

1957 – 2010 年新疆克拉玛依市降水量的持续性和趋势性统计特征分析

傅丽昕

(水利部新疆水利水电勘测设计研究院, 新疆 乌鲁木齐 830000)

摘要:在克拉玛依市 1957 – 2010 年的年均降水量以及季节降水量资料的基础上,运用 Mann – Kendall 非参数统计检验以及 R/S 法和最小二乘法分析计算了年均降水量和各季节降水量的趋势性及 Hurst 指数,以统计计算结果估计未来降水量的变化趋势及其持续特征。结果表明:克拉玛依市年均降水量有显著增加的趋势,但其增加的持续性不强;春季和秋季降水量与年均降水量的趋势性与持续性相近,夏季降水量具有减少的趋势,且具有持续性;冬季降水量具有减少趋势,但减少趋势具有随机性。

关键词:降水量;趋势性检验;Hurst 指数;降水量变化特征;克拉玛依市

中图分类号:P333.1

文献标识码:A

文章编号:1672-643X(2014)04-0233-04

Analysis of statistic feature for duration and tendency of annual precipitation in Karamay city during 1957 – 2010

FU Lixin

(Xinjiang Investigation, Design and Research Institute of Water Conservancy and Hydropower of MWR, Urumqi 830000, China)

Abstract: Based on the data of annual precipitation and seasonal precipitation of Karamay from 1957 to 2010, the paper used non parametric statistical test of Mann – Kendall and R/S method and the least square method analyzed the trend and Hurst index of average annual precipitation and season precipitation, and estimated the variation trend and sustainable features of future precipitation. The results showed that the average annual precipitation of Karamay has significantly increased, but the persistence of the increase is not strong; the trend of spring and autumn precipitation is similar with persistent of annual precipitation, summer precipitation has a decreasing trend and persistent; winter precipitation has a decreasing trend, but the decreasing trend is random.

Key words: precipitation; trend test; Hurst index; precipitation feature; Karamay City

气候与水资源有着非常密切的关系,降水不仅是一个非常重要的气候因素,同时又是水资源的总来源。降水是影响水资源利用、农业生产管理、经济社会发展、生态系统管理的重要因素^[1]。研究区域及全球降水量的分布和变化规律,对于分析气候变化背景下的水循环以及气候预测等具有非常重要的意义^[2]。

气候变化趋势分析主要方法有线性倾向估计、累积距平、滑动平均、二次平滑、三次样条函数以及 Mann – Kendall 秩次相关法等。在水文、气象时间序列的非正态分布检验中,非参数检验方法比参数检验方法更为适合,因此常用基于秩的非参数 Mann – Kendall 统计检验方法来预测如水质、径流、温度、降

水等水文气象时间序列资料的明显趋势变化^[3]。英国水文专家 H. E. Hurst 在研究尼罗河水库水流量和贮存能力的关系时,提出了用重标极差 (Rescaled range analysis) R/S 分析方法来建立 Hurst 指数,并提出用 Hurst 指数度量趋势的强度和噪声的水平随时间的变化情况^[4]。R/S 分析的思路是改变所研究对象的时间尺度大小,考察其统计性的变化规律,这个方法在讨论长时间上的降水前后的关联是很有意义的。

克拉玛依市是国家重要的石油化工基地、新疆重点建设的新型工业化城市,具有得天独厚的发展优势。近几年由于克拉玛依油田开采规模的扩大以及生态农业灌溉面积的增加,使得区域内水资源供

需矛盾日益突出。受全球气候变化的宏观效应以及区域人类活动的影响,克拉玛依气候也由过去的暖干向暖湿逐渐转变。自 20 世纪 90 年代起,克拉玛依极端降水事件有增加的趋势^[5]。因此,了解当地的降水量变化特征,合理利用降水资源,对于避免极端降水造成的局地洪水以及由此引发的次生灾害、缓解水资源危机等方面都有着重要的意义。

本文选用克拉玛依气象站近 54 年的降水资料,运用 M-K 非参数检验及 Hurst 指数等分析方法,对克拉玛依市降水特征进行分析。

1 数据来源及分析方法

研究区选用克拉玛依市气象站 1957—2010 年 54 年的年降水量数据。为保证数据质量,在计算前,对数据的完整性、一致性进行了检验,并且进行了极值筛选工作,以确保数据的真实性、准确性、可靠性。

1.1 Mann-Kendall 非参数检验

Mann-Kendall 非参数统计是由世界气象组织推荐的应用于环境数据时间序列趋势分析的方法,已经广泛用于检验水文气象资料的趋势分析,包括水质、流量^[6]、气温和降雨序列等^[7]。其优势是不需要样本遵从一定的分部,也不受少数异常值的干扰,计算比较简便。

对于具有 n 个样本的时间序列 x ,构造变量 S :

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_i - x_j), \text{ 其中 } x_i \text{ 和 } x_j \text{ 分别为第 } i \text{ 年和第 } j \text{ 年的数值, } i > j, n \text{ 为系列的记录长度(个数), } \text{sgn}(x_i - x_j) \text{ 为表征函数。}$$

$$\text{sgn}(\theta) = \begin{cases} 1 & x_i - x_j > 0 \\ 0 & x_i - x_j = 0 \\ -1 & x_i - x_j < 0 \end{cases} \quad (1)$$

由下式计算统计检验值 Z_c :

$$Z_c = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & S > 0 \\ 0, & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & S < 0 \end{cases} \quad (2)$$

当 Z_c 为正值时表示序列为增加趋势,为负值时表示序列是减少趋势。 Z_c 的绝对值在大于或等于 1.28、1.64、2.32 时表示分别通过了信度 90%、95%、99% 显著性检验。

1.2 Hurst 指数分析

Hurst 及 R/S 分析原理:Hurst^[8] 在研究尼罗河流量时间序列的变化时,发现数据不服从布朗运动

及正态分布的特性,并于 1951 年提出了 Hurst 系数,用来定量表征时间序列的持续性或长期相关性,属于非参数检验分析方法,不必考虑数据的分布特征,一般采用 R/S 分析法^[9]来计算。

对于不同的 Hurst 系数 H ,序列对应着不同的趋势变化:当 $H = 0.5$ 时,标志着序列是随机的,未来的变化趋势不受现在影响; $H > 0.5$ 时,表示序列具有正持续性,未来的变化趋势与现在的变化趋势相同; $H < 0.5$ 时,表示序列具有反持续性,未来的变化趋势与现在的变化趋势相反;当 H 越接近于 1,表明序列正持续性越强; H 越接近 0,表明序列反持续性越强。一般通过 R/S 法分析计算 Hurst 指数值,定义极差与标准差的比值为 R/S。

Hurst 指数对时间序列的预测,具体描述如下: $x(t) (t \geq 1)$ 是时间序列 $X(i)$ 中的任一点,取时间间隔 k ,时间段 $(t+1, t+k)$ 内所有数据的平均值为 $\bar{x}(t, k)$,点 $x(t+u)$ 的离差累计为 $A(t, k, u)$,极差 $R(t, k)$,标准偏差为 $S(t, k)$, $1 \leq u \leq k$,各变量的具体算法为:

$$\bar{x} = \frac{1}{k} \sum_{u=1}^k x(t+u) \quad (3)$$

$$A(t, k, u) = \sum_{i=1}^k [x(t+i) - \bar{x}(t, k)] \quad (4)$$

$$R(t, k) = \max_{1 \leq u \leq k} [A(t, k, u)] - \min_{1 \leq u \leq k} [A(t, k, u)] \quad (5)$$

$$S^2(t, k) = \frac{1}{k} \sum_{u=1}^k [x(t+u) - \bar{x}(t, k)]^2 \quad (6)$$

Hurst 研究发现,用观察值的标准差除以极差(即重标极差)建立一个无量纲的比率,如果满足如下关系式:

$$\frac{R(k)}{S(k)} = (\alpha k)^H \quad (7)$$

式中: α 为常数,则时间序列存在 Hurst 现象; H 为 Hurst 指数。可以由最小二乘法拟合得出 H 值。

2 年降水量变化统计特征

1957—2010 年,克拉玛依市年均降水量为 144.6 mm,通过计算序列的 5 a 滑动平均值以及年降水量的距平值,可以反映降水量多年趋势变化特征和历年降水量与年平均降水量的关系,如图 1 所示。从克拉玛依市历年降水量的 5 a 滑动平均曲线可以看出,其降水量整体呈现在波动中不断递增的趋势,20 世纪 50 年代中后期至 60 年代初期、90 年代中期至 21 世纪初期,降水量波动较大,其余时段波动相对较平稳。从年距平曲线可以看出,共有 22 年的降水量距平值为正,约占统计年数的 41.5%,

其中 1960 年距平值最大,超过平均值 109.9 mm;另外 31 年的降水量距平值为负,约占统计年数的 58.5%,其中 1997 年距平值最小,低于年平均降水量 77.1 mm。从图 1 距平曲线可以看出,1990 - 2010 年这 20 a 中,降水量距平值小于 0 的年份只有 7a,其余年份均大于 0,这一现象正好符合图 1 中降水量 5a 滑动平均曲线说明的年降水量存在逐渐增加的趋势,与普宗朝等^[10]和沈伟^[11]分析结果一致。

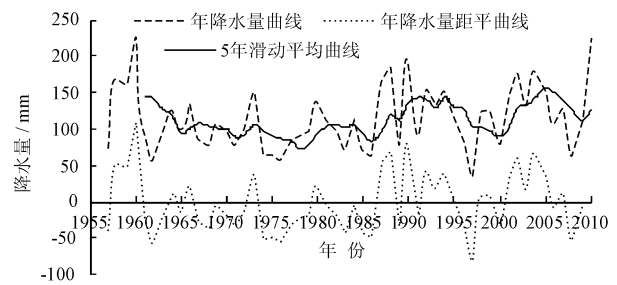


图 1 克拉玛依市 1957 - 2010 年年降水量变化曲线及距平曲线图

通过对 1957 - 2010 年,54 a 的年降水量进行 M - K 趋势检验及 Hurst 指数计算(表 1)后可知, Z_c 值通过 99% 的置信度检验,且 $H > 0$,说明降水量增加的趋势较为显著。 H 值为 0.64,在 0.5 ~ 1.0 之间且更接近 0.5,说明克拉玛依市降水量在未来时间是处于持续增加的趋势,但其持续能力不强。综合以上两点可以得出:克拉玛依市未来的年降水量整体上将呈现持续增加的趋势。

表 1 克拉玛依市 1957 - 2010 年年降水量趋势性 和持续性特征统计表					
参数	$\bar{x}$	Z_c	趋势	显著性检验结果	H
计算结果	114.60	4.77	递增	通过 99% 的置信度检验	0.64

3 各季节降水量统计特征

克拉玛依市月降水差异性非常明显,一般将 3 - 5 月划为春季、6 - 8 月为夏季、9 - 11 月为秋季、12 月至次年 2 月为冬季。1957 - 2010 年,54 a 中的四季平均降水量的分配比例见表 2 所示,其中夏季降水量占全年降水量的比例为 51.2%,其次为春季和秋季,冬季仅占年均降水量的 10.1%。由此可见,夏季降水量是四季中最高的,因而,夏季降水量的多少决定了全年降水量的丰枯状况。

由图 2 分析各季节降水量的变化情况可知,春、夏、秋、冬四季中,分别有 22、23、21、23 a 距平值为正值,其中四季出现降水量最大的年份分别为 1990、

1960、1979、2004 年。根据 1957 - 2010 年四季的 5 a 滑动平均曲线的走势,可初步推断春季和秋季降水量有上升趋势,而夏季和冬季降水量则有下降趋势。

表 2 1957 - 2010 克拉玛依市四季降水量比例分布 mm, %					
参数	春	夏	秋	冬	全年
平均降水量	25.2	58.68	19.14	11.57	114.6
所占比例	22.0	51.20	16.70	10.10	100.0

通过对 1957 - 2010 年,54 a 中四季平均降水量进行 M - K 趋势检验及 Hurst 指数计算(表 3)分析后可知,春季和秋季降水量的 Z_c 值均通过 99% 的置信度检验,且 $H > 0$,说明降水量增加的趋势较为显著; H 值为 0.66 和 0.68,在 0.5 ~ 1.0 之间,且接近 0.5,说明春季和秋季的降水量在未来时间是处于持续增加的趋势,但持续能力不强。而夏季降水量的 Z_c 值通过 99% 的置信度检验,但 $H < 0$,说明降水量具有减少的趋势, H 值为 0.68,在 0.5 ~ 1.0 之间,且靠近 0.5,说明夏季的降水量在未来时间是处于持续减少的趋势,但持续能力较弱;冬季降水量的 $Z_c < 0$,表明冬季降水量具有减少的趋势,但其未通过 90% 的置信度检验, H 值为 0.50,说明冬季降水量在未来的变化趋势是随机的,有可能增加也有可能减少。

表 3 克拉玛依市 1957 - 2010 年四季降水量趋势性 和持续性特征统计表					
参数	$\bar{x}$	Z_c	趋势	显著性检验结果	H
春季	25.20	3.28	递增	通过 99% 的可信度检验	0.68
夏季	58.68	-3.89	减少	通过 99% 的可信度检验	0.68
秋季	19.14	4.62	递增	通过 99% 的可信度检验	0.66
冬季	11.57	-0.35	减少	未通过检验	0.50

4 结果分析

根据以上计算分析可知:
(1)克拉玛依市年降水量整体呈现波动和不断递增的趋势,其增加的趋势较为显著。在未来时期克拉玛依市降水量仍然是处于持续增加的趋势,但其保持持续增加的能力并不强。
(2)克拉玛依市各季节降水差异性非常明显,夏季降水量是四季降水量中最高的,其次为春季和秋季,冬季降水量是四季中最少的。通过 M - K 趋势检验及 Hurst 指数计算,在未来时期,春季和秋季降水量处于增加的趋势,且具有持续增加的能力;夏季和冬季降水量处于减少的趋势,其中夏季降水量的减少趋势具有持续性,但其持续性较弱,冬季降水量具有减少趋势,但不具有持续性。

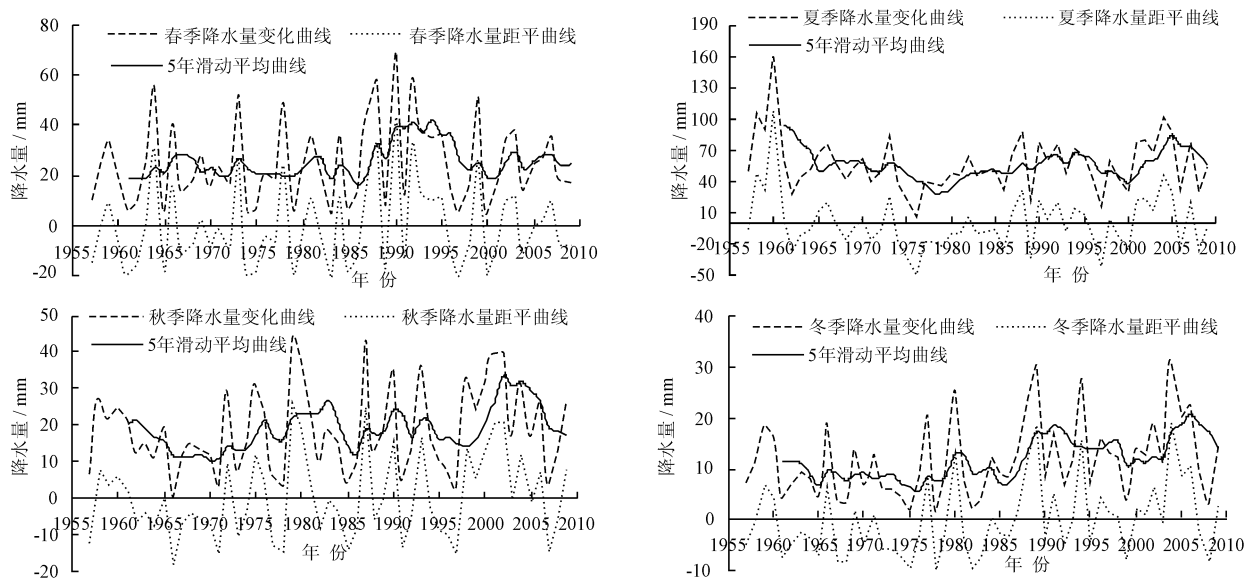


图2 克拉玛依市1957—2010年四季年降水量变化曲线及距平曲线图

克拉玛依市夏季降水量的多寡直接影响着年降水量的变化趋势,而本次研究发现夏季降水量呈现减少趋势,而多年平均降水量则呈现增加的趋势。造成这种情况出现的原因不仅仅是因为分析方法的局限性和数据序列的不平稳性,还有气候变化的影响,尚有待于结合气象资料进一步深入探讨和研究。

5 结 语

克拉玛依市当地基本不产流,可利用水资源量都属于外区流入,属于严重缺水型城市。本文通过对自然条件下的降雨资料收集、处理,分析了克拉玛依市未来降雨量呈现持续增加的趋势,这对于缓解当地的水资源危机、促进大农业和石油经济的发展具有良好的保障作用。然而,由于该区降雨量年内分配的不均匀性特征,无法保证城市降雨的合理利用和分配。因而,应对降水量变化对当地造成的影响,建议可采取以下对策:

(1)政府应积极调研,统一规划,综合协调,合理部署,加大投资建设节雨蓄水等农村小型水利设施,以充分利用雨季洪水资源。在有条件的地方多建旱井、集雨塘,科学选址,使集结的雨水发挥最大效益。

(2)在有条件的山区建立生态坝系,山坡植树,减少水土流失,沟地逐级建坝拦洪蓄洪,既减少洪水冲刷,又能有效利用汛期洪水。

参考文献:

[1] Ashiq M W, Zhao C, Ni J, et al. GIS-based high-resolution

spatial interpolation of precipitation in mountain - plain areas of Upper Pakistan for regional climate change impact studies[J]. Theoretical and Applied Climatology, 2010, 99(3-4): 239-253.

[2] 王晓霞,徐宗学,阮本清. 天津市降水量变化趋势的时空分布特征[J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(9): 92-96.

[3] 占车生,乔晨,徐宗学,等. 渭河流域近50年来气候变化趋势及突变分析[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2012, 48(4): 399-405.

[4] 傅丽昕,陈亚宁,李卫红,等. 近50a来塔里木河源流区年径流量的持续性和趋势性统计特征分析[J]. 冰川冻土, 2009, 31(3): 457-463.

[5] 周建荣,汪满贤,杨锐. 克拉玛依市1959-2008年降水变化的特征分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2010, 4(4): 31-35.

[6] Xu Z X, Chen Y N, Li J Y. Impact of climate change on water resources in the Tarim River basin[J]. Water Resource Management, 2004, 18(5): 439-458.

[7] Xu Z X, Takeuchi K, Ishidaira H, Long-term trends of annual temperature and precipitation time series in Japan[J]. Journal of Hydroscience and Hydraulic Engineering, 2002, 20(2): 11-26.

[8] Hurst H E, Black R P, Simaika Y M. Long-term storage: an experimental study [M]. London: Constable. 1965.

[9] 马宏伟,王乃昂,李卓仑. 近50年石羊河流域气候变化的R/S分析[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2010, 46(4): 42-45+57.

[10] 普宗朝,张山清,杨琳等. 1961-2008年新疆克拉玛依市气候变化分析[J]. 新疆农业大学学报, 2009, 32(4): 55-60.

[11] 沈伟. 1953-2008年新疆北部地区降水变化趋势分析[J]. 水资源与水工程学报, 2010, 21(4): 130-134.