

文章编号:1671-8879(2015)03-0001-07

基于时间序列分析法的沥青路面使用性能预测

武建民¹,刘大彬²,李福聪¹,王笑风³

(1. 长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710064; 2. 咸阳市规划设计研究院, 陕西 咸阳 712000; 3. 河南省交通规划勘察设计院有限责任公司, 河南 郑州 450052)

摘要:通过分析沥青路面养护维修后使用性能衰变的影响因素,论述了沥青路面养护维修使用性能预测指标及预测模型选择的关键。在此基础上建立了基于时间序列分析法的 ARIMA 模型,对沥青路面养护维修后使用性能进行预测,并结合连霍高速公路商丘—开封段一定时间间隔内的路面行驶使用性能指数(RQI)监测数据对模型进行了验证。研究表明:采用 ARIMA 模型对沥青路面养护维修后使用性能衰变预测,预测初期精度可控制在 5% 左右,并给出了置信宽度为 95% 时预测值的置信区间;随着预测期不断延长,置信区间不断增大即预测精度不断下降,给出了“逐渐淘汰预测期远端样本,植入预测期近端数据”的方法来应对预测精度的下降。

关键词:道路工程;沥青路面;时间序列分析法;使用性能预测;ARIMA 模型

中图分类号:U411 **文献标识码:**A

Performance prediction of asphalt pavement maintenance based on time series analysis

WU Jian-min¹, LIU Da-bin², LI Fu-cong¹, WANG Xiao-feng³

(1. Key Laboratory of Special Area Highway Engineering of the Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 2. Xianyang Urban Planning and Design Institute, Xianyang 712000, Shaanxi, China; 3. Henan Provincial Communications Planning, Survey Design Institute Co Ltd, Zhengzhou 450052, Henan, China)

Abstract: By analyzing the factors which affect performance decay after asphalt pavement maintenance, this paper discussed the performance prediction indicator of asphalt pavement maintenance and the key point of prediction model selection. Then, an ARIMA model based on time series analysis method to forecast the performance after asphalt pavement maintenance was established, and the model was verified by the riding quality index (RQI) monitoring data of the expressway from Shangqiu to Kaifeng within a certain time interval. The results show that, by using ARIMA model to forecast the performance decay after asphalt pavement maintenance, early prediction accuracy can be controlled at about 5%, and the confidence interval of predictive value is given when the width of confidence interval is 95%. With the continual extension of forecast period, the confidence interval increases, that is to say, the prediction accuracy will continue to decline. In order to deal with the decline of prediction accuracy, the method of gradually obsoleting the remote samples of forecast period and implanting the proximal data of forecast

收稿日期:2014-10-20

基金项目:河南省交通科技项目(2010P221)

作者简介:武建民(1971-),男,河北邢台人,副教授,工学博士,E-mail:L08@gl.chd.edu.cn.

period is put forward. 5 tabs, 4 figs, 12 refs.

Key words: road engineering; asphalt pavement; time series analysis; performance prediction; ARIMA model

0 引言

为了对沥青路面实施养护维修措施后的效果进行考察,并对不同养护维修措施效果的优劣进行比较,需建立养护维修后路面使用性能随时间或标准轴载累计作用次数的衰变规律,对该规律探索的过程即为建立路面养护维修后使用性能预测模型的过程^[1]。目前,国内外存在多种基于不同理论的沥青路面使用性能预测模型,基本可分为确定型预测模型与概率型预测模型。Durango建立了自适应控制式的马尔可夫模型,以便根据实时补充的路面状况检测数据,更新模型结构,提高预测模型精度^[2]; Yang等建立了常态马尔可夫链方法,以克服建立转移矩阵时主观性强、数据需求量大的缺点^[3]。伴随数学理论和预测技术的不断发展,多种智能型预测模型也逐渐引起道路研究者的关注。Roberts等从Kansas公路局路面管理系统中统计了5种裂缝损坏数据的5年历史资料,采用独立组织和存在监督的混合神经网络,进行路面使用性能预测,并分析了在路面性能预测中不同网络结构的使用效果^[4]; 黄文雄首次提出了遗传算法与神经网络相结合的混合GANN预测模型,并实现了对路面状况指数PCI的预测,该预测方法的优点是减少了对路面损坏调查的范围,并提高了预测效率^[5]。虽然智能型预测模型在对路面使用性能预测的某一方面存在较好的适用性,但各预测模型自身也存在一些缺陷,还不宜大范围使用。因此,直接运用各智能型预测模型对路面使用性能进行预测还需商榷。同时,针对路面预防性养护维修后的使用性能的衰变及评价,国内外也展开了相应的研究。Ji对印地安那州部分路段微表处处理后的路面使用效果进行评价,调查了路面状况(PCR)、结构数(SN)和表面粗糙度(IRI),并进行数据分析,通过案例研究了微表处解决路面病害和延长使用寿命是否符合成本效益^[6]; Rajagopal等对碎石封层和微表处处理后的路面使用性能和使用寿命进行分析,比较各使用效果的优劣^[7]; Rahman等研究了各种薄层罩面措施对沥青路面使用性能的影响^[8]; 王春红等在沥青混凝土路面结构行为方程基础上,建立了预防性养护前性能预测模型,并通过引入原路面有效厚度系数与养护措施特征系

数,建立了预防性养护后性能预测模型^[9]。

根据路面使用性能监测数据特点,选择合理的使用性能衰变预测的监测指标,建立高速公路沥青路面养护维修后使用性能预测模型,不仅有助于评价养护维修方案的合理性,同时也为制定后期的养护规划提供了有效支持。路面养护维修后的使用性能预测模型已成为路面养护管理中需要深入研究的问题之一。为此,本文基于时间序列分析法,建立了高速公路沥青路面养护维修后的使用性能预测模型,并结合某高速公路的路面行驶质量指数(RQI)监测数据,对模型进行了验证,结果表明该模型具有良好的预测精度。

1 沥青路面养护维修后使用性能衰变影响因素分析

沥青路面在实施一定养护维修措施后,路面的使用性能便随着各项因素的影响从最高点开始下降,并随时间的推移表现出一定的衰变规律。因此,在建立路面养护维修后使用性能衰变预测模型时,需对其使用性能衰变的各种因素进行充分剖析,确定其影响机理,进而为预测模型的建立提供可靠依据。影响沥青路面养护维修后使用性能衰变的因素主要存在以下几个方面。

(1) 养护维修后路面结构的变化。在其他条件相同的前提下,养护维修措施的不同(加铺补强罩面、面层再生等)使得不同路段的路面形成各异的结构层,且其具有不同的结构强度,最终导致修复后的路面使用性能衰变具有不同的特征。这种使用性能衰变特征的不同正是养护维修后不同路面结构对交通荷载和环境因素持续作用下承受能力的真实反映。因此,养护维修后路面结构的变化是其使用性能衰变的内在因素。

(2) 养护维修措施选择的优劣及其施工水平。对路面养护维修措施选择的优劣会在很大程度上影响其修复后的使用性能衰变速率。所选养护维修措施若能较好地治相应路面破损状态,则路面修复后的使用性能衰变会以较低速率发展;反之,修复后的使用性能衰变会以较快速率发展。下页图1可以说明随着时间的推移,优劣程度不同的养护维护措施与其使用性能衰变速率之间的关系。路面养护维

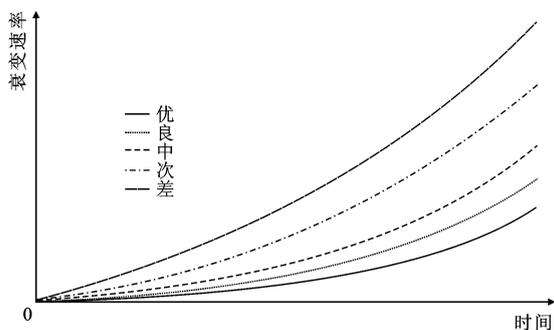


图1 养护维修措施的优劣与其使用性能衰变的关系

Fig. 1 Relationship between quality of pavement maintenance and its performance decay

修后使用性能衰变规律还与修复施工时施工水平的高低相关,因影响施工水平的诸多因素无法定量分析,但整体考虑这些因素具有区域聚类性,可将其按区域考虑,进而建立某区域内的养护维修使用性能衰变预测模型,以反映相似施工水平的影响。

(3) 交通量等级及环境因素。交通量等级及外界环境因素作用是影响养护维修后路面使用性能衰变的主要外在因素。当以考察项目级路面养护维修后使用性能衰变为目的时,在分析交通量等级对其影响时可选择标准轴载累计作用次数作为其影响变量。显而易见,交通量等级越高,养护维修后路面使用性能衰变越快。外界环境因素的影响主要考虑温度和湿度2个方面,温度的影响主要考虑路面养护维修后的高温稳定性及低温抗裂性;湿度对路基强度的影响是养护维修后路面使用性能衰变的外因之一。

(4) 路用养护维修材料质量。路面养护维修材料的质量对沥青路面修复后使用性能衰变有很大影响,主要体现在沥青和集料质量以及混合料的各项性能。譬如,沥青或混合料抗老化性能不良,路面罩面或加铺后在各种环境因素作用下其耐久性得不到保证;集料的坚固性或抗磨耗性不足,则会使养护维修后的路面表面抗滑性得不到保证,进而影响行车安全等。因此,路用养护维修材料的质量对修复后路面使用性能的衰变有很大影响。

2 沥青路面养护维修使用性能衰变预测指标的选择及预测模型的确定

2.1 沥青路面养护维修后使用性能衰变预测指标的选择

路面养护维修后的使用性能衰变,因其所处路面管理系统等级的不同,导致其量测具有不同的指标。在项目级路面管理系统中,对养护维修后的使

用性能衰变可以采用某项路面破损程度(如裂缝率、车辙深度等)进行量化;或运用路面功能性降低的程度(如平整度指数、横向力系数等)进行评价;或表现在路面使用性能综合评价值的降低幅度。对于网级路面管理系统,考察路网整体养护维修后的使用性能衰变,不仅取决于各项目养护维修后的使用性能变化趋势,而且还与路网内每条道路总体养护维修使用性能相关。此时所采取表征养护维修后使用性能衰变的指标一般为综合性的。大型网级路面管理系统往往较少注重各项目的养护维修后使用性能及使用性能变化趋势,而将主要精力集中于各下属路网总体养护维修状况上,目的是以子路网养护维修后使用性能衰变排名,安排下次养护维修的顺序及资金分配。因此,对于不同级别的路面管理系统,存在相异的养护维修后使用性能衰变预测指标。

基于以上对选择路面养护维修后使用性能衰变预测指标的论述,本文以考察项目级路面养护维修后使用性能衰变为主,预测其一定时期内的养护维修效果。因此,预测指标的选取依据所考察的路用性能的某一方面,既可是某项路面使用性能单项评价指标(PCI、RQI、RDI、SRI、PSSI),也可是路面使用性能的调查指标,即路面破损率(DR)、国际平整度指数(IRI)、路面车辙深度(RD)、横向力系数(SFC)及路面回弹弯沉。

2.2 沥青路面养护维修后使用性能衰变预测模型的确定

对沥青路面养护维修后使用性能衰变预测模型的确定是建立在深入分析影响使用性能衰变因素及预测指标的基础上。

路面结构的变化对网级路面管理系统中养护维修后使用性能预测影响较大,主要原因在于路网内存在多种属性相异的路面结构,且对其修复措施不统一导致修复后路面结构组合较多。然而,针对某一特定项目其养护维修措施一般具有统一性。因此,建立具体项目的养护维修后使用性能衰变预测模型,可将路面结构的变化对其影响进行弱化。沥青路面养护维修后的使用性能衰变,与养护维修措施选择的优劣及其施工水平有很大关系。然而,预测模型的建立不易对以上2种因素给出定量的描述数据,同时预测模型若考虑的影响因素过多,模型将变得过于复杂而难以开发和应用。外界环境的作用对路面养护维修后使用性能衰变的影响是显而易见的,且对特定区域内的影响是相似的并具有周期性。在对沥青路面养护维修后使用性能衰变预测时,可

将外界因素对其的影响依时间展开,分析不同阶段内的使用性能衰变情况。另外,针对特定区域内的具体项目,其养护维修材料使用性能具有聚类性,在确定预测模型时未将其作为主要影响因素考虑。

由以上可知,对高速公路沥青路面特定路段的养护维修后使用性能衰变规律进行预测,可将其衰变规律看作以时间为变量的函数,建立一种项目级预测模型。因此,预测模型的建立将采用时间序列分析的方法,将特定路段不同监测时期内养护维修后的监测数据看作是按时间次序排列的随机变量序列,通过对不同时期监测数据的处理来预测未来特定期限内路面养护维修使用性能的衰变值。

3 基于时间序列分析法的路面养护维修后使用性能预测模型的建立

时间序列是依特定时间间隔而监测到的指定变量的一系列数值,本文指定变量为路面养护维修后使用性能衰变预测指标^[10]。对路面养护维修后使用性能衰变预测指标的监测是在不同时间点采集的一系列数值,故为离散型时间序列。虽然离散型时间序列在受到各种因素的影响时常表现出一定的随机性,但序列内部各变量监测值间却存在某种统计关系,时间序列分析法正是通过寻找此统计关系对变量未来一定时期的走势或取值进行预测。对路面养护维修后使用性能衰变指标监测时,取以不同时间点、相同时间间隔的监测数据作为时间序列,可将所选取时间点放在季节变化处,以便分析不同季节路面养护维修后使用性能衰变速率的差异性,并结合各季节内主要影响因素分析其衰变机理。因此,引入时间序列分析中较为常用的,并可对带有季节成分的时间序列数值进行分析的 ARIMA(带差分的自回归移动平均)模型^[11]。ARIMA 模型结构中存在 3 个主要参数:差分阶数(d)、自回归阶数(p)、移动平均阶数(q),可表示为 ARIMA(d, p, q)。依据其参数个数的不同,ARIMA 模型可分为:自动回归模型 AR(p)、移动平均模型 MA(q)、自回归移动平均模型 ARMA(p, q),各子模型适用的情况有别,可依据序列自身特征来识别要运用的模型。

3.1 ARIMA 模型原理

基于时间序列分析建立的 ARIMA 预测模型,是将预测指标随时间延续而生成的数据序列以 $\{x_t\}$ 表示,由时间序列值 x_t 对未来某时段 $t+l(l>0)$ 内的序列值 x_{t+l} 进行预测,并将其记为 $x_t(l)$,称为在预测初始点 t 向前步长为 l 的预测值^[11]。

ARIMA 预测模型要求所建立的时间序列段要满足平稳性,因此在建立模型之前要对所选取的时间序列段进行平稳性判断,其平稳性需满足 2 个要求:①时间序列段均值、方差均不随时间变化;②时间序列段的自相关系数仅与其自身时间间隔有关,而不依赖于某具体时刻。

ARIMA 预测模型对处理非平稳时间序列采取差分法,即令 x_t 为初始时间序列, B 为延迟算子,即得到 $Bx_t = x_{t-1}$, $B^d x_t = x_{t-d}$,则一阶差分可表示为 $\nabla x_t = (1-B)x_t = x_t - x_{t-1}$; d 阶差分为 $\nabla^d x_t = \nabla(\nabla^{d-1} x_t) = (1-B)^d x_t$ 。对时间序列差分后的平稳性检测,既可通过上述 2 个要求判断,又可依据差分后新序列的自相关序列图来判断。在对初始时间序列采用差分法平稳化后,可选择逐项递推的方法对预测值 $x_t(l)$ 进行计算。即首先对一个周期的预测值进行计算,再利用该预测值计算下一周期的预测值,以此类推计算到第 l 周期,最终得到预测期内预测指标的取值。

ARIMA 预测模型一般结构可采用 $\varphi(B)(1-B)^d x_t = \theta(B)\alpha_t$,其中 $\omega_t = (1-B)^d x_t$, ω_t 为初始时间序列差分后的新序列,则有

$$\omega_t = \varphi_1 \omega_{t-1} + \varphi_2 \omega_{t-2} + \cdots + \varphi_p \omega_{t-p} + \alpha_t - \theta_1 \alpha_{t-1} - \cdots - \theta_q \alpha_{t-q} \quad (1)$$

式中: φ_i 为自回归参数, $i=1,2,\dots,p$; θ_i 为移动平均参数, $i=1,2,\dots,q$ 。

递推得到

$$\omega_{t+1} = \varphi_1 \omega_t + \varphi_2 \omega_{t-1} + \cdots + \varphi_p \omega_{t-p+1} + \alpha_{t+1} - \theta_1 \alpha_t - \cdots - \theta_q \alpha_{t-q+1} \quad (2)$$

为了得到第 l 周期的预测结果 $x_t(l)$,首先计算第 1 个周期后的预测值 $x_t(1)$,可通过对其求条件期望的方式获得,即

$$x_t(1) = E[\omega_{t+1}, \omega_t, \cdots] = \varphi_1 \omega_t + \varphi_2 \omega_{t-1} + \cdots + \varphi_p \omega_{t-p+1} - \theta_1 \alpha_t - \cdots - \theta_q \alpha_{t-q+1} \quad (3)$$

式中: $\alpha_t, \alpha_{t+1}, \cdots$ 均为监测残值,其期望值均为 0。

求得第 1 个周期预测值后,可得到第 2 个周期后的预测值 $x_t(2)$,即

$$x_t(2) = E[\omega_{t+2}, \omega_t, \cdots] = \varphi_1 x_t(1) + \varphi_2 \omega_t + \cdots + \varphi_p \omega_{t-p+2} - \theta_2 \alpha_t - \cdots - \theta_q \alpha_{t-q+2} \quad (4)$$

接着利用第 2 个周期后的预测值求得第 3 个周期后的预测值 $x_t(3)$,并以此类推求得第 l 周期后的预测值 $x_t(l)$,即

$$x_t(l) = \varphi_1 x_t(l-1) + \varphi_2 \omega_t + \cdots + \theta \omega_t + \cdots + \varphi_p \omega_{t-p+1} - \theta_1 \alpha_t - \cdots - \theta_q \alpha_{t-q+1} \quad (5)$$

若 l 满足 $l>p, l>q$,其中 p, q 分别为自回归最

大阶数和移动平均最大阶数。将求和算子应用到差分序列 w_t , 对其累加 d 次, 便得到初始序列 l 周期后的预测值 $x_t(l)$, 即

$$x_t(l) = \varphi_1 x_t(l-1) + \dots + \varphi_p x_t(l-p) \quad (6)$$

3.2 建立 ARIMA 预测模型的步骤

ARIMA 预测模型结构较为复杂且预测计算量较大, 为了达到一定的预测精度, 需对模型参数进行适时调整。本文结合统计学软件 SPSS 对 ARIMA 模型的建模关键进行分析^[12]。建立 ARIMA 预测模型一般步骤主要为以下 4 个部分。

(1) 初始时间序列平稳化。依据初始时间序列的自身特征, 即观察初始序列的线性趋势、周期性、方差齐性等特点, 对其平稳性进行考察。若初始时间序列不满足前述平稳性的要求, 则需利用差分法对其进行平稳化处理。

(2) 对初始序列平稳化后的新序列进行模型识别。主要通过残差自相关函数、残差部分自相关函数、拟合优度等统计量预估模型的大致类型, 并给出几个初步模型以待进一步验证和完善。

(3) 对所选模型参数进行估计并诊断模型的合理性。对模型识别阶段所给定的初步模型参数进行估计和假设检验, 默认置信区间宽度为 95%, 并对模型的残差序列作诊断分析以确定其合理性, 对模型参数及异常值进行检测。

(4) 结果预测。利用所选最优模型对监测期内时间序列的未来取值或规律走势进行预测。其中, 上述模型识别、参数估计及模型诊断的过程是一个不断反馈、逐渐完善的过程, 依靠统计学软件自动完成。ARIMA 模型建模的主要流程如图 2 所示。

利用时间序列分析法建立路面养护维修后使用性能衰变 ARIMA 模型, 可对路面养护维修后的使

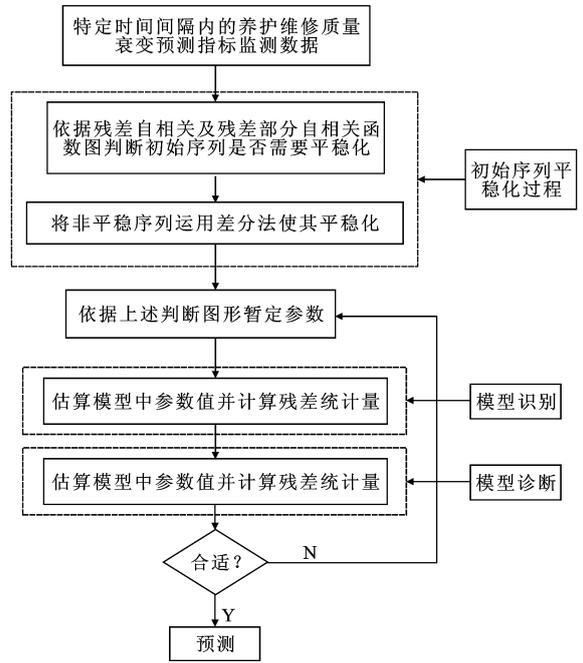


图 2 ARIMA 模型建模的主要流程

Fig. 2 Main process of ARIMA model

用性能衰变规律进行统计分析, 并将统计结果作为对选择养护维修方案合理性评价的依据。

4 ARIMA 预测模型对路面养护维修后使用性能衰变的实例分析

4.1 初始序列及处理

以连霍高速公路商丘一开封段为实例, 考察路面养护维修后行驶使用性能的衰变规律。选取一定时间间隔(以季度为单位)的 12 组路面行驶质量指数 RQI 监测数据, 对采取加铺层后的路面使用性能衰变规律进行预测, 并验证预测模型的可行性。表 1 为一定时间间隔内的 RQI 监测值。

表 1 一定时间间隔内(以季度为单位)的 RQI 监测值

Tab. 1 RQI monitored value of certain time interval (by quarter)

监测期数	RQI 监测值						
1	97.06	4	96.41	7	91.72	10	88.28
2	96.84	5	93.78	8	90.87	11	86.34
3	96.81	6	91.69	9	88.74	12	84.79

由于初始序列具有明显的非稳定性及季节性, 故将监测数据录入 SPSS 软件中, 直接对其进行一阶差分处理。同时给出对 ARIMA 模型描述及模型拟合, 即给出了当前模型所使用的分析方法及变量见下页表 2。

表 2 给出了当前模型 ARIMA(1,1,2)所使用的分析变量及方法。依据表中“平稳的 R 方”、“R

方”拟合优度统计量可知, 其值分别为 0.593 和 0.974, 其取值为正(小于 1), 表明当前模型优于基本均值模型。

4.2 路面行驶质量指数的 ARIMA 预测模型参数输出及模型识别

对 ARIMA 模型拟合后, 给出 ARIMA(1,1,2)模型参数统计结果, 见下页表 3。

表2 ARIMA 模型的描述及拟合

Tab. 2 Description and fitting of ARIMA model

模型变量:路面行驶质量指数 RQI	模型类型:ARIMA(1,1,2)		
拟合优度统计量	均值	最大值	最小值
平稳的 R 方	0.593	0.593	0.593
R 方	0.974	0.974	0.974
均方根误差 RMSE	0.775	0.775	0.775
平均绝对误差百分比 MAPE	0.609	0.609	0.609
平均绝对误差均值 MAE	1.462	1.462	1.462
最大绝对误差百分比 MaxAPE	0.554	0.554	0.554
最大绝对误差 MaxAE	1.262	1.262	1.262
标准的 BIC	0.113	0.113	0.113

表3 ARIMA 模型参数输出

Tab. 3 Parameters output of ARIMA model

类别	估计	SE(标准差)	t	Sig
路面行驶质量指数 -RQI 模型_1 AR(1)	0.532	0.304	3.537	0.051
差分	1			
MA(1)	-0.437	0.273	-3.682	0.044
MA(2)	-0.852	0.259	-4.763	0.000

注:AR(1)为自动回归模型的一阶滞后项;MA(1)、MA(2)分别为移动平均模型的一阶、二阶滞后项。

分析表3参数,由 t 统计量(Sig列)可以看出,该模型的一阶自回归系数显著性缺乏。因此,需对ARIMA(1,1,2)模型结构进行调整,将自回归部分的影响去掉。即将模型结构调整为ARIMA(1,0,2),改进后的模型参数统计结果如表4所示。由改进后的ARIMA(1,0,2)预测模型可以看出,其 t 统计量的显著性(Sig列)明显,即Sig列的2个参数都非常显著的为0。

表4 改进后 ARIMA 模型参数输出

Tab. 4 Improved parameters output of ARIMA model

类别	估计	SE(标准差)	t	Sig
路面行驶质量指数 -RQI 模型_1	1			
MA(1)	-0.871	0.258	-5.732	0.000
MA(2)	-0.756	0.421	-5.749	0.000

同时,考察调整后预测模型的残差序列图,即残差序列的自相关图形(ACF)和偏自相关图形(PACF)。由图3(SPSS截图)可知,残差序列的自

相关图形(ACF)和偏自相关图形(PACF)均没有显著地截尾和拖尾特征,表明改进的预测模型以现有时间序列为预测样本是较为恰当的。

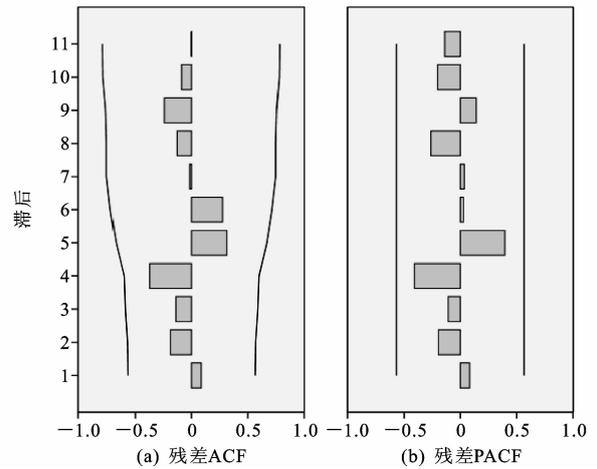


图3 ARIMA 模型残差的相关函数

Fig. 3 Residual correlation function of ARIMA model

4.3 改进 ARIMA 模型的路面行驶质量指数预测结果

利用分季度的路面行驶质量指数的模型ARIMA(1,0,2)对连霍高速公路商丘—开封段2006年、2007年路面行驶质量指数RQI进行预测,下页图4给出了其预测结果及拟合曲线(SPSS截图)。(图中Q1 2003表示2003年第1季度的数据,其他以此类推)

由图4中的拟合值与观测值的大小及趋势走向,可得到2005年4个季度的拟合值与观测值间的误差分别为4.38%、3.98%、4.91%、4.20%,可以看出4个季度的拟合误差均在5%以内,表明运用ARIMA(1,0,2)模型对路面行驶质量指数RQI的预测是较为合理的。表5给出了预测值及置信宽度为95%的置信区间。

考察表5所示的路面行驶质量指数RQI预测值的置信区间可知:随着预测时间的推移,其置信区间不断增大,表明预测精度在下降;对预测精度下降可采取逐渐淘汰预测期远端样本,植入预测期近端数据的措施。该措施基于对预测期近端样本的相信程度大于远端样本的思想,提高了预测精度。

表5 RQI 预测结果及置信区间

Tab. 5 Forecast results and confidence intervals of RQI

RQI	Q1 2006	Q2 2006	Q3 2006	Q4 2006	Q1 2007	Q2 2007	Q3 2007	Q4 2007
预测值	82.41	81.52	80.84	79.91	77.53	76.64	75.96	75.03
置信上限	84.17	84.00	83.88	83.42	81.46	80.95	80.61	80.01
置信下限	80.66	79.04	77.80	76.40	73.60	72.34	71.31	70.06

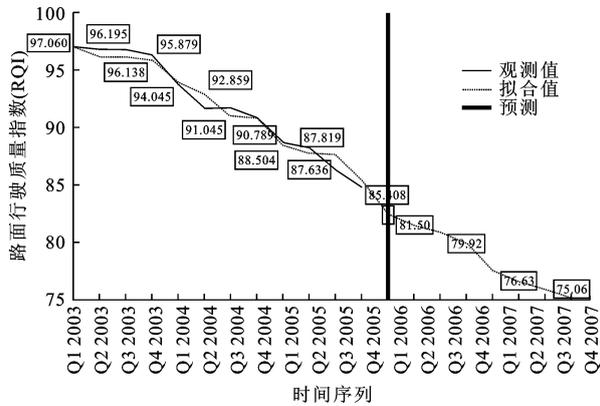


图4 路面行驶质量指数 RQI 拟合曲线及预测结果

Fig. 4 Curve fitting and forecast results of RQI

5 结语

(1) 基于路面使用状况监测数据的时间特性,建立了以时间序列分析法的 ARIMA 模型,预测养护维修后路面使用性能的衰变规律。同时,选择了路面使用性能评价单项指标 (PCI、RQI、RDI、SRI、PS-SI) 或其调查指标 (路面破损率 DR、国际平整度指数 IRI、路面车辙深度 RD、横向力系数 SFC 及路面回弹弯沉), 作为路面养护维修后使用性能衰变预测的监测指标。

(2) 依据 12 组路面行驶质量指数 RQI 监测数据,结合 SPSS 统计学分析软件,对未来一定时期内的使用性能衰变情况进行预测。结果表明,初期预测精度可控制在 5% 以内,随着预测时间的推移,预测精度在下降;对此给出采取“逐渐淘汰预测期远端样本,植入预测期近端数据”的措施来应对预测精度的下降。

(3) 目前中国高速公路已进入大规模的养护维修时期,建立良好的路面维修后使用性能预测模型,对于路面养护维修决策具有重要的作用,进一步完善本文所提出的 ARIMA 模型以增强其远期预测精度,对于制定路面长期养护计划是十分必要的。

参考文献:

References:

- [1] Hofko B. Addressing the permanent deformation behavior of hot mix asphalt by triaxial cyclic compression testing with cyclic confining pressure[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering: English Edition, 2015, 2(1): 17-29.
- [2] Durango P L. Adaptive optimization models for infrastructure management [D]. Berkeley: University of California Berkeley, 2002.
- [3] Yang J D, Gunaratne M, Lu J J, et al. Use of recurrent

markov chains for modeling the crack performance of flexible pavements[J]. Journal of Transportation Engineering, 2005, 131(11): 861-872.

- [4] Roberts C A, Atoh-Okine N O. A comparative analysis of two artificial neural networks using pavement performance prediction[J]. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 1998, 13(5): 339-348.
- [5] 黄文雄. 基于混合遗传神经网络的高速公路沥青路面使用性能评价方法研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2003.
HUANG Wen-xiong. Study on the performance evaluation in expressway asphalt pavement based on the mixed GANN model[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2003. (in Chinese)
- [6] Ji Y G, Nantung T, Tompkins B, et al. Evaluation for micro-surfacing as pavement preservation treatment [J]. Journal of Materials in Civil Engineering, 2013, 25(4): 540-547.
- [7] Rajagopal A S, Minkarah I A. Effectiveness of crack sealing on pavement serviceability and life[R]. Cincinnati: University of Cincinnati, 2003.
- [8] Rahman S, Hossain M, Nelson P. A study of effectiveness of thin surface treatments using Hamburg wheel tracking device[C]//Transportation and Development Institute. Transportation and Development Institute Congress 2011. Chicago: ASCE, 2011: 418-427.
- [9] 王春红, 魏远. 基于预防性养护的沥青混凝土路面使用性能预测模型研究[J]. 公路, 2003(3): 111-114.
WANG Chun-hong, WEI Yuan. A study on asphalt concrete pavement functions prediction model based on preventive maintenance[J]. Highway, 2003(3): 111-114. (in Chinese)
- [10] 张接信. 高速公路交通流信息时序分析[J]. 筑路机械与施工机械化, 2008, 23(8): 58-60.
ZHANG Jie-xin. Time series analysis on traffic flow information for expressway[J]. Road Machinery & Construction Mechanization, 2008, 23(8): 58-60. (in Chinese)
- [11] 芮少权, 匡安乐. 高速公路月度交通量 ARIMA 预测模型[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2010, 30(4): 82-91.
RUI Shao-quan, KUANG An-le. ARIMA model of expressway traffic volume monthly forecasting [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2010, 30(4): 82-91. (in Chinese)
- [12] 杜强, 贾雨艳. SPSS 统计分析从入门到精通[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2011.
DU Qiang, JIA Li-yan. SPSS statistical analysis from the entry to the master[M]. Beijing: Posts & Telecom Press, 2011. (in Chinese)