

U656.126

## 湄洲湾锚地 10 万吨级系船浮筒设计与施工

林正珍<sup>1</sup>, 叶燕贻<sup>2</sup>

(1. 福建省港航管理局, 福建 福州 350002; 2. 福建省航道局勘测设计试验中心, 福建 福州 350002)

**摘要:** 湄洲湾锚地 10 万吨级系船浮筒是福建省沿海迄今最大的系船浮筒。文章主要介绍系船浮筒、锚链受力、沉锤设计、沉锤破土力的计算和系船浮筒的施工过程。

**关键词:** 湄洲湾锚地; 系船浮筒; 沉锤; 设计; 施工

**中图分类号:** U656.126

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1002-4972(2000)06-0018-05

### Design and Construction of the 100, 000 DWT Mooring Buoy in Meizhou Bay Anchorage

LIN Zheng-zhen<sup>1</sup>, YE Yan-yi<sup>2</sup>

(1. Port and Waterway Administration Bureau of Fujian Province, Fuzhou 350002, China;

2. Survey, Design and Test Centre, Fujian Navigation Channel Bureau, Fuzhou 350002, China)

**Abstract:** The 100, 000 dwt mooring buoy in Meizhou Bay Anchorage is the largest one at the coast area of Fujian Province. The paper mainly introduces the mooring buoy, forces on mooring chain, deadman design, calculation of the force of ground breaking by deadman, as well as the construction process of mooring buoy.

**Key words:** Meizhou Bay; Mooring buoy; deadman; design; construction

湄洲湾火电厂是外商在福建独资建设的大型电力工程项目, 总装机容量 72 万 kW, 工程总投资 7.55 亿美元。第 1、2 台机组将分别于 2000 年 7 月、10 月正式投入运行。投产后, 年用煤约 150 万 t。为满足世界银行环保要求, 该电厂决定从印度尼西亚的 KPC 公司进口含硫量及碱金属低的高质煤, 并由新加坡万邦集团用 7.5 万吨级的煤船运至湄洲湾 10 万吨级系船浮筒锚地, 卸装到 2000 吨级驳船, 转运至电厂码头。2000 年 5 月 16 日万邦集团 7 万吨级散货船“万邦之光”首次从印尼运煤抵达湄洲湾 10 万吨级系船浮筒锚地。这是福建省沿海港口迄今接纳的最大吨位的散货船。

#### 1 工程概况

湄洲湾火电厂位于福建湄洲湾北岸莆田市忠门镇塔林泮湖山下, 临岸建设 1 座重件码头和 1 座 8 000 吨级卸煤码头。从电厂码头到湄洲湾 10 万吨级主航道长约 6.3km 的区段为岛屿沟槽区, 西汉为白礁沟槽呈 EN-WS 走向, 水深较浅, 不足 5m 的浅滩长约 700m; 东汉为龙头石沟槽, 呈 S-N 走向, 汉道较长, 中段水深大于 5m, 在龙头石附近有许多岩礁出露, 两沟槽之间为一呈 S-N 走向的水下沙脊, 间有浅礁出露。该区段处于天然状况, 仅通航小渔船。为配合火电厂的建设, 通过勘察设计施工, 顺白礁沟槽开通 1 条满足 2 000 吨级驳船和 1 180kW 拖船组成旁推运煤船队全天候

收稿日期: 2000-05-20

作者简介: 林正珍, (1963-), 女, 福建罗源人, 福建省港航管理局高级工程师, 从事港口与航道专业。

通航的水上通道；同时在湄洲湾 10 万吨级主航道\*7 灯浮东侧海域建设 10 万吨级系船浮筒锚地，供 7.5 万吨级煤船及 2 000 吨级驳船和拖船系泊。

## 2 10 万吨级系船浮筒锚地设计程序

确定设计条件→系船浮筒选型→系泊力计算（风压力计算、流压力计算、波浪力计算、系泊合力计算）→系船浮筒锚链要求及选型→沉锤设计→沉锤埋深及沉锤破土力计算→沉锤坑开挖设计→系泊安全计算。

## 3 设计简介

### 3.1 锚地功能及平面布置

本锚地专为煤炭过驳作业而设置，采用单浮筒系泊，其作业方式为 7.5 万吨级煤船系泊浮筒，煤船两侧各旁泊 1 艘 2 000 吨级驳船和拖船进行卸装煤作业。本锚地工程设计代表船型采用 7.5 万吨级煤船，其主尺度：船长  $L = 240\text{m}$ ，型宽  $B = 35\text{m}$ ，满载吃水  $T = 13\text{m}$ 。根据《港口工程技术规范》，锚地水深  $h \geq 1.2T$ ，即  $15.6\text{m}$ ，系泊半径  $R$  经计算取  $300\text{m}$ ，锚地边缘距现航道和规划航道边线安全距离不小于 1 倍设计船长（即  $240\text{m}$ ）。根据上述各项要求，将锚地安排在湄洲湾主航道\*7 灯浮东侧海域，其中心位置  $25^{\circ}01'28.1''\text{N}$ ， $119^{\circ}00'34.2''\text{E}$ ，锚地范围为半径  $300\text{m}$  的圆形水域，占用水域面积  $0.28\text{km}^2$ 。

### 3.2 系船浮筒选型

根据装卸作业要求，系泊总吨位不超过  $8.3\text{万t}$ ，因此系船浮筒选用 XF5.5-D 标准型，可满足使用要求。

### 3.3 自然条件

#### 3.3.1 风

根据湾内山腰站的风况资料，该锚地常风向、强风向皆为 NNE-NE，风速  $24\text{m/s}$ ，台风瞬时风速  $24\text{m/s}$ ，风向偏南。

#### 3.3.2 波浪

该锚地波浪主要是局部风成浪和邻近水域传来的涌浪，由秀屿站波浪推算，锚地处  $H_{1\%} \approx 1.5\text{m}$ 。

#### 3.3.3 潮流

根据 1998 年 3 月在锚地位置实测大潮期间最大涨潮流速为  $0.90\text{m/s}$ ，流向  $336^{\circ}$ ；最大落潮流速  $1.17\text{m/s}$ ，流向  $158^{\circ}$ 。

#### 3.3.4 潮位

根据锚地海域南岸鲤鱼尾站 1985 年 6 月 1986 年 6 月整年潮位资料统计分析得出最高潮位  $7.67\text{m}$ ，最低潮位  $0.02\text{m}$ ，平均高潮位  $6.36\text{m}$ ，平均低潮位  $1.48\text{m}$ ，设计高水位  $7.03\text{m}$ ，设计低水位  $0.56\text{m}$ （当地理论深度基准面，下同）。

#### 3.3.5 地质

根据锚地 4 号钻孔（孔口高程  $-19.2\text{m}$ ）资料表明：锚地处海底土层自上而下为：砂混淤泥层（厚  $1.6\text{m}$  呈饱和状）——中砂层（厚约  $4.90\text{m}$ ，含泥量约  $10\%$ ，其标贯击数为  $50$ ）——残积亚粘土层（厚约  $3.5\text{m}$ ，含砾约  $10\%$ ，标贯击数为  $24 \sim 30$ ）——强风化花岗岩，复盖层总厚度约  $10\text{m}$ 。

### 3.4 系泊力计算

根据海上单点系泊作业的特点，在台风期，煤驳船及拖船应离开煤船进入防台锚地避风。因此系船浮筒应满足 7.5 万吨级煤船在台风过境时仍能系泊的要求，计算流速取最大涨潮流速  $0.9\text{m/s}$ ，流向  $336^{\circ}$ ，最大落潮流速  $1.17\text{m/s}$ ，流向  $158^{\circ}$ ；台风最大瞬时风速取  $45\text{m/s}$ ，风向 S，单点系泊方式见图 1。

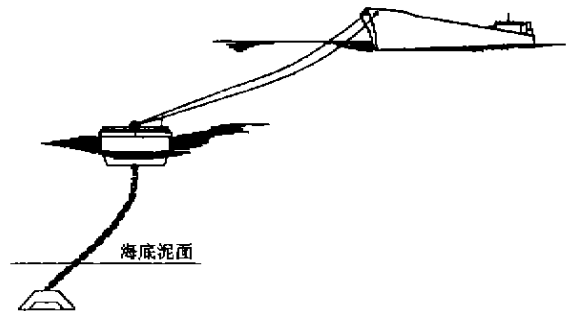


图 1 单点系泊示意

#### 3.4.1 风压力计算

风对船舶作用力<sup>[1]</sup>可按下式计算：

$$R_{\text{风}} = \frac{9.8}{2} \rho C V^2 (A \cos^2 \theta + B \sin^2 \theta) \quad (1)$$

式中： $R_{\text{风}}$ —风压力合力(N)；

$\rho$ —空气密度  $0.123(\text{kg} \cdot \text{s}^2 / \text{m}^4)$ ；

V—风速,取 45m/s;

C—风压系数,  $C = 1.325 - 0.05\cos 2\theta -$

$0.35\cos 4\theta - 0.175\cos 6\theta$ ;

$\theta$ —风向与船体中轴夹角;

A—水面以上船体正面投影面积( $m^2$ );

B—水面以下船体侧面投影面积( $m^2$ );

满载时:  $\log A = 0.427 + 0.480\log(DW)$

$\log B = 0.648 + 0.550\log(DW)$

半载或压载时:  $\log A = 0.377 + 0.553\log(DW)$

$\log B = 0.733 + 0.601\log(DW)$

按式(1)计算出各相对风压角中船舶受风压力值见表1。

作用于船舶的风力并不与风向一致,风力作用方向与船舶中轴线的夹角  $\phi$  按下式计算:

$$\Phi = [1 - 0.15(1 - \frac{\theta}{90}) - 0.80(1 - \frac{\theta}{90})^3] 90$$

### 3.4.2 流压力计算

水流对船舶作用力<sup>[1]</sup>可按下式计算:

$$R_{\text{流}} = \frac{9.8}{2} \rho C V^2 B$$

式中:

$R_{\text{流}}$ —流压力(N);

$\rho$ —海水密度  $104.5(kg \cdot s^2/m^4)$ ;

C—水流压力系数;

V—流速(m/s);

B—船舶吃水线以下侧面投影面积( $m^2$ )

满载时:  $\log B = 0.484 + 0.612\log(DW)$

半载或压载时:  $\log B = 0.499 + 0.463\log(DW)$

按式(2)计算各相对流压角中船舶水流压力值见表2。

### 3.4.3 波浪力

海上波浪对系泊船舶有较大的瞬时冲击力,当大型船舶系泊时,系缆绳和系船浮筒锚链均会起到缓冲作用,且  $H_{1\%} = 1.5m$ ,对船舶作用力不大,可以忽略不计。

### 3.4.4 各合力计算

比较表1和表2,可得出单点系泊的7.5万吨级煤船处在最大平衡风流压时,其风流压分别处在船舶纵轴的两侧。空载时,风压角处在  $10^\circ \sim 15^\circ$  之间,流压角处在不同侧的  $40^\circ \sim 45^\circ$  之间;满

表1 7.5万吨级煤船风压值

相对风压角 $\theta(^{\circ})$	风压系数 C	风压力角 $\Phi(^{\circ})$	作用点 (m)	风压 $R_{\text{风}}(kN)$		船体正横压力 $R_t(kN)$		备注
				空载	满载	空载	满载	
1	2	3	4	5	6	7	8	
90	1.2	90	119.5	6740	3127	6470	3127	
80	1.914	87.61	114.0	6531	3036	6526	3034	
70	1.115	83.44	108.5	6190	2897	6149	2878	
60	1.35	77.5	103	6076	2879	5932	2811	
50	1.575	69.78	97.4	5942	2863	5576	2696	
45	1.675	65.25	94.68	5670	2808	5149	2525	A—空载 945m <sup>2</sup> 满载 585m <sup>2</sup>
43.01	1.704	63.32	93.58	5504	2703	4918	2415	B—空载 4 602m <sup>2</sup> 满载 2 135m <sup>2</sup>
40	1.733	60.27	91.92	5193	2591	3980	2250	
30	1.65	49	86.4	3744	1958	2826	1478	
20	1.313	55.94	80.88	2200	1228	1291	721	
15	1.107	28.75	78.12	1607	930	773	447	
10.62	0.943	22.07	75.70	1252	733	470	726	
10	0.922	21.11	75.36	1188	711	428	256	
0	0.75	4.5	69.84	865	535	58	42	

表2 7.5万吨级煤船 1.17m/s 流压值

相对流压角 θ(°)	流压系数 C	流压力角 Φ(°)	作用点 (m)	流压 R <sub>风</sub> (kN)		船体正横压力 R <sub>1</sub> (kN)		备注
				空载	满载	空载	满载	
1	2	3	4	5	6	7	8	
90	2.2	90	104	887	4 567	887	4 567	B—空载 2 936m <sup>2</sup> 满载 570m <sup>2</sup> Φ—流压力角, 其 计算方法同风压 力角。
80	2.35	87.61	98.4	939	4 835	938	4 435	
70	2.17	83.44	92.0	867	4 464	861	4 435	
60	2.0	77.5	86.4	799	4 115	780	4 017	
50	1.65	69.78	85.0	659	3 394	618	3 185	
45	1.48	65.25	84.2	591	3 045	537	2 765	
41.05	1.33	65.63	83.7	531	2 736	469	2 415	
40	1.30	60.27	83.5	519	2 674	451	2 322	
30	0.9	49.00	82.1	359	1 851	271	1 397	
20	0.5	35.99	80.6	200	1 029	117	604	
10	0.26	21.11	76.8	104	535	37	192	
5	0.14	13.03	75.4	56	288	13	65	

载时, 流压角均处在不同侧的 40°~45°之间, 计算得出系泊船舶的最大风、流压合力见表 3。

### 3.4.5 系泊安全计算

表3 7.5万吨级煤船风流压合力值汇总表

	最大水平牵引合力 A(kN)	锚链受力 B(kN)	垂直拉力 C(kN)
空载	1 382	1 478	525
满载	2 421	2 590	921

根据上述计算, 7.5万吨级煤船系泊时最大水平牵引力 247kN, 锚链受力 2 590kN, 垂直拉力 921kN, 参照文献 [2] 锚链设施安全系数一般取 2.5~3.0。对于沉锤安全系数可取 2.0, 则要求系船浮筒锚系设施极限破断力大于 2 590 × 2.5 = 6 475kN, 沉锤埋入泥中垂直破土力要大于 921 × 2 = 1842kN。

### 3.5 系船浮筒锚系设施选型

本设计选用镇江锚链厂生产的 Φ107 有挡锚链, 其拉力试验负荷为 5 459kN, 拉断负荷试验为 7 800kN, 均满足设计要求。其他配件(如: 转环、肯特卸扣等)的强度应大于或等于相应锚链强度的要求。

### 3.6 锚链长度计算

锚链长度按下式计算:

$$L = (H_1 + H_2 + H_3 + H_4) \cdot f \quad (3)$$

式中: L—锚系总长度(m);

H<sub>1</sub>—锚地水深, 取 19.4m;

H<sub>2</sub>—最高潮位, 取 7.67m;

H<sub>3</sub>—沉锤埋深, H<sub>3</sub> = 9 - 1.5 = 7.5(m);

H<sub>4</sub>—系船浮筒干舷高, 取 1.5m;

f—链长配长系数, 取 1.15m;

计算的锚链总长度为 41.5m。

### 3.7 沉锤和沉锤坑设计

沉锤为钢筋混凝土结构, 呈棱台形, 上底边长为 2.0m, 下底边长为 5.0m, 高 1.5m, 重 42t, 沉锤的耳环取 Φ107 有挡锚链三环、底部一环、中间加横档预先埋入沉锤之中, 沉锤底部设有凹槽, 以增加沉锤与地面的粘着力。

设计沉锤坑挖深 9.0m, 底高程为 -28.4m, 坑底边长 7.0m, 根据地质情况, 上部开挖边坡取 1:5, 下部开挖边坡取 1:3。锤坑在采取钻孔爆破松动后再用 8m<sup>3</sup> 抓斗挖泥船施工, 开挖量为 17 329m<sup>3</sup>。

### 3.8 沉锤破土力计算

沉锤破土力 G 按下式计算:

$$G = \left(\frac{H}{3}\right)(a^2 + b^2 + ab)r$$

式中:G—沉锤垂直破土力(kN)

H—沉锤埋深,  $H = 9.0 - 1.5 = 7.5(\text{m})$ ;

a—沉锤下底边长, 取 5m;

b—破土边宽,  $b = a + 2H \times \text{tg}18^\circ = 9.87(\text{m})$ ;

$\gamma$ —水下泥沙重度, 取  $9\text{kN}/\text{m}^3$ 。

经计算  $G = 386.5\text{t}$

#### 4 施工简介

##### 4.1 沉锤坑的开挖

沉锤坑的开挖采用  $13\text{m}^3$  抓斗挖泥船施工, 当挖深到 6m 左右时, 遇到亚粘土层, 开挖困难, 采用裸露松动爆破后继续开挖至 -28.4m。经测量验收, 开挖的沉锤坑符合设计尺度。

##### 4.2 系船浮筒的抛设

系船浮筒的抛设是本工程施工的重要环节, 要求: ①要确保沉锤准确平稳地放入坑底, 不能倒置或倾斜; 锚链不能一次抛放, 以防绞链; 连接卸扣保险销封铅要求一次封满, 不得补封, 必要时加点焊, 以防卸扣开脱。

根据施工单位的设备情况, 选用 80t 扒杆吊船——“闽航务 3 号”作为组装、抛设系船浮筒的主要船舶, 440kw 拖轮——“闽渔拖 F01 号”作为拖带移船拖轮, “闽航标 1 号”船作为运输工作船, 并配 2 艘交通船辅助施工。抛设前先进行系船浮筒设备组装, 预先将系船浮筒系在吊船船舷适当位置, 沉锤吊在主吊钩上, 为防止锚链在抛设过程产生堆积绞链, 锚链中部用缆绳固定于船舷, 两端分别与浮筒沉锤相连接, 两部分锚链悬于水中。当一切工作准备就绪后, 通过 GPS 卫星导航定位系统, 准确确定沉锤坑的中心点位置, 并抛示位浮标, 以标示出沉锤坑的位置。再一次

检测沉锤坑内水深, 并检查所有连接卸扣保险销是否封满铅及点焊。起吊船按标示位置将沉锤慢慢送入水中, 同时替换锚链中部固定缆绳(图 2), 使锚链随沉锤慢慢下水, 直至解开缆绳、松开浮筒, 抛设工作在低潮时全部完成, 经现场检测沉锤顶面水深 4 个角水深均为 27m, 表明沉锤沉放位置正确, 沉放平整。

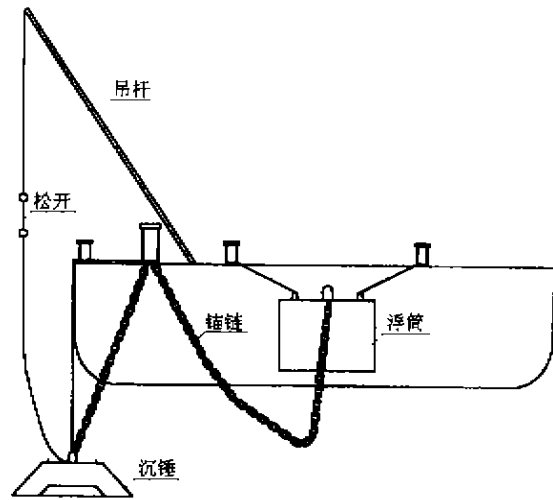


图 2 系船浮筒和沉锤的抛设示意

##### 4.3 沉锤坑复土

系船浮筒抛设结束后, 一个月内复土回填至原海底面。

##### 参考文献

- [1] 洪承礼. 港口规划与布置 [M]. 北京: 人民交通出版社, 1988, 40-41.
- [2] 交通部第一航务工程勘察设计院, 海港工程设计手册(中) [M]. 北京: 人民交通出版社, 1994, 418.

