

贾旭伟,李旭,张莹,等.基于低频振荡的西北地区中西部延伸期降水预报研究[J].干旱气象,2016,34(3):553-559, [JIA Xuwei, LI Xu, ZHANG Ying, et al. Study on Extended-range Precipitation Forecast Based on Low Frequency Oscillation in Midwest Region of Northwest China[J]. Journal of Arid Meteorology, 2016, 34(3):553-559], DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2016)-03-0553

基于低频振荡的西北地区中西部 延伸期降水预报研究

贾旭伟^{1,2},李旭¹,张莹³,尚可政¹,乐满¹,王式功³

(1. 兰州大学大气科学学院, 甘肃省干旱气候与减灾重点实验室, 甘肃 兰州 730000;

2. 中国人民解放军93544部队, 河北 保定 072655; 3. 成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都 610225)

摘要:对1980—2014年的NCEP/NCAR 3个层次(200 hPa、500 hPa和700 hPa)多个要素场逐日格点资料进行Butterworth带通滤波,保留周期为30~60 d的低频信号,通过周期分析、双评分标准筛选和最优子集回归方法对2011—2014年全球6—8月各要素场预报日前150 d的低频数据进行逐日外延(至未来30 d)。在此基础上,通过逐步相似过滤方法对西北地区中西部44个台站2011—2012年夏季降水进行10~30 d的预报及效果检验。结果表明:(1)对低频要素场的拟合准确度随预报时效增长逐步降低,后期趋于稳定;且各层次各低频要素相应的大部分关键区通过0.05显著性水平检验;(2)当相似个例中降水个例数 ≥ 3 时预报当日有降水,其对应的Cs评分最高,44个台站的Cs评分均值为0.585,且Cs评分整体高于气候概率值。因此,利用该预报方法进行降水预报是可行的,可用于实际业务中。

关键词:低频信号;周期分析;逐步相似过滤;延伸期预报

文章编号:1006-7639(2016)-03-07-0553 DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2016)-03-0553

中图分类号:P456

文献标识码:A

引言

随着数值预报技术、现代化观测手段的广泛应用和计算条件的不断改善,使得天气预报定时、定点、量化进程较以往有了长足的进步,各级气象台的短时临近、短期、中长期的预报能力有了很大程度的提高^[1-4]。但是,介于常规天气预报和气候预测之间10~30 d的延伸期预报仍是目前业务预报中的一个“盲点”和难点。国内外研究学者普遍认为大气低频季节内振荡可作为联系数值天气预报和季节预报的桥梁,填补中期预报与短期气候预测之间的延伸期预报时段缝隙^[5]。实现延伸期预报,意味着真正做到“无缝隙预报”,这将增强政府在防灾减灾决策方面的前瞻性和主动性,因此,基于低频天气图的延伸期预报成为当前延伸期预报方法中的一个研究热点。

近年来,基于低频天气图的延伸期预报方法已经在部分省市进行了试预报,并取得了不错的效果^[6-10]。然而,如何对关键区域内低频系统的生消与移动规律及各高低值系统之间的配置进行归纳整理,发掘出低频天气系统活动规律与天气过程及气象要素(降水、温度)之间的有机联系,这需要预报员有扎实的低频天气理论知识,且低频系统的周期确定需要长期的预报经验积累,预报员的主观经验对预报结果的影响较大。因此,利用客观分析方法,结合历史资料充分挖掘低频天气图中的低频信号,并对其进行逐日延伸期预报就显得尤为重要。

相似预报方法能够考虑天气发展过程的三维结构特征,并且兼顾大气变化本身线性和非线性变化规律^[11],具有思路明确、直观性强等特点,所以,至今仍有极其旺盛的生命力和应用价值。本文针对利用低频天气图进行延伸期预报时遇到的困难以及逐

收稿日期:2015-11-03;改回日期:2016-01-18

基金项目:干旱气象科学研究基金(IAM201404)、兰州大学中央高校基本科研业务费专项资金(lzujbky-2015-6, lzujbky-2014-103)和国家自然科学基金面上项目(41275070, 41575138)共同资助

作者简介:贾旭伟(1988-),男,甘肃平凉人,硕士研究生,主要从事现代天气预报技术和方法的研究. E-mail: jiaxu13@lzu.edu.cn

通讯作者:李旭(1983-),男,博士,主要研究方向为现代天气预报技术. E-mail: lixu07@lzu.edu.cn

步相似过滤方法的优势,在周期分析、双评分标准筛选和最优子集回归方法对各层次对应低频天气信号(形势)进行延伸的基础上,应用逐步过滤方法就西北地区中西部延伸期降水进行预报,并对预报结果进行检验。

1 资料和方法

1.1 资料来源

本文所用资料为:(1)1980—2014 年的 NCEP/NCAR 3 层(200 hPa、500 hPa 和 700 hPa)逐日格点资料,各层均包含 5 个基本量:位势高度、湿度、 U/V 风以及垂直速度。水平分辨率为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$;(2)西北地区中西部 44 个台站(图 1)1980—2014 年逐年 5 月 1 日—9 月 30 日的逐日降水资料,来源于中国气象科学数据共享服务网(<http://data.cma.cn/>)。

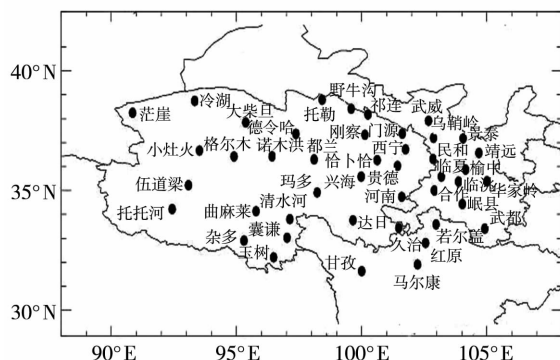


图 1 气象站点位置分布

Fig. 1 The location of meteorological stations in study area

1.2 研究思路与方法

1.2.1 研究思路

利用外延的低频天气图进行延伸期降水预报的研究思路具体如下:

第一步:利用 Butterworth 带通滤波器对 1980 年 1 月 1 日—2014 年 12 月 31 日的 NCEP/NCAR ($2.5^\circ \times 2.5^\circ$) 3 层逐层的 5 个基本气象要素场进行滤波处理(保留 30~60 d 周期),得到对应层次不同要素场的逐日低频资料;

第二步:将 2011—2014 年每年 5 月 23 日—8 月 1 日各层次各格点上的不同气象要素前期 150 d 的低频资料去掉相应日期的气候平均值(基准期为 1980—2010 年),利用主周期分析、双评分标准筛选和最优子集回归方法对其分别进行拟合,并外延至未来 30 d;

第三步:对第二步中外延后的低频要素进行 9 点平滑,再叠加上预报日的气候平均值,生成预报当日对应的低频要素场;

第四步:利用气候距平相关系数对不同层次不同区域的拟合效果进行对比评价,并对相应关键区进行显著性水平检验。依据低频波的主要活动区域,依次对全球、南半球、北半球, 10°S — 10°N 、 30°S — 30°N 、 60°S — 60°N 及南北半球 10° — 30° 、 30° — 60° 、 60° — 90° 区域内的气候距平相关系数分别进行对比分析;

第五步:就生成的低频要素场,通过逐步相似过滤方法找出历史上(1980—2010 年逐年 5 月 1 日—9 月 30 日) 10 个最优相似个例,结合 1980—2010 年西北地区中西部 44 个台站的逐日降水资料得到该区域降水的延伸期预报,并利用 2013—2014 年每年 6 月 1 日—8 月 31 日的降水资料确定最优相似个例数,2011—2012 年每年 6 月 1 日—8 月 31 日的降水资料用于预报效果检验。

1.2.2 研究方法

(1) 气候距平相关系数

气候距平相关系数^[2] (Climatic Anomaly Correlation Coefficient, 简称 CACC) 反映了对槽脊位置及强度的预报效果,由于其利用实况值和预报值与平均气候态的距平相关,避免了因倾向相关系数随预报时效增加而可能出现的虚假增长现象^[12]。

(2) 相似离度

相似预报方法中相似性判据的选取对相似预报的质量有至关重要的意义。相似离度方法^[13] 是目前应用较多的相似判据之一,其优点在于既能分析样本之间的形相似,又能体现它们之间的值差异。

2 低频天气图预报结果分析及检验

2.1 区域平均气候距平相关系数分析

对 2011—2014 年夏季各层(200 hPa、500 hPa、700 hPa)各格点 5 个低频气象要素(位势高度、湿度、 U/V 风和垂直速度)分别进行周期分析^[14] (均生函数)、双评分标准筛选^[15] 及最优子集回归得到相应的预报场,并分别求出不同层的 5 个低频要素预报场与实况场的气候距平相关系数。通过分析 3 层逐层 5 个要素场在不同区域平均气候距平相关系数的分布趋势(图略),发现随着预报时效的增长,平均气候距平相关系数整体呈下降趋势,前期降幅快,后期降幅减缓,最终趋于稳定;整体而言,气候距平相关系数的全球值 > 南半球值 > 北半球值, 10°S — 10°N 区域值 > 30°S — 30°N 区域值 > 60°S — 60°N 区

域值,值得注意的是,上述3类分法所求得的不同区域的气候距平相关系数值差异均较小;南北纬 10° — 30° 、 30° — 60° 和 60° — 90° 平均气候距平相关系数正负交错分布,无明显变化规律。经计算,全球通过 $\alpha=0.05$ 显著性水平的格点数达到49.57%,通过 $\alpha=0.01$ 显著性水平的格点数达到20.71%。其中中国周边的印度洋中部、南部,太平洋中西部及东部部分地区,贝加尔湖地区及中亚部分地区等中心相关系数均超过0.6,通过了 $\alpha=0.001$ 的显著性水平。因此,通过均生函数、双评分标准筛选和最优子集回归方法对低频信号进行预报拟合具有一定的可行性和可信性。

2.2 西北地区中西部低频天气系统关键区 CACC 分析及检验

周期分析、双评分标准筛选及最优子集回归方法对低频信号的拟合准确与否,很大程度上决定了这些客观分析方法在延伸期业务预报中的可行性和可推广性。考虑低频天气图方法在日常延伸期业务预报中的不足,有必要通过客观的预报方法对拟合出的低频天气图进行释用,减少人为因素的影响,从而更加快速、客观地得出预报结论。基于此,本文尝

试将周期分析、双评分标准筛选及最优子集回归这3类方法运用于我国西北地区中西部延伸期降水预报中,以进一步检验其预报效果。

前人的研究^[16]表明,影响中国西北地区降水天气过程的6个低频关键区分别为西西伯利亚、新疆—贝加尔湖、中亚、孟加拉湾、青藏高原和西太平洋地区。利用2011—2014年不同层次不同低频要素场夏季样本,对上述6个关键区域的气候距平相关系数进行显著性检验。图2为500 hPa低频高度场预报第10天、第20天和第30天中国及周边地区气候距平相关系数分布图。可以看出,500 hPa低频高度场在预报第10天、第20天、第30天时,西西伯利亚东部及南部、新疆—贝加尔湖、青藏高原东部及南部、孟加拉湾、西太平洋大部分地区及中亚的哈萨克斯坦南部地区的气候距平相关系数均通过显著性水平检验,其中新疆北部、贝加尔湖、孟加拉湾北部及我国东南沿海部分地区的气候距平相关系数尤为显著,均通过了 $\alpha=0.01$ 显著性水平。

经分析其余各层次低频要素场所对应关键区的显著性水平检验情况(图略),发现除了中亚地区200 hPa低频U风场、500 hPa和200 hPa低频垂直

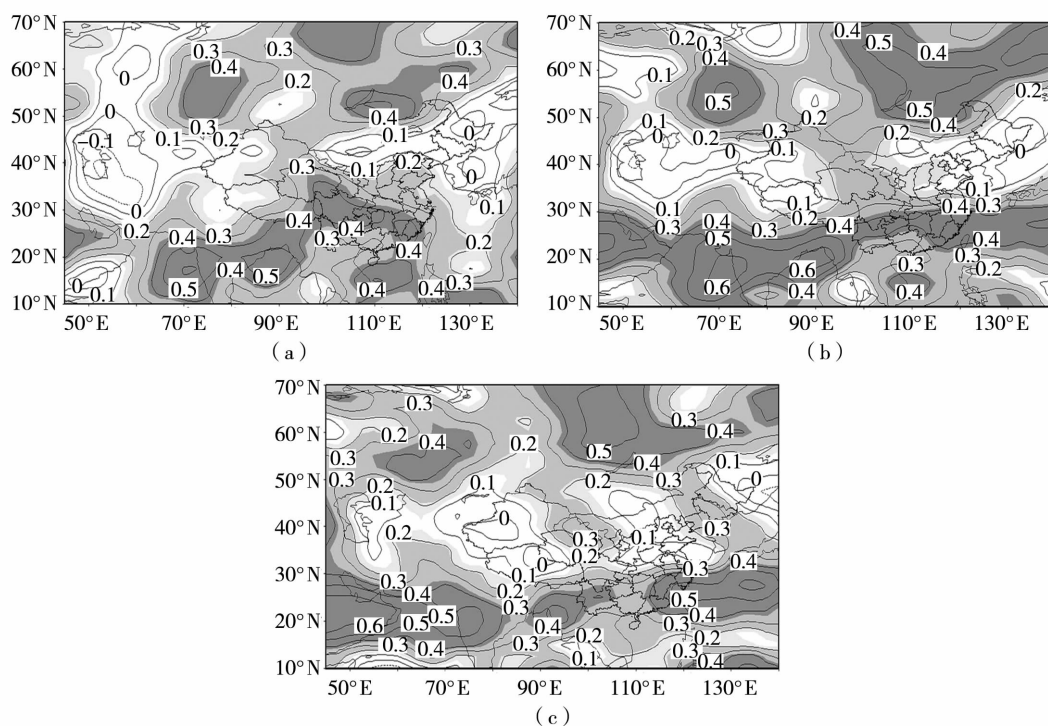


图2 预报的第10天(a)、20天(b)、30天(c)中国及周边地区500 hPa低频高度场气候距平相关系数分布(阴影区由浅到深分别表示通过0.1、0.05、0.01显著性水平)

Fig.2 The correlation coefficients distribution of climatic anomaly of 500 hPa low-frequency height fields over China and surrounding areas for the 10th day (a), the 20th day (b) and the 30th day (c) forecast results (the shaded area from shallow to deep for passing the significance level of 0.1, 0.05 and 0.01)

速度场,孟加拉湾 700 hPa 低频高度场、500 hPa 低频湿度场和低频 V 风场未通过显著性水平检验外,其余关键区所对应的不同层次不同低频要素场均通过了显著性水平检验。

通过上述分析可知,利用周期分析、双评分标准筛选和最优子集回归方法对低频信号外延的整体效果较好,可为下一步的延伸期降水预报提供科学的理论及数据支撑。

3 逐步相似过滤方法的释用及预报效果检验

3.1 相似预报流程

一般而言,不同的气象要素场,其形态分布及数值大小所对应的天气现象有所不同^[17],所以相似离度中参数 α 和 β 的大小随要素场的不同而不同,如对于高度场,主要考虑形相似, α 的取值可稍大一些;对于湿度场和垂直速度场而言,主要考虑的是值相似, β 的取值可稍大一些。但是 α 和 β 的取值并没有一个固定的标准,本文通过一些经验公式和试凑法^[18]等反复试验,最终挑选出不同低频要素对应的 α 和 β 值,具体取值如表 1 所示。

表 1 各气象要素场 α 、 β 取值

Tab. 1 The values of α and β for different meteorological elements

	α	β
高度场	2	1
湿度场	1	1
U 风场	2	1
V 风场	2	1
W 风场	1	2

选择适当的关键区是做好延伸期相似预报的关键,在上述 6 个关键区的基础上,结合影响西北地区中西部降水天气过程中系统的生成区域、移动路径、水汽源地、输送通道等因素,经过综合考虑,最终选取 3 个区域(图 3),通过计算区域内格点上的低频要素相似离度,选出最优相似个例。

考虑气候背景及天气变化周期,以 2011—2014 年夏天各层次各个低频拟合要素场为基础,计算与其前后相差 30 d 以内的 1980—2010 年对应历史低频要素场的相似离度,然后按照相似离度从小到大的顺序排序。结合西北地区中西部的气候特征、天气变化周期、降水成因及上述拟合方法(周期分析、双评分标准筛选和最优子集回归方法)对各层次各

低频要素场的拟合效果,经反复试验,得出最佳过滤方案。具体过滤步骤见图 4,首先对预报日 500 hPa 低频高度场进行相似过滤,然后选取 200 个最相似个例,在这 200 个最相似个例中,通过 U 风场的过滤得到 100 个最相似个例,以此类推,经过其它要素场的逐步过滤,得到 10 个最优相似个例,若这 10 个个例中有 α 个个例有降水($R \geq 0.1$ mm 作为降水的判定标准)发生,则预报该日有降水,否则,预报该日无降水,以 Cs 评分为标准,调整 α 数值,找到最合适的判据。

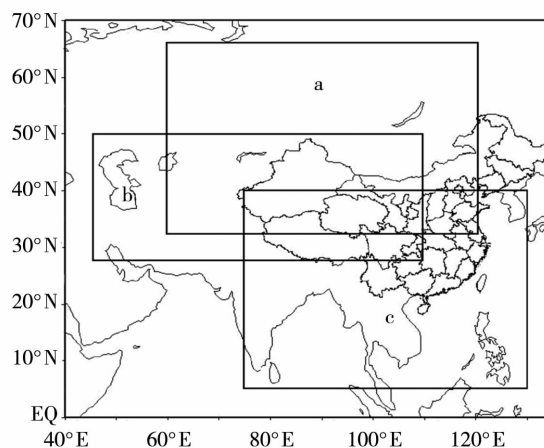


图 3 低频天气系统关键区示意图

Fig. 3 The key regions of low-frequency weather system

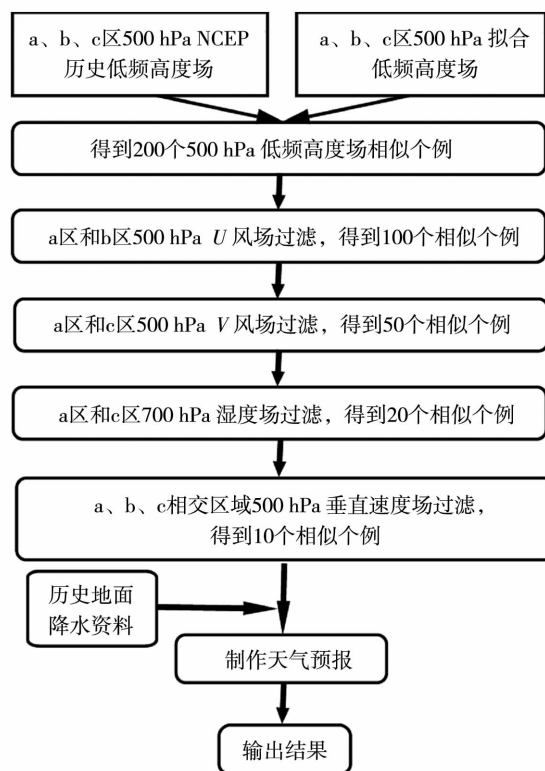


图 4 逐步相似过滤流程图

Fig. 4 Flow chart of step by step similar filtering

3.2 预报结果检验

根据上述方案,利用2011—2014年夏季各低要素场的拟合产品制作西北地区中西部10~30 d的降水预报,并依照气预函[2013]43号文中规定的Cs评分标准对预报效果进行检验。

$$Cs = \frac{\text{预测正确日数}}{\text{预测正确日数} + \text{空报日数} + \text{漏报日数}} \quad (1)$$

利用上述逐步相似过滤方案得到的10个最优相似个例进行未来10~30 d降水预报过程中,对于

降水相似个例数与实际降水的关系通过2013—2014年西北地区中西部44个台站的Cs评分进行进一步探讨。经计算,当降水相似个例数 $\alpha < 3$ 时,空报率太高;当 $\alpha \geq 7$ 时,漏报率太高;Cs评分均较低。而在 α 分别 $\geq 3, 4, 5, 6$ 的情况下,其所对应44个台站Cs评分的均值分别为0.571、0.549、0.511、0.429,即 $\alpha \geq 3$ 时,实况出现降水的概率整体达到最大(图5)。也就是说,某台站对应的10个最优相似个例中,如果出现降水的相似个例数达到3个以上,该台站出现降水的可能性最大。

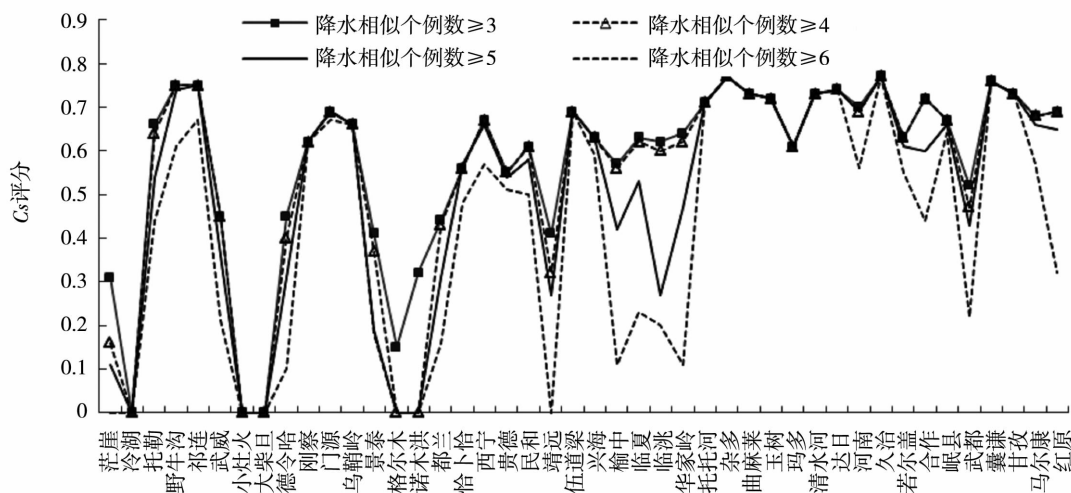


图5 不同降水相似个例数所对应的Cs评分

Fig. 5 The corresponding Cs scores of similar cases for different precipitation processes

通过计算西北地区中西部44个台站降水相似个例数 $\alpha \geq 3$ 时对应未来10~30 d降水预报的Cs评分(2011—2012年均值),结果如图6a所示,Cs评分最高的台站为达旦,高达0.801;最低的为冷湖,仅为0.003。整体而言,台站的Cs评分普遍高于气候概率值(1981—2010年这30 a有无降水的气候概率),但冷湖、小灶火及大柴旦3个台站的Cs评分低于气候概率值,究其原因,可能与其特殊的地理位置、气候条件有关,例如冷湖其气候概率值仅为0.081,说明该地区夏季历史降水稀少,因此,该站点对应的10个最优相似个例中出现降水个数 ≥ 3 的概率极小,从而导致Cs评分极低。经计算,有6个台站的Cs评分在0.300以下,它们均位于青海西北部,占总台站数的13.60%;Cs评分在0.300~0.500之间的台站有3个,分别为武威、景泰以及靖远;Cs评分 > 0.500 的台站有35个,占到总台站数的79.5%。说明利用该方法进行延伸期降水预报,总体预报效果较好。

44个台站Cs评分所对应的均方差分布在0.02

上下波动,茫崖与格尔木站的均方差最大,分别为0.068及0.077。44个台站的Cs评分均表现出较好的稳定性,即随着预报时效增长,Cs评分变化不大。以久治为例,该台站在整个预报期之内(10~30 d),Cs评分的最大值和最小值分别为0.784(第10天)与0.748(第30天),二者仅相差0.036。由此可知,利用该方法在对西北地区中西部进行延伸期降水预报的过程中,Cs评分随预报时效的增长,整体呈现平稳状态,进一步说明该方法进行延伸期降水预报的可行性。

图6b为44个台站对应的Cs评分的空间分布,Cs评分呈现“鞍型场”分布,其中高值中心位于青海省东部,该中心南北部均为高值区,东西部为低值区,且东部Cs评分整体高于西部。

与此同时,利用上述逐步相似过滤方案对西北地区中西部44个台站的日降水 $R \geq 1$ mm和 $R \geq 5$ mm的预报效果通过Cs评分分别进行检验(图略)。结果显示:当相似个例中 $R \geq 1$ mm的个例数 $\alpha \geq 2$ 时,实况出现 $R \geq 1$ mm的概率整体达到最大,Cs评

分均值为 0.519。Cs 评分最高的台站为久治,可达 0.672;由于部分台站(冷湖、小灶火)降水量较小,加之预报本身的误差,其 Cs 评分为 0;有 6 个台站(茫崖、冷湖、小灶火、大柴旦、德令哈和格尔木)的 Cs 评分低于其气候概率值。对于 $R \geq 5$ mm 预报效果进行 Cs 评分发现,当相似个例中 $R \geq 5$ mm 的个

例数 $\alpha \geq 1$ 时,实况出现 $R \geq 5$ mm 的概率整体达到最大,Cs 评分均值为 0.342;Cs 评分最高的台站为甘孜,可达 0.478;6 个台站(茫崖、冷湖、小灶火、大柴旦、格尔木和诺木洪)的 Cs 评分低于其气候概率值,且随着降水量不同,二者的 Cs 评分均保持了较好的稳定性。

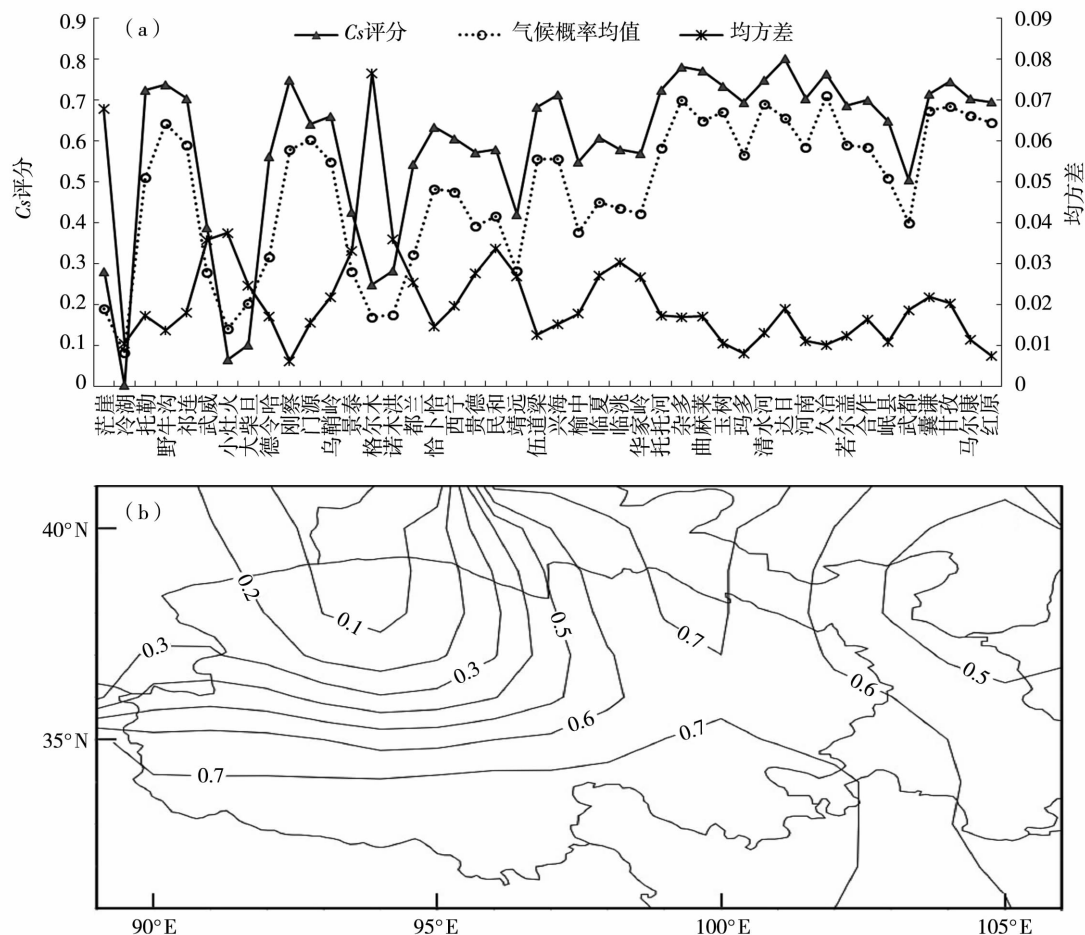


图6 44个台站Cs评分的均值、均方差(a)及均值空间分布(b)

Fig.6 Mean values and their mean square deviations of Cs score in 44 stations (a) and mean values' spatial distribution

4 结 论

(1) 随着预报时效的增长,平均气候距平相关系数整体呈下降趋势,前期降幅快,后期降幅减缓,最终趋于稳定,且西北地区中西部降水所对应的大部分关键区不同层次的不同低频要素场均通过 $\alpha = 0.05$ 显著性水平。因此,通过均生函数、双评分标准筛选和最优子集回归方法对低频信号进行预报拟合具有一定的可行性和可信性。

(2) 在进行逐步相似过滤时,当各台站的降水相似个例数 $\alpha \geq 3$ 时,对应的 Cs 评分均值最高,44 个台站的 Cs 评分均值为 0.585。

(3) 西北地区中西部的 44 个台站中,有 6 个台站的 Cs 评分均值 < 0.300 ,均位于青海西北部;Cs 评分均值在 0.300 ~ 0.500 之间的 3 个台站分别为武威、景泰以及靖远;Cs 评分均值 > 0.500 的台站有 35 个,占到总台站数的 79.50%。

(4) 整体而言,通过逐步相似过滤对 44 个台站降水 $R \geq 0.1$ mm 预报的 Cs 评分均值为 0.571, $R \geq 1$ mm 预报的 Cs 评分均值为 0.519, $R \geq 5$ mm 预报的 Cs 评分均值为 0.342,上述 3 类的 Cs 评分均值整体高于气候概率值,且随着预报时效的增长,Cs 评分均值整体趋于稳定。检验效果表明该预报方法是有效的,可用于实际业务预报。

运用周期分析、双评分标准筛选和最优子集回归方法对低频信号进行延伸,并在此基础上通过逐步相似过滤方法对相应区域进行延伸期气象要素的预报是可行与可信的,可用于业务化推广。

参考文献

- [1] 薛继善. 和预报员谈数值预报[J]. 气象, 2007, 33(8): 3-11.
- [2] 孔玉寿, 章东华. 现代天气学预报技术(第二版)[M]. 北京: 气象出版社, 2005. 41-74.
- [3] 张大林. 大气科学的世纪进展与未来展望[J]. 气象学报, 2005, 63(5): 812-824.
- [4] 罗勇, 王绍武, 党鸿雁, 等. 近20年来气候模式的发展与模式比较计划[J]. 地球科学进展, 2002, 17(3): 372-377.
- [5] 梁萍, 丁一汇. 基于季节内振荡的延伸预报试验[J]. 大气科学, 2012, 36(1): 102-116.
- [6] 孙国武, 孔春燕, 信飞, 等. 天气关键区大气低频波延伸期预报方法[J]. 高原气象, 2011, 30(3): 594-599.
- [7] 杨慧娟, 郭品文. 上海市夏季降水延伸期的预报方法[J]. 南京信息工程大学学报(自然科学版), 2012, 4(2): 132-138.
- [8] 陈青, 廖玉芳, 杨书运, 等. 低频天气图方法在湖南省雨季强降水过程预报中的应用[J]. 气象, 2014, 40(2): 223-228.
- [9] 胡春丽, 李辑, 陈伯民, 等. 低频天气图方法在辽夏季延伸期强降水预报中的应用[J]. 气象科技进展, 2013, 3(1): 64-67.
- [10] 马浩, 樊高峰, 李正泉, 等. 延伸期天气过程预报在线展示系统的设计与实现[J]. 干旱气象, 2015, 33(1): 167-173.
- [11] 李旭, 王式功, 尚可政, 等. 基于地面气象要素的延伸期相似预报方法初步研究[J]. 干旱气象, 2015, 33(2): 324-331.
- [12] 尚可政. 数值预报产品的检验订正与延伸期预报研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2010.
- [13] 李开乐. 用相似高度做台风全路径预报[J]. 海洋预报, 1987, 2(4): 1-7.
- [14] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术(第二版)[M]. 北京: 气象出版社, 2007. 239-259.
- [15] 曹鸿兴, 魏凤英, 封国林, 等. 估计模型维数的双评分准则及其应用[J]. 数理统计与应用概率, 1989, 11(1): 34-40.
- [16] 冯建英, 王芝兰, 柳媛普, 等. 延伸期干旱、沙尘暴过程低频方法预报系统简介[J]. 干旱气象, 2014, 32(5): 851-856.
- [17] 陈录元, 周海, 王式功, 等. 逐步相似过滤法在青海省4~10天降水预报中的应用[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2010, 46(2): 33-38.
- [18] 汪仲友. 运用试凑法、反推法对平面复杂机构进行速度分析和加速度分析[J]. 机械设计与制造, 1985, (5): 16-19.

Study on Extended-range Precipitation Forecast Based on Low Frequency Oscillation in Midwest Region of Northwest China

JIA Xuwei^{1,2}, LI Xu¹, ZHANG Ying³, SHANG Kezheng¹,

YUE Man¹, WANG Shigong³

- (1. College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Key Laboratory of Arid Climate Change and Disaster Reduction of Gansu Province, Lanzhou 730000, China; 2. People's Liberation Army 93544, Baoding 072655, China; 3. College of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

Abstract: By using the Butterworth band-pass filter to process the daily gridded data of multi-factors' fields of NCEP/NCAR about the three levels (200 hPa, 500 hPa and 700 hPa) from 1980 to 2014, and a 30-60 days low frequency oscillation was kept. By means of period analysis, scoring double standard screening and optimal subset regression methods, global data about low frequency elements of 150 days before forecasting days at 3 levels were fitted and extended to 30 days from June to August during 2011-2014. On this basis, the 10-30 days precipitation forecast was made and tested in 44 stations in mid-west region of Northwest China from June to August during 2011-2012 by using gradually-filtering analog method. The results are as follows: (1) The fitting accuracy of low frequency elements fields gradually reduced with the increase of forecast time length, and then it tended to be stable. Furthermore, each low frequency element at 3 levels passed the test of 0.05 significant level over the most key region. (2) When the number of similar rainfall cases was more than or equal to 3, there was a rainfall in forecast, and the corresponding Cs score was the highest. The average prediction accuracy of 44 stations was 0.585, and the Cs probability values was higher than the 30-year climatic mean (1980-2010) in general. Therefore, this method has a good application prospect for summer precipitation forecast in mid-west region of Northwest China.

Key words: low-frequency signal; period analysis; gradually-filtering analog method; extended range forecast