

浑河流域降水与径流变化特征及同步性分析

刘伟, 何俊仕, 陈杨

(沈阳农业大学 水利学院, 沈阳 110161)

摘要:为了科学预测浑河流域降水对径流的影响,利用浑河流域 1956—2011 年 56 年的逐月降水与径流资料,借助累积距平、滑动平均等方法分析了浑河流域降水量与径流量的变化趋势及时间尺度上的相关性。结果表明:(1) 浑河流域降水集中在 6—9 月(7 月最大),径流集中在 7—8 月,且流域降水年内分配的不均匀性由上游至下游逐渐递增,而径流年内分配的不均匀程度总体呈现由上游至下游逐渐减小的趋势。(2) 浑河流域降水量与径流量的相关系数为 0.682,累积距平曲线和滑动平均曲线均显示浑河径流量与降水量的年际变化趋势是一致的,70 年代之前好于 70 年代之后,丰水年份好于枯水年份。结合累积距平曲线和滑动平均曲线分析得出浑河流域降水量和径流量具有较高的相关性,可为浑河流域水资源的可持续利用及区域社会经济的永续发展提供科学依据。

关键词:降水量;径流量;变化趋势;浑河

中图分类号:P333

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2016)01-0150-05

Variation Characteristics and Synchronicity Analysis of the Precipitation and Runoff in Hunhe River Basin

LIU Wei, HE Junshi, CHEN Yang

(College of Water Conservancy, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China)

Abstract: To forecast the effect of precipitation on runoff scientifically, the change trend and the correlation time scales of basin precipitation and runoff in Hunhe River basin are analyzed with the help of accumulated anomaly and 5-year moving-average method based on the monthly data of precipitation and runoff in Hunhe River basin within 56 years(1956—2011). The results showed that: (1) the precipitation and runoff concentrated from June to September (especially in July), and runoff concentrated from July to August, the precipitation inhomogeneity increased gradually from upstream to downstream within a year, but the non-uniform of runoff decreased from upstream to downstream; (2) the correlation coefficient between precipitation and runoff in Hunhe River basin was 0.682, both the cumulative departure curve and moving average curve showed that the inter-annual variation trend of runoff and precipitation in Hunhe River basin were consistent, and the trend was more obvious after 1970s than before 1970s, more obvious in wet years than in dry years. The conclusion of runoff highly correlated with the precipitation is presented, which can provide scientific basis for the sustainable utilization of water resources and regional society and economy sustainable development in Hunhe River basin.

Keywords: precipitation; runoff; change trend; Hunhe River

降水是水文要素在时空上发生变化的重要影响因素,也是径流形成的首要环节。降雨在河槽水面上的雨水可以直接形成径流。近几十年受气候变化和人类活动的双重影响,区域水循环过程发生了明显的变化^[1-2],其中以降水的频率与强度变化最为明显。王厚杰等研究了黄河径流量的变化情况,发现黄河径流在降水量减少和用水量剧增的共同影响下减小显

著^[3]。降水和径流的改变将会对流域的可持续发展造成直接影响,而研究区径流来源主要为降雨径流,而在浑河流域,沿岸大小数十个排污口持续排污,要保证流域的可持续发展,降雨就尤为重要。所以,研究流域降水量的变化趋势,分析径流量的变化趋势是否与降水量的变化趋势一致,研究降水与径流的变化是否同步,这将在预防流域洪涝灾害、维护流

域水资源的可持续利用方面发挥重要作用。

浑河为辽河支流,属于不对称水系。近年来,很多学者对浑河土地利用和覆被变化、治污排污等方面做了大量研究,但对流域降水、径流的变化趋势等方面研究较少。本文以浑河流域为研究对象,利用滑动平均法、累积距平法等方法分析浑河 1956—2011 年降水与径流的年内、年际变化特征,探讨降水变化对径流变化的影响,分析径流对降水的响应,从而为浑河流域水资源的可持续利用及区域社会经济的持续发展提供科学依据。

1 研究区概况

浑河流域地处辽宁中部(北纬 122.13°—125.21°,东经 40.71°—42.17°),南邻太子河,北接辽河,东与浑江毗邻,为辽河支流。全长 415.4 km,流域面积 11 481 km²。浑河为不对称水系,东侧支流密集,水量丰富,西侧支流很少,水量不大,浑河流域水系图参见图 1。

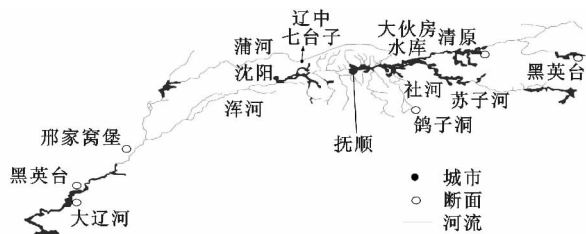


图1 浑河流域水系图

浑河流域属温带大陆性季风气候区,冬季寒冷漫长,夏季炎热多雨,春季干燥多风沙,秋季历时短,年内温差较大^[4]。流域多年平均降水量 718.3 mm,年径流量 30.52 亿 m³。流域内降水时空分布极不均匀,地区分布差别较大,东多西少,由东向西逐渐递减,蒸发量则西南向东北呈递减状态;降雨集中在 7—8 月,且尤以 7 月下旬至 8 月上旬为暴雨集中期,同时降水年际变化大。流域生成暴雨天气系统的主要有西南系统(台风、华北气旋、渤海气旋)、西北系统(高空槽、冷峰)和东北系统(东北低压倒槽)。

2 资料来源与研究方法

2.1 数据来源

本研究所用降水数据和水文资料为浑河干流北口前站、抚顺站、沈阳站、黄腊坨站和邢家窝棚站 5 个雨量站 1956—2011 年 56 a 逐月降水量资料以及逐月径流量资料。

2.2 研究方法

2.2.1 滑动平均 滑动平均用时间序列的平滑值来显示变化趋势,是趋势拟合技术的基础方法。对样本量为 56 a 的降水、径流序列,计算其 7 a 滑动平均序列,可表示为

$$x_j = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k x_{i+j-1}, j=1, 2, \dots, n-k+1 \quad (1)$$

式中: k ——滑动长度,在本研究中取 7。经过滑动平均后,序列中短于滑动长度的周期大大削弱,显现出变化趋势^[5]。

2.2.2 累计距平 累计距平是一种常用的由曲线直观判断变化趋势的方法^[5]。对降水、径流序列,其某一时刻 t 的累计距平可表示为

$$x_t = \sum_{i=1}^t (x_i - \bar{x}), t=1, 2, \dots, i, \dots, 56 \quad (2)$$

式中: \bar{x} ——降水、径流序列的平均值,将 56 a 来降水、径流序列的累计距平值全部算出,即可绘制出降水、径流序列的累计距平曲线,分析降水、径流序列的长期演变趋势。

2.2.3 不均匀系数 采用年内分配不均匀系数 C_v 来评价降水、径流年内分配的不均匀性。 C_v 值越大,说明年内各月降水量、径流量相差越悬殊, C_v 值越小,说明年内各月降水量、径流量越均衡。降水量和径流量年内分配不均匀系数 C_v 的计算公式如下:

$$C_v = \sigma / \bar{P} = \frac{\sqrt{\frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} (P_i - \bar{P})^2}}{\frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} P_i} \quad (3)$$

$$C_v = \sigma / \bar{R} = \frac{\sqrt{\frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} (R_i - \bar{R})^2}}{\frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} R_i}$$

式中: P_i ——各月降水量; \bar{P} ——月平均降水量; R_i ——各月径流量; \bar{R} ——月平均径流量^[5-6]。

2.2.4 相关性分析 相关性分析可参照董晓辉等^[6]关于降水、径流相关性的计算方法,公式为:

$$\rho_{x,y} = \frac{\text{cov}(x,y)}{\sigma_x \cdot \sigma_y} \quad (4)$$

$$\text{cov}(x,y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - u_x)(y_i - u_y) \quad (5)$$

$$-1 \leq \rho_{x,y} \leq 1 \quad (6)$$

式中: x, y ——逐年降水量系列和水文测站的逐年径流系列; x_i, y_i ——逐年降水量系列和水文测站的逐年径流量系列中的单一数据值; u_x, u_y ——逐年降水量系列和水文测站的逐年径流量系列的均值; n ——系列长度(本研究中取 $n=56$); σ_x, σ_y ——逐年降水量系列和水文测站的逐年径流量系列的标准差。 $\rho_{x,y}$ 绝对值的大小表征的是逐年降水量系列与水文测站的逐年径流量系列的线性相关程度。当 $\rho_{x,y}$ 绝对值越大,则逐年降水量系列和水文测站的逐年径流量系列的线性相关程度较好,反之亦然。当 $\rho_{x,y}=0$ 时,逐年降水量系列和水文测站的逐年径流量系列不相关。

3 结果与分析

3.1 降水与径流年内特征协同分析

3.1.1 降水与径流年内分配比例 分析降水量在年内各月份的分配情况可以发现(图2),浑河干流各雨量站6—9月份为年降水量比较集中的时期,占全年降雨量的72.7%,其中均以7月份降水量最大,其次分别为8月份、6月份和9月份。7月份均超过年降水量的25%,平均达到26.7%,而抚顺和邢家窝棚7月份降水量更是占到全年降水量的27.3%和27.4%;8月份除邢家窝棚站全年降水量的26.2%外,其余各雨量站降水量占全年降水量的比例均超过年降水量的20%,平均为23.2%;6月份各雨量站降水量占全年降水量的11.5%~14.7%;9月份各雨量站降水量较

5月份略大,平均占全年降水量的9.4%。而12月到次年3月份降水量所占比例最小,各雨量站平均仅为8%,是研究区域一年当中降水较少的时段。

分析各水文测站径流的年内分配情况可以看出(图3),各测站年最大径流量多集中在7—8月份,其中又以8月份流量最大,流域各测站8月份径流量约为全年平均径流量的3.3~3.9倍,平均为3.6倍。以浑河上游北口前水文站为例,其多年平均径流量8月份最大,仅次于的7月份多年平均径流量不及8月份的70%,9月份约为8月份的1/3。浑河中游的抚顺、沈阳两站年径流最大月份集中在6—9月,其中以8月份最大。下游的黄腊坨和邢家窝棚年径流量主要集中在7—8月两个月,其中邢家窝棚8月份径流量尤为集中,约为同测站7月份径流量的2倍。

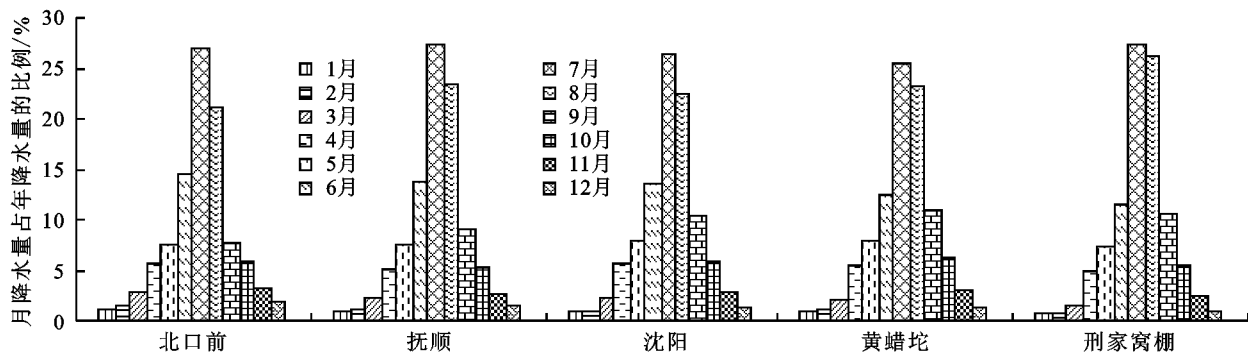


图2 浑河流域各月降水量占年降水量比例

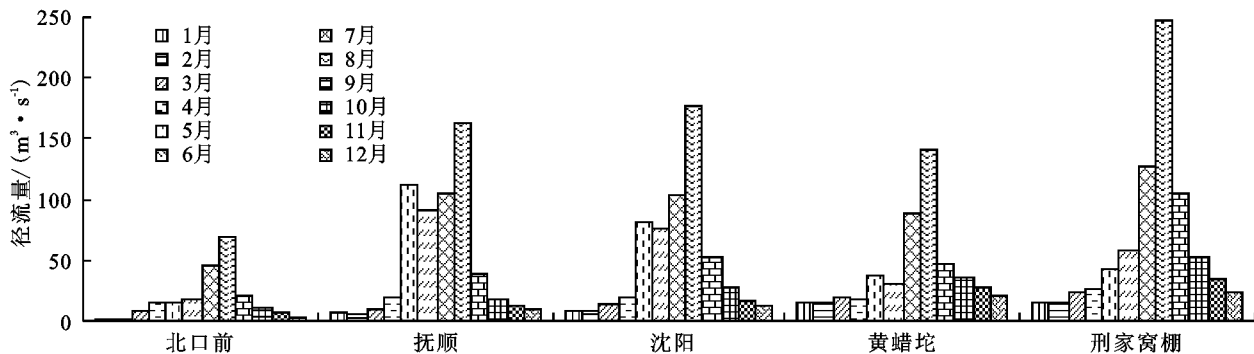


图3 浑河流域河川径流年内分配

从降水量和径流量的年内分配来看,降水量主要集中在6—9月,其中7月份是降水量最大的月份,超过年降水量的25%;流域径流量主要集中在7—8月,其中又以8月份最为集中。降雨量和径流量年内分配具有相似的特征,但在下游测站表现最为突出,中游次之,与降水年内分配特征相比,径流年内分配更为集中。

3.1.2 降水量年内分配不均匀性 采用年内分配不均匀系数 C_v 来评价降水、径流年内分配的不均匀性。 C_v 值越大,说明年内各月降水量、径流量相差越悬殊, C_v 值越小,说明年内各月降水量、径流量越均衡。浑河北口前站、抚顺站、沈阳站、黄腊坨站和邢家窝棚站5个雨

量站的多年平均降水量不均匀系数 C_v 分别为1.066, 1.152, 1.147, 1.120, 1.242, 其中最大的为邢家窝棚,其次分别为抚顺站和沈阳站,最小的为北口前站。这就说明浑河干流年内降水量分配最不均匀的为下游邢家窝棚站,其次为中游抚顺、沈阳,降水量年内分配最均匀的为浑河上游。5个水文站中,上中游的口前站和抚顺站年内分配不均匀系数 C_v 值较高,中游的沈阳站 C_v 值约为1.104,下游的黄腊坨站和邢家窝棚站径流量年内分配不均匀系数 C_v 值分别为0.885, 0.934, 整个浑河干流径流量年内分配不均匀系数 C_v 值总体呈现由上游至下游逐渐减小的趋势,这与降水量年内分配不均匀系数 C_v 值的变化趋势恰好相反(图4)。

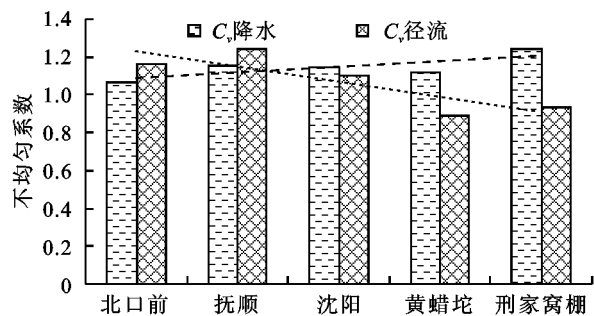


图4 浑河降水量年内分配不均匀系数

3.2 降水与径流年际变化趋势协同分析

3.2.1 累积距平 采用时间序列累积距平线分析浑河径流量与降水量的年际变化特征,当距平值增加时,累积距平曲线呈上升趋势,表示径流量和降水量为增加趋势;当距平值减小时,累积距平曲线就表现为下降趋势,说明径流量和降水量具有减小趋势。同时,根据累积距平曲线的上下波动情况,可以判断长期显著的演变趋势,甚至可判断序列发生突变的大致时间。

图5累积距平曲线十分直观、清晰地表现出近56 a来浑河降水量与径流量的显著波动。浑河流域降水量在1956—1976年属于交替变化且振幅不大,但在1977—2011年波动剧烈,具体是在1977—1981年下降后于1982—1988年转变为迅速上升,而在1988—1993年交替的小幅下降后,于1994—1996年大幅上升到历年峰值,在1996年后,一直处于下降趋势,在2009年开始回升。浑河流域径流1958—1976年也表现为丰枯交替变化且振幅不大,1977—2006年表现为长周期减少短周期回升趋势,累积距平线接近于水平趋势,变化不大。总体来讲,径流变化较降水变化小,1956—1958年浑河径流量与降水量变化存在较好的一致性,1958—1976年径流与降水虽均交替变化但径流振幅较小,1977—2006年径流主要表现长周期特征而径流则在长周期变化中还包含小幅振荡的短周期。这表明径流变化在受降水影响的同时还具有一定的调节作用。

3.2.2 滑动平均 由图6可以看出,20世纪50年代中期至60年代中期,浑河降水量呈逐渐下降趋势。20世纪70年代初期至末期逐渐下降到低点后逐渐上升在80年代初期达到最高点,在80年代初期到90年代末期,虽略有浮动,但是总体呈下降趋势,在90年代末期达到最低值后一直处于少雨阶段,并持续至今,虽有小幅波动,但无明显的上升或下降趋势。而浑河径流量在20世纪50年代中期至60年代后期也呈下降趋势;同样,在20世纪70年代初期至末期逐渐下降到最低点后,逐渐上升,在80年代初期达到一个较高点,在80年代初期到90年代初期,呈波动变化,到90年代后

期至今则为持续上升趋势。但总体上讲,浑河径流量与降水量的变化趋势是一致的,1971年之前降水和径流变化一致性很高,70年代之后径流和降水的峰谷变化趋势一致,但峰值的丰水年份径流与降水一致性好于谷值的枯水年份,说明在降水偏丰的年份降水对径流的影响更为明显,可能是气候变化和人类活动等其他因素对枯水年份的降雨径流关系影响较大。

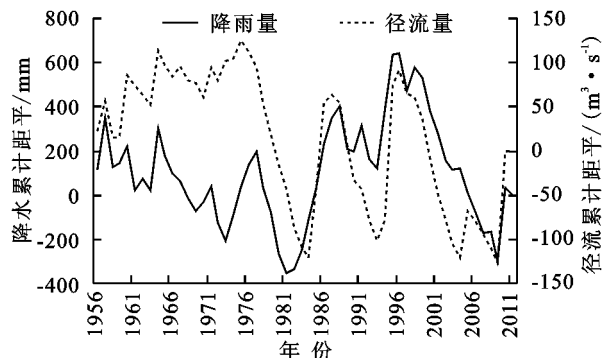


图5 浑河降水量与径流量的累积距平

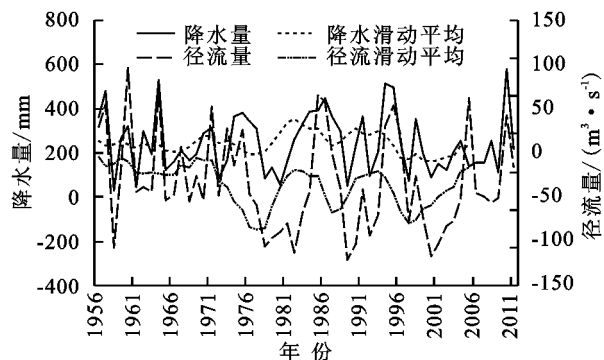


图6 浑河流域降水与径流量滑动平均

3.2.3 相关分析 利用相关数据结合上述计算公式分析浑河流域1956—2011年56 a逐年降水量与水文站相同时段内的逐年径流量的相关性。由公式计算得到1956—2011年浑河流域逐年降水量与同时期水文站逐年径流量的相关系数为0.682,浑河流域的降水量与径流量的相关系数很大,浑河流域降水量与径流量有很高的相关性。

4 结论

浑河流域降水量和径流量的年内分配都比较集中,其中降水量集中在6—9月,径流量集中在7—8月,降水最大的月份为7月,径流最大的月份为8月,这一规律下游测站表现最为突出,中游次之,与降水年内分配特征相比,径流年内分配更为集中。浑河流域径流量年内分配的不均匀程度总体呈现由上游至下游逐渐减小的趋势,这与降水量年内分配的不均匀程度变化趋势恰好相反,这可能与下垫面、水库调蓄、取水等自然与人为活动等因素对径流进行调节有关。

年际变化方面,浑河流域降水、径流均呈递减趋

势,1956—1958 年浑河径流量与降水量变化存在较好的一致性,但阶段性变化趋势存在一定差异,1958—1976 年径流与降水变化趋势基本一致,但径流振幅较小,1977—2006 年径流主要表现长周期特征而径流则在长周期变化中还包含小幅振荡的短周期。滑动平均结果也显示,浑河径流量与降水量的变化趋势是一致的,70 年代之前降水和径流变化基本一致,70 年代之后径流和降水的峰谷变化趋势一致,但丰水年份径流与降水一致性好于枯水年份,表明降水偏丰的年份降水对径流的影响更为明显,可能是气候变化和人类活动等其他因素对枯水年份的降雨径流关系影响较大。通过分析浑河流域 1956—2011 年 56 a 逐年降水量与水文站相同时段内的逐年径流量的相关性,得到该时间段内浑河流域逐年降水量与同时期水文站逐年径流量的相关系数为 0.682,浑河流域的降水量与径流量的相关系数很大,同时结合累积距平曲线和滑动平均曲线分析得出浑河流域降水量

和径流量具有较高的相关性。

参考文献:

- [1] 王勇,许红梅,程炳岩,等. 1951—2012 年降水变化对涪江流域径流的影响[J]. 气候变化研究进展,2014,10(2):127-134.
- [2] 杨默远,桑燕芳,王忠根,等. 潮河流域降水—径流关系变化及驱动因子识别[J]. 地理研究,2014,33(9):1658-1667.
- [3] Wang H J, Yang Z S, Saito Y, et al. Interannual and seasonal variation of the Huanghe(Yellow River) water discharge over the past50 years:Connections to impacts from ENSO evevts and dams[J]. Global and Planetary Change,2006,50(3/4):212-225.
- [4] 付玉娟,何俊仕,慕大鹏,等. 辽河流域水资源可利用量分析计算[J]. 干旱区资源与环境,2011,25(1):107-110.
- [5] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京:气象出版社,2007.
- [6] 董晓辉,姚治君,陈传友. 黄河源区径流变化及其对降水的响应[J]. 资源科学,2007,29(3):67-73.

(上接第 149 页)

参考文献:

- [1] 任宗萍,张光辉,杨勤科. 近 50 年延河流域水沙变化特征及其原因分析[J]. 水文,2012,32(5):81-86.
- [2] 于涛,邓义祥,富国,等. 近 50 年来黄河输沙量变化特征及原因分析[J]. 人民黄河,2008,29(12):27-28.
- [3] 白东明,李卫红,郝兴明,等. 新疆呼图壁河流域径流时序变化特征[J]. 中国水土保持科学,2008,5(3):19-23.
- [4] 普宗朝,张山清,李景林,等. 气候变化对呼图壁河径流量的影响[J]. 沙漠与绿洲气象,2008,1(5):44-47.
- [5] 耿峻岭,高玲,陈建江,等. 新疆呼图壁河流域水文特征分析[J]. 干旱区研究,2005,22(3):371-376.
- [6] 范利杰,穆兴民,赵广举. 近 50 a 嘉陵江流域径流变化特征及影响因素[J]. 水土保持通报,2013,33(1):12-17.
- [7] 王焕松,李子成,雷坤,等. 近 20 年大、小凌河入海径流量和输沙量变化及其驱动力分析[J]. 环境科学研究,2010(10):1236-1242.
- [8] 刘娜,谢永宏,张称意,等. 澧水水沙变化特征及成因分析[J]. 水文,2014,34(2):87-92.
- [9] 胡光伟,毛德华,李正最,等. 荆江三口 60 a 来入湖水沙变化规律及其驱动力分析[J]. 自然资源学报,2014,1(1):129-142.
- [10] 宋凤军,穆兴民,白桦. 嘉陵江流域输沙量演变规律分析[J]. 水土保持研究,2012,19(5):65-69.
- [11] 冉新量,朱健. 呼图壁河洪水传播时间分析[J]. 内蒙古水利,2011(4):87-88.
- [12] 李明正,庞春花,姜龙. 新疆呼图壁河“96·7”洪水分析[J]. 新疆农垦科技,2009,32(2):73-75.
- [13] 高玲,王晓峰. 新疆呼图壁河“99·7”洪水成因分析[J]. 沙漠与绿洲气象,2008,2(4):31-33.
- [14] 张强,陈桂亚,许崇育,等. 长江流域水沙周期特征及可能影响原因[J]. 水科学进展,2009,20(1):80-85.