

文章编号: 1005-0523(2010)02-0024-05

宁波典型天气的沥青下垫面日极值温度预测

邹晓翎¹ 杨 琴² 廖志高³

(1. 同济大学道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 201804; 2. 西南石油大学建筑工程学院, 四川 成都 610500; 3. 民航专业工程质量监督总站, 北京 100007)

摘要: 根据宁波地区气象观测站的气象要素和沥青下垫面的温度观测资料, 利用多元线性逐步回归方法, 得到了晴天、少云、多云和阴雨天气条件下沥青下垫面的日最高温度、最低温度与气象要素特征值的多元回归模型。结果表明: 晴天、少云、多云和阴雨天沥青下垫面的日最高温度主要与日最高气温、日太阳总辐射和日平均风速相关; 日最低温度与日最低气温线性相关。经检验, 模型的预测温度与实测温度相关系数平方在 0.91~0.98 之间。预测模型对宁波地区沥青层结构物表面的极值温度预估具有一定的参考价值。

关键词: 温度场; 沥青下垫面; 典型天气; 日最高温度; 日最低温度; 预测模型

中图分类号: TU119

文献标识码: A

随着城市化进程的快速发展, 城市的钢筋混凝土建筑、沥青路面部分地取代了以往的自然状态下垫面的性质, 也影响了太阳辐射的吸收, 进而导致区域性的城市小气候环境发生明显变化^[1]。下垫面表面温度既表征太阳辐射与大气对地表的作用, 也表征地表表层自身的热性质, 包括陆地地表类型、水分情况与水热收支特征等^[2]。研究沥青下垫面的温度特征值的日变化对城市热岛效应、辐射平衡、道路温度场模拟及验证具有重要意义。国内外许多学者利用气象要素分析并得出相应的统计模型推测沥青下垫面温度的特征值^[3-5], 但其从预测结果的精度来看并不能达到令人满意的效果。为提高预测精度, 应将下垫面温度与气象资料分地区、分天气情况进行统计分析, 找出适用于该地区下垫面的温度预估模型。

本文利用 2008 年 3 月至 2009 年 5 月时段内, 宁波地区气象观测站的气象要素和沥青下垫面的表面温度观测资料, 利用多元逐步回归方法定量分析了各种沥青下垫面的日极值温度与气象要素特征值之间的关系, 建立以气象站资料预测宁波地区沥青下垫面极值温度的经验回归模型, 研究结果对于辐射平衡分析和路面温度场研究具有一定的参考价值。

1 研究地概况与资料来源

宁波地区位于东经 120°55′至 122°16′, 北纬 28°51′至 30°33′, 属亚热带季风气候, 温和湿润, 四季分明, 年平均气温 16.2℃, 平均气温以七月份为最高, 达 28.8℃, 一月份最低, 为 4.2℃。年平均降水量为 1 300 mm 至 1 400 mm。五月至九月降水量占全年的 60%。

本文分析资料均来自于宁波市鄞州区气象局标准气象观测场(东经 121°33′、北纬 29°47′、海拔 5 m)的地面气象和下垫面观测资料。观测站按国家一般气象站标准设计, 东西长 50 m, 南北长 25 m, 均质草皮地面。气象要素观测资料按照《地面气象观测规范》^[6]要求进行。下垫面温度资料也来自于该观测站内设置的砖块、沥青层、水泥层 3 种下垫面中的沥青层温度观测资料, 各下垫面的平面尺寸为 1.0 × 1.0 m², 厚度 0.04 m, 相互之间间隔 1.0 m, 上表面与观测场的地面齐平。沥青下垫层采用沥青砂, 其配合比为 1: 1.2: 1.5(沥青, 矿粉, 砂), 经测试, 导热系数为 0.002 6 m²/h。温度传感器采用国家气象观测站标准

收稿日期: 2009-12-09

基金项目: 交通部西部交通建设科技项目(200831800099)

作者简介: 邹晓翎(1978-), 男, 工学博士研究生, 研究方向路面结构与材料。

的钨电阻地温传感器,型号为 PT100,测温范围为 $-50\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 80\text{ }^{\circ}\text{C}$,在 $-50\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内最大误差为 $\pm 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$,大于 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的最大误差为 $\pm 0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。下垫面温度及气象要素数据采集通过数据线直接接入鄞州区气象局测报中心机房,通过地面气象测报业务软件 OSSMO 逐分钟存贮相应的数据。本文分析用的沥青下垫面极值温度取自 10 分钟均值数据,气温、风速、云量、降雨量等气象要素数据取自地面气象记录月报表(a 文件)的统计数据;太阳辐射数据取自逐分钟数据观测文件(AWS*.RRD)。

2 预测方法与结果分析

以 2008 年 3 月 1 日到 2009 年 2 月 28 日的沥青层下垫面温度观测资料为建模系列。首先采用 Pearson 相关系数^[7]分析沥青下垫面日最高温度 $T_{s\text{max}}$ 与各气象要素(日最高气温 $T_{a\text{max}}$ 、日太阳总辐射 Q_{sum} 、日最大太阳辐射 Q_{max} 、日平均风速 v 、日降水量 R 、日平均低云量 $\overline{C_l}$) 之间的相关关系,分析时还应该考虑各自变量 m 次方与 $T_{p\text{max}}$ 相关的紧密性。表 1 给出了沥青下垫面日最高温度与各气象要素相关性的分析结果。

表 1 沥青下垫面日最高温度与各气象要素相关系数

气象要素	$T_{a\text{max}}$	$T_{a\text{max}}^2$	$T_{a\text{max}}^3$	Q_{sum}	Q_{sum}^2	Q_{sum}^3
$T_{s(\text{max})}$	0.770 7	0.767 0	0.723 2	0.741 7	0.648 6	0.543 0
气象要素	Q_{max}	Q_{max}^2	Q_{max}^3	v	v^2	v^3
$T_{s(\text{max})}$	0.684 4	0.657 3	0.574 3	0.091 0	0.037 0	0.028 0
气象要素	R	R^2	R^3	$\overline{C_l}$	$\overline{C_l}^2$	$\overline{C_l}^3$
$T_{s(\text{max})}$	0.035	0.015	0.008 3	0.095 5	0.036 3	0.034 6

从表 1 可以看出,日路表最高温度 $T_{s\text{max}}$ 与各气象要素一次方的相关性均高于 m 次方。因此,在进行回归分析时候,将以上气象要素的一次方作为自变量引入回归方程。各种气象要素的组合采用逐步回归技术剔除一些影响小的变量或项,即首先根据最小二乘法估计的方差分析结果选择自变量与因变量相关程度最高的进入回归方程,直至满足最小 F 概率(概率最小设定值)的变量全部引入回归方程;然后每次剔除一个使方差分析中 F 值最小的自变量,重复进行直到回归方程中的自变量均符合进入模型的判据,当无变量被引入或被剔除时,则终止回归方程。

2.1 日最高温度预测

根据宁波地区气候及气温变化特点,结合《地面气象观测规范》,以地面气象记录月报表(a 文件)中的日平均低云量 $\overline{C_l}$ 为依据,划分为 4 种典型天气:晴天(白天日照充分,碧空无云或 $\overline{C_l} \leq 1$ 成)、少云(白天时段有日照无雨,1 成 $\overline{C_l} \leq 3.5$ 成)、多云(白天时段有日照也有雨,3.5 成 $\overline{C_l} \leq 7.5$ 成)、阴雨天(白天无日照,7.5 成 $\overline{C_l} \leq 10.0$ 成)。采用逐步回归方法建立以上 4 种天气条件下沥青下垫面日最高温度与气象要素之间的预测模型为

$$T_{p\text{max}} = a_1 \times T_{a\text{max}} + a_2 \times Q_{\text{sum}} + a_3 \times v + a_0 \quad (1)$$

式中: $T_{a\text{max}}$ 为日最高气温($^{\circ}\text{C}$); Q_{sum} 为日太阳总辐射($\text{MJ}/\text{m}^2/\text{d}$); v 为日平均风速(m/s); a_1 a_2 a_3 a_0 为回归系数。

表 2 给出了晴、少云、多云和阴雨天预测方程(1)的回归系数及误差分析。从表 2 可以看出,4 种典型天气条件下沥青下垫面的总体回归效果均达到了显著水平。平均绝对误差在 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,但多云天气回归的标准误差 S 达 $3.6\text{ }^{\circ}\text{C}$,主要因为多云天气白天有时云层遮住日照、有时有雨,下垫面接收到的太阳辐射具有随机性,而日太阳总辐射作为不能反映多云的随机天气过程。由于日最高气温和最高下垫面温度一般出现在白天 13 点时刻左右,为此,对于多云天气,以每天 13 点前的太阳总辐射来代替 Q_{sum} 进行回归,修正的模型如下

$$T_{p\text{max}} = 1.019\ 5 \times T_{a\text{max}} + 2.203\ 2 \times Q_{13} - 1.602\ 2 \times v + 5.759\ 4$$

$$(R=0.981\ 4\ m_{pd}=2.1\ ^\circ\text{C}\ S=2.3\ ^\circ\text{C}) \quad (2)$$

式中: Q_{13} 为每日 13 点前太阳辐射 (MJ/m^2); $T_{a,\max}$ 意义同 (1) 式。

表 2 沥青下垫面日最高温度预测方程的系数与统计结果

典型天气	a_1	a_2	a_3	a_0	样本数	R	F	$m_{pd} (^\circ\text{C})$	$S (^\circ\text{C})$
晴天	1.029 2	1.103 6	-2.018 3	8.194 0	94	0.982 6	838.5	2.0	1.6
少云	1.083 1	0.995 8	-1.911 6	9.808 6	85	0.984 3	840.5	2.1	1.6
多云	1.110 1	1.259 3	-1.868 4	5.622 1	91	0.972 9	513.4	2.2	3.6
阴雨天	0.913 0	1.797 2	-0.960 5	2.230 1	95	0.979 2	705.7	1.9	2.0

注: 表中 R m_{pd} S 分别指回归方程的相关系数、平均绝对误差和标准差。

通过对以上 4 种典型天气条件下沥青下垫面的回归模型进行 F 检验, 相伴概率均小于 0.001, 说明回归方程中自变量与因变量之间确实有线性回归关系; 对方程回归系数检验时 (t 检验) 相伴概率也都小于 0.001, 说明各方程中回归系数与 0 有显著差异, 回归有意义。

从表 2 中各种天气条件下预测方程的统计结果及修正的多云天气回归模型 (2) 式中可以看到, 回归方程的相关系数 R 均大于 0.97, a_1 值均为 1 左右, 说明其 a_1 对应的气温对 $T_{p,\max}$ 在各种天气条件下大致相当; 但不同天气条件下各模型的回归系数 a_2 a_3 和 a_0 变化较大, 说明其对应的 Q_{sum} (Q_{13})、 v 对 $T_{p,\max}$ 的影响权重不同。

2.2 日最低温度预测

沥青下垫面日最低温度 $T_{p,\min}$ 的预测方法与日最高温度模型的建立方法相同。由于下垫面日最低温度一般出现在日出前的凌晨时刻, 日太阳总辐射对其影响不显著, 下垫面的日最低温度主要受最低气温影响。晴天、少云、多云和阴雨天的日最低温度可表示为

$$T_{p,\min} = m \times T_{a,\min} + n \quad (3)$$

式中: m n 表示回归系数, $T_{a,\min}$ 意义同 (1) 式。

表 3 给出了 4 种天气条件日最低温度的回归系数及其误差分析。

表 3 日路表最低温度预估模型的统计结果

天气	m	n	样本数	R	F	$m_{pd} (^\circ\text{C})$	$S (^\circ\text{C})$
晴天	1.157 1	-5.152 2	94	0.994 5	8 309	0.80	1.2
少云	1.141 7	-4.476 7	85	0.994 5	7 445	0.75	1.1
多云	1.140 7	-3.927 0	91	0.990 1	4 391	0.97	1.3
阴雨天	1.026 3	-0.832 1	95	0.996 5	4 731	0.76	1.0

从表 2 可以看出 4 种天气条件下 $T_{p,\min}$ 的回归相关系数均达 0.99 以上, 最大绝对误差小于 $1\ ^\circ\text{C}$, 标准差均在 $1\ ^\circ\text{C}$ 左右, $T_{p,\min}$ 的预测模型具有较高精度。

3 预测结果的检验

利用上述模型对 2009 年 3 月 1 日至 2009 年 5 月 31 日晴天、少云、多云、阴雨天等 4 种天气的日最高和日最低温度进行了预测。图 1、图 2 分别为 4 种下垫面日最高和日最低温度的预测值和实测值的对比。图中横坐标表示实测温度, 纵坐标表示预测温度, 图中黑实线表示预测值与实测值相等, R^2 为预测值与实测值相关系数的平方。

从图 1 可以看出, 晴天、少云、多云和阴雨天沥青下垫层日最高温度预测结果比较好, 预测值和实测值的相关系数的平方 R^2 分别达 0.910 9、0.914 9、0.924 5、0.925 3。由图 2 可见, 沥青下垫层日最低温度 $T_{p,\min}$ 预测值和实测值的相关系数的平方在 0.92~0.99 之间, 其预测效果比 $T_{p,\max}$ 好。

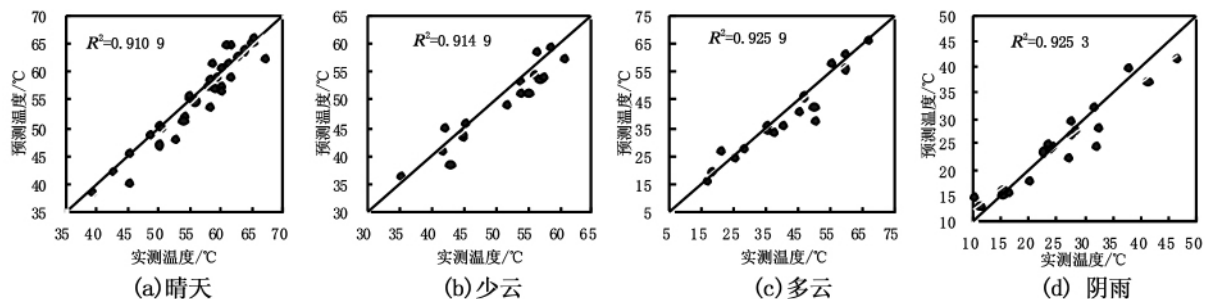


图1 沥青下垫面日最高温度预测值与实际观测值的对比

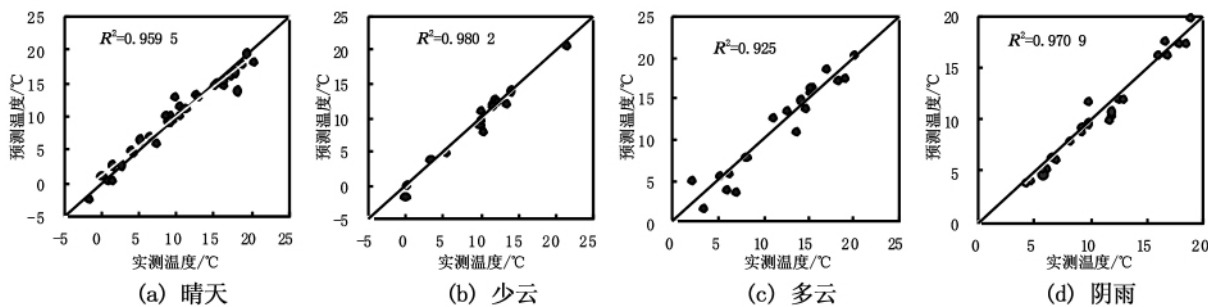


图2 沥青下垫面日最低温度预测值与实际观测值的对比

4 结语

(1) 在分析沥青下垫面表面温度与气象要素之间关系的基础上,运用逐步回归统计分析方法剔除一些影响小的变量,晴天、少云、多云、阴雨天4种典型天气的沥青下垫面表面的日最高温度主要与日最高气温、日太阳总辐射和日平均风速相关;其日最低温度与日最低气温线性相关。

(2) 晴天、少云、多云、阴雨天等4种薄层下垫面表面的日最高温度和日最低温度的预估模型分别可用式(1)、式(3)表示。

(3) 经实测数据检验,晴天、少云、多云、阴雨天表面日最高温度和日最低温度的预测值与实测值的能较好地符合, $T_{p, \max}$ 预测值和实测值的相关系数的平方均达0.91以上, $T_{p, \min}$ 预测值和实测值的相关系数 R^2 在0.95左右。

需要指出的是,本文仅以宁波地区4种不同天气条件下的沥青下垫面温度实测资料进行统计回归,得出的日极值温度预测模型对于房屋建筑屋顶、沥青路面等沥青层结构物表面的极值温度预估具有参考价值,但未考虑各下垫面的边界尺寸效应以及薄层垫面与结构物下卧层材料导热性能的差异。因此,要使以上预测模型更具有普适意义,针对具体的结构还需要进行适当的修正。

参考文献:

- [1] 范玉芬, 盛文斌, 杜俐萍, 等. 夏季不同下垫面温度的对比观测及分析[J]. 大气科学研究与应用, 2008, 31(2): 43-51.
- [2] 王燕, 吕达仁. GMS 5 反演中国几类典型下垫面晴空地表温度的日变化及季节变化[J]. 气象学报, 2005, 63(6): 957-968.
- [3] 秦健, 孙立军. 沥青路面温度场的预估模型[J]. 同济大学学报, 2006, 34(4): 480-483.
- [4] BRIAN K. DIFENDERFER, IMAD L. Model to Predict Pavement Temperature Profile: Development and Validation[J]. Journal of Transportation Engineering, 2006, 132(2): 162-167.
- [5] 李雄, 董蕙青, 黄嘉华, 等. 南宁各种下垫面温度特征及预报方法探讨[J]. 气象科技, 2005, 33(6): 487-491.
- [6] 中国气象局. 地面气象观测规范[Z]. 北京: 气象出版社, 2003.
- [7] 施能. 气象科研与预报中的多元分析方法[M]. 北京: 气象出版社, 1995.

A Forecast of Extreme Temperature on Asphalt Underlying Surface in Typical Weather of Ningbo Area

Zou Xiaoling¹, Yang Qin², Liao zhigao³

(1. The Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of Ministry of Education, Tongji University, Shanghai, 201804; 2. School of Civil Engineering and Architecture, Southwest Petroleum University, Chengdu, 610500; 3. Civil Aviation Professional Engineering Quality Supervision Station, Beijing, 100011, China)

Abstract: Based on temperature data of meteorological elements and asphalt underlying surface of Ningbo, The maximum temperature and the minimum temperature regression models in sunny, partly cloudy, cloudy and rainy days are set up using the method of multiple linear stepwise regression. Results show that the maximum temperature of asphalt underlying surface is mainly related to daily maximum air temperature, daily total solar radiation and daily average wind velocities; and a linear correlation is found between the daily minimum temperature and daily minimum air temperature. Upon examination, the correlation coefficient between forecast temperature and measured temperature is in 0.91 ~ 0.98. The predicting models has something referential value for forecast the extreme temperature on asphalt overlay structure of Ningbo area.

Key words: temperature field; asphalt underlying surface; typical weather; daily maximum temperature; daily minimum temperature; prediction model

(责任编辑 王建华 李 萍)

