

设计经验

DOI: 10. 19853/j. zgjsps. 1000-4602. 2024. 06. 010

# 长距离尾水排江管工艺设计

龚晓露

(上海市市政工程设计研究总院<集团>有限公司, 上海 200092)

**摘要:** 上海某污水处理厂扩建后规模达到 $40 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 新建尾水永久排放管工程排放全量出水至长江新大堤外, 在江底做深水排放。通过分析附近长江口区域的地形、水文、通航、环境影响等条件, 选取了陆域段5.35 km和水域段1.91 km的排放路由。该工程包括2根DN2 400陆域管和2根DN2 000水域正常排放管以及1根应急排放管, 二次穿越长江大堤, 水域段采用钢管顶管施工, 并设置上升管和排放喷口。排放管已建成并投入使用, 效果良好, 为改善地区水环境起到了重要作用, 可以为类似工程提供参考借鉴。

**关键词:** 污水处理厂; 尾水; 排江管; 排放口; 路由; 扩散器

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2024)06-0053-07

## Process Design of Long-distance Tail Water Drainage Pipe

GONG Xiao-lu

(Shanghai Municipal Engineering Design Institute <Group> Co. Ltd., Shanghai 200092, China)

**Abstract:** The scale of a sewage treatment plant in Shanghai reached  $40 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  after expansion, and the new permanent tail water discharge pipe project discharged all the effluent to the bottom of the Yangtze River outside the new levee. The discharge route of 5.35 km in land area and 1.91 km in water area section was selected by analyzing the topography, hydrology, navigation and environmental impact and other conditions of the nearby Yangtze River estuary. The project consisted of 2 underground pipes with diameter of DN2 400, 2 underwater discharge pipes with diameter of DN2 000 and 1 emergency discharge pipe, which crossed the Yangtze River embankment twice. The pipes in water section were constructed with steel pipe jacking and were equipped with rising pipe and discharge nozzle. The discharge pipe has been built and put into use with good performance, which plays an important role in improving the regional water environment and provides reference for similar projects.

**Key words:** sewage treatment plant; tail water; drainage pipe to river; discharge outlet; route; diffuser

沿长江建设的大型城市污水处理厂多采用尾水排江方式, 处理后的尾水经管道输送至江堤处的岸边进行排放或穿越江堤经水下扩散排放, 排放位置和形式取决于地区水文地质情况、水体稀释扩散条件、通航条件、堤防安全等一系列因素, 方案比选和设计比较复杂<sup>[1-4]</sup>。

上海某污水处理厂新建尾水排放工程, 总体排放路径较长, 通过对排放路由和排放形式的多方案比选, 最终确定了陆域和水域排放管方案。经过近2年的工程建设, 目前使用正常, 效果良好。

### 1 项目概况

上海某污水处理厂位于浦东新区, 现状排放管

规模为 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,为临时岸边排放形式,随着东滩滩涂资源开发利用规划的实施,新圈围大堤即将合龙,届时现状临时排放口将无法使用。

在长江新圈围大堤合龙之前,需根据环保要求和规划条件建设新的排放口。新建尾水永久排放管的工程规模为 $40 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,与污水处理厂扩建后的规模相匹配。尾水排放管工程分为陆域段和水域段两部分,陆域段沿出厂道路至新圈围大堤新建2根DN2 400的排放管,路径长度约5.35 km;水域段新建2根DN2 000的排放管,为水下深水扩散器形式,长度约1.91 km,同时平行新建1根DN2 000的应急排放管。

项目总体布置见图1。



图1 工程总体布置

Fig.1 Layout of the project

## 2 路由选择

### 2.1 排放管路由选择原则

对远离岸线的排放管水上路由的选择,需遵循以下原则:

- ① 排放口位置的选择首先要符合区域水(环境)功能区划。
- ② 排放口应选择稀释扩散效果更好的位置,例如水流畅通、流速大、水体深的水域。
- ③ 排放口的选址应考虑生态环境,不得影响鱼类洄游通道,不得影响混合区外邻近功能区的使用功能。
- ④ 排放口的选址尽可能靠近污水厂本体,减少排放管长度,以降低工程造价及运行费用。
- ⑤ 排放口处的河床需稳定且冲淤幅度小。
- ⑥ 排放口的选址还需综合考虑总体规划和航运要求等外界因素的制约。

项目区域条件复杂,根据以上原则,对排放管路由的选择开展了环境影响评价、航道通航条件影响评价、现场水文泥沙测验、洪水影响评价、入河排污口设置等多项专题论证,从而形成水上路由布置

综合分析,以明确排放管的水上路由。

### 2.2 排放口环境影响评价

工程排放的尾水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准,排放水体为长江。环境影响评价通过数学模型工具,开展了排放口对初始水文动力环境、尾排水对水文动力环境、水质以及敏感目标的影响分析。结论如下:排放口位置方案符合水(环境)功能区划,项目对长江水质环境(包括敏感目标九段沙湿地国家级自然保护区)的影响非常小,方案可行。

### 2.3 通航条件影响分析

项目排放口区域位于长江南槽航道,通航条件影响评价综合考虑《航道法》对航道保护要求、南槽航道发展规划、航道富余宽度要求、海事部门对航行安全的要求以及航道边线上航标随潮流作用漂浮范围等综合因素,确定排放口最外端距离南槽小船航道边线500 m以外范围为相对适合的区域(见图2)。工程运营期应在排水口上方设立警戒灯桩,确保工程安全及周边水域内船舶的航行安全。

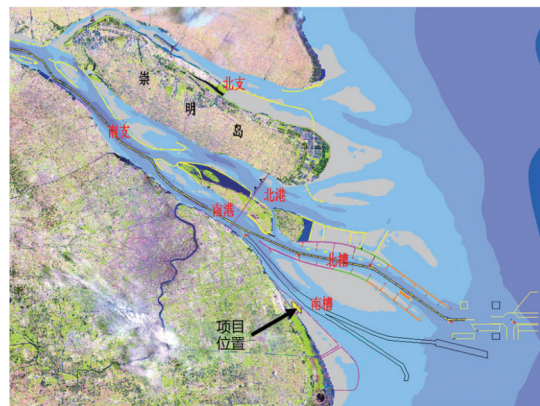


图2 排放口位置与长江航道的关系

Fig.2 Relationship between the location of discharge outlet and the Yangtze River channel

### 2.4 水文地质情况

根据工程现场水文泥沙测验成果报告,对拟建水域的水文泥沙情况、岸滩稳定性进行了模拟和分析。拟建水域所处的长江口径流量年际间变化相对比较平稳,输沙量自20世纪80年代以来,呈明显的减小趋势。岸滩冲淤演变特征分析表明,近年来河势较为稳定,河床总体呈微冲态势,年冲刷幅度在10 cm以内。受周边在建工程的影响,未来工程区段岸滩可能继续保持总体稳定并略有冲刷的态势。

2.5 排放管水上路由的确定

在环境允许的前提下,受新大堤外约 1 km 长的规划丁坝影响,排放管的布置需远离丁坝范围,防止淤积;受航道影响,排放管外端距小船航道边线不小于 500 m;综合分析后明确排放口设置在距离新大堤外 1.7 km 处,水域管道长度为 1.91 km,穿堤管轴线垂直于南汇东滩新建堤线。

3 排放管工艺设计

3.1 设计流量和工程分组

参考《污水排海管道工程技术规范》(GB/T 19570—2017),污水厂尾水排放管要求按照远期规模设计,远期规划期最少为 20 年。排放管的排放能

力应按远期污水量设计,近期为达到自净流速应采用间歇排放。

项目工程总规模为  $40\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,若仅设计 1 根尾水排放管会导致管径过大,施工难度大且成本高,抗事故风险能力差。本项目属于大型污水处理工程,还应考虑尾水管的事故工况。因此设计尾水管分组采用“2+2”方案,即陆域段新建 2 根尾水管,水域段新建 2 根尾水管+1 根应急排放管。由于长江大堤缺乏岸边排放条件,排放口需远离丁坝范围,因此本工程的应急排放管与正常排放管长度相同,均为距离新大堤外约 1.7 km 处做深水排放。设计流量与管道配置对应关系见表 1。

表 1 设计流量和排放管配置对应关系

Tab.1 Corresponding relationship between designed discharge flow rate and discharge pipe configuration

项目	设计规模/ ( $10^4\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$ )	变化系数	设计流量/ ( $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ )	陆域段 DN2 400			水域段 DN2 000					全程水头损失/m	备注
				管道数量/根	单根流量/ ( $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ )	主管流速/ ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )	管道数量/根	单根流量/ ( $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ )	主管流速/ ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )	上升管流速/ ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )	喷口流速/ ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )		
近期平均流量工况	20	1.0	2.31	1	2.31	0.51	1	2.31	0.74	1.15	2.30	3.24	近期校核
近期高峰流量工况	20	1.5	3.47	1	3.47	0.77	1	3.47	1.11	1.73	3.46	6.83	近期校核
远期平均流量工况	40	1.0	4.63	2	2.31	0.51	2	2.31	0.74	1.15	2.30	3.24	设计工况
远期高峰流量工况	40	1.5	6.94	2	3.47	0.77	2	3.47	1.11	1.73	3.46	6.83	设计工况
远期平均事故流量工况	40	1.0	4.63	1	4.63	1.02	2	2.31	0.74	1.15	2.30	5.31	设计检修工况
远期高峰事故流量 1 工况	40	1.5	6.94	1	6.94	1.54	3	2.31	0.74	1.15	2.30	8.74	设计检修工况
远期高峰事故流量 2 工况	40	1.5	6.94	1	6.94	1.54	2	3.47	1.11	1.73	3.46	11.45	检修最不利工况

3.2 陆域段设计

陆域段排放管为污水厂出水泵房到新大堤处高位井前的管道,长度约 5.35 km,设计为双管,单根管径 DN2 400,两根管道通过厂内出水泵站的阀门切换控制。

由出水泵房至主江堤内道路北侧绿化带敷设 2 根 DN2 400 管道,每根长度约为 1 980 m,施工方式为开槽埋管;穿越主江堤段长度约 200 m,为下倒虹管形式,采用顶管施工,堤顶处覆土为 15 m;主江堤至新大堤的吹填区域,长度约为 3 170 m,采用桩基钢筋混凝土 U 形管槽形式。陆域段管道示意如图 3 所示。

陆域段管道附属设施包括穿越主江堤的顶管井、透气阀井等,透气阀井选用 DN300 透气阀,配套软密封闸阀、Y 型过滤器、缓冲阀等。按间隔 1~2 km 设置 1 处以及管道埋深剧烈变化时设置的原则,每根管道沿程设置 4 处透气阀井,共 8 座,其中 1 处位

于主江堤倒虹管前。

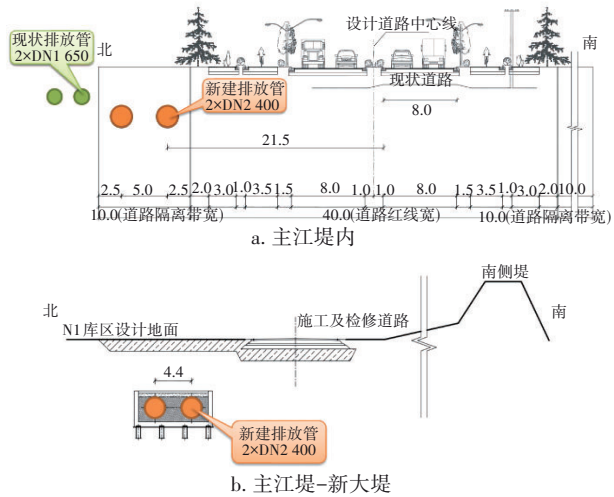


图 3 陆域段管道示意

Fig.3 Schematics of pipeline in land area

3.3 水域段设计

水域段排放管的功能是将污水输送到长江口深水区,经由上升管顶端的喷口高速喷出,使污水



迅速在江内水体中混合、稀释、扩散。排放管由排放段、扩散段、上升管及喷口组成<sup>[5]</sup>,总长度为1.91 km。

新大堤外水下地形高程逐渐降低,排放口最远端滩底高程为-5.70 m,水域段主管埋设深度需考虑穿堤安全性和水平段顶管覆土要求,并结合岸滩稳定性分析,将主管管底标高设计为-12.50 m。喷口上升管高度需保证在平均低潮位[0.85 m,采用绝对标高(吴淞高程),下同]时淹没,虽然高度越高扩散条件越好,但考虑竖管的稳定性,确定上升管标高为河床底高程+2.0 m,即-3.70 m。

厂内排放泵设计扬程按10年一遇高潮位(5.48 m)设计,按100年一遇高潮位(6.20 m)结合表1的远期高峰事故流量1工况校核,不考虑100年一遇与远期高峰事故流量2工况叠加的极端情况。

### 3.3.1 排放段设计

通过高位井的转换,水域排放管首先为2根DN2 000直段排放段,长度1 805 m。另铺设1根应急排放管,为便于施工,管径也设为DN2 000,长度相同。水域段的3根管道均采用顶管法施工,管道埋深为6.6~20.9 m。水域段顶管管材选用钢管,其焊接接口性能优越,施工进度快、摩阻系数小、承受内压大,管配件有定型产品,水下顶管的施工工艺经验成熟。钢管管材强度设计为Q355-B级,壁厚25 mm。钢管外防腐采用环氧玻璃鳞片防腐涂料,一底二面,干膜总厚度≥600 μm;钢管内防腐层选用高级铝酸盐防腐砂浆,厚度≥15 mm;同时水域段钢管采用外加电流阴极防腐措施。

### 3.3.2 扩散段设计

扩散段越长,排放口近场稀释效果越好,但工程造价也越高,同时其长度也受到航道的制约<sup>[6]</sup>。GB/T 19570—2017中扩散器长度( $L_b$ )的计算公式如下:

$$L_b = 4.27QS_c^{\frac{3}{2}}h^{\frac{3}{2}}g'^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$$g' = \frac{\rho_a - \rho_0}{\rho_0} g \quad (2)$$

式中: $Q$ 为污水排放量, $m^3/s$ ;  $S_c$ 为初始稀释度; $h$ 为污水的最大浮升高度,m; $g'$ 为折减重力加速度, $m/s^2$ ;  $\rho_a$ 为周围海水密度, $kg/m^3$ ;  $\rho_0$ 为污水密度, $kg/m^3$ ;  $g$ 为重力加速度, $m/s^2$ 。

由式(1)可知,扩散器长度与初始稀释度 $S_c$ 密

切相关。而污染物扩散的最终结果与稀释度有关,稀释度 $S$ 根据稀释输移过程的3个阶段,可分解为初始稀释度 $S_c$ 、再稀释度 $S_2$ 和后续随流稀释度 $S_3$ ,其计算如下式所示:

$$S = S_c S_2 S_3 \quad (3)$$

一般 $S_2$ 、 $S_3$ 接近于1,常不考虑,关键的指标是初始稀释度 $S_c$ 。污水上升,卷入部分海水,到达水体某一特定位置后不再上升并随流前进,此过程为初始稀释过程,过程结束处的稀释度即为初始稀释度。根据排放污水浓度、背景浓度和标准规定浓度可以对稀释度进行初步计算,当地稀释度 $S$ 的计算见下式, $S_c$ 可参考该值和环境结果确定。

$$S = \frac{C_0 - C_a}{C - C_a} \quad (4)$$

式中: $C_0$ 为排放污水污染物浓度, $mg/L$ ;  $C_a$ 为背景浓度, $mg/L$ ;  $C$ 为空间某个位置的污染物浓度, $mg/L$ 。

工程排放污水的污染物浓度参考一级A标准取值,长江口水质本底浓度为背景浓度,以COD计算得到 $S$ 为15.74。本工程排放水质较好,污染区较小,单点排放即可达到扩散要求,污染物总量和浓度均未超标。 $S_c$ 取整,按20计算可得 $L_b$ 为103 m,结合工程实施因素,最终确定扩散段长度为105 m。

扩散段沿途由于上升管的不断分流,水量递减,为了保持良好的水力条件,一般将扩散段设计成变截面形式。但变截面形式有其缺点,当采用顶管法施工时扩散段直径的改变只能通过管道内部填充一些轻质混凝土等,使之成为变截面。这样就使得施工难度较大,并且在管道内填充混凝土后,可能导致不均匀沉降和管道的柔性降低。若扩散段按等截面设计,在运行管理上可采用大流量定期冲洗的手段,以确保扩散段及上升管不被淤塞<sup>[7]</sup>,当泥砂淤积达到平衡时,从整体上会形成近似于“阶梯型”逐步上升的泥砂沉积面,届时每根上升管的出水是基本均匀的,故本工程排放管扩散段采用等截面形式。

综上,工程水域排放管扩散段管径统一为DN2 000,长度105 m。施工方式与排放管一致,采用顶管施工。

### 3.3.3 上升管及喷口设计

一般来说,上升管之间要有足够的间距,以避免相邻上升管喷射的污水相互干扰,但增大到一定

距离时,初始稀释度不会再增加。经大量模型验证可知,污水在淡水水体中排放,上升管间距应该使从相邻上升管喷口排出的污水在喷口动量消失时发生交汇,以充分利用水体<sup>[8]</sup>。参考环评及上升管间距对扩散结果的影响,最终选定4根上升管,间距为35 m。

每根上升管由喷口管节和若干段标准管节组成,污水从排放管到上升管流速呈逐渐增大趋势,有利于沉积物的排出。上升管与排放管的面积比一般为0.6~0.7,本工程上升管设计为DN800。

在既定设计流量下,喷口总面积决定了喷口流速的大小。喷口射流速度直接影响污水从喷口射流后一段距离的近场稀释及防止漂浮物靠近喷口的效果。除流速外,还应考虑污水中污染物会堵塞喷口,所以喷口直径不宜小于50 mm。根据相关物理模型实验结果,在喷口总面积不变的情况下,喷口直径越小,数量越多,稀释扩散效果越好。喷口总面积一般控制为上升管截面积的60%~70%,结合工程情况选定方案。本工程在每根上升管端部设置8个DN200喷口,分为2层,每层4个,设置在DN600的喷口管节上与DN800上升管相连。

关于污水在水体中的排放,因污水与水体之间存在温度和海水盐分引起的密度差,如喷口采用水平放置,从羽流扩散来看,羽流很快会接触到河床,其上部上升的高度也较小,对进一步稀释扩散十分不利。为尽量利用上层更好的水动力扩散条件,在不改变喷口水深位置的情况下,可以采用仰角射流。为了尽可能提高初始稀释效果,又不致使羽流过快地接触到河床或过早冒出水面,仰角取 $10^\circ$ 。

海水入侵会发生循环阻塞和盐水楔阻塞,影响污水排放。为防止海水入侵和泥沙阻塞喷口,根据GB/T 19570—2017,喷口出流弗汝德数 $Fr$ 应大于1.0。项目各工况中最小排放管喷口流速为2.304 m/s,计算所得 $Fr > 1.0$ ,满足规范要求。

综上,排放口具体设计如下:每根DN2 000排放管的扩散段设4根DN800的上升管,间距为35 m。每根上升管设双层DN200的喷口,每层4个,共8个,仰角为 $10^\circ$ ,喷口处设柔性止回阀,水下管件材质为316不锈钢。应急排放管排放口形式与此相同。上升管采用水下垂直顶升方式施工,喷口于水下安装。上升管周边5 m范围内采取保护措施,包括管道周围回填300 mm厚粗砂、300 mm厚袋状碎石、

1 500 mm厚块石砌筑护管。排放口设计如图4所示。

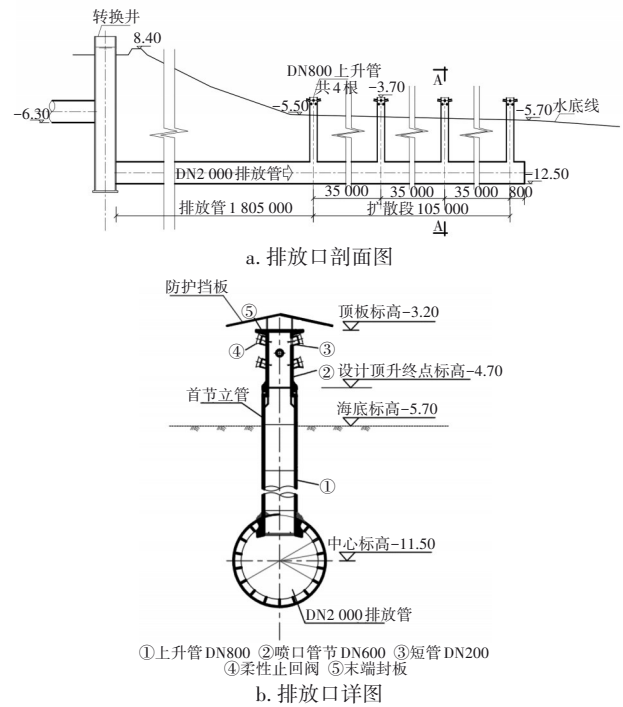
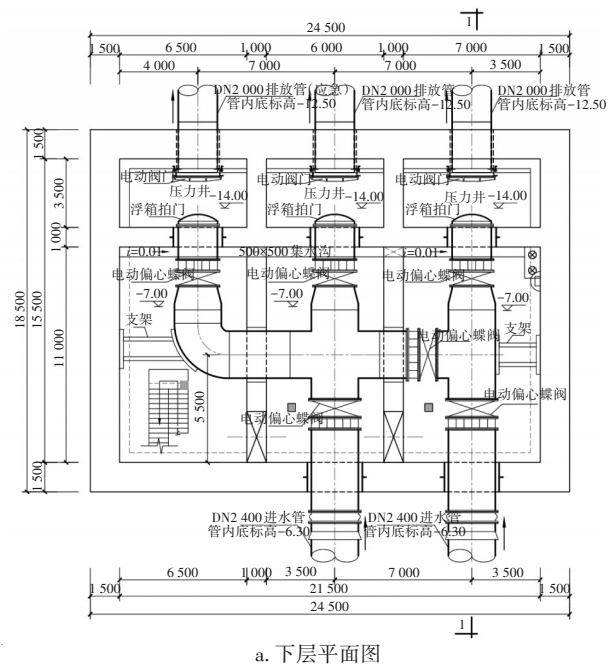


图4 排放口设计

Fig.4 Design of the discharge outlet

### 3.3.4 转换井设计

吹填区管理要求不允许设置高大构筑物,因此采用埋地压力阀门井进行陆域与水域排放管的转换。转换井布置在新大堤岸线内侧约200 m处,其设计见图5。



a. 下层平面图

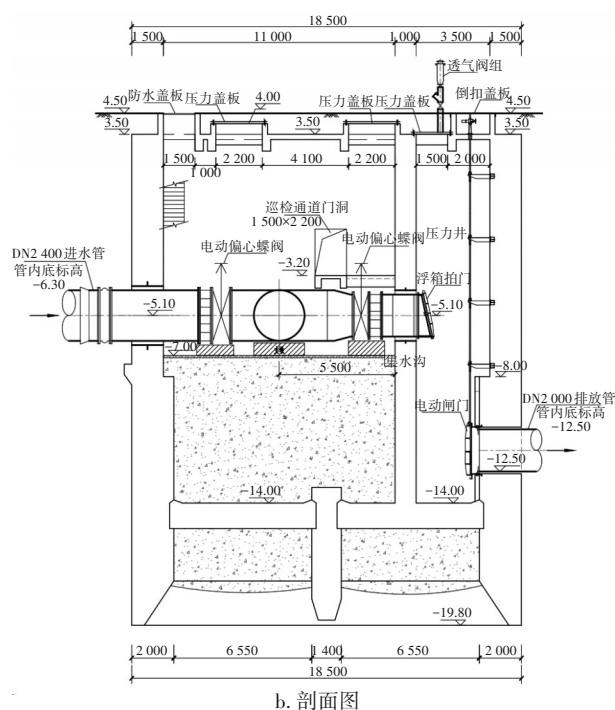


图5 转换井设计

Fig.5 Design of the conversion chamber

转换井平面尺寸24.5 m×18.5 m,深18.5 m,采用沉井法施工。井内设纵横隔墙将其分为干区和湿区:干区为2根DN2 400陆域进水管分至3路水域排放管的仓室,共设6台电动蝶阀;湿区为水域管的出水压力仓,内设闸门和拍门,顶板上设透气阀。

在尾水排放过程中可通过阀门和闸门的启闭,灵活调节使用2根水域排放管。当运行负荷超过设计流量并叠加高潮位,或排放管需进行检修时,则可通过应急排放管排放。为避免某根管道长期使用而引起淤塞,建议定期开启一段时间进行自冲洗。

### 3.3.5 警戒标志设计

扩散管段处水域设防撞警戒标志,禁止船舶抛锚,以策安全。警戒标志建设内容包括施工期航标和运营期航标两部分。

① 施工期航标:分别以排放口末端外侧100 m,排放管道上、下游各500 m为界限划定施工水域范围,通过在施工水域范围边界上布设水上浮动标志的方式标示出该水域。

② 运营期航标:排放管末端扩散段的105 m范围内共分布12根上升管,管口高于泥面约2 m。设置相应的灯桩标示扩散段位置,避免过往船舶与排放管发生碰撞。具体方案:在排放管最外侧的上

升管向外50 m、上下游各50 m,平行于南槽航道边界布设2座灯桩;最内侧的上升管向岸侧50 m、上下游各50 m布设2座灯桩。运营期共布设4座灯桩,灯光颜色为黄色,灯桩闪光节奏为莫尔斯信号“C”12 s,4座灯桩同步闪光,运营期航标正式投用后将临时布设的施工期航标撤除。

## 4 工程建设及效果

工程尾水排放管陆域和水域段总长度约7.26 km,包括陆域段2根DN2 400排放管和水域段3根DN2 000排放管(2根为正常用、1根为应急用),二次穿越长江大堤,水域段采用钢管顶管施工,并设置上升管和排放喷口。由于区域地质条件复杂,建设成本较高,工程批复总投资98 683万元,其中建筑安装费81 544万元。

经过近2年的建设,本工程尾水排放管已正常使用近1年,经历了各种潮位和台风天气,管道在设计规模水量下运行稳定,总体反馈使用效果良好。

## 5 结语

长距离尾水排江管工程的涉及面非常广,工艺设计需在以下方面做好考虑:

- ① 前期需掌握区域各项基础资料,包括地形地质、水文潮位潮流、泥沙演进、水体水质的现状和规划、通航要求、大堤管理要求等,开展各项专题论证,从而形成完善的排放管路由选择结论。
- ② 排放管的管径和分组需结合近远期规模合理选择,并设置应急排放管。
- ③ 排放口的形式设计可结合环境影响评价,分析区域水体的扩散稀释需求,选择合理的喷口流速以达到最佳水力效果。
- ④ 排江管工程重要性高、投资大,结合本工程经验形成的工艺设计要点可以为类似工程提供借鉴。

## 参考文献:

- [1] 许俊鸽,曾朝银,龚思鹏. 泉州台商投资区尾水排海工程设计探讨[J]. 中国给水排水, 2013, 29(18): 77-80.
- XU Junge, ZENG Chaoyin, GONG Sipeng. Design of tail water sea discharge project of Quanzhou Taiwanese Investment Zone [J]. China Water & Wastewater, 2013, 29(18): 77-80 (in Chinese).
- [2] 蔡芝斌. 绍兴污水处理厂尾水排海系统的优化改造



- [J]. 中国给水排水, 2015, 31(6): 78-81.
- CAI Zhibin. Optimization and transformation of tail water sea discharge system of Shaoxing sewage treatment plant[J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(6): 78-81 (in Chinese).
- [3] 黄华治, 方湖晓, 边靖. 椒江污水厂尾水深海排放管道海上作业施工方案[J]. 中国给水排水, 2011, 27(18): 100-104.
- HUANG Huazhi, FANG Huxiao, BIAN Jing. Construction scheme for offshore operation of deep-sea discharge pipeline of tail water from Jiajiang sewage treatment plant[J]. China Water & Wastewater, 2011, 27(18): 100-104 (in Chinese).
- [4] 张志峰, 蔡芝斌. 绍兴污水处理厂尾水排放系统设计[J]. 中国给水排水, 2006, 22(4): 37-40.
- ZHANG Zhifeng, CAI Zhibin. Design for the tailwater discharge system of Shaoxing wastewater treatment plant[J]. China Water & Wastewater, 2006, 22(4): 37-40 (in Chinese).
- [5] 杜莉莉, 高陆令, 王锡清. 绍兴污水处理厂三期工程尾水外排系统设计[J]. 中国给水排水, 2009, 25(18): 27-30.
- DU Lili, GAO Luling, WANG Xiqing. Design of tailwater discharge system in third-phase project of Shaoxing wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2009, 25(18): 27-30 (in Chinese).
- [6] 张彬彬, 闫红民, 刘兵, 等. 徐圩新区达标尾水排海工程海域管道设计探讨[J]. 中国给水排水, 2019, 35(6): 58-62.
- ZHANG Binbin, YAN Hongmin, LIU Bing, *et al.* Discussion on design of the pipeline for wastewater meeting quality requirement discharging into the sea in Xuwei new district [J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(6): 58-62 (in Chinese).
- [7] 王文喜, 张瑞安, 李明基. 烟台套子湾污水处理厂尾水排海管道工程设计及运行[J]. 中国给水排水, 2014, 30(12): 136-139.
- WANG Wenxi, ZHANG Rui'an, LI Mingji. Design and operation of deep-sea marine outfall pipeline project of effluent from Taoziwan WWTP in Yantai City [J]. China Water & Wastewater, 2014, 30(12): 136-139 (in Chinese).
- [8] 蒋传丰, 严忠民, 周春天, 等. 污水排海管扩散器模型试验研究[J]. 河海大学学报, 1994, 22(1): 1-6.
- JIANG Chuanfeng, YAN Zhongmin, ZHOU Chuntian, *et al.* Experimental research on sewage outfall diffusers [J]. Journal of Hohai University, 1994, 22(1): 1-6 (in Chinese).
- 
- 作者简介:** 龚晓露(1981- ), 女, 上海人, 本科, 高级工程师, 注册公用设备工程师(给水排水), 现任上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司第三设计研究院副总工程师, 主要从事排水工程规划设计等工作, 曾多次获得全国优秀设计奖、上海优秀设计和咨询奖。
- E-mail:** gongxiaolu@smedi.com
- 收稿日期:** 2023-10-18
- 修回日期:** 2023-12-03

(编辑: 沈靖怡)

大力推进水利薄弱环节建设,  
提高防灾减灾能力