

# 徐圩新区达标尾水排海工程海域管道设计探讨

张彬彬<sup>1</sup>, 闫红民<sup>1</sup>, 刘兵<sup>1</sup>, 杨廷超<sup>1</sup>, 杨耀峰<sup>1</sup>, 马如彬<sup>2</sup>

(1. 江苏方洋水务有限公司, 江苏连云港 222004; 2. 上海市政工程设计研究总院<集团>有限公司, 上海 200092)

**摘要:** 江苏省连云港市徐圩新区达标尾水排海工程将达标尾水通过海域管道输送至尾水扩散器,利用海洋净化功能达到最终处理目的。工程设计中对前期海域管道方案进行优化,采用DN1 400的单根Q235B钢管,扩散管总长度为300 m,使用100根上升管,每根上升管装有2个DN65的喷口,末端采用橡胶鸭嘴阀装置,管道内防腐采用磷化底漆加两道环氧沥青漆,外防腐采用3PE涂层加阴极保护(牺牲阳极法),为达标尾水排海工程的顺利建成提供了技术支撑,对保护该区的水体环境安全、促进该区可持续经济发展起到至关重要的作用。

**关键词:** 达标尾水; 排海工程; 扩散器

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2019)06-0058-05

## Discussion on Design of the Pipeline for Wastewater Meeting Quality Requirement Discharging into the Sea in Xuwei New District

ZHANG Bin-bin<sup>1</sup>, YAN Hong-min<sup>1</sup>, LIU Bing<sup>1</sup>, YANG Ting-chao<sup>1</sup>, YANG Yao-feng<sup>1</sup>, MA Ru-bin<sup>2</sup>

(1. Jiangsu Fangyang Water Co. Ltd., Lianyungang 222004, China; 2. Shanghai Municipal Engineering Design Institute <Group> Co. Ltd., Shanghai 200092, China)

**Abstract:** In Xuwei new district of Lianyungang City, Jiangsu Province, the wastewater meeting discharge quality requirement was discharged into the sea by a sea pipeline with diffusers, and the final treatment would be achieved by using the purification function of seawater. The preliminary design plan of sea pipelines was optimized. The single DN1 400 steel pipe with Q235B was used in the design plan. The total length of the diffuser pipe was 300 m. The number of 100 ascension pipes were used in the diffuser which was equipped with two DN65 spouts. The rubber duckbill valve device was used in the end of spout. The inner anticorrosion pipe was made of phosphating primer and two epoxy asphalt paints, using 3PE coating plus cathodic protection (sacrificial anode method) for external corrosion protection. The completion of the project could provide the technical support and played a crucial role in the protection of the water environment safety and the sustainable economic development.

**Key words:** wastewater meeting quality requirement; project discharging into the sea; diffuser

### 1 工程背景

江苏省连云港市徐圩新区是国务院批准设立的

国家东中西区域合作示范区的先导区,总规划面积约467 km<sup>2</sup>。2015年9月,国务院常务会议将徐圩

新区石化产业基地确定为全国沿海七大石化基地之一,这对徐圩新区的发展具有重要的战略意义。在经济快速发展的同时,污水收集管网逐步完善,污水处理厂的达标尾水最终去向成为制约徐圩新区发展的瓶颈。为更好地保障陆域水环境,充分利用海洋的环境功能,在不污染海洋环境的基础上实施达标尾水排海工程。

徐圩新区达标尾水排海工程远期(至2030年)设计规模为 $11.83 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,包含调压泵站、陆域管线、海域管线和扩散器四部分。污水处理厂的达标尾水经过处理后,通过人工生态湿地进一步削减COD、氨氮和总磷等污染因子,进入调压泵站集水池。经水泵加压提升进入排海管道,再由扩散器喷射进入排放口,使达标污水和海水之间产生紊流混合,利用海洋的转移扩散和自净能力达到最终处理目的。目前该工程正在开展施工相关工作,通过对前期方案设计进行优化,有力保证后续施工的顺利推进。

## 2 海域管道工程设计

海域管道的主要功能是将达标尾水输送到海洋深水区,经由上升管顶端的喷口高速喷出,使达标尾水迅速在海内水体中混合、稀释、扩散。本工程排海管道全长约22.68 km,由放流段、扩散器、上升管及喷口四部分组成,具体如图1所示。



图1 排海工程海域管道示意

Fig.1 Schematic diagram of the pipeline discharging into the sea project

### 2.1 扩散器

扩散器的作用是将点源排放改变为线源排放,使达标尾水与受纳水体充分混合形成稀释水流。在一定水深下,当达标尾水通过扩散器孔口排放到周围海水时,则受到正比于达标尾水和周围海水密度

差的浮力作用,达标尾水喷射和海水的相对运动产生剪力,使达标尾水和海水之间又产生了紊流混合,从而使靠近排放口的达标尾水获得有效稀释。

扩散器是徐圩新区达标尾水排海工程中的核心装置,其长度直接影响到稀释扩散效果。影响扩散器长度的主要因素包括污水排放量、初始稀释度的要求、水深、密度及水动力条件等<sup>[1]</sup>。扩散段越长,排放口稀释效果越好,工程造价也越高。根据《污水排海管道工程技术规范》(GB/T 19570—2017,以下简称《规范》),本工程初始稀释度采用100倍,扩散器长度按下式计算:

$$L_b = 4.27 Q S_c^{3/2} h^{-2/3} g'^{-1/2} \quad (1)$$

式中  $L_b$ ——扩散器长度,m

$Q$ ——污水排放量, $\text{m}^3/\text{s}$

$h$ ——污水的最大浮升高度,m

$g'$ ——折减重力加速度, $\text{m}/\text{s}^2$

$S_c$ ——初始稀释度

在确保近区混合区的水质满足有关国家规范的前提下,尽量降低工程费用,根据式(1)计算结果,最终扩散器的设计长度 $L_b$ 定为300 m,扩散器采用直线型。

### 2.2 上升管及喷口

扩散器由多个上升管和喷口组成,上升管间距较小时,相邻射流尚有动量而易相互掺混,降低稀释效果;上升管间距较大时则相反,因此上升管的间距以各喷口排出的达标尾水在初始稀释扩散的过程中互不重叠为原则。达标尾水从放流管到上升管流速呈逐渐增大趋势,有利于沉积物的排出。

#### ① 上升管

为了使扩散器各孔口满流,上升管总面积与扩散器断面面积比一般为0.6~0.7,根据《规范》,上升管数量 $m$ 按下式计算:

$$m = 3L_0/h \quad (2)$$

式中  $L_0$ ——扩散器有效长度,m

$h$ ——污水排放深度,m

经计算,考虑到项目近期设计规模 $Q = 8.57 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,扩散器使用72根上升管,远期设计规模 $Q = 11.83 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 时,扩散器使用100根上升管。上升管间距取3 m,管径取110 mm。

#### ② 喷口

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到污水从喷口射

流后的近场稀释及防止漂浮物靠近喷口效果<sup>[2]</sup>。喷口孔径的确定应满足达标尾水稀释扩散要求,保证污水中大尺寸的悬浮物能顺利通过。根据《规范》,喷口出流应有足够大的速率,设计时应使弗劳德数  $Fr > 1.0$ ,孔径应为  $5 \sim 23$  cm,按下式计算:

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{\frac{\rho_a - \rho_0}{\rho_0} \cdot g \cdot d}} \quad (3)$$

式中  $\rho_a$ ——海水密度,取  $1.022 \text{ t/m}^3$

$\rho_0$ ——污水密度,取  $0.999 \text{ t/m}^3$

$v$ ——喷口流速,  $\text{m/s}$

$d$ ——喷口管径,  $\text{m}$

考虑到徐圩近岸海域的水流条件、盐度等因素,进行了物理、数学模型的模拟试验,经核算,每根上升管设置 2 个 DN65 喷口,具体如图 2 所示。近期规模  $Q = 8.57 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  时排海管喷口流速为  $2.08 \text{ m/s}$ ,相应弗劳德数  $Fr = 17.1$ ,符合设计要求;远期规模  $Q = 11.83 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  时排海管喷口的最小流速为  $2.06 \text{ m/s}$ ,相应弗劳德数  $Fr = 17.0$ ,符合设计要求。

为防止海水、泥沙入侵和海洋生物入侵繁殖,应使用鸭嘴阀等有防止泥沙阻塞扩散器喷口的措施。考虑到工程造价和长期运行费用及安全因素,本次

尾水排海工程扩散器喷口拟安装橡胶鸭嘴阀。

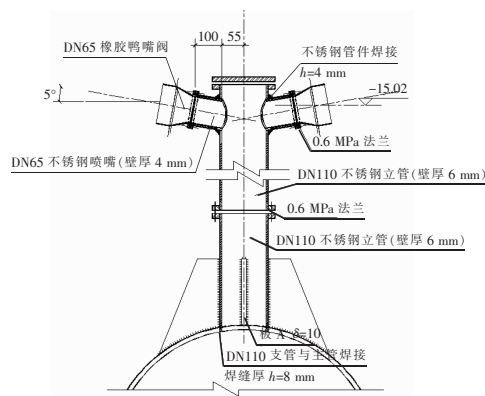


图2 上升管及喷口结构

Fig. 2 Structure of ascension pipe and spout

### 3 海域管道排放方案比选

#### 3.1 单管道、多管道排放管径选择

长距离排海工程中管径的确定,关系着排海工程的造价费用,因此需要结合排水流量、水泵能耗、排水安全性等因素进行综合计算分析,选择最佳的管径。本排海工程水量变化较大,近期规模为  $8.57 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,远期规模为  $11.83 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。管道直径的选择既应保证管道流速不可过低,又要保证管道沿程损失适中。不同管径下的管道流速比较见表 1。

表1 不同管径管道流速

Tab. 1 Pipeline flow velocity with different diameters

排放方案	管径/mm	近期规模 $8.57 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 管道流速 $v/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	远期规模 $11.83 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 管道流速 $v/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$
单管道	DN1 600	0.494	0.681
	DN1 400	0.645	0.89
	DN1 200	0.887	1.211
多管道	双管道,单根 DN1 200	使用 1 根, $v = 0.877$	使用 2 根, $v = 0.606$
	双管道,单根 DN1 000	使用 1 根, $v = 1.264$	使用 2 根, $v = 0.872$
	双管道,单根 DN800	使用 1 根, $v = 1.974$	使用 2 根, $v = 1.363$

根据《规范》,“管道内最小流速不小于  $0.6 \text{ m/s}$ ,一般可取  $0.8 \sim 1.0 \text{ m/s}$  左右”。由表 1 可知,若采用单管道,则管径 DN1 400 最优;若采用双管道,则管径 DN1 200 最优。

#### 3.2 单管道、多管道排放方案比选

在本排海工程海域管道工程设计中,根据《规范》要求,应设有紧急排污口,对管道断裂破损溢出时污水进行分流,以解决输送管道故障时达标尾水的出路问题。考虑到工程总投资、运营期维护等因素,对单管道、多管道排放方案进行方案比选。

##### ① 单管道排放方案

采用单根管道排放,海域管道用海面积小,工程造价低,近期泵站水头损失小,水泵扬程和运营成本与双管道排放相近。如遇到管道故障时,达标尾水一方面可以排入调压泵站前的人工湿地,利用人工湿地调蓄能力接纳事故达标尾水(见图 3)。另外可以利用石化园区风险应急事故池系统接纳事故达标尾水,防止达标尾水排入近岸海域,影响滩涂养殖区、浅海的海水养殖区等海洋环境敏感目标,造成不良社会影响。

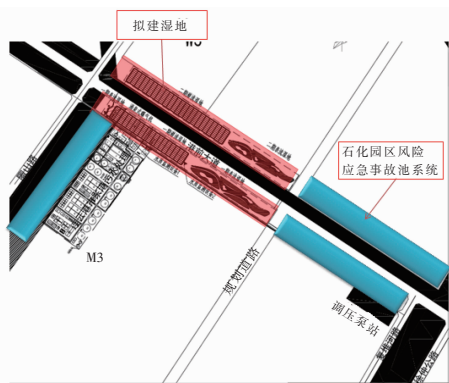


图3 人工生态湿地示意

Fig.3 Schematic diagram of artificial ecological wetland

## ② 双管道排放方案

采用双管道排放,海域管道用海面积较大,工程造价比单管道增加2.2亿元,远期泵站水头损失小,水泵扬程和运营成本与单管道排放相近。如遇到管道故障,可使用其中一根管道进行排放,无需单独设置应急排放管。即一根管道可以承担达标尾水排海水量,保证输水安全性。

由于单管道海域用海面积小,对海洋环境质量影响小,工程造价低,同时管道出现故障时,由人工生态湿地和石化园区风险应急事故池系统接纳污水,因此工程设计推荐采用单管道排放方案。

## 4 管材的选择

在国内外排海工程海底放流管中,使用较多的管材包括钢管、钢筋混凝土管、玻璃钢管和HDPE管等<sup>[3]</sup>。考虑到本工程海域段管道采用全程开槽埋管方式,就钢管、玻璃钢管、HDPE管进行综合比较(见表2)。

表2 各管材性能比较

Tab.2 Performance comparison of various pipe

项目	钢管	HDPE管	玻璃钢夹砂管
止水性能	好	好	好
施工场地	小	小	小
质量保证	好	较差	较差
施工进度	快	慢	最慢
施工风险	小	大	大
对地质适应性	好	好	较差
管材运输	方便	方便	方便
防腐性能	弱	强	强
承受内压	大	大	大
管材综合造价	较高	最高	较高
采购难易度	容易	容易	容易
使用寿命	长	长	长

## ① 钢管

钢管是一种在各行各业获得广泛应用的管材,具有极好的力学性能,可以承受极高的内压和较高的外压,尤其在穿越障碍较多、地形复杂的地段时,具有很强的适应性。城市排水用钢管常规选用Q235B钢板制作,口径一般在DN600~DN2000范围,最大可达DN4000。虽然钢管具有良好的韧性,易加工,但衬里及外防腐要求严,焊接工作量较大。螺旋焊接钢管采用卷板,利用螺旋管焊接生产线一次成型。一般情况下,钢管还能够靠自身抗拉强度来抵消轴向力,这是其他管材所不具备的优势。

## ② HDPE管

HDPE管是由乙烯共聚生成的热塑性聚烯烃,具有良好的经济性,可以在线制作承插口,而且具备接口稳定可靠、材料抗冲击、抗开裂、耐老化、耐腐蚀等一系列优点。其物理性能不如钢管,施工中不能裸露于空气中阳光下,并且对化学物品较为敏感。工程造价较高,管材接口在海底复杂水质条件下难以保证不出现泄漏等问题。

## ③ 玻璃钢夹砂管

玻璃钢夹砂管属于近年来国内广泛应用的新型管材,又称玻璃纤维缠绕增强热固性树脂加砂压力管,该管道具有耐腐、抗老化、使用寿命长、质量轻、抗渗漏、摩阻系数小等优点。虽然部分海上工程已有使用的先例,但大口径管材的生产质量和可靠度难以保证。玻璃钢夹砂管在海上工程吊装时,为了抵抗拉力,其接头须采用专制法兰加套筒接头,并且由于管材较轻,沉管时须加配重抗浮,以上因素造成玻璃钢夹砂管的费用较高,施工方法相对较复杂,工期相对较长。

虽然HDPE管有防酸耐腐蚀、内壁光滑糙率小等特点,但市场牌号有数千种,质量难以控制,更重要的是HDPE管质量比较轻,海上铺设管道须加混凝土配重块间隔布置。按照本工程海域管道管径DN1400、壁厚80mm计算,混凝土配重块壁厚为300mm计,管道外径可达2160mm,目前尚无铺管船可以铺设。因此本工程选择钢管作为海域管道的管材。

## 5 管材的防腐

海域管道的腐蚀,必然会造成使用寿命缩短,因此对管道采取防腐措施是十分必要的。低碳钢在海水中的平均腐蚀速度为125 μm/a,实验和实践均证



明,海底金属管道的腐蚀,主要是电化学腐蚀<sup>[4]</sup>。本项目管道内防腐采用磷化底漆加两道环氧沥青漆,外防腐采用3PE涂层加阴极保护(牺牲阳极法),可以保证50年的防腐寿命。阳极材料为Al-Zn-In-Cd,A13E-3型,阳极与管道连接采用焊接法,阳极安装间距为27 m。

## 6 结语

徐圩新区达标尾水排海工程按照远期(至2030年)规模为 $11.83 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 进行设计,海域管道全长约22.68 km,采用DN1 400的单根Q235B钢管,扩散器设计长度为300 m,使用100根上升管,每根上升管装有2个DN65的喷口,末端采用橡胶鸭嘴阀装置。管道内防腐采用磷化底漆加两道环氧沥青漆,外防腐采用3PE涂层加阴极保护(牺牲阳极法),可以保证50年的防腐寿命。通过工程海域管道的设计将达标尾水排至稀释能力较大的深海,对保护徐圩新区的水环境起到至关重要的作用,也可作为类似工程设计提供借鉴。

## 参考文献:

- [1] 陆斌. 嘉兴市污水排海工程的设计[J]. 中国给水排水,2004,20(1):58-61.  
Lu Bin. Design for marine wastewater discharge project in Jiaxing City[J]. China Water & Wastewater,2004,20(1):58-61(in Chinese).
- [2] Tian X, Philip J W R. Experiments on marine wastewater diffusers with multiport rosettes[J]. J Hydr Eng,2011,137(10):1148-1159.
- [3] 刘铮,黄文献. 废水排海工程设计探讨——以广西金桂浆纸业有限公司废水排海工程设计为例[J]. 大众科技,2016,18(2):36-38,52.  
Liu Zheng,Huang Wenxian. Discussion on the design of wastewater discharge project—Taking wastewater discharge project design of Guangxi Jingui Pulp & Paper Co. Ltd. as an example[J]. Popular Science & Technology,2016,18(2):36-38,52(in Chinese).
- [4] 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).



作者简介:张彬彬(1985—),男,山东泰安人,硕士,高级工程师,从事工业废水处理研究及工程设计工作。

E-mail:620747639@qq.com

收稿日期:2018-11-06

保护生态环境就是保护生产力

改善生态环境就是发展生产力