

长江上游流域降水结构时空演变特性

冶运涛^{1,2}, 梁犁丽², 龚家国², 蒋云钟², 王浩²

(1. 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;

2. 中国水利水电科学研究院流域水循环模拟与调控国家重点实验室, 北京 100038)

摘要: 为研究气候变化和人类活动背景下的长江上游流域降水结构时空分布特性, 利用长江上游流域 67 个气象站点 1961—2005 年 45 年的日降水资料, 分析了各种不同历时连续降水的时空演变特征。通过 Trend Free Pre-Whitening 方法消除降水时间序列中的自相关成分, 利用非参数的 Mann-Kendall 法检验了降水结构的变化趋势。结果表明: ① 长江上游流域及各分区各历时降水发生率随降水历时增加呈指数递减趋势, 贡献率先增加后降低, 以短历时降水为主; ② 长江上游短历时(1 d 和 2 d)降水贡献率发生突变的时间在 1976 年, 长历时(6 d 和 10 d)降水发生率发生突变的时间为 1984 年, 贡献率发生突变的时间为 1999 年; ③ 长江上游短历时降水集中出现的次数增加, 降水强度增大, 降水量占总降水量的比例较大, 而长历时降水出现频次降低, 降水量占总降水量比例下降, 其中岷沱江流域、大渡河流域、长江干流区间通过了显著性检验。

关键词: 降水结构; 降水历时; 水文循环; 长江上游

中图分类号: TV125; TV121 文献标志码: A 文章编号: 1001-6791(2014)02-0164-08

在全球气候变暖和频繁人类活动干扰的大背景下, 世界上许多流域系统的自然平衡状态正在发生改变, 呈现一种渐变或突变的发展趋势, 致使区域乃至全球范围内水汽循环发生变异, 洪涝、干旱、台风等水文气象极端事件频发, 给人类社会经济的快速发展和生态文明建设造成重要影响。

降水结构的变化是水循环变异的重要指标, 逐渐引起国内外学者的关注, Zolina 等^[1]应用连续湿润天数的历时及其降水强度研究欧洲极端降水; Moberg 等^[2]和 Brommer 等^[3]利用最大连续降水天数研究欧洲、美国的极端降水事件的变化趋势; Zhang 等^[4]通过研究 27 个降水极值指标, 发现中国降水极值变化特征区域差异明显。以上研究仅仅集中在总降水天数研究上, 很少涉及不同历时的连续性降水, 尤其是连续性降水结构的变化特征^[1-2, 5]。针对长江上游流域降水变化, 已有学者开展了一些研究^[6-7], 从不同角度分析了长江上游流域降水时空变化规律, 但降水结构的研究仍未开展。近年来, 受气候变化的影响, 长江上游的洪涝、干旱等极端气候事件呈增加态势。随着三峡工程的建设、南水北调工程的开工和长江上游流域经济的进一步发展, 更加迫切需要全面了解整个长江上游的水循环规律及其长期变化特征, 降水结构研究作为其中的关键内容, 其成果可为特大型梯级水电枢纽运行调度服务。本文旨在通过探讨长江上游流域降水结构的变化, 分析长江上游流域区域水循环对区域气候乃至全球气候变化的响应特征与机理。

1 研究区域概况

长江上游由源头至湖北宜昌, 长约 4 500 km, 约占长江总长度的 70%, 三峡坝址以上流域面积约 100 万 km², 占流域总面积的 58.9%, 多年平均径流量为 4 510 亿 m³, 约占全流域的 48.0%。除西部高原属

收稿日期: 2013-04-28; 网络出版时间: 2014-02-26

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1309.P.20140226.1355.002.html>

基金项目: 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室开放研究基金项目(2011491911); 国家自然科学基金资助项目(51209223)

作者简介: 冶运涛(1983—), 男, 河南许昌人, 高级工程师, 博士, 主要从事数字流域、流域水循环模拟及水资源调度方面研究。E-mail: yeyuntao@iwahr.com

通信作者: 梁犁丽, E-mail: liangli0921@163.com

高寒气候外,流域大部分地区属东亚或南亚季风气候。有研究表明,近百年来全球气候变暖主要由人类活动造成,长江上游又是气候变化的敏感区和脆弱区,冰川退缩、水土流失、地质灾害和旱涝等极端天气事件频发,影响和制约着长江上游水资源的开发利用^[6]。随着上游大型水电枢纽相继建成,三峡水库面临着全球变暖情景下自然降水的异常波动、上游水库群的人为调控、下游生活生产用水激增和通航保证水位限制等诸多新问题。因此研究长江上游流域降水结构时空演变特征,对于开发水电能源、实现上游水电枢纽的联合调度以及长江流域防洪抗旱减灾,具有重要的现实意义和社会经济效益。

2 数据资料与研究方法

2.1 数据资料

长江上游流域按水文分区为乌江流域、长江干流区间、嘉陵江流域、岷沱江流域、大渡河流域、雅砻江流域和金沙江流域等七大分区,各分区内气象站空间分布情况为:乌江流域9个(贵阳、思南、湄潭、遵义、毕节、黔西、酉阳、习水、桐梓)、长江干流区间6个(宜宾、涪陵、万州、梁平、奉节、巴东)、嘉陵江流域12个(武都、略阳、平武、广元、绵阳、阆中、巴中、万源、遂宁、南充高坪区、达县、沙坪坝)、岷沱江流域5个(松潘、都江堰、雅安、峨眉山、乐山)、大渡河流域6个(班玛、色达、马尔康、小金、康定、越西)、雅砻江流域10个(清水河、石渠、甘孜、新龙、道孚、理塘、九龙、木里、凉山、盐源)、金沙江流域19个(伍道梁、托托河、曲麻莱、玉树、德格、巴塘、稻城、迪庆、丽江、华坪、会理、元谋、楚雄、昆明、会泽、昭通、威宁、昭觉、雷波),如图1所示。本文所分析的数据是长江上游1961—2005年上述各站逐日降水量资料。以日降水量不小于1 mm作为降水天数,以此排除个别非降水引起的微量降水^[5]。考虑到长历时降水和短历时降水表现出不同的长期变化趋势,故将降水过程按降水历时进行分类^[8],类比文献[9]的分类方法,本文中的长历时降水和短历时降水分别为历时不少于6 d的降水和历时小于6 d的降水。

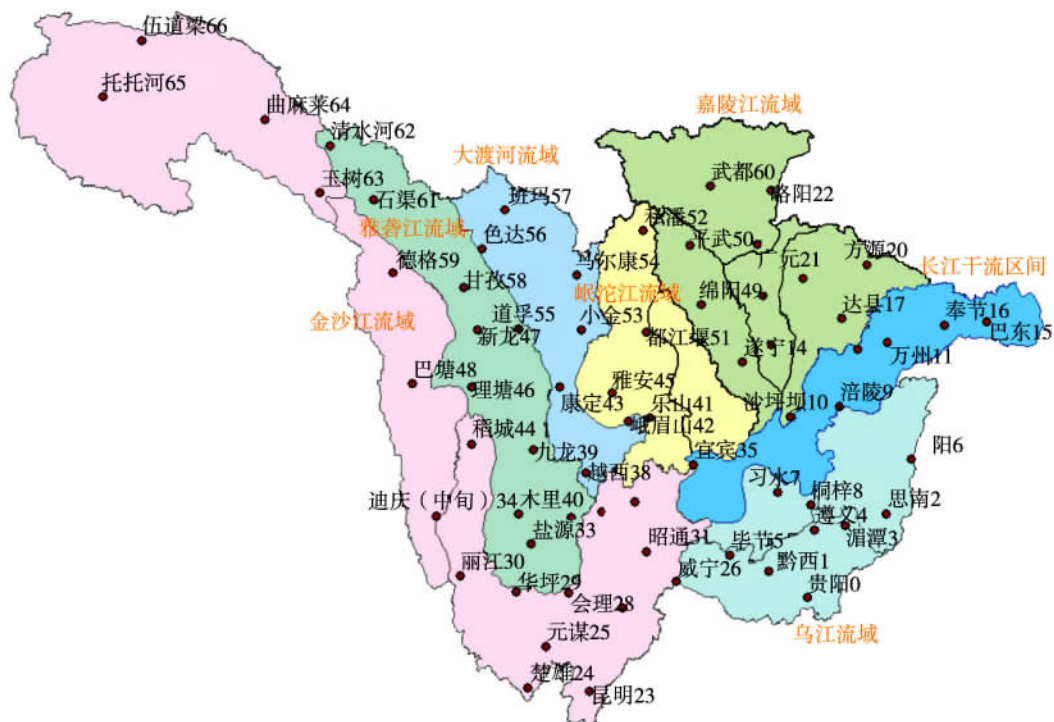


图1 长江上游分区及气象站点分布

Fig. 1 Distribution of weather stations of the upper Yangtze River basin and its subareas

2.2 研究方法

Mann-Kendall 检验(简称“M-K 检验”)是 Mann 率先提出并由 Kendall 改进的一种非参数化的检验方法,被世界气象组织推荐并受到气象水文学者青睐。该方法因其对样本分布情况不予考虑、不受少量异常值干扰的特点,在评估水文时间系列趋势显著性研究中得到了广泛应用^[8]。基于 M-K 检验的时间序列突变检验方法可以用于水文系列突变点的检测与识别,是研究水文系列对气候变化与人类活动响应的统计方法之一^[10]。

为克服 M-K 检验分析应用于自相关性序列样本可能使检验精度下降的不足, Yue 提出了能消除序列中自相关性和保证原样本趋势性的 Trend Free Pre-Whitening 方法^[11-12]。该方法首先对要研究的降水时间系列进行处理,将原来的降水时间系列除以样本数据的均值,得到新样本数据序列。新的数据序列保持了原来数据序列的特性,不再受自相关性影响,应用非参数方法对此新系列进行趋势检验和突变点分析^[13]。

考虑到降水发生率和贡献率为量纲一数,先统计区域内各站点的特征,再平均到区域。鉴于现有站网空间分布密度的限制,这种计算方法也是一种近似,随着观测站点密度增加,该计算方法的精度会更高。

3 结果与讨论

3.1 不同历时降水事件的发生率与对总降水量的贡献率

图 2 给出了长江上游流域及其各分区不同降水历时降水事件的发生率及其对总降水量的贡献率。由图 2 可以看出,长江上游流域各历时降水发生率随降水历时增加大致呈指数形式递减,1 d 历时降水事件发生率为 44.0%,2 d 历时降水发生率为 24.4%,1~2 d 历时降水发生率就高达 68.4%,9 d 以上历时降水发生率为 2.4%;各历时降水贡献率与发生率变化不一致,随着降水历时增加呈先增加后减小,至 10 d 以上历时降水贡献率又出现上升的趋势,其中 2 d 历时降水贡献率最高,其降水量占总降水量的 18.6%,10 d 历时降水发生率虽然仅为 1.7%,而其贡献率高达 10.6%,1~2 d 历时降水的发生率高达 68.4%,其贡献率却仅有 35.0%。经统计分析,长江流域以短历时降水(1~5 d)为主,发生率为 92.4%,降水量占年降水总量的 70.3%;长历时降水(6~10 d)发生率为 7.6%,降水量占总降水量的 29.7%。

考虑到流域水文要素的演变存在空间尺度效应,为深入理解长江上游流域降水结构的变化规律,按乌江流域、长江干流区间、嘉陵江流域、岷沱江流域、大渡河流域、雅砻江流域、金沙江流域等 7 个分区分析降水结构的时空规律。通过对 7 个分区降水发生率分析(图 2),7 个分区的降水发生率随降水历时的变化与长江上游流域保持一致,基本呈指数趋势递减;各历时降水发生率在各分区的数值较接近,但 1 d 历时降水有所差别,嘉陵江流域发生率在 50.0% 以上,乌江流域、岷沱江流域、大渡河流域发生率约 40.0%,金沙江流域、长江干流区间、雅砻江流域接近 45.0%,与长江流域均值较接近。从降水贡献率来看,7 个分区降水贡献率随降水历时增加先增加后减小,至 10 d 历时降水时出现了增加,且大渡河流域和雅砻江流域增加尤为明显,其中长江干流区间、嘉陵江流域、岷沱江流域、乌江流域、金沙江流域的 2 d 历时降水贡献量最大,各分区值略有差别,长江干流区间、嘉陵江流域贡献率较为接近,分别为 23.6% 和 23.9%;乌江流域为 19.9%,岷沱江流域为 18.4%,金沙江流域为 16.8%;大渡河流域和雅砻江流域 10 d 以上历时降水的贡献率最大,分别为 19.7% 和 24.6%。

分析短历时(1~5 d)降水发生率和贡献率的分区特征。从发生率来看,各分区短历时降水发生率占 88.0% 以上,其中长江干流区间、嘉陵江流域分别为 95.7% 和 96.7%;金沙江流域、乌江流域、岷沱江流域比较接近,分别为 91.8%、92.5% 和 92.0%;大渡河流域和雅砻江流域更加接近,分别为 88.1% 和 88.6%。从贡献率来看,长江干流区间和嘉陵江流域几乎相等,分别为 83.2% 和 83.3%;乌江流域和岷沱江流域分别为 75.7% 和 71.8%,金沙江流域为 66.1%,大渡河流域和雅砻江流域分别为 55.9% 和 52.2%。由此可知,大渡河流域和雅砻江流域的降水量中,虽然短历时降水发生率所占比例较大,但长历时降水贡献率已接近短历时降水的贡献率。

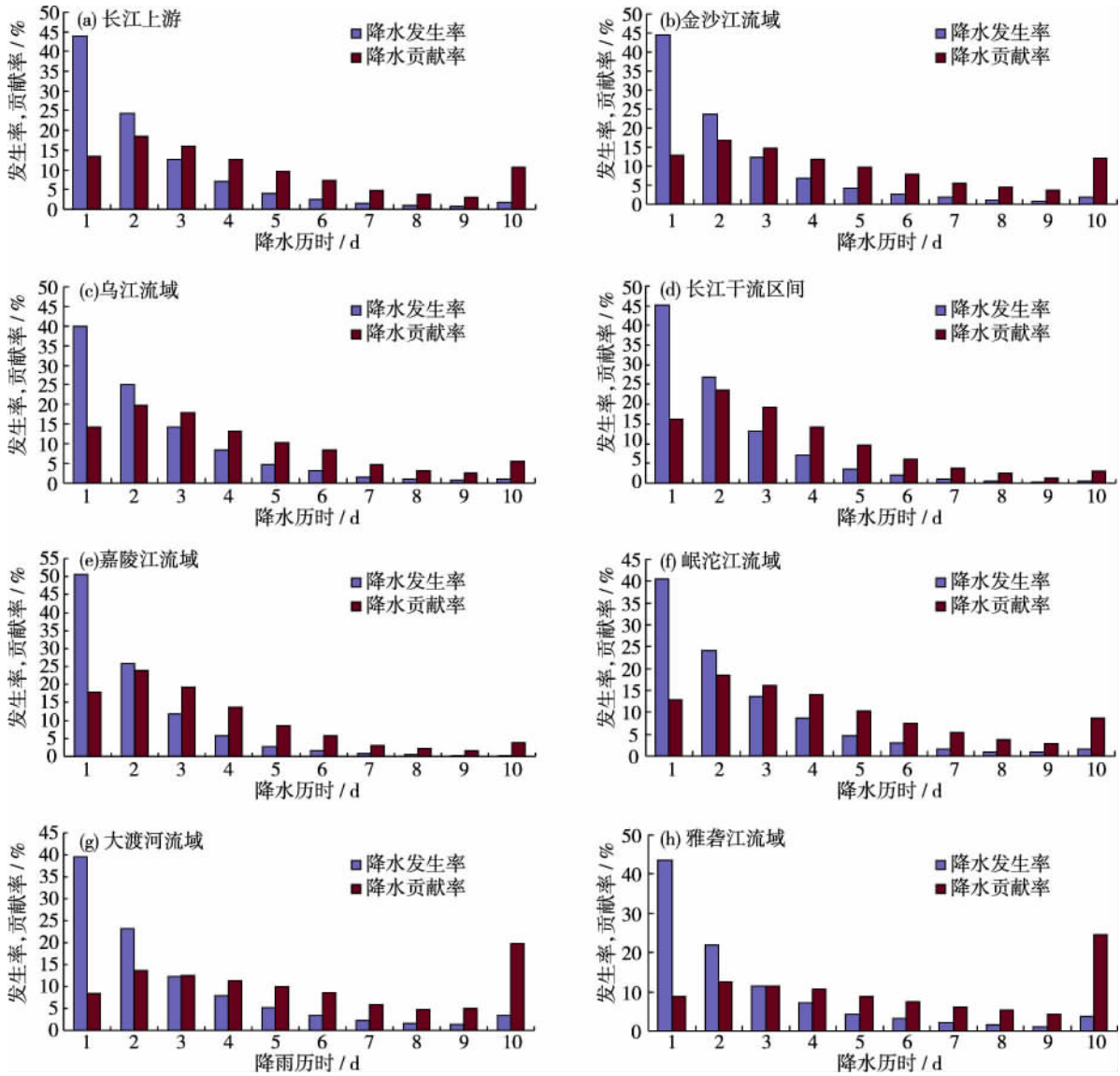


图 2 长江上游分区各历时降水的发生率和贡献率

Fig. 2 Incidence rate and contribution rate of different precipitation duration in upper Yangtze River basin

3.2 不同历时降水发生率与贡献率随时间变化趋势分析

以长江上游流域为对象, 给出 1961—2005 年各历时降水发生率和贡献率变化趋势统计结果, 如表 1 所示。从表 1 可以看出, 6 d 和 10 d 历时降水发生率变化趋势通过了显著性检验, 且呈显著性下降, 其他各历时降水发生率均没有显著变化; 1 d、2 d、6 d 和 10 d 历时降水贡献率变化趋势通过了显著性检验, 其中 1 d 和 2 d 历时降水贡献率呈显著增加, 6 d 和 10 d 历时降水贡献率则呈显著减少, 其他历时降水贡献率变化没有通过显著性检验, 无显著变化。

表 1 不同历时降水发生率和贡献率时间变化趋势检验统计量

Table 1 Test statistics of temporal change trend of incidence rate and contribution rate for different precipitation duration

降水历时	1 d	2 d	3 d	4 d	5 d	6 d	7 d	8 d	9 d	10 d
发生率统计量	1.91	1.16	-0.24	-0.02	-0.71	-2.80	-1.70	-0.82	-1.93	-3.19
贡献率统计量	3.36	2.59	1.66	1.94	0.27	-2.63	-0.49	0.08	-1.88	-2.71

通过对不同历时降水发生率与贡献率的分析得出，6 d 和 10 d 历时降水发生率和贡献率均呈显著下降趋势；1 d 和 2 d 历时降水发生率无显著变化，但贡献率却显著增加。结果表明，长江上游流域在全球气候变化影响下，短历时降水强度呈增大趋势，对洪水发生具有诱发作用；而长历时降水的降水频次和降水强度均呈减少趋势。

在上述分析基础上，检测与识别具有显著变化历时降水发生率和贡献率的突变点。图 3 和图 4 分别给出了其突变检验统计量结果。

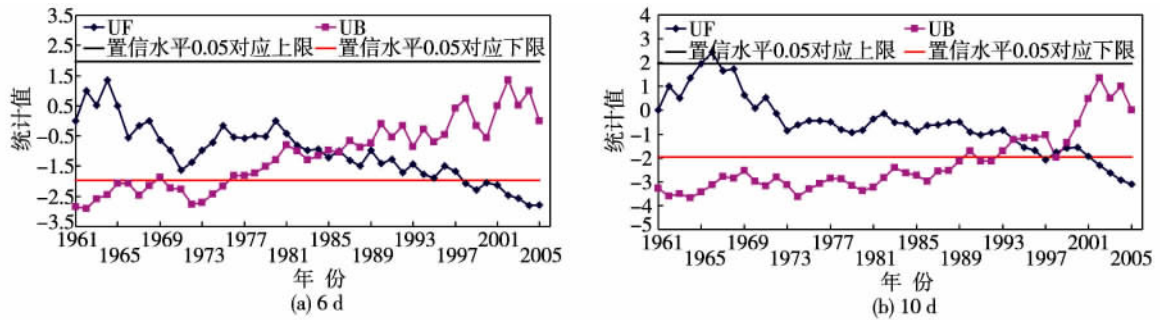


图 3 6 d 和 10 d 历时降水发生率变化突变检验

Fig. 3 Mutation test result of change of incidence rate for precipitation duration of 6 days and 10 days

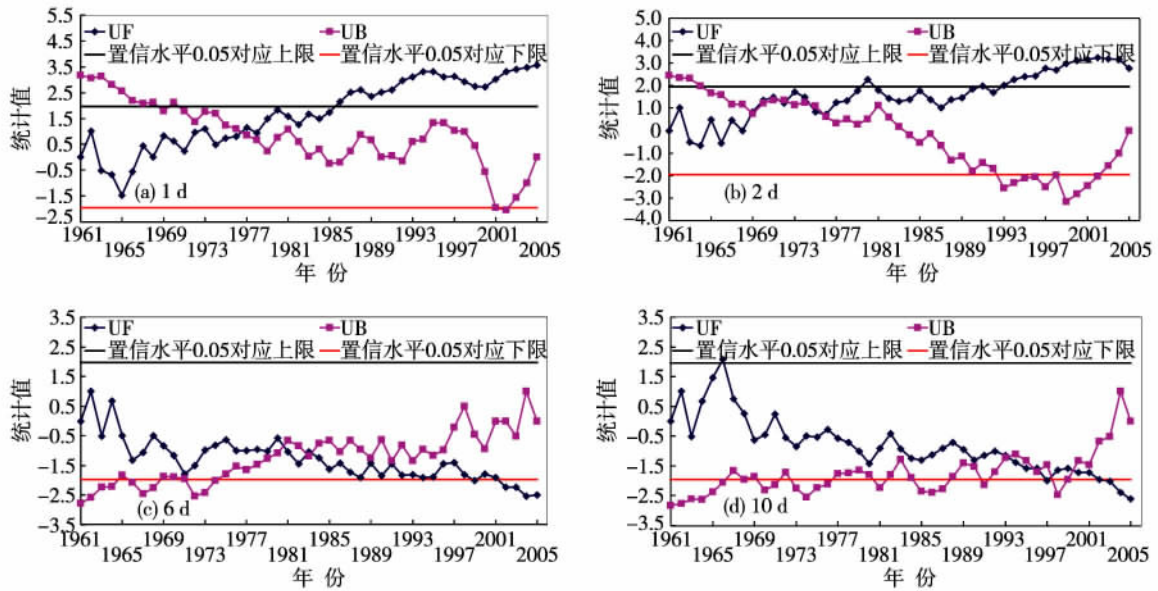


图 4 1 d、2 d、6 d 和 10 d 历时降水贡献率变化突变检测

Fig. 4 Mutation test result of change of contribution rate for different precipitation duration of 1 day , 2 days , 6 days and 10 days

图 3 表明，6 d 和 10 d 历时降水发生率突变的时间分别在 1984 年和 1999 年。图 4 表明，1 d 和 2 d 历时降水贡献率突变的时间均在 1976 年；6 d 和 10 d 历时降水贡献率发生突变的时间分别在 1984 年和 1999 年。

3.3 不同历时降水发生率与贡献率空间分布特性分析

通过对各分区的降水测站降水量进行趋势检验分析，按 1~2 d、3~5 d、6~8 d、9~10 d 4 个等级解析出乌江流域、长江干流区间、嘉陵江流域、岷沱江流域、大渡河流域、雅砻江流域和金沙江流域的降水发生率和贡献率的检验统计量，如表 2 所示。

表2 各分区历时降水发生率和贡献率变化趋势检验统计量
Table 2 Test statistics of change trend of incidence rate and contribution rate for each zone

分区	降水发生率				降水贡献率			
	1~2 d	3~5 d	6~8 d	9~10 d	1~2 d	3~5 d	6~8 d	9~10 d
长江上游	2.81	-0.32	-3.04	-3.29	3.69	1.87	-2.28	-2.59
乌江流域	1.50	-0.56	-0.87	-1.64	1.91	0.68	-0.38	-1.56
长江干流区间	1.91	-0.12	-1.82	-2.76	2.16	0.85	-1.48	-2.70
嘉陵江流域	1.92	-0.41	-1.57	-2.86	1.83	0.49	-1.30	-1.63
岷沱江流域	2.47	-1.09	-2.90	-3.43	2.54	1.45	-1.70	-2.73
大渡河流域	2.76	-1.49	-2.38	-2.85	2.63	1.65	-2.22	-1.94
雅砻江流域	0.34	1.26	-1.56	-1.87	0.48	2.82	-0.72	-1.66
金沙江流域	1.07	-0.21	-0.76	-0.34	1.34	0.35	-1.29	0.27

从表2可以看出,从各分区检验统计量的正负数值角度分析,各分区1~2 d 历时降水发生率和贡献率变化趋势检验统计量均为正值,呈现增加趋势;3~5 d 历时降水发生率变化趋势检验统计量为负值(雅砻江流域除外),呈现减少趋势,而其降水贡献率变化趋势检验统计量为正值,呈现减少趋势;6~8 d 和9~10 d 降水发生率和贡献率变化趋势检验统计量均为负值,呈减少趋势。总体而言,短历时降水(1~2 d)的降水频次和降水强度均呈增加趋势;长历时降水(6~8 d 和9~10 d)降水频次和降水强度均呈减少趋势;短历时降水(3~5 d)的降水频次呈减少趋势,但其降水强度却呈增加趋势。

从各分区检验统计量的显著性角度分析,岷沱江流域和大渡河流域的1~2 d 历时降水发生率和贡献率均呈显著性增加趋势;岷沱江流域和大渡河流域的6~8 d 和9~10 d 历时降水发生率变化呈显著减少趋势,其中岷沱江流域9~10 d 历时降水贡献率变化呈显著减少趋势,大渡河流域6~8 d 历时降水贡献率变化呈显著减少趋势。长江干流区间1~2 d 历时降水发生率无显著变化,但其贡献率变化呈显著增加趋势;9~10 d 历时降水发生率和贡献率的变化均呈显著性减少趋势。嘉陵江流域9~10 d 历时降水发生率变化呈显著减少趋势,但其贡献率无显著变化。雅砻江流域3~5 d 历时降水发生率无显著变化,而其贡献率却呈显著增加趋势。

以上结论表明,长江上游某些分区短历时降水和长历时降水的发生率和贡献率变化通过了显著性检验。对这些分区来说,短历时降水的降水贡献率的增加以及爆发频次的增加,极易引起洪涝灾害,加剧了流域防洪形势,给流域防洪调度以及防止堤岸溃决提出了更高要求;长历时降水的降水爆发频次减少和贡献率降低,对于可能发生干旱的区域,这不利于旱情的解除,有可能还会加剧旱情程度。

4 结 论

(1) 长江上游流域各历时降水发生率随历时的增加呈指数递减趋势变化。在长江上游流域分区中,乌江流域、长江干流区间、嘉陵江流域、岷沱江流域和金沙江流域各历时降水贡献率的最大比例是1~4 d,由此表明这些分区以短历时降水为主;大渡河流域和雅砻江流域各历时降水贡献率最大比例是10 d 以上历时降水和1~4 d 历时降水,然而由于10 d 以上历时降水发生率较低,并不占主导地位,占主导地位的仍是短历时降水。

(2) 长江上游流域在全球气候变化影响下,短历时降水强度呈增大趋势,对洪水发生具有诱发作用;长历时降水的频次和强度均呈减少趋势。6 d 和10 d 历时降水发生率和贡献率均呈显著下降趋势,降水发生率和降水贡献率发生突变的时间相同,均分别在1984年和1999年;1 d 和2 d 历时降水发生率无显著变化,但贡献率却显著增加,降水贡献率突变时间均在1976年。

(3) 岷沱江流域、大渡河流域和长江干流区间短历时降水集中出现次数增加,对降水总量的贡献率也

显著增加,这给该流域的防洪系统造成了巨大压力。岷沱江流域和大渡河流域的 1~2 d 历时降水发生率和贡献率变化趋势均显著增加,长江干流区间贡献率变化趋势显著增加;雅砻江流域 3~5 d 历时降水贡献率显著增加;大渡河流域 6~8 d 历时降水发生率和贡献率变化趋势均显著减少,岷沱江流域降水发生率变化显著减少;长江干流区间、岷沱江流域、大渡河流域分区 9~10 d 历时降水发生率和贡献率显著减少,而嘉陵江流域降水发生率显著性增加。

致谢:感谢中国水利水电科学研究院赵慧明博士对英文摘要修改进行了指导和帮助。

参考文献:

- [1] ZOLINA O, SIMMER C, GULEV S K, et al. Changing structure of European precipitation: Longer wet periods leading to more abundant rainfalls [J]. *Geophysical Research Letters*, 2010, 37(6): L06704.
- [2] MOBERG A, JONES P D, LISTER D, et al. Indices for daily temperature and precipitation extremes in Europe analyzed for the period 1901—2000 [J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2006, 111(D22): 1-25.
- [3] BROMMER D M, CERVENY R S, BALLING R C. Characteristics of long-duration precipitation events across the United States [J]. *Geophysical Research Letters*, 2007, 34(22): 2-6.
- [4] ZHANG Q, XU C Y, CHEN X, et al. Statistical behaviors of precipitation regimes in China and their links with atmospheric circulation 1960—2005 [J]. *International Journal of Climatology*, 2011, 31(11): 1665-1678.
- [5] 彭俊台, 张强, 陈晓宏. 珠江流域降水结构时空演变特征研究 [J]. *水资源研究*, 2012(1): 94-102. (PENG Juntao, ZHANG Qiang, CHEN Xiaohong. Spatial-temporal changes of precipitation structure across the Pearl River Basin, China [J]. *Journal of Water Resources Research*, 2012(1): 94-102. (in Chinese))
- [6] 冯亚文, 任国玉, 刘志雨, 等. 长江上游降水变化及其对径流的影响 [J]. *资源科学*, 2013, 35(6): 1268-1276. (FENG Yawen, REN Guoyu, LIU Zhiyu, et al. Rainfall and runoff trends in the upper Yangtze River [J]. *Resources Science*, 2013, 35(6): 1268-1276. (in Chinese))
- [7] 王艳君, 姜彤, 施雅风. 长江上游流域 1961—2000 年气候及径流变化趋势 [J]. *冰川冻土*, 2005, 27(5): 709-714. (WANG Yanjun, JIANG Tong, SHI Yafeng. Changing trends of climate and runoff over the upper Reaches of the Yangtze River in 1961—2000 [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2005, 27(5): 709-714. (in Chinese))
- [8] 殷水清, 高歌, 李维京, 等. 1961—2004 年海河流域夏季逐时降水变化趋势 [J]. *中国科学: 地球科学*, 2012, 42(2): 256-266. (YIN Shuiqing, GAO Ge, LI Weijing, et al. Long-term precipitation change by hourly data in Haihe River basin during 1961—2004 [J]. *Science China: Earth Sciences*, 2012, 42(2): 256-266. (in Chinese))
- [9] 李建, 宇如聪, 王建捷. 北京市夏季降水的日变化特征 [J]. *科学通报*, 2008, 53(7): 829-832. (LI Jian, YU Rucong, WANG Jianjie. Diurnal variations of summer precipitation in Beijing [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2008, 53(7): 829-832. (in Chinese))
- [10] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术 [M]. 2 版. 北京: 气象出版社, 2007: 69-72. (WEI Fengying. The modern climate statistical diagnosis and prediction technology [M]. 2nd ed. Beijing: Meteorology Press, 2007: 69-72. (in Chinese))
- [11] YUE S, PILON P, PHINNEY B, et al. The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series [J]. *Hydrological Processes*, 2002, 16: 1807-1829.
- [12] YUE S, WANG C Y. Applicability of pre-whitening to eliminate the influence of serial correlation on the Mann-Kendall test [J]. *Water Resources Research*, 2002, 38(6): 1068-1074
- [13] 张蔚, 严以新, 郑金海, 等. 珠江三角洲年际潮差长期变化趋势 [J]. *水科学进展*, 2010, 21(1): 77-83. (ZHANG Wei, YAN Yixin, ZHENG Jinhai, et al. Interannual tidal range trend in Pearl River delta [J]. *Advances in Water Science*, 2010, 21(1): 77-83. (in Chinese))

Spatial-temporal variability characteristics of precipitation structure across the upper Yangtze River basin , China*

YE Yuntao^{1,2} , LIANG Lili² , GONG Jiaguo² , JIANG Yunzhong² , WANG Hao²

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering , Nanjing Hydraulic Research Institute , Nanjing 210029 , China; 2. State Key Laboratory of Simulation and Regulation of Water Cycle in River Basin , China Institute of Water Resources and Hydropower Research , Beijing 100038 , China)

Abstract: Daily precipitation data covering 1961—2005 from 67 meteorological stations across the upper Yangtze River basin are used to analyze spatial-temporal variability characteristics of precipitation structure in the context of climate change and human activities. The autocorrelation component in precipitation time series is eliminated by the Trend Free Pre-Whitening method , while the variability and trend in the precipitation structure are detected by the nonparametric Mann-Kendall method. Results show that over the upper Yangtze River basin and its sub-basins , the incidence rate of precipitation events for different durations decreases exponentially with the increase of precipitation durations; while , the corresponding contribution rate is found to be first increasing and then decreasing , with predominantly by short-duration precipitation events. It is detected that the year of 1976 was marked by an abrupt change for the contribution rate of short-duration (1 d and 2 d) precipitation events; while , the timing of abrupt changes for incidence rate and contribution rate of the precipitation events with long-durations of 6 and 10 days was in 1984 and in 1999 respectively. An upward trend is detected in the number of consecutive occurrences of short-duration precipitation events , with higher precipitation intensity and contributing to larger portion of total precipitation amount; while , the opposite is true for long-duration precipitation events. Tests are all significant for both above characteristics of precipitation structure amongst the Min River basin and the Dadu River basin , which are the sub-basins of the upper Yangtze River basin , as well as its main course areas.

Key words: precipitation structure; precipitation duration; hydrologic cycle; upper Yangtze River basin

* The study is financially supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 51209223) .