

水文时间序列分析及其在水资源预测中的应用

秦玮淇 商峻宁

黄河水利委员会河南水文水资源局 河南 济源 450000

摘要: 水文时间序列分析是研究水文现象随时间变化规律的重要方法,对于水资源的合理配置和水量调度具有重要指导意义。本文旨在探讨水文时间序列分析的基本概念、主要方法及其在水资源预测中的应用,以期对相关领域的研究和实践提供参考。

关键词: 水文时间序列分析;水资源预测;ARIMA模型;人工神经网络

引言

水资源是人类社会发展的重要基础,其合理管理和预测对于保障国家水安全、促进经济社会可持续发展具有重要意义。水文时间序列分析作为一种重要的技术手段,能够揭示水文现象随时间变化的内在规律,为水资源预测提供科学依据。

1 水文时间序列分析的基本概念

1.1 定义与特点

水文时间序列,作为描述水文现象随时间变化的重要工具,是指某一水文特征值(如水位、流量、降雨量等)在连续或离散的时间点上所记录的一系列观测值。这些观测值不仅可以是某一时刻的瞬时值,也可以是某一时段内的平均值,甚至是通过连续观测并离散化处理后的数值表示。水文时间序列的独特之处在于其能够全面反映水文现象的动态变化过程,为水资源管理、洪水预报、干旱评估等提供重要依据。水文时间序列的特点主要体现在其自相关性和受多重因素影响上。自相关性意味着时间序列中相邻数据点之间存在某种程度的关联,这种关联可能表现为趋势性、周期性或季节性变化^[1]。同时,水文时间序列还受到天文因素(如太阳活动)、气象因素(如降雨、蒸发)、地理因素(如地形、地貌)以及人类活动(如水库调度、灌溉)等多重因素的影响,使得其表现出高度的复杂性和不确定性。这些特性要求在进行水文时间序列分析时,必须充分考虑其内在规律和外部干扰,采用科学的方法和技术手段进行深入研究。

1.2 主要组成成分剖析

水文时间序列的组成成分可以划分为确定性成分和随机成分两大类。确定性成分主要包括趋势成分、周期成分和突变成分。趋势成分反映了水文现象随时间的长期变化趋势,如河流年径流量的逐年减少或增加;周期成分则体现了水文现象随时间的周期性变化,如季节

性的水位涨落;突变成分则是指由于某种突发事件(如地震、洪水等)导致的水文现象突然变化。这些确定性成分可以通过水文学、水力学和数学等方法进行定量分析和预测。随机成分则包括平稳成分和非平稳成分。平稳成分是指时间序列中随机波动部分具有稳定的统计特性,如某河流的日流量波动;非平稳成分则是指时间序列的统计特性随时间发生变化,如气候变化导致的河流流量长期趋势变化。对于随机成分的处理,通常需要借助概率统计方法,如时间序列分析、随机过程理论等,以揭示其内在规律和预测未来趋势。

2 水文时间序列分析的主要方法

2.1 ARIMA模型

ARIMA(p, d, q)模型,即差分自回归移动平均模型,是水文时间序列分析中一种常用且相对成熟的时间预测工具。该模型通过一系列数学处理手段,能够有效地揭示水文数据随时间变化的内在规律,并据此对未来状态进行预测。

2.1.1 模型组成要素

AR(自回归):这部分表示时间序列当前值与其历史值之间的线性关系。具体来说,它利用前p个时间点的历史数据来预测当前值,其中p为自回归阶数,反映了序列中历史信息对当前值影响的程度。

I(差分):差分运算的目的是将非平稳时间序列转化为平稳序列,以便应用ARMA模型进行分析。d代表差分阶数,即需要进行多少次差分操作才能使序列达到平稳状态。差分操作可以消除序列中的趋势性和季节性成分,使其更适合于模型拟合。

MA(移动平均):移动平均部分描述了时间序列当前值与其历史预测误差之间的线性关系。它通过前q个时间点的预测误差来修正当前值的预测,其中q为移动平均阶数。这种机制有助于捕捉序列中的随机波动,提高预测的准确性。

2.1.2 模型构建流程

(1) 数据预处理: 首先, 对原始水文时间序列进行清洗和预处理, 包括去除异常值、填补缺失值等, 以确保数据质量。(2) 平稳性检验: 利用统计方法(如 ADF 检验)判断序列是否平稳。若序列非平稳, 则根据需要进行 d 阶差分运算, 直至序列达到平稳状态。

(3) 模型定阶: 通过自相关函数(ACF)和偏自相关函数(PACF)等分析工具, 确定自回归阶数 p 和移动平均阶数 q。这一过程通常结合经验法则和模型选择准则(如 AIC、BIC 等)进行。(4) 模型拟合: 利用选定的 ARIMA(p, d, q) 模型对平稳化后的时间序列进行拟合, 得到模型参数。(5) 模型检验: 通过残差分析、Q-Q 图等方法检验模型的拟合效果。若模型表现不佳, 可能需要调整阶数或考虑其他模型。(6) 预测应用: 利用拟合好的 ARIMA 模型对未来时间点的水文数据进行预测, 并评估预测结果的准确性和可靠性。

2.1.3 模型特点与适用场景

ARIMA 模型具有结构简单、易于实现和解释性强的特点, 适用于具有线性依赖关系的水文时间序列预测^[2]。然而, 它也存在一些局限性, 如难以捕捉非线性关系和复杂模式。因此, 在实际应用中, 需要根据具体的水文数据特性和预测需求, 选择合适的模型或结合其他方法进行综合分析。

2.2 神经网络模型

神经网络模型(Artificial Neural Networks, ANN)是一种模仿生物神经网络结构和功能的计算模型, 具有强大的非线性映射能力和自学习能力。在水文时间序列分析中, 神经网络模型被广泛应用于水资源预测领域, 包括降雨预测、径流预报、水质与水量预测等。

2.2.1 神经网络模型的基本结构

神经网络模型由大量的神经元相互连接而成, 这些神经元通过权重和偏置进行信息传递和处理。一个典型的神经网络模型包括输入层、隐藏层和输出层。输入层接收外部数据, 隐藏层进行数据处理和特征提取, 输出层给出预测结果。在隐藏层中, 可以选择不同的激活函数和神经元的数量来提高网络的表达能力。

2.2.2 常用的人工神经网络模型

前馈神经网络: 前馈神经网络是最简单也是最常用的人工神经网络模型之一。它的信息流动是单向的, 从输入层到隐藏层再到输出层。前馈神经网络在水文时间序列分析中, 常用于降雨预测、径流预报等任务。

循环神经网络(如 LSTM): 循环神经网络能够处理

序列数据中的时间依赖性, 特别适用于水文时间序列分析。LSTM(长短时记忆网络)是一种特殊的循环神经网络, 它通过引入门控机制来解决传统循环神经网络中的梯度消失和梯度爆炸问题, 从而能够更好地捕捉水文时间序列中的长期依赖关系。

2.2.3 神经网络模型在水文时间序列分析中的应用流程

一是数据准备: 收集历史水文时间序列数据, 并进行数据清洗、归一化处理等预处理操作。二是模型设计: 选择合适的人工神经网络模型结构, 包括输入层、隐藏层和输出层的神经元数量、激活函数等。三是模型训练: 使用训练数据集对神经网络模型进行训练, 通过反向传播算法调整模型参数, 使模型能够准确地捕捉水文时间序列的内在规律。四是模型验证: 使用验证数据集对训练好的模型进行验证, 评估模型的预测性能。五是预测应用: 将训练好的模型应用于实际水文时间序列预测任务中, 根据预测结果采取相应的措施。

2.2.4 神经网络模型的优势与局限性

神经网络模型在水文时间序列分析中具有以下优势: 能够处理复杂的水文非线性关系。能够通过训练样本自动学习水文时间序列的内在规律。对未见过的数据也具有一定的预测能力。然而, 神经网络模型也存在一些局限性: 模型训练需要大量的水文时间序列数据, 否则容易发生过拟合。模型中的超参数(如神经元数量、层数等)选择对预测性能有很大影响, 但选择合适的超参数需要一定的经验和技巧。神经网络模型通常被认为是黑箱模型, 难以解释其预测结果的原因。

3 水文时间序列分析在水资源预测中的应用

3.1 地表水资源量预测

地表水资源量预测是水资源管理中的重要环节, 它关乎着区域水资源的可持续利用和水量调度的合理性。地表水资源量受到多种因素的影响, 包括降雨、蒸发、河流流量、湖泊水位等, 这些因素均随时间发生变化, 形成复杂的水文时间序列。通过水文时间序列分析, 可以深入揭示地表水资源量的变化规律。首先, 利用历史观测数据构建时间序列模型, 如 ARIMA 模型, 可以捕捉地表水资源量的线性依赖关系和非平稳性特征。模型中的自回归部分可以反映前期水资源量对当前水资源量的影响, 而差分部分则用于处理数据的非平稳性, 使其转化为平稳序列进行分析。移动平均部分则考虑了随机误差项的影响, 提高了模型的预测精度。在建立好时间序列模型后, 可以利用该模型对未来时期的地表水资源量进行预测。通过输入未来的降雨、蒸发等气象预测数

据,结合模型中的自回归和移动平均系数,可以估算出未来时期的地表水资源量。这种预测结果对于合理的水资源分配方案、优化水量调度策略以及应对极端水文事件具有重要意义。此外,地表水资源量预测还可以为水资源规划和管理提供决策支持^[3]。通过预测未来时期的水资源量,可以评估区域水资源的供需状况,为水资源开发、保护和节约利用提供科学依据。同时,预测结果还可以用于评估水资源工程项目的可行性和效益,为水资源投资决策提供参考。

3.2 地下水资源预测

地下水资源是水资源的重要组成部分,对于维持生态平衡、保障人类生活用水和农业生产用水具有重要意义。然而,地下水资源受到多种因素的影响,如降雨、蒸发、地下水开采、地质构造等,这些因素均随时间发生变化,形成复杂的地下水时间序列。通过水文时间序列分析,可以对地下水资源进行有效预测。首先,利用地下水位、地下水埋深等关键指标的观测数据构建时间序列模型。这些指标能够反映地下水资源的分布情况和动态变化特征。通过模型分析,可以揭示地下水资源的周期性变化、长期趋势以及突变现象,为预测未来时期的地下水资源分布情况提供基础。在预测过程中,可以结合地质构造、水文地质条件等因素,对时间序列模型进行修正和优化。通过考虑地下水开采量、降雨量等外部因素的影响,可以提高模型的预测精度和可靠性。利用优化后的模型,可以对未来不同时间尺度的地下水资源分布情况进行预测,为地下水资源的管理和保护提供科学依据。地下水资源预测的结果对于制定合理的地下水开采计划、保护地下水环境以及防治地下水污染具有重要意义。通过预测未来时期的地下水资源分布情况,可以评估地下水的供需状况,为地下水资源的可持续利用提供决策支持。同时,预测结果还可以用于指导地下水资源的勘查和评价工作,为地下水资源的开发和利用提供科学依据。

3.3 地表水水质预测

地表水水质是水资源保护和利用的重要关注点。随着工业化、城市化的快速发展,地表水水质受到越来越多的污染威胁,如工业废水排放、农业面源污染、生活污水排

放等。这些污染源均随时间发生变化,形成复杂的水质时间序列。通过水文时间序列分析,可以对地表水水质进行有效预测。首先,利用水质监测数据构建时间序列模型,如ARIMA模型或基于机器学习的时间序列预测模型。这些模型可以捕捉水质指标(如溶解氧、氨氮、总磷等)的变化规律,反映水质随时间的变化趋势。在预测过程中,可以结合气象条件、水文状况、污染源排放情况等因素,对时间序列模型进行修正和优化^[4]。通过考虑降雨、径流等水文过程对水质的影响,以及污染源排放量的变化对水质的影响,可以提高模型的预测精度和可靠性。利用优化后的模型,可以对未来时期的地表水水质级别变化情况进行预测,为水资源保护和利用提供科学依据。地表水水质预测的结果对于合理的水质保护方案、优化水资源利用策略以及应对水质突发事件具有重要意义。通过预测未来时期的水质级别变化情况,可以评估水质的优劣程度,为水资源保护和管理提供决策支持。同时,预测结果还可以用于指导水质监测和评估工作,为水资源保护和利用提供科学依据。此外,地表水水质预测还可以为环保部门制定水质标准和排放标准提供技术支撑,推动水资源保护和生态环境建设的持续发展。

结语

水文时间序列分析是研究水文现象随时间变化规律的重要方法,对于水资源的合理配置和水量调度具有重要指导意义。本文介绍了水文时间序列分析的基本概念、主要方法及其在水资源预测中的应用。未来,随着技术的不断进步和应用的不断深入,水文时间序列分析将在水资源管理领域发挥更加重要的作用。

参考文献

- [1]李路,官辉力,郭琳,等.水文时间序列分析方法研究进展[J].地球信息科学学报,2024,26(04):927-945.
- [2]程大兴,施薇,王雪阳.基于时间序列模型的水资源未来发展预测数据分析[J].电子技术与软件工程,2019,(15):121-122.
- [3]高国文.基于时间序列的哈密市水资源面积分布和气候变化特征[J].陕西水利,2020,(12):42-44.
- [4]王乐豪.面向小样本数据集的水文时间序列智能化预测方法研究[D].南京信息工程大学,2023.