

# Buoyancy Analysis of the Natural Gas Long-Distance Pipeline Excavation and Its Countermeasures

Weisheng Yang

Jiangsu Huanyu Construction Engineering Co., Ltd., Suzhou, Jiangsu, 215699, China

## Abstract

The paper analyzes the buoyancy and dead weight of the pipeline during the excavation and laying of the natural gas long-distance pipeline, introduces the advantages and disadvantages of the commonly used counterweight and its applicable installation environment, selects the appropriate counterweight method, and performs the correct prefabrication and installation.

## Keywords

natural gas pipeline; large excavation channel; buoyancy; counterweight; prefabricated installation

# 天然气长输管道河道开挖敷设的浮力分析及采取的应对措施

杨伟胜

江苏环宇建设工程有限公司, 中国·江苏·苏州 215699

## 摘要

论文分析了天然气长输管道河道开挖敷设时管道受淤泥的浮力和自重, 介绍了常用配重的优缺点及其所适用安装环境, 选择合适的配重方式, 并进行正确的预制和安装。

## 关键词

天然气管道; 大开挖河道; 浮力; 配重; 预制安装

## 1 引言

在天然气长输管线施工中, 经常性要大开挖穿越河道, 特别在南方地区, 大部分河道淤积着厚厚的淤泥, 管道开挖敷设时, 因敷设管道受到淤泥的浮力和其他外力的作用, 使敷设完毕的管道重新上浮, 达不到管道敷设的埋深要求, 留下事故隐患。轻则在施工期间发现此情况, 重新进行开挖敷设, 增加施工成本; 较严重情况下, 在天然气投产时发现此隐患, 并进行返工作业, 综合成本很大; 最严重情况下, 天然气管受水流的冲刷而出现移位变形, 直至断裂和爆炸, 可能酿成无法估量的损失。

因此, 对于天然气管道大开挖穿越河道时, 施工单位应计算淤泥对管道产生的浮力, 并综合分析管道自身的重量、河道水文、地形地貌等情况, 采取适当的配重方式, 按要求进行预制和安装配重。

## 2 管道上浮分析

天然气管道在穿越河道时, 在施工过程中、施工完毕以及投产后均会出现管道上浮的现象, 究其上浮的原因, 是物体在液体中受到的上下压力差, 只不过这个液体是有一定流动性的淤泥。其本质还是遵循阿基米德浮力定律(指: 浸在流体里的物体受到向上的浮力, 其受力大小等于物体排开的流体所受的受重力), 计算公式是:

$$F = \rho g V$$

F: 管道所受的浮力, 单位牛;

$\rho$ : 所在液体的密度;

g: 重力加速度;

V: 管道排开流体的体积

天然气管道大开挖穿越河道时, 管道敷设在淤泥中, 受到淤泥的浮力, 其大小计算如下。

## 2.1 测算淤泥密度

要计算管道敷设在淤泥中所受的浮力，必须知道淤泥的密度，在施工现场可采用一种简单且方便的方法来粗略计算淤泥密度：

①样本选择：因淤泥所含砂粒、腐殖物、含水率等不同，其密度差别也比较大。因此，要测定天然气管道敷设处的淤泥密度，一般来说，根据河道的实际情况，在两侧选取不同点（至少3点以上），进行人工开挖取样坑，开挖的深度大约在1.2m左右，取样时要及时。

②称重：用预先准备好的250mL的矿泉水瓶，分别在取样坑中取土，装入矿泉水瓶中，直至装满，然后根据不同的取样点进行标识；用瓶盖密封后对取样物进行称重，并作好记录。

③测定：根据各瓶的取样物的实际重量（塑料空瓶本身的重量可以忽略），然后计算各瓶的中淤泥密度 $\rho_1=G/V$ ，G为重量Kg，V=250mL（即矿泉水瓶的体积）。后对各组的淤泥密度作算术平均，测算出河道中管道敷设段的淤泥平均密度。

## 2.2 被敷设管道的重量计算

计算管道本身的重量时，因管道内的介质为天然气，介质的重量一般不予考虑，只考虑钢管以及其外侧防腐层的重量，计算如下：

### 2.2.1 没有防腐时预制管道重量（G1）

$$G_1=L*3.14*7.85*(\varphi-\delta)*\delta*10^{-6}$$

G1：穿越段管道重量，单位为t；

L：穿越段管道长度，单位m；

$\varphi$ ：管道外径，单位为mm；

$\delta$ ：管道壁厚，单位为mm；

### 2.2.2 预制管道3PE(加强级)防腐层重量（G2）

$$G_2=L*3.14*\varphi*\mu*\rho_2*10^{-6}$$

G<sub>2</sub>：穿越段管道3PE的防腐层重量，单位为t；

L：穿越段管道长度，单位m；

$\varphi$ ：天然气管道外径，单位为mm；

$\mu$ ：防腐管道的防腐层厚度，单位为mm；

$\rho_2$ ：3PE防腐层的密度，单位为t/m<sup>3</sup>，高密度聚乙烯的密度为0.94t/m<sup>3</sup>；

### 2.2.2 预制管道的总重量：

$$G_3=(G_1+G_2)*\xi$$

G<sub>3</sub>：穿越段管道名义总重量，单位为t（为计算方便）；

$\xi$ ：挠动的经验系数，即在天然气管道投产后，因天然气在管道内流速快，对管道弯头冲击，使管道产生一定幅度的振动，在淤泥地质下，而产生的一种向上的提升力，在0.85~0.9之间。

## 2.3 计算管道的所受的浮力

$$F_1=\rho V=\rho_1*g*L*3.14*\varphi^2/4$$

F<sub>1</sub>为所受的浮力，单位t；

$\rho_1$ 为淤泥的平均密度，单位t/m<sup>3</sup>。

（注：前述的F=ρgV中的浮力F单位为牛）

## 3 配重设置

在计算出大开挖穿越河道敷设段管道本身的重量和其所受的浮力后，两者之间所存在的差值就是需要增加的配重。但管道的配重并不是越大越好，如配重大则管道所受的向下的应力过大，在此力的长期作用下，导致管道不断下沉，局部应力增加，可能会导致焊接处产生裂纹，发生严重危险，如配重不够，安装后管道就有可能上浮，导致敷设深度不够，易受其它外力的破坏。所以管道敷设后所受的向上和向下的力要基本平衡，要达到这种较为稳定的状态，则要根据河道具体的情况、施工难易等综合因素来考虑<sup>[1]</sup>。

### 3.1 混凝土配重块设置

采用混凝土配重块的方式来设置，这是最简单的一种配置方式，主要适用于所开挖的河道水流平缓，无冲刷或冲刷线较浅，水流对管道敷设层的淤泥不会产生影响，或者说，敷设后的管道只受上下的力，基本上不会受左右两侧的外力。

这种配重安装方式，必须将大开挖敷设段的管沟积水抽干，才能进行配重块的敷设。

混凝土配重块的样式有装配式和马球鞍式，一般设计院均有标准的图样，不同规格的配重块具有不同技术参数。目前，应用最多是马鞍式配重块，现以的管径为Φ457的马鞍式配重块为例，说明其样式、技术参数和图如下：

在空气中每块的重量为1000Kg/块，而在水中每583Kg/块，每块的体约0.417m<sup>3</sup>。



现场施工过程中可作一些细微的调整（为混凝土浇筑方便，截掉上部 50mm 左右，如下截面图），从而达到敷设管线自重和浮力相对的平衡。

当选择的混凝土厚度在计算后，达不到基本平衡的要求，则重新选一个计算厚度，再进行计算，直到达到管道加配重后的自身重量稍大于浮力的 5 ~ 10% 为宜。

根据以上的计算，说明选择 100mm 厚的混凝土保护层是可行的，但为了从顶部浇筑土，须切除顶部的部分钢（截面图如图 2 所示），有以下两种情况可供考虑。

①如果考虑到配重的重量略少，可以混凝土脱模后，重新修补切除部分；

②如果考虑配重略大，则不必修补初切除部分，或稍增加切割部分的混凝土量；

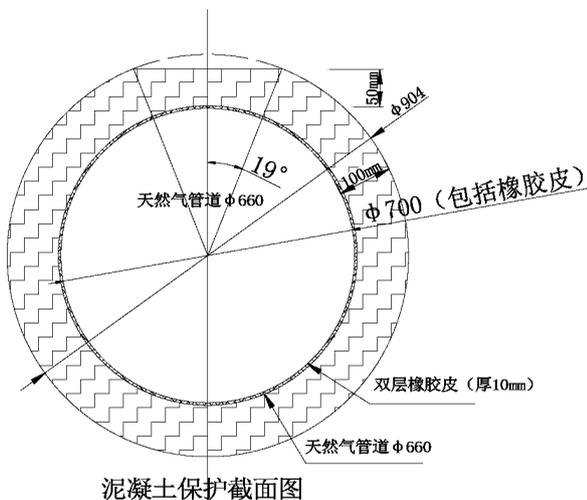


图 2 截面示意图

## 4 对应的施工措施

### 4.1 混凝土配重新预制和安装

混凝土配重块的预制较为简单，根据设计的图纸制作模具，然后按图进行钢筋的制作和安装，接着进行混凝土浇筑，最后为拆模和养护，在这里不作详细的说明。

混凝土配重块安装也比较容易，将预制好的配重块用搬运到施工现场，在天然气管道上标出安装配重块的位置，并包裹一层橡胶皮，再利用挖掘机等机械安装配重块即可，在此不作细述。

### 4.2 平衡压袋安装

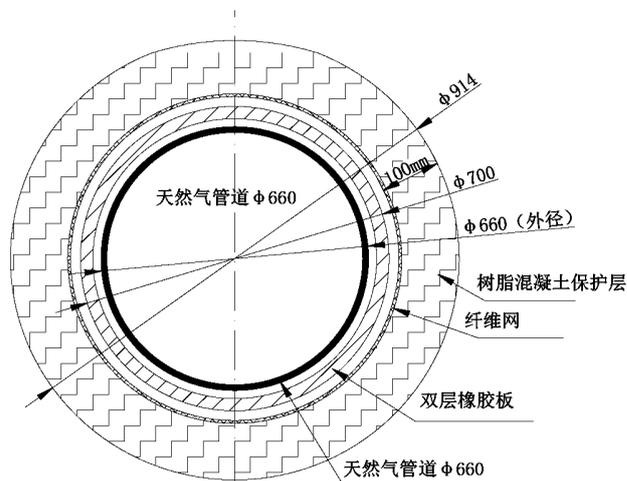
浮力平衡压袋安装技术目前也比较成熟，将粗砂用车辆运送到施工现场，然后进行填装，再用手动缝纫工具进行封口，

最后将浮力平衡压袋根据预先计算好的位置安装即可，在这里不作细述。

### 4.3 混凝土外包覆预制和安装

此种配重安装的方式比较特殊，预制时工序比较繁琐，以上述某工程穿越河道为例，管道规格为  $\phi 660 \times 15.7\text{mm}$ ；穿越段长为  $L=32\text{m}$ ，预制要点说明如下。

#### 4.3.1 混凝土包覆结构



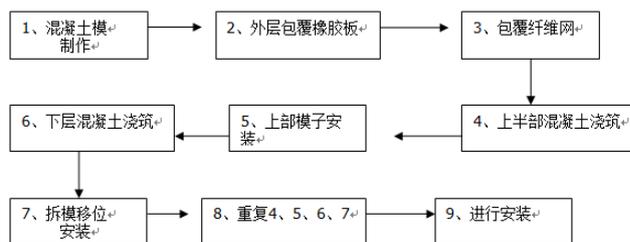
管道保护截面图

图 3 管道保护截面图

#### 4.3.2 管道混凝土保护层安装

- ①管道混凝土安装的程序
- ②混凝土模具制作

模具制作图如下所示：



混凝土的模具采用  $\phi 920 \times 8$  螺旋管（Q235）制作，长度 12m，分成 2 节，每节 6 米，以方便拆卸和搬运；

模具分上下两部分，共 3 个部分，3 个部分之间采取螺栓连接；为了保证管道重心不偏离和混凝土浇筑，模子上端削去一个小弧，去了弧长 609mm，高部分度 50mm；

模具的内壁涂上油，以方便模具的拆卸；

模具的一端分成梯形，以利于与下道进行搭接，保证混凝土保护层整体性；

在模具拼装的接缝中，利用塑料薄膜粘贴，以防漏浆。

### ③外层包覆橡胶板

为加强对管道内的防腐层的保护, 再在 3PE 防腐层的外侧包裹两层  $\delta=10\text{mm}$  橡胶皮。

### ④包覆纤维网

在为增加混凝土的附着力, 在橡胶皮的外侧缠绕一层纤维网。

加好纤维网后, 再加  $\phi 800$  左右的竹笼, 以增加混凝土强度和塑性, 并保证混凝土配重层的整体性, 示图如下:

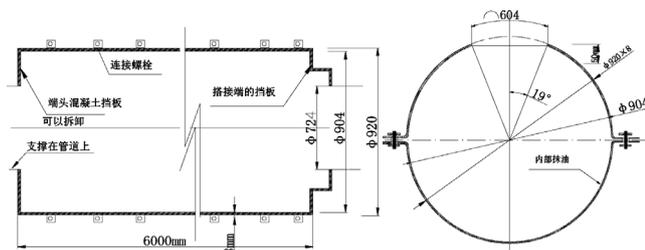


图 4 模子截面示图

### ⑤下层混凝土浇筑

管道组对焊接防腐完毕后, 安装下层的混凝土模子, 为保证脱模的方便, 在钢模下用木楔子进行锁紧。

在模子中灌注入混凝土, 为了保证振捣过程中不损伤管道外的橡胶和防腐层, 宜将振动泵放在模子的一侧。

### ⑥上部模子安装

在下层混凝土浇筑完毕后, 再安装上部的钢模, 并用螺栓锁紧。

利用上层模子上层的开口, 将混凝土逐渐灌入, 进行分批进行振捣。

### ⑦拆模、移位和安装

上下层的混凝土浇筑完毕后, 并过 24 小时左右, 轻敲模子, 拧开连接的螺栓, 拆卸模子, 进行下一位置的浇筑。

将混凝土梯形端与下一道搭接, 使保护层成为一体。

### ⑧管道安装时要求

管沟开挖要求: 采用水上开挖、水下成沟的办法, 水下管沟的宽度应比陆上管道宽 2~3 倍。

预制管道下沟: 因管道外包裹首混凝土, 两者的韧性不相同, 混凝土配重层韧性差易碎, 因此需用多台起重机械起吊、搬运包裹着混凝土配重的预制管道; 为保证顺利下沟还必须还要开挖发送沟。每个吊点的间距不宜超过 12m。

管道就位: 预制管道在滑移或吊运到管位上方时, 利用管道自身的重量安放到位, 并进行相关数据的测量。

管沟回填: 在各项测量数据均符合设计和施工验收规范的要求后, 利用预制好的砂袋快速在管道上方回填一层, 然后用水上挖掘机械将管沟充分回填。

## 5 结语

在天然气长输管道施工过程中, 选择大开挖穿越河道方案时, 应充分对河道两侧的环境、水文、地质情况作深入的了解, 综合考虑采用何种配重形式, 测定淤泥的密度, 计算管道所受的浮力, 再进行配重的预制和安装, 以保证天然气管道的敷设符合要求, 保证天然气管道的安全。

## 参考文献

- [1] 王晓冬. 淤泥地段管道稳管与处理措施. [J/OL]. 建筑与工程. 2017. 27(4). 2017-4-21.