

doi: 10.6046/gtzyyg.2020113
引用格式: 周芳成,唐世浩,韩秀珍,等. 云下遥感地表温度重构方法研究[J]. 国土资源遥感,2021,33(1):78–85. (Zhou F C, Tang S H, Han X Z, et al. Research on reconstructing missing remotely sensed land surface temperature data in cloudy sky [J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2021, 33(1): 78–85.)

云下遥感地表温度重构方法研究

周芳成¹, 唐世浩¹, 韩秀珍¹, 宋小宁², 曹广真¹
(1. 国家卫星气象中心, 北京 100081; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 地表温度是研究地–气之间水热平衡的重要参数,对地表温度的全天候获取具有重要意义。热红外遥感可以获得较高分辨率空间全覆盖的地表温度产品,但是有云地区数据缺失问题制约了地表温度遥感产品的全天候应用。文章发展了 2 种对云下缺失的地表温度进行重构的方法,方法 1 是借助地表温度同化数据集发展了一种时空匹配的数据融合方法,方法 2 是将当前在海表参数重构研究中较为流行的经验正交函数插值法 (data interpolating empirical orthogonal function, DINEOF) 方法应用于地表温度的重构研究中。通过对 2017 年中国地区地表温度遥感数据的重构对比了 2 种方法的效果与精度,结果显示: 2 种方法在整个中国地区不同季节有云条件下精度在 2.5 ~ 3.5 K 之间。方法可为今后地表温度遥感数据的全天候获取提供有益帮助。
关键词: 地表温度; 重构; 地表温度同化数据集; 经验正交函数插值法
中图法分类号: TP 79; P 237 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001–070X(2021)01–0078–08

0 引言

地表温度是地表–大气之间水热平衡中一个重要的参数,不仅可用于判断火灾和地震带、找矿和地热资源、研究城市热岛效应^[1–2]; 还直接影响着蒸散发、土壤含水量、植被和土壤生化特性、大气可降水量、区域 CO₂ 含量等重要参数^[3–8]。在大气、生态、水文和生物地球化学等诸多领域的研究模型中,地表温度是常见的输入变量,其精度直接影响着模型的输出精度^[9]。因此,获取高精度和连续性的地表温度数据具有非常重要的意义。

虽然地面测站可以获取高精度和全天候的地表温度观测数据,但是稀疏分布的地面测站无法覆盖地表温度强烈的空间异质性,使得站点观测可能会遗漏大尺度地表温度的空间变化信息。随着对地观测卫星的发展,遥感技术被认为是唯一可以在全球尺度保证高时间分辨率和空间全覆盖的地表温度观测手段^[10]。基于遥感技术的地表温度反演成为大尺度地表温度获取的有效手段。当前,基于热红外遥感的地表温度反演理论与方法已经较为成熟,可以获得较高精度的晴空地表温度遥感产品^[11–12],但

是受制于热红外遥感无法穿透云层,有云地区地表温度遥感数据存在缺失,极大影响了地表温度数据的全天候应用需求。对云下缺失地表温度遥感数据进行重构,获得全天候地表温度遥感数据、满足其全天候应用的需求是当前研究的热点。

当前,国内外已发展出很多缺失数据重构方法,如最优插值法 (optimal interpolation, OI)、经验正交函数分解法 (empirical orthogonal function, EOF)、期望最大化法 (expectation maximization, EM)、奇异谱方法 (singular spectrum analysis, SSA)、卡尔曼滤波 (Kalman filter, KF)、本征模态分解法 (proper orthogonal decomposition, POD)、变分资料同化 (variational data assimilation, VDA) 等^[13]。在国内,赵冰等^[14]利用邻近非空像元采用反距离加权回归法重建缺失像元; 吴迪等^[15]以 FY–2F 地表温度日均值产品为数据源,利用地表温度时间序列特征,开展了基于 Savitzky–Golay 滤波算法的地表温度长时间序列的重建研究。上述方法通常受到输入数据时间序列长度、地表覆盖类型等因素影响。本文发展的第 1 种重构方法是借助地表温度同化数据集发展的一种时空匹配的数据融合方法; 第 2 种重构方法是已经在海表数据重构方面获得了广泛应用的基于 EOF 法

收稿日期: 2020–04–17; 修订日期: 2020–08–12
基金项目: 国家重点研发计划项目“全球气象卫星遥感动态监测、分析技术及定量应用方法及平台研究”(编号: 2018YFC1506500)和“冬奥赛场精细化三维气象特征观测和分析技术研究”(编号: 2018YFF0300101)共同资助。
第一作者: 周芳成(1988–),男,博士,工程师,主要从事基于遥感的地表和大气关键参数反演方面的研究。Email: zhoufc@cma.gov.cn。
通信作者: 唐世浩(1971–),男,博士,研究员,主要从事定量遥感理论和应用方面的研究。Email: tangsh@ cma.gov.cn。

的经验正交函数插值法 (data interpolating empirical orthogonal function , DINEOF) 方法。DINEOF 方法在陆地参数的重构方面研究较少,本文尝试将其应用于地表温度重构的研究中并评价其精度。2 种方法基于不同的输入数据,可为未来地表温度的全天候获取研究提供有益的帮助。

1 数据与方法

1.1 数据

相比白天,夜间的地表温度空间覆盖数据具有更小的空间异质性,因此本文用到的原始地表温度遥感数据是来自 Aqua 卫星搭载的中分辨率成像光谱仪 (Moderate - resolution Imaging Spectroradiometer, MODIS) 的夜间晴空地表温度数据 (MYD11C1), 0.05°空间分辨率,过境时间约为当地时间 01:30, 下载自美国国家航空航天局网站。为了满足方法 1 对输入数据的要求,本文使用了中国气象局陆面数据同化系统 (China Meteorological Administration Land Data Assimilation System Version 2.0, CLDAS - V2.0) 的地表温度同化数据集。CLDAS 的地表温度数据集是中国气象局推出的覆盖亚洲区域 (N0° ~ 65°, E60° ~ 160°)、全天候、具有 0.062 5°空间分辨率与 1 h 时间分辨率的等经纬度网格融合分析产品,该数据集的优点是利用了多源的地面、卫星等观测资料,在中国区域质量和时空分辨率都优于国际同类产品。为了满足方法 2 对输入数据的要求,下载了 2017 年全年的每日 MYD11C1 数据以构成时间维。

为了对比 2 种方法的适应性和精度,本文分别使用遥感数据交叉验证和地面实测数据直接验证 2 种方法。遥感数据验证选择了位于不同经纬度、不同土地利用类型、不同气候条件的 3 个验证区 (图 1), 分别位于塔克拉玛干沙漠地区 (验证区 1, 裸土、少云)、山东半岛地区 (验证区 2, 农田、多云)、南方某地 (验证区 3, 林地和草地、多云)。重构前,首先对 3 个验证区产生人造云 (即将原有的有效值改为空值), 重构后对比原始值与重构值的精度。地面验证数据是来自中国地面气象站逐小时观测资料的地表温度数据,用于验证有云条件下重构值的精度。精度评价指标为均方根误差 (root mean square error, RMSE) 和偏差 (Bias)。在 2017 年全年数据中随机选取 1 月、4 月、7 月、10 月的一天数据分别代表冬季、春季、夏季、秋季,进行时间上的验证。

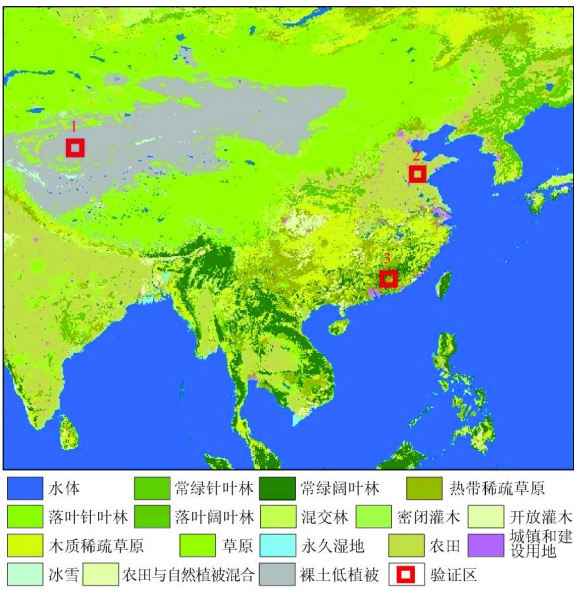


图 1 验证区的位置及土地利用类型

(底图为 MODIS 的 2017 年土地利用类型产品 MCD12C1)

Fig. 1 Locations and land use types of verification zones

1.2 两种云下缺失数据重构方法

1.2.1 同化数据重构法

同化数据通常融合了多源地面和卫星观测资料,结合同化、插值、反演、校正等技术,一般具有较高的精度,且不受气象条件影响,可以实现数据的全天候获得。当前常见的同化数据集有全球陆面数据同化系统、北美陆面数据同化系统、欧洲陆面数据同化系统、加拿大陆面数据同化系统、中国陆面数据同化系统等。本文以中国气象局的 CLDAS 地表温度数据集为例,首先将其与 MODIS 的地表温度产品进行时空尺度匹配,然后将时空匹配后的地表温度值赋给 MODIS 云下缺失像元。CLDAS 地表温度数据集具有全天候、高时空分辨率、高精度的优势,利用中国区域业务的质量控制后的地表温度自动站观测资料对 CLDAS 地表温度数据集进行评估,全国区域平均相关系数为 0.98, RMSE 为 1.8 K, 偏差为 1.4 K。但是 CLDAS 是 1 h 分辨率的全范围地表温度,与极轨卫星的过境时间地表温度具有差异性,特别是中国区域横跨多个时区,如果用单一时刻的 CLDAS 地表温度去重构会产生较大的误差。本文发展了一种时空数据匹配的融合方法,使 CLDAS 的地表温度尽量符合极轨卫星地表温度,其工作流程为:

1) 根据 MYD11C1 携带的晴空像元卫星过境时间信息,对有云像元的过境时间进行插值。

2) 将各个像元的卫星过境时间进行四舍五入取整,以符合 CLDAS 数据 1 h 时间分辨率的要求,同时也保证了重构的地表温度因为时间差异而造成的误差控制在 0.5 h 以内。

3)对 CLDAS 的地表温度数据集进行空间分辨率的降尺度操作,将原始的 0.062 5°降尺度到与 MYD11C1 相同的 0.05°,由于空间分辨率相差不大,忽略由于降尺度可能产生的误差。

4)根据有云像元的过境时间和位置信息寻找与之对应时刻和位置的 CLDAS 地表温度数据,并将该值赋给 MYD11C1 缺失像元。

5)由于 CLDAS 和 MODIS 在晴空像元处的地表温度值也有差异,因此可以假设缺失点处也存在同样的误差。因此,本文对缺失点处的初始猜测值又提出了二次订正的思路:用非缺失点处的重构误差帮助订正缺失点处的猜测值,对猜测结果进行二次优化。计算公式为:

$$ER = V_{recon} - V_{orig} \quad , \quad (1)$$

$$V_{recon,after} = V_{recon,before} - ER \quad , \quad (2)$$

式中: V_{orig} 为非缺失点处的原始值; V_{recon} 为非缺失点处的猜测值; ER 为重构误差; $V_{recon,before}$ 和 $V_{recon,after}$ 分别为缺失点处二次订正前和二次订正后的猜测值。

1.2.2 DINEOF 重构法

DINEOF 法是由 Beckers 等^[16]提出的一种基于经验正交函数分解法来重构时空场中缺失点的方法,该方法需要大量的历史数据构成时间维,通过对

缺失点的历史数据分析提高重构精度。相比于经典的 OI 法^[17],DINEOF 法具有无需先验值、自适应、效率高的优点^[13,18],目前已经在海表温度、叶绿素 a 浓度、海面风场数据的重构应用中发挥了重要作用^[19-22]。当前国内文献对 DINEOF 方法在地表温度重构上的研究并不多,国际上,Zhou 等^[23]将其应用于在了青藏高原阿里地区的地表温度重构。DINEOF 法的基本原理与工作流程可参考相关文献^[16,18]。值得注意的是,DINEOF 模型在数据重构的赋值过程中,在缺失点处赋以猜测值,在非缺失点处则同时存在猜测值和原始值,虽然最终只保留了原始值,但在非缺失点处其实存在一个潜在的重构误差(猜测值与原始值的差异),相对应的,可以假设缺失点处也存在同样的重构误差。此处采用与同化数据重构法相同的二次订正对缺失点重构值进行纠正。

2 结果与分析

2.1 分布趋势

图 2—5 分别是 2017 年的冬季(1 月 9 日)、春季(4 月 27 日)、夏季(7 月 12 日)和秋季(10 月 12 日)共 4 天的地表温度分布图。

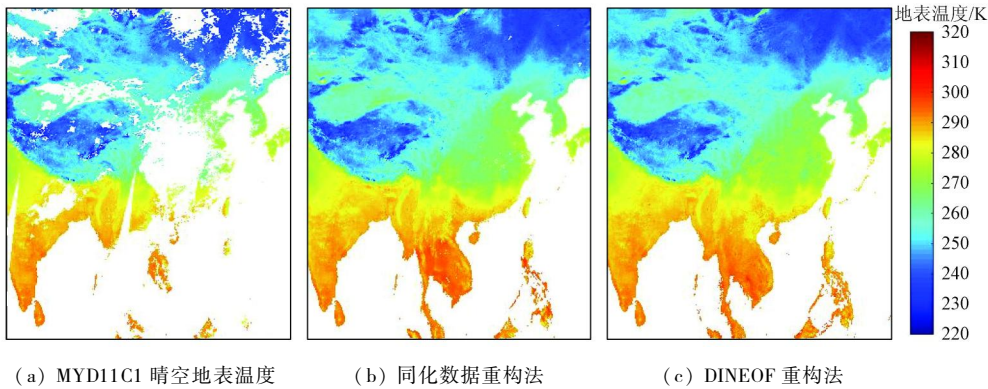


图 2 2017 年 1 月 9 日(冬季)的地表温度分布图
Fig. 2 Land surface temperature map in Jan. 9 2017

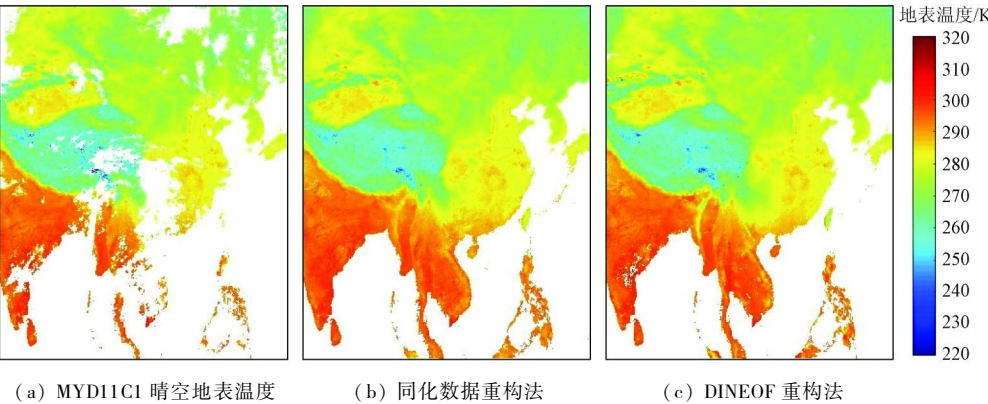


图 3 2017 年 4 月 27 日(春季)的地表温度分布图
Fig. 3 Land surface temperature map in Apr. 27, 2017

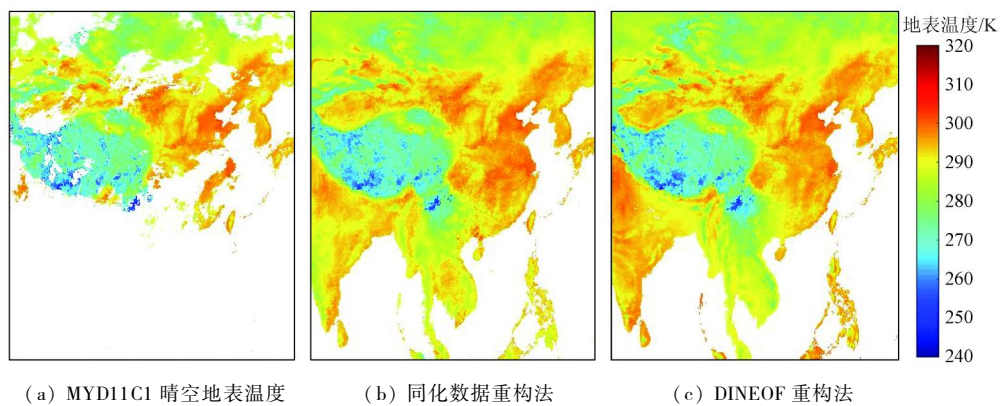


图 4 2017 年 7 月 12 日(夏季)的地表温度分布图
Fig. 4 Land surface temperature map in Jul. 12, 2017

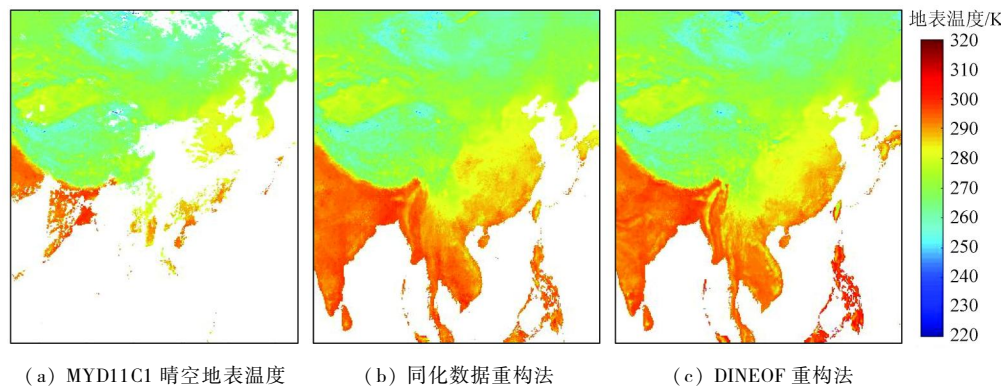


图 5 2017 年 10 月 12 日(秋季)的地表温度分布图
Fig. 5 Land surface temperature map in Oct. 12, 2017

从图中看出,MYD11C1 晴空地表温度分布图由于有云遮挡,地表温度分布呈破碎状,特别是南方部分地区,云覆盖范围大且覆盖时间长,极大影响了对地表温度全天候应用的需求;而经过 2 种重构方法重构后的地表温度分布图修复了地表温度分布的破碎性,更好地表现出随季节的更替(冬-春-夏-秋),北部的低温区域(蓝色)消失,南部的高温区域(红色)从南向北推进又回到南部的趋势。从视觉效果上看,重构图不仅更加美观,而且具有与地势起伏和时间变化相符合的丰富的地表温度纹理特征,体现了地表温度分布的空间异质性和时间差异性,其分布趋势较为合理,表明 2 种重构方法均有较高的可信度。

2.2 遥感数据验证

遥感数据交叉检验可以在同一个空间尺度上对重构值进行评价,原始的 MODIS 地表温度作为真值,产生人造云对其遮挡,通过对比原始值与重构值来评价其精度。本文对 3 个验证区所属的土地利用类型进行了评价(4 季 4 天)。图 6—8 分别是晴空条件下 2 种重构方法在验证区 1(沙漠)、验证区 2(农田)和验证区 3(林草混合地)的重构

精度的对比散点图。验证区 1 塔克拉玛干沙漠地区的数据点分布在 3 个区域,主要是因为所选验证区在 10 月 12 日当天无有效数据;验证区 2 山东农田地区的数据点也分布在 3 个区域,分别代表了冬季(低温)、夏季(高温)和春秋(中温),表明山东农田地区的地表温度有较为明显的四季变化,春秋季节地表温度则较为接近;验证区 3 林草混合地区数据点主要集中在 285 K 和 293 K 附近的 2 个区域,说明南方林草混合地区全年较为温暖。从图中看出,不同地类条件下 2 种方法的精度均较为接近,其中农田和沙漠地区的 RMSE 都小于 2 K, Bias 都小于 1 K,精度较好;林草混合地的 RMSE 约为 2.7~2.9 K,精度略差的原因体现在 2 方面:一是南方地区有云天数较多,有效值较少,因此 DINEOF 法条件下可参考的时间维信息较少;二是同化数据重构法当中 CLDAS 主要表现的是土壤表层温度信息,而 MODIS 在高植被覆盖区则主要体现植被冠层温度,两者存在一定误差。从结果看,2 种方法在少云、地类单一的地区重构精度较好;在多云、地类复杂地区重构精度略有降低。

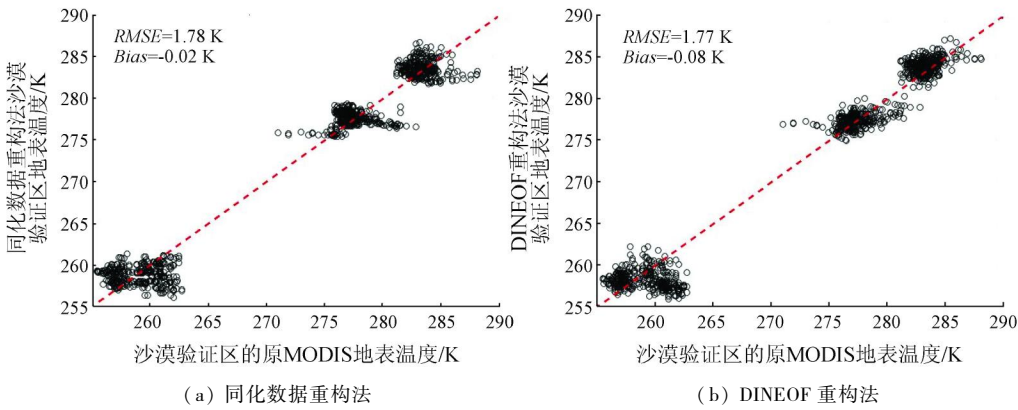


图 6 晴空条件下 2 种方法在沙漠地区重构精度验证

Fig. 6 Validation of two methods in desert lands in cloud - free sky

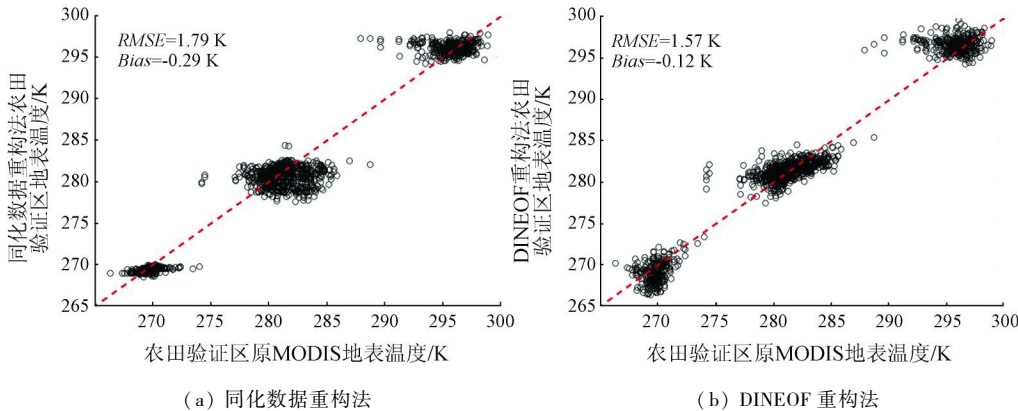


图 7 晴空条件下 2 种方法在农田地区重构精度验证

Fig. 7 Validation of two methods in cropland lands in cloud - free sky

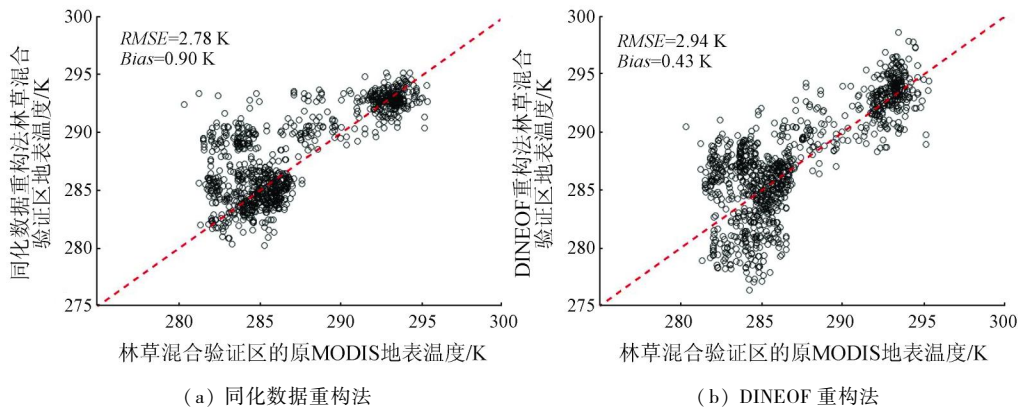


图 8 晴空条件下 2 种方法在林草混合地区重构精度验证

Fig. 8 Validation of two methods in tree - grass lands in cloud - free sky

2.3 地面实测数据验证

重构是为了解决云下地表温度数据缺失的问题,因此本文更关注 2 种方法在有云地区的重构精度。有云地区由于无遥感地表温度产品,只能依赖于地面站点的实测值进行验证,站点实测值是基于点尺度,而本文重构的地表温度是基于面尺度(0.05°空间分辨率),2 种尺度的地表温度存在一定的误差,因此本文在利用地面实测数据验证前,首先建立了地面实测数据和晴空遥感数据之间的尺度匹配关系:

$$LST_{RS} = aLST_{ground} + b, \quad (3)$$

式中: LST_{RS} 为地面站点所处像元在晴空条件的 MODIS 地表温度值; LST_{ground} 为地面站点测量的地表温度值; a 和 b 为系数。将式(3)应用于有云地区,计算出像元尺度地面实测值,缩小尺度差异对结果的影响。

地面实测数据的验证首先根据中国地面气象站所处经纬度判断每一个站点是否处于有云地区,判断为“是”的站点地表温度参与验证。图 9 是云下地面站点数据和 2 种重构地表温度的对比散点图。

从图 9 中看出,冬季整体精度略差于其他 3 个季节,2 种方法的 RMSE 分别为 3.21 K 和 3.20 K;秋季精度最好,2 种方法 RMSE 均在 2.5 K 左右;春季 2 种方法精度相差较大,同化数据重构法的 RMSE 为 3.05 K, DINEOF 重构法只有 2.54 K;夏季的散点数量最多,因为夏季云量多,表明大部分站点地区都被云遮

挡,2 种方法在夏季的 RMSE 分别为 3.08 K 和 3.02 K,相差不大。总体来看,2 种方法在春季精度相差较大,达到 0.5 K, DINEOF 重构法较优,在其他季节 2 种方法精度比较接近;2 种方法在有云地区全年精度可以达到 2.5~3.5 K 之间。

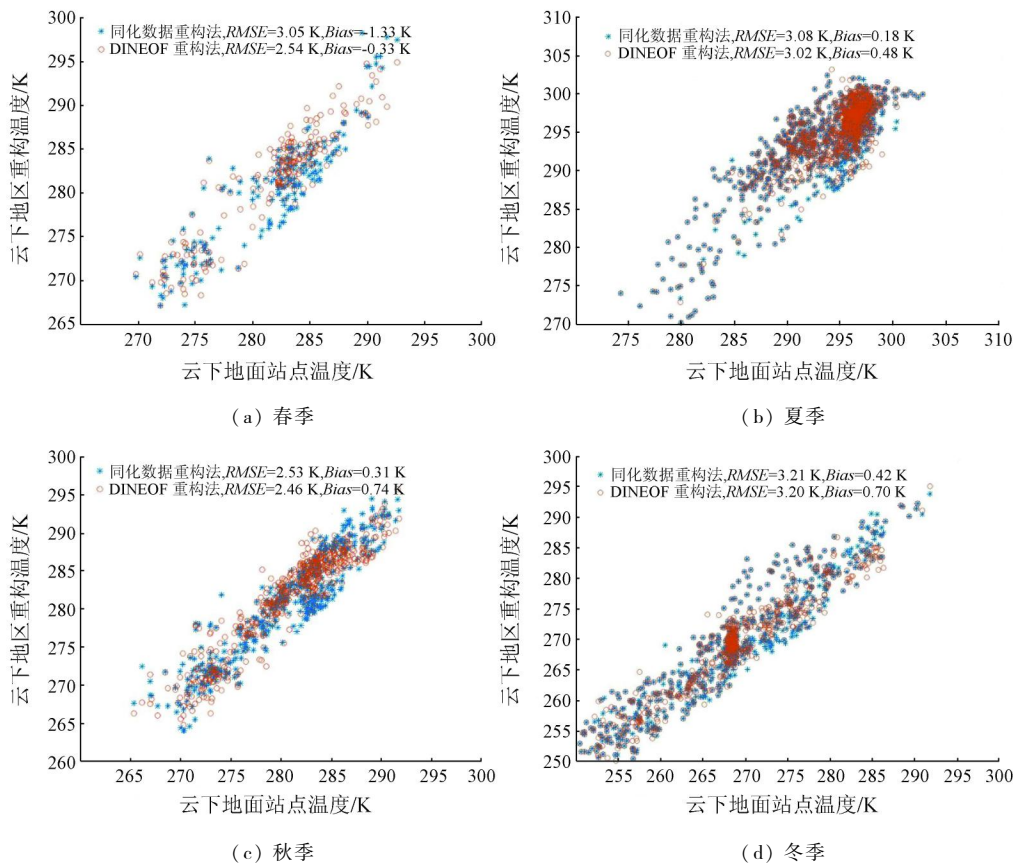


图 9 云下地面站点数据和 2 种重构地表温度的对比散点图

Fig. 9 Validation of two methods with measured land surface temperature in cloudy sky

3 结论

本文发展了 2 种方法来重构全天候地表温度遥感产品,并对其进行了验证和评价:方法 1 是基于同化地表温度数据集的重构方法,本文发展了一套时空匹配融合方法,减小了同化数据获取时间与极轨卫星过境时间下地表温度的差异,并根据晴空条件下 2 种地表温度的系统误差对云下数据二次订正以消除重构误差;方法 2 是将当前在海表参数重构研究中较为流行的 DINEOF 法应用于地表温度重构研究,并对其增加了二次订正来消除重构误差。

通过对重构数据的地表温度分布图观察,2 种方法都能较好地重构云下缺失地表温度,并能体现出地形差异和时间差异导致的地表温度纹理特征,从空间分布趋势来看,2 种方法的重构结果都较为可信。从对遥感数据的验证结果来看,2 种方法在

沙漠、农田、林草混合地 3 个验证区的 RMSE 均小于 3 K, Bias 小于 1 K;通过对地面实测数据的验证结果来看,在预先消除验证数据与重构数据的尺度差异之后,2 种方法在有云地区全年精度可以达到 2.5~3.5 K 之间;2 种方法精度在夏秋冬比较接近,春季 DINEOF 重构法优于同化数据重构法。

参考文献 (References):

[1] 陈玲,黄文婷,伍静,等.广西五圩矿田成矿温度变化及找矿方向分析[J].地球化学,2015,44(6):546-555.
Chen L, Huang W T, Wu J, et al. Ore-forming temperature variation and prospecting target of the Wuxu ore field in Guangxi[J]. Geochimica, 2015, 44(6): 546-555.

[2] Voogt J A, Oke T R. Thermal remote sensing of urban climates[J]. Remote Sensing of Environment, 2003, 86(3): 370-384.

[3] 李召良,段四波,唐伯惠,等.热红外地表温度遥感反演方法研究进展[J].遥感学报,2016,20(5):899-920.
Li Z L, Duan S B, Tang B H, et al. Review of methods for land sur-

face temperature derived from thermal infrared remotely sensed data[J]. Journal of Remote Sensing, 2016, 20(5): 899 – 920.

[4] 郭晓寅,程国栋. 遥感技术应用于地表面蒸散发的研究进展[J]. 地球科学进展, 2004, 19(1): 107 – 114.

Guo X Y, Cheng G D. Advances in the application of remote sensing to evapotranspiration research[J]. Advance in Earth Sciences, 2004, 19(1): 107 – 114.

[5] 张丽华,陈亚宁,赵锐锋,等. 温带荒漠中温度和土壤水分对土壤呼吸的影响[J]. 植物生态学报, 2009, 33(5): 936 – 949.

Zhang L H, Chen Y N, Zhao R F, et al. Impact of temperature and soil water content on soil respiration in temperate deserts, China[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2009, 33(5): 936 – 949.

[6] Arnfield A J. Two decades of urban climate research: A review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island[J]. International Journal of Climatology, 2003, 23(1): 1 – 26.

[7] Kalma J D, Mcvicar T R, McCabe M F. Estimating land surface evaporation: A review of methods using remotely sensed surface temperature data[J]. Surveys in Geophysics, 2008, 29(4 – 5): 421 – 469.

[8] Kogan F N. Operational space technology for global vegetation assessment[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2001, 82(9): 1949 – 1964.

[9] Valor E, Caselles V. Mapping land surface emissivity from NDVI: Application to European, African, and South American areas[J]. Remote Sensing of Environment, 1996, 57(3): 167 – 184.

[10] Li Z L, Tang B H, Wu H, et al. Satellite – derived land surface temperature: Current status and perspectives[J]. Remote Sensing of Environment, 2013, 131(131): 14 – 37.

[11] Wan Z, Zhang Y, Zhang Q, et al. Quality assessment and validation of the modis global land surface temperature[J]. International Journal of Remote Sensing, 2004, 25(1): 261 – 274.

[12] Duan S B, Li Z L. Spatial downscaling of MODIS land surface temperatures using geographically weighted regression: Case study in northern China[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2016, 54(11): 6458 – 6469.

[13] 郭俊如,宋 军,鲍献文,等. 东中国海遥感叶绿素数据重构方法研究[J]. 遥感技术与应用, 2016, 31(5): 939 – 949.

Guo J R, Song J, Bao X W, et al. The method study of remote sensing data reconstruction in multi – scale variations of chlorophyll in east China sea[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2016, 31(5): 939 – 949.

[14] 赵 冰,毛克彪,蔡玉林,等. 中国地表温度时空演变规律研究[J]. 国土资源遥感, 2020, 32(2): 233 – 240. doi: 10. 6046/gtzyyg. 2020. 02. 30.

Zhao B, Mao K B, Cai Y L, et al. Study of the temporal and spatial evolution law of land surface temperature in China[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2020, 32(2): 233 – 240. doi: 10. 6046/gtzyyg. 2020. 02. 30.

[15] 吴 迪,陈 健,石 满,等. 基于 Savitzky – Golay 滤波算法的 FY – 2F 地表温度产品时间序列重建[J]. 国土资源遥感, 2019, 31(2): 59 – 65. doi: 10. 6046/gtzyyg. 2019. 02. 09.

Wu D, Chen J, Shi M, et al. Reconstruction of land surface temperature time – series datasets of FY – 2F based on Savitzky – Golay filter[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2019, 31(2): 59 – 65. doi: 10. 6046/gtzyyg. 2019. 02. 09.

[16] Beckers J M, and Rixen M. EOF calculations and data filling from incomplete oceanographic datasets[J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2003, 20(12): 1839 – 1856.

[17] Gandin L S. Objective analysis of meteorological fields[J]. Israel Program for Scientific Translation, Jerusalem. 1963.

[18] Alvera – Azcárate A, Barth A, Rixen M, et al. Reconstruction of incomplete oceanographic data sets using empirical orthogonal functions: Application to the Adriatic Sea surface temperature[J]. Ocean Modelling, 2005, 9(4): 325 – 346.

[19] Alvera – Azcárate A, Barth A, Beckers J M, et al. Multivariate reconstruction of missing data in sea surface temperature, chlorophyll, and wind satellite fields[J]. Journal of Geophysical Research: Oceans, 2007, 112(c3).

[20] 窦文洁,周 斌,蒋锦刚,等. 基于等纬度 DINEOF 的遥感 SST 产品缺失数据重构算法及精度验证分析[J]. 浙江大学学报(理学版), 2015, 42(2): 205 – 212.

Dou W J, Zhou B, Jiang J G, et al. Data reconstruction algorithm of remote sensing SST products and accuracy analysis based on the same latitude DINEOF[J]. Journal of Zhejiang University (Science Edition), 2015, 42(2): 205 – 212.

[21] 郭海峡,蔡榕硕,谭红建. 基于 DINEOF 方法重构台湾海峡叶绿素 a 遥感缺失数据的初步研究[J]. 应用海洋学学报, 2016, 35(4): 550 – 558.

Guo H X, Cai R S, Tan H J, et al. A preliminary study on missing remote sensing data of Chlorophyll – a in Taiwan Strait and reconstruction by DINEOF method[J]. Journal of Applied Oceanography, 2016, 35(4): 550 – 558.

[22] 王跃启,刘东艳. 基于 DINEOF 方法的水色遥感数据的重构研究——以黄、渤海区域为例[J]. 遥感信息, 2014, 29(5): 51 – 57.

Wang Y Q, Liu D Y. Reconstruction of satellite ocean color data based on DINEOF method: A case study in Bohai and Yellow Sea[J]. Remote Sensing Information, 2014, 29(5): 51 – 57.

[23] Zhou W, Peng B, Shi J, et al. Estimating high resolution daily air temperature based on remote sensing products and climate reanalysis datasets over glacierized basins: A case study in the Langtang valley, Nepal[J]. Remote Sensing, 2017, 9(9): 959.

Research on reconstructing missing remotely sensed
land surface temperature data in cloudy sky

ZHOU Fangcheng¹, TANG Shihao¹, HAN Xiuzhen¹, SONG Xiaoning², CAO Guangzhen¹

(1. National Satellite Meteorological Center, Beijing 100081, China; 2. University of Chinese Academy Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Land surface temperature is a key parameter in the study of the balance of water and heart between land

surface and atmosphere. Obtainment of land surface temperature under all – weather conditions is very important. Although thermal infrared remote sensing technology can retrieve land surface temperature with high spatial resolution and full space coverage in cloud – free sky, the missing data in cloudy sky limit the all – weather applications of land surface temperature in some areas. This study develops two methods for reconstructing missing land surface temperature in cloudy skies. One of the methods is a space – time matched interpolation method helped with dataset of lands surface temperature assimilation. The other method is by data interpolating empirical orthogonal function (DINEOF), which is already popular in reconstruction of sea surface parameters but is rarely used in reconstruction of land surface parameters. The two methods are evaluated by both remotely sensed data and ground measured data in 2017, and the results demonstrate that both of them are adaptable in all seasons and all over China. The accuracies of two methods are very close and located between 2.5 and 3.5 K in cloudy conditions in four seasons in China. This study aims to give some useful references in the study of obtainment of land surface temperature under all – weather conditions.

Keywords: land surface temperature ; reconstruction ; dataset of lands surface temperature assimilation ; DINEOF
(责任编辑: 张 仙)