

邹燕,叶殿秀,林毅,等. 福建区域性暴雨过程综合强度量化评估方法. 应用气象学报,2014,25(3):360-364.

福建区域性暴雨过程综合强度量化评估方法

邹 燕¹⁾ 叶殿秀^{2)*} 林 毅³⁾ 刘爱鸣³⁾

¹⁾(福建省气候中心,福州 350001) ²⁾(国家气候中心,北京 100081) ³⁾(福建省气象台,福州 350001)

摘 要

该文以福建省为例,探讨了区域性暴雨过程的识别方法和综合强度评估模型。采用福建省 66 个国家级气象观测站 1961—2010 年逐日降水量资料,首先在给定区域性暴雨过程识别方法的基础上,筛选出 941 次区域性暴雨过程;其次选取区域最大日降水量、区域最大过程降水量、区域暴雨范围和区域暴雨持续时间 4 项暴雨过程指标,采用百分位数方法分别确定 4 项指标的等级划分标准;采用相关系数法确定各指标权重,构建福建区域性暴雨过程的综合强度评估模型,并给出福建区域性暴雨过程的综合强度等级划分标准。业务服务和历史事件验证表明:采用该方法的评估结果较为合理,且与历史重大暴雨事件具有良好的一致性。

关键词: 区域性暴雨过程; 强度; 评估模型

引 言

区域性暴雨过程往往与冷暖空气的持续交汇以及稳定的大尺度环流密切相关,是我国东部季风区雨季强降水的主要天气过程。因其在空间上常常表现为成片或带状,在时间上又具有天气尺度特征,往往会引发较大气象灾害^[1-3]。

客观定量判别暴雨过程强度是暴雨预报、分析和服 务的重要基础,也是及时监测预警极端降水事件的重要技术支撑。大量研究显示,全球气候变化背景下,我国降水的显著年代际变化不仅表现在不同尺度的降水量和极端事件方面^[4-6],也表现在降水强度上^[7-8]。因此,加强对暴雨过程强度的评估方法研究是实际业务和应对气候变化的迫切需要。

早年对区域性暴雨过程强度的评判,常依据其经济损失或者最大日降水量等部分指标^[9-11]。由于暴雨致灾机理的复杂性和灾情数据的不完备性,直接建立灾损与暴雨过程强度的对应关系,不仅其历史可比性较差,而且在实际业务运行中也易存在滞后现象。另外,以暴雨过程的部分指标来表征整体强度也缺乏全面性。近年来,暴雨过程综合评估方

法的探讨越来越多^[12-16]。

已有的暴雨过程强度评估模型中,多数是将标准化后的各指标值按等权重或专家评分结果作为权重进行累加^[15-16],而针对各指标序列自身变率对评估结果的影响考虑不足。区域性暴雨过程的界定常以单日一定数量或一定比例站点出现暴雨^[12,16-20]或以过程降水量作为识别指标^[21]。这样会出现区域性暴雨过程未考虑“区域性暴雨日”间断或暴雨过程可能无暴雨出现的情况。而历史上重大暴雨过程多存在“区域性暴雨日”间歇现象^[22],且区域性暴雨日之间出现短暂中断的情况下,短暂中断后的区域性暴雨日对灾害的形成仍有影响,应合并考虑。

为此,本文以福建省为例,建立较为全面反映区域性暴雨过程各主要指标特征的客观、量化的综合强度评估模型,并给出评估等级划分标准,以期为开展区域性暴雨过程的客观定量化评估业务提供参考。

1 资料和方法

1.1 资 料

1961—2010年福建省66个国家级气象观测站

2013-06-07 收到, 2014-01-07 收到再改稿。

资助项目:公益性行业(气象)科研专项(GYHY200906014),中国气象局气候变化专项(CCSF201304)

* 通信作者, email: ydx@cma.gov.cn

20:00(北京时,下同)一次日20:00降水量,资料来自福建省气象信息中心。本文的国家级气象观测站是以中国气象局现代气候业务监测预测评估站(2288站)为基础,包括基准站、基本站和一般站。

1.2 方法

1.2.1 百分位数计算方法

百分位数计算采用 Hyndman 等的经验公式^[23]。

1.2.2 样本序列标准化计算公式

$$C_i = \frac{Y_i - \bar{Y}}{\delta} \quad (1)$$

式(1)中, C_i 为第*i*个样本标准化后的数值, Y_i 为第*i*个样本值, \bar{Y} 为样本序列的气候平均值, δ 为样本序列的标准差。

2 区域性暴雨过程的有关规定

2.1 暴雨日

单站暴雨日:单个国家级气象观测站日降水量不小于50 mm的雨日。

区域性暴雨日:福建省国家级气象观测站中,至少3个(或至少5%)站达单站暴雨日的雨日。

2.2 区域性暴雨过程

区域性暴雨日持续日数至少1 d的过程或者间断1 d且间断日福建省66个国家级气象观测站日降水量满足以下条件之一:①至少1个站达暴雨及以上;②至少5个站达大雨及以上,且次日至少5个站达暴雨及以上;③至少5个站达中雨及以上,且次日至少10个站达暴雨及以上。

以上规定遵循的原则包括:①中断日若仍有暴雨站,前后串接为同一个区域性暴雨过程,以保证持续区域性暴雨过程的连贯性;②中断日仍有较大范围的强降水,且紧接其后仍有较大范围区域性暴雨日,前后过程也串接为同一个区域性暴雨过程。

区域性暴雨过程的首个(最后一个)区域性暴雨日为区域性暴雨过程的开始日(结束日)。

区域性暴雨过程的持续时间:区域性暴雨过程开始日至结束日的日数。

3 区域性暴雨过程的综合强度评估模型

3.1 评估指标的选择

本文选择区域最大过程降水量、区域最大日降

水量、区域暴雨范围和区域暴雨持续时间4个评估指标表征区域性暴雨过程综合强度。各指标定义如下。

区域最大过程降水量:区域性暴雨过程中,福建省66个国家级气象观测站过程累积降水量最大值。

区域最大日降水量:区域性暴雨过程中,福建省66个国家级气象观测站日降水量最大值。

区域暴雨范围:区域性暴雨过程中,福建省66个国家级气象观测站出现单站暴雨日的站数。

区域暴雨持续时间:区域性暴雨过程的开始日至结束日总日数。

3.2 评估指标的等级划分

按2.1节和2.2节规定的区域性暴雨过程条件统计,福建省1961—2010年共出现941次区域性暴雨过程。分别以941次区域性暴雨过程的区域最大过程雨量、区域最大日降水量、区域暴雨范围和区域暴雨持续时间4个指标序列为样本序列,以各样本序列的第60%、第80%、第90%、第95%和第98%对应的百分位数作为各指标的等级划分阈值,0级、1级、2级、3级、4级、5级评估等级所对应的百分位数范围分别为 $[0, 60\%)$, $[60\%, 80\%)$, $[80\%, 90\%)$, $[90\%, 95\%)$, $[95\%, 98\%)$, $[98\%, 100\%]$ 。

3.3 区域性暴雨过程综合强度评估模型

通常各项指标强度越强,其致灾性也越强。不同强度指标在致灾过程中作用不同,在建立区域性暴雨过程综合强度评估模型中应予以考虑。本研究以某一指标序列与其余3个指标序列之间相关系数的平均值占有所有指标间相关系数平均值总和的比值作为该指标的权重系数^[24]。统计显示,福建省区域最大过程降水量、区域最大日降水量、区域暴雨范围和区域暴雨持续时间4个指标的权重系数分别为0.29, 0.23, 0.25和0.23。区域性暴雨过程综合强度评估模型见式(2):

$$I_{\text{rain}} = A \times G_{\text{pre}} \times R_{\text{pre}} + B \times G_{24\text{pre}} \times R_{24\text{pre}} + C \times G_{\text{cov}} \times R_{\text{cov}} + D \times G_{\text{day}} \times R_{\text{day}} \quad (2)$$

式(2)中, I_{rain} 为区域性暴雨过程综合强度指数; G_{pre} , $G_{24\text{pre}}$, G_{cov} 和 G_{day} 分别是区域最大过程降水量、区域最大日降水量、区域暴雨范围和区域暴雨持续时间4个指标的评估等级; R_{pre} , $R_{24\text{pre}}$, R_{cov} 和 R_{day} 分别是标准化后的4个指标值; A , B , C 和 D 为权重系数。

3.4 区域性暴雨过程综合强度指数等级划分

基于福建省941次区域性暴雨过程的综合强度指数序列,采用百分位数法,分别计算第60%、第

80%、第90%、第95%和第98%对应的百分位数;以上述5个百分位数为阈值确定等级划分标准,从而得

到各场区域性暴雨过程综合强度的评估等级。4个指标和综合强度指数的评估等级划分标准见表1。

表1 福建区域性暴雨过程主要指标及综合强度指数的评估等级划分标准

Table 1 Classification and assessment of composite intensity and four major statistics index of Fujian regional heavy rainfall

评估等级	区域暴雨持续时间		区域暴雨范围		区域最大日降水量		区域最大过程降水量		综合强度指数	
	范围/d	评估结果	范围/站	评估结果	范围/mm	评估结果	范围/mm	评估结果	范围	评估结果
0级	1	短	[0,12)	小	[50,111.1)	小	[50,134.2)	小	(-0.5,0.06)	弱
1级	2	较短	[12,21)	较小	[111.1,153.0)	较小	[134.2,200.6)	较小	[0.06,1.10)	较弱
2级	3	中等	[21,30)	中等	[153.0,195.9)	中等	[200.6,289.0)	中等	[1.10,3.37)	中等
3级	4	较长	[30,41)	较大	[195.9,243.2)	较大	[289.0,390.7)	较大	[3.37,6.67)	较强
4级	5	长	[41,47)	大	[243.2,299.9)	大	[390.7,494.0)	大	[6.67,10.45)	强
5级	不少于6	特长	[47,66]	特大	[299.9,+∞)	特大	[494.0,+∞)	特大	[10.45,+∞)	特强

4 模型检验

为说明本文所构建的综合强度评估模型的合理性,以下将从日常业务服务及历史重大暴雨事件两方面进行验证。

4.1 日常业务检验

业务服务总结的暴雨过程一般都是较大的暴雨过程。1991—2005年福建省气象台重要天气过程服务总结的暴雨过程共计108个,本文统计的1级及以上的暴雨过程为123个。二者较为一致,且服务中的所有暴雨过程在本研究建立的暴雨过程序列中无缺漏情况。本文统计的过程略多主要原因包括:①持续强降水出现长于1d的间歇将分段,而业务中因预报服务需求常进行拼接;②持续短、范围小的暴雨过程,业务中没有进行过程总结。

2010年该评估模型和等级划分标准在福建省灾害性天气气候事件监测与评估业务中投入运用。本方法识别出2010年6月14—26日的暴雨过程为1次特强区域性暴雨过程,其综合强度指数位居1961年以来第3位,仅次于福建省“98.6”和“68.6”暴雨过程。而2010年灾情损失和水文数据显示,该次暴雨过程经济损失高达144.6亿元,闽江上游发生自1998年以来最严重洪涝灾害。实际业务运行也显示了本评估结果的合理性。

4.2 历史重大暴雨事件检验

表2为采用本文方法得到的1961—2010年的19次特强区域性暴雨过程。参照《中国气象灾害大典(福建卷)》^[25]、福建政府网(<http://www.fujian.gov.cn/ztlz/60zn>)、福建省情资料库(<http://www.fjsq.gov.cn>)等历史灾害事件记载,本文结果与历史重大暴雨事件具有较好的一致性。表2中排名前5

表2 1961—2010年综合强度评估等级达5级的区域性暴雨过程一览表

Table 2 Regional heavy rainfall cases with composite intensity up to class V from 1961 to 2010

序号	年份	开始日期	结束日期	暴雨持续时间/d	暴雨范围/站	最大日降水量/mm	最大过程降水量/mm	综合强度指数
1	1998	06-09	06-24	16	43	255.4	1055.8	26.95
2	1968	06-09	06-25	17	62	211.9	771.0	25.67
3	2010	06-14	06-26	13	53	266.6	783.6	23.06
4	2005	06-18	06-23	6	42	347.9	764.5	17.27
5	2002	06-11	06-18	8	48	265.9	657.1	17.12
6	2002	08-04	08-11	8	42	296.4	639.1	16.10
7	1965	06-11	06-20	10	52	175.4	514.1	15.37
8	2005	07-18	07-22	5	16	472.5	696.8	15.35

续表 2

序号	年份	开始日期	结束日期	暴雨持续时间/d	暴雨范围/站	最大日降水量/mm	最大过程降水量/mm	综合强度指数
9	1964	06-09	06-18	10	42	206.8	526.9	14.44
10	2006	07-14	07-17	4	44	346.7	586.8	13.29
11	1990	08-19	08-23	5	52	297.7	512.1	12.96
12	2009	08-08	08-09	2	28	415.2	632.7	12.57
13	1983	06-13	06-19	7	41	245.1	496.2	12.04
14	1994	06-14	06-20	7	48	157.8	484.6	11.30
15	1996	08-01	08-02	2	54	344.9	396.6	11.27
16	2008	07-28	07-30	3	50	266.9	514.4	11.60
17	2007	06-02	06-11	10	39	156.7	423.4	10.87
18	1990	07-30	08-04	6	38	210.4	577.2	10.61
19	1982	06-13	06-18	6	32	175.1	651.9	10.55

位的区域性暴雨过程均是造成重大社会影响或严重经济损失的罕见持续性暴雨到大暴雨过程。其中,最强的“98.6”暴雨过程与多个部门的历史记载均相吻合。

5 结论和讨论

本研究表明:

1) 本文给出的区域性暴雨过程识别指标考虑了区域性暴雨日出现短暂中断但中断期又有大范围强降水出现的情况,基于此规定的统计结果与历史区域性暴雨过程基本吻合。

2) 构建了福建区域性暴雨过程的综合强度评估模型。模型既考虑了区域最大日降水量、区域最大过程降水量、区域暴雨范围和区域暴雨持续时间4个指标,也客观考虑了各指标的权重及其自身变率,对区域性暴雨过程的描述更加全面。

3) 业务服务和历史重大暴雨过程验证表明,本研究采用的建模方法和评估等级划分合理。

本文的“区域”适用于省域或者地区域的“目标区”。以往有的省级气象部门在成文或不成文的业务规定中以同一日有3~5个气象观测站出现暴雨为“区域性暴雨日”标准^[26-27]。统计显示,我国东部近50年至少1个气象观测站出现暴雨的雨日中,2~4个气象观测站出现暴雨的雨日占61.2%^[28]。近60年区域持续性暴雨事件的识别,也体现了以至少3个气象观测站作为区域性暴雨过程站数标准的合理性^[29]。对于华南前汛期暴雨、江淮梅雨等大范围目标区的区域性暴雨过程,其台站数量要求应根据目标区暴雨气候特征进行调整;同时,研究目标区若有符合本地气候特征的单站暴雨日标准,应优先

遵从。

另外,本研究的区域性暴雨过程中的间歇日仅考虑1d。对间断日持续时间长和雨情状况的识别指标,应结合目标区的区域性暴雨气候和历史重大暴雨事件情况,以保证识别指标既符合强降水天气过程也与历史重大暴雨事件一致。

参考文献

- [1] 陶诗言. 中国之暴雨. 北京: 科学出版社, 1980: 3-5.
- [2] 丁一汇, 张建云. 暴雨洪涝. 北京: 气象出版社, 2009.
- [3] 陶诗言, 倪允琪, 赵思雄, 等. 1998年夏季中国暴雨的形成机理与预报研究. 北京: 气象出版社, 2001.
- [4] 陈隆勋, 周秀骥, 李维亮, 等. 中国近80年来气候变化特征及其形成机制. 气象学报, 2004, 62(5): 634-646.
- [5] Yao Cai, Yang Song, Qian Weihong, et al. Regional summer precipitation events in Asia and their changes in the past decades. *J Geophys Res*, 2008, 113, D17107.
- [6] Zhai P M, Sun A J, Ren F M, et al. Changes of climatic extremes in China. *Climatic Change*, 1999, 42(1): 203-219.
- [7] 王小玲, 翟盘茂. 1957—2004年中国不同强度级别降水的变化趋势特征. 热带气象学报, 2008, 24(5): 459-466.
- [8] 陈冬冬, 戴永久. 近五十年我国西北地区降水强度变化特征. 大气科学, 2009, 33(5): 923-935.
- [9] 尤红, 姜丽萍, 彭端. 2005年6月广东特大暴雨垂直螺旋度分析. 气象, 2007, 33(4): 71-76.
- [10] 朱炳海. 中国夏季降水强度的分析. 气象学报, 1955, 26(4): 249-268.
- [11] 陈波, 史瑞琴, 陈正洪. 近45年华中地区不同级别强降水事件变化趋势. 应用气象学报, 2010, 21(1): 47-54.
- [12] 郑国, 薛建军, 范广洲, 等. 淮河流域暴雨事件评估模型. 应用气象学报, 2011, 22(6): 753-759.
- [13] 扈海波, 轩春怡, 诸立尚. 北京地区城市暴雨积涝灾害风险评估. 应用气象学报, 2013, 24(1): 99-108.
- [14] 任雨, 李明材, 郭军, 等. 天津地区设计暴雨强度的推算与适用. 应用气象学报, 2012, 23(3): 364-368.

- [15] 袁慧敏,王秀荣,范广州,等.长江中下游沿江地区暴雨过程综合评估模型及应用.气象,2012,38(10):1189-1195.
- [16] 陈艳秋,袁子鹏,盛永,等.气象灾害评估第1部分:暴雨.辽宁省地方标准,B21/T1454.1—2006.2006.
- [17] 谢炯光,纪忠萍,谷德军,等.广东省前汛期连续暴雨的气候背景及中期环流特征.应用气象学报,2006,17(3):354-362.
- [18] 刘爱鸣,潘宁,邹燕,等.福建前汛期区域暴雨客观预报模型研究.应用气象学报,2003,14(4):419-429.
- [19] 黄土松.华南前汛期暴雨.广州:广东科技出版社,1986.
- [20] 85-906-08-04 专题组.暴雨天气气候研究.北京:气象出版社,1996.
- [21] 鲍名.近50年我国持续性暴雨的统计分析及其大尺度环流背景.大气科学,2007,31(5):779-792.
- [22] 水利部水文局,水利部珠江水利委员会水文局.1998年珠江、闽江暴雨洪水.北京:中国水利水电出版社,2001.
- [23] Hyndman R J, Fan Y. Sample quantiles in statistical packages. *American Statistician*, 1996, 50(4): 361-365.
- [24] 吕晓男,陆允甫,王人潮.土壤肥力综合评价初步研究.浙江大学学报,1999,25(4):378-382.
- [25] 宋德众,蔡诗树.中国气象灾害大典(福建卷).北京:气象出版社,2007.
- [26] 郑秀雅,张廷治,白人海.东北暴雨.北京:气象出版社,1992.
- [27] 郭新,侯建忠,雷斌,等.灾害性天气气候第1部分:暴雨等级.陕西省地方标准,DB61/T 442.1—2008.2008.
- [28] 单晓龙.中国区域暴雨事件的天气扰动分析.北京:北京大学,2013:26-30.
- [29] 陈阳.中国持续性暴雨特征及中东部地区事件异常大尺度环流分析.北京:中国气象科学研究院,2013:19-23.

A Quantitative Method for Assessment of Regional Heavy Rainfall Intensity

Zou Yan¹⁾ Ye Dianxiu²⁾ Lin Yi³⁾ Liu Aiming³⁾

¹⁾ (Fujian Provincial Climate Center, Fuzhou 350001) ²⁾ (National Climate Center, Beijing 100081)

³⁾ (Fujian Provincial Meteorological Observatory, Fuzhou 350001)

Abstract

A quantitative method for assessment of regional heavy rainfall intensity is proposed, cases of Fujian Province are taken as examples. Based on the daily precipitation dataset of 66 stations in Fujian from 1961 to 2010, a definition of the regional heavy rainfall is first determined. Then four indices including maximum daily precipitation and maximum accumulated precipitation during the process are constructed as factors to evaluate an objective assessment model of composite intensity of regional rainfall.

Using statistical methods such as percentile, the grade-level standards for the four indicating factors are studied. Finally, an assessment model of composite intensity of regional rainstorm is built. Compared with historical cases, the assessment model is reasonable and consistent with historical extreme cases.

Key words: regional rainfall; intensity; assessment model