

HBV模型在黄河源区的应用

孙利敏¹ 王祥峰² 杨雯¹

1. 四川省交通勘察设计研究院有限公司; 2. 中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司

摘要: 黄河源区属于对气候变化响应敏感的区域, 气候变化对黄河源区水资源具有显著影响。而在HBV模型应用于该流域的过程中尽管同时采用效率系数、确定性系数和相对累计误差为目标函数, 仍不能得到较好的结果。使用蒸发互补模型GG模型计算实际蒸发值, 使用Mann-Kendall趋势检验方法检验上述水文气象要素, 发现该流域的降水、径流和求得的实际蒸发值呈下降趋势, 平均温度、蒸发皿蒸发和日照时数呈上升趋势, 其中径流的下降趋势显著, 平均温度上升趋势显著。

关键词: 黄河源区; HBV模型; GG蒸发互补模型; 水文气象要素; 趋势检验

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.12.068

黄河源区属高寒地区, 对气候变化的响应敏感, 研究未来气候变化对黄河源区水资源的影响具有重要意义, 目前已经有许多模型应用在黄河源区, 如改进后的新安江模型, Tank模型^[1-2]等, 但是适用于高寒气候的HBV模型高寒气候的黄河源区应用较少。考虑到黄河源区的高寒气候对气候变化的敏感性, 特对黄河源区一些水文气象要素进行趋势分析, 以此来看是否存在较大的气候变化影响。在分析中使用的是用Mann-Kendall方法分析源区内面值, 与以往的采用Mann-Kendall方法或者小波分析及滑动平均法分析各个站点或者选取站点进行分析^[3]不同。而以往在模型的应用过程中往往使用Nash效率系数为目标函数, 而我们在研究中分别使用Nash效率系数、确定性系数和相对累积误差及综合考虑三者的情况为目标函数, 看是否会有较好的结果。

一、概述

黄河源区是指唐乃亥水文站以上流域, 位于东经95° 50' ~ 103° 30', 北纬32° 10' ~ 36° 05' 之间, 控制面积12万km², 占黄河流域面积的15.14%; 多年平均径流量为204.17亿m³, 占整个黄河多年平均径流量的38.15%, 为黄河主要产水区, 被形象地称为“黄河的水塔”。流域地势总趋势为西高东低, 平均海拔大约4000m。

黄河源区内有4个较大的水文站, 从上游到下游依次是黄河沿、吉迈、玛曲和唐乃亥, 其中唐乃亥为源区的出口控制站。源区内有12个气象站, 源区外有11个气象站, 本文只考虑源区内的站点, 但在资料插补时使用临近的源区外气象站资料。为了保证资料的完整性和统

一性, 根据资料起始时间不统一和不同站点缺测数据不同的情况, 对资料做出适当取舍, 分别采取直接剔除站点和插补的方法处理数据。

二、模型和方法

(一) HBV模型

HBV (Hydrologiska Byråns Vattenbalansavdelning) 模型是一种模拟积雪、融雪、实际蒸散量、土壤水分储存、地下水埋深和径流等机制的概念性半分布式降雨径流模型。

HBV模型主要包括三个模块: 积雪及融雪、土壤湿度计算和产汇流。该模型将降水、温度、径流和潜在蒸发值作为输入值, 利于考虑下垫面和降雨空间分布的差异, 并分别模拟各子流域的径流过程, 然后经过河道汇流形成流域总出口的径流过程。

(二) GG蒸发模型

Bouchet于1963年提出了陆面实际蒸散与可能蒸散之间的互补相关原理, 开辟了区域蒸散量计算的一条新途径。

三个基于互补关系的蒸散发模型AA (the advection-aridity model)、GG (Granger和Gray) 和CRAE (the complementary relationship areal evapotranspiration model), 本文选用GG模型来计算蒸散发值, 然后分析该流域实际蒸发的变化趋势。Granger和Gray将彭曼公式修改成在不同植被覆盖下估计实际蒸散发的公式^[1], 见公式1。

$$ET_a = \frac{\Delta G}{\Delta G + \gamma} R_n / \gamma + \frac{\gamma G}{\Delta G + \gamma} E_a \quad (1)$$

其中G是相对蒸发的无量纲参数, 是实际蒸散发对潜在蒸散发的相对比率。R_n是近地面太阳辐射, Δ是在空气温度下的饱和气压曲线坡度。γ是物理常量, λ是潜热, E_a是空气干燥能力。

(三) Mann-Kendall方法

Mann-Kendall趋势检验方法被认为是研究水文系列趋势的强有力工具。在水文序列趋势分析中, Mann-Kendall方法是被世界气象组织推荐并广泛使用的非参数检验方法。最初由Mann和Kendall提出, 现在已用于检验降水、径流和温度等要素的时间序列趋势变化。

假定n个相互独立的时间序列变量X₁, X₂, …, X_n, 其中n为时间序列的长度, Mann-Kendall方法定义统计变量S, 计算如下式:

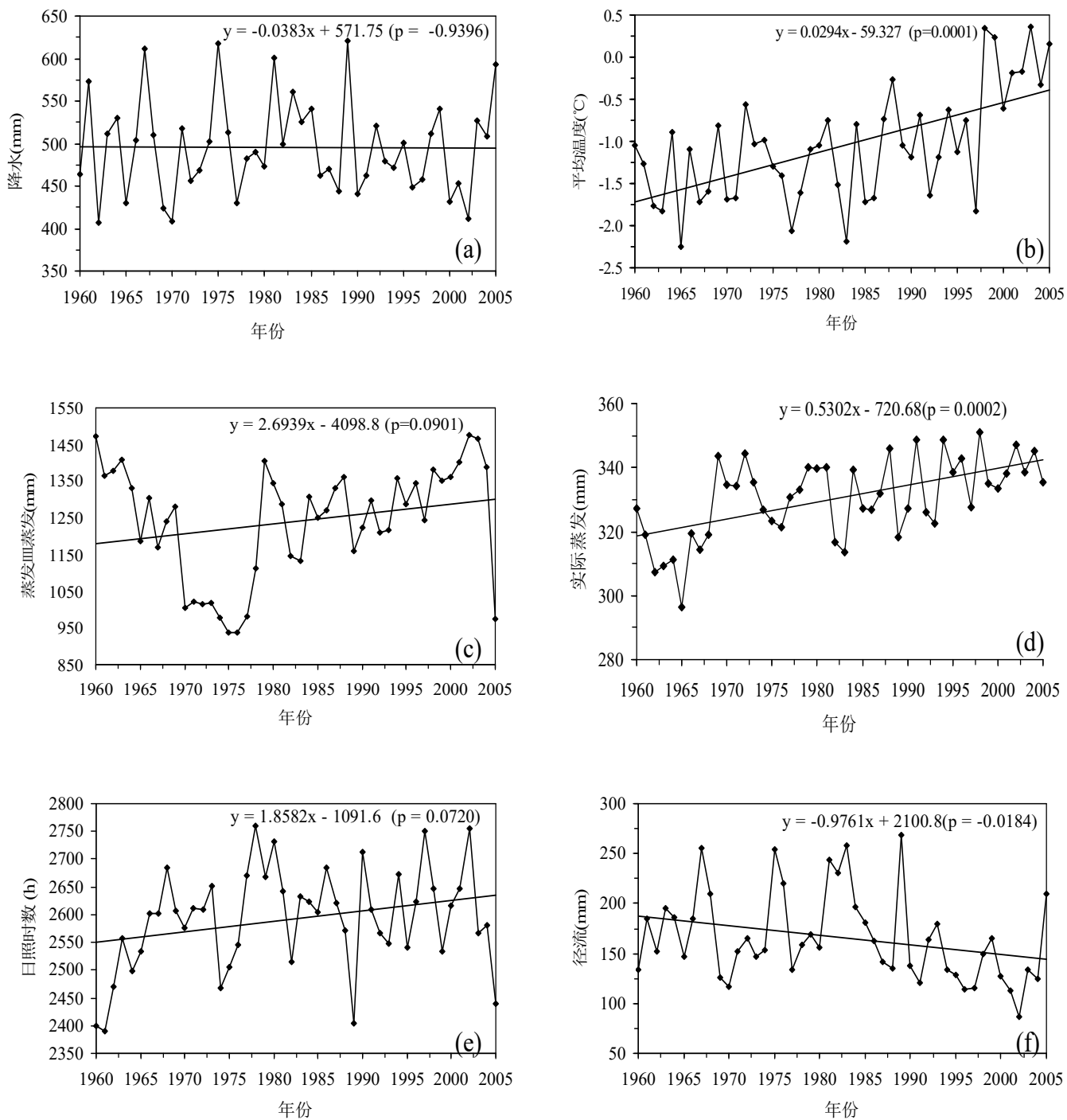


图1 主要水文气象要素趋势分析图

$$S = \sum_{j=1}^{n-1} \sum_{k=j+1}^n \text{sgn}(x_k - x_j) \quad (2)$$

式中, x_j , x_k 分别为 j , k 年的相应测量值, 且 $k > j$ 。

三、结果

(一) 模型结果

HBV模型自身带有优化参数的部分, 使用该模型可以用GAP优化或者我们常用的Monte Carlo方法进行参数优化得到相对合理的参数。在参数率定时, 我们同时采用GAP参数优化方法和Monte Carlo优化方法进行参数优化。在得到的众多组参数中, 选择效率系数较高的参数组进行检验分析, 但是在进行参数检验过程中发现, 率定期较好的参数到检验期得到的结果未必好, 加之在以前的参数率定和检验时是只使用模型的效率系数作为目标函数, 因此我们在此同时使用模型的效率系数, 确定性系数和相对误差作为模型检验期的目标函数。单独考虑模型的效率系数、确定性系数和相对误差及综合考虑各因素为目标函数的不同情况下模型的效率系数、确定性系数和相对误差见表1。

表1 模型的目标函数值

	CE	R2	RSME (mm)
CE	0.6567	0.7006	-3
R2	0.6526	0.7033	-6
RSME	0.6478	0.7003	0
综合	0.6567	0.6994	-2

由表2我们不难看出得到的结果的效率系数、确定性系数都不是很高, 但是得到的相对累计误差比较小。虽然分别考虑了不同目标函数为控制函数, 但是得到的效果仍然不是特别好, 为了探究其原因特进行了实测资料检验。

(二) 原因分析

利用现有资料, 采用GG蒸发互补模型计算出实际蒸发值, 使用Mann-Kendall方法进行趋势检验。在Mann-Kendall检验中当 p 值小于0.05时表示趋势明显, p 值后面负号表示具有下降趋势, 正号表示具有上升趋势, 其中平均温度、径流和实际蒸发具有明显趋势。进行趋势检验得到的趋势分析图见图1。

由图可以明显看出, 黄河源区近50年内平均温度、日照、蒸发皿蒸发和实际蒸发具有上升趋势, 其中平均温度和实际蒸发上升显著, 降水、径流呈下降趋势, 其中径流趋势明显。该流域的降水(图1(a))在整体趋势检验中未见明显变化, 基本是总体趋势微小下降, 但是出现年间隔波动现象, 年际差异较大。在全球变暖的趋势下, 黄河源区的温度(图1(b))也不可避免的

升温, 在70年代初开始增暖, 但是只有短暂的3~4年, 1986年开始出现显著变暖, 尤其在1998年以后温度增加尤为显著, 期间温度基本都高于前面近40年的最高温度。蒸发皿蒸发(图1(c))基本也是上升趋势, 但在70年代初出现了几年较小值, 究其原因是在70年代初出现较频繁降雪, 而在70年代中后期出现急剧增加。GG蒸发互补模型得到的实际蒸发值(图1(d))检验出来的结果是该流域的实际蒸发出现显著增加趋势, 这与近年来全球变暖现象, 气温上升有一定的关系, 而且近年来日照也呈现上升趋势, 日照的增加也会引起一定的蒸发增加。就日照时数(图1(e))而言, 日照时数在近50年来是呈上升趋势的, 虽然不是显著趋势, 但是上升幅度很大, 而且是阶段性上升。这与全球变暖, 温度升高有着极其密切的关系。总的来说是在60年代为第一上升阶段, 70年代中期到80年代中后期为第二上升阶段, 90年代以后的上升比前面两个阶段放缓, 到2000年以后甚至出现下降趋势。整个流域的径流(图1(f))在年际有一定的波动现象, 但是整体上是下降的^[5]。

从而验证了GG蒸发互补模型在黄河源区的气候条件下是可以进行应用的。

四、结语

由上述分析可以得到, 黄河源区的总体趋势是降水量减少, 气温升高, 日照时数增加, 并引起了实际蒸发上升, 这除了与大气环流有一定关系外, 还与该流域近年来城市人口增加, 建筑面积和道路面积增加, 还有工业发展有一定联系, 人类活动对气候变化有一定程度影响。但是具体出现这种现象是哪种原因占主导地位还有待进一步研究。而各水文气象要素受到气候变化影响引起了水文模型在应用过程中效率系数发生明显变化, 因此可以判断出模型输出结果会由于资料输入引起不确定性, 由此引起的不确定性也应该进行一定的分析。

参考文献

- [1] 许慧萍. 考虑季节性冻土的黄河源区流域水文TANK模型[D]. 中国地质大学(北京)硕士论文, 2009.
- [2] 江微娟. 黄河源区气候变化分析[D]. 河海大学硕士论文, 2009.
- [3] 霍小虎, 刘根生, 苟万德. 黄河源区水文水资源特性分析及变化规律研究[J]. 甘肃水利水电技术, 2003, 39(3): 195-199.
- [4] 黄荣辉, 韦志刚, 李锁锁, 等. 黄河上游和源区气候、水文的年代际变化及其对华北水资源的影响[J]. 气候与环境研究, 2006, 11(3): 245-258.
- [5] 郝振纯, 李丽, 张磊磊, 等. GCMs模式在黄河源区的适用性分析[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2009, 37(1): 7-11.