

1700TEU 集装箱船拖航关键技术应用

黄帅鹏 俞婵娥 章 锐

舟山长宏国际船舶修造有限公司 浙江 舟山 316052

【摘要】: 无动力船舶拖航过程中存在较多技术难点, 本文对 1700TEU 集装箱船在拖航过程中设计的关键技术应用, 介绍海上船舶拖航技术和管理方法, 通过实际航道、水域、气象等对拖航进行可行性技术分析, 为后续船舶拖航中有效控制安全风险作一定的指导。

【关键词】: 无动力船舶拖航; 船舶拖航风险控制; 船舶拖航

1700TEU Container Ship's Application on Key Technology of Towing

Shuaipeng Huang, Chane Yu, Rui Zhang

Zhoushan Changhong International Shipyard Co. Ltd. Zhejiang Zhoushan 316052

Abstract: There are many technical difficulties in the process of unpowered ship towing. This paper introduces the application of key technologies designed by 1700TEU container ship in the process of towing, introduces the technology and management methods of maritime ship towing. The feasibility and technical analysis of towing is carried out based on actual channel water area meteorology, and provides some guidance for the effective control of safety risks in the subsequent ship towing.

Keywords: Unpowered ship towing; Risk control of ship towing; The ship towing

引言

随着世界经济全球化趋势的不断增强航运市场竞争更趋激烈的竞争环境下给出了不同类型的船舶的发展趋势。航运企业必须通过为承运人提供个性化的增值服务加强自身管理努力提高运输服务质量严格控制和降低成本才能获得生存和发展的空间。无动力船舶拖航服务也将成为航运业的重要组成部分, 通过介绍分析本项目的实际操作作为相关无动力船舶拖航作一定的借鉴意义。

海上拖航是风险很高和专业性很强的业务, 中国船级社于 1997 年推出《海上拖航指南》, 研究纳入了 IMO MSC Circ.884 海上安全拖带指南的适用指导要求并完善了海上拖航检验的技术要求。对无动力船舶拖航作业提出了准确高效的安全要求。

海上拖航是运输的一种方式, 适用于在海上拖带各种形式地被拖物, 包括非机动船舶、浮式结构物、浮船坞、海上移动平台和无动力的机动船等。

为提高造船分工效率发挥各船厂的分工合作能力, 现有许多船厂承接开展船只的局部分段或区域进行建造和舾装, 待模块化后利用海上拖运的便利拖运至总装船坞合拢, 从而缩短总装船坞的时间周期, 即可提高船坞的最大价值。

1 拖航前准备

拖航前必须了解被拖物的详细技术参数、航道、拖航方式、拖轮功率和系柱拖力、拖带索具、码头区域参数、拖航相关证书等。

1.1 被拖航船舶主要参数

1700TEU 集装箱船总长 169.85 米, 垂线间长 159.58 米, 型宽 28.10 米, 型深 14.20 米, 设计吃水 8.50 米, 干舷吃水 9.50 米, 基线距上建顶层高度 48.6 米, 拖航吃水约 3.8 米 (金塘大桥通航净高度为 51 米), 空船总重量约 7540 吨, 锚重约 10 吨, 共 2 只, 锚链全船总长 660 米, 压载泵 750m³, 拖航时最大迎风面积 (侧向) 为 2314.20 平方米。

1.2 拖航航道自然条件

潮汐, 港内潮汐类型为正规半日潮汐和非正规半日潮汐两种, 最高潮位 5.04 米, 最低潮位 -0.05 米, 平均潮差 2.54 米, 最大潮差 4.32 米, 最小潮差 0.45 米。

潮流, 基本呈往复流, 涨潮流向西, 平均潮流速度一般为 1.03-1.54 米/秒, 最大可达 2.06 米/秒。落潮流向东, 平均潮流速度一般为 0.77-1.08 米/秒, 涨潮流速大于落潮流速。

波浪, 港域内波浪较小、周期短的小尺度波浪平均波况良好, 外海浪对港域基本无影响。

气象情况, 常风向北到东南, 平均风速 3.3 米/秒; 强风向偏北, 最大风速 30 米/秒。

1.3 拖航航道通航要求

金塘大桥通航孔及对应的桥区航道: 东通航孔净空高度 28.5 米, 桥梁通航净空宽度 121 米。主航道孔净空高度 51 米, 桥梁通航净空宽度 544 米。西通航孔净空高度 17 米, 桥梁净空高度 17 米, 桥梁通航净空宽度 126 米。

被拖船舶需从主航道通过, 高度不大于 51 米, 拖航时的拖航稳性和拖航阻力须满足相关计算要求。天气和潮汐波浪等

须在正常要求范围内。

1.4 拖航天气要求

风力：小于 7 级（10.8 米/秒）

浪高：小于 1.5 米

能见度：大于 2000 米

天气：中雨及以下（1 小时降水量小于 2.6~8 毫米）

1.5 拖航风险分析

安全规则：为促进 1700TEU 集装箱船拖航的现场管理，减少及防治发生安全事故，本次拖航作业时必须遵循开展预防为主防治措施严格按照应急预案执行。

（1）没有动力和舵效，没有侧推器，难以控制船位；

（2）码头处于避风锚地附近，通航密度大，给操作带来的困难；

（3）稳系泊缆绳连接中，受潮汐影响发生码头与船舶碰撞或损伤；

（4）长距离拖带当中的风速、风向、水流及可能的误操作等原因造成的船舶大幅偏荡的发生、偏离航线；

（5）拖轮拖带时由于受被拖船高度影响，拖轮拖航视线有限，可能会与附近航道过往船舶发生碰撞；

（6）拖航需经过金塘大桥，过桥时风速、风向、水流及可能的误操作等原因造成的船舶大幅度偏荡的发生碰撞大桥及灯塔的可能；

（7）没有动力无法像正常船那样进行有效的转让和避让，船速慢时流压明显；

（8）人员在施工中可能会发生坠海的危险；

1.6 拖航安全措施

（1）拖航要选择在白天进行，拖航时风速在 6 级以下进行，海上能见度在 2000 米；

（2）拖航作业前，合理足额配备拖轮，检查拖缆的细节固定以及拖轮当中通信的畅通；

（3）拖带过程中应避免一次性大角度转向，要分若干次小角度连续转向，保持在规定的船舶航迹线上；

（4）过金塘大桥时一定要将船位及船速控制好，尽可能地减少偏荡，对风、流压的影响要事先加以考虑，做到随时可通过拖轮调整船位、抑制偏荡。如有需要在进入航道前海事巡逻艇协调现场通航航道内与任何船舶交会；

（5）拖航前确保被拖船满足无动力船舶最低拖航状态；

（6）拖航过程中遵守国际海上避碰规则和宁波-舟山港港章的有关规定；

（7）及时向舟山 VTS 报告船舶航行动态；听从被拖船指

挥船长指挥，保证拖带船组间的 VHF 畅通；

（8）使用安全航速，适当控制拖船速度；

（9）确保正规瞭望，及时与过往船舶联系，及早与他船协调避让；

（10）在航经金塘大桥水域时尽可能不要与来船对遇及追越；

（11）起拖后及时检查拖缆情况，备锚航行；

（12）注意守听 VHF 与来往船舶加强沟通及时发布航行警告；

2 拖航稳性

2.1 概况

本船当前停泊在某船厂码头，本船建造状态接近完工。本次拖航工况稳性计算依据中国船级社 2011 年《拖航指南》以及中国海事局 2011 年《国内航行海船法规检验技术规则》。

2.2 稳性衡准

本次拖航属于遮蔽航区拖航，本船拖航工况按照中国海事局对沿海航区集装箱船的相关要求核算稳性衡准。

船舶在其所核算的各种装载情况下，稳性衡准数 K 应符合下式要求：

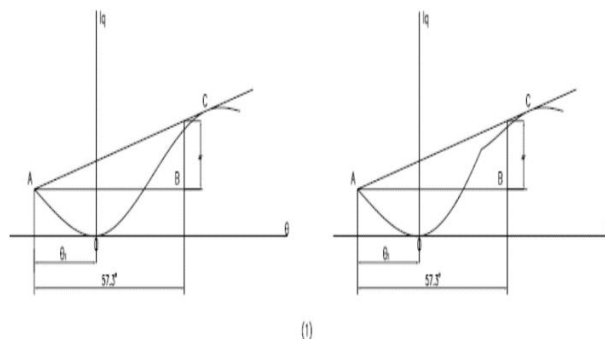
$K=L_q/L_f \geq 1$ 式中：

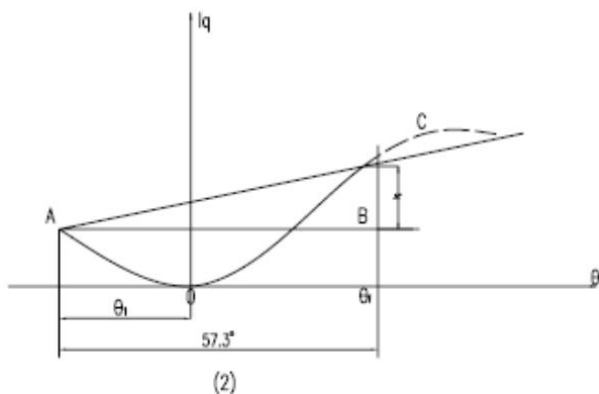
L_q ：最小倾覆力臂，m；

L_f ：风压倾侧力臂，m；

最小倾覆力臂 L_q 应计及船舶横摇影响后的动稳性曲线来确定；

如图所示，将动稳性曲线向 Θ 轴负值方向对应延伸，在 Θ 轴上自原点向 Θ 负值方向取等于所算得的横摇 Θ_1 的一点，经此点向上作 Θ 轴的垂直线，与动稳性曲线交于 A 点，由 A 点作动稳性曲线的切线，再经 A 点作一直线平行于 Θ 轴，自 A 点起，在此直线上量取等于 1Rad 的一段长度得 Θ 点，由 B 点向上作 AB 线的垂直线，与上述的切线相交于 C 点，则线段 BC 为最小倾覆力臂。





风压倾侧力臂 L_f 应该按照如下规定计算而得:

$$L_f = P A f Z / (9810 \Delta) \quad \text{m}$$

式中:

P - 单位计算风压, Pa

A - 船舶受风面积, m^2

Z - 计算风力作用力臂, m

Δ - 所核算装载情况下船舶排水量, t

(1): 单位计算风压 P 应按计算风力作用力臂 Z 及航区由下表线性插值得:

单位计算风压 $P(\text{Pa})$

航区	计算风力作用力臂 $Z(\text{m})$					
	1	1.5	2	2.5	3	3.5
远海航区	829	905	976	1040	1099	1145
近海航区	448	493	536	574	603	628
沿海、遮蔽航区	228	248	268	284	301	314

航区	计算风力作用力臂 $Z(\text{m})$					
	4.5	5	5.5	6	6.5	7
远海航区	1219	1249	1276	1302	1324	1347
近海航区	667	683	698	711	724	736
沿海、遮蔽航区	336	343	350	357	363	368

(2) 计算风力作用力臂 Z 为在所核算装载情况下船舶正浮时受风面积中心至水线的垂直距离。受风面积中心应用通常确认图形重心的方法求得。

(3) 横摇角 θ_1 按下式计算: $\theta_1 = 15.28 C_1 C_4 \sqrt{C_2 / C_3}$ (°)

式中: C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 分别按照下述方法获得:

横摇角计算式中的系数 C_1 按照自摇周期 T_θ 以及航区由下表选取, 船舶自摇周期 T_θ 按下式计算:

$$T_\theta = 0.58 f \sqrt{B^3 + 4KG^*KG/GM_0} \quad \text{s}$$

式中: f -按船舶的 B/d 值由表 1 查得的系数;

B - 不包括船壳板的最大船宽 m

d - 所核算装载情况下的型吃水 m

KG - 所核算装载情况下的重心至基线的高度 m

GM_0 - 所核算装载情况下船舶未计自由液面修正的初稳性高度 m

系数 f

B/d	2.5及以下	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0及以上
f	1.00	1.03	1.07	1.10	1.14	1.17	1.21	1.24	1.27	1.30

(4) 横摇角计算公式中的系数 C_2 按下式计算:

$$C_2 = 0.13 + 0.6 * KG/d$$

式中: KG 、 d - 同以上

当 $C_2 > 1$ 时, 取 $C_2 = 1.0$; 当 $C_2 < 0.68$ 时, 取 $C_2 = 0.68$.

(5) 横摇角计算公式中的系数 C_3 应按船舶的 B/d 值由下表查得:

B/d	2.5及以下	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0及以上
C_3	0.011	0.013	0.015	0.017	0.018	0.019	0.020	0.021	0.022	0.023

(6) 横摇角计算公式中的系数 C_4 应按船舶类型及舵龙骨尺寸由下表查得:

$Ab/LB(\%)$	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0及以上
干货船、油船、集装箱船、海驳	1	0.754	0.685	0.654	0.615	0.577	0.523	0.523	0.523
客船、渔船、拖船	1	0.885	0.823	0.769	0.708	0.654	0.577	0.546	0.523

表中: Ab - 舵龙骨总面积, m^2 ; 对有方龙骨的船舶, 可将其侧面积计入舵龙骨总面积 Ab 之内。

L - 垂线间长 m

B - 同以上。

GZ 曲线稳性要求:

(1) 初稳性高不小于 0.3m

(2) 横倾角等于或大于 30 度处的复原力臂应不小于 0.2m, 如船体进水角小于 30 度, 则进水角处的复原力臂不小于该规定值。

(3) 船舶最大复原力臂所对应的横倾角应不小于 25 度, 如进水角小于最大复原力臂所对应的横倾角, 则进水角即为最大复原力臂所对应的横倾角。

当船舶的船宽与型深比 B/D 大于 2 时, 最大复原力臂所对应的横倾角可以按下式减少:

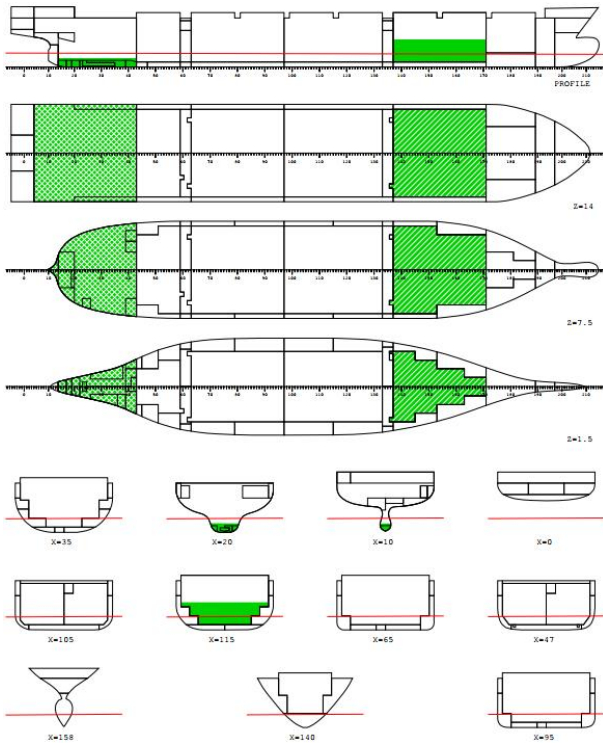
$$\Delta \theta = 20 (B/D - 2) (K - 1)$$

K 为稳性衡准数, 但 K 不得大于 1.5

2.3 拖航工况

本船拖航时, 机舱中的油水舱未建造完好, 因此不存在油水舱内满或空的状态, 目前机舱中唯一建好的是主机滑油循环舱, 且里面存在部分滑油。

本船拖航前将继续往第二货舱中注水,以达到拖航指南中要求的浮态。



FLOATING POSITION

Draught moulded	3.864	m	KM	17.59	m
Trim	-0.358	m	KG	8.90	m
Heel, SB=+	0.3	deg			
TA	4.043	m	GM0	8.69	m
TF	3.685	m	GMCORR	-2.72	m
Trimming moment	-8678	tonm	GM	5.97	m
Tcorr	3.859	m			

LOADS

Description	Filling %	Weight (t)	L.C.G. (m)	T.C.G. (m)	V.C.G. (m)	Frs.mom. (tm)
Water Ballast density=1.000 t/m3						
Hold2	37.8	3079.3	118.41	0.03	5.11	27097.5
Engine room	5.5	448.8	23.93	0.00	1.45	2991.3
Total of Water Ballast		3528.1	106.39	0.02	4.64	30088.7
Lubricating Oil density=0.900 t/m3						
ME Lub oil TK	11.7	3.2	12.14	11.09	10.10	2.3
Deadweight		3531.3	106.30	0.03	4.65	30091.0
Lightweight		7540.6	67.11	0.04	10.89	
Displacement		11071.9	79.61	0.04	8.90	30091.0

2.4 防止船舶倾覆和安全作业的警告

(1) 符合稳性衡准并不确保由于忽视周围环境而导致船舶倾覆,因此船长应谨慎、认真研究作业方案,密切注意潮汐、天气等环境因素;

(2) 作业时确保在整个过程中船舶的稳性在考虑了液体舱内存在的自由液面的影响任能满足最小稳性衡准要求;

(3) 风雨密和水密开口如门,小舱盖等在航行期间应保证关闭;

(4) 船长应意识到船舶的稳性会因船舶遭受到横风、甲板货、甲板积水、横摇等不良影响而变差。

3 拖航阻力

3.1 拖航阻力计算

(1) 根据中国船级社(CCS)《海上拖航指南》2011中所述,拖航阻力R按下式计算: $R=1.15(R_f+R_b)$

(2) 对被拖物有庞大受风面积时,拖航阻力R按下式计算: $R=0.7(R_f+R_b)+R_a$

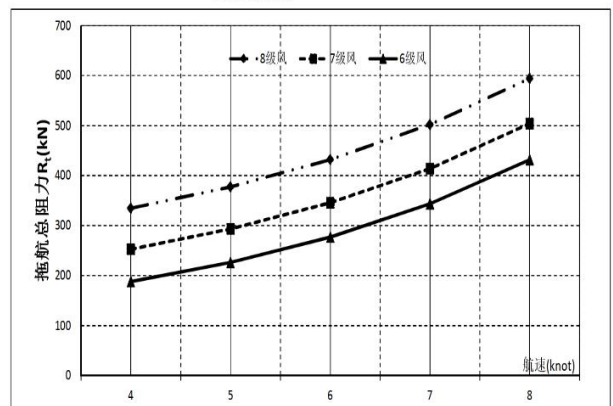
(3) 受风面积

	部位	受风面积(m ²)	形状系数	C _s A _i
正面	主船体	290.5	1	290.47
	舱口围	27.8	1	27.8
	舱口围及舱盖 [15.3, 30.5]	28	1.1	30.8
	上建 [15.3, 30.5]	286.752	1.1	315.43
	上建 [30.5, 46.0]	162.918	1.2	195.5
	雷达桅 [30.5, 46.0]	49.72	1.2	59.664

(4) 不同航速和风速下的阻力R计算见下表:

项目	序号	1	2	3	4	5
航速(knot)		4	5	6	7	8
航速(m/s)		2.058	2.572	3.087	3.601	4.116
摩擦阻力R _f (kN)		24.08	36.23	50.58	67.06	85.62
剩余阻力R _b (kN)		42.75	72.63	116.74	180.99	273.72
不受风时拖航阻力R(kN)		76.86	125.19	192.42	285.26	413.24
空气阻力R _a (kN)		141.07	150.37	159.97	169.87	180.06
受风时拖航阻力R(kN)		187.86	226.58	277.10	343.50	431.60
拖航阻力R(取较大者)		187.86	226.58	277.10	343.50	431.60
空气阻力R _a (kN)		205.90	217.10	228.61	240.41	252.50
受风时拖航阻力R(kN)		252.68	293.31	345.73	414.04	504.04
拖航阻力R(取较大者)		252.68	293.31	345.73	414.04	504.04
空气阻力R _a (kN)		288.00	301.23	314.75	328.57	342.69
受风时拖航阻力R(kN)		334.78	377.43	431.88	502.21	594.23
拖航阻力R(取较大者)		334.78	377.43	431.88	502.21	594.23

拖航阻力曲线



3.2 拖船功率及系柱拖力计算

拖船每千瓦选取如下：

$$P=17.5\text{kg/kw}$$

$$\text{EHP}=R/0.9P_k$$

按 90%MCR 设计螺旋桨的拖轮功率的选取

6级风时的拖航工况						
航速 (knot)		4	5	6	7	8
拖航阻力R (kN)		187.86	226.58	277.10	343.50	431.60
拖航阻力R (kg)		19149	23097	28246	35016	43996
系柱系数k		0.72	0.672	0.62	0.568	0.515
拖船功率 (kW)		1689	2182	2893	3914	5424
拖船系柱拖力Ft (kN)		261	337	447	605	838

7级风时的拖航工况						
航速 (knot)		4	5	6	7	8
拖航阻力R (kN)		252.68	293.31	345.73	414.04	504.04
拖航阻力R (kg)		25757	29899	35243	42206	51380
系柱系数k		0.72	0.672	0.62	0.568	0.515
拖船功率kW		2271	2825	3609	4718	6334
拖船系柱拖力Ft (kN)		351	436	558	729	979

8级风时的拖航工况						
航速 (knot)		4	5	6	7	8
拖航阻力R (kN)		334.78	377.43	431.88	502.21	594.23
拖航阻力R (kg)		34127	38474	44024	51193	60573
系柱系数k		0.72	0.672	0.62	0.568	0.515
拖船功率kW		3009	3635	4508	5722	7468
拖船系柱拖力Ft (kN)		465	562	697	884	1154

本船系柱拖力按 8 级风，6 节航速选取，其最小系柱拖力为 361kN

实取拖船系柱拖力 $F_t=697\text{KN}$

拖缆最小破断负荷 $\text{MBL}=1659\text{KN}$

4 拖航方案及系泊布置

4.1 拖航方案

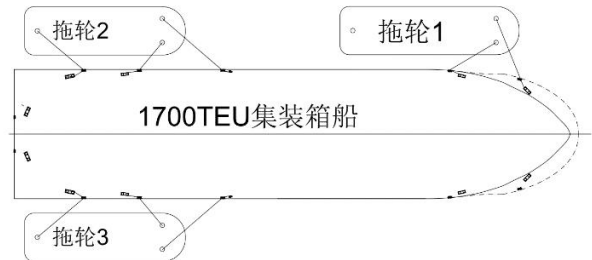
本次拖航是在舟山某船厂码头作为起点进行拖航，将其拖往其他船厂码头，作业航道水域水深 14~37 米，开始拖航时保证该区域足够的操作空间和作业范围，非相关船舶绝不能进入。

根据拖轮被拖船舶需要本次拖航配备 3 艘大马力拖轮：1 号拖轮，全长 38 米，型宽 10 米，型深 4.5 米，主机功率 5000 马力，最大拖带力 50 吨；2/3 号拖轮，全长 34 米，型宽 10 米，型深 4.3 米，主机功率 4000 马力，最大拖力 40 吨。各拖轮缆绳参数：迪尼玛缆绳直径 80mm，破断拉力 200 吨，总长度约 300 米。

根据拖力配备计算 3 艘大马力拖轮分别靠泊在 1700TEU 集装箱船的首左侧和尾左右两侧，傍拖后组成大型船队拖带航行。以确保拖航任务安全顺利进行。

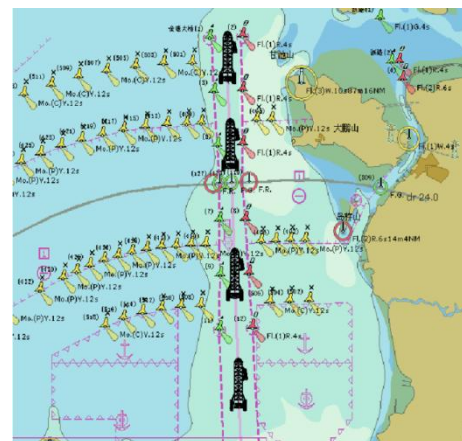
4.2 拖航及系泊布置

根据船队拖航能力及被拖航船舶的无动力状态，本次拖航采用两条拖轮在被拖船尾左右舷傍拖，图下图，主要用于前后做动力、左右转向及把定方向，另一条拖轮在被拖船首左舷处傍拖，在应急时把持被拖船的航向。



拖航时船舶的首部吃水为 2.50 米，艉部吃水为 4.10 米，水面至船舶最高点高度约 47 米。拖航时，拖速应一节一节逐步向上加。航行中因偏顺流船首舷的拖轮一般向后制速为主，低速拖带时也可顶推当舵使用；船尾两舷的拖轮前进时可作动力增加拖速，后退时可帮助制速，偏荡时顶推可当舵使用调整航向。在被拖船离泊期间派遣两艘警戒船在码头上下游 500 米处进行警戒，提醒过往船舶注意避让，防止无关船舶进入航线区域发生碰撞事故。

拖带过大桥：各区位拖轮同步协调配合逐步调整摆正船位，以便在进入航道前尽可能使拖带船组与航道方向一致，并应事先预测风、流、对本船经过航道的影响。在过大桥主通航航道期间拖速宜控制在 3 节左右，这样即使被拖船发生偏荡两舷的拖轮也容易进行协调顶推，以抑制偏荡和纠正船位。另各拖轮应时刻保持联系，密切关注被拖船的航行状态，尽量保持船组航向与航道一致。该航道区域与主流向有约 7 度的夹角，大桥周围海域气象、水文、地形条件复杂，且整个航道通航密度较大，长度较长，多风，流影响大，为保障各环节的操作安全，特别是要保证过大桥的安全，因此拖航过大桥时必须选择在小潮汛期间，且水流相对逆流时刻大桥。拖带过大桥示意图如下：



拖航过程中应避免一次性大角度转向，要分若干次小角度连续转向，每次以 5 度~10 度为宜。拖轮要密切关注被拖船，使被拖船保持在航迹线上，以抑制大幅度偏荡的发生。

3 结论

本文研究了近海遮蔽航区进行无动力船舶拖航关键技术的应用。介绍拖航过程中各项技术准备与实际应用。以及拖航

工作中所遇到的技术及实际问题并最终确保拖航安全完成。对一项比较艰难的拖航工作应事先进行可行性论证是非常有必要的。通过技术计算进行事先分析各阶段的工作受力状态，从而确保拖航工作的顺利进行。在拖航结束之余对拖航工作中遇到的困难加以分析和总结，为以后类似航道中的无动力船舶拖航积累宝贵经验，对以后类似船舶拖航的组织和实施有着重大的参考价值。

参考文献：

[1] 标准:GD 02-2012,海上拖航指南[中国船级社].

作者简介：黄帅鹏（1984 年 11 月-），男，中级工程师，总体设计，长期从事总体方向的工作。