

研究简报

应用导管螺旋桨的机帆渔船与 拖网匹配试验*

AN APPLICATION OF NOZZLE PROPELLER TO AUXILIARY POWERED FISHING BOAT AND ITS MATCH FOR TRAWLNET

季星辉 孙满昌 夏泰淳 姚来富

(上海水产大学)

Ji Xinghui, Sun Manchang, Xia Taichun and Yao Laifu

(Shanghai Fisheries University)

关键词 机帆渔船, 导管螺旋桨, 拖网, 匹配

KEYWORDS auxiliary powered fishing boat, nozzle propeller, trawl net, match

七十年代中期以来,中国沿海机动渔船迅速增加,其中250马力以下小型渔船占极大比例。随着海洋捕捞产量增加,海洋鱼类资源状况也在不断恶化,渔获物中优质鱼的比例持续降低。单位马力产量和网次产量下降。因此,必须在国家大力发展远洋渔业的同时,尽快地大幅度减轻对近海渔场的捕捞压力,加强渔政管理,并对数量众多的中、小型渔船实施技术改造。1988年6月作者们受福建连江县某渔业公司委托,对该单位250马力钢质、木质渔船进行技术改造。该项目包括对250马力钢质渔船改装导管螺旋桨,对250马力木质渔船改装导管螺旋桨并加装150马力带普通螺旋桨边机。在机、桨改装的基础上通过实测和计算获知渔船拖力,并按动力相似原理匹配新网,在海上进行对比生产。试验工作已历时一年。渔船海上生产也有6~8个月,已取得初步成效。

机帆渔船推进装置的设计与安装

试验工作主要在该公司3055,3056号对船和3043,3044号对船进行;并以条件相近,同步生产的3039,3040号对船作对比。作业渔场为福建闽东渔场,作业水深40~80米。

试验船与对比船船型,机型基本相同,但3055,3056船为钢质,其余为木质。船、机主要参数如下:

设计水线长(L_{WL})25.0米; 宽(B)5.8米; 平均吃水(T_m)1.8米; 排水体积(∇)1249.39米³; 排水量(Δ)150.03吨; 方形系数(δ)0.572; 棱形系数(ϕ)0.666; 主机型号6160A-13; 额定转速(N)1000转/分; 额定功率(P_B)223马力; 减速齿轮箱速比(i)3:1; 减速齿轮箱效率(η_G)0.98; 轴系效率(η_S)0.96; 边机为6E135,带普通桨。

拖网渔船属多工况船舶,既要求有较大的自由航速又要求拖网时有足够的拖力,据此,选用合适的

* 本试验承欧建春、江金水、欧水春、欧依土、江天顺大力帮助,在此表示感谢。

收稿年月:1989年6月;1990年9月修改。

推进装置是我们最先考虑的问题之一。对中国沿海几种常见拖网渔船推进装置分析计算结果表明(见表1至表3),导管螺旋桨在重载时的效率显著高于普通螺旋桨,且螺旋桨的吸收功率受船速变化的影响较小。采用双速比齿轮箱虽然对改善推进性能也是行之有效的措施之一,它能兼顾航行和拖网两种工况下充分利用主机功率,但目前生产的双速比齿轮箱的速比范围太小,尚无法满足要求。因此,在集体渔业机帆渔船上采用导管螺旋桨是一个较为理想和现实的方案。实施这个方案的关键是导管在尾部的安装固定,以解决船舶在大风浪和“坐滩”等恶劣条件下因尾部变形可能出现的导管螺旋桨无法正常工作的问题。同时也考虑到局部技术改造所受原有条件的限制,只能从导管桨的选型,导管的结构和固定三方面着手进行。

该渔业公司现有拖网渔船都是从原有150马力围缙型改造而来。28队钢质渔船仅改装导管螺旋桨,工程较简单。其余木质渔船250马力主机也改装导管螺旋桨,同时为不废弃原有150马力主机并获得较大拖力,作边机处理,使用普通螺旋桨。250马力主机和150马力边机作不对称布置,形成“双机双桨”。渔船自由航行时,一般仅开主机,拖网作业时主、边机同时使用。

表1 150马力木质拖网渔船推进装置分析比较

Table 1 Comparison of three types of propellers attached to 150 Hp Wooden trawlers.

推进器类型	设计工况	自航工况			拖网工况(3节)			系泊工况		
		航速(kn)	转速(r/min)	Ps(kW)	有效推力(kN)	转速(r/min)	Ps(kW)	有效推力(kN)	转速(r/min)	Ps(kW)
普通桨	自由航行	8.62	364	99.3 (100)	17.30	304.5	88 (83.7)	16.49	285	77.7 (78.3)
	折衷	8.34	364	78 (78.7)	15.78	332	90.5 (91.2)	17.95	311	84.8 (85.4)
	拖网	8.12	364	66 (66.6)	15.85	364	99.3 (100)	18.07	343	93.5 (94.2)
导管桨	自由航行	8.64	364	99.3 (100)	17.98	340	92.5 (93.2)	22.89	331	90.3 (90.9)
	折衷	8.51	364	88.5 (89.2)	18.36	343	93.7 (93.2)	23.27	333	90.3 (91.5)
	拖网	8.42	364	80 (80.9)	18.67	364	99.3 (100)	23.59	356	97.1 (97.8)
普通桨+双速比齿轮箱	自由航行	8.66	800	99.3 (100)	16.41	267	99.3 (100)	18.55	252	93.7 (94.4)
	折衷	8.63	352	99.3 (100)	17.09	313	99.3 (100)	19.12	292	92.6 (93.4)
	拖网	8.60	370	99.3 (100)	17.20	330	99.3 (100)	19.23	306	92.1 (92.7)

注: Ps(kW)栏内,括号中的数字为百分率。

主机导管螺旋桨采用目前国际上较先进的 No. 19A 导管+ K_0 系列桨^[1]。No. 19A 导管的长径比 $\frac{L}{D}=0.5$; 厚度比 $\frac{S}{D}=0.15$; 拱度比 $\frac{f}{D}=0.07$; 鼻尾线和轴线之间夹角 $\alpha_1=9.2^\circ$ 。试验研究表明, 负荷较轻时宜用短导管, 负荷较重时宜用长导管, 当功率系数 $B_P > 45$ 时长导管推进器的效率比短导管推进器高。No. 19A 导管的长径比 $\frac{L}{D}=0.5$ 是个折中数值, 在自由航行时有较高的效率, 拖网时效率接近长导管, 且使导管的长度与船尾尺寸相适应。 K_0 系列螺旋桨的特点是阔叶梢, 等螺距, 平叶面, 其叶梢空

表2 185马力钢质拖网渔船推进装置分析比较

Table 2 Comparison of three types of propellers attached to 185 Hp steel trawlers

推进器类型	设计工况	最大航速 Vs(kn)	有效推力(kN)	
			Vs = 2.5kn	Vs = 0
普通桨 B4-55	自由航行	10.01	16.18	17.05
	系泊	8.29	21.49	25.14
普通桨 + 双速比齿轮箱	自由航行	10.06		24.61
	系泊	9.99		25.26
导管桨 JD7704 + Ka4-55	自由航行	9.83	22.92	29.62
	折衷	8.73	25.60	32.39
	系泊	8.3	25.83	32.94
导管桨 + 双速比齿轮箱	自由航行	10.17		34.58
	系泊	10.08		34.76

表3 600马力钢质拖网渔船推进装置分析比较

Table 3 Comparison of three types of propellers attached to 600 Hp steel trawlers

推进器类型	设计工况	自航工况			拖网工况(3kn)			系泊工况		
		航速 (kn)	转速 (r/min)	Ps (kW)	有效推力 (kN)	转速 (r/min)	Ps (kW)	有效推力 (kN)	转速 (r/min)	Ps (kW)
普通桨	自由航行	11.61	450	441 (100)	45.4	394.3	386.5 (87.6)	51.24	370	363.4 (82.1)
	折衷	10.92	450	341 (77.3)	50.6	430.5	422.2 (95.7)	55.75	413	404.6 (91.7)
	拖网	10.7	450	311.5 (70.6)	51.7	450	441 (100)	57.42	430	421.8 (95.6)
导管桨	自由航行	11.7	450	441 (100)	59.1	424.2	416 (94.3)	69.32	416	407.7 (92.4)
	折衷	11.42	450	484.3 (87.1)	60.45	442.5	493.7 (98.3)	70.71	434	425.3 (96.4)
	拖网	11.28	450	380.7 (86.3)	61.66	450	441 (100)	71.13	439	430.6 (97.6)
普通桨 + 双速 比齿轮箱	自由航行	11.73	360	441 (100)	51.5	318	441 (100)	58.74	305	423.5 (96)
	折衷	11.72	329	441 (100)	54.9	350	441 (100)	59.17	335	422 (95.7)
	拖网	11.68	406	441 (100)	56.1	360	441 (100)	63.28	346	423.5 (96)

注: Ps(kW)栏内,括号中的数字为百分率

泡敏感性小。为避免叶梢卷边,其导边和随边均割去一些,使之外形轮廓线呈圆弧状。叶梢和导管内壁之间保持8毫米间隙。

导管本身是个圆筒状壳体,由厚度 $\delta=4-6$ 毫米钢板弯卷而成,一般强度能得到保证^[2]。值得注意

约是,木质渔船在大风浪中坐滩时,船尾可能产生变形,导致龙骨、底板弯曲变形,因此必须先估及船体变形造成的导管变形以及由此引起的事故。因此,必须正确估计恶劣情况下可能出现的导管变形并使之在许可范围内,在导管内壁不进行机床加工条件下保证有一定的圆度。为此,除了按常规在导管中间设置鱼形肋板外,中间还配置二块厚度为12—14毫米的环形筋板,这是提高导管本身刚度和克服船尾变形的重要措施,效果较好。导管安装力求简便、可靠。船尾采用钢木结构,以便最终能使导管靠连接钢板而焊接在船体尾框中。安装过程中,必须用有效工夹具找准导管的正确位置,并视条件采取措施防止空泡剥蚀。

渔船拖力和网具匹配

计算表明,渔船改装导管螺旋桨比普通螺旋桨能获得更大有效推力,其节能效益是明显的。250 马力钢质渔船改装后不同拖速条件下的渔船有效推力、船体阻力以及可用于拖网的力分别列于下表。

表4 常用拖速下渔船有效推力、船体阻力和网具许可阻力
Table 4 Towing power, hull resistance and allowable net drag
under practical towing speed

拖速(节)	3.5	3.0	2.5	2.0
有效推力(千牛)	80.84	81.98	83.28	84.62
船体阻力(千牛)	1.50	1.28	1.08	0.86
拖网许可阻力*(千牛)	29.84	30.65	32.21	33.75

* 拖网许可阻力为单条渔船数值。

加装导管螺旋桨的250 马力钢质渔船网具许可阻力可直接由表列数据取得;250 马力木质渔船加装导管螺旋桨并配置普通150 马力边机后,主机发出的拖力也按表列数据。但边机拖力按常规数据(平均每千瓦为80 牛顿或每马力6 公斤)计算,再酌情考虑双机的相互影响和机器使用期限,取每千瓦66.7 牛顿(每马力5 公斤)并以此拖力作为匹配新网的依据。

网具设计以浙江省6300 型600 马力渔轮使用的440◇×400mm 双船底曳网为母型,网线粗度38tex-30×3,直径3.2mm,渔船每千瓦有效拖力为80 牛顿(每马力有效拖力为6 公斤)。

网具设计计算按动力相似原理进行缩放^[3]。计算公式为

$$P_2 = \sqrt{\frac{d_1 \cdot R_2 \cdot V_1}{d_2 \cdot R_1 \cdot V_2}} \cdot P_1$$

式中: d_1 —母型网网线直径(毫米); d_2 —设计网网线直径(毫米);

a_1 —母型网网目尺寸之一半(毫米); a_2 —设计网网目尺寸之一半(毫米);

R_1 —母型船拖力即网具阻力(kN); R_2 —改装船拖力(网具许可阻力)(kN);

P_1 —母型网网口拉紧周长(米); P_2 —设计网网口拉紧周长(米)。

为了保证网具具有良好实用性能,设计中我们作了如下考虑和改进:上下网网衣配置了足够长度的悬链线剪裁,使上下网受力均匀。网端配置成长燕尾状结构;在保证网具强度的前提下,使用较细网线但配网系数较小,为了使网具能充分贴地,基本浮沉力尽量与生产实际一致,在生产过程中视作业渔场和捕捞对象的实际情况作现场调整。

由此设计的两种渔船所配置的网具规格分列如下:

250 马力配导管螺旋桨的钢质渔船使用双拖网规格为614◇×150mm—104.80M。网口拉紧周长

153.6米,网具拉紧全长104.80米,上翼网拉紧长21.13米,天井网8.63米,网身65.26米,网囊9.8米,上纲全长51.2米,下纲全长62.8米,网口目大250毫米,网线粗度36tex/3×12,下中纲缩结系数0.36,上中纲缩结系数0.36,空纲长75米,力纲以网衣拉紧装配。网具贴地数2.98米,网具基本沉力2.94千牛,调整沉力1.96千牛,浮沉比1.20。

250马力主机装导管螺旋桨并配置普通150马力边机木质渔船使用的双拖网规格为700◇×250mm—120.1米。网口拉紧周长175米,网具拉紧全长120.1米,上翼网拉紧长24.88米,天井网9.13米,网身74.16米,网囊长12米,上纲全长59.12米,下纲全长71.44米,网口目大250毫米,网线粗度36tex/3×14,下中纲缩结系数0.38,上中纲缩结系数0.4,空纲长75米,力纲以网衣拉紧装配。网具贴地数3.20米,网具基本沉力4.41千牛,调整沉力1.96千牛,浮沉比1.10。

海上作业与实测

为了测知渔船拖网过程中的实际参数,我们在1989年3月下旬对3055,3056号钢质对船进行了海上实测,测试工作于3月24日在245渔区进行,作业水深25~35米,底质泥沙,海面风力为NE风4级。测试项目及使用仪器如下:

曳纲张力用波兰制DP₂-UR4nr张力仪测定,量程0~12吨,误差±2%;网口高度用波兰制TYPB₂-UR₂压差式网口高度仪测定,量程0~20米,误差±0.5米;相对拖速用HLM1型海流仪测定。以上三项参数在同一网次同时测定,并以自测估计相应的两船间距和两曳纲的水平倾角。测试时,流速仪用铁杆撑于右舷外,记录仪在水面上方约1.5米处,待船速稳定后再记录读数。张力仪串接于曳纲内,自动进行记录。网口高度仪受压气囊缚于下纲中央,记录仪装于上纲中央,自动进行记录。仪器安置完毕,两船协同调整船距,维持500米左右,变化三档转速分别测试各项数据,结果列于下表:

表5 250马力钢质渔船海上实测结果

Table 5 Measurements on 250Hp steel fishing boat at sea

主机转速(转/分)	网口高度(米)	相对拖速(米/秒)	单根曳纲张力(千牛)	曳纲倾角(度)	两船间距(米)
800	7.0	1.12	25.93	10°	500
835	6.5	1.17	28.48	10°	500
925	6.0	1.26	33.42	10°	500

测定结果表明,安装导管螺旋桨的250马力钢质渔船,拖曳614◇×250mm—104.8M双拖网时,当主机转速为800转/分时,网口高度为7米,相对拖速为1.12米/秒(即2.17节),单根曳纲实测张力为2.6吨(26.09千牛),相当于单条渔船发挥的拖力为2.76吨(27.07千牛),网具总阻力为5.15吨(5.05千牛);当主机转速为835转/分时,网口高度为6.5米,相对拖速为1.17米/秒(即2.27节),单根曳纲实测张力为2.90吨(28.44千牛),单条渔船发挥的拖力为2.94吨(28.73千牛),网具总阻力为5.75吨(56.93千牛);当主机转速的925转/分时,网口高度为6米,相对拖速为1.26米/秒(即2.46节),单根曳纲的实测张力为3.41吨(33.44千牛),单条渔船发挥的拖力为3.76吨(36.87千牛),网具总阻力为6.18吨(60.61千牛)。

我们注意到实测网口高度比我们用网口周长和相对拖速估算的数值平均降低了50%左右(估算值约为10米),其原因是实测时使用了过大的两船间距(约500米)和较小的浮力配备,看来在实际生产中缩小两船间距和使用较大浮力是提高网口高度的有效途径。由曳纲张力计算的渔船拖力在上述拖速范围内比普通螺旋桨平均增加一倍,这个结果与拖网设计理论中“拖力增大一倍,网具可放大40%”的结论完全吻合,也充分证明了使用导管螺旋桨在上述拖速范围内能获得明显的附加拖力,节能效果显著。

试验结果分析

1. 不同船、机、桨、网匹配方式生产效果比较

统计表明(见表6),使用导管螺旋桨的250马力钢质渔船7个月的总产量为124.60吨,总油耗为117.4吨。平均月产量17.8吨,月油耗16.8吨。试验期间吨油渔获量为1.06吨。使用导管螺旋桨并配置边机的木质渔船,4个月的总产量为79.45吨,总油耗为83.0吨。平均月产量为19.8吨,月油耗为20.8吨。试验期吨油渔获量为0.96吨。对比船6个月的总产量67.23吨,总油耗157.0吨。平均月产量11.20吨,月油耗26.2吨。该期间吨油渔获量为0.43吨。

表6 试验期间生产情况统计
Table 6 Catch and fuel consumption at sea

月份	生产单位	250马力钢质渔船 使用导管螺旋桨	250马力木质渔船用导管 螺旋桨。加装150马力边 机带普通螺旋桨。	250马力木质渔船用普 通螺旋桨。加装150 马力边机亦用普通 螺旋桨。
	生产情况			
1988年 9	产量(公斤)	3,575.5		
	耗油(吨)	27.0		
10	产量(公斤)	26,479.0		
	耗油(吨)	7.0		
11	产量(公斤)	9,732.0		19,329.0
	耗油(吨)	3.0		24.0
12	产量(公斤)	37,902.0	32,193.0	18,445.0
	耗油(吨)	28.0	21.0	28.0
1989年 1	产量(公斤)	2,487.5		2,240.0
	耗油(吨)	11.0		26.0
2	产量(公斤)		7,248.5	8,000.0
	耗油(吨)		17.0	27.0
3	产量(公斤)	26,606.5	20,150.0	13,010.5
	耗油(吨)	16.8	17.0	25.0
4	产量(公斤)	17,797.0	19,863.0	11,204.0
	耗油(吨)	24.6	28.0	27.0
平均月产量(公斤)		17,797.6	19,863.6	11,204.8
平均月耗油量(吨)		16.8	20.8	26.2

装置导管螺旋桨渔船的平均月产量比装置普通螺旋桨的渔船高68%,月产值高70%,平均月油耗低39%。从节能的观点看,使用导管螺旋桨的平均吨油产值比普通螺旋桨高136%。可见在小型拖网渔船上推广使用导管螺旋桨能获得明显增产和节能效益。

近年来,我国南方沿海集体渔业中正在发展双机、双桨甚至三机、三桨的推进装置改革,在生产上取得一定效益。然而在我们的试验和比较中可以看出,这种增产效益是以增加能耗为代价的,投入和产出不成比例。以该渔业公司28队和22队相比较,后者因加装边机功率增大60%,油耗增加23.8%,吨油产值反而下降14.3%。由此可以认为增机增桨虽可增产,但无节能意义。当然,一些单位从利用

废弃的小功率主机着眼,应该另当别论。从我国能源供应的现实状况而言,我们认为改装导管螺旋桨是机帆渔船技术改造的一个有效途径。

该公司22队和5队的船只条件几乎完全相同,唯一的差异是使用的螺旋桨不同。改装导管桨的22队拖力明显大于5队,以致5队本来打算使用与22队相同的网具实际上行不通,不得不从该省陇海县引进较小网具,网具规格比22队小37%,拖网规格不同是该队生产效益上不去的又一个重要原因,这种情况在闽东渔场主要捕捞带鱼、鲳鱼、小杂鱼、黄鱼、马鲛鱼等栖息水层较高的对象时尤其突出。

2. 导管螺旋桨的拖力估算

无论从渔船推力曲线或海上实测结果看,装置导管螺旋桨渔船的拖力明显高于普通螺旋桨渔船。如果普通螺旋桨渔船的拖力以下式估算^[3,4]:

$$F = f \cdot N_i \left[1 - \left(\frac{V_t}{V} \right)^2 \right]$$

式中: F ——渔船拖力(千牛);

f ——每千瓦发出拖力(千牛);

N_i ——渔船功率(千瓦);

V_t ——拖网速度(节);

V ——渔船自由航速(节)。

则实测条件下导管螺旋桨拖力比普通螺旋桨大90~140%,平均增大一倍。拖力的明显增大结论,看来,由普通螺旋桨改装导管螺旋桨后拖力的变化还值得深入研究。

3. 渔具渔法中值得注意的一些问题

机帆渔船的技术改造中,渔具渔法方面的技术问题值得引起高度重视。广大集体渔业中不少生产单位似乎对自己使用的网具应与船舶拖曳能力相匹配的问题并不讲究,有些甚至不顾自己的具体条件直接引进外地网具,导致生产效益不佳。也有这样的情况,即便船、机、桨、网甚至渔场条件都相同,实践结果生产情况十分悬殊,其原因可能是船员对渔具的设计、装配、使用、调整缺乏必要的知识。我们在28队船员出海生产中感觉到,渔具调整是个薄弱环节,诸如两船间距、拖网速度、网具轻重与贴底状况、网口高度及其它异常现象的观察调整均有一定的盲目性,但稍加指导便能接受。我们高兴地看到,这对渔船迄今为止生产一直处于领先地位。由此我们想到,在我国大量集体渔业今后的技术改造中,普及生产知识,进行技术培训是必要的。

参 考 文 献

- [1] 上海交通大学《小型船舶设计与建造》编写组,1978。小型船舶设计与建造,254~268。国防工业出版社(京)。
- [2] 王国强、盛彬邦,1985。船舶推进,188~198。国防工业出版社。
- [3] 张友声等,1962。渔具理论与捕鱼技术(第二篇),157~176。农业出版社(京)。
- [4] 黄锡昌,1984。实用拖网渔具渔法,178~187。农业出版社。
- [5] 蓝景阳,1980。疏目底拖网。水产学报,4(4):353~360。