

高速公路小修保养工程量的预测模型

滕伟玲,姚玉玲

(长安大学 公路学院,陕西 西安 710064)

摘 要:为了科学合理地预测高速公路小修保养工程数量,分析了影响高速公路小修保养工程量的主要因素,提出了基于 Matlab 的 BP 神经网络高速公路小修保养工程量预测方法;以沥青路面年小修保养工程量历史统计数据为样本,将路面质量等级评分值、路面使用性能指数、年均日交通量、年均日重车量、计算使用年限、年均降雨量、年平均温差、路面厚度、路面宽度确定为影响沥青路面小修保养工程量的量化指标,建立了预测沥青路面小修保养工程量的多元非线性模型;以调研路段沥青路面实际破损维修数量为样本,分别用 BP 神经网络模型和多元线性回归模型进行预测分析。研究结果表明:将预测结果与实际维修量数据进行比较,BP 神经网络模型预测误差为 5%,多元线性回归模型预测误差为 14%,说明 BP 神经网络模型是预测高速公路沥青路面小修保养工程量的一种较为合理可行的方法。

关键词:道路工程;小修保养;工程量预测;BP 神经网络;路面病害

中图分类号:U418

文献标志码:A

Expressway minor maintenance amount prediction based on neural network

TENG Wei-ling, YAO Yu-ling

(School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: In order to predict expressway minor repair and maintenance amount scientifically and reasonably, the main factors of expressway minor repair and maintenance amount were analyzed and the maintenance amount prediction method of BP neural network based on Matlab was put forward. With the samples of historical statistics of asphalt pavement minor maintenance amount, the quantitative indexes of factors including the score value of pavement quality, the pavement performance index, the annual average volume of daily traffic, the annual average of daily heavy vehicles, the road service life, the annual mean temperature difference, the pavement thickness and the pavement width were under consideration. Prediction model of pavement minor repair and maintenance was established. According to pavement distress amount of investigated expressways, analyses and predictions were made respectively by the BP neural network model and multiple linear regression model. The results show that compared with the actual data, the prediction error of BP neural network model is 5%, and the prediction error of multiple linear regression model is 14%, which indicates that BP neural network model to predict the minor repair and maintenance amount of expressway asphalt pavement is a more reasonable and feasible method. 3 tabs, 1 fig, 11 refs.

Key words: road engineering; minor repair and maintenance; maintenance amount prediction; BP neural network; pavement disease

0 引言

随着高速公路里程的不断增长和高速公路网的逐渐形成,高速公路养护管理问题也越来越受到业内的普遍关注。如何在保证高速公路养护质量和服务水平的基础上,建立和完善高速公路养护工程技术标准及养护费用管理制度,合理确定和有效控制高速公路养护资金,通过计划控制养护成本,是当前高速公路养护管理部门亟待研究解决的问题,也是实行管养分离,将高速公路养护推向市场的技术条件和基础性工作。科学合理的高速公路小修保养预算费用是由养护预算定额和养护维修数量预测值确定的。目前中国对高速公路养护维修量预测及养护费用预测模型的研究,主要有:利用高等级路面现时服务能力指数 PSI(平整度、裂缝、车辙)与路面养护费用之间的回归关系,建立的路面养护费用模型,但此模型只考虑了现时服务能力指数 PSI 对养护费用的影响^[1];应用多元线性回归算法及多元模糊回归算法的路面小修工程量(坑槽、裂缝)预测模型^[2];因高速公路病害数量和影响因素之间存在复杂的非线性关系,采用回归分析法进行预测误差较大。因此到目前为止高速公路小修保养工程量及其影响因素的确定问题仍然没有得到较满意的解决。为此,本文将在分析高速公路路基、路面、桥梁、隧道、交通工程及沿线设施等项目病害原因的基础上,对小修保养工程量进行系统的定性和定量研究,提出高速公路小修保养工程量预测模型。

1 影响高速公路小修保养工程量的因素

1.1 公路设计与施工质量

高速公路设计与施工质量的好坏,直接关系到公路的使用功能及使用寿命,关系到公路投入使用后的病害发生情况^[3]。通过对高速公路病害统计资料的分析研究发现,很多病害和设计 with 施工质量有较大关系。对于不同质量的高速公路而言,在同样使用条件下,路段中出现明显病害的时间和规模是不相同的,公路设计与施工质量较低的高速公路会较早出现较明显的破坏现象,需要的养护维修工程量也较大。例如在施工时,对沥青、集料的质量及配比、搅拌、运输、摊铺、碾压等环节在质量上控制不严格,就容易引起路面的网裂、松散、脱皮等病害。

1.2 公路养护与管理水平

高速公路的早期破坏,不仅与设计、施工等环节

有关,而且与公路运营后的养护和管理联系紧密。公路养护水平、养护时机、养护管理状况都会影响高速公路养护工程量。例如沥青路面在行车作用下出现小面积松散、坑槽,若及时养护,则能减轻坑槽病害,否则会导致坑槽的扩大及未来养护工程数量的增加。

1.3 公路使用年限

随着道路使用年限的增加,在交通荷载和外界环境的作用下,道路的使用性能逐渐降低,产生破损的机率变大。

高速公路中修和大修工程必然对公路路段的病害状况产生相应程度的恢复效应,即当年的大中修工程会对下一年的病害数量产生影响,所以用于预测小修保养工程数量时的使用年限应当是根据大中修工程情况折减后的计算使用年限^[4]。

1.4 交通量与交通组成

交通量对道路使用性能的影响是毋庸置疑的,因此在小修保养工程量预测中将交通量作为一个基本的影响因素考虑。交通组成对高速公路的影响也较大,特别是重载对道路的影响,是道路结构早期破坏、使用年限降低的主要原因之一。

1.5 公路运营环境

高速公路使用过程中,长期受自然环境(水、温度、湿度、日照等)的影响,结构强度会逐渐衰减,病害会随之产生。

1.5.1 降雨量

水是引起道路损坏的主要自然因素。由于连续降雨或路表有积水,若水不能被及时、有效的排出,水的存在将降低沥青与集料之间的粘附性,造成沥青路面的早期破坏。路面长期积水不能及时排出,渗入路基,易造成路基翻浆等病害。

1.5.2 大气温度

大气温度同样是影响道路结构强度的重要因素。对于沥青路面,由于沥青材料本身对温度非常敏感,因此由于温度的改变,沥青路面结构的强度和弹性模量会发生几倍甚至几十倍的变化。水泥混凝土路面受大气温度变化的影响也较大,由于热胀冷缩产生过大的温度应力可导致水泥混凝土板的破坏。

以上分析了影响高速公路小修保养维修量的主要因素。由于高速公路各组成部分的特点不同,因此各部分的小修保养工程数量的影响因素也有各自的特点,下页表 1 归纳总结了路基、路面、桥梁、隧道、沿线设施等部分的小修保养工程数量主要影响因素。

表 1 小修保养工程数量影响因素
Tab.1 Factors of expressway minor repair
and maintenance amount

项目	影响因素
路基工程	水文地质条件、设计与施工质量、养护与管理水平、使用年限、降雨量、大气温度
路面工程	路面厚度、路面宽度、设计与施工质量、养护与管理水平、使用年限、交通量与交通组成、降雨量、大气温度
桥梁工程	桥长、孔径、桥梁水文地质状况、设计与施工质量、养护与管理水平、使用年限、交通量与交通组成、降雨量、大气温度
隧道工程	隧道长度、设计与施工质量、养护与管理水平、使用年限、交通量与交通组成、大气温度
交通工程及沿线设施	设计与施工质量、养护与管理水平、使用年限、交通量与交通组成

2 高速公路小修保养工程量预测模型

以沥青路面破损维修工程量的预测为例,建立高速公路小修保养工程量的预测模型。《公路技术状况评定标准》将沥青路面损坏分为 11 类 21 项,主要分为裂缝、坑槽和其他病害,除横向和纵向裂缝外,路面破损计量单位均为 m²,横向和纵向裂缝按损坏长度计算,模型中裂缝长度用影响宽度(0.2 m)换算成面积。即沥青路面破损的单位为 m²/(年·km)。

2.1 计算变量

路面破损受诸多因素的影响,比如路面本身的材料、结构、施工质量等和外部环境条件如交通量、降雨量、道路使用年限、气温等因素^[5-6]。预测模型将路面破损维修数量作为被解释变量(以历年统计的路面破损数量为样本),解释变量确定为:路面工程质量等级评分值、路面使用性能指数、年均日交通量、年均日重车量、计算使用年限、年均降雨量、年平均温差、路面厚度、路面宽度。

以两条调研路段 2003~2010 年的年公里路面破损维修数量及计算变量等历史数据作为样本,考虑到路面病害是受各因素的长期作用,故采用上一年的因素指标来预测今年的维修数量。即在第一年的影响因素指标与第二年的路面破损维修数量之间建立映射关系模型,历史数据如表 2 所示^[7-9]。

表 2 中: a 为路面破损维修数量(m²/年·km); b 为路面工程质量等级评分值(1~100 分); c 为路面使用性能指数(S_{PQI}),按下式计算

$$S_{PQI} = w_{PCI} I_{PCI} + w_{RQI} I_{RQI} + w_{RDI} I_{RDI} + w_{SRI} I_{SRI}$$

(1)

表 2 2003~2010 年的路面破损维修数量及影响因素量化指标
Tab.2 Pavement damage quantity and quantitative
indexes of factors from 2003 to 2010

年份	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	
路段 I	a		40	70	88	150	142	178	230
	b	93	93	93	93	93	93	93	
	c	90	86	80	60	80	75	70	
	d	73	133	205	339	442	582	885	
	e	45	80	126	203	268	351	536	
	f	3.00	4.00	5.00	6.00	4.76	5.76	6.76	
	g	953	1 041	934	628	591	624	765	
	h	24.50	24.75	26.50	26.50	24.50	26.75	25.50	
	i	30	30	30	30	30	30	30	
	j	16	16	16	16	16	16	16	
路段 II	a		30	72	70	96	108	124	128
	b	90	90	90	90	90	90	90	
	c	75	60	80	75	70	60	80	
	d	62	104	167	256	325	479	582	
	e	22	41	65	99	116	175	268	
	f	4.0	5.0	3.3	4.3	5.3	6.3	7.3	
	g	953	1 041	934	628	591	624	765	
	h	24.50	24.75	26.50	26.50	24.50	26.75	25.50	
	i	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	
	j	15	15	15	15	15	15	15	

式中: S_{PQI} 为路面使用性能指数; I_{PCI} 为路面损坏状况指数; I_{RQI} 为路面行驶质量指数; I_{RDI} 为路面车辙深度指数; I_{SRI} 为路面抗滑性能指数; w_{PCI} 、 w_{RQI} 、 w_{RDI} 、 w_{SRI} 分别为 I_{PCI} 、 I_{RQI} 、 I_{RDI} 、 I_{SRI} 在 S_{PQI} 中的权重;对于高速公路沥青路面 $w_{PCI} = 0.35$; $w_{PQI} = 0.40$; $w_{RDI} = 0.15$; $w_{SRI} = 0.10$ 。

d 为年均日交通量(10^4 pcu/d),指小客车折算后的全年平均日交通量; e 为年均日重车交通量(10^4 veh/d),指路段的大型客车、大型货车等重车绝对交通量之和的全年日平均数; f 为计算使用年限(年),指路段正式通车时间到统计年份,并考虑大中修工程影响因素后的折算使用年限(年),采用大中修年限折算系数进行折算。大中修年限折算系数采用经验计算公式。

$$u_{n+1} = \sqrt{\left(\frac{P}{Q} + \frac{S_{PQI}^n}{S_{PQI}^{n+1}}\right) / 2}$$

(2)

式中: u_{n+1} 为大中修年限折算系数; P 为第 n 年的路面小修维修量; Q 为第 n 年含大中修的路面总维修量; S_{PQI}^n 为第 n 年的路面使用性能指数; S_{PQI}^{n+1} 为第 $n+1$ 年的路面使用性能指数; n 为实施有路面大中修工程时的使用年数; g 为年均降雨量(mm),指高速公路所在地区的年平均降雨量; h 为年平均温差

(℃),指年中最高月平均气温与最低月平均气温之差; i 为路面宽度(m); j 为路面厚度(mm)。

由于采集的各数据单位不一致,也为使 BP 神经网络收敛效果明显,将输入、输出样本数据进行归一化处理,使其分布于 0~1 之间。归一化的具体作用是归纳统一样本的统计分布性。采用对数函数对数据作归一化处理,网络预测输出后再对数据进行反归一化处理。

2.2 BP 神经网络建立

基于 Matlab 的 BP 神经网络共有 3 层:输入层、隐含层和输出层。其中,输入层为引起路面破损的各影响因素量化指标,即路面工程质量等级评分值、路面使用性能指数、年均日交通量、年均日重车量、计算使用年限、年均降雨量、年平均温差、路面厚度、路面宽度,共 9 维,设为 R 。隐含层节点数的选择与具体问题有关,在不同情况下可能选择不同的隐含层节点数。一般来说网络隐含层节点数太少, BP 神经网络不能建立复杂的映射关系,容错性差;节点数过多,又使学习时间过长,误差也不一定最小,因此 BP 神经网络有一个最佳隐含层节点数^[10]。

在试验中隐含层节点数可按 $h = \sqrt{N+O} + \theta$ 或 $h = \log_2(N) + \theta$ 确定大致范围(其中 h 为隐含层节点数, N 为输入层节点数, O 为输出层节点数, θ 为 0~10 之间的整数)。根据上式大致可确定隐含层节点数范围 4~14,然后逐一试验确定隐含层的节点数为 7 时误差最小,所以取隐含层节点数为 7。输出层只有一维,即为 2004~2010 年路面破损工程数量,将其设为 T 。此时, BP 神经网络模型稳定且可获得较好的结果。

在 Matlab 中对 BP 算法进行测试、仿真,第一步是建立网络对象。函数 newff 建立一个可训练的前馈网络,这需要 4 个输入参数,命令为:net=newff(minmax(R),[7,1],{'tansig','purelin'},'trainlm');这个命令建立了网络对象并且初始化了网络权重和偏置,它的输入是 2 个元素的向量,隐含层有 7 个神经元,输出层有 1 个神经元。隐含层的转移函数是 tansig,输出层的转移函数是 purelin,训练函数是 trainlm,接下来就可以进行训练了。

2.3 BP 网络训练和预测

本文的 BP 网络学习算法采用 LM (levenberg-marquardt)算法,LM 算法是为了训练 BP 网络而提出的最快速算法。程序部分代码如下

```
net = newff(minmax(R),[7,1],{'tansig','purelin'},'trainlm');
```

```
net.trainParam.show = 50; net.trainParam.epochs=100;
net.trainParam.goal = 1e-3; net = train(net,R,T);
Y=sim(net,R1).
```

式中: Y 为网络模型预测值。

执行代码后,在命令行中将实时显示网络的训练状态,训练预测输出结果如图 1 所示。

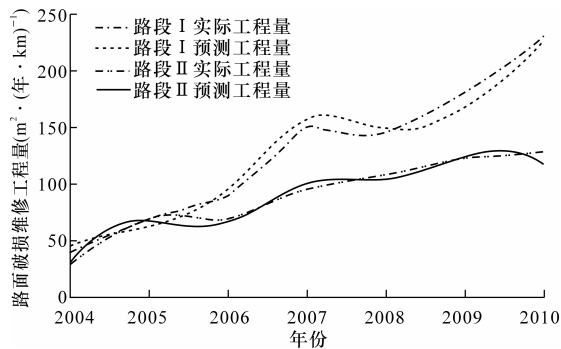


图 1 年单公里路面破损小修
保养工程量预测曲线

Fig. 1 Minor maintenance amount prediction
curve of unit kilometer pavement in a year

2.4 误差分析

为了验证神经网络模型的可行性,应用同样的训练样本采用多元线性回归模型预测,进行对比分析^[11]。用 Δ_{MAPE} (绝对平均误差%)这个参数评价模型的精确度,其计算公式为

$$\Delta_{MAPE} = \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - Y_i| / Y_i}{n} \times 100\% \tag{3}$$

式中: Δ_{MAPE} 为绝对平均误差(%); X_i 为第 i 个样本的预测值; Y_i 为第 i 个样本的实际值; n 为样本数。

Δ_{MAPE} 是一个模型预测精确度的评价指标,用于评价模型预测值与实际值的相关性。 Δ_{MAPE} 值越小,表示模型的预测效果越好。预测结果对比见表 3。

表 3 预测结果及误差分析

Tab. 3 Prediction results and error analysis

2010 年路面破损维护工程 量/(m³·(年·km)⁻¹)	实际 值	预测值		$\Delta_{MAPE}/\%$	
		BP 神经 网络	回归 分析	BP 神经 网络	回归 分析
路段 I	230	225	221	5	14
路段 II	128	117	97		

由表 3 可以看出,神经网络模型的预测误差比多元回归模型的误差小。所以用神经网络模型进行路面小修保养工程量的预测更合理可靠。

3 结 语

(1)基于 Matlab 的 BP 神经网络的路面小修保

养维修数量预测方法,是考虑路面初期质量、养护管理水平、交通量及其组成、道路使用年限、自然条件等多种因素的多元非线性模型,通过实测数据分析,该模型较多元线性回归模型误差小。

(2)在一定量的历史统计数据基础上,BP神经网络模型也可用于路基、桥梁、隧道日常养护项目的小修保养工程量预测。

(3)确定小修保养工程量的BP神经网络预测模型,对高速公路养护管理部门制定合理的养护工程经费计划具有参考价值。

(4)影响高速公路小修保养工程数量的因素较多,BP神经网络预测方法是否对所有小修保养项目都能表现良好,还需进一步通过实际统计数据进行验证,但从其基本原理与案例结果看,它是解决该问题的一种有效方法。

参考文献:

References:

- [1] 于玲,王澍,包龙生.高速公路沥青路面养护费用模型建立及维修排序[J].辽宁交通科技,2006(2):5-7.

YU Ling, WANG Shu, BAO Long-sheng. Establishment of pavement maintenance cost model and sequencing of maintenance for highway asphalt pavement[J]. Liaoning Communication Science and Technology, 2006(2): 5-7. (in Chinese)

- [2] 牛永亮,邱兆文.高速公路路面小修工程量预测模型研究[J].筑路机械与施工机械化,2008,25(1):54-56.

NIU Yong-liang, QIU Zhao-wen. Predication model study of current repair amount of expressway pavement[J]. Road Machinery & Construction Mechanization, 2008, 25(1): 54-56. (in Chinese)

- [3] 李连升.河南省高速公路路面坑槽与裂缝养护维修率的模糊回归应用研究[D].西安:长安大学,2007.

LI Lian-sheng. Study on the fuzzy regression application of potholes and cracks maintenance ratio of henan highway[D]. Xi'an: Chang'an University, 2007. (in Chinese)

- [4] 杨志勇.高速公路小修保养维修率预测研究[J].筑路机械与施工机械化,2008,25(3):47-48.

YANG Zhi-yong. Study on prediction for motorway maintenance ratio in miniature[J]. Road Machinery & Construction Mechanization, 2008, 25(3): 47-48. (in Chinese)

- [5] 崔文社,陶晶,张争奇,等.高速公路沥青路面车辙

成因试验[J].长安大学学报:自然科学版,2009,29(4):8-12.

CUI Wen-she, TAO Jing, ZHANG Zheng-qi, et al. Test on rut causes of expressway asphalt pavement[J]. Journal of Chang'an University(Natural Science Edition), 2009, 29(4): 8-12. (in Chinese)

- [6] 张绍阳,马玉兰,王选仓.基于关联分析的路面病害成因确定方法[J].中国公路学报,2008,21(2):98-103.
ZHANG Shao-yang, MA Yu-lan, WANG Xuan-cang. Genesis judgment method of pavement disease by association analysis[J]. China Journal of Highway and Transport, 2008, 21(2): 98-103. (in Chinese)

- [7] 支喜兰,王威娜,张超,等.高速公路沥青路面早期性能评价模型[J].长安大学学报:自然科学版,2009,29(2):1-4.

ZHI Xi-lan, WANG Wei-na, ZHANG Chao, et al. Evaluation model of early performance of freeway asphalt pavement[J]. Journal of Chang'an University (Natural Science Edition), 2009, 29(2): 1-4. (in Chinese)

- [8] 王金昌,赵颖华,孙雅珍.沥青混凝土路面表面裂缝的疲劳变温损伤分析[J].中国公路学报,2001,14(2):6-8.

WANG Jin-chang, ZHAO Ying-hua, SUN Ya-zhen. Fatigue damage analysis of surface cracked asphalt pavement under varying temperature[J]. China Journal of Highway and Transport, 2001, 14(2): 6-8. (in Chinese)

- [9] 刘寒冰,张云龙,魏志刚.连续配筋混凝土路面早期裂缝[J].交通运输工程学报,2008,8(2):59-64.

LIU Han-bing, ZHANG Yun-long, WEI Zhi-gang. Early crack of continuously reinforced concrete pavement[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2008, 8(2): 59-64. (in Chinese)

- [10] 胡雪棉,赵国浩.基于Matlab的BP神经网络煤炭需求预测模型[J].中国管理科学,2008,16(10):521-525.

HU Xue-mian, ZHAO Guo-hao. Forecasting model of coal demand based on Matlab BP neural network[J]. Chinese Journal of Management Science, 2008, 16(10): 521-525. (in Chinese)

- [11] 赵明.多元线性回归预测及其检验在EXCEL中的实现[J].吉林化工学院学报,2003,20(2):85-87.

ZHAO Ming. The realization of multiple linear regression forecast and verification in EXCEL[J]. Journal of Jilin Institute of Chemical Technology, 2003, 20(2): 85-87. (in Chinese)