

# 某管线穿越大型水域设计及施工难点分析

杨洪丽 张 芳 段玮璐 中海油石化工程有限公司

**【摘要】**本文以某大型企业的长输管道施工为例，详细介绍了管道通过大型水域时的设计难点、施工方案和难点，为后续穿越大型水域的长输管道施工提供参考。

**【关键词】**长输管线；稳定性设计；施工方案；吹填施工

**【DOI】**10.12316/j.issn.1674-0831.2022.03.054

## 引言

近几年，长输管线工程发展迅速，越来越多的管道施工需要穿越水域。为了保证整个管道的正常、安全运行，工程穿越部分的设计和施工越来越受到重视。以某工程为例，介绍了管道穿越大面积水域的设计难点、施工方案和难点。

### 一、管道水域穿越设计及难点

某一长输管道工程需要铺设三条管道：原油管道一条，成品油管道两条，管道参数见表1。本项目涉及内容为虾池养殖水域区，图纸里程1.071~3.509km，虾池南北全长2.438km，地形平均高程0.19m（不含深坑部分）。深坑场地图纸里程为2.476~3.126km；长度约650m。最深水位4.0m。虾池防潮坝为块石回填，透水较严重，虾池排水后平均水位0.3~0.8m（不含深坑部分）。根据本水域的地形地质地貌，采取大开挖的方式穿越，需要围堰的长度为2.3km。

表1 管道参数一览表

输送介质	设计压力 (Mpa)	设计温度 (°C)	管道规格 (mm)	壁厚 (mm)
原油	4.5	60	Φ406.4	7.1
柴油	4.0	常温	Φ219.1	6
汽油	4.4	常温	Φ168.3	5

#### 1. 水域穿越钢管强度校核

本工程所输原油为热处理后加压输送。由内部压力，外部压力和温度变化引起的热胀冷缩应力是检验管道承载力的主要条件。

管道的强度校核应按下列公式计算：

$$\sigma_{\alpha} = E \alpha (t_1 - t_2) + \mu \sigma_h$$

$$\delta_h = \frac{H}{2\delta}$$

$$\sigma_e = \sigma_h - \sigma_{\alpha}$$

$$[\sigma] = K \Phi \sigma_s$$

式中：

$[\sigma]$ —许用应力，MPa；

K—设计系数；

$\Phi$ —焊缝系数；

$\sigma_{\alpha}$ —轴向应力，MPa；

E—钢材的弹性模量；

$\alpha$ —钢材的线膨胀系数；

$t_1$ —管道安装闭合时的大气温度；

$t_2$ —管道内输送介质的温度；

$\mu$ —泊桑比；

$\sigma_h$ —内压产生的环向应力，MPa；

P—管道的设计内压力，MPa；

d—管道的内直径，mm；

$\delta$ —管道的公称壁厚，mm；

$\sigma_e$ —当量应力，MPa；

$\sigma_s$ —钢管的最低屈服强度。

经计算：

表2 管道强度校核结果

压力 (MPa)	管径 (mm)	壁厚 (mm)	环向应力 $\sigma_h$ (MPa)	轴向应力 $\sigma_{\alpha}$ (MPa)	当量应力 $\sigma_e$ (MPa)	许用应力 $[\sigma]$ (MPa)	0.9 $\sigma_s$ (MPa)
4.5	406.4	7.1	124.29	-85.71	210.00	259.2	324
4.0	219.1	6	69.03	-53.09	122.12	122.5	220.5
4.4	168.3	5	69.65	-52.90	122.56	122.5	220.5

根据上述结果表，得出三个管道均满足强度要求。

#### 2. 水域穿越稳定性校核

为了有效保证水下穿越管道的正常稳定运行，首先应进行水下穿越管道的抗漂浮计算。该工程项目管道途经较大的虾池养殖等活动水域和地区，管线选用大开挖穿越方式穿越此水域，管道穿越层应稳定敷设。管线在所穿越部分水域不应发生漂浮，因此根据《油气输送管道穿越工程设计规范》（GB50423-2013）的相关规定，应对此部分进行抗漂浮校核。抗漂浮校核结果如下表3。

表3 抗漂浮校核表

管线规格 (mm)	单位长度总重 (N)	单位长度管段静水浮力 $F_s$ (N)	$K \times F_s$ (N)	校核结果
$\varphi 406.4 \times 7.1$	685.1	1268.1	1521.7	需要稳管
$\varphi 219.1 \times 6$	306.3	369.3	443.2	需要稳管
$\varphi 168.3 \times 5$	189.6	217.1	260.5	需要稳管

本着安全、经济的原则并根据现场的水文地质情况，本工程采用平衡压袋连续安装的稳管形式。

针对本工程各段管道的管径及对应的最小壁厚，进行单位长度管道所需最小配重重量计算及平衡压袋的浮力校核，进而确定平衡压袋的中心间距。计算及校核结果分别见表4、表5。

表4 管道配重计算表

钢管外径 (mm)	钢管壁厚 (mm)	钢材密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	每米钢管重量 (N/m)	单位长度浮力 (N/m)	浮力系数	乘系数后单位长度浮力 (N/m)	每m管线所需配重最小重量 (kg/m)
406.4	7.1	7850	685.1	1268.1	1.2	1521.7	85.4
219.1	6	7850	306.3	369.3	1.2	443.2	14.0
168.3	5	7850	189.6	217.1	1.2	260.5	7.2

表5 平衡压袋选型及浮力校核表

钢管外径 (mm)	压袋质量 (kg)	压袋填充物密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	压袋体积 ( $\text{m}^3$ )	压袋所受浮力 $\times 1.05$ (kg)	压袋有效配重 (kg)	压袋中心间距取值 (m)	所需最小配重 (kg/m)	校核结果
406.4	850	$\geq 1550$	0.45	472.5	377.5	4	85.4	可行
219.1	300	$\geq 1550$	0.45	472.5	127.5	6	14.0	可行
168.3	300	$\geq 1550$	0.45	472.5	127.5	6	7.2	可行

因此，对于本工程考虑管道在地下水位较高地段开挖穿越水域时的配重方案为：对于原油管道，以最小中心间距为4m，连续配重每组850kg的平衡压袋；对于汽油柴油管道，以最小中心间距为6m，连续配重每组300kg的平衡压袋。施工时可根据现场实际情况调整。

## 二、管道水域穿越施工过程及难点

本工程主要采用吹填施工技术，是一种广泛应用的充填施工方法。这种施工方法具有明显的优点：方便灵活，速度快，成型快。各个填筑施工点的断面可同时横向展开，更不受天气变化影响，施工快且工期有保证。吹填施工工艺设计流程，参见图1。

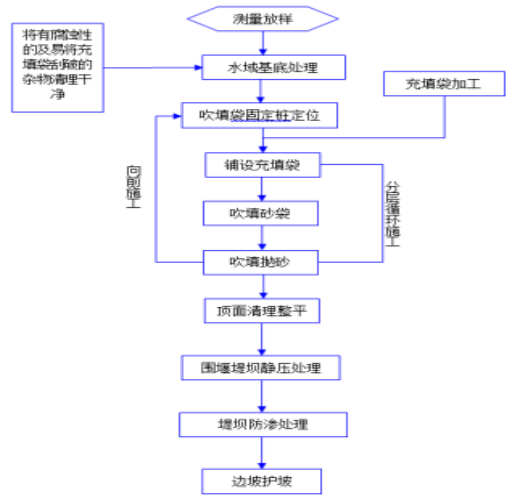


图1 吹填施工工艺流程图

根据本项目所经水域的情况，测量定位出管沟中心线，采用吹填设备吹出底宽6m，上开口约10m，深约2.5m的管沟，吹出的土方使用吹填袋进行围堰，围堰结构两侧为吹填袋装土，中间填土或增加吹填袋。围堰的平均尺寸为底部7~8m，顶部5~6m，高度1.5~2m。围堰满足机械施工要求。管沟在吹填围堰的过程中争取一次成型。深水区处施工时先吹填平整，后吹填管沟叠堰，施工时在管线轴向长500m，宽5m范围内均匀取土吹填，详见下图2。

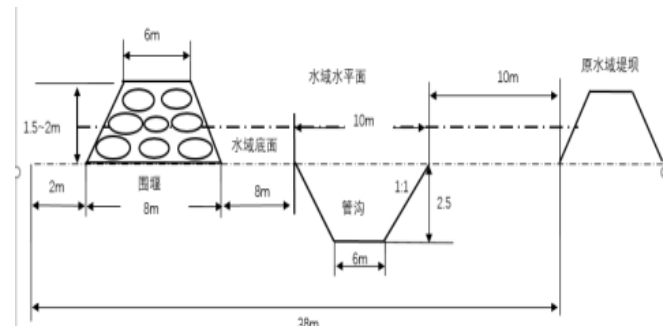


图2 围堰断面示意图

考虑到本工程工期紧、现场施工环境复杂等诸多因素，拟采用吹填式围堰，管沟一次成型和管线整体预制的的方法。

### 1. 施工要求

编织袋的加工要求缝合处折叠三层针脚，缝合后的强度不得低于原来的70%。对于编织袋铺设前需要做清洁工作，工作内容主要针对即将敷设区域。施工前先测量放样定位，尤其是边界线、底边线等部位，测量数据一定要保证准确。边界线确定后再确定充填袋的层数，其多少主要是根据河床底标高计算的。不同工程项目河床高度不同、水域水深不同，从而充填袋充填层数也各不相同。此外，充填袋的充填高度也需要根据相关工程的实际情况及时调整。在吹填区域需确定固定桩，其定

位点首先要明确，此处可施打一排钢管为定位点的标志杆。根据本工程的实际工况，施工敷设充填袋时采取分层、人工铺设的方式。充填袋施工时沿堤脚线横向铺设，可按图3叠加方式避免出现贯通缝隙，并且严格控制坡角比。充填袋充填过程中，应注意每层的宽度、高度及纵向长度。充填完成后，每个参数应满足设计要求。

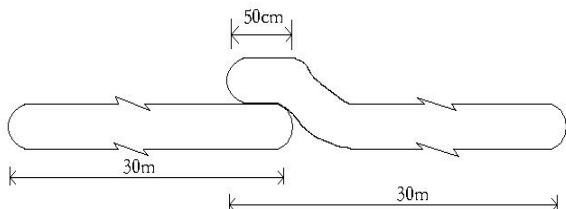
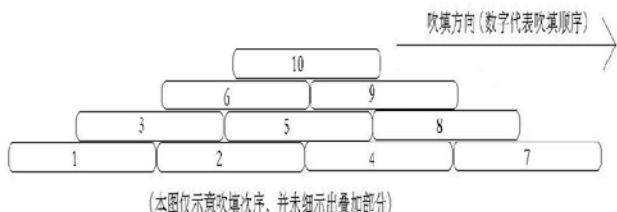


图3 充填袋叠加方式

### 2.吹填砂袋

采用阶梯式吹砂作业法，吹填顺序按图4所示，依此顺序类推，循环往复纵向施工。



(本图仅示意吹填次序，并未细示出叠加部分)

图4 吹填纵向顺序示意图

充填后的铺设过程应严格按照设计所要求的顺序进行。先充填再开始施工填料进浆、二次补填。在施工和铺设过程中，要严格要求，逐层布袋。断面成型后不宜出现任何拼接或缝隙。在袋体的固定粘结度满足图纸技术条件的要求后，方可进行下一步施工。应注意上、下层袋体的相连形式，不得穿透袋体，应采用钢丝拴接固定。施工过程中，充填袋要避免日光直接照射，且袋体之间不得夹有淤泥。

### 3.吹填抛砂

采用吹填设备直接在虾池作业带范围内作业。作业时吹填设备应高速抛砂。抛砂作业可以在第一层完成后进行，需要达到设计要求的高度。

吹填作业是大开挖穿越过程很关键的一道工序，必须控制好关键部分，监督好施工质量，才能保证施工顺利进行：保证测量放样数据准确；采用GPS定位系统精确测定边界线位置；吹填施工完成后的衔接部分的高度应与钢栈桥的桥面高度相同；施工过程要严格按照规定工序作业，绝不允许有出现大的施工缝隙，定时测量围堰以保证围堰施工质量。

### 4.吹填作业后

吹填的高度是吹填作业施工过程中必须控制的关键参数，达到设计要求的高度后，吹填范围内的砂石要平整。根据本工程实际工况，可采用ZL50装载机。采用小型挖掘机或夯机等设备对堤坝进行静压载荷处理，便于设备行走防止溃坝。如果在施工过程中，堤坝出现渗水等情况，可采用防渗布处理。必须在所有堤体全部形成才能进行面层施工，以防止袋体损坏。

### 5.管线下沟回填

本工程管沟内积水约34000m<sup>3</sup>，当管线预制，并检测、防腐、试压合格后，采用漂管抽水沉管法，依次进行原油管线、柴油管线、汽油管线的漂管下沟、平衡压袋安装作业，然后集中6~8台8寸泵进行低点不间断降水，直至达到管道埋设深度；管线降至沟底以后，使用吊装机械配合人工将管线间距和管线平整度调整（管线净间距0.6m）至设计要求；或者根据现场施工和环境情况也可以先抽水后下沟。管道下沟后，先拆除部分围堰回填至原油管道顶部，拆除2.3km的围堰进行大规模回填施工，同时恢复池底地貌。回填时，根据沟渠内积水情况，现场决定是否在管沟断面上重新进行二次围堰，为后续连头做挡水准备。

## 三、结论

- 1.工程管道途经较大的虾池养殖水域区，所经水域采取大开挖方式穿越。
- 2.管沟通过吹填法一次成型，同时多余土方进行围堰，一举两得，可大大降低施工周期，节约成本。
- 3.工程采用漂管抽水沉管的管线下沟法简单易行，可节约大量施工占地。

### 参考文献：

[1]简思勇.油气管道河流穿越工程设计探讨[J].科学管理, 2019, (7): 341-342.  
 [2]孙建科.输气管道蓄洪区稳管设计[J].中国石油和化工质量标准, 2018, 24: 102-103.  
 [3]廉践维.长输管道沿河流滩地敷设计建议方案[J].天然气技术与经济, 2013, 7(5): 43-45.  
 [4]杨智鹏.浅谈抗漂浮稳管技术在河流穿越中的应用[J].中国高新技术企业, 2012, 24: 61-62.  
 [5]张太山.吹填工程施工质量控制要点[J].科技风, 2012, 20: 158-159.  
 [6]沈林, 等.大面积淤泥质土吹填施工工艺优化[J].港口科技·港口建设, 12-15.