

跨航道施工非自航船锚泊计算分析

王怀栋¹, 张捷¹, 张晓丹², 张新¹

(1. 中交海洋建设开发有限公司, 天津 300457; 2. 香港海洋投资发展有限公司, 香港 999077)

摘要: 由于香港某海底输气管道路由跨越航道, 需要采用预挖沟方式对输气管道进行掩埋保护。针对跨航道预挖沟工程中非自航抓斗船的布锚情况, 结合非自航抓斗船在施工现场所受到的风、浪、流等环境荷载作用, 本文运用 MOSES 软件, 对锚缆张力、上拔力等参数进行锚泊计算, 验证复杂海况下非自航抓斗船抛锚作业的可行性, 优选出最佳布锚方案, 对同类施工工程的布锚同样具有一定的指导作用。

关键词: 锚泊计算; 非自航船; 跨航道

中图分类号: TV523 文献标识码: A 文章编号: 1006—7973 (2022) 12—0130—03

由于香港天然能源短缺, 天然气供应主要依赖内地和海外, 海底输气管道的建设成为天然气供应必不可少的关键环节。香港某海底输气管道路由跨越航道, 为了避免管道不受外界影响且不影响通航, 需要通过预挖沟施工将输气管道埋设至海床下 4m。在预挖沟施工中除跨越航道外, 还存在与已有管道并行等问题, 导致除风、浪、流等自然因素外对施工船舶的锚缆长度、锚缆张力提出了更加严格要求。本文针对跨航道、并行管道条件下的海底管道预挖沟施工进行锚泊分析, 从而确定最优布锚方案, 以满足施工作业及安全要求。

1 锚泊分析模型

在预挖沟施工过程中, 非自航抓斗船沿管道路由方

向进行多次布锚作业, 考虑到受半通航半施工以及并行管道的影响, 根据每次布锚的极端状态, 选取对非自航抓斗船平行路由由锚泊状态和垂直路由由锚泊状态进行计算分析。

1.1 设计标准

根据 DNVGL-ST-N001, 线张力极限和设计安全系数如表 1 所示。

表 1 线性张力极限和设计安全系数

分析条件	分析方法	线张力基线 (MBL%)	设计安全系数
完整状态	准静态	50%	2.00
完整状态	动态	60%	1.67
破断状态	准静态	70%	1.43
破断状态	动态	80%	1.25

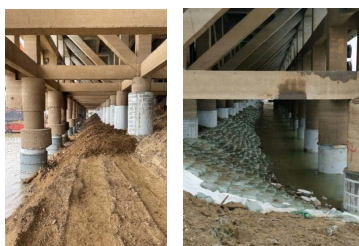


图 4 桩基修复效果图

3 结语

目前水运工程混凝土桩基修复方法主要有扩大截面法、复合纤维材料包裹法、玻纤套筒加固法、钢套筒压力灌浆法等, 每种方法都各有优势和劣势, 需根据工程特点灵活选用, 扬长避短, 选择最合理最经济的修复方案。本文以南昌某集装箱码头灌注桩修复为例, 针对灌注桩所处不同区域, 环境条件的不同, 分别提出了钢套筒 + 玻纤套筒 + 高强水下水泥基灌浆料联合法和玻纤套筒 + 普通水泥基灌浆料联合法, 并成功应用实施, 取

得了良好工程效果, 可为今后类似桩基修复设计提供参考。

参考文献:

- [1] 唐小龙. 探索港口码头钻孔灌注桩施工技术 [J]. 中国水运, 2021, (02): 99-100.
- [2] 韩路, 顾祥奎. 高桩码头混凝土桩基修复加固技术 [J]. 中国港湾建设, 2020, 8(40): 58-62.
- [3] 姜学洲. 高桩码头混凝土桩基修复加固技术分析 [J]. 绿色环保建材, 2021, 11(2): 3-4.
- [4] 魏明晖, 严锋. 玻纤套筒加固技术在高桩码头维修工程中的应用 [J]. 水运工程, 2017, 9(534): 202-205.
- [5] 徐云浦等. 钢套筒包覆技术在高桩码头加固中的应用 [A]. 2021 年全国土木工程施工技术交流会论文集 (上册), 2021, 04: 477-480.
- [6] 王飞朋等. 老码头混凝土方桩修复加固方案及技术要点 [J]. 水运工程, 2022, 1: 87-94.

本文采用准静态分析方法进行锚泊计算，完整状态和破断状态的安全系数分别为 2.00 和 1.43。

1.2 环境条件

根据管道路由分布，跨航道海域水深 15.00m，施工过程中要满足航道半通航要求；管道路由与已有管线存在 300m 的平行段，最小间距为 90m，锚缆与已有管道之间至少要保证 50m 的安全距离，且不能跨越已有管线。

在满足上述海上施工要求的同时，考虑风荷载、流荷载、波浪荷载等复杂环境条件，对两种锚泊状态设计合理布锚方案。施工海域的环境条件如表 2 所示，风浪流的主方向如图 1 所示。

表 2 环境条件

环境条件	参数值	方向
风	20.80m/s	ENE
浪	Hs=1.1m, Tp=3s, Jonswap	SSW
流	1.11m/s	SSE
水深	15.00m	--

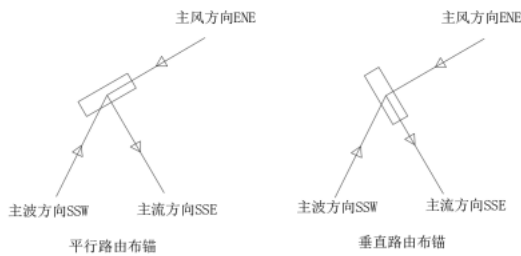


图 1 风浪流主方向

1.3 船舶参数

本文中施工船舶为非自航抓斗船，船舶基本参数如下：

表 3 船舶参数

船舶参数	参数值
总长	48.80m
型宽	18.30m
型深	3.66m
总重	1500.00MT
吃水	2.00m
重心垂向高度	2.44m
重心纵向坐标	24.40m
横摇回转半径	5.86m
纵摇惯性半径	14.15m
艏摇惯性半径	14.15m

1.4 锚泊系统

根据非自航抓斗船的施工特点，锚泊系统由四条锚

缆组成，位于船艏的两条锚缆采用八字锚锚泊方式；位于船艉的两条锚缆采用交叉锚锚泊方式，以提高船舶的稳定性。非自航抓斗船平行路由锚泊状态和垂直路由锚泊状态的锚缆布置如图 2 所示。各锚缆的角度、长度以及预张力详见表 4，锚缆参数详见表 5。

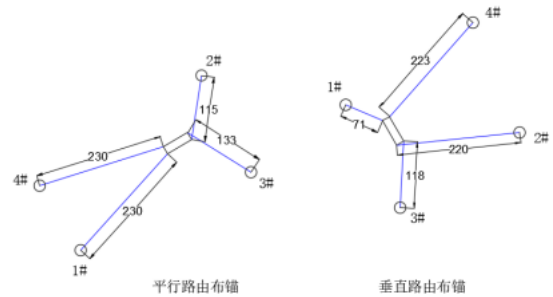


图 2 锚缆布置图

表 4 锚缆配置

布锚类型	锚缆编号	角度 (°)	长度 (m)	预张力 (t)
平行路由布锚	1#	-164	230	5
	2#	50	115	5
	3#	-64	133	5
	4#	166	230	5
垂直路由布锚	1#	-145	71	5
	2#	68	219	5
	3#	-44	118	5
	4#	105	221	5

锚缆参数如下：

表 5 锚缆参数

锚缆参数	参数值
直径	34mm
最小破断拉力	61t
干重	4.20
湿重	3.65
轴向刚度	4.24*104kN/m

2 计算分析

本文采用 MOSES 软件对船舶锚泊系统进行水动力分析和模拟仿真，计算得出锚缆最大张力、最大上拔力以及船舶六个自由度的最大运动幅值。

MOSES 软件可以进行频域时域分析，以预测在施加波浪、风和海流等环境力作用下的物体运动。在时域分析中，MOSES 软件使用二阶 Newmark 积分方法，通

过在积分的每个时间步使用迭代来处理非线性外部负载，可用于模拟非线性外部载荷，如悬链线系泊缆。在时域分析中，MOSES 软件基于用户定义的波谱生成一系列具有随机相位的波分量，并利用频域分析中计算的水动力系数生成波浪力。

在平行路由锚泊状态下，如表 6 ~ 表 8 所示，最大锚缆张力为 21.16t (2#)，最小安全系数为 2.88，最大锚缆上拔力为 2.89t (2#)。在船舶的六个自由度最大运动幅值中，横荡和艏摇较为突出，分别为 4.75m 和 4.86°。

表 6 平行路由布锚的锚缆最大张力

锚缆编号	最大张力 (t)	安全系数
1#	1.40	43.71
2#	21.16	2.88
3#	15.21	4.01
4#	19.19	3.18

表 7 平行路由布锚的锚缆最大上拔力

锚缆编号	最大上拔力 (t)	海床上最小长度 (m)
1#	0.00	117.41
2#	2.89	0.00
3#	1.69	0.00
4#	1.00	0.00

表 8 平行路由布锚的船舶自由度最大运动幅值

参数	纵荡(m)	横荡(m)	垂荡(m)	横摇(°)	纵摇(°)	艏摇(°)
最大值	2.91	4.75	0.03	0.35	0.16	4.86

在垂直路由锚泊状态下，如表 9 ~ 表 11 所示，最大锚缆张力为 11.67t (1#)，最小安全系数为 5.23，最大锚缆上拔力为 2.60t (1#)。在船舶的六个自由度最大运动幅值中，纵荡和艏摇较为突出，分别为 0.24m 和 0.38°。

表 9 垂直路由布锚的锚缆最大张力

锚缆编号	最大张力 (t)	安全系数
1#	11.67	5.23
2#	5.24	11.64
3#	6.31	9.67
4#	5.89	10.36

表 10 垂直路由布锚的锚缆最大上拔力

锚缆编号	最大上拔力 (t)	海床上最小长度 (m)
1#	2.60	0.00
2#	0.01	0.00
3#	0.69	0.00
4#	0.05	0.00

表 11 垂直路由布锚的船舶六个自由度最大运动幅值

参数	纵荡 (m)	横荡 (m)	垂荡 (m)	横摇 (°)	纵摇 (°)	艏摇 (°)
最大值	0.24	0.19	0.01	0.11	0.06	0.38

3 结论

(1) 通过对平行路由和垂直路由两种锚泊状态进行分析，计算结果表明，所设计的两种锚泊方案的安全系数均大于设计安全系数 2.0，满足非自航抓斗船的现场施工作业需求。

(2) 两种锚泊方案进行对比分析，垂直路由布锚船舶整体稳定性相对较好，结合半通航半施工工况条件，因此优选垂直路由布锚方案。

(3) 如果使用传统的拖曳埋置锚，则必须保证部署足够重的锚缆，以防止在完整状态下产生上拔力。

参考文献:

- [1] 肖越, 王言英. 三维锚泊系统时域计算分析 [J]. 船舶动力, 2005, 9(5): 8-16.
- [2] 马洪新, 王磊, 刘坤, 等. 基于 MOSES 软件的挖沟机工程船锚泊分析 [J]. 船舶标准化工程师, 2015, 6, 19-23.
- [3] 孙玉柱, 任小伟. 利用 MOSES 软件进行施工船系泊分析 [J]. 船舶工业, 2016, 16(3), 13-15.

