

北海市污水排海管海底敷设浅谈

Laying down of Deep-sea Sewage Discharge Pipeline in Beihai City

庞俊斌

Pang Junbin

(北海市城市综合管理办公室 北海 536000)

(Beihai City Administration Office, Beihai, Guangxi, 536000, China)

摘要 在北海市红坎污水处理厂海洋放流管工程中,考虑到基本的水文、地形条件和排放口的合理布局及污水处理程度等因素,在确保北海近岸各水域功能的水质指标保持在一定范围内的基础上,将管长由原设计的 912.8 m 缩短为 755 m,扩散器也由原来的 47 根竖管改为 38 根,管径由 2 200 mm 缩小为 1 800 mm,管壁厚度由 22 mm 缩小为 16 mm。施工方案从顶管法改为整体吊装沉管法。

关键词 城市污水 初始稀释度 海洋放流管 整体沉放 海底敷设

中图法分类号 TU 992.23

Abstract In the performance of the project of deep-sea sewage discharge pipeline of Beihai Sewage Treatment Plant, considering the terrain and hydrologic data of the city, rational arrangement of vertical discharge pipe and the treatment degree of sewage, and the quality index of waters along the coast of Beihai being kept within a certain range etc., the length of the pipeline was shorted from the original 912.8 meters to 755 meters, the amount of discharge pipes was cut down from 47 to 38, the caliber was narrowed from 2 200 mm to 1 800 mm, the thickness was thinned from 22 mm to 16 mm, the construction method was altered from pipe-pushing method to integral hoisting.

Key words urban sewage, initial diluted concentration, deep sea discharge pipeline, integral hoisting, laying down on sea bottom

最大管径为 DN 1 800 mm 总长为 737 m 的北海市海洋放流管于 1998 年 4 月 22 日整体沉放成功。在海面复杂多变的施工条件下,如此大管径长管采用整体一次性沉入水下 17 m 海底基槽中的施工方案,在国内未见同类报道。

在施工中所采取的一些主要技术改进措施如下:

1 管长和管径

1.1 前提条件和基本原理

北海市原排水规划将北海污水排海工程分三期实施:第 1 期 20 万 m³/d,第 2 期 45 万 m³/d,第 3 期 73.6 万 m³/d。根据北海建设发展的实际情况有关部门及时地调整规划,将红坎污水处理系统的设计规模定为初期规模 20 万 m³/d,最终规模 45 万 m³/d。为了加快建设步伐和节省投资,建议相应地将海洋放流管水平管的长度缩短,管径缩小,所安装的竖管数量也随之减少。施工方案从顶管法改为平衡重底拖法,

最后改为整体吊装沉管法。

影响排海工程环境预测评价结果的因素归纳起来不外乎两种:一是基本的水文、地形条件;二是排放口的合理布局(海洋放流管竖管根数及喷孔数量、尺寸大小)及污水的处理程度(即污染负荷)。

污染物排入海域发生了浓度变化,在水流运动下转移、扩散、稀释和自净,其水质是与一定的水文条件相联系的。按照国家规范,水环境评价要在 85%~95% 设计保证率的水文条件下,其水质条件应能满足一定的水质标准。对于北海污水排海工程,以 1992 年 10 月 2 日~5 日的潮型作为设计水文条件,其对应于保证率 85% 时的环境流速为 0.11 m/s。那么,进行动力的初始稀释度计算,可以利用 Lee 和 Veville-Jones 建议的公式,即:

(1) 强浮力近区浮射流 (BDNF)

$$S_m = 0.434 \frac{B_0^{1/3} H^{5/3} H U a^3}{Q_0 B_0} < 5;$$

(2) 强浮力远区浮射流 (BDFE)

$$S_m = 0.434 \frac{U_a H^2}{Q_0} \frac{H U_a^3}{B_0} \geq 5,$$

$$\text{其中 } B_0 = \left(\frac{d_m - d}{p_0} \right) G \frac{Q_0}{n}.$$

以上公式表明了污染云的最小稀释度 S_m 与以下 5 个因素有关:

- ① 排放口处的水深 H (m);
- ② 污水量 $Q \rightarrow Q_0 = -\frac{Q}{n}$ (Q 为污水总量, Q_0 为单管排放的污水量);
- ③ 竖管根数 n ;
- ④ 海水密度 d_m , 取 1.02 g/mL;
- ⑤ 污水密度 p_0 , 取 0.998 g/mL.

同时,也间接性地与环境流速 U_a 有关:

$$\frac{H U_a^3}{B_0} < 5 \text{ 或 } \frac{H U_a^3}{B_0} \geq 5.$$

显然,作为污水排海工程排放口的海洋放流管,其扩散器竖管根数决定了在一定排水量规模下、在一定海域范围内的稀释净化效果:不同的竖管根数,稀释倍数将不同,污水排海后扩散、稀释和净化的效果也就不同

1.1.1 海洋放流管工程的水文地形条件

北海市海洋放流管工程位于北海市地角镇海军码头西侧,此处平均水深为 11.00 m,潮流为东北—西南向的往复流,且落潮流速大于涨潮流速,流向平行于岸线;其余流向为夏季西北向,冬季西南向,均有利于污染物向外海输送

1.1.2 海洋放流管的排放口布局及污水处理程度

海洋放流管作为整个北海市红坎污水处理系统污水排海的排放口,原设计是按照最终规模为 73.6 万 m^3/d 一次性建成的,其水平管总长为 912.8 m,水平管最大管径为 2 200 mm,管壁厚为 22 mm. 工艺设计单位根据《北海市城市污水海洋处置工程海域环境影响评价报告》,在其编制的《北海市污水处理一期工程初步设计》中采用了 88 根竖管,每两根竖管间距为 8 m,每根竖管上开启 2 个 $\varnothing 160$ mm 喷孔;后来在施工图中改用 47 根竖管,每两根竖管间距为 15 m,每根竖管上开启 4 个 $\varnothing 160$ mm 喷孔. 也就是说,由上述初始稀释度计算公式,可知初始稀释度 S_m 为 47~72 倍均可以保证北海近岸各水域功能的水质指标保持在一定范围内:冠头岭以北的海湾为 II 类海水,冠头岭以南的海湾为 I 类海水

我们又从工艺设计单位所提供表 1 推算出:3 种运行规模条件下,其初始稀释度均为 47 倍. 由此,我

们可以断定只要初始稀释度大于或等于 47 倍,均可以满足工艺要求

表 1 不同运行规模条件下海洋放流管工况

Table 1 Working situation of deep-sea pipeline under different capacities

规模 Capacity of treatment (m^3/d)	设计流量 Design flow (m^3/s)	设计流速 Design velocity (m^3/s)	竖管开启个数 Amount of working vertical discharge pipes
200 000	3.01	0.79	13
450 000	6.77	1.78	29
73.60 000	11.08	2.92	47

1.2 管长的确定

根据以上的分析,我们仍沿用原设计单位对喷孔铺设位置的要求,即每根竖管上的 4 个喷孔高出相应海床面 0.50 m 的高度不变,保证平均水深为 11 m 使喷孔不被泥砂淹埋而正常发挥其作用. 同时,采用原设计中已确定的参数:① 靠近海岸的第一根竖管到海岸的距离仍为 215 m;② 每一根竖管上仍为 4 个喷孔,且每个喷孔直径均为 160 mm;③ 竖管间距仍为 15 m. 那么,根据稀释度的要求,采用允许的最小初始稀释度 47 倍,由初始稀释度计算公式,扩散器主管长可以缩短为 435 m. 加上近岸端长 215 m,工作井到海岸长 30 m,总长至少需要 680 m.

所以,海洋放流管水平管总长度为 680 m 至 912.8 m 之间,均可以符合有关稀释度的要求

考虑到安全可行性,建议采用比所允许的最小初始稀释度 47 倍大了 5 倍的 $S_m = 52$ 倍. 那么,仍沿用原工艺设计要求确定的参数,取平均水深 $H = 11$ m,最终规模为 45 万 m^3/d 时扩散器所需的竖管根数为 34 根. 所以,扩散器主管长为 $34 \times 15 = 510$ m,则海洋放流管水平管总长为 $510 + 215 + 30 = 755$ m.

因此,我们提出原设计管长 912.8 m 缩短为 755 m,同时扩散器也由原来的 47 根竖管改为 38 根,竖管上的喷孔直径由原设计的 160 mm 改为 116 mm、127 mm、138 mm 3 种.

1.3 管径的确定

考虑到初期规模 20 万 m^3/d 时要有较好的水流条件,海洋放流管水平管最大管径应小于 2 200 mm. 但是,为了不使管内污水流速过大,最大管径也不应小于 1 800 mm. 于是,我们建议最大管径选用 DN 1 800.

而且,水平管径由 DN 2 200 改为 DN 1 800 后,我们也作了有关流速的计算,如表 2. 并且参照工艺

设计中有关流速的要求,最大管径由 DN 2 200 mm改为 DN 1 800 mm,也满足工艺的要求。

表 2 不同管径的相关流速

Table 2 Water velocity in the pipes in different calibres

DN (mm)	过水断面 面积 Section area through water(m ²)	竖管根数 Amount of vertical discharge pipes	始端 Beginning		末端 Ending	
			流量 Flow (m ³ /d)	流速 Velocity (m/d)	流量 Flow (m ³ /d)	流速 Velocity (m/d)
1 800	2.543 4	20	6.770	2.788 0	2.788 0	1.096 1
1 400	1.538 6	6	2.788 0	1.593 4	1.593 4	1.035 6
1 000	0.785 0	4	1.593 4	0.797 0	0.797 0	1.015 3
700	0.384 7	2	0.797 0	0.398 1	0.398 1	1.035 1
500	0.196 3	2	0.398 8	0.199 7	0.199 7	1.017 3
合计 Total		34				

①在设计流量为 $Q = 6.770 \text{ m}^3/\text{d}$ (最终规模为 $45 \text{ m}^3/\text{d}$)时,每根竖管均开 4个孔径相同的喷孔,每根竖管承担的流量为 $\frac{6.770}{34} = 0.1991 \text{ m}^3/\text{s}$;②每根竖管上 4个喷孔(每个喷孔直径为 160 mm)总的过水断面面积为 0.0804 m^2 ;③在整个扩散器中的水头损失忽略不计。①

There are four same discharge holes in every vertical discharge pipes with the flow of $0.1991 \text{ m}^3/\text{s}$ for each pipe at the design flow Q of $6.770 \text{ m}^3/\text{d}$ (the final capacity is $45 \text{ m}^3/\text{s}$).② The section area of the four discharge holes totals 0.0804 m^2 , with each hole being 160 mm in diameter.③ The head loss of vertical discharge pipes is not accounted.

2 管壁厚度

设计单位对北海市海洋放流管原顶管法中管壁的设计为:最大管径壁厚为 22 mm,最小管径壁厚为 14 mm 其依据是:①考虑稳定、刚度、强度要求;②参照《海底管线规范》中壁厚与直径概率为 1/100;③留有腐蚀余量。

我们认为采用整体吊装沉管与顶管法施工受力情况大不一样,除了考虑稳定、刚度、强度外,还应考虑在设计制造和施工中的构造要求。

2.1 管道吊装的强度要求

将重达 400多吨的整条长管由陆地上(即海堤边)吊到水面是施工中的关键一步。它既要考虑吊船的宽度、间距,又要考虑吊装时各吊点间所允许的最大距离。所以,我们根据现场机构设备等情况,考虑钢管在吊装时,按承受均布荷载的简支梁来计算跨中最大挠度为:

$$Y_{\max} = \frac{5ql^4}{384EI}$$

其中, Q 为荷载; l 为跨度; E 为弹性模量; I 为惯性短。

经过结算,当吊点间距设置为 34 m,管壁厚度为

$S = 16 \text{ mm}$ 时,跨中最大挠度值 $Y_{\max} < [Y]$,可以满足强度、挠度的要求

2.2 管道吊装沉放敷设后,还要求其满足稳定、刚度、强度的要求

我们选用管壁厚度 $S = 16 \text{ mm}$ 进行计算,经有关技术人员计算论证:选用 DN 1 800 mm管并采用壁厚为 $S = 16 \text{ mm}$ 时,其管道稳定,刚度、强度均大大超过容许值。既满足施工中吊装要求,也满足管道敷设后其稳定,刚度、强度的要求

2.3 管壁厚度的确定

根据以上的计算论证可知,将最大管径管壁厚度从原设计的 22 mm改为 16 mm,同样可以满足有关力学要求。而且,原设计中最大管径壁厚为 22 mm,最小管径管壁厚度为 14 mm,它们之间相差 8 mm,考虑到腐蚀因素,建议将最大径管管壁厚度从原设计的 22 mm改为 16 mm

3 结语

经与工艺设计单位协商,设计单位于 1997年 7月按我们的建议完成了《北海市污水处理一期工程海洋放流管工艺设计修改说明书》,整个海洋放流管管长由原设计的 912.8 m改为 770 m 后因岸上端点正好落在别人的宅基地上,因而最后缩短为 737 m 经与施工图设计单位协商,最后也确定采用最大管径壁厚由原设计的 22 mm改为 16 mm 初始稀释度 S_m 与竖管间距、竖管直径、喷孔孔径是否有内在关系,在稀释度计算公式中未反映出来;该工程施工图中要求在每根竖管两侧回填沙面上加两块钢筋砼块固位,是否有必要?城市污水排海管中大管径长管整体沉放施工的成功经验可否进一步推广?这些问题尚待进一步探讨。

参考文献

- 1 北京市市政设计院. 给水排水设计手册,第 5册. 北京: 中国建筑工业出版社, 1986. 1~ 7.
- 2 孙国安,郭连庄,高 健等. 建筑工程施工及验收规范汇编. 北京: 中国计划出版社, 1995. 314~ 319.
- 3 粟一凡. 建筑力学. 北京: 人民教育出版社, 1981. 144~ 154.
- 4 黄明明,张蕴华. 给水排水标准规范实施手册. 北京: 中国建筑工业出版社, 1993. 319~ 426, 543~ 560.
- 5 中国建筑工业出版社. 建筑工程施工及验收规范. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999. 16~ 1~ 24.

(责任编辑: 黎贞崇)