

DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2015.06.006

时间序列模型分析威海市近 50 年气温变化特征

王朋朋,程杰,袁峰,赵士伟,杨健,刘咏

(63863 部队,吉林 白城 137001)

摘要: 利用时间序列模型,以及趋势分析、小波变换、M-K 突变检验等统计学分析方法,分析了威海站 1964 年-2013 年的平均气温、平均最高气温和平均最低气温的年变化、年平均气温的季节变化、时频特点,并对平均气温变化进行了突变检验,发现 1964 年-2013 年威海市年平均气温呈上升趋势,气温倾向率为 $0.35\text{ }^{\circ}\text{C}/(10\text{a})$;各季节气温倾向率分别为 $0.427\text{ }^{\circ}\text{C}/(10\text{a})$ 、 $0.268\text{ }^{\circ}\text{C}/(10\text{a})$ 、 $0.241\text{ }^{\circ}\text{C}/(10\text{a})$ 和 $0.287\text{ }^{\circ}\text{C}/(10\text{a})$,其中春季($0.427\text{ }^{\circ}\text{C}/(10\text{a})$)增温对该市年平均气温变化的贡献最大;春季气温呈现降-升-降-降-降的交替变化,为四季气温变化最明显的季节;年平均气温突变发生在 1987 年;各个季节在发生突变后均升温趋势显著。

关键词: 时间序列模型;威海站;趋势分析;小波变换;M-K 突变检验

中图分类号: P468.0 文献标志码: A 文章编号: 1672-1683(2015)06-1051-05

Application of time series model on the temperature variation analysis in Weihai in recent 50 years

WANG Peng peng, CHENG Jie, YU AN Feng, ZHAO Shi wei, YANG Jian, LIU Yong

(N.O. 63863 Army, Baicheng 137001, China)

Abstract: The time series model with the statistical methods, such as trend analysis, wavelet transforms, and Mann Kendall mutation test, were used to analyze the annual variations of average, maximum, and minimum temperatures, seasonal variations and time frequency characteristics of annual average temperature, and to conduct mutation test of average temperatures in Weihai from 1964 to 2013. The results showed that (1) the annual average temperature in Weihai increased from 1964 to 2013 with an inclination rate of $0.35\text{ }^{\circ}\text{C}/(10\text{a})$; (2) the inclination rates of seasonal temperature were $0.427\text{ }^{\circ}\text{C}/(10\text{a})$, $0.268\text{ }^{\circ}\text{C}/(10\text{a})$, $0.241\text{ }^{\circ}\text{C}/(10\text{a})$, and $0.287\text{ }^{\circ}\text{C}/(10\text{a})$, and the largest contribution to the average annual temperature in the area was spring; (3) spring temperature appeared the alternate variations with down up down up down trends, and spring was the season with the most significant variations; (4) the mutation of annual average temperature occurred in 1987; and (5) temperature in each season increased significantly after the mutation.

Key words: time series model; Weihai station; trend analysis; wavelet transform; Mann Kendall mutation test

威海市位于胶东半岛东端,地处北纬 $36^{\circ}41' - 37^{\circ}35'$ 、东经 $121^{\circ}11' - 122^{\circ}42'$ 之间。北东南三面濒临黄海,北与辽宁省大连市相对,东与朝鲜半岛和日本列岛隔海相望,西与烟台市接壤。东西最大横距 135 km,南北最大纵距 81 km,海岸线长 985.9 km。地处中纬度,属于北温带季风型大陆性气候,四季变化和季风进退都较明显。与同纬度的内陆地区相比,具有雨水丰富、年温适中、气候温和的特点;同时受海洋的调节作用,又具有春冷、夏凉、秋暖、冬温,昼夜温差小、无霜期长、大风多和湿度大等海洋性气候特点。全市历年平均气温 $11.9\text{ }^{\circ}\text{C}$,历年平均降水量 730.2 mm,历年平均日照时数 2 538.2 h。

目前关于威海地区气候变化的研究并不多见,近 50 年气温变化研究则未见到,只有闫淑莲和周淑玲^[19]利用线性趋势法对 1965 年-2004 年气温序列进行了研究,揭示了威海市近 40 年平均气温、平均最高气温和平均最低气温的年内变化特征和季节变化特征。

本文利用威海站近 50 年的逐日气温数据,采用时间序列模型,通过趋势分析、小波变换、M-K 突变检验等统计学分析方法,对威海市年和四季的气温变化趋势及多时间尺度结构进行分析,旨在为今后研究威海地区气候变化,以及气温变化对附近海域水温、盐度等海洋水文参数的影响研究提供参考。

收稿日期: 2014-11-24 修回日期: 2015-08-26 网络出版时间: 2015-11-03
网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20151103.1112.018.html>
基金项目: 军队青年科技基金项目(SYFD1300808)

作者简介: 王朋朋(1985),女,山东济南人,工程师,主要从事气象海洋水文装备测试与计量检定方面研究。E-mail: wpp851118@126.com

1 资料来源与方法

1.1 资料来源

本文以中国气象科学数据共享服务网“中国地面气候资料日值数据集”中威海站 1964 年-2013 年逐日平均气温作为基础数据。该数据集经过严格的质量控制和均一性检验,质量比较完整。数据预处理时,按照相关定义分别建立年、季、月平均气温序列。

1.2 研究方法

时间序列模型是描述序列自身演变规律的模型。任何一个气候时间序列都包括气候趋势分量、固有周期分量和随机分量^[1]。本文采用线性倾向趋势法^[2-4]、累计距平法^[5-6]、滑动平均法^[7-8]分析了威海市的年、季平均气温、平均最高气温和平均最低气温的变化趋势,并对变化趋势进行显著性检验;采用小波分析^[9-12]揭示年平均气温的变化周期,并使用 M-K 突变检验法^[13-15]明确年平均气温突变的时间,从而直观、全面的揭示气温的变化规律。

(1) 线性倾向趋势。

建立气温 x 与时间 t 的一元线性回归模型:

$$x = a + bt \tag{1}$$

式中: a 为回归常数项; b 为回归系数(气温变化倾向率), $b > 0$ 表示气温随时间上升, $b < 0$ 表示气温随时间下降。

相关系数表示变量气温 x 与时间 t 之间线性相关的密切程度。当 $r = 0$ 时, 回归系数 b 为 0, 说明变量气温 x 的变化与时间 t 无关; 当 $r > 0$ 时, $b > 0$, 说明变量气温 x 随时间 t 的增加呈上升趋势; 当 $r < 0$ 时, $b < 0$, 说明变量气温 x 随时间 t 的增加呈下降趋势。| r | 越大, 说明变量气温 x 与时间 t 的线性相关越强。为了判断气温变化趋势的程度是否显著, 要对相关系数进行显著性检验。给定显著性水平 α , 若 $|r| > r_{\alpha}$, 表明气温 x 随时间 t 的变化趋势是显著的, 否则不显著。

(2) 滑动平均法和累计距平法。

滑动平均法相当于低通滤波器, 能够过滤掉序列中短于滑动长度的周期, 从而能够直观的显示气候趋势变化。本文选取滑动长度为 5 a。

累计距平能够反映气候序列偏离平均值的程度。对累计距平进行显著性检验时, 采用非参数统计检验方法, 最终得到统计量 Z 。给定显著性水平 α , 根据相应公式计算临界值 Z_{α} , 若 $|Z| > Z_{\alpha}$, 则判断变化趋势是显著的^[1]。

(3) 小波分析。

小波分析亦称多分辨率分析, 它能清晰的揭示出隐藏在时间序列中的多种变化周期, 充分反映系统在不同周期中的变化趋势, 并能对系统未来发展趋势进行定性估计。本文采用 Morlet 小波分析法进行气候序列周期性变化分析, 研究气温变化的时域结构及在不同时域上的周期性振荡特征。

(4) M-K 突变检验法。

Manr Kendall 法(M-K 突变检验法) 是一种非参数统计检验方法。其优点是对样本的要求降低了, 样本不必符合特定的分布, 不再受少数异常值的干扰, 突变开始发生的时间及突变区域均可以确定, 简便了计算, 是一种常用的突变检测方法。

M-K 突变检验法最终得到按时间序列计算出的两个统

计量序列曲线 UF 和 UB , 若 UF 或 UB 的值大于 0, 则表示气温呈上升趋势, 反之则表示气温呈下降趋势。给定显著性水平 α , 因为 UF 为标准正态分布, 查正态分布表得到临界值 U_{α} 。当 $|UF| > U_{\alpha}$, 则表明序列趋势变化显著。超过临界线的范围确定为出现突变的时间区域。如果 UF 和 UB 两条曲线出现交点, 且交点在临界线之间, 那么交点对应的时刻便是突变开始的时间。

2 结果分析

2.1 气温年变化

2.1.1 平均气温

从图 1(a) 可以看出, 近 50 年来威海市年平均气温为 12.524 0 °C, 总体明显呈振荡上升趋势, 特别是 1987 年之后, 上升趋势明显。从表 1 可以看出, 年平均气温的线性倾向率为 0.035 °C/a, 气温趋势系数为 0.709 1, 说明平均气温随时间的增加呈上升趋势。确定显著性水平 $\alpha = 0.001$, 气温趋势系数远大于显著性水平, 通过显著性检验, 因此平均气温随时间的变化趋势是显著的。从 5 a 滑动平均曲线也可以直观的看到 1987 年之前呈振荡性上升, 1987 年之后上升趋势明显。

从图 1(b) 可看出, 累计距平曲线呈“U”形, 威海市过去 50 年气温变化大体分为两个阶段: 1989 年之前, 累计距平值逐渐降低, 在 1989 年左右累计距平值达到最小, 说明 1989 年之前气温均低于年平均值 12.524 0 °C; 1989 年之后, 累计距平值增加, 温度上升趋势明显, 说明气温高于年平均值 12.524 0 °C。对累计距平进行显著性检验, 确定显著性水平 $\alpha = 0.05$, 得到该序列的统计量 $Z = 0.471 0$, 计算得到 $Z_{0.05} = 0.191 3$, 可见 $Z > Z_{0.05}$, 因此可以判断变化趋势是显著的。

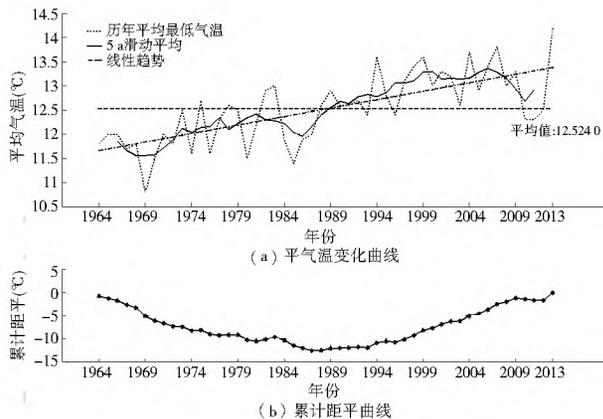


图 1 威海市年平均气温变化曲线和累计距平曲线

Fig. 1 Annual average temperature trend analysis and accumulated variance curve in Weihai

表 1 威海市年气温的变化趋势检验

Tab. 1 Trend analysis of annual temperature in Weihai

气温	线性倾向率 $b / (^\circ\text{C} \cdot \text{a}^{-1})$	线性相关 系数 r	变化趋势	显著水平
平均气温	0.035	0.709 1	↑	0.001
平均最高气温	0.021 2	0.460 9	↑	0.001
平均最低气温	0.043 5	0.776 1	↑	0.001

注: 0.001 的显著水平($r_{0.001} = 0.443$); 0.05 的显著水平($r_{0.05} = 0.273$)。

2.1.2 平均最高气温和平均最低气温

威海市近 50 年来平均最高气温和平均最低气温的变化与年平均气温变化相似。从图 2(a) 和图 2(b) 可以直观看出, 年平均最低气温和年平均最高气温总体均呈上升趋势, 但年平均最高气温上升趋势相对比较缓慢。由表 1 知, 平均最低气温的倾向率为 $0.0435\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{a}$, 气温趋势系数为 0.7761 , 说明平均最低气温随时间的增加呈上升趋势, 且比平均气温上升趋势速率高; 平均最高气温的倾向率只有 $0.0212\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{a}$, 气温趋势系数为 0.4609 , 说明平均最高气温随时间的增加呈缓慢上升趋势。从图 2(c) 的累计距平曲线看出, 平均最低气温和平均最高气温均在 1989 年前低于平均值, 1989 年后气温上升, 且平均最低气温偏离平均值幅度较大。

分析可知, 年平均最高气温的变化幅度远小于年平均最低气温, 年平均气温的升高主要来源于年平均最低气温的贡献。本结论与闫淑莲等^[16] 研究的 1965 年-2004 年威海市的气温变化特征的结论一致。

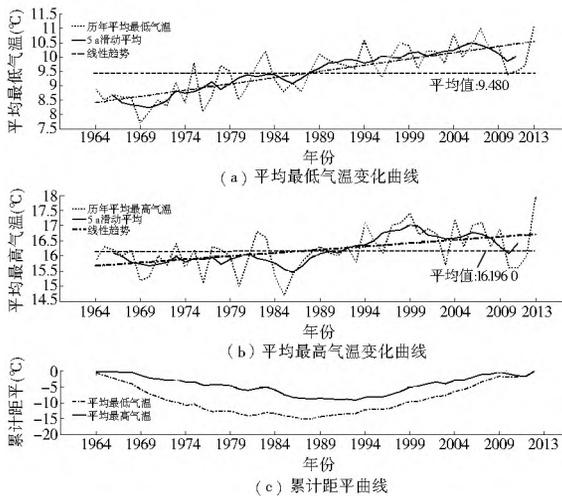


图 2 威海市年平均最低气温、平均最高气温变化曲线和累计距平曲线

Fig.2 Annual maximum and minimum temperature trend analysis and accumulated variance curves in Weihai

2.2 年平均气温的季节变化

由图 3 及表 2 可见, 威海市春、夏、秋、冬四个季节的年平均气温同样存在明显的上升趋势。

春季(图 3(a)) 平均气温为 $11.04\text{ }^{\circ}\text{C}$, 平均增温倾向率为 $0.427\text{ }^{\circ}\text{C}/(10\text{a})$, 气温趋势系数为 0.6261 , 通过了 $\alpha=0.001$ 的显著性检验。从各个阶段来看, 总体呈现降-升-降-升-降的交替变化。20 世纪 60 年代春季气温下降显著, 下降幅度达到 $0.1286\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{a}$, 通过 $\alpha=0.05$ 的显著性检验; 70 年代略有上升, 但趋势系数没有通过 $\alpha=0.05$ 显著性检验, 说明上升幅度不明显; 80 年代略有下降, 但趋势系数没有通过 $\alpha=0.05$ 显著性检验, 说明降温不明显, 到 90 年代春季气温迅速升高, 增幅高达 $0.1509\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{a}$; 2001 年-2010 年气温又有明显的下降趋势。总之, 春季气温基本呈振荡性变化, 但从 50 年来看还是呈上升趋势, 是四季中变化最明显的季节。

夏季(图 3(b)) 平均气温为 $23.488\text{ }^{\circ}\text{C}$, 平均增温倾向率为 $0.268\text{ }^{\circ}\text{C}/(10\text{a})$, 气温趋势系数为 0.4623 , 通过了 $\alpha=0.001$ 的显著性检验。从各个阶段来看, 20 世纪 60 年代夏季气温下降

显著, 下降幅度达到 $0.1964\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{a}$, 通过 $\alpha=0.001$ 的显著性检验; 70 年代继续下降, 但趋势系数没有通过 $\alpha=0.05$ 显著性检验, 说明下降幅度不明显; 80 年代降温显著, 降温幅度达到 $0.0618\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{a}$; 到 90 年代夏季气温迅速升高, 增幅高达 $0.1394\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{a}$; 2001 年-2010 年间, 气温又略有不明显的下降趋势。

秋季(图 3(c)) 平均气温为 $15.154\text{ }^{\circ}\text{C}$, 平均增温倾向率为 $0.241\text{ }^{\circ}\text{C}/(10\text{a})$, 气温趋势系数为 0.4617 , 通过了 $\alpha=0.001$ 的显著性检验。在 60 年代秋季气温明显下降, 降幅达到 $0.893\text{ }^{\circ}\text{C}/(10\text{a})$, 随后气温一直呈上升趋势, 在 80 年代气温涨幅最大, 增温倾向率为 $0.788\text{ }^{\circ}\text{C}/(10\text{a})$, 通过了 $\alpha=0.05$ 的显著性检验。

冬季(图 3(d)) 平均气温为 $0.3122\text{ }^{\circ}\text{C}$, 平均增温倾向率为 $0.287\text{ }^{\circ}\text{C}/(10\text{a})$, 气温趋势系数为 0.3650 , 通过了 $\alpha=0.05$ 的显著性检验。近 50 年来总体呈降-升-降的变化特征, 周期大概为 20 年左右。20 世纪 60 年代至 70 年代, 冬季气温略有下降, 降温趋势不明显, 没有通过显著性检验, 80 年代气温显著上升, 涨幅达到 $0.1030\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{a}$, 1991 年-2010 年气温一直呈下降趋势, 在 2001 年-2010 年间降幅最大, 为 $0.1758\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{a}$, 通过了 $\alpha=0.001$ 的显著性检验。

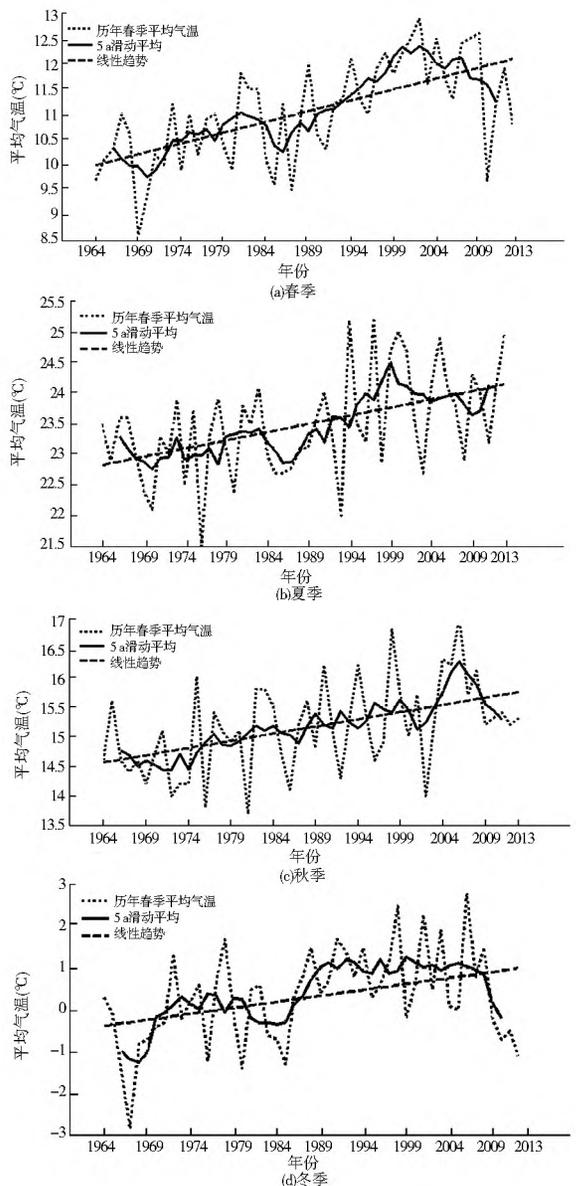


图 3 威海市各季节年平均气温变化曲线

Fig.3 Trend analysis of seasonal average temperature in Weihai

综上所述,各季节中,春季(0.427 °C/(10a))增温对该地区年平均气温贡献最大。

表 2 威海市年平均气温各阶段季节变化

Tab. 2 Decadal variations of seasonal temperature in Weihai

时期	春季		夏季		秋季		冬季	
	线性相关系数 r	线性倾向率 $b/(\text{°C} \cdot \text{a}^{-1})$						
1964年-1970年	-0.346 4	-0.128 6	-0.724 2	-0.196 4	-0.436 0	-0.089 3	-0.195 2	-0.092 9
1971年-1980年	0.047 2	0.007 9	-0.175 1	-0.043 6	0.318 9	0.073 9	-0.194 4	-0.063 6
1981年-1990年	-0.215 4	-0.063 6	-0.385 3	-0.061 8	0.297 0	0.078 8	0.373 0	0.103 0
1991年-2000年	0.738 9	0.150 9	0.384 2	0.139 4	0.290 6	0.071 5	-0.310 9	-0.08
2001年-2010年	-0.454 5	-0.142 4	-0.036 3	-0.008 5	0.186 5	0.050 3	-0.454 8	-0.175 8
1964年-2013年	0.626 1	0.042 7	0.462 3	0.026 8	0.461 7	0.024 1	0.365 0	0.028 7

注: 0.001 的显著水平($r_{0.001} = 0.443$); 0.05 的显著水平($r_{0.05} = 0.273$)。

2.3 平均气温变化周期

2.3.1 平均气温变化的时频结构

由图 4(a) 可见,威海市的年平均气温变化具有明显的周期性特征和冷暖事件交替变化的过程。具体表现为明显的 38 a 尺度和 17~18 a 的年代际变化周期和 9 a、4~6 a 尺度的年际变化周期。时域中 38 a 尺度的年代际振荡表现为 1 个偏冷期和 1 个偏暖期,分别对应 1970 年-1980 年的偏冷期和 1995 年-2005 年的偏暖期; 17~18 a 的年代际变化周期表现为 2 个偏冷期和 1 个偏暖期,主要是在 2000 年之前。时域中的年际尺度周期性变化从 1975 年至今的 9 a 尺度变化周期和 2000 年之前的 4~6 a 变化周期。对照图 4(b) 的小波系数模方图可以看出,4~6 a 尺度在 1980 年-1990 年间及 2005 年以后,17~18 a 尺度在 1965 年-1975 年间能量最强、周期最显著。

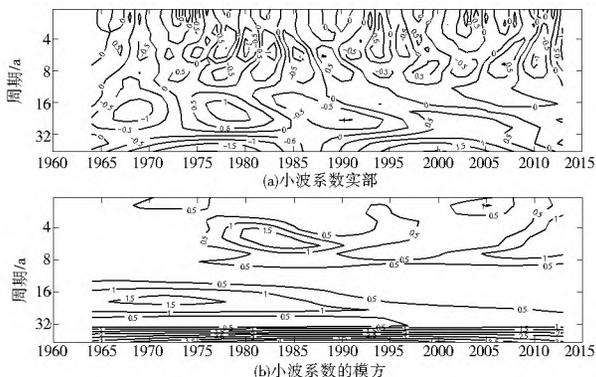


图 4 小波变换系数实部和模方

Fig. 4 Modulus and norm of wavelet coefficients

2.3.2 变化周期的显著性检验

对小波能量谱进行了置信水平为 95% 的显著性检验,结果如图 5(a) 中所示,粗实线表示能量谱与置信水平为 95% 的标准谱的比值,比值大于 1.0 为通过 95% 的显著性检验的周期,比值小于 1.0 表示未通过显著性检验的周期;虚线圈表示各个年份中周期信息的最大周期,低于虚线值则表示不显著的,与图 5(b) 对照可以看出 4~6 a 尺度的变化周期是显著的。

2.4 平均气温突变检验

年平均气温的 Mann- Kendall 方法对近 50 年威海地区突变检验结果见图 6。可以看出,年平均气温在 1987 年发生

突变。由 UF 曲线可见,自 1970 年以来,威海年平均气温明显增暖趋势,至 1988 年后,增暖趋势均大大超过 0.05 显著性水平的临界线($|U_{0.05}| = 1.96$),通过了置信度 $\alpha = 0.05$ 的显著性检验。

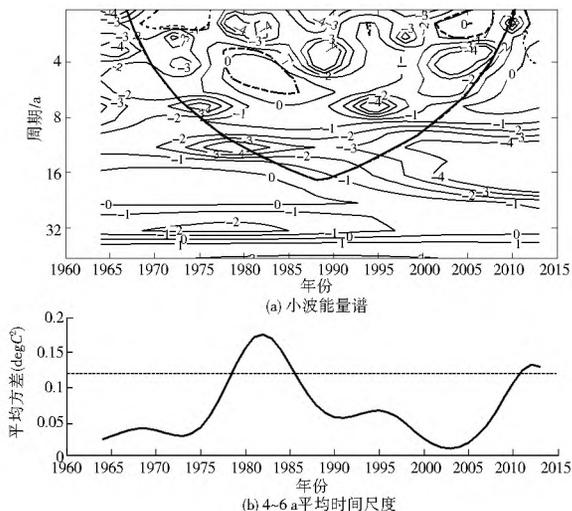


图 5 小波周期显著性检验

Fig. 5 Significant test of wavelet cycle

各季节平均气温的突变检验(图略)结果表明,春季气温冷暖突变点出现在 1988 年,1992 年后升温趋势显著;夏季气温从 1980 年后呈上升趋势,冷暖突变点出现在 1990 年,自 2000 年后升温趋势显著;秋季气温从 1978 年后呈上升趋势,冷暖突变点出现在 1987 年,1994 年后升温趋势显著;冬季气温从 1971 年后呈上升趋势,冷暖突变点出现在 1971 年左右,1990 年后升温趋势显著。

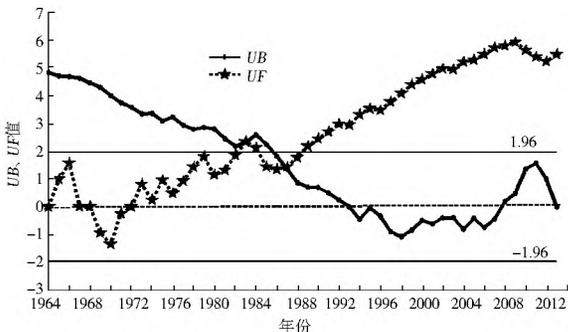


图 6 年平均气温 Mann- Kendall 突变检验曲线

Fig. 6 M-K mutation test of annual average temperature

3 结论

(1) 1964年-2013年威海市地区年平均气温呈上升趋势,气温倾向率为 $0.35\text{ }^{\circ}\text{C}/(10\text{a})$;年平均最高气温和最低气温变化趋势与年平均气温变化趋势基本一致,但年平均最高气温的变化幅度远小于年平均最低气温的变化幅度,年平均气温的升高主要来源于年平均最低气温的贡献。

(2) 春夏秋冬四季气温倾向率分别为 $0.427\text{ }^{\circ}\text{C}/(10\text{a})$ 、 $0.268\text{ }^{\circ}\text{C}/(10\text{a})$ 、 $0.241\text{ }^{\circ}\text{C}/(10\text{a})$ 、 $0.287\text{ }^{\circ}\text{C}/(10\text{a})$,其中春季增温对该地区年平均气温贡献最大,且呈现出降-升-降-升-降的交替变化,为四季气温年际变化最明显的季节。

(3) 威海市年平均气温存在多时间尺度,即年代际周期和年际尺度的周期性变化。时域中年代际周期为17~18 a,主要表现在2000年之前,4~6 a尺度表现在1980年-1990年间及2005年以后,在4~6 a尺度背景下,威海市目前处于气温偏高时期。

(4) 年平均气温突变发生在1987年,1988年后一直上升;春季、秋季气温突变均发生在1987年左右,夏季气温突变发生在1990年,冬季气温突变发生在1971年;各个季节在发生突变后均升温趋势显著。

参考文献(References):

- [1] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 气象出版社, 2008. (WEI Feng ying, Modern Climate Statistics Diagnosis and Prediction[M]. Meteorological Press, 2008. (in Chinese))
- [2] 李占杰, 鱼京善, 信达. 1951年-2010年贵阳市气温变化特征分析[J]. 南水北调与水利科技, 2011, 9(5): 31-35. (LI Zhan jie, YU Jing shan, et al. Characteristic analysis of temperature in Guiyang from 1951 to 2010[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2011, 9(5): 31-35. (in Chinese))
- [3] 李叶妮, 孙卫国, 史珺, 等. 多时间尺度分析近60年营口地区气温变化[J]. 科学技术与工程, 2013, 13(2): 1566-1573. (LI Ye ni, SUN Wei guo, SHI Jun, et al. Multiple time scales analysis of temperature changes for the past 60 years in Yingkou[J]. Science Technology and Engineering, 2013, 13(2): 1566-1573. (in Chinese))
- [4] 王宏, 马凤莲, 李云强, 等. 承德近57 a气温变化及其多时间尺度分析[J]. 气象水文海洋仪器, 2009(1): 80-83. (WANG Hong, MA Feng lian, LI Yun qiang, et al. Multi time scale analysis on change trend and characteristics of air temperature in Chengde for the last 57 years[J]. Meteorological, Hydrological and Marine Instruments, 2009(1): 80-83. (in Chinese))
- [5] 邓山, 陆晓明, 陆宝宏, 等. 南京市近53年气温和降水量特征分析[J]. 水电能源科学, 2014, 32(8): 14-17. (DENG Shan, LU Xiaoming, LU Baohong, et al. Variation analysis of annual mean temperature and precipitation near 53 years in Nanjing City[J]. Water Resources and Power, 2014, 32(8): 14-17. (in Chinese))
- [6] 庄红娟, 何太蓉, 刘存东, 等. 秦岭黄淮平原交界带中东部近50a气温变化特征分析[J]. 河南理工大学学报: 自然科学版, 2009, 28(5): 670-674. (ZHUANG Hong juan, HE Tai rong, LIU Cun dong, et al. Characteristics of air temperature change in the east of transitional region between Qinling mountains and Huanghuai plain in recent 50 years[J]. Journal of Henan University: Natural Science, 2009, 28(5): 670-674. (in Chinese))
- [7] 时振阁. 唐山市降水量序列变化规律分析[J]. 南水北调与水利科技, 2010, 8(8): 164-167. (SHI Zhen ge. Analysis to precipitation sequence variation in Tangshan City[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2010, 8(8): 164-167. (in Chinese))
- [8] 刘宇峰, 孙虎, 原志华. 1960年至2007年汾河流域气温年际和季节性变化特征分析[J]. 资源科学, 2011, 33(3): 489-496. (LIU Yu feng, SUN Hu, YUAN Zhi hua. Annual and seasonal change characteristics of temperature in the Fenhe river basin during the period 1960-2007[J]. Resources Science, 2011, 33(3): 489-496. (in Chinese))
- [9] 郭磊, 陈立春, 范庆东. 莱阳市近40年气温变化特征分析[J]. 科技创新导报, 2013(3): 160. (GU O Lei, CHEN Li chun, FAN Qing dong. The temperature variation in Laiyang for nearly 40 years[J]. Science and Technology Innovation Herald, 2013(3): 160. (in Chinese))
- [10] 范兰, 吕昌河, 杨彪. 近15 a中国气温变化趋势分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2014, 8(5): 34-38. (FAN Lan, LV Chang he, YANG Biao. Trend of temperature in recent 15 years in China[J]. Desert and Oasis Meteorology, 2014, 8(5): 34-38. (in Chinese))
- [11] 阿依加马力. 克然木, 努尔巴衣. 阿布都沙力克. 近52年新新疆吐鲁番市气温及降水量变化特征分析[J]. 干旱区资源与环境, 2014, 28(12): 45-49. (Ayijiamali keranmu, Nuerbayi Abdouzhake, Analysis of temperature and rainfall changes in recent 52 years in Turpan city, Xinjiang[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2014, 28(12): 45-49. (in Chinese))
- [12] 刘健, 林琳, 陈学群, 等. 黄河三角洲地区降水时序变化特征研究[J]. 水资源保护, 2012, 28(1): 22-28. (LIU Jian, LIN Lin, CHEN Xue qun, et al. Characteristics of variation of precipitation time series in Yellow River Delta[J]. Water Resources Protection, 2012, 28(1): 22-28. (in Chinese))
- [13] 胡刚, 宋慧. 基于 Mann Kendall 的济南市气温变化趋势及突变分析[J]. 济南大学学报: 自然科学版, 2012(1): 96-101. (HU Gang, SONG Hui, Analysis of Air Temperature Variation Trend and Abrupt Change in Jinan Based on Mann Kendall Test[J]. Journal of University of Jinan: Sci. and Tech, 2012(1): 96-101. (in Chinese))
- [14] 傅丽昕. 近57来和丰县气温和降水量的趋势性及突变特征分析[J]. 南水北调与水利科技, 2014, 12(4): 38-41. (FU Li xin. Tendency and mutation analysis of annual temperature and precipitation of Hefeng county in recent 57 years[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2014, 12(4): 38-41. (in Chinese))
- [15] 张金峰, 张丽娟, 陈红, 等. 哈尔滨市近50年气温的突变特征及趋势分析[J]. 中国农学通报, 2011, 27(6): 313-316. (ZHANG Jin feng, ZHANG Li juan, CHEN Hong, et al. The Variational characteristics and trend prediction of temperature in Harbin past 50 years[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(6): 313-316. (in Chinese))
- [16] 闫淑莲, 周淑玲. 威海市近40年气温变化特征[J]. 现代农业科技, 2009, (15): 356-358. (YAN Shu lian, ZHOU Shu ling, The temperature variation in Weihai for nearly 40 years[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2009, (15): 356-358. (in Chinese))