

郝民, 龚建东, 徐枝芳. 2016. 地面报中高山站资料的应用分析. 气象, 42(4): 424-435.

地面报中高山站资料的应用分析^{*}

郝 民 龚建东 徐枝芳

国家气象中心, 中国气象局数值预报中心, 北京 100081

提 要: 无线电探空仪观测和地面观测资料作为天气分析和数值预报最常用、最重要的两种资料数据源, 两者时空分辨率有着明显的差异。如何利用地面观测资料的高时空分辨率特点来补充探空观测资料在一些地区的欠缺和不足, 特别是地面高山站资料的使用对对流层底层环流场的影响及对精细化数值天气预报风场分析指示意义等都需要进一步的探究。文章通过对地面高山站资料在资料同化中不同的使用方式的分析, 探索其作为探空资料的补充在资料同化中的贡献。个例试验选取 2013 年 6 月 29 日 00 时地面资料和探空观测资料进行资料同化, 试验方法: 分别将地面高山站资料作为探空资料和地面资料应用于同化分析中, 结果表明: 地面高山站资料当探空资料使用时对 850 和 925 hPa 风场同化分析有正效果。在地面高山站资料当探空资料使用和当地面资料使用的对比中, 其 24 h 850 和 700 hPa 高度和风场预报试验差异不显著; 但 24 h 降水预报结果显示: 地面高山站资料当探空资料使用对降水强度和位置的预报都有弱的正贡献。连续试验的降水预报检验证明: 在地面高山站较多的西南区, 高山站资料当探空资料使用在小雨、中雨、暴雨等量级的预报评分要优于高山站资料当地面报使用, 且其预报偏差也较小; 在中国区降水预报检验高山站资料当探空资料和地面报使用差异不大。

关键词: 地面高山站资料, 探空资料, GRAPES, 同化试验

中图分类号: P413

文献标志码: A

doi: 10.7519/j.issn.1000-0526.2016.4.005

Application and Analysis on the Mountain Observatory of Surface Observational Data

HAO Min GONG Jiandong XU Zhifang

CMA Numerical Prediction Centre, National Meteorological Centre, Beijing 100081

Abstract: Radiosonde observations and surface observations, which are obviously different in spatio-temporal resolutions, serve as the most commonly used and vital data sources in weather analysis and numerical prediction. Further studies are required on how to use the surface observation data with high spatio-temporal resolution to supplement deficiencies and shortages in radiosonde observations in some areas, especially on the effect of using mountain station data on the circulation of low-level troposphere and on the indicative significance to the refinement of wind field analysis of numerical weather forecast. By analyzing various methods used in data assimilation of mountain station observations, this paper investigates the contribution of the supplementary data of radiosonde observation to the data assimilation. As a test case, the surface data and radiosonde observation at 00 UTC 29 June 2013 are adopted for data assimilation, which takes the surface observations of mountain station as radiosonde data and surface data in assimilation analysis. The results indicate that when the surface observation of mountain stations is used as radiosonde data, they have positive effects on the 850 hPa and 925 hPa wind data assimilation analysis. The comparison of using the surface observation as radiosonde data and as surface data shows no apparent difference in 24 h forecasting test on the height and wind fields at 850 hPa and 700 hPa levels. However, the 24 h precipitation forecast results show a weak positive

^{*} 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201106008)及国家自然科学基金项目(41275105 和 41375107)共同资助
2014 年 9 月 17 日收稿; 2015 年 7 月 3 日收修定稿
第一作者: 郝民; 主要从事资料同化方面的研究. Email: haomin@cma.gov.cn

contribution to rainfall intensity and location prediction when using the surface observation of mountain stations as radiosonde data. Continuous precipitation forecast tests prove that in the southwest areas where more mountain stations are located, the precipitation forecasting scores for light rain, moderate rain and heavy rain with station observations used as radiosonde data are better than those with station observations as surface data, and their forecast bias are also smaller. But in the other areas of China, no obvious difference is found in precipitation tests by using mountain data as the radiosonde data or the surface data.

Key words: surface data of mountain station, radiosonde data, GRAPES, data assimilation test

引言

无线电探空仪观测能获取高空温、压、湿资料,由于它是探测仪器直接观测资料,是天气分析和数值预报最常用的一类资料数据源,且在实际应用中多被认为其误差较小,精度较高;而作为最接近实际大气,反映大气运动变化的一类观测资料标准来检验、校验和订正天气预报和数值预报的结果。地面观测资料同样是大气探测资料的一个重要组成部分,特别是随着观测系统的日趋加强,气象观测网越来越完善,分布密集的地面自动站观测网时间和空间分辨率越来越高,地面自动站观测网也越来越受到重视。

虽然无线电探空仪观测和地面观测资料都是天气预报和数值预报重要的数据源,但两者在时空分布上还是有较大的差异。探空资料的时间分辨率较低,仅在00和12时有观测,而地面观测资料时间分辨率较高,且地面观测分布比探空观测资料分布密集得多。探空观测资料是一垂直的廓线资料,能反映出大气垂直的温、压、湿的变化;而地面观测只是接近地面的层次上的观测值,主要是反映近地面大气要素的变化。但地面观测中的高山站资料由于其测站高度较高,能反映对流层底层,大气底部天气的变化,特别是对于一些天气变化剧烈的关键区的天气有一定的表征作用。如何使地面观测资料发挥其时空分辨率高的特点,成为探空资料的补充,地面高山站资料正是一个很好切入点,因为它既具有地面资料时空分辨率高的特点又由于其测站高度较高有一些探空资料的特性,同时可以弥补探空资料在一些地区较稀疏的欠缺。

地面观测资料虽然时空分辨率较高,但由于受地形、地貌的影响及模式地形与实际观测站地形存在的高度差异等影响,在资料同化中要考虑以上诸多因素,同化应用较为复杂。1996年Ruggiero等

(1996)提出了一些地面观测资料同化的方案,但其方案剔除的资料较多。2002年Lazarus等(2002)通过在客观分析中采用不同的地形高度权重系数,解决模式与观测站地形高度差异在资料分析过程中带来的负面效果。2006年徐枝芳等(2006)、陶士伟等(2006)借鉴NCAR(2002)研究成果,结合我国地面观测资料的特性,开展了地面观测资料质量控制及模式地形与观测站地形高度差异对地面资料同化影响的研究。虽然近年来地面观测资料在同化中应用较为广泛,但对于地面高山站观测在同化中的作用分析得较为欠缺。2011年叶成志等(2012)从天气学分析的角度研究了南岳高山站风对湖南暴雨两个例预报的指示作用;陈静静等(2011)研究表明:地面高山站观测对湖南暴雨两个例对流层底层环流场有代表性意义。陈德桥等(2012)利用高山站多年资料分析了南岳高山站风的气候变化特征。但总体而言目前高山站资料应用技术的研究还较少,在业务应用和定量化分析方面都很薄弱,所以其资料的实用价值还未充分发挥。

本文试图利用地面观测资料中的高山站资料作为探空资料的时空分辨率不足的补充,以满足精细化预报的要求,对天气剧烈变化的关键区预报的表征作用,分析研究高山站资料在资料同化中的作用,特别是高山站资料的风场信息的使用对对流层底层环流场的影响,从而对降水强度及落区预报有一定的指示意义。

1 资料的分布及比较

在业务数值预报中中国区的探空测站约为120个,而国家级地面观测站约为2400个,从数量上看两者有明显的差异(郝民等,2014)。探空资料空间分布是比较均匀的(图1a和1b),地面观测分布非常稠密,特别是在我国的东部地区,而西部地区略微稀少。探空资料时间分辨率只有00和12时有观测,

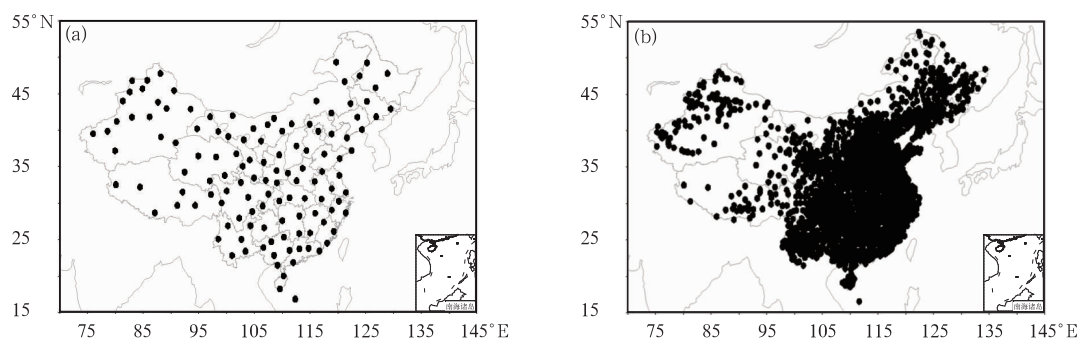


图 1 中国区探空(a)和地面观测(b)资料分布

Fig. 1 Distribution of radiosonde (a) and surface (b) stations data in China

地面资料是每小时乃至几分钟一次观测,所以地面观测资料的时空分辨率都要远高于探空观测资料。地面观测资料中的高山站资料选取标准:测站高度在 1100 m 以上,同时在 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 经纬度网格中该测站高度高出其他地面观测站点 1000 m 以上的测站,符合这样条件的站点 22 个(图 2)。表 1 是所选高山站的测站信息,其中最高是新疆的天山大西沟站,测站海拔高度达 3539 m,最低的是江西庐山站,海拔高度为 1164.5 m。西部地区的测站高度远高于东部地区,其中四川有 4 个高山站,其他省一般为 1~2 个。

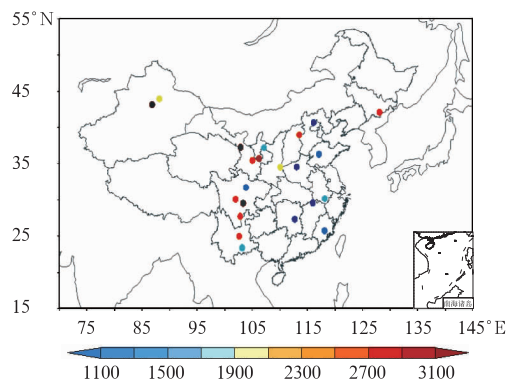


图 2 中国区高山站观测资料分布

Fig. 2 Distribution of mountain stations data in China

表 1 中国区高山站站点信息

Table 1 The site information of mountain stations in China

站名	站号	站类	纬度/ $^{\circ}$ N	经度/ $^{\circ}$ E	观测场海拔高度/m
乌鞘岭	52787	基本站	37.20	102.87	3045.1
庐山	58506	基本站	29.58	115.98	1164.5
泰山	54826	基本站	36.25	117.10	1533.7
华山	57046	基本站	34.48	110.08	2064.9
北塔山	51288	基本站	45.37	90.53	1653.7
天池	51470	基本站	43.88	88.12	1942.5
峨眉山	56385	基本站	29.52	103.33	3047.4
太华山	56872	一般站	24.95	102.62	2358.3
马鬃山	52323	基本站	41.80	97.03	1770.4
嵩山	57084	一般站	34.50	113.05	1178.4
六盘山	53910	基本站	35.67	106.20	1770.4
黄山	58437	基本站	30.13	118.15	1840.4
九仙山	58931	基本站	25.72	118.10	1653.5
华家岭	52996	基本站	35.38	105.02	2450.6
麻黄山	53727	一般站	37.17	107.12	1712.5
南岳	57776	基本站	27.30	112.70	1268.1
个旧	56984	一般站	23.38	103.15	1721.0
布拖	56580	一般站	27.72	102.80	2460.0
康定	56374	基本站	30.05	101.97	2616.0
茂县	56180	一般站	31.68	103.85	1590.0
佛爷顶	54410	一般站	40.60	116.13	1225.0
天池(吉)	54287	基本站	42.02	128.08	2623.0
五台山	53588	基本站	38.95	113.52	2208.0
天山大西沟	51468	一般站	43.10	86.83	3539.0

2 两类观测资料的同化使用

地面观测资料由于受地形、地貌的影响较大,且一般模式地形与实际观测站地形存在一定的高度差异,因此将地面观测资料充分应用到数值模式中的研究工作相对其他非常规资料如雷达、卫星等资料的同化应用复杂得多。Ruggiero 等(1996)考虑到模式地形与实际观测站地形高度有一定的差异,将地面观测资料分 3 类情况分别进行同化:(1)当测站地形高度高于模式最低层高度,则将地面观测资料作为高空资料进入模式;(2)当模式最低层高度高出测站地形的高度超过 100 m,该站点资料则剔除不用;(3)当模式最低层高度比测站地形高度高,且模式最低层高度与测站地形的高度差小于 100 m 时,该站点资料则利用背景场信息将观测资料通过近地层相似理论计算到模式最低层,然后和探空资料一样进行同化分析。2002 年 NCAR 与韩国合作开展地面观测资料同化研究工作(Guo et al,2002;Darker et al,2003),发现上述同化方案虽然考虑了模式地形与观测地形的差异,但将许多观测资料剔除了,资料利用不充分,同时还会造成不协调性(将地面观测资料用作探空资料)。为了充分利用地面观测资料,NCAR 的 Guo 设计的方案假定所有测站的资料(除地面气压)都是位于模式面,然后利用相似理论计算到模式最低层,然后与探空资料一起同化,这种方案比前一种方案更充分地使用观测资料(徐枝芳等,2006;2007;陶士伟等,2006)。目前在 GRAPES 3Dvar 资料同化中,采用上述地面资料同化方法,地面资料和探空两类观测使用是相同的观测算子,但同化的观测变量略有不同。探空资料同

化的是气压、风和湿度变量,地面观测资料同化的是地面气压、湿度,两者差异是探空资料多同化了风场要素信息。地面高山站资料如果当探空资料使用时,其风场信息被应用于资料同化中,对解析对流层底层环流形势运动变化有积极的意义。

3 试验方案设计

为了说明地面观测中高山站资料在同化中的作用,试验分别将其当探空资料使用和地面资料使用,比较它对分析和预报产生的影响。试验方案如表 2。试验采用版本为 GRAPES_Meso V4.0,该版本相对原业务系统 GRAPES_Meso V3.3 有较多的改进。资料同化中引入了变分质量控制、探空湿度观测的偏差订正、应用雷达 VAD 资料、三维云分析方案等;模式的水平分辨率由 15 km 提高到 10 km,垂直分层由 31 层增加到 50 层;物理过程改进了地表能量平衡方案,引用非绝热加热项等(王金成等,2014;庄照荣等,2014;李岩松等,2014)。个例试验时间为 2013 年 6 月 29 日 00 UTC 至 30 日 00 UTC,使用资料为探空资料和地面资料,试验选取的范围(15°~65°N、70°~145°E)。由于试验所选范围比中国区要大,表 3 是试验中使用的资料数,由表 3 可见探空站 224 个,这比前面提到的中国区探空站要多。高山站资料为 18 个,都在中国区域内。试验一是同化中仅使用探空观测,观测站数 224 个, u 、 v 风要素为 223 个,高度、温度、湿度要素分别为 212 个。试验二是同化中使用探空资料及高山站资料当探空资料使用, u 、 v 要素为 241 个,高度、温度、湿度要素分别为 230 个。试验三同化中使用探空资料及高山站资料当地面资料使用。

表 2 同化试验方案设计
Table 2 The design of assimilation experiment scheme

	试验一	试验二	试验三
同化使用资料	探空资料	探空资料+高山站 (探空资料使用)	探空资料+高山站 (地面资料使用)

表 3 试验中使用的资料数
Table 3 Data used in the experiment

	资料	Num_stn	u,v	H	T	RH
试验一	探空站	224	223	212	212	212
试验二	探空站+高山站	224+18	241	230	230	230
试验三	探空站	224	223	212	212	212
	高山站	18	18	18	18	18

4 个例试验

本文选取个例试验时间 2013 年 6 月 29—30 日。其中 6 月 28 日 20 时至 30 日 08 时四川盆地有强降水,降雨较大的区域主要在阿坝州西部、甘孜州

大部和攀西地区西部,共 39 个区(市、县)累计雨量达 10 mm 以上,19 个区(市、县)达 25~50 mm,7 个区(市、县)达 50 mm 以上(白莹莹等,2014)。由于四川省相比其他区域有较多的高山站,所以试验重点关注该地区高山站资料的使用对分析预报产生的影响(张利红等,2011)。

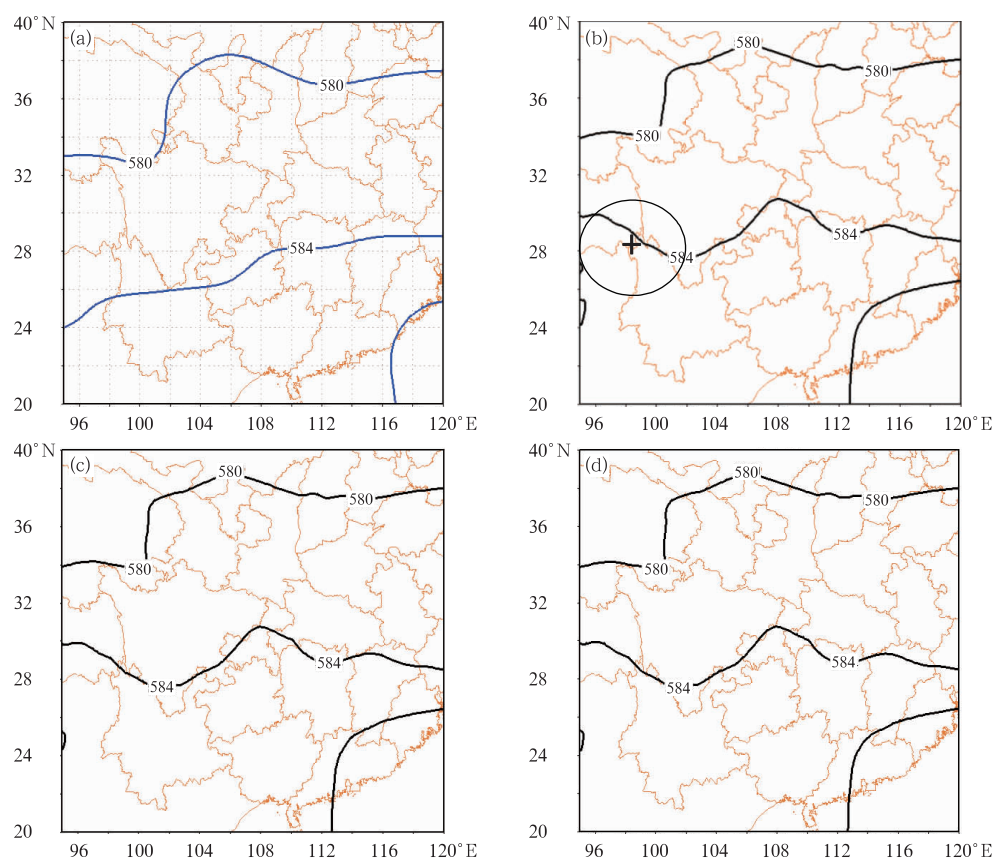


图 3 2014 年 6 月 29 日 00 UTC 500 hPa 高度场(单位: dagpm)
(a)NCEP 分析场, (b)试验一分析场, (c)试验二分析场, (d)试验三分析场

Fig. 3 The 500 hPa geopotential height analysis field of NCEP and three group experiments at 00 UTC 29 June 2014 (unit: dagpm)
(a) analysis field of NCEP, (b) analysis field of the 1st experiment, (c) analysis field of the 2nd experiment, (d) analysis field of the 3rd experiment

4.1 500 hPa 高度场和风场分析

为了解地面高山站资料对分析场的影响,将三组试验的分析场与 NCEP 的分析场进行比较。由于 NCEP 分析预报系统相对完善,分析场应用了较多的常规和非常规观测资料,是我们能得到的较好的参照场,故设计三组对比试验方案(表 2)与其分析场进行比较(郝民等,2013;2014;刘为一,2014)。图 3 是 2014 年 6 月 29 日 00 UTC 500 hPa 高度

NCEP 分析场及试验一、试验二、试验三同化试验后的分析场,从中看出试验一、试验二、试验三比较接近,但都与 NCEP 分析有所差异,差异主要在四川盆地西南部地区,三组试验在该地区 584 线比 NCEP 往北伸,即试验的高度场分析在该区域要高于 NCEP 高度分析。

图 4 是图 3 中三组试验间的偏差场,即试验二与试验一的差、试验三与试验一的差及试验三与试验二的差。图 4~图 9 的底图表示地形高度。从

图4中看出三组试验间高度场分析偏差最大都表现在四川盆地的西部地区,这与图3中三组试验高度场分析与NCEP分析的偏差在四川盆地的西部地区最大是一致的。由于图3中试验一、试验二、试验三比NCEP分析在四川盆地西部分析偏高,从图4a、4b偏差场看试验二、试验三在该地区为负偏差,其中试验二的负偏差较试验三偏差更大些,说明加入高山站资料对该地区高度场分析有一定调整,即

试验二、试验三高度分析在该地区比试验一要低,及试验二、试验三的分析场在该地区要优于试验一的分析,且更接近于NCEP分析场。图4c中看出四川盆地的西部地区试验三与试验二的差为正值,说明试验三在该地区高度分析要高于试验二,与NCEP分析差异要大于试验二,故试验二对高度场分析的调整要明显优于试验三,即高山站资料当探空资料使用500 hPa分析更接近NCEP高度分析。

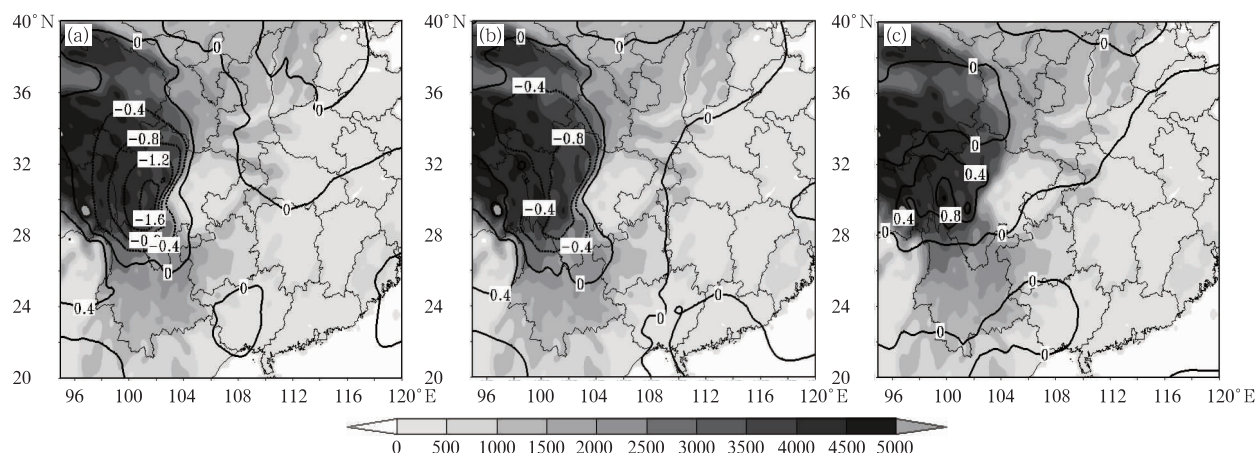


图4 三组试验间500 hPa高度分析的偏差场(单位:dagpm)

(图中底图表示地形高度场,单位:m)

(a)试验二与试验一的偏差,(b)试验三与试验一的偏差,(c)试验三与试验二的偏差

Fig. 4 The bias of 500 hPa geopotential height analysis among three group experiments (unit: dagpm)

(The underlying map shows terrain height, unit: m)

(a) bias of the 2nd experiment and the 1st experiment, (b) bias of the 3rd experiment and the 1st experiment, (c) bias of the 3rd experiment and the 2nd experiment

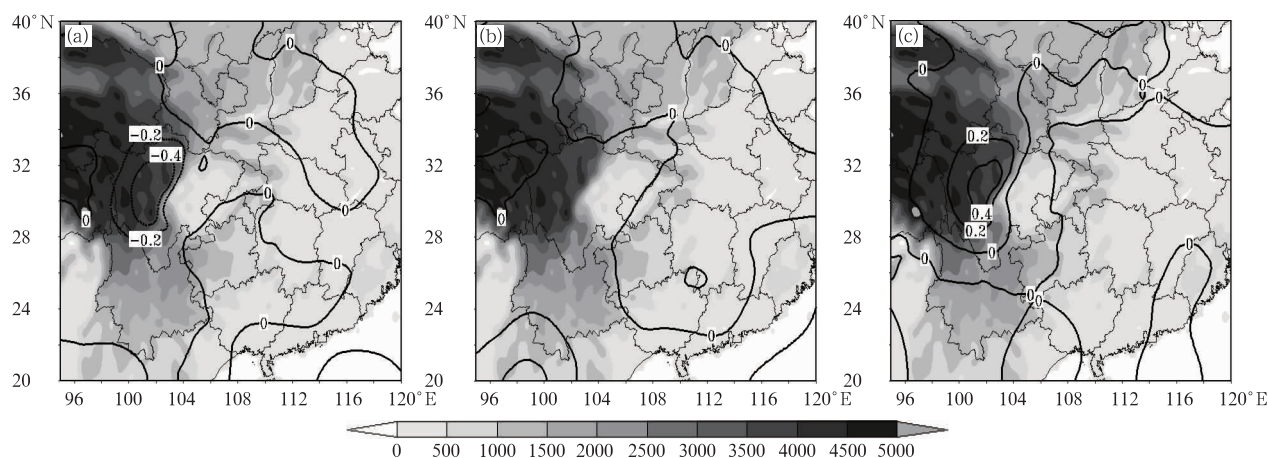


图5 同图4,但为 u 场分析

Fig. 5 Same as Fig. 4, but for u wind analysis

图5是500 hPa风场三组试验间偏差,同样看出在四川盆地西部偏差最大,三组试验与NCEP 500 hPa风场分析场比在该地区偏高(图略),图5a

风场偏差场看试验二与试验一的差为负偏差,说明试验二在该区的风场分析比试验一在该区域偏低,试验二的 u 风分析场更接近NCEP分析场。而

图 5b 试验三与试验一相比在该地区分析偏差为 0, 即试验三与试验一的风场分析差异不大, 两者的 u 风分析比 NCEP 分析偏强, 图 5c 看出试验三比试验二与 NCEP 风分析偏差更大, 试验二的风分析较试验三更接近 NCEP 的风分析场。

4.2 700 hPa 高度场和风场分析

图 6 是 2014 年 6 月 29 日 00 UTC 700 hPa NCEP 风场分析场及三组试验的分析场合和偏差场。从图 6b、6c、6d 看出三组试验与 NCEP 在四川

盆地中南部存在偏差, 三组试验在该地区 u 风都比 NCEP u 风分析场向北伸, 偏强, 而图 6e 试验二与试验一的偏差看该地区是负偏差, 说明试验二在该区域风场分析是减弱的; 图 6f 试验三与试验一偏差为 0, 两组试验差异不大; 图 6g 试验三在四川盆地中南部为正偏差, 及试验三在该地区风场比试验二强, 与 NCEP 分析场比在该地区偏差更大。所以由图 6 分析比较看出试验二相比试验三在该区的分析结果更接近 NCEP 分析。高度场也有类似的结果 (图略)。

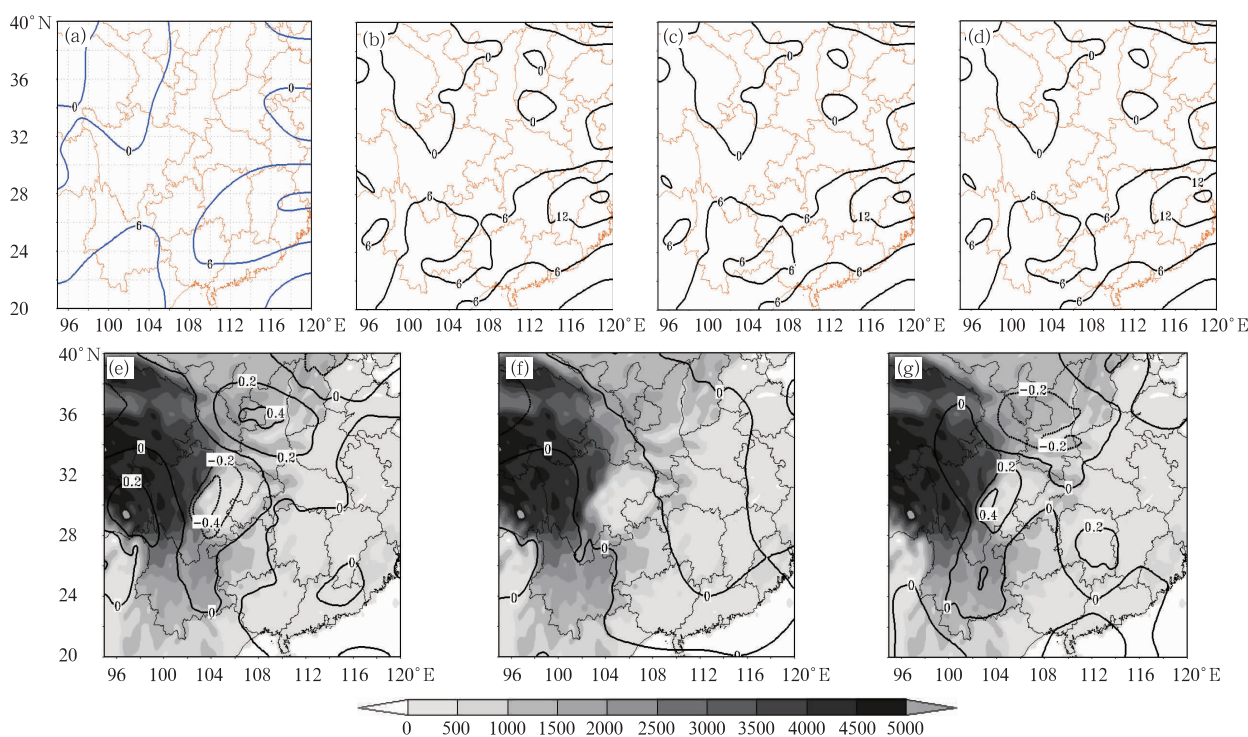


图 6 2014 年 6 月 29 日 00 UTC 700 hPa NCEP u 风场的分析场及试验一、试验二、试验三的分析场和偏差场 (单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

(图中底图表示地形高度场, 单位: m)

(a) NCEP 分析场, (b) 试验一分析场, (c) 试验二分析场, (d) 试验三分析场,

(e) 试验二与试验一的偏差, (f) 试验三与试验一的偏差, (g) 试验三与试验二的偏差

Fig. 6 700 hPa u wind analysis field of NCEP as well as three group experiments and the bias of 700 hPa u wind analysis in the experiments for three schemes at 00 UTC 29 June 2014 (unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

(The underlying map shows terrain height, unit: m)

(a) analysis field of NCEP, (b) analysis field of the 1st experiment, (c) analysis field of the 2nd experiment,

(d) analysis field of the 3rd experiment, (e) bias of the 2nd experiment and the 1st experiment,

(f) bias of the 3rd experiment and the 1st experiment, (g) bias of the 3rd experiment and the 2nd experiment

4.3 850 hPa 高度场和风场分析

图 7 是 2014 年 6 月 29 日 00 时 UTC 850 hPa 高度 NCEP 的分析场及试验一、试验二、试验三的分析场和偏差场。从图 7a、7b、7c、7d 中看出试验

一、试验二、试验三比较接近, 但与 NCEP 分析有所差异, 差异仍主要在四川盆地北部地区, 且试验 850hPa 高度场的分析场在该区域比 NCEP 分析场偏低几位势十米。从偏差场图 7e、7f、7g 看在该地都是正偏差, 但正偏差值大小不同。试验二与试验

一的偏差值较小,试验三比试验一的偏差值较大,试验三比试验二在四川盆地中部又高 6 dagpm,比较

试验二的高度分析在四川盆地西北部地区改进显著,更加接近NCEP的高度分析。图8是850 hPa

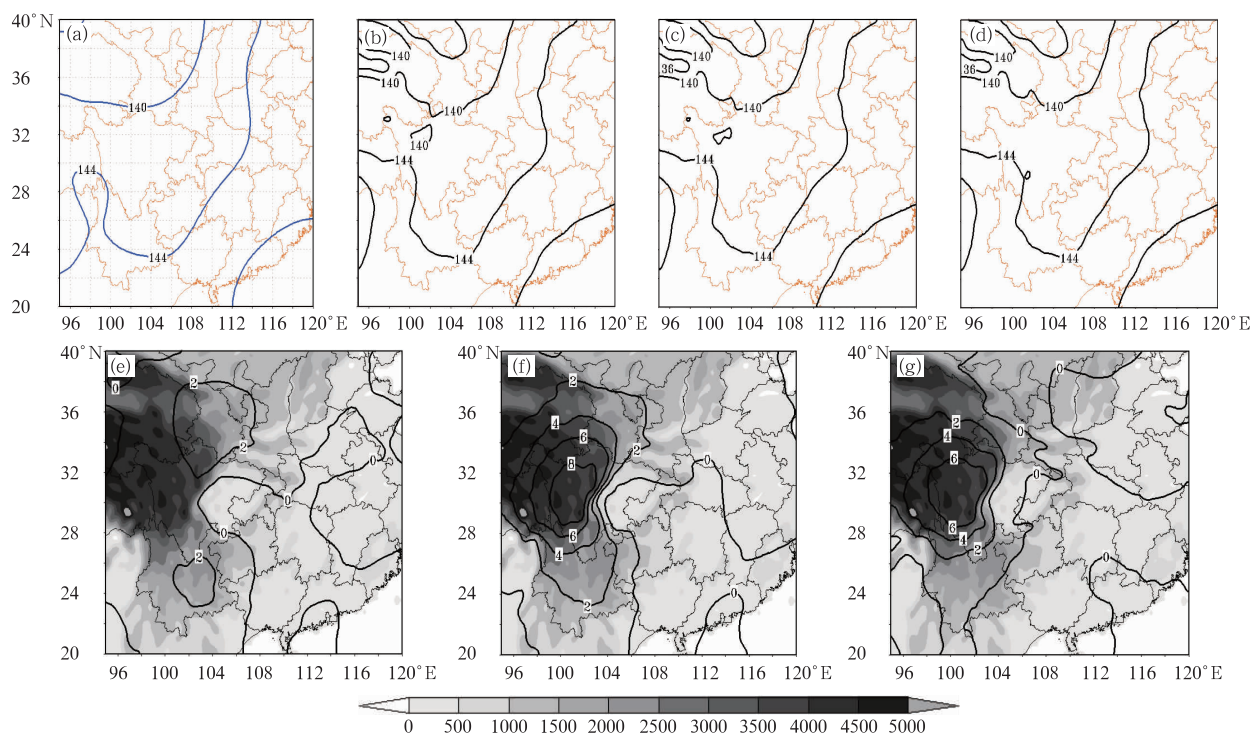


图7 同图6,但为850 hPa NCEP高度分析场(单位:dagpm)

Fig. 7 Same as Fig. 6, but for the 850 hPa geopotential height (unit: dagpm) analysis field of NCEP

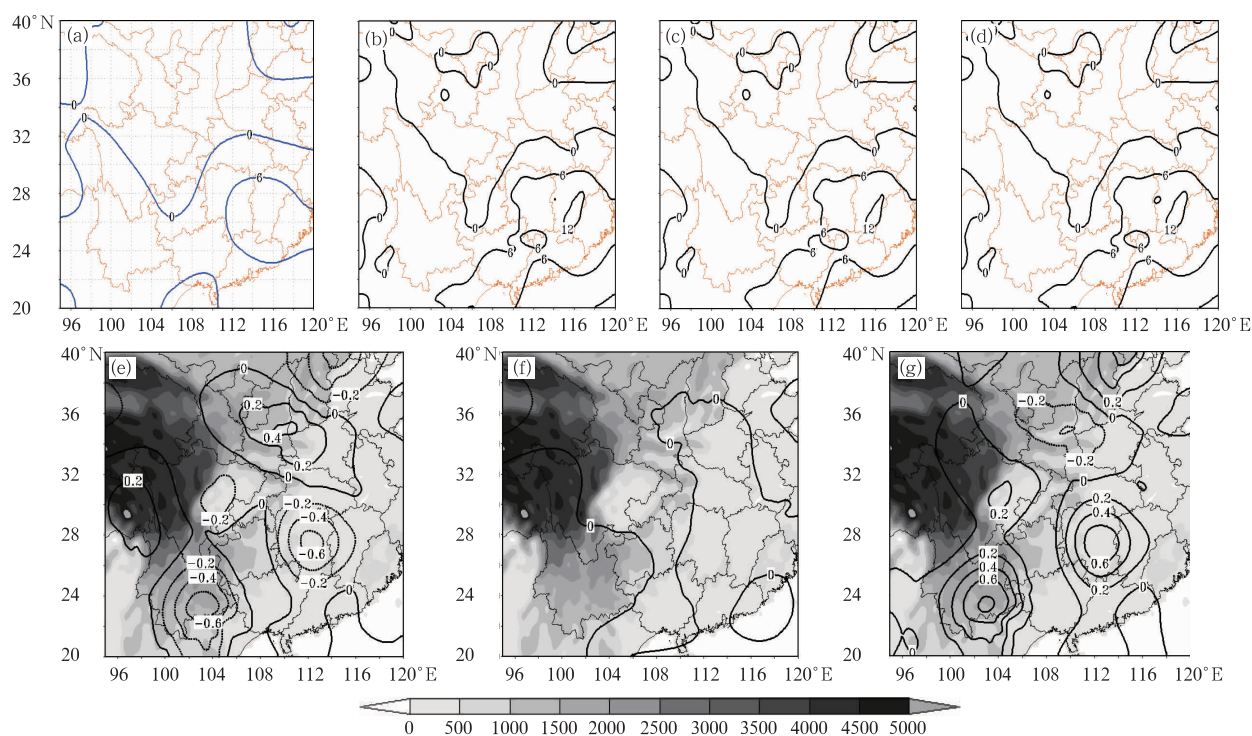


图8 同图6,但为850 hPa NCEP u 场分析场

Fig. 8 Same as Fig. 6, but for the 850 hPa u wind analysis field of NCEP

风场 NCEP 的分析场及试验一、试验二、试验三的分析场和偏差场。从图 8a、8b、8c、8d 风场的分析看在东南部的江西、福建、湖南等地分析的风场比 NCEP 的场偏强,而三组试验间偏差场图 8e、8f、8g 看试验二与试验一的偏差在该区域为负偏差,试验三与试验一分析场基本一致所以偏差场为 0,说明试验二在该区的分析结果减弱,更接近 NCEP 分析。而试验三与试验一相比在该地区分析没有太大改变,及 u 风分析比 NCEP 分析偏强。

4.4 925 hPa 高度场和风场分析

对于 2014 年 6 月 29 日 00 UTC 925 hPa NCEP 高度的分析场及试验一、试验二、试验三的分析场和偏差场(图略)与 850 及 700 hPa 有着相似的结果。即试验二、试验三比较接近,但与 NCEP 分

析有所差异,差异主要在四川中北部地区比试验一及 NCEP 偏高。从偏差场看试验二、试验三在该地区分析场高度均偏高,试验三的偏差更大,试验二偏差略小些。925 hPa 风场三组试验间偏差(图略),同样看出在东南部的江西、福建、湖南等地偏差较大,三组试验与 NCEP 分析场比在该地区偏高,偏差场看试验二与试验一的差为负值,说明试验二在该区的分析结果减弱,更接近 NCEP 分析。而试验三与试验一相比在该地区分析没有太大改变,及 u 风分析比 NCEP 分析偏强。

4.5 24 h 预报场分析及降水预报

用 2013 年 6 月 29 日 00 时 UTC 的三组方案资料经过 Grapes3DVAR 资料同化后分别进行 24 h 预报。图 9 是 700 hPa u 风场三组方案 24 h 预报及

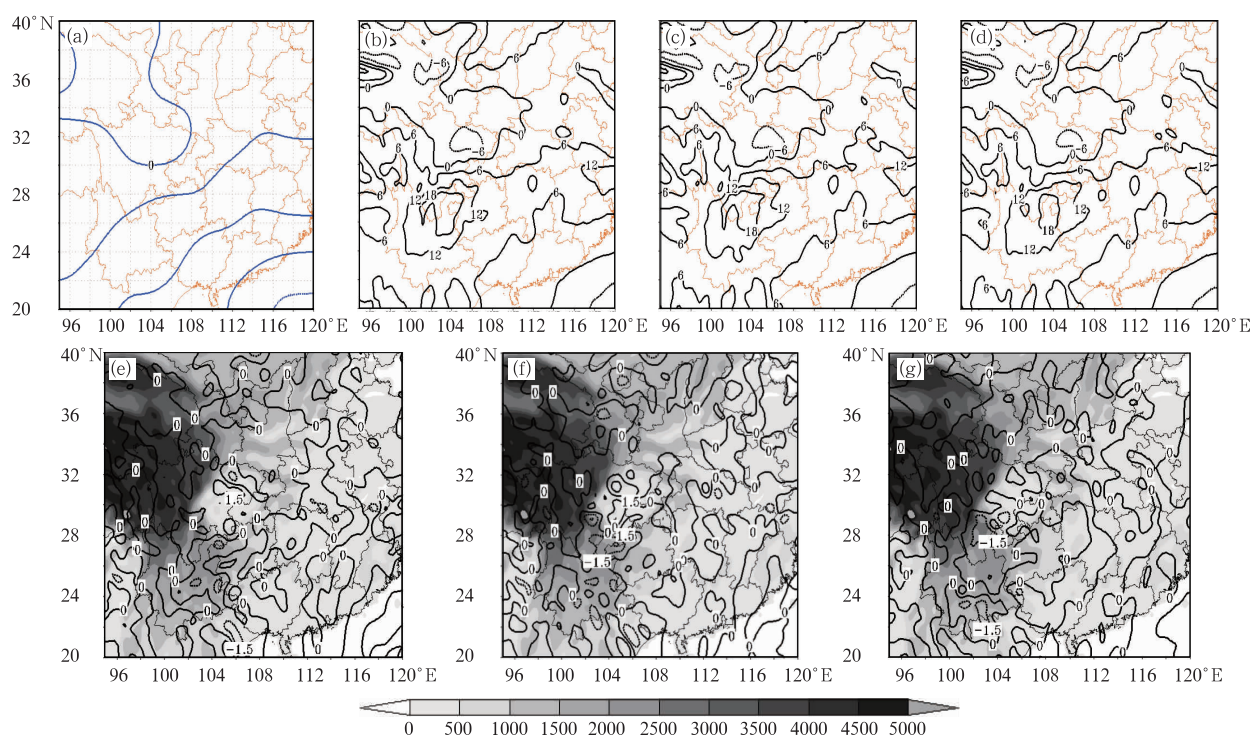


图 9 2014 年 6 月 29 日 00 UTC 起报 24 h 700 hPa u 风场的预报场及 NCEP 的 700 hPa 分析场(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

(图中底图表示地形高度场)

(a) NCEP 分析场, (b) 试验一分析场, (c) 试验二分析场, (d) 试验三分析场,
(e) 试验二与试验一的偏差, (f) 试验三与试验一的偏差, (g) 试验三与试验二的偏差

Fig. 9 The 700 hPa u wind analysis field of NCEP and 24 h forecast in three group experiments at 00 UTC 29 June 2014 (unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

(The underlying map shows terrain height)

(a) analysis field of NCEP, (b) 24 h forecast of the 1st experiment, (c) 24 h forecast of the 2nd experiment,
(d) 24 h forecast of the 3rd experiment, (e) the bias of the 2nd experiment and the 1st experiment,
(f) the bias of the 3rd experiment and the 1st experiment, (g) the bias of the 3rd experiment and the 2nd experiment

三组试验间 u 风场的偏差场和 NCEP 6 月 30 日 00 UTC 的 700hPa u 风场分析场,从图 9a、9b、9c、9d 中看出三种方案在四川盆地预报的风场明显比 NCEP 风场偏强,而偏差场图 9e、9f、9g 看试验二、试验三在该地区风场有所调整,偏差均为负偏差,即试验二、试验三在该地区都比试验一风场减小,更接近 NCEP 风场,对试验一有一定的改进作用。但试验二、试验三在该区域对风场调节的值较小,且两者差异较小,不超过 $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。同样 850 hPa 风场 24 h 预报都有类似的预报结果(图略)。

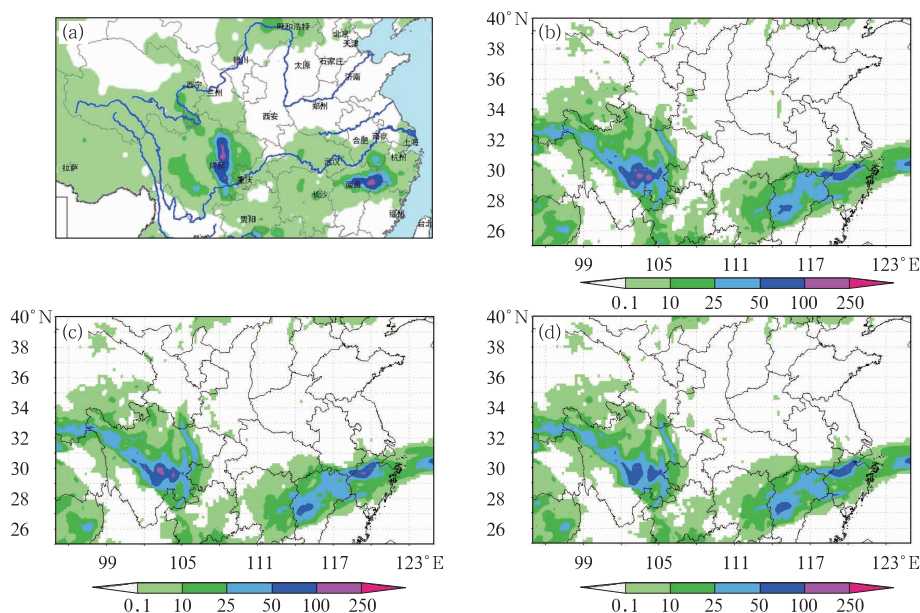


图 10 2014 年 6 月 29 日 00 UTC 起报试验一、试验二、试验三间 24 h 降水预报场和降水实况(单位:mm)

(a) 实况降水, (b) 试验一 24 h 降水预报, (c) 试验二 24 h 降水预报, (d) 试验三 24 h 降水预报

Fig. 10 24 h observed precipitation (a) and (b) 24 h forecast of the 1st experiment, (c) 24 h forecast of the 2nd experiment, (d) 24 h forecast precipitation of the 3rd experiment at 00 UTC 29 June, 2014 (unit: mm)

5 连续试验及检验

个例试验主要针对 2013 年 6 月 29—30 日三组试验对比看出试验二与试验三对试验一有一定的改进作用,特别是高山站资料当探空资料使用对风场改进效果更加明显。连续试验是从 2013 年 6 月 19 日 00 UTC 到 28 日 00 UTC,通过连续 10 d 同化分析与 24 h 预报分析比较看三组试验表现。

5.1 偏差场的概率密度函数分布

图 11 是三组连续试验 u 风场分析场的信息向

图 10 为 2014 年 6 月 29 日 00 UTC 起报三组试验 24 h 降水预报场(图 10b、10c、10d)和 24 h 实况降水(图 10a)。三组试验降水预报强度走向与实况降水都有一定的差异,但从 24 h 降水预报场图 10b 看,试验一对西南地区的降水预报范围偏大,强度也偏强,相比之下图 10c 试验二对西南地区降水强度和位置略优于试验一和试验三,图 10d 试验三对该区域降水强度比实况明显偏弱(孙兴池等, 2012;陈哲等, 2013)。

量(观测与背景场的偏差)和分析余差(观测与分析场偏差)的概率密度函数分布。从中看出三组试验差异不大,都是分析后偏差概率密度函数有所改进,分析后较之前概率密度函数分布变窄,更接近零线,成正态分布;即分析后偏差小于分析前的偏差。如果分别分析 850 和 925 hPa 的偏差与信息向量,同样看到三组试验两者差异不大。说明连续试验三组试验分析场间差异不显著(图略)。

5.2 降水评分

图 12 是 2013 年 6 月 19—28 日连续 10 d 试验二和试验三在西南地区 and 西北地区 24 h 降水预报

检验评分比较。图 12a 是西南地区 24 h 降水预报 ETS(Equitable Threat Score)评分,试验二在小雨、中雨、暴雨量级评分上都要好于试验三;图 12b 是西南地区预报的偏差 B 值(Bias),在大雨、暴雨、特大暴雨量级上试验二都小于试验三,即试验二比试验三在预报偏差要小。图 12c 是西北地区的 24 h 降水预报 ETS 评分,试验二在小雨量级评分上都要好于试验三;大雨、暴雨与试验三 ETS 评分相当,中雨评分略差于试验三。图 12d 是西北地区预报的偏差

B 值,在中雨、暴雨量级上都小于试验三,即试验二比试验三在预报偏差要小,在其他量级上与试验三的偏差基本一致。从图 12 西南、西北地区的 24 h 降水预报评分看试验二的结果要优于试验三,预报偏差试验二也要小于试验三或相当,即高山站资料当探空资料使用预报效果较其当地面资料使用在对降水预报的结果要更好些,这与在同化中考虑了同化高山站中风场信息有关。

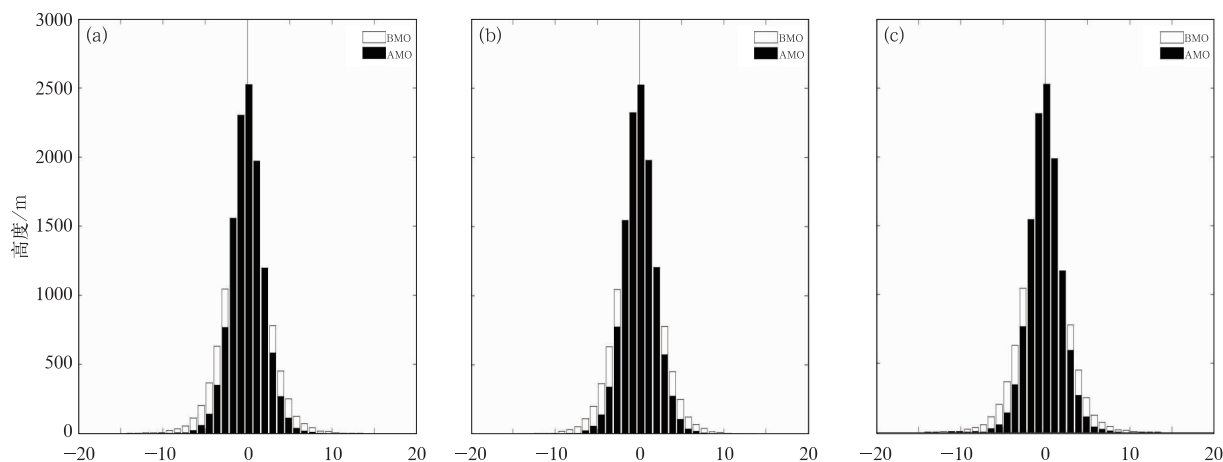


图 11 三组连续试验 u 风分析场的信息向量和分析余差概率密度函数分布

(a) 试验一, (b) 试验二, (c) 试验三

Fig. 11 Distribution of probability density function for three group experiments
 u wind analysis innovation and residual

(a) the 1st experiment, (b) the 2nd experiment, (c) the 3rd experiment

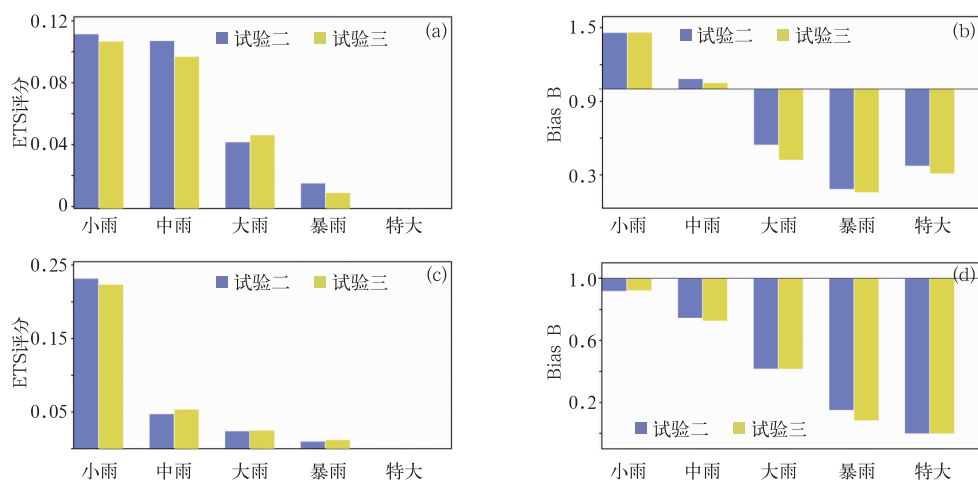


图 12 2013 年 6 月 19—28 日连续 10 d 试验二和试验三 24 h 降水预报检验评分比较(西南区、西北区)

(a) ETS 评分(西南区), (b) 预报偏差(西南区), (c) ETS 评分(西北区), (d) 预报偏差(西北区)

Fig. 12 The verification of rainfall forecast for southwest and northwest of China

(a) ETS of 24 h rainfall forecast for southwest of China, (b) bias of model forecast for southwest of China,
(c) ETS of 24 h rainfall forecast for northwest of China, (d) bias of model forecast for northwest of China

6 结论与讨论

本文通过将地面观测资料中的高山站观测在 GRAPES3Dvar 同化中不同的使用方式的比较,分析比较高山站资料当探空观测资料同化和当地面资料同化使用对资料同化分析预报产生的影响,同时还进行了个例试验和连续试验,得到以下主要结论:

(1)通过个例试验结果表明:三组试验分析场差异最大的地方多在增加高山站的地方即高原东部四川盆地地区。从个例分析场看:地面高山站资料当探空使用进行资料同化对 500~925 hPa 风场分析都有一定的调整作用,其分析结果更加接近 NCEP 分析场,即高山站资料当探空资料使用在高原表现有正效果,温度场也有一定影响(图略),其他变量影响不大。

(2)对于个例试验 24 h 850 和 700 hPa 高度和风场预报表现:三组试验结果虽然试验二、试验三都要相比试验一结果更加接近 NCEP 分析场,但试验二、试验三间差异并不显著;而 24 h 降水预报:试验二、试验三相比试验一的预报在降水强度和位置预报上有微弱的正影响。

(3)连续试验的降水检验表明:在高山站较多的西南区高山站资料当探空资料使用进行同化时在小雨、中雨、暴雨量级,无论是 24 h 降水预报的 ETS 评分还是预报偏差 B 值都明显优于高山站资料当地面资料进行同化的结果;在西北区试验二在小雨、大雨也要优于试验三;但在全国区 24 h 降水预报检验试验二与试验三差异不显著。

本文通过将地面观测资料中高山站资料当探空资料同化使用和当地面资料使用,进行资料同化分析比较发现:高山站资料当探空资料使用对 850 和 700 hPa 等层次风场分析也有一定的正效果,同时对降水预报强度的改进起到积极的作用。但也要看到两组试验差异并不是非常大。本文试图将地面高山站资料作为探空资料的补充在资料同化中使用做些初步的尝试,为高山站资料进一步应用研究打下基础。当然试验受资料范围和时间限制,资料同化中地面观测同化算子与探空资料使用的是相同的观测算子等限制,地面高山站资料的特性还未充分发挥出来,还有待后面作进一步的研究工作。

参考文献

白莹莹,张森,李强,等. 2014. 四川盆地夏季降水区域差异及其与季

风的联系初探. 气象, 40(4): 440-449.

陈德桥,戴泽军,叶成志,等. 2012. 南岳高山站 1953—2010 年风的气候特征分析. 气象, 38(8): 977-984.

陈静静,叶成志,陈红专,等. 2011. “10.6”湖南大暴雨过程 MCS 的环境流场特征及动力分析. 暴雨灾害, 30(4): 313-320.

陈哲,吴茜,熊安元,等. 2013. 中国探空位势高度资料的非均一性检验与订正. 气象, 39(10): 1337-1343.

郝民,龚建东,王瑞文,等. 2015. 中国 L 波段探空湿度观测资料的质量评估及偏差订正. 气象学报, 73(1): 187-199.

郝民,田伟红,龚建东. 2014. L 波段秒级探空资料在 GRAPES 同化系统中的应用研究. 气象, 40(2): 172-180.

郝民,张华,陶士伟,等. 2013. 变分质量控制在区域 GRAPES-3DVAR 中的应用研究. 高原气象, 32(1): 122-132.

李岩松,徐枝芳,范广州,等. 2014. 船舶海平面气压观测资料质量控制. 应用气象学报, 25(2): 222-230.

刘为一. 2014. 2014 年 3—5 月 T639, ECMWF 及日本模式中期预报性能检验. 气象, 40(8): 1019-1025.

孙兴池,王西磊,周雪松. 2012. 纬向切变线暴雨落区的精细化分析. 气象, 38(7): 779-785.

陶士伟,陈晓红,龚建东. 2006. L 波段探空仪温度资料误差分析. 气象, 32(10): 46-51.

徐枝芳,龚建东,王建捷,等. 2006. 地面观测资料同化初步研究. 应用气象学报, 17(S): 1-10.

徐枝芳,龚建东,王建捷,等. 2007. 复杂地形下地面观测资料同化 I 模式地形与观测站地形高度差异对地面资料同化的影响研究. 大气科学, 31(2): 222-232.

叶成志,陈静静,傅承浩. 2012. 南岳高山站风对湖南 2011 年 6 月两例暴雨过程的指示作用. 暴雨灾害, 31(3): 242-247.

王金成,龚建东,邓莲堂. 2014. GNSS 反演资料在 GRAPES_Meso 三维变分中的应用. 应用气象学报, 25(6): 654-667.

张利红,李跃清,秦宁生,等. 2011. 青藏高原坡面观测信息对我国夏季降水预报的作用. 气象, 37(10): 1233-1240.

庄照荣,薛纪善,韩威,等. 2014. 探空观测黑名单检查在变分同化系统中的应用. 应用气象学报, 25(3): 274-283.

Darker D M, Huang W, Guo Y R, et al. 2003. A Three-dimensional Variational (3DVAR) Data Assimilation System for Use with MM5. NCAR Tech Note, NCAR/TN-453+STR, 2003a: 1-68.

Guo Y R. 2002. Application of the MM5 3DVAR System for a Heavy Rain Case over the Korean Peninsula. Papers Presented at the Twelfth PSU/NCAR Mesoscale Model Users' Workshop NCAR, June 24-25.

Lazarus S M, Ciliberti C M, Horel J D. 2002. Near-real-time application of a mesoscale analysis system to complex terrain. Weather Forecasting, 17: 971-1000.

Ruggiero F H, Sashegyi K D, Madala R V, et al. 1996. The use of surface observations in four-dimension data assimilation using a mesoscale model. Mon Wea Rev, 124(5): 1018-1033.