

气候变化与人类活动对水文水资源影响的区分方法

黄惠娟

甘肃省平凉水文水资源勘测中心

DOI:10.12238/hwr.v9i9.6580

[摘要] 气候变化以及人类活动是当下影响水文水资源循环的两个主要因素。但是两者影响机制复杂, 互相交织。流域尺度上精确的量度并且拆分他们的影响, 是水文学研究中的一大难题。本文对用来拆分这两种驱动力贡献的常用方法进行了系统性的梳理, 有基于水文模型的定量分析法, 基于统计学的回归分析法和基于水量平衡的弹性系数法。文章对这些方法各自所依据的理论基础, 适用的场合以及局限性都做了详细的说明。通过深入的研究, 发觉光凭一种办法很难把问题解决。所以以后要创建一个融合了各种方法和各种数据来源的综合分析体系。本文还分析了目前研究中存在的数据获取难、模型不确定性大、相互作用复杂等问题, 并提出了发展大数据、人工智能、水文科学相结合的思想, 希望给人们认识流域水文响应机理、制定可持续的水资源管理策略提供新的方法启示。

[关键词] 气候变化; 人类活动; 水文循环; 径流量; 区分方法; 水文模型; 弹性系数; 水资源管理中图分类号: TV213 文献标识码: A

The method for distinguishing the impacts of climate change and human activities on hydrology and water resources

Huijuan Huang

Pingliang Hydrological and Water Resources Survey Center of Gansu Province

[Abstract] Climate change and human activities are the two main factors influencing the hydrological and water resources cycle at present. However, the influence mechanisms of the two are complex and intertwined with each other. Precise measurement at the basin scale and dissection of their impacts is a major challenge in hydrology research. This article systematically reviews the common methods used to break down the contributions of these two driving forces, including quantitative analysis based on hydrological models, regression analysis based on statistics, and elastic coefficient method based on water balance. The article provides a detailed explanation of the theoretical basis on which each of these methods is based, the applicable occasions and the limitations. Through in-depth research, it was found that it is very difficult to solve the problem by relying on just one method. Therefore, in the future, a comprehensive analysis system that integrates various methods and data sources should be established. This paper also analyzes the problems existing in current research, such as difficult data acquisition, high model uncertainty, and complex interactions, and proposes the idea of developing a combination of big data, artificial intelligence, and hydrological science, hoping to provide new methodological inspirations for people to understand the mechanism of hydrological response in river basins and formulate sustainable water resource management strategies.

[Key words] Climate change; human activities; hydrological cycle; runoff volume; classification method; hydrological model; elasticity coefficient; water resources management

引言

全球气候变化以及各种越来越严重的人类活动, 目前是造成水文水资源循环变化最大的两个外在驱动力。径流、蒸散发, 地下水位等水文循环要素的时空分布变化是由各种外部扰动综合造成的。但是气候变化和人类活动两者之间是相互影响的,

而且呈现出来的是复杂的非线性关系, 所以要在具体的流域中去准确地衡量并且分离出他们的作用仍然是一个很大的难题。气候变化主要是通过改变水文循环中的一些自然因素来影响水文过程, 主要的自然因素就是降水、温度、蒸散发等等。比如气温上升使得冰雪融化速度变快, 蒸散发增加, 从而改变河流

地表径流的补给时间与数量。降水平面的变化直接影响流域的产流过程,而极端降水事件的频繁发生又给水文安全造成极大的威胁。

人类活动对流域的主要直接作用就是改造流域的下垫面条件、水资源配置格局。具体有土地利用/覆被变化、水库等水利工程建设、灌溉农业的发展、城镇化的推进和地下水的大量开采等。大面积森林砍伐会大大降低土壤涵养水源的能力,改变流域产汇流的性质。而水库建设直接调节天然径流的时间分配,在枯水期增流的同时削峰,彻底改变河流的天然水文情势。正确识别这两类驱动力的相对贡献,对进一步认识流域水文响应机理、科学评价水资源可持续性、制定适宜的气候变化适应策略与管理措施有着十分重要的理论意义与实践价值。这篇文章要全面概括有关分辨气候改变和人类活动影响的常用方法,探究它们的理论根基,适宜范围,不足之处以及发展走向,为相关研究和应用给予体系化的方法论参考。

1 水文水资源变化驱动力的理论基础解析

水文水资源变化驱动力解析的理论依据可以用一个简单的水量平衡模型来表达,但是其内部机理非常复杂。在自然状态下,没有人为因素影响的情况下,一个流域的水文循环主要是由气候因素决定的,降雨和气温的变化起着决定性的作用,一个流域的径流变化可以看作是气候变化的直接反映结果^[1]。从数学角度来分析的话,天然状态下水量平衡就可以写成 $Q=P-E-\Delta S$ 这样的形式,其中 Q 为径流量、 P 为降水量、 E 为蒸散发量、 ΔS 是流域的储水量变化。一旦有外来的人类活动干扰进入系统,实际观测到的总水文变化就可以被概念化成气候变化、人类活动以及二者交互作用的结果: $\Delta Q_{\text{总}} = \Delta Q_{\text{气候}} + \Delta Q_{\text{人类活动}} + \Delta Q_{\text{交互作用}}$ 。它提供了一个基本的分析思路来进行区分研究: 首先建立一个参照基准期,假定在某一时期内,流域水文循环主要是由气候决定的;然后用某种方式来度量之后时期实际发生的水文变化和基准的差距;

2 典型水文指标体系用于区分影响

在开展气候变化和人类活动对水文水资源影响评价时,选择合适的评价指标是很重要的。这些指标可以反映流域水文循环的变化特征,也可以作为量化不同驱动力贡献的基础数据。按照指标所具有的物理意义及其敏感性特征,可以将它们划分为不同的级别层次。径流量是最常用、最直接的指标,是流域降雨-径流过程的最终产物,径流量的变化最能反映气候变化、人类活动等各方面因素综合作用的结果。径流系数是年径流量与年降水量之比,它是一个对流域下垫面改变很敏感的指标,在一定程度上可以消除降水量变化的影响,更直接地反映出人类活动对流域产汇流能力改变的程度。水库蓄水量、地下水储量、地下水位等指标更能直接反映人类对水资源的开发利用及管理调度情况,地下水位的不断下降就是地下水超采的直接证据^[2]。

3 区分气候变化与人类活动影响的四种主要方法

3.1 水文模型定量分析方法研究

水文模型法是目前最广泛接受和应用的区分气候变化与人类活动影响的主要方法。其基本思想就是建立一个可以模拟流域水文过程的数值模型,然后通过设计不同的情景来分离出各个驱动因子的影响。该方法的实施一般有以下几个步骤: 首先选择符合研究流域特点的水文模型,例如VIC、SWAT、新安江模型等等;然后在“参考期”校准模型,“参考期”应该选择人类活动影响较小的历史时期;之后设定对比情景进行模拟,包括气候变化情景和综合影响情景;最后将不同情景的模拟结果做比较分析来量化各个因素的影响^[3]。

3.2 基于统计学的回归分析方法研究

统计学方法也是被广泛使用的区分方法,它的基本思想就是利用统计模型去描述水文变量和气候变量之间的关系。它首先假定在某段时间内,流域的水文过程与气候驱动因子之间存在一定的统计联系,这个联系可以用多元线性回归或者其他统计模型来表达。具体实施过程包括: 用水文变量和气候变量在基准期的观测数据建立二者之间的统计关系;把建立好的统计关系应用于后续时期的气候数据,预测出在气候因素单独作用下的理论径流;将预测值同实际观测值作比较,两者之间的差距是由于人类活动引起的变化。除了基本的多元线性回归之外,还有Mann-Kendall趋势检验、累积量曲线法、小波分析法等。

3.3 基于水量平衡的弹性系数法

水量平衡法是水文分析最基础的理论,与弹性系数概念相结合,形成了一种简单有效的方法。它依靠Budyko假说及长期水量平衡方程,经过数学推导获得径流对于降水、潜在蒸散发的弹性系数。具体应用步骤包括: 根据基准期水文气象数据计算径流对降水和潜在蒸散发的弹性系数;用弹性系数与气候因子变化量计算纯气候变化引起的径流变化;总径流变化减去气候变化的贡献,得出人类活动的影响。弹性系数法适用于数据稀少或者流域下垫面变化不大地区的水资源承载力研究,有理论清楚、计算简单、客观性好等特点。但是该方法将复杂的水文过程简化为统计关系,不能很好地反映出系统的非线性特性,也不能考虑各个因子之间的复杂相互作用及反馈机制,在人类活动频繁的流域中,其结果的准确性可能会受到质疑^[4]。

3.4 其他新兴方法

随着科学技术的发展,一些新的分析方法也相继出现。机器学习方法使用神经网络、支持向量机、随机森林等算法来创建水文变量同各种驱动因子的非线性关系,可以更好的发现复杂的系统响应特性。集合分析方法把几种不同的模型或者方法结合起来,用集合平均或者权值分配的办法来加强分析的结果的可靠性与稳健性。贝叶斯推理方法是利用贝叶斯统计理论,在考虑先验信息的基础上不断地更新对各种因素影响程度的认识,能很好地处理不确定性的问题。这些新出现的方法给解决复杂的影响区分问题带来新的手段,但是在应用上还要做更多的验证和完善。

4 综合分析框架的构建及其挑战

4.1 多方法融合的综合分析框架构建

虽然以上的方法各有优势并且各有适合的场合,但是单一的方法不能全面、准确的把气候变化的影响和人为的影响分开,尤其是自然与人文因素复杂的大流域。这就使得创建出一种汇集各种方法、各种尺度的综合分析框架成为当下研究发展的主要走向。综合分析框架的主要思想就是利用不同方法各自的优势,互相补充,互相印证,从而得出更可靠、准确的分析结果。典型框架设计有初步诊断层(用统计学方法快速识别)、机理解析层(用水文模型做深入模拟)、敏感性分析层(用弹性系数法评价敏感度)、不确定性评估层(对各种方法进行综合评价可信度)等等。而且可以借助遥感数据、地面观测数据、社会经济统计数据等多种数据展开交叉验证、相互校正,做到多时空尺度信息的融合。它给了解决复杂的影响区分问题的新思路,但实际应用中仍然存在方法集成技术难题和计算复杂度的问题^[5]。

4.2 当前研究面临的主要挑战

综合分析框架给解决复杂的因素区分问题带来了新的思路,但是在应用当中也存在很多的问题。数据获取和质量问题是首要问题,长期、连续、高质量的水文、气象、人类活动数据很难获得,尤其是人类活动数据的量化非常困难,灌溉面积变化、水库调度策略、城市不透水面扩展等信息很难在正确的时空尺度上量化。模型结构与参数的不确定性亦很显著,已有水文模型在描述复杂的、人类活动导致水文系统发生改变时就存在固有的缺陷,不同模型的结构或许会得到差别很大的结果,而对模型参数的时间稳定性的假设也常常很难符合要求。最困难的理论和技术挑战就是对复杂相互作用机制的处理,气候变化和人类活动之间存在复杂的非线性相互作用和反馈机制,直接的物理相互作用、通过生态系统的间接相互作用、时间尺度上的滞后效应和累积效应、空间尺度上的传递和放大效应等各个方面。另外,不同方法集成的技术难题也需要被考虑进去,因为不同方法是基于不同的理论假设、数据要求进行分析的,导致它们的结果不具备可比性、一致性问题,如何科学合理地进行方法的集成也是一个技术上的难题。

4.3 发展前景与技术创新方向

针对上文的挑战,未来的研发发展要靠几个方面取得突破和创新。大数据技术给水文科学研究带来从未有过的契机,高分

辨率遥感数据,物联网传感器数据等爆炸式增长之际,怎样从众多异质数据当中找出有益的水文资讯就成了要紧之事。人工智能技术,尤其是深度学习、强化学习算法,给复杂的非线性水文系统建模带来了新的可能,它可以自动学习数据里复杂的关系,找到传统的办法很难察觉的非线性关系。云计算以及高性能计算技术的发展给大规模、高精度的水文模拟带来了非常强的计算支持^[6]。

5 结论与展望

从以上分析可以得出,气候变化与人类活动的综合作用才是造成水文水资源变化的主要外因,如何有效的分辨出二者的影响仍旧是水文学所面临的重要科学问题。本文对目前主要的区分方法做了系统的整理,研究表明水文模型法由于有坚实的物理基础而被广泛应用,统计学方法因为简单方便而被应用,弹性系数法则为数据稀少的地方提供了帮助。未来的研究趋势是形成一个融合多种方法、多种数据来源的综合分析框架,依靠各种方法的不同比较优势来提升分析结果的可靠程度。当前研究面临数据获取、主要挑战:模型不确定性、处理复杂的相互作用机制等要靠创新理论、提升技术、跨越学科来一点点地去解决。

【参考文献】

- [1]刘昌明,张学成.中国水资源现状评价与供需发展趋势分析[J].地理学报,2001,56(6):615-622.
- [2]王国庆,刘翠善,金君良,等.气候变化和人类活动对径流影响的定量分离研究进展[J].水利学报,2016,47(1):89-99.
- [3]谢平,陈广才,刘昌明.水文水资源中长期变化的驱动因子识别方法研究[J].水科学进展,2010,21(4):531-539.
- [4]赵人俊.新安江模型参数的分析[J].水文,1988(6):2-9.
- [5]魏凤英.现代气候统计诊断与预测技术[M].北京:气象出版社,2007.
- [6]左其亭,马军霞,陈嘻.基于大数据的智慧水利发展框架研究[J].水利学报,2019,50(9):1163-1173.

作者简介:

黄惠娟(1989--),女,汉族,甘肃陇南人,工程师,主要研究方向:水文水资源应用研究。