

# 水文预报方法研究现状与展望

毛慧慧, 延耀兴, 张 杰

(太原理工大学, 山西太原, 030024)

**摘 要:**水文预报在防洪减灾中具有重要的理论意义和现实意义。系统回顾和总结了水文预报方面国内外的主要研究进展,对经验相关法、传统模型、现代模型和 PUB 方法分别进行了评述和分析,并对今后的水文预报工作进行了展望。

**关键词:**水文预报;经验相关法;传统模型;现代模型;PUB

**中图分类号:**P338

**文献标识码:**A

水文预报是对水文现象的未来状态作出事先的估计。水文预报从经验公式、集总模型走到分布式模型,已取得丰硕成果。准确及时的水文预报在防洪抢险、保证工农业安全生产,充分利用水资源以及发挥水利措施的作用方面都有很大的作用。因此,开展这方面的研究具有重要的理论价值及现实意义。

## 1 水文预报模型分类

水文预报的方法大体可以分为经验相关法和模型两类。经验相关法是对成熟、有一定理论依据的常用方法,其描述的是自变量、因变量间的统计规律及物理成因联系。模型方法与过去常用的经验相关法都以一定的物理概念为基础,并都依据大量实测资料。但模型方法的特点是模拟水文系统内在关系的方法,模型方法的目的是试图描述水文现象间内在的联系与变化过程,对水文预报来说,是试图从根本上解决水文现象在预报中的作用机理与规律的一门科学,比经验相关法有了很大的进步。模型方法可以分为传统模型和现代模型方法:传统模型是应用时间较长,研究相对较多的传统模型方法,这类方法以我国独创的新安江模型、陕北模型等为典型,国外的水箱模型方法也属这一类方法;现代模型则是利用了现代发展的新的理论、技术为主的模型,如人工神经网络模型, GIS, RS 等支持的模型等。

## 2 经验相关法

经验相关法是在水文上出现最早、最常用、研究最多的方法。该方法的实质是把水文现象的原因与结果看作自变量与因变量,对实测数值用统计相关或其他相关拟合技术,求出它们之间的定量关系或者直接用图解法求相关关系。经验相关法简单,对实测范围内的统计关系不会出现异常或悖论,但对相关关系的延长将不能保证其可靠性。由于该方法没有考虑其内部关系,也无法考虑下垫面等条件变化,因此有缺陷。由于经验相关方案的决定条件是误差最小原则,而不是客观水文规律本身,因此它往往会带来内部矛盾,即总结结果与其部分结果之间的矛盾。

## 3 传统模型

### 3.1 新安江模型和陕北模型

新安江模型<sup>[1]</sup>是一个适用于湿润地区与半湿润地区,具有分散参数的概念性模型。模型把径流分为直接径流与基流两种水源。对于壤中流及地下水比例较大的流域,模拟精度不高。对壤中流丰富的地区,用二水源新安江模型模拟结果不够好,后来改进为三水源新安江模型。按传统观念分,该模型属于蓄满产流模型。

干旱地区地下水埋藏很深,包气带可达几十米甚至上百米,降水不易使这样厚的包气带蓄满,下渗的水量全蓄于包气带后耗于蒸发,因此这些地区一般不会产生地下径流,并且只有当降雨强度超过下渗率时才有地面径流产生,这正是陕北模型的产流机理,也就是通常情况下的超渗产流模型。

万方数据

以上两模型将产流过程截然划分为蓄满与超渗两种情况,但实际观测与理论分析发展,在一场暴雨中的不同时间或流域的不同地点,这两种产流方式可能同时存在,这是一个不争的事实,基于这一点,近些年来人们探索一种可以称为“双超”的模型。

### 3.2 萨克拉门托模型

萨克拉门托模型是美国于 20 世纪 70 年代在斯坦福 IV 号模型的基础上提出的<sup>[2]</sup>。模型把流域分为透水面积、不透水面积及变动的不透水面积 3 部分。模型结构为:土层分为上下两层,每一层都包括张力水和自由水。张力水消耗于蒸散发,自由水可以产流。每层中的张力水和自由水的蓄水能力被定义为模型参数。模型采用了分层结构,地面径流为表面饱和产流,地下径流为蓄满产流,壤中流为层间超渗产流。

### 3.3 水箱模型

水箱模型<sup>[3]</sup>是由日本东京国立防灾科学技术中心研制的。模型的基本结构是水箱。将降雨径流过程模拟为若干个水箱的调蓄作用,分为湿润地区的简单水箱模型和非湿润地区的并联水箱模型两种。水箱模型的一个重要特性是改变模型参数值确实能够改变模型的结构。但因模型的结构基本上属于不定,参数与流域汇流的物理过程没有建立直接关系,所以,确定参数主要靠试算。

### 3.4 API 型模型

API 型模型<sup>[4]</sup>的特点是组合经过水文预报实践、行之有效的预报或连续径流模型。它包括 4 个预报过程:API 型降雨径流增量关系,单位线,地下水入流过程计算,地下水线性水库演算。在推求降雨径流增量关系时,引入滞留系数,以反映流域上截流及洼地等情况的短期蓄水量的变化。

## 4 现代模型

### 4.1 人工神经网络

该方法具有快速收敛于现状空间中一稳定平衡点的优点,对于诸如动态规划等方法在目前串行计算机上模拟求解时存在不同程度的“维数灾”问题,此方法无疑提供了一条新途径。王玲、朱传宝等人探讨使用人工神经网络(ANN)模型<sup>[4]</sup>模拟城市化地区的降雨径流关系,建立城市化地区的降雨径流关系模型,用人工智能手段研究城市化对降雨径流关系的影响。大量的数值实验证明,当神经网络被适当地配置以后,可以再现潜在的降雨径流关系,可以用来生成精确且符合实际的预测结果。

### 4.2 分布式水文模型

随着地理信息系统(GIS)和遥感技术(RS)的发展,空间信息的获取和处理取得了极大的进展,水文模型也慢慢从概念性水文模型向分布式水文模型发展。分布式模型<sup>[5]</sup>可以反映时空变化过程,可对流域内任一单元进行模拟和描述,从而把各个单元的模拟结果联系起来,扩展为整个流域的输出结果,同时还能兼容小区域试验研究出的关系,能更恰当地模拟流域的自然时空过程,其运行结果可信度也较高,是未来模型发展的方向。

### 4.3 模糊决策方法

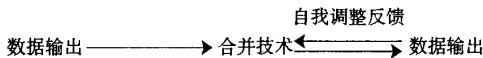
陈守煜等人将模糊数学应用于水文水资源系统中,取得了较好的效果。模糊逻辑规则易调整,好理解,能够反映专家意见,因此适宜推广应用于实际工程。由于水文预报的高度复杂性,仅仅采用一种模型很难得到令人满意的结果,因此,近年来有人将各种模型耦合,以求得更好的预报结果。

#### 4.3.1 TS1 模糊系统

TS1 模糊系统<sup>[6]</sup>是由 Lihua Xiong 等提出的。TS1 模型是 5 个单一模型(The SLM model, The LPM model, The LVGFM model, The constrained liner system model, The SMAR model)的线性组合。本文提出两个观点:一是基于相关分析,联合模型的预报精确度受到精确度最高的单个模型的极大影响;二是在某些特殊的情况下,联合模型将比单一模型带来更大的误差。TS1 模糊系统的缺陷是参数过多。

#### 4.3.2 水文预报中的联合模型数据模糊

关于数据模糊策略有两种观点<sup>[7]</sup>:一是原始数据的融合产生一个输出;二是原始数据和经过处理的数据融合产生一个有用的包括高层决策的输出。文献[7]中采用的是第二种观点,即:



通过极端情况下的分析得出:将单一模型预报值与当前时段的实际值相结合作为当前时段的预报值的方法精度相对较高,建议采用。但需注意的是数据模糊方法论的预报能力可能存在局限性。

#### 4.3.3 多种模型耦合的发展现状

在干旱、半湿润地区,是蓄满产流和超渗产流兼而有之,在进行流域产流计算时,单纯采用任何一种模型都是片面的。锥文生等<sup>[8]</sup>针对干旱、半湿润地区的这一产流特点,提出了流域超渗—蓄满兼容产流模型。在流域中还存在另外一种产流——非饱和产流,即在北方干旱、半干旱地区,土壤在缺水量未蓄满的情况下产生径流的产流机制,曾代球等(1981)<sup>[9]</sup>和郭瑛<sup>[10]</sup>都曾经论及非饱和产流模型。但是,对于多种模型耦合的性能, Michele Hibon 和 Theodoros Evgeniou<sup>[11]</sup>提出不同的观点:多种模型的耦合并不一定比单一模型的性能好,只是在实际中比其的风险性低,并通过大量的实验数据证明此结论。

此外,还有许多方法,如线性规划、非线性规划、模拟等方法也应用于水文预报的研究中。

## 5 PUB 方法

传统的水文预报方法均是基于一定的先事能获取的输入(如降雨、人类活动等)与输出的实测资料,然后在输入和输出之间建立关系或模型,最后根据未来或者设计的输入来预报输出。当流域输入、输出和模型之间这 3 个环节中的任何一个未知时,水文预报就面临严峻的挑战,PUB 计划<sup>[12]</sup>由此而被提出。

已有的 PUB 研究方法有 3 类:一是通过内插和外延将已有测站资料流域的流域响应信息推广到无资料流域;二是建立具有物理机制的水文模型,削弱模型对资料的依赖性;三是利用雷达卫星等遥感先进手段获取无资料流域情况。在我国,无资料流域预报的常用方法有图查、移用邻近有资料站点、标度分析法、水文比拟法和比较水文学方法等;国际上常用的方法有分解法和参数平均法两种。

## 6 研究展望

随着近代科学技术的迅速发展,许多新技术也逐渐应用于水文预报。

(1)多种模型的耦合研究。由于水文预报的高度复杂性,单一模型难以独自解决,因此,应将多种方法联合,扬长避短,以达到更高的预报精度。耦合方法研究在水文预报中的应用前景是广阔的、有意义的。

(2)建立专家决策支持系统。利用现代成熟的计算机技术,建立水文预报专家支持系统,将繁琐、复杂的计算机工作交由计算机完成,不仅快速、准确、高效,而且减少了人为因素的干扰。

(3)进一步开展城市洪水预报的研究工作。市区内人口稠密,工商业发达,天然的水文水利特性遭到严重破坏,天然河道透水面积变成城市建筑的不透水面积,使大部分降雨变成地面径流,从而使暴雨洪水洪量增加,洪峰流量增大,峰现时间提前,洪水涨落过程加快,形成都市化洪水效应,所以开展城市洪水预报工作有极其重大的意义。

(4)提高基本信息采集的自动化水平。

总之,水文预报仍有许多值得研究和探索的问题,在今后的工作中,应加大对耦合模型及城市洪水预报的研究工作,对日渐普及的实时雨量信息的采集、利用及与模型参数关系的研究,使水文预报日臻完善,从而提高预报的科学化水平,确保人民生命财产的安全。

#### 参考文献

- [1] 庄一鹤,林三益.水文预报[M].北京:水利水电出版社,1986.
- [2] 赵珂经.水文实践指南[M].北京:水利水电出版社,1988.
- [3] 长江流域规划办公室.水文预报论文选集[M].北京:水利水电出版社,1985.
- [4] 王玲,朱传宝.人工神经网络评价城市化对径流生成的影响[J].人民长江,2002(5):39.
- [5] 王秀英,曹文洪,付玲燕,等.分布式流域产流数学模型的研究[J].水土保持学报,2001,15(3):38-40.
- [6] Lihua Xiong, Assaad Y Shamseldin, Kieran M O Connor. A non-linear combination of the forecast of rainfall-runoff models by the first-order Takagi-Sugeno fuzzy system[J]. Journal of Hydrology, 2001, 245: 196-217.
- [7] Linda See, Robert J Abraham. Multi-model data fusion for hydrological forecasting[J]. Computer & Geosciences, 2001, 27: 987-994.
- [8] 锥文生,宋星元.产汇流联合模型法分割地下径流[J].水资源研究, 1990(2):37-43.
- [9] 曾代球,段一贯.论非饱和产流的计算方法[J].水文,1981(1):1-5.
- [10] 郭瑛.一种非饱和产流模型的探讨[J].水文,1982(1):1-7.
- [11] Michele Hibon, Theodoros Evgeniou. To combine or not to combine: selecting among forecasts and their combinations [J]. International Journal of Forecasting, 2005, 21: 15-24.
- [12] 刘苏峡,夏军,莫兴国.无资料流域水文预报(PUB 计划)研究进展[J].水利水电技术,2005,36(2):9-12.

(责任编辑:刘翠玲)

第一作者简介:毛慧慧,女,1981年5月生,现为太原理工大学水利科学与工程学院水力学及河流动力学 2003 级在读硕士研究生,山西省太原市太原理工大学 3169\*,030024.

## The Present Situation and Prospect of the Hydrographic Forecasting Methods

MAO Hui-hui, YAN Yao-xing, ZHANG Jie

**ABSTRACT:** The hydrographic forecasting possesses the theoretical and the practical significance in the flood prevention and the hazard reduction. This paper systematically reviews and sums up the main progresses of domestic and foreign researches on the hydrographic forecasting, makes the comment and analysis on the empirical correlation method, traditional model, modern model and PUB method respectively, and looks forward to the future hydrographical forecasting work.

**KEY WORDS:** hydrographical forecasting; empirical correlation method; traditional model; modern model; PUB method