

深水水库隔水幕布透水率对下泄水温影响研究

王海军^{1,2}, 冯立阳^{1,2}, 练继建^{1,2}

(1. 天津大学 水利工程仿真与安全国家重点实验室, 天津 300350; 2. 天津大学 建筑工程学院, 天津 300350)

摘 要: 隔水幕布作为分层取水设施可有效缓解由深水水库温度分层导致的低温水下泄影响。为探究幕布材料透水率对下泄水温及幕布总体受力的影响,依据一深水水库实测水文水温资料,建立并验证了该水库的三维水动力水温数值模拟模型,对比分析了不同工况下的流场、温度场及幕布总体受力结果。研究表明:随着幕布材料透水率增至7%,下泄水温逐渐降低,较未采用幕布时下泄水温提升幅度由2.31℃降至0.33℃。随着材料透水,幕布总体受力减小,不透水幕布所受总水平推力为1242 t,满足下泄水温需求的透水率为2%的幕布所受总力为293 t。在工程应用中应根据水温提升需求,综合考虑幕布受力及经济性等因素选用幕布材料,对于该工程幕布材料平均透水率不应超过2%。

关键词: 工程水力学; 分层取水; 隔水幕布; 数值模拟; 透水率; 下泄水温; 深水水库

中图分类号: TV697

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2020)01-0140-06

Effects of temperature-control curtain permeability on discharge water temperature in deep reservoirs

WANG Haijun^{1,2}, FENG Liyang^{1,2}, LIAN Jijian^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Hydraulic Engineering Simulation and Safety, Tianjin University, Tianjin 300350, China;

2. School of Civil Engineering, Tianjin University, Tianjin 300350, China)

Abstract: Temperature-control curtain (TCC) is an effective selective withdrawal facility to alleviate adverse effects of thermal stratification in deep reservoirs leading to low temperature water discharging. Based on the measured data of a certain deep reservoir, a three-dimensional hydrodynamic and temperature simulation model was established and calibrated to explore the effect of material permeability factor on water temperature increasement and overall stress performance. The characteristics of flow field, temperature field and overall stress of TCC were analyzed by setting several conditions of water temperature distributions. The simulation results showed that when the material permeability of the curtain increased to 7%, the discharge water temperature gradually decreased. The effect of water temperature enhancement comparing with no TCC condition was reduced from 2.31℃ to 0.33℃. As the material was permeable to water, the overall stress of the impervious curtain was 1242 t. For the 2% water permeability curtain that met the demand for the discharge water temperature, the overall stress was 293 t. To select appropriate curtain materials, the requirement of water temperature, the mechanical characteristics and economic factors should be taken into comprehensive consideration in real application. It is suggested that the average permeability of curtain material should not exceed 2% in this project.

Key words: engineering hydraulics; selective withdrawal; temperature-control curtain; numerical simulation; permeability; discharge water temperature; deep reservoir

收稿日期: 2019-09-09; 修回日期: 2019-10-10

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0401708); 天津市自然科学基金项目(18JCYBJC22300); 天津市重点领域创新团队项目(2014TDA001)

作者简介: 王海军(1978-), 男, 江西萍乡人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为水利水电工程。

1 研究背景

筑坝建库是开发利用水资源的常用工程措施,但水库蓄水运行改变了天然河道的水文水力特性,导致水温结构发生变化。在调节性能较强的水库中易形成水温分层结构,这种水温分层结构会引起原有水体的物理化学特性及生物物种分布的变化,导致下层水体常年维持在较低的温度状态。春夏季节水温分层更为明显,由于水电站引水口高程较低,下泄水流的水温低于表层水温^[1-2],对下游农渔业造成影响并威胁区域生物多样性^[3-5]。为提高下泄水温,国内外通过分层取水等措施实现水库水体内部热量调节和管理^[6-7]。

对于已运行水库,隔水幕布是一种有效的分层取水措施^[8-9]。用于低温水治理时将幕布置于坝前一定位置的水库底层,选择合适的挡水高度阻挡中、底层低温水,使温度较高的水体流经幕布上表面,与幕布至引水口间温度分层的水体掺混,从而提高下泄水温。最早在美国加利福尼亚州 Lewiston 水库和田纳西州 Cherokee 水库中进行隔水幕布阻挡底层低温水试验^[10]。Vermeyen 详述了隔水幕布的设计、建造及运行性能等内容,并在 Lewiston 和 Whiskeytown 水库中布置了 3 个隔水幕布探究其对水库温度的调控作用^[11-12]。针对我国高坝大库,中南院提出低温水治理隔水网方案,练继建等^[13]依据幕布固定方式的不同,提出浮式、悬挂式及浮挂结合式隔水幕布。

在理论研究方面,Shammaa 等^[14]利用 PIV 和 LIF 技术在两层密度分层水体中开展了物理模型试验,研究了隔水幕布对平均流量、下泄水组成、分层界面变化和流场等方面的影响。练继建等^[15]通过数值模拟,实现了隔水幕布对下泄低温水改善效果的研究。薛文豪等^[16]探索了不同幕布布设方式对全库区水温的影响。盛传明等^[17]通过物理模型试验与数值模型模拟相结合的方式,研究了绳索的受力特性。He Wei 等^[18]定量计算了幕布对水温结构及水环境治理的潜在影响。在上述工程应用及物理模型中,幕布材料主要选用不透水的土工织物;数值模型中,通过参数设置将隔水幕布设置为不透水材料,未考虑幕布透水率参数对下泄水温改善效果及幕布受力的影响。幕布主要材料为土工织物,此种材料由沿机器方向的经纱及与经纱垂直的纬纱织成,纤维之间存在空隙,因此具有一定的透水率。刘伟超^[19]探究了土工布透水率在承受张力后与无荷

载情况相比产生较大变化。在实际应用时,幕布透水率也将影响幕布总体受力,对锚固系统提出要求,因此进一步研究幕布材料透水率的影响对工程具有指导意义。

2 数值模型控制方程

本文采用计算流体力学软件 Flow3D 进行数值模拟计算,考虑流体温度变化对周围流体密度的影响。因此需要求解基于流体力学基本控制方程,包括连续性方程、动量方程及能量方程,选用标准 $\kappa - \varepsilon$ 紊流模型对方程进行封闭。使用基于结构化矩形网格的有限差分法离散控制方程,采用中心差分格式和迎风格式相结合的离散方法,离散后的差分方程由广义极小残差法(GMRES)进行求解,时间差分采用全隐格式。

Flow3D 采用 FAVORTM 网格技术,求解的方程中包含体积孔隙度函数、体积分数 V_F 与面积分数 A 。三维多孔材料的孔隙度定义为孔隙体积与材料总体积之比,如零体积孔隙体即为流体不能通过的障碍区域。而面积分数可以用来定义二维多孔薄挡板模型,通过此方式控制幕布孔隙率,不计流动损失。本文探究幕布透水率对其总体受力的影响,因此忽略幕布受力对孔隙率的影响,在模型计算时孔隙率参数值恒定。

连续性方程:

$$V_F \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i A_i) = 0 \quad (1)$$

动量方程:

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{1}{V_F} u_j A_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + G_i + f_i \quad (2)$$

$$\rho V_F f_i = - \frac{\partial}{\partial x_j} (A_j \tau_{ij}) \quad (3)$$

$$\tau_{ii} = - 2\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_i} - \frac{1}{3} \frac{\partial u_j}{\partial x_j} \right) \quad (4)$$

$$\tau_{ij} = \tau_{ji} = - \mu \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \quad (5)$$

能量方程:

$$V_F \frac{\partial (\rho I)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho I u_i A_i) = - p \frac{\partial (u_i A_i)}{\partial x_i} + RI_{DIF} + T_{DIF} \quad (6)$$

$$RI_{DIF} = \frac{\partial}{\partial x} \left(v_I A_i \frac{\partial \rho I}{\partial x_i} \right) \quad (7)$$

$$T_{DIF} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(k A_i \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) \quad (8)$$

体积分数、面积分数方程:

$$V_F = \frac{\text{单元格孔隙体积}}{\text{单元格总体积}} \quad (9)$$

$$A = \frac{\text{平面孔隙面积}}{\text{平面总面积}} \quad (10)$$

式中: V_F 为体积分; t 为时间, s; ρ 为流体密度, kg/m^3 ; x_i, x_j 为各方向坐标分量; u_i, u_j 为 x, y, z 坐标方向的流速, m/s ; A_i, A_j 为面积分数; p 为水压力, Pa; G_i 为 x, y, z 方向体积力加速度, m/s^2 ; f_i 为 x, y, z 方向的黏滞项, 具体见公式(3) ~ (5); τ_{ij} 为流体切应力, N/m^2 , 第1下标 i 为作用面, 第2下标 j 为作用方向; μ 为紊动运动黏滞系数, $\text{Pa} \cdot \text{s}$; I 为宏观掺混内能; RI_{DIF} 为紊流耗散项; T_{DIF} 为热传导项, 具体见公式(7) ~ (8), 公式(7)中系数 $v_i = C_i \mu / \rho$, C_i 为普朗特数的倒数; 公式(8)中系数 k 为温度传导系数, 可直接定义或给定为普朗特数。

3 数值模型建立

3.1 工程概况

某水库正常蓄水位与防洪控制水位为 475.00 m, 电站进水口底板高程为 408.00 m, 4 条引水隧洞内径均为 7 m, 隧洞中心间距 22 m, 最大泄流流量 $870 \text{ m}^3/\text{s}$, 坝前平均水深超过 130 m, 该水库具有稳定分层型水温结构。

3.2 网格划分及边界条件设置

对库区地形进行处理, 构建坝前 1.53 km 水下三维地形, 对各水工建筑物建立三维模型并进行网格划分。计算区域长 1.63 km, 宽 1.5 km, 包括坝前 1.53 km 库区、电站进水口及引水管道等, 选取水流流向为 y 方向, 横向为 x 方向, 高程方向为 z 方向。采用结构化网格, 平均网格尺寸为 $30 \text{ m} \times 50 \text{ m} \times 2.5 \text{ m}$, 加密取水口前 150 m 范围内网格及取水层垂向网格, 活动网格共计 18×10^4 个, 库区布置及计算区域网格划分如图 1 所示。

依据实测水文水温、水位流量等数据确定不同工况模型的边界条件及初始条件。上游入流边界位于坝前 1.53 km 处, 输入实测垂向分层水温; 出流边界位于引水管道末端, 为上游水温分布对应的下泄流量; 设置模型初始水位为相应实测水位, 水体静止, z 向重力加速度为 -9.8 m/s^2 , 热传导采用二阶平流方法, 压强为静水压强分布, 计算区域水体初始温度设置为 9.5°C 。由于水库库容较大, 坝前水位变化极小, 模型表面采用刚盖假定, 水体流动时将自由液面视为可移动的固壁表面。底边界及侧边界均采用无滑移条件, 壁面上法向与切向流速均为零。

不考虑流体与周围固体的质量与热量交换, 河道表面糙率为 0.035。

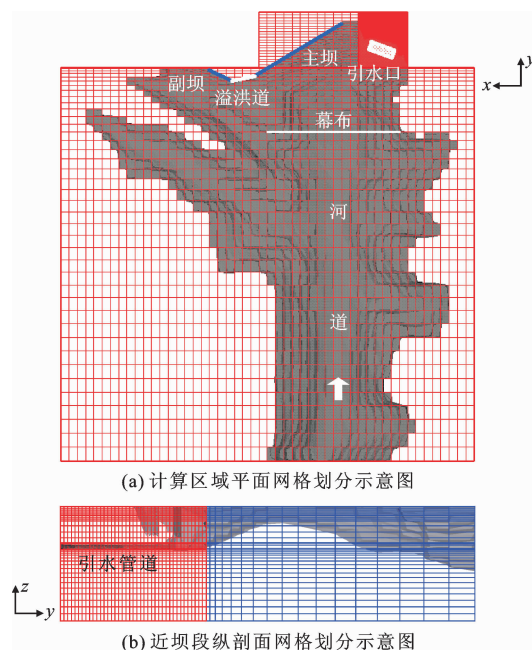


图1 库区布置及计算区域网格划分示意图

3.3 模型验证

采用深水水库实测水文水温资料, 对建立的三维水动力水温数值模型的准确性进行验证。

选取典型年 5、6 月份实测数据对模型进行验证, 如图 2 所示。由图 2 可看出, 模拟与实测的坝前垂向水温分布情况拟合较好。

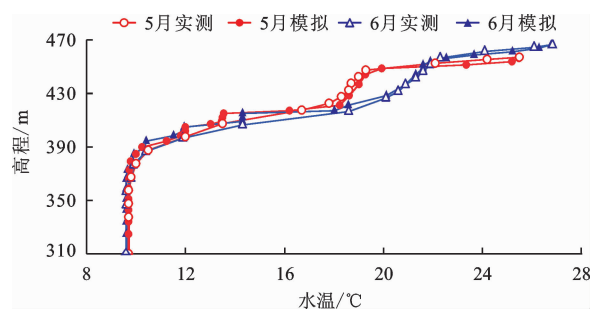


图2 典型年 5、6 月份坝前垂向水温分布计算与实测对比

对比未设置幕布模型计算所得下泄水温与实测出库水温, 其中 5 月下泄水温计算值为 17.16°C , 实测出库水温为 17.25°C , 误差为 -0.09°C ; 6 月下泄水温计算值为 19.30°C , 实测出库水温为 19.35°C , 误差为 0.05°C 。建立的数值模型能够较好地模拟库区坝前水域温度分布情况。

3.4 工况设置

为分析幕布透水率对下泄水温的影响, 控制相同水温分布条件下的各工况除幕布透水率外其余条

件均相同,幕布型式为全封闭式,即在幕布不透水情况下仅可由幕布上方过流,幕布淹没水深为 30 m,布置于引水口前 250 m 处。根据实测数据设置模型的初始及边界条件,在 2 种水温分布下分别设计 5 种不同幕布透水率工况,具体工况设置见表 1。设置 5 月水温分布下的工况 1~5,其中不透水幕布为工况 1,幕布透水率为 2%、3%、5% 和 7% 的模型分别对应工况 2~5,同样设置 6 月水温分布下的工况 6~10。

4 不同幕布透水率影响效果分析

4.1 隔水幕布改善水温效果

为分析隔水幕布改善水温的效果,将采用不透水幕布的工况 1、工况 6 模型计算所得结果与无幕布模型进行对比。工况 1 下泄水温计算值为 18.62℃,较无幕布模型下泄水温提高 1.46℃。工况 6 下泄水温计算值为 21.61℃,较无幕布模型下泄水温提高 2.31℃。

表 1 模拟工况设置表

工况	透水率/%	入流条件
1	0	5 月实测
2	2	表层水温 25.5℃
3	3	底层水温 9.7℃
4	5	水位 457.53 m
5	7	流量 628.00 m ³ /s
6	0	6 月实测
7	2	表层水温 27.0℃
8	3	底层水温 9.6℃
9	5	水位 465.98 m
10	7	流量 752.00 m ³ /s

图 3 为工况 1 坝前水域垂向流速矢量及温度分布云图(横坐标为水流流向水平距离,纵坐标为高程);图 4 为幕布上下游垂向水温分布(幕布上游测点位于引水口前 275 m 处,幕布下游测点位于引水口前 235 m 处)。综合图 3 和 4 对工况 1 进行分析可以看到,未设置幕布时坝前水温呈现稳定的分层结构,由于受到温度分层的抑制作用及坝前电站进水口拉动作用的影响,坝前水体为水平向的分层流动,同时在电站进水口附近形成流速较大的下泄主流带,水库表层及底层水体流速较小;采用不透水幕布后,表层水体自幕布上方流入幕布下侧区域,破坏了原有下泄主流带,使温度较高的表层水体在垂向

上扩散掺混,由于幕布所在断面过流面积减小而流速增大,形成了具有较高水温的下泄主流带,实现下泄水温的提高。但随着表层高温水掺混下泄,工况 1 幕布上游温跃层水温梯度减小,库区水温呈现整体降低的趋势。

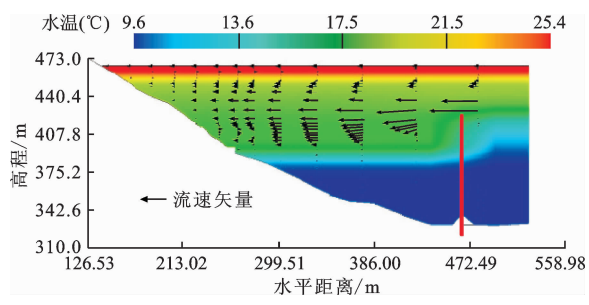


图 3 工况 1 坝前水域垂向流速矢量及温度分布云图

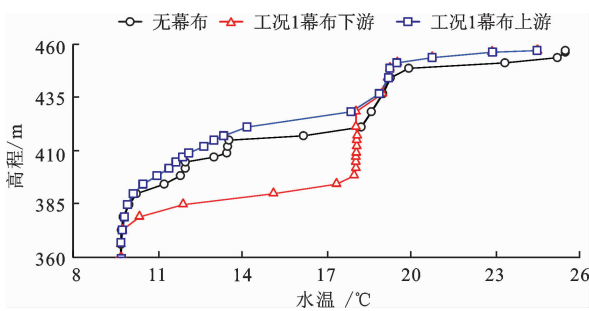


图 4 无幕布及工况 1 幕布上下游垂向水温分布

4.2 透水率对水温改善效果的影响

工况 2 的幕布上下游垂向水温分布如图 5 所示,下泄水温计算值为 18.14℃,较无幕布模型下泄水温提高 0.89℃,较工况 1 水温改善效果下降 0.57℃。

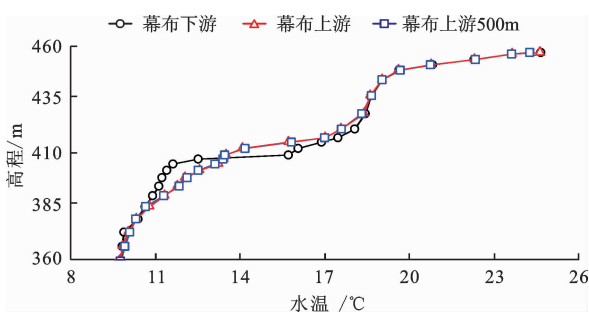
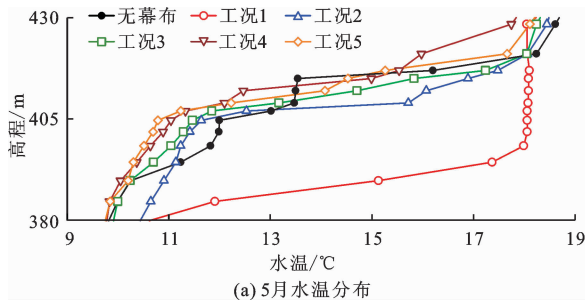


图 5 工况 2 幕布上下游垂向水温分布

由于幕布材料透水,下层的低温水透过幕布直接流入幕布下侧区域,自幕布上方流入的表层较高温度水体减少,减小了幕布对下泄主流带流速的削弱作用,不利于幕布下游至引水口间水体充分掺混,水体仍呈分层流动特性。通过对比幕布上游 15 m 与 500 m 处的垂向水温分布,可以看到幕布上游 500 m 处库区水温分布与幕布上游 15 m 处水温相

近(图5),当采用隔水幕布持续取用表层高温水时,底层低温水留滞于幕布上游库区,使库区水温整体均匀降低。

图6给出了典型年5、6月份水温分布下各工况幕布下游垂向水温分布情况。图6表明,除不透水的工况1、工况6外,透水工况水体均为分层流动特性,透水率较水温梯度对于流场影响更大,通过改变



流场进而影响温度改善效果。表2为各工况下泄水温及幕布总体受力数值计算结果,由表2可见,不透水隔水幕布改善水温效果最佳,6月份可提高2.31℃。随幕布透水率增大,幕布对下泄主流带的破坏效果逐渐减弱,水温改善效果下降。5月水温分布仅有工况1、2可以满足鱼类繁殖所需水温,幕布透水对水温改善效果影响较为明显。

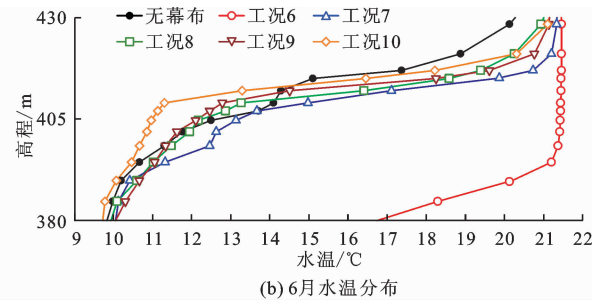


图6 典型年5、6月份各工况幕布下游垂向水温分布

表2 各工况下泄水温及幕布总体受力数值计算结果

工况	下泄水温/℃	改善效果/℃	幕布受力/t
1	18.62	+1.46	714
2	18.14	+0.89	95
3	17.79	+0.54	33
4	17.44	+0.19	24
5	17.35	+0.10	16
6	21.61	+2.31	1242
7	20.88	+1.58	293
8	20.52	+1.22	57
9	20.23	+0.93	40
10	19.63	+0.33	34

4.3 透水率对幕布总体受力的影响

提取幕布总体受力计算值如表2所示。对于透水率相同的工况,5月份幕布所受水平推力更小,这是由于5月下泄流量 $628.00\text{ m}^3/\text{s}$ 小于6月下泄流量 $752.00\text{ m}^3/\text{s}$ 。下泄流量相同时,透水幕布的水平推力远小于不透水幕布的水平推力,工况2幕布总体受力为95 t较工况1幕布受力降低86.7%,工况7较工况6幕布受力降低76.4%,透水率对幕布受力影响较为明显,但随着透水率增大,幕布受力降低效果减弱。综合各工况结果,在工程应用中建议优先选择不透水隔水幕布以保证改善下泄低温水的最佳效果,但由于应用于水库的幕布面积较大,隔水幕布所受总力较大,不透水幕布所受水平推力过大不利于施工下放及运行维护。因此应结合总体受力随透水率变化情况,充分考虑幕布材料布置方向对透

水率的影响,并考虑经济性等因素选择适当透水的幕布材料。

5 结 论

本文采用计算流体动力学软件建立了深水水库三维数值模拟模型,对透水率因素影响下的坝前水域流场、温度场等特性进行了系统分析,阐述了隔水幕布的水温改善效果,对比分析了幕布透水率对水温改善效果及幕布总体受力的影响,所得结论如下:

(1)隔水幕布有效地改善了下泄水温较低的情况。隔水幕布对水流流速及水温结构有较大影响,有效提高了因水温分层导致的低出库水温,具有推广应用价值。

(2)幕布透水率对水温改善效果影响较为明显。随着幕布透水率增大,水体仍为分层流动特性,水温改善效果下降。

(3)幕布透水率对幕布所受水平推力影响较大。透水幕布的水平推力远小于不透水幕布的水平推力,随着透水率增大,幕布受力降低效果减弱。根据本文研究结果,对于该工程建议控制幕布材料的平均透水率不超过2%以保证下游鱼类繁殖需求。在满足下泄水温需求的前提下,选择适当透水的幕布材料并充分考虑幕布材料布置方向对透水率的影响,降低幕布总体水平推力,有利于工程的施工运行维护及隔水幕布分层取水设施的应用推广。

参考文献:

[1] 张新华,李冰冻,魏文杰,等. 坝前区域3维水温数值模

- 拟研究[J]. 四川大学学报:工程科学版, 2016, 48(2): 14-20.
- [2] 王雅慧, 李兰, 卞俊杰. 水库水温模拟研究综述[J]. 环境影响评价, 2012, 34(3): 29-36.
- [3] 柳海涛, 孙双科, 王晓松, 等. 大型深水库分层取水水温模型试验研究[J]. 水力发电学报, 2012, 31(1): 129-134.
- [4] WANG Qinggai, ZHAO Xiaohong, Ding Feng, et al. Technology review system of water-temperature prediction for reservoir construction project [J]. Procedia Environmental Sciences, 2010, 2: 1979-1982.
- [5] 戴凌全, 戴会超, 王煜. 水库水温数学模型研究综述[J]. 三峡大学学报(自然科学版), 2010, 32(4): 6-10.
- [6] ÇALIŞKAN A, ELÇİ Ş. Effects of selective withdrawal on hydrodynamics of a stratified reservoir [J]. Water Resources Management, 2009, 23(7): 1257-1273.
- [7] 陈栋为, 陈国柱, 赵再兴, 等. 贵州光照水电站叠梁门分层取水效果监测[J]. 环境影响评价, 2016, 38(3): 45-48.
- [8] 王煜, 戴会超. 大型水库水温分层影响及防治措施[J]. 三峡大学学报(自然科学版), 2009, 31(6): 11-14+28.
- [9] POLITANO M, HAQUE M D, WEBER L J. A numerical study of the temperature dynamics at McNary Dam [J]. Ecological Modelling, 2008, 212(3-4): 408-421.
- [10] 李佩瑶. 隔水幕布治理水库下泄低温水的物理模型试验与数值模拟研究[D]. 天津: 天津大学, 2018.
- [11] 杜慧超. 三板溪水电站低温水治理隔水幕布方案研究[D]. 天津: 天津大学, 2016.
- [12] 李凯. 三峡水库近坝区三维流场温度场数值模拟[D]. 北京: 清华大学, 2005.
- [13] 练继建, 燕翔, 彭新民, 等. 一种浮挂结合式柔性挡水幕帘: 201510340771X[P]. 2016-12-07.
- [14] SHAMMA Y, ZHU D Z. Experimental study on selective withdrawal in a two-layer reservoir using a temperature-control Curtain [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2010, 136(4): 234-246.
- [15] 练继建, 杜慧超, 马超. 隔水幕布改善深水水库下泄低温水效果研究[J]. 水利学报, 2016, 47(7): 942-948.
- [16] 薛文豪, 邓云, 李嘉, 等. 大型水库帷幕水温分层取水效果研究[J]. 工程科学与技术, 2017, 49(S1): 27-34.
- [17] 盛传明, 练继建, 刘昉, 等. 深水水库下泄低温水治理挡水幕布受力研究[J]. 水利学报, 2016, 47(12): 1548-1557.
- [18] HE Wei, LIAN Jijian, YAO Ye, et al. Modeling the effect of temperature-control curtain on the thermal structure in a deep stratified reservoir [J]. Journal of Environmental Management, 2017, 202: 106-116.
- [19] 刘伟超. 土工织物管袋充填特性及计算理论研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2012.

(上接第139页)

- [12] MORALES - HERNÁNDEZ M, GARCÍA - NAVARRO P, BURGUETE J, et al. A conservative strategy to couple 1D and 2D models for shallow water flow simulation [J]. Computers and Fluids, 2013, 81(9): 26-44.
- [13] BLADÉE, GÓMEZ - VALENTÍN M, DOLZ J, et al. Integration of 1D and 2D finite volume schemes for computations of water flow in natural channels [J]. Advances in Water Resources, 2012, 42: 17-29.
- [14] 黄琳煜, 李迷, 聂秋月, 等. 基于 MIKE FLOOD 的暴雨积涝模型在川沙地区的应用[J]. 水资源与水工程学报, 2017, 28(3): 127-133.
- [15] 王扬, 黄本胜, 倪培桐, 等. 韩江南北堤防洪保护区溃坝洪水演进数值模拟研究[J]. 水资源与水工程学报, 2018, 29(5): 175-179+185.
- [16] Danish Hydraulic Institute (DHI). MIKE21: A modeling system for rivers and channels reference manual [M]. Denmark: DHI Water & Environment, 2007.
- [17] 陈景开, 袁鹏, 刘刚, 等. 桥梁工程跨堤布置与防洪影响研究[J]. 水电能源科学, 2013, 31(2): 70-73.
- [18] 中华人民共和国水利部. 洪水风险图编制导则: SL 483-2010 [S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2010.
- [19] 关于长江洪水调度方案的批复(国讯[2011]22号) [S]. 国家防汛抗旱总指挥部.
- [20] 王学斌, 张毅. 流线型宽顶堰的流量系数和淹没系数 [J]. 电网与清洁能源, 2012, 28(11): 82-84+89.
- [21] 吴持恭. 水力学(第2版) [M]. 北京: 高等教育出版社, 1998: 392-403.
- [22] 宋敬衡, 何鲜峰. 我国溃坝生命风险分析方法探讨[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2008, 36(5): 628-633.
- [23] 施国庆, 朱淮宁, 荀厚平, 等. 水库溃坝损失及其计算方法研究[J]. 灾害学, 1998, 13(4): 28-33.
- [24] 中华人民共和国水利部. 水库大坝安全管理应急预案编制导则: SL/Z 720-2015 [S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2015.
- [25] 何可, 张俊飏, 丰军辉. 基于条件价值评估法(CVM)的农业废弃物污染防控非市场价值研究[J]. 长江流域资源与环境, 2014, 23(2): 213-219.
- [26] 江西省水利规划设计院. 江西省鄱阳湖蓄滞洪区安全建设工程可行性研究报告[R]. 江西省水利厅, 2014.