

石家庄高温闷热天气气候特征 与预报方法

连志鸢

尤凤春

(河北省石家庄市气象局, 050081)

(河北省气象台)

提 要

针对近年来频繁发生的高温闷热天气,应用石家庄地区 17 个站近 29 年的气温、相对湿度和市区 8 个自动站气温观测资料,采用 EOF 方法,分析了高温、闷热日数分布特征。结果表明:石家庄地区高温、闷热分布可由气候平均场和第一、第二特征场合成而得,前两个特征场累积方差达 80% 以上。纬度、海拔高度、地形与高温闷热分布密切相关,城市热岛效应对高温分布的影响可以通过第一特征场反映出来。高温、闷热的第一、第二特征向量场时间系数是日际变化量,它与石家庄市单站风、气温、本区南北向和东西向气压差密切相关,可根据单站要素预报,用回归方程计算得到,据此构成高温、闷热分布预报的 EOF 方法。经统计检验、拟合检验及预报检验,该方法取得了较为满意的效果,并可投入业务化。

关键词: 高温 闷热 EOF 多元回归 预报方法

引 言

高温闷热天气给人们正常的工作、生活造成很大影响。特别是近年来,随着经济发展,城市人口剧增,高温对水、电等城市生命线所造成的压力也成了严重的问题。如:2002 年 7 月 12~16 日,石家庄出现了持续 40℃ 以上的历史极端高温天气,造成市区水、电需求量剧增,多条供电线路因不堪重负而跳闸断电;自来水供水量不足,造成许多居民楼高层上水困难。“停水断电”严重影响了市民正常的工作和生活,高温闷热天气已成为严重的城市气象灾害,因此加强对它的分析预报非常重要。

本文以石家庄市为代表站,分析了近 49 年来高温及闷热天气的变化趋势;应用石家庄地区 17 个站近 29 年的气温和市区 8 个自动站气温观测资料,分析了石家庄地区高温

及闷热天气的空间分布特征。另外,还在高温闷热天气的分布预报及诊断方面做了一些尝试,并取得了较好的效果。

1 高温、闷热天气的变化趋势

1.1 单站高温及闷热天气定义

按高温评分标准,单站日最高气温 $\geq 38^\circ\text{C}$ 定为一高温日。闷热是指高温高湿的天气,本文采用温湿度组合的“闷热指数”计算公式: $r_h = (T_{14} - 0.23) \times (U_{14} + 1.8) - 79.74$ (式中 T_{14} 、 U_{14} 分别为 14 时气温和相对湿度),并以 $r_h \geq 0$ 定为闷热天气, r_h 越大闷热程度也越强^[1],本文以石家庄市为代表站分析高温闷热天气的变化趋势。

1.2 趋势系数的定义

人们为了研究气象要素在气候变化中升降的定量程度,根据文献[2]定义了气候趋势系数 γ_{xx} 为:

$$\gamma_{xx} = \frac{\left[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(i - \bar{t}) \right]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (i - \bar{t})^2}}$$

其中 n 为年数, x_i 为第 i 年要素值, $\bar{x}$ 为样本均值, $\bar{t} = (n + 1)/2$ 。显然这个值为正(负)时,表示该要素在所计算的 n 年内有线性增(降)的趋势。当 x 为夏季平均气温、高温日数、闷热日数时, γ_{xx} 分别为相应要素的趋势变率,据此分析高温闷热天气的变化趋势。

1.3 高温及闷热的变化趋势

计算结果表明,石家庄市夏季的季平均气温、高温及闷热天气日数均呈上升或增多趋势,其趋势变率分别为 $0.023^\circ\text{C}/\text{年}$ 、 0.154 日/年、 0.251 日/年。其中,闷热日数增长率略高于高温日数增长率,这一点由图 1 也能反映出来。夏季平均气温及高温闷热天气总体上呈波动上升趋势,而高温、闷热日数年际间波动幅度较大,高温闷热日数最多为 1998 年,18 天;最少为 1977 年,没有出现高温闷热天气,这主要与夏季东亚地区大尺度环流形势有关。如果滤去 5 年内的波动,总体看来存在两个高峰:1961~1972 年、1994~2002 年,尤其是 1997 年以后增长趋势显著(图 1),比较图 1、图 2 可以看出,高温闷热日数与夏季平均气温的波动基本一致,说明夏季气温高的年份,出现高温闷热日数也多。

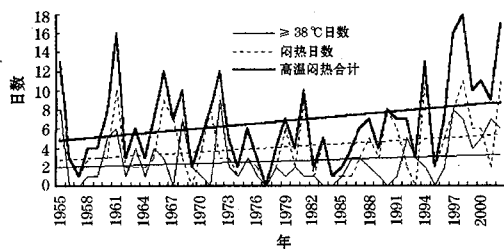


图 1 1955~2002 年石家庄高温、闷热日数(折线)及其趋势变化(斜直线)

如果以持续 2 日以上高温定为持续性高温。经统计,1955~2002 年中持续两日以上的高温共发生 27 次,90 年代以后就占 15 次。特别是 1997 年以后,持续高温频次明显

增多(图 2),每年都有一人以上,1999 年最多达 4 次。同时高温强度也有所增强,2002 年 7 月 12~16 日石家庄还出现了破历史纪录的持续性极端高温事件,7 月 15 日全区 17 个站,有 14 个站日最高气温达 42°C 以上,15 个站在这天改写了历史极端最高气温纪录。由此可见,随着气候变暖,持续性强高温和破纪录高温事件的出现频次有增加趋势。

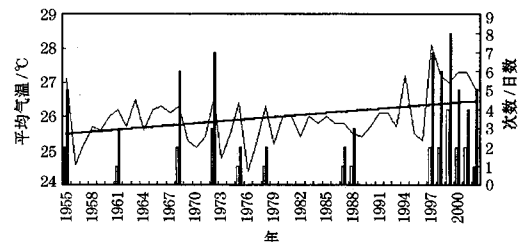


图 2 石家庄夏季平均气温逐年变化曲线和持续高温次数(总日数)变化柱状图

细折线:夏季平均气温,粗直线:夏季平均气温趋势线,空心柱:持续高温次数,实心柱:持续高温总日数

1.4 高温及闷热日数分布

按照单站高温、闷热天气的定义,本文计算了石家庄地区 17 个站 1972~2002 年的高温及闷热日数(图略)。总体上看高温闷热日数分布呈北少南多,西部山区少于东部平原。

赞皇—石市—正定为高温相对多发区,深泽—藁城—栾城为相对少发区。分析造成此分布的原因,主要是石家庄高温多与太行山东麓的焚风效应有关,经反查个例发现,51.9%的高温日叠加了焚风效应,高温多发区与气流过山后增温最大的区域对应关系较好。

闷热日数分布呈自东南部平原向西北部山区逐渐递减的趋势,石家庄的闷热天气多受副热带高压控制,地面气压场多为东高西低型,地面的东南风将南方的暖湿空气向北输送过程中,形成此种分布型。

由此看出,高温、闷热日数的多少,与地形、海拔高度、所处纬度等均有很大关系。另外,石家庄市的高温日数多于同纬度的周边县市,说明下垫面的物理特性及人类活动也是导致高温空间分布差异的一个因素。

2 高温及闷热天气的分布特征

2.1 区域高温及闷热天气的定义

石家庄地区 17 个站若有 9 站以上日最高气温 $\geq 36^{\circ}\text{C}$, 且至少有 5 站(或石家庄本站)日最高气温 $\geq 38^{\circ}\text{C}$ 定为区域高温日。17 站中至少有 9 站闷热指数 ≥ 0 , 且 14 时相对湿度 $\geq 40\%$ 定为区域闷热天气。据此统计, 1972~2002 年共有 97 个区域高温日, 118 个区域闷热日。

2.2 资料及计算方法

将 17 个观测站 97 个高温日的日最高气温资料进行自然正交函数分解(EOF), 得到一个平均场和前 5 个特征向量场以及相应的特征场时间系数, 前 5 个特征场所占方差依次为 0.692、0.109、0.053、0.041、0.019, 由于前两个特征向量的累积方差贡献已达 80.1%。因此, 石家庄地区高温分布的样本拟合可以简化为平均场和第一、第二特征向量场的叠加。

$$T_i = \bar{T} + a_{1i}T_1 + a_{2i}T_2 \quad (1)$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, 97$$

式中 T_i 、 $\bar{T}$ 、 T_1 、 T_2 分别为高温分布的拟合场、平均场、第一、第二特征向量场, 每个场由 17 点组成, a_{1i} 、 a_{2i} 分别为第一、第二特征场时间系数。

对区域闷热天气的闷热指数作相似的计算处理, 得到闷热指数分布的拟合场、平均场、前 5 个特征向量场及其相应的特征场时间系数等。前 5 个特征场方差依次为 0.525、0.240、0.037、0.033、0.029, 取其前 2 个特征向量场做闷热指数分布拟合。

$$H_i = \bar{H} + b_{1i}H_1 + b_{2i}H_2 \quad (2)$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, 118$$

式中 H_i 、 $\bar{H}$ 、 H_1 、 H_2 分别为高温分布的拟合场、平均场、第一、第二特征向量场, b_{1i} 、 b_{2i} 分别为第一、第二特征场时间系数。式(1)、(2)分别是确定高温、闷热天气分布的主要理论方法。

2.3 高温及闷热分布的特征场分析

图 3 是分别用 97 个区域高温日的极端最高气温和 118 个区域闷热日的闷热指数分

别做 EOF 分解后的第一特征向量场。由图看出, 特征值均为正值。最高气温分布的特征值表现为东南高, 西北低, 其中东南部平原的赵县、晋州、辛集为高值区, 西部的井陘、石家庄为相对低值区。由此说明最高气温分布具有由东南平原向西北山区递减的趋势, 该第一特征场反映了纬度、海拔高度对高温分布的影响。

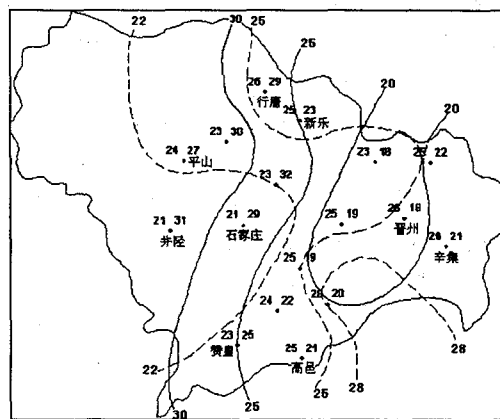


图 3 高温(虚线, 等值线间隔 5)、闷热(实线, 等值线间隔 3) EOF 分析的第一特征向量场分布填图数据: 左侧为闷热特征值, 右侧为高温特征值; 图中数值 $\times 10^{-2}$ 为各点特征值)

闷热指数的特征场呈西高东低分布。西部山区附近(正定、石家庄、井陘)为高值区; 东北部平原(无极、藁城、晋州)为相对低值区。该特征场主要反映了石家庄特殊地形在闷热天气中的作用。石家庄西部、西北部为太行山区, 这种特殊地形可以引起局地的热力环流——山谷风, 夜间为西北风, 白天午后一般转为东南风。夏季海上为高气压, 地面为相对低气压, 当没有明显冷空气活动时, 石家庄常处于地面弱高压的后部, 高压后部的偏南风与地方性风叠加, 把南方高温高湿的空气向北输送, 并在山前堆积, 使这一区域的闷热程度加剧。

2.4 城市高温分布特征分析

2001~2002 年石家庄共出现 13 个区域高温日。本文应用市区的 8 个自动站日最高气温观测资料, 首先用有限元插值法将市区二环路以内日最高气温插值为矩形网格资

料^[3],然后利用13个区域高温日中,15个网格点和8个自动站点组成的23点逐日最高气温资料,进行城市高温分布的EOF分解。结果发现收敛速度很快,第一特征场所占方差已达89.7%,因此只对第一特征向量场(图4)进行分析。由图看出,特征值均为正值,沿城市中心轴(第五水厂—烈士陵园)为一高值区,这里位于城市交通主干道——中山路沿线,交通、工商业集中,人口密度大。市区第五水厂为高值中心,此中心略偏于市区的东南方,此中心的出现既与第五水厂的周边观测环境(多新开发的居民小区)有关,也说明近几年石家庄城市建设向东南发展,高温区有随之偏移的倾向,反映了城市建设对高温分布可能造成的影响。西北郊为低值区。由此看出,城市气温的第一特征场呈城市热岛型分布。在东南高、西北低的总体高

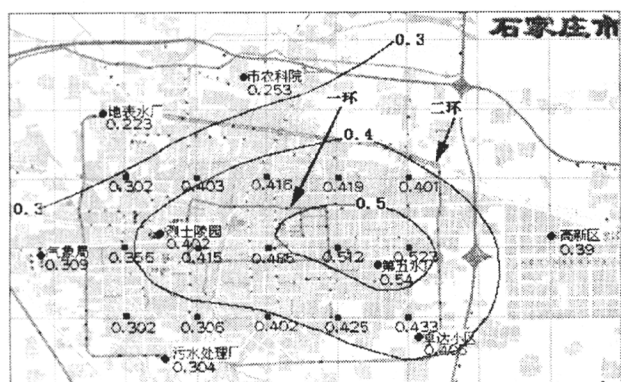


图4 石家庄市8个自动站(圆点)及15个插值点(方点)高温 EOF 分析的第一特征向量

图中数值为特征值,等值线间隔0.1,灰色色块为市区地图温分布基础上,嵌入了城市热岛效应的影响。若滤去城市热岛效应造成的高温区,石家庄郊区的高温分布同样存在一个由东南指向西北的温度梯度,平均温度梯度 $0.48^{\circ}\text{C}/14.7\text{km}$,这与石家庄区域高温的第一特征场分布基本一致。

2.5 高温及闷热分布的时间系数分析

由以上分析可知,高温(或闷热)的平均场为多年际变化的稳定量,而特征向量场的时间系数为日际变化量,因此高温(或闷热)分布主要取决于特征向量场的时间系数。本文以高温、闷热第一、二特征场时间系数作为

固定变量,分别计算了与5个代表站(石家庄、辛集、平山、新乐、赞皇)的最高、最低气温、风(u 、 v 分量)、湿度、云量之间的相关系数,以及与南北、东西向气压差的相关系数。结果发现,某固定变量与同一要素的相关程度在不同代表站之间差别不明显,因此代表站仅选石家庄市。经过对计算出的相关系数做显著性检验($\alpha = 0.05$),选出了石家庄市日最高气温、最低气温($^{\circ}\text{C}$),14时风的 u 、 v 分量($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$),南北向、东西向海平面气压差(hPa)等6个要素作自变量,高温(闷热)分布的第一、二特征向量时间系数分别作为应变量,用多元线性回归分析方法建立计算方程。

$$a_1 = -132.25 - 0.166x_1 - 0.064x_2 + 3.436x_3 - 0.072x_4 + 0.142x_5 - 0.101x_6$$

$$a_2 = 19.136 - 0.17x_1 - 0.159x_2 - 0.449x_3 - 0.062x_4 + 0.321x_5 + 0.145x_6$$

$$b_1 = -100.95 + 0.202x_1 + 0.672x_2 + 1.699x_3 + 1.568x_4 + 1.057x_5 - 0.847x_6$$

$$b_2 = 6.111 + 0.224x_1 + 0.033x_2 - 0.296x_3 + 0.214x_4 + 0.339x_5 + 1.354x_6$$

其中 x_1 、 x_2 分别为14时的 u 、 v 分量; x_3 、 x_4 分别为当日最高、最低气温;从石家庄地区东、西、南、北四个方位选取代表站,辛集、晋州代表东部,井陉、平山代表西部,高邑、赞皇代表南部,行唐、新乐代表北部,各方位代表站的海平面气压平均值代表该方位气压值, x_5 为14时北部减南部海平面气压差, x_6 为14时西部减东部海平面气压差。 x_5 、 x_6 代表不同的地面气压场分布型。 a_1 、 a_2 分别为高温天气第一、二特征向量场时间系数, b_1 、 b_2 分别为闷热天气第一、二特征向量场时间系数。

2.6 预报方程检验

2.6.1 统计检验

对上述 a_1 、 a_2 、 b_1 、 b_2 四个回归方程做 F - Y 的统计显著性检验。结果表明,四个方

程的 F 检验值均大于信度为 0.05 的置信限 F_α , 方程的回归效果是显著的。比较四个方程的复相关系数 R 及 F 检验值, 方程 a_1 、 b_1 回归效果较 a_2 、 b_2 显著。

2.6.2 拟合检验

将 a_1 、 a_2 代入方程(1), b_1 、 b_2 代入方程(2), 分别计算 97 个高温日(118 个闷热日)最高气温(闷热指数)分布的拟合场, 并与实测高温(闷热)场的最高气温(闷热指数)比较, 结果高温、闷热拟合的平均绝对误差分别为 0.453°C 、 0.347 。高值中心拟合的平均误差均为负值, 说明对高温(闷热)中心的拟合值较实测值偏低。若将日最高气温(或闷热指数)最大的站所在位置定为高温(或闷热)中心, 若拟合场中心在实测场中心周围 50km 之内, 则认为高温(或闷热)中心位置拟合正确, 反之, 则认为不正确。据此统计, 高温、闷热中心的拟合准确率分别为 74.2%、60.5%。

总体看, 该方法对石家庄地区的高温(闷热)分布的拟合计算效果还是比较理想的。高温场的拟合结果优于闷热场拟合结果。

表 1 高温、闷热拟合检验与预报
检验之误差及准确率

	高温/ $^\circ\text{C}$		闷热	
	拟合 检验	预报 检验	拟合 检验	预报 检验
平均误差	-0.003	-0.049	0.001	0.067
平均绝对误差	0.453	0.481	0.347	0.907
高值中心平均误差	-0.319	-0.62	-0.373	-0.16
高值中心平均绝对误差	0.549	0.62	0.834	0.42
高值中心位置准确率	74.2%	100%	60.5%	66.7%

2.6.3 预报检验

应用 2003 年的资料做预报检验, 2003 年夏季共出现 2 天区域高温日(6 月 20 日、7 月 4 日)、3 天区域闷热日(7 月 26 日、7 月 27 日、8 月 6 日), 应用本文的 EOF 方法对这几日的高温、闷热分布进行试报, 并对预报值与实况值做了逐站对比分析。结果发现, 高温日最高气温的平均预报误差为 -0.049°C , 平均绝对误差为 0.481°C , 对高温中心预报平均误差为 -0.62°C , 预报值较实况值偏小, 对

高温中心位置预报达 100% (两日均预报准确)。闷热日闷热指数的平均预报误差 0.067 , 平均绝对误差 0.907 , 闷热中心平均的预报误差为 -0.16 , 对闷热中心位置的预报准确率为 66.7% (三日报对两日)。达到了较好的效果。

3 小 结

通过以上分析, 可以得出以下几点结论:

(1) 石家庄市夏季的季平均气温及高温、闷热日数均呈上升或增多趋势, 特别以 1997 年以后增长趋势显著。随着气候变暖, 高温、闷热以及持续性高温和破纪录高温事件出现频次均有增加趋势。

(2) 受纬度、海拔高度以及地形影响, 石家庄高温日数北少南多, 西部山区少于东部平原。赞皇—石市—正定为高温相对多发区, 这与太行山地形造成的焚风效应有关。闷热日数分布自东南部平原向西北部山区递减。

(3) 石家庄市高温第一特征场呈城市热岛型分布。在东南高、西北低的总体高温分布基础上, 嵌入了城市热岛效应的影响。

(4) 石家庄地区高温、闷热分布主要由气候平均场与 EOF 分解的第一、二特征向量场叠加而成, 前两个特征向量场累积方差已达 80% 以上, 概括出了石家庄高温、闷热分布的主要特征。通过相关分析, 第一、二特征向量场时间系数与石家庄单站风、气温、本区南北及东西向气压差密切相关, 可根据单站要素预报用回归方程计算得到, 据此构成高温、闷热分布预报的 EOF 方法。经检验得到了较为理想的结果, 并可投入业务化。

参考文献

- 1 赵世林, 陈静. 石家庄夏季闷热天气指数. 河北气象, 1995, 14(2): 15~16.
- 2 施能, 陈家其, 屠其璞. 中国近 100 年来 4 个年代际的气候变化特征. 气象学报, 1995, 53(4): 431~439.
- 3 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文等. 天气学原理和方法. 北京: 气象出版社, 1992: 843~845.
- 4 连志鸾, 王丽荣. 石家庄高温的天气气候特征及其预报流程. 气象, 2003, 29(10): 17~21.

Prediction of High Temperature and Muggy in Shijiazhuang, Hebei Province

Lian Zhiluan¹ You Fengchun²

(1. Shijiazhuang Meteorological Office, Hebei Province 050081;

2. Hebei Meteorological Observatory)

Abstract

Based on the observation data of temperature and relative humidity of 17 stations and the temperature data of 8 automatic weather stations in Shijiazhuang, by means of EOF technique, the high temperature and muggy weather distribution characteristic is analyzed. The results show that high temperature and muggy field can be composed of climatic and the first and the second characteristic fields. Cumulative variance contribution of the first two characteristic field is as much as 80%. The first characteristic field reflects the actions of latitude and height above sea level and landform, and the impact of urban heat island effects. The coefficient of the first two characteristic field are day-to-day variable, and closely correlated with wind, temperature and baric difference of latitude and longitude. They can be worked out based on weather factors from single station by regression equation. So, the method predicting high temperature and muggy distribution is developed with EOF, it is satisfactory by statistical and fitting test and trial calculation, and can be operated by actual weather forecast.

Key Words: high temperature muggy EOF multivariate regression distribution characteristic forecast method