

南方高度城市化地区极端降雨特征分析及阈值确定 ——以深圳市为例

马雨露¹, 赖成光², 习树峰³, 陈晓宏⁴, 邓家泉⁵

(1. 广州丰泽源水利科技有限公司, 广东 广州 510663; 2. 华南理工大学 土木与交通学院, 广东 广州 510641;
3. 深圳城市公共安全科学技术研究院有限公司, 广东 深圳 518046; 4. 中山大学 地理科学与规划学院水资源与环境研究中心,
广东 广州 510611; 5. 珠江水利科学研究院, 广东 广州 510610)

摘要: 研究南方高度城市化地区极端气候变化规律, 定义极端降雨事件的阈值并对地域风险进行评估, 对于完善区域“三防”指挥系统的预报预警方案, 应对气候变化和快速城市化过程中的极端暴雨内涝灾害风险, 具有重要的现实意义。以深圳市为例, 在收集统计 2000–2015 年暴雨灾害事件和相应的多个站点降雨数据基础上, 采用模糊识别、PCI 等方法分析了该区域的降雨雨型、集中度特征, 并采用百分位法对深圳市极端降雨阈值进行了分析和计算。结果表明: 造成深圳市内涝的大部分降雨主要是单峰型; 均匀大量降雨是内涝主要产生原因; 大鹏新区的降雨阈值最高, 降雨阈值空间分布图从东往西呈逐渐减少趋势; 深圳市极端降雨阈值为降雨频率 $P=1\%$ 的降雨值。

关键词: 极端降雨事件; 雨型识别; 降雨集中度; 阈值

中图分类号: P468.0⁺24

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2017)02-0076-06

Analysis and determination of extreme precipitation threshold in highly urbanized areas of Southern China: A case from Shenzhen

MA Yulu¹, LAI Chengguang², XI Shufeng³, CHEN Xiaohong⁴, DENG Jiaquan⁵

(1. Guangzhou Franzero Hydraulic Technology Co., Ltd., Guangzhou 510663, China; 2. School of Civil and Transportation Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China; 3. Shenzhen Urban Public Safety and Technology Institute, Shenzhen 518046, China; 4. Center for Water Resources and Environment, School of Earth Science and Geological Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510611, China; 5. Pearl River Hydraulic Research Institute, Guangzhou 510610, China)

Abstract: It is very important to study the extreme weather variations, to define the threshold of extreme rainfall event and to evaluate the risk of internal water – logging for highly urbanizing areas in Southern China for improving the forecasting and early warning schemes in the command system, and dealing with the extreme rainstorms and water – logging disasters in the courses of climate change and rapid urbanization. Taking Shenzhen as an example, based on data collection of the rainstorm events in Shenzhen from 2000 to 2015 and the corresponding rainfall data from several sites, the fuzzy identification method and PCI were used to analyze the rainfall pattern and rainfall concentration in the region. Also, the Shenzhen extreme rainfall threshold has been analyzed and calculated using the percentile method. The results showed that the single – peak type rainfalls were main rainfall type which caused water – loggings of Shenzhen; the main cause of waterlogging was uniform heavy rainfall; the highest rainfall threshold was located in the Dapeng New Area and the spatial distribution of rainfall thresholds decreased from the east to the west; the extreme rainfall threshold of Shenzhen was the rainfall with frequency of 1%.

Key words: extreme rainfall events; rainfall pattern identification; rainfall concentration degree; threshold

1 研究背景

深圳地处水循环极其活跃的华南湿润气候区,

伴随气候变化和快速城市化影响, 极端暴雨事件呈频发趋势, 城市内涝风险日益增大, 且深圳人口密度高、经济发达, 一旦发生严重的极端暴雨内涝事件,

收稿日期: 2017-01-09; 修回日期: 2017-02-13

基金项目: 广东省水利科技创新项目(2016-01)

作者简介: 马雨露(1991-), 女, 湖北公安人, 硕士研究生, 主要从事水文水资源方向研究工作。

造成的灾害损失难以估量,有必要确定其阈值,对其风险进行分析探讨。

国内关于极端气候的研究成果表明^[1-5],中国降水总量增加主要是由于极端降水量的增加所造成的,虽然很多地区极端降水事件频次呈现增加趋势,但降水总量、降水日数等表现出了一定的区域性差异。对于极端气候事件的定义,政府间气候变化专门委员会(IPCC)^[6]认为极端天气事件是指某一地点或地区从统计分布的观点看不常或极少发生的天气事件。

杨金虎^[7]、尤莉等^[8]、姜德娟等^[9]对不同区域降水量进行研究,将日降水第 95 个百分位值的平均值定义为极端降水事件的阈值;胡豪然等^[10]把四川盆地逐年日降水量序列的第 99 个百分位值的多年平均值定义为极端降水事件的阈值;闵岫等^[11]把各站的每月各日降水资料分别从小到大排列,各月均取第 90 个百分位所对应日的降水值作为极端降水阈值;江志红等^[12]定义的极端降水指数是选取日降水强度指数、最大持续无雨期指数、大雨日数指数、连续 5d 最大降水量指数和极端降水贡献率指数;苏布达等^[13]、余敦先等^[14]采用超门限峰值抽样法(POT)选取了对长江流域降水极值序列;郑腾飞等^[15]、迟潇潇等^[16]利用去趋势波动分析法(DFA)确定了极端降水阈值。

由于不同的研究区气候特征差异较大,不同的研究者对极端气候的定义及其阈值划分方法有所不同,难以形成统一的定义与阈值划分标准,且现阶段对极端气候的研究大多侧重于探讨极端气候变化趋势和比较不同的定义方法上,鲜有结合具体极端气候灾害事件严重程度和降雨特征角度的分析,因此难以应用于制定应急方案和预警预报的研究。本文以深圳市为例,针对南方高度城市化地区极端降雨问题,结合案例分析该区域极端降雨的特征,定义极端降雨的阈值,以期深圳市制定合理的极端气候

事件预警预报方案提供科学的参考依据。

2 资料和方法

2.1 数据资料

本文采用深圳市有较长雨量资料的 10 个代表站点逐时雨量数据,序列年份起始时间为 1959 – 1978 年不等,终点时间为 2015 年,详见表 1。

表 1 代表雨量站点及其年降雨极值参数				mm
站名	序列时间段	年最大 1h	年最大 6h	年最大 24h
		降雨平均 值/最大值	降雨平均 值/最大值	降雨平均 值/最大值
三洲田水库站	1963 – 2015	54/104	118/398	216/531
高峰水库站	1973 – 2015	53/97	112/319	181/396
石岩水库站	1971 – 2015	50/98	108/301	170/480
罗田水库站	1959 – 2015	62/99	95/253	158/355
铁岗水库站	1975 – 2015	53/97	110/232	173/440
赤湾站	1967 – 2015	56/99	110/294	173/503
深圳水库站	1969 – 2015	56/97	121/227	207/386
南澳圩站	1973 – 2015	62/114	139/299	236/595
清林径水库站	1978 – 2015	55/88	109/240	172/304
西丽水库站	1977 – 2015	49/89	101/188	165/383

利用统计典型内涝事件分析深圳市内涝情况。本文统计收集了深圳市 2000 – 2015 年共计 24 场灾情较严重的暴雨引发的内涝事件,限于篇幅,列出其中 3 件典型内涝事件的特征描述,如表 2 所示。

2.2 研究方法

降雨过程中的降雨强度随时间的分配称为降雨雨型模式,不同的降雨雨型模式对内涝的形成有重要影响。本文采用模糊识别法来识别雨型,该法根据各时段雨量所占总雨量的百分比例来定量说明该场降雨的雨型指标,组建 7 种雨型的模式矩阵(图 1)。将每场实际降雨与 7 种模式相比较,根据择近原则,确定该场降雨雨型。

表 2 典型内涝事件(筛选)

序号	时间	降雨中心	最大 1h 降雨/ mm	当天降雨/ mm	灾情	经济损失/ 10 ⁴ 元
1	2003-05-05	宝安、龙岗	76	250	全市北环路、滨海大道、107 国道西乡段、深惠公路横岗镇荷坳段、坪山镇宝山段等主干道路内涝严重,2 人死亡,水库蓄洪 3000 × 10 ⁴ m ³ 。	12000
2	2008-06-13	宝安、罗湖	80	434	500 余处不同程度的内涝或水浸,南山区一甲村、坂田岗头村东新巷、龙华新区工业东路田安大厦、油福新村等内涝严重,受灾人数 100 多万。	50000
3	2014-05-11	南山、龙华	78	432	30 宗中小型水库超过或接近防限水位泄(溢)洪,全市出现约 300 处道路积水,约 50 处片区发生内涝,约 20 条河流出险。	8000

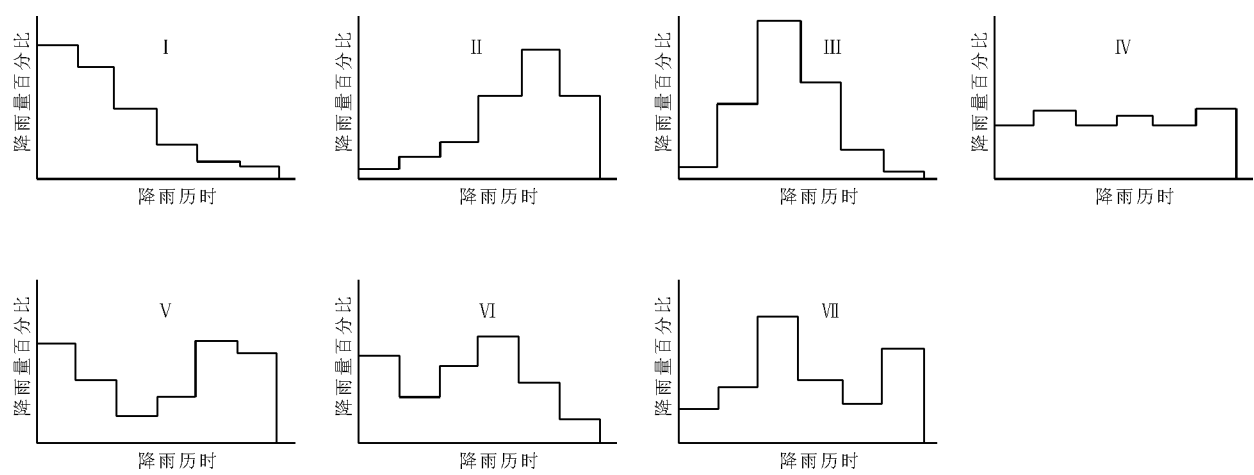


图1 7种典型雨型模式

7 种降雨雨型中,雨型 I ~ III 属于单峰型,主峰分别在头部、尾部和中部;雨型 IV 属于均匀降雨型;V ~ VII 属于双峰型。

每个时段的雨量占总雨量的比例为:

$$x_i = \frac{H_i}{H_z} \quad (i = 1, 2, \cdots, m) \tag{1}$$

式中: H_i 为各时段雨量、 H_z 为总雨量,mm。把这组 x_i 作为该天降雨的雨型指标,并用向量表示:

$$X = x_1, x_2, \cdots, x_n \tag{2}$$

同理,用该指标表示其他 7 种模式雨型:

$$Vk_i = (Vk_{i1}, Vk_{i2}, \cdots, Vk_{in}) \quad (k = 1, 2, \cdots, 7) \tag{3}$$

这里 Vk 与 x_i 的意义相同,7 种模式也可写成矩阵形式。模式确定后,可计算出每场降雨与 7 种模式的贴近度:

$$\sigma_k = 1 - \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (Vk_i - x_i)^2} \quad (k = 1, 2, \cdots, 7) \tag{4}$$

由就近原则,若第 k 个贴近度 σ_k 最大,该场降雨就属于第 k 种雨型。划分工作由计算机自动完成,避免了目估法存在的人为判断误差。

同时,使用降雨集中度来描述某时段内的降水量较大值出现的时段数百分比和降水量百分比的分布规律。

一般来说,集中度越大表明短时间内的降雨量越大,集中度越小表明降雨较为均匀。集中度可以用以下公式计算:

$$PCI = \frac{\sum_{i=1}^n p_i^2}{(\sum_{i=1}^n p_i)^2} \times 100\% \tag{5}$$

式中: p_i 为单位时段的降雨量,mm。 PCI 数值按表 3 可分 5 类,类别越高表明降雨越不均匀,降雨在某短历时内雨量越大。

表3 PCI 级别分类

PCI / %	0 ~ 20	20 ~ 40	40 ~ 60	60 ~ 80	80 ~ 100
级别	I 轻微集中	II 较集中	III 集中	IV 高度集中	V 极端集中

常见的确定阈值的方法有百分位法、门限值法和去趋势波动分析法(DFA)3 种方法。根据深圳市降雨极值分析可知,深圳市内年最大 1 h、6 h 和 24 h 降雨量空间差异较大,选择某个固定的降水量值作为极端降水阈值来分析极端降水的气候变化的门限值法显然不合适;对于 DFA 法,由于其数学推导不严谨、物理机制尚不明确,计算的阈值可信度有待验证。因此本文采用百分位法确定阈值。

3 结果分析

3.1 降雨雨型

通过分析深圳市 24 场次典型内涝事件的降雨数据,采用模糊识别法来识别雨型,统计各类雨型的次数和比例,结果如表 4。

由表 4 可知,导致内涝的典型降雨覆盖了 6 种降雨模式,仅无第 V 种雨型,但其余每种模式发生次

数的比例不一样。雨型 I 在各个代表站点的 24 次降雨中共发生了 8 次,占比例 33.33%;雨型 III 发生了 5 次,占比例 20.83%;雨型 II 发生了 4 次,所占比例为 16.67%;雨型 VI 发生 3 次,所占比例为 12.50%;雨型 IV 和雨型 VII 均发生了 2 次,所占比例均为 8.00%。单峰型降雨(雨型模式 I ~ III)共发生 17 次,占据比例 70.83%;双峰型降雨(雨型模式 V ~ VII)发生了 5 次,占据比例为 20.83%;均匀降雨型(IV)发生 2 次,所占比例为 8.33%。

由以上分析可知,造成深圳市内涝的降雨雨型大多是单峰型,双峰型和均匀型降雨较少。由于单峰型降雨雨量集中,易引起较大量积水,对城市、机场等区域性排水影响较大。因此,在预警预报方案中应重点考虑单峰雨型对内涝的影响。

表 4 各站点降雨模式发生次数及比例		
雨型模式	各站点雨型模式次数	比例/%
I	8	33.33
II	4	16.67
III	5	20.83
IV	2	8.33
V	0	0
VI	3	12.50
VII	2	8.33

3.2 降雨集中度

根据深圳市 24 场次典型内涝事件发生时临近站点的降雨过程,计算每 1 场次的降雨集中度,根据 PCI 的级别进行分类(详见表 3),统计这些典型降雨集中度、级别频数和比例,结果如表 5 和表 6 所示。

降雨集中度与降雨雨量和降雨历时有关。由表 5 可知,当天降雨量大的降雨集中度一般较小,表明降雨量大的降雨一般分布趋势较为均匀,即长历时均匀大量降雨是此类内涝主要原因;当天降雨量较小的集中度反而较大,表明降雨量小的降雨集中在某个时间段,即短历时高强度降雨是此类内涝的主要原因。由表 6 可知,降雨集中度为 I 级和 II 级所占的比例分别达到 54.17% 和 45.83%。总体来说,在 24 场典型降雨中主要体现为轻微集中(I 级)和较集中(II 级)。降水量均匀的降雨,有利于雨水输送到排水管道;而降水过于集中,短历时降雨会加大,给城市排涝能力带来严峻挑战,因此合理分析该地区降雨的集中度对内涝的影响,可以更好的服务城市规划与管理。

表 5 典型洪涝事件降雨集中度				
降雨时间	代表雨量站	当天降雨量/mm	集中度/%	级别
2000-04-14	赤湾站	487	9.63	I
2001-06-27	清林径水库站	292	13.69	I
2003-05-05	南澳圩站	250	17.25	I
2005-05-19	铁岗水库站	117	37.89	II
2005-06-22	清林径水库站	121	30.79	II
2005-08-20	南澳圩站	312	6.13	I
2006-06-09	南澳圩站	178	12.61	I
2006-07-16	罗田水库站	386	15.52	I
2006-09-13	南澳圩站	219	6.56	I
2008-04-19	南澳圩站	185	27.73	II
2008-06-06	赤湾站	179	13.26	I
2008-06-13	罗田水库站	434	9.71	I
2008-06-25	罗田水库站	255	8.26	I
2009-05-24	南澳圩站	144	17.94	I
2009-07-19	铁岗水库站	110	23.98	II
2010-05-07	铁岗水库站	122	36.05	II
2010-07-22	深圳水库站	164	23.63	II
2010-07-28	深圳水库站	140	15.99	I
2010-09-21	清林径水库站	155	11.79	I
2012-04-29	铁岗水库站	134	35.19	II
2014-03-30	西丽水库	177	23.80	II
2014-05-11	西丽水库	432	10.11	I
2015-05-23	西丽水库	105	27.17	II
2015-09-21	西丽水库	130	31.41	II

表 6 降雨集中度级别频数及比例		
级别	集中度频数	所占百分比/%
I	13	54.17
II	11	45.83
III	0	0
IV	0	0
V	0	0

3.3 降雨百分位

根据深圳市 24 场内涝事件的降雨发生事件,查找距离内涝点较近的代表降雨站点,统计最大 1 h、6 h 和当天降雨数据,以分析不同历时降雨量对内涝事件的影响,为避免大量间断的过小降雨数据(毛毛细雨)对整体分析结果的干扰,采取年最大值取样方法抽取降雨样本,即选出各站 1 年中 1 h、6 h 和 24 h 降雨量分别大于 16 mm、30 mm、50 mm 的数据,重新进行排位,构建百分位序列,具体见表 7。

表 7 典型内涝事件当天各站点降雨量及百分位数

降雨日期	代表雨量站	最大 1h 雨量/ mm	百分位/ %	最大 6h 雨量/mm	百分位/ %	当天雨量/ mm	百分位 /%
2000-04-14	赤湾站	77	99.70	283	99.91	487	99.99
2001-06-27	清林径水库站	60	97.76	240	99.96	292	99.99
2003-05-05	南澳圩站	76	99.62	225	99.97	250	97.80
2005-05-19	铁岗水库站	65	98.73	107	95.17	117	83.00
2005-06-22	清林径水库站	60	97.76	92	94.94	121	85.43
2005-08-20	南澳圩站	37	86.58	99	93.81	312	99.02
2006-06-09	南澳圩站	36	85.29	74	83.99	178	92.86
2006-07-16	罗田水库站	87	99.99	292	99.99	386	99.99
2006-09-13	南澳圩站	34	83.01	93	92.36	120	77.29
2008-04-19	南澳圩站	76	99.62	178	99.74	219	96.90
2008-06-06	赤湾站	54	97.60	96	95.00	185	94.14
2008-06-13	罗田水库站	80	98.84	182	99.52	179	95.81
2008-06-25	罗田水库站	42	91.87	134	97.67	434	99.99
2009-05-24	南澳圩站	33	80.90	131	98.35	255	98.50
2009-07-19	铁岗水库站	40	90.55	97	93.37	144	85.90
2010-05-07	铁岗水库站	58	98.01	122	93.04	110	80.56
2010-07-22	深圳水库站	72	99.76	142	98.45	122	85.10
2010-07-28	深圳水库站	33	83.80	102	95.61	164	93.18
2010-09-21	清林径水库站	40	91.20	67	85.23	140	90.16
2012-04-29	铁岗水库站	60	98.35	132	97.47	155	93.59
2014-03-30	西丽水库站	72	99.48	144	98.48	134	89.66
2014-05-11	西丽水库站	78	99.55	282	99.99	177	97.56
2015-05-23	西丽水库站	47	93.78	83	91.36	432	99.99
2015-09-21	西丽水库站	54	97.19	129	97.81	105	80.79
	平均值	57.13	94.54	146.92	95.88	217.42	92.38

最大 1 h 降雨量百分位分别为 80.90% ~ 99.99%,平均值为 94.54%。最大 6 h 降雨量百分位在 83.99% ~ 99.99% 间,均值为 95.88%。当天 24h降雨量百分位在 77.29% ~ 99.99% 间,均值为 92.21%。总体来说,造成内涝发生的降雨,其百分位排位虽然有一定的差距,但都比较靠前,且均值在 92% 以上。

3.4 阈值的确定

根据内涝事件的降雨特征分析可知,高强度降雨是内涝发生的主要原因,而地形地貌的不利以及防洪排涝能力不足或低下是灾害形成的重要因素。结合 24 场典型内涝灾害事件影响程度的分析可知,当发生 $P = 99\%$ 暴雨时,则发生极其严重的内涝事件(造成极大财产损失或人口伤亡),表明 $P = 99\%$ 是一个重要的降雨临界值。再综合考虑各类型水库与河道堤防的数量、空间分布、设计标准和校核标

准,当发生 $P = 99\%$ 的降雨时,其雨量大于部分小型水库和大量河道堤防的防洪设计标准,有可能导致这些工程发生溃决。

通过上述分析,本项目采取降雨频率来确定极端降雨的阈值,具体定义如下:对于最大 1 h、6 h 和 24 h 降雨,确定百分位 $P = 99\%$ 的降雨值为深圳市极端降雨阈值,详见表 8。这个阈值主要从城市内涝和防洪工程安全角度考虑,同时综合考虑了降雨极值降雨空间分布等综合因素。

根据表 8 中 10 个代表雨量站点的极端降雨阈值,利用克里金空间插值法生成深圳市 24 h 极端降雨阈值空间分布图,如图 2 所示,总体来看,不同时间段降雨阈值空间分布从东往西呈逐渐减少趋势,且北部地区(龙岗、宝安、光明新区)的阈值较小,其他局部地区如南山区降雨阈值也较低,这主要是由于降雨空间分布的差异所造成的。

表 8 代表站点极端降雨阈值

站名	降雨阈值/mm		
	$P = 99\%$	$P = 99\%$	$P = 99\%$
	最大 1 h 降雨	最大 6 h 降雨	最大 24 h 降雨
三洲田水库站	105	300	491
高峰水库站	116	314	472
石岩水库站	111	245	407
罗田水库站	103	247	358
铁岗水库站	107	262	466
赤湾站	94	247	424
深圳水库站	92	269	426
南澳圩站	107	279	545
清林径水库站	104	206	332
西丽水库站	93	237	380

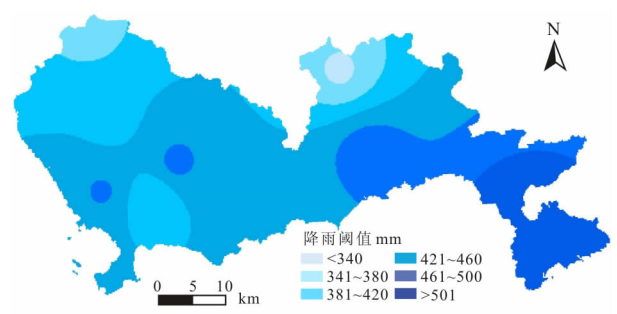


图 2 深圳市 24 h 极端降雨阈值空间分布图

4 结 论

本文在分析国内外极端降雨阈值确定方法的基础上,结合深圳市典型内涝事件与降雨数据资料进行研究,探讨了导致深圳典型暴雨内涝事件发生的降雨百分位、雨型、集中度等特征指标,得出以下结论:

(1)造成深圳市内涝的大部分降雨大多是单峰型(降雨雨型Ⅰ~Ⅲ),占据比例 70.83%,双峰型和均匀型降雨较少。由于单峰降雨雨量集中,易引起较大的积水,对城市、机场等区域性排水影响较大。因此,在预警预报方案中应重点考虑单峰雨型对内涝的影响。

(2)造成内涝事件的降雨集中度为轻微集中(Ⅰ级)和较集中(Ⅱ级),两者所占的比例分别达到 54% 和 46%,说明均匀大量降雨是内涝产生的主要原因;同时在分析比较导致内涝的暴雨事件中,也发现降雨量大的降雨一般分布趋势较为均匀,降雨量较小的集中度反而偏大。

(3)综合考虑导致内涝的降雨特征及内涝灾害严峻程度,利用 P-Ⅲ模拟 1 h、6 h 和 24 h 年极值降雨,最终确定以 $P = 99\%$ 暴雨频率临界点作为深圳市极端降雨阈值。

(4)根据 10 个代表雨量站点的极端降雨阈值,利用克里金空间插值法制作了深圳市不同时间段降雨阈值空间分布图。总体来说,大鹏新区的降雨阈值最高,降雨阈值空间分布从东往西呈逐渐减少趋势。

本研究成果可为城市排水管网规划、建设提供参考,为深圳市应对极端气候事件的灾害风险提供科学的依据,更好地服务于城市规划与管理。

参考文献:

[1] 翟盘茂,潘晓华. 中国北方近 50 年温度和降水极端事件变化[J]. 地理学报,2003,58(S1):1-10.

[2] 赵庆云. 西北东部极端气候变化倾向和预报方法研究[D]. 南京:南京信息工程大学,2005.

[3] 孙凤华,吴志坚,杨素英. 东北地区近 50 年来极端降水和干燥事件时空演变特征[J]. 生态学杂志,2006,25(7):779-784.

[4] 李小亚,张 勃,汪宝龙,等. 河西地区 1960 年至 2011 年不同级别降水日数和极端降水事件的变化特征[J]. 资源科学,2013,35(1):182-190.

[5] 江秀芳. 福建省前后汛期极端降水时空特征对比[D]. 南京:南京信息工程大学,2013.

[6] IPCC. Climate change 2007: the physical science basis[M]. Cambridge, Cambridge University Press,2007:1-996.

[7] 杨金虎. 中国极端强降水事件特征研究及其成因分析[D]. 南京:南京信息工程大学,2007.

[8] 尤 莉,戴新刚,张 宇. 1961-2008 年内蒙古降水极端事件分析[J]. 气候变化研究进展,2010,6(6):411-416.

[9] 姜德娟,李 志,王 昆. 1961-2008 年山东省极端降水事件的变化趋势分析[J]. 地理科学,2011,31(9):1118-1124.

[10] 胡豪然,毛晓亮,梁玲. 近 50 年四川盆地汛期极端降水事件的时空演变[J]. 地理学报,2009,64(3):278-288.

[11] 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.

[12] 江志红,杨金虎,张 强. 春季印度洋 SSTA 对夏季中国西北东部极端降水事件的影响研究[J]. 热带气象学报,2009,25(6):641-648.

[13] 苏布达,姜 彤,任国玉,等. 长江流域 1960-2004 年极端强降水时空变化趋势[J]. 气候变化研究进展,2006,2(1):9-14.

[14] 余敦先,夏 军,张永勇,等. 近 50 年来淮河流域极端降水的时空变化及统计特征[J]. 地理学报,2011,66(9):1200-1210.

[15] 郑腾飞,郭建茂,尹继福,等. 基于 DFA 法的江苏省极端降水时空分布特征研究[J]. 自然灾害学报,2012,21(4):76-83.

[16] 迟潇潇,尹占娥,王 轩,等. 我国极端降水阈值确定方法的对比研究[J]. 灾害学,2015,30(3):186-190.