

文章编号:1001-4500(2007)05-0001-05

# 浅海海底管线电缆检测及维修装置的潜浮稳性计算分析

柏 健,李德堂

(胜利石油管理局钻井工艺研究院,东营 257017)

**摘 要:**针对浅海海底管线电缆检测及维修装置的潜浮稳性、下潜时重量重心和初稳性进行了分析计算,特别是对下潜时的调载过程进行了精确阐述。

**关键词:**检测及维修装置;潜浮稳性;下潜;调载过程

**中图分类号:**U661

**文献标识码:**A

## 1 引言

1973年,我国首次在黄岛铺设了3条500多米的装油海底管道,随着海上油气田的快速发展,海底管道、海底电缆已得到广泛应用,然而对于海底管道的检测和维修却是空白。由于使用年限的延长,海流冲刷的影响及一些突发事件的发生等,海底管线、电缆的状况检测和维护已成为越来越突出的问题,为此,胜利石油管理局在广泛调研论证的基础上,成功研制了“浅海海底管线电缆检测维修装置”(以下简称“装置”)有效地解决了目前浅海油田海底管线、电缆难以检测、维修的困难。

“装置”能否安全平稳下潜,是研制过程中的重点问题,与国外浅海油田相比,我国的情况要复杂得多,现有的浅海油田(如胜利的埕岛,辽河的葵花岛及大港的张巨河)均处在敞开海域,且海洋环境要素(冰、浪、流)运动剧烈。本文给出了“装置”的潜浮稳性计算分析。

## 1 “装置”的主要参数、工作条件与下潜程序

### 1.1 主要参数

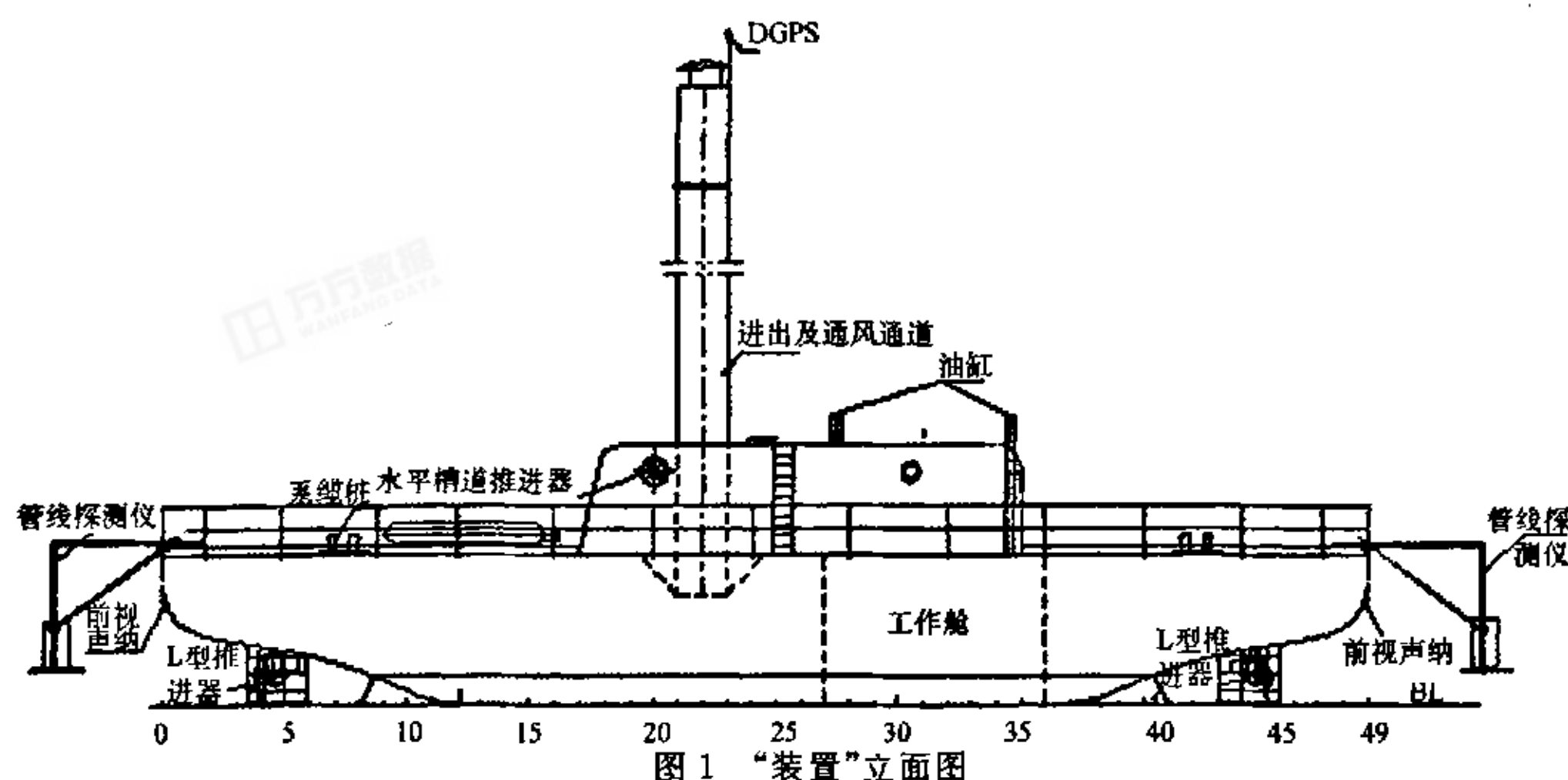


图1为“装置”的外形图,基本参数如下:

型长×型宽×型深:24.5m×8.5m×3m;总长×总宽×总高:28.5m×9.1m×29m;驾驶室高度:2.25m;通道高:25m;设计吃水:2.6m;水面排水量:410t;水下全排水量:572t。

收稿日期:2007-07-04

基金项目:国家863项目(编号820-11001)

作者简介:柏健(1976-),男,工程师。主要从事海洋工程设计工作。

1.2 工作环境条件

工作水深:2.7~20m,泥砂质海底;风载荷:水面航行状态:26m/s,水下潜行状态:12m/s,潜浮状态:6~7m/s;波流:波浪高 1m,周期 5.6s,流速 1.285m/s;海冰:无冰期作业;潮汐:天文潮 2.01m;工程地质:按 CB\* 11 工程地质资料。

1.3 下潜程序

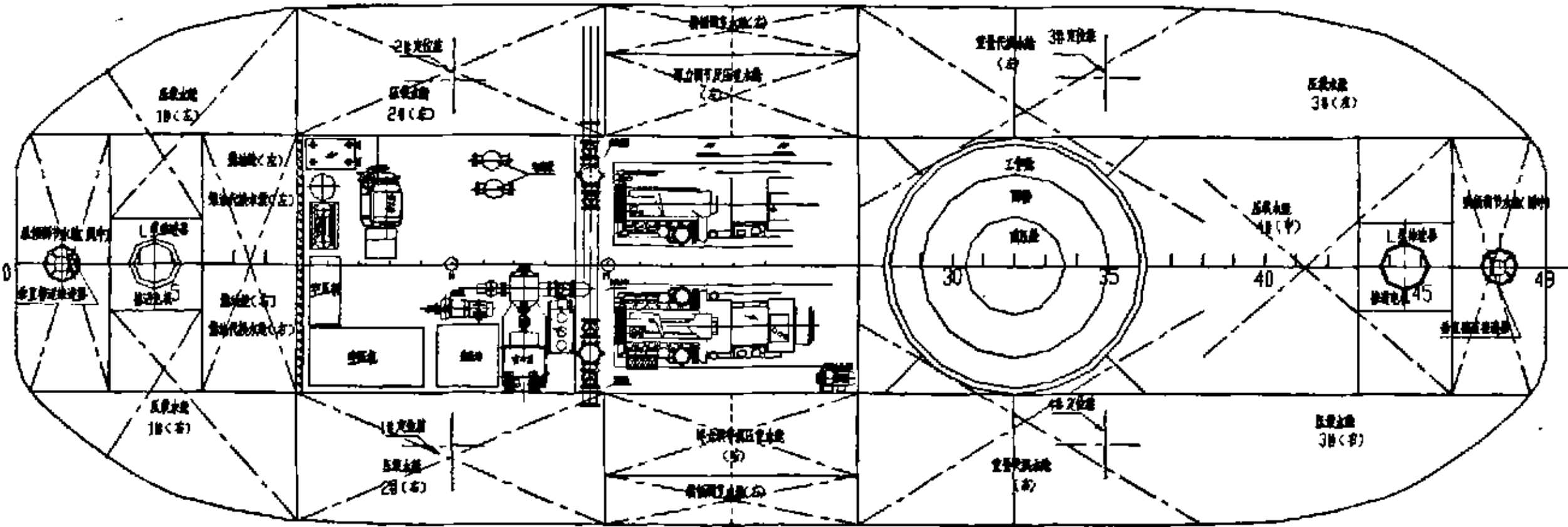


图 2 “装置”舱位布置图

图 2 为“装置”的舱位布置图,整个装置的下潜程序如下:

- ① 从水面状态(吃水 2.722 m)第 1、3 压载舱开始进水,到半潜状态(吃水 3.050m,甲板浸入水中)。第 1、3 压载舱灌满。
- ② 从半潜状态第 2、4 压载舱开始进水,到潜浮状态(吃水 5.250m,驾驶楼浸入水中)。第 2、4 压载舱灌满。
- ③ 从潜浮状态到水下状态(吃水 20.0 m),浮力调整水舱进水。该阶段应根据潜浮处的水深,密切观察装置的吃水,以决定进水量。

2 重量重心及初稳性计算

考虑到本装置潜浮的时间一般较长,因此补充计算了该装置潜浮过程的重心纵向位置,并列出了相对应的浮心纵向位置,如表 1~3 所示。由于重心和浮心位置不在同一铅垂线上,而且在第②、③ 下潜阶段纵向初稳心高  $GM_L$  值较小,为了防止出现装置纵向倾斜过大的危险情况,在实际压载中必须密切控制装置的纵倾,确保安全。

2.1 海水中下潜各状态的重心重心计算

表 1 第 1、3 压载舱进水重量重心

吃水 /m	压载舱 1 进水量 /t	压载舱 1 自由液面修正值 /m	压载舱 3 进水量 /t	压载舱 3 自由液面修正值 /m	排水量 /t	重心 纵坐标 /m	浮心 纵坐标 /m	重心 高度 /m	浮心 高度 /m
2.709	3.485	0.080	1.538	0.100	427.909	-0.294	-0.294	1.660	1.503
2.771	8.352	1.302	8.279	0.843	439.517	-0.260	-0.291	1.656	1.536
2.861	16.705	1.580	16.558	1.206	456.129	-0.267	-0.286	1.658	1.583
2.951	25.057	1.806	24.837	1.520	472.760	-0.274	-0.281	1.677	1.630
3.040	32.595	2.008	32.308	1.785	487.789	-0.290	-0.290	1.689	1.671

注:自由液面修正  $ix = 18.0 m^4$ ,  $iy = 64.3 m^4$ 。



表2 第2、4压载舱进水重量重心

吃水	压载舱2 进水量	压载舱2 自由液面修正值	压载舱4 进水量	压载舱4 自由液面修正值	排水量	重心 纵坐标	浮心 纵坐标	重心 高度	浮心 高度
/m	/t	/m	/t	/m	/t	/m	/m	/m	/m
3.082	6.123	0.281	4.496	0.740	493.744	-0.281	-0.303	1.679	1.687
3.183	12.247	0.498	8.990	0.940	504.362	-0.275	-0.325	1.663	1.718
3.300	15.233	0.587	11.182	1.089	509.540	-0.273	-0.325	1.659	1.734
3.466	18.371	0.682	13.486	1.140	514.982	-0.270	-0.318	1.655	1.751
3.900	24.494	0.885	17.981	1.301	525.600	-0.265	-0.280	1.654	1.790
4.322	30.618	1.068	22.476	1.472	536.219	-0.260	-0.241	1.660	1.836
4.753	36.742	1.278	26.971	1.643	546.838	-0.255	-0.204	1.674	1.888
5.168	41.820	1.546	30.699	1.839	555.645	-0.251	-0.173	1.700	1.937

注:自由液面修正  $i_x = 16.22 \text{ m}^4$ ,  $i_y = 19.17 \text{ m}^4$ 。

表3 浮力调整水舱进水重量重心

吃水	浮力调整 水舱进水量	浮力调整水舱 自由液面修正值	浮力调整 水舱进水量	浮力调整水舱 自由液面修正值	排水量	重心 纵坐标	浮心 纵坐标	重心 高度	浮心 高度
/m	/t	/m	/t	/m	/t	/m	/m	/m	/m
5.500	3.924	0.151			557.724	-0.176	-0.168	1.694	1.946
10.000	7.846	0.501			561.646	-0.184	-0.173	1.688	1.992
14.000	11.770	0.752			565.570	-0.191	-0.177	1.685	2.061
18.000	15.694	0.896			569.694	-0.198	-0.180	1.682	2.157

注:自由液面修正  $i_x = 29.5 \text{ m}^4$ ,  $i_y = 56.20 \text{ m}^4$ 。

## 2.2 海水中下潜各状态的初稳性计算

根据重量重心计算结果,进行装置的初稳性校核,初稳性计算公式为:  $GM = KB + BM - KG$ 。式中  $GM$  为初稳性高;  $KB$  为浮心垂向位置;  $BM$  为稳心半径;  $KG$  为重心高。

表4 第1、3压载舱进水初稳性

吃水	排水量	1、3压载舱自由 液面横向修正值	1、3压载舱自由 液面纵向修正值	横稳心 高度	纵稳心 高度	横向 初稳性高	纵向 初稳性高
/m	/t	/m	/m	/m	/m	/m	/m
2.709	427.909	0.043	0.153	4.024	21.793	2.321	19.980
2.771	439.517	0.042	0.149	3.990	21.293	2.292	19.488
2.861	456.129	0.040	0.144	3.903	20.532	2.205	18.730
2.951	472.760	0.039	0.139	3.735	19.725	2.019	17.909
3.040	487.789	0.038	0.135	3.417	16.158	1.690	14.334

注:自由液面修正  $i_x = 18.0 \text{ m}^4$ ,  $i_y = 64.3 \text{ m}^4$ 。

表 5 第 2、4 压载舱进水初稳性

吃水 /m	排水量 /t	2、4 压载舱自由 液面横向修正值 /m	2、4 压载舱自由 液面纵向修正值 /m	横稳心 高度 /m	纵稳心 高度 /m	横向 初稳性高 /m	纵向 初稳性高 /m
3.082	493.774	0.034	0.040	3.218	13.077	1.505	11.358
3.183	504.362	0.033	0.039	2.289	8.716	0.593	7.014
3.300	509.540	0.033	0.039	1.790	3.695	0.098	1.997
3.466	514.982	0.032	0.038	1.803	2.517	0.116	0.824
3.900	525.600	0.032	0.037	1.840	1.945	0.154	0.254
4.322	536.219	0.031	0.037	1.885	1.987	0.194	0.290
4.753	546.838	0.030	0.036	1.936	2.030	0.232	0.320
5.168	555.645	0.030	0.035	1.958	2.027	0.228	0.292

注：自由液面修正  $ix = 16.22\text{m}^4$ ， $iy = 19.17\text{m}^4$ 。

表 6 浮力调整水舱进水初稳性

吃水 /m	排水量 /t	浮力调整水舱自由 液面横向修正值 /m	浮力调整水舱自由 液面纵向修正值 /m	横稳心 高度 /m	纵稳心 高度 /m	横向 初稳性高 /m	纵向 初稳性高 /m
5.500	557.724	0.054	0.103	1.947	1.947	0.199	0.150
10.000	561.646	0.054	0.102	1.992	1.992	0.250	0.202
14.000	565.570	0.054	0.101	2.061	2.061	0.322	0.275
18.000	569.494	0.053	0.101	2.157	2.157	0.422	0.374

注：自由液面修正  $ix = 29.5\text{m}^4$ ， $iy = 56.20\text{m}^4$ 。

根据以上计算，绘出潜浮稳度图(图 3)。图 3 表明，从不同吃水时的初稳心高 GM 可以看到，一旦该装置的甲板梁拱部分浸入水中，即吃水达到 3.30 m 时，GM 迅速下降，达到最小值(海水中为 0.098 m)，此处是潜浮稳性曲线的“颈部”，因此在潜浮过程中应使该装置较快地下潜或上浮，迅速通过吃水为 3.30 m 处。

3 漂浮稳性和潜浮稳度计算

根据《海船法定检验技术规则》要求，对装置进行稳性计算。按水面航行状态、潜浮状态和水下状态进行校核，结果见表 7 和表 8。

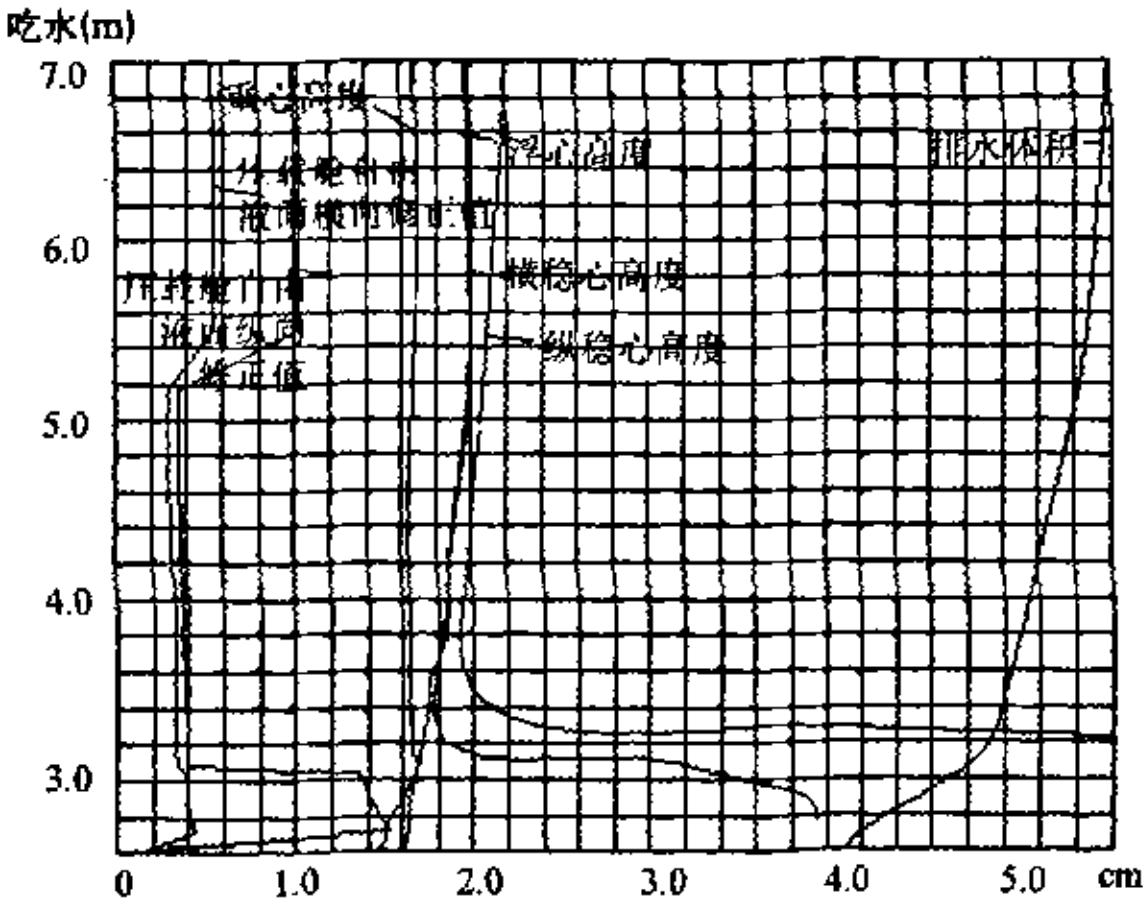


图 3 潜浮稳度图

表 7 水面航行状态稳性计算结果

最小恢复力臂/m	风压力臂/m	进水角/ $^{\circ}$	衡准数 K	初稳心高 GM /m
0.6794	0.0695	88.618	$9.773 > 1.4$	$2.425 > 0.15$

表 8 潜浮状态、水下状态初稳性计算结果

工况		$KM_{\tau}/m$	$KM_{\perp}/m$	$ZG/m$	$\Delta GM_{\tau}/m$	$\Delta GM_{\perp}/m$	$GM_{\tau}/m$	$GM_{\perp}/m$
潜浮状态	3m	1.702	1.745	1.536	0.0475	0.075	0.118 > 0.10	0.134 > 0.10
	5.25m	1.865	1.865	1.551	0.0397	0.0493	0.274 > 0.10	0.264 > 0.10
水下状态	5.25m	1.865	1.865	1.551	0.0387	0.0466	0.275 > 0.15	0.267 > 0.15
	20m	2.154	2.154	1.549	0.0387	0.0466	0.566 > 0.15	0.558 > 0.15

根据 PANB 稳性计算程序, 计算出装置的动稳性曲线(图 4)。从图 4 可以看出, 不同倾角时的动稳性臂值水面状态和潜浮状态差别比较大, 水面状态时最小倾覆力臂为 0.308m, 潜浮状态下动稳性曲线呈现不规则变化, 当倾角达到 52.13° 时, 动稳性臂达到最大值。

#### 4 结束语

实际应用证明, “装置”的潜浮稳性分析计算正确, 在规定的海洋环境下, 装置能够保持良好的稳性。“装置”投产后, 已在胜利浅海油田对海底管线和电缆进行了数次巡线检测, 还对海底管线进行了打卡作业维修, 取得良好的效果, 解决了目前埋入海底泥面下的底石油管线生产中急需解决巡线和维修的技术难点, 对海洋油气生产和环境保护有着重大意义。

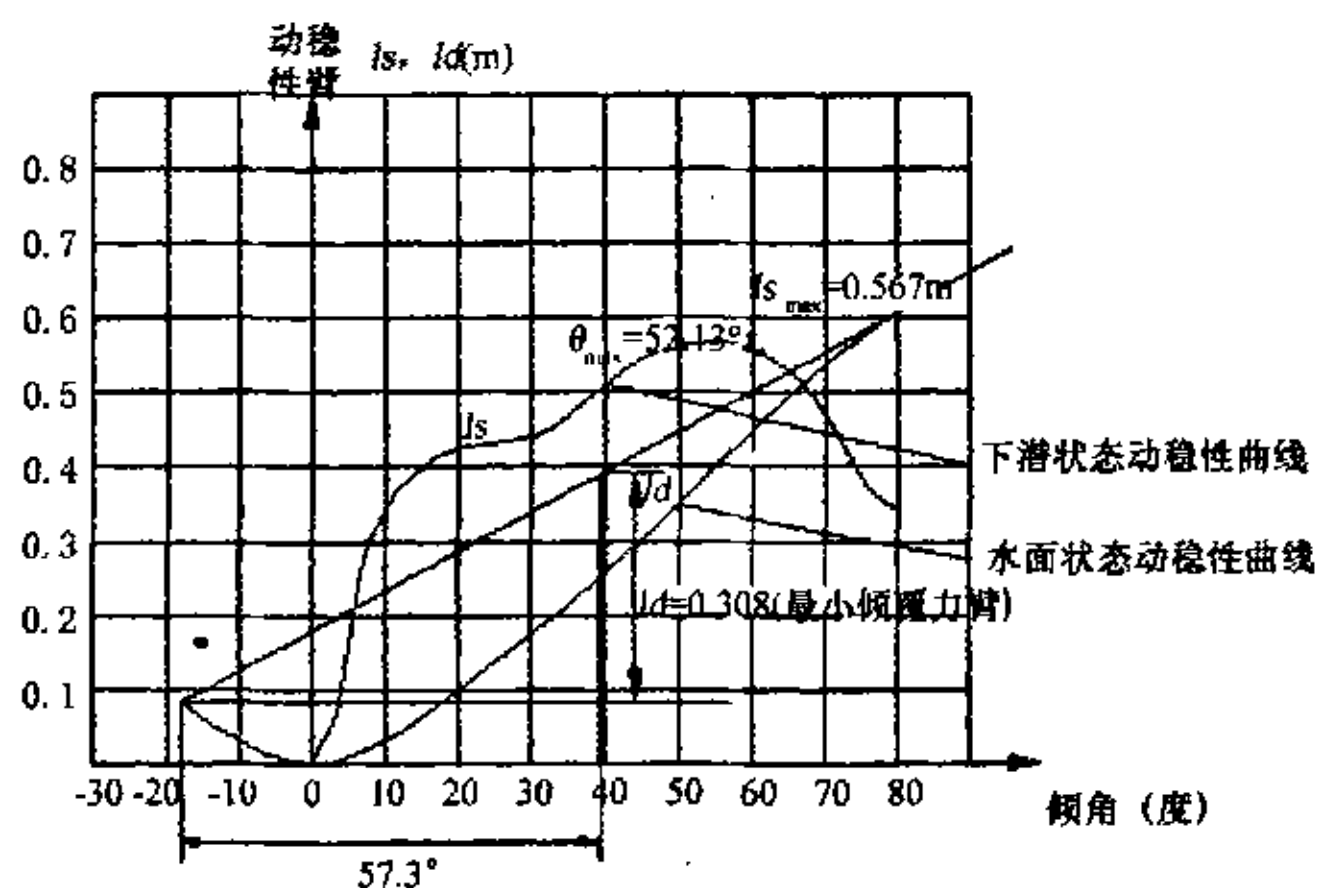


图 4 动稳性曲线图

#### 参考文献

- [1] 盛振邦、刘应中. 船舶原理[M]. 上海交通大学出版社, 2003.
- [2] 陈雪深. 船舶静力学[M]. 上海交通大学出版社, 1994.
- [3] 中国船级社. 海船法定检验技术规则[M]. 人民交通出版社, 1992.

## AN ANALYSIS OF SUBMERGENCE STEADY TO THE SHALLOW SEA SEABED PIPE CABLE CHECK AND MAINTENANCE DEVICES

BAI Jian, LI Detang

(Drilling technology research institute, Shenglin oilfield, Dongying 257017, China)

**Abstract:** The paper analyses the technology problem on big obliquity steady, weight and center of gravity in submergence, original steady, and especially gives a precision expound for the carry process in submergence.

**Key words:** check and service equipment, submergence steady, submergence carry process