

DOI: 10.3876/j.issn.1000-1980.2011.03.001

不同天气系统下海河流域汛期暴雨落区及时程分布规律

陈鸣^{1,2}, 吴永祥^{1,2}, 王高旭^{1,2}, 曹飞³, 李利番⁴

(1. 南京水利科学研究院水文水资源研究所, 江苏南京 210029;

2. 南京水利科学研究院水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏南京 210029;

3. 河海大学水文水资源学院, 江苏南京 210098; 4. 南京大学地理与海洋科学学院, 江苏南京 210093)

摘要: 以1955—2007年海河流域降雨资料为基础, 结合暴雨时的天气系统, 利用GIS技术和统计方法分析了海河流域汛期暴雨落区及时程分布规律。结果表明: 区域性或流域性暴雨中心位于滦河水系最多, 永定河水系暴雨中心最少, 且多伴随暴雨遭遇, 又以相邻流域间暴雨遭遇为主; 气旋是引起海河流域区域性暴雨或流域性暴雨最多的一种天气系统; 天气系统对各水系间及流域内的暴雨遭遇没有明显影响; 次暴雨过程以前、中期型为主, 切变线、高空槽、蒙古气旋、东北气旋、黄河气旋天气系统的暴雨均是前期型最多, 台风和江淮气旋天气系统的暴雨为中期型最多。

关键词: 海河流域; 汛期; 暴雨; 时空分布; 天气系统

中图分类号: P333.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1980(2011)03-0237-05

海河流域属半干旱、半湿润过渡带, 土地资源丰富, 灌溉发达而水量不匹配, 随着经济社会发展, 缺水状况严重。水资源过度利用导致河川经常断流甚至干涸, 地下水超采造成地面沉降、海水入侵等严重的生态问题^[1-2]。解决海河流域的缺水问题是改善该区域生态的首要条件。海河流域降水年内分配不均, 年降水量中75%~85%集中在6—9月, 而且往往集中在7—8月的几次降雨过程^[3-4]。在非汛期, 水资源利用已无潜力可挖, 合理利用汛期洪水资源是缓解水资源紧缺和改善水环境的重要举措与现实选择。

降雨是海河流域水资源的直接输入量, 汛期暴雨的时空分布影响着流域防洪和雨洪资源利用的总体格局。本文采用长系列水文资料, 利用GIS技术和统计方法研究不同天气系统下海河流域汛期暴雨落区及时程分布规律, 可为流域防洪调度和雨洪资源利用提供依据。

1 不同天气系统下海河流域汛期暴雨落区及其遭遇规律

1.1 暴雨落区分布

按我国气象部门规定, 暴雨为24h雨量大于或等于50mm的降雨, 若流域内某一雨量站的日降雨量大于或等于50mm即为暴雨日^[5]。流域内仅有小于4个雨量站点的降雨量大于或等于50mm, 且仅有一个暴雨中心时为局部暴雨; 流域内有大于或等于4个雨量站点的降雨量大于(或等于)50mm的降雨为区域性暴雨或流域性暴雨。局部暴雨发生在小范围内, 产水总量小, 其产水在本地基本被完全利用。区域性暴雨发生在流域的一定区域内, 而流域其他区域未降雨或降小雨, 暴雨区域水量过剩, 未降暴雨区域缺水, 可通过合理调度或其他手段利用其洪水资源。流域性暴雨因流域上下游均降雨, 易产生洪涝灾害, 利用流域性暴雨洪水资源风险较大。因此, 出于利用雨洪资源的目的, 区域性暴雨或流域性暴雨更值得关注。

海河流域可分为滦河、北三河、永定河、大清河、子牙河、漳卫南运河和徒骇马颊河7个水系, 如图1所示^[1]。



图1 海河流域水系分布

Fig. 1 Distribution of water systems in Haihe River Basin

收稿日期: 2010-07-05

基金项目: 水利部公益性行业科研专项(200701005); 水利部科技推广计划(TG1006)

作者简介: 陈鸣(1957—), 男, 江苏南京人, 高级工程师, 主要从事水质与水量预报研究。E-mail: mchen@nhri.cn

采用 GIS 技术绘制 1955—2007 年间共 762 日区域性暴雨或流域性暴雨等值线,表明有 1 107 个暴雨中心(一些暴雨日有多于 1 个的暴雨中心)。7 个水系中,暴雨中心位于滦河水系最多,共 217 个,占 19.6%,大清河水系其次,196 个,占 17.71%,永定河水系暴雨中心最少,为 74 个,仅占 6.68%。总体上,海河流域南系(大清河、子牙河、漳卫南运河和徒骇马颊河)的暴雨中心 628 个,占 56.73%,多于北系(滦河、北三河和永定河)的 479 个,占 43.27%。

造成海河流域暴雨的天气系统类型主要有切变线、高空槽(伴有冷锋)、气旋(气旋依据发生地不同可进一步分成蒙古气旋、东北气旋、黄河气旋、江淮气旋)和台风^[6]。各种天气系统暴雨中心落区统计如表 1 所示。

表 1 各种天气系统暴雨落区统计

Table 1 Statistics of rainstorm centers under various kinds of weather systems

水系	切变线	高空槽	蒙古气旋	东北气旋	黄河气旋	江淮气旋	台风	总落次
滦河	48	27	73	19	39	1	10	217
北三河	51	19	59	17	32	1	9	188
永定河	16	10	19	8	18	0	3	74
大清河	57	12	62	12	42	2	9	196
子牙河	63	7	43	11	24	2	15	165
漳卫南运河	56	16	48	13	23	0	11	167
徒骇马颊河	24	12	32	10	15	0	7	100
总落次	315	103	336	90	193	6	64	1 107

气旋是引起海河流域区域性暴雨或流域性暴雨最多的一种天气系统,统计的 1 107 个暴雨中心中,共有 625 个气旋型暴雨中心,占总数的 56.46%。蒙古气旋又是气旋类中引起海河流域暴雨最多的一种天气系统,在统计的 625 个气旋型暴雨中心中,单独或主要由蒙古气旋引起的暴雨中心 336 个,占 53.76%。蒙古气旋型暴雨多发生在滦河水系,有 73 个暴雨中心;其次是大清河水系,有 62 个;永定河水系最少,为 19 个。东北气旋引起的暴雨中心共 90 个,和蒙古气旋类似,多发生在滦河水系,有 19 个;永定河水系最少,仅有 8 个,占 8.89%。黄河气旋可分为两类:一类黄河气旋产生在黄河中游,沿黄河流域移动,从山东半岛出海,引起河南、河北、山东暴雨;另一类产生在河北、山东交界黄河北岸^[7]。黄河气旋引起的暴雨中心共 193 个,最多出现在大清河水系,共 42 个,占 21.76%;其次是滦河水系,有 39 个;徒骇马颊河流域的黄河气旋型暴雨中心最少,为 15 个,仅占 7.77%。江淮气旋在海河流域产生暴雨概率较小,仅统计到 6 个江淮气旋型的暴雨中心。

高空槽(伴有冷锋)天气系统受副热带高压位置、冷空气的途径和强度以及环流形势的影响,产生的降雨量级有很大差异。通常冷锋型天气系统产生的降雨较小;但当副热带高压位置偏北且稳定少动,南方或西南方有大量暖湿气流沿副高西侧北上,若此时西风带有冷槽东移,冷平流受副高阻挡形成静止切变且稳定滞留时,常形成大暴雨。如果西风槽偏北,暴雨区主要出现在燕山地区,如果位置偏南,可能造成太行山或海河南系的暴雨^[8]。高空槽引发区域性或全流域暴雨的概率较小,仅有 103 个暴雨中心,占 9.34%。在滦河水系、北三河水系出现的机会较多,其中滦河水系 27 个暴雨中心,占 26.21%,北三河 19 个暴雨中心,占 18.45%。

切变线是造成海河流域夏季暴雨的又一重要天气系统。切变线一般产生于山东或江淮地区,以后随着南侧偏南气流的加强向北移动,这时切变线上的雨区也北抬。这类切变线暴雨主要出现在太行山以东地区,当切变线移到北京以北时,由于偏南气流与燕山山脉的明显作用,可在燕山山脉迎风坡造成强暴雨^[9]。共统计到 315 个切变线型暴雨中心。切变线型暴雨主要发生在海河流域南系,共出现 200 个暴雨中心,占切变线型暴雨总数的 63.49%;其中子牙河水系最多,有 63 个,大清河水系次之,有 57 个。

台风是海河流域最强的暴雨天气系统,许多极端暴雨都与台风活动有关。台风影响海河流域的方式主要有 3 种:一是台风直接登陆或减弱成的热带风暴、热带低气压直接影响海河流域;二是台风减弱的热带风暴或热带低气压与气旋、冷锋等其他天气系统配合影响海河流域;三是台风在没有到达之前就消失,但给海河流域带来大量暖湿气流,为其他天气系统降雨提供充沛的水汽条件^[10]。在海河流域台风型暴雨发生的概率较小,共统计到 64 个台风型暴雨中心,仅占 5.78%。台风对子牙河水系影响最大,有 15 个暴雨中心,占 23.44%,对永定河水系影响最少,仅有 3 个暴雨中心。

1.2 不同天气系统下汛期暴雨遭遇

区域性或流域性暴雨在同一水系内有多个暴雨中心认为是流域内发生暴雨遭遇,若两相邻水系内均有

暴雨中心存在认为是流域间暴雨遭遇.在统计的1955—2007年间762个暴雨日中,发生流域内和相邻流域间暴雨遭遇共507次,占66.54%,即发生区域性或流域性暴雨时多伴随暴雨遭遇.其中流域内暴雨遭遇89次,占17.55%,流域间暴雨遭遇418次,占82.45%,可见暴雨遭遇中又以相邻流域间暴雨遭遇为主.具体暴雨遭遇情况统计见表2.

表2 暴雨遭遇情况统计

Table 2 Statistics on coincidences of rainstorms

暴雨中心位置	切变线	高空槽	蒙古气旋	东北气旋	黄河气旋	江淮气旋	台风	总落次
滦河	3	0	2	0	4	0	0	9
滦河—北三河	16	5	29	6	17	0	1	74
北三河	3	0	9	1	8	0	0	21
北三河—永定河	3	2	5	4	6	0	2	22
北三河—大清河	12	1	24	3	12	0	1	53
永定河	0	0	2	1	0	0	0	3
永定河—大清河	9	2	9	0	11	0	2	33
永定河—子牙河	3	0	5	2	5	0	2	17
大清河	10	2	6	3	7	0	0	28
大清河—子牙河	20	1	20	1	16	2	7	67
大清河—漳卫南运河	13	2	12	3	9	0	3	42
子牙河	7	0	2	0	3	0	5	17
子牙河—漳卫南运河	20	1	17	1	12	0	6	57
漳卫南运河	5	0	1	0	2	0	2	10
漳卫南运河—徒骇马颊河	11	4	20	5	11	0	2	53
徒骇马颊河	0	0	1	0	0	0	0	1
总落次	135	20	164	30	123	2	33	507

由表2可以看出,天气系统对各水系间及流域内的暴雨遭遇没有明显影响,即暴雨遭遇的多少基本上与天气系统出现的多少一致.例如:蒙古气旋型暴雨出现最多共164次,其暴雨中心在滦河—北三河、北三河—大清河、大清河—子牙河、漳卫南运河—徒骇马颊河间的遭遇分别为29次、24次、20次、20次,均比其他天气系统暴雨中心出现在上述区域为多.

2 暴雨过程分类

由于海河流域内天气系统具有相对稳定的规律^[11],其形成的暴雨洪水也具有一定的规律,因此依据流域内形成暴雨洪水的天气系统类型,将流域暴雨过程分类是可行的.在判定流域天气系统及各种天气系统影响降雨的逐日分配比例的前提下,可提前估计流域暴雨过程,推断洪水规律,从而提高流域防洪能力和洪水资源利用率.考虑到对洪水调度决策的影响,可将海河流域暴雨过程概括为:(a)前期型,降雨集中在降雨开始前的1~2d内,降雨量占全场次降雨量的60%以上;(b)中期型,降雨峰值出现在降雨发生的第3或第4日;(c)后期型,降雨峰值出现在降雨过程的后期;(d)双峰型,降雨过程中有2次降雨峰出现.

在一次时间连续的暴雨过程中,会出现不同类型的天气系统相互转换、渗透^[12-13],在确定场次暴雨相对应的天气系统时,首先考虑冷(暖)气团的来源,其次考虑暴雨峰值时的天气系统.各种天气系统暴雨过程类型统计如表3所示.

在统计的1955—2007年间310场暴雨中,前期型暴雨场次最多,共121场,占39.03%;中期型场次之,为90场,占29.03%;后期型暴雨为69场,占22.26%;双峰型暴雨场次最少,为30场,占9.68%.可以认为海河流域暴雨以前、中期型为主,共211场,占68.06%.

切变线、高空槽、蒙古气旋、东北气旋、黄河气旋天气系统的暴雨均是前期型最多,台风和江淮气旋天气系统的暴雨则为中期型最多,但在海河流域这两种天气系统独立引起暴雨概率较小.在统计的1955—2007

表3 各种天气系统暴雨过程类型统计

Table 3 Statistics of types of rainstorm processes under various weather systems

类型	切变线	高空槽	蒙古气旋	东北气旋	黄河气旋	江淮气旋	台风	合计
前期	40	12	35	14	13	1	6	121
中期	39	8	18	7	9	2	7	90
后期	27	3	21	9	5	1	3	69
双峰	7	1	13	2	5	0	2	30

年间310场暴雨中,台风型和江淮气旋型暴雨共22场,仅占7.1%。

a. 切变线型暴雨.海河流域切变线暴雨历时3d左右,降雨过程主要是前期型和中期型,分别为40场(占35.4%)和39场(占34.51%)。

b. 蒙古气旋型暴雨.蒙古气旋内的暖空气多来自青藏高原的东北部和河西走廊一带,水汽不足,因此降水量不大.受副热带高压影响,蒙古气旋型暴雨多发生在7月末到8月初^[13].暴雨过程较短,一般不超过3d,降雨量多集中在降雨过程的前期,共35场,占40.23%。

c. 东北气旋型暴雨.东北气旋型暴雨一般集中在低压北方冷气团内,暴雨降雨量通常较小^[13],平均场次暴雨降雨量148mm.东北气旋型暴雨历时2~4d,降雨量集中在前期的为14场,占43.75%,最大24h降雨量占总降雨量的50%以上。

d. 黄河气旋型暴雨.黄河气旋型暴雨量在50~150mm,个别暴雨达200mm以上,降雨持续时间一般在1d左右,有时可持续2~3d.降雨集中在前期和中期的概率均较大,分别为40.63%和28.13%。

e. 江淮气旋型暴雨.江淮气旋在向东北移动进入海河流域过程中水汽衰减,产生的暴雨量级通常不大,平均降雨量132.2mm,降雨历时1~4d,中期型暴雨过程偏多,占50%。

f. 高空槽(伴有冷锋)型天气系统降雨历时多为3d.7—8月由西面过来的高空槽一般很少造成100~200mm的暴雨,但如果高空槽加深,并移动缓慢,可以产生大于200mm的暴雨.降雨主要集中在第1天(前期),共12场,占50%。

g. 台风型天气系统暴雨特点是降雨集中且强度大,降雨历时2~3d,最大日降雨量约占总降雨量的50%,多出现在降雨的第2天。

3 结 论

a. 在滦河、北三河、永定河、大清河、子牙河、漳卫南运河及徒骇马颊河7个水系中,暴雨中心位于滦河水系最多,大清河水系其次,永定河水系暴雨中心最少.发生区域性或流域性暴雨时多伴随暴雨遭遇.暴雨遭遇中又以相邻流域间暴雨遭遇为主。

b. 影响海河流域暴雨的天气系统主要有气旋、切变线、高空槽和台风,其中,气旋是引起海河流域区域性暴雨或流域性暴雨最多的一种天气系统.天气系统对各水系间及流域内的暴雨遭遇没有明显影响。

c. 海河流域暴雨过程以前期型和中期型为主.切变线、高空槽、蒙古气旋、东北气旋、东北气旋、黄河气旋天气系统的暴雨均是前期型最多,台风和江淮气旋天气系统的暴雨则为中期型最多。

参考文献:

- [1] 任宪韶,户作亮,曹寅白,等.海河流域水资源评价[M].北京:中国水利水电出版社,2005:21-40.
- [2] 罗健,郝振纯.我国北方干旱的时空分布特征分析[J].河海大学学报:自然科学版,2001,29(4):61-66.(LUO Jian,HAO Zheng-chun.Study on characteristics of spatial and temporal distribution of drought in North China[J].Journal of Hohai University: Natural Sciences,2001,29(4):61-66.(in Chinese))
- [3] 李华章,卢桂英.海滦河流域降水量特性分析[J].水文,1995(2):49-54.(LI Hua-zhang,LU Gui-hua.Analysis on rainfall characteristics in Haihe-Luanhe River Basin[J].Hydrology,1995(2):49-54.(in Chinese))
- [4] 袁飞,谢正辉,任立良,等.气候变化对海河流域水文特性的影响[J].水利学报,2005,36(3):274-279.(YUAN Fei,XIE Zheng-hui,REN Li-liang,et al.Hydrological variation in Haihe River Basin due to climate change[J].Journal of Hydraulic Engineering,2005,36(3):274-279.(in Chinese))
- [5] 陶诗言.中国之暴雨[M].北京:科学出版社,1980:115-121.
- [6] 王家祁.中国暴雨[M].北京:中国水利水电出版社,2002:32-39.
- [7] 马京津,高晓清,曲迎乐.华北地区春季和夏季降水特征及与气候相关的分析[J].气候与环境研究,2006,11(3):321-329.(MA Jing-Jin,GAO Xiao-Qing,QU Ying-Le.The character of precipitation and its relation to climate change over North China in spring and summer[J].Climatic and Environmental Research,2006,11(3):321-329.(in Chinese))
- [8] 张恒德,金荣花,张友妹.夏季北极涡与副热带高压的联系及对华北降雨的影响[J].热带气象学报,2008,24(4):417-422.(ZHANG Heng-de,JIN Rong-hua,ZHANG You-shu.Relationships between summer Northern Polar vortex with sub-tropical high and their Influence on Precipitation in North China[J].Journal of Tropical Meteorology,2008,24(4):417-422.(in Chinese))

- [9] 张苏平,朱平盛,蒋尚城.华北夏季降雨与热带对流活动的关系[J].气象学报,2001,59(4):502-508.(ZHANG Su-ping, ZHU Ping-sheng, JIANG Shang-cheng. Relationships between summer rain anomaly of North China and tropical convection [J]. Acta Meteorologica Sinica, 2001, 59(4): 502-508. (in Chinese))
- [10] 徐宗学,张玲,阮本清.北京地区降水量时空分布规律分析[J].干旱区地理,2006,29(2):186-192.(XU Zong-xue, ZHANG Ling, RUAN Ben-qing. Analysis on the spatiotemporal distribution of precipitation in the Beijing region[J]. Arid Land Geography, 2006, 29(2): 186-192. (in Chinese))
- [11] 牛存稳,张利平,夏军.华北地区降水量的小波分析[J].干旱区地理,2004,27(1):66-70.(NIU Cun-wen, ZHANG Li-ping, XIA Jun. Wavelet analysis on the precipitation in North China[J]. Arid Land Geography, 2004, 27(1): 66-70. (in Chinese))
- [12] 张建云,章四龙,王金星,等.近50年来中国六大流域年际径流变化趋势研究[J].水科学进展,2007,18(2):230-234.(ZHANG Jian-yun, ZHANG Si-long, WANG Jin-xing, et al. Study on runoff trends of the six larger basins in China over the past 50 years [J]. Advances in Water Science, 2007, 18(2): 230-234. (in Chinese))
- [13] 张天宇,程炳岩,王记芳,等.华北雨季降水集中度和集中期的时空变化特征[J].高原气象,2007,26(4):843-853.(ZHANG Tian-yu, CHENG Bing-yan, WANG Ji-fang, et al. Temporal and spatial change characteristics of precipitation-concentration degree (PCD) and precipitation-concentration period (PCP) over North China in rainy reason [J]. Plateau Meteorology, 2007, 26(4): 843-853. (in Chinese))

Distribution of rainstorm centers and processes under different weather systems in Haihe River Basin

CHEN Ming^{1,2}, WU Yong-xiang^{1,2}, WANG Gao-xu^{1,2}, CAO Fei³, LI Li-fan⁴

(1. *Hydrology and Water Resources Department, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China;*

2. *State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China;*

3. *College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China;*

4. *School of Geographic and Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China)*

Abstract: Based on the rainfall data in Haihe River Basin from 1955 to 2007, the distribution of rainstorm centers and processes under different weather systems was investigated by means of the GIS technology and the statistical methods. The results show that the rainstorm centers of the regional or basin-wide rainfall are mostly located in Luanhe River sub-basin and the least in the Yongding River sub-basin. Rainstorms often happen simultaneously in different sub-basins, mainly in adjacent sub-basins. Cyclone most frequently causes the regional or basin-wide rainstorms in Haihe River Basin. The weather systems have no significant impacts on the coincidences of rainstorms happened among different sub-watersheds as well as in the whole watershed. Most rainfall concentrates in the prior or middle periods. The antecedent type is the most happened rainstorm type for all kinds of heavy rain under weather systems of shear line, high-altitude trough, Mongolia cyclone, north-east cyclone, northeast cyclones and Yellow river cyclone. Both the weather systems of typhoons and Jianghuai cyclone give priority to the mid-term rainstorm type.

Key words: Haihe River Basin; flood period; rainstorm; spatial and temporal distribution; weather system