

NCEP-FNL 与 T213L31 同化资料对比 分析中的地形差异影响

李长青^{1,3} 闫之辉² 王 瀛³ 郜凌云³

(1 南京大学大气科学系,南京 210093;2 国家气象中心;3 辽宁省气象台)

提 要: 分析了 2005 年 5 月 11 日至 6 月 10 日的 NCEP-FNL 与 T213L31 分析资料在位势高度、温度和风场上的整体差异,揭示了低层差异最小,差异极值主要分布在 3 个关键区的特征。进一步通过地形高度差异与位势高度差异的相关性分析,认为青藏高原附近的地形高度差异的极值是引起两种资料位势高度差异的主要原因,并计算分析了这种差异对高原周围中低层大气环流的动力和热力影响。结果显示,在 NCEP-FNL 中的西南涡强度和热源作用较强,中层风速切变较弱。

关键词: NCEP-FNL T213L31 差异 地形 青藏高原

Comparison between NCEP-FNL Reanalysis Data and T213L31 Assimilation Data

Li Changqing^{1,3} Yan Zhihui² Wang Ying³ Gao Lingyun³

(1 Department of Atmospheric Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093;

2 National Meteorological Center; 3 Liaoning Meteorological Observatory)

Abstract: The general differences of the geopotential height, temperature and wind fields between the NCEP-FNL and the T213L31 analysis datasets from May 11 to June 10, 2005 are analyzed. The results indicate that the biases at lower layer of atmosphere are minimum and the maxima often appear in 3 key regions. By using a correlation analysis of biases of terrain height and geopotential height, the bias of terrain height over the Qinghai-Tibetan Plateau is regarded as the major force to form the bias of geopotential height between two datasets. Besides, the impacts of the biases on atmospheric circulation at middle and lower layers are compared and illustrated. The results indicate that the Southwest Vortex and the heat source of the plateau in former dataset are stronger than that of the latter and the shear of wind speed is weak.

Key Words: NCEP-FNL T213L31 bias terrain Qinghai-Tibetan Plateau

引言

在控制大气环流的诸多因子中,地形是重要的一个。一方面,由于各地海拔高度和地面受热条件的不同直接影响其地表和高空的温、压、湿的分布;另一方面,地形作为大气运动的障碍物,对其产生动力作用。主要表现为迫使气流产生绕流和翻越运动,改变气流运动的速度和方向^[1]。因此,在数值预报模式中对地形进行正确描述直接影响到模式的分析与预报的准确性。目前,各数值模式使用的地形资料都来自于格点化的“数字地形建模”(Digital Terrain Modeling, DTM)产品^[2]。DTM的功能即是用来“预测数据集中任意给定点(X,Y)的Z值”^[3],这种等价于空间插值的“预测”在显示次网格地形特征时遇到了困难,给地形数据本身引进了初始误差。同时,由于地形资料的空间分辨率一般高于全球大气模式的空间分辨率,这种误差在进入全球大气数值模式后被进一步放大了。由于不同模式采用的地形资料有所不同,地形影响成为比较不同模式产品性能时必须考虑的一个重要因素。

T213L31是国家气象中心数值室引进开发的我国当前的全球中期数值预报业务系统^[4]。在这一业务系统中,资料同化分析子系统每日00Z(世界时,下同)、06Z、12Z、18Z启动,利用最近6h内获得的观测资料进行最优插值(OI)分析同化,形成全球分析场并制作6h预报作为下一时次分析的初猜场。美国国家环境预报中心(NCEP)的最终全球资料同化系统(Final Global Data Assimilation System, FNL)也同时启动,将最近6h内的观测资料进行同化分析,形成全球分析场并制作3h、6h、9h预报作为下一时次同化分析的初猜场。以上两个系统形成的全球分析资料是国内进行有限区域数值模拟分析较常用

的背景场资料,但是对两者间差异的分析工作并不多见。基于此,国家气象中心数值预报室对2005年全国汛期开始前的T213L31和NCEP-FNL同化资料进行为期1个月的跟踪对比,从位势高度、风矢量、和温度等方面分析两者间的整体差异。本文将对差异的整体特征进行描述,并对高大地形附近由于地形资料的不同引起的天气要素的差异分布特征进行分析。

1 资料及预处理

文中所用资料为T213L31全球分析场和美国NCEP-FNL全球分析场,时段均为2005年5月11日00Z至6月10日00Z,每6h一次,共121个时次。资料来源分别是国家气象中心数值预报室和美国大气研究中心(NCAR)的数据支持部(Data Support Section, DSS)。T213L31数据水平格距为 0.5625° ,水平方向共 640×320 个格点,垂直方向分为地表层和从1000~10hPa共17个等压层,有海平面气压、表面气压、表面温度、海陆标识共4个单层变量和位势高度、温度、东西风分量、南北风分量、相对湿度共5个全层次变量;NCEP-FNL的数据水平格距为 1° ,水平方向共 360×181 个格点,垂直方向分为地表层和从1000~10hPa共26个等压层,有海平面气压、表面温度、海冰等9个单层变量和位势高度、温度、东西风分量、南北风分量、相对湿度共5个全层次变量。为了便于对比计算,应用双线性插值在水平方向上将其插值到与T213L31相同的网格上,垂直方向上不做插值计算。此外,为了突出在中国区域的特征,本文只对东北半球的资料进行分析。

2 差异整体特征

选取1000、925、850、700、500、300、200、

100hPa 共 8 个标准等压层对位势高度 (H_{gt})、东西风分量 (U)、南北风分量 (V) 和温度 (T) 作为比较对象, 用 NCEP-FNL 资料减去对应的 T213L31 同化资料。将各差异场取空间平均后形成逐层的自由度为 121 的数据序列。计算各数据序列的中位数, 25% 和 75% 分位数, 形成统计盒状图 (图 1)。从图 1a 中可见, NCEP-FNL 的位势高度总体上低于 T213L31, 1000~850hPa 的差异中位数

绝对值最小, 变率 (图中盒的上、下须线总长度) 最小, 没有野值 (距离 25% 和 75% 分位数超过 1.5 倍四分位间距的数, 下同) 样本出现; 随着高度的增加差异中位数绝对值增大, 变率增大, 500hPa 和 200hPa 野值样本出现最多; 100hPa 的差异中位数绝对值最大, 接近 25m, 差异极值出现在此层。这表明两种资料的位势高度在低层的差异较小且稳定, 中高层的差异较大且不稳定, 能出现正负

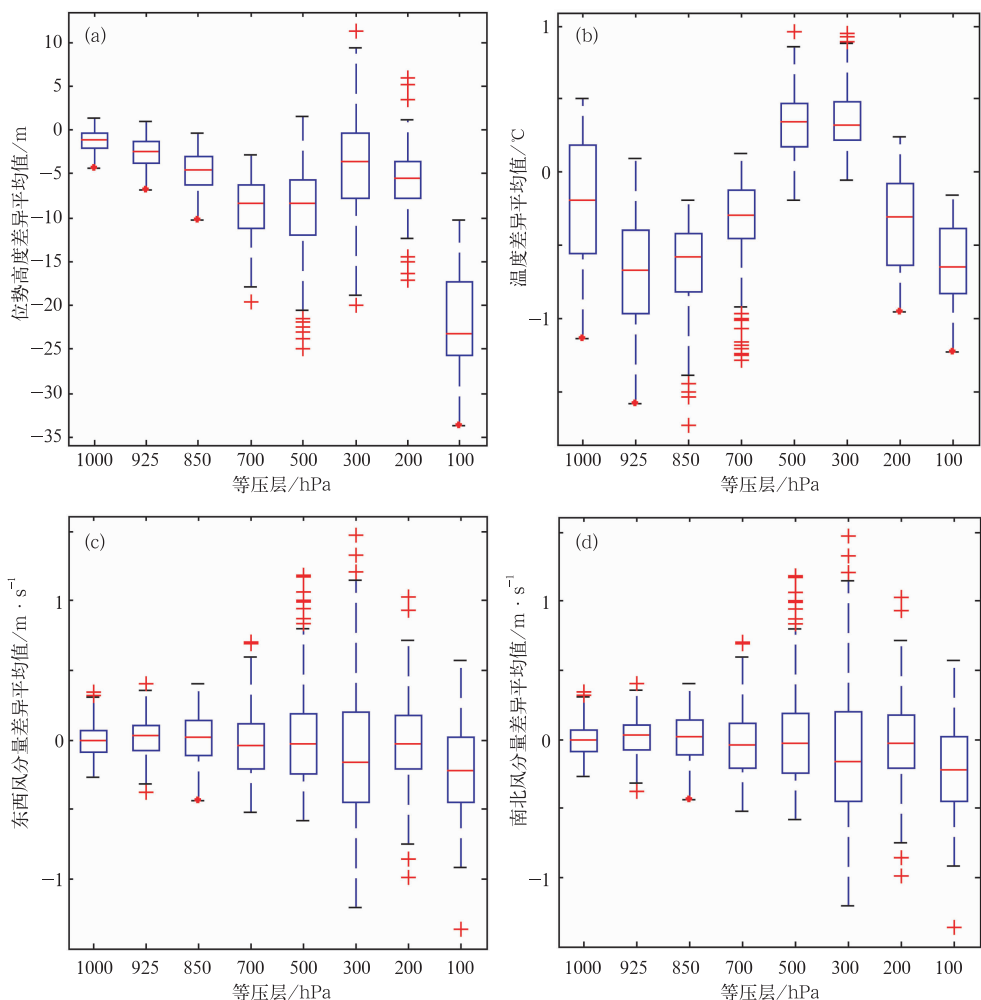


图 1 NCEP-FNL 与 T213L31 同化资料差异整体统计特征盒状图

a: 位势高度; b: 温度; c: U 分量; d: V 分量

图中“盒子”的上下底分别为样本的 25% 和 75% 分位数, 中间的线为样本的中位数; “+”表示数据的野值,

即距离“盒子”顶端和底端超过 1.5 倍四分位间距的点; “虚线”显示了除野值外其他值的范围

极值。图 1b 中的温度差异均值分布表明除 500hPa 和 300hPa 外, NCEP-FNL 的温度总体上低于 T213L31, 差异的变化范围基本在 $-1.5 \sim 1^\circ\text{C}$ 之间。温度差异的中位数绝对值在 1000hPa 最小, 为 0.21°C , 在 925hPa 和 100hPa 最大, 超过 0.5°C 。近地面层差异的变率要大于中高层, 但在 $850 \sim 300\text{hPa}$ 之间也有野值样本出现, 差异极值样本出现在 850hPa, 说明也具有一定的不稳定性。综合来看, 两种资料的温度差异呈现由负至正再至负的波动变化, 在中低层不稳定性最高。

对比分析图 1c、d 中的 U 和 V 分量差异平均值的统计分布特征可见, 两者具有一定的相似性。两个分量差异的中位数均在 0 线附近波动, 变率的分布随层次变化呈现不对称纺锤状, 1000hPa 的变率最小, 500hPa 和 300hPa 的变率最大, 差异极值均出现在

300hPa。不同点在于各层 V 分量的差异均值的变率普遍小于 U 分量, 野值样本总数也较 U 分量为少。这种相同点表明了风矢量差异的总体特征是随高度增大, 在 $500 \sim 300\text{hPa}$ 达到最大。不同点则与全球大气环流的准纬向特征相吻合。

为了综合表征各个空间格点上差异的量级和波动的幅度, 计算每个格点上的差异值时间序列的 3 阶中心矩, 得到了差异 3 阶矩的空间分布特征。以前述的差异最小的 1000hPa 为代表, 从图 2 中可以看到, 位势高度差异的变化极值主要分布在太平洋西部和青藏高原附近, 温度的差异的变化极值主要分布在北冰洋和青藏高原附近, 风矢量的差异的变化极值主要分布在北冰洋和太平洋西部。其他各层次差异的变化极值分布在中低层也主要以这 3 个地区为主, 中层以上青藏

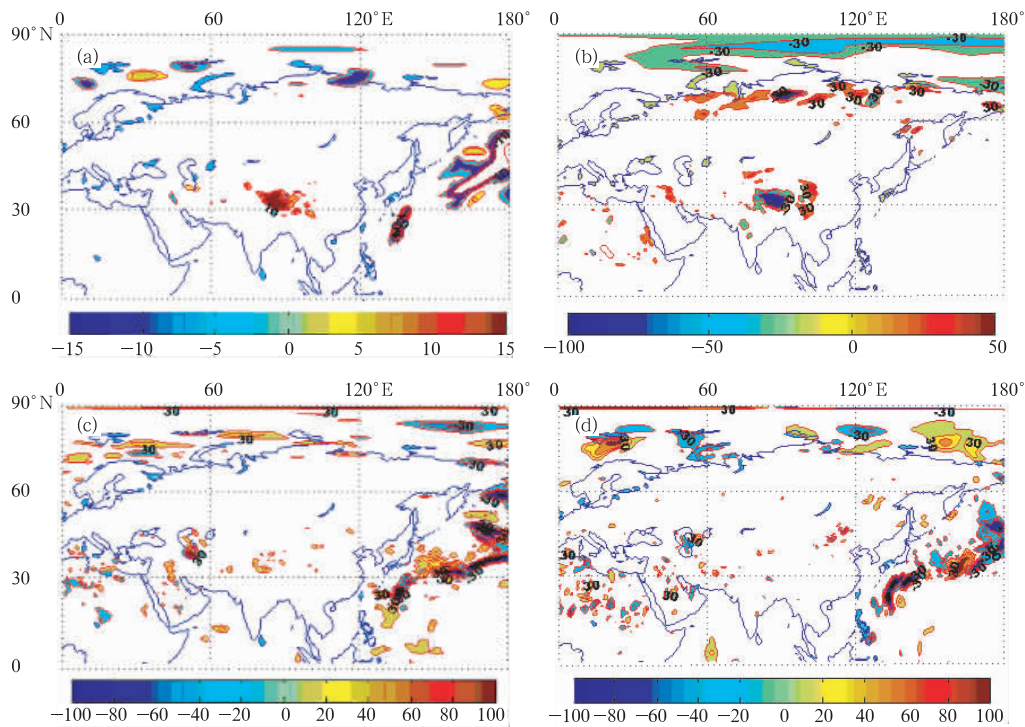


图 2 NCEP-FNL 与 T213L31 同化资料差异时间变化 3 阶中心矩

a: 位势高度, 单位: m^3 ; b: 温度, 单位: K^3 ; c: U 分量, 单位: $\text{m}^3 \cdot \text{s}^3$; d: V 分量, 单位: $\text{m}^3 \cdot \text{s}^3$

高原附近的极值中心消失。差异的变化极值量级随层次的不同出现了与图1中分析相一致的变化(图略)。

通过以上分析可以看到,NCEP-FNL资料和T213L31同化资料的差异具有空间变化特征,垂直方向上以近地面层为最小,中上层最大;水平方向上差异的变化极值分布较集中于太平洋西部、北冰洋和青藏高原附近这3个关键地区。

3 地形资料与差异的相关特征分析

在前述的差异极值分布的3个关键地区中,太平洋西部和北冰洋上缺乏常规地基观测资料,而在相应空基观测资料的获取和处理方面,NCEP-FNL和T213L31有明显的区别,这可以认为是产生较大差异的主要原因。青藏高原是东北半球最主要的高大地

形,在其附近产生的较大差异远高于沙漠无人区观测资料稀少地区,因此可以判断其产生的差异可能与对地形处理的不同有关。地形处理中的基础条件是地形资料,通过分析发现,两者采用的地形资料整体上相似,其差异分布的均值为 -4.75m ,内四分位间距为 26.30m 。但是在青藏高原地区有较明显的差别(如图3a所示),在高原的北边界有超过 1000m 的正差异野值带,在高原南界有超过 1500m 的负差异野值带,极差达到 3968.10m 。由于在数据处理过程中将NCEP-FNL的数据通过双线性插值处理到与T213L31数据相同的网格点上的,有必要对地形差异进行分析,以确定这一数据处理过程是否为差异野值的主要来源。对 $25^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}$ 、 $75^{\circ}\sim 100^{\circ}\text{E}$ 范围内的T213L31地形数据(如图3b所示)、NCEP-FNL原始地形数据(如图3c所示)、双线性插值后的NCEP-

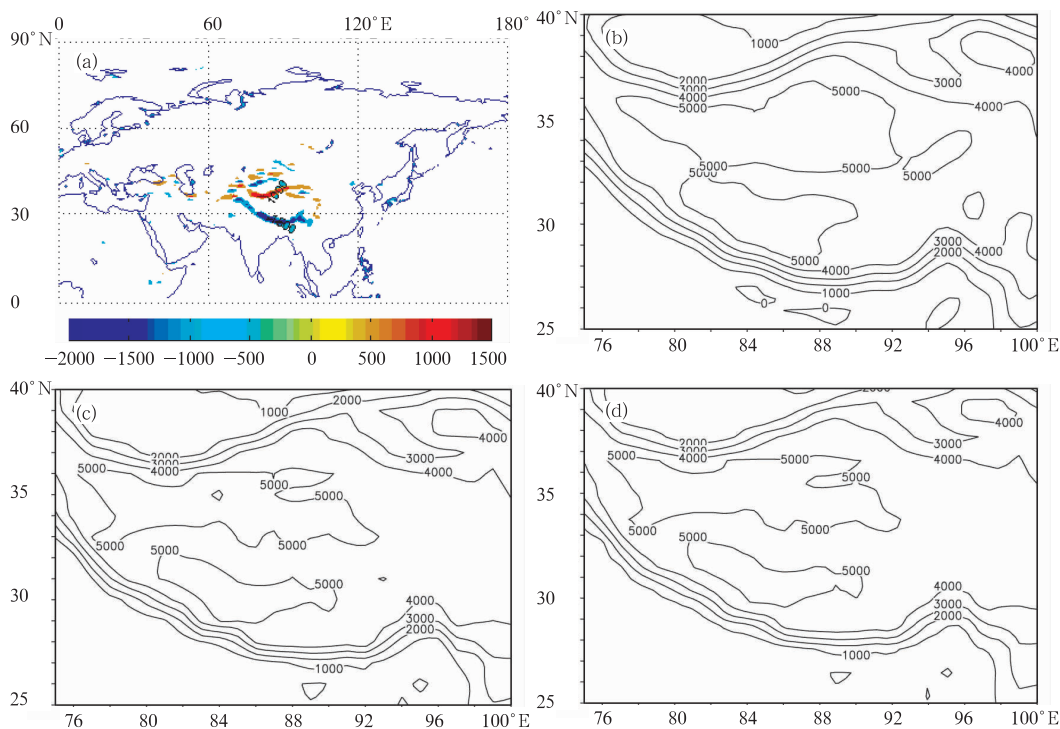


图3 NCEP-FNL与T213L31同化资料地形高度差异(a)及T213L31(b)、原始的NCEP-FNL(c)、经双线性插值的NCEP-FNL(d)在青藏高原的地形数据(单位:m)

FNL地形数据(如图3d所示)进行对比分析,在青藏高原的北界和南界地区,T213L31的地形坡度较缓,而NCEP-FNL的地形坡度陡峭,两类数据差异野值带与坡度带的走向基本平行,因此,可以认为地形的主要差异是由坡度的处理不同造成的。从图中可见,经过双线性插值的NCEP-FNL地形资料与原始数据的特征基本相同,而与T213L31的数据有着较明显差别,因此可以认为两类地形数据的差异是本已存在的而且主要是由青藏高原边界处的坡度不同造成的。

为了考察地形差异与要素场差异之间的关系,首先以某时次单个格点上的要素差异与地形高度差异作为一组样本,将所有格点上的样本集合形成两个数据序列,类似于对两个时间序列的处理,计算这两者间的相关系数(即空间相关系数)。结果显示位势高度差异与地形高度差异在低层有着较高的正相关性,最大相关系数可以达到0.357(在0.01的显著水平下,自由度为 $320 \times 160 - 2 = 51598$ 的相关系数临界值为0.011)。随着层次的升高这种相关性明显降低,到了500hPa以上,相关系数逐渐降低至 ± 0.05 以内,并且没有稳定的正负特征。相关系数是两个变量标准化向量的内积,它对野值样本是敏感的。将地形场中的绝对值大于500m的野值均取为均值,消除其在相关系数中的贡献,得到调整后的相关系数。与调整前的相比,相关系数明显减小,1000hPa最大相关系数只有0.160。虽然地形差异野值在总样本中只占很小一部分,但是它们在与中层以下位势高度差异的相关关系中却有着明显的贡献,这说明地形差异野值处的位势高度差异也具有较大的绝对值。进而可以认为,青藏高原北、南边界处的明显地形差异决定了中层以下位势高度场的主要差异。另外,由于位势高度场的分布与风场、温度场的分布又有着密切的联系,因而有必要对青藏高原及附近地区的中低层各

天气要素分布进行综合比较。

4 青藏高原附近天气要素差异分布特征

为了滤去大气波动的影响,我们对各层次和各要素场取了121时次的平均。得到的结果便是在初夏气候条件下的要素准定常分布形态。这种准定常形态通常是主要受到地形和海陆分布的影响。据此,在青藏高原附近中低层的要素场的准定常形态在两种资料间的差异便可认为是由地形资料的差异引起。

青藏高原平均海拔5023m,作为地球上的几大山脉之一,不但能影响山区及其邻近地区的天气和气候,而且对大范围地区,甚至半球的天气和气候有重要的影响^[5]。我国气象工作者很早就研究了青藏高原对大气环流和天气的影响^[6-7]。近年来通过两次科学试验研究得到很多高原的热力和动力作用方面的结果:在夏季,青藏高原的中低层有动力性暖高压,高原相对于大气是一个平均热源,500hPa以下层次对西风有分支而强迫形成绕流的作用^[8]。选择位势高度、温度和水平切变涡度时间平均场(如图4所示)来说明两种资料在表现上述高原作用的差别,这对于研究NCEP-FNL和T213L31同化资料在天气学方面的差异也具有重要意义。

由于高原地区中层以下的各等压面多在“地下”,是虚的,其差异很大程度受后处理程序影响,而且不会进入模式预报,不能反映模式动力学性能的差异,因此要重点分析高原周围地区的动力和热力差异,尤其是在高原边界附近,而对高原区内部中低层的要素分布差异不再做详细讨论。图4a、图4b中分别给出了两种资料700hPa位势高度的时间平均场。在四川盆地均有明显的低值区存在,在高原西南边界出现位势高度的西北东南向极值带。两者的区别在于NCEP-FNL

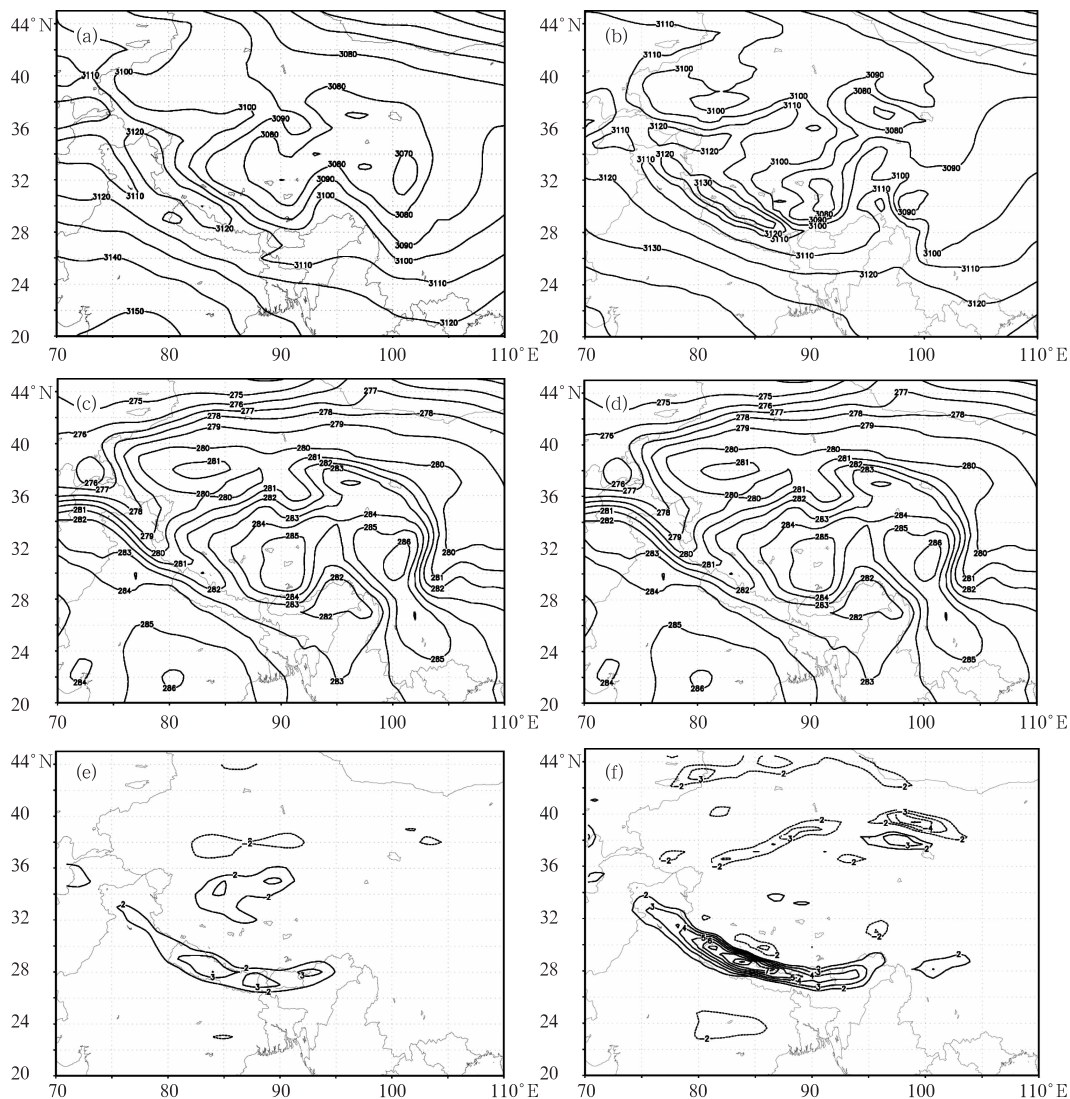


图 4 NCEP-FNL(a, c, e)和 T213L31(b, d, f)的 700hPa 位势高度时间平均

(a, b, 单位: gpm, 等值线间隔: 10)、温度时间平均(c, d, 单位: K, 等值线间隔: 1)

和 500hPa 水平切变涡度时间平均(e, f, 单位: 10^{-5} s^{-1} , 等值线间隔: 1)

资料的位势高度整体偏低,在四川盆地上空的低槽区强度达到 307dgpm 以下,低于 T213L31 场中的 309dgpm,这对西南涡类低值天气系统的产生更加有利。图 4c、d 刻画了高原及周围地区 700hPa 温度场分布特征。两种资料的区别在于 NCEP-FNL 资料的温度整体偏高,这与图 1 分析中表现出的整场温度差异特征是相反的,可以说明在高

原区温度场差异的特殊性。此外,在高原的东侧边界也出现了较强的温度梯度带。这条较强的温度梯度带表明了在此资料中高原热源对东侧的加热作用更强,在热力上对于低值天气系统的发展也较有利。图 4e、f 中用 500hPa 水平切变涡度来表征风矢量的空间分布情况。500hPa 在高原上风场研究中是一个较关键的层次,因在这一层下,高原上的

风很弱,其外围的西风由于绕流作用而变得很强,因而会在高原的北侧形成反气旋性风速切变,南侧形成气旋性风速切变。在这一层上,这种特征会逐渐减弱。对比两种资料中的这一层上的水平风速切变,可以看到明显的差别。在南侧,NCEP-FNL的正切变涡度远小于T213L31场,这说明高原内外风速差别较小。产生这种情况的原因是因为模式地形的高度在此处比T213L31的低500~1500m(见图3a),对风的阻滞作用较小。在北侧边界处,NCEP-FNL场中有一个正切变涡度区,而T213L31场中没有,这是因为在此处前者的模式地形高500~1000m(见图3a),形成了另外的绕流作用。高原以北地区出现反气旋性风速切变,这是高原北侧边界外的绕流作用。另外,从总体上看,由于NCEP-FNL场中地形高度低于T213L31的,所以前者风场受地形阻碍较小,这也是其水平切变涡度绝对值低于后者的原因。

由以上分析可见,NCEP-FNL和T213L31分析资料在青藏高原地区应用的地形资料的差异引起了高原周围中低层相应大气环流动力和热力特征的差异,进而会对大范围的环流和天气形势产生影响。

5 小 结

本文从分析NCEP-FNL资料和T213L31同化资料的整体差异出发,研究了主要差异的水平和垂直分布特征,并对因地形资料不同引起的青藏高原及其附近地区产生较大差异的现象进行了阐述,得到了如下结论:

(1) NCEP-FNL资料和T213L31同化资料的差异具有空间变化特征,垂直方向上以近地面层为最小,中上层最大;水平方向上差异的变化极值分布较集中于太平洋西部、北冰洋和青藏高原附近这3个关键地区。

(2) 两种资料采用的地形资料整体上相

似,但是在青藏高原地区有较明显的差别。

(3) 两种资料位势高度差异与地形高度差异在低层有着较高的正相关性,这种相关性主要决定于青藏高原附近的地形高度差异极值处的标准化协方差。

(4) 两种资料在青藏高原地区应用的地形资料的差异引起了高原周围中低层相应大气环流动力和热力特征的差异,主要表现为高原东侧低涡强度的不同,热源作用强度的不同和中间风速切变的差异。

当然,两种模式间的差异是由多方面因子引起的,地形等基础资料的一致性的提高也只能减少部分差异,动力框架以及同化方法的不同引起的差异将会长期存在。

参考文献

- [1] 李华宏,沈桐立,王曼,等. 伴随模式同化系统在修正模式地形中的应用[J]. 南京气象学院学报,2005,28(3): 332-338.
- [2] Kennie, T. J. M., G. Petrie. Introduction to terrain modeling-application fields and terminology[M]. Terrain modeling in surveying and civil engineering. Caithness: Whittles Publ., 1990: 1-2.
- [3] David H., Lamine M. . Effect of grid resolution and terrain characteristics on data from DTM[J]. Journal of Computing in Civil Engineering,2001,4: 137-143.
- [4] 陈起英,姚明明,王雨. 国家气象中心新一代业务中期预报模式T213L31的主要特点[J]. 气象,2004,30(10): 16-21.
- [5] Smith R B. The influence of mountains on the atmosphere [J]. Advances in Geophysics. 1979, 21: 87-230.
- [6] 杨鉴初,陶诗言,叶笃正,等. 西藏高原气象学. 北京: 科学出版社,1958: 280.
- [7] 叶笃正,高由禧,周明煜,等. 西藏高原气象学[M]. 北京: 科学出版社,1979: 278.
- [8] 丁一汇. 高等天气学[M]. 北京: 气象出版社,2005: 492-510.