车开行对数与客运量变化之间的关联程度, 以关联度数据为基础来研究是否采取调整列车开行对数。在其关联度较高的情况下, 有针对性地增加列车开行对数来提高客运量, 在关联度不高的情况下, 避免盲目增加列车开行对数造成企业亏损。

在城际铁路运营过程中, 尤其是线路客流培育期间, 列车开行对数的变化与客流量的变化不一定呈完全正比例关系, 可能出现列车开行对数增长率大于或小于客运量增长率的情况, 系统中的“灰”色部分即为二者的关联程度, 适用于灰色系统进行分析。且分析结果可以反映出不同的列车开行方案对城际铁路客流诱发影响的不同程度, 实际指导开行方案优化。

3.2 灰色关联分析方法

灰色关联分析本质上是利用特定的关联顺序, 基于因素间微观或宏观的表现来分析各因素序列的相互作用, 以各对象因子间几何曲线的表现状况来研究其相关程度, 若各曲线之间相互接近且发展趋势一致, 则表明其相关程度较大。该方法不必依赖大量的样本数据或是明显的分步规律, 还能对数理统计过程中存在的不足进行修正。

本文将列车开行对数作为系统相关因素变量, 将客运量作为系统行为变量, 通过计算列车开行对数与

客运量间的灰色关联度, 量化分析二者之间的紧密程度。同时, 选取特定阈值作为灰色关联度变化平衡点, 以此评价灰色关联度计算数据的实际意义。

4 珠三角城际铁路实例分析

本文以2016年3月正式开通运营的珠三角城际铁路莞惠线、广佛肇线为例, 选取两线开通运营一年期间内(2016年4月~2017年3月)的列车开行对数和客运量等运营资料为原始数据, 利用 MATLAB 分别计算两条线列车开行对数与客运量变化的灰色关联度。在此基础上, 研究城际铁路列车开行对数对客运量变化的影响程度。

4.1 灰色关联度计算

根据城际铁路运营数据归纳整理及关联分析方法中涉及的相关因素获取原则, 选取系统相关因素变量:

莞惠线列车开行对数矩阵:

$$X_1 = [x_1(1), x_1(2), \dots, x_1(12)]$$

广佛肇线列车开行对数矩阵:

$$X_2 = [x_2(1), x_2(2), \dots, x_2(12)]$$

选取与之对应的系统行为变量:

莞惠线客运量矩阵:

$$Y_1 = [y_1(1), y_1(2), \dots, y_1(12)]$$

广佛肇线客运量矩阵

$$Y_2 = [y_2(1), y_2(2), y_2(12)]$$

对序列矩阵  $X_1$  采用初值化方法进行无量纲化处理:

$$X'_1 = X_1 / x_1(1) = \begin{bmatrix} 1 & 1.10 & 0.98 & 1.44 & 1.40 \\ 1.24 & 1.21 & 1.16 & 1.21 & 1.72 & 1.52 \\ 1.44 \end{bmatrix}$$

同理, 对序列矩阵  $X_2$ 、 $Y_1$ 、 $Y_2$  均进行初值化处理, 结果如表1所示。

表1 数据初值化处理结果

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$X'_1$	1	1.10	0.98	1.44	1.40	1.24	1.21	1.16	1.21	1.72	1.52	1.44
$X'_2$	1	1.16	0.96	1.16	1.11	1.13	1.16	1.13	1.16	1.66	0.63	1.16
$Y'_1$	1	0.79	0.54	0.73	0.72	0.63	0.85	0.52	0.59	1.09	1.17	0.78
$Y'_2$	1	0.96	0.77	1.12	1.13	1.18	1.51	1.08	1.15	0.82	0.62	0.99

注: 表4数据仅取计算结果小数点后两位有效数字。

以珠三角城际莞惠线列车开行对数与客运量为例, 计算可得其序列差为:

$$\Delta_{11}(k) = |X'_1(k) - Y'_1(k)| = [0 \quad 0.313 \quad 6 \quad 0.436 \quad 9 \quad 0.714 \quad 2 \quad 0.675 \quad 9 \quad 0.613 \quad 5 \quad 0.363 \quad 1 \quad 0.647 \quad 5 \quad 0.616 \quad 2 \quad 0.625 \quad 6 \quad 0.350 \quad 9 \quad 0.666 \quad 7],$$
  
 $k = 1, 2, \dots, 12$

取  $\Delta_{11}(k)$  中的极大值 (M) 和极小值 (m), 则对于相关因素变量  $X_1$  和系统行为变量  $Y_1$  的极差矩阵即为  $[0.7142 \quad 0]$ 。取  $\rho = 0.5$ , 其关联系数矩阵为:

$$\gamma_{11}(k) = \frac{0 + 0.5 \times 0.7142}{\Delta_{11}(k) + 0.5 \times 0.7142} = [1 \quad 0.5324$$
  
$$0.4497 \quad 0.3333 \quad 0.3457 \quad 0.3679 \quad 0.4958$$
  
$$0.3555 \quad 0.3669 \quad 0.3634 \quad 0.5044 \quad 0.3488]$$

珠三角城际莞惠线列车开行对数矩阵  $X_1$  和客运量矩阵  $Y_1$  的灰色关联度为:

$$\gamma_{11} = \frac{1}{12} \sum_{k=1}^{12} \gamma_{11}(k) = 0.4553$$

同理,计算相关因素变量  $X_1$ 、 $X_2$  和系统行为变量  $Y_1$ 、 $Y_2$  的灰色关联度,得到灰色关联矩阵为:

$$R = \begin{bmatrix} 0.4553 & 0.4582 \\ 0.6696 & 0.7019 \end{bmatrix}$$

即珠三角城际莞惠线列车开行对数与客运量变化的灰色关联度为0.4553,广佛肇线列车开行对数与客运量变化的灰色关联度为0.7019。

4.2 阈值选取

关联度阈值的选取关系到列车开行方案分析结果,根据灰色理论基础知识,结合城际铁路列车客运量影响因素关联水平的计算结果,本文对系统内关联水平阈值进行如下设定。

- (1) 当  $c \geq 0.75$ , 关联水平等级定义为“紧密”;
- (2) 当  $0.5 \leq c < 0.75$ , 关联水平等级定义为“良好”;
- (3) 当  $0.25 \leq c < 0.5$ , 关联水平等级定义为“一般”;
- (4) 当  $0 \leq c < 0.25$ , 关联水平等级定义为“疏远”。

针对列车开行对数进行分析,其结果直观体现为客运量变化程度与开行对数增减幅度的趋势关系,故选取关联水平中值  $c = 0.5$  为灰色关联度变化平衡点阈值对计算结果进行分析,以关联趋势折点为平衡阈值分析二者的相互作用关系。

4.3 结果分析

珠三角城际铁路莞惠线列车开行对数和客运量之间的灰色关联度为 0.4553,小于设定阈值,表明二者关联程度较低。在此关联程度下,列车开行对数变化对客运量变化的影响较弱,若增加列车开行对数,其客运量增长比例可能会低于列车开行对数的增长比例,不能充分发挥增加开行密度对客运量的带动作用,反而可能增加运输亏损。如2017年4月的运营数据显示,珠三角城际莞惠线列车开行对数同比增长58%,而客运量仅上升4%,月度客流的增长比率要远远小于列车开行对数增长率。

珠三角城际铁路广佛肇线列车开行对数和客运量之间的灰色关联度为 0.7019,大于设定阈值,表明二者关联程度较高。在此关联程度下,列车开行对数变化对客运量变化的影响较强,可作为增加客运量的主要措施,此时增加列车开行对数将对客运量的增长将

起到显著作用。如2017年4月的运营数据显示,珠三角城际广佛肇线列车开行对数同比增长11%,客运量上升43%,月度客流的增长比率要远远大于列车开行对数增长率,取得了较好的实际效益。

5 结论

本文利用灰色理论建立将列车客运量作为相关因素序列的关联度分析模型,并将列车开行对数作为系统特征变量,选取关联分析阈值,对珠三角城际铁路莞惠线、广佛肇线的实际运营数据进行分析。不仅能量化反映列车开行密度对客运量的影响程度,还能实际评价增加列车客运量的措施,优先选取关联度高的措施来调整开行方案,最大程度增加城际铁路列车客运量,更好改善运输企业经营效益。

参考文献:

[1] 刘思峰,郭天榜,党耀国. 灰色系统理论及其应用(第二版)[M]. 北京:科学出版社,1999.  
LIU Sifeng, GUO Tianbang, DANG Yaoguo. Gray System Theory and Its Application(Second Edition) [M]. Beijing: Science Press,1999.

[2] 邓连波,刘康妮,刘国欢,等. 京沪、京广高速铁路客流与列车频率关联性分析[J]. 铁道运输与经济,2016,38(8):19-25.  
DENG Lianbo, LIU Kangni, LIU Guohuan, et al. Analysis on Relevance between Passenger Flow and Train Frequency on Beijing-Shanghai and Beijing-Guangzhou High-speed Railways [J]. Railway Transport and Economy, 2016,38(8):19-25.

[3] 宋河. 京沪高速铁路优化运营理论与应用研究[D]. 北京华北电力大学,2015.  
SONG He. Study on Optimization Operation Theory and Application for Beijing-Shanghai High Speed Railway [D]. Beijing: North China Electric Power University,2015.

[4] Talebnejad A, Nadaf A. The Use of Grey System Theoryin Predictingthe Road Traffic Accidentin Fars ProvinceinIran [J]. Australian Journal of Businessand Management Research, 2011, 1(9):18-23.

[5] 贾俊芳,孙晚华,刘华. 城际列车开行方案的客运量预测及评价[J]. 北京交通大学学报,2004,28(6):95-98.  
JIA Junfang, SUN Wanhua, LIU Hua. Traffic Volume Forecast and Evaluation of Intercity Passenger Train Operation [J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2004,28(6):95-98.

[6] TB/T 2967.2-2002 铁路旅客运输服务质量标准.第2部分:列车[S].  
TB/T 2967.2-2002 Quality Standards of Railway Transport Passengers Service - Part 2: train [S].

[7] 刘军. 铁路经济效益的分析研究[J]. 上海铁道科技,2014,36(1):4-5.  
LIU Jun. Analysis and Research of Railway Economic Benefits [J]. Shanghai Railway Science & Technology, 2014,36(1):4-5.

[8] 李瑞,代明睿,李凤姿. 基于灰色关联度的铁路货运量关键影响因素选取方法研究[J]. 铁道货运,2015,33(11):11-14.  
LI Rui, DAI Mingrui, LI Fengzi. Study on Selection Method of Key Influencing Factors of Railway Freight Volume Based on Grey Relational Grade [J]. Railway Freight Transport, 2015,33(11):11-14.

(编辑:刘会娟 苏玲梅)