

1960~2010年漓江流域降水变化特征研究

段文军^{1,3},王金叶^{1,3},张立杰²,李海防^{1,3},黄华乾¹

(1. 桂林理工大学,广西 桂林 541004;2. 梧州学院,广西 梧州 543002;
3. 桂林理工大学生态规划与工程研究所,广西 桂林 541004)

摘要:利用漓江流域及周边地区25个降水观测点50年的监测数据,通过Mapgis 6.7计算流域年降水量和月降水量。在此基础上,采用变差系数法、5年滑动平均法和Mann-Kendall检验法,分析漓江流域1960~2010年降水变化规律。结果表明:(1)1960~2010年,漓江流域降水年际动态为波动增加,年降水量每10a增加23.1mm;其中1970~2010年间,漓江流域年降水变化表现为波动减少,年降水量每10a减少14.6mm;但增减趋势都没有通过显著性检验;(2)漓江流域年内降水具有典型的雨季和旱季交替特征,雨季降水占全年降水的76.26%;(3)漓江流域月降水量随时间变化具有规律性的增减,其中1月和6月降水量随着时间推移增加,4月降水量随着时间推移而减少,1、4、6月的这种增减趋势通过99%的显著性检验;(4)漓江流域降水年内变化幅度比年际明显,年降水量变差系数小于0.18,月降水量变差系数大于0.61。

关键词:年降水量;5年滑动平均法;变差系数法;Mann-Kendall法;漓江流域

中图分类号:P426

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2014)05-0088-06

降水是水循环的一个主要组成部分,是人类用水的基本来源。降水既是地域气候基本组成要素,也是影响流域水文水资源系统的重要因素,其年内和年际变化对当地经济社会生活产生重要影响^[1-2]。降水变化会直接影响区域水分平衡,容易诱发洪涝干旱等自然灾害^[3],而降水变化又会造成水资源的不均匀分布,对水资源的管理和分配带来新的问题和挑战^[4-5]。漓江发源于桂东北的猫儿山,海拔2141.5m,自北向南依次流经兴安县、灵川县、桂林市城区、阳朔县和平乐县,全长229km,流域总面积约5831km²。流域属中低山和丘陵地形,地势北高南低,在一系列开阔的山间盆地及峡谷之间形成了漓江谷地。漓江是典型的雨源补给型河流,流域内河川径流的变化主要受降水影响^[3-4]。本研究根据1960~2010年漓江流域及周边地区降水观测资料,对漓江流域降水变化规律进行分析,为探究漓江

流域径流形成与变化规律、漓江流域生态环境改善及水资源的合理开发利用提供科学依据。

1 资料和方法

1.1 数据来源

本研究收集漓江流域及周边地区25个水文气象观测站1960~2010年的逐日降水资料,各观测站分布如图1所示,其中漓江流域内分布8个,流域周边分布17个。

1.2 研究方法

(1)Mapgis法。Mapgis是集数字制图、数据库管理和空间分析于一体的空间信息系统,实现了面向空间实体及其关系的数据组织、高效海量空间数据的存储与索引、大尺度多维动态空间信息数据库、三维实体建模和分析等。本研究应用Mapgis相关模块,将25个

收稿日期:2013-11-25

基金项目:国家自然科学基金项目“漓江上游森林群落结构与水文过程调控机理研究”(30860058);国家科技支撑计划课题“漓江流域生态旅游资源可持续利用技术模式及示范”(2012BAC16B04);广西科技攻关计划课题“漓江上游森林生态系统格局优化与可持续管理技术研究”(桂科攻1298006-3)

作者简介:段文军(1977-),男,湖南常宁人,副教授,博士,主要从事恢复生态学和生态旅游研究。E-mail: duanwenjunagr@163.com

通讯作者:王金叶(1965-),男,甘肃民乐人,教授,博士生导师,主要从事森林生态水文和生态旅游研究。E-mail: wangjinye66@163.com

站点的独立降水量数据生成降水等值线图(见图2),然后再利用降水等值线图计算出流域平均降水量^[5]。

(2)Mann-Kendall法。Mann-Kendall法是一种非参数统计检验方法,是由国际气象组织推荐的应用于环境数据时间序列趋势分析的一种方法,也是检验降水时间序列单调趋势的有效工具之一^[6-8]。本研究主要利用Mann-Kendall法判断漓江流域的降水序列是否存在显著趋势特征,降水趋势是上升还是下降。

(3)变差系数(Coefficient of Variation, CV)法。变差系数表示标准差相对于平均数大小的相对量,其公式为:变差系数(CV)=标准差(σ)/平均值(\bar{x})^[9]。本研究

主要是利用变差系数来衡量漓江流域的降水序列年内、年际分配的均匀程度,变差系数值越接近1.0,说明降水分配越不均匀;值越接近0.0,说明降水分配越均匀。

2 结果与分析

2.1 流域降水年际分配特征

统计计算表明,漓江流域1960~2010年的年降水量在1467.3~2691.9mm之间波动,年平均降水量为1930.4mm,年降水量最大为2691.9mm,出现在2002年;最小为1467.3mm,出现在1963年。根据对漓江流域年际降水量的变差系数(见表1),漓江流域及流域内各水文气象观测站降水年际分配相对比较



图1 漓江流域及周边地区25个降水观测点分布。

Fig.1 The distribution of the 25 stations in the Lijiang River basin and surrounding areas

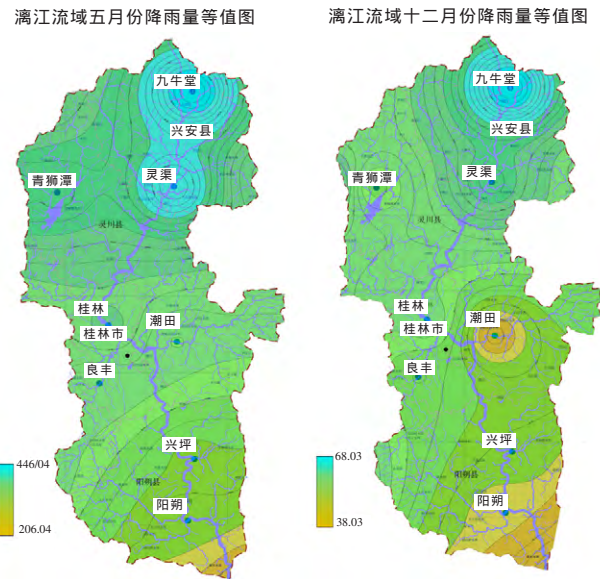


图2 5月和12月多年平均降水量等值线图

Fig.2 The spatial distribution of the mean annual precipitation in May and December

表1 1960~2010年漓江流域和各水文气象观测站平均年降水量和变差系数

Table 1 The mean annual precipitation and CV values during 1960~2010

特征值	水文气象观测站							
	漓江流域	灵渠	潮田	桂林	良丰	阳朔	兴坪	猫儿山
平均年降水量/mm	1930.4	2188.1	1625.7	1840.4	1764.9	1515.3	1582.9	2399.6
变差系数	0.15	0.16	0.17	0.17	0.17	0.15	0.18	0.15
最大年降水量/mm	2691.9	3123.1	2271.8	2817.7	2683.0	2023.7	2348.8	3395.0
最小年降水量/mm	1467.3	1633.0	1137.8	1342.3	1242.7	1061.8	1160.0	1808.7
最大/最小	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	1.9	2.0	1.9

均匀,年降水量变差系数在 0.15~0.18 之间,年最大降水量与最小降水量的比值在 1.8~2.2 之间。

2.2 流域降水年内分配特征

经统计分析,1960~2010 年漓江流域年内降水分配总体呈现出正态分布(见图 3),多年平均月最大降水量出现在 5 月,降水量占全年降水量的 18.31%;月最小降水量出现在 12 月,降水量仅占全年降水量的 2.76%。年内降水主要集中在夏秋两季,两季降水量占全年降水量的 76.26%。多年连续最大降水量出现在 4 月、5 月、6 月和 7 月,总降水量占全年降水量的 60.46%。漓江流域及流域内各观测点降水年内分配极不均匀,月平均降水量的变差系数在 0.61~0.70 之间,月平均最大降水量与最小降水量的比值在 6.0~7.1 之

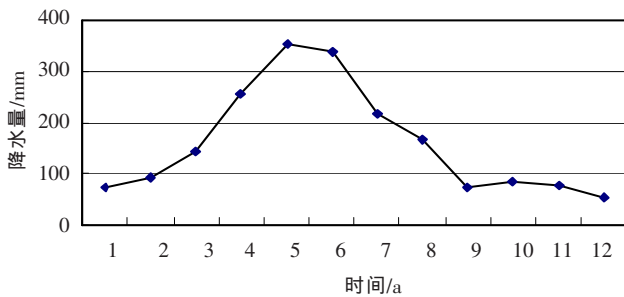


图 3 漓江流域 1960~2010 年年内降水分配

Fig.3 The distribution of monthly precipitation in the Lijiang River basin during 1960~2010

间(见表 2)。漓江流域降水年内分配在不同观测点以及不同年份又有大的差异(见表 3)。5 月变差系数最小,月降水量最大;12 月变差系数最大,月降水量最小,月降水量越大变差系数越小。5 月降水量是 12 月的 6.5 倍,12 月变差系数是 5 月的 2.4 倍。降水在年内分配的不均匀性形成了明显的雨季和旱季,3~8 月降水接近或略高于月平均降水量定为雨季,降水占全年降水的 76.26%;9 月~翌年 2 月,月降水远低于月平均降水量定为旱季,降水仅占全年降水的 23.64%。降水年内分配极不均匀不利于流域水资源利用,造成旱季缺水矛盾突出,而雨季洪涝灾害常有发生,严重影响流域中下游地区居民正常的生产和生活。

2.3 流域降水年际变化规律

1960~2010 年漓江流域年降水量变化曲线和 5 年滑动平均曲线(见图 4)显示,流域降水量年际动态总体呈现阶段性高低交错状态,20 世纪 60 年代初到 80 年代流域年降水量在频繁波动中由低向高变化;80 年代初到 90 年代中期,流域年降水量先出现相对较大的下降态势,而后又出现一个相对较大的上升态势;90 年代中期开始到 21 世纪初(2010 年)出现了又一波的下降。漓江流域年降水量距平 5 年滑动曲线(见图 5)更加直接表现出这样的规律。

通过漓江流域及流域内各水文观测点降水量 5

表 2 1960~2010 年漓江流域和各水文气象观测站平均月降水量和变差系数

Table 2 The monthly mean precipitation and C_v values during 1960~2010

特征值	水文气象观测站							
	漓江流域	灵渠	潮田	桂林	良丰	阳朔	兴坪	猫儿山
平均年降水量/mm	160.9	182.3	135.5	153.4	147.1	126.3	131.9	200.0
变差系数	0.67	0.70	0.68	0.68	0.68	0.61	0.63	0.68
最大年降水量/mm	353.4	414.3	309.6	344.2	337.5	270.6	282.8	446.9
最小年降水量/mm	53.3	58.6	43.6	52.0	49.0	45.1	46.9	68.2
最大/最小	6.6	7.1	7.1	6.6	6.9	6.0	6.0	6.6

表 3 1960~2010 年漓江流域和月降水量和变差系数

Table 3 The monthly precipitation and C_v values during 1960~2010

特征值	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
平均	72.0	92.3	141.4	253.8	348.6	344.4	216.3	167.3	75.4	87.0	79.7	53.7
变差系数	0.50	0.57	0.42	0.36	0.31	0.41	0.54	0.54	0.58	0.75	0.76	0.75
最大值/mm	148.4	217.5	369.6	529.3	645.3	679.0	477.4	444.1	207.0	233.9	230.2	189.9
最小值/mm	4.3	10.1	45.1	124.8	114.9	91.9	31.3	20.1	6.1	4.2	6.6	5.9
最大/最小	34.2	21.5	8.2	4.2	5.6	7.4	15.3	22.1	34.0	55.2	34.9	32.4

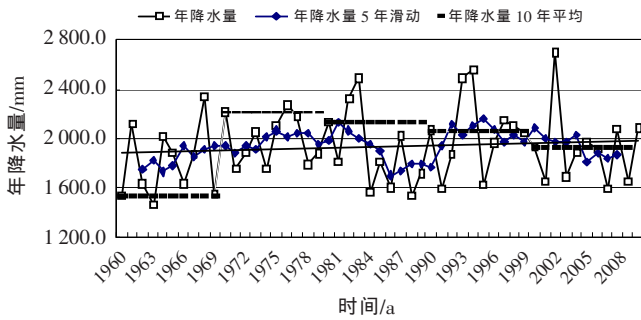


图4 漓江流域年降水量变化曲线和5年滑动平均曲线

Fig.4 Variation of the annual precipitation and five-year moving average values in the Lijiang river basin

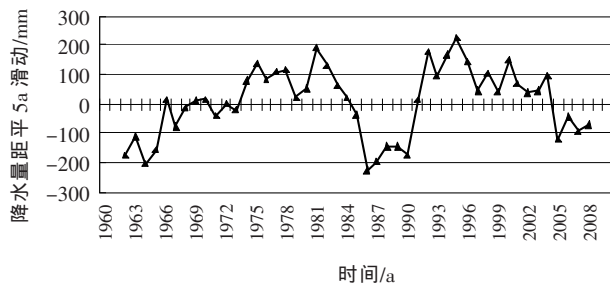


图5 漓江流域年降水量距平5年滑动曲线

Fig.5 The 5-year consecutive anomaly of the annual precipitation in the Lijiang River basin

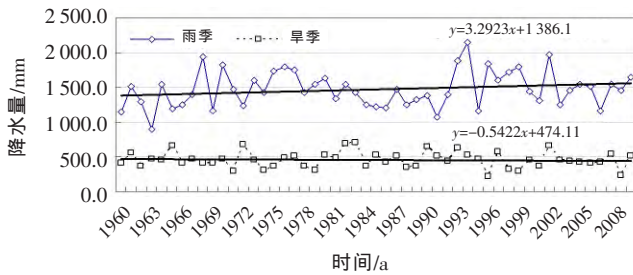


图6 漓江流域雨季和旱季降水量动态变化曲线

Fig.6 Variation of the precipitation in wet and dry seasons in the Lijiang River basin

年平均距平计算(见表4),进一步明确了流域年降水阶段性高低交错状态。1960~1969年和1985~1989年漓江流域降水量距平为负值,说明该时间段降水量低于多年平均降水量,降水量普遍偏少;但流域内阳朔和兴坪水文气象观测站在1960~1964年降水量距平为正值,与漓江流域和流域内其他水文气象观测站降水量距平为负值不相一致;1975~1984年和1990~1999年漓江流域降水量距平为正值,流域内各水文气象观测站除阳朔和兴坪在1980~1984年、潮田在1995~1999年降水量距平为负值外,其余各水文气象观测站降水量距平为正值,说明该时间段降水普遍偏多,年降水量高于多年平均降水量。

根据对雨季和旱季降水量变化趋势拟合分析,漓江流域雨季降水量呈增加趋势,旱季降水量呈下降趋势(见图6),雨季降水量10a增加32.9mm,旱季降水量10a减少5.4mm。因此,可以判断漓江流域旱季缺水矛盾加剧与旱季降水量减少有一定的关系,如果保持现在的发展态势,未来漓江流域雨季与旱季将更加分明。

2.4 流域降水年际趋势分析

利用漓江流域及流域内各水文气象观测站1960~2010年年降水资料进行趋势分析,表明漓江流域及流域内各水文气象观测站降水年际变化总体呈增加趋势,但各水文气象观测站之间有一定的差异。流域年降水量10a增加23.1mm,猫儿山10a增加38.1mm,桂林10a增加26.0mm,灵渠10a增加35.8mm,潮田10a增加24.0mm,阳朔10a增加0.1mm,兴坪10a反而下降1.6mm。从10年平均年降水看出,20世纪60年代漓江流域降水最少,70年代降水最多,70年代后10a平均降水量呈下降趋势(见图4)。

利用1970~2010年降水量资料再次进行年降水

表4 各观测站降水量5年平均距平(1960~2010)

单位:%

Table 4 The 5-year mean anomaly of the precipitation during 1960~2010 (%)

时间段	漓江	灵渠	潮田	桂林	良丰	阳朔	兴坪	猫儿山
1960~1964	-9.2	-10.0	-13.9	-7.9	-12.4	2.0	4.8	-9.7
1965~1969	-3.9	-3.7	-2.4	-4.4	-1.2	-5.0	-5.0	-3.6
1970~1974	0.1	-3.9	4.2	5.6	2.9	2.2	-2.0	-3.7
1975~1979	5.7	6.0	9.7	1.8	3.7	2.5	5.1	5.9
1980~1984	6.8	6.8	1.2	1.1	1.9	-0.6	-0.5	6.6
1985~1989	-10.1	-8.5	-12.5	-12.4	-15.1	-11.0	-12.6	-8.2
1990~1994	9.4	11.6	12.2	9.3	13.6	4.0	7.3	11.2
1995~1999	2.3	0.5	-1.0	5.5	6.6	8.2	6.9	0.5
2000~2004	2.0	4.5	-0.3	2.2	-0.9	1.9	-3.1	4.4
2005~2009	-4.7	-6.1	2.7	-1.3	1.3	-3.9	-0.2	-6.0

量动态分析,结果表明漓江流域 1970~2010 年降水呈下降趋势,10 a 下降 14.6 mm;其中猫儿山 10 a 下降 2.3 mm,桂林 10 a 下降 2.2 mm,灵渠 10 a 下降 2.2 mm,潮田 10 a 下降 16.80 mm,阳朔 10 a 下降 6.0 mm,兴坪 10 a 反而增加 0.2 mm。同样的资料选取不同时间段分析却得出了相反的结论。因而,采用 Mann-Kendall 检验方法,对漓江流域年降水 1960~2010 年和 1970~2010 年雨季和旱季降水量时间序列进行非参数统计检验,结果 1960~2010 年年降水正态分布的统计量 Z 为 0.8041,大于 0,表明年降水量有增加趋势,但 Z 小于 1.64,说明在置信度为 90%的情况下增加趋势无显著性;1970~2010 年流域年降水正态分布的统计量 Z 为 -0.4381,小于 0,表明年降水量自 1970 年以来呈下降趋势,但 Z 绝对值远小于 1.64,说明在置信度为 90%的情况下下降趋势无显著性。Mann-Kendall 分析结果表明,漓江流域雨季降水量的增加趋势和旱季降水量的减少趋势均无显著性。

同样,采用 Mann-Kendall 检验方法,对漓江流域 1960~2010 年的月降水量时间序列进行非参数统计检验,结果如图 7 所示。由此可知,有 6 个月降水量呈现上升趋势,其中 1 月和 6 月通过了 95%的置信度检验;有 6 个月降水量呈现下降趋势,其中 4 月通过了 95%的置信度检验;而且 6 月的上升趋势和 4 月的下降趋势均通过了 99%的置信度检验,说明漓江流域在 1960~2010 年期间,降水年内分配向更加不均匀化发展。

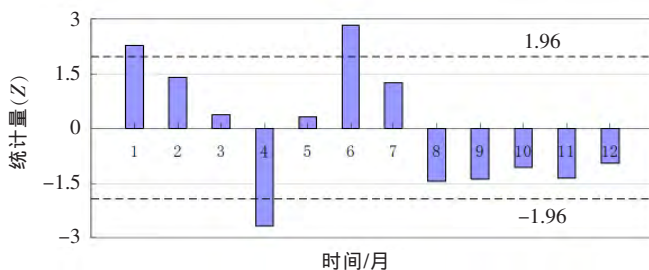


图 7 漓江流域月降水量 Mann-Kendall 检验结果。

Fig.7 The Mann-Kendall test results of the month precipitation

3 结论

漓江是雨源补给型河流,探究流域降水变化规律是研究河川径流变化,是合理安排工农业生产和生态建设的基础。根据对漓江流域及周边地区 25 个水文气象观测站 1960~2010 年的逐日降水观测资料,得出以

下结论:

(1)1960~2010 年,流域年降水波动性增加,年降水量每 10 a 增加 23.1 mm;其中 1970~2010 年,流域年降水变化波动性减少,年降水量每 10 a 减少 14.6 mm,但增减趋势都没有通过显著性检验。

(2)漓江流域年内降水具有典型的雨季和旱季交替特征,雨季降水占全年降水的 76.26%。

(3)漓江流域月降水差异显著,其中 1 月和 6 月的降水呈现增加的趋势,4 月的降水呈现减少的趋势。

(4)漓江流域降水量年际变化相对于年内差异较小,年内降水具有旱季减少、雨季增加的趋势,降水年内分配向更加不均匀化发展,说明天然降水的利用难度在不断增加。

参考文献:

- [1] 房巧敏,龚道溢,毛睿. 中国近 46 年来冬半年日降水变化特征分析[J]. 地理科学, 2007, 27(5):711-717. (FANG Qiaomin, GONG Daoyi, MAO Rui. Changes of daily precipitation of China in winter time during the last 46 years [J]. Scientia Geographica Sinica, 2007,27 (5):711-717. (in Chinese))
- [2] 唐蕴,王浩,严登华,等. 近 50 年来东北地区降水的时空分异研究[J]. 地理科学, 2005,25(2): 172-176. (TANG Yun, WANG Hao, YAN Denghua, et al. Research on the spatial-temporal differentiation of precipitation in northeast China in recent 50 years [J]. Scientia Geographica Sinica, 2005,25(2):172-176. (in Chinese))
- [3] GROISMAN P Y, KNIGHT R W, EASTERLING D R, et al. Trends in intense precipitation in the climate record [J]. Journal of Climate, 2005,18(9):1326-1350.
- [4] 王金叶,李海防,段文军,等. 漓江上游降水特征及典型森林群落地表径流规律的研究 [J]. 中南林业科技大学学报, 2012,32 (6):72-77. (WANG Jinye, LI Haifang, DUAN Wenjun, et al. Characteristics of precipitation and its effects on surface runoff in typical forest community in upper reaches of Lijiang River [J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2012,32(6):72-77. (in Chinese))
- [5] 李少华,董增川,杨爱丽. 水文要素等值线图的自动绘制方法[J]. 水文, 2004,24(6):23-25. (LI Shaohua, DONG Zengchuan, YANG Aili. Automatic plotting of hydrologic elements contour map [J]. Hydrology, 2004,24(6):23-25. (in Chinese))
- [6] 张翀,李晶,任志远. 西北地区 1962 年至 2000 年降水量变化的时空特征分析[J]. 资源科学, 2010,32(12):2298-2304. (ZHANG Chong, LI Jing, REN Zhiyuan. Spatial and temporal characteristics of precipitation changes from 1962 to 2000 in northwestern China [J]. Resources Science, 2010,32(12):2298-2304. (in Chinese))
- [7] 曹建廷,秦大河,罗勇,等. 长江源区 1956~2000 年径流量变化分析[J]. 水科学进展, 2007,18(1):29-32. (CAO Jianting, QIN Dahe, LUO Yong, et al. Discharge changes of the Yangtze River in source area during 1956-2000 [J]. Advances in Water Science, 2007,18

- (1):29-32. (in Chinese))
- [8] 张润润. 香港地区降水趋势及其演变过程分析[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2010,38(5):505-510. (ZHANG Runrun. Trend and evolution of precipitation in Hong Kong [J]. Journal of Hohai University (Nature Sciences), 2010, 38(5):505-510. (in Chinese))
- [9] 徐利岗,周宏飞,梁川,等. 中国北方荒漠区降水多时间尺度变异性研究 [J]. 水利学报, 2009,40 (8):1002-1010. (XU Ligang, ZHOU Hongfei, LIANG Chuan, et al. Multi-time scale variability of precipitation in the desert region of north China [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2009,40(8):1002-1010. (in Chinese))

Characteristics of Precipitation in Lijiang River Basin during 1960~2010

DUAN Wenjun^{1,3}, WANG Jinye^{1,3}, ZHANG Lijie², LI Haifang^{1,3}, HUANG Huaqian¹

(1. Guilin University of Technology, Guilin 541004, China; 2. Wuzhou University, Wuzhou 543002, China; 3. Institute of Ecological Planning and Engineering, Guilin University of Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: The annual and monthly precipitation were calculated with Mapgis 6.7 based on the 50-year precipitation data at the 25 stations in the Lijiang River Basin and surrounding areas, on which the change of the precipitation during the period of 1960~2010 was analyzed using coefficient of variation method, five-year moving average method and Mann-Kendall test. The results show that (1) The annual precipitation in the Lijiang River had an increasing trend with fluctuation and increased by 23.1 mm/10a from 1960 to 2010, during which the annual precipitation was decreased by 14.6 mm/10a from 1970 to 2010. But both of the trends were not significant. (2) The annual precipitation in the Lijiang River Basin has the typical characteristics with rainy season and dry season. The precipitation in rainy season account for 76.26% of the total. (3) The precipitation in January and June show an increasing trend, while the trend in April show a sign of decreasing. (4) There are obvious differences between annual variations and monthly variations and the variation coefficient is less than 0.18 and more than 0.61, respectively.

Key words: annual precipitation; 5-year moving average method; variation coefficient method; Mann-Kendall test; Lijiang River Basin

(上接第 35 页)

- [J]. Geograph and Geo-information Science, 2012,28 (2):14-19. (in Chinese))
- [7] 韩琳,张艳宁,刘学工,等. 基于小波分析的河道主溜线遥感检测研究 [J]. 遥感技术与应用, 2012,27(5): 790-796. (HAN Lin, ZHANG Yanning, LIU Xuegong, et al. Study on river main-stream detection with wavelet transform from remote sensing [J]. Remote Sensing Technology and Application, 2012,27(5):790:796. (in Chinese))
- [8] 张金存,魏文秋. 洪水灾害的遥感监测分析系统研究 [J]. 灾害学, 2001,16(1):39-44. (ZHANG Jincun, WEI Wenqiu. A research on the remote sensing monitoring and analysis system of flood disaster [J]. Journal of Catastrophology, 2001,16(1):39-44. (in Chinese))
- [9] 许志辉,李祥,马浩录,等. 黄河滩区漫滩水深计算方法研究[J]. 人民黄河, 2009,31(8):114-116. (XU Zhihui, LI Xiang, MA Haolu, et al. Study on calculation methods of flooding depth of flood-prone area of the Yellow River [J]. Yellow River, 2009, 31(8): 114-116. (in Chinese))
- [10] 陈德清,杨建存,黄诗峰. 应用 GIS 方法反演洪水最大淹没水深的空间分布研究[J]. 灾害学, 2002, 17(2):1-6. (CHEN Deqing, YANG Jiancun, HUANG Shifeng. Study of the spatial distribution of maximum inundation depth using GIS [J]. Journal of Catastrophology, 2002,17(2):1-6. (in Chinese))

Satellite Remote Sensing Monitoring and Analysis of Heilongjiang River Flood in 2013

WANG Lingli, CHEN Deqing

(Water Resources Information Center, MWR, Beijing 100053, China)

Abstract: The China-Russian bordering Heilongjiang River experienced the worst flood since 1984, with a return period excess 100 years in the lower reach. Dike breaches occurred from Luobei County to Tongjiang City. The multi-satellite remote sensing data show the capability for continuous and dynamic flood monitoring, providing near real-time and effective flood information for decision making and disaster management. It demonstrated that satellite remote sensing has been a viable alternative or supplement to in-situ observations especially over the ungauged area.

Key words: multi-satellite; Heilongjiang River flood; remote sensing monitoring and analysis