

中长期水文预报研究评述与展望

杨旭¹, 栾继虹¹, 冯国章²

¹ 辽宁省大伙房水库管理局, 辽宁 抚顺 113007;

² 西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨陵 西农校区 712100

[摘要] 通过对中长期水文预报的研究现状、研究发展特点及存在的主要问题和研究发展方向的评述, 指出中长期水文预报应充分考虑水文要素时空变化的非线性和不确定性特点, 利用非线性方法, 并通过多种方法的耦合来提高预报效果。认为预报应建立在坚实的物理成因基础上, 并应进行中长期水文预报要素及其影响因子的系统监测。

[关键词] 中长期水文预报; 水文统计; 人工神经网络

[中图分类号] P338.2 **[文献标识码]** A

中长期水文预报, 通常泛指预见期超过流域最大汇流时间, 且在3d以上, 1年以内的水文预报^[1,2]。中长期水文预报方法可分为传统方法和新方法两大类。前者主要有成因分析和水文统计方法, 后者主要包括模糊分析、人工神经网络、灰色系统分析等方法。本文的目的是对这几种主要方法的研究现状及发展动态进行评述和展望。

1 中长期水文预报研究的现状

1.1 成因分析

河川径流主要来源于大气降水, 与大气环流有密切关系。一个流域或地区发生旱涝是与环流联系在一起的。分析研究大气环流与水文要素之间的关系一直是水文气象工作者深入探讨的课题。黄忠恕等^[3]分析了北太平洋和青藏高原下垫面热状况变化与长江流域汛期旱涝之间的关系, 初步揭示出一些相关性。刘清仁^[4]以太阳活动为中心, 以长期和超长期水文预报为目标, 用数理统计分析方法, 分析了太阳黑子和厄尔尼诺事件对松花江区域水文影响特征及其水、旱灾害发生的基本规律, 揭示了降水量按磁周期呈丰、枯水变化的规律。章淹^[5]从水文气象学角度论述了近年国内在暴雨中期预报研究方面的若干新进展, 探索了中期预报的方法。

总之, 联系大气环流的长期演变以及前后承替规律来进行水文要素的中长期预报是一条具有物理基础的重要途径, 也是中长期水文预报发展的方向。

1.2 水文统计方法

水文统计方法是通过水文资料的统计分析进行概率预测, 可分为两大类: 一类是分析水文要素自身随时间变化的统计规律, 然后用这种规律进行预报, 如历史演变法、时间序列分析法等; 另一类是用多元回归分析法, 建立预报方案、进行预报。目前应用较广的水文

[收稿日期] 1999-11-26

[作者简介] 杨旭(1969—), 男, 工程师, 硕士。

统计预报方法主要有多元分析与时间序列两种。

多元回归分析常用的方法主要有逐步回归、聚类分析、主成分分析等。这种方法的主要问题有如何合理选择因子个数,解决拟合效果与预报效果不一致的矛盾;由于预报值是取各个因子数据的均值,难以预报出极大或极小值的水文现象。

时间序列分析是应用水文要素的观测记录,寻找其自身的演变规律来进行预报。常用的有平稳时间序列中的自回归模型、周期均值迭加、马尔可夫链等。60 年代以前主要采取把序列分解成趋势、周期、平稳等项,然后再分项预测后进行迭加而得到预报结果。70 年代后,Box 等^[6]提出的 ARMA 类模型逐步应用于中长期水文预报^[7]。同时,具有非线性特点的 TAR 模型也开始用于中长期水文预报^[8,9]。

1.3 模糊分析

80 年代初,陈守煜等^[10,11]在水利、水文、水资源与环境科学领域中进行了模糊集的应用研究,并将模糊集分析与系统分析结合起来,形成了一个新的模糊随机系统分析体系,1997 年陈守煜^[12]又提出了中长期水文预报的综合分析理论模式与方法,该方法将水文成因分析、统计分析、模糊集分析有机地结合起来,为提高中长期水文预报的精度提供了一条新途径。

模糊分析的引进丰富了中长期水文预报理论,但由于信息模糊化带有明显的主观性,使模糊分析的应用受到了一定的限制。

1.4 人工神经网络

人工神经网络是基于连接学说构造的智能仿生模型,是由大量神经元组成的非线性动力学系统,具有并行分布处理、自组织、自适应、自学习和容错性等特点。90 年代以来,人工神经网络在水文预报中的应用逐渐增多。蔡煜东等^[13]采用 Kohonen 自组织神经网络模型研究了鄱阳湖年最高水位的分类预报问题。吴超羽等^[14]认为人工神经网络模型具有生物神经网络的一些特性,能够“学习”,因此易于应用在各种类型的流域系统;人工神经网络模型是高度非线性模型,能够有效地模拟本质为非线性的实际水文系统;人工神经网络模型在预报期和预报精度上较对比性模型(CAR, RWTL, AR)有明显的优越性。钟登华等^[15]提出了水文预报的时间序列神经网络模型,并指出探索利用输入输出数据进行建模的方法是十分必要的。胡铁松等^[16]对人工神经网络在水文水资源中的应用现状作了全面的介绍,并认为神经网络为一些复杂水文水资源问题的研究提供了一条有效的途径。Hsu 等^[17]提出了确定三层 BP 网络模型结构和参数的线性最小二乘单纯形法(LLSSIM),并认为三层结构的 BP 网络就能满足水文预报的一般需要。丁晶等^[18]认为当前单纯地分别应用确定性和不确定性方法,面临许多无法妥善处理的困难,因此有必要探索一种新思路和新途径。新思路就是模拟人脑思维方式来处理极端复杂系统中出现的各种各样的问题(判别、分析、预测、控制、调度等);新途径就是在人工神经网络理论的基础上,通过分析和计算,建立适应性很强的人工神经网络模型。过渡期(5、6 月份)的径流预测是个难题,丁晶等^[19]尝试应用人工神经网络模型预报兰州站过渡期的月径流量,结果表明,人工神经网络模型用作过渡期径流预报可行,且效果优于多元回归方法。胡铁松等^[20]提出了径流长期分级预报的 Kohonen 网络方法,有效地克服了人为给定监督信号进行径流分级预报存在的不确定性给预报精度带来的影响。冯国章等^[21]提出了基于径流形

成机理的以时段降水量与前期径流量为预报因子的前向多层人工神经网络径流预报模型,分析了网络结构对预报精度的影响。邱林等^[22]提出了模糊模式识别神经网络预测模型,开创了神经网络拓扑结构建模的新思路。

确定性水文预测的神经网络方法虽然白化能力具有最小熵优势,但存在一定的学习和泛化误差,即无法覆盖水文预测中的不确定性信息。此外,影响人工神经网络拓扑结构的因素众多,且参数优选理论发展不甚完善也制约了人工神经网络模型优势的发挥,使之在应用推广方面遇到了一定的困难。

1.5 灰色系统理论

灰色系统理论是邓聚龙于1982年创立的,十几年来发展较快。李正最^[23]认为灰色静态模型GM(0,h)与多元线性回归模型在模型形式与参数辨识、方法处理等方面是相同的,因此,两种模型用于水文变量相关分析所得结果一致。谢科范^[24]认为灰色系统理论在某些方面存在不少缺陷,与回归分析相比短期预测结果较好,长期预测结果欠佳。冯平等^[25]采用灰色系统理论中灰关联度分析方法,对枯水期径流量的预估模式进行了探讨。夏军^[26]基于时间序列多重信息利用的扩维原理和灰色系统理论的关联分析思想,提出一种适合于缺乏输入因子资料或选择影响因子有困难条件下的中长期水文预报方法。陈意平等^[27]认为GM(1,1)模型为水利系统的中长期预报提供了一种新方法。钟桂芳^[28]尝试应用灰色变基模型进行水库的长期水文预报。

灰色系统理论由于其模型特点,比较适合具有指数增长趋势的问题,对于其他变化趋势,则有时拟合灰度较大,导致精度难以提高。且灰色系统理论体系尚不完善,正处于发展阶段,它在中长期水文预报中的应用也属于尝试和探索性质的。

2 研究发展的特点及存在的主要问题

中长期水文预报模型很多,目前还没有一种模型对所有的水文序列来说都是适用的。预报模型的适用性是至今仍然有待深入研究的问题。对一个具体水文序列的中长期预报问题,人们往往是通过分析、尝试、检验等步骤,最终找到合适的预报模型。中长期水文预报研究仍处在发展阶段,相对于短期水文预报来说,滞后于生产实际的要求。在预报理论研究上,更多注重的是水文系列的统计相关特性,而对物理成因关系关注的相对较少;在预报方法上,对各种方法的有效性研究不够,使现有的方法很难在实践中推广应用;在预报结果的实际应用上,中长期水文预报目前主要是对水资源的宏观调控起一些参考性作用。《水文情报预报规范》^[21]指出:“中长期预报方法目前尚不够成熟,应积极开展研究,为了适应生产发展需要,有条件的水情单位,可以发布中长期水情展望,只提供领导掌握参考,不作为采取具体措施的依据,并注意结合实际变化,随时对展望进行补充修正”。造成这种状况的根本原因是对于中长期水文预报认识不足,重视程度也不够。随着国民经济的快速发展,对自然资源开发与环境保护意识的增强,流域内各部门对防洪和供水预见期的要求越来越高。生产的需求必然会推动科技的发展,所以,中长期水文预报的研究将会愈来愈受到科研人员的重视。

3 研究发展方向及关键技术问题

1)一切水文要素的变化都有其特定的物理机制,从物理成因上解释预报因子的合理

性,从形成水文现象的物理机制分析入手,使预报模型建立在严格的物理成因基础上,是今后中长期水文预报以及其他水文预报应遵循的基本原则。

2)水文系统是一个复杂的巨系统^[29],水文要素的时空变化具有高度的非线性特点。以线性方法为主的现行水文预报方法,在中长期水文预报方面很难取得重大进展。根据水文要素变化的非线性特点,突破传统概念的束缚,引进新的分析途径是十分必要的。模糊分析、人工神经网络,以及其他非线性科学方法都可能成为有效的新的分析途径。

3)水文系统的复杂性及水文要素变化的不确定性,决定了用单一方法,或把希望寄托于数理统计方法的改进,根本无法全面提高中长期水文预报计算、预测和决策的可靠性。将各种方法结合起来,即采用所谓的耦合途径,特别是确定性的人工神经网络方法结合不确定性的随机、模糊、灰色、混沌等方法及其各种耦合^[30~33],将在中长期水文预报中发挥越来越重要的作用。

4)资料不足或资料代表性不好是制约中长期水文预报发展的重要原因之一。应积极开展中长期水文预报所需资料的观测与积累,特别是人类活动影响、全球气候变暖等引起的预报因子及影响因素的变化,对中长期水文预报影响很大,对它们的监测无疑是提高预报效果的有效途径。

5)中长期水文变化趋势主要受大尺度水文气象要素变化的影响,海洋因素的变化,特别是厄尔尼诺、拉尼娜现象对大陆水文气象有一定控制作用,对它们变化规律的掌握和解释将对提高中长期水文预报的准确性起到重要作用。

[参考文献]

- [1] 陈金荣,范钟秀.中国中长期水文预报的现状与发展趋势[A].长江流域规划办公室.水文预报论文选集(1981年全国水文预报学术讨论会)[C].北京:水利电力出版社,1985.174—179.
- [2] 水利电力部水文水利调度中心.水文情报预报规范(SD138-85)[S].
- [3] 黄忠恕,王钦梁,匡奇.北太平洋和青藏高原下垫面热状况与长江流域汛期旱涝关系初步探讨[A].长江流域规划办公室.水文预报论文选集(1981年全国水文预报学术讨论会)[C].北京:水利电力出版社,1985.180—187.
- [4] 刘清仁.松花江流域水旱灾害发生规律及长期预报研究[J].水科学进展,1994,5(4):319—327.
- [5] 章海.致洪暴雨中期预报进展[J].水科学进展,1995,6(2):162—168.
- [6] Box G E P, Jenkins G M. Time series analysis, forecasting and control[M]. San Francisco: Holden-Day, 1976.
- [7] 卢华友,邵东国,郭元裕.丹江口水库径流长期预报研究[J].武汉水利电力大学学报,1996,29(6):6—10.
- [8] 冯国章.枯水径流预报的最优模糊划分自激励门限自回归模型[J].西北农业大学学报,1997,25(2):21—26.
- [9] 冯国章,王双银,王学斌.自激励门限自回归模型在枯水径流预报中的应用[J].西北农业大学学报,1995,23(4):78—83.
- [10] 陈守煜.水利水文水资源与环境模糊集分析[M].大连:大连工学院出版社,1987.
- [11] 陈守煜.模糊水文学与水资源系统模糊优化原理[M].大连:大连理工大学出版社,1990.
- [12] 陈守煜.中长期水文预报综合分析理论模式与方法[J].水利学报,1997,(8):15—21.
- [13] 蔡煜东,许伟杰.自组织人工神经网络在鄱阳湖年最高水位长期预报中的应用[J].水文科技情报,1993,10(2):27—29.
- [14] 吴超羽,张文.水文预报的人工神经网络方法[J].中山大学学报(自然科学版),1994,33(1):79—90.
- [15] 钟登华,王仁超,皮钧.水文预报时间序列神经网络模型[J].水利学报,1995,(2):69—75.
- [16] 胡铁松,袁鹏,丁晶.人工神经网络在水文水资源中的应用[J].水科学进展,1995,6(1):76—82.

- [17] Hsu K, Gupta H V, Sorooshian S. Artificial neural network modelling of the rainfall-runoff process[J]. *Water Resource Research*(USA), 1995, 31(10): 2517—2530.
- [18] 丁晶, 黄伟军, 邓育仁. 水文水资源人工神经网络模型的研究[J]. *水资源研究*, 1996, 17(1): 22—24, 13.
- [19] 丁晶, 邓育仁, 安雪松. 人工神经网络(BP)网络模型用作过渡期径流预测的探索[J]. *水电站设计*, 1997, 13(2): 69—74.
- [20] 胡铁松, 丁晶. 径流长期分级预报的 Kohonen 网络方法[J]. *水电站设计*, 1997, 13(2): 24—29.
- [21] 冯国章, 李佩成. 人工神经网络结构对径流预报精度的影响分析[J]. *自然资源学报*, 1998, 13(2): 169—174.
- [22] 邱林, 陈守煜, 聂相田. 模糊模式识别神经网络预测模型及其应用[J]. *水科学进展*, 1998, 9(3): 258—264.
- [23] 李正最. 谈灰色静态模型与多元线性回归模型的关系[J]. *水资源研究*, 1990, 9(1): 68—71.
- [24] 谢科范. 评灰色系统理论[J]. *系统工程*, 1991, 9(4): 49—52.
- [25] 冯平, 杨鹏, 李润苗. 枯水期径流量的中长期预报模式[J]. *水利水电技术*, 1992, (2): 6—9.
- [26] 夏军. 中长期径流预估的一种灰关联模式与预测方法[J]. *水科学进展*, 1993, 4(3): 190—197.
- [27] 陈意平, 李小牛. 灰色系统理论在水利中的应用及前景[J]. *人民珠江*, 1996, (1): 25—27.
- [28] 钟桂芳. 灰色变基模型在密云水库长期水文预报中的应用[J]. *北京水利*, 1996, (3): 47—50.
- [29] 冯国章, 李佩成. 论水文系统混沌特征的研究方向[J]. *西北农业大学学报*, 1997, 25(4): 97—101.
- [30] Morshed J, Kaluarachchi J J. Application of artificial neural network and genetic algorithm in flow and transport simulations[J]. *Advanced Water Resource* (UK), 1998, 22(2): 145—158.
- [31] 黄洁. 混沌神经网络的研究现状及应用[J]. *信息工程学院学报*, 1997, 16(2): 25—32.
- [32] 魏文秋, 孙春鹏. 灰色神经网络水质预测模型[J]. *武汉水利电力大学学报*, 1998, 31(4): 26—28, 42.
- [33] 陈守煜, 聂相田, 朱文彬, 等. 模糊优选神经网络模型及其应用[J]. *水科学进展*, 1999, 10(1): 69—74.

Discussion and prospect on mid-to-long-term hydrological forecasting

YANG Xu¹, LUAN Ji-hong¹, FENG Guo-zhang²

(1 Management Bureau of Dahuofang Reservoir, Fushun, Liaoning 113007, China;

2 College of Water Conservancy and Architectural Engineering, Northwest Science and Technology University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: This paper reviewed the advance in the mid-to-long-term hydrological forecasting, analyzed the characters and major problems in development of the mid-to-long-term hydrological forecasting, and discussed the prospects of the mid-to-long-term hydrological forecasting. It is pointed out that the mid-to-long-term hydrological forecasting should pay attention to the characteristics of nonlinearity and indetermination of hydrological factors and their variations in time and space, and combined use of nonlinear and any other methods might improve the forecasting result. It is recognized that hydrological forecasting should be based on sound physical cause-and-effect analysis, and mid-to-long-term hydrological forecasting factors and their affecting factors should be monitored systematically.

Key words: mid-to-long-term hydrological forecasting; statistics in hydrology; artificial neural network