

乌云河流域径流变化及其影响因子分析

王绪娟¹, 门宝辉²

(1. 黑龙江省嘉荫县水务局, 黑龙江 嘉荫 153200; 2. 华北电力大学 可再生能源学院, 北京 102206)

摘要: 利用乌云河东风水文站月流量、月降水量和蒸发量资料, 通过计算水文和气象要素的变差系数、峰型度和丰枯率及气候倾向率等参数, 分析了乌云河径流的主要补给来源及降水和蒸发量等气候因子对径流的影响。研究结果表明: (1) 乌云河年径流的变差系数为 0.32, 其主要由融雪和夏季的降雨来补给, 径流年际呈逐渐降低的趋势发展, 春、夏、秋、冬四季、汛期及非汛期的流量均呈递减趋势, 而且汛期流量减少的最为明显; (2) 乌云河的降水量和蒸发量的年际变化也呈递减趋势, 蒸发量的减少趋势较为明显, 其气候倾向率达到了 $-175.0 \text{ mm}/10 \text{ a}$ 。分析认为, 降水量的逐渐减少可能是影响该流域流量逐渐降低的原因之一。

关键词: 乌云河; 变差系数; 峰型度; 丰枯率

中图分类号: P467 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2013)04-0035-06

Analysis of Runoff Variation and Its Impact Factors in the Wuyun River Basin

WANG Xujuan¹, MEN Baohui²

(1. Jiayin County Water Conservancy Bureau, Jiayin 153200, China;

2. Renewable Energy Institute, North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

Abstract: Based on the data of monthly flow, monthly precipitation, and monthly evaporation at the Dongfeng Station in the Wuyun River Basin, we analyzed the main water supply source to the runoff of Wuyun River and the effects of precipitation and evaporation on the runoff of Wuyun River through the calculations of variation coefficient, peak pattern degree, high and low runoff ratio, and the climate tendency rate of the hydro-meteorological elements. The results showed that (1) the variation coefficient of annual runoff is 0.32 in the Wuyun River, and the runoff is mainly supplied by snowmelt and precipitation in summer. The annual runoff decreases gradually in four seasons, flood season, and non-flood season, and the decreasing of runoff is more significant during the flood season; and (2) the precipitation and evaporation in the Wuyun River decrease annually and the climate tendency rate of evaporation is $-175 \text{ mm}/10 \text{ a}$. The analysis indicated that the gradual reduction of precipitation may be one of the reasons to cause the decreasing of runoff in the Wuyun River Basin.

Key words: Wuyun River; variation coefficient; Peak pattern degree; high and low runoff ratio

1 研究背景

径流的形成过程是水文、气象、地形、地貌、土壤、植被等多种因素相互作用的复杂过程。随着气候变化和人类活动的加剧, 径流的年际变化更加复杂。河川径流作为地表水资源的主要组成部分, 其量的变化直接关系到自然生态系统以及国民经济各部门的需水要求, 因此研究径流的年际变化趋势一直是水文水资源与流域研究的热点和难点问题。其中, 从影响径流形成的各个要素中分析其主要影响因素, 是研究径流年际变化规律的基础。

乌云河是黑龙江右岸的一级支流, 处于嘉荫县境内, 干流长度大约 141 km, 河流的下游设有东风水文站, 见图 1。目前对于该流域的水文水资源方面的研究较少。本文拟探究该河流的径流、降水、蒸发等水文序列的变化规律及其影响因素, 以便为将来进行水库、塘堰等水利工程的修建提供技术和数据支撑。

2 数据来源

东风水文站是乌云河上唯一的水文站, 于 1959 年开始

收稿日期: 2013-03-18 修回日期: 2013-07-11 网络出版时间: 2013-07-28

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20130728.1310.036.html>

基金项目: 水沙科学与水利水电工程国家重点实验室开放研究基金资助(sklhse 2013-A-03)

作者简介: 王绪娟(1975-), 女, 山东东阿人, 工程师, 主要从事水利工程建设与管理等工作。E-mail: wangxuajuan2005@163.com

通讯作者: 门宝辉(1973-), 男, 黑龙江绥化人, 副教授, 博士, 主要从事水文水资源的教学和科研工作。E-mail: menbh@126.com

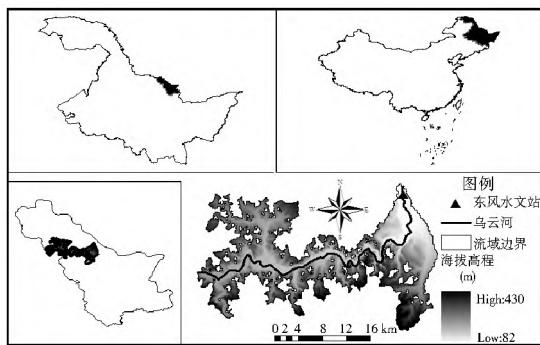


图 1 乌云河东风水文站位置及流域 DEM 图

Fig. 1 Location and DEM map of the Dongfeng hydrological station in the Wuyun River Basin

进行观测,至今已积累了 50 多年的水文资料。研究工作选取了东风站的逐月平均流量资料(1960 年-2009 年)、逐月降水量资料(1964 年-1987 年)和逐月蒸发量资料(1973 年-1987 年),详细情况见表 1。

表 1 东风水文站数据资料基本情况

Table 1 Basis information of the Dongfeng hydrological station

站名	站点类别	纬度	经度	数据类别	资料年限(年.月)
				月平均流量	1960.1-2009.12
东风	水文站	48°59'N	129°58'E	月降水量	1964.1-1987.12
				月蒸发量	1973.1-1987.12

3 研究方法

利用乌云河东风水文站的年平均流量、年降水量和年蒸发量的历史数据资料,通过计算各时间序列的变差系数 C_v 、差积曲线、径流量的峰型度与年丰枯率、气候倾向率等统计特征量,分析乌云河流域径流的变化规律以及气候因子(降水和蒸发)对径流的影响。

3.1 变差系数

变差系数 C_v 反映径流序列相对均值的偏离程度^[1-2]。变差系数利用公式(1)式来计算。

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (K_i - 1)^2 / (n-1)}{n}} \quad (1)$$

$$K_i = Q_i / Q, K_i = P_i / P \quad (2)$$

式中: n 为径流序列的长度(a); K_i 为第 i 年的径流变率; Q_i 为第 i 年平均径流量(m^3/s); Q 为多年平均径流量(m^3/s); P_i 为第 i 年降水量(mm); P 为多年平均降水量(mm)。

3.2 差积曲线

差积曲线又称为累积距平曲线^[3-4],在水文研究中,通过对累积距平曲线分析可以划分径流的丰水期、枯水期和平水期。一般采用式(3)来计算累积距平值。

$$R_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n (R_i - R) \quad (3)$$

式中: R 是时间序列 $\{R_i, i=1, 2, \dots, n\}$ 的均值; n 是时间序列 $\{R_i, i=1, 2, \dots, n\}$ 的长度; $i \in (1, n)$; $t \in (1, n)$ 。

3.3 峰型度与丰枯率

峰型度 α 值和丰枯率 β 值^[1,4] 可用来分析径流量的年内变化规律。峰型度 α 主要表征河流径流总量中季节积雪融水占高山冰雪融水加上雨水量的比重大小,而丰枯率 β 则表

征径流年变化过程中汛期与非汛期径流量之间所占的比重,即地下水补给量占年径流量比重大小。

$$\alpha = Q_{5-7} / Q_{8-10} \quad (4)$$

$$\beta = Q_{5-10} / Q_{11-4} \quad (5)$$

式中: Q_{5-7} 表示每年 5 月-7 月的径流总量或平均流量; Q_{8-10} 表示每年 8 月-10 月的径流总量或平均流量; Q_{5-10} 表示每年 5 月-10 月的径流总量或平均流量; Q_{11-4} 表示每年 11 月至翌年 4 月的径流总量或平均流量。

3.4 气候倾向率

气候因子随着时间上下波动频繁,但在长时间尺度上具有一定的趋势性。气候倾向率^[4-6] 就是反映气候因子随一定时间尺度变化的大小。

设某气象或水文要素序列资料为一个时间序列,可表示为 $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$, 它可以用一多项式来表示:

$$\hat{X}(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + \dots + a_p t^p \quad (6)$$

式中: t 为时间(a)。

一般说来,某一要素的气候趋势变化率方程可表示为:

$$\frac{d\hat{X}(t)}{dt} = a_1 \quad (7)$$

取气候倾向率为 $a_1 \times 10$, 其中 a_1 可用正交多项式或最小二乘法来确定:

$$\sum_{i=1}^n [X(t) - \hat{X}(t)]^2 = \min \quad (8)$$

4 径流的变化规律

4.1 径流的补给来源

通常情况下,由高山冰雪融水补给河流的径流变差系数 C_v 值一般是 0.10~0.12;高山冰雪融水和雨水混合补给的河流径流的变差系数 C_v 值为 0.12~0.20;季节积雪融水或雨水补给型河流径流的变差系数 C_v 值为 0.25~0.45。根据式(1)、(2)计算得到乌云河径流的变差系数 $C_v = 0.32$, C_v 值居于 0.25~0.45 之间,同时汛期 5 月-10 月的径流量占全年径流量的 85% 以上,因此,乌云河是季节性积雪融水和雨水等混合补给为主的河流。

4.2 径流的年际变化

从 1960 年-2009 年乌云河东风站年平均流量的变化曲线可见(图 2(a)),乌云河河流量丰枯交替比较频繁,而且在年际的正常波动中显示出明显的下降趋势。乌云河 50 年间出现了 5 次丰枯水年的循环过程(图 2(b))。若以流量距平百分率的绝对值 $\leq 20\%$ 为正常年,距平百分率 $> 20\%$ 和 $< -20\%$ 分别为丰水年和枯水年^[7-8],其中平水年有 21 年,丰水年和枯水年分别为 9 年和 20 年。平水年与枯水年基本相当,约占 40%,平水年主要出现于 20 世纪 60 年代,尤其是 1962 年-1966 年出现了连续 5 年的平水年组。而枯水年主要集中于 70 年代,1974 年-1979 年出现了连续 5 年的枯水年,另外是发生于 90 年代和 21 世纪头 10 年的连续 3 年枯水年,分别是 1998 年-2000 年和 2002 年-2004 年。从差积曲线来看(图 2(b)),20 世纪 70 年代中期流量呈增加趋势,到 1973 年达到极值,然后逐渐减少,到 70 年代末期降到极小值,进入 80 年代开始逐渐趋于平稳,90 年代的前 3 年呈增加趋势,从 1993 年开始,流量呈阶段性逐渐降低的趋势发

展。通过流量的气候倾向率得出, 流量以 $1.42 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot 10 \text{ a})$ 的速率减少, 50 年累计径流减少量为 $2.24 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

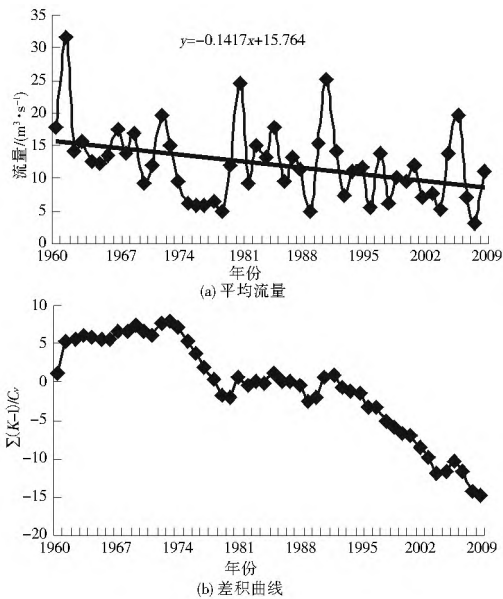


图2 乌云河东风站年平均流量时间序列(a)及差积曲线(b)
Fig. 2 Time series(a) and difference integral curve(b) of annual mean flow at the Dongfeng hydrological station in the Wuyun River Basin

另外, 经计算, 春、夏、秋、冬四季, 汛期及非汛期流量分别以 -1.86 、 -9.27 、 -4.99 、 -0.12 、 -15.35 、 $-0.88 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot 10 \text{ a})$ 的速率减少, 可见汛期的流量减少的最为显著, 而冬季的流量减少的最不明显, 见图3。

从乌云河东风站流量序列的峰型度 α (图4a) 和丰枯率 β (图4b) 的多年变化情况得知, 其峰型度除年际间正常的波动外, 呈现出逐年略微升高的趋势, 同时年丰枯率却表现为逐年减少趋势。乌云河流量峰型度和丰枯率的这一变化特征, 说明该流域雨水对流量的补给在减少而积雪融水对流量的补给在增加, 这与全球气候变暖、温度逐渐升高以及降水量逐渐减少有一定的关系。

5 气候因子对径流的影响

5.1 影响地表水资源变化的主要气候因子分析

通过水量平衡模式可以确定影响地表水资源及流量的主要气候因子^[9, 12]:

$$B = P - E - Q - W \quad (9)$$

式中: B 为水量平衡(mm); P 为流域平均降水量(mm); E 为流域蒸发量(mm); Q 为河流流量(mm); W 为土壤蓄水量(mm)。

由物质总量收支平衡原理可知, 当流域处于稳定状态时, 多年水量平衡 ΣB 应该为零, 则流量可表示为:

$$Q = P - E - W \quad (10)$$

式中: 土壤蓄水量 W 与前期影响雨量有直接的关系。由此可见, 影响径流变化的气象因子可以归结为降水量与蒸发量。下面就对降水量和蒸发量变化趋势进行分析。

(1) 降水量变化趋势。从乌云河东风站年降水量年际变化趋势可看出(图5a), 自1964年-1987年的24年来, 年降水量呈逐年减少的趋势, 其降幅达 $14.55 \text{ mm}/10 \text{ a}$ 。另外, 从降水量距平变化曲线看(图5b), 24年来降水距平百分率为

正、负值的年份基本持平, 其中正距平13次, 负距平11次。

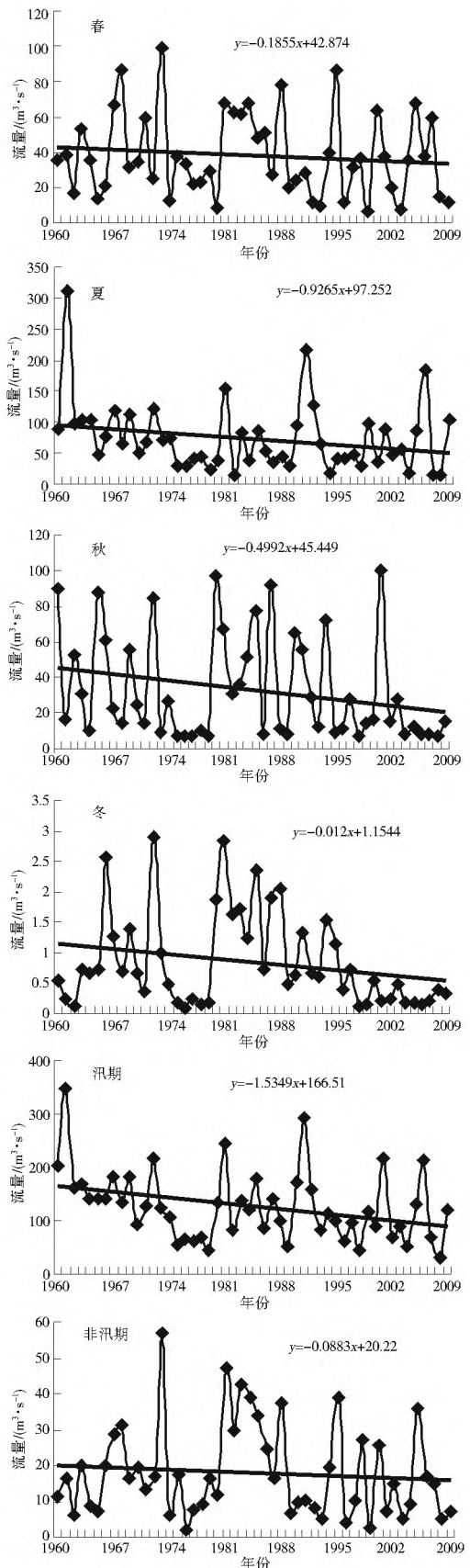


图3 乌云河东风站春、夏、秋、冬及汛期和非汛期年平均流量变化曲线

Fig. 3 Variation curves of annual mean flow of the Wuyun River in spring, summer, autumn, winter, flood season, and non-flood season

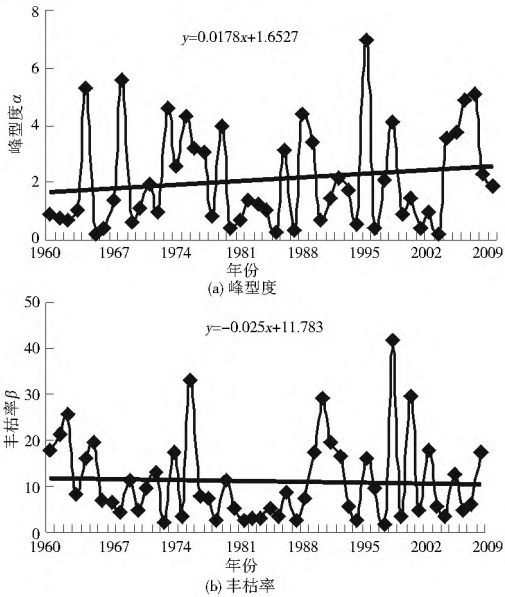


图 4 乌云河东风站峰型度 (a) 和丰枯率 (b) 历年变化曲线

Fig. 4 Annual variation curves of peak pattern degree (a) and high and low runoff rate (b) of the Wuyun River

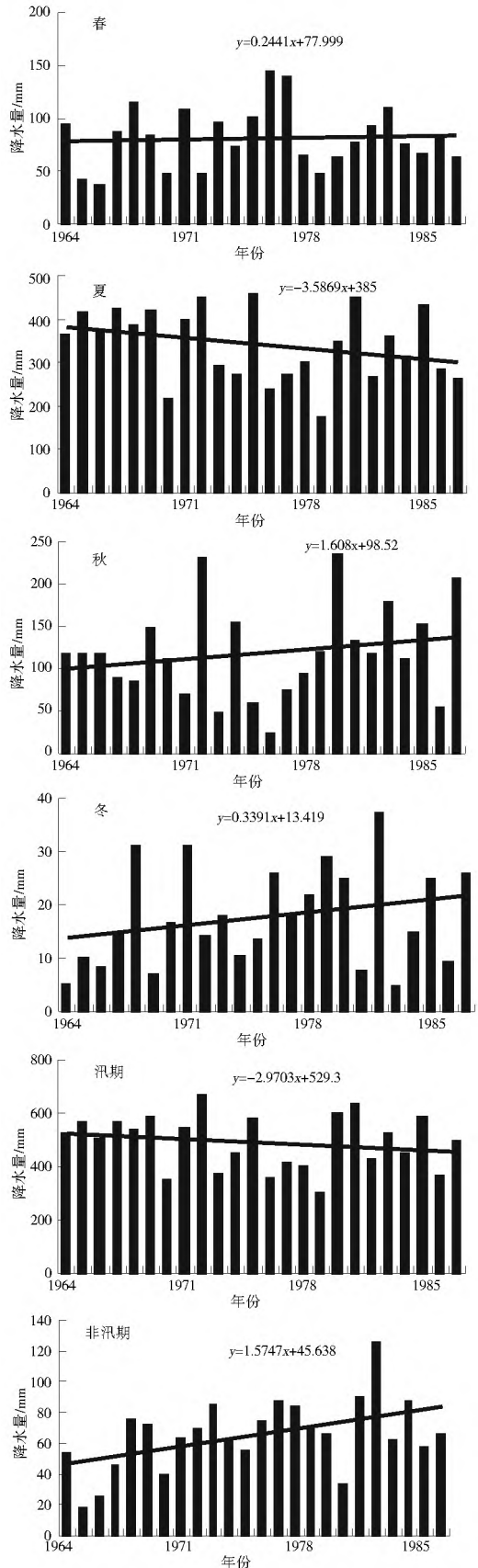
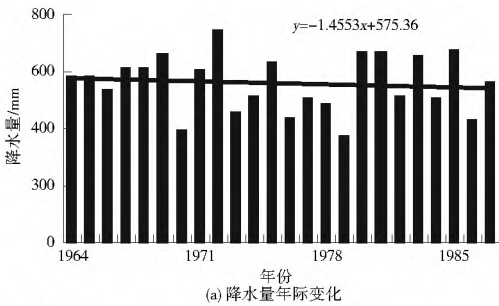
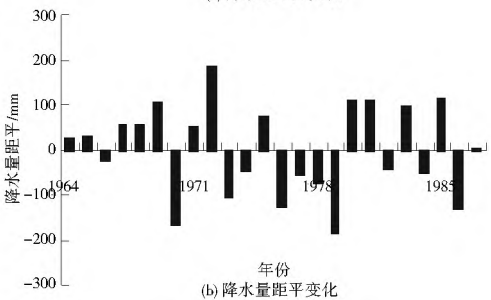


图 6 乌云河东风站春、夏、秋、冬及汛期和非汛期降水量年际变化曲线

Fig. 6 Variation curves of annual precipitation at the Dongfeng hydrological station in the Wuyun River Basin in spring, summer, autumn, winter, flood season, and non-flood season



(a) 降水量年际变化



(b) 降水量距平变化

图 5 乌云河东风站年降水量年际变化曲线 (a) 及降水量距平变化曲线 (b)

Fig. 5 Variation curve (a) and anomaly variation (b) of annual precipitation at the Dongfeng hydrological station in the Wuyun River Basin

春夏秋冬四季及汛期、非汛期降水量则分别以 + 2 44、- 35 87、+ 16 08、+ 3 39 及 - 29 7、+ 15. 75 mm/ 10 a 的速率增加或减少, 其中夏季和汛期的降水量减少非常明显, 而夏季的降水量减少幅度最大, 这也是乌云河流量呈减少趋势的主要原因之一, 见图 6。

(2) 蒸发量变化趋势^[13-14]。根据乌云河东风站 1973 年-1987 年蒸发量年际变化曲线(图 7(a))可知, 年蒸发量表现出逐年减少的趋势, 其气候倾向率为 175. 0 mm/ 10 a。从距平变化来看(图 7(b)), 从 20 世纪 80 年代开始基本呈负距平, 表明蒸发量减少的趋势非常显著。

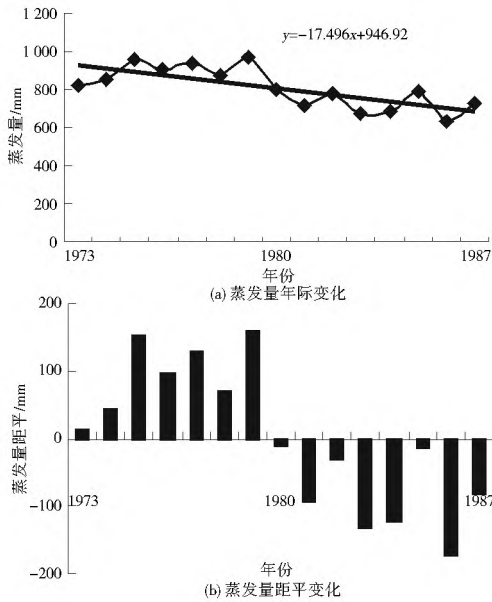


图7 乌云河蒸发量年际变化曲线(a)及距平变化曲线(b)
Fig. 7 Variation curve(a) and anomaly variation (b) of annual evaporation in the Wuyun River

5.2 气候因子对地表水资源的影响

(1) 降水量对地表水资源的影响。由乌云河年流量和年降水量归一化处理后的变化曲线可以看出(图8), 流量和降水量的变化规律非常接近, 径流的丰水期与多雨期基本保持一致, 径流量偏少的年份与少雨的年份也基本保持一致。同时, 降水量对径流的影响表现为持续性, 而径流对降水的响应却表现为滞后性。具体地说, 在连续几年降水量较少后出现连续几年的多雨年, 径流量虽然有所增加, 但增加的速率与降水量相比较为缓慢。

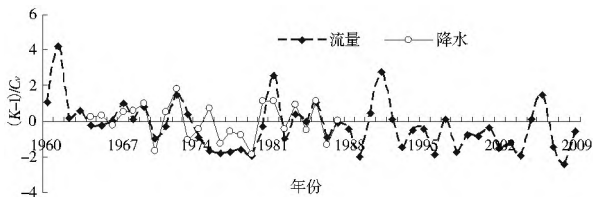


图8 乌云河年径流量和年降水量归一化年际变化曲线
Fig. 8 Normalized curves of annual flow and annual precipitation in the Wuyun River

为了说明径流与降水的关系, 表2列出了春、夏、秋、冬、汛期、非汛期及年径流与降水的相关关系^[19]。

由表2中数据可看出流量与降水量还存在以下两方面关系: 首先, 冬季的降水量与不同时段流量相关系数较低, 而且都不显著, 因为冬季乌云河的河流结冰, 所以冬季的流量对各时段的降水并不响应; 冬季的降水(降雪)除了与春季流量呈正相关之外, 均与其他时期的流量呈负相关; 其次, 夏季降水与除春季、非汛期以外的其他季节的流量关系的相关系数较高, 而且均通过了0.01和0.02信度的显著性检验, 并且夏、秋、冬季的流量与冬季及非汛期以外的各时期降水相关关系均较显著, 这表明夏季降水的多少在很大程度上决定着年径流的丰枯, 而秋季径流对降水量的响应更为敏感, 这一关系与流量和降水量的变化情况也比较一致, 降水量、

径流的降低分别以夏、秋季最为突出。

表2 降水量与径流量的相关系数

Table 2 Correlation coefficient between precipitation and runoff

径流量	降水量						
	春	夏	秋	冬	汛期	非汛期	年
春	0.39*	0.14	-0.4**	0.16	0.04	0.27	0.02
夏	-0.11	0.64***	0.25	-0.55**	0.62***	-0.19	0.58***
秋	-0.58**	0.39*	0.79***	-0.11	0.62***	-0.24	0.57***
冬	-0.42**	0.46**	0.66***	-0.19	0.61***	-0.07	0.60***
汛期	-0.27	0.71***	0.50**	-0.36	0.79***	-0.22	0.75***
非汛期	0.03	0.19	-0.04	-0.08	0.08	0.24	0.13
年	-0.23	0.67***	0.43**	-0.33	0.71***	-0.14	0.69***

注: 上标为*、**和***的相关系数分别通过了0.05、0.02和0.01信度的检验。

(2) 流域蒸发对地表水资源的影响。如上所述, 流域蒸发是水量平衡方程中的主要输出项, 根据式(9)、(10)可知, 径流、降水和蒸发三者因土壤需水量变化而彼此相互联系。当降水量一定时, 蒸发量的增大将使地表水资源的消耗量增加, 从而使河流径流量减少, 但是受到土壤蓄水量变化的影响, 乌云河自1973年以来流域的蒸发量呈逐年减少的趋势, 由图6a可知, 蒸发量的气候倾向率为-175.0 mm/10 a, 而降水量(图4a)的气候倾向率为-14.6 mm/10 a, 可见降水量的气候倾向率小于蒸发量的气候倾向率, 所以从径流量的年际变化来看, 径流量的变化趋势是减少的。

6 结论

根据乌云河东风站50年的月流量资料、24年的月降水量资料和15年的月蒸发量资料, 对该流域径流的补给来源及径流主要受哪些气象因子的影响等进行了分析, 初步得出了如下结论。

(1) 乌云河的径流主要以融雪和夏季的降水来补给, 年流量以每 $1.42 \text{ m}^3 / (\text{s} \cdot 10 \text{ a})$ 的速率逐渐递减, 50年累计径流量减少了 $2.24 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。春、夏、秋、冬四季、汛期及非汛期流量分别以每 -1.86 、 -9.27 、 -4.99 、 -0.12 、 -15.35 、 $-0.88 \text{ m}^3 / (\text{s} \cdot 10 \text{ a})$ 的速率减少, 其中汛期的流量减少的最为明显。

(2) 乌云河流域气候变化表现出降水量减少、蒸发减少的趋势。其中年降水量呈逐年递减的趋势, 其降幅为 $-14.6 \text{ mm} / 10 \text{ a}$, 而春、夏、秋、冬四季及汛期、非汛期降水量则分别以 $+2.44$ 、 -35.87 、 $+16.08$ 、 $+3.39$ 及 -29.7 、 $+15.75 \text{ mm} / 10 \text{ a}$ 的速率增加或减少。可见, 夏季和汛期的降水量非常明显, 其中夏季降水量减少的幅度最大, 这也是乌云河流量呈减少趋势的主要原因之一。蒸发量以 $175.0 \text{ mm} / 10 \text{ a}$ 的速率降低。蒸发量年际变化率可能与资料系列的长度有一定的关系, 因此还需要收集更长系列的资料来准确分析蒸发量的年际变化规律。

参考文献(References):

[1] 汤奇成, 曲耀光, 周丰超. 中国干旱区水文及水资源利用[M]. 北京: 科学出版社, 1992, 53-73. (TANG Qicheng, QU Yaoguang, ZHOU Jinchao. Hydrology and Water Resources Using

- at Drought Region in China[M]. Beijing: Science Press, 1992, 53-73. (in Chinese)
- [2] 门宝辉, 刘昌明, 夏军, 等. 南水北调西线一期工程调水区径流量与影响因子关系——以达曲为例[J]. 地理科学, 2006, 26(6): 674-681. (MEN Bao hui, LIU Chang ming, XIA Jun, et al. Runoff and Its Impacting Factors in the Water exporting Rivers of the First Stage Project of the South to North Water Transfer Scheme via the Western Route: A Case Study in Daqu[J]. Scientia Geographica Sinica, 2006, 26(6): 674-681. (in Chinese))
- [3] 李林, 汪青春, 张国胜, 等. 黄河上游气候变化对地表水的影响[J]. 地理学报, 2004, 59(5): 716-722. (LI Lin, WANG Qing chun, ZHANG Guo sheng, et al. The Influence of Climate Change on Surface Water in the Upper Yellow River[J]. Acta Geographica Sinica, 2004, 59(5): 716-722. (in Chinese))
- [4] MEN Bao hui, LIN Chun kun, LI Zhi fei, et al. Analysis of Runoff Changes of Niqu River in Water Diversion Area of Western Route Project of South North Water Transfer Project[J]. Nature Environment and Pollution Technology, 2013, 12(1): 111-114.
- [5] MEN Bao hui. Runoff Chaotic Characteristic Analysis of the South to North Water Transfer Scheme via the Western Route in the Water Exporting Region[C]. Fifth International Conference on Natural Computation, 2009: 505-508.
- [6] YANG Nan, MEN Bao hui, LIN Chun kun. Impact Analysis of Climate Change on Water Resources[J]. Procedia Engineering, 2011, 24: 643-648.
- [7] 马正耀, 胡兴林, 蓝永超, 等. 1965-2010 年白龙江上游径流变化特征研究[J]. 冰川冻土, 2011, 33(3): 612-618. (MA Zheng yao, HU Xing lin, LAN Yong chao, et al. Runoff Changes in the Upper Reaches of the Bailongjiang River during 1965-2010[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2011, 33(3): 612-618. (in Chinese))
- [8] 张利平, 曾思栋, 王任超, 等. 气候变化对滦河流域水文循环的影响及模拟[J]. 资源科学, 2011, 33(5): 966-974. (ZHANG Li ping, ZENG Si dong, WANG Ren chao, et al. Impacts of Climate Change on the Hydrological Cycle in the Luan River Basin[J]. Resources Science, 2011, 33(5): 966-974. (in Chinese))
- [9] 张利平, 陈小凤, 赵志鹏, 等. 气候变化对水文水资源影响的研究进展[J]. 地理科学进展, 2008, 27(3): 60-67. (ZHANG Li ping, CHEN Xiao feng, ZHAO Zhi peng, et al. Progress in Study of Climate Change Impacts on Hydrology and Water Resources[J]. Progress in Geography, 2008, 27(3): 60-67. (in Chinese))
- [10] 刘春葵, 刘志雨, 谢正辉. 近 50 年海河流域径流的变化趋势研究[J]. 应用气象学报, 2004, 15(4): 385-393. (LIU Chun kui, LIU Zhi yu, XIE Zheng hui. Study of Trends in Runoff for the Haihe River Basin in Recent 50 Years[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2004, 15(4): 385-393. (in Chinese))
- [11] 姚允龙, 吕宪国, 王蕾. 1956-2005 年挠力河径流演变特征及影响因素分析[J]. 资源科学, 2009, 31(4): 648-655. (YAO Yun long, LYU Xian guo, WANG Lei. Tendency and Periodicity of Annual Runoff of Naoli River from 1956 to 2005[J]. Resources Science, 2009, 31(4): 648-655. (in Chinese))
- [12] 王国庆, 张建云, 刘九夫, 等. 气候变化和人类活动对河川径流影响的定量分析[J]. 中国水利, 2008, (2): 55-58. (WANG Guo qing, ZHANG Jian yun, LIU Jiu fu, et al. Quantitative Assessment for Climate Change and Human Activities Impact on River Runoff[J]. China Water Resources, 2008, (2): 55-58. (in Chinese))
- [13] 燕爱玲, 黄强, 王义民. 河川径流演变的非趋势波动分析[J]. 水力发电学报, 2007, 26(3): 124. (YAN Ai ling, HUANG Qiang, WANG Yi min. Detrended Fluctuation Analysis of River Runoff Evolution[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2007, 26(3): 124. (in Chinese))
- [14] 张建云, 王国庆. 气候变化对水文水资源影响研究[M]. 北京: 科学出版社, 2007. (ZHANG Jian yun, WANG Guo qing. Study on the Impact of Climatic Change on Hydrology and Water Resources[M]. Beijing: Science Press, 2007. (in Chinese))
- [15] 黄嘉佑. 气象统计分析与预报方法[M]. 北京: 气象出版社, 2000: 24-25. (HUANG Jia you. Meteorological Statistical Analysis and Forecast Method[M]. Beijing: Meteorological Press, 2000: 24-25. (in Chinese))

(上接第 34 页)

- [10] 李义天, 赵明登, 曹志芳. 河道平面二维水沙数学模型[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001. (LI Yi tian, ZHAO Ming deng, CAO Zhi fang. Two dimensional River Flow and Sediment Mathematical Model[M]. Beijing: China Water Power Press, 2001. (in Chinese))
- [11] 王中华, 杨彦军. 石家庄滨河生态园高尔夫练习场防洪评价报告[R]. 河北浩川工程咨询有限公司, 2012. (WANG Zhong hua, YANG Yan jun. The Flood Control Impact Assessment Reporting of Shijiazhang Riverside Ecological Park' Golf Course[R]. Hebei Hao Chuan Engineering Consulting Co., Ltd, 2012. (in Chinese))