

甘肃庆阳极端气温气候特征及预报

吴爱敏^{1,2}, 王建²

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室,
甘肃 兰州 730020; 2. 甘肃省庆阳市气象局, 甘肃 庆阳 745000)

摘要:通过分析庆阳极端气温气候特征, 选出了代表站, 统计分析了代表站和其他站点的相关性。首先根据 ECMWF 数值预报产品, 利用支持向量机方法(CMSVM)制作了代表站的极端最高和最低气温预报模型, 在此基础上, 建立了代表站和其他站点之间的一元回归线性统计关系。2009年预报检验评估表明: 利用这种方法制作的极端最高和最低气温准确率, 比单纯的逐站点数值预报释用准确率均有所提高, 其中最高气温效果好, 准确率平均提高了5%, 达到了较好效果, 可以直接应用于日常业务, 使预报员对极端气温的预报经验实现了客观量化。

关键词:极端气温; 气候特征; 预报模型; 检验

中图分类号: P468.0⁺21

文献标识码: A

引言

社会的快速发展对天气预报提出了更加准确精细化的要求, 人们除对晴雨吹风天气要素关注外, 作为天气预报的主要要素之一气温的预报, 特别是日极端气温的预报也已成为人们日常生活中关注的热点, 气温的预报也是体现预报质量高低重要的指标之一。近年, 随着预报业务中新技术新设备的投入应用及资料通讯传输方式的不断改进, 市级气象台站可快捷获得时空分辨率高、预报时效长的多数值模式的预报产品, 以及已投入业务应用的实时的自动站区域站资料, 这为市级气象台开展数值产品释用, 制作精细化的定时定点定量预报提供了可能。

对于气温的预报, 根据不同需要国内外开展了日极端气温和定时气温的预报。美国数值预报模式较稳定, 积累资料时间长, 开展 MOS 预报释用时间长, 预报准确率不断提高, 特别是气温的预报, 在 20 世纪 80 年代 60 h 预报准确率已超过了 70%^[1]。中国近 30 a 数值预报业务发展快, 模式更新快, 随着模式的更替, 不断应用各种统计方法和动力释用方法建立新的预报模型, 对产品进行系统订正及释用, 解决数值预报产品不

能完全包容的要素预报。

赵声蓉^[2]利用神经网络方法中的 BP 网络建立了我国 600 多个站的温度集成预报系统, 集成的温度预报结果明显优于 3 个模式单独的预报结果, 佟华^[3]总结了 T213L31 全球中期数值天气预报系统的 2 m 温度预报存在系统性偏低的问题, 陈豫英^[4]采用 2 种 MOS 统计方法, 预报宁夏 25 个测站 48 h 逐时温度, 比原 MM5 模式直接输出结果有明显提高, 24 h 极端气温 TS 评分个别月接近甚至超过预报员。马清^[5]利用类似 Kalman 滤波的自适应误差订正法对多家区域集合预报模式 2 m 温度预报做订正, 订正后温度预报的各项检验指标都显示出不同程度的改善, 马学款^[6]采用动态学习 BP 算法的人工神经网络建模, 在 ECMWF、T213 等模式数值预报产品释用基础上, 进行 1~7 d 逐日最高、最低温度模拟预测, 对西藏中短期极端温度的实时业务预报具有较好的参考价值。徐琳娜^[7]以 ECMWF 数值预报输出产品为基础, 对卡尔曼滤波(Klm)、最优子集回归(OSR)和岭回归(RR)3 种方法针对温度预报进行了探讨。段荣^[8]利用 ECMWF、T213 天气数值产品资料及贵州省黔西南州 8 个测站观测资料, 根据地理环境, 天气形势分型造成的温度差值(ΔT)为

收稿日期:2010-07-09; 改回日期:2010-10-27

基金项目:甘肃省气象局多模式气温释用及预报集成项目(2009-07)资助。

作者简介:吴爱敏(1967-), 女, 河南温县人, 高级工程师, 主要从事中短期天气预报及服务。E-mail:qxjwam@sohu.com

逐步订正值,建立黔西南州分县温度预报方程。应爽^[9]应用日本数值预报产品资料,建立了长春地区各季度各测站以日本要素预报值及实况温度值为自变量因子,以24 h 预报时效内极端温度实况值为因变量的多元线性逐步回归方程。田忠明^[10]应用多准则模糊决策方法,对上级台所作24 h 最高、最低温度预报和本台的订正预报以及本台MOS 预报进行决策,定时气温预报的实际效果好于主观预报。

以上通过对多种数值模式资料利用多种方法释用和集成,气温预报准确率均有所提高,对地、市级台站预报员来说,全市范围内所有预报站点基本属于同一气候区,天气气候相近,天气系统影响差异不明显,而且较长时效的数值预报模式格点资料较粗,ECMWF 分辨率为 2.5×2.5 , T213 和 T639 分辨率为 1.0×1.0 ,对于地形地貌等边界层条件差异较大的地区来说,通过插值及产品释用后各站点预报效果不尽相同。因此,日常业务中,在制作长时效逐日各站点精细化极端气温预报时,通常先参考各种数值预报释用产品和其它预报工具产品,根据经验制作出代表站点的预报,然后根据自己在长期预报工作中积累的代表站与所辖区域内其它站点温度之间的关系,完成其它站点预报制作。

已有总结分析表明,用ECMWF 模式资料,利用支持向量机(CMSVM)方法制作的庆阳市代表站的未来5 d 极端气温释用效果好于其他站点^[11]。按照上面分析思路,本文通过庆阳市极端气温特征分析,找出代表站,分析代表站与其他站点的相关性,根据相关性建立回归方程,进而做出其他站的极端气温预报,2009 年检验结果表明,大部分站点预报效果好于直接用数值释用做出的逐站点预报产品。

1 极端气温特征

1.1 极端最高、最低气温空间分布

对1971~2000 年整编的庆阳市所属8 县(区)逐日极端最高、最低气温资料进行EOF 分解,第1 特征向量符号一致,说明全市属于一个自然天气区,没有显著的区域差别,庆城、西峰分别是最高、最低气温的大值中心。这2 个站点相邻,西峰区是庆阳市政治文化中心,地理位置居中,极端气温的变化具有代表性。极端最高气温第2 特征向量北正南负,说明南北差异较大;极端最低气温的第2 特征向量庆阳市所属的西峰、合水、正宁3 个位于黄土高原塬

区为负值,其余地处川道和山台地的华池、镇原、宁县、环县和庆城为正值,这种分布说明塬区与其他川台地差异较大,也反映出特殊地理地貌造成了庆阳市最低气温的特殊分布。

1.2 极端最高、最低气温相关性分析

统计分析庆阳市8 县(区)极端最高最低气温,庆阳市所在地西峰区与其他7 县之间逐日最高、最低气温的相关系数为0.954~0.996(表1),具有很好的相关性。与西峰地形相近的合水、正宁塬区相关性达到了0.99 以上,华池、宁县位于川区,比西峰海拔高度低150~442 m,相关性略差。通过分析,西峰可作为庆阳市极端气温的代表站点。

表1 庆阳市西峰区与各县最高、最低气温相关系数
Tab.1 The correlation coefficient of the highest and lowest temperature between Xifeng and various counties

地名	环县	华池	庆城	镇原	合水	宁县	正宁
最低气温	0.970	0.957	0.964	0.973	0.990	0.954	0.990
最高气温	0.989	0.973	0.995	0.996	0.996	0.990	0.992

1.3 分月气温差异的统计分析

我们以庆阳市西峰区的最高、最低气温为基准值,对其余县分别与西峰的最高、最低气温进行了分月逐日的差值统计对比分析,找出了逐月分县最低、最高气温的平均差值(表2)。

从表2 可以看出,月平均气温差值正宁和西峰接近,冬半年(10~2 月)北部环县、华池比西峰低1~2℃,夏半年(3~9 月)比西峰高1~2℃。

1.3.1 最高气温差值

庆城、镇原最高气温均比西峰高2~3℃;环县、华池2~10 月高2~3℃,11~1 月高1~2℃;合水、宁县2~11 月高1℃,12~1 月持平;正宁与西峰接近。宁县观测站2005 年搬迁到县城所在地,迁址后差异明显变大,2005 年以后的资料分析表明最高气温比西峰高3℃以上。

1.3.2 最低气温差值

环县、华池最低气温11~2 月低3~4℃,3~4 月、9~10 月低1~2℃,5~8 月接近;庆城11~2 月低1~2℃,6~9 月高1℃,镇原12~1 月低1℃,7~8 月高1℃,其余月份与西峰接近;宁县10~6 月低1~2℃,7~9 月与西峰接近;正宁与西峰接近。宁县迁址后差异变大,最低气温比西峰低2~3℃。

根据预报经验,一年4 季中,当全市范围内均有降水时,各县与西峰最低气温接近,最高气温比西峰

高 1 ℃;当西峰无降水且云量 <5 成时,要比有降水的其余县最低气温低 1~2 ℃,最高气温接近;当西

峰有降水时,要比无降水的其他县最低气温高 1~2 ℃,最高气温低 1~2 ℃。

表 2 庆阳市各县与西峰气温差值表(单位:℃)

Tab.2 The table of temperature differential value between Xifeng and various counties (Unit:℃)

项目	月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年
平均气温	环县	-2	-1	1	1	1	1	1	1	1	0	-1	-2	0
	华池	-2	-1	0	0	1	1	1	1	0	-1	-1	-2	0
	庆城	0	1	2	2	2	2	2	2	2	1	0	-1	1
	镇原	0	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	0	1
	合水	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1
	正宁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	宁县	-1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	-1	0
	最低气温	环县	-4	-3	-1	-1	0	0	0	0	-1	-2	-3	-4
华池	-4	-3	-2	-2	-1	-1	0	0	-1	-2	-2	-4	-2	
庆城	-2	-1	0	0	0	1	1	1	1	0	-1	-2	0	
镇原	-1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	-1	0	
合水	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
正宁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
宁县	-2	-1	0	-1	-1	-1	0	0	0	-1	-1	-2	-1	
最高气温	环县	1	2	2	3	3	3	3	2	2	2	2	1	2
	华池	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2
	庆城	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	1	3
	镇原	2	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2
	合水	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
	正宁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	宁县	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

2 极端最高最低气温预报

文献^[11]中用 2001~2007 年欧洲数值预报资料和庆阳市所属的 8 个自动站极端气温资料建立最高最低气温预报模型,2008 年庆阳市逐站点精细化预报能力分析表明:庆阳市政府所在地西峰区数值释用后产品效果较好,最高最低气温的准确率均较其他站点高。西峰是庆阳市的政治文化中心,前面气候分析表明极端最高最低气温有代表性,因此,可以利用已建立的庆阳市代表站西峰的最高最低气温预报模型,首先制作出西峰的极端气温预报产品,然后建立西峰与其它各站点之间的极端温度回归预报方程,根据西峰极端气温的预报反演其余站点的预报,这样可以取代预报员主观经验,使得日常业务中极端气温预报制作客观化、量化。

2.1 预报方法

所用方法为一元线性回归。相对于降水等离散

气象要素来说,极端最高、最低气温为连续的随机变量,基本符合正态分布,可建立一元线性回归方程。回归方程中的因子选择为西峰的极端最高或最低气温。

$$y - \bar{y} = R_{xy} \frac{S_y}{S_x} (X - \bar{X})$$

$$S_x = \sqrt{\left(\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X})^2\right)}$$

$$S_y = \sqrt{\left(\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (y_t - \bar{y})^2\right)}$$

$$R_{xy} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n X_t^* y_t^*$$

$$X_t^* = \frac{X_t - \bar{X}}{S_x} \quad y_t^* = \frac{y_t - \bar{y}}{S_y}$$

S_x 、 S_y 是 x 与 y 的样本均方差, R_{xy} 是相关系数。

X 为西峰极端最高或最低气温, Y 为所预报县站点的极端最高或最低气温, \bar{X} 、 \bar{Y} 为西峰和各县的气候均值。

2.2 建立预报方程

以环县 1 月份为例, 建立的一元回归方程为:

1 月上旬最高气温: $Y = 0.98(X - 0.9) + 1.8$

1 月上旬最低气温: $Y = 1.29(X - (-7.6)) + (-12.1)$

1 月中旬最高气温: $Y = 0.98(X - (-0.2)) + 1.2$

1 月中旬最低气温: $Y = 1.29(X - (-9.1)) + (-13.1)$

1 月下旬最高气温: $Y = 0.98(X - 0.0) + 1.8$

1 月下旬最低气温: $Y = 1.29(X - (-8.6)) + (-12.3)$

之所以分旬分别建立方程, 考虑气候因素, 上、中、下旬旬平均极端最高、最低气温差异较大, 分旬建立方程可减小季节变化因素造成的气候误差。

2.3 效果检验分析

对 2009 年回归方法的极端气温预报效果进行检验, 评定 | 预报 - 实况 | ≤ 2 °C 的预报准确率 T_s , 检验情况见表 3, 并与 CMSVM 方法进行比较。

根据 ECMWF 模式产品, 利用 CMSVM 方法制作出庆阳的代表站点西峰的极端最高和最低气温, 然后用回归方法制作其他站点的极端最高和最低气温预报, 2009 年检验表明: 7 县平均的月平均最高气温准确率为 66%, 除宁县低于 40%, 庆城为 65%, 其余都在 70% 以上, 正宁达到了 76%。7 县平均的月平均最低气温准确率为 57%, 华池和宁县较低, 仅为 35% 和 47%, 环县、庆城、镇原为 51% ~ 56%, 合水和正宁较高, 为 77% 和 76%。而直接用 ECMWF 产品制作的庆阳 7 县平均的极端最高和最低气温准确率为 61% 和 55%, 各县差异很小。在 ECMWF 数值产品释用基础上, 再用一元回归方法制作的极端最高和最低气温比直接用 CMSVM 方法释用预报平均高出 5% 和 2%。

表 3 2009 年一元回归和 CMSVM 方法极端气温预报准确率(单位:%)

Tab. 3 The rate of accuracy of extreme temperature forecast with return and CMSVM methods (Unit:%)

项目	地名	预报方法	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均
极端最高气温	环县	一元回归	71	73	70	67	87	80	74	52	60	87	67	80	72
		CMSVM	63	36	50	80	65	77	57	37	57	81	68	52	60
	华池	一元回归	68	68	77	87	84	73	77	65	50	71	63	77	72
		CMSVM	74	43	53	76	66	73	60	48	53	75	64	59	62
	庆城	一元回归	61	64	68	73	74	63	68	58	67	55	67	68	65
		CMSVM	74	29	61	79	66	67	47	41	57	79	68	59	61
	镇原	一元回归	61	61	87	80	87	70	61	65	60	81	63	71	71
		CMSVM	59	32	57	76	66	63	57	48	48	75	67	70	60
	合水	一元回归	68	57	77	73	87	70	68	68	50	84	67	71	70
		CMSVM	65	41	59	78	67	73	60	50	52	81	57	63	62
	宁县	一元回归	42	39	32	37	42	37	45	39	47	23	27	35	37
		CMSVM	70	46	70	66	76	60	47	59	45	70	61	70	62
	正宁	一元回归	61	71	87	80	90	73	77	61	73	87	70	81	76
		CMSVM	70	56	43	83	62	67	47	52	50	89	57	67	62
极端最低气温	环县	一元回归	45	40	37	53	60	40	71	68	70	23	40	60	51
		CMSVM	44	50	50	57	52	63	47	67	73	58	50	59	56
	华池	一元回归	35	21	29	30	35	30	35	77	10	23	30	58	35
		CMSVM	30	39	47	52	41	50	60	52	63	46	50	33	47
	庆城	一元回归	39	39	58	43	61	50	68	74	73	39	37	71	54
		CMSVM	30	43	50	52	48	67	73	67	67	54	54	63	56
	镇原	一元回归	48	43	71	47	52	40	55	74	83	35	43	77	56
		CMSVM	33	39	50	55	41	57	53	67	59	39	44	56	49
	合水	一元回归	61	71	84	80	77	63	74	84	93	71	83	81	77
		CMSVM	62	56	62	85	44	60	73	81	66	70	50	74	65
	宁县	一元回归	32	29	39	30	45	33	77	74	67	32	40	65	47
		CMSVM	19	54	63	41	45	47	67	70	62	56	50	44	52
	正宁	一元回归	77	86	77	90	74	53	77	87	83	61	70	77	76
		CMSVM	78	52	70	76	69	47	67	74	57	64	43	52	62

分析部分站点准确率偏低的原因,宁县是客观因素造成,进行了台站搬迁,不论哪一种方法准确率都很低,华池由于县城的扩展,观测场现在已位于县城道路边沿,探测环境比 20 世纪有了很大变化,由于新资料较短,在应用这些资料序列前没有进行均一化检验,预报误差大,准确率较低。

表 3 中检验还表明,除宁县外,一元回归的极端最高气温准确率 4 月、10 月、11 月份部分站点有所降低外,其余月份大部分站点均高于 CMSVM 方法,其中 2 月、5 月份提高最明显,提高了 8% ~ 37%;极端最低气温准确率提高不明显,各月中各站点有升有降,和西峰地形地貌相近的合水、正宁提高较多,分别提高了 12% 和 14%。分析一元回归方法准确率低的原因主要是 2009 年降水空间分布差异大造成的,准确率低的月份所处时段内,西峰降水较多,气温偏低,地理位置较偏南的县站,出现降水或云系多,而部分站点降水特少或无降水,特别是北部的环县、华池、庆城和西部的镇原降水少,云系薄,因为云量云状和降水是对极端温度影响最大的因素,这就造成对西峰、合水、正宁极端最低气温准确率较高,而其他站点提高不明显,有时反有所降低,在方法客观预报的基础上,还需更多考虑降水和云量的影响,继续开展预报检验,改进方法。

3 小 结

通过分析庆阳市极端气温气候特征,选出西峰作为代表站,统计分析了西峰与其他县极端最高和最低气温的相关系数为 0.954 ~ 0.996,相关性好。利用 ECMWF 数值预报产品和 CMSVM 方法,在制作了西峰极端最高和最低气温预报模型的基础上,

分别建立了西峰和其他县之间日极端最高和最低气温的一元回归统计方程。2009 年预报检验评估表明:利用这种方法制作的极端最高和最低气温准确率,比单纯的逐站点数值预报释用准确率均有所提高,其中最高气温效果好,准确率平均提高了 5%,达到了较好效果,可以直接应用于日常业务,实现了预报员的极端气温的预报经验客观量化。

参考文献:

- [1] 丁士晟. 美国模式输出统计预报十年简介[J]. 气象科技, 1983, 4(3): 22-26.
- [2] 赵声蓉. 多模式模式温度集成预报[J]. 应用气象学报, 2006, 17(1): 52-58.
- [3] 佟华, 姚明明, 王雨, 等. T213L31 全球中期数值天气预报系统 2 M 温度预报误差源分析[J]. 气象, 2006, 32(2): 52-57.
- [4] 陈豫英, 陈晓光, 马金仁, 等. 基于 MM5 模式的精细化 MOS 温度预报[J]. 干旱气象, 2005, 23(4): 52-56.
- [5] 马清, 龚建东, 李莉, 等. 超级集合预报的误差订正与集成研究[J]. 气象, 2008, 34(3): 42-48.
- [6] 马学款, 普布次仁, 唐叔乙, 等. 人工神经网络在西藏中短期温度预报中的应用[J]. 高原气象, 2007, 26(3): 491-495.
- [7] 徐琳娜, 冯汉中. 基于数值预报产品的温度释用方法比较[J]. 四川气象, 2006, 26(2): 4-5.
- [8] 段荣, 李莉群, 何海燕, 等. 利用天气数值预报产品建立贵州黔东南州分县温度预报方程的方法及应用[J]. 云南地理环境研究, 2007, 19(6): 67-70.
- [9] 应爽. 日本数值预报产品在温度预报中的释用[J]. 吉林气象, 2007, 14(2): 21-22.
- [10] 田忠明, 王凤琴, 苑文华, 等. 枣庄市气温定时预报系统[J]. 山东气象, 2000, 20(3): 52-53.
- [11] 吴爱敏, 路亚奇, 李祥科, 等. 利用 ECMWF 产品对庆阳极端气温释用效果分析[J]. 干旱气象, 2009, 27(2): 29-32.

Climate Characteristic and Forecast of Extreme Temperature in Qingyang of Gansu Province

WU Aimin^{1,2}, WANG Jian²

(1. Institute of Arid Meteorology, CMA, Key Laboratory of Climate Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Lanzhou 730020, China; 2. Qingyang Meteorological Bureau of Gansu Province, Qingyang 745000, China)

Abstract: By analysis of the climate characteristic of extreme temperature, the representative meteorological stations in Qingyang were selected, and the correlation between the representative stations and other stations was analyzed. At first, the highest and lowest temperature prediction model of the representative stations was established by using the method of the support vector machines (CMSVM) and ECMWF product, and based on that the linear regression statistics relationship of the representative stations and other stations was established. The forecast test indicated that the accuracy rate of highest and lowest temperature forecast was improved using this method compared with that of the numerical forecasting release at every station in 2009, and forecast of highest temperature was good in effect and the mean accuracy rate has enhanced 5%. So the model could be applied in the day-to-day business directly.

Key words: the extreme temperature; climate characteristic; prediction model; test