

李悦,朱拥军,赵庆云,等. 甘肃天水地区最大日降水量变化特征及可能最大日降水量估算[J]. 干旱气象, 2015, 33(4): 581-586, [LI Yue, ZHU Yongjun, ZHAO Qingyun, et al. Variation Characteristics of the Maximum Daily Rainfall and Estimation of Possible Maximum Daily Precipitation in Tianshui of Gansu[J]. Journal of Arid Meteorology, 2015, 33(4): 581-586], doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2015)-04-0581

甘肃天水地区最大日降水量变化特征 及可能最大日降水量估算

李悦¹, 朱拥军¹, 赵庆云², 姚延锋¹, 吴丽¹

(1. 甘肃省天水市气象局, 甘肃 天水 741000; 2. 兰州中心气象台, 甘肃 兰州 730020)

摘要:基于甘肃天水地区7个站点的逐日降水资料,研究了该地区1951~2012年逐年最大日降水量的变化特征,并利用改进的Hershfield理论方法估算其可能最大日降水量,主要结论如下:(1)近62 a来,天水地区年最大日降水量平均约为59.2 mm,均方差为15.9 mm,最大值达110.5 mm,最小值仅有32.7 mm,说明该地区最大日降水量的年际变化幅度较大。此外,各站点最大日降水量主要集中在6、7、8月,约占总体的78.2%,其中7月最多,8月次之;(2)天水地区1951~2012年间年最大日降水量存在明显的准2 a、准4~5 a、准8~10 a、准15 a以及准48 a的振荡周期,且最大日降水量在未来一段时间内有增强趋势,年变化幅度有可能增大;(3)天水地区的可能最大日降水量(PMP)为170.5 mm,天水、麦积、武山、甘谷、秦安、张家川、清水等站点的PMP分别达148.0、159.6、124.1、133.4、137.4、146.5、153.1 mm,强度均达到了大暴雨标准。

关键词:年最大日降水量;EMD分解;Hershfield理论方法;可能最大日降水量

文章编号:1006-7639(2015)-04-0581-06 doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2015)-04-0581

中图分类号:P468.0⁺24

文献标识码:A

引言

在全球变暖的气候背景下,区域性洪涝、干旱、高温、暴雨、雨雪冰冻等极端天气气候事件日益加剧,给社会、经济和人类生活造成了严重的影响和损失^[1]。其中,暴雨是我国夏季多见的一种灾害性天气^[2],虽然发生概率相对较小,但其造成的破坏则是毁灭性的^[3-4],特别是近几年我国暴雨灾害频发,暴雨的强度与影响范围均呈现出显著增长趋势,如2010年因强降水导致的“8·8”甘肃舟曲特大泥石流灾害、2011年夏季南方多省市的暴雨灾害以及2012年北京“7·21”特大暴雨、“5·10”甘肃岷县特大雹灾等,都给受灾地区造成了巨大的经济损失和人员伤亡。一般情况下,通常把日降水量超过25 mm的降水事件称为大雨,日降水量超过50 mm的降水事件称为暴雨。由于我国幅员辽阔,东西、南北地区的降水量差别很大,对于中国北方地区而言,暴雨和大雨都可算作强降水。研究各地区强

降水的变化特征及其发生发展的物理机制,对提高强降水过程的预报准确率与防灾减灾等均具有重要意义。

甘肃天水地区是一个典型的农林牧交错复合区,属于我国气候变化的敏感区和生态环境的脆弱区^[5],降水是该地区水资源最重要的补给。境内山脉纵横,山地面积占总耕地面积的92%,当发生强降水时,极易产生山体滑坡、泥石流等自然灾害。另外,天水地区水系错综复杂,境内渭河流域长约280 km,且有很多支流,包括榜沙河、散渡河、葫芦河等,这些水系流程较短,水量丰沛,但由于当地的土壤蓄水性能差,一般性的强降水就可能产生洪涝灾害^[6],进而严重影响人类活动与经济发展^[7]。此外,目前许多大型工程设计、城市规划及生产部门通常需要对未来若干年内的最大日降水量进行估算,因此非常有必要开展天水地区暴雨等强降水过程的变化特征与成因研究。世界气象组织(WTO)对可能最大降水的定义是:在现代气候条件下,一年中的

收稿日期:2014-06-10;改回日期:2014-07-01

基金项目:甘肃省强对流天气预报预警系统建设项目和科技部社会公益性行业(气象)科研专项(GYHY201306006)共同资助

作者简介:李悦(1986-),女,甘肃天水人,助工,主要从事天气预报工作。E-mail:myryl1227@163.com

某一时期,一定流域面积上在给定历时内,可能发生的最大降雨深度^[8]。目前推算可能最大降水量的方法较多,基本上可归纳为2种:水文气象法和频率计算法,它们各有优点,采取哪种方法还需详细地研究所在地区暴雨和洪水的气象水文成因及地形特点^[9-10]。同时,某一地区的年最大日降水量能够表征该地区年内最大降水强度,可在一定程度上反映出该地区强降水时间演变的大体形势。因此,本文研究分析了天水地区1951~2012年最大日降水量的变化特征,探讨了其在未来一段时间的发展趋势,并利用改进的Hershfield理论方法对该地区的可能最大降水量进行估算,为山区地质灾害预防、城市排水设施建设、堤坝防洪设计以及防洪防汛指挥等提供科学的参考依据。

1 资料与方法

1.1 资料说明

天水地区位于甘肃省东南部,地处陕、甘、川3省交界,介于104°35'E~106°44'E、34°05'N~35°10'N之间,境内多数地区的海拔高度都超过了1000m,辖5县2区。本文所用资料主要包括:甘肃省气象局气象档案室整编的天水地区的天水、麦积、武山、甘谷、秦安、张家川、清水等7个气象站点的逐日降水资料,各站点编号、建站时间与气候分区见表1,其中河谷区半干旱气候特征明显,渭北区常年较为干旱,而关山区主要为半干旱与半湿润气候过渡区。

表1 天水地区各站点的概况
Tab. 1 The overview of meteorological stations in Tianshui of Gansu Province

编号	站点	建站年份	气候分区
1	天水	1951	河谷区
2	麦积	1965	河谷区
3	武山	1960	渭北区
4	秦安	1959	渭北区
5	甘谷	1956	渭北区
6	张家川	1957	关山区
7	清水	1960	关山区

1.2 研究方法

1.2.1 逐年最大日降水量计算

由于天水地区各站点的建站时间不同,且部分站点资料序列不完整,存在一定的缺测,因此利用公式计算整个天水地区的逐年最大日降水量,其表达

式为:

$$P_{\max} = \max(P_1, P_2, \dots, P_7) \quad (1)$$

其中, P_{\max} 为天水地区逐年最大日降水量(单位:mm), P_i ($i=1, 2, \dots, 7$)分别是天水地区各站点的逐年最大日降水量, i 是站点编号。

1.2.2 可能最大日降水量计算

强降水的长期预测包括变化趋势预测和可能极值估计2方面。因此需对天水地区的可能最大日降水量(Probable Maximum Precipitation for 24 hours,简称PMP)进行评估,探讨未来一段时间内最大日降水量的上限值。强降水是大规模的暖湿空气源源不断地辐合上升、冷却凝结及最终降落的过程,其变动范围有其物理上限,不可能无限制地增大^[11]。通过水文气象途径估算PMP的主体思路是放大影响降水量大小的水汽因子和动力因子,通常包括暴雨物理因子放大法、暴雨移置和暴雨组合、暴雨时一面一深概化法等^[12],其中典型暴雨放大方法一般又包括:水汽和效率放大法、水汽净输送放大法以及水汽辐合上升指标放大法等^[7]。另一方面,也可通过统计概化途径估算PMP,主要利用数理统计方法建立模型,如Pearson-III概率分布理论^[13]、耿贝尔(Gumbel)极值分布理论^[14]、指数(Exponential)曲线分布理论、Hershfield理论方法^[15-17]等。其中Hershfield理论方法使用较广泛,因此本文采用Hershfield理论方法估算天水地区的PMP,且根据天水地区的实际情况对该方法进行了适当的修正。

利用Hershfield理论方法估算PMP的首要条件是:在所研究的时间段内,各站点的 P_{\max} 时间序列没有显著的上升或下降趋势。本文采用Mann-Kendall方法分别对天水地区及其各站点的 P_{\max} 数据序列进行了检测,发现它们均符合上述标准。则天水地区的PMP可用下式表示:

$$PMP = \bar{X}_n + K_m \sigma_n \quad (2)$$

$$K = \frac{X_E - \bar{X}_{n-m}}{\sigma_{n-m}} \quad (3)$$

$$CV = \sigma_n / \bar{X}_n \quad (4)$$

其中, K 是频率因子, \bar{X}_n 、 σ_n 分别表示研究区域 n a P_{\max} 时间序列的平均值与均方差(单位:mm), X_E 为 P_{\max} 极大值, \bar{X}_{n-m} 、 σ_{n-m} 为去除 m 个 P_{\max} 极大值之后,其余 $n-m$ 年份 P_{\max} 的平均值与均方差, CV 是各站点逐年 P_{\max} 的变异系数。

极端天气气候事件是指在一定地区一定时间内出现的历史上罕见的气象事件,其发生概率通常<5%或10%,其中极端降水的定义方法有多种,传统上采取绝对阈值法,即降水量大于某一固定阈值。

结合封国林等^[1]对极端温度事件的定义方法,将 1951~2012 年各站点逐年最大日降水量时间序列按照升序排列,选取第 95 百分位对应的降水量作为阈值,并将大于阈值的降水过程定义为极端强降水事件,然后剔除上述 m 个极大值,进而求出各站点的 \bar{X}_{n-m} 与 σ_{n-m} ,表 2 是得到的相关参数,其中麦积站的 K 值最大,为 6.2,根据 Hershfield 提出的系数放大原则^[17],本文将取整为 7.0。

1.2.3 经验模态分解(EMD)

气候系统具有多层次性与多尺度性,对气候资料信息的分离和提取有助于研究气候变化内在的多尺度振荡结构。经验模态分解(Empirical Mode Decomposition,简称 EMD)方法主要是对一个复杂信号进行平稳化处理,将不同尺度或层次的波动与趋势分量从原序列中提取出来,得到一组具有不同尺度特征的本征模态函数(Intrinsic Mode Function,简称 IMF)分量。EMD 分解不依赖于先验的基函数,不要求信号频谱在频域中具有均匀性,且可同时集平稳化和层次化处理能力于一体,因此该方法在理论上可以应用于任何类型信号的分解,在处理非平稳、非线性数据上具有非常明显的优势^[18-19]。本文利用 EMD 方法研究天水地区 1951~2012 年最大日降水量的变化特征。

2 天水地区逐年最大日降水量的时间变化特征

2.1 最大日降水量的年、月变化

全球气候变暖必将导致降水量的时空分布发生变化,我国一些地区的降水以及极端旱涝事件已经发生了显著的转变^[13]。图 1 是 1951~2012 年天水

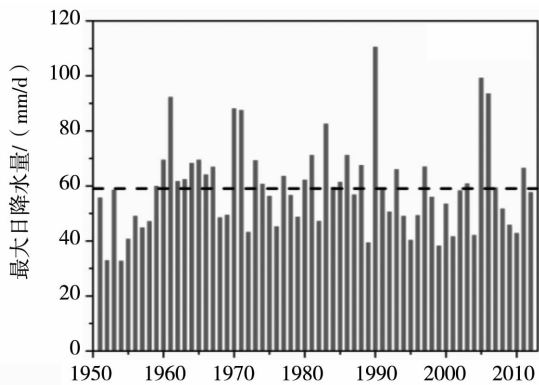


图 1 天水地区 1951~2012 年逐年最大日降水量时间序列

Fig. 1 The annual change of daily maximum rainfall during 1951-2012 in Tianshui of Gansu

地区最大日降水量 P_{max} 的逐年变化,可以看出,近 62 a 间天水地区最大日降水量的年际变化非常显著,而年代际变化特征不明显,平均值约为 59.2 mm/d,均方差为 15.9 mm/d,最大值发生在 1990 年,达到 110.5 mm/d,最小值出现在 1954 年,仅有 32.7 mm/d。

天水地区受季风的影响,降水年内分布并不均衡,四季差别很大。图 2 是天水地区所有站点 1951~2012 年最大日降水量在各月份的概率分布,发现各站点年最大日降水量主要发生在 6~8 月,约占总体的 78.2%,其中以 7 月最多,8 月次之。可见,天水地区夏季最容易出现强降水过程。

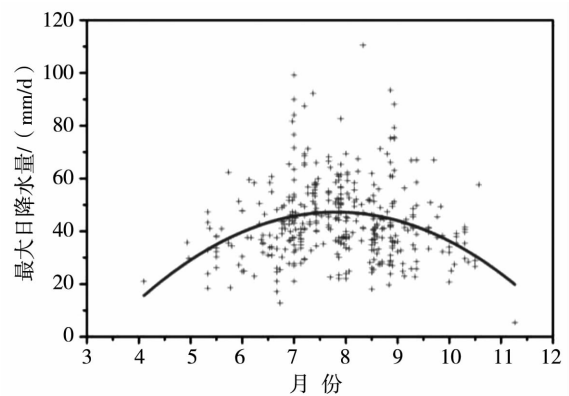


图 2 天水地区 1951~2012 年所有站点最大日降水量的月分布

Fig. 2 The monthly distribution of the maximum daily rainfall during 1951-2012 in 7 weather stations of Tianshui

2.2 最大日降水量的 EMD 分解

为了研究天水地区 1951~2012 年最大日降水量 P_{max} 在不同时间尺度上的变化特征,对其时间序列进行了 EMD 分解。图 3 给出了其经过 EMD 分解后得到的 6 个 IMF 分量与一个趋势项 (IMF_7)。可以看出,天水地区最大日降水量存在明显的准 2 a 振荡周期(图 3a),这与平流层风场的准 2 a 振荡(Quasi-Biennial Oscillation,简称 QBO)信号基本一致; IMF_2 是准 4 a 周期分量, IMF_1 与 IMF_2 有着明显的倍频关系(图 3b); IMF_3 分量的频率更小,对应着准 5 a 的周期振荡(图 3c); IMF_4 分量则呈现出准 8~10 a 的循环周期,其中在 1980 年左右存在明显的转变,1980 年之后振荡周期有减小的趋势(图 3d); IMF_5 分量的周期变化与 IMF_4 比较相似,也在 1980 年左右发生了转折,但整体上表现出准 15 a 的周期振荡(图 3e); IMF_6 分量的循环周期在 48 a 左右,其波动幅度在研究时段内呈现出较强的稳定性(图

3f); IMF₇ 分量显示了天水地区最大日降水量的整体变化形势, 1951~2012 年最大日降水呈显著上升趋势(图 3g)。需要注意的是, 由于资料长度的限制, 其变化趋势项还有可能属于更长周期波动的组成部分。全球气候变暖必将导致降水量

的时空分布发生变化, 我国一些地区的降水以及极端旱涝事件已经发生了显著的转变^[10]。根据以上各 IMF 分量的变化, 可推断天水地区最大日降水在未来一段时间内有增大的趋势, 且年变化幅度有可能增强。

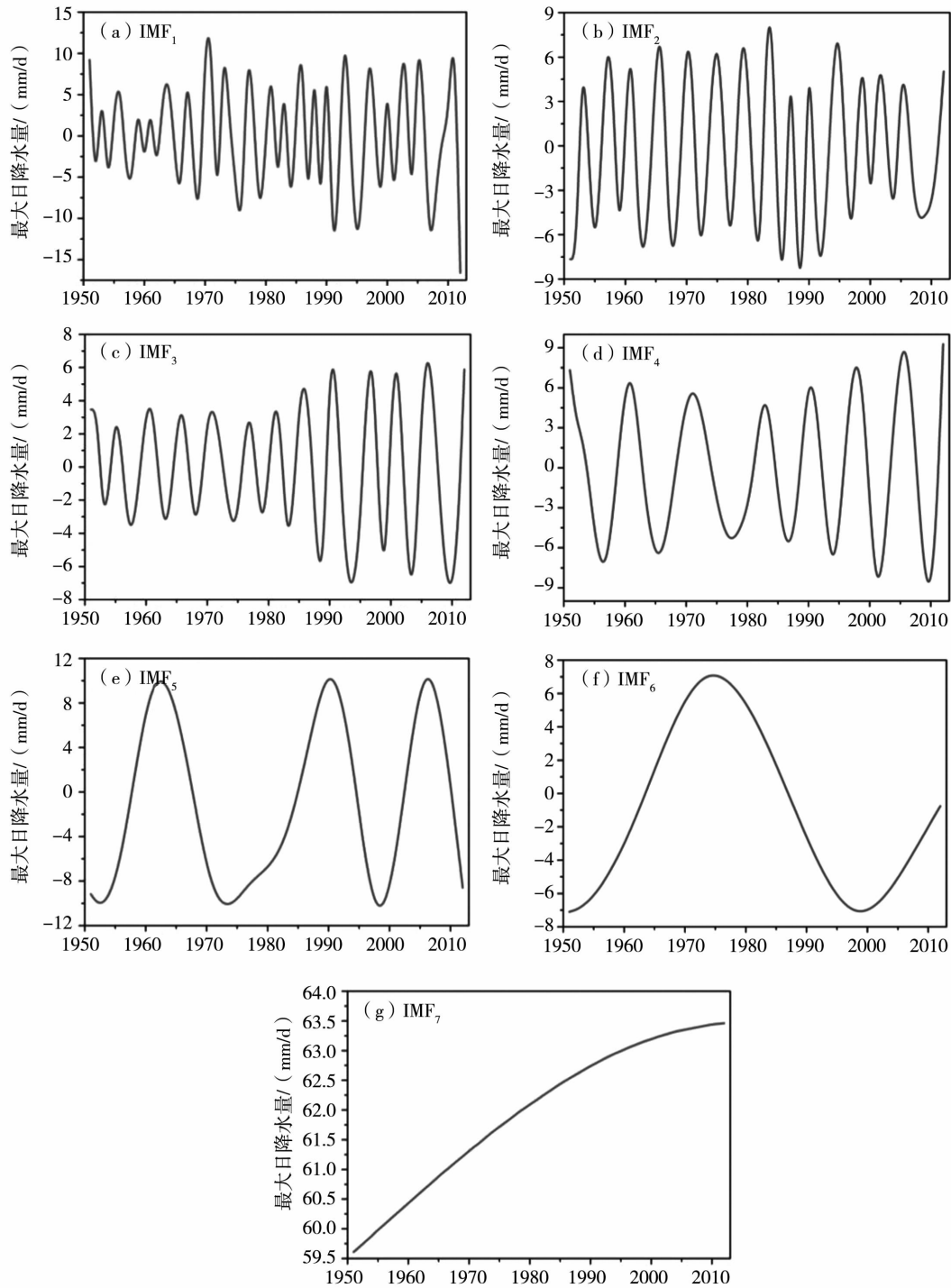


图3 天水地区 1951~2012 年最大日降水量时间序列 EMD 分解的 6 个 IMF 分量(a~f) 和 1 个趋势项(g)

Fig. 3 IMF components (a-f) and trend term (g) obtained by the empirical mode decomposition of the maximum daily rainfall series in Tianshui during 1951-2012

3 天水地区可能最大日降水量的估算

表2是天水地区可能最大日降水量的相关参数。可知,天水地区各站点的年最大日降水量的相关参数及PMP均存在着差异,其中,各站点的 P_{\max} 值平均在79.3~110.5 mm之间,大部分站点都在90 mm左右,说明天水地区各站点1951~2012年年最大日降水以暴雨为主,而发生大暴雨($P_{24h} \geq 100$ mm)及以上强降水事件的概率相对较小;各站点的 \bar{X}_n 均在40 mm左右,其中关山区(张家川、清水)的 \bar{X}_n 较大,河谷区(天水、麦积)次之,渭北区(武山、甘谷、秦安)最小;各站点的 σ_n 均在14 mm左右,CV均在30%左右,表明各站点逐年 P_{\max} 的变化幅度较大。另外,各站点中麦积站的K值最大,基于Hershfield系数放大原则取整后为7.0,根据公式(2)可估算出PMP(表2)。由表2可见,天水地区的PMP值为170.5 mm,约是该地区 P_{\max} 的1.54倍,此外,天水、麦积、武山、甘谷、秦安、张家川、清水等站点的PMP值分别为148.0、159.6、124.1、133.4、137.4、146.5、153.1 mm,与 P_{\max} 的比值分别为1.68、1.44、1.42、1.68、1.47、1.59、1.54,强度均达到了大暴雨标准。在PMP条件下,降雨强度与总量均比较大,且降水相对集中,因此径流系数通常也特别大,一般都要远超过实测最大值,应注意水库垮坝和河道堤防溃决的防治,尤其是对天水等北方干旱地区。同时,PMP等强降水极易导致城市内涝、山洪、山体滑坡、泥石流等次生灾害,这些灾害不仅会阻塞河道与交通、毁坏农田和建筑物,还会造成人员伤亡和财产损失,对生态环境造成巨大破坏^[20],应对此加强科学防范。

表2 天水地区及各站点平均可能最大日降水量的相关参数

Tab.2 The relevant parameters of the probable maximum daily rainfall in Tianshui

地区	σ_n /mm	\bar{X}_n /mm	K	CV /%	P_{\max} /mm	PMP /mm
天水	14.7	45.1	3.9	32.6	88.1	148.0
麦积	16.0	47.6	6.2	33.6	110.5	159.6
武山	12.4	37.3	5.5	33.1	87.5	124.1
秦安	13.1	41.7	3.6	31.4	79.3	133.4
甘谷	14.1	38.7	5.5	36.4	93.5	137.4
张家川	14.1	47.8	4.1	29.5	92.3	146.5
清水	14.7	50.2	4.6	29.3	99.2	153.1
全区	15.9	59.2	4.3	26.9	110.5	170.5

4 结果与讨论

(1)1951~2012年,天水地区各站点平均年最大日降水量在79.3~110.5 mm之间,大部分站点都在90 mm左右,其中关山区的平均值相对较大,河谷区次之,渭北区最小,这种分布形势与各气候区的气候特征较一致。另外,各站点最大日降水量的变异系数均在30%左右,说明年变化幅度较大。此外,各站点年最大日降水量主要集中在6、7、8月,约占总体的78.2%,其中以7月最多,8月次之。

(2)天水地区1951~2012年间 P_{\max} 存在明显的准2 a、准4~5 a、准8~10 a、准15 a以及准48 a的振荡周期,且有明显的上升趋势,可以推断在未来一段时间内 P_{\max} 有增大的趋势,且年变化幅度有可能增强,不稳定性增加。

(3)整体上天水地区的PMP值为170.5 mm,其中天水、麦积、武山、甘谷、秦安、张家川、清水等站点的PMP值分别为148.0、159.6、124.1、133.4、137.4、146.5、153.1 mm,强度均达到了大暴雨标准,且均高于 P_{\max} 。2013年夏季降水强度较大,其中麦积、清水、张家川、秦安等站的最大日降水量分别达到140.4、102.8、113.6、86.8 mm,均超过了历史极值,但依然低于各站点的PMP值,这说明改进的Hershfield理论方法较适用于天水地区。

近几十年极端天气气候事件的破坏性越来越大,所造成的经济损失也愈加严重,因此迫切需要开展针对性的研究,为政府部门提供优质、高效的决策咨询报告。譬如,在PMP条件下,降雨强度与总量均比较大,且降水相对集中,应注意水库垮坝和河道堤防溃决的防治以及城市内涝、山洪、山体滑坡、泥石流等次生灾害的科学防范。本文针对天水地区年最大日降水量的变化,研究了其强降水的分布特征,并初步分析了强降水过程的成因,但由于暴雨等强降水的影响因子很多,天水地区的强降水过程还可能存在其它的形成机制,这仍需要更进一步的研究。

参考文献:

- [1] 封国林,侯威,支蓉,等. 极端气候事件的检测、诊断与可预测性研究[M]. 北京:科学出版社,2012. 1-70.
- [2] 陶诗言. 中国之暴雨[M]. 北京:科学出版社,1980. 1-10.
- [3] 杨瑜峰. 中国西北东部近50 a降水异常分布及变化特征[J]. 干旱气象,2014,32(5):701-705.
- [4] 孙建华,赵思雄,傅慎明,等. 2012年7月21日北京特大暴雨的多尺度特征[J]. 大气科学,2013,37(3):705-718.
- [5] 胡利平,姚延锋,裴古娥,等. 天水地区近50年气温与降水变化特征[J]. 地理科学进展,2009,28(4):651-656.
- [6] 郭慧,黄涛,邓茂芝,等. 甘肃天水地区45a来强降水与洪涝灾害

- 特征分析[J]. 冰川冻土, 2007, 29(5): 808-812.
- [7] 张强, 赵映东, 张存杰, 等. 西北干旱区水循环与水资源问题[J]. 干旱气象, 2008, 26(2): 1-8.
- [8] 魏慧娟. 用典型暴雨放大法估算可能最大降水量[J]. 河南气象, 2000, 1: 10-11.
- [9] 李玲, 文明章, 张容焱, 等. 闽南沿海暴雨特征及可能最大降水估算[J]. 气象科技, 2009, 39(1): 13-18.
- [10] 郭雪, 王志伟, 俞胜彬, 等. 20世纪我国东部地区的降水及极端旱涝事件变化规律[J]. 干旱气象, 2013, 31(3): 476-481.
- [11] 王国安. 可能最大降水: 途径和方法[J]. 人民黄河, 2006, 28(11): 18-20.
- [12] 王江, 贾丽红. 乌鲁木齐夏半年降水演变及可能最大降水估算[J]. 沙漠与绿洲气象, 2009, 3(3): 17-21.
- [13] 林两位, 王莉萍. 用 Pearson-III 概率分布推算重现期年最大日雨量[J]. 气象科技, 2005, 33(4): 314-317.
- [14] Papalexiou S M, Koutsoyiannis D. A probabilistic approach to the concept of Probable Maximum Precipitation[J]. Advances in Geosciences, 2006, 7: 51-54.
- [15] Shirdeli A. Probable maximum precipitation 24 hours estimation: A case study of Zanjan province of Iran[J]. Management Science Letters, 2012, 2: 2237-2242.
- [16] Casas M C, Rodríguez R, Prohom M, et al. Estimation of the probable maximum precipitation in Barcelona (Spain)[J]. International Journal of Climatology, 2011, 31: 1322-1327.
- [17] Desa M N, Rakhecha P R. Probable maximum precipitation for 24-h duration over an equatorial region: Part 2 - Johor, Malaysia[J]. Atmospheric Research, 2007, 84: 84-90.
- [18] 万仕全, 封国林, 周国华, 等. 基于 EMD 方法的观测数据信息提取与预测研究[J]. 气象学报, 2005, 63(4): 516-525.
- [19] 刘莉红, 郑祖光, 琚建华. 基于 EMD 方法的我国年气温和东部年降水量序列的振荡模态分析[J]. 高原气象, 2008, 27(5): 1060-1065.
- [20] 孙悦, 李栋梁, 朱拥军. 渭河径流变化及其对气候变化与人类活动的响应研究进展[J]. 干旱气象, 2013, 31(2): 396-405.

Variation Characteristics of the Maximum Daily Rainfall and Estimation of Possible Maximum Daily Precipitation in Tianshui of Gansu

LI Yue¹, ZHU Yongjun¹, ZHAO Qingyun², YAO Yanfeng¹, WU Li¹

(1. Tianshui Meteorological Bureau of Gansu Province, Tianshui 741000, China;
2. Lanzhou Center Meteorological Observatory, Lanzhou 730020, China)

Abstract: Based on the daily precipitation data at 7 stations in Tianshui of Gansu Province, the variation characteristics of the maximum daily rainfall from 1951 to 2012 were investigated, and the period was analyzed by the empirical mode decomposition (EMD). Secondly, the possible maximum daily precipitation (PMP) was estimated by using the improved Hershfield statistical method. The results are as follows: (1) In the past 62 years, the average value of annual maximum daily rainfall was 59.2 mm, mean-square error was 15.9 mm, the maximum and minimum value was 110.5 mm and 32.7 mm, respectively, which indicated that the annual fluctuation of the maximum daily rainfall was during 1951-2012. In addition, the maximum daily rainfall for all meteorological stations mainly concentrated in June, July and August, accounted for approximately 78.2% of the total, especially in July and August. (2) The annual time series of the maximum daily rainfall in Tianshui had obvious oscillation period of quasi-2, 4-5, 8-10, 15, 48 years during 1951-2012, and the trend raised significantly and, the change magnitude was likely to increase in the next period. (3) The PMP was 124.1-159.6 mm in the different station of Tianshui, while the whole area was 170.5 mm, and that in each station exceeded the standard of heavy rainfall.

Key words: maximum daily rainfall; Empirical Mode Decomposition; Hershfield statistical method; 24 hours probable maximum precipitation