

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.06.017

# 污水厂不停水应急达标改造工程设计及实施

顾雪锋, 吴 鹏

(北控<杭州>生态环境投资有限公司, 浙江 杭州 311100)

**摘 要:** 针对山西省某污水处理厂现状出水达标率低、处理能力不足等问题,分析认为,影响出水达标的因素除水量波动大之外,进水COD、BOD<sub>5</sub>、SS、NH<sub>3</sub>-N、TN和TP等主要污染物浓度远超设计水质是关键因素。为此,在不停水、不扩建用地等情况下进行了不停水应急达标工艺设计,并分析了改造后的实际处理效果,对类似污水处理厂的提标改造具有实际参考价值。

**关键词:** 污水处理厂; 应急达标改造; 不停水施工

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2023)06-0103-05

## Design and Construction of Emergency Plan for Compliance of New Effluent Criteria under Normal Operation

GU Xue-feng, WU Peng

(BE <Hangzhou> Ecological Environment Investment Co. Ltd., Hangzhou 311100, China)

**Abstract:** This paper investigates the causes of outlet incompliance of a wastewater treatment plant in Shanxi Province. Besides the large fluctuation of treated wastewater quantity, the inlet pollutants, such as COD, BOD<sub>5</sub>, SS, NH<sub>3</sub>-N, TN, TP etc. are much higher than what it designed, which results in its incompliance. Therefore, the emergency process design without water outage and expansion of land is carried out, and the actual treatment effect after transformation is analyzed, which has practical reference value for upgradibng and transformation of similar sewage treatment plants.

**Key words:** wastewater treatment plant; emergency technical transformation; construction under normal operation

### 1 工程概况

山西某污水处理厂总规模 $12.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,分三期建设,一期工程于2005年建设,规模 $7.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,处理后尾水 $5.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 回用,剩余 $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 排入河道;一期提标工程于2009年建设,出水水质由《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级B标准提升至一级A标准。二期扩建工程于2013年建设,建设规模 $4.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,处理后尾水排入河道。现状污水处理厂工艺流程如下:

① 一期工程。粗格栅及提升泵站→细格栅及旋流沉砂池→奥贝尔氧化沟→二沉池→BAF(反硝化+硝化)→紫外线消毒池→絮凝反应→翻板滤

池→外排或回用。

② 二期工程。粗格栅及提升泵站→细格栅及旋流沉砂池→卡鲁塞尔氧化沟→二沉池→紫外线消毒池→絮凝反应→高效澄清→翻板滤池→外排或回用。

③ 污泥处理。剩余污泥+化学污泥→污泥储池→带式压滤机→污泥外运(80%含水率)。

自2018年至今,该厂污水处理量逐年增多,平均水量已超过 $10.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,峰值水量超过 $12.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,因此考虑扩建 $3.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。根据山西省《污水综合排放标准》(DB 14/1928—2019,以下简称三项V类),该厂需进行扩容和提标改造,扩建后总

处理规模达到  $15.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 处理后出水标准由一级A提升至三项V类要求。

## 2 提标改造主要难点

### 2.1 进水水质波动大, 现状出水达标率低

该污水处理厂进水主要为生活污水和少量工业废水。表1为2020年1月—2021年4月该厂实际进、出水水质情况。

表1 污水处理厂实际进、出水水质

Tab.1 Actual influent and effluent quality of WWTP  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项目	COD	BOD <sub>5</sub>	SS	NH <sub>3</sub> -N	TN	TP
设计进水水质	≤400	≤200	≤200	≤40	≤50	≤6
实际95%覆盖率进水水质	548.80	209.24	437.38	61.12	70.10	9.34
实际进水年平均水质	395.51	148.22	316.32	47.48	58.02	6.81
设计出水水质	≤40	≤10	≤10	≤2.0	≤15	≤0.4
实际95%覆盖率出水水质	22.00	6.10	19.00	4.01	30.94	0.47
实际出水年平均水质	16.98	5.23	14.3	1.48	21.76	0.23
注: COD、BOD <sub>5</sub> 、SS、NH <sub>3</sub> -N、TN、TP的不达标天数分别为0、2、237、9、228、12 d。						

从表1可以看出, 实际进水水质远超原设计值, 尤其是COD、SS、NH<sub>3</sub>-N、TN和TP等指标。按照山西省地方三项V类出水标准要求, 实际出水对应新标准达标率较低, 除COD外, SS、TN超标较为严重, NH<sub>3</sub>-N、TP、BOD<sub>5</sub>也有不同程度超标。

### 2.2 现状污水处理设施能力不足

该污水处理厂实际运行中存在处理设施能力不足的问题。

#### ① 一期、二期氧化沟处理能力不足

一期采用厌氧池+奥贝尔氧化沟工艺, 共3组, 设计每组处理规模  $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。设计厌氧区停留时间1.10 h、缺氧区停留时间6.07 h、好氧区停留时间10.61 h, 生化反应区总停留时间为17.78 h, 水深4.0 m。奥贝尔氧化沟曝气采用转碟曝气机, 曝气效率较低, 整体运行能耗较高。受表曝设备的限制, 氧化沟内存在流速不均及污泥沉积等问题<sup>[1-2]</sup>。同时转碟曝气设备轴承磨损严重, 运行不正常。

表2为实际采样分析的奥贝尔氧化沟中不同位置的溶解氧(DO)值, 从实测DO值结果来看, 缺氧区和好氧区分区不明显, 说明从外沟到中沟存在短流

现象, 从而造成反硝化脱氮效率很低, 出水总氮超标严重。

表2 一期奥贝尔氧化沟DO测定值

Tab.2 Measured value of DO in Orbal oxidation

	ditch $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$		
检测位置	外沟进水DO	中沟中部DO	内沟出水DO
1#氧化沟	0.42~0.59	0.23~0.35	0.20~0.34
2#氧化沟	0.45~0.56	0.23~0.34	0.17~0.28
3#氧化沟	0.44~0.62	0.21~0.35	0.22~0.45

二期卡鲁塞尔氧化沟停留时间约16.2 h, 水深6.0 m, 其中厌氧区2.0 h、缺氧区3.0 h、好氧区11.2 h。实际进水总氮95%覆盖率时达到70 mg/L, 超过原设计值约40%, 氧化沟缺氧区停留时间不足, 出水总氮难以稳定达标。

#### ② 二期二沉池和高效澄清池表面负荷偏高

二期扩建时二沉池采用平流式, 平均表面负荷为  $1.26 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ , 最大表面负荷为  $1.64 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ , 设计表面负荷偏高。实际运行中监测卡鲁塞尔氧化沟出水端的SV<sub>30</sub>高达86%~96%, 对应污泥体积指数(SVI)为121~158 mL/g, 污泥沉降性能较差。同时, 高效澄清池的平均表面负荷为  $15.29 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ , 最大表面负荷达到  $19.87 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ , 已超过《室外排水设计标准》(GB 50014—2021)。因此, 污水处理厂出水的SS达标率低。

#### ③ 氧化沟设备运行不稳定, 影响处理效果

由于奥贝尔氧化沟转碟曝气机轴承磨损和腐蚀严重, 导致有时运行不正常。

#### ④ 深度处理和污泥处理系统运行不正常

絮凝沉淀池的混凝区投加药剂后混合反应较差, 表面存在少量浮渣, 絮凝反应池内搅拌器的机械密封磨损导致漏油, 设备运行状况不良。另外, 一期翻板滤池有一组停运, 一期BAF滤池运行不正常, 现已停运。污泥处理系统一台带压机损坏, 加药系统运行不正常。

### 2.3 现状处理设施不停水改造技术难度大

该污水处理厂日均处理水量已超过  $10.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 在扩容提标改造施工期间, 出水水质要达到三项V类标准。厂内建设用地紧张, 无扩地改造的条件, 而污水处理厂已满负荷运行, 也不存在分组停运改造的条件。同时, 项目建设工期紧张, 临时应急达标改造工期也包含在项目总工期内。因此, 三项V类改造需要在尽可能短的时间内完成不

停水施工,实施难度很大。

3 应急达标改造方案

3.1 应急达标处理规模

由于二期平流式二沉池、高效澄清池设计表面负荷偏高、处理能力受限,因此,结合现状污水处理厂的实际污水量和处理能力,拟将全厂设计规模由  $12.0\times10^4\text{ m}^3/\text{d}$  降至  $10.5\times10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 。考虑到项目建设工期约 2 年,经复核现状一期和二期调整处理规模后能满足现状处理水质标准。

3.2 生化处理系统挖潜改造

考虑到一、二期氧化沟处理能力不足,拟对一、二期氧化沟进行综合改造。

① 处理水量分配。结合各处理单元的实际处理能力,同时减少应急改造工程量,考虑将一期氧化沟(单组)由  $2.5\times10^4\text{ m}^3/\text{d}$  调整为  $2.3\times10^4\text{ m}^3/\text{d}$  运行,二期氧化沟由  $4.5\times10^4\text{ m}^3/\text{d}$  调整为  $3.6\times10^4\text{ m}^3/\text{d}$  运行,总处理规模为  $10.5\times10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 。

② 调整氧化沟的曝气方式。曝气方式由表面曝气改为表面曝气与底部曝气相结合的方式。底部曝气的风机考虑利旧,调用已停用 BAF 滤池配套的风机,风机类型为罗茨鼓风机,共 4 台,其中 3 台风量为  $80\text{ m}^3/\text{min}$ 、风压为  $0.07\text{ MPa}$ 、功率为  $160\text{ kW}$ ,另外 1 台风量为  $50\text{ m}^3/\text{min}$ 、风压为  $0.07\text{ MPa}$ 、功率为  $90\text{ kW}$ 。考虑 4 台风机全开,气水比约 4:1,结合一期转碟曝气器、二期转盘曝气器一起使用,曝气量基本可以满足要求。由于一期、二期氧化沟水深不一致,在二期风管末端增加减压阀,以满足一期供气风压的要求。

③ 调整氧化沟分区。将氧化沟设计或改造成脱氮除磷工艺,关键是要按照生物同步脱氮除磷工艺确定各沟渠相应的参数、功能分区和操作方式的选择,通过人为设置厌氧区、缺氧区和好氧区,使之变成具有脱氮除磷功能的氧化沟<sup>[3]</sup>。因此,考虑将一期氧化沟外沟改为缺氧区和交替区,中沟和内沟作为好氧区。改变原水流方向,封堵外沟到中沟可能造成短流的进水孔,增加不停水安装的推流器及搅拌器。二期氧化沟减量至  $3.6\times10^4\text{ m}^3/\text{d}$  运行,总停留时间为  $20.25\text{ h}$ ,厌氧区为  $2.5\text{ h}$ ,缺氧区为  $3.75\text{ h}$ ,好氧区为  $14.0\text{ h}$ 。因缺氧段容积稍显不足,故拟将好氧区约  $4.5\text{ h}$  池容调整为缺氧区,增加推流器,缺氧段停留时间调增为约  $8.25\text{ h}$ 。

④ 增加内回流。增加硝化液回流,设计回流比为 350%。

一、二期氧化沟应急改造设计参数见表 3。

表 3 一、二期氧化沟应急改造设计参数

Tab.3 Design parameters of phase I & II oxidation ditch emergency transformation

构筑物	数量及规模	改造后设计参数
一期奥贝尔氧化沟	3 组,单组 $2.3\times10^4\text{ m}^3/\text{d}$	有效池容 $18\,520\text{ m}^3$ ;总停留时间 $19.33\text{ h}$ ,其中:厌氧区 $1.2\text{ h}$ ,缺氧区和交替区 $8.8\text{ h}$ ,好氧区 $9.33\text{ h}$ ;污泥负荷 $0.058\text{ kgBOD}_5/(\text{kgMLSS}\cdot\text{d})$ ;污泥浓度 $4.5\text{ kgTSS}/\text{m}^3$ ;设计泥龄 $15.7\text{ d}$ ;污泥产率系数 $1.1\text{ kgTSS}/(\text{kgBOD}_5\cdot\text{d})$ ;污泥内回流比 350%(好氧-缺氧);污泥外回流比 100%;气水比 7.5:1
一期二沉池	3 组,单组 $2.3\times10^4\text{ m}^3/\text{d}$	单池尺寸: $\varnothing\times H=42.0\text{ m}\times4.55\text{ m}$ ;平均表面负荷: $0.69\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ;沉淀时间: $4.15\text{ h}$ ;污泥回流比: 100%
二期卡鲁塞尔氧化沟	1 座 2 组,单组 $3.6\times10^4\text{ m}^3/\text{d}$	有效池容 $30\,375\text{ m}^3$ ;总停留时间 $20.25\text{ h}$ ,其中:厌氧区 $2.5\text{ h}$ ,缺氧区 $8.25\text{ h}$ ,好氧区 $9.5\text{ h}$ ;污泥负荷 $0.055\text{ kgBOD}_5/(\text{kgMLSS}\cdot\text{d})$ ;污泥浓度 $4.5\text{ kgTSS}/\text{m}^3$ ;设计泥龄 $16.5\text{ d}$ ;污泥产率系数 $1.1\text{ kgTSS}/(\text{kgBOD}_5\cdot\text{d})$ ;污泥内回流比 350%(好氧-缺氧);污泥外回流比 100%;气水比 7.5:1
二期平流式二沉池	1 座, $3.6\times10^4\text{ m}^3/\text{d}$	单池尺寸: $L\times W\times H=66.0\text{ m}\times23.0\text{ m}\times4.5\text{ m}$ ;平均表面负荷: $1.01\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ;沉淀时间: $3.87\text{ h}$ ;污泥回流比: 100%

3.3 不停水施工方案

因该污水处理厂已处在正常运行期,不具备停水改造的条件,故本次应急达标改造需采用不停水施工。

① 底部曝气器采用可提升曝气器,近期作为应急工程使用,满足不停水施工要求,待具备停水改造条件后,将曝气器作为永久工程固定安装,拆除可提升支架。

② 潜水搅拌器、潜水推进器选用可不停水施工的形式。

③ 内回流泵采用高支架安装的形式。

内回流泵不停水安装示意图 1。

除上述应急改造措施外,按永久工程要求采购

带式脱水机及加药系统,满足应急达标要求。同时增加临时碳源、硝化菌剂、反硝化菌剂、微纳米絮凝剂等投加系统,进一步确保出水水质达标。

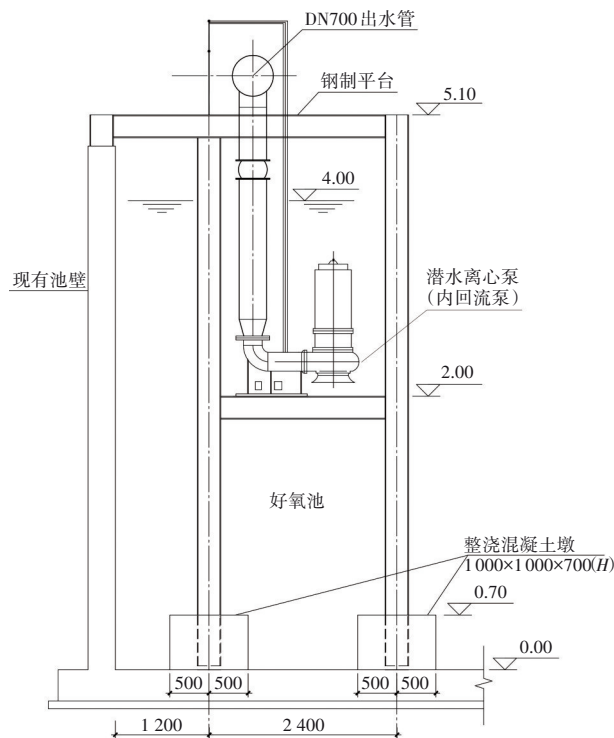


图1 内回流泵不停水安装

Fig.1 Installation diagram of internal reflux pump

#### 4 改造后的实际运行效果

该改造工程于2021年6月开始实施,经安装、调试,8月13日正式完成改造,总投资超过700万元。截至2021年10月底,该污水处理厂实际运行对主要污染物(COD、BOD<sub>5</sub>、SS、NH<sub>3</sub>-N、TN和TP)的去除效果如表4、图2所示。

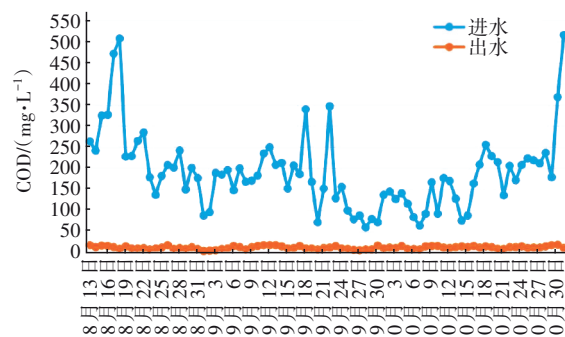
表4 应急改造后实际进、出水水质

Tab.4 Actual influent and effluent quality after

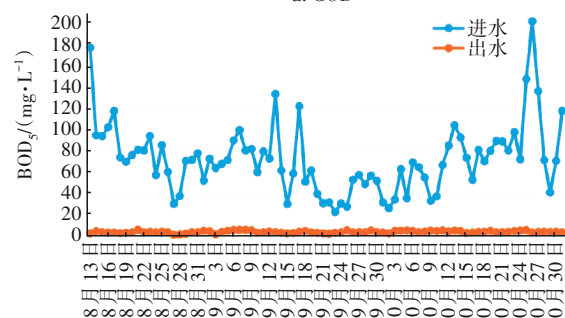
emergency transformation

mg·L<sup>-1</sup>

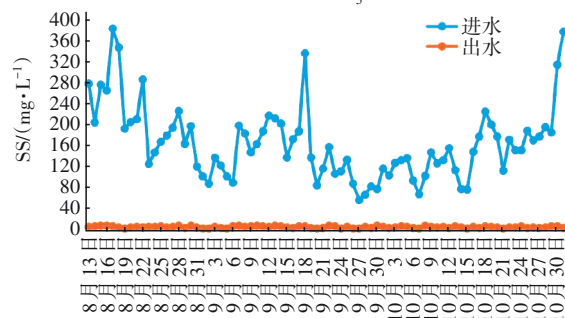
项目	COD	BOD <sub>5</sub>	SS	NH <sub>3</sub> -N	TN	TP
设计进水水质	≤400	≤200	≤200	≤40	≤50	≤6
实际95%覆盖率进水水质	350	135	320	43	50	5.4
实际进水平均水质	191.2	72.1	167.7	29.7	36.0	2.4
设计出水水质	≤40	≤10	≤10	≤2.0	≤15	≤0.4
实际100%覆盖率出水水质	20.0	5.9	10.0	1.94	14.9	0.39
实际出水平均水质	12.1	4.0	7.5	0.7	11.8	0.2



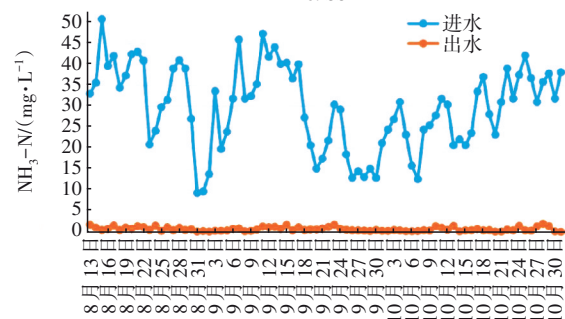
a. COD



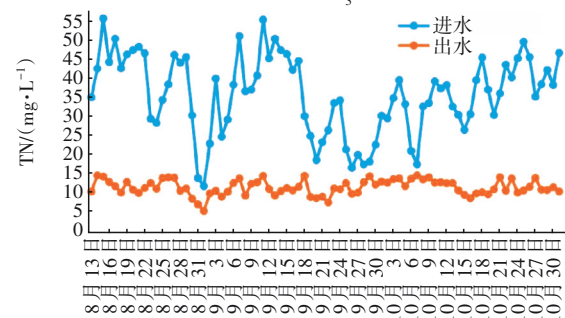
b. BOD<sub>5</sub>



c. SS



d. NH<sub>3</sub>-N



e. TN



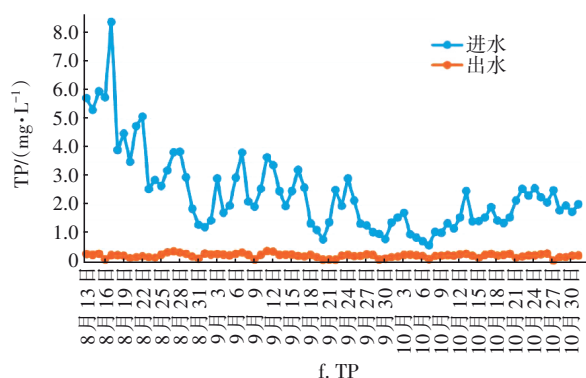


图2 实际进、出水COD、BOD<sub>5</sub>、SS、NH<sub>3</sub>-N、TN、TP

Fig.2 Actual influent and effluent COD, BOD<sub>5</sub>, SS, NH<sub>3</sub>-N, TN, TP

从实际运行数据来看,受山西夏季降雨量较多的影响,进水水质较去年有所下降,但出水水质在临时应急改造工程完成后,通过精细化运营,基本上能稳定达标,未发生出水超标的情况,达到了预期目标。

## 5 结论

对山西省某污水处理厂实际运行中存在的主要问题进行了分析,提出了不停水技术改造方案,实施改造后取得了预期的效果,对类似污水处理厂提标改造具有实际借鉴作用。

① 提标改造难点和关键点分析。对于提标改造类项目,应对现状设施运行情况进行调查分析,复核现状处理构筑物的能力及关键出水指标,梳理清楚提标改造的难点和关键点。

② 临时工程与永久工程的结合。建议在充分论证现有处理设施能力与处理规模匹配的前提下,确定临时工程的处理规模。充分利用已有设施和设备,在满足出水达标要求的条件下,减少改造工程量,降低工程投资。

③ 生化处理系统的挖潜改造。通过将氧化沟表面曝气改为底部曝气、调整氧化沟分区、增加

内回流等措施,提高曝气效率,强化硝化和反硝化反应,从而提高氧化沟的脱氮除磷效果。

④ 制定合理的不停水施工方案。采用可提升式曝气器、可提升式潜水搅拌机及潜水推进器,内回流泵采用高支架安装等形式,可以满足不停水施工要求。

## 参考文献:

- [1] 柴春省,张伟. 奥贝尔氧化沟节能降耗强化脱氮工艺改造工程实例[J]. 水处理技术, 2021, 47(8): 132-136.  
CHAI Chunsheng, ZHANG Wei. Reconstruction engineering project of Orbal oxidation ditch energy saving to enhance denitrogenation process [J]. Technology of Water Treatment, 2021, 47(8): 132-136 (in Chinese).
- [2] 闫法龙. 奥贝尔氧化沟工艺改造成AAO工艺的反硝化脱氮实例分析[J]. 山西化工, 2021(6): 253-255.  
YAN Falong. Analysis of nitrogen removal of denitrification of Orbal oxidation ditch process transformed into AAO process [J]. Shanxi Chemical Industry, 2021(6): 253-255 (in Chinese).
- [3] 邵宏文. 奥贝尔氧化沟脱氮除磷改造特点[J]. 水科学与工程技术, 2019(4): 18-20.  
SHAO Hongwen. Orbal oxidation ditch modified by nitrogen and phosphorus removal from conventional activated sludge process [J]. Water Sciences and Engineering Technology, 2019(4): 18-20 (in Chinese).

作者简介:顾雪锋(1979-),男,江苏常熟人,硕士,高级工程师,主要从事给排水设计、技术咨询及支持工作。

E-mail: guxuefeng@bewg.net.cn

收稿日期:2022-02-09

修回日期:2022-03-19

(编辑:衣春敏)

全面推行河长制湖长制,维护河湖健康生命