

沪渝高速(湖北段)路面温度变化特征及预报研究

成丹 付晓辉

(湖北省气象服务中心, 武汉 430205)

摘要: 利用2013年6月—2014年8月沪渝高速湖北段沪蓉西、汉宜、武黄、黄黄四路段自动气象站逐分钟观测的路面温度(以下简称路温)、气温、风速、风向、相对湿度、降水等气象资料,分析了沪渝高速湖北段不同路段在不同季节以及不同天空状况条件下路温的变化特征,同时基于统计分析方法针对各路段分别建立最高和最低路温预报模型,并对预报结果进行检验。结果表明,沪蓉西、汉宜、武黄、黄黄四路段在不同季节和不同天空状况下路温和气温均具有明显的日变化特征,但路温与气温差值存在较大差异。沪蓉西路温与气温的最大差值较其他三路段冬季偏高而夏季偏低。冬季,晴到多云和阴天在日落后至日出前期间,沪蓉西路温和气温基本一致,而汉宜、武黄、黄黄路温小于气温;雨天四路段的气温均小于路温且沪蓉西最为明显。夏季,在三种天空状况下,四路段的气温均明显小于路温,且在晴到多云和阴天两者午后差值最大。沪蓉西、汉宜、武黄、黄黄四路段1月路温差异最小,而4、7、10月,路温随着四路段海拔高度的降低而升高。沪蓉西和黄黄路段路温模型预报结果与实况的变化趋势较为接近,该模型可以作为预报参考;汉宜和武黄路段个别时间点路温模型预报结果与实况存在较大误差,实际业务工作中需进行适当订正。

关键词: 路面温度, 日变化, 预报模型, 检验

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2016.04.007

Characteristics and Forecast Research of Road Surface Temperature on Huyu Expressway (the Section in Hubei)

Cheng Dan, Fu Xiaohui

(Hubei Meteorological Service Center, Wuhan 430205)

Abstract: In this paper, the monitoring data, which contain the road surface temperature, air temperature, wind speed, wind direction, relative humidity, precipitation observed at the traffic automatic weather stations named as Hurongxi, Hanyi, Wuhuang and Huanghuang on the Huyu expressway during the period from June 2013 to August 2014, are used to investigate the characteristics of the road surface temperature in different seasons and different sky conditions. The forecast model of the maximum and minimum road surface temperature are established for different sections by statistical analyses, and the forecast results are verified. The results show that the road surface temperature and air temperature at Hurongxi, Hanyi, Wuhuang and Huanghuang stations display obvious diurnal variation as well as the difference between the road surface temperature and air temperature display differently. Compared with the other three sections, the maximum difference between the road surface temperature and air temperature at Hurongxi increases in winter and decreases in summer overall. The road surface temperature is close to air temperature at Hurongxi after sunset on sunny to cloudy and overcast days in winter, while less than air temperature at Hanyi, Wuhuang and Huanghuang. The air temperature is less than road surface temperature at the four stations on rainy days, of which the most significant at Hurongxi. In summer, the air temperature is less than road surface temperature at the four stations on three types of sky conditions and the difference between both is the biggest in afternoon on sunny to cloudy and overcast. The road surface temperature is very close to each other among the four stations in January, while become different with the decrease of altitude in April, July and October. The forecast results of the road surface temperature were nearly close to the actual observations at Hurongxi and Huanghuang. So they may be used as references. But there were some big errors between the forecasts and observations at particular times at Hanyi and Wuhuang stations, the forecasts should be corrected for actual business.

Keywords: road surface temperature, diurnal variation, forecast model, verify

收稿日期: 2014年11月24日; 修回日期: 2015年4月1日
第一作者: 成丹(1988—), Email: chengdan19880423@126.com
资助信息: 中国气象局华中区域气象中心科技发展基金项目(QY-Y-201406)

0 引言

交通运输是国民经济的基础产业和重要服务行业,而气象条件对交通安全运行起着至关重要的作用^[1]。对路温与气象条件的关系以及路温的预报服务

进行深入研究,对交通事故的预防和减少具有重要意义。

近些年,国内外诸多学者针对不同路面的路温预报方法进行了研究。综合而言,大体分为两类。一是理论分析法^[2],即利用气象学和热传学的基本原理采用数值分析方法建立沥青路面温度场的预测模型。例如,Shao等^[3]利用能量守恒方法研制了自动实时的路温和路面状况预报模型;贾璐等^[4]利用热传导基本原理对沥青路面温度场进行了数值预报模型建立,同时采用有限差分方法来进行求解;朱承瑛等^[5]基于太阳短波辐射等参数化方案,应用地表热量平衡方程提出了高速公路路温机理模型。二是统计分析法^[2],即基于路面温度的监测数据和各气象要素资料,利用回归分析建立路面温度场与环境因素之间的定量关系。相较而言,统计分析法计算简单,建立的预报模型也具备一定的适度和精度。例如,吴晟等^[6]对南岭山高速公路的路面温度与天气状况、气温等气象要素的关系以及地形对该地区路温的影响进行了讨论;田华等^[7]通过利用沪宁高速公路沿线梅村和仙人山站两套自动站的监测数据,对两站路面温度在不同季节、不同天气状况下变化特征进行分析,从而分别建立了最高和最低路面温度统计模型;曲晓黎等^[8]利用京石高速公路沿线保定、望都和正定三套自动气象站的监测资料,对京石高速路面温度特征进行了分析,并且研究了多种气象因子与路面温度的相关关系。

沪渝高速公路是重庆第二条出海大通道,在湖北途经恩施、宜昌、荆州、仙桃、武汉、黄石、黄梅7座城市,该路段夏季路面高温和冬季低温冰雪时有发生。因此,本文利用沪渝高速公路沿线路面温度等气象要素

监测资料,分路段探讨路面温度的变化特征,并研究最高、最低路面温度统计模型,为沪渝高速湖北段夏季路面高温和冬季低温冰雪预报提供一定参考。

1 资料与方法

沪渝高速公路湖北段全长821.7km,包括沪蓉西、汉宜,武黄、黄黄等四个高速路段。该段路面材料选用了具有良好的高温稳定性和水稳定性的密级配中粒式沥青混凝土上层路面。路段沿线共设定了56套自动气象站,其中普通站46个,特殊站10个。普通站观测要素有气温、相对湿度、风向、风速、能见度、降水;特殊站在普通站观测要素基础上增加了路温、路面状况等观测要素。

本文主要利用安装在沪渝高速沪蓉西路段附近的三岔口大桥(海拔708m)、汉宜路段附近的李埠镇义合村(海拔95m)、武黄路段附近的华容区庙岭镇(海拔34m)、黄黄路段附近蕲河大桥(海拔25m)的四套自动气象站2013年6月—2014年8月逐分钟路温、气温、风速、风向、相对湿度、降水等气象要素资料,研究各路段路温的变化特征,并且基于统计回归方法分路段研究路温同多个气象要素的相关关系,从而建立最高和最低路温统计模型。

2 结果分析

2.1 路面温度分布特征

2.1.1 四路段路面温度在不同季节的变化特征

利用2013年6月—2014年5月沪渝高速湖北段不同路段自动气象站所监测的逐分钟气象要素资料,以1、4、7、10月为代表月,分析各路段不同季节路温和气温的日变化特征(图1和2,汉宜、武黄路段图

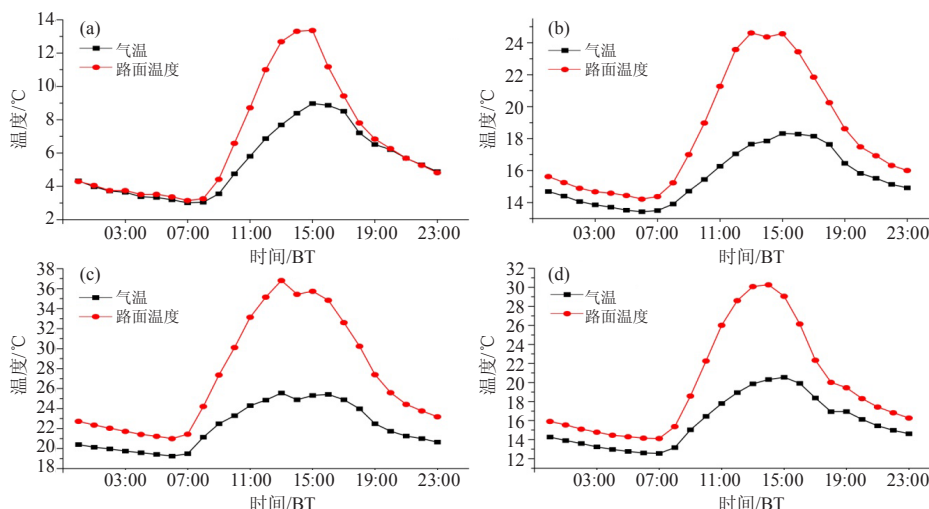


图1 2013年6月—2014年5月沪蓉西路段1月(a)、4月(b)7月(c)和10月(d)路温和气温日变化
Fig. 1 The diurnal variation of road surface temperature and air temperature at Hurongxi in January (a), April (b), July (c), October (d) averaged over the period from June 2013 to May 2014

略,下同)。可以发现,无论春、夏、秋、冬,各路段路温和气温均在早晨达到最低值,日出后路温升温较快,位相超前于气温,这主要是因为日出后受到太阳短波辐射作用,地面会迅速增温,然后通过地气相互作用加热空气,因此路温比气温到达最大值的时

间早,并且最大值高于气温。当路温达到最大值后立即呈现下降趋势,而气温则是在最大值附近维持了一段时间才逐步下降,这主要是因为路面的长波辐射使路温下降明显,而气温则是在其影响下才逐渐下降。1月,汉宜、武黄、黄黄在日落后时段路温

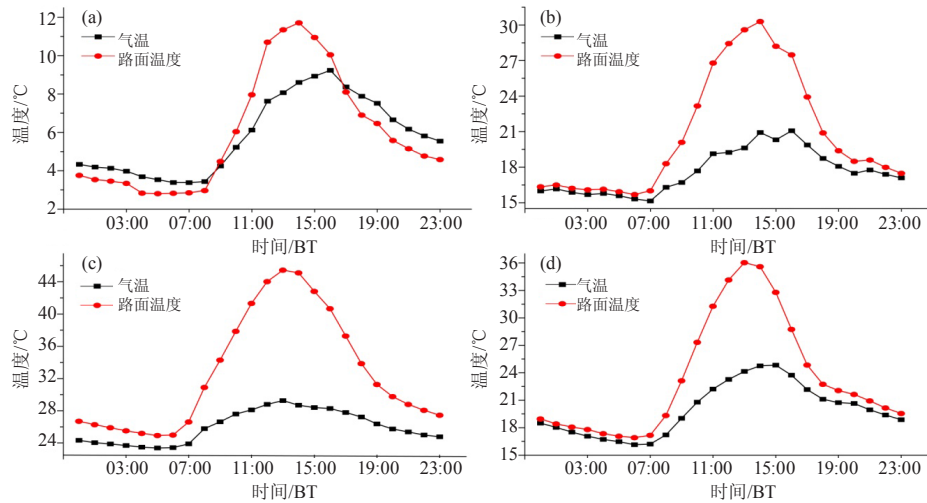


图2 2013年6月—2014年5月黄黄路段1月(a)、4月(b)7月(c)和10月(d)路温和气温日变化
Fig. 2 The diurnal variation of road surface temperature and air temperature at Huanghuang in January (a), April (b), July (c), October (d) averaged over the period from June 2013 to May 2014

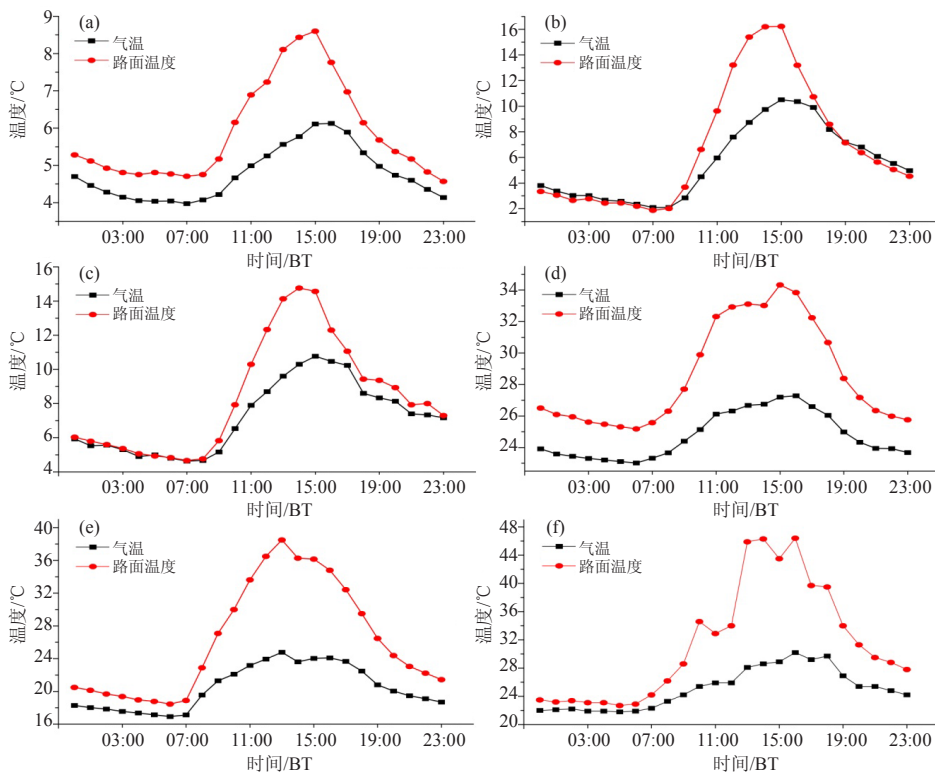


图3 沪蓉西路段1月雨天(a)、晴到多云(b)、阴天(c)和7月雨天(d)、晴到多云(e)、阴天(f)下的路面温度和气温日变化

Fig. 3 The diurnal variation of road surface temperature and air temperature at Hurongxi for rainy days (a), sunny to cloudy (b), overcast (c) days in January and rainy days (d), sunny to cloudy (e), overcast (f) days in July

低于气温，这与沪蓉西不同。日出至日落时间内，不同路段在不同季节路温与气温存在较大差异。1月中旬，沪蓉西路温与气温的最大差值为4~5℃，7月为10~11℃；而汉宜、武黄、黄黄的1月中旬的最大差值为2~3℃，7月则为14~16℃。这主要与地形相

关，沪蓉西站点海拔高度较其他三站过高，冬季沪蓉西的气温偏低，而夏季汉宜、武黄、黄黄的路温过高，使得冬季沪蓉西路温与气温的差值较其他三路段偏高而夏季偏低。4和10月，汉宜、武黄、黄黄路温与气温的最大温差随着海拔高度的降低而增大。

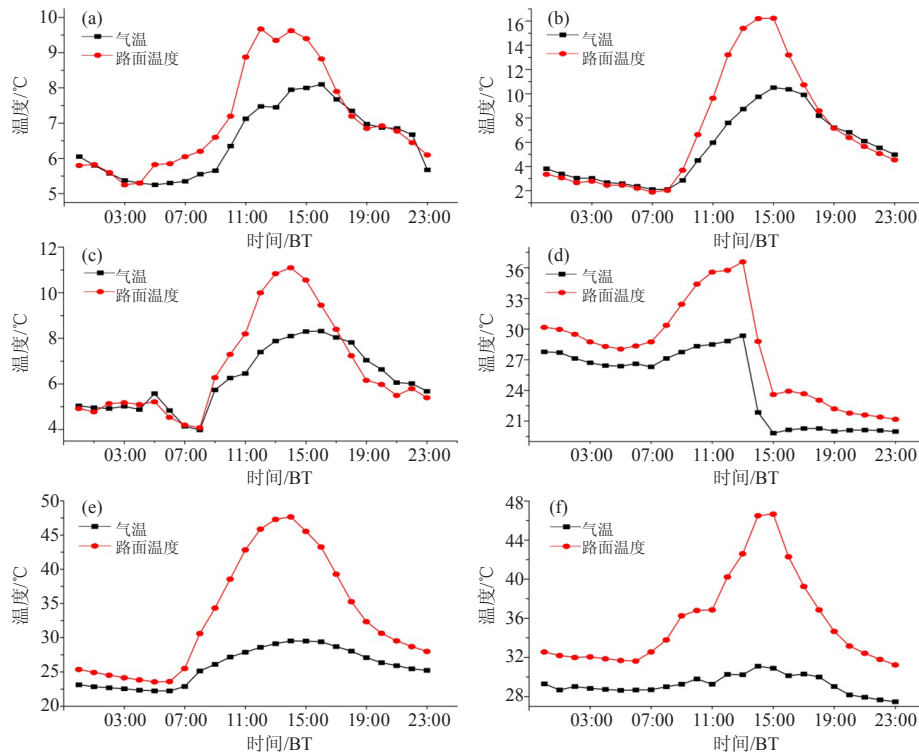


图4 黄黄路段1月雨天 (a)、晴到多云 (b)、阴天 (c) 和7月雨天 (d)、晴到多云 (e)、阴天 (f) 下的路面温度和气温日变化

Fig. 4 The diurnal variation of road surface temperature and air temperature at Huanghuang for rainy days (a), sunny to cloudy (b), overcast (c) days in January and rainy days (d), sunny to cloudy (e), overcast (f) days in July

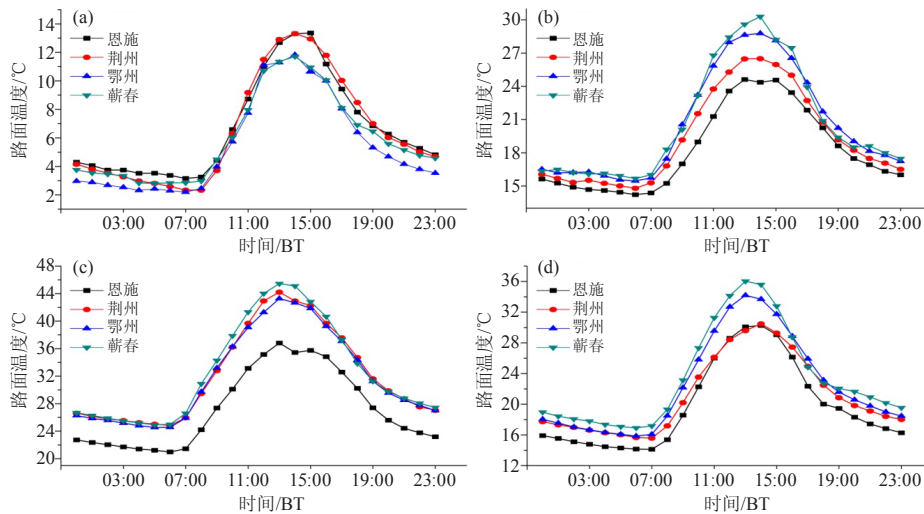


图5 沪蓉西、汉宜、武黄和黄黄四路段1月 (a)、4月 (b)、7月 (c) 和10月 (d) 路温日变化

Fig. 5 The diurnal variation of road surface temperature at Hurongxi, Hanyi, Wuhuang and Huanghuang in January (a), April (b), July (c), October (d)

2.1.2 四路段路面温度在不同天空状况的变化特征

路温与气温的差异同天气条件密切相关,不同天空状况下路面升温有所区别。因此,本文使用日照时数来区分天空状况,并且参考定时观测的云量、云状和天气现象资料,综合分为阴天、晴到多云两种天空状况。设定日照时数 $<3\text{h}$ 为阴天,日照时数 $\geq 3\text{h}$ 为晴到多云。同时将降水天气列为一类,分三种天空状况类型,对各路段的路温和气温日变化特征进行讨论。由图3和4可发现,晴到多云和阴天时,路温和气温的日变化相较雨天更为明显,中午路温与气温的差值幅度也更大。冬季日落后至日出前这段时间,晴到多云和阴天,沪蓉西路温和气温基本一致,而汉宜、武黄、黄黄路温小于气温,主要原因是三路段在上述时段近地面层湿度较大,风速较小,易造成稳定的大气层结从而导致逆温出现,因此路温低于气温。雨天,四路段的气温较小于路温,且沪蓉西表现最为明显。夏季,在三种天空状况下,四路段的气温均明显小于路温,且在晴到多云和阴天的午后差值最大。由于四路段所处的局地小地形以及风湿等气象要素的差异,所以各路段路温与气温的最大差值也有所不同。值得注意的是,在武黄和黄黄路段,7月雨天条件下,午后13—15时(北京时),路温和气温均有较大幅度的下降,通过分析发现,武黄和黄黄均属于强对流天气的多发区,尤其在夏季午后通过短时强降水过程能够

使路温和气温快速下降。

2.1.3 不同路段路面温度的变化特征

为了探讨沪渝高速湖北段沿线路温的变化差异,将沪蓉西、汉宜、武黄、黄黄四路段代表站点的路温进行对比(图5),可以发现,四路段在不同季节路温表现较大差异。4、7、10月,路温随着四路段海拔高度的降低而升高,其中,4和10月日出至日落时段,四路段的路温差异较为均匀;7月汉宜、武黄、黄黄的路温基本一致,沪蓉西由于地处较高的海拔高度,路温明显低于其他三路段;1月,四路段的路温差异虽然较小,但是仍可发现午后沪蓉西、汉宜等海拔较高的路段路温略高于武黄、黄黄等海拔较低的路段。沪蓉西、汉宜、武黄、黄黄四路段在海拔高度、气象条件、局部地形和周边环境等因素的共同作用下,路温表现出一定的差异,因此在对实际路温进行预报时,预报员应当区分不同路段进行预报服务。

2.2 建立路面温度预报模型

2.2.1 四路段最低路面温度预报模型

利用2013年6月—2014年5月沪蓉西、汉宜、武黄、黄黄四路段自动气象站所监测的逐日最低路温与日最低气温数据来分别计算各路段最低路温与最低气温的相关关系,得到图6。可以发现,沪蓉西、汉宜、武黄、黄黄四路段的日最低路温与日最低气温具

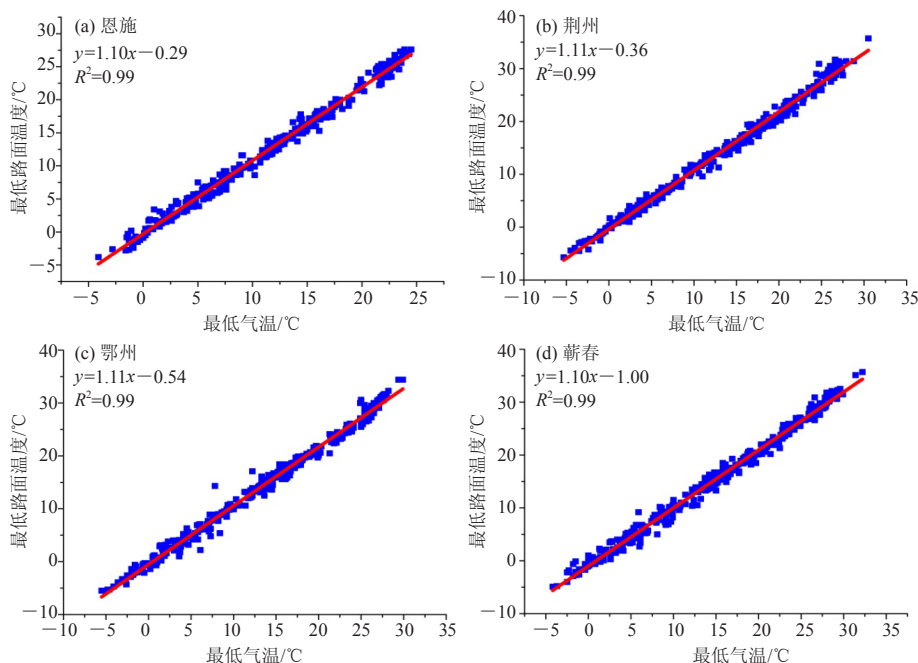


图6 2013年6月—2014年5月沪蓉西(a)、汉宜(b)、武黄(c)和黄黄(d)最低路面温度与最低气温点聚图
Fig. 6 The scatter diagram of the minimal air temperature against the minimal road surface temperature at Hurongxi (a), Hanyi (b), Wuhuang (c) and Huanghuang (d) for the period from June 2013 to May 2014

有非常显著的线性相关关系。分别建立四路段最低路温方程：

$$\text{沪蓉西: } Y=1.10X-0.29 \quad (1)$$

$$\text{汉宜: } Y=1.11X-0.36 \quad (2)$$

$$\text{武黄: } Y=1.11X-0.54 \quad (3)$$

$$\text{黄黄: } Y=1.10X-1.00 \quad (4)$$

式中, Y 代表日最低路温, X 为日最低气温, 单位均为 $^{\circ}\text{C}$ 。

2.2.2 四路段最高路面温度与各气象要素的相关关系

将沪蓉西、汉宜、武黄、黄黄四路段代表站点的最高路温与多种气象要素进行相关统计(表1), 可以发现, 四路段的最高路温与气温、相对湿度、风速三类气象要素的日平均、日最高、日最低值相关性呈现较大的差异。其中, 沪蓉西最高路温与日最高气温、日最低相对湿度、日平均风速相关性最大; 汉宜最高路温与日最高气温、日平均相对湿度、日最大风速相关性最大; 武黄最高路温与日最高气温、日最低相对湿度、日平均风速相关性最大; 黄黄最高路温与日最高气温、日平均相对湿度、日平均风速相关性最大。以上气象要素之间的相关性均通过了0.01或0.05的显著性水平检验。因此, 根据不同路段分别选取对应的气象要素作为预测最高路温的预报因子。

2.2.3 四路段最高路面温度预报模型

根据不同路段, 分别从气温 X_{1j} ($j=1, 2, 3$, 分别表示日平均气温、日最高气温、日最低气温)、相对湿度 X_{2j} ($j=1, 2, 3$, 分别表示日平均相对湿度、日最高相对湿度、日最低相对湿度)、风速 X_{3j} ($j=1, 2, 3$, 分别表示日平均风速、日最大风速、日最小风速)等因子中选用相关性最高的几个因子对各

表1 沪蓉西、汉宜、武黄和黄黄四路段最高路面温度与气象要素的相关统计

Table. 1 The correlation between the maximal road surface temperature and meteorological elements at Hurongxi, Hanyi, Wuhuang and Huanghuang

气象要素	最高路面温度			
	沪蓉西	汉宜	武黄	黄黄
日平均气温	0.884**	0.946**	0.939**	0.939**
日最高气温	0.962**	0.969**	0.969**	0.967**
日最低气温	0.766**	0.883**	0.871**	0.881**
日平均相对湿度	-0.515**	-0.132*	-0.069	-0.248**
日最高相对湿度	-0.267**	-0.073	0.119*	-0.210**
日最低相对湿度	-0.600**	-0.060	-0.164**	-0.233**
日平均风速	0.487**	0.456**	-0.217**	-0.183**
日最大风速	0.455**	0.502**	-0.116**	-0.078
日最小风速	0.360**	0.216**	-0.158**	-0.084
日累积降水量	-0.056	-0.020	-0.046	-0.093

注: *和**分别表示通过0.05和0.01的显著性水平检验。

路段的最高路温建立预报模型。然后, 分别对各路段选用的预报因子利用多元非线性逐步回归方法进行分析, 最终得到下列方程:

$$\text{沪蓉西: } Y=1.41X_{12}-20.41X_{23}-0.40X_{31}+14.77 \quad (5)$$

$$\text{汉宜: } Y=1.32X_{12}-0.73X_{32}+0.07X_{12}\times X_{32}-1.34 \quad (6)$$

$$\text{武黄: } Y=1.52X_{12}-3.91X_{23}+2.10X_{31}-3.41 \quad (7)$$

$$\text{黄黄: } Y=1.57X_{12}-11.70X_{21}+0.72X_{31}+5.07 \quad (8)$$

式中, Y 代表日最高路温, 单位为 $^{\circ}\text{C}$ 。四个方程均通过了0.01的显著性水平检验。

2.3 路面温度模型预报结果检验

利用2014年6月1日—8月30日逐日最低和最高路温、气温、相对湿度、风速等实况资料, 对最低路温 and 最高路温预报模型的预报结果进行检验, 资料样本长为92d。表2为最低和最高路温模型预报结果检验值, 可以看出, 不同路段最低路温 and 最高路温预报模型的准确率略有不同。其中, 沪蓉西和黄黄预报模型的准确率较高, 最低路温平均绝对误差和均方要误差都小于 1°C , 最高路温在 3°C 左右。而汉宜和武黄最低路温平均绝对误差小于 2°C , 最高路温在 4°C 左右。图7和图8分别是沪蓉西、汉宜、武黄、黄黄四路段在2014年6月1日—8月30日最低路温 and 最高路温实况与模型预报结果的对比图, 可以发现, 沪蓉西和黄黄最低和最高路温模型预报结果与实况变化趋势接近, 说明这两路段的模型预报效果较为准确, 可以作为预报参考。汉宜和武黄路温模型预报结果与实况变化趋势在个别时间点存在较大误差, 因此在实际的预报工作中, 对该模型进行应用时, 预报员可能需要考虑太阳辐射等气象要素对路面的影响进行适当的订正。

3 结论

1) 不同季节, 沪蓉西、汉宜、武黄、黄黄的路温 and 气温具有明显的日变化特征。同时, 四路段在不同季节路温与气温差值存在较大差异, 沪蓉西路温与气温的最大差值较其他三路段冬季偏高而夏季偏低。

2) 沪蓉西、汉宜、武黄、黄黄四路段在不同季节不同天空状况下路面升温有所差异。冬季晴到多云和阴天在日落后至日出前期间, 沪蓉西路温 and 气温基本一致, 而汉宜、武黄、黄黄三路段路温小于气温; 雨天四路段的气温均小于路温, 且沪蓉西最为明显。夏季在三种天空状况下, 四路段的气温均明显小于路温, 且在晴到多云和阴天两者午后差值最大。

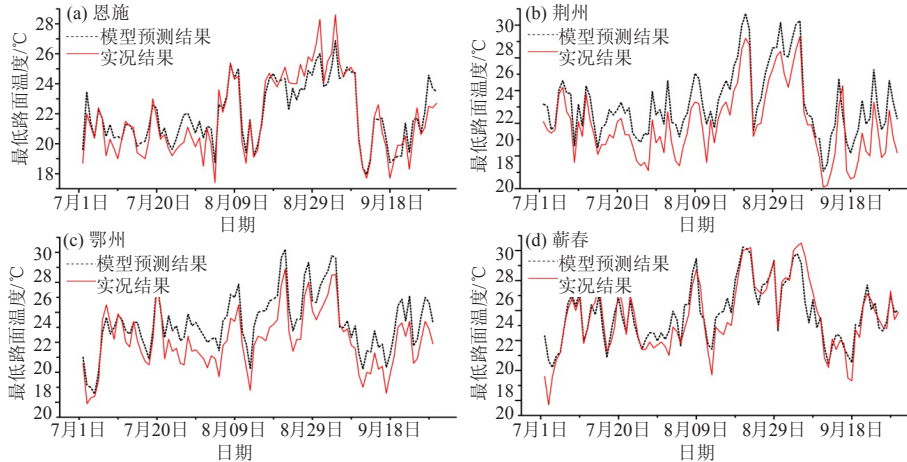
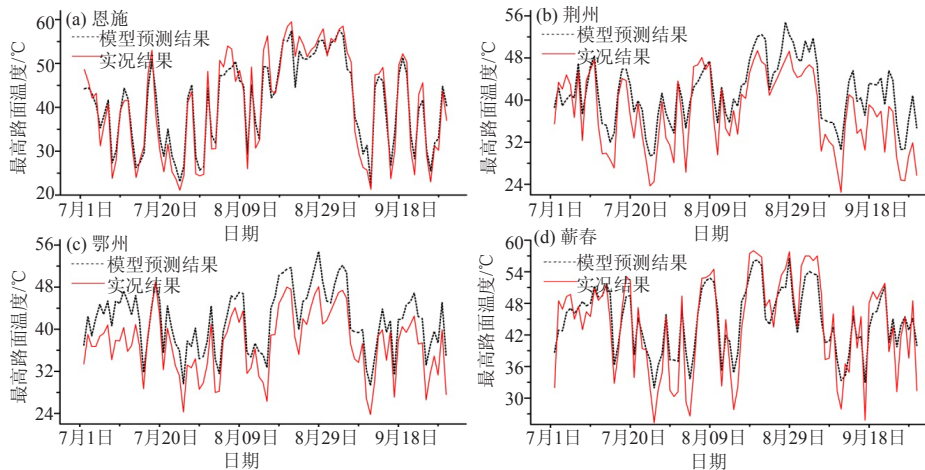
3) 1月, 沪蓉西、汉宜、武黄、黄黄四路段的路温差异最小, 4、7、10月, 路温随四路段海拔的降低而升高。

4) 沪蓉西和黄黄路段路温模型预报结果与实况

表2 沪蓉西、汉宜、武黄和黄黄四路段最低和最高路面温度模型预报结果检验 (单位: °C)

Table. 2 The test on the model forecast of the minimal and maximal road surface temperature at Hurongxi, Hanyi, Wuhuang and Huanghuang (unit: °C)

误差	沪蓉西		汉宜		武黄		黄黄	
	最低路面温度	最高路面温度	最低路面温度	最高路面温度	最低路面温度	最高路面温度	最低路面温度	最高路面温度
平均绝对误差	0.71	2.55	1.34	4.12	1.52	4.44	0.69	3.27
均方根误差	0.89	2.97	1.44	4.65	3.11	4.78	0.94	3.93

图7 2014年6月1日—8月30日沪蓉西 (a)、汉宜 (b)、武黄 (c) 和黄黄 (d) 四路段最低路温实况与模型预报结果对比
Fig. 7 Comparison of the minimal road surface temperature between the observations and the forecasts at Hurongxi (a), Hanyi (b), Wuhuang (c) and Huanghuang (d) for days from 1 June to 30 August 2014图8 同图7, 但为最高路温
Fig. 8 Same as Fig. 7, but for the maximal road surface temperature

的变化趋势较为接近, 该模型可以作为预报参考; 汉宜和武黄路段个别时间点路温模型预报结果与实况存在较大误差, 实际业务工作中需进行适当订正。

参考文献

- 王喆. 高速公路灾害性天气研究. 交通标准化, 2007(1): 105-108.
- 秦健, 孙立军. 国外沥青路面温度预估方法综述. 中外公路, 2005, 25(6): 19-23.
- Shao J, Lister P J. An automated nowcasting model of road surface temperature and state for winter road maintenance. J Appl Meteor, 1996, 35(8): 1352-1361.
- 贾璐, 孙立军, 黄立葵, 等. 沥青路面温度场数值预估模型. 同济大学学报, 2007, 35(8): 1039-1043.
- 朱承瑛, 谢志清, 严明良, 等. 高速公路路面温度极值预报模型研究. 气象科学, 2009, 29(5): 645-650.
- 吴晟, 吴克, 邓雪娇, 等. 南岭山地高速公路路面温度变化特征分析. 气象科技, 2006, 34(6): 783-787.
- 田华, 吴昊, 赵琳娜, 等. 沪宁高速公路路面温度变化特征及统计模型. 应用气象学报, 2009, 20(6): 737-744.
- 曲晓黎, 武辉芹, 张彦恒, 等. 京石高速路面温度特征及预报模型. 干旱气象, 2010, 28(3): 352-357.