

Study on Storm Pattern of Typical Rainfall Station in Guangzhou*

Lei Yin^{1,2}, Xiaohong Chen^{1,2}, Zhihe Chen^{1,2}, Shuai Wei^{1,2}, Mingzhu Zhang³, Hao Liu³

¹Center for Water Resources and Environment, Sun Yat-sen University, Guangzhou

²Key Laboratory of Water Cycle and Water Security in Southern China of Guangdong High Education Institute, Guangzhou

³The Institute of Water Science, Guangzhou

Email: yinlei3@mail2.sysu.edu.cn

Received: Sep. 30th, 2013; revised: Nov. 20th, 2013; accepted: Nov. 26th, 2013

Abstract: In recent years, extreme climate received universal attention and the flood caused by storm is becoming more and more severe. Scholars and professionals in many countries have put more research emphasis on the amount of rainfall instead of storm pattern in the past. However, storm pattern has a great influence on flood peak. This paper adopts fuzzy identification method to analyze the storm pattern of a typical precipitation station in Guangzhou, which showed that most of the storms in Guangzhou are unimodal type. The amount of precipitation is much more concentrated when it is unimodal, which may cause heavy flood, thus posing a big pressure on urban sewerage and drainage. The results can provide a basis for the construction of flood control and waterlogged elimination in Guangzhou.

Keywords: Storm Pattern; Temporal Distributions; Fuzzy Identification Method

广州市典型雨量站暴雨雨型研究*

银磊^{1,2}, 陈晓宏^{1,2}, 陈志和^{1,2}, 位帅^{1,2}, 张明珠³, 刘浩³

¹中山大学水资源与环境研究中心, 广州

²华南地区水循环与水安全广东省普通高校重点实验室, 广州

³广州市水务科学研究所, 广州

Email: yinlei3@mail2.sysu.edu.cn

收稿日期: 2013年9月30日; 修回日期: 2013年11月20日; 录用日期: 2013年11月26日

摘要:近年来, 极端气候受到普遍关注, 暴雨造成的洪涝灾害加重。暴雨雨型对于雨洪流量影响重大, 本文通过对多种设计雨型进行对比分析后, 采用模糊识别法对广州市典型雨量站的 24 h 暴雨雨型进行分类和统计, 结果表明广州市暴雨多为单峰型。单峰降雨雨量集中, 易引起较大洪水, 对城市、机场等区域排水的影响较大, 研究成果为广州市防洪除涝建设提供科学依据与参考。

关键词: 暴雨雨型; 时程分布; 模糊识别法

1. 引言

近 10 年来有关极端气候事件的研究受到各国专

*基金项目: 国家自然科学基金项目(51379225, 51210013), 国家科技支撑计划(2012BAC21B0103), 水利部公益项目(201201094, 201301002-02), 广东省科技厅项目(2010B050300010), 广东省水利科技创新项目(2011-11), 中英瑞气候变化适应项目广东气候变化风险评估及适应对策研究(ACCC/20100705-1)。

作者简介: 银磊(1991-), 女, 湖南, 中山大学水资源与环境系, 硕士研究生, 主要从事城市水文与城市雨洪方面的研究。

家学者的普遍关注^[1], 有研究表明强降水事件在美国、中国、澳大利亚、加拿大、挪威等国家和地区均有所增加^[2,3]。气象灾害是中国最严重的自然灾害之一, 由极端降水导致的洪涝灾害是气象灾害中重大的、多发性的灾害。国内已有许多学者对极端降水事件做了大量的分析讨论, 翟盘茂^[4]和严中伟^[5]等对近几十年中国极端气候变化的事实及变化格局进行了分析, 其它

研究多集中在极端降水量和强度等的趋势变化方面^[6,7], 对于暴雨雨型的研究较少涉及。

暴雨时空变化常用雨型表示, 已有研究表明其对小流域的洪峰流量和流量过程有很大影响^[8]。在汇流历时内平均雨强相同的条件下, 雨峰在中部或后部的三角形雨型比均匀雨型的洪峰大 30% 以上。以往在小流域洪水计算的推理公式中^[9,10], 人们常把雨强作均匀概化, 即采用均匀雨型, 这与绝大多数实际降雨是不符的。

早在 40 年代, 包高马佐娃^[11]等人提出将雨型划分为 7 种类型。Knifer 和 Chu^[12]根据强度 - 历时 - 频率关系得到了一种不均匀的设计雨型 - 芝加哥雨型, 提出峰值时刻的统计方法以及峰值前后的瞬时暴雨强度计算公式, 该雨型中任何历时内的雨量等于设计雨量。Pilgrim 和 Cordery^[13]提出一种无级序平均法, 来计算和研究设计雨型, 把雨峰时段放在出现可能性最大的位置上, 而雨峰时段在总雨量的比例取各场降雨雨峰所占比例的平均值, 其它各时段的位置和比例同样确定。Yen 和 Chow^[14]将统计矩法用于雨型设计, 提出一种不对称三角形雨型, 雨峰位置根据三角形的无因次一阶矩与当地暴雨过程的平均无因次一阶矩相等的条件确定。Huff^[13]将降雨历时按时间分为第一、第二、第三、和第四段 4 类典型, 根据最大雨强发生在历时的具体时间段, 对每一类典型作出多种不同频率的无因次时间分配过程。

本文根据广州市雨量站长序列逐时降雨资料进行暴雨特征研究, 采用包高马佐娃等人提出的 7 种典型模式划分雨型, 运用模糊识别法划分暴雨雨型, 分析广州市暴雨特征, 为城市防洪排涝建设提供科学依据。

2. 研究方法

本文采用广东省典型雨量站 2004~2010 年广州市逐时降水量数据, 按照广东省降水强度等级划分标准^[15], 以 24 h (20:00~20:00) 日降水量 $R \geq 50 \text{ mm}$ 统计为一个暴雨日, 建立广州逐日降雨量与年暴雨日数序列, 运用统计方法^[16]和模糊识别法, 分析暴雨年际分布特点并识别暴雨雨型特征。

2.1. 数据来源与处理

本文降雨资料由位于广东省广州市荔湾区龙溪

路的龙溪水闸站(代码为 81221070, 经度 $113^{\circ}10.468$ 、纬度 $23^{\circ}04.215$)采集得来。采集时间为 2004 年 1 月 1 日 0 时~2010 年 12 月 31 日 24 时, 雨量测量仪器为自记式雨量桶, 由太阳能供电, 雨量数据通过监测站点收集, 符合国家和行业降水采集标准^[17]。采集数据按照水文日(当天上午 8 时至次日上午 8 时)划分, 采用 Excel 软件进行数据整理。

2.2. 雨型分类

包高马佐娃和彼得罗娃^[11]在研究降雨强度很突出的苏联欧洲部分西北地区时, 认为可将 1935 年 10 月 5~6 日在敖维尔气象站记录的实际降雨进程作为标准降雨进程。此后, 他们又在国立水文研究院将乌克兰和苏联欧洲部分的中央黑海地区许多地 w 点的降雨(降雨量不小于 10 cm)进程进行了更为详尽的研究。

将每场雨的总历时分为 10 等份(相当于降雨总历时的 10%), 并对每等份求出其降水量, 以全部降雨总降水量的百分数计。经同样方法分析 800 场以上的降雨以后, 归纳出七种降雨进程, 如图 1。其中 I、II、III 类为单峰雨型, 雨峰分别在前、后和中部, IV 类为大致均匀雨型, V、VI、VII 为双峰雨型。

2.3. 模糊识别法

模糊识别法^[18]是根据时段雨量所占总雨量的百分比来定量说明该场降雨的雨型指标, 组建起 7 种雨型的模式矩阵。然后根据每场实际降雨与 7 种模式相比较, 采用择近原则, 确定该场降雨最终为哪种雨型。

每个时段的雨量占总雨量的比例为:

$$x_i = H_i / H_z \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad (1)$$

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

$$X = (x_1, \dots, x_n) \quad (2)$$

同理, 7 种模式雨型也用这种指标表示:

$$V_k = (v_{k1}, v_{k2}, \dots, v_{km}) \quad (k=1, 2, \dots, 7) \quad (3)$$

这里 V_{ki} 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 种模式的贴进度:

$$\sigma_k = 1 - \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (v_{ki} - x_i)^2} \quad (k=1, 2, \dots, 7) \quad (4)$$

由就近原则, 若第 k 个贴进度 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。

3. 结果与讨论

3.1. 日降雨量的特点

根据降雨资料, 从 2004~2010 年每年的 1 月 1 号开始编号为 1, 1 月 2 号编号为 2, 以此类推, 将全年编为 365 个(闰年 366 个)号, 得到日降雨量分布图 2。由图 2 可见, 广州市的日降雨量分布不均匀, 降雨量集中在汛期, 且每年的暴雨基本集中在 4~9 月。充分说明了广州市降雨量在时间上分布的不均匀性, 与我国亚热带季风气候“雨热同期”^[19]的特点是一致的。

3.2. 暴雨的年际分布特点

统计出 2004~2010 年共出现暴雨天数为 41d, 平均每年 6d。暴雨日的年际变化差异很大, 最多年为 11 d (2008 年), 而最少年为 3d (2007 年)。最大单日暴雨量为 209.5 mm, 发生在 2008 年 6 月 25 日和 2010 年 9 月 3 日; 超过 100 mm 的大暴雨有 7 场, 占 17.1%, 广州市的大部分暴雨集中在 50 mm~100 mm 之间。图 3 可以看出广州市每年的降雨量和暴雨日没有特定的规律, 上下波动较大, 这是降雨的随机性决定的, 但是观察到年暴雨总日数呈增长趋势, 暴雨天数与年降雨量呈正相关, 这与蔡洁云等的《近 59 年来广州市暴雨的变化特征》^[20]一文得出的结论一致。

3.3. 暴雨雨型统计

将 41 场降雨与 7 种雨型模式通过分别计算贴进度 σ_k 后确定降雨模式, 统计结果如表 1 所示。广州市日降雨的降雨模式比重最大的为模式 III, 单峰位于中部, 为 27%; 其次是模式 II, 单峰位于后部, 为 24%接着是模式 I, 单峰靠前, 为 20%。模式 IV 的比例较低, 大致均匀型, 为 10%; 模式 VII 的比例也比较低, 双峰型, 仅 2%。综合上述划分结果, 得出如下规律:

a) 广州市暴雨大多是单峰型, 占 70%以上, 而双峰或多峰雨型较少。由于单峰降雨雨量集中, 易引起较大洪水, 对城市、机场等小区排水的影响较大, 因此应重点考虑单峰雨型。

b) 在单峰降雨中, 雨峰在前部、中部和后部的比例差别不大。

c) 雨强大致均匀的降雨(第 IV 类)所占比例较小, 与岑国平^[18]的研究结论一致。

3.4. 暴雨雨型分析

将所有的 24 h 暴雨按照时间顺序编号为 1~41, 以小时为单位统计出每小时降雨量, 然后绘制出具体雨型下每场暴雨的时程分布图。由图 4 可以看出, 日暴雨时程分布不一, 十分不均匀, 这也与巴高马佐娃^[11]的研究结果一致, 说明用均匀雨型来计算洪水是不精确的。模式 I (图 4a), 单峰位于前部, 所有峰值都出现在 15:00 之前, 且后续降雨量很小; 最大 24 h 雨量为 169 mm, 最小为 52 mm。模式 II (图 4b), 单峰位于后部, 所有雨型峰值都出现在 0:00 之后; 最大 24 h 雨量为 209.5 mm, 最小为 53.5 mm。模式 III (图 4c), 单峰位于中部, 所有峰值出现在 16:00~21:00; 最大 24 h 雨量为 137.5 mm, 最小为 51.5 mm。模式 IV (图 4d), 大致均匀型, 呈现出样本雨量分布是最均匀的; 最大 24 h 雨量为 209.5 mm, 最小为 56.5 mm。图 4e、图 4f 是双峰型的, 但是效果不是很好, 由此可见在实际降雨中标准的双峰型很少, 这与之前的研究结论是一致的^[18]。

4. 结论

目前确定设计雨型的方法很多, 各种方法获得的雨型差别较大, 不同雨型计算出的雨洪洪峰流量相差也很大。本文经过分析比较, 结果表明 7 种典型模式雨型适合于广州市城市暴雨雨型分类, 建议采用此雨型作为划分雨型的标准。本文研究指出广州市暴雨雨型有 70%是单峰型, 均匀降雨很少。单峰降雨集中, 容易造成洪涝危害, 城市防洪排涝工作应考虑不同类型的单峰降雨的影响。

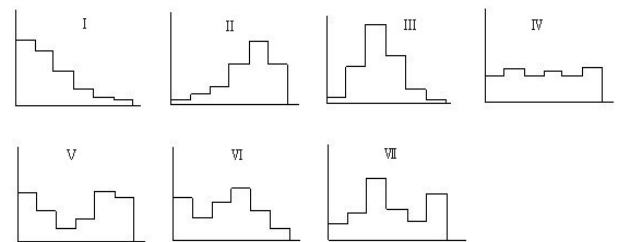


Figure 1. Seven rainstorm patterns
图 1. 7 种雨型模式

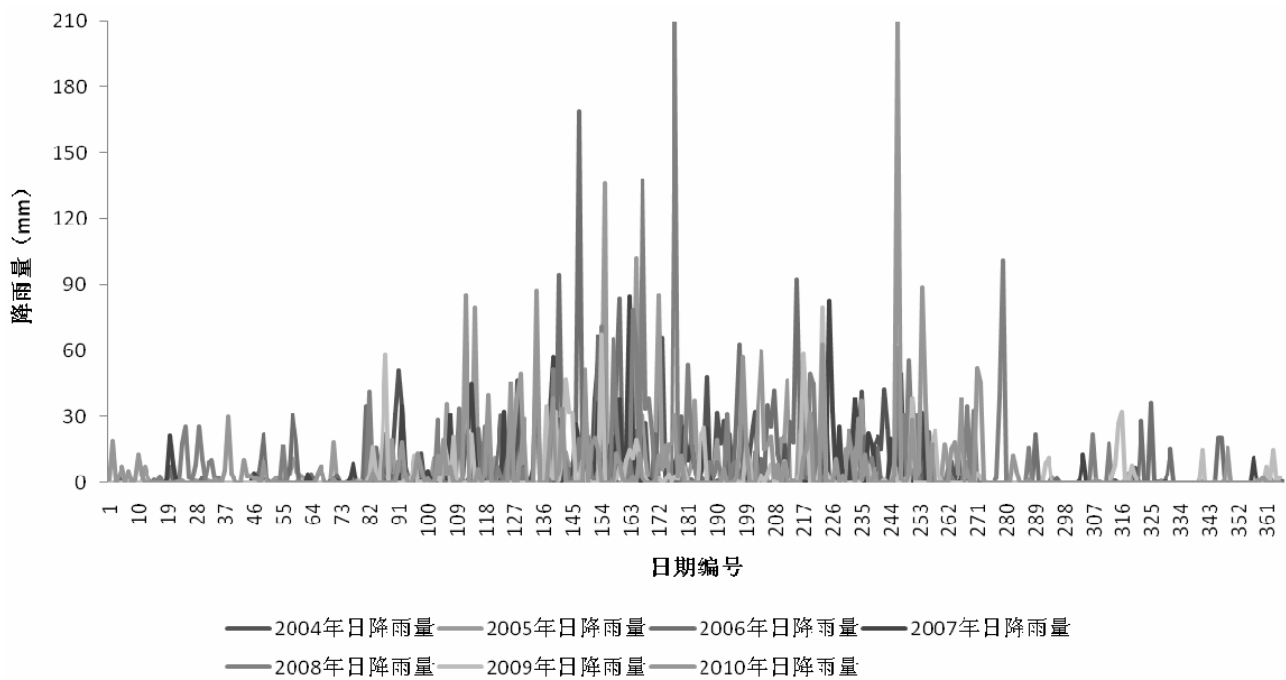


Figure 2. Distribution of daily precipitation from 2004-2010
图 2. 2004-2010 年日降雨量分布图

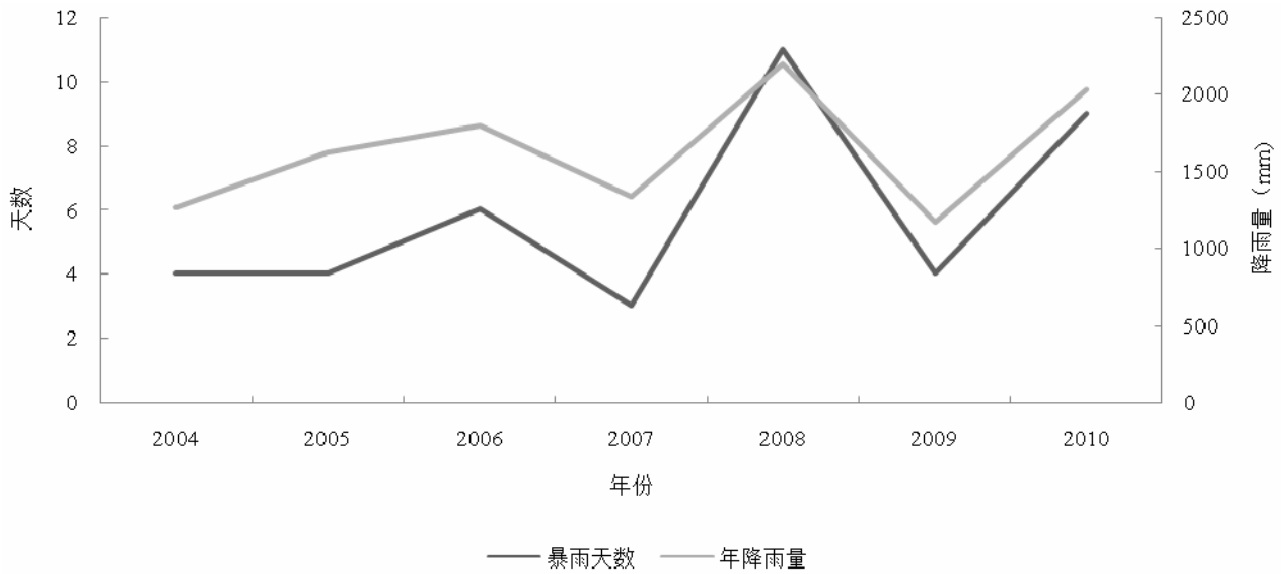


Figure 3. Heavy rain days statistics from 2004-2010
图 3. 2004-2010 年暴雨天数统计图

Table 1. Results of rainstorm pattern
表 1. 雨型划分结果表

雨型模式	I	II	III	IV	V	VI	VII
频数	8	10	11	4	0	7	1
频率	0.1951	0.2439	0.2683	0.0976	0.0000	0.1707	0.0244

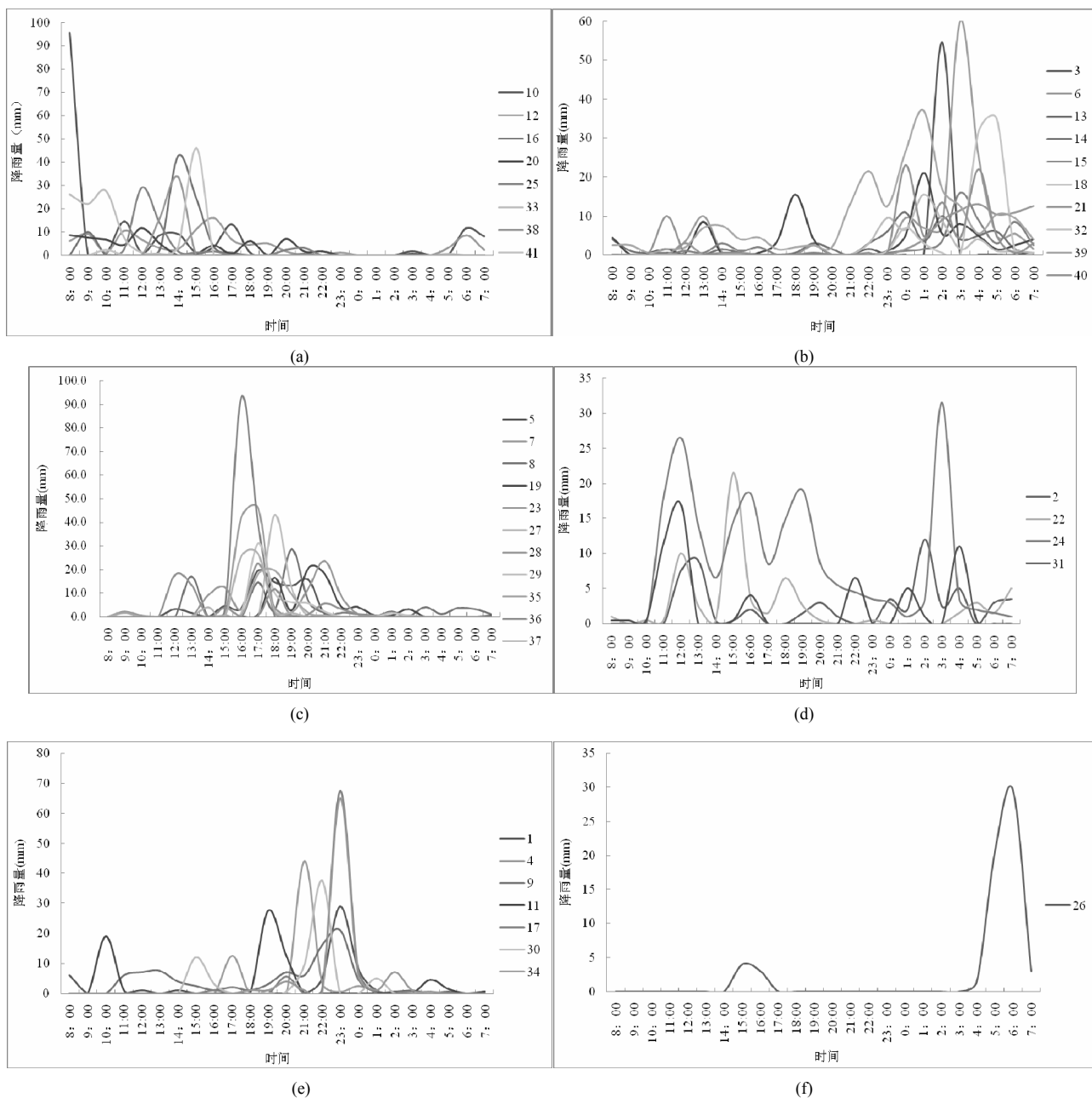


Figure 4. (a) Distribution of mode I; (b) Distribution of mode II; (c) Distribution of mode III; (d) Distribution of mode IV; (e) Distribution of mode VI; (f) Distribution of mode VII

图4. (a) 模式 I 时程分布图; (b) 模式 II 时程分布图; (c) 模式 III 时程分布图; (d) 模式 IV 时程分布图; (e) 模式 VI 时程分布图; (f) 模式 VII 时程分布图

5. 致谢

感谢广州市水务科学研究所本文数据收集过程中提供的帮助, 感谢第十一届中国水论坛推荐!

参考文献 (References)

[1] BELL, J.L., SLOAN, L.C. and SNYDER, M.A. Regional changes

in extreme climatic events: A future climate scenario. *Journal of Climate*, 2004, 17(1): 81-87.
 [2] GROISMAN, P.Y., KARL, T.R. and EASTERLING, D.R. Changes in the probability of heavy precipitation: Important indicators of climatic change. *Climatic Change*, 1999, 42(1): 243-283.
 [3] 陈发虎, 黄伟, 靳立亚. 全球变暖背景下中亚干旱区降水变化特征及其空间差异[J]. *中国科学*, 2011, 41(11): 1647-1657.
 CHEN Fafu, HUANG Wei and JIN Liya. Spatiotemporal precipitation variations in the arid Central Asia in the context of global warming. *Science China*, 2011, 41(11): 1647-1657. (in Chinese)
 [4] 翟盘茂, 任福民, 张强. 中国降水极值变化趋势检验[J]. *气象*

- 学报, 1999, 57(2): 208-216.
ZHAI Panmao, REN Fumin and Zhang Qiang. Analysis of change trend of precipitation in China. *Acta Meteorologica Sinica*, 1999, 57(2): 208-216. (in Chinese)
- [5] 严中伟, 杨赤. 近几十年我国极端气候变化格局[J]. 气候与环境研究, 2000, 5(3): 267-272.
YAN Zhongwei, YANG Chi. Geographic patterns of extreme climate changes in China during 1951-1997. *Climatic and Environmental Research*, 2000, 5(3): 267-272. (in Chinese)
- [6] ZHAI, P.-M., ZHANG, X.-B., WAN, H., et al. Trends in total precipitation and frequency of daily precipitation extremes over China. *Journal of Climate*, 2005, 18(7): 1096-1108.
- [7] 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.
SU Buda, JIANG Tong, REN Guoyu, et al. Trends of extreme precipitation over the Yangtze river basin of China in 1960-2004. *Advances in Climate Change Research*, 2006, 2(1): 9-14. (in Chinese)
- [8] 吴樟春, 岑国平等. 坡面汇流的试验研究[J]. 水利学报, 1995, 40(7): 84-89.
WU Zhangchun, CEN Guoping, et al. Experimental study on overland flow. *Journal of Hydraulic Engineering*, 1995, 40(7): 84-89. (in Chinese)
- [9] 苏选军, 刘伟, 高俊发. 城区小流域暴雨洪水计算方法的探讨[J]. 西南给排水, 2005, 27(5): 19-22.
SU Xuanjun, LIU Wei and GAO Junfa. Elementary talk on security and management of the water regime information database. *Southwest Water and Wastewater*, 2005, 27(5): 19-22. (in Chinese)
- [10] 周丽. 浅谈广东省暴雨推求洪水计算方法及其实际运用[J]. 民营科技, 2008, 14(4): 19-20.
ZHOU Li. The storm flood calculation method for Guangdong province and its practical application. *Private Technology*, 2008, 14(4): 19-20. (in Chinese)
- [11] B. 莫洛可夫等. 雨水道与合流水道[M]. 北京: 建筑工程出版社, 1956.
MO, L.K., et al. *The rain water and confluent channel*. Beijing: Architectural Engineering Press, 1956. (in Chinese)
- [12] 牟金磊. 北京市设计暴雨雨型分析[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2011.
MOU Jinlei. *Design storm pattern analysis in the city of Beijing*. Lanzhou: Lanzhou Jiaotong University, 2011. (in Chinese)
- [13] Kiber. *Urban storm water hydrology*. American Geophysical Union's Water Resources Monograph, 1982.
- [14] CHOW, V.T. Frequency analysis of hydrologic data with special application to rainfall intensities. *University of Illinois Bulletin*, 1953, 414: 79-80.
- [15] 钱光明. 广东省气候业务技术手册[M]. 北京: 气象出版社, 2008.
QIAN Guangming. *Guangdong Province climate business technical manual*. Beijing: China Meteorological Press, 2008. (in Chinese)
- [16] 左利芳, 仇财兴. Excel 中的回归分析在气候统计中的应用[J]. 贵州气象, 2005, 29(1): 34-37.
ZUO Lifang, QIU Caixing. Applications of EXCEL's regression analysis in climatological statistics. *Journal of Guizhou Meteorology*, 2005, 29(1): 34-37. (in Chinese)
- [17] BS7843-1-2012. 气象降水数据的采集和管理指南[S].
BS7843-1-2012. *Meteorological precipitation data collection and management guidelines*. (in Chinese)
- [18] 岑国平, 沈晋, 范荣生. 城市设计暴雨雨型研究[J]. 水科学进展, 1998, 9(1): 41-46.
CEN Guoping, SHEN Jin and FANG Rongsheng. Research on rainfall pattern of urban design storm. *Advances in Water Science*, 1998, 9(1): 41-46. (in Chinese)
- [19] 郭卫华, 袁爱民, 高民等. 浅议中国气候特点对农业发展的影响[J]. 甘肃农业, 2010, 283(2): 54-55.
GUO Weihua, Yuan Aiming, GAO Min, et al. The influence of China's climate characteristics on agricultural development. *Gansu Agricultural*, 2010, 283(2): 54-55. (in Chinese)
- [20] 蔡洁云, 周小云. 近 59 年来广州市暴雨的变化特征[J]. 广东气象, 2011, 33(2): 29-31.
CAI Jieyun, ZHOU Xiaoyun. Variation characteristic of storm in Guangzhou for the recently 59 years. *Guangdong Meteorology*, 2011, 33(2): 29-31. (in Chinese).