

魏军,李婷,胡会芳,等. 基于 RCLimDex 模型的石家庄市极端降水时空变化特征[J]. 干旱气象, 2016, 34(4): 623-630, [WEI Jun, LI Ting, HU Huifang, et al. Temporal and Spatial Variation Characteristics of Extreme Precipitation Based on RCLimDex Model in Shijiazhuang During 1972-2014[J]. Journal of Arid Meteorology, 2016, 34(4): 623-630], DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2016)-04-0623

基于 RCLimDex 模型的石家庄市 极端降水时空变化特征

魏军,李婷,胡会芳,俞海洋,赵亮,陈莎

(河北省气象灾害防御中心,河北 石家庄 050021)

摘要:利用 1972—2014 年石家庄市 17 个地面气象站逐日降水数据,基于 RCLimDex 模型和集合经验模态分解(EEMD),定量分析该区域极端降水指数的时空变化特征。结果表明:近 43 a 石家庄市极端降水事件发生频率总体变化趋势平缓,但年际间波动较大;经 EEMD 得出的 6 项极端降水指数的 4 个固有模态函数(IMF1、IMF2、IMF3、IMF4)分量,分别表现出 2.69~3.07 a、5.38~6.14 a、8.60~10.75 a 和 21.28~35.63 a 的准周期变化;在空间分布上,R25、RX5day、R95P 和 CWD 极端降水指数呈西高东低的空间格局,而 SDII 和 CDD 则相反,表现出东高西低的空间特征。近 43 a 来西南涡型、西来槽型和台风型 3 种类型是造成石家庄市强降水过程的主要天气系统,造成的降水持续时间长、强度大、范围广,易致灾。

关键词:RCLimDex 模型;极端降水;EEMD;石家庄

文章编号:1006-7639(2016)-04-0623-08 DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2016)-04-0623

中图分类号:P426.6

文献标识码:A

引言

在全球气候变暖背景下,近年来极端天气事件发生频率和强度均有所增加,成为区域性洪涝、干旱及山体滑坡、泥石流等自然灾害形成的重要致灾因子,造成的经济损失呈逐年增加态势。中国是世界上受气象灾害影响最为严重的国家之一,频发的气象灾害,尤其是极端降水事件所导致的气象灾害,直接对农业生产、生态环境及经济发展等造成严重影响。因此,掌握区域性极端降水事件发生的时空变化规律,对及时、准确地开展预报预警服务,制定科学的防灾减灾措施具有重要意义^[1-2]。

目前,国内已有许多学者从降水量及降水强度、频率、历时等方面对极端降水事件做了大量的分析讨论,取得了许多有价值的研究成果。闵岫等^[3]通过对 1960—2003 年中国极端降水事件的区域性和持续性分析发现,极端降水在长江以南地区、东南沿海和黄河中下游地区区域性与持续性均较好,而在东北、华北北部以及西北等大部分北方地区,其区域

性与持续性相对较差;王冀^[4]和张英爱^[5]等对华北地区极端降水事件研究发现,自 1986 年以来华北地区极端降水次数和强度呈显著减少趋势,主要表现出华北南部平原地区一般减少、北部山区多有增加分布;高霞等^[6]研究发现,近 45 a 河北省强降水日数和暴雨日数在降水日数中的比重有增大趋势,尤其在 1990 年代中期以后,强降水量和暴雨降水量在总降水量中的比重明显增加。

气候变化监测和指标专家组(Expert Team on Climate Change Detection Monitoring and Indices, ETCCDMI)提供了一系列气候指数计算程序 ClimDex 模型,该模型是基于日降水、气温数据来定义极端气候指数,这些指数具有噪声低、显著性强的优点。2004 年,加拿大气象研究中心基于 R 语言开发了 RCLimDex 软件^[7],可计算多种类型的极端气候指数,目前该软件已被世界气象组织气候委员会推荐用于气候变化监测及极端气候指数分析,并广泛应用于世界各地。Haylock 等^[8]利用 RCLimDex 模型软件分析了南美极端降水事件的发生规律,发现

南美极端降水的发生频率与 ENSO 循环之间存在密切关系。Croitoru 等^[9]根据 1961—2008 年黑海西海岸地区的降水数据,分析得到 11 个极端降水指数中的大部分指数呈上升趋势,且北部较南部变化更为显著。陈昌春等^[10]分析 1960—2005 年江西省极端降水指数及其时空分布情况发现,除持续干燥指数外,其余指数均呈现不同程度的上升趋势,其中极端降水日数和极端降水量的上升趋势最为显著。

石家庄地处我国中纬欧亚大陆东岸,西部处于太行山脉中麓,东部是滹沱河冲积平原,跨太行山地和华北平原 2 大地貌单元,地势西高东低,地貌由西向东依次为中山、低山、丘陵和平原。全年雨量分布不均,降水地域差异较大,年降水量为 401.1 ~ 752.0 mm,其中西部山区雨量最多,在 600 mm 以上,特殊的地理位置、地形地貌和气候条件是该地区极端天气和气象灾害频发的重要原因^[11]。以往研究多是从华北或全国等较大尺度上研究极端降水事件演变规律,而针对石家庄市较小区域极端降水时空变化规律及成因研究较为缺乏,且研究时段较早^[12-14],因此有必要利用较新、长序列的数据对石家庄极端降水进行全面深入分析。为此,本文基于 RCLimDex 模型和集合经验模态分解(Ensemble Empirical Mode Decomposition, EEMD)方法,对 1972—2014 年石家庄市极端降水事件的时空变化特征进行研究,以期客观评估、预测及有效应对该市极端降水天气,制定合理的防灾减灾对策提供理论依据。

1 资料与方法

1.1 资料

所用资料为河北省气象信息中心提供的石家庄市 17 个地面气象站(图 1)逐日降水数据,降水量精度为 0.1 mm,均经过严格审核和订正。由于各气象

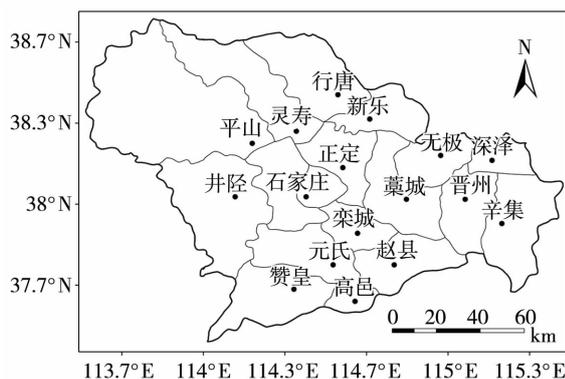


图 1 石家庄市地面气象观测站分布

Fig. 1 Distribution of surface meteorological stations in Shijiazhuang of Hebei

站建站时间不一致,其中行唐和正定建站较晚(始于 1972 年),故资料选取时段为 1972—2014 年。

1.2 RCLimDex 模型

RCLimDex 模型通过按规定格式输入逐日最高、最低温度和逐日降水量等,即可计算得到 27 个核心极端气候指数,包括 11 个极端降水类指数和 16 个极端温度类指数(<http://www.climdex.org/indices.html>),其功能结构如图 2 所示。鉴于降水缺测值对极端降水指数的敏感性,当降水数据在一个月中出现 3 d 以上,或一年中出现 15 d 以上缺测值时,则不计算该月或该年的降水指数,设为缺测值。在对降水数据进行质量控制处理后,运行 RCLimDex 模型计算各站点极端降水指数。结合石家庄市降水实际情况与研究需求,基于绝对阈值和相对阈值方法^[11],选取与极端降水紧密相关的 6 个极端降水指数(表 1)。

1.3 EEMD 方法

集合经验模态分解(Ensemble Empirical Mode Decomposition, EEMD)是一种在时间域上局部的自适应时间序列分析技术,适用于分析非线性、非平稳的时间序列^[15]。通过将复杂的时间序列信号分解为有限个不同时间尺度的振荡分量,以得到具有不同时间尺度特征的固有模态函数(Intrinsic Mode Function, IMF)。作为经验模态分解(Empirical Mode Decomposition, EMD)的改进方法, EEMD 通过在原始时间序列信号中加入高斯白噪声,从而解决 EMD 的模态混淆问题, IMF 分量能够更准确地体现原始信号的内在波动特征与变化趋势^[16]。与小波分析相比, EEMD 不仅具有小波分析的优点,同时很大程度上克服了小波基函数的选择对信号分析结果的影响,具有自适应性、直观性和后验性的特点,在气象领域应用效果显著。其详细论述见文献^[17]。

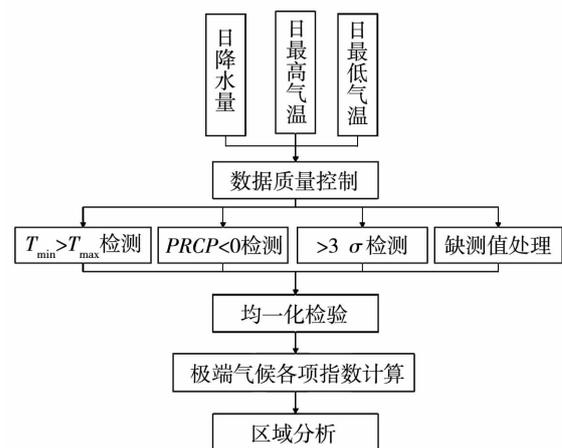


图 2 RCLimDex 模型结构示意图

Fig. 2 Diagram of RCLimDex model structure

表 1 极端降水指数定义
Tab.1 Extreme precipitation indexes definition

极端降水指数	定义	单位
极端降水日数(R25)	每年日降水量≥25 mm 的总日数	d
5 d 最大降水量(RX5day)	每年连续 5 d 的最大累计降水量	mm
极端降水量(R95P)	每年日降水量 > 第 95% 分位值的强降水之和	mm
普通日降水强度(SDII)	日降水量≥1 mm 的总量与总日数之比	mm · d ⁻¹
持续干燥指数(CDD)	日降水量 < 1 mm 的最长连续日数	d
持续湿润指数(CWD)	日降水量 ≥ 1 mm 的最长连续日数	d

2 结果与分析

2.1 极端降水指数年际变化特征

利用 RCLimDex 模型计算获得石家庄市各气象站的极端降水指数,并采用泰森多边形进行加权平均,从而得到石家庄地区各指数平均值,以此从整体上反映该地区的极端降水情况。从各指数的年际变化可以看出(图3),近43 a石家庄市6项极端降

水指数总体趋势变化平缓,但年际波动幅度较大,极端降水事件发生频率差异明显。极端降水日数(R25)整体呈平缓上升趋势,年均日数为 4.9 d,最大值为 1995 年的 9.2 d,最小值为 1972 年的 1.5 d(图 3a)。5 d 最大降水量(RX5day)总体呈平缓下降趋势,除个别年份波动较大外,绝大多数年份处在 100 mm 附近,最大值为 1996 年的 325.6 mm,较大值出现在 1976 年(217.3 mm)、2000 年(195.2 mm)

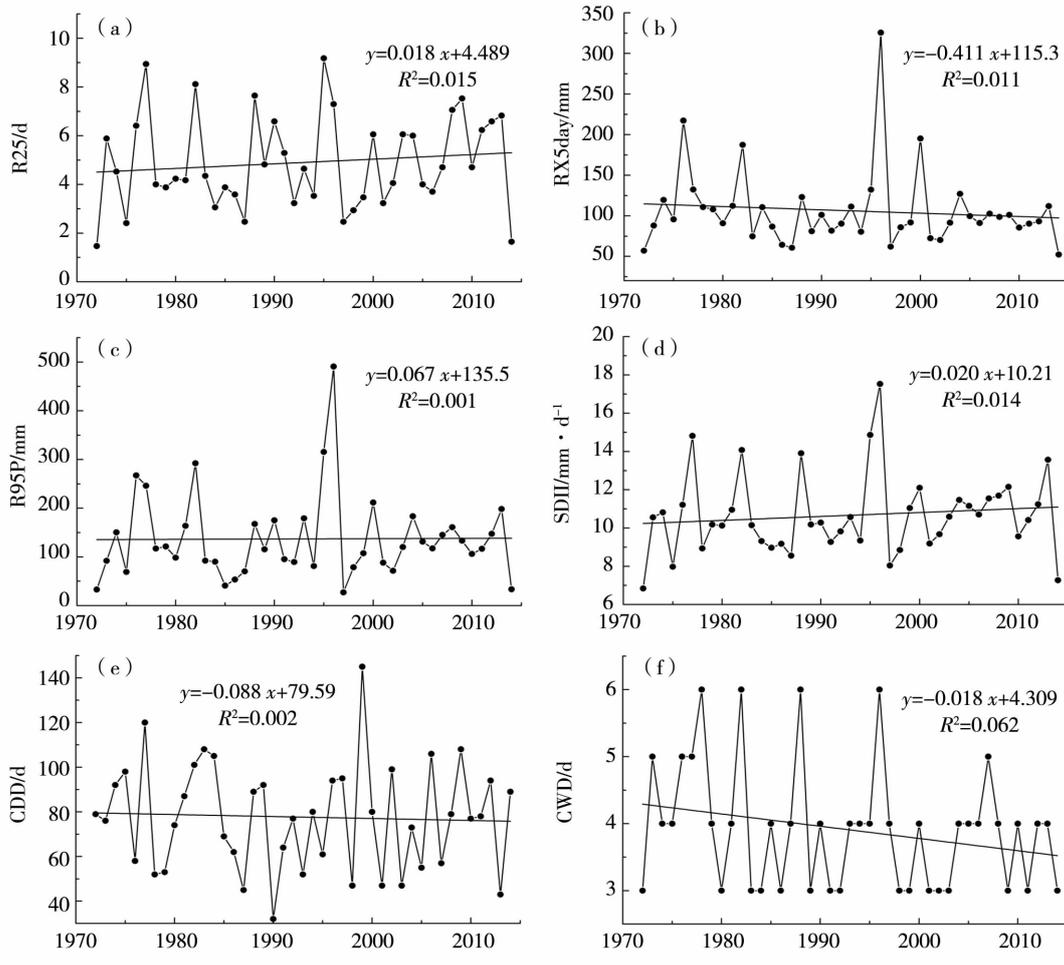


图 3 1972—2014 年石家庄市极端降水指数年际变化

Fig.3 Annual variation of extreme precipitation indexes in Shijiazhuang of Hebei during 1972 - 2014

和 1982 年 (187.4 mm), 而最小值为 2014 年 (52.2 mm) (图 3b)。极端降水量 (R95P) 是反映极端降水总量在总降水量中所占的比例, 即在总降水量一定时, 极端降水量增加, 则小雨呈减少趋势。石家庄市极端降水量总体变化趋势不明显, 但年际变化较大, 平均极端降水量为 137 mm, 超过 200 mm 的年份有 1976、1977、1982、1995、1996 和 2000 年, 低于 50 mm 的年份有 1972、1985、1997 和 2014 年 (图 3c)。普通日降水强度 (SDII) 呈平缓上升趋势 (图 3d), 年均值为 $10.7 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$, 较大值出现在 1977、1982、1988、1995、1996 和 2013 年。持续干燥指数 (CDD) 表现出先降后升的阶段性变化特征, 但整体呈平缓下降趋势 (图 3e), 且年际波动较大, 极大、极小值交替分布, 其中 1990 年代以前持续性干燥可能引发大面积干旱, 对农业生产活动产生不利影响。与 CDD 不同, 持续湿润指数 (CWD) 尽管整体也呈下降趋势 (图 3f), 但年际变化较稳定, 持续湿润指数在 3 ~ 6

d。另外发现, 6 项极端降水指数都未通过 $\alpha = 0.05$ 的显著性检验, 表明近 43 a 石家庄市极端降水变化趋势不明显。

2.2 极端降水周期特征

为深入探究石家庄市近 43 a 极端降水事件的周期性特征, 采用 EEMD 方法对 1972—2014 年石家庄市上述 6 项极端降水指数进行逐步信号分解。设定扰动白噪声与原始信号的信噪比为 0.2, 平均集合次数为 500 次, 得到 4 个具有不同波动周期的固有模态函数分量 (IMF1、IMF2、IMF3、IMF4) 与一个趋势分量 (RES) (图 4)。固有模态函数分量反映了从高频到低频不同时间尺度的波动特征, 而趋势项则表示原始时间序列总体上随时间变化的趋势。计算 IMF 各分量的平均周期, 以方差贡献率表示各时间尺度信号波动频率与振幅对原始数据总体特征的影响程度 (表 2)。

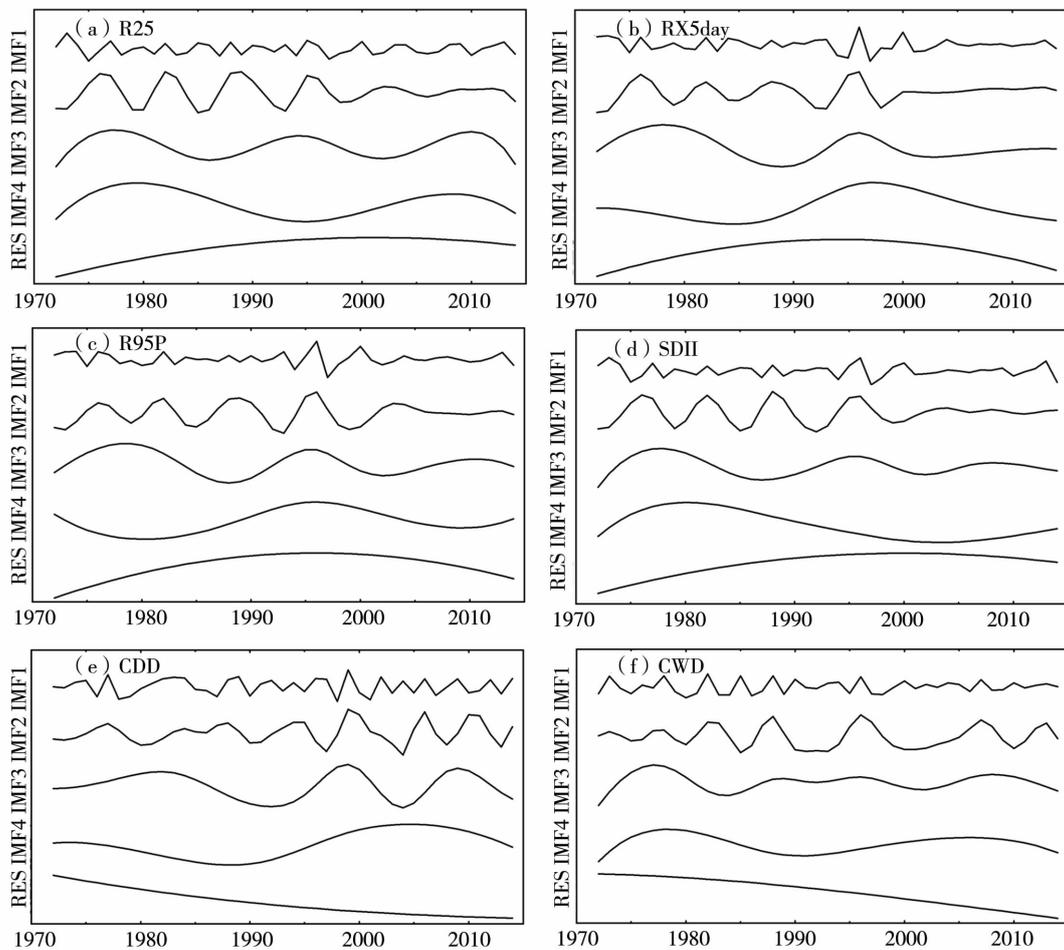


图 4 1972—2014 年石家庄市 6 项极端降水指数的 EEMD 分解

Fig. 4 IMF and RES component of six extreme precipitation indexes by EEMD in Shijiazhuang of Hebei during 1972 - 2014

由图4和表2可看出,石家庄市极端降水指数的 IMF 分量的振动幅度随着阶数的增加而减小,逐渐趋于稳定。在 IMF1 分量上,各指数的振幅均有较大波动,整体表现出 2.69~3.07 a 的准周期,其方差贡献率最大,介于 29.54%~34.97%;在 IMF2 分量上,各指数振荡表现出 5.38~6.14 a 的准周期,周期特征较为显著,其方差贡献率为 21.61%~26.86%。随着阶数的增加,IMF 分量的振动波长增长。从 IMF3 分量看出,除 CWD 为 8.6 a 的准周期

外,其他指数均为 10.75 a 的准周期,与太阳黑子活动的 11 a 周期一致,其方差贡献率在 17.33%~21.04%;在 IMF4 分量上,各指数具有 21.28~35.63 a 的年代际周期变化特征,在整个时间跨度上波动幅度较小,表明极端降水的长期变化相对平稳。由残差趋势项 RES 可见,R25 和 SDII 总体呈不同程度的上升趋势,CDD 和 CWD 呈下降趋势,而 RX5day 和 R95P 在 1995 年以前呈上升趋势,之后呈下降趋势。

表2 1972—2014年石家庄市极端降水指数各分量的周期与方差贡献率

Tab.2 The period and variance contribution rate of extreme precipitation indexes in Shijiazhuang of Hebei during 1972-2014

	极端降水指数	IMF1	IMF2	IMF3	IMF4	RES
周期/a	R25	3.07	5.38	10.75	21.28	
	RX5day	2.87	5.38	10.75	32.21	
	R95P	2.87	6.14	10.75	22.38	
	SDII	2.87	5.38	10.75	35.63	
	CDD	3.07	5.38	10.75	34.57	
	CWD	2.69	5.76	8.60	21.33	
	R25	30.65	24.09	19.22	14.51	11.53
方差贡献率/%	RX5day	32.51	24.87	19.74	15.83	7.05
	R95P	34.97	21.61	20.43	15.73	7.26
	SDII	34.63	26.86	17.33	13.43	7.76
	CDD	30.67	22.87	21.04	17.14	8.28
	CWD	29.54	22.68	19.16	17.35	11.26

2.3 极端降水空间分布

图5给出近43a石家庄地区平均极端降水指数空间分布。由图5可知,R25总体上呈中西部高、东部低的空间分布格局,且差距较小,年平均极端降水日数为4.4~5.5d。其中,2个大值中心分别在西北部山区的平山和中部平原的石家庄市,年均日数分别为5.5d和5.4d,而东部的无极和东南部的赵县年均日数相对较少,均低于4.5d(图5a)。RX5day和R95P均表现为西高东低的空间分布特征(图5b、图5c),高值区均位于西部山区平山一带,分别为119.7mm和162.7mm,低值区分别位于东部的行唐和藁城,年均值分别为95.9mm和127.8mm。这2项指数空间分布除受大气环流形势影响外,还与区域地形有关。石家庄西部为太行

山半环绕,东部为滹沱河冲击平原,地势西高东低。受山脉屏障阻碍,极地大陆气团南下与副热带海洋气团北上受到一定程度影响,致使石家庄西部太行山脉的迎风坡为多雨中心,降雨量明显高于东部平原地区^[18],这与卞韬等^[19]的研究结果一致。SDII总体呈现西低东高的空间分布特征(图5d),且空间差距不大,表明石家庄市普通日降水强度基本处于平稳状态,受极端降水事件影响较小。CDD表现出由东向西递减趋势(图5e),东部平原的深泽最高,年均日数为83.6d,其次是赵县、晋州和辛集一带,分别为83.3d、82.4d和81.2d,而低值区位于中部石家庄市,年均日数低于70.0d。CWD表现出与CDD相反的空间分布趋势(图5f),呈明显的西高东低格局,且空间差异较小,年均日数在3.5~4.5d。

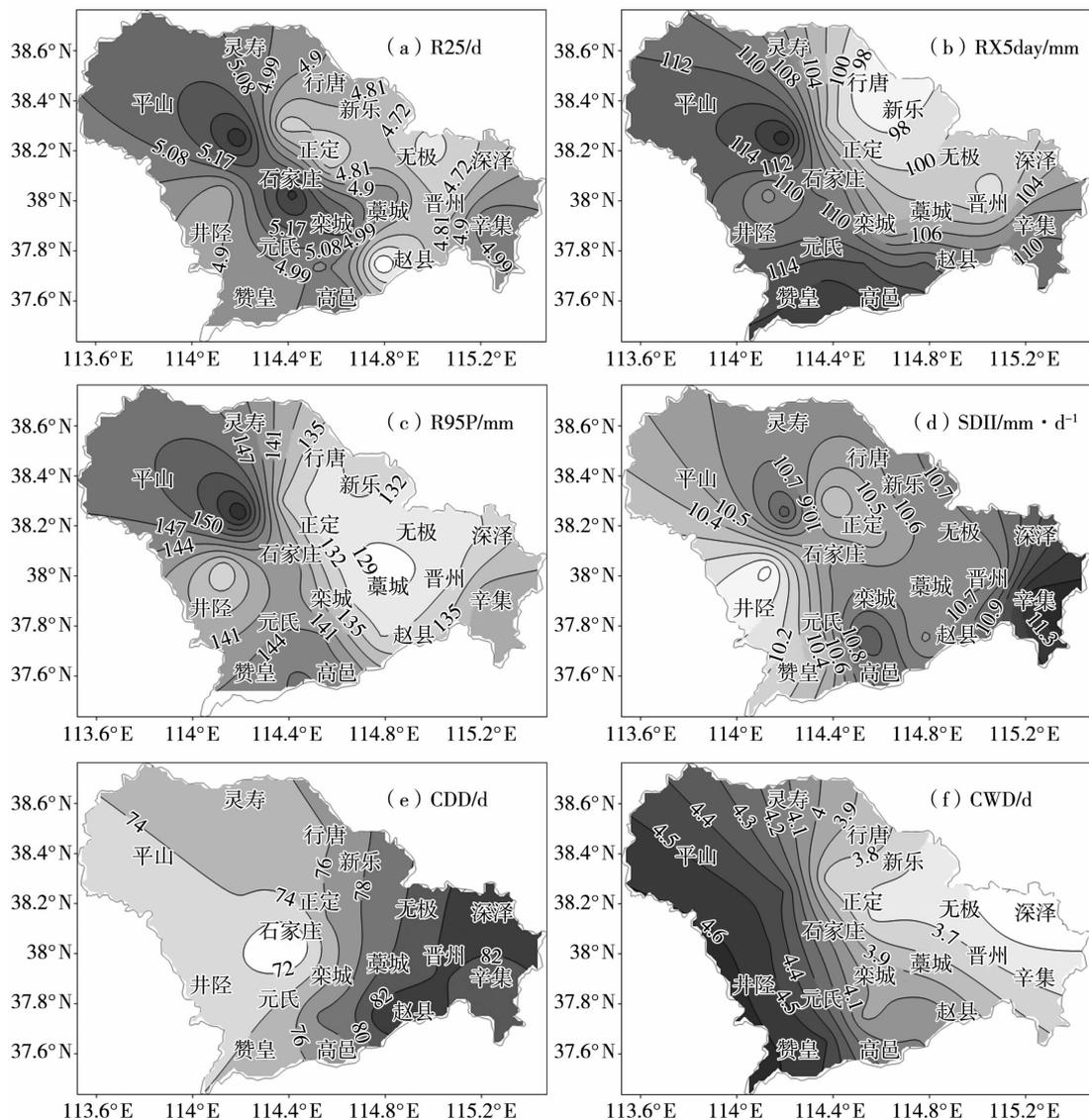


图5 1972—2014年石家庄市6项极端降水指数空间分布

Fig. 5 Spatial distribution of six extreme precipitation indexes in Shijiazhuang of Hebei during 1972–2014

2.4 极端降水天气特征分型

从7月底到8月初,随着副热带高压的加强,我国东部雨带北抬至华北地区,河北省进入盛汛期,且不同区域、不同时间段的暴雨形成机制(环流形势、水汽条件等)不同^[20]。经普查,近40 a来影响石家庄市强降水的天气类型主要有以下6种^[11]:西南涡型、西来槽型、暖式切变型、冷涡或冷式切变型、东风波型、台风型。其中,西南涡型、西来槽型和台风型是造成石家庄市强暴雨过程的主要系统(图6)。西南涡型(图6a),500 hPa高空槽主要位于 32°N — 45°N 、 102°E — 110°E ,且副热带高压脊线与 125°E 经线相交于 27°N 以北,副高深入到东北地区,在东部建立起阻挡形势,西来槽无法东移使得在河北加深,同时700 hPa上 30°N — 35°N 、 106°E — 115°E 区

域内有一低涡,较强的低空西南急流有利于低涡北上,进而影响石家庄地区。西来槽型(图6b),700 hPa西风槽主要位于 33°N — 43°N 、 103°E — 113°E ,而500 hPa副热带高压位于朝鲜到日本上空,并与雅库次克高压相叠加,形成东部阻挡。一般地,暴雨前3 d在新疆中部有一东北—西南向的横槽,前2 d东移至兰州时已转成南北向,暴雨出现的前1 d该横槽东移到 110°E ,由于受高压坝阻挡,移速减慢。当850 hPa上 26°N — 35°N 、 107°E — 113°E 范围内有西南—南风低空急流输送水汽时,降水将直接影响石家庄地区。台风型(图6c),副热带高压呈西北—东南向,并在内蒙古东部、东北地区一带形成阻挡,从而加强了西风槽前的偏南气流。台风从福建沿海登陆,沿副热带高压边缘向西北方向移动,到达长江

中游转变成温带气旋,并与副热带高压构成很强的东南急流,直接输送水汽。这3种类型造成的降水持续时间长、强度大、范围广,容易造成灾害,特别是

西南涡型和台风型降水的影响范围和程度相对较大,如“75.8”、“96.8”、“2000.7”等著名的特大暴雨过程都属于这2种类型。

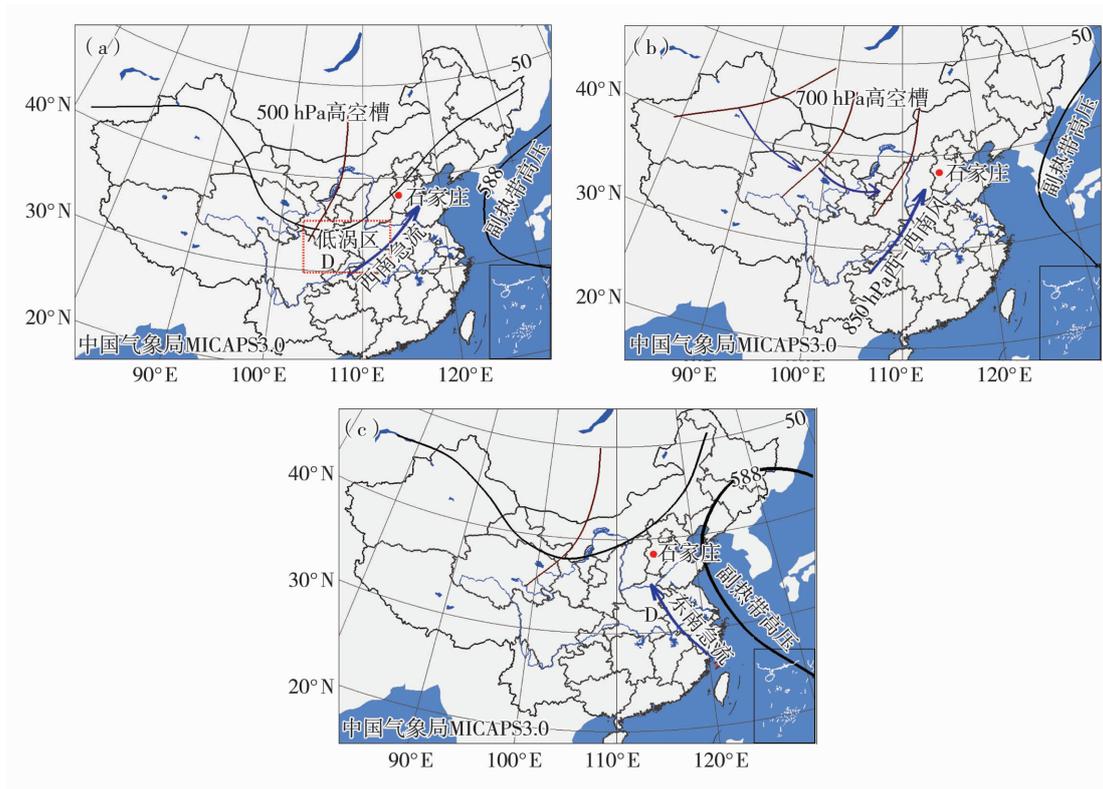


图6 石家庄市强暴雨过程的主要环流形势

(a) 西南涡型; (b) 西来槽型; (c) 台风型

Fig. 6 The main circulation situations of the strong rainstorm in Shijiazhuang of Hebei

(a) southwest vortex, (b) westerly trough, (c) typhoon

造成石家庄地区降水的水汽源地主要有3个^[21]:700 hPa、850 hPa的水汽多来自孟加拉湾和南海,并在长江中下游到华南一带形成“湿堆”,此处是南海和孟加拉湾水汽进入华北上空的必经之地,当水汽集聚到一定程度时,在有利的天气系统影响下以“湿堆”为源,水汽进一步北上到达华北地区;东海、黄海是水汽的另一源地,主要通过强盛的东南气流向华北上空输送;第3个水汽源地为渤海,主要是华北冬季降水的来源。

3 结论与讨论

(1)近43 a石家庄市极端降水事件的发生频率变化较为平缓,其中,R25、R95P与SDII表现小幅上升趋势,而RX5day、CDD与CWD表现小幅下降趋势。

(2)通过EEMD分解得到各类极端降水指数的4个固有模态函数分量IMF1、IMF2、IMF3和IMF4分别表现出2.69~3.07 a、5.38~6.14 a、8.60~

10.75 a和21.28~35.63 a的准周期变化,其中IMF1方差贡献率最大。

(3)在空间分布上,石家庄地区的R25呈现中西部高于东部的分布特征,且总体空间差距相对较小;RX5day与R95P呈现西高东低的分布特征,且空间差距相对较大;SDII的空间差异较小,且大体上由东向西递减,存在多个极值中心;CDD由东向西呈现递减趋势,而CWD的分布格局与之相反。

(4)近43 a来,西南涡型、西来槽型和台风型3种天气类型是造成石家庄市强降水过程的主要影响系统,造成的降水持续时间长、强度大、范围广,易致灾。

本文利用石家庄市17个地面观测站数据,基于RCLimDex模型和EEMD等方法,系统地分析了近43 a极端降水事件的时空变化情况。然而,石家庄地区气象站点有限,且空间分布不均匀,加之西高东低的地形及气候复杂性等影响,在一定程度上加大了极端降水发生的可能性。另外,EEMD方法虽然

具有独特的优势,但鉴于极端降水指数序列长度有限,分解得到的能量主要集中于固有模态函数分量 IMF1,而其余分量贡献率较小,缺少在不同尺度分量上随时间强弱变化的对比分析,所以,针对极端降水事件的成因及研究方法等方面有待进一步研究。

参考文献

- [1] 张强,韩兰英,张立阳,等. 论气候变暖背景下干旱和干旱灾害风险特征与管理策略[J]. 地球科学进展,2014,29(1):80-91.
- [2] 张强,姚玉璧,李耀辉,等. 中国西北地区干旱气象灾害监测预警与减灾技术研究进展及其展望[J]. 地球科学进展,2015,30(2):196-213.
- [3] 闵岫,钱永甫. 中国极端降水事件的区域性和持续性研究[J]. 水科学进展,2008,19(6):763-771.
- [4] 王冀,蒋大凯,张英娟. 华北地区极端气候事件的时空变化规律分析[J]. 中国农业气象,2012,33(2):166-173.
- [5] 张爱英,高霞,任国玉. 华北中部近 45 a 极端降水时间变化特征[J]. 干旱气象,2008,26(4):46-50.
- [6] 高霞,王宏,于成文,等. 近 45 年来河北省极端降水事件的变化研究[J]. 气象,2009,35(7):10-15.
- [7] Zhang X B, Yang F. RCLimDex (1.0) User Manual[R]. Climate Research Branch Environment Canada Downsview, Ontario Canada, 2004.
- [8] Haylock M R, Peterson T C, Alves L M, et al. Trends in Total and Extreme South American Rainfall in 1960-2000 and Links with Sea Surface Temperature[J]. Journal of Climate, 2006,19(8):1490-1512.
- [9] Croitoru A E, Chitoroiu B C, Todorova V I, et al. Changes in precipitation extremes on the Black Sea Western Coast[J]. Global and Planetary Change, 2013,102(3):10-19.
- [10] 陈昌春,张余庆,王腊春,等. 基于 RCLimDex 模型的江西省极端降水时空变化研究[J]. 中国农村水利水电,2013(11):41-45.
- [11] 张秉祥,陈静,韩军彩,等. 石家庄市城区暴雨强度公式修正方法对比分析[J]. 干旱气象,2014,32(4):671-676.
- [12] 王丽荣,连志鸾. 石家庄市强暴雨的气候特征和环流形势分析[J]. 气象科技,2004,32(2):97-100.
- [13] 赵国石,郝立生. 石家庄市气候变化特征分析[J]. 气象科技,2007,35(6):797-802.
- [14] 韩军彩,陈静,岳艳霞,等. 石家庄市不同等级降水日数的时空分布特征[J]. 气象与环境学报,2009,25(6):34-38.
- [15] Huang N E, Wu Z H. A review on Hilbert-Huang Transform: Method and its applications to geophysical studies[J]. Reviews of Geophysics, 2008,46(2), DOI:10.1029/2007RG000228.
- [16] 薛春芳,侯威,赵俊虎,等. 集合经验模态分解在区域降水变化多尺度分析及气候变化响应研究中的应用[J]. 物理学报,2013,62(10):504-511.
- [17] Wu Z, Huang N E. Ensemble Empirical Mode Decomposition: a Noise-Assisted Data Analysis Method[J]. Advances in Adaptive Data Analysis, 2009,1(1):1-41.
- [18] 向亮,郝立生,安月改,等. 51 a 河北省降水时空分布及变化特征[J]. 干旱区地理,2014,37(1):56-65.
- [19] 卞韬,王丽荣,李国翠,等. 石家庄暴雨的气候特征和变化规律[J]. 干旱气象,2009,27(1):18-22.
- [20] 秦宝国,朱刚. 河北一次暴雨过程中不同时段强降水的成因[J]. 干旱气象,2013,31(2):327-332.
- [21] 连志鸾,李国翠. 石家庄的云、降水和水汽特征[J]. 气象科技,2005,33(S1):21-26.

Temporal and Spatial Variation Characteristics of Extreme Precipitation Based on RCLimDex Model in Shijiazhuang During 1972-2014

WEI Jun, LI Ting, HU Huifang, YU Haiyang, ZHAO Liang, CHEN Sha

(Hebei Meteorological Disaster Prevention Center, Shijiazhuang 050021, China)

Abstract: Based on the daily precipitation data of 17 ground meteorological stations in Shijiazhuang of Hebei Province from 1972 to 2014, the temporal and spatial variation characteristics of extreme precipitation indices were quantitatively analyzed by using RCLimDex model and ensemble empirical mode decomposition (EEMD) method. The results show that the frequency of extreme precipitation event in Shijiazhuang of Hebei changed gently during 1972-2014, and the inter-annual fluctuation was great. The intrinsic mode function (IMF) component of six extreme precipitation indices by EEMD in Shijiazhuang showed quasi-periodic changes of 2.69-3.07 a, 5.38-6.14 a, 8.6-10.75 a and 21.28-35.63 a, in turn, and the variance contribution rate of IMF1 was the biggest. In spatial distribution, the extreme precipitation days (R25), maximum 5-day precipitation amount (RX5day), extreme precipitation (R95P) and consecutive wet index (CWD) were high in the west and low in the east. However, the simple daily intensity index (SDII) and consecutive dry index (CDD) showed opposite spatial pattern. In the past 43 years, the southwest vortex, westerly trough and typhoon were the main weather systems causing the heavy precipitation with long duration, high intensity and wide range in Shijiazhuang of Hebei, which was easy to cause disasters.

Key words: RCLimDex model; extreme precipitation; EEMD; Shijiazhuang