

# 泸水河中上游流域近55年降水时空分布特征

牛 娇,温天福,胡久伟

(江西省水利科学研究院,江西 南昌 330029)

**摘 要:**通过 kendall 秩次相关检验法分析泸水河中上游流域近 55 年(1959~2013 年)降水序列变化趋势,并用专业制图软件做出区域降水量及降水倾斜度值等值线图,研究该区域降水的时空分布特征.结果表明:时间上,泸水河中上游流域降水总体上以年均 1.720 mm/a 的幅度增加,其中灌溉期和枯水期降水呈增加趋势,汛期降水总体呈减少趋势.此外,研究范围内降水年内、年际分布不均,年际降水最大值与最小值极值比为 1.96,年内降水主要集中在主汛期(4~6 月),占全年降水总量的 44.2%.空间上,对于年序列而言,总体上游降水高于下游,上游在章庄附近形成高值区,由中心向周边不断减少,在东谷附近出现低值中心;对于各降水时间段降水序列而言,汛期降水高值出现在章庄附近,而增幅最大为洋溪站(1.099 mm/a),降幅最大为东谷站(-1.189 mm/a),灌溉期降水高值与增幅高值均出现在章庄附近;枯水期降水增幅高值出现在洋溪附近.

**关键词:**泸水河;降水量;Kendall 秩次相关检验;时空分布

**中图分类号:**P333 **文献标识码:**B **文章编号:**1004-4701(2017)03-0213-06

## 0 引言

泸水河位于江西省西部,为赣江二级支流,流域面积 3 400 km<sup>2</sup>,主河道长 160 km,主河道纵比降 0.59‰,水力资源理论蕴藏量 7.25 万 kW,目前已建社上等水电站总装机容量 1.60 万 kW,2014 年 9 个月间发电量 4.99 万 kWh<sup>[1,2]</sup>.近年来我国大力发展农村水电,流域梯级上下游电站群以及多个调度目标间的统筹协调,充分发挥农村水电的在防汛、抗旱、生态方面的综合效益成为当务之急.农村水电站发挥效益依赖其来水,而降水是一切水资源的总来源,降水的时空变化是影响区域水资源时空分布的重要制约因素<sup>[3,4]</sup>.因此研究泸水河流域降水时空分布特征对于该地区农村水电站的联合调度、实现联合运行进而充分发挥农村小水电的综合效益有重要意义.

目前关于降水趋势分析的方法很多,如累计距平、滑动平均、Spearman 秩次相关检验法、Kendall 秩次相关检验法等<sup>[5~8]</sup>,由于在水文-气象时间序列中使用非参数检验方法比使用参数检验方法在非正态分布的数据和检验中更为合适<sup>[9]</sup>,非参数检验法的 Kendall 法在气象水

文要素的趋势分析中被广泛采用<sup>[10~13]</sup>.因此,本文采用 Kendall 秩次相关检验法,以泸水河中上游区域为研究范围,分析该区域降水特征,为该区域农村水电站的联合调度,发挥农村小水电的综合效益提供科学依据.

## 1 研究区域概况

本次以泸水河中上游流域(安福县城以上)为研究范围,地处东经 114°00′~114°46′,北纬 27°13′~27°38′,总面积 1 880 km<sup>2</sup>,气候属亚热带湿润季风气候区,气候温和,日照充足,干湿明显,受季风等因素影响,形成春寒、夏热、秋燥、冬冷气候特征.多年平均气温为 17.7℃,极端最低气温为 -8.3℃,极端最高气温为 40.2℃,多年平均水面蒸发量(E601)为 998.30 mm,多年平均降水量 1 590.00 mm.研究范围内现建有社上、东谷两座大型水库,岩头陂中型水库及安福渠、海华一级、海华二级、安平、洋田、观山等 6 座径流式电站(图 1).

采用数据为 1959~2013 年研究范围内及周边 7 个雨量站的逐月降水量数据,个别站点数据存在部分缺失,用邻近站点插值,并用数据累加法得到流域年和各时间段降水序列值.

收稿日期:2017-02-15

作者简介:牛 娇(1987-),女,硕士,助理工程师.

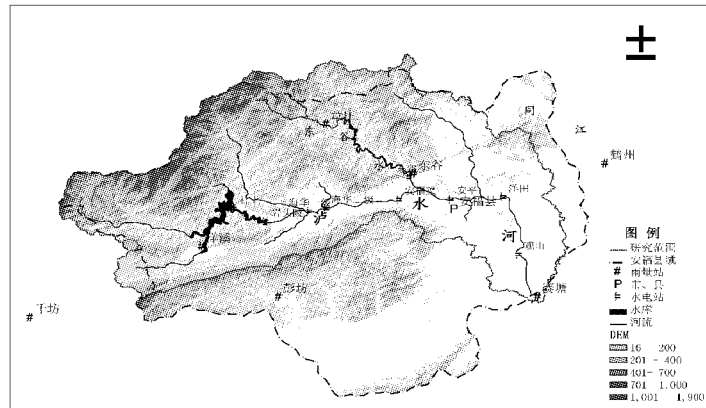


图1 研究范围内地形及电站和雨量站点分布图

## 2 研究方法

根据赛塘、彭坊、章庄、洋溪、千坊、东谷、鹤州等各站逐月降雨量序列,采用泰森多边形法,得到研究范围内年际、主汛期4~6月、灌溉期6~10月、枯水期10~次年1月降雨量时间序列。采用 Kendall 秩次相关检验法,对不同时间尺度上的降雨序列进行趋势分析。

Kendall 秩次相关检验法是对序列  $x_1, x_2, \dots, x_n$  先确定所有对偶值  $(x_i, x_j, j > i)$  中  $x_i < x_j$  出现的个数  $p$ 。顺序子集是:  $(i = 1, j = 2, 3, 4, \dots, n), (i = 2, j = 3, 4, 5, \dots, n), \dots, (i = n - 1, j = n)$ 。检验统计量的表达式为:

$$U = \frac{\tau}{[Var(\tau)]^{1/2}} \quad (1)$$

式中:  $\tau = \frac{4p}{n(n-1)} - 1, Var(\tau) = \frac{2(2n+5)}{9n(n-1)}$ 。当  $n$  增加时,  $U$  很快收敛于标准化正态分布,采用双侧检验,给定显著性水平  $\alpha$  后,查正态分布表得到临界值  $U_{\alpha/2}$ ,当  $|U| < U_{\alpha/2}$  时,说明趋势不显著,反之则趋势显著。

## 3 泸水河流域降水时间分布规律

### 3.1 年际变化规律

图2为研究范围内1959~2013年的年降水量序列,曲线呈整体上升趋势,线性斜率为1.7204。年降水量最大值出现在1997年,降水量为2183.50mm;年降水量最小值出现在2003年,降水量为1113.60mm;其中最大值与最小值相差1069.90mm,极值比为1.96。

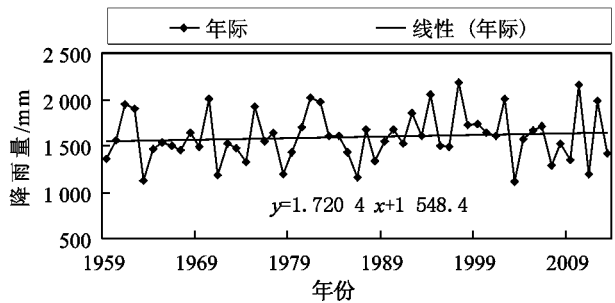


图2 泸水河上游流域年降水量时间序列

表1 研究范围内年降水量 Kendall 秩次相关检验成果表

|    | 检验统计量 $U$ | 临界值 $U_{0.05}$ | 趋势性 | 显著性 |
|----|-----------|----------------|-----|-----|
| 年际 | 0.92      | 1.96           | 增加  | 不显著 |

表1为研究范围内年降水量 Kendall 秩次相关检验结果,可知研究范围内55年的年降水检验统计量为0.92,总体上呈增加趋势,趋势不显著。

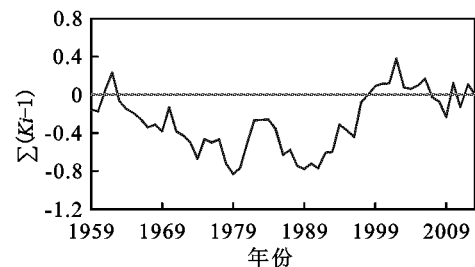


图3 泸水河上游流域年降水量模比系数差积曲线

为清楚地分析研究范围内年际间降水量的丰枯变化,采用差积曲线进行分析,当  $\sum_{i=1}^n (K_i - 1)$  持续增大

时,表明该时段为丰水段;当  $\sum_1^i (K_i - 1)$  持续不变时,表明该时段保持平均,为平水段;当  $\sum_1^i (K_i - 1)$  持续减小时,表明该时段为枯水段。由图3可以看出,研究范围内年际间降水量丰枯交替,其中丰水期为1960~1962年,1980~1982年,1992~1994年,1997~2002年;枯水期为1962~1967年,1971~1974年,1978~1979年,1985~1989年,2003~2004年;2009~2013年间丰枯交替出现。

### 3.2 年内变化规律

分析研究范围内1959~2013年月平均降水量(图4),降水主要集中在主汛期(4~6月),占全年降水总量的44.2%,其中6月份降水最多,占全年降水总量的15.6%。而1月和10~12月,降水量较少,四个月降水

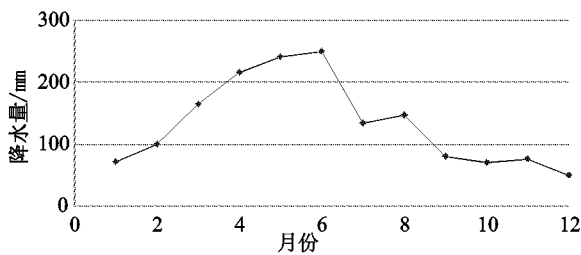


图4 泸水河上游流域降水量年内分配

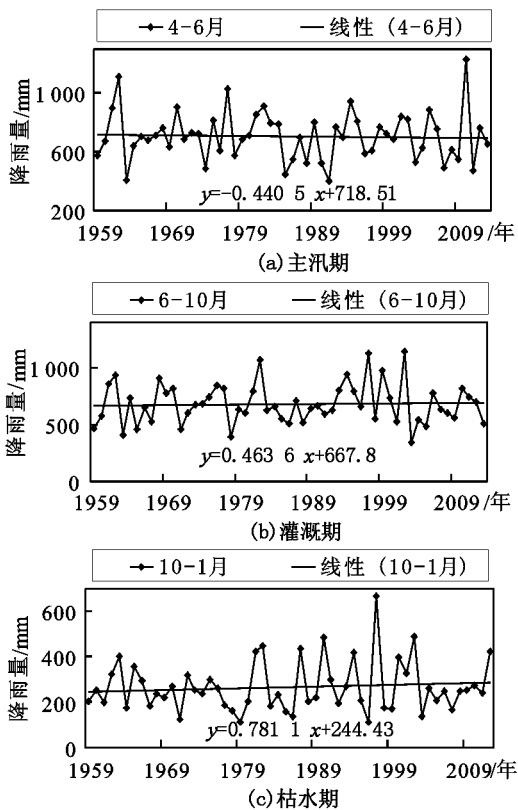


图5 泸水河上游流域各时期降水量趋势

总和占全年降水总量的16.6%。

由于研究范围内社上、东谷两座大型水库具有灌溉任务,本次降水年内变化分析主汛期(4~6月)、灌溉期(6~10月)、枯水期(10~1月)的三个时间段的变化趋势。

图5可以看出研究范围内灌溉期、枯水期降水量均呈现增加趋势,线性斜率分别为0.4636、0.7811;主汛期4~6月降水量呈下降趋势,线性斜率为-0.4405。

采用Kendall秩次相关检验法得到各时期降水量序列的检验统计量U,如表2所示,可以看到研究范围内主汛期统计量降水呈减少趋势,灌溉期和枯水期降水呈增加趋势,趋势均不显著。

表2 研究范围年内降水量 Kendall 秩次相关检验成果表

|            | 检验统计量 U | 临界值 $U_{0.05}$ | 趋势性 | 显著性 |
|------------|---------|----------------|-----|-----|
| 主汛期(4-6月)  | -0.33   | 1.96           | 减少  | 不显著 |
| 灌溉期(6-10月) | 0.09    | 1.96           | 增加  | 不显著 |
| 枯水期(10-1月) | 0.35    | 1.96           | 增加  | 不显著 |

## 4 泸水河流域降水空间分布规律

对研究范围内及附近7个雨量站1959~2013年降水序列进行趋势分析,同时借助专业绘图软件采用反距离权重法将所有站点年和各时间段的降水倾斜度值进行内插得到其空间分布情况,结合流域轮廓图做出流域的年和各时间段变化趋势空间分布图。

### 4.1 年降水序列空间分布

图6a为研究范围多年平均降水量等值线图,表明流域降水空间分布不均。总体上游降水高于下游,上游在章庄附近形成高值区,多年平均降水量1631.00mm,由中心向周边不断减少,从社上水库至流域源头区域减少变缓,降水分布较为均匀,多年平均降水量为1600.00mm;下游在东谷附近形成低值区,多年平均降水量1493.00mm,由中心向周边不断增加,从安福县城至赛塘水文站区域增加变缓,降水分布趋于均匀,多年平均降水量为1540.00mm。

分析研究范围内年均降水倾斜度值(见图6b),分析范围内降水倾斜度值均为正值,表明分析范围内降水总体上不断增加,其中洋溪站降水增加幅度最大,达4.102mm/a,降水增加幅度从东至西不断减少,其中人类活动剧烈的安福县城区域降水增加幅度在本次研究范围内相对最小。

### 4.2 各时间段降水序列空间分布

图7a为研究范围内汛期降水等值线图,汛期降水空间分布与年降水空间分布基本一致,汛期上游降水高于下游,上游在章庄附近形成高值区,降水量715.00 mm,下游在东谷附近形成低值区,降水量660.00 mm。图7b为研究范围内汛期降水倾斜度值,可以看出降水倾斜度值从上游向下游不断减少,上游以洋溪站附近为中心倾斜度值为正,表明降水不断增加,降水增加幅度最大达到1.099 mm/a,下游以东谷站附近为中心倾斜度

值为负,表明降水不断减少,降水减少幅度最大达-1.189 mm/a。

图8a为研究范围内灌溉期降水等值线图,灌溉期降水在章庄附近形成高值区,降水量727.00 mm,从章庄向周边不断减少,降水量在下游东谷附近形成低值区,降水量630.00 mm。图8b为研究范围内灌溉期降水倾斜度值,可以看出除东谷站和源头区部分区域外,研究范围内降水倾斜度值均为正值,其中以章庄附近最大,降水增加幅度0.758 mm/a。

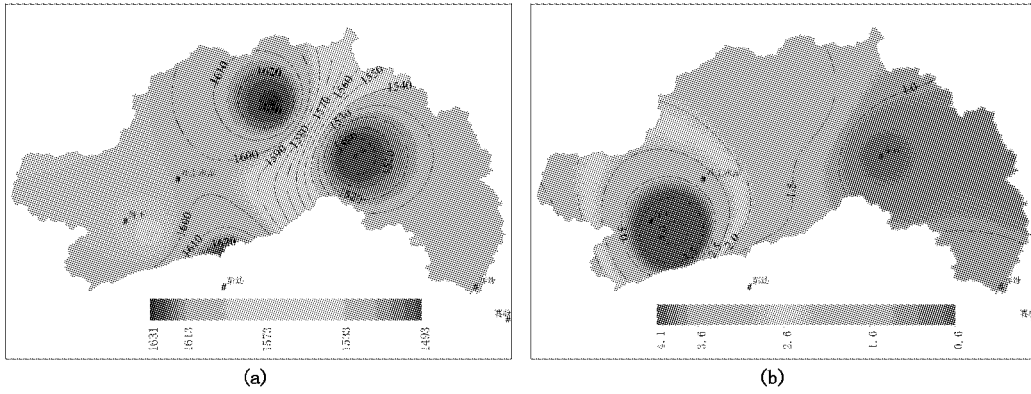


图6 泸水河流域年降水等值线图(a为年降水等值线,b为年降水倾斜度值)

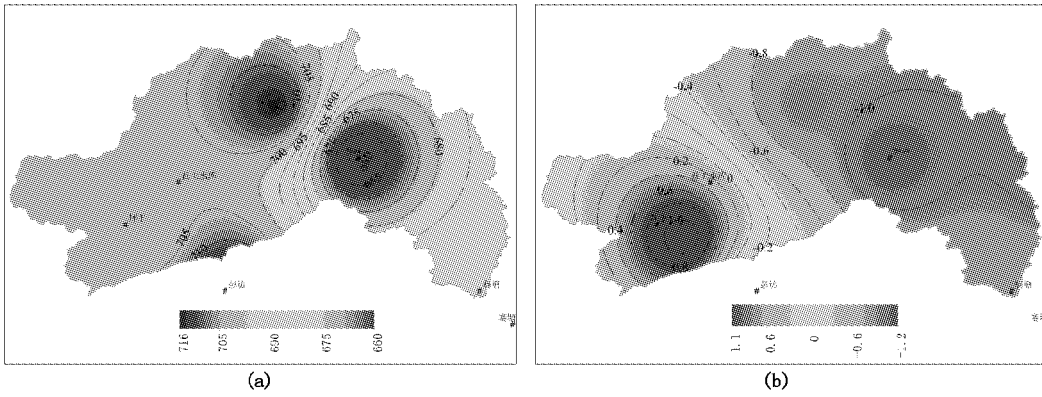


图7 泸水河流域汛期降水等值线图(a为汛期降水等值线,b为汛期降水倾斜度值)

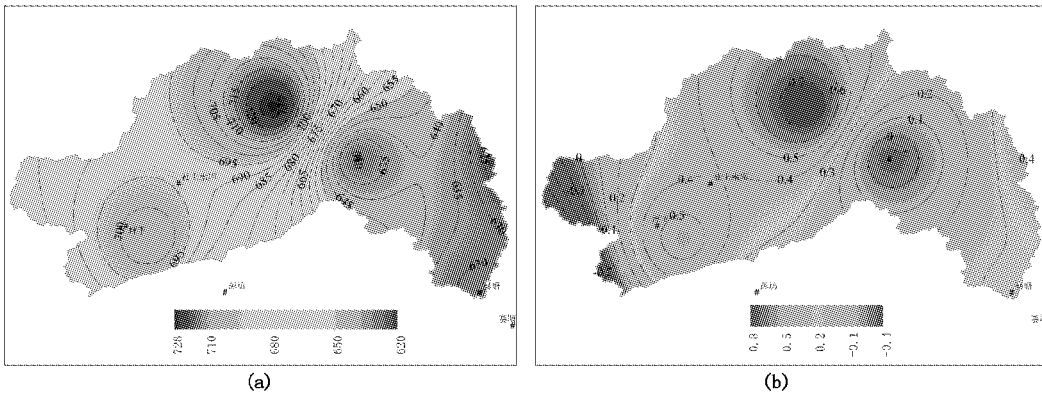


图8 泸水河流域灌溉期降水等值线图(a为灌溉期降水等值线,b为灌溉期降水倾斜度值)

图9a为研究范围内枯水期降水等值线图,枯水期降水在洋溪站和东谷站附近形成两个低值区,降水量分别为255.00 mm和253.00 mm。图9b为研究范围内枯

水期降水倾斜度值,可以看出研究范围内降水倾斜度均为正值,表明研究范围内枯水期降水不断增加,其中以洋溪站附近最大,降水增加幅度达1.560 mm/a。

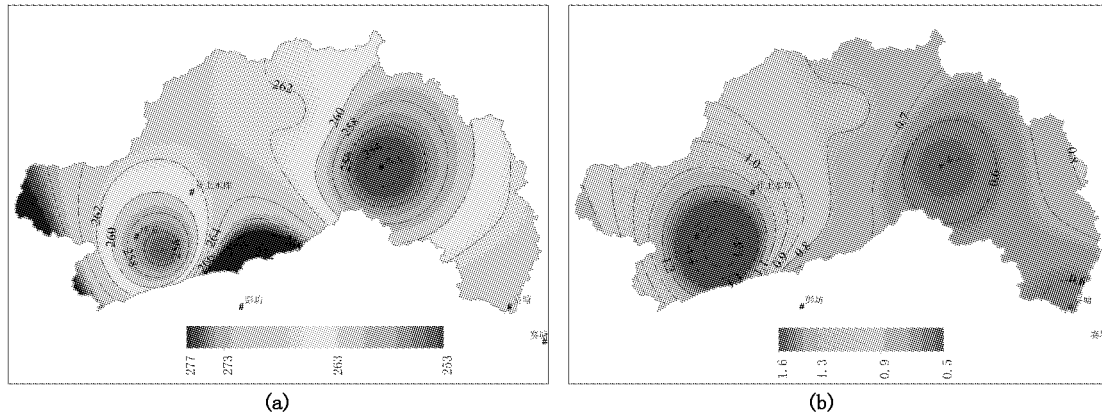


图9 泸水河流域枯水期降水等值线图(a为枯水期降水等值线,b为枯水期降水倾斜度值)

## 5 结 论

文中用 kendall 秩次相关检验法分析了泸水河中上游流域 1959~2013 年的降水时空分布特征,结论如下:

(1)时间上:泸水河中上游流域近 55 年来降水以年均 1.720 mm/a 的幅度增加,其中汛期降水总体呈减少趋势,减少幅度为 -0.441 mm/a,灌溉期和枯水期降水呈增加趋势,增加幅度分别为 0.464 mm/a 和 0.781 mm/a。此外,研究范围内降水年内、年际分布不均,年际降水最大值与最小值相差 1 069.90 mm,极值比为 1.96,且存在明显的丰枯水年分布,年内降水主要集中在主汛期(4~6月),占全年降水总量的 44.2%,其中 6 月份降水最多,占全年降水总量的 15.6%。

(2)空间上:泸水河上游流域降水空间分布不均。对于年序列而言,总体上游降水高于下游,上游在章庄附近形成高值区,多年平均降水量 1 631.00 mm,下游在东谷附近形成低值区,多年平均降水量 1 493.00 mm;对于年降水变化幅度而言,分析范围内降水总体上不断增加,其中洋溪站降水增加幅度最大,达 4.102 mm/a。对于各降水时间段降水序列而言,汛期以洋溪站为中心降水增加幅度最大 1.099 mm/a,下游以东谷站附近为中心降水减少幅度最大 -1.189 mm/a;灌溉期除东谷站和源头区部分区域有微弱下降趋势外,研究范围内降水均增加,增加幅度最大在章庄附近 0.758 mm/a;枯水期降水均呈增加趋势,其中以洋溪站附近最

大,降水增加幅度达 1.560 mm/a。

文中分析了泸水河上游流域近 55 年来降水时空分布特征,表明研究范围内年降水有所增加,而汛期降水有所减少,产生的原因可能涉及地形地貌,气候变化及人类活动等。降水在季节上和空间上的变化,直接影响区域径流的变化,进而影响流域水资源量的分布,并影响电站之间的协调调度。因此,进一步研究区域降水变化规律及产生的原因,有助于研究区域径流变化趋势和原因,对农村小水电站间的联合调度具有重要意义。

### 参考文献:

- [1] 江西省水利厅. 江西河湖大典[M]. 武汉:长江出版社,2010.
- [2] 胡志洪,王志红. 公司提前完成全年发电任务[N]. 武功湖简讯, 2014.
- [3] Milly P C D, Dunne K A. Macroscale water fluxes - 2. Water and energy supply control of their interannual variability [J]. Water Resources Research, 2002, 38(10): 24.
- [4] Brooks P D, Troch P A, Durcik M, et al. Quantifying regional scale ecosystem response to changes in precipitation: Not all rain is created equal [J]. Water Resources Research, 2011, 47, W00J08.
- [5] 钟永华,鲁帆,易忠,等. 密云水库以上流域年径流变化趋势及周期分析[J]. 水文, 2013, 33(06): 81~84.
- [6] 喻中文,胡魁德. 鄱阳湖低枯水位变化及趋势性分析研究[J]. 江西水利科技, 2014, 40(4): 253~257, 265.
- [7] 罗先超,魏怀斌. 乌裕尔河流域水文气象要素演变特征分析[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2015, 36(4): 8~11.
- [8] 赵云,胡彩虹,胡珊. 汾河和沁河流域入黄径流锐减事实分析[J]. 水电能源科学, 2012, 30(3): 31~34.
- [9] Yue S, Pilon P, Cavadas G. Power of the Mann-Kendall and Spearman'

- s rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series[J]. Journal of Hydrology, 2002(259):254~271.
- [10] 莫淑红,王学凤,勾奎,等. 气候变化和人类活动对灞河流域径流情势的影响分析[J]. 水力发电学报, 2016, 35(9):7~17.
- [11] 朱红艳. 宝鸡峡灌区水文要素变化特征分析[J]. 水文, 2011, 31(5):92~96.
- [12] 陶望雄,贾志峰. 渭河干流中段近50a径流极值变化特征分析[J]. 中国农村水利水电, 2015(9):7~11.
- [13] 刘万千,钱湛,张双虎. 洞庭湖水位变化趋势及原因分析[J]. 中国防汛抗旱, 2016(4):51~54.

编辑:张绍付

## Analysis on the spatiotemporal distribution of precipitation in upper and middle reaches of the Lushui river during the past 55 years

NIU Jiao, WEN Tianfu, HU Jiuwei

(Jiangxi Institute of Water Sciences, Nanchang 330029, China)

**Abstract:** On the basis of precipitation database in upper and middle reaches of the Lushui river during the period from 1959 to 2013, the long-term trend of precipitation in upper and middle reaches of the Lushui river was analyzed by using the Kendall rank correlation test, and the isopleth maps of the series of precipitation were made by professional mapping software, the spatiotemporal distribution of the long-term trend of precipitation in upper and middle reaches of the Lushui river was analyzed. The study results are as follows: firstly, the mean annual precipitation was in an increase trend and its gradient was 1.720 mm/a, the irrigation period and the withered water period showed an increasing trend, and the flood season showed a decreasing trend. In addition, the precipitation of flood season occupied 44.2% of the annual precipitation. Secondly, spatially, upstream annual precipitation is higher than downstream, the maximum value of annual precipitation occurred in the Zhangzhuang station, and the maximum value occurred in the Donggu station. In all periods except the flood season, the precipitation showed an increasing trend all over the studied area, the maximum value of the gradient in irrigation period occurred in the Zhangzhuang station, and the maximum value of the gradient in withered water period occurred in the Yangxi station. The values of gradient in flood season were both negative and positive showing the change complexity, the reduction gradient of Donggu station was the largest, that was -1.189 mm/a, and the increment gradient of Yangxi station was the largest, that was 1.099 mm/a.

**Key words:** Lushui river; Precipitation; Kendall rank correlation test; Spatiotemporal distribution

翻译:牛 娇