

DOI: 10.3880/j.issn.1004-6933.2016.04.005

# 基于浙东引水的萧绍宁平原引配水研究

周 芬, 李红仙, 盛海峰

(浙江省水利水电勘测设计院, 浙江 杭州 310002)

**摘要:** 针对萧绍宁平原河网水源补给不足、水体流动性较差特点, 以浙东引水工程和区域内引排工程为基础, 拟定了萧绍宁平原引配水格局, 分析了浙东引水工程改善萧绍宁平原河网水环境的效果, 为萧绍宁平原实施“五水共治”之治污水提供了技术支撑。

**关键词:** 萧绍宁平原; 浙东引水工程; 引配水; 五水共治; 水环境改善

中图分类号: TV213.4      文献标志码: A      文章编号: 1004-6933(2016)04-0034-05

## Research of water diversion and allocation in Xiaoshaoning Plain based on Eastern Zhejiang Water Diversion Project

ZHOU Fen, LI Hongxian, SHENG Haifeng

(Zhejiang Design Institute of Water Conservancy and Hydro-Electric Power, Hangzhou 310002, China)

**Abstract:** The river networks of the Xiaoshaoning Plain have an insufficient water supply and poor water fluidity. To solve these problems, a pattern for water diversion and allocation in the Xiaoshaoning Plain was developed, and the effect of the Eastern Zhejiang Water Diversion Project on the improvement of the water environment in the plain river network was analyzed, based on the Eastern Zhejiang Water Diversion Project and the diversion and drainage projects of the region. This research provides technical support for the treatment of wastewater, according to the co-governance mode for five water categories for the plain.

**Key words:** Xiaoshaoning Plain; Eastern Zhejiang Water Diversion Project; water diversion and allocation; co-governance mode for five water categories; improvement of water environment

萧绍宁平原位于钱塘江和杭州湾以南、会稽山和四明山以北, 域内有曹娥江、甬江等水系, 并有杭甬运河贯穿其间, 由主要江河水系划分为萧绍平原、姚江平原、鄞奉平原 3 大片, 总面积 8 300 km<sup>2</sup>。萧绍宁平原地理位置优越, 经济社会发达, 大量人口和生产要素聚集于此。由于污染物排放强度和总量大、河湖水系复杂、水源补给不足、自净能力差等河网水环境问题突出, 水环境治理与水资源保护任务十分艰巨<sup>[1]</sup>。

浙东引水工程是确保浙东萧绍宁舟地区经济社会可持续发展的重大水资源配置工程, 工程任务是引钱塘江水为萧绍宁平原及舟山市提供生活、工业和农灌用水, 并兼顾改善水环境。浙东引水工程通过萧山枢纽、曹娥江大闸枢纽、曹娥江至慈溪引水,

曹娥江至宁波引水(拟建), 舟山大陆引水等工程沟通浙东萧绍宁舟地区, 萧山枢纽引钱塘江水经萧绍平原河网进入曹娥江大闸上江道, 再由曹娥江右岸引水闸三兴闸、大库闸(拟建)分别向姚江平原和鄞奉平原引水; 舟山大陆引水工程通过输水管道从宁波姚江引水至黄金湾调蓄水库, 经黄金湾水库向舟山诸岛配水(图 1)。经过多年的前期论证和建设实施, 浙东引水工程已基本建成, 并于 2013 年 12 月—2014 年 3 月进行了试通水, 现已步入常态化运行。

针对区域自然地理和水生态环境特征, 在控外源、减内源的基础上, 以贯穿区域的浙东引水工程为主线, 实施域内引配水工程、促进河网水体有序流动、加快水体置换速度是提高区域水环境承载能力、改善河网水质的有效措施<sup>[2-6]</sup>。

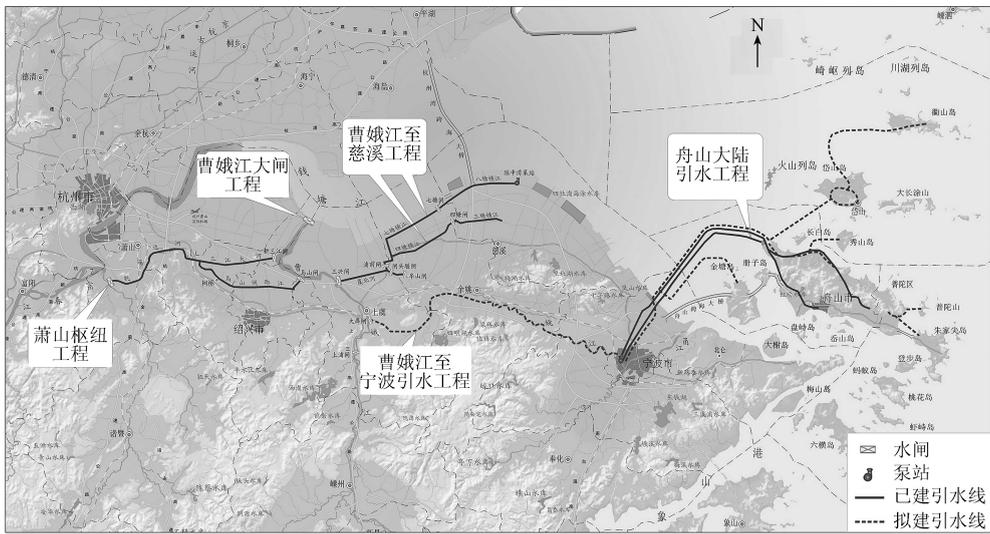


图1 浙东引水工程总体布置

## 1 基于浙东引水的河网引配水格局

### 1.1 萧绍平原

**区域概况:**萧绍平原位于钱塘江河口以南,西南为浦阳江,西北为钱塘江,东临曹娥江,南部为低山丘陵,总面积为 2434 km<sup>2</sup>。钱塘江自西向东经区域北部蜿蜒而过,会稽山则位于平原区南部,形成背山面江的地势环境。萧绍平原按其地势、河流水系和行政区划可分为南沙平原、蜀山平原和绍虞平原 3 个分区,域内河流纵横交错,湖泊众多,水流依其地势整体呈西南向东北方向流动。

**引配水总体布局:**根据萧绍平原水系格局及已有引配水设施,萧绍平原引配水采用“西水东引、南水北调”的总体规划格局,充分利用钱塘江和曹娥江过境水资源,采用工程措施和调度措施,自西南和

东南引入钱塘江和曹娥江相对清洁的江水,通过区域内骨干河道输送和闸泵等配水设施的统一调配,自西向东、自南往北经钱塘江和曹娥江沿河口门排入外江,从而形成一个完整的配水系统(图 2)。

**蜀山及南沙平原区:**配水水源为钱塘江,利用小砾山枢纽引钱塘江水,经蜀山平原骨干河网自西向东北流动,后经西水东引二级泵站(济民泵站、长山河泵站、大治河泵站)提水入南沙平原,形成“钱塘江—蜀山河网—二级提水泵站—南沙河网—钱塘江”河网水体循环系统。

**绍虞平原区:**配水水源以浙东引水和曹娥江上游来水为主,利用浙东引水工程,绍兴市城区曹娥江引水工程引水入平原,经骨干河网自西向东、自南向北输水后,经曹娥江右岸排水闸站入曹娥江大闸闸上江道后继续向曹娥江以东地区输水,在绍虞平原

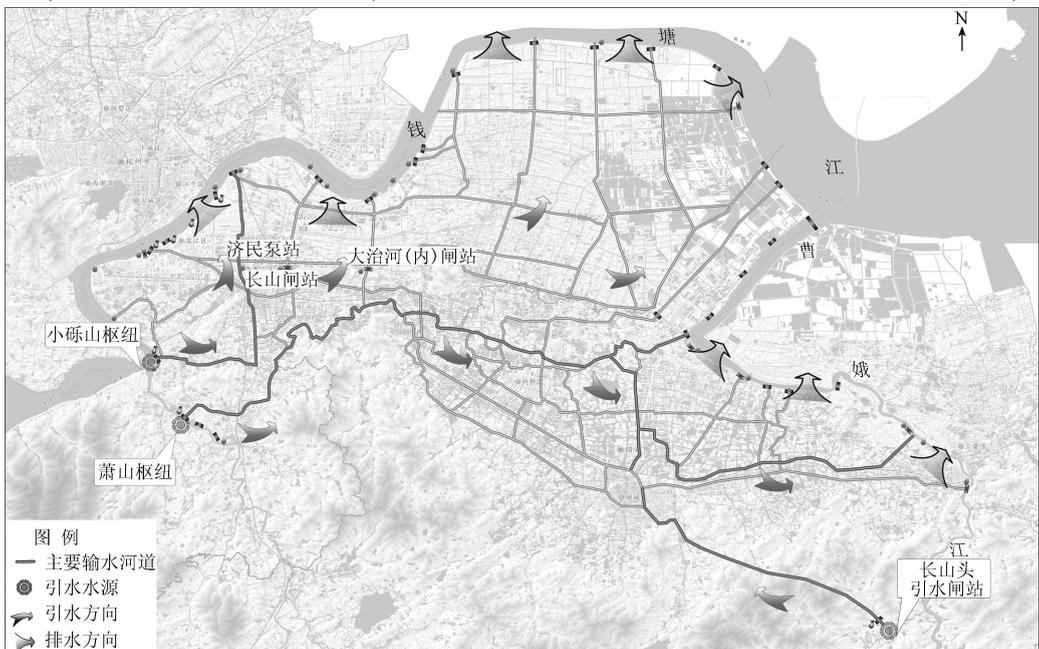


图2 萧绍平原引配水格局

形成“浙东引水/曹娥江—绍虞河网—曹娥江大闸 闸上江道”的河网水体循环系统。

## 1.2 姚江平原

**区域概况:**姚江平原位于杭州湾南岸,西沿曹娥江,东临甬江,总面积约3488 km<sup>2</sup>。姚江自西向东南经区域中南部蜿蜒而过,天台山支脉四明山位于平原区南部。姚江平原按其地势、河流水系和行政区划可分为虞北平原、丰惠平原、余姚平原、宁波江北镇海平原、慈溪平原5个分区,域内河流均属姚江水系,水流依其地势整体自西向东、自南向北流动。

**引配水总体布局:**依托浙东引水工程“西水东引”的总体规划格局,采用工程措施和调度措施,自西向东引水入浙东,通过区域内骨干河道(已建的引曹北线和规划的引曹南线)输送和闸泵等设施向虞北等平原区配水,最后经沿杭州湾和甬江沿岸口门排入外江,从而形成一个完整的配水系统(图3)。

**虞北及丰惠平原区:**配水水源以浙东引水和曹娥江上游来水为主,利用三兴闸、任排泵站(规划)、上浦闸引水工程引水入平原,经骨干河网自西向东、自南向北输水后,部分经浦前闸、牟山闸等入余姚,部分经由沿杭州湾水闸外排,在虞北及丰惠平原形成“浙东引水/曹娥江—虞北及丰惠河网—余姚河网/杭州湾”的河网水体循环系统。

**余姚平原区:**配水水源以浙东引水为主,利用浦前闸、闸头堰闸—牟山闸、通明闸经七塘横江、四塘横江、姚江干流等骨干河道输水,通过沿杭州湾北排水闸和余慈边界水闸、蜀山大闸等入杭州湾、慈溪及下姚江,在余姚平原形成“浙东引水—余姚河网—杭州湾/慈溪河网/下姚江”的河网水体循环系统。

**慈溪平原区:**配水水源以浙东引水为主、姚江为辅,利用七塘闸、四塘闸、蜀山泵站引水入平原,遵循

平原地势“西高东低、南高北低”的实际情况,经各河区节制闸和骨干河道自西向东、自南向北输水,最后经由沿杭州湾水闸外排,在慈溪平原形成“西部引入、输水至南、流经全境、向北出水”的河网水体循环系统。

**江北镇海平原区:**配水水源以姚江(包括规划进入姚江的浙东引水)为主,利用已建的慈江大闸、慈江—沿山大河自西向东引水,经慈江—沿山大河沿岸节制闸向两岸平原配水,最后经由沿姚江、甬江或东海的碶闸外排,在江北镇海平原形成“姚江—江北镇海河网—姚江/甬江/东海”的河网水体循环系统。

## 1.3 鄞奉平原

**区域概况:**鄞奉平原位于甬江(姚江)以南,西南部为四明山脉,东南部为低山丘陵,东临东海,总面积约2378 km<sup>2</sup>。鄞奉平原按其地势、河流水系和行政区划可分为鄞西平原、鄞东南平原和奉北平原3个分区,平原东、南、西三面环山,上游剡江、县江、东江汇合后,由奉化江自南向北迂回曲折,穿平原而过,北流入甬江后自西向东经平原北部入东海。

**引配水总体布局:**采用“北水南引、山水入城”的总体规划格局,通过工程措施和调度措施,自北向南引入姚江水(包括规划进入姚江的浙东引水),自西向东引优质的山区径流和水库余水,经区域内骨干河道输送和闸泵等配水设施的统一调配,自北向南、自西向东经沿奉化江和甬江碶闸排入外江,从而形成一个完整的配水系统(图4)。

**鄞西平原区:**配水水源以姚江(包括规划进入姚江的浙东引水)为主、鄞江为辅,利用已建的高桥翻水站、屠家堰泵站、洪水湾节制闸引水入平原,经骨干河网输水后,经由沿奉化江的碶闸排入奉化江

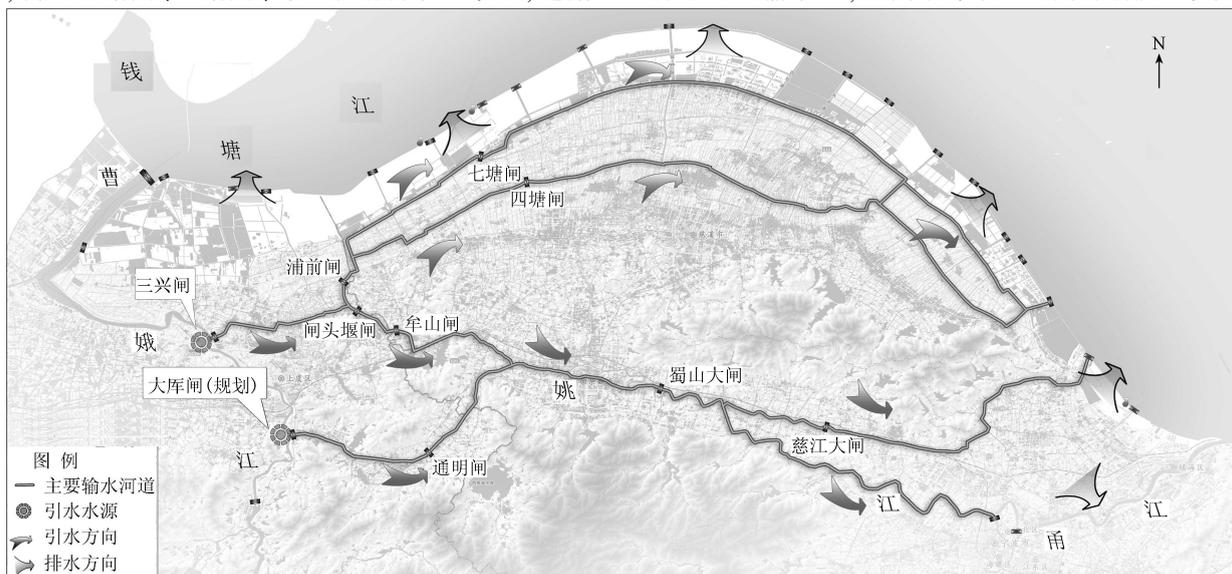


图3 姚江平原引配水格局

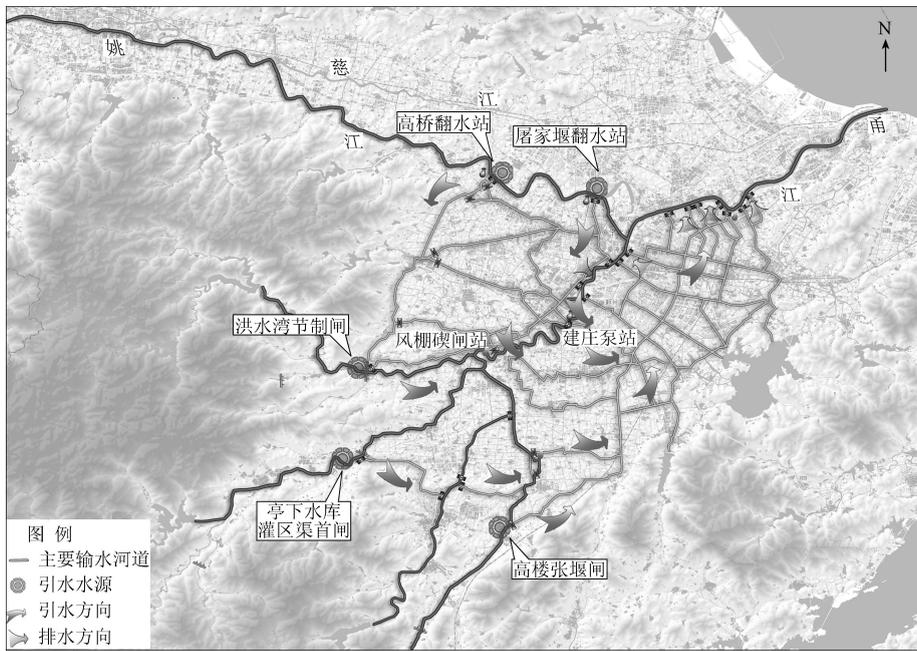


图4 鄞奉平原引配水格局

或经建庄泵站、风棚堰闸站(规划)翻水入鄞东南平原,在鄞西平原形成“姚江/鄞江—鄞西河网—奉化江/鄞东南”的河网水体循环系统。

鄞东南平原区:配水水源以姚江(包括规划进入姚江的浙东引水)为主、剡江和东江为辅,利用建庄泵站、风棚堰闸站(规划)、亭下水库灌区渠首闸、高楼张堰闸(规划)引水入平原,经骨干河网输水后,经由沿奉化江、甬江的堰闸排入外江,在鄞东南平原形成“姚江—鄞西河网—鄞东南河网—奉化江/甬江、剡江—亭下水库灌区引水干渠—鄞东南河网—奉化江/甬江、东江—鄞东南河网—奉化江/甬江”的河网水体循环系统。

奉北平原区:配水水源以剡江、县江、东江为主,依据“三江四圩片”防洪排涝格局,采用各圩片分别引水的方式,利用各圩片区上游闸站引水入平原,经圩内河网输水后,再经由下游闸站排入外江,在各圩片区内部形成河网水体循环小系统。

## 2 浙东引水改善萧绍宁平原河网水环境效果分析

### 2.1 计算原理

一维河网水动力模型控制方程为 Saint-Venant 方程组:

$$\begin{cases} \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q & (1) \\ \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\alpha Q^2/A) + Ag \frac{\partial Z}{\partial x} + g \frac{Q|Q|}{C^2 RA} = 0 & (2) \end{cases}$$

式中: $x$ 为空间坐标,m; $t$ 为时间坐标,s; $A$ 为断面面积, $m^2$ ; $Q$ 为河道内任意断面的流量, $m^3/s$ ; $q$ 为旁侧

入流单宽流量, $m^2/s$ ; $R$ 为水力半径,m; $g$ 为重力加速度, $m/s^2$ ; $\alpha$ 为动量校正系数; $C$ 为谢才系数。

一维河网水质模型控制方程为一维对流扩散方程:

$$\frac{\partial A\rho}{\partial t} + \frac{\partial A\rho}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x}\left(AD \frac{\partial \rho}{\partial x}\right) = -AK\rho + \rho_2 q \quad (3)$$

式中: $\rho$ 为质量浓度, $mg/L$ ; $D$ 为纵向扩散系数, $m^2/s$ ; $\rho_2$ 为源/汇质量浓度, $mg/L$ ; $K$ 为衰减系数, $d^{-1}$ 。

对流扩散模型可以模拟在水流和浓度梯度影响下,传输扩散过程中的溶解或是悬浮物质(如盐分、热量、沙土、溶解氧、无机物、有机物及其他水质组分)在时间和空间上的分布。

### 2.2 引水前水质计算结果

分片建立萧绍宁平原河网一维非恒定水动力水质模型,采用1961—2013年长系列水文资料,对萧绍宁平原各区片的水质情况进行逐日模拟计算。污染源资料采用水资源保护规划调查的现状入河污染物质,计算分析指标选用 $COD_{Mn}$ 和 $NH_3-N$ ,综合衰减系数根据浙东引水工程试通水阶段的实测资料分析取用0.1~0.3。引水前水质状况见表1。引水工程实施前,各片区的水质情况主要取决于水文条件,丰水年水质明显优于枯水年。由于水质初始值较差,且污染源为现状入河污染物质,远超河网纳污容量,因此,无引水条件下各片区水质均为劣V类,不甚理想。

### 2.3 引水后水质计算结果

根据《钱塘江河口水资源配置规划》和浙东引水水量分配,杭州江南片(南沙、蜀山)河网配水量多年平均为6.45亿 $m^3$ ;绍虞河网主要考虑萧山枢纽引水,萧山枢纽多年平均引水8.9亿 $m^3$ ;虞北和

丰惠河网引水量主要考虑引曹北线入上虞水量,90%保证率年引水水量1.1亿 $m^3$ ;余姚河网引水量主要考虑引曹北线入余姚水量,90%保证率年引水水量0.7亿 $m^3$ ;慈溪河网引水量主要考虑引曹北线入慈溪水量,90%保证率年引水水量2.4亿 $m^3$ ;宁波河网(江北、鄞西、鄞东南平原)引水量主要考虑引曹南线入宁波水量,90%保证率年引水水量2.26亿 $m^3$ (扣除舟山引水量)。

根据萧绍宁平原各片引配水量,进行各片区引水后长系列水质模拟计算。引水工程实施后,1961—2013年萧绍宁平原各片区 $COD_{Mn}$ 和 $NH_3-N$ 多年平均值见表1。由计算成果可见:

a. 多年平均水文条件下,引水工程实施后各平原区 $COD_{Mn}$ 质量浓度降低11%~63%, $NH_3-N$ 质量浓度降低14%~67%。

b. 水质改善程度主要受引水量大小影响,引水量大,则水质改善程度明显;反之,则改善程度有限。

c. 引水工程虽然可以大幅度降低水污染浓度,但由于现状入河污染物量较大,因此,引水后萧绍宁平原河网 $COD_{Mn}$ 基本能达到IV~V类,但大部分片区河网 $NH_3-N$ 仍为劣V类。

d. 萧绍平原的滨江区、南沙平原区、蜀山平原片的水质改善效果好于绍虞平原片;上虞虞北平原水质改善效果好于余姚平原区,这与试通水时期实测资料分析成果<sup>[7-8]</sup>基本是一致的。

表1 萧绍宁平原河网引水前后水质改善程度分析

分区	$COD_{Mn}$			$NH_3-N$			
	引水前/ ( $mg \cdot L^{-1}$ )	引水后/ ( $mg \cdot L^{-1}$ )	减幅/ %	引水前/ ( $mg \cdot L^{-1}$ )	引水后/ ( $mg \cdot L^{-1}$ )	减幅/ %	
萧绍平原	南沙平原区	38.81	16.08	59	10.84	4.03	63
	蜀山平原区	38.67	14.21	63	9.69	3.19	67
	绍虞平原区	32.99	18.42	44	7.24	3.87	47
姚江平原	虞北平原区	20.70	14.59	30	14.20	8.80	38
	丰惠平原区	41.45	17.60	58	4.64	2.14	54
	余姚平原区	19.04	16.86	11	5.41	4.67	14
	慈溪平原区	30.18	18.04	40	4.76	2.85	40
鄞奉平原	江北镇海平原区	20.97	13.82	34	5.85	3.55	39
	鄞西平原区	18.50	14.40	22	4.85	3.60	26
	鄞东南平原区	19.47	15.50	20	7.16	5.36	25

### 3 结语

a. 萧绍宁平原河网水源补给不足、水体流动性较差,实施提高水环境容量(纳污能力)的域内引配水工程、促进河网水体有序流动、加快水体置换速度是提高区域水环境承载能力、改善河网水质的有效措施。

b. 建立了萧绍宁平原河网一维非恒定水动力水质模型,分析了浙东引水工程改善萧绍宁平原河

网水环境的效果。结果表明,多年平均水文条件下,引水工程实施后各平原区 $COD_{Mn}$ 质量浓度降低11%~63%, $NH_3-N$ 质量浓度降低14%~67%;水质改善程度主要受引水量大小影响,引水量大,则水质改善程度明显;反之,则改善程度有限。

c. 针对萧绍宁平原自然条件和河网水系特点,以浙东引水工程和区域内引排工程为基础,分析拟定了萧绍宁平原河网水系有序流动的引配水格局,为萧绍宁平原实施“五水共治”之治污水提供了技术支持。

d. 引配水工程虽然可以大幅度降低水污染浓度,但由于入河污染物量较大,引水后萧绍宁平原河网水质仍不能达到III~IV类的目标水质。因此,仍然必须实施萧绍宁平原水环境改善的治本之策:加强污染源治理,控制外源污染;开展河湖水系综合治理,减少内源污染;实施污染物总量控制,强化水功能区目标管理等。

### 参考文献:

[1] 浙江省水利水电勘测设计院. 萧绍宁平原防洪排涝及水环境整治规划[R]. 杭州:浙江省水利水电勘测设计院, 2014.

[2] 陆桂华,张建华. 太湖水环境综合治理的现状、问题及对策[J]. 水资源保护, 2014, 30(2): 67-70. (LU Guihua, ZHANG Jianhua. Present status and problems of comprehensive treatment of water environment in Taihu Lake and countermeasures [J]. Water Resources Protection, 2014, 30(2): 67-70. (in Chinese))

[3] 吴浩云. 引江济太维护太湖流域河湖健康生命的实践和探索[J]. 水利水电技术, 2008, 39(7): 4-8. (WU Haoyun. Practice and exploration on maintenance of river-lake eco-system health for Taihu Basin with project of water diversion from Yangtze River to Taihu Lake [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2008, 39(7): 4-8. (in Chinese))

[4] 颜秉龙,林荷娟. 杭嘉湖区域改善水环境调水方案研究[J]. 中国农村水利水电, 2008(9): 33-35. (YAN Binglong, LIN Hejuan. Research on diversion water scheme of improving environmental water quality in the Hangjiahu Area [J]. China Rural Water and Hydropower, 2008(9): 33-35. (in Chinese))

[5] 李茶青,何文学,陈冬云. 平原河网区改善水环境引水配水方案设计[J]. 中国农村水利水电, 2012(7): 45-47. (LI Chaqing, HE Wenxue, CHEN Dongyun. The scheme design of water diversion and distribution for improving water environment in the flat river network [J]. China Rural Water and Hydropower, 2012(7): 45-47. (in Chinese))

(下转第44页)

- 影响评价研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2011.
- [2] 詹道江,徐向阳,陈元芳.工程水文学[M].北京:中国水利水电出版社,2010:165-182.
- [3] ALCAZAR J, PALAU A, VEGA-GARCLA C. A neural net model for environmental flow estimation at the Ebro River Basin, Spain [J]. Journal of Hydrology, 2008, 349 (1): 44-55.
- [4] 赵海霞, 武建. 浅析主成分分析方法[J]. 科技信息, 2009(2): 87. (ZHAO Haixia, WU Jian. Brief analysis on the principal component analysis method [J]. Journal of Science & Technology Information, 2009 (2): 87. (in Chinese))
- [5] 童其慧. 主成分分析方法在指标综合评价中的应用[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2002, 4(1): 59-61. (TONG Qihui. The application of primary element analyzing methods in the index synthetic evaluation [J]. Journal of Beijing Institute of Technology (Social Sciences Edition), 2002, 4 (1): 59-61. (in Chinese))
- [6] 盛周君, 孙世群, 王京城. 基于主成分分析的河流环境质量评价研究[J]. 环境科学与管理, 2007, 32(12): 172-175. (SHENG Zhoujun, SUN Shiqun, WANG Jingcheng. Comprehensive evaluation of river water environmental quality based on principal component analysis [J]. Journal of Environmental Science & Management, 2007, 32(12): 172-175. (in Chinese))
- [7] 顾大环, 赵建强. 主成分分析法在江苏省工业经济效益评价中的应用[J]. 徐州教育学院学报, 2008, 23(3): 183-185. (GU Dahuan, ZHAO Jianqiang. The application of principal component analysis method in industrial economic benefit evaluation of Jiangsu Province [J]. Journal of Xuzhou Education College, 2008, 23 (3): 183-185. (in Chinese))
- [8] 赵磊, 李继海, 朱大洲, 等. 5 种鹿茸营养成分的主成分分析[J]. 光谱学与光谱分析, 2010, 30(9): 2571-2575. (ZHAO Lei, LI Jihai, ZHU Dazhou, et al. Principal component analysis of nutrients in five kinds of velvet antler [J]. Spectroscopy & Spectral Analysis, 2010, 30 (9): 2571-2575. (in Chinese))
- [9] 欧建锋, 叶健, 程吉林. 主成分分析法在江苏水利现代
- 化评价中的应用[J]. 人民长江, 2010, 41(2): 97-100. (OU Jianfeng, YE Jian, CHENG Jilin. Application of main component analysis method in comprehensive evaluation for water conservancy modernization in Jiangsu Province [J]. Yangtze River, 2010, 41 (2): 97-100. (in Chinese))
- [10] 吕王勇, 陈美香, 王波. 基于主成分的区域水资源与社会经济的协调度评价[J]. 水资源与水工程学报, 2011, 22(1): 182-125. (LYU Wangyong, CHEN Meixiang, WANG Bo. Coordination evaluation between regional water resources and socio-economic based on principal component [J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2011, 22 (1): 182-125. (in Chinese))
- [11] 谭芳, 崔远来, 王建漳. 灌溉水利用率影响因素的主成分分析: 以漳河灌区为例[J]. 中国农村水利水电, 2009(2): 70-73. (TAN Fang, CUI Yuanlai, WANG Jianzhang. Impact factors of irrigation water use efficiency based on principal component analysis case from Zhang River Irrigation District [J]. China Rural Water and Hydropower, 2009(2): 70-73. (in Chinese))
- [12] 杨永生, 许新发, 祝水贵, 等. 江西抚河流域水量分配方案研究[J]. 中国水利, 2006(9): 19-22. (YANG Yongsheng, XU Xinfa, ZHU Shuigui, et al. Water allocation study on Fu River Basin of Jiangxi [J]. China Water Resources, 2006(9): 19-22. (in Chinese))
- [13] 杨永生, 张戴军. 抚河流域水量分配原则及方法解析[J]. 江西水利科技, 2006, 32(3): 169-172. (YANG Yongsheng, ZHANG Daijun. Discussion of the distribution principle and the method of the water quantity about Fuhe River basin [J]. Jiangxi Hydraulic Science & Technology, 2006, 32 (3): 169-172. (in Chinese))
- [14] 桂发亮, 胡铁松, 许新发. 抚河流域区域间的水权初始分配[J]. 武汉大学学报(工学版), 2007, 40(3): 27-30. (GUI Faliang, HU Tiesong, XU Xinfa. Inter-regional water right distribution of Fuhe River in China [J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2007, 40 (3): 27-30. (in Chinese))

(收稿日期:2015-06-03 编辑:王芳)

(上接第 38 页)

- [6] 翟淑华, 张红举, 胡维平, 等. 引江济太调水效果评估[J]. 中国水利, 2008(1): 21-23. (ZHAI Shuhua, ZHANG Hongju, HU Weiping, et al. Evaluation on result of Yangtze-Taihu water diversion [J]. China Water Resources, 2008 (1): 21-23. (in Chinese))
- [7] 卢晓燕, 周芬, 王灵敏, 等. 浙东引水工程试通水实践与探索[J]. 水资源保护, 2014, 30(2): 86-91. (LU Xiaoyan, ZHOU Fen, WANG Lingmin, et al. Practice and exploration of test run for the diversion project in eastern Zhejiang Province [J]. Water Resources Protection, 2014, 30(2): 86-91. (in Chinese))
- [8] 周芬, 钟名军, 王灵敏. 浙东引水沿线地区水量调度研究[J]. 水电能源科学, 2014, 32(3): 29-33. (ZHOU Fen, ZHONG Mingjun, WANG Lingmin. Study on water quantity operation of areas along Eastern Zhejiang diversion project [J]. Water Resources and Power, 2014, 32 (3): 29-33. (in Chinese))

(收稿日期:2015-05-16 编辑:徐娟)