

近期黄河上游气候变化对龙羊峡入库水量的影响

史玉品¹, 康玲玲², 王金花², 王云璋²

(1. 河海大学水资源环境学院, 江苏 南京 210098; 2. 黄河水利科学研究院, 河南 郑州 450003)

摘要 根据 1956 年以来气候资料, 统计分析黄河上游龙羊峡以上地区气温、降水分布规律及变化特点, 并以各站气温、降水与唐乃亥站天然径流量关系为基础, 建立天然径流量计算公式, 计算分析了唐乃亥以上地区 20 世纪 90 年代(近期)以来气候变化对龙羊峡入库径流量的影响, 以及唐乃亥站径流量对气候变化的敏感性。结果表明: ①近期唐乃亥以上各区年平均气温均较常年平均偏高 0.5℃左右, 而比前期升温达 0.7~0.8℃; 降水量不仅较多年均值偏少, 更比前期显著减少, 其中玛曲一带最大减幅达 15.8%; ②平均天然年径流量与前期相比, 近期减少了 43.7 亿 m³, 表明气候变化所引起的减幅达 20.2%; ③龙羊峡入库径流量对降水变化的响应要比气温更为显著。

关键词 天然径流量; 气候变化; 龙羊峡水库; 黄河上游

中图分类号: P333

文献标识码: A

文章编号: 1006-7647(2005)04-0005-04

Climate variation in upper Yellow River in 1990s and its influences on inflow of Longyangxia Reservoir //SHI Yu-pin¹, KANG Ling-ling², WANG Jin-hua², WANG Yun-zhang²(1. College of Water Resources and Environment, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Yellow River Institute of Hydraulic Research, Zhengzhou 450003, China)

Abstract: Distribution laws and variation characteristics of the precipitation and temperature in the area above the Longyangxia Reservoir on the upper Yellow River were analyzed with the climate data obtained since 1956. Based on the relationships between the natural runoff at the Tangnaihai Station and the temperature and precipitation at each gauging station, a natural runoff calculation formula was established. With the formula, the influence of climate variation in the upper Tangnaihai region since the 1990s on the inflow of the Longyangxia Reservoir was calculated, and the sensitivity of runoff at the Tangnaihai Station to climate variation was analyzed. The results show that the average annual temperature in the 1990s is about 0.5℃ higher than the perennial average value, and increases by 0.7~0.8℃ as compared with that of previous decades, that the annual rainfall of this region is much less than the long-term average value, and especially, the maximum reduction of rainfall is up to 15.8% in Maqu district, that the natural annual runoff in the 1990s decreases by $43.7 \times 10^8 \text{ m}^3$ as compared with that of previous decades, and 20.2% of which is induced by climate variation, and that the variation of rainfall is of great influences on the inflow of the Longyangxia Reservoir as compared with the variation of temperature.

Key words: natural runoff; climate variation; Longyangxia Reservoir; upper Yellow River

大气中 CO₂ 及其他痕量温室气体浓度的增加, 将改变地表的能量平衡, 从而引起全球性气候变化^[1]。水作为人类社会赖以生存的重要资源, 近年来又受到人类活动的严重干扰和影响, 缺水问题将严重制约经济和社会的发展。研究表明, 气候环境变迁是水资源变化的重要因素, 因此研究水文对气候变化的响应, 对水资源的开发利用、缓解水资源供需矛盾及促进经济发展都具有重要意义。

近年来随着气候变暖和流域干旱趋势的发展, 加之对水资源的不合理利用, 致使龙羊峡入库径流量较以往呈现出较大幅度的减少, 区域内出现了河

道断流、湖泊萎缩、湿地干化和龙羊峡水库的有效库容缩小等一系列严重现象。据统计, 代表龙羊峡入库的唐乃亥水文站 1990~2003 年的平均年径流量不足 168 亿 m³, 较 20 世纪 90 年代以前减少约 22%。这不仅加剧了水资源的供需矛盾, 而且限制了水库综合效益的发挥。

虽然对黄河上游 20 世纪 90 年代以来(以下简称近期)气候变化特点及其对水资源影响已有分析研究^[2,3], 但专题探讨气候变化对龙羊峡入库径流量影响的并不多。为此, 本文以实际资料为依据, 对黄河上游气候变化对龙羊峡水库入库水量的影响作

1 基本情况

1.1 流域概况

龙羊峡水库位于黄河上游青海省海南藏族自治州共和县和贵南县交界处的黄河干流上,水库的集水面积为 13.14 万 km²,约占黄河流域总面积的 18%,是黄河上游已规划河段的第一个梯级,库容达 247 亿 m³,相当于入库(唐乃亥水文站)天然年径流量的 1.2 倍.龙羊峡水库巨大的库容对于黄河丰、枯水量的调节发挥了重要作用,自建库以来,不仅带来了巨大的综合效益,而且为黄河沿岸供水、粮食增产以及农、林、牧业的发展创造了良好条件,尤其是 2000 年及 2001 年,黄河上游较常年来水量减少 27% 与 30%,但由于该水库较好地发挥了多年调节性能,两年内动用库存水量为下游补水 56 亿 m³,极大地缓解了黄河下游水资源短缺状况,保证了黄河下游不断流.

1.2 气温、降水资料与分区

根据黄河上游龙羊峡以上地区降水、气温资料的实际情况,本次选取 17 个水文、气象站,并用统计学方法对部分站、年(或月)缺测资料进行了插补、延长,最后统一取 1956~2003 年 1~12 月降水量和平均气温作为基本资料.考虑到该区降水主要集中在汛期的 5~10 月,且全年径流量的 80% 也在这一期间,因此把 5~10 月作为本文统计分析的重点时段.同时,根据流域水系和气候特点,将该区划分为达日以上地区(简称上游区)、达日至军功区间(简称产流区)和军功以下地区(简称下游区)(见表 1),并将整个研究区域简称为“全区”.

1.3 降水、气温主要特征

1.3.1 降水基本特征

图 1 给出了全区年降水量等值线.由图 1 可见,其年降水量大部分在 300~750 mm 之间,等值线除产流区呈西北—东南走向外,其余大多略呈西南—东北走向,不仅呈现出自东南向西北递减的趋势,而且表现为较大的地区差异性和干流以南区域随海拔高度增加而递增的特点.

从图 1 还可以看到,产流区是全区降水量最多

的区域,其降水量大多在 550 mm 以上,尤其四川境内的白河干上游,降水量多超过 700 mm,这无疑与该地区所处纬度较低,以及正位于巴颜喀拉山脉与岷山间隘口存在的西南水汽通道的下方有着直接的关系,而其他地区的降水量则大多在 550 mm 以下,尤其西北部在 300 mm 左右,这主要由于青藏高原的隆起,阻止了暖湿气流侵入的缘故,同时也显示出地形、地势对降水的影响.

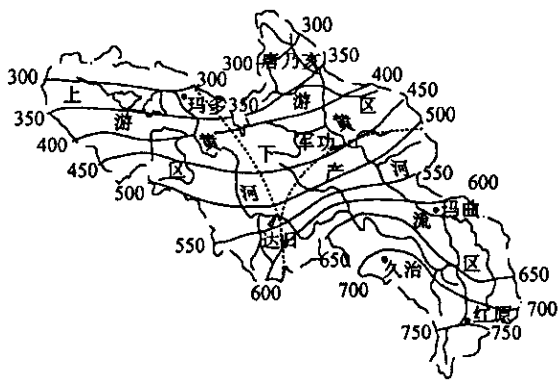


图 1 全区年降水量等值线分布(单位: mm)

根据黄河上游的实测资料,结合月降水量及其占年降水量比例统计不难看出,该区降水量的年内分配主要有以下几个特点:①降水主要集中于 5~9 月,该时段流域平均降水量达 455.1 mm,占年降水总量的 82%,其中 7 月降水量最多,占年降水总量的 20% 左右,其余各月也在 12% 以上.②各区汛期降水的集中程度有差别,其中以下游区最甚,达 87.2%;产流区最低,仅 80.7%;上游区居中,为 84.8%.③全年以隆冬 12 月、1 月降水量最少,大多不足 5 mm,其中又以下游区最甚,仅 1~2 mm.

1.3.2 气温基本特征

由于气温是影响蒸发能力的重要因素,因此在分析气候变化对径流影响过程中同样受到重视.通过对全区 5~10 月各区平均气温统计(表 1),可以看出气温的主要特点有:①气温低,全区年平均气温仅 1.3℃,即使夏半年 5~10 月平均也仅 7.7℃;②上游区气温最低,乃海拔最高所致,该区年内有一半以上时间在 0℃ 以下;③下游区平均气温最高,但 5~10 月平均气温却以产流区略高,这主要是因海拔高程和地理纬度综合作用的缘故;④全年以盛夏 7 月和

表 1 各区平均气温

区 域	多年平均气温		前期平均气温		近期平均气温					
							距平值		较前期变化值	
	全年	5~10月	全年	5~10月	全年	5~10月	全年	5~10月	全年	5~10月
上游区	2.4	4.7	-2.6	4.6	-1.8	5.2	0.6	0.5	0.8	0.6
产流区	0.9	7.9	0.6	7.7	1.3	8.3	0.4	0.4	0.7	0.7
下游区	1.7	7.8	1.5	7.6	2.2	8.1	0.5	0.3	0.7	0.5
全 区	1.3	7.7	1.2	7.6	1.8	8.2	0.5	0.5	0.7	0.6

8月气温最高,而隆冬12月和1月最低,分别为-8.4℃和-9.3℃,如玛多站1978年1月平均气温创-26.6℃最低纪录.

2 近期气候变化及其对径流量的影响

2.1 气温变化

表1给出了近期各区5~10月及年平均气温和距平值,同时还列出了较前期(1956~1989年)的变化值.由表1可见:①近期各区年平均气温均较常年偏高0.5℃左右,而比前期升温达0.7~0.8℃,其中以上游区升温最显著;②5~10月平均气温与年平均气温的趋势基本一致,只是较常年为正距平或者是比前期的递增幅度略小些,其中以产流区增温最显著,较前期增幅达0.7℃,这无疑对于径流量减少产生了重要影响.

2.2 降水量变化

图2给出了近期全区年降水量及其较前期变化率等值线.结合资料分析可知,由于地理位置和地形等特有条件的原因,近期降水量分布的总趋势并没有发生多大变化.但对照图1不难看出,近期降水量的地理分布较前期有较大变化,如在西北部原有降水量较少的地区,其降水量大于多年均值,已不存在原有的300mm等值线,说明近期降水量较前期有所增加,而相反的在其余大部分地区,降水量不仅较多年均值偏少,更比前期显著减少,表现为大面积的负距平区,多数较前期减少5%以上,特别是降水充沛的产流区减少幅度最大,如玛曲一带减少幅度达15.8%.

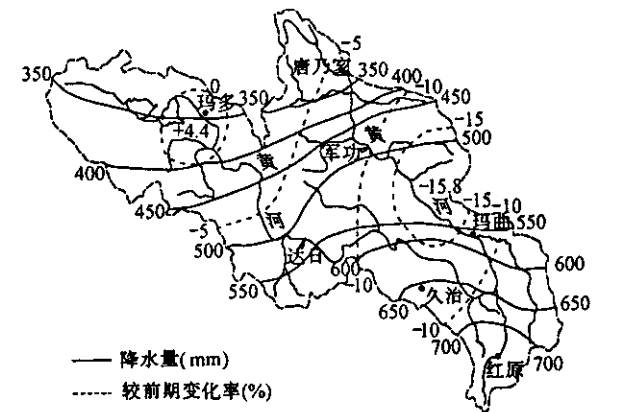


图2 近期全区年降水量及其较前期变化率

2.3 降水量的年内分配及其变化

表2列出了近期年内各月平均降水量及其占年总量的比例,同时还给出了较前期的变化率.对比前期平均情况不难看出:①汛期5~9月及11月期间的降水量较前期明显减少,其中以主汛期6~9月最甚,平均减幅在6.9%以上,这无疑是近期径流量减

少的主要原因;②非汛期1~4月及秋季10月降水量较前期增多则是近期降水量分配发生变化的又一特点,其中以1~3月最显著,如这3个月的增幅分别达20.6%、29.1%和24.3%;③尽管存在上述雨季降水量明显减少、非雨季降水量显著增多的特点,但降水量的年内变化过程仍与前期基本一致,而降水量的年内分配差异减小又是一个特点.

表2 近期降水量年内分配及较前期变化率统计

月份	前期		近期		降水量变化率/%
	降水量/mm	占年降水量比例/%	降水量/mm	占年降水量比例/%	
1	3.9	0.7	4.7	0.9	20.6
2	5.5	1.0	7.1	1.4	29.1
3	13.2	2.4	16.4	3.1	24.3
4	28.6	5.1	28.8	5.5	0.7
5	68.6	12.1	67.5	12.8	-1.7
6	101.3	17.9	94.4	17.9	-6.9
7	110.9	19.6	99.2	18.8	-10.6
8	94.9	16.8	86.8	16.4	-8.6
9	91.9	16.3	74.7	14.1	-18.8
10	39.3	7.0	41.6	7.9	5.9
11	6.4	1.2	6.1	1.2	-4.7
12	2.6	0.5	2.6	0.5	0.0

2.4 气候变化对径流的影响

2.4.1 天然径流量的计算公式

为分析气候变化对径流的影响,首先要建立天然径流量计算公式.为此,本文根据龙羊峡入库径流的形成机理,既重视同期降水、气温对径流形成的作用,同时还考虑到前期降水对当年径流量的影响,在统计分析1956~1989年唐乃亥站天然年径流量与各站气温、降水关系的基础上,取其中相关显著的代表站,并以统计气温、降水量作为基本因子,得到天然年径流量计算公式为

$$W = -207.117 + 0.855276x_1 - 19.007x_2 + 0.600983x_3 \quad (1)$$

式中:W为唐乃亥站天然年径流量,亿m³;x₁为同期年降水量,mm;x₂为同期5~10月平均气温,℃;x₃为上一年9~12月降水量,mm.图3给出了1956~1989年唐乃亥站天然年径流量的模拟结果,可见天然年径流量计算值与实际值拟合效果甚好,不仅两者变化趋势基本一致,而且主要峰、谷值也总体吻

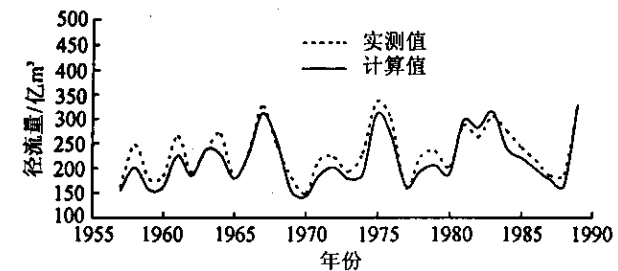


图3 唐乃亥站天然年径流量拟合计算曲线

合 经计算 ,方程的复相关系数达 0.946 ,说明该计算方程式具有较高的可信度.

2.4.2 气候变化影响量的计算分析

将有关因子值代入式(1)就可得到唐乃亥站近期各年的天然径流量.经统计,近期平均天然年径流量为 172.4 亿 m³,与前期平均天然年径流量(216.1 亿 m³)相比,减少了 43.7 亿 m³,表明由于气候变化所引起的天然径流量减幅达 20.2%.

3 径流对气候变化的敏感性分析

全球气候模型(GCMs)可估算未来几十年的气候变化状况.尽管各类气候模型的输出结果存在差异,但其总趋势一致表明:未来几十年内,对应于黄河上游龙羊峡水库以上地区的平均气温有可能升高 1~2℃,降水量则存在不同程度的增减^[4].为此,根据该区的可能变化趋势,采用假定气候变化方案(即气候情景),并利用天然径流量计算公式,计算分析唐乃亥站径流量对气候变化的敏感性.这里,首先假定气候变化不会改变气候因子的时空分布,并且未来将重现降水、气温和蒸发缩放后的序列^[5].据此,假定了 15 种气候情景:降水量变化($\Delta P/P$)为 $\pm 20\%$, $\pm 10\%$ 或不变,气温保持不变或升高 1℃和 2℃的 15 种组合,最后计算出不同气候情景所对应的唐乃亥站天然年径流量,进而推算出气候变化对天然年径流量影响的百分率(表 3).

表 3 不同气候情景下唐乃亥站天然年径流量变化率

$\Delta T/^\circ\text{C}$	天然年径流量变化率/%				
	$\frac{\Delta P}{P} = -20\%$	$\frac{\Delta P}{P} = -10\%$	$\frac{\Delta P}{P} = 0$	$\frac{\Delta P}{P} = 10\%$	$\frac{\Delta P}{P} = 20\%$
0	-29.3	-16.9	0.0	18.7	45.3
1	-33.5	-22.7	-3.2	14.3	36.7
2	-36.9	-25.4	-6.8	9.6	27.9

由表 3 可见:①径流量随降水量增加而递增,随气温升高而减小,反之亦然;②径流量对降水量变化的响应较气温更为显著.当气温不变、降水量增加

10%时,径流量将增加 18.7%,而当降水量不变、气温升高 1℃时,径流量将减少 3.2%;③随着降水量增加,温度对径流的影响也愈加明显;④在 15 种假定气候情景中,最为不利情景是气温升高 2℃、降水量减少 20%,此时径流量将减少 36.9%.

4 结 语

- a. 本文不仅初步揭示了近期龙羊峡入库径流减少的原因,而且有助于进一步认识气候变化对全区生态环境的影响,并为深入研究黄河上游径流量变化规律和合理调度、科学利用水资源提供了依据.
- b. 本文分析结果表明,降水量变化对径流的影响较为显著,气温变化对径流的影响相对较弱,但当今研究一致认为的气候变暖,将必然使黄河径流量呈减少趋势,这不仅在一定程度上加剧黄河水资源的供需矛盾,而且对黄河流域的生态环境工程提出了挑战.
- c. 本文采用统计学方法建立了天然径流量计算公式,并计算分析了气候变化对天然径流量的影响,这仅仅是定量分析气候变化影响的一种尝试,方法比较简单,结论也是初步的.

参考文献:

[1] Houghton J. 全球变暖[M]. 戴晓苏,石广玉,董敏译. 北京:气象出版社,1996.10—14.
[2] 王云璋,康玲玲,王国庆.近 50 年黄河上游降水变化及其对径流的影响[J].人民黄河,2004(2):5—7.
[3] 王国庆,史忠海.气候变化对黄河上游水文的影响[J].河南气象,2000(4):20—22.
[4] Houghton J T, Jenkins G J, Ephraums J J. The IPCC scientific assessment[M]. London:Cambridge University Press,1990. 76—97.
[5] WMO. Water resources and climate change :sensitivity of water resources systems to climate change and variability[R].1987.

(收稿日期 2004-10-26 编辑 熊水斌)

· 简讯 ·

首届水利博士论坛将在河海大学举办

首届水利博士论坛定于 2005 年 11 月中下旬在河海大学举办,会议由中国水利学会主办,中国水利学会青年工作委员会、河海大学承办.本届论坛的主题是“科技振兴水利,人才创造未来”.会议将向全国所有获得过和正在攻读博士学位的,在水利及相关领域从事科研、教学、规划、设计、施工和管理等方面工作的科技人员征集论文,论文涉及水利与经济社会可持续发展、防洪减灾与洪水资源的利用、水资源高效利用与节水技术、水污染防治与生态环境保护及修复、重大水利水电工程建设关键技术与管理等内容.

(本刊编辑部供稿)