

陕北荒漠区降水量演变规律研究

王心睿¹, 杨倩文¹, 刘登峰¹, 黄强¹, 孟宪萌²

(1. 西安理工大学 水利水电学院 西北旱区生态水利工程国家重点实验室培育基地, 陕西 西安 710048;

2. 中国地质大学(武汉) 环境学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 为了解陕北荒漠区降水演变规律,分析了榆林气象站 1951-2013 年降水量的基本统计特征,采用 R/S 法分析了序列的持续性, Kendall 秩次相关检验分析趋势性,功率谱分析法分析周期, Mann-Kendall 法和累积距平法相结合分析突变。结果显示:年降水量呈现递减趋势并将持续,周期为 2.66 年,显著突变发生在 20 世纪 60 年代末。年最大日降水量呈现不显著递增趋势,且发生在 8 月比例最大,无显著突变发生。大于 5 mm 和大于 10 mm 的日降水量累计值均呈现不显著递减趋势,周期均为 3 年,且显著突变均发生在 20 世纪 70 年代初。1、3、5、6、9 月的月降水量呈现微弱递增趋势,其他月份均表现为微弱递减趋势;对汛期 7-10 月降水量的突变分析显示,汛期 4 个月降水均无显著突变。榆林站降水总体呈现递减趋势。

关键词: 荒漠区; 降水量; 演变规律; 陕北

中图分类号: P333.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2015)06-0066-05

Evolution law of precipitation in desert area of northern Shaanxi

WANG Xinrui¹, YANG Qianwen¹, LIU Dengfeng¹, HUANG Qiang¹, MENG Xianmeng²

(1. State Key Laboratory Base of Eco-hydraulic Engineering in Northwest Arid Area, Faculty of Water Resources and

Hydro-electric Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China; 2. Environmental Engineering College, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan 430074, China)

Abstract: In order to understand the evolution law of precipitation in the desert area of northern Shaanxi, the paper analyzed the basic statistical characteristics of precipitation data at the weather station of Yulin from 1951 to 2013. It used R/S analysis method to analyze the persistence sequence, Kendall rank correlation test to analyzed the trend, the method of power spectrum to analyze the period, and combined the Mann-Kendall and accumulative departure curve method to analyze the mutation. The result showed that the annual precipitation presents the decreasing trend and will continue to decrease and the period is 2.66 years, the notable mutation occurs in end of 1960s. The annual maximum daily precipitation presents an insignificant increasing trend, and the proportion occurred in August is the largest, there is no significant mutation. The cumulative daily precipitation of more than 5mm and less than 10mm present insignificant decreasing trend, the period is 3 years and the significant mutation occurs in early 1970s. The monthly precipitations in January, March, May, June and September present insignificant increasing trend. The precipitations in other months present an insignificant decreasing trend. The mutation analysis of precipitation in flood season from July to October showed that there are no significant mutations in the four months. The precipitation in Yulin station presents a decreasing trend on the whole.

Key words: desert area; precipitation; evolution law; northern Shaanxi

1 研究背景

陕北荒漠区设有陕西省的重要能源化工基地,

是社会经济发展的重要支撑区域,陕北荒漠区的生态保护对于荒漠区和黄土高原的风沙治理和水土保持具有重要影响,对陕北荒漠区的降水量变化的研

收稿日期:2015-07-05; 修回日期:2015-07-29

基金项目:国家自然科学基金项目(51309188,51190093);高等学校博士学科点专项科研基金项目(20136118120021)

作者简介:王心睿(1990-),女,新疆伊犁人,硕士研究生,主要从事流域水文序列变异规律研究。

通讯作者:刘登峰(1984-),男,陕西凤翔人,博士,副教授,主要从事流域生态水文过程演化的研究。

究可以为荒漠区的生态环境保护提供理论支撑^[1]。陕北荒漠区脆弱生态水文系统的演化规律对于旱区生态水文的研究具有重要价值。

在降水量演变规律的分析方法方面,时间序列分析方法起源于1927年,数学家耶尔提出建立了自回归模型^[2],Mann-Kendall检验最初是由Mann和Kendall提出,目前已有许多学者不断应用此方法来分析降水、径流、气候和水质等要素时间序列的变化趋势及突变^[3]。受气候变化和人类活动的双重驱动,全球范围内各种尺度下地球表层系统的水文过程会发生深刻的变化,由此带来的水文统计值的极端值和突变时有发生。因此,本文将对陕北荒漠区榆林气象站降水序列的基本统计特征、变化规律以及突变点进行分析,研究其演变规律,定性分析陕北荒漠区降水量的演变规律及发展趋势。

关于陕北地区降水演变已有不少研究成果,王德丽等^[4]通过累积距平法、Mann-Kendall法对陕北地区近50年来的气候变化多尺度和突变进行了分析,得到陕北地区年降水量呈下降趋势,下降率为12.455 mm/10 a,年降水量在1974-1975年和2000年都发生了由少到多的突变。王涛等^[5]利用线性趋势法、Mann-Kendall突变检验法分析了陕北黄土高原地区近53年降水时空变化特征,得到陕北黄土高原地区有降水日数减少趋势显著,降水强度增加趋势显著,其它指数均呈不显著的减少趋势,降水强度于1984年发生增加突变,有降水日数于1980年发生减少突变。以往对陕北地区的降水规律研究多为年降水总体变化趋势及突变,并且区域较为广泛,本研究以陕北荒漠区为研究区域,并且选取了多个不同的降水指数,从各个角度对陕北荒漠区的降水量演变进行具体分析。本研究分析了陕北荒漠区的榆林气象站1951-2013年的年降水量、年最大日降水量、大于5mm和大于10mm的日降水量累计值、12个月的月降水量的基本统计值,以及持续性、趋势性、周期性和突变性,深化了对陕北荒漠区降水量演变规律的认识,可以为生态环境保护提供参考。

2 研究方法和数据

2.1 R/S法分析持续性

在R/S法持续性分析中,对于时间序列进行Hurst指数 H 值计算(计算公式见文献[6]),根据 H 值的大小,可判断时间序列趋势成分的持续性。对于不同的Hurst指数 H ,存在3种情况: $H = 0.5$ 时,表明时间序列变化是随机的; $0.5 < H < 1$ 时,表明过

程具有正的持续性,且 H 值越接近于1,正持续性越强; $0 < H < 0.5$ 时,表明过程具有反持续性,且 H 值越接近于0,反持续性越强^[6]。

2.2 Kendall秩次相关检验法分析趋势性

在Kendall秩次相关检验中,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(设为 k)。如果按顺序前进的值全部大于前一个值,这是一种上升趋势, k 为 $n(n-1)$;如果全部倒过来,则 $k = 0$,即为下降趋势。研究序列有无趋势成分,需进行检验,构造统计量 U (计算公式见文献[7])。当 n 增加, U 很快趋于标准正态分布。

2.3 功率谱分析法分析周期性

功率谱分析是从频率角度来分析非平稳序列内部各种周期振动结构的一种方法,它把不同频率的振动,按方差贡献大小进行分解,从而研究在序列中哪一种频率振动的贡献占优势。由于周期与频率是对应关系,用谱分析得到了占优势的频率,实质上就等于得到了在时域上占优势的周期(谱估计计算公式见文献[8])。谱轨迹的显著性检验是以样本的谱估计值与已知非周期过程谱密度做比较,分析它们差异是否显著。若显著,认为谱估计值不是非周期过程造成的,即有周期过程存在;若不显著,认为没有周期存在(谱的否定域上界、谱的平均值以及显著周期性周期的计算公式见文献[9])。

2.4 Mann-Kendall法分析突变性

Mann-Kendall统计检验法是一种非参数统计检验方法,首先计算 UF_τ ,同时以逆序列 $\{x_n, x_{n-1}, \dots, x_1\}$,令 $UB_\tau = -UF_\tau$ ($\tau = n, n-1, \dots, 1$),绘制 UF_τ 和 UB_τ 曲线图,若 UF_τ 和 UB_τ 曲线相交且交点在临界线之间($\alpha = 0.05, \pm 1.96$ 直线),则交点对应的时刻即为突变开始的时间(计算公式见文献[10])。

2.5 累积距平法分析突变性

在累积距平法中,距平是最常用的表示变量偏离正常情况的量,一组数据的某一个数 X_i 与均值之间的差就是距平。在诊断分析中,常用距平序列代替变量本身的观测数据,将 n 个时刻的累积距平值全部算出,即可绘出累积距平曲线,诊断出发生突变的大致时间(计算公式见文献[11])。

2.6 数据

对陕北荒漠区,选择榆林气象站的降水量观测数据进行分析。榆林气象站1951-2013年日降水资料来自中国气象科学数据共享服务网,数据系列长度为63年,经过质量控制后,各要素项数据的实

有率普遍在 99% 以上,数据的正确率均接近 100%。

3 结果分析

3.1 年降水量分析

对陕北荒漠区榆林气象站的多年降水量进行基本统计值计算,结果见表 1,榆林站年降水量的多年均值为 404.81 mm,平均降水量略大于半湿润区与半干旱区的分界值 400 mm,由 C_v 值可以看出,降水

量年际变化幅度不大。

表 1 榆林气象站年降水量基本统计量 mm

测站	多年 均值	极大值	极小值	极值比	不均匀 系数	C_v
榆林站	404.81	695.40	159.60	4.36	1.72	0.27

对榆林站的年降水量进行年际变化和年内分配的分析计算,结果如图 1 所示。

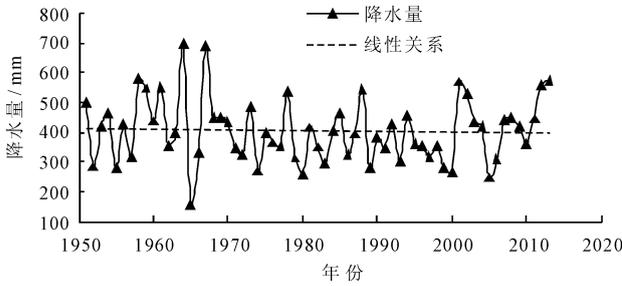


图 1 榆林站降水量年际变化及年内分配

降水量的年际变化情况显示,1951 - 2013 年降水量整体呈现一种缓慢的波动下降趋势,每年减少 0.30 mm,并且降水量在 1964 年达到最大值 695.40 mm,在 1965 年降至最低 159.6 mm,图中明显可以看出,在 20 世纪 60 到 70 年代间,降水量的变化非常剧烈,之后较为平缓。

降水量的年内分配情况显示,汛期 4 个月的降水量占到全年降水的 69.71%,而非汛期仅占

30.29%。进一步分析各月降水分配情况可知,全年在 7、8、9 三个月降水量最大,其中 8 月降水量就占全年的 27.17%,而 12、1、2 这 3 个月降水量最小,由此可见陕北荒漠地区降水多集中在夏季,冬季很少。

运用 R/S 法和 Kendall 秩次相关检验法分析降水量的持续性及趋势性,功率谱分析法分析周期,结合 Mann-Kendall 法和累积距平法判断突变。趋势性、持续性以及突变点的分析结果见表 2 和图 2。

表 2 榆林站降水量趋势性及持续性分析结果

序列	检验统计量 U	显著水平 α	临界值 $U_{\alpha/2}$	趋势性	H 值	持续性
最大日降水量	-0.36	0.05	1.96	不显著递减	0.69	正

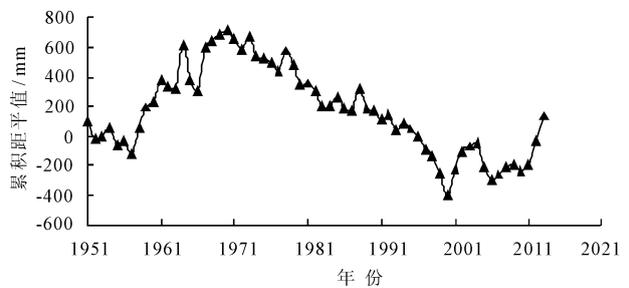
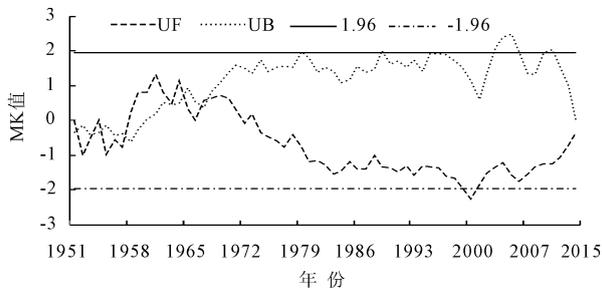


图 2 榆林站年降水量突变点诊断

榆林站年降水量的趋势性及持续性的分析结果显示,降水量表现为不显著递减的趋势,这与年际变化分析得到的缓慢下降趋势相符,计算得到 H 值为 0.69,介于 0.5 到 1 之间,表明序列呈现一种正的持续性。即榆林站年降水量表现为不显著下降趋势,

并在未来还将继续保持这种不显著递减的趋势。

功率谱分析法计算周期结果得到,由于自相关函数 $r(1) = -0.0536 \leq 0$,故对序列要按白色噪声谱来进行检验。波数为 8、信度为 0.05 时,平滑谱 1817.50 大于相应否定域上界 1707.76,故序列具有

显著的 2.66 年周期。

结合 Mann - Kendall 法和累积距平法分析榆林站年降水量的突变特征。在 M - K 检验中,若曲线 UF 与 UB 在置信区间内存在交点,那么交点对应的时刻就是突变开始的时间,若曲线 UF 随后还超出临界直线 ± 1.96 ,则认为降水量时序数据的突变特征能够通过 $\alpha = 0.05$ 的显著性检验^[12]。对于图 2 中的 M - K 检验曲线,1968 年的交点之后, UF 曲线下降至低于 -1.96 ,说明降水量产生了由多到少的显著性突变,同时结合累积距平曲线可以看出,在 1968 年前后出现了由增到减的明显拐点,而 1968 年之前 M - K 检验曲线中的交点均没有通过 $\alpha = 0.05$ 的显著性检验,且累积距平曲线中也没有明显的拐点。由此可得,榆林站年降水序列显著的突变

发生在 20 世纪 60 年代末。

3.2 最大日降水量分析

对陕北荒漠区榆林气象站 1951 - 2013 年降水的各年最大日降水量及发生的月份进行统计,最大日降水量年际变化及最大日降水发生在各月的比例见图 3。并对最大日降水量序列进行趋势性和突变点的分析计算,趋势性分析结果见表 3。

最大日降水量的年际变化分析可知,1951 - 2013 年榆林站各年的最大日降水量总体呈现一种波动的微弱上升的趋势,且年增长率为 0.02 mm/a ,最大值发生在 1951 年为 141.7 mm ,最小值发生在 1956 年为 17.2 mm 。最大日降水从全年来看最多发生在夏季的 7、8 月,其中发生在 8 月的比例占到全年 42.86% ,由此可见陕北荒漠地区暴雨集中在夏季。

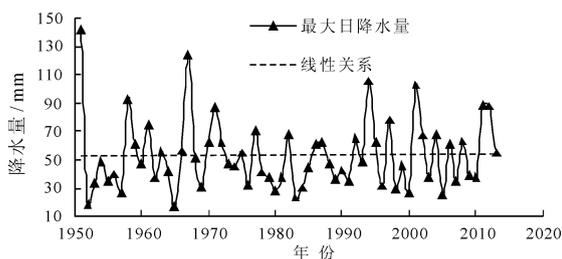


图 3 各年最大日降水量年际变化及最大日降水发生在各月的比例

表 3 榆林站最大日降水量趋势性分析结果

序列	检验统计量 U	显著水平 α	临界值 $U_{\alpha/2}$	趋势性
最大日降水量	0.61	0.05	1.96	不显著递增

对榆林站最大日降水量的趋势性及突变分析得到,1951 - 2013 年最大日降水序列表现为不显著递增趋势,与年际变化分析结果相符;最大日降水量序列无显著突变。

3.3 累计降水量分析

对 1 年中大于 5 mm 或 10 mm 的日降水量进行

累计,得到各年大于 5 mm 或者 10 mm 的累计降水量。对榆林气象站 1951 - 2013 年各年大于 5 mm 和大于 10 mm 的累计降水量进行统计,分析累计降水量的年际变化及趋势性,趋势性分析结果见表 4,并对累计降水量进行周期性的分析及突变点诊断。

表 4 榆林站累计降水量趋势性分析结果

序列	检验统计量 U	显著水平 α	临界值 $U_{\alpha/2}$	趋势性
大于等于 5mm 的累计降水量	-0.0415	0.05	1.96	不显著递减
大于等于 10mm 的累计降水量	-0.374	0.05	1.96	不显著递减

对大于 5 mm 和大于 10 mm 累计降水量进行年际变化和趋势性分析显示,累计降水量的多年均值分别为 333.51 mm 和 268.20 mm ,两个序列均表现为不显著递减趋势,且由年际变化分析可以看出两个序列波动幅度及变化情况非常相似,对降水量累

计值的周期性分析及突变点分析结果也是基本相同。

对大于 5mm 和大于 10 mm 累计降水量进行周期性分析,根据计算结果得到,大于 5 mm 累计降水量的波数为 8、信度为 0.05 时,平滑谱 1733.19 大于相应否定域上界 1578.46;大于 10 mm 累计降水量

的波数为8、信度为0.05时,平滑谱1622.16大于相应否定域上界1413.84。两序列均具有显著的3年周期。

对大于5 mm和大于10 mm累计降水量进行突变点诊断,结合两种方法,两个序列的MK与累积距平曲线变化趋势及形状基本相同,因此得到的结果也基本一致,显著的由多到少的突变均发生在20世

纪70年代初。

3.4 月降水量分析

对榆林气象站1951-2013年各月的月降水量进行分析计算,由线性回归分析得到线性相关公式的变化率系数 k 和确定性系数 R^2 ,如表5所示。并对汛期的7、8、9、10月这4个月的降水量进行突变点分析。

表5 榆林站月降水量与年份相关分析公式的系数及确定性系数

系数	月 份											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
k	0.0034 - 0.0132	0.0026 - 0.2002	0.0819	0.2046 - 0.1053 - 0.1859	0.1223 - 0.1405 - 0.0537 - 0.0171							
R^2	0.0003	0.0027	2×10^{-5}	0.0433	0.0040	0.0125	0.0014	0.0024	0.0045	0.0209	0.0085	0.0102

相关分析显示确定性系数都很小,各月降水量与时间的相关性很弱,1月、3月、5月、6月、9月降水量呈现递增趋势,其他月份均表现为递减趋势,其中变化率最大的是6月,增长率达到每年0.20 mm,变化率最小的是4月,降低率达到每年0.20 mm,总体上榆林站1951-2013年的月降水量的变化趋势不明显。

对汛期7、8、9、10月这4个月的突变点分析得到,汛期4个月均未发生显著突变。

4 结 语

本文对陕北荒漠区榆林气象站的年降水量、年最大日降水量、大于5 mm及大于10 mm累计降水量、月降水量这5项降水指标进行演变规律分析,得到如下结论:

(1)1951-2013年降水量表现为不显著递减趋势,并在未来还将继续保持这种不显著递减的趋势;汛期降水量占到全年降水的69.71%,其中8月降水量占到全年的27.17%,可知陕北荒漠地区降水多集中在夏季;年降水序列具有显著的2.66年周期;降水由多到少的显著突变发生在20世纪60年代末。

(2)全年中的最大日降水最多发生在夏季的7月和8月,其中发生在8月的比例占到全年的42.86%,可知陕北荒漠地区夏季多暴雨;年最大日降水序列表现为不显著递增趋势,与年际变化分析结果相符;最大日降水量序列无显著突变。

(3)大于5 mm和大于10 mm累计降水量多年均值分别为333.51 mm和268.20 mm,两序列均表现为不显著递减趋势,由年际变化分析可以看出两

个序列波动幅度及变化情况非常相似;大于5 mm和大于10 mm累计降水量序列均具有显著的3年周期;突变均发生在20世纪70年代初,且均为累计降水量由多到少的显著突变。

(4)月降水相关分析的确定性系数较小,各月降水量与时间的相关性较弱,其中1、3、5、6、9月降水量呈现递增趋势,其他月份均表现为递减趋势,总体来看月降水量的变化趋势不明显;对汛期7、8、9、10月进行突变分析可知,汛期4个月均未发生显著突变。

综上,陕北荒漠区榆林气象站的降水总体呈现递减趋势,且多为降水由多到少的突变,这可能对生态恢复有不利影响;陕北荒漠地区夏季多暴雨,由于地面多为黄土层覆盖,极易发生水土流失,对生态环境造成严重影响,因此还需大力加强对陕北荒漠地区的生态修复与水土保持工作。对于陕北荒漠地区降水演变的成因及生态修复等问题,有待今后的进一步研究和学习。

参考文献:

- [1] 李素英,李晓兵,莺歌,等.基于植被指数的典型草原区生物量模型-以内蒙古锡林浩特市为例[J].植物生态学报,2007,31(1):23-31.
- [2] Ubeyli E D, Elif Derya Guler Inan. Spectral analysis of internal carotid arterial Doppler signals using FET, AR, MA, and ARMA methods [J]. Computers in biology and medicine, 2004, 34(4): 293-306.
- [3] Bum D H, Hag Elnur M A, Detection of hydrologic trends and variability [J]. Journal of Hydrology, 2002, 255(1): 107-122.

江调水工程不宜取水时间增加 0.25 h 左右。

(3) 为减缓咸潮上溯对闽江下游水源地的影响, 建议采取优化水口水库调度方式, 同时开展闽江咸潮入侵预警工作。

参考文献:

- [1] 王世场, 程永隆, 戴枫勇. 闽江下游河床演变咸潮影响数值模拟[J]. 水利科技, 2010(4): 33-35.
- [2] 黄永福. 闽江下游河床演变与咸潮影响研究[C]// 华东七省(市)水利学会协作组第二十三次学术研讨会论文集厦门. 2010: 478-485.
- [3] 黄永福. 闽江下游咸潮变化趋势及对策研究[J]. 水利科技, 2010(3): 1-3.
- [4] Hamrick J M. A three-dimensional environmental fluid dynamics computer code: theoretical and computational aspects[M]. Virginia Institute of Marine Science, College of William and Mary, 1992.
- [5] 谢锐, 吴德安, 严以新, 等. EFDC 模型在长江口及相邻海域三维水流模拟中的开发应用[J]. 水动力学研究与进展(A辑), 2010, 25(2): 165-174.
- [6] 刘宝超, 李建平, 冯立成. 风影响夏季长江冲淡水扩展的数值模拟研究[J]. 海洋学报, 2013, 35(1): 25-37.
- [7] Jeong S, Yeon K, Hur Y, et al. Salinity intrusion characteristics analysis using EFDC model in the downstream of Geum River [J]. Journal of Environmental Sciences, 2010, 22(6): 934-939.
- [8] Pawlowicz R, Beardsley B, Lentz S. Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T_TIDE[J]. Computers & Geosciences, 2002, 28(8): 929-937.
- [9] 朱建荣, 顾玉亮, 吴辉. 长江河口青草沙水库最长连续不宜取水天数[J]. 海洋与湖沼, 2013, 44(5): 1138-1145.
- [10] 游小文. 闽江下游河床变迁与饮水安全预警[J]. 引进与咨询, 2006(9): 69+72.
- [11] 江传捷. 再论闽江下游河床演变及其水力条件的变化[J]. 水利科技, 2006(2): 7-9.
- [12] 程永隆. 闽江下游河床下切对水资源利用的影响[J]. 水利科技, 2005(1): 12-14.
-
- (上接第 70 页)
- [4] 王德丽, 殷淑燕, 王海燕, 等. 近 50 年陕北地区的气候变化[J]. 干旱区研究, 2011, 28(2): 262-267.
- [5] 王涛, 于冬雪, 杨强. 陕北黄土高原地区降水时空变化特征[J]. 水资源与水工程学报, 2014, 25(6): 24-28+33.
- [6] 王心睿, 刘登峰, 陈娜, 等. 渭河流域径流系数的演变规律研究[J]. 水资源与水工程学报, 2014, 25(3): 138-142.
- [7] 张珏, 王义民, 黄强, 等. 汉江上游石泉和安康水文站径流规律分析[J]. 水电能源科学, 2009, 27(1): 18-20.
- [8] 刘晓黎, 黄强, 吕玉洁, 等. 洮河流域径流变化特征分析[J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(9): 97-101.
- [9] 曹辉, 黄强, 畅建霞, 等. 黑河径流时空演变规律分析[J]. 水资源与水工程学报, 2008, 19(5): 69-72.
- [10] 李保敏, 张俊芝, 吴旭, 等. 基于 Mann-Kendall 法和有序聚类法的径流变化特征研究[J]. 河海水利, 2012(2): 37-38+44.
- [11] 杨东, 刘洪敏, 郭盼盼, 等. 1956-2008 辽宁省近 53 年的降水量变化[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(1): 96-101.
- [12] 曾丽红, 宋开山, 张柏, 等. 1960-2008 年吉林省降水量的时空演变特征[J]. 中国农业气象, 2010, 31(3): 344-352.