

1950~2005 年大通河流域径流变化特征及影响因素

张晓晓, 张 钰, 徐浩杰

(兰州大学资源环境学院, 甘肃 兰州 730000)

摘 要:以大通河流域享堂水文站 1950~2005 年实测径流数据为基础,综合运用趋势分析、累积距平、R/S 分析、Morlet 小波分析、降水-径流深度双累积曲线等数理统计方法,研究了大通河流域径流的年内分配、年际变化和周期振荡特征、并定量分析了气候因素和人类活动因素对径流变化的影响。结果表明:(1)大通河径流年内主要集中在 5~10 月,占年径流总量的 82%左右。1950~2005 年,大通河流域年径流呈微弱减少趋势,递减率为 $-0.55 \times 10^8 \text{m}^3/10\text{a}$ ($R^2=0.025$, $P=0.249$),Hurst 指数为 0.58,表明未来一段时间内径流仍可能呈减少趋势;(2)1950~2005 年,大通河流域年径流在 27a 时间尺度上周期震荡明显,经历了“多-少-多-少-多-少-多”7 个循环交替;(3)大通河流域降水-径流深度双累积曲线在 1994 年发生显著偏移,1994 年之前径流变化主要受降水影响,1994 年以后,径流变化主要受人类活动影响。

关键词:大通河流域;径流变化;变化特征;气候因素;人类活动

中图分类号:P339

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2013)06-0090-07

河川径流是气候和下垫面综合作用的产物,其时空演化规律是水文水资源学研究的重要内容^[1-2]。随着气候变化和人类活动的加剧,河川径流发生了显著变化,直接影响了流域水资源综合开发与管理^[3]。大通河发源于祁连山南麓,是青海省东部和甘肃省中西部重要的水源地。受环境变化影响,大通河周边流域包括疏勒河流域、黑河流域、石羊河流域、洮河流域等河川径流均发生了显著的时空变化^[4-7],但目前关于大通河流域河川径流变化特征及影响因素的研究还鲜见报道^[8]。当前大通河流域河川径流已经发生了怎样的变化,未来大通河流域河川径流将如何演化,径流变化对流域生态安全和区域经济社会发展将造成怎样的影响目前尚不清楚。本文基于实测径流和气候资料,以大通河流域为研究对象,对 1950~2005 年大通河流域径流变化特征及影响因素进行研究,定量评估了气候变化和人类活动对径流变化的影响,为流域水资源的科学管理和可持续发展提供科学依据。

1 数据来源与研究方法

1.1 研究区概况

大通河流域地处青藏高原东北缘,东接黄土高原,西南为柴达木盆地,南靠湟水,北临河西走廊,地理位置介于 $36^{\circ}30' \sim 38^{\circ}25' \text{N}$ 、 $98^{\circ}30' \sim 103^{\circ}15' \text{E}$,流域面积 $15\,133 \text{km}^2$ (图 1)。大通河流域以高山峡谷侵蚀性地貌为主,流域呈东西长、南北窄的条带状分布,海拔介于 $1\,700 \sim 5\,000 \text{m}$ 。大通河自西北向东南流经青海省刚察、祁连、海晏、门源、互助、乐都,甘肃省天祝、永登、兰州市红古区等(区)县,在青海省民和县享堂镇与湟水汇合后注入黄河,干流自上而下设有尕大滩($37^{\circ}30' \text{N}$, $101^{\circ}20' \text{E}$)、天堂($36^{\circ}57' \text{N}$, $102^{\circ}30' \text{E}$)、享堂($36^{\circ}21' \text{N}$, $102^{\circ}50' \text{E}$)水文站,将流域划分为上游、中游和下游(表 1)。大通河流域水资源丰富,多年平均流量约为 $89.3 \text{m}^3/\text{s}$,多年平均径流约为 $28 \times 10^8 \text{m}^3$ 。流域气候呈大陆性气候特点,日照时间长,太阳辐射强,昼夜温差大,年平均气温约 $-4 \sim -1^{\circ}\text{C}$,年平均降水量约

收稿日期:2012-11-26

基金项目:国家自然科学基金(91125010)资助

作者简介:张晓晓(1988-),女,黑龙江齐齐哈尔人,硕士研究生,主要从事工程水文学研究。E-mail:xxzhang2011@lzu.edu.cn

通讯作者:张钰(1963-),男,甘肃平凉人,博士,副教授,主要从事水资源规划论证评价和水土保持等工作。E-mail:gszhangyu@126.com

表1 研究时段内大通河流域水文站基本信息

Table1 Basic information about hydrological stations in the Datong River basin in the studied period

站名	距河口距离 /km	集水面积 /km ²	年平均流量 / m ³ ·s ⁻¹	年径流深 /mm	建站时间	连续径流序列
尕大滩	264	7893	50.4	201.4	1953 年 8 月	1955~2005 年
天堂	100	12574	75.7	189.9	1958 年 1 月	1977~2005 年
享堂	1.9	15126	89.3	186.2	1940 年 1 月	1950~2005 年

表2 大通河流域流量年内分配特征

Table2 Distribution characteristics of annual runoff in the Datong River basin

月份	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
流量/m ³ ·s ⁻¹	20.04	20.04	26.25	52.30	92.54	122.92	204.77	199.54	170.74	90.20	44.64	27.46
百分比/%	1.87	1.87	2.45	4.88	8.64	11.47	19.11	18.62	15.94	8.42	4.17	2.56

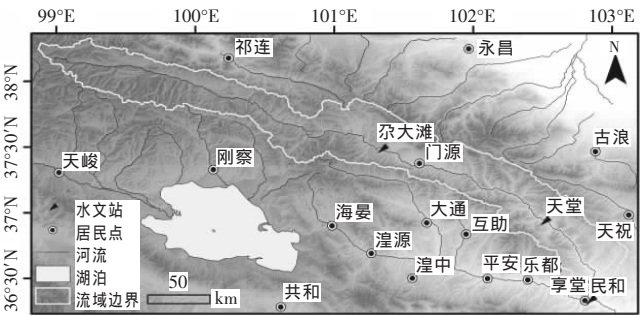


图1 大通河流域示意图

Fig.1 The Datong River basin

400~600mm，其中 5~9 月降水量占全年降水量的 80%左右。

1.2 数据来源

大通河流域享堂水文站 1950~2005 年径流资料来自水文年鉴。1961~2005 年,大通河流域及周边 20 个气象站(古浪、武威、永昌、山丹、民和、张掖、高台、肃南、酒泉、金塔、玉门、瓜州、乌鞘岭、门源、祁连、野牛沟、托勒、临夏、贵德、西宁)年平均气温和降水量资料来自于中国气象局科学数据共享服务网(<http://www.cma.gov.cn>)。本文采用 AMMRR(多元线性回归+残差分析)法^[9]对气象数据进行空间插值,将经度、纬度、海拔引入气象要素空间插值中。采用交叉检验法^[10],以误差平均值和误差标准差为指标对插值前后的数据进行 T 检验,结果表明:在 99% 的置信度下绝大部分数据的显著性概率均大于 0.01,插值结果可靠。

1.3 研究方法

本文采用线性回归、5 年滑动平均、累积距平^[11]来研究大通河流域年径流的年际变化特征,并通过 R/S 分析^[12]预测未来大通河流域年径流的变化趋势。为揭示径流的周期变化特征,采用 Morlet 小波变换^[13]来研究大通河流域年径流在不同时间尺度上的丰枯变化。双累积曲线法^[14]是检验两个变量间关系一致性及其变化的常用方法,将变量按同一时间长度逐步累加,其拐点可作为分析变量阶段性变化的依据。本文使用降水-径流深度双累积曲线来研究降水和人类活动对大通河流域年径流变化的影响。

2 结果与分析

2.1 径流的年内变化

大通河流域径流年内分配不均匀(表 2),呈明显的“单峰型”分布,其流量 1~2 月份处于低值,占全年径流量的 1.87%,3~4 月份开始缓慢上升,至 5 月份急剧增加,在 7 月份达到极大值,占全年径流量的 19.11%,8 月份有所减少,10~11 月份急剧减少,直至 12 月再次到达低值。春季(3~5 月)、夏季(6~8 月)、秋季(9~11 月)、冬季(12~2 月)以及每年的汛期(5~10 月)径流分别占全年径流的 15.97%、49.2%、28.53%、6.3%、82.2%。

2.2 径流的年际变化

由大通河流域年径流的年际变化可得(图 2a),1950~2005 年,大通河流域年径流呈微弱减少趋势,其变化率为 $-0.55\times10^8\text{m}^3/10\text{a}$ ($R^2=0.025$, $P=0.249$),多年平均径流为 $28.08\times10^8\text{m}^3$,径流最大值出现在 1989 年,为

$50.19 \times 10^8 \text{ m}^3$, 最小值出现在 2004 年, 仅为 $13.22 \times 10^8 \text{ m}^3$, 两者相差约 2.9 倍。从 5 年滑动趋势分析结果可知, 1950s~1970s 径流波动较为平缓, 1980s~2000s 径流波动较为剧烈。从年径流累积距平波动曲线来看(图 2b), 年径流经历了 4 次变化阶段: 1950~1967 年、1968~1980 年、1981~1990 年、1991~2005 年, 各阶段平均径流分别为 $29.22 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $26.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $32.39 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $25.21 \times 10^8 \text{ m}^3$, 相对多年平均值的变化率分别为 4.06%、-5.63%、15.35%、-10.22%。1950~1967 年径流累积距平呈增加趋势, 其中 1960~1967 年径流波动性较大; 1968~1980 年径流累积距平呈减少趋势, 其中 1969~1974 年、1975~1980 年径流经历了两次比较明显的波动; 1981~1990 年径流累积距平显著增加, 1983~1987 年变化平稳, 1987 年以后突然快速增加, 1991~2005 年径流累积距平显著下降, 相对处于枯水阶段。采用 R/S 分析法对大通河流域年径流序列进行持续性分析, 结果表明大通流域年径流变化的 Hurst 指数为 0.58, 大于 0.5。若气候变化和人类活动依照现在的趋

势发展, 大通河流域径流在未来一段时间内仍可能呈减少趋势。

2.3 径流的周期性变化

采用 Morlet 小波变换对大通河流域 1950~2005 年的年径流序列进行周期特征分析, 得到小波变换时频分布(图 3a)和小波方差变化分析结果(图 3b)。大通河流域年径流年际变化具有较明显的周期性, 存在 5a、9a、27a 左右的周期振荡。通过小波方差检验, 最大峰值出现在 27a 左右, 表明 27a 左右的周期震荡最为明显, 为其第 1 主周期, 其次是 9a 和 5a 左右的短周期。在 5a 左右的特征时间尺度下, 年径流经历了多次的循环交替, 在 1950~1970 年和 2000 年以后表现明显, 但在 1970~2000 年表现不明显。在 9a 左右的特征时间尺度下, 年径流大致经历了 8 次周期循环, 在 1975~1995 年波动较为剧烈。在 27a 左右的特征时间尺度下年径流呈现出较为规律的周期转换。1950~1960 年偏多、1961~1967 年偏少, 1968~1976 年偏多, 1977~1985 年偏少, 1986~1994 年偏多, 1995~2001 年

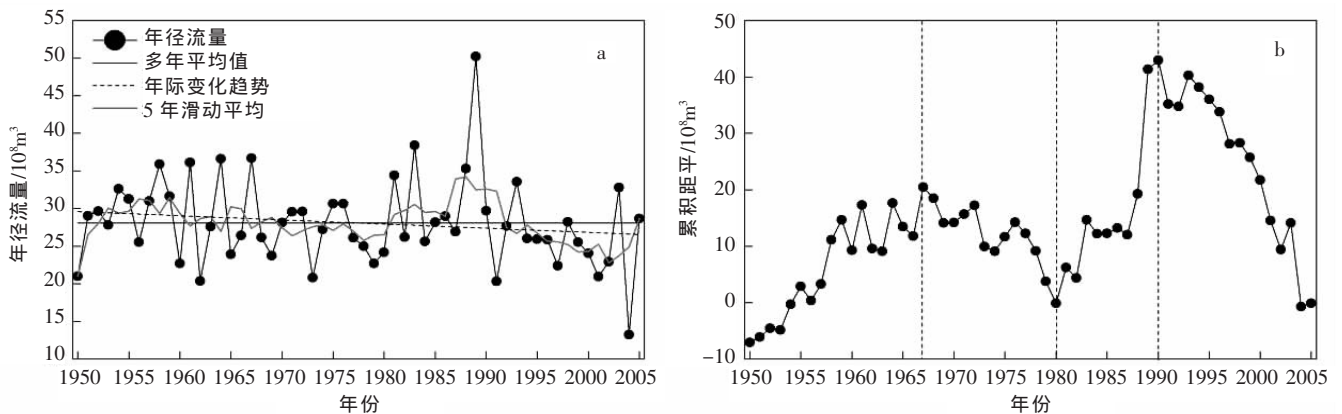


图 2 1950~2005 年大通河流域年径流和年径流累积距平的年际变化

Fig.2 The inter-annual variation of annual runoff and its accumulation anomaly in the Datong River basin from 1950 to 2005

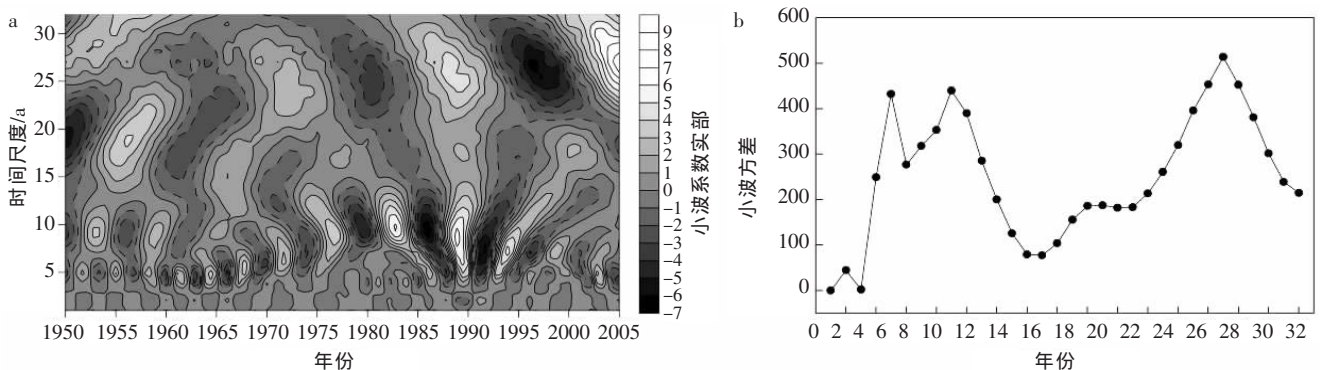


图 3 大通河流域年径流量小波变换实时频分布及小波方差变化

Fig.3 The part time-frequency distribution of wavelet transform and wavelet variances of annual runoff in the Datong River basin

偏少,2002~2005 年再次偏多。目前大通河流域相对丰水阶段临近结束,2012 年以后预计大通河流域将处于相对枯水阶段,并大致持续到 2020 年左右结束。

2.4 径流变化影响因素分析

1961~2005 年,大通河流域年平均气温整体呈显著上升趋势(图 4a),其增温率为 $0.31^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ($R^2=0.449$, $P=0.000$),由 1960s 的年均 -3.27°C 增加 2000s 的年均 -2.14°C 。从 5 年滑动平均趋势线可以看出,在 1985 年前后大通河流域气温有明显变化。1961~1985 年大通河流域气温在波动中呈微弱上升趋势,增温率为 $0.064^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ($R^2=0.011$, $P=0.613$),1986~2005 年大通河流域气温呈快速上升趋势,增温率为 $0.4^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ($R^2=0.2436$, $P=0.027$),大通河流域在 1985 年以后对全球变暖较为敏感。1961~2005 年大通河流域年降水量在波动中呈微弱上升趋势(图 4b),其变化率为 $8.9\text{mm}/10\text{a}$ ($R^2=0.044$, $P=0.161$),其中 1961~1980 年整体呈微弱增加趋势,其变化率为 $9.4\text{mm}/10\text{a}$ ($R^2=0.019$,

$P=0.561$),1981~2005 年整体呈微弱减少趋势,其变化率为 $-7.3\text{mm}/10\text{a}$ ($R^2=0.007$, $P=0.686$),在 1988 年和 1989 年出现两个极高值(621.8mm , 643.4mm),在 1962 年和 1991 年出现两个极低值(374.9mm , 381.1mm)。

大通河流域上游河流补给来源主要为大气降水和冰川及积雪融水,中下游河流补给来源主要为大气降水^[15]。对年径流深度与气温和降水量进行相关分析,相关系数分别为 -0.18 ($P>0.05$) 和 0.55 ($P<0.001$)。大通河年径流与年降水量之间呈显著正相关,与年平均气温呈不显著负相关。计算径流量、气温和降水量距平值 3 年平均,进一步分析各要素变化趋势可以得到(图 5),径流深度与降水量变化在 20 世纪 90 年代中期之前具有很好的同步性,而径流深度与气温变化的同步性较差,且个别年份呈一定程度的反相位变化。气温主要通过影响流域蒸发量、影响冰川和积雪的消融来影响径流变化,一方面气温升高增加了蒸发量,另一方面,也导致了冰川积雪融水的增加,在一定程

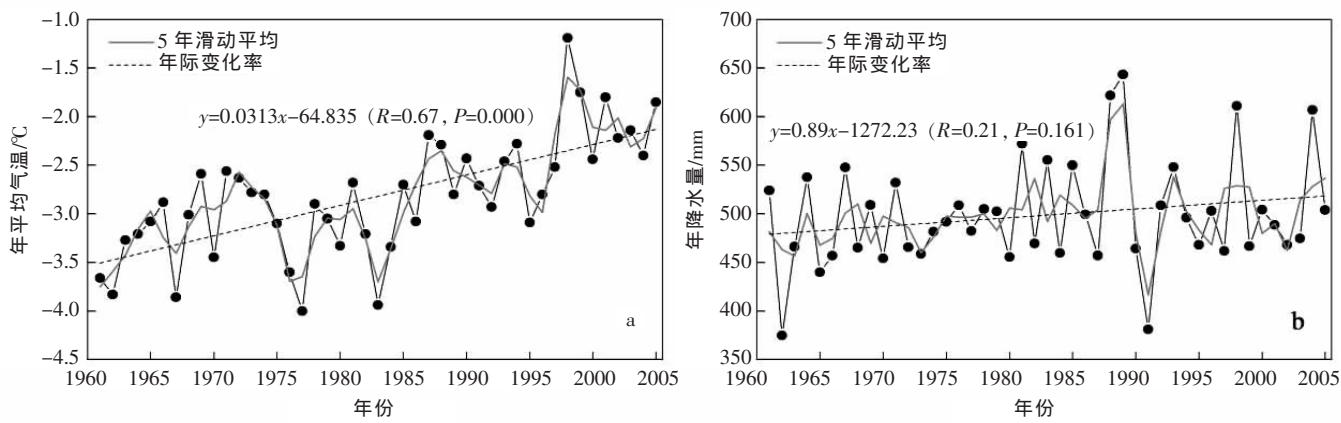


图 4 1961~2005 年大通河流域气温和降水量的年际变化
Fig.4 The inter-annual variation of temperature and precipitation in the Datong River basin from 1961 to 2005

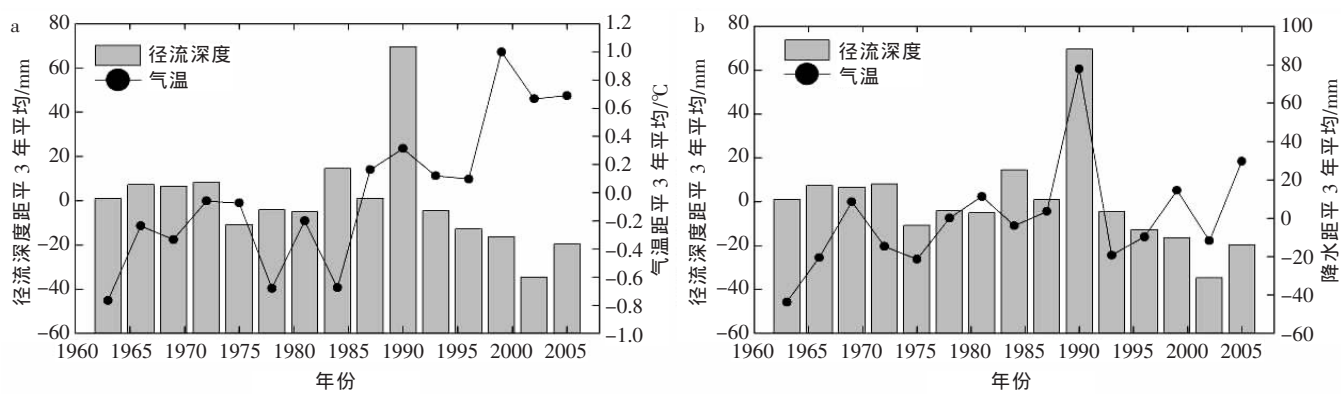


图 5 大通河流域径流深度、气温、降水量距平 3 年平均变化趋势
Fig.5 The trends of 3 years average on the anomaly of runoff depth, temperature, precipitation in the Datong River basin

度上补给了河流。从气温、降水量与径流深度的变化趋势及相关系数来看,径流的年际变化受降水量变化影响较大,可能的原因是大通河流域冰川径流补给比例较小,径流主要还是降水补给。此外 20 世纪 90 年代中期以后,径流深度与降水量呈反相位变化,这可能反映了人类活动对径流变化的强烈影响。

降水与径流深度的双累积曲线可以反映人类活动对径流影响的阶段性变化。当只有降水影响径流变化时,双累积曲线应为一直线,当受到人类活动等其他因素影响时,累积曲线会发生偏移,可根据偏移年代确定人类活动对径流产生显著影响的时间点。从图 6 可以看出,大通河流域降水-径流深度双累积曲线在 1994 年后发生显著偏移。1994 年 10 月“引大入秦”工程建成通水,引水口位于享堂站上游,跨流域调水使流域干流流量下降,这与累积曲线反映的结果相一致,反映了水利工程建设对径流变化的强烈干扰。累积曲线未发生显著偏移前基本反映了天然径流的变化,可作为未受人类活动干扰的基准期。根据回归分析,建立基准期内的累积径流深度(R)和累积降水量(P)的相关方程,其方程为 $\sum R=0.3795 \sum P+53.0876, R^2=0.99958$ 。

根据基准期内降水量和径流深度资料,建立基准期内的年降水量序列和年径流深深度序列的相关方

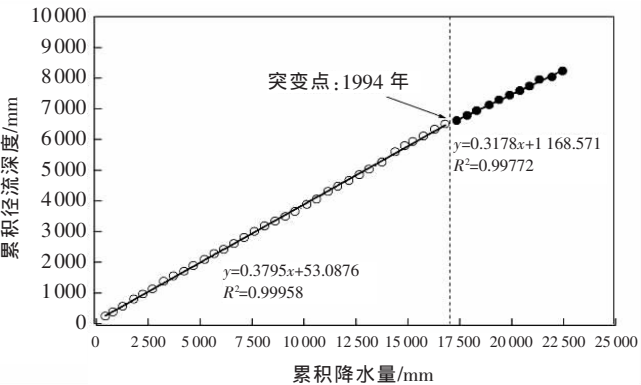


图 6 大通河流域降水-径流深度双累积曲线

Fig.6 The precipitation-runoff depth double cummulative curve of the Datong River basin

程,其方程为: $R=0.5851P-99.42, R^2=0.6752$ 。

根据降水量与径流深度的相关方程可得不同时段理论平均径流,并将其作为天然径流的近似值。基准期实测值与各个时段的计算值的差值即为此时段降水量变化对径流变化的影响值;基准期实测值与各时段实测值的差值减去降水变化的影响值即为人类活动对径流变化的影响值。影响值与总减少值的百分比即为影响率^[16]。

从表 3 可以看出,1995~2005 年,降水量相对与基准期增加了 8.51mm,但降水量对径流的影响差值为负,即这一时期降水量的增加并未引起径流的增加,径流反而减少,这反映了水利工程建设等对径流变化的影响。通过计算可得,这一时间段内人类活动因素对径流的影响率达到 117.38%,即人类活动是导致这一时段内径流变化的主要因素。

3 结论与讨论

本文利用径流和气象数据,分析了 1995~2005 年大通河流域径流变化特征及驱动因素,得到如下结论:

(1)大通河流域径流年内呈“单峰型”分布,分配不均,径流主要集中在 5~10 月,占全年径流总量的 82.2%,夏季和秋季为径流高峰期,春季和冬季为径流低谷期。

(2)1950~2005 年,大通河流域径流整体呈微弱减少趋势,但可分为 4 次变化阶段:1950~1967 年、1981~1990 年径流呈增加趋势,1968~1980 年、1991~2005 年径流呈下降趋势。

(3)1950~2005 年,大通河流域径流具有 5a、9a、27a 左右的震荡周期,在 27a 左右尺度上,周期震荡最为显著,径流大致经历了“多-少-多-少-多-少-多”7 个循环交替。大通河流域丰水期大致在 2012 年左右结束,预计未来大通河流域将处于相对枯水阶段,并持续到 2020 年左右结束。

表3 降水和人类活动对大通河流域径流影响

Table3 The impacts of precipitation and human activities on the runoff in the Datong River basin

起止年份	降水/mm	径流深度/mm			降水因素		人类活动因素	
		实测/mm	理论/mm	总减少/mm	影响值/mm	影响率/%	影响值/mm	影响率/%
1961~1994	496.67	191.18	191.18					
1995~2005	505.18	162.52	196.16	28.66	-4.98	-17.38	33.64	117.38

(4) 大通河流域径流深度和降水量关系最为密切。运用降水-径流深度双累积曲线估算出人类活动和降水因素对径流深度变化的影响率,结果表明大通河流域径流在 1994 年发生显著突变,1994 年之前径流主要受降水变化影响,1994 年以后人类活动是导致大通河流域径流减少的主要因素,“引大入秦”等一系列水利工程的建设可能是造成径流减少的直接原因。

(5) 在现有气候变化和人类活动保持不变的状况下,大通河流域径流的递减趋势在未来的一段时间内仍将持续。

本文使用双累积曲线法建立受人类活动影响较小时期的降雨产流模型后,将受人类活动影响较大时期的径流还原,进而求出了人类活动和气候变化对径流变化的贡献率^[17],该方法可以分离降水和人类活动要素的水文效应,但最终结果高估了人类活动的贡献率,原因为该方法仅分离降水与非降水要素,未考虑蒸发量、土地利用覆盖变化、植被产流等因素^[18-20]对径流变化的影响。尽管如此,由于短期内非降水因素变幅较小,其对径流的影响远小于降水和人类活动,因此本文的计算结果仍具有重要参考价值。

参考文献:

- [1] 陈志恺. 中国水资源的可持续利用问题 [J]. 水文, 2003, 23 (1): 1-5. (CHEN Zhikai. Issues of sustainable utilization of water resources in China [J]. Journal of China Hydrology, 2003, 23 (1): 1-5. (in Chinese))
- [2] 张士锋, 华东, 孟秀敬, 等. 三江源气候变化及其对径流的驱动 [J]. 地理学报, 2011, 66 (1): 13-24. (ZHANG Shifeng, HUA Dong, MENG Xiujing, et al. Climate change and its driving effect on the runoff in the "Three-River Headwaters" region [J]. Geographica Sinica, 2011, 66(1): 13-24. (in Chinese))
- [3] 王守荣, 郑水红, 程磊. 气候变化对西北水循环和水资源影响的研究 [J]. 气候与环境研究, 2003, 8(1): 43-51. (WANG Shourong, ZHENG Shuihong, CHENG Lei. Studies on impact of climate change on water cycle and water resources in northwest China [J]. Climatic and Environmental Research, 2003, 8(1): 43-51. (in Chinese))
- [4] 周俊菊, 师玮, 石培基, 等. 石羊河上游 1956-2009 年出山径流量特征及其对气候变化的响应 [J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2012, 48(1): 27-34. (ZHOU Junju, SHI Wei, SHI Peiji, et al. Characteristics of mountainous runoff and its responses to climate change in the upper reaches of Shiyang River basin during 1956-2009 [J]. Journal of Lanzhou University (Natural Sciences), 2012, 48 (1): 27-34. (in Chinese))
- [5] 王钧, 蒙吉军. 黑河流域近 60 年来径流变化及影响因素 [J]. 地理科学, 2008, 28 (1): 83-88. (WANG Jun, MENG Jijun. Characteristics and tendencies of annual runoff variations in the Heihe River basin during the past 60 years [J]. Scientia Geographica Sinica, 2008, 28(1): 83-88. (in Chinese))
- [6] 蓝永超, 胡兴林, 肖生春, 等. 近 50 年疏勒河流域山区的气候变化及其对出山径流的影响 [J]. 高原气象, 2012, 31 (6): 1636-1644. (LAN Yongchao, HU Xinglin, XIAO Shengchun, et al. Study on climate change in mountainous region of Shulehe River basin in past 50 years and its effect to mountainous runoff [J]. Plateau meteorology, 2012, 31(6): 1636-1644. (in Chinese))
- [7] 张晓晓, 张钰, 徐浩杰. 1960-2010 年洮河流域径流变化趋势及影响因素 [J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2013, 49(1): 38-43. (ZHANG Xiaoxiao, ZHANG Yu, XU Haojie. Analysis of runoff tendency and its influencing factors in the Tao River basin from 1960 to 2010 [J]. Journal of Lanzhou University (Natural Sciences), 2013, 49(1): 38-43. (in Chinese))
- [8] 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. (LIU Chao, QIU Yi, DENG Na. Changes in statistical feature of recent precipitation and runoff in upper reaches of Yellow River region [J]. Journal of Soil Water Conservation, 2004, 18(1): 96-99. (in Chinese))
- [9] 徐浩杰, 杨太保, 曾彪. 2000-2010 年祁连山植被 MODISNDVI 的时空变化及影响因素 [J]. 干旱区资源与环境, 2012, 26(11): 87-91. (XU Haojie, YANG Taibao, ZENG Biao. Spatial-temporal changes of vegetation in Qilian Mountains from 2000 to 2010 based on MODIS NDVI data and its affecting factors [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2012, 26 (11): 87-91. (in Chinese))
- [10] 白红英, 马新萍, 高翔, 等. 基于 DEM 的秦岭山地 1 月气温和 0℃ 等温线变化 [J]. 地理学报, 2012, 67(11): 1443-1450. (BAI Hongying, MA Xinping, GAO Xiang, et al. Variations in January temperature and 0℃ isothermal curve in Qinling Mountains based on DEM [J]. Geographica Sinica, 2012, 67(11): 1443-1450. (in Chinese))
- [11] 陈正洪. 武汉、宜昌 20 世纪平均气温突变的诊断分析 [J]. 长江流域资源与环境, 2000, 9(1): 56-62. (CHEN Zhenghong. The diagnosis and analysis of abrupt changes in the mean temperature during the 20th century in Wuhan and Yichang [J]. Resources and Environment in the Yangze Basin, 2000, 9(1): 56-62. (in Chinese))
- [12] 江田汉, 邓莲堂. Hurst 指数估计中存在的若干问题-以在气候变化研究中的应用为例 [J]. 地理科学, 2004, 24 (2): 177-182. (JIANG Tianhan, DENG Liantang. Some problems in estimating a Hurst exponent: a case study of applications to climatic change [J]. Scientia Geographica Sinica, 2004, 24(2): 177-182. (in Chinese))
- [13] Torrence C, Compo G P. A practical guide to wavelet analysis [J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1998, 79: 61-78.
- [14] 穆兴民, 张秀勤, 高鹏, 等. 双累积曲线方法理论及在水文气象领域应用只能应注意事项 [J]. 水文, 2010, 30 (4): 47-51. (MU Xingmin, ZHANG Xiuqin, GAO Peng, et al. Theory of double mass curves and its application in hydrology and meteorology [J]. Journal of China Hydrology, 2010, 30(4): 47-51. (in Chinese))
- [15] 丁永建, 叶柏生, 刘时银. 祁连山中部地区 40a 来气候变化及其对径

- 流的影响[J].冰川冻土, 2000, 22(3):193–199. (DING Yongjian, YE Baisheng, LIU Shiyin. Impact of climate change on the alpine streamflow during the past 40a in the middle part of the Qilian Mountains, northwestern China [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2000, 22(3):193–199. (in Chinese))
- [16] 林凯荣, 何艳虎, 陈晓宏. 气候变化和人类活动对东江流域径流影响的贡献分解研究 [J]. 水利学报, 2012, 43 (11):1312–1321. (LIN Kairong, HE Yanhu, CHENG Xiaohong. Identifying the quantitative effect of climate change and human activity on runoff in the Dongjiang River basin [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2012, 43(11):1312–1321. (in Chinese))
- [17] 李志, 刘文兆, 郑粉莉, 等. 黄土塬区气候变化和人类活动对径流的影响[J].生态学报, 2010, 30(9): 2379–2386. (LI Zhi, LIU Wenzhao, ZHENG Fenli, et al. The impacts of climate change and human activities on river flow in the loess tableland of China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(9):2379–2386. (in Chinese))
- [18] 丁相毅, 贾仰文, 王浩, 等. 气候变化对海河流域水资源的影响极其对策[J].自然资源学报, 2010, 25(4):604–613. (DING Xiangyi, JIA Yangwen, WANG Hao, et al. Impacts of climate change on water resources in the Haihe River basin and corresponding countermeasures[J]. Journal of Natural Resources, 2010, 25 (4):604–613. (in Chinese))
- [19] 唐丽霞, 张志强, 王新杰. 晋西黄土高原丘陵沟壑区清水河流域径流对土地利用与气候变化的响应[J].植物生态学报, 2010, 34(7):800–810. (TANG Lixia, ZHANG Zhiqiang, WANG Xinjie, et al. Streamflow response to climate and land use changes in Qingshui River watershed in the loess hilly–gully region of western Shanxi Province, China [J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2010, 34(7): 800–810. (in Chinese))
- [20] 苗百岭, 梁存柱, 王炜, 等. 植被退化对典型草原地表径流的影响[J].水土保持学报, 2008, 22 (2):10–14. (MIAO Bailing, LIANG Cunzhu, WANG Wei, et al. Effects of vegetation on degradation surface runoff of typical steppe [J]. Journal of Soil Water Conservation, 2008, 22(2):10–14. (in Chinese))

Variation Characteristics of Runoff and Its Driving Forces in Datong River Basin from 1950 to 2005

ZHANG Xiaoxiao, ZHANG Yu, XU Haojie

(College of Earth and Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000 China)

Abstract: Responses of water resources to human activities and climate factors, which is the basis to explore the hydrological processes and scientific management of regional water resources, has attracted more and more attentions in water resources research in recent years. Based on runoff data measured by Xiangtang hydrological station in the Datong River Basin from 1950 to 2005, with temperature and precipitation time series, runoff change characteristics were analyzed by using linear tendency, 5 years moving average, accumulation anomaly, wavelet analysis methods. The effects of precipitation change and human activities on runoff were also studied quantitatively using double mass curve for annual rainfall stream flow. The results show that: (1) The annual runoff of the Datong River Basin was mainly contributed by those occurred from May to October with a proportion of 82.2%. Regression analysis shows that the Datong River Basin's runoff slightly decrease with time at a rate of $-0.55 \cdot 10^8 \text{ m}^3/10\text{a}$ ($P=0.249$). The Hurst index is 0.58, which indicates that the decreasing trends of runoff in the Datong River Basin will continue in the future. (2) In recent 60 years, the Datong River Basin has different oscillation periods. In the time scale of 27a, the oscillation is mostly significant. The annual runoff will decrease after the year 2012, and will end up in the year 2020. (3) Using relational analysis and double mass curve analysis, we have obtained that mean annual runoff in the Datong River Basin is closely related to the annual rainfall before the year 1994. However, the human activities have become the main factor that causes the runoff decrease in the Datong River Basin after the year 1994 compared with annual rainfall. This paper considered the precipitation and human activities in driving forces analysis. In fact, evapotranspiration, LUCC and other factors should also be included. Therefore, the specific influencing factors of runoff changes need to be further studied.

Key words: Datong River Basin; runoff variation; change characteristics; climate factor; human activity