

岷江汤坝航电枢纽工程对水环境的影响研究

魏琦¹ 李克锋¹ 赵朋晓² 张鹏¹ 王凯利³ 梁瑞峰¹ 郑宇杰⁴¹

(1. 四川大学 水力学与山区河流开发保护国家重点实验室, 四川 成都 610065;

2. 中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司, 浙江 杭州 310000;

3. 四川省环境工程评估中心, 四川 成都 610041;

4. 四川省遂宁市生态环境安全应急中心, 四川 遂宁 629000)

【摘要】: 为研究长江上游岷江航电的开发对水环境带来的影响, 选取岷江航电梯级水库中的第二级汤坝航电枢纽工程为研究对象。利用 2016 年的监测数据, 分析了现状年库区渠化河段来流负荷, 通过构造 MIKE21 水动力水质数学模型, 对汤坝建成前、汤坝建成后和Ⅲ类来水情况下渠化河段的水质变化进行了数值模拟, 分析了支流汇入后的污染带变化, 并计算了 3 种情景下的水环境容量。结果表明, 现状年库区渠化河段来流污染源负荷主要来源于岷江干流。汤坝建成后, 坝前 COD_{Cr} 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度均满足Ⅲ类水质标准, TP 浓度属劣 V 类; 在Ⅲ类来水情况下, 坝前 COD_{Cr} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度满足Ⅲ类水质标准, TP 浓度属 V 类。支流汇入渠化河段形成的污染带面积较天然状态下发生变化: 除镇江河和筒车河 $\text{NH}_3\text{-N}$ 不形成污染带以及太和河 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的污染带面积减小外, 其余支流水质因子污染带面积均较建设前增加。汤坝建成后, 坝址处 COD_{Cr} 的水环境容量减少 3280t/a, $\text{NH}_3\text{-N}$ 水环境容量减少 368t/a, TP 无剩余水环境容量; Ⅲ类来水情况下, COD_{Cr} 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的水环境容量相比建设前减少, TP 无剩余水环境容量。筒车河三类水质因子水环境容量增加, 而镇江河水环境容量减小, 建坝前后太和河均无剩余水环境容量。研究可为岷江航电污染源削减及应对措施的实施提供科学依据。

【关键词】: 长江上游 岷江航电 数值模拟 水质变化 水环境容量

【中图分类号】: TV597.55 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1004-8227(2021)05-1175-09

岷江是长江的上游支流, 既是长江上游重要的生态屏障, 同时也是成都平原的生态屏障和水源生命线, 具有显著的生态功能地位^[1]。汤坝航电枢纽工程是岷江干流(彭山江口至乐山岷江三桥段)航电梯级开发中的第二级, 该工程完工后, 将形成一条黄金水道, 有效推进四川经济建设, 是岷江中游航道的关键一环。已有研究表明, 梯级电站在提高水资源利用效益的同时, 可改变水流流态, 并且其开发带动的产业发展将导致污染负荷和水体污染物滞留比例的增加, 降低河流水环境容量^[2,3]。汤坝航电枢纽工程已开始先期建设, 工程的建立在发挥运能大、能耗低的功能时, 将直接导致上游成都平原至下游区域水文情势和水流流态的显著变化, 由此引起水体自净能力和水环境容量的变化, 以及水生生态改变, 甚至对该区域水生生态的完整性和稳定性带

作者简介: 魏琦(1996~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为环境与生态水力学. E-mail:wq512705601163.com

梁瑞峰, E-mail:liangruifengscu.edu.cn

基金项目: 云南省重点研发科技项目(2019BC002)

来显著影响。

目前，国内通常采用 EFDC、HEC-RAS、WASP、MIKE 等数学模型模拟河流变化规律^[4,5]。谢锐等^[6]以 EFDC 模型为基础，结合实测材料，模拟出长江口及邻近海域水位和水流速度。徐安娜^[7]以深圳石岩水库为研究对象，采用 WASP 水质模型，对水中氨氮等水质因子进行了模拟研究。刘晨辉等^[8]采用 MIKE21 模型，模拟污染物经排污口排入长江后的运动情况，进行排污对长江水质的影响研究。贾瑞鹏等^[4]应用 MIKE21 软件，建立万宝湖水动力和水质耦合模型，分析湖中各种污染物迁移化机制的影响。易雨君等^[9]基于 MIKE11 一维水环境模型，对渠道污染物的输移过程的浓度变化进行了模拟预测。王雪等^[10]通过 MIKE11 率定出河道糙率和水质降解系数，由此计算出不同工况下重要控制断面水质状况，并提出污染物总量控制方案。喻婷等^[11]利用 MIKE21，建立二维水动力和对流扩散模型，分析出举水中下游段主要污染物纳污能力。

总的来说，目前学者对长江上游支流水环境容量的研究以及对岷江航电工程的对水环境的影响分析较少，鲜少报道。本文采用 MIKE21 水动力水质数学模型对长江上游岷江干流的汤坝航电枢纽工程渠化河段进行水环境数值模拟，得到不同模拟情况下库区渠化河段内流场和 COD_{Cr} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP 浓度场，最后采用河流一维模型计算相应河段的水环境容量。通过本文的研究，为改善眉山市岷江河段水环境和上游成都平原的污染负荷削减提供科学依据。

1 研究区域

1.1 研究区域概况

岷江是长江上游左岸一级支流，发源于四川省与甘肃省交界的岷山南麓^[12]，是四川省重要的通航河流。岷江流域面积 13.5 万 km^2 ，干流全长 735km，天然落差 3560m，平均比降 4.84‰，于宜宾汇入长江，岷江汇口多年平均流量 $3022\text{m}^3/\text{s}$ ^[13]。岷江流至都江堰市进入成都平原，河流在此分为内、外江两大水系，内外江汇合于彭山江口镇，向南流进入丘陵区，江口以下至乐山。岷江干流彭山江口至乐山岷江三桥段利用 70m 落差，共开发七级电站，总装机容量 36.3 万 kW，年发电量 148403 万 $\text{kW}\cdot\text{h}$ 。本次研究范围主要为汤坝航电工程回水断面至坝址处约 10km 的岷江干流河段，以及区间主要支流，支流主要包括镇江河、太和河和筒车河(图 1)。



图 1 研究区域及水系图

1.2 水质现状

本研究于 2016 年丰水期(6 月)对渠化河段的初始断面、主要支流汇口断面和汤坝坝址断面进行了水质监测数据,监测断面包括:C₁(尖子山坝址断面,即汤坝入库断面)、C₂(镇江河入岷江上游 500m 断面)、C₃(太和河入岷江上游 500m)、C₄(筒车河入岷江上游 100m)、C₅(汤坝航电枢纽工程坝址)、C₆(蟆颐堰取水口)。由 2016 年的监测水质资料可知,COD_{cr}、NH₃-N、TP 是研究区岷江段的主要污染物,根据水污染确定控制因子的原则,本次研究确定 COD_{cr}、NH₃-N 和 TP 作为研究区域水环境容量计算的主要控制因子。

2 材料与方法

坝址上游航道工程水流较浅,属于宽浅型河道,利用平面二维水动力-水质模型可以较好的反映航道工程的水动力水质变化^[14]。同时,由于污染物在水中经历稀释、降解等多种物理化学变化,渠化河段有取水口和支流的汇入,利用平面 MIKE21 水动力水质数学模型来模拟坝上渠化河段水动力和水质过程的时空变化特征是有必要的。而支流水流流速较小,水流情况比较简单,断面水质混合均匀^[15]。因此,采用纵向一维水动力水质模型即可模拟出相应河段水质情况。

2.1 纵向一维水动力-水质方程

水动力模型:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) - q \frac{Q}{A} = -g \left(A \frac{\partial Z}{\partial x} + \frac{n^2 Q |Q|}{Ah^{4/3}} \right) \quad (2)$$

式中:Q 为断面流量, m³/s;q 为单位河长的旁侧入流, m²/s;A 为断面面积, m²;Z 为断面水位, m;n 为糙率, 量纲为 1;h 为断面水深, m;g 为重力加速度, m/s²;x 为笛卡尔坐标系 X 向的坐标, m。

水质模型方程为:

$$\frac{\partial (AC)}{\partial t} + \frac{\partial (QC)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(AE_s \frac{\partial C}{\partial x} \right) + Af(C) + qC_L \quad (3)$$

式中:E_s为污染物纵向扩散系数, m²/s;C_L为旁侧出入流(源汇项)污染物浓度, mg/L。

2.2 平面二维水动力-水质数学模型

2.2.1 水动力方程

水动力模型是基于二维不可压缩 NavierStokes 方程的求解, 该方程受静水压力的假设, 以及 Boussinesq 方程的求解。x 和 y 分量的连续性方程和两个水平动量方程如下:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial h \bar{v}}{\partial y} = hS \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial h \bar{u}}{\partial t} + \frac{\partial h \bar{u}^2}{\partial x} + \frac{\partial h \bar{v} \bar{u}}{\partial y} &= f \bar{v} h - gh \frac{\partial \eta}{\partial x} - \\ \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial s_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{xy}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} (h T_{xx}) + \\ \frac{\partial}{\partial y} (h T_{xy}) + h u_s S - \frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial x} + \frac{\tau_{sx}}{\rho_0} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial h \bar{v}}{\partial t} + \frac{\partial h \bar{v} \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial h \bar{v}^2}{\partial y} &= -f \bar{u} h - gh \frac{\partial \eta}{\partial y} - \\ \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} (h T_{yx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h T_{yy}) + h v_s S \end{aligned} \quad (6)$$

$$h \bar{u} = \int_{-d}^{\eta} u dz, h \bar{v} = \int_{-d}^{\eta} v dz \quad (7)$$

式中: t 为时间, $s; x, y$ 为笛卡尔坐标, m ; η 为水面高程, m ; d 为静水深度; h 为总水深, m , 表示为 $h = \eta + d$; u 和 v 分别为 x 和 y 方向的流速分量, m/s ; $\bar{u}$ 和 $\bar{v}$ 分别为 x 和 y 方向的深度平均流速, m/s ; f 为科里奥利参数; g 为重力加速度, 等于 $9.81 m/s^2$; ρ 为水的密度, kg/m^3 ; S_{xx} 、 S_{xy} 、 S_{yx} 和 S_{yy} 为辐射应力张量的分量; p_a 为大气压力, N/m^2 ; ρ_0 为水的参考密度, kg/m^3 ; S 为点源排放量; u_s , v_s 为水排入环境水中的流速, m/s ; 横向应力的 T_{xx} 、 T_{xy} 、 T_{yx} 和 T_{yy} 侧向应力分量, 包括粘性摩擦、湍流摩擦和微分平流; τ_{bx} 和底部应力的 x 和 y 分量, N/m^2 ; τ_{sx} 和 τ_{sy} 分别为表面风应力的 x 和 y 分量, 可表示如下:

$$\bar{\tau}_s = \rho_a c_d |u_w| \bar{u}_w \quad (8)$$

式中: ρ_a 为空气密度; $\bar{u}_w = (u_w, v_w)$ 为海面以上 10m 处的风速; c_d 为阻力系数^[16~18]。

2.2.2 水质方程

深度平均的二维水质输移方程如下:

$$\frac{\partial h \bar{C}}{\partial t} + \frac{\partial h \bar{u} \bar{C}}{\partial x} + \frac{\partial h \bar{v} \bar{C}}{\partial y} = h F_c - h k_p \bar{C} + h C_s S \quad (9)$$

式中: C 为污染物浓度, mg/L ; k_p 为污染物线性衰减率, $1/s$; C_s 为污染源浓度; F_c 为水平扩散项, 定义为:

$$F_c = \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(D_h \frac{\partial \bar{C}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_h \frac{\partial \bar{C}}{\partial y} \right) \right] \quad (10)$$

式中: D_h 为水平扩散系数, m^2/s , $D_h = A / \sigma_T$, 其中 σ_T 为常数普朗特数。在这里, D_h 是由标度涡流粘度公式^[19,20]确定。

2.3 水环境容量计算模型

预测河段天然状况下的水环境容量采用一维对流扩散方程进行计算, 在忽略离散作用时, 描述河流污染物一维稳态衰减规律的微分方程为:

$$u \frac{dc}{dx} = -Kc \quad (11)$$

将 $u = \frac{dx}{dt}$ 代入, 得到

$$\frac{dc}{dt} = -Kc \quad (12)$$

积分解得

$$C_x = C_0 \cdot e^{-Kc/u} \quad (13)$$

式中: u 为河流断面平均流速, m/s ; K 为综合降解系数, $1/s$; C_x 为流经 x 距离后的污染物浓度, mg/L ; C_0 为初始断面污染物浓度, mg/L 。

相应的水环境容量计算公式为

$$M = (C_s - C_x) (Q + Q_p) \quad (14)$$

式中: M 为水环境容量, g/s ; C_s 为水质目标浓度值, mg/L ; C_x 为流经 x 距离后的污染物浓度, mg/L ; Q 为初始断面入流流量, m^3/s ; Q_p 为废污水排放量, m^3/s 。

渠化河段的建设将导致河流水体流速明显减缓, 渠化河段水体由河道急流型转变为缓流型, 会对该河段的水体纳污能力产生影响。

建库后渠化河段水环境容量计算公式为:

$$M = 31.54 \times [(C_s - C_0) Q + K(C_s - C_0) V / 86400] \quad (15)$$

式中: M 为水环境容量, t/a ; C_s 为水质目标浓度值, mg/L ; C_0 为初始断面污染物浓度, mg/L ; Q 为初始断面入流流量, m^3/s ; V 为涉及水文条件下的库容积, m^3 。 K 为综合降解系数, $1/d$ 。

2.4 模拟情景设置

2.4.1 水质目标和背景浓度

根据《全国重要江河湖泊水功能区划》(2012 年)要求, 研究区域执行《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) III 类水质标准限值, 汤坝坝址断面采用现状年丰水期监测成果作为背景浓度。

2.4.2 设计流量

本研究分别沿用实测平水年丰水期的入库断面流量和坝址流量分别作为支流和干流的设计流量, 支流的入库断面位于主库和支库的回水末端。

2.4.3 参数选取

本次研究采用分析借用法和类比法^[21], 参考类似河道水动力水质模拟参数取值范围, 参考所在地区同类研究项目, 结合研究河段环境、温度等情况, 类比分析确定本研究 COD_{Cr} 的综合降解系数为 $0.07d^{-1}$, NH_3-N 的综合降解系数为 $0.031d^{-1}$, TP 的综合降解系数为 $0.0018d^{-1}$ 。

2.4.4 情景设置

采用 MIKE21 水动力水质数学模型对坝址上游渠化河段流场和水质情况进行模拟, 采用纵向一维数学模型对坝址下游渠化河段水质情况进行模拟。为了研究在不同来水条件下汤坝航电枢纽工程建成后对岷江干流眉山段水环境容量的影响, 从而设置以下情景。

3 结果与讨论

3.1 来流污染负荷分析

本文对现状年研究区域的点源污染和面源污染源进行调查统计。汤坝渠化河段点污染源主要来源于崇礼镇、富牛镇场镇、太和场镇污水处理厂集中排放污水和各乡镇已建成企业排放工业废水。在渠化河段涉及的 5 个城镇中, 农村主要综合污水均为无组织排放, 本文将此类农村散排生活污水作为面源处理。由于研究区域集约化程度很低, 且现阶段未收集到库周集约化养殖场的相关信息, 本文未区分规模化养殖及散养, 将畜禽养殖产生的污染负荷均作为面源处理。因此, 研究区域面源污染主要来自于农村散排生活污水、畜禽养殖及农田径流三方面。由于河段两侧防洪堤的修建, 对两岸面源的汇入基本形成了阻隔, 汤坝渠化河段面源主要通过筒车河、太和河、镇江河等支沟排入岷江干流。

按照污染物入河量和来流污染物负荷计算方法, 得到研究区域渠化河段 2016 年污染物 COD_{Cr} 、 NH_3-N 、 TP 的来流污染负荷。由于岷江干流的流量远大于区间支流, 因此来流污染负荷主要来源于岷江干流。其中, COD_{Cr} 、 NH_3-N 、 TP 的干流负荷比例占总负荷比例分别为 95.34%、95.71%、89.65%、97.41%、97.88%。

3.2 水动力模拟结果

由于渠化河段的修建，渠化河段水位抬高，河段水流流速减缓。由图 2 可以看出，在预测年丰水期，来流量较大，渠化河段尾部流速接近 0.54m/s。水流进入弯道后，流速减小至 0.15~0.25m/s 之间。出弯道后水流流速增加，达到 0.27~0.34m/s。进入坝前，水流流速在 0.16m/s 左右。

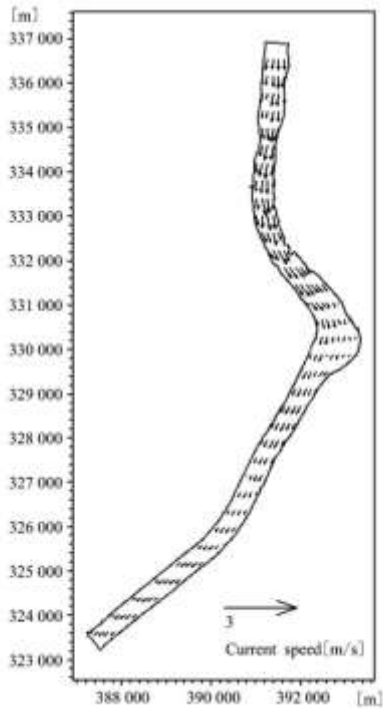


图 2 汤坝渠化河段丰水期流场分布

3.3 水质模拟结果

3.3.1 情景一

情景一汤坝渠化河段 COD_{cr}、NH₃-N 和 TP 分布规律见图 3。由于来流量较大，渠化河段流速增大，水质停留时间较小，COD_{cr}、NH₃-N 和 TP 在渠化河段降解较小，渠化河段水质浓度变化不大。支流镇江河和太和河的汇入对干流 COD_{cr} 有一定影响，支流镇江河、筒车河以及太和河的汇入对干流 NH₃-N 有一定影响，其中筒车河的汇入对干流局部区域的 NH₃-N 浓度有稀释作用。COD_{cr} 和 NH₃-N 浓度在全渠化河段达到 III 类水质标准，以河流水环境质量标准评价，渠化河段局部 TP 浓度属 IV 类，以湖库水环境质量标准评价，库区 TP 浓度属劣 V 类。

3.3.2 情景二

情景二汤坝渠化河段 COD_{cr}、NH₃-N 和 TP 分布规律见图 4，COD_{cr}、NH₃-N 和 TP 在渠化河段降解较小，渠化河段水质浓度变化不大。支流镇江河和太和河的汇入对干流 COD_{cr} 有一定的影响，从镇江河汇口沿岸向下形成污染带。支流镇江河以及太和河的汇入对干流 NH₃-N 有一定影响，从镇江河汇口沿岸向下长形成污染带，一直延伸到坝前。COD_{cr} 和 NH₃-N 浓度在全渠化河段满足 III 类水质标准，以河流水环境质量标准评价，渠化河段局部 TP 浓度属 IV 类，以湖库水环境质量标准评价，库区 TP 浓度属劣 V 类。

3.3.3 情景三

情景三汤坝渠化河段 COD_{Cr} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 TP 分布规律见图 5, COD_{Cr} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 TP 在渠化河段降解较小, 渠化河段水质浓度变化不大。支流镇江河和太和河的汇入对干流 COD_{Cr} 有一定的影响, 在镇江河和太和河的共同作用下沿岸形成污染带。支流镇江河以及太和河的汇入对干流 $\text{NH}_3\text{-N}$ 有一定影响, 在镇江河和太和河的共同作用下沿岸形成长污染带。渠化河段 COD_{Cr} 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度满足 III 类水质标准, 以河流水环境质量标准评价, 渠化河段局部 TP 浓度满足 III 类水质标准, 以湖库水环境质量标准评价, 库区 TP 浓度属 V 类。

3.4 污染带变化

汤坝建设后, 支流河段水位抬高, 水流变缓, 相比建设前, 支流汇入后干流河段污染带面积发生变化。工程建设前后, 镇江河、太和河和筒车河在丰水期的 COD_{Cr} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP 的污染带变化。

3.5 水环境容量计算结果

根据相关数据和公式 (13、14), 计算得到 3 种情景下汤坝航电枢纽坝址处和支流汇口处水环境容量的变化, 其中负值表示已无剩余水环境容量。

情景一汤坝建设前, COD_{Cr} 水环境容量为 205186t/a, $\text{NH}_3\text{-N}$ 水环境容量为 24042t/a, TP 水环境容量为-5718t/a。情景二汤坝建设后, COD_{Cr} 减少水环境容量 3280t/a, $\text{NH}_3\text{-N}$ 减少水环境容量 368t/a, TP 水环境容量为-2818t/a。情景三渠化河段尾部 III 类来水情况下, COD_{Cr} 水环境容量为 30944t/a, $\text{NH}_3\text{-N}$ 水环境容量为 465t/a, TP 水环境容量为 5158t/a。

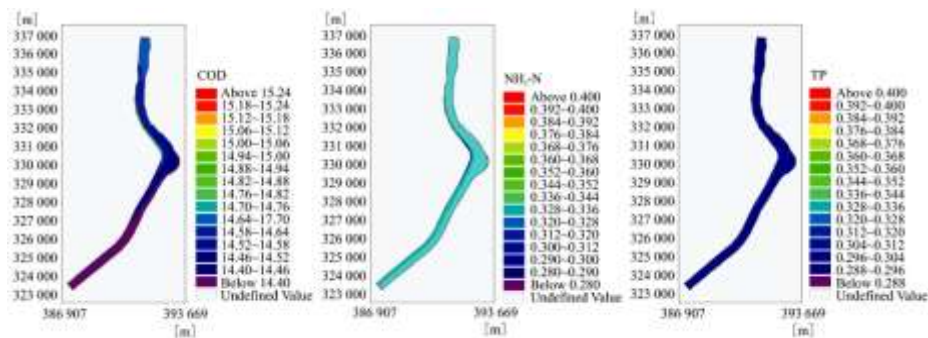


图 3 情景一渠化河段 COD_{Cr} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP 分布

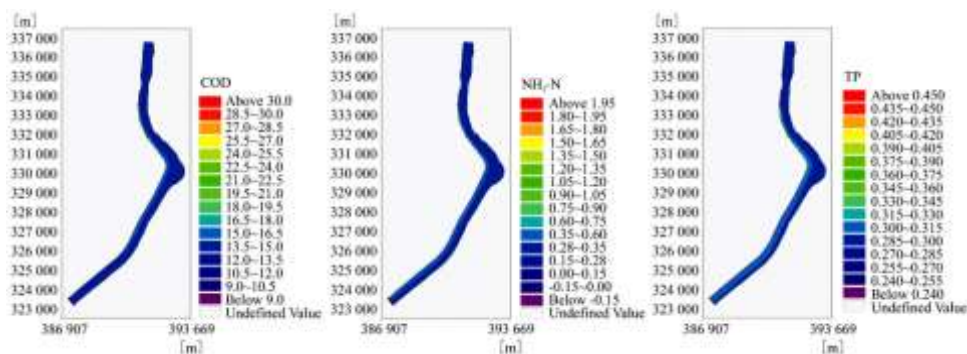


图 4 情景二渠化河段 COD_{Cr} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP 分布

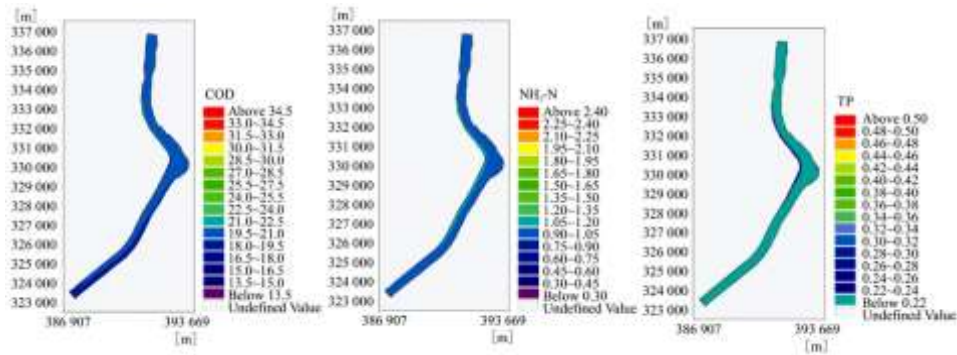


图 5 情景三渠化河段 COD_{cr}、NH₃-N、TP 分布

情景一，镇江河 COD_{cr} 水环境容量为 5537.11t/a, NH₃-N 水环境容量为 116.43t/a, TP 水环境容量为 192.36t/a; 太和河 COD_{cr} 水环境容量为-10.69t/a, NH₃-N 水环境容量为-1.30t/a, TP 水环境容量为-1.24t/a; 简车河 COD_{cr} 水环境容量为 554.81t/a, NH₃-N 水环境容量为 40.90t/a, TP 水环境容量为-7.32t/a。

情景二，镇江河 COD_{cr} 水环境容量为 2674.031t/a, NH₃-N 水环境容量为 34.78t/a, TP 水环境容量为 34.81t/a; 太和河 COD_{cr} 水环境容量为-1.29t/a, NH₃-N 水环境容量为-0.90t/a, TP 水环境容量为-1.24t/a; 简车河 COD_{cr} 水环境容量为 658.01t/a, NH₃-N 水环境容量为 43.14t/a, TP 水环境容量为-7.23t/a。

汤坝航电枢纽工程建成后，由于丰水期流速较大，渠化河段沿程降解较小，但造成水质浓度上升，相应的水环境容量减小。汤坝航电枢纽工程上游河段流经成都平原，由于成都平原内人口密集，工农业发达，造成汤坝航电枢纽所在河段的来流水质较差。由于干流流量大于支流，因此主要通过削减上游成都平原水质浓度来改善渠化河段水质。建议在相关河段对水葫芦等植物和河床底部淤泥进行物理清除，降低水中浮游植物对 TP 的富集作用，同时进行芦苇等水生植物的种植，以增强对 NH₃-N 吸收处理。另外，还应加强渠化河段污水处理厂的处理程度，杜绝污染物排放对水质的影响。

4 结论

(1) 渠化河段点源以城镇生活污水和工业废水为主，面源以农村散排生活污水、畜禽养殖和农田径流为主，均排入附近的支流，再汇入渠化河段。由于岷江干流的流量远大于区间支流，来流污染负荷主要来源于岷江干流，其中，COD_{cr}、NH₃-N、TP 的干流负荷比例占总负荷比例分别为 95.34%、89.65%、97.41%。

(2) COD_{cr}、NH₃-N 和 TP 在渠化河段降解较小，渠化河段水质浓度变化不大。但由于来流水质较差，工程建设后，对水中 COD_{cr}、NH₃-N 和 TP 浓度影响较小。坝前 COD_{cr} 和 NH₃-N 浓度满足 III 类水质标准，TP 浓度均属劣 V 类。在 III 类来水情况下，渠化河段 COD_{cr}、NH₃-N 和 TP 浓度满足 III 类水质标准；坝前以湖库水环境质量标准评价，库区 TP 浓度属 V 类。对比预测计算结果，汤坝渠化河段水质主要受控于来流水质。

(3) 工程建设后，支流汇入渠化河段形成的污染带面积较天然状态下发生变化。镇江河和简车河 NH₃-N 的水质比干流水质好，汇入干流后不形成污染带。除太和河 NH₃-N 的污染带面积减小外，其余支流水质因子污染带面积均较建设前增加。

(4) 工程建设后，坝址处 COD_{cr} 的水环境容量减少 3280t/a, NH₃-N 水环境容量减少 368t/a, TP 浓度升高，同建设前一样，无剩余水环境容量。III 类来水情况下，COD_{cr} 和 NH₃-N 的水环境容量相比建设前减少，TP 无剩余水环境容量。简车河 3 类水质因子水环境容量增加，而镇江河水环境容量减小，建设前后太和河 3 类水质因子均无剩余水环境容量。

参考文献:

- [1]夏威夷,李玲,雷孝章.1990-2014 年岷江上游流域景观格局变化及驱动力分析[J].中国农村水利水电,2019(11):119-124,128.
- [2]庞增铨,廖国华,吴正提,等.论贵州喀斯特地区河流梯级开发的水环境变异[J].贵州环保科技,1999,5(4):13-17.
- [3]麻泽龙,程根伟.河流梯级开发对生态环境影响的研究进展[J].水科学进展,2006,17(5):748-753.
- [4]贾瑞鹏,窦明,米庆彬,等.基于 MIKE21 的万宝湖二维水环境数值模拟[J].环境污染与防治,2018,40(5):527-532.
- [5]蒋正兴.HEC-RAS 在中小河流治理中的应用[J].中国水运(下半月),2018,18(8):140-141,168.
- [6]谢锐,吴德安,严以新,等.EFDC 模型在长江口及相邻海域三维水流模拟中的开发应用[J].水动力学研究与进展 A 辑,2010,25(2):165-174.
- [7]徐安娜.WASP 模型及其在水库水质模拟研究中的应用[D].北京:华北电力大学,2014.
- [8]刘晨辉,刘思颀,李丹,等.基于 MIKE21 模型的长江中环排污口水质影响分析[J].中国农村水利水电,2020(1):72-76,82.
- [9]易雨君,唐彩红,张尚弘.南水北调中线工程典型渠段一维水动力水质模拟与预测[J].水利水电技术,2019,50(2):14-20.
- [10]王雪,逢勇,谢蓉蓉,等.基于控制断面水质达标的秃尾河流域总量控制[J].北京工业大学学报,2015,41(1):123-130.
- [11]喻婷,陈晓群,苗滕.举水干流水功能区纳污能力计算研究[J].节水灌溉,2019(9):62-66+73.
- [12]翟红娟,王孟,李斐.新时期岷江流域水资源保护体系研究[J].长江技术经济,2019,3(2):76-80.
- [13]郭卫,徐高洪,沈杰,等.岷江流域径流变化趋势及水文情势变异研究[J].人民长江,2018,49(22):64-68.
- [14]韩龙喜,朱党生,姚琪.宽浅型河道纳污能力计算方法[J].河海大学学报(自然科学版),2001,29(4):72-75.
- [15]生态环境部.中华人民共和国环保行业标准:环境影响评价技术导则地表水环境 HJ 2.3-2018[J].北京:中国环境科学出版社,2018.
- [16]WU J.Wind-stress coefficients over sea surface from breeze to hurricane[J].Journal of Geophysical Research: Oceans,1982,87(12):9704-9706.
- [17]WU J.The sea surface is aerodynamically rough even under light winds[J].Boundary-layer Meteorology,1994,69(1,2):149-158.
- [18]JIN W.Wind-stress Coefficients over sea surface and near neutral conditions:A revisit[J].Journal of Physical Oceanography,1980,10(5):727-740.

[19]Danish Hydraulic Institute (DHI).MIKE 21 User and Reference Manuals[M].DHI:Copenhagen, Denmark, 2014.

[20]Danish Hydraulic Institute (DHI).MIKE 21 Flow Model FMTransport Module User Guide[M].DHI:Copenhagen, Denmark, 2014.

[21]中国环境规划院. 全国水环境容量核定技术指南[R]. 2003.