

基于水库环境数据的水库运行状态预测分析方法

陈丽¹ 邵伟春² 朱学前¹ 万君¹

1. 南京市六合区金牛湖水库管理处, 中国·江苏 南京 211500

2. 江苏省水利工程科技咨询股份有限公司, 中国·江苏 南京 210000

摘要: 基于水库环境数据的水库运行状态预测分析方法, 预测分析方法包括获取水库运行数据和水库运行能力数据; 水库运行能力数据用于反映水库的最大储水能力和抵抗泥沙变形的能力; 利用水库运行数据的变化量判断影响水库运行数据的水库环境类型; 利用水库环境类型结合水库运行数据分析泥沙存储趋势; 利用泥沙存储趋势基于水库运行能力得到分析结果。通过水库运行数据及时判断地下河是否与水库进行水量交换, 及时发现地下河动态有利于后续预测和分析的准确性, 并通过构建泥沙沉降模型和公式推导将地下河翻涌的效果与堆积在沉降区的沉积泥沙关联起来, 使沉积泥沙对水库运行状态的影响能直观表达出来。

关键词: 水库; 环境数据; 水库运行状态; 预测分析方法

Prediction and Analysis Method for Reservoir Operation Status Based on Reservoir Environmental Data

Li Chen¹ Weichun Shao² Xueqian Zhu¹ Jun Wan¹

1. Jinnihu Reservoir Management Office, Liuhe District, Nanjing City, Nanjing, Jiangsu, 211500, China

2. Jiangsu Water Conservancy Engineering Technology Consulting Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210000, China

Abstract: A prediction and analysis method for reservoir operation status based on reservoir environmental data. The prediction and analysis method includes obtaining reservoir operation data and reservoir operation capacity data; the operational capacity data of the reservoir is used to reflect its maximum water storage capacity and ability to resist sediment deformation; using the variation of reservoir operation data to determine the type of reservoir environment that affects reservoir operation data; analyze sediment storage trends by combining reservoir environmental types with reservoir operation data; obtain analysis results based on the reservoir's operational capacity using sediment storage trends. By analyzing the operation data of the reservoir, it is possible to determine in a timely manner whether the underground river is exchanging water with the reservoir, and to discover the dynamics of the underground river in a timely manner, which is beneficial for the accuracy of subsequent prediction and analysis. By constructing a sediment settlement model and deriving formulas, the effect of underground river overturning is related to the accumulated sediment in the settlement zone, so that the impact of sediment on the operation status of the reservoir can be intuitively expressed.

Keywords: reservoir; environmental data; reservoir operation status; predictive analysis method

0 前言

水库是指在山沟或河流的狭口处建造拦河坝形成的人工湖泊, 可以用于灌溉、发电、防洪和养鱼。水库是水资源管理的重要组成部分, 有效的水库操作可以改善一方水土。故根据水库环境数据对水库的运行状态进行预测分析在水库的管理操作中能发挥至关重要的作用。目前, 水库在流量上的预测较为成熟, 通过流量的预测可对水库的防汛、抗旱、发电、生活用水及改善生态环境做出有利判断。

就现有技术而言, 在影响水利建筑的众多因素中, 水利建筑附近沉降区的流速缓慢, 泥沙会在该区域沉降并堆积, 若水域底部的环境稳定, 泥沙沉降可根据流速和含沙量进行预测, 但水库的建造对周边水环境做出改变, 周边地下

河的水量变化难以确定, 当水库与地下河连通时, 地下河会不定时的与水域进行水量交换, 地下河的翻涌会对沉积区的沉积泥沙造成影响, 而沉积泥沙的不同堆积形态对水利建筑的挤压效果不同。综上, 不可控的地下河因素, 导致及时排沙清淤成为水库运行的操作难点, 体现了现有水库运行状态预测分析的局限性^[1]。

1 技术方案

提供基于水库环境数据的水库运行状态预测分析方法, 以解决现有技术存在的上述问题。

基于水库环境数据的水库运行状态预测分析方法, 包括: 获取水库运行数据和水库运行能力数据; 水库运行能力数据用于反映水库的最大储水能力和抵抗泥沙变形的能力;

利用水库运行数据的变化量判断影响水库运行数据的水库环境类型；利用水库环境类型结合水库运行数据分析泥沙存储趋势；利用泥沙存储趋势基于水库运行能力得到分析结果；根据分析结果得到水库运行状态的预测结果。

进一步的，利用水库运行数据的变化量判断影响水库运行数据的水库环境类型包括：

水库运行数据包括储水量、流入量和排出量，若储水量的变化量与流入量和排出量的差值弱相关，则影响水库运行数据的水库环境类型为地下河因素；

否则，影响水库运行数据的水库环境类型为非地下河因素。

进一步的，利用水库环境类型结合水库运行数据分析泥沙存储趋势包括：

当影响水库运行数据的水库环境类型为非地下河因素时，泥沙存储趋势不变；

当影响水库运行数据的水库环境类型为地下河因素时，利用水库储水量的变化量分析泥沙存储趋势。

进一步的，利用水库储水量的变化量分析泥沙存储趋势包括：

当流入量和排出量的差值不变，且流入量小于排出量时，若储水量的变化趋势减缓或储水量增多，则泥沙存储趋势为攀升堆积趋势；否则，泥沙存储趋势为平缓倾倒趋势；

当流入量和排出量的差值不变，且流入量大于排出量时，若储水量的变化趋势减缓或储水量减少，则泥沙存储趋势为平缓倾倒趋势；否则，泥沙存储趋势为攀升堆积趋势。

进一步的，利用泥沙存储趋势基于水库运行能力得到分析结果包括：

若泥沙存储趋势为平缓倾倒趋势则分析结果为水利建筑安全；

否则，模拟单位时间后沉积泥沙的堆积形态在攀升堆积趋势下的模拟堆积形态，并获取模拟堆积形态下沉积泥沙对水利建筑的挤压应力；

判断承压应力是否在水库运行能力数据范围内，若是，则分析结果为水利建筑安全；否则分析结果为水利建筑危险。

进一步的，模拟单位时间后沉积泥沙的堆积形态在攀升堆积趋势下的模拟堆积形态包括：

获取沉积泥沙的初始堆积形态；

基于沉积泥沙的初始堆积形态，模拟单位时间后地下河与水库水量交换产生的泥沙扰动形态；

其中，单位时间的范围为 5~15 分钟。

进一步的，获取沉积泥沙的初始堆积形态包括：

获取沉积泥沙的初始形态勘测数据；

建立泥沙沉降模型；

通过泥沙沉降模型预测单位时间后的沉沙量；

将初始形态勘测数据与单位时间后的沉沙量叠加作为

沉积泥沙的初始堆积形态。

2 具体实施方式

基于水库环境数据的水库运行状态预测分析步骤见图 1。

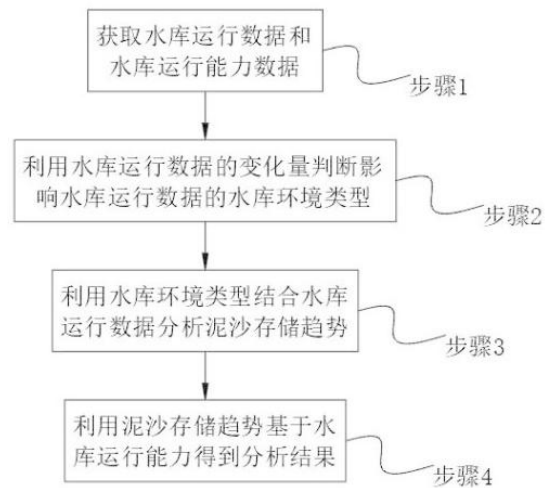


图 1 基于水库环境数据的水库运行状态预测分析步骤

实施例 1：如图 1 所示，基于水库环境数据的水库运行状态预测分析方法，包括：

步骤 1：获取水库运行数据和水库运行能力数据；水库运行能力数据用于反映水库的最大储水能力和抵抗泥沙变形的能力。水库运行数据和水库运行能力数据从水利部门获取，其中，水库运行数据通过水库配备的各种探测装置实时采集，探测装置包括用于采集储水量的声呐探测装置、安装在水库入水口和排水口的流量探测装置，以及用分布在水库不同位置的含沙量探测装置等，水库运行能力数据通过水库的设计方案和设施质量得到。

步骤 2：利用水库运行数据的变化量判断影响水库运行数据的水库环境类型。对水库运行造成影响的因素众多，本方法针对地下河对沉积泥沙堆积形态的影响展开，获取水库运行数据后，根据水库运行数据的变化情况判断地下河是否参与到水库运行状态的预测。

步骤 3：利用水库环境类型结合水库运行数据分析泥沙存储趋势。当地下河影响水库运行状态时，结合实时的水库运行数据判断地下河与水库的水量交换情况，并根据地下河的状态分析地下河对泥沙存储趋势的影响，也就是地下河对沉积泥沙堆积形态的影响。

步骤 4：利用泥沙存储趋势基于水库运行能力得到分析结果。根据泥沙存储趋势预测一定时间后沉积泥沙的堆积形态，并根据堆积形态计算沉积泥沙对水利建筑的及挤压力，将计算出的挤压力与水库运行能力进行对比，得到水库是否能安全运行的分析结果。

通过水库运行数据及时判断地下河是否与水库进行水量交换，及时发现地下河动态有利于后续预测和分析的准确

性, 本方法通过构建泥沙沉降模型和公式推导将地下河翻涌的效果与堆积在沉降区的沉积泥沙关联起来, 使沉积泥沙对水库运行状态的影响直观表达出来, 为水库运行状态做出针对承压应力适应性调整。

步骤 2 具体包括:

水库运行数据包括储水量、流入量和排出量, 若储水量的变化量与流入量和排出量的差值弱相关, 则影响水库运行数据的水库环境类型为地下河因素;

否则, 影响水库运行数据的水库环境类型为非地下河因素。

非地下河因素包括气候(以降雨和蒸发为主)、农用灌溉和储水排水等因素, 非地下河因素对水库的储水量的影响均可通过检测或计量设备获取, 而地下河因素产生的影响不可测得, 当水库的储水量与流入量和排出量的数据发生较大的偏差时, 可断定地下河已经开始干预水库运行数据。

步骤 3 具体包括:

步骤 31: 当影响水库运行数据的水库环境类型为非地下河因素时, 泥沙存储趋势不变; 泥沙存储趋势不变的情况下, 沉降区的泥沙仍以自由沉降的方式进行堆积, 堆积形态与沉降区的流速、含沙量和水深相关。

步骤 32: 当影响水库运行数据的水库环境类型为地下河因素时, 利用水库储水量的变化量分析泥沙存储趋势。

步骤 32 具体包括:

当流入量和排出量的差值不变, 且流入量小于排出量时, 若储水量的变化趋势减缓或储水量增多, 则泥沙存储趋势为攀升堆积趋势; 否则, 泥沙存储趋势为平缓倾倒趋势。也就是说, 当水库运行数据显示水库处于匀速放水时, 放水的速度变慢或储水量增多表明地下河在向水库涌水, 涌水入水库的水能最终会传递到水利建筑, 这种从下向上的作用效果会将沉积泥沙的形态推高, 故泥沙存储趋势为攀升堆积趋势; 否则地下河吸水, 沉积泥沙的形态被吸到, 泥沙存储趋势为平缓倾倒趋势。

当流入量和排出量的差值不变, 且流入量大于排出量时, 若储水量的变化趋势减缓或储水量减少, 则泥沙存储趋势为平缓倾倒趋势; 否则, 泥沙存储趋势为攀升堆积趋势。与上述原理相同, 当水库运行数据显示水库处于匀速存水时, 存水的速度变慢或储水量减少表明地下河在从水库吸水, 吸水的效果是从上至下的做功方式, 沉积泥沙的形态变的扁平, 故泥沙存储趋势为平缓倾倒趋势, 否则地下河涌水, 泥沙存储趋势为攀升堆积趋势。

步骤 4 具体包括:

步骤 41: 若泥沙存储趋势为平缓倾倒趋势则分析结果为水利建筑安全; 平缓倾倒趋势下沉积泥沙在沉降区编的平缓, 对水利建筑的挤压效果减弱, 故分析结果为水利建筑安全。

否则, 模拟单位时间后沉积泥沙的堆积形态在攀升堆

积趋势下的模拟堆积形态, 并获取模拟堆积形态下沉积泥沙对水利建筑的挤压应力; 攀升堆积趋势会使沉积泥沙的堆积的更高, 这导致沉积泥沙对水利建筑的承压应力发生变化, 对水利建筑的稳定运行而言是个不利因素, 故需要模拟堆积形态下沉积泥沙对水利建筑的挤压应力, 以实现水利建筑安全运行的判定。

步骤 42: 判断承压应力是否在水库运行能力数据范围内, 若是, 则分析结果为水利建筑安全; 否则分析结果为水利建筑危险。基于水库运行能力数据范围与承压应力的对比结果得到分析结果, 分析结果直接反映模拟堆积形态下沉积泥沙对水利建筑威胁。

步骤 41 具体包括:

步骤 411: 获取沉积泥沙的初始堆积形态; 初始堆积形态为地下河参与水库运行数据时的沉积泥沙形态, 初始堆积形态的精度对模拟堆积形态的影响较大, 初始堆积形态的准确性至关重要。

步骤 411 具体包括:

步骤 4111: 获取沉积泥沙的初始形态勘测数据; 勘测数据由水利工作人员定期水下采集, 以保证数据的真实准确, 勘测周期以月为单位, 实际情况可根据水库入沙量进行合理调整, 除定期勘测外, 水库清淤排沙后也需要进行水下采集, 该数据有利于优化泥沙沉降模型的学习方法。

步骤 4112: 建立泥沙沉降模型; 以采集到的勘测数据构建泥沙沉降模型, 泥沙沉降模型用于反映沉降区的流速、含沙量和水深对泥沙沉降量的影响。

步骤 4113: 通过泥沙沉降模型预测单位时间后的沉沙量; 预测的时间长度以最近一次勘测时间为起点, 以地下河开始扰动沉积泥沙为时间终点。

步骤 4114: 将初始形态勘测数据与单位时间后的沉沙量叠加作为沉积泥沙的初始堆积形态。初始堆积形态由勘测值和预测值叠加得到, 泥沙沉降模型可通过下一次勘测数据进行学习。

步骤 412: 基于沉积泥沙的初始堆积形态, 模拟单位时间后地下河与水库水量交换产生的泥沙扰动形态; 其中, 单位时间的范围为 5~15 分钟。

步骤 412 具体包括:

通过公式 $\theta = \arctan \frac{h}{L}$ 和 $h = \frac{K \cdot Q}{B \cdot L} + \frac{a \cdot V_* \cdot v^2}{S}$ 公式计算沉积泥沙形态的坡度。

其中, θ 为泥沙扰动形态的坡度(沉降区沉积泥沙的截面近似三角形); h 为泥沙扰动形态的高度; K 为沉积泥沙的体积系数($K < 1$, K 与地下河洞口与水利建筑的相对位置、地下河洞口大小和水利建筑的长度相关); Q 为泥沙沉降模型预测单位时间后的沉沙量; B 为水利建筑的长度; L 为沉降区的宽度; a 为扰动系数($0 < a < 1$, a 与以往通气候时期的涌水数据相关, a 根据数据积攒不断修正),

$V_{水}$ 为地下河与水库的交换水量（ $V_{水}$ 等于流入量和排出量的差值与储水量的差值的绝对值）； v 为交换水量的流速（ $V_{水}$ 与时间的比值）； S 为地下河与沉降区的距离；利用沉积泥沙形态的坡度来表征泥沙扰动形态。地下河与沉降区的距离和洞口尺寸经勘测得到^[2]。

3 有益效果

通过水库运行数据及时判断地下河是否与水库进行水量交换，及时发现地下河动态有利于后续预测和分析的准确性，并通过构建泥沙沉降模型和公式推导将地下河翻涌的效果与堆积在沉降区的沉积泥沙关联起来，使沉积泥沙对水库

运行状态的影响直观表达出来，为水库运行状态做出针对承压应力适应性调整给出方向。

对地下河因素影响沉降区泥沙形态进行预测，为水库的及时排沙清淤提供可能，降低了地下河扰动沉积泥沙对水利建筑的威胁，拓宽了现有水库运行状态预测分析的适用范围和准确性。

参考文献：

- [1] 姜端午,黄树春,张苑平等.基于地质环境遥感调查与监测数据探讨洞庭湖演变规律[J].国土资源遥感,2010(S1):124-129.
- [2] 林晖榕.福州山仔水库水质自动站监测数据动态分析与应用[J].数字技术与应用,2010(7):61-63.