

李颖, 任家璇, 冯玉, 等. 近60年辽宁省极端气候事件趋势时空变化特征分析[J]. 灾害学, 2017, 32(1): 96-105. [LI Ying, REN Jiakuan, FENG Yu, et al. Spatial and temporal characteristics of trends in extreme weather events in Liaoning province during 1957-2014 [J]. Journal of Catastrophology, 2017, 32(1): 96-105. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2017.01.017.]

## 近60年辽宁省极端气候事件趋势 时空变化特征分析\*

李颖, 任家璇, 冯玉, 唐伟男

(辽宁师范大学城市与环境学院, 辽宁大连116029)

**摘要:**选取辽宁省22站近60年逐日气温和降水序列,通过经验模态分解(EMD)和克里金插值等方法,分析辽宁省极端气温、降水及干旱日数的时空变化特征。结果表明:①近60年极端低温、高温日数分别呈现-1 d/10年和0.5 d/10年的变化趋势;速率变化空间上分别表现为两低(建平、宽甸)一高(彰武)中心区和自西南向东北逐渐减小的趋势;极端气温总日数分别呈现自西南、东南向北部逐渐减少和以抚顺-沈阳-鞍山-营口一线为中心,向两侧递减的趋势。②极端降水日数以-0.2 d/10年的趋势微弱降低,波幅较大;变化速率等值线将辽宁地区划分为两部分,其中辽东南距海较近且山地较多,降水变化明显;总日数空间变化表现出明显的由沿海向内陆减少趋势。③连续干旱日数以-0.6 d/10年速率下降,年均干旱日数22 d;空间上,岫岩下降趋势最大,为-1 d/10年,朝阳、阜新、绥中、彰武变化较小,介于-0.3~-0.5 d/10年之间;总日数具有一高(建平)一低(清原)中心。

**关键词:**极端气候事件;趋势;时空变化;百分位阈值;EMD;辽宁省

**中图分类号:** X43; P429 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2017)01-0096-10

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2017.01.017

随着全球气候变化,极端气候事件的群发性特征愈加明显,极端气候事件的多发对人民的生命和财产安全造成极大影响。2012年美国旱灾恶化,全国接近2/3的地区遭遇干旱,是自记录以来,发生的灾区范围最广的旱灾。2008年低温冻害袭击我国南方省市,致使107人因此丧命,国家直接经济损失达1100多亿元。区域极端气候事件频发,其变化规律愈加受到国内外学者的关注。中国地域广大,地势复杂,极端气候事件导致的灾害频繁。暴雨、洪涝、干旱、冷害、暴雪、热浪、连阴雨等气象灾害每年造成的直接经济损失占国民生产总值的3%~6%,因此,研究极端气候事件时空变化特征显得尤为重要。

在全球,气候变化已是广为关注的问题,IPCC第五次评估报告指出:1880-2012年,全球平均地表温度升高0.85℃<sup>[1]</sup>。全球变暖必将引起气候系统变化<sup>[2]</sup>,其中干旱及潮湿事件均呈减少趋势<sup>[3]</sup>;Manton、张雷等人分别对东南亚、南太平洋地区及东亚地区研究发现,极端高温事件呈增

加趋势,极端低温事件则减少<sup>[4-5]</sup>。极端气候事件对自然和社会产生影响,其强度与破坏性较大<sup>[6]</sup>。在中国大陆地区极端气候事件发生频率和强度产生变化,且区域差异显著<sup>[7-10]</sup>。刘琳、蔡新玲、李少魁、董庆林等各自对我国西南、西北及东南、东北地区的极端气候事件分析得出,不同区域其极端气候事件变化特征亦不同<sup>[11-14]</sup>。其中东北地区极端高温事件呈上升趋势,极端低温、极端降水、霜冻日数及冰日都具有下降特征<sup>[14]</sup>。对辽宁省暴雨灾害风险分析发现,暴雨发生概率与暴雨等级呈负相关<sup>[15]</sup>。全球及中国极端气候变化特征研究取得了一定成功,其中,经验模态分解(Empirical Mode Decomposition, EMD)方法是近年来应用较为广泛,与小波分析相比,能更好分析非平稳时间序列特征的一种方法<sup>[16-17]</sup>。在大量学者进行了宏观研究的基础上,应用EMD分析中小尺度极端气候日数时空变化特征的微观研究显得尤为重要。

辽宁省(118°~125°E, 38°~43°N)地处中国

\* 收稿日期: 2016-06-09 修回日期: 2016-08-03

基金项目: 辽宁省教育厅科学技术研究项目(L201683677); 辽宁师范大学青年科研基金项目(LS2015L011)

第一作者简介: 李颖(1986-),女,山西太原人,讲师,主要从事区域气候、气象灾害风险评估等研究。

E-mail: lynn8686@163.com

东北地区南部, 由于受季风气候影响, 各地气温及降水存在明显差异, 对极端气候事件的承受能力较脆弱。该区是我国重要的老工业基地, 人口众多, 经济发展迅速。由于极端气候事件的频发, 给当地经济、生活带来很大损失, 因此探究辽宁省极端气温、降水以及干旱事件时空变化特征, 全面透视辽宁省极端气候事件变化规律十分必要。本文基于辽宁省近 60 年的气温、降水数据, 运用百分位阈值法、EMD、克里金插值等分析其极端气候事件时空变化特征, 以期与当地自然、人文及社会的建设、发展和防灾减灾工作提供科学指导及依据。

## 1 数据及方法

### 1.1 数据来源

辽宁省气象数据来源于中国气象数据网 (<http://data.cma.cn/>), 依据筛选数据的连续性及其最长时段性原则, 采用辽宁省 22 个气象站点 1957 - 2014 年的逐日气温及降水序列进行研究 (图 1)。选取极端高温日数、极端低温日数、极端降水日数以及连续干旱日数 4 个指标来展现辽宁省极端气候事件不同层面的变化 (表 1)。

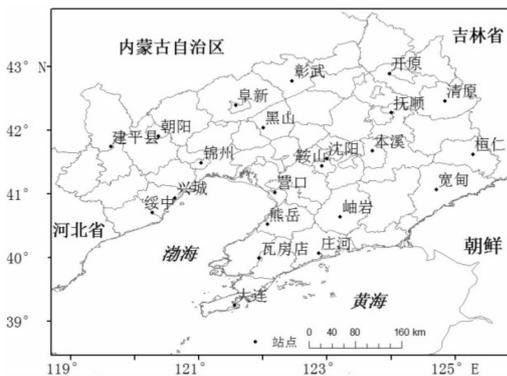


图 1 辽宁省区域分布图

表 1 极端气候事件指标及其定义

指标名称	定义
极端高温日数	某年每日平均气温高于极端高温阈值的总天数
极端低温日数	某年每日平均气温低于极端低温阈值的总天数
极端降水日数	某年每日平均降水量高于降水量阈值的总天数
连续干旱日数	某年中最大连续无降水天数

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 百分位阈值法

极端气候事件通常指某一时段内某类气候要素量值超出其特定阈值的事件<sup>[10]</sup>, 本文采用百分位阈值法来确定极端气候事件阈值。极端气温及降水阈值是将各站 1957 - 2014 年逐日的气温及降水升序排列, 取气温低于 5% (高于 95%) 的 22 站

58 年平均值为极端低 (高) 温阈值; 取高于 95% 的降水量的平均值为极端降水阈值。连续干旱日数定义为降水量小于 0.1 mm 的 1 d, 连续干旱日数则定义为每个夏半年 (即作物生长期 3 - 9 月) 中连续无降水日数出现最长的天数。

#### 1.2.2 经验模态分解 (EMD)

经验模态分解 (EMD) 能直观、深入的分析非平稳信号, 可高效分析长时间序列气象数据的变化趋势<sup>[16-18]</sup>。具体如下:

##### (1) 瞬时频率

对于任一时间连续函数  $X(t)$ , 通过 Hilbert 变换求其瞬时频率:

$$Y(t) = \frac{1}{\pi} P \int_{-\infty}^{\infty} \frac{x(\tau)}{t - \tau} dt. \quad (1)$$

式中:  $P$  为 Cauchy 主值。根据定义式 (1), 可构造一个解析信号  $Z(t)$ :

$$Z(t) = X(t) + iY(t) = a(t)e^{i\theta(t)}. \quad (2)$$

其中:  $a(t) = \sqrt{X^2(t) + Y^2(t)}$ ,

$$\theta(t) = \arctan \left( \frac{Y(t)}{X(t)} \right). \quad (3)$$

$X(t)$  和  $Y(t)$  分别为实部和虚部, 式 (3) 定义了  $Z(t)$  的振幅和幅角。用幅角的时间导数来定义瞬时频率:

$$\omega = \frac{d\theta(t)}{dt}, \quad (4)$$

表明瞬时频率是时间的单值函数。

##### (2) 本征模态函数 (IMF)

本征模态函数可以表征序列内在的、固有的振荡模态。它将原始资料  $X(t)$ , 逐级筛选, 最后分解出几个 IMF 分量以及一个趋势项, 来分析时间序列的变化特征。本征模态函数具有两个条件: ①在整个资料集里, 极值点的数目与穿零点的数目必须相等或者最多相差一个; ②由局部极大值所构造的包络线以及局部极小值所构成的包络线的平均值为零。

#### 1.2.3 克里金插值法

克里金插值法是根据样品的空间位置以及相关程度的不同, 对样品变量进行最优化处理的一种地理学统计方法<sup>[19]</sup>。本文运用普通克里金进行插值。

设  $x_1 \cdots x_n$  为区域上的一系列观测点,  $z(x_1) \cdots z(x_n)$  为相应的观测值。区域化变量在此处的值可采用一个线性组合来估计:

$$z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(x_i). \quad (5)$$

无偏性和估计方差最小被作为  $\lambda$  选取的标准。

$$\text{无偏 } E[z(x_0) - z^*(x_0)] = 0; \quad (6)$$

$$\text{最优 } \text{Var}[Z(X_0) - Z^*(X_0)] = \min. \quad (7)$$

## 2 结果分析

### 2.1 极端低温事件

辽宁省近60年的极端低温阈值为 $-14.65\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，研究期内1995年及2007年各地冬季气温较高，整体偏暖。运用EMD分析显示，极端低温日数变化主要呈3种(表2)。22个地区中，有21个呈下降趋势，因此，认为该区极端低温日数表现为下降状态，平均约为 $-1\text{ d}/10\text{ 年}$ 。因变化趋势分4种，选取各自颇具代表性的4个地区：阜新、桓仁、彰武和建平在此阐述。

表2 极端低温日数变化趋势

变化趋势	地区
高-低	鞍山、本溪、朝阳、大连、阜新、黑山、锦州、开原、宽甸、清原、沈阳、熊岳、岫岩、营口、庄河
高-低-高呈下降趋势	抚顺、桓仁、瓦房店、兴城
高-低-高呈上升趋势	彰武
低-高-低呈下降趋势	建平、绥中

阜新极端低温日数呈由高-低的变化趋势，速率为 $-0.3\text{ d}/10\text{ 年}$ (图2A)。近40年阜新处于暖期，原时间序列最高频的分量是2~4年(图2Aa)。图2Ab中主要振荡体现在1963-1981年和1998年之后，其他时段内都趋于零。其主要变化为图

2Aa、图2Ac，分别代表2~4年、12~20年尺度的振荡。1957-2014年，极端低温日数下降了2d(图2Ae)。

桓仁极端低温日数呈高-低-高但总体下降的变化趋势，速率为 $-1.4\text{ d}/10\text{ 年}$ (图2B)。极端低温日数振荡较剧烈(图2Ba)，且振荡主要发生于1987年之前(图2Bb)。其变化没有明显的周期性(图2Bc)，1957-1999年，极端气温日数下降了14d，1999-2014年极端低温日数升高了6d。总体而言，其表现出减小趋势(图2Bd)。

彰武极端低温日数呈高-低-高但总体上升的变化趋势，速率为 $0.09\text{ d}/10\text{ 年}$ (图2C)。该地区最短时间尺度的振荡为2~6年(图2Ca)。1980-2003年彰武极端低温日数振荡幅度较大，可能发生突变(图2Cb)。变化存在一个26年的振荡周期(图2Cd)，1957-1977年呈下降状态，1977年降至最低，其后开始回升，2014年相较于1957年极端低温日数增加了0.55d(图2Ce)。

建平极端低温日数呈低-高-低但总体下降的变化趋势，速率为 $-2\text{ d}/10\text{ 年}$ (图2D)。最高频率振荡为2~4年(图2Da)，原时间序列的变化主要由图2Da、2Dc组成，其局部极大值、极小值均围绕0均值线对称。极端低温日数在1957-1973年间略微上升，1973年后呈显著下降趋势(图2Dd)。

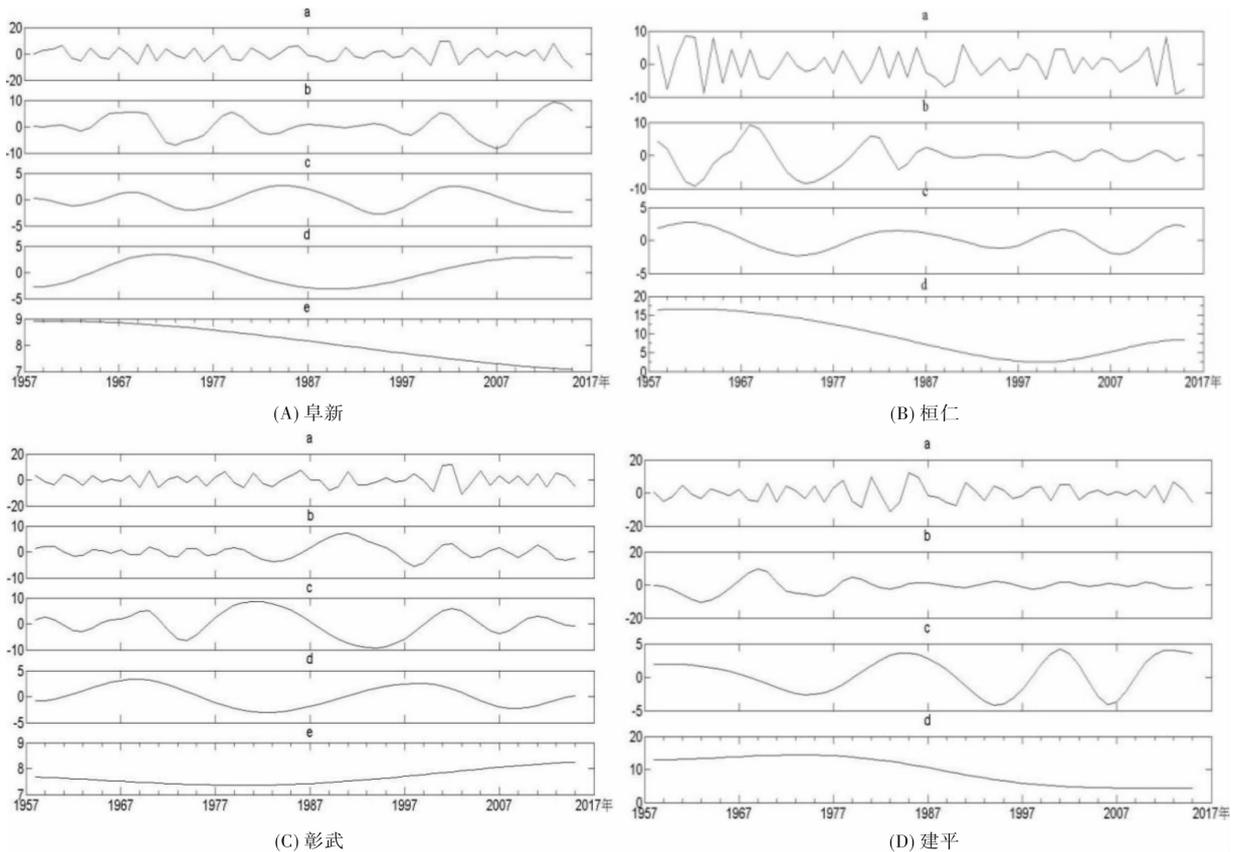


图2 极端低温日数EMD分解

辽宁省极端低温事件变化速率在空间上(图 3)表现出以西南部建平及东北部宽甸为低值中心、以西北部彰武为高值中心的特点。其中,宽甸最低,下降速率为  $-2.9$  d/10 年,建平为  $-2$  d/10 年,彰武最高,高于  $0$  d/10 年。根据等值线分布可以把辽宁省极端低温变化分为高于  $-0.6$  d/10 年且具有两个中心的低值区,和低于  $-0.6$  d/10 年且仅具有一个中心的高值区。

近 60 年极端低温总日数空间分布大致呈由西南、东南向北部逐渐减少趋势(图 4)。其中西南部的建平、兴城最多,大于 520 d;北部的彰武最低,低于 485 d。结合图 3 和图 4 可以看出,辽宁省极端低温事件主要发生在以建平及宽甸为中心,呈放射状向四周辐散的区域。

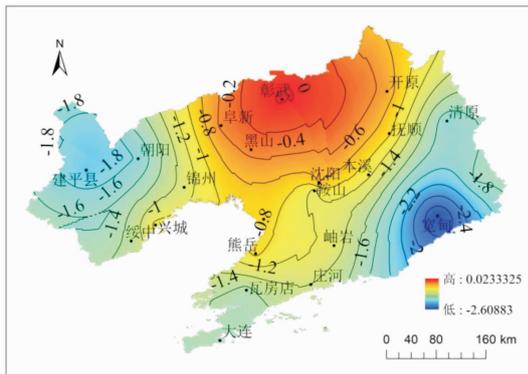


图 3 极端低温事件速率变化空间分布(d/10 年)

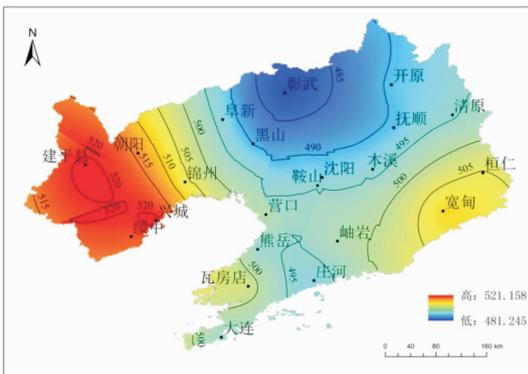


图 4 近 60 年极端低温总日数空间分布(d)

## 2.2 极端高温事件

辽宁省近 60 年极端高温阈值为  $26^{\circ}\text{C}$ , 变化规律分 5 种(表 3)。在研究区中有 16 个呈上升趋势, 超过半数, 由此, 认为辽宁省极端高温事件约以  $0.5$  d/10 年的趋势增加。由分析可知辽宁省正逐渐变暖, 这与中国平均最高气温变化的趋势相同<sup>[20]</sup>。由于宽甸、瓦房店、朝阳、抚顺和鞍山的变化趋势明显且 IMF 分量特征显著, 因此选其为代表进行分析。

表 3 极端高温日数变化趋势

变化趋势	地区
低-高	阜新、建平县、锦州、宽甸、清原、沈阳、绥中、兴城、熊岳、岫岩、营口、庄河
高-低	本溪、桓仁、瓦房店、彰武
高-低-高呈上升趋势	朝阳
低-高-低呈下降趋势	抚顺
高-低-高-低呈上升趋势	鞍山、大连、开原

宽甸极端高温日数呈由低-高的变化趋势, 速率为  $0.6$  d/10 年(图 5A)。其最短振荡周期为 2~6 年(图 5Aa), 振荡主要发生于 1977 年以后, 且在 1977-1992 年间振荡幅度较大(图 5Ab)。极端高温日数具有一个 10~15 年的周期(图 5Ac), 虽宽甸地区极端高温日数具有不同程度的振荡特征, 但总体趋势呈上升状态(图 5Ae)。

瓦房店极端高温日数呈由高-低的变化趋势, 速率约为  $-0.03$  d/10 年(图 5B)。这种变化主要由图 4Bb、4Bc、4Bd 三个 IMF 分量构成, 振荡周期分别为 4.5~6 年、6~12 年、14~20 年。1972-1995 年, 瓦房店极端高温日数变化不明显, 只存在一个小型振荡(图 5Ba、5Bb、5Bc)。

朝阳极端高温日数呈高-低-高但总体上升的变化趋势, 速率为  $0.4$  d/10 年(图 5C)。1957-1983 年, 朝阳极端高温日数逐年下降, 此后极速上升, 尤其在 1983-2007 年间上升显著, 约升高 5 d。由于使用极端高温日数原序列, 趋势项数值与原序列同量级(图 5Cd), 此时平稳性取决于数值变化与原值量级的相对大小<sup>[11]</sup>。

抚顺极端高温日数呈低-高-低但总体下降的变化趋势, 速率为  $-0.08$  d/10 年(图 5D)。1959-1979 年及 2005-2014 年其波动幅度较小(图 5Da), 具有一个 7~8 年的波动周期(图 5Db), 1987 年前相较于 1987 年后波动平缓(图 5Dc、5Dd), 1957-1986 年极端高温日数约升高 1.5 d, 1986-2014 年其下降约 2 d, 总体呈下降趋势(图 5De)。

鞍山极端高温日数呈高-低-高-低但总体上升的变化趋势, 速率为  $1$  d/10 年(图 5E)。1995-2005 年波动最剧烈, 振幅最大, 达到 20(图 5Ea)。次振荡主要以 1995-2005 年为中心向两侧延展(图 5Eb、c、d)。1957-1976 年极端高温日数下降, 降低约 5 d, 1976-1997 年上升, 升高约 14 d, 1997-2014 年下降, 降低约 4 d, 总体而言, 鞍山极端高温呈上升趋势(图 5Ee)。

辽宁省极端高温事件速率变化具有自西南向东北逐渐减小的趋势(图 6), 其中建平极端高温日数增加最快, 为  $1.2$  d/10 年, 本溪、开原极端高

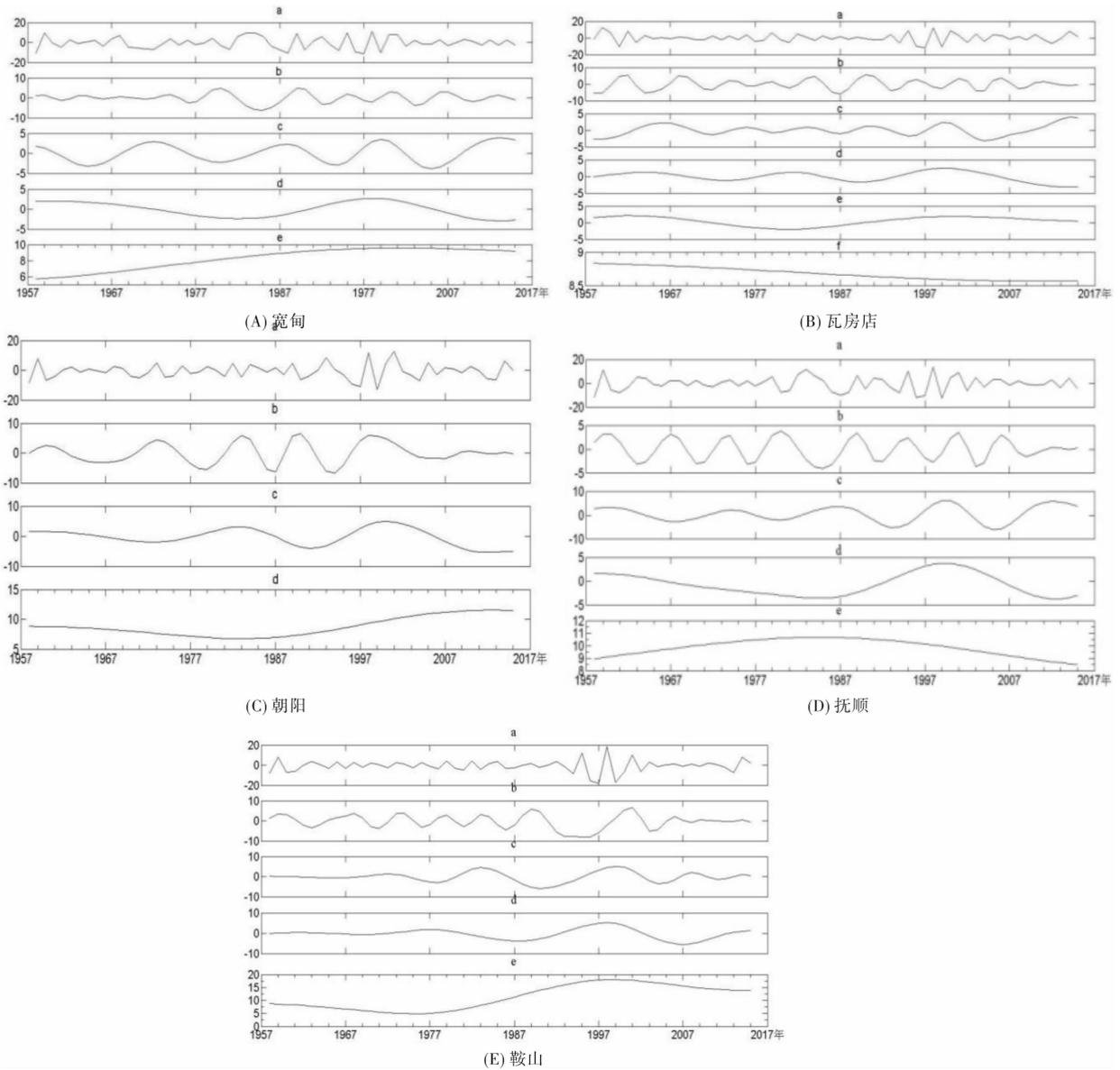


图5 极端高温日数EMD分解

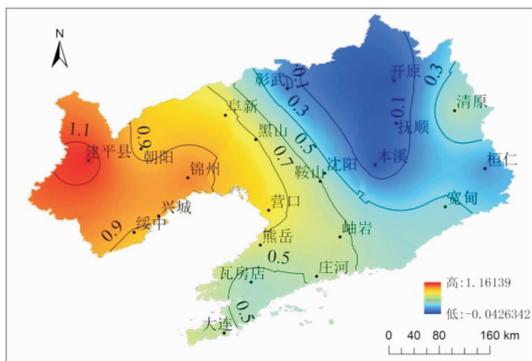


图6 极端高温事件速率变化空间分布(d/10年)

温日数增加缓慢, 低于 0.1 d/10 年。在辽西地区北部及辽宁中部地区, 等值线较密, 说明该区极端高温事件变化差异显著。

近 60 年极端高温总日数空间分布以抚顺、清原、开原为中心向西南、东南部逐渐减小(图 7)。

位于高值中心的三个地区, 极端高温总日数均大于 520 d。最低值出现在辽宁西南部, 朝阳、绥中两地的极端高温日数低于 475 d。除大连、瓦房店外, 极端高温总日数基本以抚顺、沈阳、鞍山、营口一线为轴线, 向两侧逐渐减少。

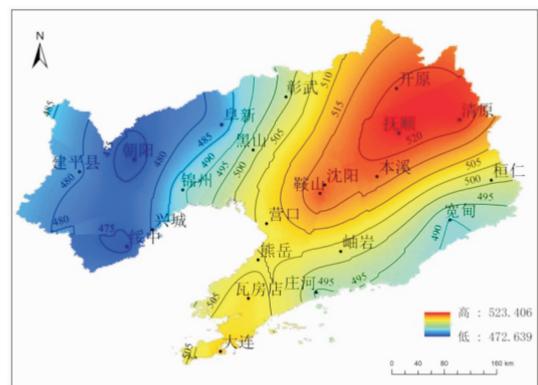


图7 极端高温总日数空间分布(d)

### 2.3 极端降水事件

辽宁省近 60 年极端降水事件正以  $-0.2 \text{ d}/10$  年的速率缓慢下降。22 个地区中, 呈下降趋势的有 15 个, 呈上升趋势的有 7 个(表 4)。该区平均日降水量为  $12.56 \text{ mm}$ , 极端降水日数年代间波动幅度较大, 最多为 39 d, 最少为 4 d。以下选取沈阳、庄河、锦州、绥中、彰武、阜新、为代表进行论述。

表 4 极端降水日数变化趋势

变化趋势	地区
低 - 高	朝阳、沈阳、瓦房店
高 - 低	鞍山、抚顺、黑山、开原、清原、兴城、熊岳、庄河、大连、岫岩
高 - 低 - 高呈上升趋势	本溪、锦州
高 - 低 - 高呈下降趋势	桓仁、宽甸、绥中
低 - 高 - 低呈上升趋势	建平、彰武
高 - 低 - 高 - 低呈下降趋势	阜新、营口

沈阳极端降水日数呈低 - 高的变化趋势, 速率为  $0.2 \text{ d}/10$  年(图 8A)。1971 - 1985 年间振荡较为平缓(图 8Aa), 且存在一个 25 年左右的周期(图 8Ad)。近 60 年, 极端降水日数增加了  $1.6 \text{ d}$ (图 8Ae)。

庄河市极端降水日数呈高 - 低的变化趋势, 速率为  $-0.3 \text{ d}/10$  年(图 8B)。其最高频振荡为 2 ~ 6 年(图 8Ba), 20 世纪初该区极端降水变化不明显(图 8Bb)。整体具有一个以 20 年为周期的呈低 - 高 - 低的变化(图 8Bc)。1960 年代中后期极端降水日数略微增加, 1970 年代早期至 1990 年代后期下降明显, 21 世纪后一直保持这种状态(图 8Bd)。

锦州极端降水日数呈高 - 低 - 高但总体上升的变化趋势, 速率为  $0.2 \text{ d}/10$  年(图 8C)。其最小尺度振荡为 4 ~ 6.5 年(图 8Ca), 10 ~ 22 年振荡尺度中, 局部极大值与局部极小值表现出围绕 0 均值

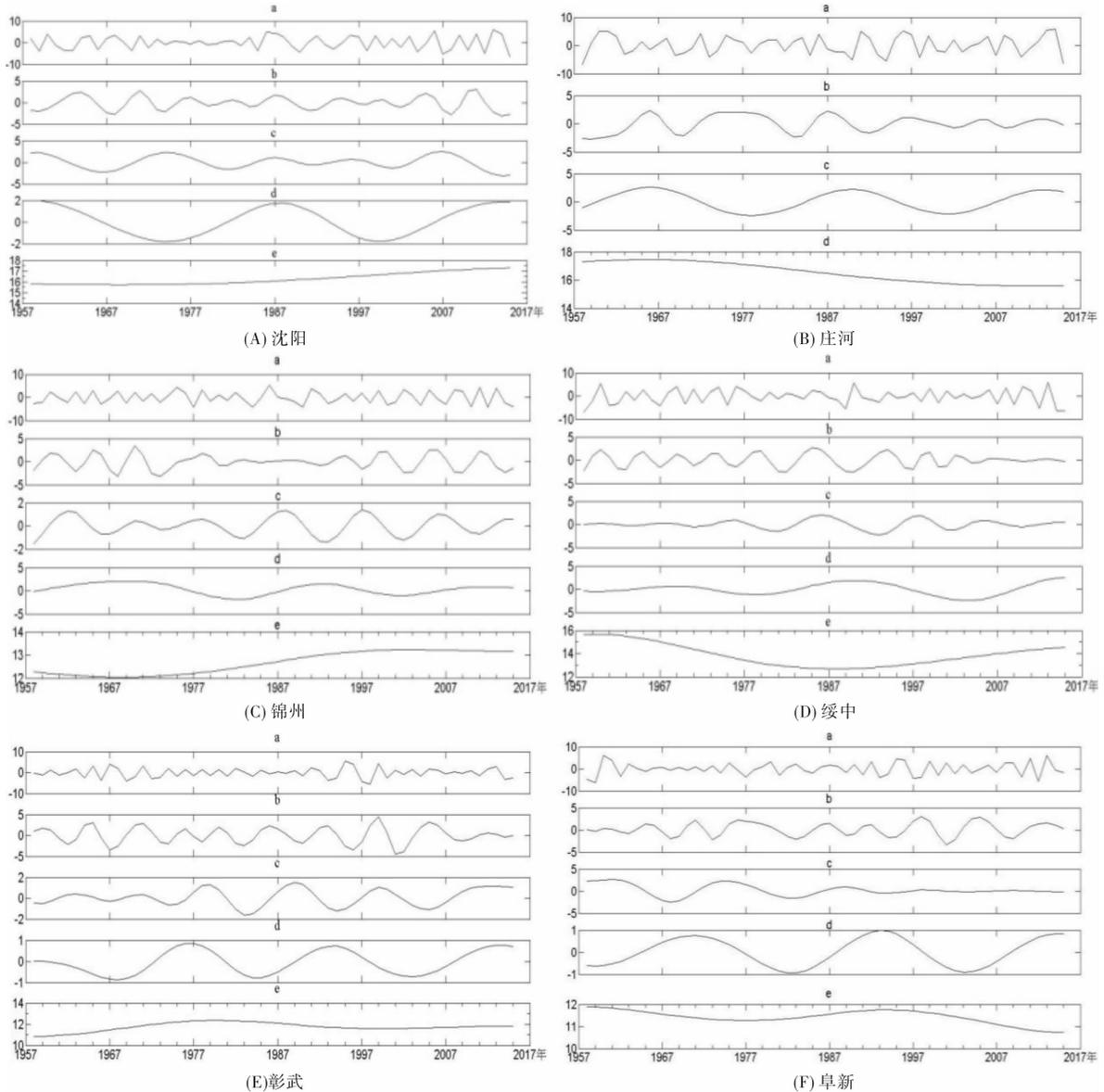


图 8 极端降水日数 EMD 分解

线基本对称的模式(图 8Cd)。极端降水日数在 1957-1967 年 10 年间略微下降,后显著上升,逐渐趋于 13 d(图 8Ce)。近 60 年来锦州地区的平均日降水量为 8.718 mm,与辽宁省平均日降水量相比较低。

绥中极端降水日数呈高-低-高但总体下降的变化趋势,速率为 -0.1 d/10 年(图 8D)。其最高频振荡是 2~5 年(图 8Da),变化主要发生在 1977-1997 年间(图 8Db、c),无明显周期。1957-1987 年,极端降水日数下降了 3 d,1987-2014 年上升了 1.5 d,总体呈下降趋势(图 8De)。

彰武极端降水日数呈低-高-低但总体上升的变化趋势(图 8E)。其振幅较小,波动平缓(图 8Ea),2009 年后变化基本趋近于 0(图 8Eb),存在一个 8~10 年的次周期(图 8Ec)及一个 18~20 年左右的主周期(图 8Ed)。1957-1979 年,极端降水日数逐渐上升,升高约 2 d,1979-2014 年逐渐下降,下降约 0.8 d(图 8Ee)。

阜新极端降水日数呈高-低-高-低但总体下降的变化趋势,速率为 -0.3 d/10 年(图 8F)。其变化幅度较为平缓(图 8Fa),1960 年代前几乎无变化(图 8Fb),1990 年代中后期振幅接近于 0(图 8Fc)。1957-1997 年,极端降水日数约下降 0.8 d,1977-1995 年微弱上升 0.6 d,而 1995 年后发生较明显的下降变化,数值超过了 1 d(图 8Fe)。

辽宁省极端降水事件变化不明显,空间插值等值线较少且数值较低(图 9)。极端降水速率变化主要以 -0.3 d/10 年一线为界,将辽宁省划分为两部分。辽宁省极端降水区域划分明显但数值变化不大,与王震等<sup>[21]</sup>的研究结果一致。这种空间分布特征与辽宁东南部靠近海洋且具有一部分山区有关。

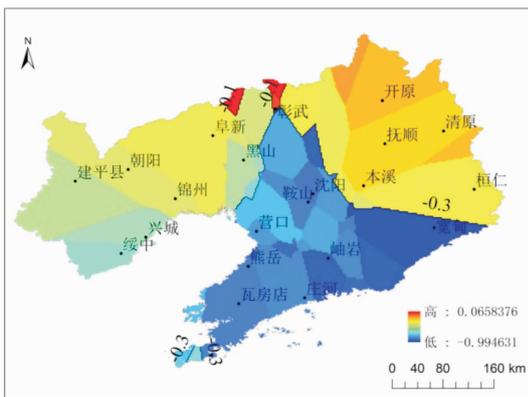


图 9 极端降水事件速率变化空间分布(d/10 年)

近 60 年极端降水总日数空间分布以宽甸为中心向四周逐渐减小(图 10)。其中宽甸极端降水总日数大于 1300 d;建平、朝阳、阜新、彰武四地小

于 700 d。等值线分布表现出明显的由沿海向内陆逐渐变小的趋势。宽甸地区由于存在山区,植被较多,且对海洋吹来的湿空气具有阻挡作用,因此极端降水较多。

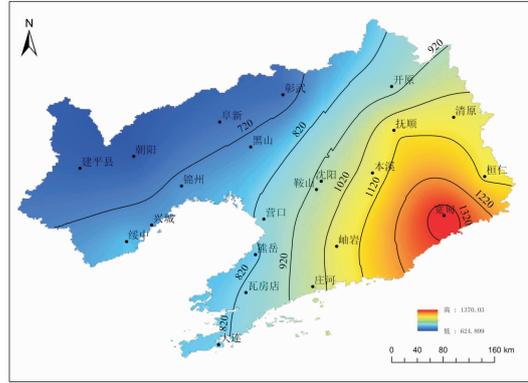


图 10 极端降水总日数空间分布(d)

2.4 极端干旱事件

近 60 年来辽宁省连续干旱日数平均为 22 d/年,最短为 6 d,最长为 62 d。最短连续干旱日数大都出现在 1970 年代和 1990 年代,其中最主要的是 1990 年代,这说明 1990 年代期间辽宁地区降水量普遍较多。最长连续干旱日数各年代均有分布,没有较为集中的年代。研究区中有 18 个呈下降趋势(表 5),因此认为辽宁地区连续干旱日数正逐渐下降,速率为 -0.6 d/10 年。本文选取较有代表性的绥中、本溪、大连及宽甸为例,进行分析。

表 5 连续干旱日数变化趋势

变化趋势	地区
低-高	绥中、彰武、清原
高-低-高呈上升趋势	本溪
高-低-高呈下降趋势	桓仁、抚顺、建平、锦州、大连、瓦房店
高-低	兴城、朝阳、沈阳、鞍山、营口、开原、宽甸、岫岩、熊岳、庄河、阜新、黑山

绥中连续干旱日数呈由低-高的变化趋势,速率为 0.8 d/10 年(图 11A),第一个 IMF 分量反应了原序列非平稳性(图 11Aa)。主要振荡发生在 1957-1977 年以及 1987 年后,1977-1987 年间序列振荡趋于平缓且接近于 0(图 11Ab)。从长期尺度看绥中连续干旱日数振幅不大(图 11Ac、11Ad),60 年来,极端干旱日数增加了 5 d 左右(图 11Ae)。

本溪连续干旱日数呈高-低-高但总体上升的变化趋势,速率为 0.1 d/10 年(图 11B)。从最高频震荡来看,1973-1983 年及 1987-1992 年连续干旱日数变化微弱,振幅趋近于 0(图 11Ba)。其具有一个 18 年左右的变化周期(图 11Bd),1957

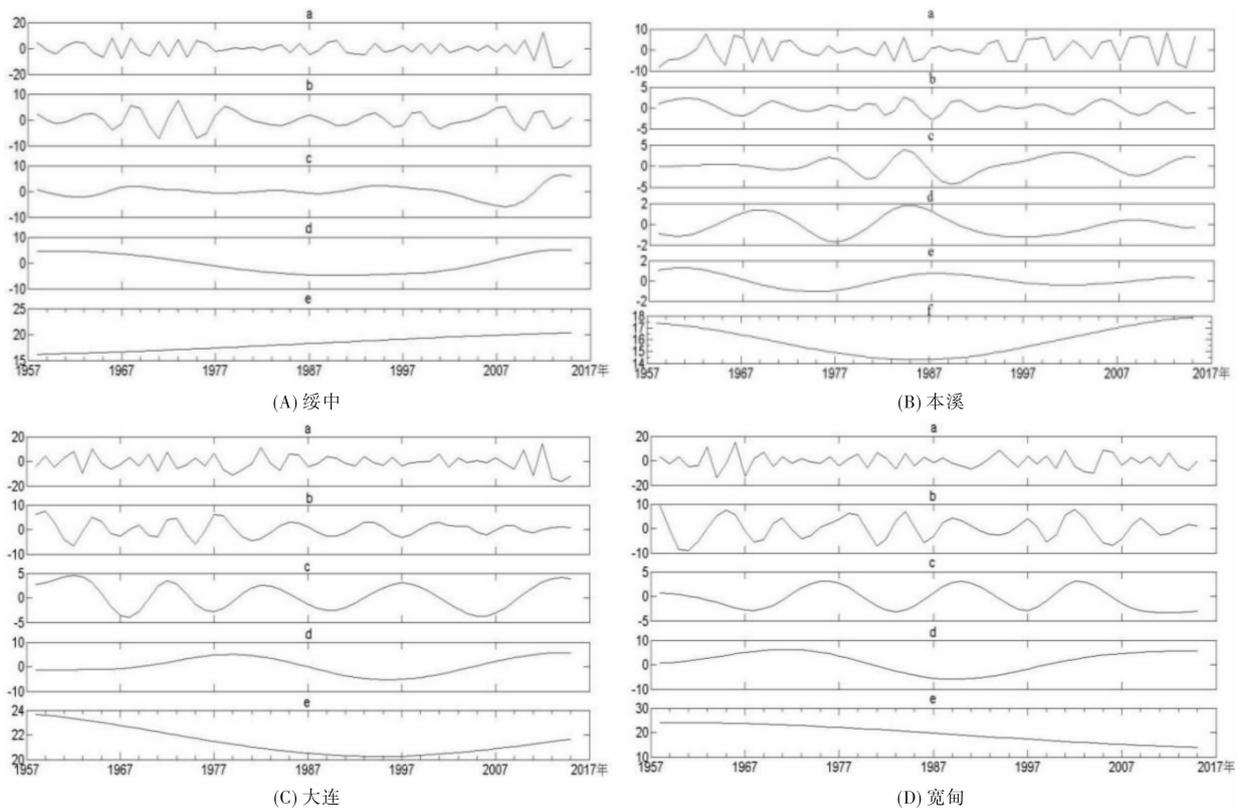


图 11 连续干旱日数 EMD 分解

-1985 年呈下降状态, 降低了 3 d; 1985 - 2014 年呈上升状态, 增加了 3.7 d(图 11Bf)。

大连连续干旱日数呈高 - 低 - 高但总体下降的变化趋势, 速率为 -0.3 d/10 年(图 11C)。在 1957 - 1995 年呈显著下降趋势, 38 年间下降 4 d 左右, 1995 年后其表现出缓慢上升趋势(图 11Ce)。该市最大连续干旱日数为 44 d, 最小为 11 d, 58 年平均值约为 21.5 d。

宽甸连续干旱日数呈由高 - 低的变化趋势, 速率为 -1.7 d/10 年(图 11D)。1962 - 1967 年间振荡较强(图 11Da), 且具有一个 14 年的周期(图 11Dc), 1957 - 2014 年, 连续干旱日数下降约 10 d(图 11De)。

连续干旱事件空间速率变化以岫岩为低值中心, 呈放射状向四周升高(图 12)。其中, 岫岩的下降速率低于 -1 d/10 年, 庄河及宽甸低于 -0.8 d/10 年, 大连、熊岳、营口、瓦房店等地的连续干旱日数下降速率也较大, 这与它们距海较近有关。

近 60 年连续干旱总日数空间分布无明显变化趋势(图 13)。其中建平连续干旱总日数最多, 大于 1 590 d; 清原最低, 小于 890 d。等值线分布极不规则, 仅在辽宁西南部具有小范围的由高 - 低的逐渐减小趋势, 其低值中心为绥中, 连续干旱日数小于 1 090 d。

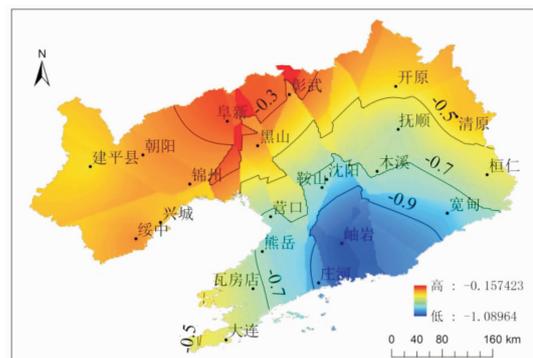


图 12 连续干旱事件速率变化空间分布(d/10 年)

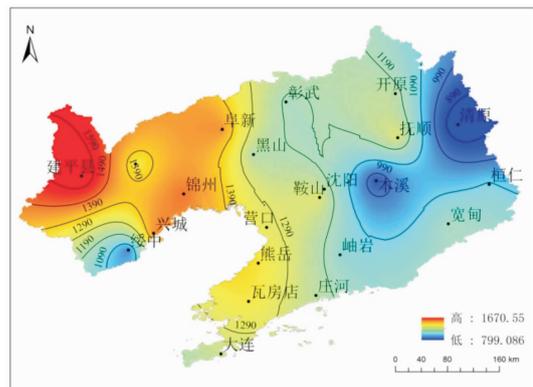


图 13 连续干旱事件总日数空间分布(d)

### 3 结论与讨论

#### 3.1 结论

通过对辽宁省22个地区近58年来的逐日气温及降水序列的研究,揭示辽宁省极端气温、极端降水及极端干旱日数的时空变化特征,主要结论如下:

(1)极端低温日数以 $-1\text{ d}/10$ 年的速率下降,其中宽甸地区降低速率最快,小于 $-2.4\text{ d}/10$ 年。因为极端低温数值较大,所以1995、2007年属暖冬年份。空间上,极端低温速率变化具有宽甸、建平两个低值中心和彰武一个高值中心。极端低温总日数建平、兴城最高,大于520 d,彰武最低,小于485 d。

(2)极端高温日数以 $0.5\text{ d}/10$ 年的趋势上升。其中建平变化速率最快,大于 $1.1\text{ d}/10$ 年,本溪、抚顺、开原处于最低水平且基本保持不变。空间上,极端高温速率变化具有自西南向东北逐渐降低的趋势。极端高温总日数以辽宁中部平原地区为高值中心向两侧逐渐减少。

(3)极端降水日数以 $-0.2\text{ d}/10$ 年的速率下降,变化趋势不显著。空间分布不均,整体分为两部分—距海较近且具有山区的东南部和距海较远的内陆地区。其中沈阳、鞍山等地属于变化较大地区。极端降水总日数以宽甸(大于1320 d)为中心,由东南沿海向西北内陆逐渐减小。

(4)连续干旱日数以 $-0.6\text{ d}/10$ 年的速率降低,1990年代期间,辽宁省降水量相对较多,因此连续干旱日数数值较小,平均为17 d。其次降水量较多的年代为1970年代。空间上,连续干旱日数速率变化以岫岩为中心逐渐向四周递减,岫岩连续干旱日数变化最大,小于 $-1\text{ d}/10$ 年。连续干旱总日数变化特征不明显,建平为高值区,大于1590 d;清原为低值区,小于890 d。

#### 3.2 讨论

通过以上研究,认为辽宁省极端气候事件时空变化特征一致性与差异性并存,极端低温、降水、干旱日数均呈下降趋势,极端高温日数上升,且在空间分布上差异显著。导致辽宁省极端气候事件发生的因素众多,最主要可能与城市化有关。针对城市化对极端气候的影响这一问题,国内外学者进行了较多的探讨与研究,最早开始关注这一问题的是Howard<sup>[22]</sup>,他于1883年对伦敦城市与郊区的不同气温进行了观测与记录。在国内,周淑贞等以上海市气象数据为基础,总结出城市“四岛效应”<sup>[23]</sup>。在城市化进程中,对极端气候事件起到影响作用的城市化因素主要有经济发展水平、

下垫面变化、人类活动等。本文拟选取地形地貌相似、位置相近,但城市化水平不同的沈阳与鞍山两地进行比较,讨论城市化发展水平对极端气候事件的影响。

沈阳是辽宁省省会城市,根据辽宁省统计年鉴,在2003-2013年间,该市生产总值由原来的1603.8亿元上涨到7158.57亿元,第三产业比重10年间减少了3.9%,但人均生产总值较2003年多出了63579元。在人口数量上,2003-2013年人口增长了38万人,其中非农业人口显著增加,约20万人。农作物耕种面积10年间减少了46343 $\text{hm}^2$ ,绿地面积增加了23680.6 $\text{hm}^2$ ,房屋施工面积增加了11845.1 $\text{hm}^2$ 。

鞍山是辽宁省重要的钢铁生产城市,2003-2013年间,该市生产总值增加了1832.88亿元,第三产业比重增加了2.8%,人均生产总值增长49697元。10年间人口数量增加4.5万人,非农业人口也有略微增加,约为2.4万人。在下垫面变化方面,鞍山市耕地面积增加了7301 $\text{hm}^2$ ,城市绿地面积增加3989.43 $\text{hm}^2$ ,房屋施工面积增加3038 $\text{hm}^2$ 。

综上可见两个城市虽然距离较近,但城市化水平存在明显差异,其中沈阳市发展较快,鞍山市相对较慢。相互之间极端气候事件的时空变化存在差异,主要表现为两地极端低温日数持续下降,其中沈阳下降速率为 $-0.3\text{ d}/10$ 年,鞍山为 $-1.6\text{ d}/10$ 年;极端高温日数沈阳呈持续上升状态,速率为 $0.2\text{ d}/10$ 年,鞍山呈在波动中上升状态,速率为 $0.9\text{ d}/10$ 年;极端降水日数沈阳表现为微弱的上升趋势,速率为 $0.2\text{ d}/10$ 年,鞍山为微弱的下降趋势,速率为 $-0.2\text{ d}/10$ 年;连续干旱日数两地区变化基本相同,都以 $-0.9\text{ d}/10$ 年的速率下降。因此可以认为城市化对极端气候事件具有影响。随着城市化的不断加快,城市住宅用地、道路用地增多,农田、绿地面积减小,热岛效应逐渐显著。为了避免极端气候事件的发生,及减小极端气候事件造成的生命、财产损失,应适当增加城市绿地面积,控制住宅用地数量,增加城市基础设施建设,促进绿色环保产业的发展与壮大,共同建设环保节约型新城市。

#### 参考文献:

- [1] IPCC. Climate change 2013: physical science basis [M/OL]: Cambridge: Cambridge University Press, in press. (2013-09-30)[2015-12-25]. <http://www.ipcc.ch/>.
- [2] 秦大河, Thomas Stocker. IPCC第五次评估报告第一工作组报告的亮点结论[J]. 气候变化研究进展, 2014, 10(1): 1-6.

- [3] Dai A G, Trenberth K E, Karl T R. Global variation in droughts and wet spells: 1900 – 1995[J]. *Geophysical Research Letters*, 1998, 25: 3376 – 3370.
- [4] Manton M J, Della – Marta P M, Haylock M R, et al. Trend in extreme daily rainfall and temperature in Southeast Asia and the South Pacific: 1961 – 1998[J]. *International Journal of Climatology*, 2001, 21(3): 269 – 284.
- [5] 张雷. 东亚地区城市化对极端气温变化的影响[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2014.
- [6] 田红. 江淮地区极端气候事件的时空变化特征[J]. *自然灾害学报*, 2007, 16(6): 36 – 41.
- [7] 任国玉, 封国林, 严中伟, 等. 中国极端气候变化观测研究回顾与展望[J]. *气候与环境研究*, 2010, 15(4): 337 – 351.
- [8] 李西良, 侯向阳, 丁勇, 等. 天山北坡家庭牧场复合系统对极端气候的响应过程[J]. *生态学报*, 2013, 33(17): 5353 – 5362.
- [9] 李红梅, 李林, 张金旭, 等. 21 世纪前中期三江源地区极端气候事件变化趋势分析[J]. *冰川冻土*, 2012, 34(6): 1403 – 1408.
- [10] 郑景云, 郝志新, 方修琦, 等. 中国过去 2000 年极端气候事件变化的若干特征[J]. *地理科学进展*, 2014, 33(1): 3 – 12.
- [11] 刘琳, 徐宗学. 西南 5 省市极端气候指数时空分布规律研究[J]. *长江流域资源与环境*, 2014, 23(2): 294 – 301.
- [12] 蔡新玲, 吴素良, 贺皓, 等. 变暖背景下陕西极端气候事件变化分析[J]. *中国沙漠*, 2012, 32(4): 1095 – 1101.
- [13] 李少魁. 长江三角洲地区极端气候事件及其成因分析[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2014.
- [14] 董庆林. 东北地区近 50 年来极端气候事件时空变化特征[D]. 长春: 东北师范大学, 2011.
- [15] 王菜林, 任学慧, 李颖, 等. 基于 PPD 的辽宁省暴雨灾害风险分析[J]. *灾害学*, 2015, 30(1): 217 – 221.
- [16] 宋知用. MATLAB 在语音信号分析与合成中的应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2013.
- [17] 刘霖霖, 刘超, 江成顺. EMD 新算法及其应用[J]. *系统仿真学报*, 2007, 19(2): 446 – 447, 464.
- [18] 郑祖光, 刘莉红. 经验模态分析与小波分析及其应用[M]. 北京: 气象出版社, 2010.
- [19] 汤国安, 杨昕. ArcGIS 地理信息系统空间分析实验教程[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [20] 唐红玉, 翟盘茂, 王振宇. 1951 – 2002 年中国平均最高、最低气温及日较差变化[J]. *气候与环境研究*, 2005, 10(4): 728 – 735.
- [21] 王震, 王颖. 辽宁极端降水事件的时空特征分析[J]. *安徽农业科学*, 2010, 38(26): 14538 – 14540.
- [22] Howard L. The Climate of London, Deduced from Meteorological Observations, Made at Different Places in the Neighborhood of the Metropolis [M]. Brewster Press, 2010.
- [23] 周淑贞, 束炯. 城市气候学[M]. 北京: 气象出版社, 1994.

## Spatial and Temporal Characteristics of Trends in Extreme Weather Events in Liaoning Province during 1957 – 2014

LI Ying, REN Jiaxuan, FENG Yu and TANG Weinan

(Urban and Environmental Science College, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China)

**Abstract:** Selecting nearly 60 years daily temperature and precipitation sequence of 22 stations in Liaoning, the certain thresholds are determined, and analyze the spatial and temporal features of Liaoning province's extreme temperature and precipitation days by using empirical mode decomposition (EMD) and kriging interpolation method. The results show that: (1) nearly 60 years the extremely low temperature and high temperature days were present  $-1\text{d}/10\text{a}$  and  $0.5\text{d}/10\text{a}$  changes trend; The extreme low temperature rate of variation in space with two low value center (Kuandian, Jianping) and a high value center (Zhangwu); The extreme high temperature rate of variation in space has showed a decreasing trend from southwest to northeast. The spatial distribution of total extreme temperature days decrease roughly from the southwest and southeast to the north or has downtrend to the sides that Fushun, Shenyang, Anshan, Yingkou become a center of the total extreme heat temperature days like a line. (2) Extreme precipitation days take on a minute lessened performance and its rate is  $-0.2\text{d}/10\text{a}$ , its variation is not obvious. The isoline of rate of variation has divided Liaoning province into two parts: the precipitation of southeast of Liaoning is obvious because it is closed to the sea and has vast mountains. The total extreme precipitation days distinctly display a downtrend from coastal to inland. (3) Descending rate of continuous day drought is  $-0.6\text{d}/\text{a}$ , and the average annual drought is 22 d. In space, the biggest decreasing region is Xiuyan, and its rate is higher than  $-1\text{d}/10\text{a}$ . The variation rate of Chaoyang, Fuxin, Suizhong, Zhangwu is between  $-0.3\text{d}/10\text{a}$  and  $-0.5\text{d}/10\text{a}$ . Total continuous day drought has a high value center (Jianping) and a low center (Qingyuan).

**Key words:** trend of extreme weather events; percentile threshold value method; EMD; Liaoning Province