

文章编号: 1008-2786-(2019)1-001-08

DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000393

青藏高原观测地表温度与 ERA-Interim 再分析资料的差异及归因分析

陈涛^{1,2}, 智海¹, 边多^{2*}

(1. 南京信息工程大学 气象灾害教育部重点实验室, 南京 210044; 2. 西藏高原大气环境科学研究所, 拉萨 850000)

摘 要: 再分析资料评估对观测资料稀少的青藏高原具有重要意义, 是开展青藏高原相关研究的基础。本文分析了 2012—2016 年观测与 ERA-Interim 再分析地表温度资料在青藏高原的时空分布差异, 同时讨论了产生差异的可能原因。结果表明, 两种资料变化趋势基本一致, 极值出现月份相同, 相关性的空间分布表现为北高南低。ERA-Interim 再分析资料对地表温度存在低估, 年平均比观测资料低 8.86℃, 其中春季绝对误差最大。年平均绝对误差呈北低南高的空间分布形态, 且绝对误差极值中心的强度及范围具有明显的季节变化。ERA-Interim 与观测地表温度之间的偏差随气象站海拔高度的变化是非单调的, 分析认为气象站与所在格点的海拔差是导致偏差出现南北差异的原因之一, 而春季青藏高原南部的偏差异常可能与积雪有关。ERA-Interim 再分析地表温度资料在青藏高原北部具有较好的适用性, 南部受地形影响适用性相对较差。

关键词: 青藏高原; 地表温度; ERA-Interim; 误差分析; 地形影响

中图分类号: P413.2

文献标志码: A

陆面在包含五大圈层的气候系统研究中非常关键, 不仅与生物圈息息相关, 还能通过陆-气相互作用影响大气圈, 也能通过影响地表径流作用于水圈^[1]。地表温度是陆面研究的重要参数, 对地表感热和潜热通量有重要影响^[2]。地表温度的准确程度与陆面参数化模型的精度直接相关, 除太阳辐照度外, 陆-气界面所有的通量都可以用温度的函数进行表示^[3]。青藏高原被认为是我国气候变化的启动区^[4], 自叶笃正等指出青藏高原的热源作用后^[5], 其热力和动力作用对我国乃至东亚大气环流变化的影响被逐步揭示^[6]。地表温度在高原的气

候研究中非常重要, 但青藏高原气象观测站稀少, 很难准确反映高原地表温度的分布状况^[7], 制约了气象研究的进展, 寻找和评估替代资料, 对进一步认识青藏高原的气候变化尤为重要。

20 世纪 60 年代以后, 气象卫星数据的应用弥补了站点观测资料的不足, 让资料的时空连续性有了长足进步。90 年代后, 卫星资料进入变分资料同化系统, 进一步提高了资料的精度, 一些国家的数值预报系统使用的卫星观测数据量超过资料总量的 90%^[8]。利用资料同化技术再构出长期历史气候记录, 就得到目前被广泛应用的再分析资料^[9]。目

收稿日期 (Received date): 2018-07-14; **改回日期** (Accepted date): 2019-01-12

基金项目 (Foundation item): 西藏自治区重点科技计划项目 (XZ201703-GA-01); 国家自然科学基金重大研究计划 (91437218); 西藏自治区科技厅自然科学基金项目 (XZ2017ZRG-114); 中国气象局成都高原气象研究所开放基金项目 (LPM2014005)。[Tibet Key Technology Plan (XZ201703-GA-01); Major Research Project of the National Natural Science Foundation of China (91437218); Natural Foundation of Tibet Science and Technology Department (XZ2017ZRG-114); Open Fund of Chengdu Institute of Plateau Meteorology, CMA (LPM2014005)]

作者简介 (Biography): 陈涛 (1983-), 男, 湖北潜江人, 硕士研究生, 主要从事高原遥感与生态环境研究。[CHEN Tao (1983-), male, born in Qianjiang, Hubei province, M. Sc. candidate, research on plateau environment and remote sensing] E-mail: tibet_ct@163.com.

* **通讯作者** (Corresponding author): 边多 (1966-), 研究员级高级工程师, 主要从事卫星遥感与资源环境评价。[BIAN Duo (1966-), male, professor, research on satellite remote sensing and resource environmental assessment] E-mail: dor_ben2000@yahoo.com.cn.

前,再分析资料已发展至第三代,应用较为广泛的包括欧洲中期天气预报中心(ECMWF)的 ERA-Interim、美国国家环境预报中心(NCEP)的 CFSR、美国航空航天局(NASA)的 MERRA 以及日本气象厅(JMA)的 JRA-55。地表温度是再分析资料中的 B 类产品(较为可信),质量主要受观测资料和模式的影响^[10-12]。再分析资料在我国的适用性问题已有诸多研究^[13-16],但针对青藏高原地表温度要素的研究相对较少。已有研究一致认为再分析温度资料(包括地表温度和地面气温)在我国东部的适用性好于西部,青藏高原适用性较差^[17-22];关于再分析地表温度资料在青藏高原的适用性及误差,具有不同结论^[21-23];几种常用再分析资料中,ERA-Interim 再分析资料地表温度在青藏高原适用性最好^[23]。受观测站数量限制,之前的研究大多将青藏高原作为一个整体进行评估。那么,再分析地表温度资料在青藏高原的适用性是否存在区域差异?导致这些差异的原因又是什么?近年来青藏高原气象台站建设发展较快,本文利用加密后的气象观测资料以及在高原地区适用性较好的 ERA-Interim 再分析资料对以上问题进行了讨论。

1 数据与方法

2012-01-01 至 2016-12-31 青藏高原气象站逐小时地表温度资料来自中国气象局国家气象信息中心,包括基本、基准地面气象观测站和自动气象站资料。地表温度的观测仪器为铂电阻传感器,分辨率为 0.1°C ,最大误差范围为 $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$,采样频率为每分钟 30 次,计算每分钟的算术平均值。逐小时数据包括“1 小时内地面最高温度”“1 小时内地面最低温度”“地面温度”等,本文使用的是“地面温度”,为整点 00 分的值。为保证观测资料的可信度,对缺测情况(自动站比较常见)进行了质量控制,日平均结果要求每天的小时数据不少于 15 个,逐月平均结果要求每月日平均数据不少于 18 个。根据逐月平均结果剔除数据缺失较多的站,最终选取了青藏高原范围的 195 个站。与地面观测资料时间段对应的 ERA-Interim 再分析日平均地表温度资料(http://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim_full_daily/)及月平均地表温度资料(http://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim_full_moda/)水平分

辨率为 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ (经度 \times 纬度)。高程数据(DEM)的分辨率为 $90\text{ m} \times 90\text{ m}$,重采样至 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ 提取各气象站对应格点的平均海拔及坡度。研究范围位于 $70^{\circ} \sim 105^{\circ}\text{E}$, $25^{\circ} \sim 42^{\circ}\text{N}$,气象站点分布见图 1,本文使用的投影方式为通用横轴墨卡托投影(Universal Transverse Mercator Projection)。

提取各站点对应格点的 ERA-Interim 再分析地表温度(简称 ERA),单位统一为摄氏温度,计算各站点两种资料的相关系数、偏差(ERA 与地面观测地表温度之差)以及标准差。为了直观地显示空间差异,分析结果的空间分布采用反距离加权插值(Inverse Distance Weighted, IDW)。

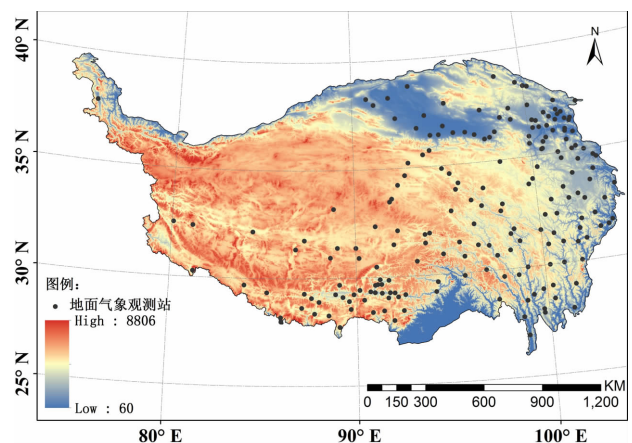


图 1 气象观测站点分布

Fig. 1 Distribution of meteorological observation sites, the Qinghai-Tibet Plateau, China

2 分析结果

2.1 相关系数分布

利用气象站及 ERA 日平均资料计算了各站点的相关系数,将计算结果进行反距离权重插值得到图 2。所有站点两种资料的相关系数均在 0.8 以上,且均通过 0.01 显著性水平(双侧)检验。图中黑色三角形表示相关系数 0.9 以下的站点,蓝色方块表示相关系数 0.9 及以上的站点,结果表明两种地表温度资料随时间的变化趋势高度一致。相关系数最小值为 0.84,站点位于西藏山南市加查县,相关系数最大值为 0.99,站点位于青海柴达木盆地。相关系数小于 0.9 的站点大多分布于青藏高原边缘地带,中南部及东北部比较集中。从相关系数的空

间分布看,整体呈现南低北高的形态,低值区域分布在青藏高原南部,低值中心位于西藏东南部的林芝市、山南市,青藏高原东南部(金川至九龙一线)存在一个低值副中心,高值中心位于青藏高原北部(青海西北部)的柴达木盆地。

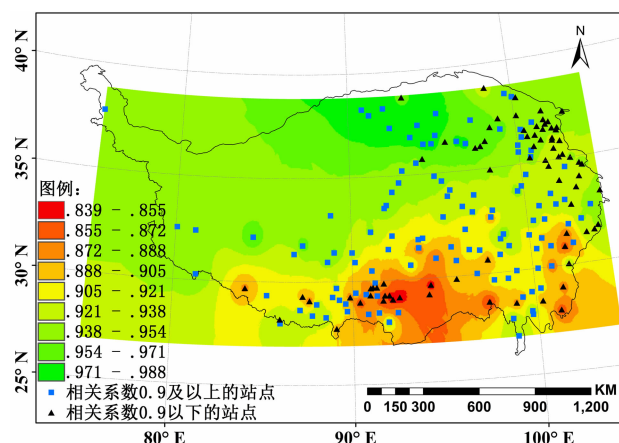


图2 ERA与观测日平均地表温度相关分布
(黑色三角形表示相关系数0.9以下的站点,
蓝色方块表示相关系数0.9及以上的站点)

Fig. 2 Spatial distribution of correlation coefficient between ERA and observed daily mean surface temperatures (black triangle denotes the stations with correlation coefficient less than 0.9, and blue square represents the stations with correlation coefficient 0.9 and above)

2.2 偏差的时空分布

虽然 ERA 与观测地表温度资料高度相关,但是存在较大偏差,研究时间段内所有站点的年平均偏差为 -8.86°C 。ERA 与观测地表温度逐月变化及月平均偏差如图3所示,两种资料的季节变化曲线基本一致,呈单峰型,ERA 月平均地表温度整体低于观测值。最低温度均出现在1月(ERA 为 -13.46°C ,观测资料为 -5.09°C),最高温度均出现在7月(ERA 为 12.05°C ,观测资料为 19.81°C)。ERA 与观测月平均地表温度偏差存在季节变化,4月差异最大,绝对误差为 11.46°C ,12月差异最小,绝对误差为 7.33°C ,7、8和9月差异相对较小,在变化曲线上表现为一个波谷。

用各站年平均偏差结果插值得到年平均偏差分布图,为了反映各站偏差的离散程度,用月平均偏差序列计算了各站偏差的标准差(图4),所有站点的年平均偏差均为负值。年平均偏差分布存在明显的南北差异,青藏高原南部绝对误差较大,北部的绝对

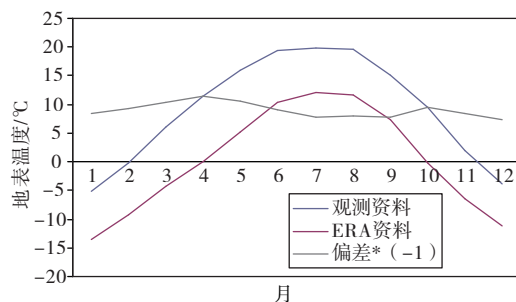


图3 ERA与观测地表温度逐月变化及偏差 $\times(-1)$

Fig. 3 Monthly variation and deviation of ERA and observed surface temperature $\times(-1)$

误差较小。年平均偏差高值区域(绝对误差低值区域,图中绿色区域)主要分布在青藏高原中北部,中心位于柴达木盆地。此外,高原东北部西宁至红原一线、高原东南部云南迪庆地区存在两个偏差高值中心,东北部的偏差高值中心强度较弱,东南部的偏差高值中心范围较小。年平均偏差低值区域(绝对误差高值区域,图中红色橙色区域)分布在青藏高原南部及西部,西北部的低值中心非常显著,但该地区(80°E 以西)只有一个气象站(塔什库尔干站),因此代表性不足,南部的低值中心在东西向呈一条直线分布, 97°E 附近向南部延伸。标准差反映了各站月平均偏差序列变化的剧烈程度,可以评价 ERA 与观测数据之间的偏差是否稳定。从图中可以发现,总体而言,绝对误差小的地区标准差较小,反之

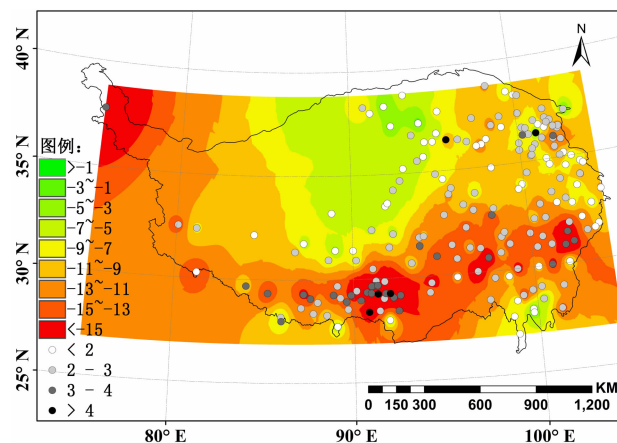


图4 ERA与观测地表温度年平均偏差分布
(彩色阴影区)以及各站点月平均
偏差的标准差(圆形标记)(单位: $^{\circ}\text{C}$)

Fig. 4 The annual mean deviation distribution (colored shaded area) of ERA from the observed surface temperatures and the standard deviation (circular mark) of monthly mean deviation of each station (unit: $^{\circ}\text{C}$)

亦然,在柴达木盆地和藏东南地区表现明显,说明绝对误差越大,偏差的变化也越剧烈,该结论通过 0.01 显著性水平(双侧)检验。部分站点与上述情况不一致,如青藏高原西部阿里地区的 4 个站,绝对误差较大(均大于 9°C),但是 4 个站的标准差均在 3°C 以下,且有两个站的标准差小于 2°C ,说明该地区两种地表温度资料的差异虽然很大,但是偏差比较稳定,随时间变化不大;相反的情况也存在,如高原东北部绝对误差低值中心,存在标准差在 4°C 以上的站点,说明该站两种地表温度资料差异总体较小,但偏差的波动较大。

为了进一步讨论 ERA 与观测地表温度资料偏差的季节差异及空间分布,计算各站点春、夏、秋和冬四季的偏差并进行插值,得到图 5。四季偏差的分布均呈现出南北差异,高原南部绝对误差较大,北部的绝对误差较小。由于偏差为正值的情况极少(春季 1 个站、夏季 2 个站的偏差为正值),图中没有对正值进行单独描述。青海柴达木盆地及云南迪

庆的偏差高值中心(绝对误差低值区域,图中绿色区域)在四个季节均非常明显,柴达木盆地的偏差高值中心在秋季的范围明显小于其他季节,迪庆的偏差高值中心在春季的范围相对较小,但变化不明显。高原东北部西宁至红原一线的偏差高值中心在春季基本消失,只存在于夏、秋和冬三季,其中夏季最为明显,秋、冬两季相对较弱。此外,南部边缘有一些比较稳定的偏差高值点,如西藏帕里站、错那站。青藏高原南部的偏差低值中心(绝对误差高值区域,图中红色橙色区域)存在明显的季节变化,春季最强,范围最广,夏、秋和冬季明显弱于春季。

2.3 偏差异常归因

由上述分析可知,ERA 与观测地表温度存在较大偏差,且偏差存在显著季节变化和空间变化,这导致 ERA 资料在青藏高原的使用受到限制。偏差的存在与两种资料的不匹配有关:首先是时间的不一致,观测资料为逐小时数据,每天进行 24 次观测,ERA 资料每天 4 个数据(时次分别为 00,06,12,

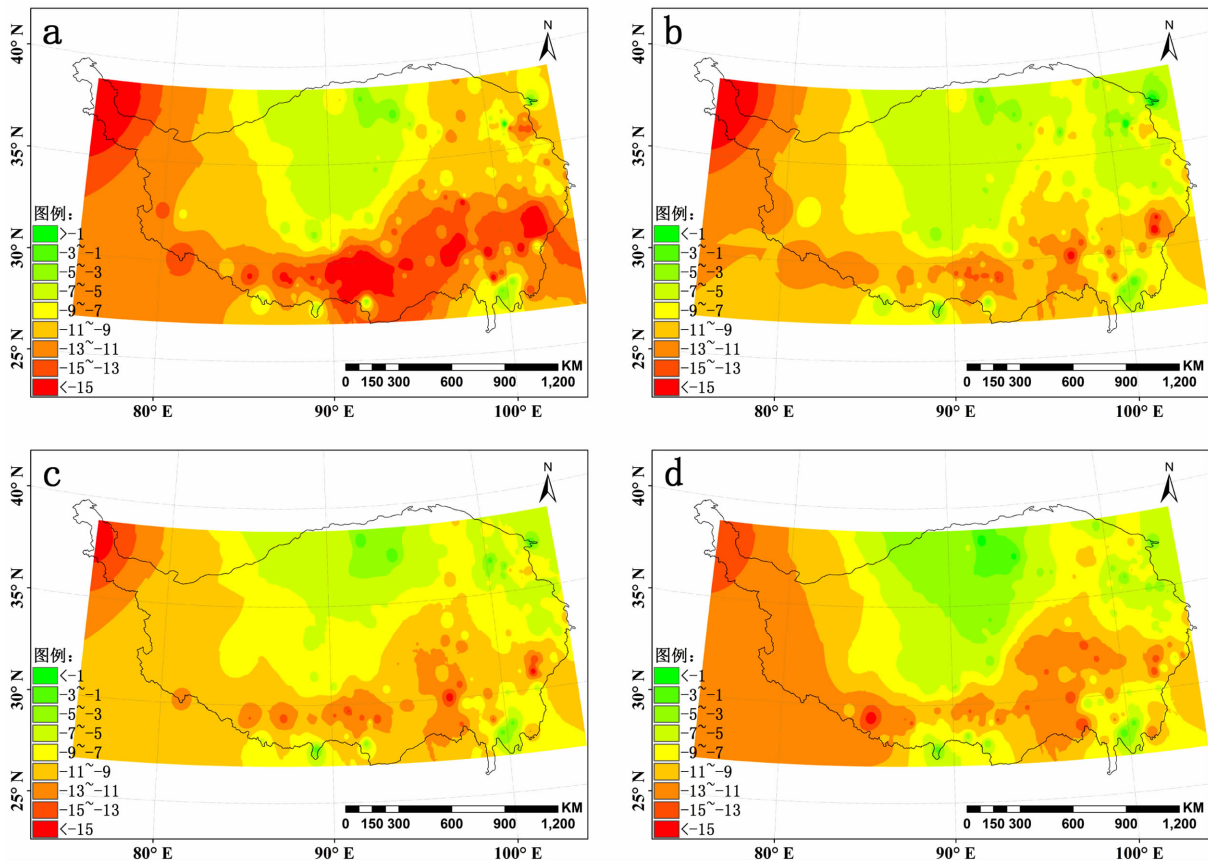


图 5 ERA 与观测地表温度季节偏差的空间分布,a、b、c、d 分别为春季、夏季、秋季、冬季(单位: $^{\circ}\text{C}$)

Fig. 5 Spatial distribution of seasonal deviations between ERA and the observed surface temperatures;

a, b, c, d denotes spring, summer, autumn and winter respectively (unit: $^{\circ}\text{C}$)

18),如 00 时次的分析数据基于前一天 15 时至当天 03 时的观测;其次是空间的不一致,观测资料表征一个点,ERA 资料为格点数据,表征一个区域的平均值;最后是数据获取方式的不一致,观测资料获取的是 0 cm 土壤温度,观测仪器的探头直接接触土壤,ERA 资料为再分析数据,基于资料同化技术,与初始资料的准确性以及资料同化模型有关。

从图 1 可以知道青藏高原不同区域海拔高度差异极大,研究的气象站中,最小海拔高度为 1189.7 m,最大海拔高度为 4933 m。此外,山脊山谷之间的局地海拔高度变化也很明显,一些气象站距离很近,可能对应着相同的 ERA 格点,但由于海拔高度的不同,气象站观测结果会不同,与 ERA 资料之间的差异也不同。根据不同的海拔高度,将所有气象站分成四组(为方便表述,3000 m 以下、3000~3500 m、3500~4000 m、4000 m 以上分别称为 1、2、3、4 组),对比各组观测与 ERA 地表温度资料的日相关系数、年平均偏差、各季节平均偏差、月平均偏差的标准差,得到表 1。不难发现,两种地表温度资料的日相关系数在 3 组最小,其他组的日相关系数比较接近;年平均绝对误差在 3 组最大,4 组最小,1、2 组差异较小;月偏差的标准差在 3 组最大,2 组最小,1、2、4 组变化不大。组间进行比较,3 组春、夏、秋及冬季的平均绝对误差均为各组最大;组内进行比较,各组春季平均绝对误差均为四个季

节中最大,1 组冬季平均绝对误差为四个季节中最小,其他组则是夏季平均绝对误差为四季中最小。总体而言,两种资料在 3 组差异最大,两种资料的差异随海拔高度的变化是非单调的。

ERA 与观测地表温度年平均偏差的空间分布呈现明显的南北差异,根据上述导致差异的三种情况,结合之前海拔高度与差异的分析,认为南北差异的产生可能与空间的不一致有关。空间不一致受地形影响,在地表情况完全一致的区域,一个点能够代表整个区域,但在地表情况复杂的区域,某个点的值与区域的平均值往往差异很大。坡度能够表征地形起伏的剧烈程度,通过两种资料的年平均偏差与站点对应坡度的线性关系(图 6a)来分析地形因素对偏差的影响,两者的相关系数为 -0.39 ,通过 0.01 显著性水平(双侧)检验。在地形起伏较大的地区(青藏高原南部),高海拔地区地表温度低,低海拔地区地表温度高,而大多数气象站(86%)海拔低于所在区域平均海拔,因此观测地表温度高于所在区域的平均地表温度,导致 ERA 与观测地表温度偏差为负,在偏差总体为负的情况下绝对误差增加。为验证以上观点,用海拔差(气象站对应格点的平均海拔减气象站海拔)代替坡度,绘制与两种资料的年平均偏差的散点图(图 6b),海拔差与偏差的相关系数 -0.42 通过 0.01 显著性水平(双侧)检验。海拔差的绝对大小能反映地形变化的剧烈程度,正

表 1 不同海拔高度上观测与 ERA 地表温度资料差异比较

Tab.1 Comparison of surface temperature data between observations and ERA at different altitudes

海拔高度 /m	站点数	日相关系数	年平均偏差 /℃	春季平均偏差 /℃	夏季平均偏差 /℃	秋季平均偏差 /℃	冬季平均偏差 /℃	月偏差的 标准差
3000 以下	65	0.934	-8.64	-10.85	-8.40	-8.10	-7.87	2.27
3000~3500	39	0.932	-8.57	-10.55	-7.57	-8.03	-8.30	2.24
3500~4000	43	0.902	-10.32	-13.07	-9.43	-9.94	-9.52	2.81
4000 以上	48	0.929	-8.07	-9.07	-7.54	-8.47	-7.79	2.30

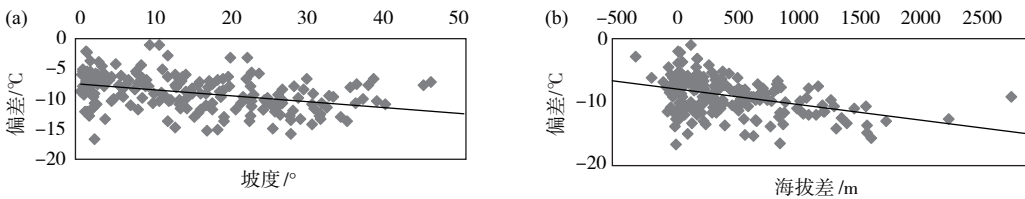


图 6 坡度(a)和海拔差(b)与年平均偏差的线性关系

Fig.6 Linear correlation distribution of slope (a) and altitude difference (b) with annual mean deviation

负则能反映气象站与所在格点平均海拔面的位置关系,因此海拔差与偏差的相关性更好。

春季青藏高原南部的偏差异常(图 5a)可能与山顶积雪有关。青藏高原春季积雪面积较大,仅次于冬季,主要位于高原东南部^[24-26]。大多数气象站位于低海拔区域,春季地表温度开始升高,而气象站对应的格点受到山顶积雪的影响,格点的平均地表温度升温比气象站小,使 ERA 与观测地表温度产生负偏差。在 ERA 对地表温度存在低估的情况下,绝对误差增加,从而导致春季青藏高原南部的偏差异常,绝对误差明显高于其他季节。虽然冬季青藏高原南部积雪面积最大,但冬季站点的地表温度较低,因此影响不大。

此外,青藏高原南部两种资料的相关系数较低可能与卫星资料的局限性有关。由于再分析资料在数据同化过程中使用了大量卫星资料,而卫星资料在地形起伏较大的山区具有明显的局限性:在仰角较小时,往往不能反映陡峭地形的地表真实情况,即卫星传感器扫描时,部分山谷位于山脊的扫描阴影区。卫星资料质量的降低会对再分析资料产生影响,从而导致再分析资料与观测资料相关系数的降低。

3 结论与讨论

利用 2012—2016 年青藏高原 195 个气象站资料分析了观测地表温度与 ERA 地表温度的差异,同时探讨了导致差异的可能原因,具体结论如下:

(1)各站两种资料的日平均地表温度变化趋势高度一致,相关系数均在 0.8 以上,呈南低北高的空间分布形态。ERA 资料对地表温度存在低估,年平均偏差为 -8.86°C 。两种资料逐月变化趋势一致,最大值均出现在 7 月,最小值均出现在 1 月;4 月绝对误差最大,12 月绝对误差最小。

(2)年平均偏差低值中心位于青藏高原南部,呈东西向分布;范围最大的高值中心位于青藏高原北部的柴达木盆地,东北部和东南部分别存在两个相对较小的高值中心。偏差极值中心的强度和范围随季节变化:春季高原南部的偏差低值中心强度最强,范围最广;秋季高原北部的偏差高值中心强度最弱,范围最小。总体而言,年平均绝对误差小(大)的地区偏差较为稳定(离散),这种现象在青藏高原南北两个偏差极值中心表现尤为明显。

(3)两种资料的差异随气象站海拔高度的变化是非单调的,其中,站点海拔高度位于 3500 ~ 4000 m 时,观测与 ERA 地表温度差异最大。偏差的南北差异与地形有关,坡度与偏差的相关系数为 -0.39 ,海拔差与偏差的相关系数为 -0.42 ,通过 0.01 显著性水平检验。海拔差不仅反映地形变化的剧烈程度,还能体现气象站与所在格点平均海拔面的位置关系,因此相关性更好。

文中从相关性的角度论述了坡度及海拔差与两种资料的偏差存在联系,但只适合解释 ERA 地表温度资料在青藏高原南部的误差大于北部;将青藏高原南部的春季偏差异常归因于山顶积雪,虽然给出了可能的物理过程,但缺乏论证。是否存在其他因素造成了两种资料的差异,还有待进一步研究。此外,虽然以气象观测地表温度资料为基准来评价 ERA 资料,但气象观测资料本身也存在误差,如地表温度的自动观测受积雪覆盖影响。此外,在地形复杂的青藏高原南部,观测地表温度的空间代表性受到限制,而高分辨率卫星地表温度产品能反映不同下垫面的变化,在同化模式陆面参数化方案完善的前提下,再分析地表温度资料在复杂地形的陆-气能量交换研究中可能更有价值。

致谢:感谢中国气象局国家气象信息中心以及欧洲中期天气预报中心提供的相关数据。

参考文献 (References)

- [1] VOOGT J A, OKE T R. Thermal remote sensing of urban climates [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2003, **86**(3): 370–384.
- [2] 欧阳斌,车涛,戴礼云,等. 基于 MODIS LST 产品估算青藏高原地区的日平均地表温度[J]. *冰川冻土*, 2012, **34**(2): 296–303. [OUYANG Bin, CHE Tao, DAI Liyun, et al. Estimating mean daily surface temperature over the Tibetan Plateau based on MODIS LST products [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2001, **34**(2): 296–303]
- [3] 高懋芳,覃志豪,徐斌. 用 MODIS 数据反演地表温度的基本参数估计方法[J]. *干旱区研究*, 2007, **24**(1): 113–119. [GAO Maofang, QIN Zhihao, XU Bin. Estimation of the basic parameters for deriving surface temperature from MODIS data [J]. *Arid Zone Research*, 2007, **24**(1): 113–119]
- [4] 冯松,汤懋苍,王冬梅. 青藏高原是我国气候变化启动区的新证据[J]. *科学通报*, 1998, **43**(6): 633–636. [FENG Song, TANG Maocang, WANG Dongmei. New evidence for the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau as a pilot region of climatic fluctuation in China [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1998, **43**(6): 633–636]
- [5] 叶笃正,罗四维,朱抱真. 西藏高原及其附近的流场结构和对流层大气的热量平衡[J]. *气象学报*, 1957, **28**(2): 108–121.

- [YEH Tucheng, LO Szuwei, CHU Paochen. The wind structure and heat balance in the lower troposphere over Tibetan plateau and its surrounding [J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 1957, **28**(2): 108–121]
- [6] 吴国雄, 张永生. 青藏高原的热力和机械强迫作用以及亚洲季风的爆发 * I. 爆发地点 [J]. *大气科学*, 1998, **22**(6): 825–838. [WU Guoxiong, ZHANG Yongsheng. Thermal and mechanical forcing of the Tibetan plateau and the Asian monsoon onset Part I situating of the onset [J]. *Scientia Atmospherica Sinica*, 1998, **22**(6): 825–838]
- [7] 黄培培, 南卓铜. 基于 Wavelet-ANFIS 和 MODIS 地表温度产品的青藏高原 0cm 土壤温度估算方法 [J]. *冰川冻土*, 2013, **35**(1): 74–83. [HUANG Peipei, NAN Zhuotong. Estimation of 0–cm soil temperature over the Tibetan Plateau based on the wavelet analysis and adaptive net-work-fuzzy inference system [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2013, **35**(1): 74–83]
- [8] 薛纪善. 气象卫星资料同化的科学问题与前景 [J]. *气象学报*, 2009, **67**(6): 903–911. [XUE Jishan. Scientific issues and perspective of assimilation of meteorological satellite data [J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 2009, **67**(6): 903–911]
- [9] BENGTTSSON L, SHUKLA J. Integration of space and in situ observations to study global climate change [J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1998, **69**(10): 1130–1143.
- [10] KISTLER R, KALNAY E, COLLINS W, et al. The NCEP-NCAR 50-Year reanalysis: monthly means CD-ROM and documentation [J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2001, **82**(2): 247–268.
- [11] 赵天保, 符淙斌. 中国区域 ERA-40、NCEP-2 再分析资料与观测资料的初步比较与分析 [J]. *气候与环境研究*, 2006, **11**(1): 14–32. [ZHAO Tianbao, FU Congbin. Preliminary comparison and analysis between ERA-40, NCEP-2 reanalysis and observations over China [J]. *Climatic and Environmental Research*, 2006, **11**(1): 14–32]
- [12] 秦艳慧, 吴通华, 李韧, 等. ERA-Interim 地表温度资料在青藏高原多年冻土区的适用性 [J]. *高原气象*, 2015, **34**(3): 666–675. [QIN Yanhui, WU Tonghua, LI Ren, et al. Application of ERA product of land surface temperature in permafrost regions of Qinghai-Xizang Plateau [J]. *Plateau Meteorology*, 2015, **34**(3): 666–675]
- [13] GAO Lu, HAO Lu, CHEN Xingwei. Evaluation of ERA-Interim monthly temperature data over the Tibetan Plateau [J]. *Journal of Mountain Science*, 2014, **11**(05): 1154–1168.
- [14] YOU Qinglong, FRAEDRICH K, REN Guoyu, et al. Variability of temperature in the Tibetan Plateau based on homogenized surface stations and reanalysis data [J]. *International Journal of Climatology*, 2013, **33**: 1337–1347.
- [15] 范科科, 张强, 史培军, 等. 基于卫星遥感和再分析数据的青藏高原土壤湿度数据评估 [J]. *地理学报*, 2018, **73**(09): 1778–1791. [FAN Keke, ZHANG Qiang, SHI Peijun, et al. Evaluation of remote sensing and reanalysis soil moisture products on the Tibetan Plateau [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2018, **73**(09): 1778–1791]
- [16] 崔园园, 敬文琪, 覃军. 基于 TIPEX III 资料对 CLDAS-V2.0 和 GLDAS-NOAH 陆面模式产品在青藏高原地区的适用性评估 [J]. *高原气象*, 2018, **37**(5): 1143–1160. [CUI Yuanyuan, JING Wenqi, QIN Jun. Applicability evaluation of merged soil moisture in GLDAS-NOAH and CLDAS-V2.0 products over Qinghai-Tibetan Plateau of 2015 based on TIPEX III observations [J]. *Plateau Meteorology*, 2018, **37**(5): 1143–1160]
- [17] 徐影, 丁一汇, 赵宗慈. 美国 NCEP/NCAR 近 50 年全球再分析资料在我国气候变化研究中可信度的初步分析 [J]. *应用气象学报*, 2001, **12**(3): 337–347. [XU Ying, DING Yihui, ZHAO Zongci. Confidence analysis of NECP/NCAR 50-year global reanalyzed data in climate change research in China [J]. *Quarterly Journal of Applied Meteorology*, 2001, **12**(3): 337–347]
- [18] 李川, 张廷军, 陈静. 近 40 年青藏高原地区的气候变化—NCEP 和 ECMWF 地面气温及降水再分析和实测资料对比分析 [J]. *高原气象*, 2004, **V23**(Z1): 97–103. [LI Chuan, ZHANG Tinjun, CHEN Jing. Climatic change of Qinghai Xizang Plateau region in recent 40 year reanalysis and surface observation data-contrast of observation data and NCEP, ECMWF surface air temperature and precipitation [J]. *Plateau Meteorology*, 2004, **V23**(Z1): 97–103]
- [19] 赵天保, 艾丽坤, 冯锦明. NCEP 再分析资料和中国站点观测资料的分析与比较 [J]. *气候与环境研究*, 2004, **9**(2): 278–294. [ZHAO Tianbao, AI Likun, FENG Jinming. An intercomparison between NCEP reanalysis and observed data over China [J]. *Climatic and Environmental Research*, 2004, **9**(2): 278–294]
- [20] 施晓晖, 徐祥德, 谢立安. NCEP/NCAR 再分析风速、表面气温距平在中国区域气候变化研究中的可信度分析 [J]. *气象学报*, 2006, **64**(6): 709–722. [SHI Xiaohui, XU Xiangde, XIE Li'an. Reliability analysis of anomalies of NECP/NCAR reanalysis wind speed and surface temperature in climate change research in China [J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 2006, **64**(6): 709–722]
- [21] 周青, 赵凤生, 高文华. NCEP/NCAR 逐时分析与中国实测地表温度和地面气温对比分析 [J]. *气象*, 2008, **34**(2): 83–91. [ZHOU Qing, ZHAO Fengsheng, GAO Wenhua. Comparison and analysis between NCEP/NCAR every-6-hours analysis land surface and air temperature and 753 Chinese stations' observation in 2005 [J]. *Meteorological Monthly*, 2008, **34**(2): 83–91]
- [22] 朱智, 师春香, 张涛, 等. 多种再分析地表温度资料在中国区域的适用性分析 [J]. *冰川冻土*, 2015, **37**(3): 614–624. [ZHU Zhi, SHI Chunxiang, ZHANG Tao, et al. Applicability analysis of various reanalyzed land surface temperature datasets in China [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2015, **37**(3): 614–624]
- [23] 何冬燕, 田红, 邓伟涛. 三种再分析地表温度资料在青藏高原区域的适用性分析 [J]. *大气科学学报*, 2013, **36**(4): 458–465. [HE Dongyan, TIAN Hong, DENG Weitao. Applicability analysis of three reanalysis surface temperature data over the Tibetan Plateau [J]. *Transactions of Atmospheric Sciences*, 2013, **36**(4): 458–465]
- [24] 田柳茜, 李卫忠, 张尧, 等. 青藏高原 1979—2007 年间的积雪变

- 化[J]. 生态学报, 2014, **34**(20): 5974 – 5983. [TIAN Liuxi, LI Weizhong, ZHANG Yao, et al. The analysis of snow information from 1979 to 2007 in Qinghai-Tibetan Plateau [J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, **34**(20): 5974 – 5983]
- [25] 除多, 杨勇, 罗布坚参, 等. 1981—2010 年青藏高原积雪日数时空变化特征分析[J]. 冰川冻土, 2015, **37**(6): 1461 – 1472. [CHU Duo, YANG Yong, LUOBU Jiancan, et al. The variations of snow cover days over the Tibetan Plateau during 1981 – 2010 [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2015, **37**(6): 1461 – 1472]
- [26] 唐志光, 王建, 王欣, 等. 基于 MODIS 数据的青藏高原积雪日数提取与时空变化分析[J]. 山地学报, 2017, **35**(3): 412 – 419. [TANG Zhiguang, WANG Jian, WANG Xin, et al. Extraction and spatiotemporal analysis of snow covered days over tibetan plateau based on MODIS Data [J]. Mountain Research, 2017, **35**(3): 412 – 419]

Investigation on the Discrepancy between Observed Surface Temperature and ERA-Interim over the Qinghai-Tibet Plateau and Its Attribution

CHEN Tao^{1,2}, ZHI Hai¹, BIAN Duo^{2*}

(1. College of atmospheric science, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China;

2. Tibet Institute of Plateau Atmospheric and Environmental Science, Lhasa 850000, China)

Abstract: The evaluation on the applicability of reanalysis data is of great significance to the Qinghai-Tibet Plateau due to the unavailability of in-situ surface temperature observations over the Plateau, and therefore it serves as a basis for researches related to the Qinghai-Tibet Plateau. This paper analyzed the differences in the tempo-spatial distribution of surface temperatures between the field observation data from 2012 to 2016 and the ERA-Interim reanalysis data in the Qinghai-Tibet Plateau, and then it interpreted the inconsistency. Results found that the variation trends of the two types of data were basically the same, with the extreme values of surface temperatures appearing at the same time, and their correlation coefficient was high in the north and low in the south. ERA-Interim reanalysis data underestimated surface temperatures with an annual average of 8.86°C lower than observed data. The absolute error between ERA-Interim and the observed surface temperature data demonstrated a spatial distribution pattern, with low values in the north and high ones in the south, and the intensity and range of extreme value center of absolute error had obvious seasonal variation, with an absolute error in spring being the largest. It concludes that the difference in altitude between meteorological stations and grid point was one of the reasons for the discrepancy in absolute error occurring between the north and the south. The larger error in ERA-Interim data in the southern Qinghai-Tibet Plateau in spring may be relevant to snow cover. ERA-Interim reanalysis surface temperature data have good applicability in the northern Qinghai-Tibet Plateau, while the applicability in the southern is relatively poor largely due to topographic influences.

Key words: Qinghai-Tibet Plateau; surface temperature; ERA-Interim; error analysis; topographic effect