

# 气象卫星遥感陆表温度产品在公路路面温度监测中的应用

冯蕾<sup>1</sup>, 张楷翊<sup>2</sup>, 郜婧婧<sup>1</sup>, 戴至修<sup>3</sup>

1. 中国气象局公共气象服务中心, 北京, 100081
2. 北京维艾思气象信息科技有限公司, 北京, 100081
3. 北京墨迹风云科技股份有限公司, 北京, 100081

**摘要** 使用FY-2G和Himawari-8卫星反演陆表温度产品,以天津境内津蓟高速和山西境内京昆高速有交通站观测的路段为试验对象,开展了卫星反演陆表温度产品在公路路面温度监测中的适用性及应用方法研究。卫星遥感陆表温度能够较好地反映出公路路面温度的日变化特征和逐日变化趋势,两者之间具有较好的相关性。使用线性回归方法,建立了卫星陆表温度的订正模型,并对实时卫星陆表温度产品进行滚动订正,大大降低了卫星反演陆表温度与实际路面温度之间的偏差。夏季时段平均绝对偏差由订正前的6.98℃降低至2.57℃,冬季时段由订正前的3.84℃降低至1.62℃。该方法在2017年5月18日京津冀周边地区一次高温过程路面温度的监测分析中具有较好的应用效果。

**关键词** 卫星遥感陆表温度;公路路面温度;订正模型;订正效果

公路路面极端温度是影响道路交通安全的重要因素之一。路面温度过高,一方面容易引起爆胎,另一方面使路基发生形变或破损;路面温度过低,会引起道路结冰、积雪等。目前关于高速公路路面温度预报技术方法已经取得了较多的研究成果<sup>[1-8]</sup>,但高速公路路面温度监测站点的稀少及资料的匮乏严重制约了公路路面温度监测预报业务

的全面开展。针对路面温度观测资料不足的问题,国外通常使用路面移动监测设备对试验路段进行数据采集,将路线或路段上不同位置的路面温度按照相对温度的高低制作成用不同颜色区分的专题图,从而实现把有限交通站气象监测扩展到整条道路或整个路网<sup>[9]</sup>。热谱地图能够提供好的空间分布信息,但时间分辨率满足不了业务的需求。

收稿日期:2019-01-02;修回日期:2019-07-17

基金项目:中国气象局“风云四号科研试验星专业气象服务应用示范系统”项目;中国气象局公共气象服务中心业务服务专项基金项目(K2016004)

作者简介:冯蕾,高级工程师,研究方向为交通气象服务,电子邮箱:fenglei21cn@163.com

引用格式:冯蕾,张楷翊,郜婧婧,等.气象卫星遥感陆表温度产品在公路路面温度监测中的应用[J].科技导报,2019,37(20):49-64;doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2019.20.006

卫星陆表温度产品由于覆盖面广、时空分辨率高,可以大大弥补以上观测手段的不足。目前国际上先进的静止气象卫星观测的时空分辨率不断提高,中国FY4长波红外通道观测空间分辨率达到4 km,全圆盘观测15 min/次<sup>[10]</sup>。气象卫星陆表温度反演的理论基础是根据地—气辐射传输方程进行热红外遥感陆表温度反演<sup>[11]</sup>。卫星反演陆表温度的精度受大气校正、地表发射率特性和传感器性能的限制。其中,地表发射率的变化是反演陆表温度的最大难题。道路的热环境特征明显不同于其他类型下垫面<sup>[12-14]</sup>。孟丹等<sup>[15]</sup>利用两景高级星载热发射反射辐射计(advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer, ASTER)影像数据,采用TES算法定量反演地表温度,并通过景观斑块特征分析和缓冲区分析,探讨了道路廊道这一“热源”景观的热环境效应。结果表明,随着道路密度增加,道路平均温度显著升高,道路密度等级与道路平均温度的相关系数达到0.8021。袁旭<sup>[16]</sup>使用低空红外遥感观测系统提取出实验区域的沥青路面、混凝土路面、植被及水体的红外图像,发现沥青路面具有与其他下垫面明显不同的热辐射特性。

卫星遥感像元通常是由一种或者多种物质组成的混合像元,目前的卫星遥感陆表温度算法是在同温均匀像元的基础上建立的,反演算法中使用的土地利用/覆盖分类数据没有详细的公路信息<sup>[11,17-18]</sup>。卫星遥感陆表温度代表的是卫星探测像元范围内的地表温度的平均值,因此卫星反演的陆表温度与公路沿线监测的路面温度存在面和点差异。但无论是卫星反演的陆表温度还是公路路面温度,其变化都遵循地表能量平衡原理,变化的规律具有一定的相似性<sup>[13]</sup>,因此,可以使用卫星陆表温度产品推算公路路面温度。关于卫星地表温度资料的应用转化研究,目前较多是用气象卫星反演的连续地表温度数据推算连续的气温数据。韩秀珍等<sup>[19]</sup>使用线性回归及拟合模型,考虑植被指数、土地覆盖类型、季节、风速、气压、降水等各类影响因子,建立了卫星旬最高地表温度与旬平均最高气温间的推算模型,取得了较高精度的旬值气温数据,尤其在地形复杂地区以及站点稀疏地区精度明

显高于插值气温结果。袁旭<sup>[16]</sup>运用经验回归方法,根据辐射亮温与近地气温的相关关系,直接使用辐射亮温数据推导得到近地气温。

本文选取有交通气象观测的试验路段为研究对象,通过公路实测路面温度与所在卫星遥感像元的陆表温度的对比分析,确定卫星遥感陆表温度在公路路面温度监测中的可用性。在此基础上,使用历史资料,根据两者之间的相关关系,建立卫星遥感陆表温度产品的订正模型,并针对高低温时段进行效果检验。

## 1 数据来源

### 1.1 卫星陆表温度产品

#### 1.1.1 FY-2G

使用国家卫星气象中心提供的FY-2G陆表温度产品(<http://www.nsmc.org.cn/NewSite/NSMC/Channels/100375.html>),空间分辨率为5 km。FY-2G星位于东经105°赤道上空,搭载的有效载荷为扫描辐射计和空间环境监测器。扫描辐射计共有红外长波2个、红外中波1个、可见光1个及水汽1个等5个通道,可以在非汛期每1 h、汛期每0.5 h获取覆盖地球表面约1/3的全圆盘图像,同时支持对任意区域6 min间隔的高频次连续观测。该陆表温度产品是基于分裂窗算法反演得到<sup>[20]</sup>。

#### 1.1.2 Himawari-8

为与FY-2G陆表温度产品进行比较,同时使用逐小时整点时刻的Himawari-8陆表温度产品,该产品是采用Ulivieri等<sup>[21]</sup>提出的分裂窗算法计算得到的,空间分辨率为2 km。

### 1.2 公路路面温度监测数据

选择华北交通气象灾害易发区内有路面温度观测且数据质量较高的2条高速公路作为试验路段,包括天津境内津蓟高速和山西境内京昆高速,通过路面温度实测值与FY-2G和Himawari-8 2套卫星反演陆表温度产品的对比分析,研究卫星反演陆表温度产品在高速公路路面温度监测中的代表性和可用性,并开展卫星陆表温度产品的应用方法研究。使用的交通气象观测资料为高速公路沿线

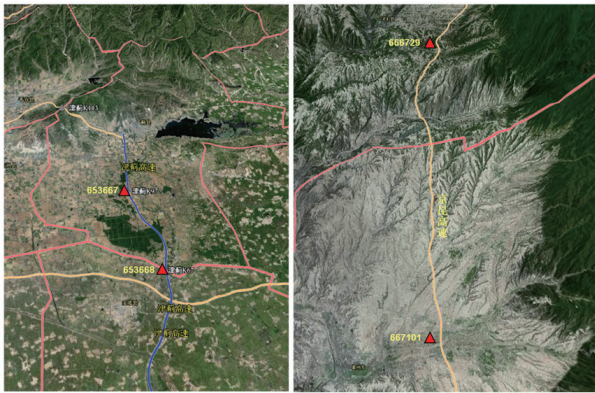
交通代表站(津蓟高速交通站号分别为 653667 和 653668;京昆高速交通站号分别为 666729 和 667101)2015 年 12 月以来的逐小时观测值。试验路段及交通站点分布如图 1 所示,红色三角为交通代表站。津蓟高速试验路段位于平原地带,京昆高

速试验路段位于山区较为平缓地带,交通站所处海拔高度均不足 10 m。

## 2 卫星陆表温度产品在公路路面温度监测中的可用性

### 2.1 夏季

图 2 给出夏季(2016 年 6 月 1 日至 8 月 31 日)交通站逐小时实测路面温度与所在 FY-2G 卫星像元陆表温度分布的散点图。两者物理意义较为接近,主要存在面和点的区别。从图 2 可以看出,两者具有较好的线性相关性。其中,津蓟高速两交通站的可决系数分别为 0.7528 和 0.6384(样本数分别为 992 和 996。由于受云的影响,卫星观测实测数低于应测数,下同),相关系数分别为 0.86 和 0.83,京昆高速两交通站的可决系数分别为 0.8089 和 0.8285(样本数分别为 821 和 851),相关系数分别为 0.90 和 0.91,高于津蓟高速。



(a) 津蓟高速 (b) 京昆高速  
图 1 试验路段及交通站点分布示意  
Fig. 1 Spatial distribution of testing sections and observation stations

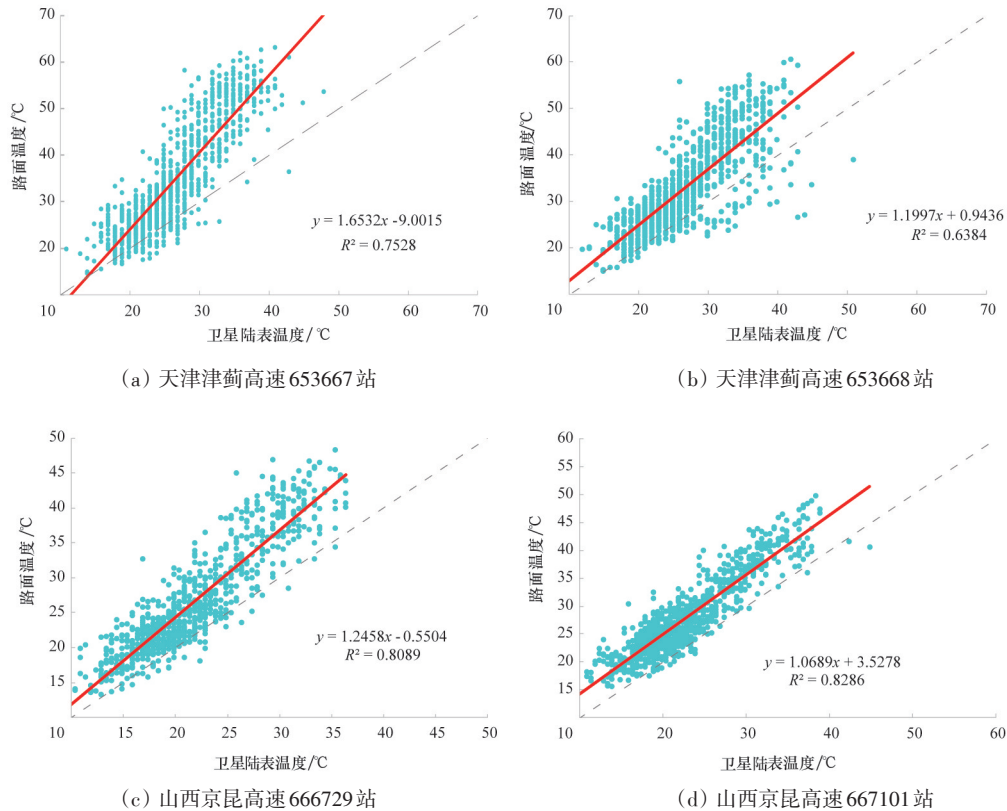


图 2 2016 年 6 月 1 日至 8 月 31 日逐小时 FY-2G 卫星陆表温度与交通站路面温度散点分布  
Fig. 2 Scatter diagram of hourly observational road surface temperature and corresponding land surface temperature obtained from FY-2G during June 1<sup>st</sup>—August 31<sup>st</sup>, 2016

图3给出夏季交通站逐小时路面温度与所在Himawari-8卫星像元陆表温度分布的散点图。Himawari-8卫星反演的陆表温度与交通站路面温度也具有较好的相关性。津蓟高速两交通站的可决系数分别为0.6984和0.6349(样本数分别为504和

457),京昆高速两交通站的可决系数分别为0.6845和0.5847(样本数分别为364和390)。与FY-2G相比,虽然Himawari-8的空间分辨率更高,但从可决系数看,与公路路面温度并没有表现出更好的一致性。

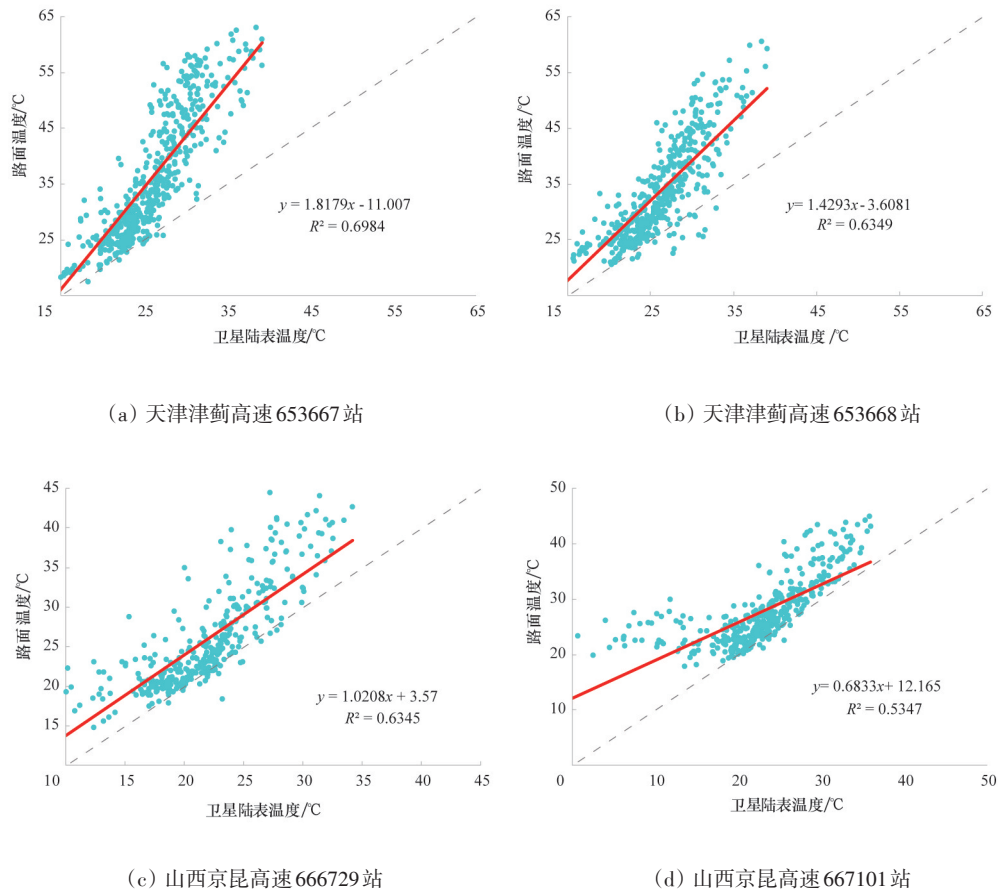


图3 2016年6月1日至8月31日逐小时Himawari-8卫星陆表温度与交通站路面温度散点分布

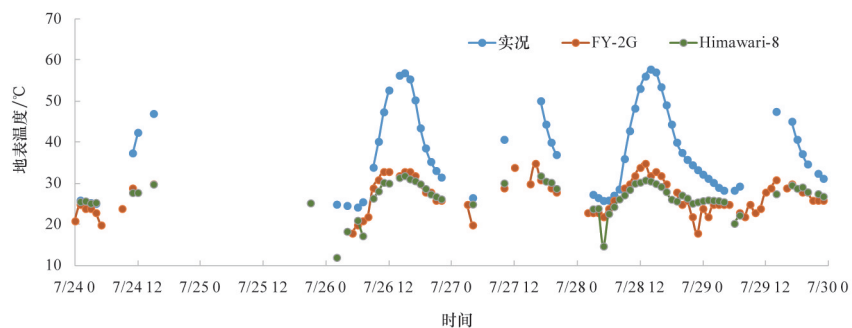
Fig. 3 Scatter diagram of hourly observational road surface temperature and corresponding land surface temperature obtained from Himawari-8 during June 1<sup>st</sup>—August 31<sup>st</sup>, 2016

针对典型高温过程,分析两套卫星产品在公路路面温度监测中的适用性。2016年7月24—30日,中央气象台连续发布高温橙色预警,京津冀地区一些高速公路路段日最高路面温度已达50℃以上。从图4逐小时地表温度的变化曲线看,FY-2G和Himawari-8卫星陆表温度产品均能较好地反映公路路面温度的日变化趋势,但是中午及午后时段,卫星反演的陆表温度值明显低于沥青公路上的

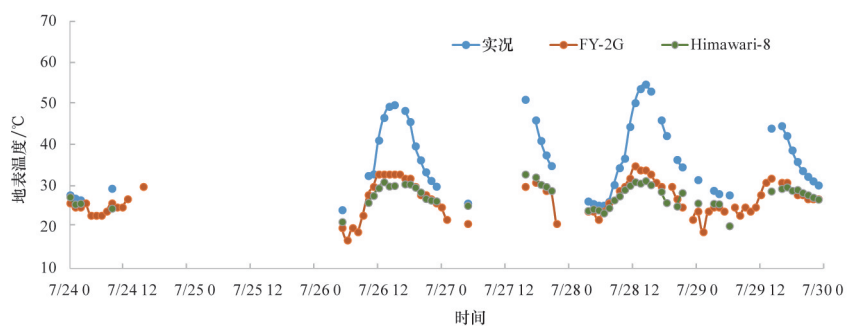
路面温度观测值,这是由于两者在空间尺度上不匹配。卫星反演陆表温度算法中所使用的辅助数据(土地利用/覆盖分类)不包含详细的公路信息,而公路路面沥青的发射率、反射率特性明显不同于其他地物类型。另外,两者在时间上也不完全匹配。卫星扫描全圆盘需要一定的时间,因此其整点数据对地面具体的目标点而言,并不一定是整点时刻,这也可能是引起天-地数据误差的一个原因。与

Himawari-8 卫星产品相比, FY-2G 卫星反演陆表温度在津蓟高速路段更加接近于公路路面温度实

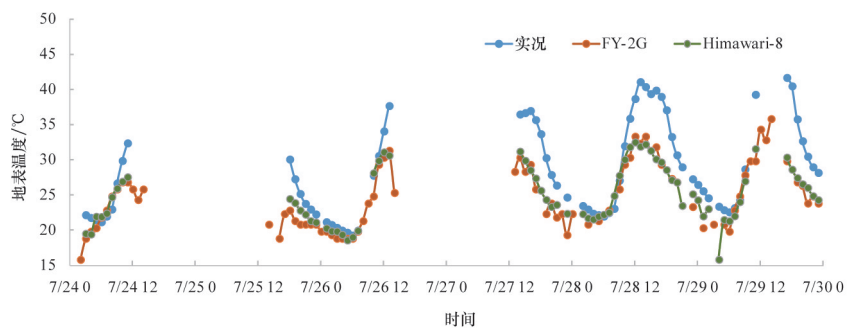
况值, 而在京昆高速路段, 二者大致相当。



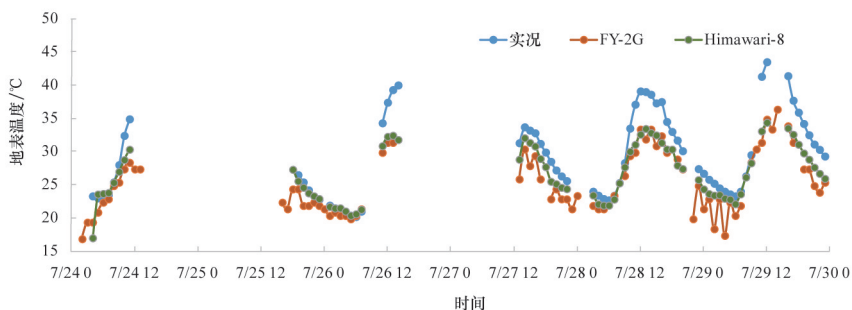
(a) 天津津蓟高速653667站



(b) 天津津蓟高速653668站



(c) 山西京昆高速666729站



(d) 山西京昆高速667101站

图4 2016年7月24—30日路面温度与FY-2G卫星、Himawari-8卫星陆表温度的比较

Fig. 4 Comparison of surface temperature between road observation and retrievals obtained from FY-2G and Himawari-8 satellites during July 24<sup>th</sup>—30<sup>th</sup>, 2016

## 2.2 冬季

由于使用 Himawari-8 卫星通道数据进行陆表温度反演时采用了更为严格的云检测方法,只反演出绝对晴空条件下的陆表温度,所研究路段试验期间没有提取出交通站对应卫星像元的陆表温度,因此以下的分析仅针对 FY-2G 卫星产品。图 5 给出冬季(2015 年 12 月 1 日至 2016 年 2 月 28 日、2016 年 12 月 1 日至 2017 年 2 月 28 日)FY-2G 逐小时卫星陆表温度与试验路段交通站路面温度的散点分布。二者也存在较好的相关关系。4 个交通站路面温度观测值与所在卫星像元陆表温度之间的可决系数分别为 0.6195、0.6125、0.5486、0.5758(样本

数分别为 2572、2531、2007、1908)。其中,天津境内津蓟高速路段卫星反演陆表温度更接近于实际路面温度。

图 6 给出 2016 年 1 月 26 日至 2 月 1 日低温过程 FY-2G 卫星反演陆表温度与交通站路面温度的对比。从图 6 可以看出,卫星陆表温度也能够较好地反映出冬季公路路面温度的日变化特征及逐日变化趋势。但总体上 FY-2G 卫星反演陆表温度产品反映的日变化幅度更大,即中午时段比实际路面温度偏高,夜间偏低。受云或雪覆盖的影响,京昆高速卫星陆表温度存在明显的不连续现象。

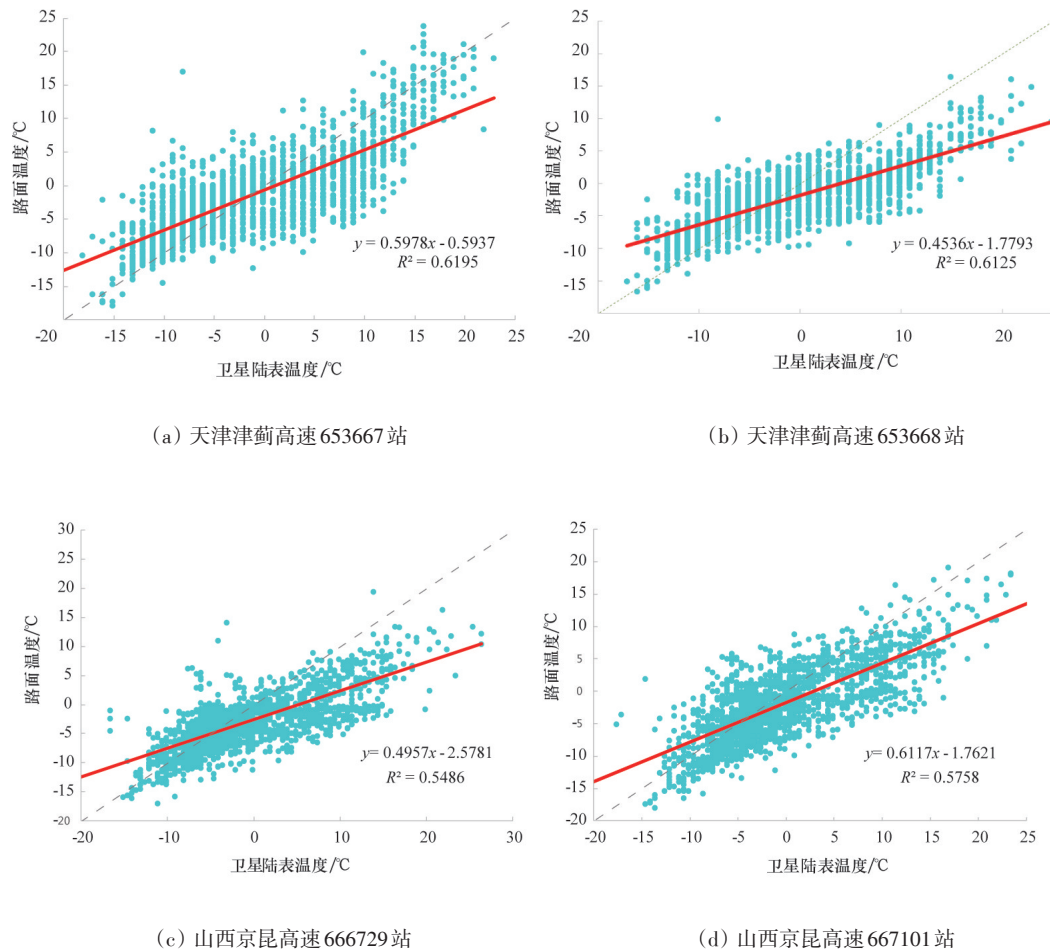
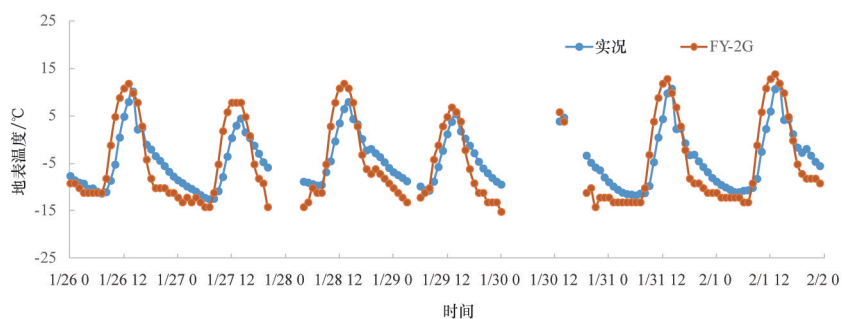
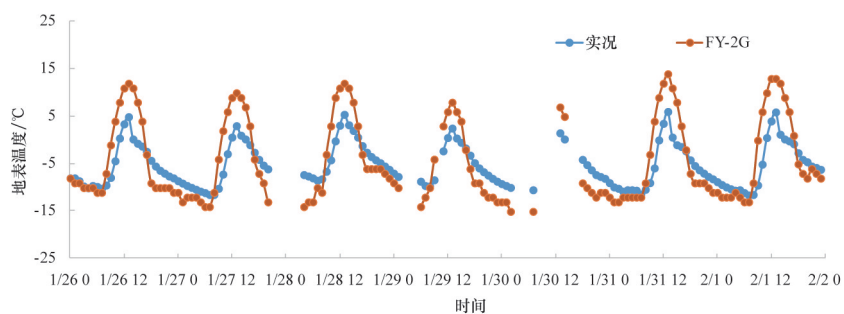


图 5 冬季逐小时 FY-2G 卫星陆表温度与交通站路面温度散点分布

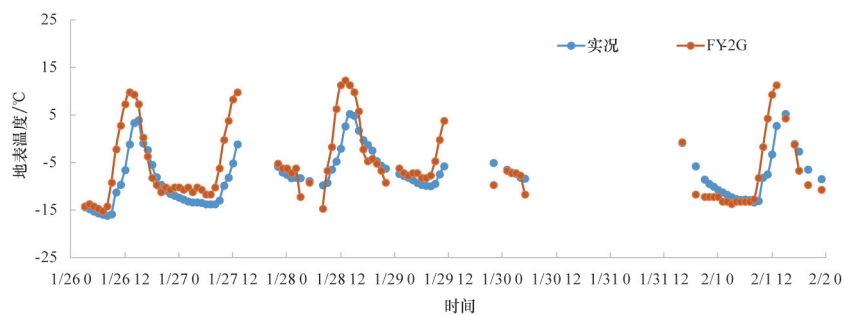
Fig. 5 Scatter diagram of hourly observational road surface temperature and corresponding land surface temperature obtained from FY-2G during winter



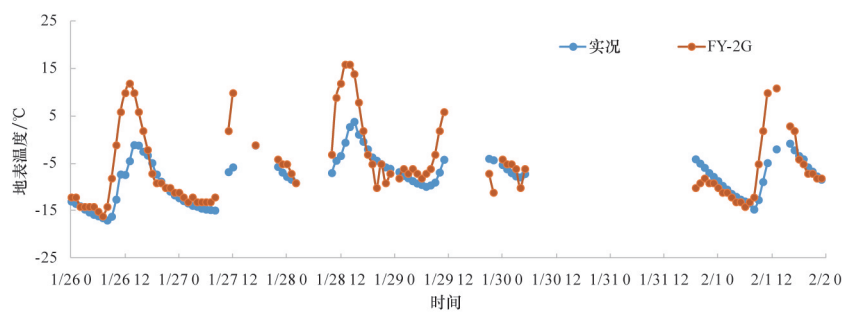
(a) 天津津蓟高速 653667 站



(b) 天津津蓟高速 653668 站



(c) 山西京昆高速 666729 站



(d) 山西京昆高速 667101 站

图6 2016年1月26日至2月1日低温过程路面温度与FY-2G卫星反演陆表温度的比较  
 Fig. 6 Comparison of surface temperature between road observation and retrievals obtained from FY-2G during January 26<sup>th</sup>—February 1<sup>st</sup>, 2016

### 3 卫星陆表温度产品在公路路面温度监测中的应用方法

卫星反演陆表温度能够反映出公路路面温度的日变化特征以及逐日变化趋势,两者之间具有较好地相关性,这是开展卫星陆表温度产品在公路路面温度监测中应用的基础。但仍然存在一些问题,如夏季晴空条件下,也就是有卫星陆表温度反演值的情况下,与公路路面温度实际观测值相比,卫星陆表温度明显偏低,特别是中午时段;冬季卫星反演陆表温度日变化幅度一般大于交通站路面温度,中午时段比实况偏高,夜间偏低;另外,受云、雪遮挡的影响,卫星反演陆表温度产品表现出不连续的特点。在反映交通站路面温度变化趋势方面,2 km 分辨率的 Himawari-8 卫星陆表温度与 5 km 分辨率的 FY-2G 卫星产品差异不大,没有表现出比 FY-2G 卫星资料明显的优越性。以下主要针对卫星反演陆表温度偏差较大的问题,研究卫星陆表温度产品在公路路面温度监测中的应用方法。

#### 3.1 订正方案

由于卫星反演陆表温度与公路沿线交通站路

面温度之间具有较好的相关性,使用历史资料,通过建立交通站路面温度与所在卫星像元陆表温度之间的统计关系,对卫星陆表温度产品进行订正。为提高订正效果,结合使用影响路面温度变化的关键气象因子,建立以下 3 种订正方案:(1) 仅使用卫星陆表温度作为自变量;(2) 使用卫星陆表温度,同时考虑气温;(3) 使用卫星陆表温度,同时考虑气温和风速。以天津津蓟高速为试验路段,分别根据 2016 年 1 月、7 月的资料建立订正模型,使用 2016 年 2 月和 8 月的资料检验 1 月、7 月建立的订正模型的效果(表 1)。结果表明,仅根据卫星陆表温度资料订正的效果与订正前无明显差异,有的站点略好,有的站点比原来略差。但同时加进气温后的订正效果比订正前有明显提高,如 653667 站(653668 站)冬季卫星陆表温度订正后绝对误差在 2℃ 以内的样本数占总样本数的比例由订正前的 36.1%(40.0%) 提高到 57.5%(72.0%);订正后绝对误差在 5℃ 以内的样本数占总样本数的比例由订正前的 46.7%(51.3%) 提高到 76.2%(62.1%)。同时加入气温和风速后的订正效果与只加入气温的订正效果差异不大。这一结果进一步表明了气温是

表 1 卫星反演陆表温度产品订正方案及效果分析

Table 1 Revision and effect of land surface temperature retrieved from satellites

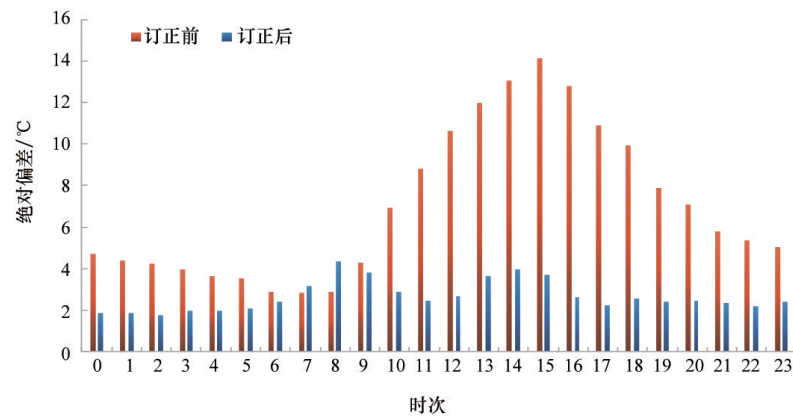
时间	交通站号	订正方案	绝对偏差占比/%		
			2℃以内	5℃以内	8℃以内
2月	653667	订正前	36.1	76.1	94.7
		卫星陆表温度	33.0	63.8	84.3
		订正后	卫星陆表温度+气温	57.5	84.0
		卫星陆表温度+气温+风速	57.5	84.0	91.9
	653668	订正前	40.0	67.6	84.1
		卫星陆表温度	37.3	78.9	97.6
订正后		卫星陆表温度+气温	72.0	94.9	98.8
	卫星陆表温度+气温+风速	72.0	94.9	98.8	
8月	653667	订正前	22.0	46.7	67.2
		卫星陆表温度	21.4	52.8	74.2
		订正后	卫星陆表温度+气温	35.1	76.2
		卫星陆表温度+气温+风速	37.4	77.7	95.1
	653668	订正前	16.7	51.3	78.2
		卫星陆表温度	26.9	51.3	72.8
订正后		卫星陆表温度+气温	26.9	62.1	81.2
	卫星陆表温度+气温+风速	32.3	63.7	82.0	

影响路面温度变化最重要的气象因子<sup>[13]</sup>。因此,在以下订正效果分析中,以交通站路面温度为因变量,以卫星反演陆表温度和交通站气温为自变量,建立统计关系,并订正卫星反演陆表温度产品。

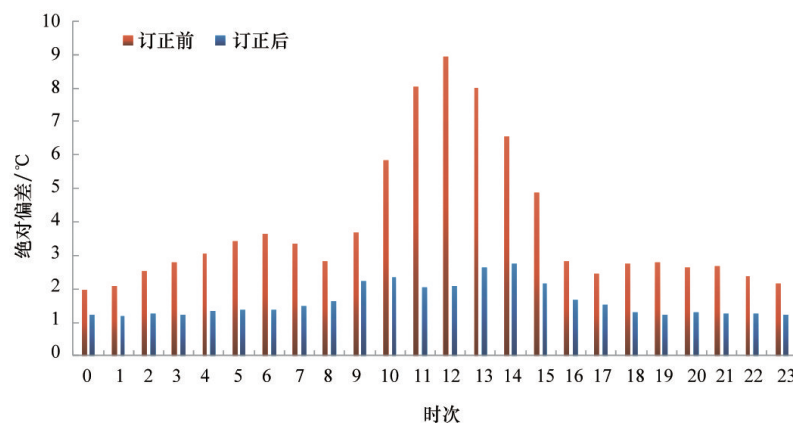
### 3.2 效果检验

使用过去 30 d 的历史观测数据,建立以卫星反演陆表温度和交通站气温为自变量的统计订正模型,分别对 2016 年 6 月 1 日至 8 月 31 日、2015 年 12 月 1 日至 2016 年 2 月 28 日、2016 年 12 月 1 日至 2017 年 2 月 28 日逐日逐小时的卫星遥感陆表温度资料进行滚动订正,并分析订正前后的预报效果(图 7)。从图 7 可以看出,除夏季的 7:00、8:00,冬季、夏季各时次平均的卫星遥感陆表温度产品经订

正后绝对偏差均比订正前有大幅度的下降,特别是中午时段,如夏季 10:00—20:00,订正前绝对偏差均在 6℃ 以上,14:00—15:00 可达 12℃ 以上,订正后绝对偏差降至 3℃ 左右,其他时次表温度绝对偏差在 2℃ 左右。冬季 10:00—15:00,订正前绝对偏差均在 5℃ 以上,11:00—13:00 可达 8℃ 以上,订正后绝对偏差降至 2℃ 左右,其他时次地表温度绝对偏差在 1℃ 左右。因此,在订正过程中,对订正时次做以下控制:7:00、8:00 不做订正,直接使用卫星遥感陆表温度值,其他时次按上述方法进行滚动订正。具体分析各交通站典型高低温时段订正后的效果。



(a) 夏季(2016年6月1日至8月31日)



(b) 冬季(2015年12月1日至2016年2月28日、2016年12月1日至2017年2月28日)

图 7 FY-2G 卫星陆表温度与交通站路面温度平均绝对偏差的分布

Fig. 7 Distribution of average absolute error between road surface temperature and land surface temperature retrieved from FY-2G

### 3.2.1 夏季

表2给出2016年夏季(6月1日至8月31日)FY-2G卫星反演陆表温度产品订正效果的统计。订正后,4个交通站绝对偏差在2℃以内的样本数占总样本数的比例提高30%~55%,5℃以内的样本

数占总样本数的比例提高40%~55%,8℃以内的样本数占总样本数的比例提高16%~40%。特别是山西境内京昆高速,经过订正,2℃以内的样本数比例提高到60%以上,5℃以内的样本数比例提高到95%以上,8℃以内的样本数比例接近100%。

表2 夏季FY-2G卫星陆表温度订正效果分析

Table 2 Effect analysis of revision on land surface temperature retrieved from FY-2G (%)

绝对偏差 范围/℃	653667站		653668站		666729站		667101站	
	订正前	订正后	订正前	订正后	订正前	订正后	订正前	订正后
<2	14.52	45.26	13.35	49.50	22.00	60.76	14.10	68.84
<5	36.90	80.75	41.87	85.24	59.17	95.72	50.95	95.14
<8	56.96	94.05	66.47	97.19	80.44	99.88	83.29	99.76

注:表内数值代表绝对偏差在一定范围内的样本数占所有样本数的比例。

与图2相比,图8中经过统计订正后的FY-2G卫星陆表温度与交通站实际路面温度的散点图分布表现的更为集中,趋近于直线分布。4个交通站

可决系数分别为0.8819、0.8708、0.9066、0.9056,比订正前有明显的提高。

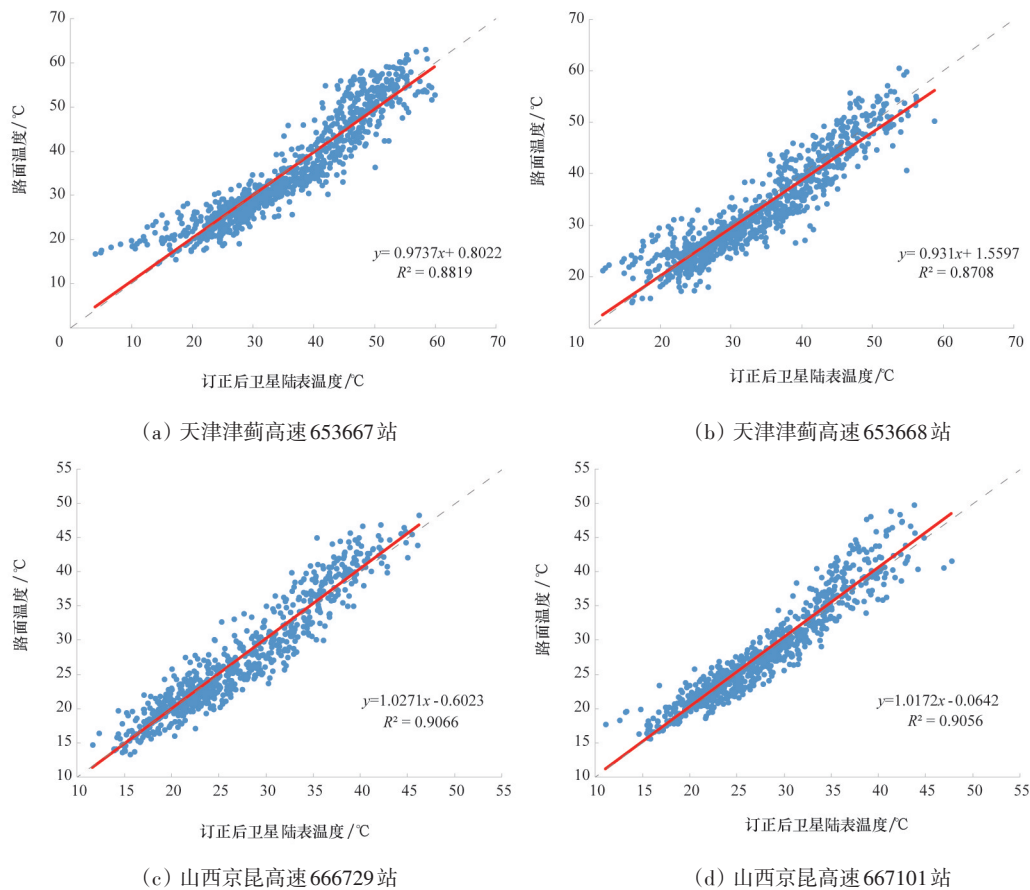


图8 2016年6月1日至8月31日逐小时路面温度与FY-2G卫星订正后陆表温度散点分布

Fig. 8 Scatter diagram of hourly road surface temperature and revised land surface temperature retrieved from FY-2G satellites during June 1<sup>st</sup>—August 31<sup>st</sup>, 2016

从图9进一步看出,订正后的卫星陆表温度更加接近于公路沿线交通站实测的路面温度,变化趋

势也与实况较为一致,但在日最高路面温度时段,仍比路面温度实况偏低。

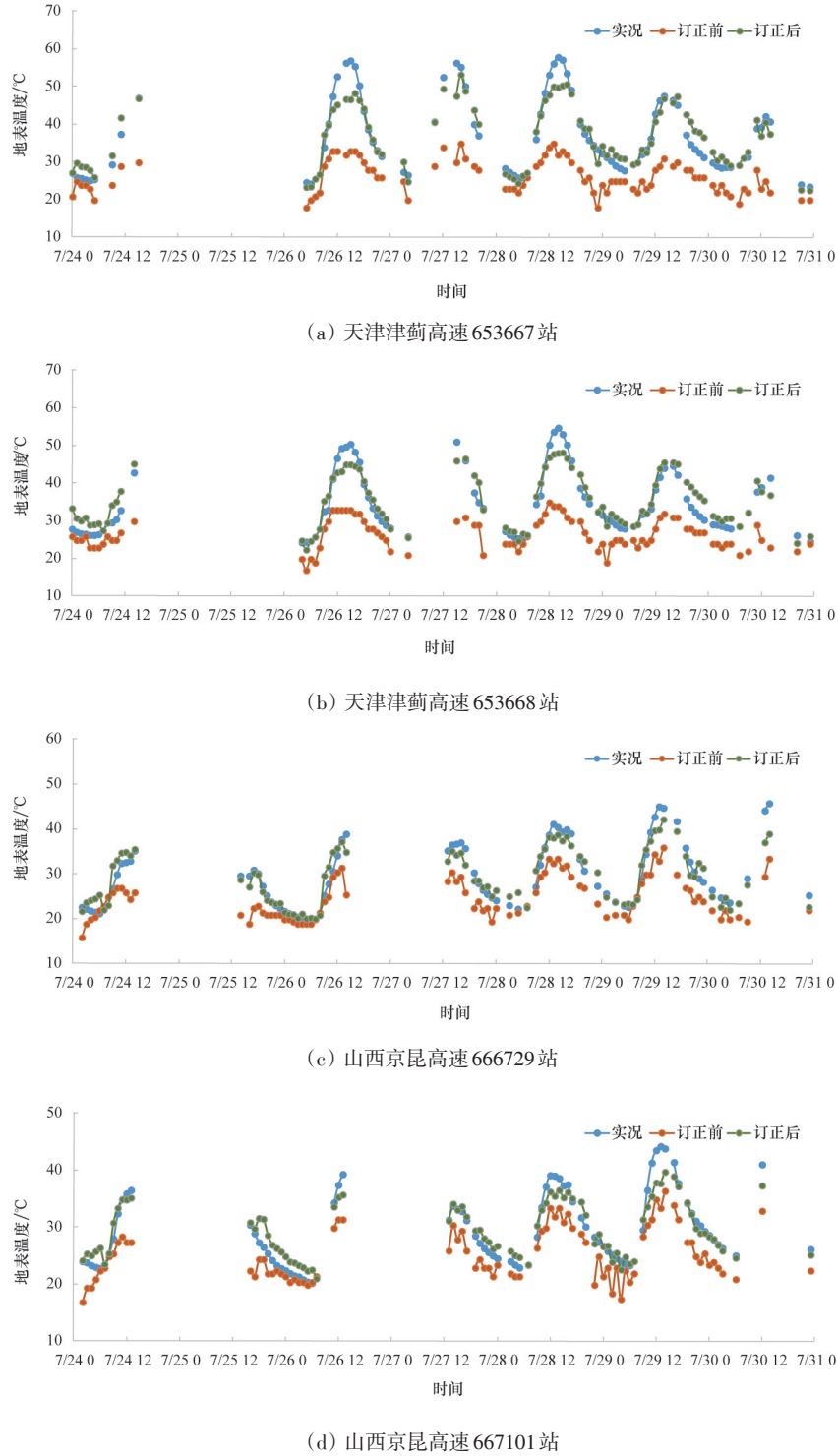


图9 2016年7月24—31日路面温度与FY-2G卫星订正前后陆表温度的比较

Fig. 9 The comparison of road surface temperature and land surface temperature retrieved from FY-2G satellite before and after revision during July 24<sup>th</sup>—31<sup>st</sup>, 2016

### 3.2.2 冬季

表3给出冬季时段(2015年12月1日至2016年2月28日、2016年12月1日至2017年2月28日)天津津蓟高速和山西京昆高速交通站对应FY-2G卫星陆表温度订正效果的统计。订正后,天津境内津蓟高速卫星陆表温度更加接近路面温度实况。如绝对偏差在1℃以内的样本数占总样本数的比例

比原来提高20%以上,2℃以内的样本数占总样本数的比例提高33%~40%,3℃以内的样本数占总样本数的比例提高31%~37%。但山西境内京昆高速2个交通站改进不明显,特别是667101站。经核实,2个交通站的气温监测出现异常偏大的数据,导致订正模型失效。

图10进一步表明,两高速路段订正后的卫星

表3 冬季 FY-2G 卫星陆表温度订正效果分析

Table 3 Effect analysis of revision on land surface temperature retrieved from FY-2G

绝对偏差	653667站		653668站		666729站		667101站	
	订正前	订正后	订正前	订正后	订正前	订正后	订正前	订正后
<1	21.06	44.10	20.88	48.00	22.77	37.44	20.06	23.28
<2	38.30	71.55	40.41	80.19	44.21	67.03	39.45	45.58
<3	54.11	85.48	55.12	92.61	58.08	83.94	54.64	64.67

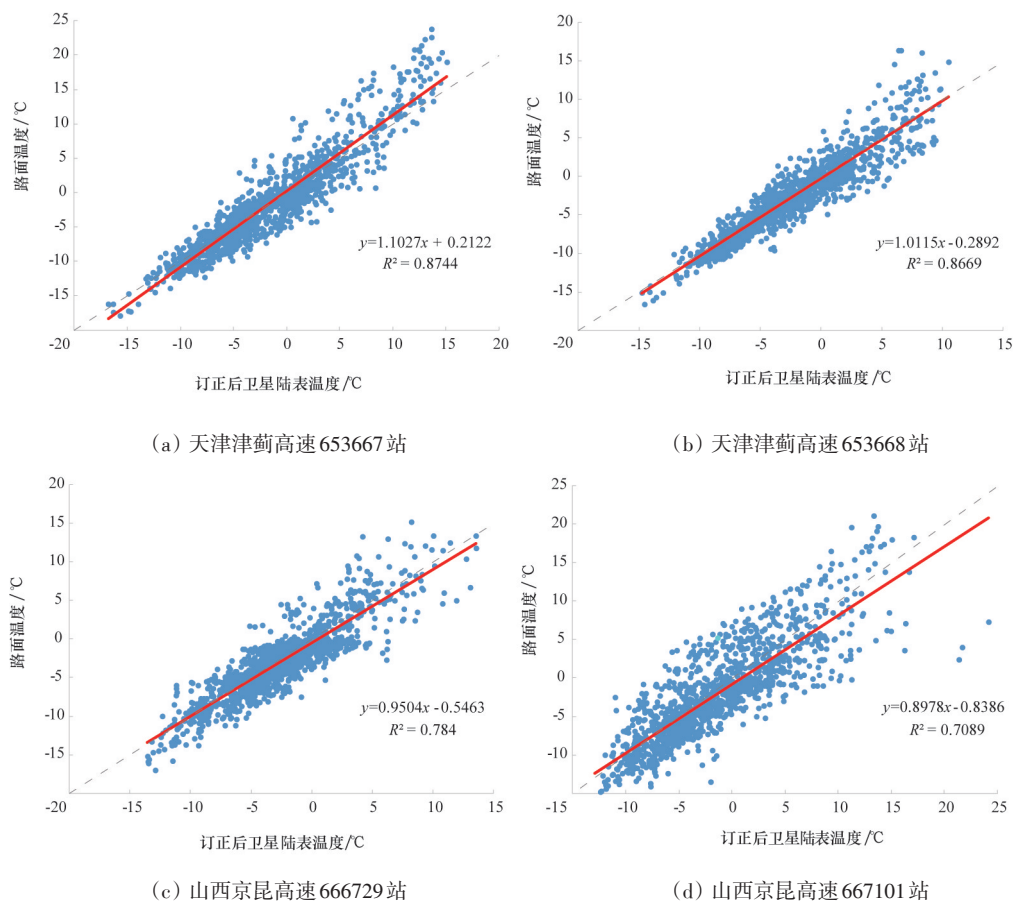


图10 2015年12月1日至2016年2月28日、2016年12月1日—2017年2月28日逐小时路面温度与FY-2G卫星订正后陆表温度散点分布

Fig. 10 Scatter diagram of hourly road surface temperature and revised land surface temperature retrieved from FY-2G satellites during December 1<sup>st</sup>, 2015—February 28<sup>th</sup>, 2016 and December 1<sup>st</sup>, 2016—February 28<sup>th</sup>, 2017

陆表温度与公路实测路面温度线性相关性更高,特别是津蓟高速,2个交通站实测路面温度与订正后的卫星陆表温度之间的可决系数由原来的0.6195、0.6125分别提高至0.8744、0.8669。受气温监测质

量的影响,667101站的散点图表现出较为分散的特征。

图11考察典型低温过程2016年1月26日至2月2日,使用上述统计模型对卫星反演陆表温度产

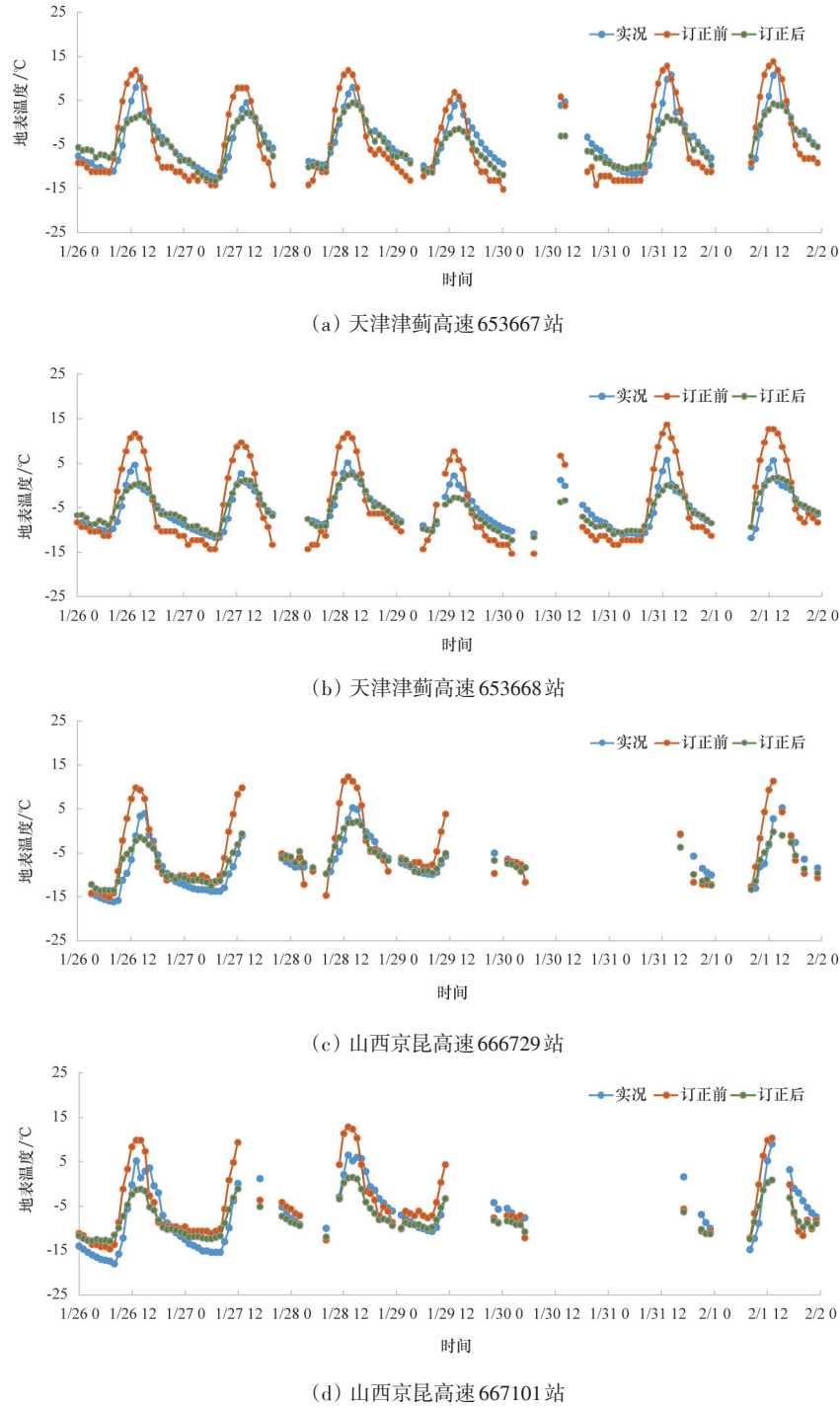


图11 2016年1月26日至2月2日路面温度与FY-2G卫星订正前后陆表温度的比较

Fig. 11 Comparison of road surface temperature and land surface temperature retrieved from FY-2G satellite before and after revision during January 26<sup>th</sup>—December 2<sup>nd</sup>, 2016

品的订正效果。如前文所述,卫星陆表温度产品在白天高温时段比公路实测路面温度偏高,在夜间低温时段偏低。经订正后,卫星陆表温度日变化的幅度明显减小,与实测路面温度变化的曲线更加一致,但存在对日最高地表温度过分消弱的现象。

### 3.3 应用实例

开展卫星遥感陆表温度产品应用的目的在于将有限的交通气象站点观测的路面温度扩展到公

路沿线或整个路网上,获取连续分布的公路路面温度分布。以2017年5月18日华北一次高温过程为例,使用天津境内津蓟高速上2个交通气象观测站点路面温度与气温观测值,及对应卫星像元内陆表温度之间的统计回归关系,建立订正模型,并应用该模型对京津及周边地区公路沿线卫星遥感陆表温度进行订正,结果如图12所示。

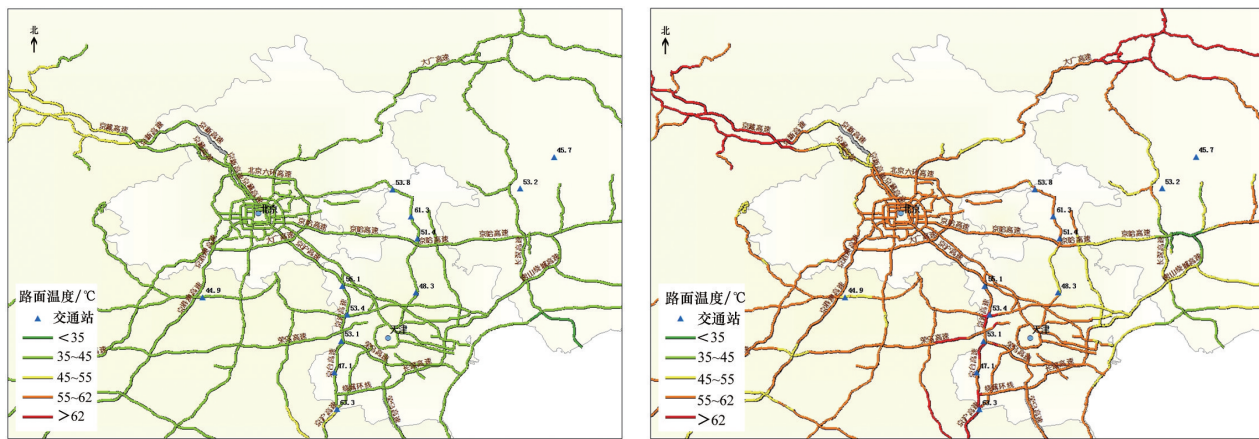


图12 2017年5月18日14:00FY-2G卫星遥感陆表温度(a)与订正后陆表温度的比较(b)

Fig. 12 Comparison of land surface temperature retrieved from FY-2G satellite before (a) and after (b) revision at 14:00 on May 18th, 2017

通过使用卫星遥感反演陆表温度产品,首先可以获取公路路网上连续分布的地表温度,对于交通管理部门应对高温天气采取相应的应急对策更具指导意义。但直接使用卫星产品得到的陆表温度值比交通站点上的路面温度监测值明显偏低,京津地区卫星反演陆表温度值在35°C~45°C,而实况路面温度大多在50°C以上,个别站点达到60°C以上。经过经验订正后的陆表温度值比订正前有明显的提高。对于有交通气象观测的路段,路面温度实况值与卫星陆表温度产品订正后的等级基本一致,或在该等级附近。另外,使用卫星资料订正分析得到的公路路面温度实况分析产品还能够较好地反映局地高/低温路段分布的细节特征,如京沪高速河北—天津交界处的高温路段、天津境内津蓟高速中部的低温路段,以及河北境内廊涿高速的低温路段。

## 4 结论

使用FY-2G和Himawari-8卫星反演陆表温度产品,以天津境内津蓟高速和山西境内京昆高速有交通站观测的路段为试验对象,开展了卫星反演陆表温度产品在公路路面温度监测中的适用性和应用技术方法研究。根据卫星陆表温度产品与实际路面温度之间的关系特征,建立了卫星陆表温度产品在公路路面温度监测中的应用技术方法,构建了以所在路段卫星陆表温度和气温为自变量的订正模型,并针对夏季高温时段和冬季低温时段,分析了卫星反演陆表温度产品的订正效果,得到以下结论。

1) 卫星反演陆表温度产品能够较好地反映公路路面温度的日变化特征和逐日变化趋势,两者存

在较好的相关性。但由于两者存在面和点的区别,卫星反演陆表温度值的大小与实测路面温度有较大的差异,主要表现为夏季中午时段比实际观测值明显偏低,冬季中午时段比实际观测值明显偏高。

2) 相关性及偏差分析表明,2 km分辨率的Himawari-8卫星陆表温度产品没有比5 km分辨率的FY-2G产品表现出明显的优越性,表明对于公路这种局地性很强的下垫面来说,2 km分辨率的观测仍然不足。

3) 晴空天气条件下,使用历史路面温度与卫星反演陆表温度数据建立统计关系,并对实时卫星陆表温度产品进行滚动订正,大大降低了卫星陆表温度与实际路面温度的偏差,夏季时段平均绝对偏差由订正前的6.98℃降低至2.57℃,冬季时段由订正前的3.84℃降低至1.62℃。所得地表温度产品曲线变化趋势更加接近于实况观测,夏季白天高温时段地表温度偏低的现象有明显改善,冬季地表温度日变化的幅度比订正前明显减小,但订正后夏季日最高气温仍低于实况观测,冬季存在对日最高气温过弱弱的现象。

4) 以2017年5月18日京津及周边地区的高温天气过程为例,对FY-2G卫星反演陆表温度产品经过经验订正,可得到公路路网上连续分布的路面温度实况分析产品,且各路段路面温度等级与交通气象站路面温度实况监测值基本一致,表明该方法在高速公路路面温度监测中具有较好的应用效果。

#### 参考文献(References)

- [1] Shao J. A winter road surface temperature prediction model with comparison to others[D]. Birmingham: The University of Birmingham, 1990.
- [2] Sass B H. A numerical model for prediction of road temperature and ice[J]. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 1992, 31(12): 1499-1506.
- [3] Shao J, Lister P J. The prediction of road surface state and simulation of the shading effect[J]. Boundary-Layer Meteorology, 1995, 73(4): 411-419.
- [4] Shao J, Lister P J. An automated nowcasting model of road surface temperature and state for winter road maintenance[J]. Journal of Applied meteorology, 1996, 35(8): 1352-1361.
- [5] 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[J]. 气象科学, 2009, 29(5): 645-650.
- [6] Zhu Chengying, Xie Zhiqing, Yan Mingliang, et al. Study on the numerical prediction model of extreme temperature on speedway-surface[J]. Scientia Meteorologica Sinica, 2009, 29(5): 645-650.
- [7] 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[J]. 应用气象学报, 2009, 20(6): 737-744.
- [8] Tian Hua, Wu Hao, Zhao Linna, et al. Characteristic and statistical model of road surface temperature on Huning expressway[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2009, 20(6): 737-744.
- [9] Kann A, Kršman R, Habrovský R, et al. High-resolution nowcasting and its application in road maintenance: experiences from the INCA Central European area project[J]. Iet Intelligent Transport Systems, 2015, 9(5): 539-546.
- [10] 冯蕾, 王晓峰, 何晓凤, 等. 基于INCA和METRo的江苏省路面高温精细化预报[J]. 应用气象学报, 2017, 28(1): 109-118.
- [11] Feng Lei, Wang Xiaofeng, He Xiaofeng, et al. Fine forecast of high road temperature along Jiangsu highways based on INCA system and METRo model[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2017, 28(1): 109-118.
- [12] Chapman L, Thornes J E. The influence of traffic on road surface temperatures: Implications for thermal mapping studies[J]. Meteorological Applications, 2005, 12(4): 371-380.
- [13] 张鹏, 郭强, 陈博洋, 等. 我国风云四号气象卫星与日本Himawari-8/9卫星比较分析[J]. 气象科技进展, 2016, 6(1): 72-75.
- [14] Zhang Peng, Guo Qiang, Chen Boyang, et al. The Chinese Next-Generation Geostationary Meteorological Satellite FY-4 Compared with the Japanese Himawari-8/9 Satellites[J]. Advances in Meteorological Science and Technology, 2016, 6(1): 72-75.
- [15] 朝鲁门. 气象卫星在地表温度反演及应用方面的综述[J]. 内蒙古科技与经济, 2015(10): 60-62.
- [16] Chao Lumen. Summary of retrieval and the application of surface temperature based on meteorological satellite[J]. Inner Mongolia Science Technology & Economy, 2015(10): 60-62.
- [17] 李宁, 黄树青, 顾卫, 等. 红外热像仪在公路小气候监测中的应用[J]. 公路交通科技, 2006, 23(9): 154-158.
- [18] Li Ning, Huang Shuqing, Gu Wei, et al. Monitoring of micro climate of road-area using infrared thermal tracer[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2006, 23(9): 154-158.
- [19] 李蕊, 牛生杰, 汪玲玲, 等. 三种下垫面温度对比观测及结冰气象条件分析[J]. 气象, 2011, 37(3): 325-333.
- [20] Li Rui, Niu Shengjie, Wang Lingling, et al. Comparison of three kinds underlying surface temperature of the road icing meteorological conditions[J]. Meteorological monthly, 2011, 37(3): 325-333.
- [21] 刘冰, 包国涛, 彭凯, 等. 基于Landsat TM影像不同地表温度反演算法的比较[J]. 地理信息世界, 2015, 22

- (3): 57-61.
- Liu Bing, Bao Guotao, Peng Kai, et al. Comparison of different land surface temperature algorithms based on Landsat TM images[J]. *Geomatics World*, 2015, 22(3): 57-61.
- [15] 孟丹, 李小娟, 宫辉力, 等. 北京地区热力景观格局及典型城市景观的热环境效应[J]. *生态学报*, 2010, 30(13): 3491-3500.
- Meng Dan, Li Xiaojuan, Gong Huili, et al. The thermal environment landscape pattern and typical urban landscapes effect linked with thermal environment in Beijing [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(13): 3491-3500.
- [16] 袁旭. 低空航拍近地表温度研究[D]. 广州: 华南理工大学建筑学院, 2013.
- Yuan Xu. Study on the near ground temperature from aerial shots in low altitude[D]. Guangzhou: Department of Architecture, South China University of Technology, 2013.
- [17] 董立新, 杨虎, 张鹏, 等. FY-3A 陆表温度反演及高温天气过程动态监测[J]. *应用气象学报*, 2012, 23(2): 214-222.
- Dong Lixin, Yang Hu, Zhang Peng, et al. Retrieval of land surface temperature and dynamic monitoring of a high temperature weather process based on FY-3A/VIRR data[J]. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2012, 23(2): 214-222.
- [18] 王亚维, 宋小宁, 唐伯惠, 等. 基于 FY-2C 数据的地表温度反演验证——以黄河源区玛曲为例[J]. *国土资源遥感*, 2015, 27(4): 68-72.
- Wang Yawei, Song Xiaoning, Tang Bohui, et al. Validation of FY-2C derived land surface temperature over the source region of the Yellow River: a case study of Maqu County[J]. *Remote Sensing for Land Resources*, 2015, 27(4): 68-72.
- [19] 韩秀珍, 李三妹, 窦芳丽. 气象卫星遥感地表温度推算进地表气温方法研究[J]. *气象学报*, 2012, 70(5): 1107-1118.
- Han Xiuzhen, Li Sanmei, Dou Fangli. Study of obtaining high resolution near-surface atmosphere temperature by using the land surface temperature from meteorological satellite data[J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 2012, 70(5): 1107-1118.
- [20] 胡菊吻. 风云卫星地表温度反演算法研究[D]. 北京: 中国气象科学研究院, 2012.
- Hu Juyang. The study of algorithms for land surface temperature retrieval from Feng Yun satellite data[D]. Beijing: Chinese Academy of Meteorological Sciences, 2012.
- [21] Ulivieri C, Cannizzaro G. Land surface temperature retrievals from satellite measurements[J]. *Acta Astronautica*, 1985, 12(12): 997-985.

## Study of road surface temperature by using the land surface temperature retrieval products from meteorological satellite data

FENG Lei<sup>1</sup>, ZHANG Kaiyi<sup>2</sup>, GAO Jingjing<sup>1</sup>, DAI Zhixiu<sup>3</sup>

1. Public Meteorological Service Center, Beijing, 100081, China
2. Beijing Weather Information Service Co.,Ltd., Beijing, 100081, China
3. Moji Co., Ltd., Beijing, 100081, China

**Abstract** The applicability of the land surface temperature retrieval products in the road surface temperature monitored for typical highway sections is studied by using the FY-2G and Himawari-8 products. It is suggested that the satellite land surface temperature retrieval products can reflect the diurnal cycle and the daily change of the road surface temperature well, with a good relationship between the two. According to the high correlation between the road surface temperature and the satellite retrieval product, a revised model is established by using the linear regression method. The rolling revised satellite land surface temperature retrieval products give results much closer to the road surface temperature observations than the original results. The absolute deviation in summer is reduced to 2.57°C from 6.98°C, and the absolute deviation in winter is reduced to 1.62°C from 3.84°C.

**Keywords** the satellite land surface temperature retrieval products; road surface temperature; revising model; revising effect ●



(责任编辑 傅雪)