

# 高温天气下沥青路面温度预测研究

蒋忠海, 周亮兵, 郑月云

(佛山科学技术学院 交通与土木建筑学院, 广东 佛山 528000)

**摘要:**为实现高温天气下沥青路面温度的精准预测,采集高温天气下道路交通与气象数据,通过偏相关分析得到路面温度与各个变量的偏相关系数。选取显著相关变量,利用SPSS多层感知器神经网络建立路面温度滚动预测模型。通过与实测路面温度对比,模型对路面温度预测效果较好。

**关键词:**高温;路面温度;预测;偏相关系数

## 1 前言

由于沥青路面具有行车舒适、维修方便等特点,中国绝大部分重要道路均采用沥青路面。沥青路面暴露在恶劣的自然环境中,直接受气象因素,如空气温度、空气湿度、太阳辐射、降雨及风速等的影响。而沥青又是一种典型的温度敏感性材料,沥青路面的路用性能和力学特性随着温度的升降有明显的变化。在高温天气时,路面温度的升高是车辆爆胎事故发生的主要原因之一,同时随着路面劲度模量的降低,也容易产生车辙和推挤等病害。因此,研究各气象因素对路面温度的影响,并能根据气象信息对路面温度实现准确预测,对道路交通安全的预警与道路病害的防治具有重要意义。

几十年来,人们对于高温路面温度场的研究做出了大量的努力。Barber通过将路面视为均质半无限体,首先使用理论分析的方法建立模型来预测路面最高温度;Huber通过气温,以及利用热平衡方程计算得到的路表温度对两者进行了回归分析,建立了包含日最高气温和纬度的计算路表最高温度确定型公式;Hermansson建立了用于计算高温条件下的沥青路面温度场的仿真模型,模型的输入参数包括各个小时太阳辐射、气温和风速;朱承瑛等通过对高速公路大量的数据采集,运用能量守恒的方法,建立了沥青路面温度滚动预测模型。现在对于路面温度场的研究总体上可以分为理论分析与统计分析两种方法,其中统计分析法相比于前者有参数更容易获取,模型结构简单的优

点,在道路交通工程实践中的运用也更加广泛。该文献拟通过采集气象参数与沥青路面温度数据建立路面温度逐时滚动预测模型,从而实现高温天气下沥青路面温度的预测。

## 2 数据的采集与分析

### 2.1 数据采集

此次试验监测对象为广东省佛山市南海区一段直线形沥青路面,监测时间为2019年7至9月高温晴朗天气下08:00—18:00。采用JTR13型室外小气候环境测试系统,该仪器能够采集风速、气温、相对湿度、太阳辐射强度4个气象参数,每5min采集一次并自动记录。在路面中央按3m等距布设4个测温点,路面温度30min测量一次,同时记录交通量。

为减小测量仪器以及不同测温点道路内部结构差异而产生的误差,对每30min各个气象参数与各点的路面温度取平均值。表1为2019年9月10日的的数据。

### 2.2 数据分析

环境是一个多要素系统,各个要素之间也存在着不同的相关关系,因此在分析路面温度与某个变量之间的相关性时,往往会受到其他变量的干扰而影响准确性。该文利用偏相关分析,通过控制其他变量 $z$ ,来分析路面温度 $x$ 与某个特定变量 $y$ 的关系,两者之间的偏相关系数 $r_{xy,z}$ 定义为:

$$r_{xy,z} = \frac{r_{xy} - r_{xz}r_{yz}}{\sqrt{(1-r_{xz}^2)(1-r_{yz}^2)}} \quad (1)$$

表 1 2019 年 9 月 10 日监测数据

时间	风速/ ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )	气温/ $^{\circ}\text{C}$	相对湿 度/%	太阳辐射强度/ ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ )	交通量/ pcu	路面温 度/ $^{\circ}\text{C}$
08:30	0.2	27.1	83	0	492	35.1
09:00	0.2	28.4	79	0	409	35.3
09:30	0	30.6	71	3	388	37.0
10:00	0.5	30.9	69	8	421	38.0
10:30	0	30.4	69	12	378	38.9
11:00	0.7	31.3	66	16	424	40.8
11:30	1.0	31.9	65	15	455	40.9
12:00	0.5	31.7	65	14	437	41.2
12:30	0.6	31.8	66	11	453	40.8
13:00	0.2	32.4	64	9	427	40.9
13:30	0	33.2	62	17	375	42.5
14:00	0	34.1	60	24	342	44.3
14:30	0.2	35.2	57	28	361	45.9
15:00	0.2	35.8	55	34	372	47.2
15:30	0.4	34.7	58	33	412	46.3
16:00	0	34.6	57	22	390	44.0
16:30	0.2	34.6	57	23	426	43.6
17:00	0	34.4	56	21	443	43.2
17:30	0	33.8	58	18	491	42.7
18:00	0	33.0	62	11	485	40.9

式中： $r_{xy}$ 、 $r_{xz}$ 、 $r_{yz}$  分别为变量  $x$  与  $y$ 、 $x$  与  $z$ 、 $y$  与  $z$  的相关系数。

路面温度变化实际上是基于路面初始温度,受内外部各个因素的变化而变化的连续性过程,该文通过计算相邻时间段内各个参数变化量来预测路面温度的变化。利用 SPSS 数据统计软件将路面温度变化与标准化后的风速、气温、相对湿度、太阳辐射强度以及交通量的半小时变化量进行偏相关分析,最终结果如表 2 所示。

表 2 路面温度偏相关分析结果

项目	偏相关系数	显著性(双尾)	自由度
风速	0.424	0.064	874
气温	0.491	0.079	874
相对湿度	-0.085	0.651	874
太阳辐射强度	0.852	0.007	874
交通量	0.315	0.093	874

由表 2 可知:太阳辐射强度的变化对路面温度的影响最大,偏相关系数达到最高 0.852。相对湿度变

化对路面温度影响最小,且不相关的概率达到 65.1%。因此忽略相对湿度对路面温度的影响,选择风速、气温、太阳辐射强度和交通量数据进行建模。

### 3 建立模型

路面外部环境与路面温度存在着复杂的相关性,各个变量之间也相互影响,利用普通的多元线性回归模型无法排除各个自变量之间共线性带来的误差。神经网络模型能充分逼近复杂的非线性关系,建立真实世界的关系模型十分灵活。在最常用的前向神经网络模型中,存在多层感知器和径向基函数两种神经网络方法。多层感知器是一个前馈式有监督的结构,可以包含多个隐藏层进行特征提取,一个或者多个不同类型的因变量,神经网络会根据输入数据建模。此外,多层感知器相比径向基函数能发现更加复杂的非线性关系。因此,该文拟通过多层感知器神经网络来建立路面温度滚动预测模型。

在 SPSS 多层感知器里,将风速、气温、太阳辐射强度和交通量半小时变化作为协变量,所有协变量进

行标准化以排除量纲带来的误差,最后将路面温度半小时级别变化量设置为因变量。为防止过度训练,样本按7:3比例建模与测试,样本的处理汇总见表3。设置完保存XML格式模型。输出的多层感知器神经网络图如图1所示,模型输入层神经元个数为4个,隐藏层为3个,输出层1个。模型的自变量重要性见表4,可以看出,4个变量中太阳辐射强度的变化对路面温度的影响最大。

表3 样本处理汇总

项目	N/个	百分比/%
训练样本	612	70
测试样本	262	30
有效	874	100
已排除	0	
总计	874	

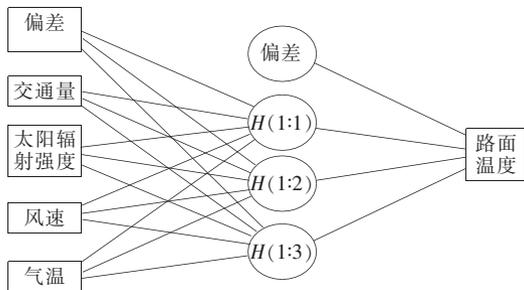


图1 神经网络结果示意图

表4 自变量重要性

项目	重要性	正态化重要性/%
太阳辐射强度	0.403	100
气温	0.327	81.1
风速	0.194	48.1
交通量	0.076	18.9

## 4 模型的预测

利用新得到的神经网络模型对监测数据进行评分,得到路面温度半小时级别预测变化值,代入初始路面温度进行累加,得到滚动预测路面温度。以2019年8月14日为例(图2),当天最高实测路面温度与预测最高路面温度均出现在14:30左右,分别为53.2℃和53.6℃,两者仅相差0.4℃。路面温度变化方向的预测正确率达到94.7%,预测温度与实测值误差均在2℃以内,在1℃以内的频率为84.2%,模型预测精度较高。

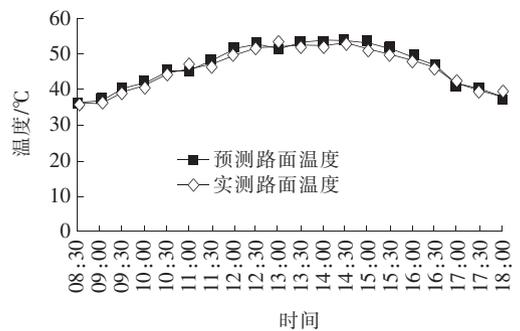


图2 实测温度与预测温度比较(2019年8月14日)

## 5 结论

(1) 采集高温天气下沥青路面温度、交通量与气象数据,处理后进行偏相关分析,得到各个气象变量与交通量对路面温度变化的影响。

(2) 建立多层感知器神经网络模型,将采集到的数据代入模型得到预测路面温度,与实际路面温度对比表明,日路面最高温度预测较准确,模型整体预测效果较好。

(3) 模型在实际应用中依赖气象预报,在不同天气、不同纬度地区的适用性需进一步验证。

### 参考文献:

- [1] 杨博. 基于有限元方法的沥青路面车辙影响因素分析及其应用研究[D]. 长安大学硕士学位论文,2010.
- [2] 谭志远,李强. 影响路面内部温度的气象指标研究[J]. 交通科学与工程,2016(3).
- [3] Barber, E. S. Calculation of Maximum Pavement Temperatures from Weather Reports [R]. Highway Research Board, Bulletin 168, National Research Council, Washington D. C., 1957.
- [4] Huber, G. A. Weather Database for the SUPERPAVE Mix Design System[R]. Strategic Highway Research Program, SHRP - A - 648A, National Research Council, Washington D. C., 1994.
- [5] Hermansson, A. Simulation Model for Calculating Pavement Temperature Including Maximum Temperature[J]. Transportation Research Record, 2000, 1699:134-141.
- [6] 朱承瑛. 高速公路路面温度模型及其预报系统的研究[D]. 南京信息工程大学硕士学位论文,2008.
- [7] 吴湘锋. 前馈人工神经网络的硬件实现研究[D]. 湘潭大学硕士学位论文,2015.
- [8] 李强,黄葵阳. 超疏水表面液滴蒸发内部流体流动与传热分析[J]. 中外公路,2017(5).
- [9] 李雪毅,邹晓翎,吁新华. 热风循环式就地热再生沥青路面温度场[J]. 中外公路,2018(2).