

# 气候变化对海河流域径流量的影响

董恒 刘长燕 王涛涛 梁素伟

## 1. 海河流域概况

海河流域东临渤海，南界黄河，西倚太行，北接蒙古高原；地跨8省（自治区、直辖市），流域总面积31.8万km<sup>2</sup>。其中山地和高原面积18.9万km<sup>2</sup>；平原面积12.9万km<sup>2</sup>。海河流域主要流经河北省面积为12.46万km<sup>2</sup>，海河流域由潮白河、北运河、永定河、大清河、子牙河、漳卫南运河六大水系构成，由北到南呈扇形分布。

海河流域山区包括蓟运河山区、潮白河山区、永定河山区、大清河北支山区、大清河南支山区、滹沱河山区、滏阳河山区、漳河山区，面积为60035km<sup>2</sup>；平原包括淀西清北平原、淀东清北平原、淀西清南平原、淀东清南平原、滹沱平原、滏西平原、漳卫平原、黑龙港平原、运东平原、徒骇马颊西部平原，面积为65719km<sup>2</sup>。

## 2. 地表径流与气候特征

### 2.1 径流特征

海河流域在河北省境内多年平均径流量为67亿m<sup>3</sup>（1956-2000年），多年平均年径流深59.6mm。其中山区径流量53.6亿m<sup>3</sup>，径流深114.3mm；平原径流量13.4亿m<sup>3</sup>，径流深19.8mm。径流系数 $\alpha$ 是径流量与降水量的比，全流域的平均径流系数是0.1，其中山区是0.19，平原为0.04，径流系数大值区的降雨量集中，强度大，多为山区，产流量大。径流系数小值区的雨量小，且多是蒸发量大的平原区，产流量小。海河流域径流系数呈地带性分布。

根据1956-2000年系列数据，海河流域多年平均地表径流量为112.1亿m<sup>3</sup>，其中山区为98.7亿m<sup>3</sup>，平原为13.4

亿m<sup>3</sup>，山区比平原多85.3亿m<sup>3</sup>，总体来看，山区、全流域的地表径流量从上世纪50-80年代呈逐渐减少的趋势，至90年代有所回升；平原区的地表径流量年代变化不稳定，在60年代出现回升，70、80年代逐渐减小，至90年代又有所回升趋势，而90年代山区、平原、全流域地表径流量的回升与1996年大洪水有关。

### 2.2 气候特征

全海河流域属温带半湿润、半干旱大陆性季风气候区。海河流域河北省境内多年平均降水量为503.4mm。全年降水量80%集中在汛期6~9月份。降水量年际变化大，春季风强，蒸发旺盛，干旱少雨。存在连丰或连枯的变化规律，流域年平均气温10.8℃左右，年平均蒸发量为1853.3mm。蒸发量随着气温上升而增加，大致随纬度增加而递减。本次海河流域气候要素数据是根据1956~2000年的气象数据并运用面积加权平均的方法计算山区、平原及全流域多年平均值。

#### 2.2.1 降水量

大气降水是形成地表径流的主要来源，是水循环的重要环节和重要的气象要素之一。海河流域多年平均降水量为503.4mm。山区年均降水量为500mm，平原区为534mm，上世纪50~90年代，平原区、全流域的年均降水量逐渐降低。平原区的年均降水量从576.6mm降至499mm；全流域的降水量从569.8mm降至490.8mm。山区年均降水量从50年代至80年代呈降低趋势，而在90年代出现回升与1996、1998年的特大降雨有关。

#### 2.2.2 气温

气温是重要的气象要素之一，海河流域年平均气温为10.8℃，山区年均气

温为9℃，平原区年均气温为12.5℃，平原区的气温均比山区高3~4℃，气温的年内变化较平缓。上世纪50年代山区的年均气温为9℃，60~90年代逐渐升温，至90年代年均气温达到9.6℃；50年代平原区的年均气温为12.5℃，至90年代，气温一直呈现回升趋势，达到13℃。全流域上世纪50~90年代年均气温从10.1℃升至11.3℃，平均每10年升高0.2~0.5℃。

### 2.2.3 蒸发量

蒸发量是水循环的重要环节之一，海河流域多年平均蒸发量为1853.3mm，山区年均蒸发量为1830.7mm，平原区年均蒸发量为1609.2mm。蒸发量年内变化受季节影响较大，冬季寒冷，蒸发小；夏季气温高，蒸发量大；春秋两季风大，气候干燥，蒸发较大。上世纪50~90年代以来，山区年蒸发量从50年代的1880.6mm增加至60年代的1902.4mm，随后70、80、90年代逐渐减少。平原区年蒸发量50年代为1621.7mm，60、70年代逐渐增加，至1680.9mm，随后80、90年代逐渐减少；全流域的年均蒸发量年代变化趋势与山区的基本一致，仅60年代有所增加，其后70~90年代逐渐减少。据研究，蒸发量的下降原因与平均风速的减小存在明显的正相关关系。

## 3. 地表径流量与气候要素的关系

根据上述地表径流量与气候要素的年代分析结果表明，降水量随时间的变化趋势与全省水资源量随时间的变化趋势相一致，地表径流量随降水量的增加而增加，随降水量的减少而减少。地表径流的补给来源主要为大气降水，因此，海河流域地表径流减少的主要原

收稿日期：2010-03-17

作者简介：董恒，男，汉族，河北省水利科学研究院，助理工程师。

刘长燕，女，回族，河北省水利科学研究院，助理工程师。

王涛涛，男，汉族，河北省水利科学研究院，助理工程师。

梁素伟，男，汉族，河北省南水北调工程建设管理局，工程师。

因是该地区的大气降水随年代逐渐减少。而气温与地表径流量的变化趋势正好相反,地表径流量随气温的降低而减少,随气温的升高而增加,由此可知气温是影响地表径流量变化的重要要素之一。蒸发量受气温、风速等气象因素影响较大,从年代上看,蒸发量随年代逐渐减少趋势与地表径流量的变化趋势一致。

根据1956~2000年水文、气象观测数据,运用Eviews软件建立海河流域山区、平原区、全流域地表径流量与气候要素的统计模型,分析其相互之间的关系。以山区为例,蒸发量受气温的影响,且经过相关分析,蒸发量与气温呈相关关系,统计模型:地表径流量与降水量、气温之间的非线性关系,模型一: $lny = -8 + 1.96lnx_1 - lnx_2$ ;地表径流量与降水量、蒸发量之间的非线性关系,模型二: $lny = -22.5 + 2.24lnx_1 + 1.39lnx_3$ 。其中: $y$ 为径流量(单位:亿 $m^3/a$ ), $x_1$ 为降水量(单位: $mm/a$ ), $x_2$ 为气温( $^{\circ}C/a$ ), $x_3$ 为蒸发量( $mm/a$ )。

经统计检验,模型一的计算值 $F=60$ ,查表得 $F_{\alpha}=3.21(\alpha=0.05)$ , $F>F_{\alpha}$ ,相关显著;模型二的计算值 $F=64$ ,查表得 $F_{\alpha}=3.21(\alpha=0.05)$ , $F>F_{\alpha}$ 相关显著,因此可以用来进行有关预测。按此方法建立平原区、全流域的统计模型见表1。

根据上述模型分析,地表径流量与气候要素之间呈对数型非线性统计模型,降水量、蒸发量与地表径流量呈正相关,即地表径流量随着降水量、蒸发量的增加而增加,随着降水量、蒸发量的减少而减少;气温与地表径流量呈负相关,即地表径流量随着气温的升高而减少,随着气温降低而增加。所建模型与观测数据分析基本一致,模型可靠性较高。

#### 4.全流域地表径流量对气候要素变化的响应

##### 4.1 灵敏度分析

径流量对气候变化的灵敏度分析:在降水量分别变化-20%、-10%、0%、+10%、+20%与气温-2 $^{\circ}C$ 、-1 $^{\circ}C$ 、0 $^{\circ}C$ 、+1 $^{\circ}C$ 、+2 $^{\circ}C$ (取全流域的平均气温10.8 $^{\circ}C$ 作为初始气温),蒸发量-20%、-10%、0%、+10%、+20%,对径流量的影响叠加起来可以看出:在降水量不变的情况下,年径流量,随着年均气温的升高而减少,随着蒸发量的增加而增加;在气温或蒸发量不变时,年径流量随着降水量的增加而增加。降水愈少,蒸发量越小,气温愈高,则径流量越少;越是丰水或枯水的年份,年径流的响应越明显,降水对径流量的影响要大于气温、蒸发量变化的影响。

##### 4.2 气候情景预测

根据中国学者利用IPCC2002年开放的全球气候模式的预测结果,对中国大陆21世纪气候变化作出的趋势预测,并根据国家气候中心提供的区域气候模式模拟结果给出了海河流域2030年和2050年的年平均气温和年降水量的变化情况。以此为基础,根据近50a气候变化对海河地表径流影响的统计模型,对2030年和2050年海河流域地表径流进行预测。根据省气象局提供的降水量、气温预测资料,与1961~1990年的30a标准气候值相比,2030、2050年海河流域大部分地区年降水量将增加9%~13%、11%~15%;2030年、2050年海河流域中南部地区的气温升高1.1~1.2 $^{\circ}C$ 、1.7~1.8 $^{\circ}C$ 。

##### 4.3 地表径流量对气候预测情景的响应

根据以上气候变化预测未来2030年、2050年海河流域径流量的变化。2030年海河流域径流量的预测结果表明:在降水不变的情况下,径流量随气温的变化范围为-8.2%~9.7%;在气温不变的情况下,径流量随降水的变化范围为15.6%~22.8%;径流量随降水增加而增加,随气温增加而减少;当气温升高1 $^{\circ}C$ 和降水量增加13%时,径流量增加最多,为12.7%,数值为75.5亿 $m^3$ ;在气温升高1.2 $^{\circ}C$ 和降水量增加9%时,径流量增加最少,为4.3%,数值为69.9亿 $m^3$ 。2050年海河流域径流量的预测结果表明:在降水不变的情况下,径流量随气温的变化范围为-12.5%~13.9%;在气温不变的情况下,径流量随降水的变化范围为19.2%~26.5%;当气温升高1.6 $^{\circ}C$ 和降水量增加15%时,径流量增加最多,为10.6%,其数值为74.1亿 $m^3$ ;在气温升高1.8 $^{\circ}C$ 和降水量增加11%时,径流量增加最少,为2.6%,其数值为68.7亿 $m^3$ 。

## 5.结论

一是海河流域径流量近50a平均值为67.04亿 $m^3$ ,其中山区为53.6亿 $m^3$ ,平原区为13.44亿 $m^3$ 。径流量在上世纪50~80年代减少的主要原因之一是降水量逐渐减少,同期降水量从569.9mm减少到492.5mm,而气温从10.1 $^{\circ}C$ 升高到10.8 $^{\circ}C$ 。1995年和1996年降水量较大是引起90年代径流量回升的原因之一。

二是由海河流域近50a水文气象观测数据,地表径流量随降水量的增加而增加,随气温、蒸发量的增加而减少。根据2030、2050年气候情景预测数据,对海河流域地表径流量的预测结果为:2030年海河流域径流量的变化范围为4.3%~12.7%(与标准气候值相比),其数值为69.9亿 $m^3$ ~75.5亿 $m^3$ ;2050年海河流域径流量的变化范围为2.6%~10.6%(与标准气候值相比),其数值为68.7亿 $m^3$ ~74.1亿 $m^3$ 。

三是影响径流量变化的因素是复杂,既有气候因素,也有人为因素如山区水库蓄水截流、平原地下水超采、地下水水位下降等。因此,所得结论是初步的,只能反映现状条件下气候要素变化对径流量的影响。由于影响径流量变化因素的复杂性,有关人为因素的影响需要开展专项课题进行研究。□

表1 海河流域统计模型一览表

分区		回归方程	F计算值	F <sub>a</sub> 查表值
海河流域	山区	$lny = -8 + 1.96lnx_1 - lnx_2$ $lny = -22.5 + 2.24lnx_1 + 1.39lnx_3$	60	3.21
	平原	$lny = -8.4 + 2.5lnx_1 - 2.8lnx_2$ $lny = -30 + 2.97lnx_1 + 1.57lnx_3$	33 35	3.21 3.21
	全流域	$lny = -6.28 + 1.68lnx_1 - 0.97lnx_2$ $lny = -18.4 + 1.94lnx_1 + 1.08lnx_3$	39 44	3.21 3.21
说明	y	水资源量、 $x_1$ 降水量、 $x_2$ 气温、 $x_3$ 蒸发量		