

胶东半岛大沽河流域径流变化特征^①

姜德娟¹, 王晓利^{1, 2}

(1. 中国科学院海岸带环境过程与生态修复重点实验室, 山东省海岸带环境过程重点实验室, 中国科学院烟台海岸带研究所, 山东 烟台 264003; 2. 江西理工大学建筑与测绘工程学院, 江西 赣州 341000)

摘 要: 大沽河是胶东半岛最大的河流, 被称为青岛市的“母亲河”, 近年来受气候变化与人类活动的共同影响, 河川径流量急剧减少, 河道断流形势严峻。基于1964—2008年大沽河3个水文站点(南村、产芝水库和尹府水库)的径流资料以及青岛气象站点的气象资料, 初步探讨了大沽河流域径流的年际年内特征、变化趋势及其原因。结果表明: 大沽河年径流存在明显的年代际特征, 45 a间有一定下降趋势, 特别是20世纪80年代以来, 南村站河道常出现全年断流现象; 3个水文站均于60年代初发生了突变, 而且尹府水库站的年径流还存在显著的准4 a的变化周期; 南村站径流的季节特征及变化趋势均比较显著, 年径流量的89.8%集中在汛期, 汛期径流量及各月径流(除8—9月)在45 a间均呈显著下降趋势, 非汛期径流变化趋势虽不明显, 但其径流量自80年代以来大多年份为0; 相对而言, 产芝水库和尹府水库站径流的季节差异及趋势相对较小; 由基准期(1964—1980年)到变化期(1981—2008年)降水变化与人类活动分别导致年径流量减少的比例为52.38%和47.62%, 说明两者对径流的减少作用均比较显著, 而且在全球气候变化的背景下, 人类活动进一步加剧了径流的减少, 并促使大沽河演变为季节性河流。

关键词: 径流量; 变化趋势; 突变; 周期变化; 大沽河流域; 胶东半岛

近年来, 受全球气候变化和人类活动的共同影响, 径流量发生了很大变化^[1-3]。降水、气温等条件也发生了改变, 对河川径流产生了直接影响。人类活动, 如土地利用/覆被变化(LUCC)、城镇化扩展、水库大坝的修建等, 显著改变了流域的下垫面条件和水循环系统, 进而对流域的水文过程、水资源产生影响。目前, 国内外学者已在该领域做了大量研究^[2-15], 一定程度上揭示了气候变化和人类活动与流域水文、水循环的关系。例如, Legesse等^[4]研究发现, 在热带非洲, 径流变化对气候变化(相对土地利用变化)更为敏感; Ma等^[2]对我国西南地区柯街河流域研究表明, 气候变化对地表径流、基流和河川径流的影响被土地覆被变化的影响所抵消。Li等^[3]对东北地区洮儿河中上游的研究发现, 土地利用变化对径流的影响在丰水期和丰水年更为显著。总体来说, 因研究尺度、地理位置、气象条件、研究对象等因素的影响, 径流对气候变化与人类活动的响应特征存在较大差异, 其研究力度和深度还有待加强^[16]。

目前, 国内学者对长江、黄河、海河、淮河、滦河等一些重要河流的径流特征、演变规律及其驱动因

素开展了许多研究^[12, 15, 17-21], 但对胶东半岛河流的研究相对较少^[22-23], 特别是对胶东半岛的最大河流——大沽河的研究尚缺乏。大沽河属中小型入海河流, 径流年际年内变化大, 流域内无客水来源, 水资源相对缺乏。近年来, 在气候变化与人类活动的共同影响下, 河川径流量急剧减少, 河道断流严峻, 淡水入海通量大幅下降, 河口湿地萎缩严重, 已对流域—河口系统以及胶州湾的生态环境和经济社会发展产生严重影响。因此, 本文基于1964—2008年3个水文站点的径流资料和青岛气象站点的降水、气温资料, 对大沽河流域径流的变化特征及其原因进行分析, 期望能为流域的水资源可持续利用和经济社会发展提供科学依据和技术支持。

1 资料与方法

1.1 研究区概况

大沽河发源于山东省招远市的阜山西麓, 是胶东第一大河, 由北向南流经烟台市的招远、栖霞、莱州、莱阳以及青岛市的莱西、平度、即墨、胶州、城阳9个县、市(区), 于胶州市营海镇码头村汇入胶州湾。

① 收稿日期: 2012-10-10; 修订日期: 2012-11-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(40901028); 中国科学院重点部署项目(KZZD-EW-14)

作者简介: 姜德娟(1979-), 女, 博士, 主要从事流域水文与水环境模拟研究。E-mail: djjiang@yic.ac.cn

(图1) 河长 179 km, 主要支流有洙河、小沽河、五沽河、落药河、流浩河、桃源河等, 是青岛市最大的水源地, 被称为青岛市的“母亲河”。

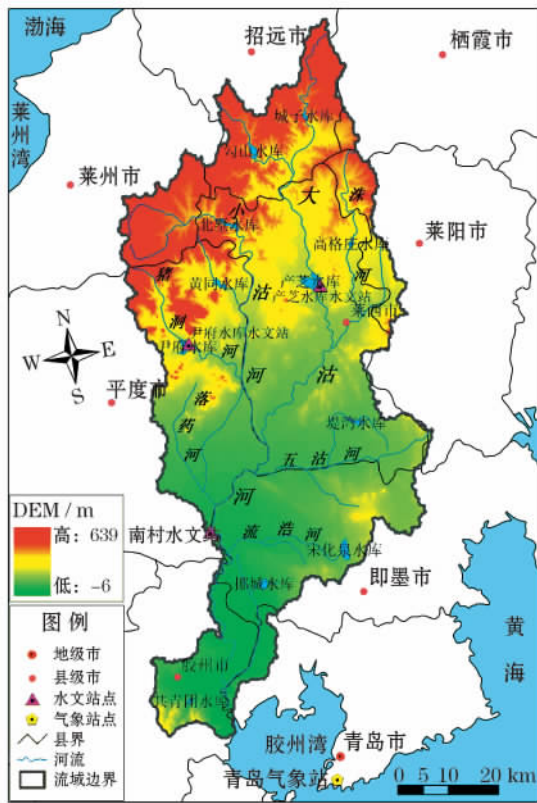


图1 研究区位置示意图

Fig.1 Geographical location of the study area

大沽河流域属暖温带季风型大陆性气候, 流域面积 4 631 km² (不含南胶莱河流域), 多年平均降水量 675.6 mm, 降水年际变化大且年内分布不均, 约有 80% 集中在汛期(6—9月), 多年平均蒸发量 983.9 mm, 多年平均径流量 6.30×10^8 m³。

大沽河河口湿地是青岛市最大的自然湿地保护区, 也是胶州湾湿地保护的重中之重, 湿地面积 400 km² 以上, 主要植被为芦苇、碱蓬、盐角草、结缕草、大米草、白茅、柽柳等, 为迁徙的鹭类、鹬类、鸥类和少数雁鸭类等珍稀鸟类提供了临时的栖息地。

1.2 资料与方法

本文所采用的径流资料来自黄河水文年鉴, 时间为 1964—2008 年, 包括南村、产芝水库和尹府水库 3 个水文站点的逐月资料。南村水文站位于大沽河干流的中下游河段, 是流域具备长时期径流资料最靠下游的站点, 可以代表流域径流的总体特征, 产芝水库水文站位于大沽河干流的上游区域, 尹府水

库水文站位于大沽河的二级支流——猪洞河。气象资料来自国家气象信息中心, 包括 1964—2008 年的逐年降水和气温数据, 站点为青岛气象站(图1), 主要用于径流变化原因的初步分析。

本文采用 Mann-Kendall 法^[24] 对 3 个水文站点的径流序列以及青岛气象站的降水、气温序列进行趋势分析和突变检验, 显著性水平为 0.05; 采用 Morlet 小波变换方法^[25] 对年径流序列进行周期分析, 并应用小波方差对其显著性进行检验; 降水变化与人类活动对径流的影响通过建立降水—径流的回归模型进行分析。

2 结果与讨论

2.1 径流的年际年内特征

1964—2008 年, 南村水文站多年平均径流量为 3.02×10^8 m³, 其中最大径流量为 1964 年的 28.30×10^8 m³, 最小径流量为 0.45 a 径流的年际变异系数为 1.57, 说明大沽河径流的年际变化非常显著。由图 2a 可见, 南村水文站的年径流系列呈不显著的减少趋势, 但自 1980 年以来, 河川径流量多年为 0, 河道经常出现全年断流现象, 形势非常严峻。由其 5 a 滑动平均曲线可以看出, 南村站年径流量在 20 世纪 80 年代之前总体为正距平, 而在之后基本处于负距平, 说明大沽河年径流具有明显的年代际特征。产芝水库水文站年径流量的年际变化、5 a 滑动平均曲线与南村站比较一致, 不同的是, 前者在 45 a 间表现为显著的下降趋势(图 2b)。与此对照, 尹府水库水文站的年径流量表现出更为显著的年代际变化特征, 但其下降趋势不显著(图 2c)。

由图 3 可见, 南村水文站的月径流量表现出显著的季节差异, 8 月径流量最大, 占年径流总量的 45.4%, 其次为 7 月和 9 月, 分别为 25.1% 和 16.6%, 而冬季各月(1月、2月和12月)的径流量很低, 均不足 1%。总体而言, 南村站月径流的年内分配集中分布在汛期(6—9月), 占 89.8%, 而非汛期的比例很小。相对而言, 产芝水库和尹府水库水文站的月径流季节特征不是很明显, 汛期径流量分别占年径流量的 64.5% 和 48.9%, 这可能是受水库调节的影响(图 3)。

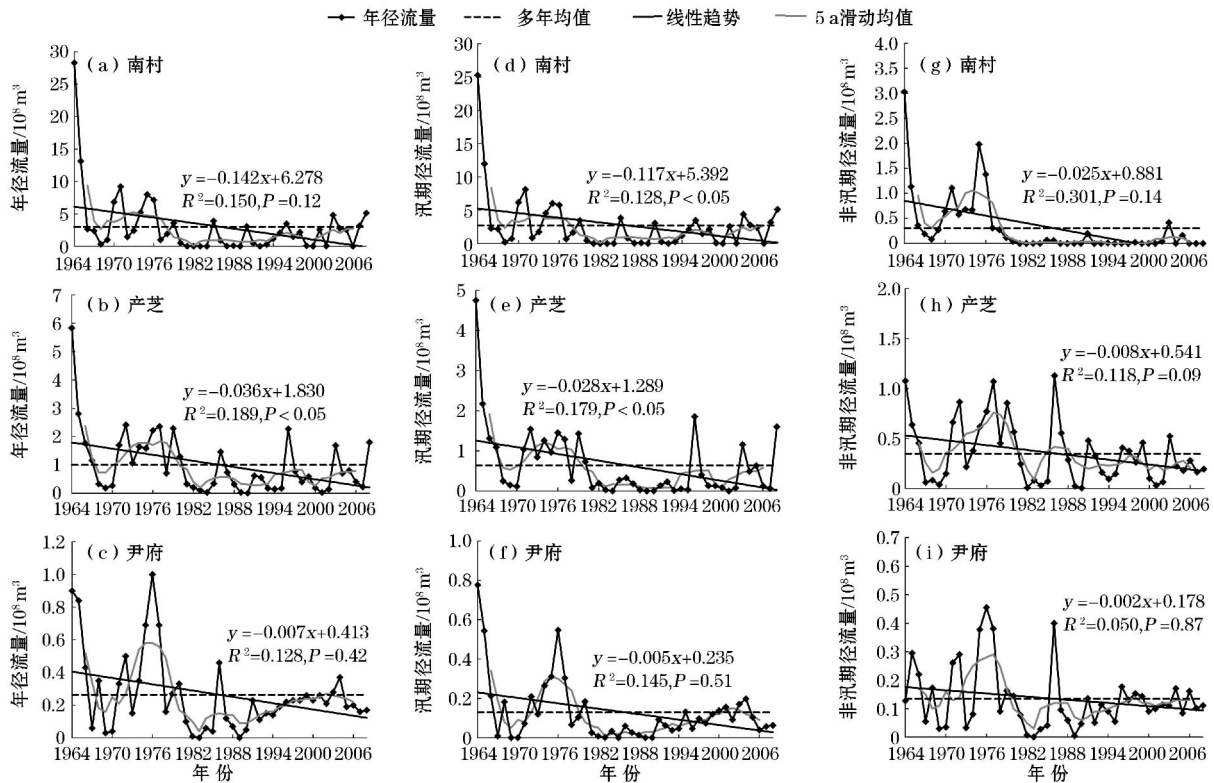


图2 南村(a、d、g)、产芝水库(b、e、h)和尹府水库(c、f、i)水文站年、汛期和非汛期径流量的年际变化

Fig. 2 Variation of runoff volumes at the hydrological stations of Nancun (a, d, g), Chanzhi Reservoir (b, e, h) and Yinfu Reservoir (c, f, i) in flood and non-flood seasons and different years

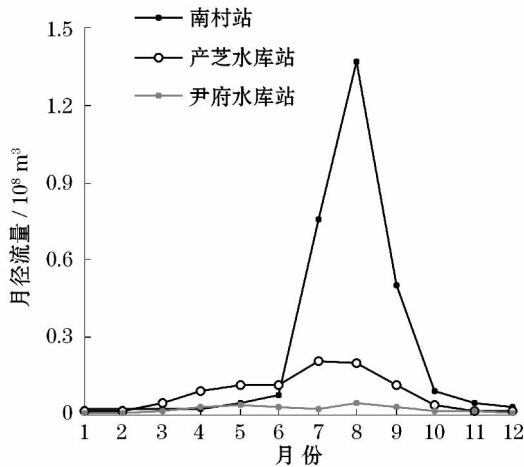


图3 南村、产芝水库和尹府水库水文站月径流的年内分配

Fig. 3 Monthly runoff volumes at the hydrological stations of Nancun, Chanzhi Reservoir and Yinfu Reservoir

3个水文站点的汛期径流量与年径流量的年际变化趋势,5 a滑动平均曲线基本一致,但汛期径流量(除尹府水库站)的下降趋势更为显著(图2)。在非汛期,南村站径流量自1980年以来基本为0,也就是说,近年来大沽河在枯水期出现多年的断流状态,说明自1980年以来大沽河已基本演变为季节

性河流。产芝水库非汛期径流量呈不显著的减少趋势,而尹府水库水文站的径流量则表现为先下降后上升的趋势。非汛期,大沽河2个水库水文站并没有出现明显的断流现象,而南村水文站出现断流有近30 a的时间,可能是因为大沽河中游区域的人工取引水、闸坝拦蓄等人类活动对径流产生了影响。

从表1可以看出,南村站各月(除8—9月)径流量均表现为显著的减少趋势,说明大沽河月径流量在近45 a显著降低。产芝水库站的月径流量在冬季各月呈显著增加趋势,而在5—9月(除7月)呈显著减少趋势。尹府水库站的月径流量仅在1月、2月和4月表现出单调的变化趋势。

2.2 年径流突变分析

由图4可见,大沽河3个水文站点的年径流序列均在20世纪60年代发生了突变(图4(a~c)),其中,南村和产芝水库站年径流序列的突变时间为1966年,尹府水库站的年径流序列则在1965年发生了突变,这与年降水序列(青岛气象站)的突变时间总体一致(图4d),而且年径流和年降水在突变后的变化趋势也很相似,说明大沽河河川径流受降水的影响非常强烈。

表 1 1964—2008 年大沽河 3 个水文站逐月经流量的 Mann-Kendall 检验结果

Tab.1 Mann-Kendall test results of monthly runoff volumes at 3 hydrological stations along the Dagu River during the period of 1964 – 2008

月份	南村站			产芝水库站			尹府水库站		
	Z	β	P	Z	β	P	Z	β	P
1	-4.893	0	**	2.135	0.000 4	**	2.425	0.000 2	**
2	-4.976	0	**	2.140	0.000 3	**	2.487	0.000 2	**
3	-5.451	-0.000 1	**	-0.285	0		0.480	0.000 1	
4	-4.515	-0.000 2	**	-1.409	-0.001 3		-2.006	-0.000 5	**
5	-4.406	-0.001 2	**	-2.309	-0.002 0	**	-1.380	-0.000 5	
6	-3.671	-0.001 5	**	-2.757	-0.002 2	**	-1.186	-0.000 3	
7	-2.615	-0.008 1	**	-1.902	-0.002 1		0.226	0	
8	-1.378	-0.007 9		-3.444	-0.004 2	**	-0.716	-0.000 1	
9	-1.707	-0.002 1		-3.080	-0.002 5	**	0.550	0	
10	-4.514	-0.001 2	**	-0.599	0		0.226	0	
11	-4.896	-0.000 1	**	0.413	0		0.226	0	
12	-4.550	0	**	2.042	0.000 3	**	1.547	0.000 1	

** 表示月经流趋势的显著性水平为 0.05。

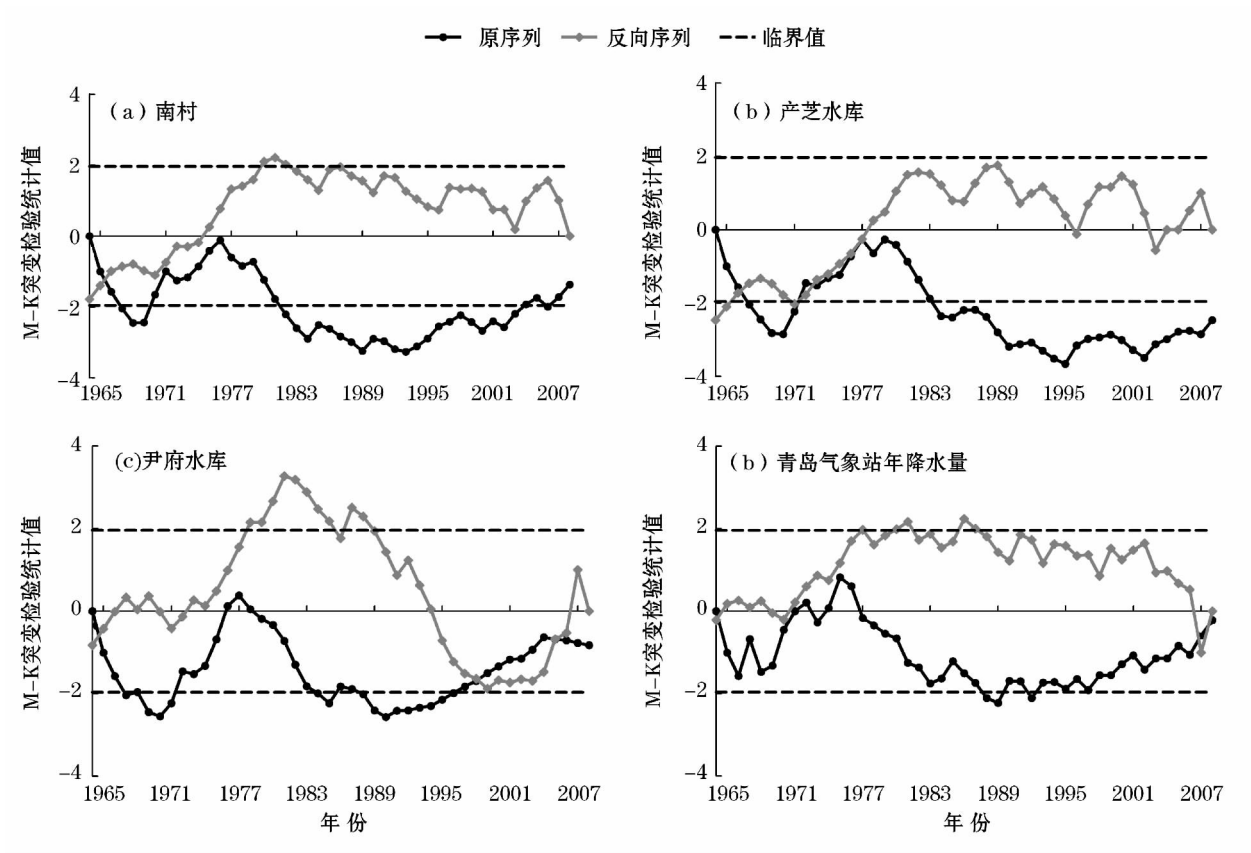


图 4 3 个水文站年径流量和青岛气象站年降水量的 M-K 突变检验

Fig.4 M-K sharp change test results of annual runoff volumes at the hydrological stations of Nancun (a) ,Chanzhi Reservoir (b) and Yinfu Reservoir (c) and of annual precipitation at Qingdao Meteorological Station

2.3 年径流小波周期分析

图 5(a、c、e) 和图 5(b、d、f) 分别表示年径流序列的小波功率谱和小波系数实部的等值线图。其中,小波功率谱表示年径流序列在各个时间尺度的

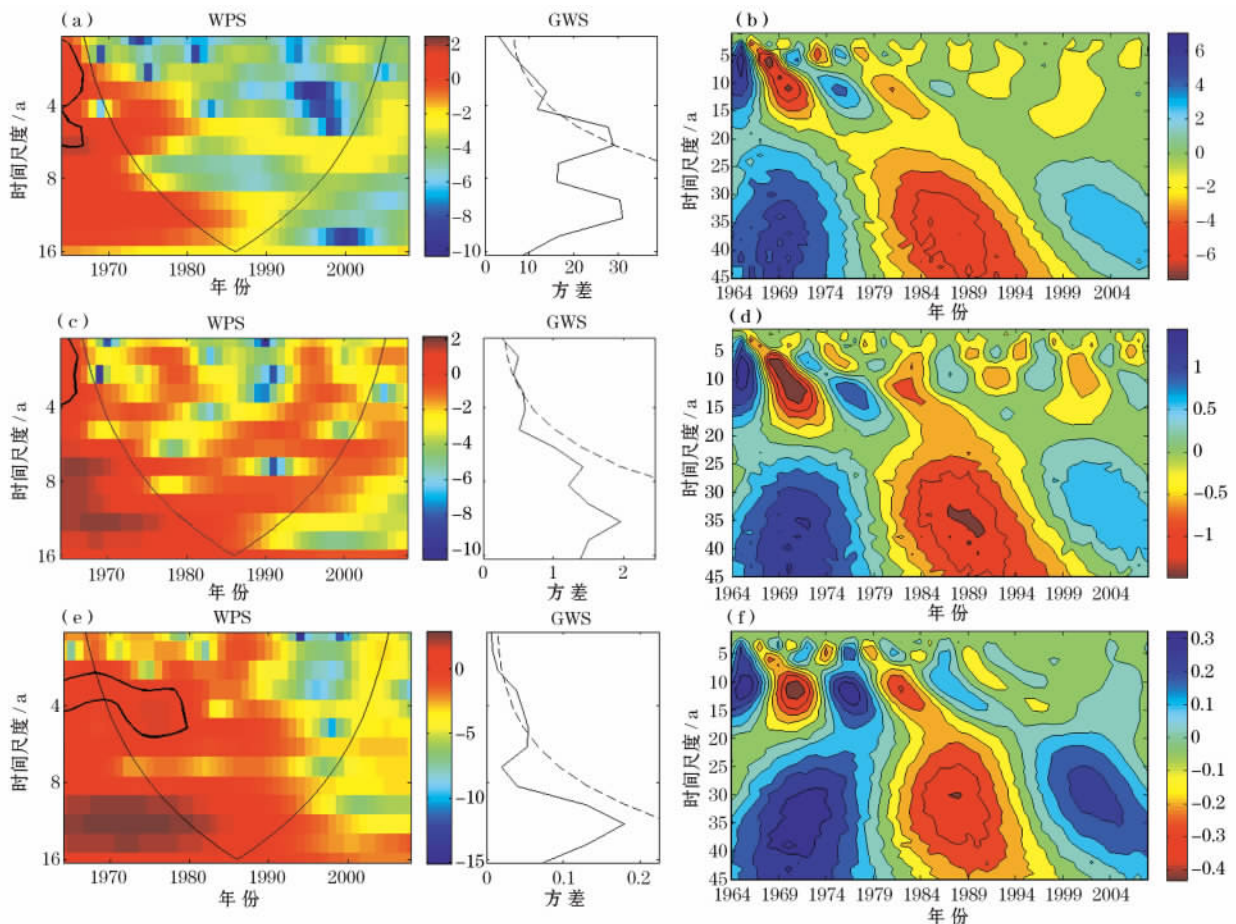
强弱,小波变换系数实部等值线则表示年径流多个特征时间尺度的周期变化及其在时间域中的分布情况,并在给定的时间和尺度下,给出相对于其他时间和尺度信号的强弱及位相两方面的信息,据此可判

断河川径流在未来不同时间尺度上的变化趋势。实部为正时,表示丰水期;为负时,表示枯水期^[23,26]。由图 5a 可见,1~3 a 尺度上,南村水文站的年径流在 1966 年之前表现出较高的功率谱值,但其位于 U 形曲线附近,分析结果不可靠;5~6 a 和 10~11 a 尺度上,年径流在 80 年代之前均呈现出较高的谱值(图 5a),而且正负位相交替出现,表现出丰—枯交替的准 3 次和准 2 次震荡(图 5b)。其中,10~11 a 尺度上,1967 年之前和 1974—1978 年为年径流的偏丰时期,而 1967—1973 年和 1979—1982 年为偏枯时期。然而,10~11 a 尺度的小波功率谱未通过 0.05 的显著性检验,5~6 a 尺度的周期虽然在 1966 年之前显著,但因位于 U 形曲线附近,分析结果不可靠。

由图 5(c~d)可见,产芝水库站的年径流序列存在 1~3 a、7 a 和 11 a 尺度的变化周期。1~3 a 尺度的周期主要发生于 1966 年之前,但因其位于 U

形曲线附近,分析结果不可靠;7 a 尺度的变化周期主要发生于 1980 年之前,表现出丰—枯交替的震荡变化;11 a 尺度的周期出现于 1985 年之前,其中,1969 年之前、1975—1980 年为偏丰时期,而 1969—1974 年和 1981—1985 年为偏枯时期,这与南村站基本相似。产芝水库站年径流序列 7 a 和 11 a 尺度的小波功率谱均未通过 0.05 的显著性检验。

由图 5(e~f)可见,尹府水库站的年径流序列存在准 4 a 和 11 a 尺度的变化周期。其中,准 4 a 周期主要发生在 20 世纪 80 年代之前,出现丰—枯交替的震荡变化。11 a 尺度的变化周期主要发生在 90 年代之前,表现为丰—枯—丰—枯—丰的交替变化。然而,只有准 4 a 尺度的小波功率谱通过了 0.05 的显著性检验。总体而言,大沽河年径流序列在 1964—2008 年的周期性不强,这可能是因为径流受人为因素的干扰。



a、c、e 中的 WPS 为功率谱、GWS 为小波全谱,粗线和虚线圈定的区域为 0.05 显著性水平,U 形表示影响锥范围;b、d、f 是小波系数实部图。

图 5 南村(a、b)、产芝水库(c、d)和尹府水库(e、f)水文站年径流序列 Morlet 小波变换

Fig. 5 Morlet wavelet transform of annual runoff volumes at the hydrological stations of Nancun (a, b), Chanzhi Reservoir (c, d) and Yinfu Reservoir (e, f)

2.4 径流变化的原因分析

根据 1964—2008 年南村水文站的年径流资料与青岛气象站的年降水资料,建立了大沽河流域年降水—年径流的双累积曲线。由图 6 可以发现,相对累积年降水序列、累积年径流自 1980 年发生了明显的偏移和转折。将该曲线发生显著偏移之前的时段(1964—1980 年)作为径流受人类活动影响较少的基准期,而将之后的时段(1981—2008 年)作为径流受人类活动影响强烈的变化期。

由图 7 可见,青岛气象站的年降水量在 1964—2008 年呈下降趋势,但并不显著。其中,基准期年均降水量为 771.27 mm,变化期为 662.78 mm,由基准期到变化期,年降水量减少 14.14%。降水是地表径流的主要来源,降水量的变化是流域径流减少的重要原因之一。同时,年气温在近 45 a 间表现为显著升高趋势(图 7),基准期和变化期年均气温分别为 12.21 °C 和 12.94 °C,对照基准期,变化期的年气温增加了 5.97%。气温升高会增加流域的总体蒸发水平,进而可能增加流域蒸发量与降水量的比

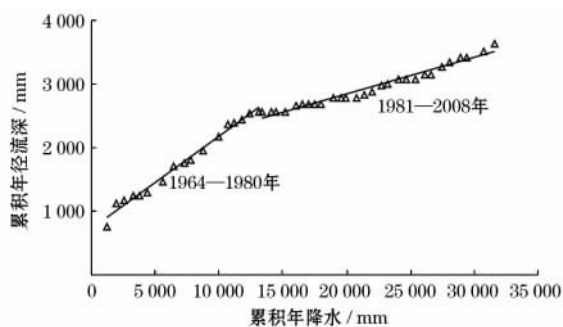


图 6 大沽河流域年降水—年径流双累积曲线

Fig. 6 Double mass curve of annual precipitation and annual runoff volume in the Dagou River Basin

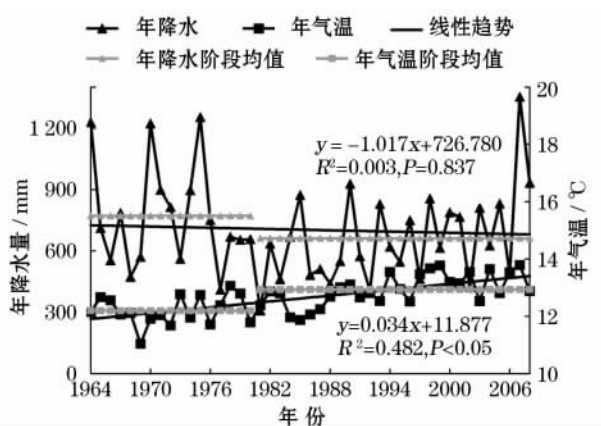


图 7 青岛气象站年降水与年气温时间序列

Fig. 7 Time series of annual precipitation and air temperature at Qingdao Meteorological Station

重,从而减少径流量。在上述气候变化的背景下,大沽河流域内一系列水利工程(水库、闸坝等)的建设、农田灌溉、废水排污等人类活动,极大地改变了流域的水文循环系统和水环境状况,进一步加剧了河川径流量的减少,甚至造成河道多年断流、水污染严峻。如今的大沽河已基本变为了季节性河流。

通过进一步分析年径流与年降水之间的相关关系,定量探讨降水变化和人类活动对径流的影响作用。基于 1964—1980 年的年降水与年径流资料,建立了累积年降水与累积年径流之间的线性回归方程,即:

$$\sum R = 0.1453 \sum P - 721.43$$

$$R^2 = 0.986, P < 0.05 \quad (1)$$

由式(1)可见,1964—1980 年,累积年径流和累积年降水的相关程度非常高,说明该时期大沽河流域径流变化受人类活动影响相对较小,因此,可以将该时段作为基准期。根据基准期的降水—径流关系,估算了 1964—2008 年的逐年径流量,并与实测径流进行比较。结果表明,1964—1980 年,实测年径流与估算年径流的拟合程度很高,显著性水平达 0.05。其中,决定系数(R^2)为 0.791,百分偏差(PBIS)为 -2.903,均方根误差与标准差的比例(RSR)为 0.488,这说明年降水—年径流的线性回归模型对年径流量的估算结果非常理想⁽²⁷⁾。分析大沽河流域径流变化,结果表明,由基准期到变化期,大沽河多年平均径流深减少 111.29 mm,其中,由降水变化引起的径流深减少量为 58.29 mm,占径流深减少总量的 52.38%,由人类活动导致的径流深减少量为 53.00 mm,占径流减少总量的 47.62%,说明降水变化和人类活动对径流变化的影响均比较显著。

3 结论

(1) 大沽河年径流表现出显著的年代际变化特征,45 a 间呈一定的下降趋势,尤其是 20 世纪 80 年代以来,南村站河道断流时常发生。

(2) 南村站径流具有显著的季节差异,年径流大多集中在汛期,汛期径流量占年径流总量的 89.8%,而非汛期的径流量则较小;此外,南村站径流表现出明显的季节变化特征,汛期径流量在 45 a 间显著减少,非汛期径流量的下降趋势虽然不显著,但自 20 世纪 80 年代以来基本为 0,各月经流(8—9

月除外) 也呈显著的下降趋势, 由此导致年径流量的大幅减少。相对而言, 产芝水库和尹府水库站径流的季节差异及变化趋势相对较小。

(3) 3 个水文站均在 20 世纪 60 年代初发生了突变现象, 与年降水序列的突变时间比较一致; 另外, 尹府水库站的年径流序列还存在显著的准 4 a 尺度的变化周期, 但均发生于 80 年代之前。

(4) 从基准期 (1964—1980 年) 到变化期 (1981—2008 年) 年降水量的减少与年气温的升高, 导致大沽河年径流深减少 58.29 mm (52.38%), 而由人类活动引起的年径流深减少量为 53.00 mm (47.62%)。降水变化和人类活动对径流变化的影响均比较显著; 而且, 在全球气候变化的背景下, 强烈的人类活动促使大沽河基本演变为季节性河流。

参考文献 (References):

- (1) Vörösmarty C J, Green P, Salisbury J, et al. Global water resources: Vulnerability from climate variability and population growth (J). *Science* 2000 289: 284–288.
- (2) Ma X, Xu J C, Luo Y, et al. Response of hydrological processes to land-cover and climate changes in Kejie watershed, South-west China (J). *Hydrological Processes* 2009 23: 1 179–1 191.
- (3) Li L J, Jiang D J, Hou X Y, et al. Simulated runoff responses to land use in the middle and upstream reaches of Taoerhe River basin, northeast China in wet, average and dry years (J). *Hydrological Processes* 2013 27: 3 484–3 494.
- (4) Legesse D, Vallet-Coulomb C, Gasse F. Hydrological response of a catchment to climate and land use changes in Tropical Africa: Case study south central Ethiopia (J). *Journal of Hydrology* 2003 275: 67–85.
- (5) Bewket W, Sterk G. Dynamics in land cover and its effect on stream flow in the Chemoga watershed, Blue Nile basin, Ethiopia (J). *Hydrological Processes* 2005 19: 445–458.
- (6) Chaves J E, Neill C, Germer S, et al. Land management impacts on runoff sources in small Amazon watersheds (J). *Hydrological Processes* 2008 22: 1 766–1 775.
- (7) Guo H, Hu Q, Jiang T. Annual and seasonal stream flow responses to climate and land-cover changes in the Poyang Lake basin, China (J). *Journal of Hydrology* 2008 355: 106–122.
- (8) Li Z, Liu W Z, Zhang X C, et al. Impacts of land use change and climate variability on hydrology in an agricultural catchment on the Loess Plateau of China (J). *Journal of Hydrology* 2009 377: 35–42.
- (9) 王根绪, 张钰, 刘桂民, 等. 马营河流域 1967—2000 年土地利用变化对河流径流的影响 (J). *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2005 35(7): 671–681. (Wang Genxu, Zhang Yu, Liu Guimin, et al. The effects of land use change on river runoff in Maying River basin during 1967–2000 (J). *Science in China Series D: Earth Sciences* 2005 35(7): 671–681.)
- (10) 李丽娟, 姜德娟, 杨俊伟, 等. 陕西大理河流域土地利用/覆被变化的水文效应 (J). *地理研究*, 2010 29(7): 1 233–1 243. (Li Lijuan, Jiang Dejuan, Yang Junwei, et al. Study on hydrological response to land use and land cover change in Dali River Basin, Shaanxi Province (J). *Geographical Research* 2010 29(7): 1 233–1 243.)
- (11) 胡珊珊, 郑红星, 刘昌明, 等. 气候变化和人类活动对白洋淀上游水源地径流的影响 (J). *地理学报*, 2012 67(1): 62–70. (Hu Shanshan, Zheng Hongxing, Liu Changming, et al. Assessing the impacts of climate variability and human activities on stream-flow in the water source area of Baiyangdian Lake (J). *Acta Geographica Sinica* 2012 67(1): 62–70.)
- (12) 张永勇, 张士锋, 翟晓燕, 等. 三江源区径流演变及其对气候变化的响应 (J). *地理学报*, 2012 67(1): 71–82. (Zhang Yongyong, Zhang Shifeng, Zhai Xiaoyan, et al. Runoff variation in the Three Rivers Source region and its response to climate change (J). *Acta Geographica Sinica* 2012 67(1): 71–82.)
- (13) 刘茂峰, 高彦春, 甘国靖. 白洋淀流域年径流变化趋势及气象影响因子分析 (J). *资源科学*, 2011 33(8): 1 438–1 445. (Liu Maofeng, Gao Yanchun, Gan Guojing. Long-term trends in annual runoff and the impact of meteorological factors in the Baiyangdian Watershed (J). *Resources Science* 2011 33(8): 1 438–1 445.)
- (14) 马新萍, 白红英, 侯钦磊, 等. 1959 年至 2010 年秦岭灞河流域径流量变化及其影响因素分析 (J). *资源科学*, 2012 34(7): 1 298–1 305. (Ma Xinping, Bai Hongying, Hou Qinlei, et al. Runoff change of Bahe River Basin in Qinling Mountains and its influencing factors (J). *Resources Science* 2012 34(7): 1 298–1 305.)
- (15) 王振龙, 陈玺, 郝振纯, 等. 淮河干流径流量长期变化趋势及周期分析 (J). *水文*, 2011 31(6): 79–85. (Wang Zhenlong, Chen Xi, Hao Zhenchun, et al. Long-term changing trends and periodic analysis of runoff at Lutaizi station on Huaihe River (J). *Journal of China Hydrology* 2011 31(6): 79–85.)
- (16) 李丽娟, 姜德娟, 李九一, 等. 土地利用/覆被变化的水文效应研究进展 (J). *自然资源学报*, 2007 22(2): 211–224. (Li Lijuan, Jiang Dejuan, Li Jiuyi, et al. Advances in hydrological response to land use and land cover change (J). *Journal of Natural Resources* 2007 22(2): 211–224.)
- (17) 鞠琴, 郝振纯, 余钟波, 等. IPCC AR4 气候情景下长江流域径流预测 (J). *水科学进展*, 2011 22(4): 462–469. (Ju Qin, Hao Zhenchun, Yu Zhongbo, et al. Runoff prediction in the Yangtze River basin based on IPCC AR4 climate change scenarios (J). *Advances in Water Science* 2011 22(4): 462–469.)
- (18) 姚文艺, 徐宗学, 王云璋. 气候变化背景下黄河流域径流变化情势分析 (J). *气象与环境科学*, 2009 32(2): 1–6. (Yao Wenyi, Xu Zongxue, Wang Yunzhang. Analysis of runoff variation in Yellow River Basin on the background of climate change (J). *Meteorological and Environmental Sciences* 2009 32(2): 1–6.)
- (19) 袁飞, 谢正辉, 任立良, 等. 气候变化对海河流域水文特性的影响 (J). *水利学报*, 2005(3): 274–279. (Yuan Fei, Xie Zhenghui, Ren Liliang, et al. Hydrological variation in Haihe River Basin due to climate change (J). *Journal of Hydraulic Engineering* 2005 (3): 274–279.)
- (20) 王刚, 严登华, 黄站峰, 等. 滦河流域径流的长期演变规律及其驱动因子 (J). *干旱区研究*, 2011 28(6): 998–1 004. (Wang

- Gang ,Yan Denghua ,Huang Zhanfeng ,et al. Analysis on the long-term evolution of runoff volume and its affecting factors in the Luanhe River Basin (J). *Arid Zone Research* ,2011 ,28(6) : 998 – 1 004.)
- (21) 徐小玲,延军平,梁煦枫. 三江源区径流量变化特征与人为影响程度(J). *干旱区研究* ,2009 ,26(1) : 88 – 93. (Xu Xiaoling , Yan Junping ,Liang Xufeng. Evaluation of changes in runoff and the effect of human activities in the source area of Three Rivers (J). *Arid Zone Research* ,2009 ,26(1) : 88 – 93.)
- (22) 刘德林,刘贤赵,李嘉竹,等. 胶东山区典型流域径流年内分配特征量化研究(J). *山地学报* ,2007 ,25(3) : 295 – 301. (Liu Delin ,Liu Xianzhao ,Li Jiazhu ,et al. A quantification study on distribution characteristics of inner yearly runoff of the representative drainage basin in Jiaodong Massif Area (J). *Journal of Mountain Science* ,2007 ,25(3) : 295 – 301.)
- (23) Liu D L ,Liu X Z ,Li B C ,et al. Multiple time scale analysis of river runoff using wavelet transform for Dagujia River Basin ,Yantai ,China (J). *Chinese Geographical Science* ,2009 ,19(2) : 158 – 167.
- (24) Sneyers R. On the Statistical Analysis of Series of Observations , WMO Technical Note No. 143 (R). Geneva ,Switzerland: Secretariat of the World Meteorological Organization ,1990.
- (25) Torrence C ,Compo G P. A practical guide to wavelet analysis (J). *Bulletin of the American Meteorological Society* ,1998 ,79: 61 – 78.
- (26) 张微微,李红,孙丹峰,等. 密云水库上游白河磷浓度时间序列的傅立叶与小波分析(J). *中国农业科学* ,2011 ,44(10) : 2 060 – 2 069. (Zhang Weiwei ,Li Hong ,Sun Danfeng ,et al. Fourier and wavelet analysis of phosphorus concentration time series in Baihe River in Miyun Reservoir Upstream Watershed (J). *Scientia Agricultura Sinica* ,2011 ,44(10) : 2 060 – 2 069.)
- (27) Moriasi D N ,Arnold J G ,Van Liew M W ,et al. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations (J). *Transactions of the ASABE* ,2007 ,50: 885 – 900.

Variation of Runoff Volume in the Dagu River Basin in the Jiaodong Peninsula

JIANG De-juan¹ , WANG Xiao-li^{1 2}

(1. Key Laboratory of Coastal Zone Environmental Processes and Ecological Remediation , Shandong Provincial Key Laboratory of Coastal Zone Environmental Processes , Yantai Institute of Coastal Zone Research , Chinese Academy of Sciences , Yantai 264003 , Shandong , China; 2. College of Architectural , Surveying and Mapping Engineering , Jiangxi University of Science and Technology , Ganzhou 341000 , Jiangxi , China)

Abstract: The Dagu River is the largest river in the Jiaodong Peninsula , and it is called as the mother river of Qingdao City. Runoff volume of the river has been sharply reduced since recent decades , and the drying-up of the river course has occurred frequently , which have seriously threatened the economic development and ecosystems. In this paper , the variation of annual and seasonal runoff volumes and the affecting factors were analyzed based on the data of monthly runoff volumes at 3 hydrological stations of Nancun , Chanzhi Reservoir and Yinfu Reservoir as well as the annual precipitation and air temperature data observed by Qingdao Meteorological Station during the period of 1964 – 2008. The results showed that the annual runoff volume of the river was in a slight reduction in recent 45 years , but its decadal difference was remarkable , especially since the 1980s. The annual runoff volume at Nancun Hydrological Station became zero for many years. There was a sharp change of annual runoff volumes at the 3 hydrological stations in the early-1960s , and also a 4-year fluctuation quasi-periodicity of annual runoff volume at Yinfu Reservoir Hydrological Station. Seasonally , 89.8% annual runoff volume at Nancun Hydrological Station occurred in flood season. Moreover , the runoff volume at Nancun Hydrological Station was in a notable reduction in flood season and other months except in August and September , its change was not obvious in non-flood season , but the runoff volume was 0 in most years from the 1980s. Seasonal difference of runoff volume between the hydrological stations of Chanzhi Reservoir and Yinfu Reservoir was low compared with that at Nancun Hydrological Station. Compared with the annual runoff volume during the period of 1964 – 1980 , the percentages of reduced annual runoff depth by precipitation reduction and by human activities during the period of 1981 – 2008 were 52.38% and 47.62% respectively , which revealed that the runoff variation was strongly affected by these two factors. Furthermore , under the background of global climate change , human activities exacerbated the reduction of runoff volume and resulted in the Dagu River to be as a seasonal river.

Key words: runoff volume; change trend; sharp change; period change; Dagu River Basin; Jiaodong Peninsula