

基于三维水温模型预测有支流影响下的水库水温

李林, 周孝德, 宋策

(西安理工大学 西北水资源与环境生态教育部重点实验室, 陕西 西安 710048)

摘要: 以存在支流的新疆自治区某水库为例, 分析其支流与主库之间的相互关系, 采用三维水温模型, 对有无支流影响下的水库进行了模拟计算, 对比分析了水库库区的水温分布、坝前垂向水温和水库的下泄水温。结果表明, 支流对水库的水温分布存在一定的影响, 在有支流影响时, 水库坝前底部水温较低, 下泄水温也较低, 并在冬季出现较大温差。通过改变主支库交汇处距坝址的距离, 分析表明支流离坝址越近, 对水库的水温分布影响越大。

关键词: 三维水温模型; 水温分布; 下泄水温

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2012)02-0159-03

中图分类号: TV 697

Prediction of Temperature in a Reservoir Under Influence of Incoming Branches Based on 3D Temperature Model

LI Lin, ZHOU Xiao-de, SONG Ce

(Key Lab of Northwest Water Resources and Environment Ecology of the MOE, XAUT, Xi'an, Shaanxi 710048, China)

Abstract: A reservoir with branches was selected in Xinjiang Uygur Autonomous Region as the study subject. Based on the analysis of the interaction between branches and the reservoir, this study simulated the temperature dynamics in the reservoir under the scenarios with and without the influence of branches using 3D temperature model. The temperature distributions on reservoir water surface, in discharged water, and in the vertical profiles in upstream front of the dam were compared. The results show that the branches had certain influences on the temperature distribution of the reservoir; under the influence, the water in the bottom of the vertical profile in front of the dam had low temperature, as well as the discharged water from the dam outlet. The large temperature differences were found in the winter. Through shifting the location where the branches merge into the reservoir, the simulation indicated that the influences of the branches on reservoir temperature distribution increased as the merging point moving towards the dam.

Keywords: 3D temperature model; water temperature distribution; discharged water temperature

水温是水环境因子的重要指标之一, 水的物理、化学性质都与水温有关^[1], 水温的变化直接影响水环境质量的变化^[2], 水温还与水生生态有着密切的关系, 如水生植物的生长、鱼类产卵、繁殖都对水温变化十分敏感。所以在水电工程中, 水库水温的预测是环境影响评价所需要的重要内容之一, 对于水资源开发利用的可持续发展具有重大意义, 因此对于水温预测模型的研究非常重要^[3]。现在已有很多比较成熟的并且在实际工程中得到运用的水温模型, 如垂向一维水温模型、纵向一维水温模型、立面二维水温模型和三维湖泊水库水温模型等^[4]。其中一维水温模型在考虑水库支流影响的问题上已经有了比较合理的方法和理论^[5], 然而在运用二维模型对存在支流的水库进行水温预测时, 往往忽略支流的影响。在一些地区水电工程建设中, 使得库区内的支流也呈现水库形态, 一

般支库的流量相对干流较小, 在其与干流的汇口处水深较大, 导致分层现象更加显著, 水流动较缓慢, 可能会进一步增加水库富营养化的可能性^[3], 另一方面在是否考虑支流影响下的水库水温结构也有明显的差异。

本研究以新疆自治区某水库为例, 运用三维水温模型模拟在有无支流影响下以及支流距坝址不同距离下的库区水温结构及下泄水温所受的影响, 旨在为水库的水温环境影响评价提供一定的参考依据。

1 水温数值模型及参数率定

1.1 水温模型简介

早期的水库水温水质模型主要为垂向一维和混合模型, 一维模型反映水库垂向梯度; 而混合模型将水体视为完全混合的, 其中并不涉及其它的水动力学

信息。由于一维、混合模型的水动力学因素过于简化,使得模型不能合理完善地描述水体特性的时空变化,故湖库的二维、三维模型的研制与应用也得到了重视和发展,比较著名的有丹麦的 MIKE 模型、荷兰的 Delfe 3D 等模型^[6]。其中 MIKE 3 在大尺度流域、长时间的数值模拟方面有着突出优点,并应用在一些实际项目中;如中国水利水电科学研究院将 MIKE 3 应用在“湘潭电厂取排水口温度场模拟研究”,“万家寨水库水温数值模拟”项目中,计算结果与实测水温吻合良好。西安理工大学也将 MIKE 3 应用于“新疆伊犁喀什河上游梯级开发对库区水温的影响”研究中,计算结果的三维流场、温度场较为合理。MIKE 3 软件对于此类问题有较高的实用价值。

本次水库水温模拟计算采用丹麦水科所的 MIKE 系列软件中的 MIKE 3,该软件是模拟水动力和水质的专业工程软件,其中输入项有地形、边界条件、源和汇、蒸发和降雨、风场、大气压力、底部摩阻和涡黏系数等^[7]。MIKE 3 模型的数学基础是雷诺平均化的 N-S 方程,同时考虑了紊流影响以及水体密度变化,采用主要的控制方程为:

水流连续性方程:

$$\frac{1}{\rho c_s^2} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

水流动量方程:

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial (u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ v_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \delta_{ij} k \right\} + \beta g_i \Delta T \quad (2)$$

湍流封闭模型方程:

$$\frac{\partial k}{\partial t} + u_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{v_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + v_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \beta \frac{v_t}{\sigma_T} \frac{\partial \varphi}{\partial x_i} g_i - \varepsilon \quad (3)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + u_j \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{v_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} \left(v_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - C_{\varepsilon 3} \beta \frac{v_t}{\sigma_T} \frac{\partial \varphi}{\partial x_i} g_i \right) - C_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (4)$$

温度对流扩散方程:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial (T u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{v_t}{\sigma_T} \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) + \frac{Q_H}{\rho} \quad (5)$$

浓度对流扩散方程:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial (C u_j)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(E_j \frac{\partial C}{\partial x_j} \right) - k_1 C \quad (6)$$

式中: ρ ——水的密度; c_s ——水的状态系数; u_i —— x_i 方向的速度分量; p ——压力; g_i ——重力矢量; v_t ——紊动黏性系数; δ ——克罗奈克函数; k ——紊动动能; ε ——紊动动能的耗散率; t ——时间; SS ——各自的源汇项(每个方程的均不相同); $c_{1\varepsilon}$, $c_{2\varepsilon}$, $c_{3\varepsilon}$, σ_k , σ_ε , σ_T ——特征值; $k-\varepsilon$ 湍流模型中取值一般分别为 0.09, 1.44, 1.92, 1.00, 1.30, 0.90; β ——容量扩张系数; φ ——浮力标量; T ——水温; Q_H ——热量交换; C ——浓度; E_j ——浓度混合扩散系数; k_1 ——降解系数。

1.2 参数率定

利用与研究水库下游就近水库水温实测资料对模型进行参数率定,实际观测结果和模拟结果对比如图 1 所示,由图 1 可以看出,数学模型的模拟结果与实测水温具有很好的一致性,基本符合水温的实际分布规律,验证了模型的适用性。

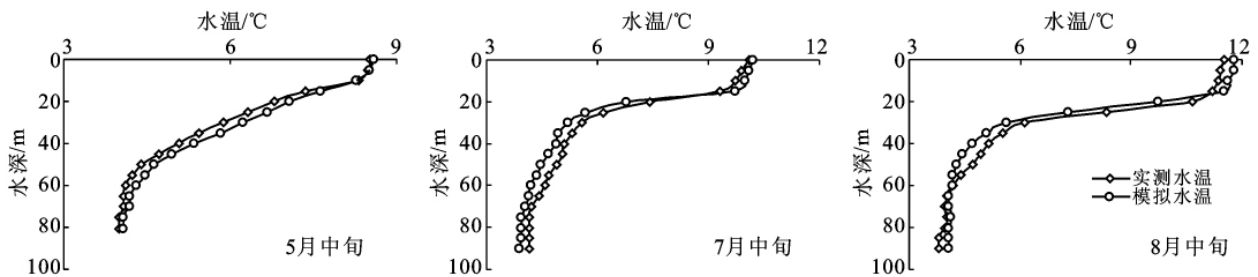


图 1 坝前模拟与实测垂向水温分布对比

2 水库水温模拟结果及分析

以存在支库的新疆自治区某水库为模拟对象,由于该流域均处于高寒区域,主支库之间没有任何温泉、地热等汇入,入库水流的含沙量较小,主支库来流河道冰封期、水温形势的年内变化等具有一致性,因

此干支流的水流基本具有统一的入流特性。研究水库库长在 20 km 内,在同一流域主支库的入流水温条件基本不存在差异。计算范围为水库坝址出至库区回水末端,气象条件采用地方气象局多年实测各月平均气温、湿度及降雨量资料,及相应水文站月平均水温资料;利用三维水库水温模型分别模拟有无支流影

响下的水库水温。在有无考虑支流影响下分别计算了 2、5、8、11 月份的水温分布。计算结果表明,通过实测的水温资料和模拟出的库区水温分布,均与实际情况相符,但是考虑支库影响条件下与未考虑支库影响条件下的水库水温分布仍有所差异。2 月份时,两种情况下都处于稳定的分层状态,但未考虑支流条件下库区底部的滞温层和表层温度均高于考虑支流条件下的温度,二者的温跃层也有所不同。在 5 月份时,水库处于升温阶段,二种情况下均处于混合状态,由于受支库较低温水的影响,考虑支流影响的库区升温较慢。到 8 月份由于出入库量均较大,库区交换率较高,分布形态基本一致,但温跃层的位置和厚度及表层水温还是有所差别,未考虑支流影响情况温跃层的位置较高,其厚度也较大,表层的平均水温也较有支流影响情况下的高出 0.5℃。至 11 月份,两种情况下的库区均处于弱分层状态,但未考虑支流影响下的库区水温较高。

由图 2—3 可以看出,有无考虑支流影响情况下的坝前水温分布基本符合实际情况,但对应月份的坝前水温分布有明显的区别。特别是在 12 月至翌年 3 月,由于支库的水温比主库水温低,致使无支库影响下的坝前底部水温较高,等温层也较厚。

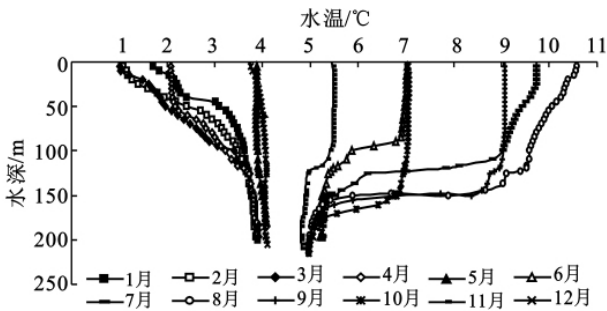


图 2 无支库影响下水库坝前水温分布

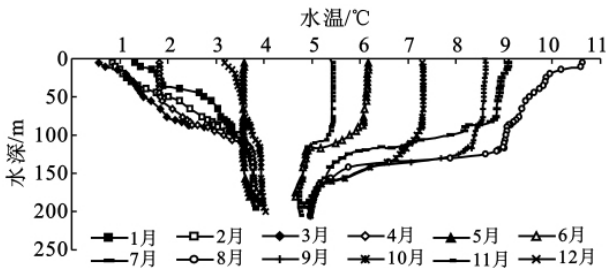


图 3 有支库影响下水库坝前水温分布

图 4 给出考虑支库影响情况下(主、支库交汇处离坝址距离为 8 和 5 km)和未考虑支库影响情况下的出水口逐月月平均水温对比,由图 4 可以看出,在 1—3 月份未考虑支库影响的比考虑支库影响的下泄水温高出约 0.6℃。主支库交汇处离坝前距离不同也可导致下泄水温有所差别,由图 4 对比交汇处距坝

址 5 和 8 km 可知,交汇处距坝址越近,支库对主库的影响越大。

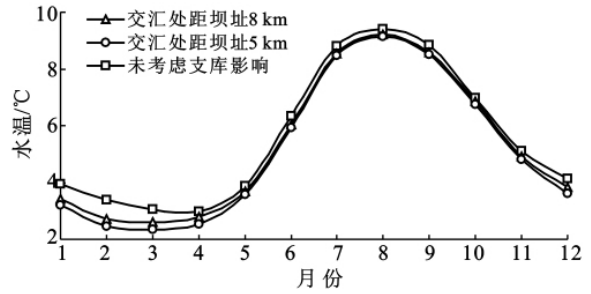


图 4 不同工况下年月均下泄水温比较

3 结语

研究结果表明,支库汇入主库致使主库水温分布发生变化,使得逐月月均下泄水温均低于无支库影响下的下泄水温,在冬季出现较大温差;通过比较有无支库影响的各月坝前水温分布,由于支库的汇入使得入流水温降低,从而导致有支库影响下的坝前底部水温较低;同时改变主支库交汇处距坝址的距离得出支库离坝址越近,对主库的水温分布影响越大;当在一些实际的水库中忽略支库对主库的影响,会对水库库区水温分布和下泄水温计算不准确,导致在利用水库中的水进行农田灌溉时可能会影响农产品的产量,破坏下游水生生物的生存环境^[8]。因此在有支库的水库水温预测中,采用三维水温模型来考虑支库对水库的影响,并且预测出的水库水温分布也比较合理,同时预测结果对制定水库生态用水调度方案和流域开发的环境影响评价提供了科学依据。

[参 考 文 献]

- [1] 陆俊卿,小峰. 库水温数学模型及其应用[J]. 水力发电学报, 2008, 27(5): 124-129.
- [2] 任华堂,陈永灿,刘昭伟. 三峡水库水温预测研究[J]. 水动力学研究与进展, 2000, 23(2): 141-148.
- [3] 郝红升,李克峰,梁瑞峰,等. 支流影响下的水库水温预测模型[J]. 水利水电科技进展, 2006, 26(5): 7-9.
- [4] 雒文生,周志军. 水库垂直二维湍流与水温水质耦合模型[J]. 水电能源科学, 1997, 15(3): 1-7.
- [5] 芮孝芳,冯平. 多支流河道洪水演算方法的探讨[J]. 水利学报, 1990, 2(2): 26-32.
- [6] 马腾,刘文洪,宋策,等. 基于 MIKE 3 的水库水温结构模拟研究[J]. 电网与清洁能源, 2009, 25(2): 68-71.
- [7] 刘畅. MIKE 3 软件在水温结构模拟中的应用研究[D]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2004: 1-26.
- [8] 马乃喜,尹怀庭,马俊杰,等. 库汇流区的基本特征与生态保护对策[J]. 水土保持通报, 1998, 18(2): 58-62.