

大伙房水库流域降水变化特征分析

任明磊 王本德

(大连理工大学 土木水利学院, 辽宁 大连 116024)

摘要: 采用五点滑动平均法、趋势系数法、Mann-Kendall 趋势检验法和方差分析法对大伙房水库流域 1951~2006 年的降水资料进行了分析。结果表明, 1980 年前年降水序列明显下降, 1980 年后微弱上升; 季降水序列中夏季降水与年降水变化基本一致, 秋季降水明显下降, 春、冬两季降水变化趋势不明显; 年降水和季降水序列均具有明显的周期变化规律。这些规律可为大伙房水库流域降水的中长期变化趋势估报提供参考。

关键词: 大伙房水库; 降水; 趋势; 周期

中图分类号: P426.61⁺4

文献标志码: A

大伙房水库位于抚顺市郊区, 肩负下游抚顺市和沈阳市的防洪、灌溉及城市供水任务。近年来, 随着城市化发展的深入, 下游城市对水资源的需求日益增加, 水资源的合理配置及调控显得日益重要。大伙房水库流域降水是该区水资源的重要补给源, 目前尚无针对该流域降水变化特性的研究, 因此探讨该水库流域降水量的变化特征和规律预测未来年或月的水文特征, 为水资源预测、决策提供技术支持等具有重要意义。

1 分析方法

水文时间序列包括确定性成分和随机成分两部分。确定性成分具有一定的物理概念, 其中趋势成分和周期成分是揭示水文时间序列内在自然规律的关键^[1]。

1.1 趋势成分计算方法

序列趋势是一种随时间增长而呈现系统而连续增加或减少的变化特性, 可能呈线性或非线性。趋势分析方法有线性倾向估计、累积距平、线性趋势回归、滑动平均、Mann-Kendall 秩次相关检验法^[2~4]、趋势系数分析法等。刘超等利用假设统计检验法分析并检验黄河上游干流唐乃河和支流洮河、湟水河、大通河四个流域近 30 a 的降雨径流变化趋势^[5]; 陈仁升等应用累积滤波器和秩次

相关法分析了甘肃河西地区近 50 a 气象水文序列的变化趋势^[6]; 彭梅香等使用一元线性回归方程分析了黄河中游泾渭洛河近 50 a 降水变化特点^[7]。这些研究采用以参数估计为主的各种趋势检验方法获得研究区的降水变化特征, 而非参数方法如 Mann-Kendall 方法则较少被使用, 且多用于对降水量的突变检验^[8~10]。由于分析和检验水文、气象时间序列非正态分布的数据使用非参数检验法比使用参数检验法更为适合^[11], 因此采用 Mann-Kendall 方法统计分析大伙房水库流域的降水趋势及采用滑动平均法和趋势系数分析方法进行相互验证比较。

(1) Mann-Kendall 检验法。通过计算 Kendall 统计量 τ 、方差 σ_τ^2 、标准化变量 M 判断序列变化趋势显著性:

$$\tau = 4P/[N(N-1)] - 1 \quad (1)$$

$$\sigma_\tau^2 = 2(2N+5)/[9N(N-1)] \quad (2)$$

$$M = \tau/\sigma_\tau \quad (3)$$

式中, P 为序列所有对偶观测值 ($X_i, X_j, i < j$) 中 $X_i < X_j$ 出现的次数; N 为序列长度。 M 为正, 序列具有上升或增加趋势; M 为负, 序列具有下降或减少的趋势。设显著性检验水平为 α , 其对应的临界值为 $M_{\alpha/2}$, 若 $|M| > M_{\alpha/2}$, 则序列发生显著的趋势性变化。

(2) 滑动平均法。将序列 $\{X_i\} (i=1, 2, \dots, n)$

收稿日期: 2008-02-16, 修回日期: 2008-09-02

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (50479056)

作者简介: 任明磊 (1983-), 女, 博士研究生, 研究方向为水文水资源研究, E-mail: minglireni@163.com

通讯作者: 王本德 (1938-), 男, 教授、博导, 研究方向为防洪系统控制理论与应用, E-mail: Wangbende380102@yahoo.com.cn

的总共 $2k$ 或 $2k+1$ 个相连值平均,求出新的序列 y_t 使原序列 $\{X_t\}$ 光滑化。新序列 y_t 为:

$$y_t = \frac{1}{2k+1} \sum_{i=-k}^k x_{t+i} \quad (4)$$

(3)趋势系数。是一个无量纲的量,定义为水文要素序列 $\{X_t\}$ ($i=1,2,\dots,n$) 与自然数序列间的相关系数:

$$r_{xt} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(i - \bar{t})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (i - \bar{t})^2}} \quad (5)$$

式中, $\bar{x}$ 为要素序列 $\{x_i\}$ 的均值; $\bar{t}$ 为自然数序列的均值; n 为时间序列 $\{x_i\}$ 的长度。若 $r_{xt} > 0$, 序列 $\{x_i\}$ 呈现上升趋势;若 $r_{xt} < 0$, 则呈下降趋势。

1.2 周期成分计算方法

采用无需筛选因子、广泛应用于中长期预报的方差分析法分析年和季降水序列中的周期成分。为消除趋势项和随机项非周期因素的影响,先对资料序列标准化,即将原序列值 $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ 除以序列标准差,所得新序列即为标准化序列,水文序列中除去周期和非周期的确定成分外的剩余成分,称剩余序列,由不规则的震荡和随机影响造成,就是具有原始状态或符合一致性条件的水文时间序列。计算步骤如下。

步骤 1 样本分组。假设样本序列有以 k 个时段为周期的周期成分,则可将序列 $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 按顺序每 k 年分成一组,共分 m 组。

步骤 2 定义服从自由度为 $k-1$ 和 $n-k$ 的 F 分布的 F 检验统计量为:

$$F = [Q_1^2 / (k-1)] / [Q_2^2 / (n-k)] \quad (6)$$

其中

$$Q_1^2 = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2, \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$$Q_2^2 = \sum_{j=1}^k m_j (\bar{x}_j - \bar{x})^2; Q_3^2 = Q_1^2 - Q_2^2$$

式中, Q_1^2 为总离差平方和; Q_2^2 为组内离差平方和; Q_3^2 为组间离差平方和。当 n 能被 k 整除时 $m_j = m$; 当 n 不能被 k 整除时, $m_j = m-1$ 。

步骤 3 识别周期。按上述方法计算 $F(k-1, n-k)$, 记为 F_{α} ; 给定显著性水平 α , 由 F 分布上侧分位数表查得 F_{α} 的值。若 $F_{\alpha} > F_{\alpha}$, 则认为有 k 年周期, 否则认为无 k 年周期。其中 α 根据水文观测资料的实际情况选择。

2 降水变化特征分析

2.1 基本资料

大伙房水库流域面积 $5\,437\text{ km}^2$, 最大河长 120 km , 处于辽河支流浑河中下游, 属温带季风气候。多年平均降水量 791.6 mm , 降水量年际变化较大, 年内分配差异更为明显, 主要集中在 $6\sim9$ 月, 约占全年降水量的 $70\%\sim80\%$ 。为分析整个坝址以上流域降水量的变化规律, 以浑河流域年鉴为依据, 选取 $1951\sim2006$ 年水情测报资料较为准确和完整的 10 个雨量站的降水资料, 采用面积加权平均法计算坝址以上流域的平均降水量。

2.2 年降水变化分析

由大伙房水库流域 $1951\sim2006$ 年的年降水量 5 a 滑动平均曲线(图 1)可看出: 水库流域年降水变化具有一定的周期性, 但周期及时间间隔并非固定。以 1980 年为转折点, $1951\sim1979$ 年降水量呈明显的下降趋势, 降水间年际波动小, 变化周期较短; $1980\sim2006$ 年降水量呈缓慢的上升趋势, 年降水波动较大, 其中最丰年份的降水量为最枯年份的 1.87 倍, 变化周期明显增长。

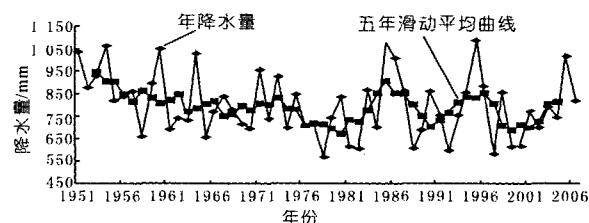


图 1 $1951\sim2006$ 年大伙房水库流域年降水变化

Fig. 1 Annual precipitation variation in

Dahufang Reservoir Basin from $1951\sim2006$

以 1980 年为界, 分两个阶段 ($1951\sim1979$ 年、 $1980\sim2006$ 年) 计算多年平均降水、趋势系数、Mann-Kendall 秩次相关检验法中的检验统计量 M_K 值, 结果见表 1。由表可见, $1951\sim1979$ 年的多年平均降水量大于 $1980\sim2006$ 年, 但 $1951\sim1979$ 年水库流域降水在 $\alpha=0.05$ 时呈显著减少趋势, $1980\sim2006$ 年降水量虽有所上升, 但增加趋势缓慢。经计算, $1951\sim1979$ 年年降水序列的标准差为 139.9 , 将序列除以标准差得标准化序列后, 利用方差分析法经程序运算得该系列在 $\alpha=0.05$ 时具有 4 a 的显著周期; 同理, $1980\sim2006$ 年年降水序列在 $\alpha=0.05$ 时不具有显著周期, 在 $\alpha=0.25$ 时具有 $10\sim11\text{ a}$ 的显著周期。上述

表 1 大伙房水库流域年际降水变化统计特征值

Tab. 1 Statistical eigenvalue of annual precipitation variation in Dahufang Reservoir Basin

年份	多年平均降水/mm	趋势系数	M_K
1951~1979	813.4	-0.503	-2.745
1980~2006	784.5	0.013	0.104

周期的存在有一定的物理意义,可能与海—气相互作用有关,也可能由太阳黑子活动所致^[12]。

2.3 季降水变化分析

根据水库所在流域的自然地理及气候特点,定义春、夏、秋、冬四季的降水量分别指 3~5 月、6~8 月、9~11 月、12 月~次年 2 月的累加降水量,近 60 a 各季的降水变化如图 2 所示。

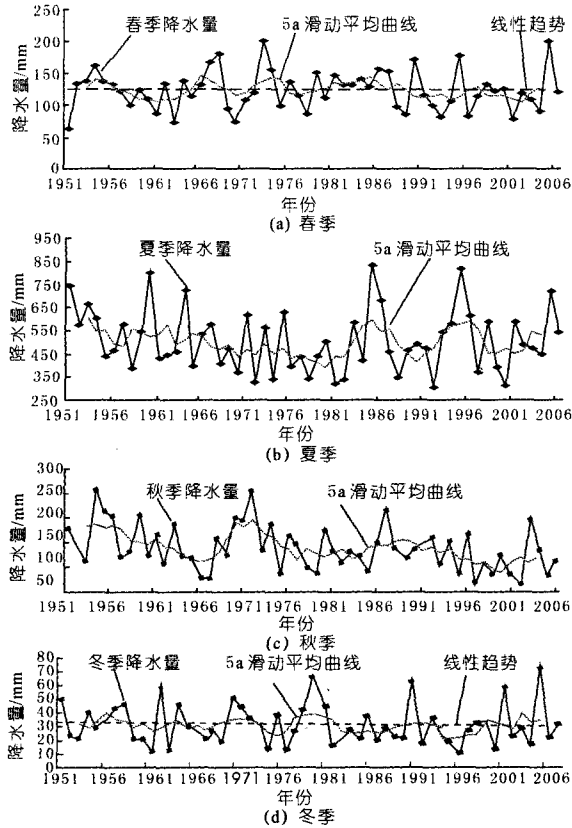


图 2 1951~2006 年大伙房水库流域季节性降水变化
Fig.2 Seasonal precipitation variation in Dahuofang Reservoir Basin from 1951~2006

由图可看出:①春季降水约占全年降水的 15.6%,且年际间变化不大,变差系数仅为 0.254,变化趋势及周期性不显著。②夏季降水对年降水的贡献最大,约占全年降水的 62.7%,其变化与年降水变化较一致:以 1980 年为转折点,在 1951~1979 年呈明显的下降趋势,降水年际间波动小,变化周期较短;1980~2006 年呈缓慢的上升趋势,降水年际波动较大,变化周期明显增长。分别计算两个阶段的多年平均夏季降水、趋势系数、检验统计量 M_K 值,结果见表 2。③秋季降水约占全年降水量的 17.7%。由 5 a 滑动平均曲线可看出:20 世纪 80 年代前秋季降水变幅相对较大,其变差系数为 0.331;80 年代后秋季降水年际间波动相对较小,其变差系数为 0.310。整个秋季降水序列有明显的下降趋势,且在 $\alpha=0.05$ 时具有 4~5 a 的显著变化周期。④冬季降水约占全

表 2 大伙房水库流域夏季降水变化统计特征值
Tab.2 Statistical eigenvalue of aestival precipitation variation in Dahuofang Reservoir Basin

年份	多年平均夏季降水/mm	趋势系数	M_K
1951~1979	506.6	-0.453	-2.439
1980~2006	507.1	0.110	0.896

年降水的 4%,为全年降水最少的季节。序列下降趋势不显著,但在 $\alpha=0.05$ 时呈现 10~11 a 的明显变化周期。

由表 2 可见,1951~1979 年与 1980~2006 年的多年平均夏季降水量基本相等,但水库流域 1951~1979 年夏季降水序列在检验 $\alpha=0.05$ 时呈显著减少趋势,1980~2006 年夏季降水序列有上升趋势,但上升趋势不显著。同样用标准化序列方差分析法,得 1951~1979 年夏季降水序列在 $\alpha=0.1$ 时具有 4 a 的显著变化周期;1980~2006 年夏季降水序列具有 10~11 a 的明显变化周期。

3 结语

分析大伙房水库流域降水的趋势性及周期性,有助于了解该流域年降水序列变化的总体特点、季节分布特征和变化规律,可为未来水情预报提供可靠依据,为水资源合理利用提供参考。

参考文献:

[1] 杨贵羽,周祖昊,秦大庸,等. 三川河降水径流演变规律及其动因分析[J]. 人民黄河,2007, 29(2): 42-44

[2] 任朝霞,杨达源. 西北干旱区近 50 年气候变化特征与趋势[J]. 地球科学与环境学报,2007, 29(1): 99-102

[3] 丁晶,邓育仁. 随机水文学[M]. 成都:成都科技大学出版社,1988.

[4] 肖志国. 几种水文时间序列周期分析方法的比较研究[D]. 南京:河海大学,2006.

[5] 刘超,秦毅,邓娜. 黄河上游主要干支流近期降水、径流统计特征变化分析[J]. 水土保持学报,2004, 18(1):96-99

[6] 陈仁升,康尔泗,杨建平,等. 甘肃河西地区近 50 年气象和水文序列的变化趋势[J]. 兰州大学学报(自然科学版),2002,38(2):163-170

[7] 彭梅香,谢莉,陈静,等. 黄河中游泾渭洛河近 50 年降水分布特征及其变化特点分析[J]. 陕西气象, 2003(1):19-23

[8] 姜逢清,朱诚,胡汝冀. 1960~1997 年新疆北部降水序列的趋势探测[J]. 地理科学,2002, 22(6): 669-672

[9] 李艳春,李艳芳. 宁夏近百年来的气候变化及突变分

