

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.10.014

石洞口污水处理厂海绵化改造工程实践

生 骏¹, 沈 超², 钱 露¹

(1. 上海市市政工程设计研究总院<集团>有限公司, 上海 200092; 2. 海宁市水务投资集团有限公司, 浙江 海宁 314400)

摘 要: 石洞口污水处理厂存在雨水系统重现期标准低、初雨径流污染关注度高的问题。经比选,推荐采用海绵化改造方案,综合运用新建湿塘、雨水花园、植草沟、建筑雨水管断接、透水路面改造等措施,实现全厂雨水系统的提标控污。尾水区为改造重点,采用就地滞蓄和转输调蓄相结合的方式改造,并建设以湿塘等绿色调蓄设施为核心的海绵集成设施,通过雨天和旱天运行模式的切换,实现雨水调蓄和尾水展示的功能。通过海绵化改造,全厂可实现年径流总量控制率75%及污染物去除率55%的目标,雨水系统重现期提高至3年一遇。

关键词: 海绵化改造; 提标控污; 集成设施; 绿色调蓄

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2022)10-0090-05

Practice of Sponge Transformation in Shidongkou Wastewater Treatment Plant

SHENG Jun¹, SHEN Chao², QIAN Lu¹

(1. Shanghai Municipal Engineering Design Institute <Group> Co. Ltd., Shanghai 200092, China; 2. Haining Water Investment Group Co. Ltd., Haining 314400, China)

Abstract: There are some problems in Shidongkou wastewater treatment plant, such as low design standard of rainwater system return period and high concern of initial rainwater runoff pollution. After comparison, the sponge transformation scheme was recommended, and the upgrading and pollution control of the entire rainwater system was achieved by comprehensively using the newly-built wet pond, rainwater garden, grass swale, building rainwater pipe disconnection, permeable pavement reconstruction and other measures. The tail water area was the focus of the reconstruction. The combination of on-site retention and transferred storage was adopted for reconstruction, and sponge integrated facilities represented by wet ponds and other green storage facilities were built. Therefore, the function of rainwater storage and tail water display was realized by switching between the operation mode in wet weather and dry weather. After the sponge transformation, the total annual runoff volume capture rate of 75% and pollutant removal efficiency of 55% were achieved in the whole plant, and the return period was increased to 3-year return period.

Key words: spongy transformation; upgrading and pollution control; integrated facilities; green storage

近年来,海绵城市理念在小区、学校、工业厂房、市政道路等改造项目中应用广泛,取得了良好效果^[1-4]。污水处理厂作为重要的市政水处理基础

设施,也应践行海绵城市理念。上海市石洞口污水处理厂即针对地块特点及需求进行了海绵化改造设计。

1 污水厂概况及改造背景

石洞口污水处理厂位于上海市宝山区,污水处理规模为 $40\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中的一级A标准,采用“沉砂+一体化生物反应池+高效沉淀池+反硝化深床滤池+次氯酸钠消毒”污水处理工艺^[5];污泥处理规模为200 tDS/d,处理对象是石洞口片区内所有污水厂的污泥,采用“脱水+干化+焚烧”工艺。石洞口污水处理厂建成区总占地面积约43 hm²,以杨盛河、随塘河、煤水路为界,主要分为厂前区、尾水区、污水区、污泥区、污泥二期等5块区域。厂区内采用雨污分流制。雨水管道分四路,最终汇总至位于污水区的5号泵站外排放江。

石洞口污水厂厂区平面布局及现状雨水管道走向如图1所示。

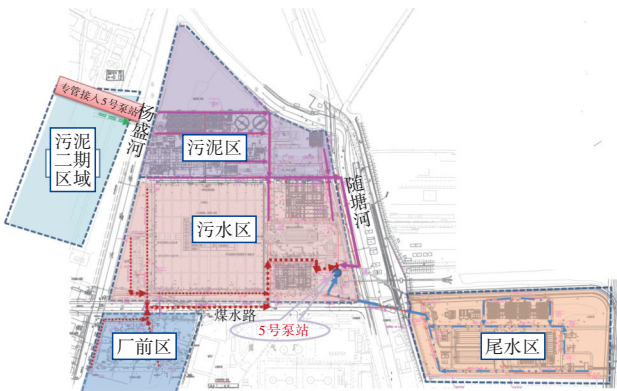


图1 石洞口污水厂现状雨水管道走向
Fig.1 Direction of current rainwater pipeline in Shidongkou WWTP

石洞口污水厂雨水系统存在一低一高两大问题,需要针对性地改造完善。一是雨水管网重现期标准过低,存在内涝风险。除污泥二期区域于2018年新建,雨水管网按重现期3年一遇的标准建设外,其余厂区的雨水管道大部分建成于2001年。按现行室外排水设计标准复核,污水区、污泥区及尾水区雨水管网的重现期不足1年一遇,厂内多次发生内涝积水的情况。二是径流污染放江关注度高,存在环保督察风险。5号泵站原有功能包括排放石洞口污水厂厂区雨水以及超出污水厂处理能力的应急溢流污水。环保督察要求整改,杜绝溢流污水放江现象。在此背景下,5号泵站排水受到高度关注,虽已整改到位,泵站仅保留厂区雨水排放功能,但仍希望能进一步削减初期雨水径流污染。

2 海绵化改造总体方案

2.1 海绵化改造方案论证

为解决石洞口污水厂雨水系统的现实问题,需对其进行提标控污。将全厂雨水系统重现期提标至3年一遇,并对初雨径流污染进行控制。为此,考虑了两个方案。

方案一为新建灰色设施,包括翻排雨水管道+新建初雨调蓄池。经测算,需翻排管径DN400~DN1 350的雨水管道共计约2.9 km。同时,按上海市分流制区域5 mm的初期雨水截流量计,需新建一座调蓄容积约2 100 m³的调蓄池。初期雨水经调蓄后,最终送至污水处理厂处理排放。

方案二为绿灰结合,以绿为主。对石洞口全厂进行海绵化改造,通过新建海绵设施,结合部分现状管道破损区域的管道翻排,共同实现提标控污。

两方案的比选如表1所示。鉴于方案二能够响应国家政策,投资较省,且具有一定景观效果,最终确定采用方案二进行海绵化改造。

表1 提标控污方案比选

Tab.1 Comparison and selection of upgrading and pollution control schemes

项 目	方案一	方案二
方案内容	新建灰色设施	绿灰结合,以绿为主
是否响应政策	未响应海绵城市建设政策	响应海绵城市建设政策
新占现状绿化面积/ m ²	约500	无
径流污染削减效果	较好	较好
提标效果	3年一遇	3年一遇
景观效果	较差	较好
施工难度	较大	较小
工期	较长	较短
投资/万元	约8 900	约3 800
结论	不推荐	推荐

2.2 海绵化改造指标

根据《上海市水务设施(厂/站)海绵城市建设技术导则》(SSH/Z 10016—2018)的要求,结合石洞口污水厂情况,确定全厂海绵化改造的指标为:年径流总量控制率 $\geq 75\%$,污染物去除率 $\geq 55\%$ 。鉴于石洞口厂内各分区的本底情况(如绿化率等)不同,对海绵设施改造有一定制约。以因地制宜、系统达标为原则,对各分区设定不同的海绵化指标。绿化率较高、改造条件较好的区域适当提高指标,反之则

适当降低指标,具体如表2所示。

表2 各分区海绵指标

Tab.2 Sponge indicators of each division

分区	现状绿化率/%	年径流总量控制率/%	污染物去除率/%	对应降雨量/mm
全厂	47	≥75	≥55	≥22.2
厂前区	85	85	60	33.0
尾水区	61	85	60	33.0
污泥二期	30	75	55	22.2
污水区	25	70	45	18.7
污泥区	10	70	45	18.7

2.3 各分区海绵化改造设计

① 海绵设施所需调蓄容积计算

采用容积法计算各分区海绵设施所需调蓄容积:

$$V=10H\Psi F \quad (1)$$

式中: V 为设计调蓄容积, m^3 ; H 为设计降雨量, 取各分区年径流总量控制率对应的降雨量, mm ; Ψ 为综合径流系数, 按各分区现状下垫面情况综合计算; F 为汇水面积, 取各分区占地面积, hm^2 。

根据式(1), 各分区海绵设施所需调蓄容积如表3所示。

表3 各分区海绵设施调蓄容积

Tab.3 Storage capacity of sponge facilities of each division

分区	对应降雨量/mm	综合径流系数	汇水面积/ hm^2	海绵设施所需调蓄容积/ m^3
厂前区	33.0	0.22	11.18	811.6
尾水区	33.0	0.32	7.35	776.2
污泥二期	22.2	0.56	5.0	621.6
污水区	18.7	0.34	12.3	782.0
污泥区	18.7	0.58	7.2	780.9

② 各分区海绵化改造策略

分区海绵化改造, 应在满足海绵化指标及所需调蓄容积的基础上, 基于各分区实际情况做差异化针对性改造。

厂前区现有一座景观池塘, 已基本满足海绵改造所需调蓄容积, 且经复核, 雨水管网重现期已达到3年一遇。因此, 厂前区改造的重点是充分结合现状设施做海绵化微改造。包括结合现状池塘调整局部管道, 扩大池塘收集雨水范围, 强化海绵效果; 结合破损路面的修复做透水铺装及透水停车场; 建筑物雨水管断接并新增屋顶雨水利用装

置等。

尾水区现状雨水管网重现期标准较低(不足1年一遇), 而且雨水管最终需穿越随塘河排至5号泵站, 而现状穿河管廊内现有各类管线共计22根, 已无扩大雨水管管径的空间, 从而导致尾水区内涝风险较为突出, 因此是本次全厂海绵化改造的重中之重。

污泥二期是石洞口厂近年来新扩建的区域。扩建时雨水管网重现期已按3年一遇建设, 且考虑了海绵城市建设的需求, 预留了相关建设条件。因此, 污泥二期的侧重点是综合利用雨水花园、植草沟、绿色屋顶、透水路面等海绵化措施, 实现新建设施中的海绵融合。

污水区、污泥区的现状情况较为类似。建成年代久远, 现状雨水管网重现期不到1年一遇, 且存在一定程度的破损。因此, 污水污泥区主要是结合厂内破损管道翻修工程, 相应实施透水路面改造, 并利用现状建(构)筑物及道路之间的分散绿地, 建设雨水花园、植草沟、高位花坛等, 实现雨水管网重现期提标及区域海绵化改造。

3 重点区域(尾水区)海绵化改造设计

3.1 改造方案

尾水区东西长约385~420 m, 南北宽约170 m, 呈倒梯形。现状地坪高差在0.1~0.15 m左右, 地形相对平缓。现状雨水管网敷设于厂区道路下, 自东向西收集雨水, 最终在地块西北侧汇集, 穿越随塘河后排放至5号泵站。

根据现状雨水管网的上下游服务范围, 将尾水区划分为西侧就地滞蓄区和东侧输送调蓄区两大块, 分别进行海绵化改造设计。两区占地面积分别为3.51、3.84 hm^2 , 如图2所示。

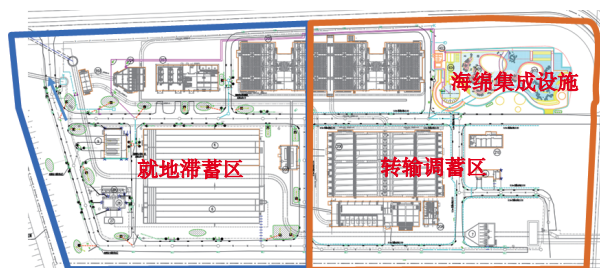


图2 尾水区总体布局示意

Fig.2 Schematic diagram of the overall layout of the tail water area

西侧就地滞蓄区利用空地分散新建雨水花园、

植草沟等海绵设施,雨水通过雨水花园、植草沟等海绵设施就地滞蓄净化后排入现状雨水管道。东侧转输调蓄区新建以湿地及湿塘为核心的海绵集成设施。调蓄区内的雨水集中转输至该设施调蓄储存,通过以湿地及湿塘为主的绿色调蓄措施实现尾水区雨水系统的提标,所需调蓄容积约为 1 180 m³(单位面积调蓄深度取上海 3 年一遇 1 h 降雨量 51.2 mm)。

尾水区的主要海绵设施及相关设计参数如表 4 所示。

表 4 尾水区海绵设施参数

Tab.4 Parameters of sponge facilities of the tail water area

海绵设施	设施规模	最大有效水深/m	设施控制量/m ³	污染物去除率/%
雨水花园	总占地面积 947 m ² ,深度 0.35 m,边坡坡度 1:3	0.3	245	80
植草沟	长 652 m,倒三角形断面,顶宽 1.5 m,最大深度 0.25 m	0.2	78	70
湿地	总占地面积约 820 m ²	0.5	290	70
湿塘	总占地面积约 1 410 m ²	1.5	1 480	70

3.2 海绵集成设施设计

有别于常规海绵改造项目分散设置单项海绵设施(如雨水花园、生态树池、湿塘等)的做法,本次海绵化改造设置了一处海绵集成设施,承载复合型的功能。一是集成相关海绵技术设施,作为海绵化改造的集中参观展示点。二是调蓄尾水区约 3.84 hm²的雨水,实现尾水区雨水系统提标。三是在旱天作为污水厂经处理达标后的尾水展示。

海绵集成设施平面布置如图 3 所示。由于该区域北侧及东侧紧邻江堤,按要求退界 20 m 后为可施工范围。在此区域内集成了表流湿地、湿塘、雨水花园、生态树池、潜流湿地、高位花坛、透水铺装等多项海绵设施,并设置雨水回用泵房(兼放空泵房)及用于尾水展示的喷泉。其中表流湿地占地面积 820 m²,有效水深 0.5 m,湿塘占地面积 1 410 m²,有效水深 1.5 m,两者协同,并减去边坡及景观土堆等体积,有效调蓄容积约为 1 770 m³,可满足转输调蓄

区 3 年一遇调蓄量 1 180 m³的需求。海绵集成设施的运行主要分为旱天和雨天两种模式,如图 4 所示。旱天模式下,污水厂处理后尾水经喷泉流入表流湿地,然后溢流入湿塘(湿塘控制有效水深约 0.5 m),经放空泵房提升后回至喷泉或用于厂内绿化浇洒等;雨天模式下,收集的雨水经潜流湿地处理后流入湿塘调蓄储存,当湿塘有效水深达到设计值 1.5 m 时,雨水可进入表流湿地储存。在雨停后,表流湿地及湿塘内储存的雨水可通过放空泵房回用,也可利用现状雨水管道排放。在应急情况下,可将雨水泵送至污水厂深度处理单元前(中间提升泵房),通过污水处理设施外排。



图 3 海绵集成设施平面

Fig.3 Sponge integrated facilities plan

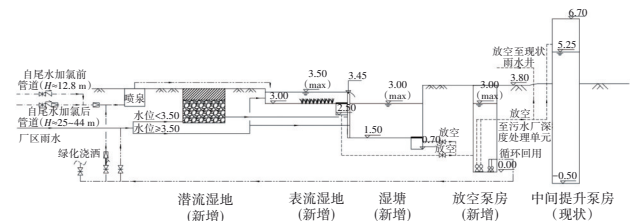


图 4 海绵集成设施流程

Fig.4 Flow chart of the sponge integrated facilities

4 运行效果及效益分析

改造完成后,全厂雨水系统重现期由不足 1 年一遇提高至 3 年一遇,完工至今未再发生内涝情况。全厂年径流总量控制率及污染物去除率分别达到 75% 及 55% 以上。

海绵化改造后,厂区整体景观风貌也有进一步提升,如图 5 所示。

经核算,作为改造重点的尾水区共花费 740 万元(折合单位指标约为 100.68 元/m²),与同等效果下新建灰色设施方案相比,约节省 50% 以上的工程投资。



图5 海绵集成设施实景

Fig.5 Real view of sponge integrated facilities

5 结语

在本次改造实践中有两点心得:一是污水厂根据功能分区不同,厂区各地块的现状情况迥异,海绵化改造应在全厂系统达标的前提下,根据地块实际情况设定不同的海绵化指标及改造策略,不搞全厂一刀切;二是针对污水厂的需求进一步拓展海绵设施的功能,例如尾水展示、厂容厂貌景观提升、海绵科普展示等。为此,可以统筹单项海绵设施,打造具有复合型功能的海绵集成设施。

本次改造实践也存在一处不足,体现在海绵设施选择的植物在秋冬季的景观效果不佳。建议在后续类似项目设计中进一步优化植物选择,搭配不同花期的植物,打造具有长期景观效果的“景观海绵”。

参考文献:

- [1] 魏媛媛,李玲,阎轶婧,等. 海绵城市规划建设中的老旧小区改造方案探讨——以潍坊新村为例[J]. 净水技术,2018,37(10):118-123.
- WEI Yuanyuan, LI Ling, YAN Yijing, *et al.* Exploration of old community reconstruction scheme under sponge city planning and construction: case study of Weifang community [J]. Water Purification Technology, 2018, 37(10): 118-123(in Chinese).

- [2] 刘龙志,文韬,马竞,等. 海绵城市试点山地型校园海绵化改造方法实践[J]. 中国给水排水,2019,35(12):71-76.

LIU Longzhi, WEN Tao, MA Jing, *et al.* Practice of sponge transformation method of mountainous type campus in sponge city [J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(12): 71-76(in Chinese).

- [3] 黄黛诗,王宁,吴连丰,等. 海绵城市理念下既有工业厂区建设方案研究[J]. 给水排水,2019,45(11): 63-66,73.

HUANG Daishi, WANG Ning, WU Lianfeng, *et al.* Research on the construction scheme of industrial factories based on sponge city concept [J]. Water & Wastewater Engineering, 2019, 45(11): 63-66, 73 (in Chinese).

- [4] 解铭,杨智,周杨军,等. 上海临港新城道路改造海绵城市设计方案[J]. 中国给水排水,2020,36(20): 137-142.

XIE Ming, YANG Zhi, ZHOU Yangjun, *et al.* Sponge city design scheme of road reconstruction in Shanghai Lingang New-city District [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(20): 137-142(in Chinese).

- [5] 胡维杰,周友飞. 上海市石洞口污水处理厂提标改造工程设计[J]. 中国给水排水,2018,34(10):43-47.

HU Weijie, ZHOU Youfei. Process design for upgrading and reconstruction of Shanghai Shidongkou WWTP [J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(10): 43-47 (in Chinese).

作者简介:生骏(1981-),男,上海人,硕士,高级工程师,注册公用设备(给水排水)工程师,注册环保工程师,注册咨询工程师,主要从事给排水、污泥处理的工程设计及研究工作。

E-mail:shengjun@smedi.com

收稿日期:2021-06-30

修回日期:2021-10-29

(编辑:孔红春)