

# Water Quality Simulation Analysis and Scheduling Scheme of Huarong River

Zhaohui Xiang<sup>1\*</sup>, Huihuang Luo<sup>2</sup>, Xianglong Yang<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dongting Lake Hydraulic Engineering Authority, Changsha Hunan

<sup>2</sup>China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing

Email: \*630210335@qq.com

Received: Jun. 26<sup>th</sup>, 2018; accepted: Jul. 8<sup>th</sup>, 2018; published: Jul. 18<sup>th</sup>, 2018

## Abstract

According to the literature data and water environmental monitoring data, the present conditions of water environment such as pollution sources and water environment quality in the Huarong River are analyzed. According to the different operation modes of the Tiaoxian sluice and Liumen sluice and the different operation water levels of the Huarong River, different scenarios are simulated numerically using one-dimensional water quality model. The water environment quality at the Huarong county section is analyzed and the impact of Tiaoxiankou diversion gate on water environmental quality is evaluated. Because of the poor environmental quality, it takes 300 hours (or 12.5 days) for the Huarong county to reach the water quality of the Yangtze river when the water level is low. As the water level of the Yangtze River is declining and the intake condition of the tuning inlet is unfavorable, the sustainability of the environmental protection needs to be further studied.

## Keywords

Water Quality, Simulation Analysis, Diversion Scheduling, Huarong River

# 华容河水质模拟分析与调度方案研究

向朝晖<sup>1\*</sup>, 骆辉煌<sup>2</sup>, 杨湘隆<sup>1</sup>

<sup>1</sup>湖南省洞庭湖水利工程管理局, 湖南 长沙

<sup>2</sup>中国水利水电科学研究院, 北京

Email: \*630210335@qq.com

收稿日期: 2018年6月26日; 录用日期: 2018年7月8日; 发布日期: 2018年7月18日

作者简介: 向朝晖, 高级工程师, 研究方向: 洞庭湖水利规划研究。

\*通讯作者。

文章引用: 向朝晖, 骆辉煌, 杨湘隆. 华容河水质模拟分析与调度方案研究[J]. 水资源研究, 2018, 7(4): 388-397.

DOI: 10.12677/jwrr.2018.74043

## 摘要

根据文献数据及水环境监测数据,分析了华容河的污染源、水环境质量等水环境现状条件。采用一维水质数学模型,根据华容河调弦闸和六门闸的不同调度运行方式及华容河不同的运行水位,设定不同的数值模拟情景。分析了华容县城断面的水环境质量变化情况,以及调弦口闸引水对华容县城水环境质量的影响。由于华容河水环境质量较差,对于蓄水较低的26.06 m水位引水200 m<sup>3</sup>/s时,华容县城水质全断面达到长江水质需要300小时(12.5天)。由于长江水位在不断下降和调弦口进水条件不利,华容河水环境保护的可持续性还有待深入研究。

## 关键词

水质, 模拟分析, 引水调度, 华容河

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

华容河地处长江中游南岸,流经湖北石首市和湖南省华容县、岳阳市君山区,流域面积 1679.8 km<sup>2</sup>,其中湖北 531 km<sup>2</sup>,湖南华容县 820 km<sup>2</sup>,君山区 308.8 km<sup>2</sup>。华容河流域是长江-洞庭湖间平原河网区的一部分,自调弦口在湖北石首市沿桃花山西麓蜿蜒南行 12 km 进入湖南省华容县境内,再南行 18 km 后,在华容县城以下分为南、北两支,北支为主流,长 23.7 km,南支长 24.9 km,两支在罐头尖汇合,经君山区钱粮湖农场于六门闸注入东洞庭湖[1]。按北支支流计算,全长 60.78 km,其中湖北石首市 12 km,华容县 35.5 km,君山区钱粮湖农场 13.28 km。华容河 1935 年最大分流 1970 m<sup>3</sup>/s,1954 年最大流量 1440 m<sup>3</sup>/s,1953~1958 年多年平均流量 335 m<sup>3</sup>/s [1]。封堵前长江泥沙大量淤积,分水量相对于长江已不足 2.5%;封堵后,华容河历年最高洪水水位 35.85 m (1998 年 7 月 29 日,六门闸内,冻结吴淞高程),多年平均枯水位 26.5 m。

调弦口原系荆江分流入洞庭湖的四口之一,长江的水沙经调弦口进入华容河到东洞庭湖。1958 年,经湖南、湖北两省协议并报中央批准,在调弦口封堵建调弦口闸,在出口旗杆咀建六门闸与江湖分隔,从此华容河成为一条上下被控制的内河[2]。其中调弦口闸设计引水流量 44 m<sup>3</sup>/s,六门闸设计泄流能力为 200 m<sup>3</sup>/s。并且,根据长江中游防洪要求,当长江监利水位达 36.57 m (冻结吴淞高程)时,调弦口需扒口由华容河向洞庭湖分洪,分洪流量为 1440 m<sup>3</sup>/s。

华容河两岸包括湖北省石首市和湖南省华容县、君山区,人口密集,经济发展较快,区域内地势平坦,土地肥沃,气候温和,雨量充沛,适宜粮、棉、油类等农作物生长,现有人口 39.54 万人,粮食产量 24.56 万 t,2016 年工农业总产值超过 100 亿元。

2015 年以前,华容河沿河约 14 万人长期以华容河水作为生活饮用水源,日取水量约 4 万吨。由于华容河上游调弦口闸外至闸内茄务港段河床淤积严重,且长江水位远低于闸地板,下游出口六门闸外湖泊水位更低,造成先年 9 月至次年 4 月华容河缺少水源补充,只有河槽内的少量蓄水和两岸汇入的污废水,而居民只能饮用华容河水,秋冬季节包括酒店宾馆在内的自来水均有腥臭气味。冬春季节多在调弦口临时取水[3] (图 1)。

2010 年,华容县水利部门开始华容河综合治理,历时多年,规划自调弦口建泵站取长江水入河或者用管道输送 30 km 左右到华容县城,均因要经过上游湖北地段没有实现。后在“三峡后续工作长江中下游城镇供水及农业灌溉影响处理”中,在长江华容段兴建水厂,输水近 60 km 才在 2016 年起解决了华容县主要人口的饮水问题[4]。但是,由于两岸汇入大量以农业面污染为主的污废水,在上下游来水无法补给的情况下,每年均存在水质恶化的

风险，特别是环保责任日趋重大的动因下，如何通过引水以保证华容河灌溉及水质水环境，值得分析研究。

## 2. 华容河水环境现状

### 2.1. 污染源

据调查，影响华容河水质的主要点污染源是分布在两岸的工业废水和生活污水，其中主要工业污染源见表 1。

### 2.2. 水环境质量状况

#### 2.2.1. 水环境监测资料情况

华容河有 2 个常规监测断面，即石山矶和李家湖断面。调查收集了 2 个监测断面 2007 年和 2008 年丰水期和枯水期水质监测资料。根据监测资料分析，石山矶断面丰水期的高锰酸盐指数、化学需氧量、氨氮超标，其它监测项目符合《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) II 类水质要求；枯水期除化学需氧量出现超标外，其它监测项目符合《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) II 类水质要求。李家湖断面丰水期的高锰酸盐指数、化学需氧量出现超标，其它监测项目符合《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) III 类水质要求；枯水期除化学需氧量出现超标外，其它项目符合《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) III 类水质要求。

2008 年，华容河的焦山河乡、万庾镇、三封寺镇、治河渡、六门闸下游 500 m 布置 5 个监测断面，在长江



Figure 1. The diversion of water from the Yangtze River to the Huarong River in March 2017

图 1. 2017 年 3 月自长江引水进入华容河调弦口

Table 1. Survey of the main pollution sources in the Huarong River

表 1. 华容河主要污染源调查统计表

分类	废水排放量(t/a)	化学需氧量(t/a)
卫生纸厂	11,550	1.053
纺织品	269,059	40.85
油脂类	220,981.8	33.65
食品类	7980.24	22.4
酒类	158,132	281.57
化工类	501,960	60.09
医院	5,885,000	1165
医院	74,446	4.2
农资	30,960	1.74
农资	7980.24	22.4

调弦口闸上游 500 m 布置 1 个监测断面进行了监测。长江干流调弦口监测点高锰酸盐指数、氨氮、总氮超《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) II 类标准, 超标倍数分别为 0.08 倍、0.4 倍 1.88 倍; 华容河焦山河乡监测点为 V 类水, 总氮超 III 类标准, 超标倍数为 0.98 倍; 华容河三封寺镇监测点为 V 类水, 总氮、粪大肠菌群超 III 类标准, 超标倍数分别为 0.46 倍和 1.4 倍; 华容河治河渡监测点为劣 V 类水, 高锰酸盐指数、氨氮、总氮、总磷、粪大肠菌群、石油类超 III 类标准, 超标倍数分别为 0.18 倍、0.94 倍、1.18 倍、0.31 倍、0.6 倍和 5.6 倍; 华容河六门闸下游 100 m 监测点为 IV 类水, 总氮超 III 类标准, 超标倍数为 0.44; 位于华容县第二自来水厂取水口上游的万庾镇监测点为 III 类水, 氨氮、总氮超 II 类标准, 超标倍数分别为 0.16 倍和 0.86 倍。华容河 5 个监测点水质均出现超标[5]。

根据华容河石山矶断面(水厂取水口上游约 500 m) 2009 年丰水期和枯水期监测资料, 丰水期(6 月)化学需氧量和氨氮超 II 类标准, 超标倍数分别为 0.27 倍和 0.98 倍; 枯水期(1 月)化学需氧量、生化需氧量和氨氮超 II 类标准, 超标倍数分别为 0.67 倍、0.2 倍和 0.37 倍。

### 2.2.2. 底泥

在华容河调关镇、万庾镇、三封寺镇、采桑湖镇布置 4 个采样点。华容河的底泥各项监测指标小于《农用污泥中污染物控制标准》(GB4284-84)标准值。

### 2.2.3. 水环境现状监测资料

2017 年 5 月, 对华容河 8 个断面进行了水质监测取样。8 个取样点的水质类别为 IV 类~劣 V 类, 其中, 砷、汞、六价铬、铜、锌、铅、镉、氟化物、石油类以及五日生化需氧量为 I 类或 II 类; 氨氮除湘沟为 II 类, 其余均为 IV 类~劣 V 类; 高锰酸盐指数除君山农业为 II 类, 其余均为 III 类; 总磷除丁家潭、华容河口以及麻里泗为 II 类或 III 类, 其余均为 IV 类或 V 类, 详见表 2。

## 3. 调弦口引水对水质的模拟分析

### 3.1. 模型原理

水质模拟以水流为基础上进行水质输移扩散模拟。水流运动以圣维南方程建立河道一维非恒定流数学模型:

$$\begin{cases} \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \\ \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \left( \alpha \frac{Q^2}{A} \right)}{\partial x} + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C^2 AR} = 0 \\ h(x)|_{\zeta} = h_1 \\ Q(x)|_{\zeta} = q_1 \\ h(t), Q(t)|_{t=0} = h_0, Q_0 \end{cases} \quad (1)$$

式中:  $Q$  为流量( $m^3/s$ );  $A$  为断面面积( $m^2$ );  $q$  为源汇项( $m^3/s$ );  $\alpha$  为流速垂向分布修正系数;  $h$  为水位( $m$ );  $C$  为谢才系数;  $R$  为水力半径( $m$ );  $g$  为重力加速度( $m/s^2$ );  $h_1$ 、 $q_1$  分别为边界水位( $m$ )和流量( $m^3/s$ );  $h_0$ 、 $q_0$  分别为初始水位( $m$ )和流量( $m^3/s$ );  $\zeta$  为边界。

谢才系数  $C$  与过水断面形状、壁面粗糙度以及雷诺数等因素有关, 常用曼宁公式来表示:

$$C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}} \quad (2)$$

式中:  $n$  为糙率, 是度量壁面粗糙对水流影响的无量纲系数。一般来说, 糙率  $n$  是需要率定的模型参数, 华容河缺少实测资料, 经验采用 0.033。

**Table 2.** Water quality of the Huarong River  
**表 2.** 华容河水质情况表

站名	分类	丁家潭	华容河口	君山农业	湘沟	南堤拐	麻里泗	学惠	轱头湾
氨氮	实测	1.464	1.437	1.207	0.363	1.553	1.642	2.782	1.235
	实达类别	IV	IV	IV	II	V	V	劣 V	IV
砷	实测	0.0026	0.0016	0.0015	0.0004	0.0023	0.0019	0.0022	0.0011
	实达类别	I	I	I	I	I	I	I	I
汞	实测	0.00002	0.00001	<0.00001	0.00001	0.00002	0.00003	0.00001	0.00004
	实达类别	I	I	I	I	I	I	I	I
六价铬	实测	0.004	<0.004	0.006	0.011	0.017	0.009	0.006	0.007
	实达类别	I	I	I	II	II	I	I	I
铜	实测	0.009	0.013	0.005	0.004	0.004	0.009	0.009	0.008
	实达类别	I	II	I	I	I	I	I	I
锌	实测	0.1331	0.2624	0.1454	0.2909	0.2228	0.1826	0.2120	0.2259
	实达类别	II	II	II	II	II	II	II	II
铅	实测	0.010	0.010	<0.01	0.010	<0.01	0.010	0.010	0.010
	实达类别	I	I	I	I	I	I	I	I
镉	实测	<0.0005	0.0007	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005
	实达类别	I	I	I	I	I	I	I	I
氟化物	实测	0.42	0.40	0.31	0.36	0.33	0.39	0.31	0.31
	实达类别	I	I	I	I	I	I	I	I
高锰酸盐指数	实测	4.2	4.4	3.8	5.2	4.4	5.6	4.9	4.3
	实达类别	III	III	II	III	III	III	III	III
总磷	实测	0.10	0.12	0.21	0.23	0.24	0.17	0.38	0.25
	实达类别	II	III	IV	IV	IV	III	V	IV
石油类	实测	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04
	实达类别	I	I	I	I	I	I	I	I
五日生化需氧量	实测	1.0	2.3	0.4	0.8	0.2	1.0	1.3	1.2
	实达类别	I	I	I	I	I	I	I	I

描述水质输移扩散的一维非恒定模型为：

$$\begin{cases} \frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - v \frac{\partial C}{\partial x} - KC + S \\ C(x)|_{\zeta} = c_1 \\ C(t)|_{t=0} = c_0 \end{cases} \quad (3)$$

式中： $C$  为污染物浓度； $D$  为扩散系数； $v$  为断面平均流速； $K$  为综合衰减系数； $S$  为源汇项； $C_1$ 、 $C_0$  分别为边界和初始浓度。其中，本次预测的主要污染物指标为 COD 和氨氮，参考相关研究华容河预测污染物衰减系数 COD 为  $0.01 \text{ d}^{-1}$  和氨氮  $0.08 \text{ d}^{-1}$ 。

### 3.2. 边界条件

#### 3.2.1. 流量边界条件

考虑河道蓄水及六门闸排水条件，设定调弦口闸引水规模进行组合计算：

① 上游调弦口引水流量设计。拟定调弦口来流 200、150、100、50、20、14.6、12.5 和 10 m<sup>3</sup>/s 等 8 种上游引水来流工况。

② 华容河初始水位设计。按华容河正常蓄水位 28.06 m，以及 27.06 m 和 26.06 m 三种情景考虑。

③ 下游六门闸抽排流量设计。六门闸按与调弦口来流同流量情景设计，出流条件与引水条件一一对应，共 8 种出流情景，即出流 200、150、100、50、20、14.6、12.5 和 10 m<sup>3</sup>/s。

### 3.2.2. 水质边界条件

① 调弦口引水水质浓度(长江干流水质浓度)

根据长江干流在调弦口附近有水质监测资料，长江段水质类别为 III 类。以宜昌南津关和岳阳城陵矶监测表明，长江 COD<sub>Mn</sub> 和 NH<sub>3</sub>-N 的水质情况优良，水质类别为 I~II 类和 II~III 类。设定调弦口引水水质的情景 II~III。本次研究拟以 2016~2017 年不同水期地表水自动监测结果平均作为调弦口引水水质。

② 华容河水质浓度

在模型预测中，本次水质数值模拟和分析选择 COD<sub>Mn</sub> 和 NH<sub>3</sub>-N 两个指标。根据华容河水环境质量监测结果，本次 COD<sub>Mn</sub> 和 NH<sub>3</sub>-N 浓度分别设为 4.6 mg/L 和 1.5 mg/L。

## 3.3. 模拟计算

### 3.3.1. 组合工况

在华容河水位上设计三种不同水位，即 26.06 m、27.06 m 和 28.06 m。各种引水蓄水排水组合情况的计算工况如表 3 所示。

### 3.3.2. 结果分析

由于长江干流 COD<sub>Mn</sub> 和 NH<sub>3</sub>-N 浓度值低于华容河，故从长江干流引水入华容河后，华容河的 COD<sub>Mn</sub> 和

**Table 3.** Water quality simulation of the Huarong River with different diversion, storage and drainage

**表 3.** 不同引水蓄水排水组合情况华容河水质模拟计算工况表

组合	引水流量	六门闸水位	六门闸排水	华容河本底浓度		引水浓度	
				COD <sub>Mn</sub>	NH <sub>3</sub> -N	COD <sub>Mn</sub>	NH <sub>3</sub> -N
1	200	26.06	200	4.6	1.5	2.13	0.25
2	150	26.06	150	4.6	1.5	2.13	0.25
3	100	26.06	100	4.6	1.5	2.13	0.25
4	50	26.06	50	4.6	1.5	2.13	0.25
5	200	27.06	200	4.6	1.5	2.13	0.25
6	150	27.06	150	4.6	1.5	2.13	0.25
7	100	27.06	100	4.6	1.5	2.13	0.25
8	50	27.06	50	4.6	1.5	2.13	0.25
9	200	28.06	200	4.6	1.5	2.13	0.25
10	150	28.06	150	4.6	1.5	2.13	0.25
11	100	28.06	100	4.6	1.5	2.13	0.25
12	50	28.06	50	4.6	1.5	2.13	0.25
13	20	27.06	20	4.6	1.5	2.13	0.25
14	14.6	27.06	14.6	4.6	1.5	2.13	0.25
15	12.5	27.06	12.5	4.6	1.5	2.13	0.25
16	10	27.06	10	4.6	1.5	2.13	0.25

NH<sub>3</sub>-N 的浓度值有较为明显的下降，水质有明显的改善。

在调弦口引调长江水后，华容河水质得到明显改善，水质逐渐达到长江水的水平。以华容县城为控制断面为例，当引水流量逐渐加大时，华容县城断面水质改善的效果更为明显：水质达到长江水质的时间更快。华容河不同水位下，在调弦口引水流量分别为 200、150、100、50、20、14.6、12.5 和 10 m<sup>3</sup>/s 时，华容县控制断面水质变化过程如图 2~图 9 所示。

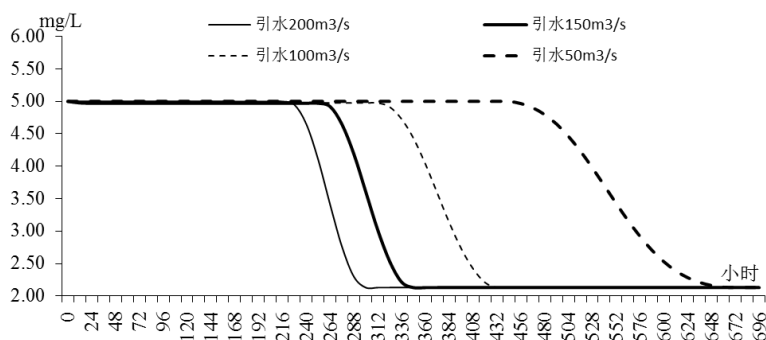


Figure 2. Change of COD<sub>Mn</sub> content in the Huarong County section (Q = 200, 150, 100, 50 m<sup>3</sup>/s, Z = 26.06 m)

图 2. 华容县城断面 COD<sub>Mn</sub> 变化过程(Q = 200、150、100、50m<sup>3</sup>/s, 水位 Z = 26.06 m)

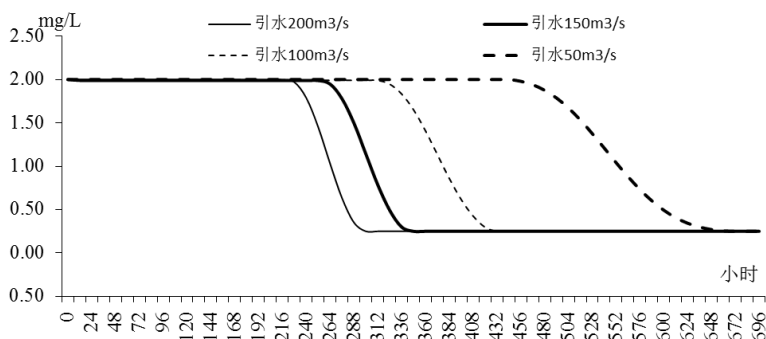


Figure 3. Change of NH<sub>3</sub>-N content in the Huarong County section (Q = 200, 150, 100, 50 m<sup>3</sup>/s, Z = 26.06 m)

图 3. 华容县城断面 NH<sub>3</sub>-N 变化过程(Q = 200、150、100、50 m<sup>3</sup>/s, 水位 Z = 26.06 m)

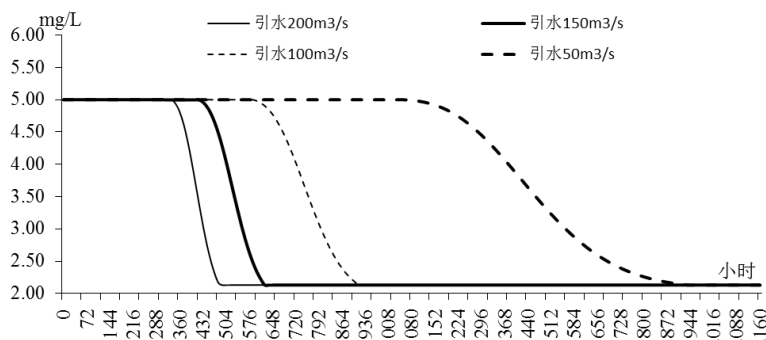


Figure 4. Change of COD<sub>Mn</sub> content in the Huarong County section (Q = 200, 150, 100, 50 m<sup>3</sup>/s, Z = 27.06 m)

图 4. 华容县城断面 COD<sub>Mn</sub> 变化过程(Q = 200、150、100、50 m<sup>3</sup>/s, 水位 Z = 27.06 m)

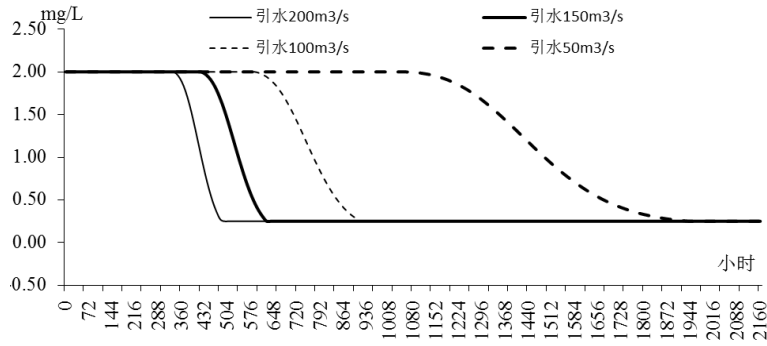


Figure 5. Change of  $\text{NH}_3\text{-N}$  content in the Huarong County section ( $Q = 200, 150, 100, 50 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $Z = 27.06 \text{ m}$ )

图 5. 华容县城断面  $\text{NH}_3\text{-N}$  变化过程( $Q = 200、150、100、50 \text{ m}^3/\text{s}$ , 水位  $Z = 27.06 \text{ m}$ )

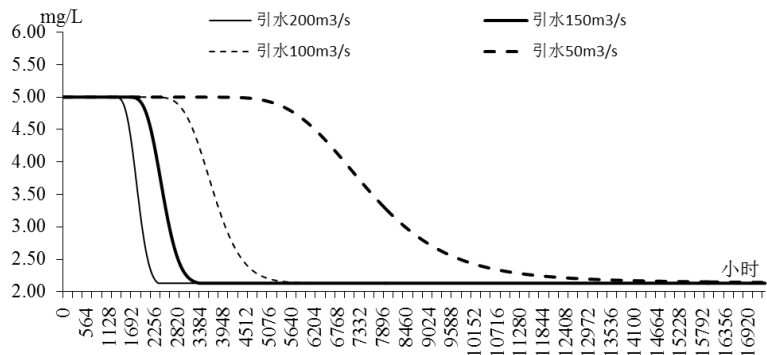


Figure 6. Change of  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  content in the Huarong County section ( $Q = 200, 150, 100, 50 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $Z = 28.06 \text{ m}$ )

图 6. 华容县城断面  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  变化过程( $Q = 200、150、100、50 \text{ m}^3/\text{s}$ , 水位  $Z = 28.06 \text{ m}$ )

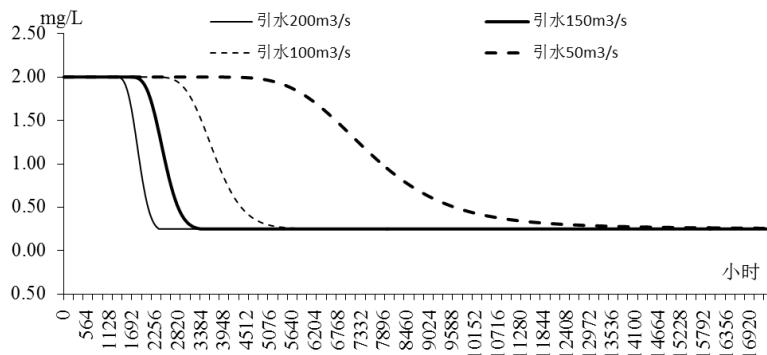


Figure 7. Change of  $\text{NH}_3\text{-N}$  content in the Huarong County section ( $Q = 200, 150, 100, 50 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $Z = 28.06 \text{ m}$ )

图 7. 华容县城断面  $\text{NH}_3\text{-N}$  变化过程( $Q = 200、150、100、50 \text{ m}^3/\text{s}$ , 水位  $Z = 28.06 \text{ m}$ )

不同流量、不同水位下，华容县城达到长江水质的时间如图 10 所示。华容河水位越低、引水流量越大，华容县城断面水质改善时间越快，其中引水流量为  $200 \text{ m}^3/\text{s}$ 、水位为  $26.06 \text{ m}$  时，华容县城水质全断面达到长江水质时间为  $300 \text{ h}$ ；当华容河水位越高，河道内所存水量越大，在相同引调水水量下，流速越小、水体交换越慢，水质改善越慢；反之，当华容河水位越低，河道内所存水量越小，在相同引调水水量下，流速越大、水体交换



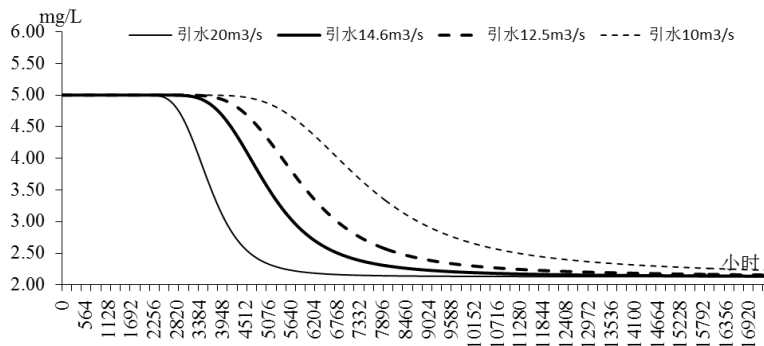


Figure 8. Change of COD<sub>Mn</sub> content in the Huarong County section (Q = 20, 14.6, 12.50, 10 m<sup>3</sup>/s, Z = 27.06 m)

图 8. 华容县城断面 COD<sub>Mn</sub> 变化过程(Q = 20、14.6、12.50、10 m<sup>3</sup>/s, Z = 27.06 m)

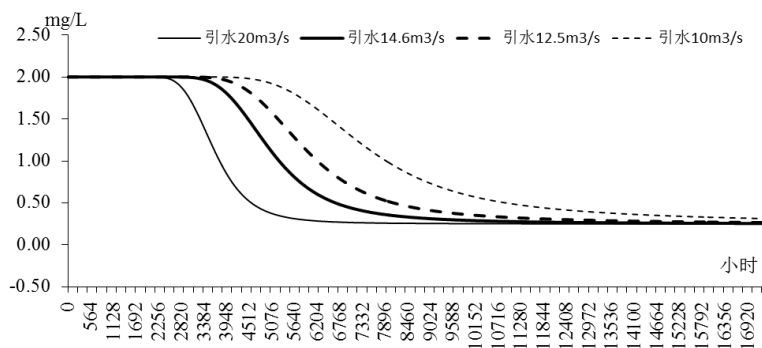


Figure 9. Change of NH<sub>3</sub>-N content in the Huarong County section (Q = 20, 14.6, 12.50, 10 m<sup>3</sup>/s, Z = 27.06 m)

图 9. 华容县城断面 NH<sub>3</sub>-N 变化过程(Q = 20、14.6、12.50、10 m<sup>3</sup>/s, Z = 27.06 m)

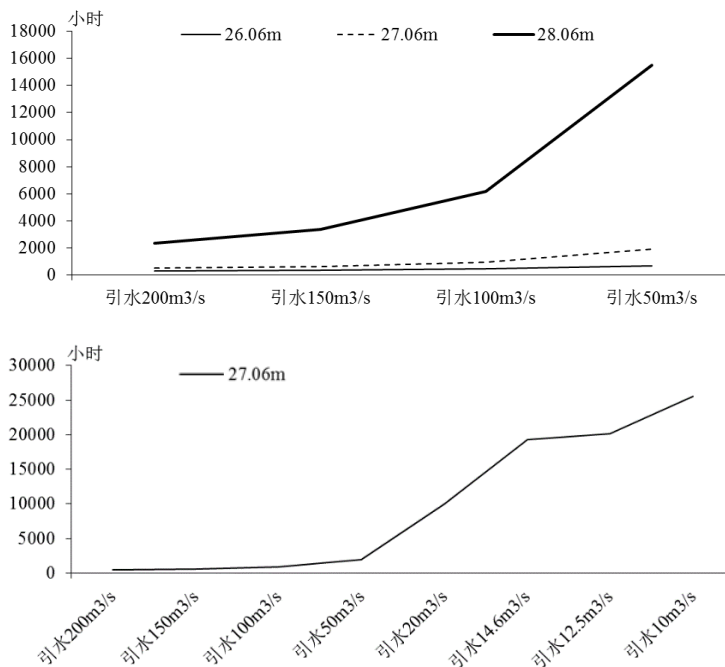


Figure 10. Time needed for the water quality of Huarong County to reach that of the Yangtze River with different water levels and water diversion rates

图 10. 不同水位及不同引水流量下华容县城水质达到长江水质所需时间

越快,水质改善越快。由不同水位下华容县城水质全断面达到长江水质所需时间随引水流量的变化趋势可知,水位越高,水质改善效果对于引水流量大小越敏感。因此,从改善华容河水质的角度考虑,宜在华容河较低水位下开展引调水,以最大程度改善华容河水环境质量。

#### 4. 小结

华容河水环境质量总体一般。历史监测资料表明华容河的水质达到 II 类、III 类水质要求,偶有水质超标。2017 年实测的 8 个取样点中,水质类别为 IV 类~劣 V 类,氨氮除湘沟为 II 类外,其余均为 IV 类~劣 V 类;高锰酸盐指数除君山农业为 II 类外,其余均为 III 类;总磷除丁家潭、华容河口以及麻里泗为 II 类或 III 类外,其余均为 IV 类或 V 类。

为确保华容河水环境质量,需要自调弦口引进水质良好的长江水。由于长江干流  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  和  $\text{NH}_3\text{-N}$  浓度值低于华容河,故从长江干流引水将有效改善华容河的水质。

由于华容河水环境质量较差,对于蓄水较低的 26.06 m 水位引水  $200 \text{ m}^3/\text{s}$  时,华容县城水质全断面达到长江水质时间也需要 300 小时(12.5 天)。考虑长江水位在不断下降和调弦口进水条件不利,华容河水环境保护的可持续性有待深入研究。

#### 基金项目

本论文由中国湖南省水利厅重大水利科研项目“调弦口建闸对华容河的影响研究(湘水科计(2015)245-12)”资助。

#### 参考文献

- [1] 甘明辉,刘卡波,杨大文,等.洞庭湖四口河系防洪、水资源与水环境研究[J].水力发电学报,2011,30(5):5-9+34.  
GAN Minghui, LIU Kabo, YANG Dawen, et al. Study on flood control, water resources and water environment of four river systems in Dongting Lake. Journal of Hydroelectric Engineering, 2011, 30(5): 5-9+34. (in Chinese)
- [2] 李建坤,胡恺诗.华容河综合治理方案初探[J].水利水电技术,2007,38(10):60-61,65.  
LI Jiankun, HU Kaishi. Preliminary study on comprehensive harnessing plan of Huarong River. Water Conservancy and Hydropower Technology, 2007, 38(10): 60-61, 65. (in Chinese)
- [3] 黎前查.华容河治理方案与运用调度研究[J].人民长江,2009,40(14):50-51.  
LI Qiancha. Study on the management scheme and operation of Huarong River. Yangtze River, 2009, 40(14): 50-51. (in Chinese)
- [4] 顾自强,俞艳,高飞.华容河流域水资源状况及其开发利用分析[J].安徽农业科学,2014,42(36):13007-13009.  
GU Ziqiang, YU Yan, GAO Fei. Analysis of water resources situation and exploitation and utilization in Huarong River basin. Journal of Anhui Agricultural Science, 2014, 42(36): 13007-13009. (in Chinese)
- [5] 秦迪岚,罗岳平,黄哲,等.洞庭湖水环境污染状况与来源分析[J].环境科学与技术,2012,35(8):193-198.  
QIN Dilan, LUO Yueping, HUANG Zhe, et al. Analysis of environmental pollution and the source of the Dongting Lake. Environmental Science and Technology, 2012, 35(8): 193-198. (in Chinese).