

水利工程水文数据处理与模型建立

秦峰¹ 吕晓理² 冯洋³

1. 南水北调东线山东干线有限责任公司 山东 济南 250109

2. 山东润鲁工程咨询集团有限公司 山东 济南 250100

3. 山东润鲁工程咨询集团有限公司 山东 济南 250100

摘要: 水利工程的设计、规划和管理需要大量的水文数据支持,并且对这些数据进行有效处理和建立相应的模型至关重要。本文通过探讨水利工程水文数据处理的方法和模型建立的技术,分析和比较不同的数据处理技术和建模方法,提出了一种综合的处理和建模方案,为提高水利工程设计和管理的效率和精度提供帮助。

关键词: 水利工程;水文数据;数据处理;模型建立

引言

水利工程是人类利用水资源,保障水安全,防洪抗旱,改善生态环境的一项重要工作。而水文数据则是水利工程设计和管理的基礎,其准确性和全面性直接影响着工程的可靠性和效益。然而,由于水文数据的复杂性和不确定性,如何有效处理这些数据并建立可靠的模型一直是水利工程领域的研究热点之一。因此,深入探讨水利工程水文数据处理和模型建立的方法,为工程设计和管理的提供技术支持和方法指导,具有十分重要的现实意义。

1 水文数据处理的方法分析

水文数据处理的方法,包括数据质量检验、数据去噪、插补和补全等操作,通过分析数据整理和预处理的流程及方法,以确保数据的质量和完整性。

1.1 水文数据的种类和获取方式

水利工程水文数据是指用于分析、设计和管理水利工程的与水文相关的数据。这些数据种类繁多,获取方式也多样化,主要获取来源从水文站点、气象站点、卫星遥感等。

1.1.1 降水数据。降水数据主要包括实时降水量、小时降水量、日降水量等。主要通过气象局、气象站、气象卫星等渠道获取实时或历史降水数据。传统上,气象站会记录实时的降水量,而现代技术使得气象卫星也能提供大范围的降水数据。

1.1.2 径流数据。径流数据主要包括河流、湖泊等水体的实时或历史径流量。主要通过水文观测站等定点设备进行实时监测,也可以通过卫星遥感等技术获取大范围的径流数据。

1.1.3 水位数据。水位数据主要包括江河湖泊的实时水位、历史水位等。主要通过水文观测站等定点设备进行实时监测,也可以利用遥感技术获取水体的水位数据。

1.1.4 蒸发蒸腾数据。蒸发蒸腾数据主要包括植被蒸腾量、水体蒸发量等^[1]。主要通过气象站、气象卫星等渠道获取实时或历史的蒸发蒸腾数据。

1.1.5 水质数据。水质数据包括水体的pH值、溶解氧、氨氮、总磷、总氮等指标。主要通过水质监测站、水样采集等方式进行实地监测,也可以利用遥感技术获取水体的水质信息。

2 数据质量检验方法

水利工程水文数据的质量指标包括数据的完整性、准确性、一致性、时空分辨率等,这些指标可以根据具体的水文数据特点和应用需求进行定义。水文数据质量检验是确保水文数据准确性和可靠性的重要步骤,它通常涉及多种方法和步骤,在具体的实施过程中还需根据具体情况进行调整和完善。

2.1 数据的整理。在收集水文数据时,要确保数据的完整性和准确性,并进行去除异常值、补充缺失数据等整理。

2.2 数据预处理。在进行质量检验之前,通常需要对数据进行数据平滑、插值、时空一致性校验等预处理,以确保数据的连续性和一致性。

2.3 数据质量检验方法。根据质量指标,选择合适的质量检验方法进行数据质量评估。常见的检验方法包括:①完整性检验:检查数据是否存在缺失或异常值;②准确性检验:通过与参考数据对比,评估数据的准确性;③一致性检验:检查同一地区或时间段内数据的一致性,避免数据矛盾或不一致;④时空分布检验:分析数据的时空分布特征,检验数据在时间和空间上的分布是否合理;⑤趋势分析:分析数据的长期趋势,评估数据的稳定性和可靠性;⑥误差分析:对数据进行误差分析,识别造成数据误差的主要因素。

2.4 质量评估与报告。根据检验结果对数据质量进行评估,并生成质量报告。报告应包括数据质量问题的描述、可能的影响以及改进建议,以指导后续数据处理和应用。

2.5 持续监测与改进。水文数据质量检验是一个持续改进的过程,需要定期监测数据质量,并根据实际情况调整质量检验方法和流程,以确保数据质量始终满足需求。

3 水文数据去噪的常用方法

数据去噪是广泛应用的信号处理技术,旨在从信号中去除噪声,以改善信号的质量和可读性。由于水文数据往往受到传感器误差、环境噪声、设备故障等干扰,去除这些噪声可以提高数据的准确性和可靠性,从而更好地支持水资源管理和工程设计。

3.1 滑动平均法。滑动平均法是一种简单直观的去噪方法^[2],它通过计算一定窗口内数据的平均值来平滑数据,从而减小突发噪声的影响。滑动平均的窗口大小可以根据实际情况调整,较大的窗口可以平滑长期趋势,但可能丧失一些数据的细节信息。

3.2 中值滤波法。中值滤波法是一种非线性滤波方法,它将窗口内的数据按大小排序,然后取中间值作为滤波结果。与滑动平均法相比,中值滤波对于突发噪声的抑制效果更好,能够保留数据的边缘信息,适用于处理非常不规则的数据。

3.3 小波变换。小波变换是一种时频分析方法,可以将信号分解成不同尺度和频率的小波系数。通过去除高频小波系数或者阈值处理小波系数来实现去噪。小波变换能够更好地处理非平稳信号,对于含有多尺度噪声的水文数据有较好的去噪效果。

3.4 卡尔曼滤波。卡尔曼滤波是一种基于状态空间模型的递归滤波方法,能够根据系统的动态特性和测量噪声来估计状态变量的最优值。它在水文数据处理中可以用来估计真实的水文状态,并根据实际观测值进行修正,从而实现了对数据的去噪和预测。

4 水文数据插补和补全的方法

数据插补和补全是指在水文数据存在缺失或不完整的情况下,利用已有的数据和一定的方法来填补缺失数据,以完善数据的连续性和可靠性。水文数据插补和补全的方法可以分为经验法、统计法和物理模型法等。

4.1 经验法。根据观测站点周边的地理环境、气象条件等经验性规律,利用专家知识或历史数据的特征进行插补。例如,利用同一地区历史同期数据的平均值、相关系数等方法来填补缺失值。

4.2 统计法。基于数理统计的原理,利用已有数据

的统计特征来进行插补。常用的统计方法包括:①均值法:用已知数据的平均值填补缺失值。②线性插值法:根据已知数据点的线性关系,对缺失值进行估计。③多重插补法:通过建立回归方程或利用多元统计方法,结合其他变量对缺失值进行预测。

4.3 物理模型法。基于水文过程的物理规律建立数学模型,对缺失数据进行估算。常用的物理模型包括水文水库模型、地下水流模型等。物理模型法的优点在于能够考虑到水文过程的物理机制,但需要具备较深的水文专业知识和较复杂的模型建立。

4.4 时空插值法。考虑到水文数据在时空上的变化规律,利用插值方法对缺失数据进行估算。常用的时空插值方法包括克里金插值、反距离加权插值等。

5 水文数据分析与统计

水文数据的分析与统计方法,包括频率分布分析、相关性分析等,以及如何从原始数据中提取有效的特征信息,为后续的建模工作提供基础。

5.1 频率分布分析原理和方法。频率即指某个特定观测值在总观测次数中出现的比例,通常以百分比表示。频率分布分析基于概率论和统计学原理,假设水文数据服从某种特定的概率分布,通过对数据进行处理和分析,揭示其概率分布特征,从而推断未来的水文情势。

5.2 数据整理与频率计算。在收集降雨量、流量等水文数据的基础上,对数据进行整理和排序,以便后续计量和分析。根据所研究的水文变量(如降雨量、流量等),计算各个观测值出现的频率。

5.3 频率分布曲线绘制。根据频率计算结果,绘制频率分布曲线。常用的频率分布曲线包括频率直方图、累积频率曲线等,这些曲线能够直观地反映数据的分布情况。

5.4 参数估计。针对特定的概率分布模型,如正态分布、对数正态分布等,通过对观测数据进行统计推断,估计概率分布的参数,例如均值、方差等。

5.5 拟合分布。将观测数据与已知的概率分布模型进行比较^[3],并选择最优的拟合分布。拟合程度可通过各种拟合度量指标进行评估,如拟合优度、残差分析等。

5.6 频率分析。基于所选的概率分布模型,进行频率分析,推断特定事件(如特定降雨量、特定流量等)的概率及可能性,以及设计洪水、水资源调度等所需的水文参数。

6 相关性分析的原理和方法

相关性分析的主要原理是通过计算变量之间的相关系数来衡量它们之间的线性关系强度和方向。常用的相关系数包括皮尔逊相关系数、斯皮尔曼等级相关系数和

肯德尔等级相关系数。

6.1 皮尔逊相关系数。它衡量了两个连续变量之间的线性相关程度。如果两个变量之间存在线性关系，则皮尔逊相关系数将接近于1或-1，表示正相关或负相关；如果接近于0，则表示两个变量之间没有线性关系。

6.2 斯皮尔曼等级相关系数。它用于衡量两个变量之间的单调关系，不要求变量是连续的，而是通过将变量的观察值转换为等级来计算。

6.3 肯德尔等级相关系数。它用于衡量两个变量之间的等级关系，但它对于数据中的异常值更具有鲁棒性。

7 水文数据的时空特征分析方法

水文数据的时空特征分析涉及时序、频率、空间等多个方面，通过综合运用各种分析方法，可以全面地理解水文数据的规律和特点，为水资源管理、水利工程建设提供科学依据。

7.1 时序分析。时序分析是最基本的水文数据分析方法之一，它通过对水文数据随时间变化的趋势、周期性、季节性等进行分析，常用的技术包括时间序列图、自相关函数和偏自相关函数等。

7.2 频率分析。频率分析是通过对水文事件（如降水量、径流量等）的概率分布进行分析，来揭示其在不同频率下的变化规律。常用的方法包括概率密度函数拟合、频率分布曲线绘制以及参数估计等。

7.3 空间分析。空间分析主要针对水文数据在地理空间上的分布情况进行分析，包括不同地区之间的差异性以及空间相关性等。常用的方法包括空间插值技术（如克里金插值）、空间自相关分析等。

7.4 变化趋势分析。变化趋势分析是通过对水文数据的长期变化趋势进行分析，揭示其变化方向和速率。常用的方法包括线性趋势分析、Mann-Kendall检验等。

7.5 空间插值。对于空间分布不均匀的水文数据，常常需要进行空间插值来推断缺失位置的数值。常用的插值方法包括反距离加权插值、克里金插值等。

8 水文模型的建立

水文模型的建立方法主要包括模型选择、参数估计和模拟预测等，以及如何根据实际情况选择合适的模型和参数，进行模型的参数估计和验证。

8.1 模型选择的原则和方法

在选择水文模型时，需要综合考虑各种因素，可以选择最适合研究对象和问题需求的水文模型，从而实现水文过程的准确描述和有效预测。

8.1.1 明确问题与目标。在选择水文模型之前，首先需要明确问题的定义和研究的目标。水文问题的性质、

范围和要解决的具体问题将直接影响模型的选择。例如，是进行洪水预测还是水资源管理，是考虑流域整体水文过程还是特定河段的水文特性，这些问题的明确性有助于确定所需的模型类型和复杂度。

8.1.2 数据可用性与质量。水文模型的建立离不开大量的观测数据，包括降雨、蒸发、径流等水文要素。在选择模型时，需要考虑可用的数据类型、时间尺度和空间分辨率，以及数据的质量和可靠性。如果观测数据缺乏或者存在较大的误差，需要选择能够适应数据情况的简化模型或者采用数据处理技术进行修正。

8.1.3 模型的物理基础与理论依据。根据流域的地形、土壤、植被等特征，选择与之相适应的水文过程描述模型。例如，对于平原流域可以选择简化的单位水文模型，而对于复杂地形的山地流域则需要考虑地形和土壤的影响，选择分布式水文模型。

8.1.4 模型的适用性与可靠性。水文模型的选择应该考虑其在不同条件下的适用性和可靠性。模型应该能够在不同的时间尺度和空间尺度下进行应用，并且在不同的水文事件（如干旱、洪水等）中具有较好的预测能力。同时，模型的参数估计和验证方法也需要得到充分地考虑，以保证模型的可靠性和稳健性。

8.1.5 模型的复杂度与计算效率。在选择水文模型时，需要权衡模型的复杂度和计算效率。过度复杂的模型可能会导致参数估计困难、模拟结果不稳定，而过于简化的模型可能会忽略重要的水文过程，导致模拟结果失真。因此，需要根据问题的复杂程度和数据的可用性，选择适当复杂度的模型。

9 水文参数估计的方法

水文模型的准确性和可靠性在很大程度上取决于参数的正确估算。在实际应用中，常常会综合运用多种方法进行参数估算，以提高水文模型的准确性和可靠性。

9.1 经验公式法。这种方法基于历史数据和经验公式来估算模型参数。例如，根据地区的降雨量和流域特征，可以使用经验公式来估算径流系数或地表径流形成的时间。这种方法的优点是简单易行，但缺点是可能不够精确，尤其在在不同地区和不同水文条件下的适用性有限。

9.2 统计方法。统计方法利用历史观测数据进行参数估算。常见的统计方法包括最小二乘法、最大似然估计等。通过拟合模型和观测数据之间的关系，可以估算出模型的参数。这种方法的优点是可以利用大量观测数据，较为精确地估算参数，但需要满足一定的统计假设，并且对数据质量要求较高。

9.3 物理过程模拟。物理过程模拟方法基于对水文过

程的物理机理和原理进行建模,并利用观测数据进行参数估算。例如,利用水文模型模拟地表径流过程,可以根据流域的地形、土壤类型、植被覆盖等因素来估算模型参数。这种方法的优点是能够更好地理解水文过程的机理,但缺点是模型复杂度较高,参数估算通常需要较多的观测数据和计算资源。

9.4 试错法。试错法是一种通过不断调整参数值,使模型模拟结果与观测数据尽可能吻合的方法。通常通过计算机模拟或优化算法来进行参数调整,直至模拟结果达到满意的精度。这种方法的优点是适用于各种类型的模型和数据,但需要较多的计算资源和时间。

10 模型的模拟和预测方法

在水利工程水文模型建立和分析中,模型的模拟和预测方法是至关重要的环节。在实际应用中,通常会综合利用不同类型的模型和方法,根据具体的水文问题和数据情况进行选择和调整。

10.1 统计模型。统计模型通过分析历史水文数据的统计特征来建立模型。常见的统计模型包括线性回归、多元线性回归、逻辑回归等。这些模型可以帮助识别出水文变量之间的关系,但对未来的预测能力有一定限制,特别是在面对非线性、非稳态的水文过程时。

10.2 物理模型。物理模型基于对水文过程的深入理解和描述,使用物理方程来模拟水文系统的行为。例如,水文循环中的降雨、蒸发、径流等过程可以通过物理方程来描述,如水文平衡方程、水动力学方程等。物理模型能够提供更为准确的模拟结果,但通常需要大量的参数和计算资源。

10.3 机器学习模型。机器学习模型利用计算机算法和大量数据来学习水文系统的模式和规律。常见的机器学习模型包括人工神经网络、决策树、支持向量机等。这些模型能够处理复杂的非线性关系,并能够进行较为准确的预测。但机器学习模型也需要大量的数据用于训练,并且可能存在过拟合等问题。

10.4 集合预报方法。集合预报方法通过组合多个单一模型或者多个模型的不同参数设置,以及加入不确定性信息,来提高预测的准确性和可靠性。常见的集合预报方法包括蒙特卡罗模拟、集合平均、集合成员选择等。

11 水文模型应用

水利工程水文模型的应用是一个复杂的过程,涉及

数据处理、参数校准、模拟与验证等多个环节。在实际应用中,需要对水文模型进行不断改进和优化,以提高模型的预测能力和适用性。

11.1 数据收集与处理。水文模型的应用首先需要大量的水文数据,包括降水、蒸发、径流等数据。这些数据需要进行质量控制、清洗和预处理,确保其准确性和可靠性。

11.2 模型参数校准与验证。在应用水文模型之前,需要对模型进行参数校准,即通过与实测数据对比,调整模型参数使模拟结果与观测结果吻合。校准完成后,需要使用独立的验证数据对模型进行验证,验证模型的适用性和精度。

11.3 模型应用场景模拟。水文模型可以用于模拟各种水文事件,如洪水、干旱、水资源调控等。在模拟过程中需要合理选择模型输入,包括降水、蒸发、地形等,以及设定模型边界条件和初始条件。

11.4 灾害风险评估。水文模型可以用于评估洪水、干旱等水文灾害的风险。通过模拟不同场景下的水文过程,评估可能的灾害发生概率和影响范围,为防灾减灾提供科学依据。

11.5 水资源管理与规划。水文模型可以用于水资源管理与规划,包括水库调度、灌溉决策、城市供水等。通过模拟不同管理方案的效果,优化水资源利用方式,提高水资源利用效率。

结语

水利工程水文数据处理与模型建立是一个比较复杂而且重要的课题,需要综合运用多种技术和方法。分析研究水文数据采集、处理及模型建立、应用,能为水利工程设计和管理提供指导。未来,随着信息化技术的不断发展和数据处理技术的不断完善,水文数据处理与模型建立将会迎来更加广阔的发展空间。

参考文献

- [1]季克强,李自顺,蔡云华,等.水文资料在线数据系统信息化体系的设计与开发[J].海河水利,2023,(12):86-90.
- [2]王丽.水文水资源管理在水利工程中的应用分析[J].水上安全,2023,(13):89-91.
- [3]陈焕松.水文地质勘察数据处理与解释技术研究[J].中国金属通报,2024,(03):128-130.