

基于灰色理论的沥青路面裂缝预测模型研究

潘旺¹, 严世涛^{1,2}, 李双蓓^{1,3*}

(1. 广西大学 土木建筑工程学院, 广西 南宁 530004; 2. 崇左高速公路运营有限公司;
3. 广西大学 工程防灾与结构安全教育部重点实验室)

摘要: 建立有效的路面裂缝预测模型, 对建立科学养护决策体系具有重要意义。该文提出一种改进的灰色理论, 对理论背景值及计算公式进行讨论和改进; 在对沥青路面裂缝现场实测的基础上进行分析, 确定裂缝发展的影响因素; 结合改进的灰色理论建立了沥青路面裂缝增长的预测模型, 并与传统模型进行对比。研究表明: 该文提出的模型在预测路面裂纹增长趋势的问题上有较强的适应性, 并且具有精度高、收敛快、多因素关联分析等优点。在此基础上, 该文提出了基于沥青路面裂缝率的路况评价指标, 论证了其与常规指标的相关性, 并提出了道路养护的相关建议。

关键词: 改进的灰色理论; 预测模型; 沥青路面; 裂缝率; 公路养护

1 前言

路面裂缝是沥青路面最常见、发生频次最高的病害。路面裂缝的主要表现形式有横向裂缝、纵向裂缝、龟裂、网裂等, 按其成因可分为反射裂缝、温度裂缝和疲劳裂缝。在行车荷载、温度荷载、降雨影响等因素复合作用下, 路面裂缝将发展为坑槽、松散等更为严重的路面病害, 将加大公路养护难度, 提高养护成本, 对行车安全性、舒适性及路基稳定性都有较大的影响。因此, 建立预测路面裂缝发展的数学模型, 对于准确把握路面使用状况, 科学预判养护时机并做出科学养护决策具有重要的指导意义。

沥青路面使用性能预测方法目前主要有经验模型、力学模型、人工神经网络以及灰色理论等方法。经验模型不需要复杂的求解, 但该方法不能反映数据的变化规律, 随着预测时间的增加误差会不断累加; 力学模型精度较高, 但需要进行大量室内试验和复杂的计算, 预测成本较高。灰色系统理论由邓聚龙在1993年首次提出后, 在工业、农业、交通、生命科学等众多领域得到了成功应用。2000年以后国内外学者逐渐将灰色系统理论等各种新兴理论运用到路面养护管理领域

中。其中灰色系统理论是利用“小样本”、“贫信息”, 即通过部分已知信息, 就可建立反映系统发展规律的数学模型来预测事物的发展。Wang等将灰色模型运用到路面平整度预测中, 但其模型只是从已有的检测数据出发, 没有考虑未来可能影响数据趋势的因素; 杜二鹏等采用灰色系统理论方法, 分别对路面强度指数、路面状况指数和路面平整度指标建立了灰色系统GM(1,1)模型并进行预测; 吴栋在灰色模型基础上建立了指数形式的路面性能衰变模型并对某路面衰变情况进行了预测, 取得了良好的结果。尽管灰色模型已被广泛应用于路面性能预测, 但传统的灰色模型存在着对长期数据预测效果不佳的缺陷。

张洪伟通过不断删除老旧信息和添加新信息, 建立了动态等维递补GM(1,1)模型, 但其在更新信息中仍有可能删除掉有用信息; 金年生将灰色模型和马尔可夫理论相结合, 建立组合预测模型, 对路面性能衰变规律进行预测, 取得了良好的效果; 赵静提出了基于灰色关联度分析和支持向量机回归(GRA-SVR)的沥青路面使用性能预测模型。上述模型操作起来较为复杂, 路面养护周期不需太长, 普通模型即可满足。

综上所述, 目前路面灰色系统理论研究多集中在建立单一因素灰色模型进行路况指标分析, 对多关联

收稿日期: 2019-12-09

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(编号: 11562001); 广西自然科学基金资助项目(编号: 2014GXNSFAA118020); 广西重点实验室系统性研究项目(编号: 2014ZDX02); 广西研究生教育创新项目(编号: YCSW2018047)

作者简介: 潘旺, 男, 硕士研究生。

* 通信作者: 李双蓓, 女, 博士, 教授, E-mail: lsbw90@163.com

因素的影响考虑较少,考虑气象、车辆等多因素影响下路面性能灰色理论研究也未见报道。该文通过对 GM(1,N) 模型参数及计算公式进行讨论和改进,建立了改进的灰色模型。为了验证模型的可靠性,选取华南地区湿热环境下一典型路段进行长达 6 年的现场监测,并对其影响裂缝的相关因素进行分析。根据 2013—2017 年监测数据建立了路面裂缝预测模型,取得了良好的预测结果。最后基于裂缝率与综合破损率的相关关系,并结合实际道路养护经验,提出养护对策决策树,对于同处华南湿热环境下的广东、广西、海南等地区沥青路面养护均有良好的借鉴价值。

2 灰色系统 GM(1,N) 模型原理

2.1 灰色模型原理

灰色系统分析方法通过鉴别系统因素之间发展趋势的相似或相异程度,进行关联度分析,寻求系统变动的规律,由此生成数据序列,可用于预测事物未来的发展趋势和未来状态。

GM(1,N) 模型表示 1 阶的 N 个变量的微分方程预测模型。其中,每个变量含有 m 个元素,表达式如下:

$$X_i^{(0)} = [x_i^{(0)}(1), x_i^{(0)}(2), \dots, x_i^{(0)}(m)]^T \quad (i=1, 2, \dots, N) \quad (1)$$

对 $X_i^{(0)}$ 做 1 次累加,得到 1 次累加生成数列 $X_i^{(1)}$ (简称 1-AGO) 为:

$$X_i^{(1)} = [x_i^{(1)}(1), x_i^{(1)}(2), \dots, x_i^{(1)}(m)]^T \quad (i=1, 2, \dots, N) \quad (2)$$

式中: $x_i^{(1)}(k) = \sum_{j=1}^k x_i^{(0)}(j) \quad (k=1, 2, \dots, m)$ 。

对 $X_1^{(1)}$ 作紧邻均值生成,可得:

$$Z_1^{(1)} = [z_1^{(1)}(2), z_1^{(1)}(3), \dots, z_1^{(1)}(m)]^T \quad (3)$$

式中:

$$z_1^{(1)}(g) = \theta x_1^{(1)}(g) + (1-\theta)x_1^{(1)}(g-1) \quad (0 \leq \theta \leq 1, g=2, 3, \dots, m) \quad (4)$$

构建关于 $X_i^{(1)}$ 的 GM(1,N) 灰色微分方程如下:

$$x_1^{(0)}(k) + \alpha z_1^{(1)}(k) = \sum_{i=2}^N \beta_i x_i^{(1)}(k) \quad (k=2, 3, \dots, m) \quad (5)$$

式中: $\alpha, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_N$ 均为待定参数。

设数列 $Y = [x_1^{(0)}(2), x_1^{(0)}(3), \dots, x_1^{(0)}(m)]^T$, 参数数列 $\hat{a} = [\alpha, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_N]^T$, 则式(5)可写成矩阵形式如下:

$$Y = B\hat{a} \quad (6)$$

式中:

$$B = \begin{bmatrix} -z_1^{(1)}(2) & x_2^{(1)}(2) & \dots & x_N^{(1)}(2) \\ -z_1^{(1)}(3) & x_2^{(1)}(3) & \dots & x_N^{(1)}(3) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ -z_1^{(1)}(m) & x_2^{(1)}(m) & \dots & x_N^{(1)}(m) \end{bmatrix} \quad (7)$$

利用最小二乘法,求解式(6)可得出参数列为:

$$\hat{a} = (B^T B)^{-1} B^T Y \quad (8)$$

将数列 $X_i^{(0)}$ 视为基于原始序列关于时间 t 的函数,则可得到 GM(1,N) 白化微分方程为:

$$\frac{dX_1^{(0)}(t)}{dt} + \alpha Z_1^{(1)} = \beta_2 X_2^{(1)} + \beta_3 X_3^{(1)} + \dots + \beta_N X_N^{(1)} \quad (9)$$

求解上式可得:

$$\hat{x}_1^{(1)}(k+1) = \left[x_1^{(0)}(1) - \frac{1}{\alpha} \sum_{i=2}^N \beta_i x_i^{(1)}(k+1) \right] e^{-\alpha k} + \frac{1}{\alpha} \sum_{i=2}^N \beta_i x_i^{(1)}(k+1) \quad (k=1, 2, \dots, m) \quad (10)$$

由式(10)得到的解为原始数列累加生成数列 $X_i^{(0)}$ 的预测值,因此需要通过累减还原得到原始数列在 GM(1,N) 模型下的预测值为:

$$\hat{x}_1^{(0)}(k+1) = \hat{x}_1^{(1)}(k+1) - \hat{x}_1^{(1)}(k) \quad (11)$$

2.2 灰色模型改进

灰色预测模型参数采用式(4)进行计算,式中,参数值 θ 取为:

$$\theta = \frac{1}{\alpha} - \frac{1}{e^\alpha - 1} \quad (12)$$

将式(8)解出的参数 α 代入式(12),重新计算修正参数 θ ,并记为 $\theta(k+1)$ 。比较 $\theta(k)$ 与 $\theta(k+1)$ 的值,当其差值大于预先给定的阈值,说明 $\theta(k+1)$ 还需要调整,则用 $\theta(k+1)$ 代替 $\theta(k)$ 代入式(4),重新计算参数序列,再次计算灰色预测模型参数 $\alpha, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_N$; 否则,迭代结束,输出灰色预测模型参数 $\alpha, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_N$ 。

灰色模型主要适用于数据较少的短期预测,当对未来较远时刻进行预测时,原始数据的加入将会影响预测模型的准确性。该文通过对式(10)进行修正,即进行较远时刻预测时,舍弃较早的原始数据,同时加入较新的数据,根据预测步更新数据序列,建立了一种改进的自适应灰色模型。此时,累加数列 $\hat{x}_1^{(1)}(k+1)$ 为:

$$\hat{x}_1^{(1)}(k+1) = \left[x_1^{(0)}(j) - \frac{1}{\alpha} \sum_{i=2}^N \beta_i x_i^{(1)}(k+1) \right]$$

$$1) \left[e^{-\alpha \langle k-j+1 \rangle} + \frac{1}{\alpha} \sum_{i=2}^N \beta_i x_i^{(1)}(k+1) \right] \quad (k=1,2,\dots,m) \quad (13)$$

当 $j=k$ 时,上式可化简为:

$$\hat{x}_1^{(1)}(k+1) = \left[x_1^{(0)}(k) - \frac{1}{\alpha} \sum_{i=2}^N \beta_i x_i^{(1)}(k+1) \right] e^{-\alpha} + \frac{1}{\alpha} \sum_{i=2}^N \beta_i x_i^{(1)}(k+1) \quad (k=1,2,\dots,m) \quad (14)$$

3 应用灰色模型的路面裂缝预测

3.1 路面裂缝影响因素选取

影响路面裂缝的因素较多,但在相关研究领域中并未形成公认的可供直接阐述的影响指标。为了确定不同因素对路面裂缝的影响,2013—2017年,笔者对南友高速公路 K73+000~K87+000 及 K192+000~K209+000 两段典型路段进行了路面裂缝监测。监测措施以人工巡检为主、路况检测车与探地雷达为辅,按月定期采集路面裂缝数量、长度、扩展量等数据。南友高速公路处于华南地区典型湿热环境影响下,其中车辆荷载通过车流量折算为标准车当量数来表征,选取2017年车辆数当量、新增裂缝长度、数量及总长等监测数据绘制如图1~4所示变化曲线。

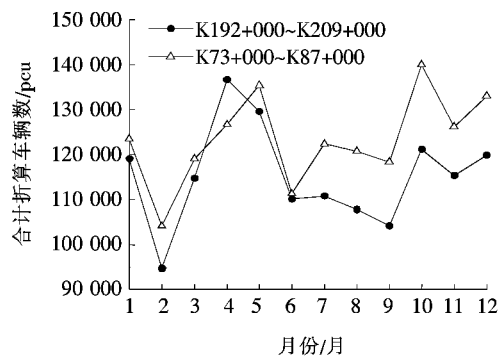


图1 2017年每月合计折算车辆数

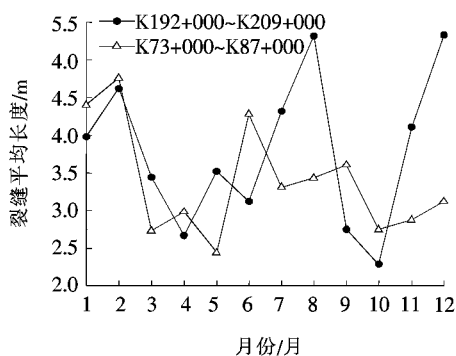


图2 2017年每月新增裂缝平均长度

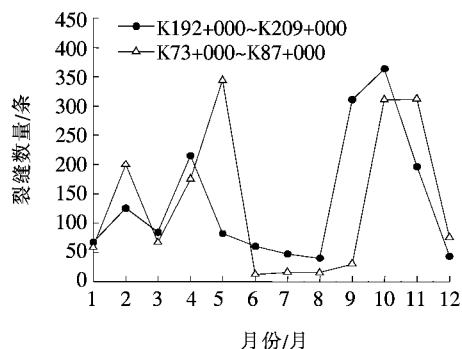


图3 2017年每月新增裂缝数量

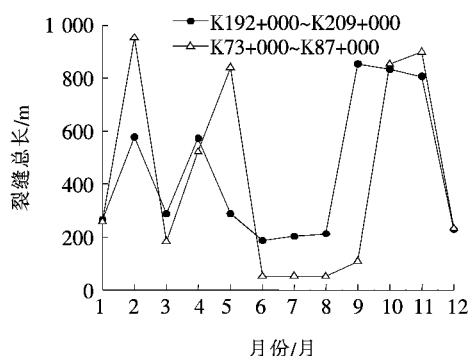


图4 2017年每月新增裂缝总长

由图2可知:全年裂缝平均长度均在2~4 m范围内波动,其数值并没有随着季节更替而发生规律性的变化。由图3可以看出:K192+000~K209+000段新增裂缝数量在1~12月份中,呈现先增加再减少再增加的趋势,其数值在9、10月份达到峰值。由图4可得:裂缝总长的改变规则与图3中裂缝数量的改变规则基本类似。两个路段的裂缝总长与数量的改变规则基本类似,其峰值点在5、10及11月份。

监测路段自2013年实施全线罩面后在监测时间内均没有进行大修和中修,造成在不同月份内,裂缝病害情况不同的主要原因是车流量及气候因素。通过查询当地气候条件可以看到,该路段处于亚热带西部气候区,全年夏长冬短,降雨丰富。9、10及11月均为当年出现温度大幅变化频次较高的月份,且月降雨量均为150 mm以上,大量的降雨通过路面裂缝渗透到土基,在行车荷载和水温耦合作用下路面很容易产生结构性破坏,裂缝扩展速率及扩展数量快速增大。综合考虑道路养护需求及道路使用折损以及数据无量纲化处理等情况,该文选取合计折算车辆数、年降雨量、月均温度方差以及使用年限作为建立路面裂缝预测模型的相关因素。

3.2 GM模型建立

根据上述因素分析,该文对南友高速公路 K198+

000~K208+000 路段裂缝监测数据进行整理,监测数据见表1。所需的气象参数引用“中国气象科学数据共享服务网(<http://cdc.cma.gov.cn>)”所提供的广西凭祥站点的数据,其精度可达每小时记录1次。

表1 南友高速公路 K198+000~K208+000 段预测模型参数

年份/ 年	新增裂 缝总 长/m	合计折算 车辆数/ ($\times 10^4$ pcu)	年降 雨量/ mm	月均温 度方差	使用 年限/ 年
2013	3 117.3	259.345 6	1 552.8	29.542	1
2014	2 917.5	271.620 0	1 431.9	38.325	2
2015	4 514.6	273.207 7	1 615.6	29.973	3
2016	5 185.2	267.841 4	1 532.7	31.701	4
2017	5 484.5	278.233 8	1 338.3	31.962	5

以新增裂缝总长为主预测序列 $X_1^{(0)}$, 折算车辆数、年降雨量、月均温度平方差以及道路使用年限为相关序列 $X_2^{(0)}$ 、 $X_3^{(0)}$ 、 $X_4^{(0)}$ 、 $X_5^{(0)}$, 建立改进的灰色系统 GM(1,N) 模型:

$$B = \begin{bmatrix} -4\ 663.57 & 530.965\ 6 & 2\ 984.70 & 67.867 & 3.00 \\ -8\ 427.32 & 804.173\ 3 & 4\ 600.30 & 97.840 & 6.00 \\ -13\ 297.37 & 1\ 072.014\ 7 & 6\ 133.00 & 129.541 & 10.00 \\ -18\ 767.53 & 1\ 350.248\ 5 & 7\ 471.30 & 161.503 & 15.00 \end{bmatrix},$$

$$Y = \begin{bmatrix} 2\ 917.50 \\ 4\ 514.60 \\ 5\ 185.20 \\ 5\ 484.50 \end{bmatrix}$$

求解灰色微分方程可以得到参数列 \hat{a} 为:

$$\hat{a} = (B^T B)^{-1} B^T Y = [3.490\ 0, -0.000\ 25, 7.000\ 3, 100.160\ 7, 2\ 781.724\ 6]^T$$

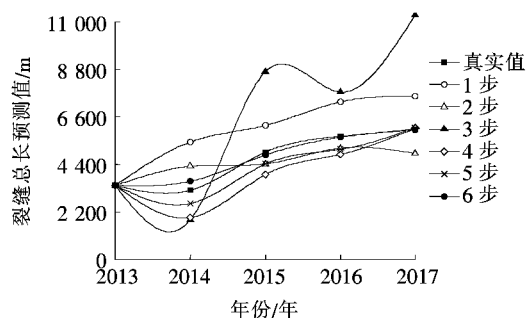
分别以 $\theta(1)=0.3$ 和 $\theta^*(1)=0.8$ 为初始值代入式(4)中,进行迭代计算,得到如下计算结果:

$$[\theta(1), \theta(2), \theta(3), \theta(4), \theta(5), \theta(6), \theta(7)] \approx [0.3, 0.351, 0.404, 0.560, 0.532, 0.501, 0.502]$$

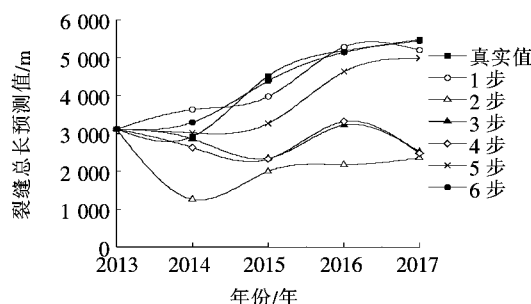
$$[\theta^*(1), \theta^*(2), \theta^*(3), \theta^*(4), \theta^*(5), \theta^*(6), \theta^*(7)] \approx [0.8, 0.425, 0.431, 0.457, 0.489, 0.503, 0.501]$$

可以看出,随着迭代步数的增加,参数值 θ 逐渐收敛于 0.5。在迭代过程中对应的各年度预测值如图5所示。

由图5可知:在初始迭代步中,预测值与真实值误差较大,随着迭代次数的增加,模型预测值逐渐逼近真



(a)初始值为0.3



(b)初始值为0.8

图5 迭代过程中裂缝总长预测值

实值。两种迭代过程都经历了前3步迭代结果的剧烈变化,而后每次迭代结果均以相对均匀的误差平稳地逐渐逼近真实值。尽管初始参数 θ 取值不同,但最终 θ 都趋近于同一数值,且迭代步数也相同。说明对于不同灰色模型,都有其预测结果最为准确的参数 θ 取值,通过对 θ 值进行调整迭代,可以提高灰色模型预测精度。该文选取 $\theta=0.5$ 能够较好地反映前后初始值计算中的权重关系,误差较小。

对应 $\theta=0.5$, 得到 2013—2017 年 5 年新增裂缝总长预测结果分别为:

$$\hat{X}_1^{(0)} = [\hat{x}_1^{(0)}(1), \hat{x}_1^{(0)}(2), \hat{x}_1^{(0)}(3), \hat{x}_1^{(0)}(4), \hat{x}_1^{(0)}(5)]^T \approx [3\ 137.30, 3\ 292.17, 4\ 636.69, 5\ 266.20, 5\ 599.94]^T$$

3.3 模型误差分析

(1) 残差检验

计算原始数列 $X_1^{(0)}$ 与预测数列 $\hat{X}_1^{(0)}$ 的残差 ϵ^0 如下:

$$\epsilon^0(k) = x_1^{(0)}(k) - \hat{x}_1^{(0)}(k), k=2, 3, \dots, m \quad (15)$$

可得:

$$\epsilon^0(2) \approx -374.67, \epsilon^0(3) \approx 124.25, \epsilon^0(4) \approx 43.35, \epsilon^0(5) \approx 40.73。$$

(2) 相对误差检验

$$\Delta_k = \left| \frac{\epsilon^0(k)}{x_1^{(0)}(k)} \right|, k=2, 3, \dots, m \quad (16)$$

求得:

$$\Delta_2 \approx 11.94\%, \Delta_3 \approx 4.19\%, \Delta_4 \approx 0.83\%, \Delta_5 \approx 0.74\%。$$

表明该文提出的改进灰色模型对路面裂缝预测问题的求解精度较高。

根据该模型可进一步得到 2018—2020 年间裂缝发展情况。首先得到 3 年合计折算车辆数、年降雨量(mm)、月均温度平方差分别为:

$$\hat{X}_2^{(0)} = [\hat{x}_2^{(0)}(6), \hat{x}_2^{(0)}(7), \hat{x}_2^{(0)}(8)]^T \approx [2\ 763\ 453, 2\ 778\ 085, 2\ 792\ 794]^T$$

$$\hat{X}_3^{(0)} = [\hat{x}_3^{(0)}(6), \hat{x}_3^{(0)}(7), \hat{x}_3^{(0)}(8)]^T \approx [1\ 389.5, 1\ 355.3, 1\ 321.9]^T$$

$$\hat{X}_4^{(0)} = [\hat{x}_4^{(0)}(6), \hat{x}_4^{(0)}(7), \hat{x}_4^{(0)}(8)]^T \approx [28.484, 26.886, 25.376]^T$$

将上述结果代入 GM(1,N)模型得到 2018—2020 年 3 年的路面新增裂缝总长的预测值分别为:

$$\hat{X}_1^{(0)} = [\hat{x}_1^{(0)}(6), \hat{x}_1^{(0)}(7), \hat{x}_1^{(0)}(8)]^T \approx [6\ 367.92, 7\ 271.78, 8\ 303.94]^T$$

3.4 灰色模型与传统预测模型对比分析

该文分别采用传统回归模型、传统灰色模型与该文提出的改进灰色模型对以上算例进行建模,给出了不同方法的裂缝预测结果,将其与实测值进行对比,结果见表 2。

表 2 改进的灰色模型与传统预测模型对比分析

年份/ 年	新增裂缝 总长(实测 值)/m	传统回归模型		灰色模型		改进的灰色模型	
		新增裂缝 总长/m	与实测值的 相对误差/%	新增裂缝 总长/m	与实测值的 相对误差/%	新增裂缝 总长/m	与实测值的 相对误差/%
2013	3 117.30	2 569.40	17.586	3 117.30		3 117.30	
2014	2 917.50	2 474.32	15.191	3 292.17	12.840	3 292.17	12.840
2015	4 514.60	4 052.73	10.230	4 636.69	2.704	4 390.35	2.705
2016	5 185.20	5 144.87	0.777	5 266.22	1.562	5 141.85	0.836
2017	5 484.50	4 913.62	10.415	5 599.94	2.104	5 443.77	0.742
2018	6 411.20	6 251.56	2.490	6 844.85	6.765	6 367.92	0.675
2019		7 098.97		8 120.43		7 271.78	
2020		7 948.63		9 633.72		8 303.94	

由表 2 可以看出:传统回归模型仅以离散点到回归点的总方差最小为目标,未考虑数据内部及数据与相关数据之间的内在联系,对于离散性较大的数据拟合效果较差。传统的灰色模型引入了数据之间的灰色关联信息,比较真实地反映了数据的发展趋势。该文提出的改进灰色模型,对数据的处理采用了一种固定有效数据容量的方法,随着预测步的迭代,对用于预测的数据进行更新,减小旧数据对预测结果的干扰,降低了数据离散程度,保证了预测结果的收敛性。对于该文提出的路面裂缝预测问题,改进的灰色模型在每一步进行预测分析时,仅需前 5 年的相关数据,即可达到较高的预测精度,同时也提高了计算效率。

4 裂缝率分析

在现行的公路管理规范中,是通过路面综合破损

率(DR)和路面破损状况指数(PCI)来评价路面损坏状态的。路面裂缝率(DR_c)可以直接通过自动化监测设备获得,相比于路面综合破损率(DR)和路面破损状况指数(PCI)的获取更加简便、高效。此处通过分析 DR_c 与 DR 和 PCI 之间的相关性,结合实际道路养护经验,提出考虑 DR_c 的沥青路面养护对策决策树。

4.1 裂缝率计算

由 JTG D50—2017《公路沥青路面设计规范》中 PCI 及 DR_c 的定义可得:

$$PCI = 100 - \alpha_0 DR^{\alpha_1} \quad (17)$$

式中:对于沥青路面, α_0 取 15, α_1 取 0.412。

$$DR_c = 100 N_c / N \quad (18)$$

式中: N_c 和 N 分别为路面裂缝(坑槽)影响面积和监测的路面面积(m²)。

将现场监测得到的数据代入式(17)、(18),可得南

友高速公路 K198+000~K208+000 段 2013—2017 年 5 年的 DR_c 与 DR 关系如图 6 所示。

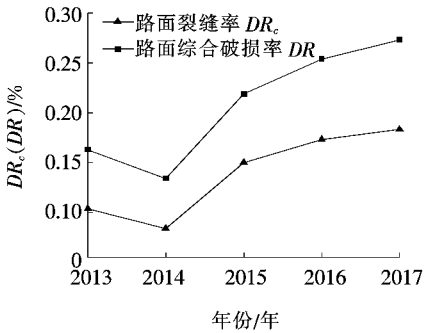
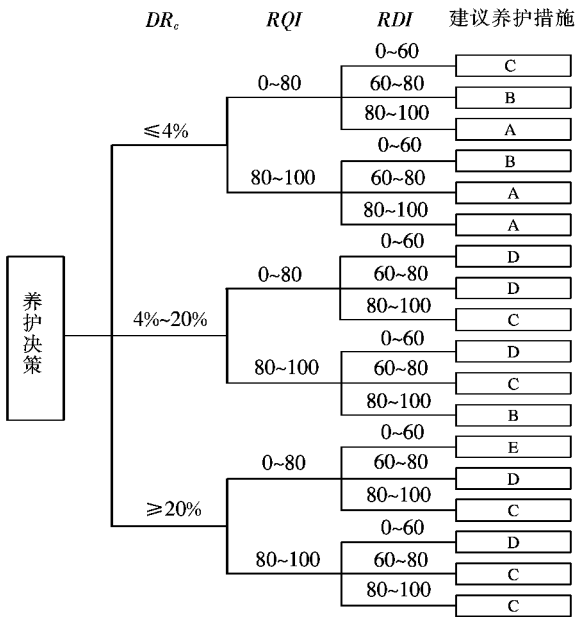


图 6 DR_c — DR 关系图

Pearson 线性相关性分析常用来定量描述两个定量变量间直线相关的方向和密切程度,具有较高的精确度。该处采用 Pearson 分析方法对现场监测得到的数据进行相关性分析,结果表明监测路段 DR_c 与 DR 、 PCI 在 0.01 的水平下,相关性达到了 99.8%,线性相关性显著。

4.2 由裂缝率快速编制路面预防性养护方案

根据 DR_c 与 PCI 之间的关系,结合以往的养护方案与实际道路养护经验,采用 DR_c 代替 PCI 的方法,综合考虑路面裂缝率、车辙、路面平整度 3 项指标,建立相应的路面裂缝病害预防养护对策决策树见图 7。该决策树可作为辅助养护从业人员快速编制中短期养护计划的有效方法。



注:养护措施:A—日常养护与小修;B—中修罩面;C—中修加铺抗滑层;D—大修重建;E—大修补强。

图 7 养护对策决策树

5 结论

(1) 基于自适应的数据更新方法对灰色模型进行了改进,改进的灰色模型较常规灰色模型具有误差小、精度高、收敛快等优点,有效地减小了老数据对较远时刻预测值的影响。参数值 θ 的取值对预测结果有较大影响,在应用中与初始数列相邻值之间的关系有关,通过对 θ 值的试算迭代,模型预测值收敛于真实值。

(2) 对于 $GM(1, N)$ 模型,选取的相关因素越多对预测模型的准确性影响越大。该文首先对灰色模型预测影响因素进行分析,综合考虑选取合计折算车辆数、年降雨量、月均温度方差以及使用年限作为建立路面裂缝预测模型的相关因素。

(3) 考虑监测路段在监测周期内车辆数、降雨量、温差以及使用年限等相关因素,建立了年度新增裂缝的 $GM(1, N)$ 预测模型,并据此预测了未来 3 年路面新增裂缝总长。与传统预测模型进行对比可知,该文提出的改进灰色系统理论 $GM(1, N)$ 模型具有预测精度高、更能体现出离散数据之间的隐含关系的优势,为准确预测道路裂缝发生,进而科学评判道路技术状况提供重要依据。建立的预测模型也可应用于其他类型路面病害的预测中。

(4) 分析了路面裂缝率(DR_c)与路面综合破损率(DR)及路面破损状况指数(PCI)之间的相关性,结合实际道路养护工程经验,提出了根据 DR_c 而采取的相应养护对策决策树,对实际道路施工、养护具有一定的指导作用。其方法对于同处华南湿热环境下的广东、广西、海南等地区沥青路面养护均有良好的借鉴意义。

参考文献:

[1] 邓聚龙. 灰色控制系统(修订本)[M]. 2 版. 华中理工大学出版社, 1993.

[2] 敬超, 张金喜. 沥青路面性能预测研究综述[J]. 中外公路, 2017(5).

[3] Wang K C P, Li Q. Gray Clustering—Based Pavement Performance Evaluation[J]. Journal of Transportation Engineering, 2010, 136(1): 38—44

[4] 杜二鹏, 马松林, 景海民. 基于灰色系统理论的沥青路面使用性能预测[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2010(8).

[5] 吴栋, 田小草, 董凡荣. 基于灰色理论的沥青路面使用性能预测模型[J]. 中外公路, 2017(5).

DOI:10.14048/j.issn.1671-2579.2020.03.013

70 年中国公路路基路面病害研究现状与发展趋势

——基于 CNKI 1949—2019 年文献的知识图谱分析

周基^{1,2}, 蔡强², 田琼^{1*}

(1. 湖南科技学院 土木与环境工程学院, 湖南 永州 425199; 2. 湘潭大学 土木工程与力学学院)

摘要:新中国成立 70 年来,中国公路建设经历了不同的发展阶段,每个阶段表现出的问题与状况各不相同,许多学者对各阶段公路路基路面病害进行了深入研究,通过知识图谱分析法可清晰展现该研究领域的现状与趋势。该文以中国知网(CNKI)期刊数据库为基础数据进行分析,使用知识图谱分析工具 CiteSpace 及 Excel 分析统计表格,选取数据库中符合条件的 1 528 篇核心(北京大学中文核心,下同)及以上级别期刊中文文献作为样本数据进行研究,分别绘制了文献计量、核心及以上主要期刊及主要作者、主要研究机构以及研究内容知识图谱,阐述了该领域的研究现状,探讨了研究前沿及发展趋势。

关键词:公路;路基路面病害;文献分析;知识图谱;CiteSpace

新中国成立之初,由于战争破坏等各种原因,中国公路里程屈指可数,可通车里程不足 10 万 km,20 世纪 50—70 年代中期,中国道路建设速度发展缓慢,直至 1978 年改革开放全面开始,国家开始规划中国公路网,随着国家经济快速发展,“要想富,先修路”逐渐被各级政府所认识,20 世纪 90 年代开始,公路出现大规模建设高潮,截至 2019 年,中国高速公路及公路总里程分别超过 14.26 万 km 与 486.65 万 km,均为世界第一。伴随公路建设规模增加,公路病害也逐渐产生,

工程技术人员开始关注并研究公路病害。近 70 年来,中国公路病害的发展状况如何以及发展趋势怎样?该文通过 Citespace 软件,借助 CNKI 期刊数据库,对中国公路路基路面病害进行知识图谱分析与讨论,从而为公路病害研究提供参考。

1 研究方法

考虑数据资源获取途径及研究方法、工具的实际

- *****
- [6] 张洪伟,连鹏,杨东. 基于灰色模型方法的路面使用性能预测[J]. 公路,2015(12).
- [7] 金年生,陈飞,苗超杰. 基于灰色—马尔科夫理论的沥青路面性能预测研究[J]. 公路交通技术,2018(5).
- [8] 赵静,王选仓,丁龙亭,等. 基于灰色关联度分析和支持向量机回归的沥青路面使用性能预测[J]. 重庆大学学报,2019(4).
- [9] 方圆,于峰,项国圣,等. 基于灰色理论的三次指数平滑模型预测自然陈化中热闷钢渣 f—CaO 含量[J]. 硅酸盐通报,2019(3).
- [10] 洪海,程培峰. 黑龙江省沥青混凝土路面裂缝调查分析[J]. 中外公路,2016(5).
- [11] 朱厚江,杨三强,李岩岩. 新疆绿洲、荒漠区气候对沥青路面裂缝影响分析[J]. 中外公路,2017(1).
- [12] 程培峰,郑婉. 基于改进残差灰色模型预测路面使用性能的研究[J]. 中外公路,2014(3).
- [13] 张琛. 基于区域特征的高海拔高寒地区沥青路面横向裂缝的预测及演化规律[D]. 长安大学博士学位论文,2017.
- [14] 张争奇. 高速公路沥青路面维修养护技术[M]. 北京:人民交通出版社,2010.
- [15] 罗宏伟,韦海涛,傅琴. 沥青路面基于裂缝率的路面损坏状况研究[J]. 公路交通科技(应用技术版),2013(9).
- [16] JTG D50—2017 公路沥青路面设计规范[S].

收稿日期:2020—03—30(修改稿)

基金项目:湖南省自然科学基金资助项目(编号:2019JJ40093);湖南省教育厅科研项目(编号:16B106)

作者简介:周基,男,博士,教授. E-mail:463325458@qq.com

* 通信作者:田琼,女,硕士. E-mail:25366351@qq.com