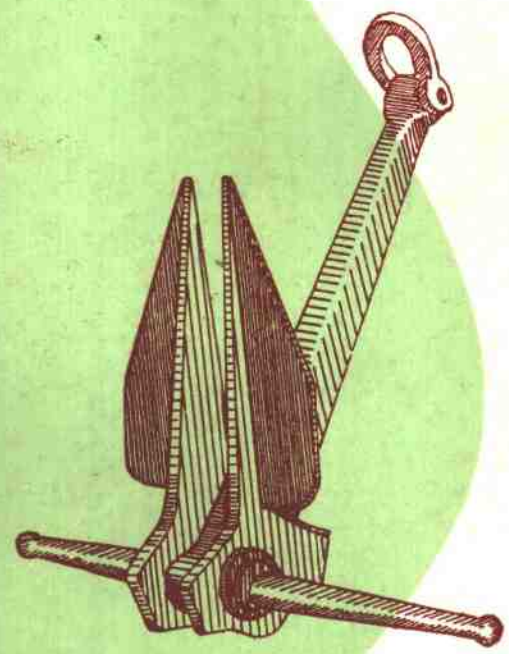


日本水産学院
C-9 0060

船舶 装置文集



MARIC

中国船舶及海洋工程设计研究院

666-53

446



船舶装置文集

编辑出版：中国船舶及海洋工程
设计研究院

印刷者：上海 4012 号信箱

通讯地址：上海 3053 号信箱

代 序

为加快祖国的“四化”建设,为适应造船工业向现代化发展的需要,船舶装置(船体设备)的研究和设计是十分重要的。国内外大量新型舰艇的问世充分说明了这一点。我院广大科技人员,在各级领导的关怀指导下,在各有关单位的大力支持下,编写了《船舶装置文集》(第一集)。在新型船舶的特种装备方面:重点介绍了舰船直升飞机装置,多点锚泊船舶环境力的计算;译文方面:介绍了国外的新技术,如大型船系泊装置设计、船用克令吊的动态负荷和深水定位锚装置等有关文章;最后专辟规范集编一栏,着重介绍1980年挪威、法国和1977年苏联、日本等国家规范的系船部份。该文集可供从事船舶设计、研究的工作者和有关高等院校的师生参考。

本文集由本院一室主编,编写过程中,孙朝宗、殷铁成、陆兆昌等同志化了很多的精力和时间,并且得到室领导的大力支持;各室同志又积极投稿,使本文集在短期内汇编成册,在此特向大家表示衷心的感谢。由于工作水平有限,加上组稿仓促,选题方面不免有所挂漏,译校中存在的问题,更是在所难免,望读者谅解并有待后续编时改进和完善。

陈勤康 1981.8

目 录

代序

专题编写

舵的设计与计算(一)	(1)
万吨轮船部转向装置设计体会	(26)
多点锚泊船舶的环境力计算	(32)
舰载直升机平台与机库	(36)
可倒桅的设计	(41)

译 文

大型船系泊装置设计	(49)
浮动式石油钻井平台锚泊的新方法	(68)
船用克令吊的动态负荷	(73)
深水定位锚装置	(77)
史蒂文锚和波尔锚简介	(81)
船用液压升降机	(87)
近海输送人员的登船跳板	(89)

规 范

1980 年挪威钢船建造规范——锚泊和系统设备	(91)
1980 年法国船级社规范第四章——舵和船体属具	(107)
日本规范(NK)系船部分	(114)
1977 年苏联海船入级和建造规范	(117)

舵 的 设 计 与 计 算 (一)

王 仲 正

前 言

一个性能优良的舵必须要满足以下三个方面的要求:一、使船舶获得良好的操纵性。众所周知,船舶的操纵性必须在船体和操纵装置两方面进行考虑,但船体线型、主尺度等要素往往受到总体性能(如稳性、快速性、总布置等)的制约,而不可能单从操纵性性能优良角度考虑,所以一艘船的操纵性常借助操纵装置来获得。由于操纵性不好,船速降低2~3%、马力损耗可达10%左右。国外对此甚为关注,已逐步形成一个新的研究课题。欲使船获得良好的操纵性,舵面积的选择是很关键的。第二、在满足操纵性要求的条件下,舵机功率为最小,这不仅与舵面积的选择有关,还与舵平衡比、展弦比等要素有关。第三、应综合考虑船的其他性能,如阻力、推进效率等。本文对舵设计的有关方面作些探讨。

一、舵 的 设 计

1.1 操纵性衡准指数及影响船舶操纵性的诸要素

船舶操纵性的优劣从定性角度分析,应满足下列三方面的要求:

(1) 航向稳定性——指在扰动力停止后,船舶保持直线运动的能力。实际上在大多数情况下,船在风、流、浪作用下,总是要偏离规定航向,为了使船回复原航向必须周期性地操舵,此称之为运用稳定性。一般所说航向稳定性是指船舶通过操纵装置保持规定航向的能力。

(2) 回转性——指船舶改变运动方向并按规定的曲线轨迹运动的性能。

(3) 应舵性——指操舵后船舶运动的反应能力。

在舵设备设计中,船舶回转直径是衡量其操纵性的一个重量定量指标。但单靠它并不能全面判定船舶操纵性的优劣,那么我们以什么来衡量船舶操纵性的好坏呢?

根据船舶运动一阶线性方程式,解得:

$$\varphi(t) = K\delta_0(1 - e^{-t/T}) \quad (1-1)$$

显然 K 为定常回转角速度与对应舵角之比, K 值大时则回转角速度 $\varphi(t)$ 也大,从而可得较小的回转直径,可使船舶的获得较好的回转性能。因此我们称 K 值为船舶回转性指数。由上式又可知, T 值越小,则 $e^{-t/T}$ 的衰减也快,即船舶在操舵后能迅速达到定常回转角速度,我们称之为应舵性能好;又当未操舵而外界有一干扰力时,同样当 T 值小时,由于 $e^{-t/T}$ 衰减快而使船舶恢复直线航行的能力强,即船舶的航向稳定性好。我们称 T 值为追从、航向稳定性指数。因此,我们把 K 、 T 合称为操纵性指数。要说明的是由一阶方程所得的 K 、 T 值一般适用于稳定性较好的船舶。对频度稍高的船舶的操纵运动采用由二阶方程求得的 K 、 T 值为宜。对大舵角回转以及不

稳定船舶之操纵性，由于非线性影响，二阶方程也不适用。

K 、 T 值可通过船舶 Z 形试验求得，在实用上常用 $K' = \frac{K}{(V/L)}$ 、 $T' = \frac{T}{(L/V)}$ 这样的无因次形式表达。其中 V 系指回转前船速与定常回转船速的平均值， L 为船长。图 1.1-1 表示近 60 条船的 K' 和 T' 值之间的关系，它们是由肯普夫标准机动试验中得到的。

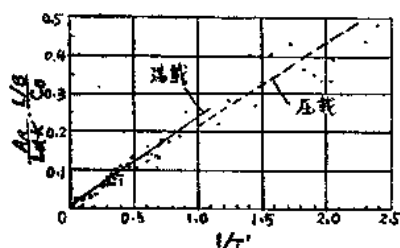


图 1.1-1 $K' \sim T'$ 图表

对船舶操纵性的影响因素有以下几个方面：

(1) 肥大船型的影响，此型船由于水流从船体流向舵时冲角较大，从而增大了舵压力和转船力矩，另一方面肥大型船的伴流大，使流向舵的水流速度降低而减小舵压力。一般说来肥大船具有较好的回转性，而航向稳定性及应舵性较差。另外，由于肥大船型之尾部线型肥大而易产生水流分离现象，此流场受流体粘性的支配，对外界条件甚为敏感，因此当尾型或舵与螺旋桨位置稍有变动即可能引起尾部水流的变化，因此有的肥大船在小舵角时有所谓临界稳定状态，亦即在螺旋回转试验时在小舵角处的斜率很小，甚至为负斜率。

(2) 船舶侧投影面积形状、呆木和尾鳍的影响：实船和船模试验发现，船舶侧投影面积的形心位置对船舶航向稳定性具有很大影响，因此在设计时为保证船舶航向稳定性，应使船舶水下部分侧投影面积的形心尽量后移。但须注意龙骨前部不能切去过多，否则由于合力中心后移，使转船力矩减小，而使回转直径大大增加。

通常在船尾适当增设呆木或尾鳍会大大提高船舶的航向稳定性，如对于一艘 $C_B / \frac{L}{B} = 0.126$ 的船，在增设了 $\frac{1}{45}$ 的尾鳍后显著地改善了航向稳定性。然而过大的呆木会降低其回转性能，因此对于注重于要求有较高回转性能的船舶则希望船尾削斜或设置开有缺口的呆木，但也有试验证明在肥大型船回转角速度较低的情况下设带有缺口的呆木的效果反而使船具有较好的航向稳定性，而其回转性反而降低。

对于一些航向稳定性较差的船舶，当舵面积已取得较大，又无法提高呆木面积时，可在尾部装设稳定鳍。尾部稳定鳍的功效常随鳍的大小、形状和安装位置而异，常需由试验来决定。村田良雄、多田纳久义推荐安装如下侧鳍(表 1.1-1)以改善性能。

表 1.1-1

		侧鳍面积(一只) $A_F(\text{米}^2)$	$\frac{A_F}{LT}$	鳍距舵杆中心 纵向位置 $l(\text{米})$	$\frac{l}{L}$	$\frac{A_R(\text{舵面积})}{L \cdot d}$	$\frac{A_F}{A_R}$
A 船		0.85	1/67.6	0.61	0.025	1/39.8	0.59
B 船	鳍 1	1.40	1/41.1	0.85	0.035	1/33.8	0.82
	鳍 2	1.46	1/39.5	0.26	0.011	1/33.8	0.86

但也有人认为在尾部船体中心线舵上方装置稳定鳍效果不大而偏向于安装侧鳍。

(3) 尾框及尾型的影响：过大的尾框会降低船舶的转船力矩，舵外廓与其周围的配合构造的间隙应尽量小。船尾线型应和顺，一般说，具有深巡洋舰尾的船回转性能最佳，高举式船尾 (Stern overhang) 之回转性能最差。但从矛盾另一方面考虑，尾部侧投影形状对航向稳定性也有很大影响，对具有高举式船尾，尾部线型与舵顶之间存在较大间隙，具有深浸沉的螺旋桨之尾部侧影图的船的航向稳定性均较好。很明显，对于要求有良好航向稳定性的肥大船型应取后一种尾部布置。

(4) 航速的影响：舵力的大小与水流速度的平方成正比，因此航速越高则舵效越好。但过高的航速会使舵产生空泡或使舵吸入的空气增加反而使操纵性下降，高速回转时船舶横倾严重，因而影响了冲至舵上的水流方向，也致使舵效降低。对于需低速航行的特种船舶，由于舵效低，即使再增大舵面积其作用也不大，为保证其操纵性，应采用特种舵或其他方法解决之。

(5) 螺旋桨转向的影响：此问题的提出一般是对双桨船而言。为保证舵上吃到螺旋桨尾流，舵的布置对于外旋螺旋桨应靠外布置，对内旋螺旋桨则应靠内布置。对单螺旋桨船，螺旋桨的转向对操纵性影响不大，但由于尾流旋转方向歪斜而使船舶左右舵的回转性能略有差异。右旋螺旋桨

表1.1-2 诸要素对操纵性的影响

项 目	应舵及航向稳定性	回 转 性
舵面积 A_R/LT 增加	○	○
肥大船型 $\frac{C_B}{L/B}$ 增加	×	○
B/T 增加	×	○
斜截式船尾和深巡洋舰艉	×	○
呆 木	○	×
1轴1舵→2轴1舵	×	×
吃水/水深 减小	○	×
船尾滑流	○	×

其中：○表示性能改善，×表示性能变差

船的向右回转半径总是大于向左回转半径。

诸要素对操纵性的影响见表 1.1-2。

1.2 舵的分类

按舵在舵杆和船体上的固定方式分为普通舵、半悬挂舵、悬挂舵、多支承舵。

按舵杆轴线在舵上的位置分为平衡舵、半平衡舵、不平衡舵。

按舵的剖面形状分为平板舵、流线型舵、整流舵。

我国常用的舵型有：

普通平衡舵(D)：只要选取适当的平衡比可减少舵机功率，所以使用很普遍。

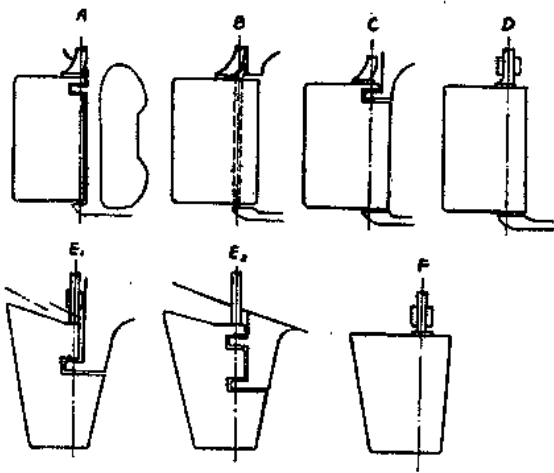


图 1.2-1 舵型式

悬挂平衡舵(F): 结构简单, 但所受弯矩较大, 适用于中小型双桨高速船。

固定在固定舵柱后的不平衡舵(A): 固定舵柱宽度取整体宽的 0.1~0.25 倍或按式 $\delta = 8.76/\lambda + 10.6$ 计算。结构较强, 常用于浅水及冰区航行船舶, 倒车舵效差。

半悬挂舵(E): 结构较强, 展弦比可取得较大, 适用于中高速货船。一般说来此型舵所引起的船体振动及推进效率略佳。

表 1.1-1 为国外 4,000 余艘船上使用的各种型式舵的统计资料。

表 1.2-1 各种型式舵的使用数量

舵型 船 型	A	B	C	D	E	F	总计
集装箱船	6	4	0	5	87	20	122
干 货 船	126	372	60	265	366	105	1,294
特种船舶	3	26	5	39	47	23	133
散装货船	4	127	192	53	162	18	556
油 船	19	173	169	125	156	23	665
化学/gas 船	8	37	10	38	26	4	123
矿砂-散货-油 (OBO) 船	1	13	15	0	8	0	37
矿油两用船	3	4	20	0	14	0	41
渡 船	6	0	0	28	25	74	133
渔 船	18	14	13	485	20	36	586
拖 轮	15	1	6	138	60	6	226
挖 泥 船	4	10	0	18	5	40	77
其 它	16	4	1	106	10	147	284
总 计	229	785	491	1290	935	550	4,277

1.3 舵的面积

在舵设备的设计中, 舵面积的决定是一个比较重要的问题。一般来说 舵 面 积 取 得 大 则 能 提 高 船 舶 的 航 向 稳 定 性 和 回 转 性。但过大的舵面积将使舵机功率增大, 设备尺寸大而造成布置困难, 对于尾框布置紧凑的船舶(如吃水较浅的内河船)舵面积的增大势必造成舵短而宽(展弦比小)的舵外形, 从而降低了舵在小舵角时的升力, 图 1.3-1 为一般摩托艇试验结果, 舵面积增大至一定值后, 回转直径就不再减小, 文献[26]介绍导管螺旋桨后的舵最好的航向稳定性反而在较小的舵面积时获得, 肥大船增大舵面积仅能改善船舶的航向稳定性而对提高船舶的回转性能作用不大。因此不同的船型对舵面积的要求也不相同。如远洋运输为降低成本而要求航向稳定性好, 据统计, 一艘航向稳定性差的船由于蛇航会增加 5 % 的多余航程; 而内河船、港作船则要求有较好的回转性和应舵性, 特别对于航行于狭窄航道的船舶, 为保证船舶的安全, 良好的操纵性是极为重要的。

在设计一艘新船时,确定舵面积的最好方法是参照操纵性良好的母型船以选择合适的舵面积比 μ ,根据 μ 确定舵面积;在没有相近的母型船参照时,可采用统计资料中所推荐的舵面积比或采用与船型相符合的经验公式来估算。在船舶回转性能要求为已知时,也可根据计算回转直径的经验公式倒过来计算舵面积。迄今,舵面积还没有一个精确的计算公式,因此最好能把从多种方法获得的舵面积加以比较,结合本船的特点、航区、工况等加以确定。如对那些操纵性要求高的、要求具有良好航向稳定性的肥大船应取上限值或适当加大计算得的舵面积,对低速航行时要求有较好操纵性的船舶则需考虑特种操纵装置。总之,在选择舵面积时应综合船舶操纵性、船型、工况、航区、舵机功率、布置等方面进行全面考虑。

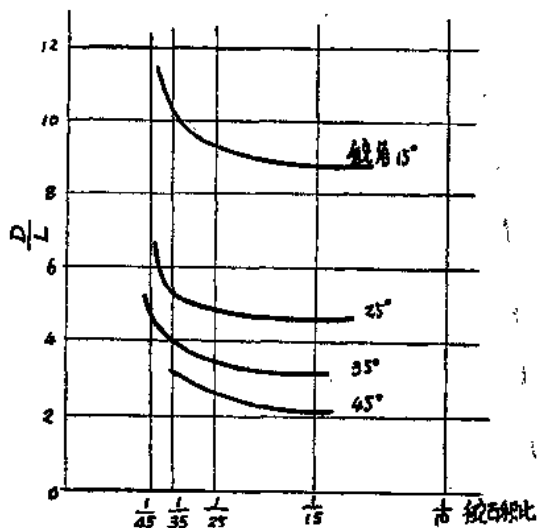


图 1.3-1 稳定回转直径与舵面积比的关系

表 1.3-1 μ 值的选取

单螺旋桨船	1.6~1.9	海洋拖轮	3.0~6.0
双螺旋桨船	1.5~2.1	拖轮、引水船和渡轮	2.5~4.0
双桨双舵船	2.1	机动性较高的船舶	2.0~4
油 船	1.3~1.9	内河拖轮	6.5~
小型货船和客船	1.7~2.3	内河驳船	4.5~7
巨型货船和客船	1.4~2.0	内河客轮	4~8
沿海船舶	2.3~3.3	机 动 驳	3~7
渔 船	2.5~5.5		

计算舵面积的常用经验公式有以下几点:

(1) 萨保罗夫公式[4]: 适用于双舵、截切式首柱的海船。

$$\frac{0.023}{\sqrt[3]{\frac{L_w}{\delta B} - 6.2}} < \mu < \frac{0.030}{\sqrt[3]{\frac{L_w}{\delta B} - 7.2}}$$

式中: δ ——方型系数; L_w ——设计水线长(米); B ——依设计水线量得的船宽(米)

(2) Norrbin 公式: 适用于单桨单舵船。

$$\left(\frac{2R}{L_{PP}}\right)_{\min} = \frac{L_{PP}/T}{7.25} \times \frac{L_{PP} \cdot T}{100A} \left(C_B - \frac{T_a - T_f}{6T}\right)^{-1.81}$$

式中: R 回转半径(米); L_{PP} ——船舶两柱间长(米); T ——吃水(米); C_B ——方型系数; T_a ——后吃水(米); T_f ——前吃水(米); A ——舵面积(米²)

当取 $\left(\frac{2R}{L_{PP}}\right)_{\min} = 3$, 且当 $T_a = T_f$ 时, 则得

$$\frac{L_{PP} \cdot T}{A} \leq \frac{2175}{\frac{L_{PP}}{T} \left(\frac{1}{C_B} \right)^{1.81}}$$

(3) 日本船级社规定(1978年):

舵从一舷 35° 转到另一舷 30° 的操舵时间不超过 28 秒, 但当 $L/V \geq 9$ 时(不包括客船)可取下式较大值:

$$7.22 \frac{L}{V} \left[1 - \frac{LT}{A_e} \cdot \frac{BC_B}{L} / 13.3 - r \right] \text{秒}$$

式中:

V ——船速(节);

B ——船宽(米);

L ——船长(米);

T ——吃水(米);

C_B ——方形系数;

D ——螺旋桨直径(米);

A ——舵面积(米²);

h ——舵平均高(米);

λ ——展弦比;

$$A_e = \frac{A(0.6 + 0.4D/h)}{0.45 + 0.675/\lambda} \text{ (米}^2\text{)};$$

r 取下两式中大者:

$$r = 3.0 \left(\frac{B}{T} + 5 \right) \frac{LT}{A_e} \times 10^{-3}$$

$$r = 4.2 \left(\frac{L}{BC_B} \right)^2 \left(3 \frac{B}{T} - 1 \right) \cdot \frac{LT}{A_e} \times 10^{-6}$$

据上式, 依操舵时间要求可算得舵面积。

(4) 挪威规范规定(1977年):

直接位于螺旋桨后的舵, 其舵面积应不小于:

$$F = \frac{LT}{100} \left[1 + 25 \left(\frac{B}{L} \right)^2 \right] \text{米}^2$$

式中:

L ——船长(米);

T ——吃水(米);

B ——船宽(米)

并指出经常在港内、运河或其它狭窄航道工作的船舶应增加其舵面积。具有流线形舵柱的船, 其舵柱的侧面积之半可计入舵面积内, 不直接位于螺旋桨尾流中的舵, 舵面积至少应再增加 30%。

(5) 由船回转直径来计算舵面积的公式:

1) 哈夫加特-桑海-宝田公式[1]:

$$D = \frac{2K_s \nabla}{A \cdot C_n \cdot \cos \alpha}$$

式中:

∇ ——船的排水体积(米³);

A ——舵面积(米²)

α ——舵角(度);

C_n ——舵法向力系数;

$C_n \cdot \cos \alpha$ 及系数 K_s 由图 1.3-2 查得, 速度和纵倾的修正见图 1.3-3,

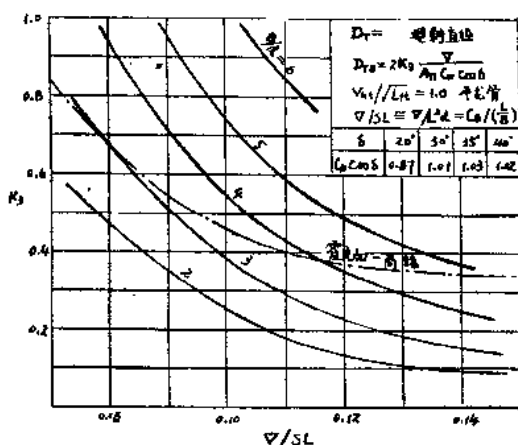


图 1.3-2

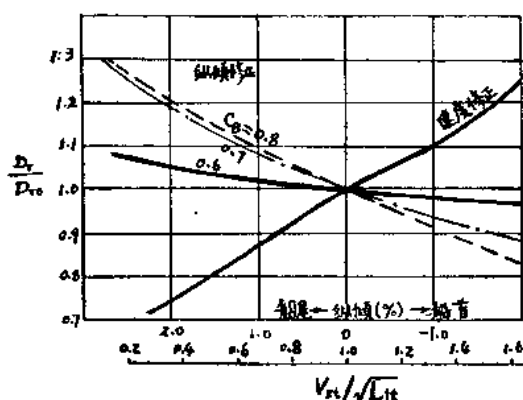


图 1.3-3

2) 巴士表宁公式[3]: 适用于海船

$$D = \frac{L_w^2 \cdot T}{10A}$$

式中:

L_w ——船舶水线长(米); T ——吃水(米); A ——舵面积(米²)

3) 哈诺维奇公式[3]:

$$\frac{1}{2} D = R = \frac{k_1}{k_2} \frac{V}{A}$$

符号意义同上, k_1, k_2 由图 1.3-4, 图 1.3-5 的曲线查得。

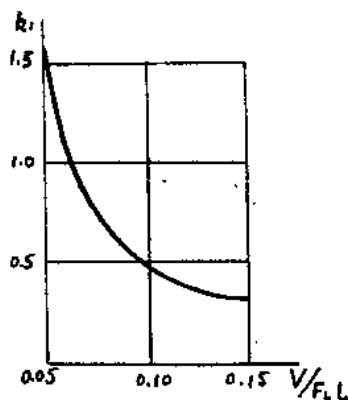


图 1.3-4 系数 k_1

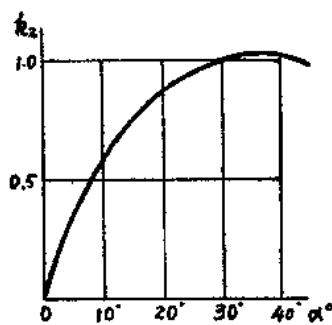


图 1.3-5 系数 k_2

(6) 赤崎繁方法:

在赤崎繁著的《船舶旋回学》中,提出了用前进旋回性指数、航向稳定性指数以及保针性指数(保针性指使用小舵角来保持航向的能力)来衡量船舶的操纵性。该文并提出了标准指数值。他认为用经验公式计算得的舵面积对于一些特殊船型不一定能满足船舶操纵性的要求,例如对于 $\frac{B}{L} = \frac{1}{6}$ 的船,使用 NV 规定的公式则得舵面积比为 $\frac{1}{60}$,对肥大船型通过船模试验得知,如此大的舵面积使船舶的保针性能差,并使船不可能进行倒车回转。因此他提出了根据航向稳定性指数和保针性指数来选择舵面积的方法。

他认为保针性指数需满足

$$m_2 M_r \overline{OG} \omega^2 / P_0 V^2 \cos \delta \overline{OA} \leq 5.25$$

航向稳定性指数需满足

$$m_2 M_r \overline{OG} \omega^2 / 0.555 m_3 I_0 \omega^2 \leq 0.84$$

式中: m_2 ——回转时增加的附连质量系数;

$$m_3 = 1 + m_2 M_r \overline{OG} / I_0;$$

V ——定常回转速度;

ω ——回转角速度;

M ——船舶质量(米-公斤/秒²);

$\overline{OG}$ ——转心至重心之间距离;

$\overline{OA}$ ——转心至舵轴间距离;

P_0 ——由赤崎繁公式求得之舵上正压力;

r ——定常回转时回转半径

赤崎繁法计算过程如下:

首先确定在满载状态舵角 35° 时的回转直径, 要求此 D/L 满足船舶的使用要求。再据下式计算舵面积, 与算得之舵面积相对应之保针性指数必须小于 5.25, 否则将需增大舵面积, 直至保针性指数小于 5.25 时为止。

$$\text{回转力矩: } P_0 = 0.72 M (K^2 + \overline{OG}^2) \omega^2 + 0.72 \textcircled{M} (\textcircled{K}^2 + \overline{OH}^2) \omega^2 = 0.72 I_0 \omega^2 \quad (1)$$

$$\text{定常回转角速度: } \omega^2 = \frac{P_0 V_P^2 \cos \delta \overline{OA} + m_2 M r \overline{OG} \omega^2}{0.555 m_3 I_0} \quad (2)$$

式中:

$\overline{OH}$ ——转心至 M 的重心之间距离;

$\textcircled{M}$ ——回转阻力附加质量(米-公斤/秒²)

$\textcircled{K}$ ——对 $\textcircled{M}$ 重心的惯性乘率;

K ——对 M 重心的惯性乘率;

I_0 ——转心的惯性矩;

V_P ——定常回转时作用于舵上的水流流速

D/L	A	B	C	...
r				
ω^2				
m_3				
$0.555 m_3 I_0 \omega^2 (E_K)$				
$m_2 M r \overline{OG} \omega^2$ (离心力矩)				
舵力矩 = E_K — 离心力矩				
舵面积				
舵面积比				
进路安定性指数				
保针性指数				

I_0 以船模试验求得, 在已进行过阻力试验的船模之转心上安装上轴, 进行回转试验, 求得各对应的角速度与回转力矩, 可作出 $\omega-P_0$ 曲线, 从而可求得 ω 为 1 弧度/秒时的 P_0 , 据(1)式可求得 I_0 。把(2)式化成:

$$P_0 V_P^2 \cos \delta \overline{OA} = 0.555 m_3 I_0 \omega^2 - m_2 M r \overline{OG} \omega^2 \quad (3)$$

在已知定常回转时的船速 V 后可据确定的 r 求得 ω , 再把(3)式的左边项中之 P_0 用 2.1 节(4)式代入, 则左边项成为一个常数与舵面积 A 的乘积。把各已知值代入(3)式右项, 则可求得舵面积 A 。把对应各 D/L 下所求得的 A 和保针性指数列成如上表格所示, 最终可求得满足保针性所需要的最小舵面积。

(7) 计算舵面积的图表:

1) 村桥图表(图 1.3-6): 适用于一般货船、散装船和油船以及 $L/B < 6 \sim 6.5$ 、 $C_B > 0.8$ 的肥大船

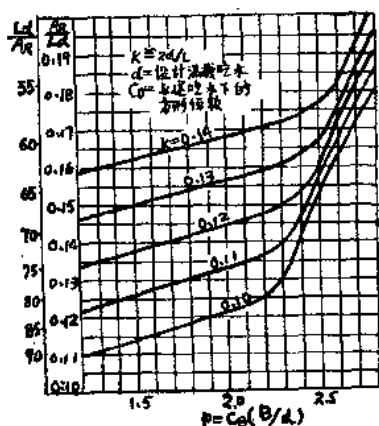


图 1.3-6 舵面积确定图表

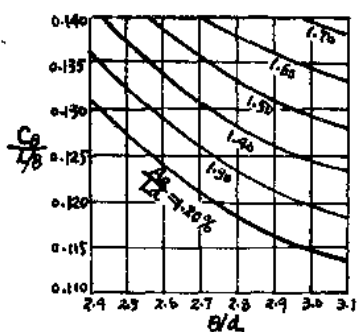


图 1.3-7 满足航向稳定性的标准舵面积比

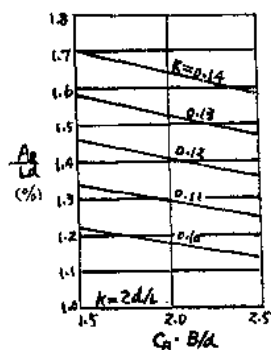


图 1.3-8 满足回转性的标准舵面积比

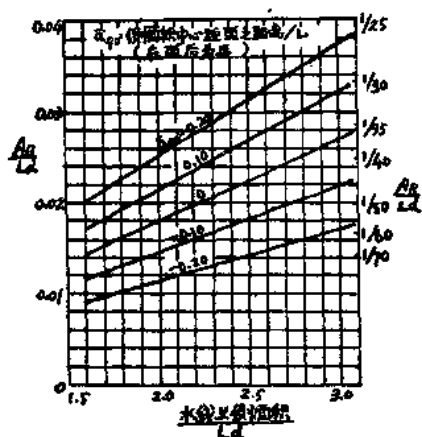


图 1.3-9 受风侧面积大的船的舵面积决定图表

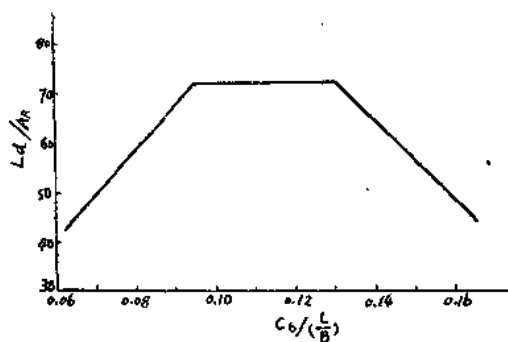


图 1.3-10

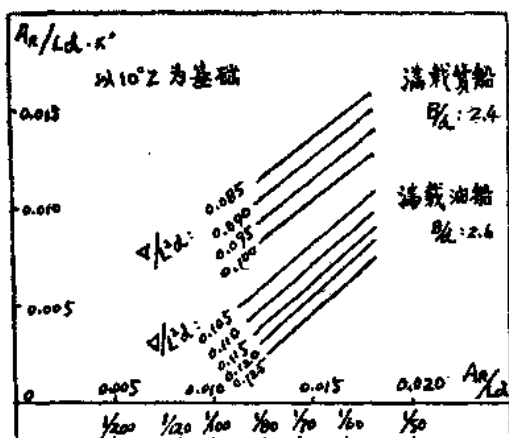


图 1.3-11 K、T 推定图表(1)

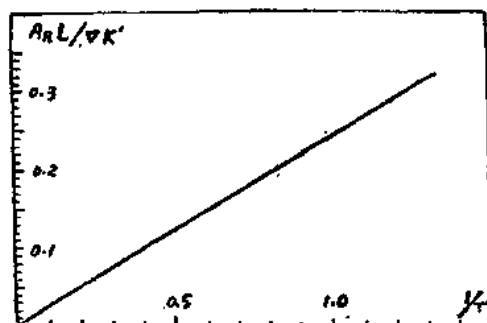


图 1.3-12 K、T 推定图表(2)

2) 山田图表(图 1.3-7、1.3-8). 主要适用于油船等肥大船型(单桨单舵、逆 G 型船尾)

3) 用于受风侧面积大的船的图表(图 1.3-9): 适用于 风速/船速 ≤ 4.5 的汽车渡轮等侧面积巨大的单桨单舵船。对于双桨单舵船, 查得之舵面积需再乘 1.5; 双桨双舵船则可减至 0.9 倍。

4) 小田法(图 1.3-10); 适用于万吨级以上以及超大型油船。

5) 野本法[9]: 适用于 $B/T = 2.4$ 的满载货船及 $B/T = 2.6$ 的满载油船。

a) 母型法——已知母型船 $\frac{\nabla}{LT} = \frac{C_b}{L/B}$, $\frac{A_R}{LT}$ 值, 由图 1.3-11 中查得母型船的 $\left(\frac{A_R}{LT K'}\right)_母$, 按下式算得设计船的 $\frac{A_R}{LT K'}$ 值:

$$\frac{A_R}{LT K'} = \left(\frac{A_R}{LT K'}\right)_母 \times \frac{\nabla/L^2 T}{(\nabla/L^2 T)_母} = \left(\frac{A_R}{LT K'}\right)_母 \times C_b/L/B / \left(C_b/L/B\right)_母$$

再次查图 1.3-11 可求得 A_R/LT 。

b) K' 、 T' 法——根据设计船所要求的 K' 、 T' 值, 由图 1.3-12 按 $1/T$ 查得 $A_R L/\nabla K' = \frac{A_R}{LT} / \frac{C_b}{L/B} \cdot K'$, 再求得 A_R/LT

1.4 舵的其它要素

(1) 展弦比 λ : 舵的展弦比对舵的水动力性能影响很大。展弦比 λ 大, 在同样舵角下, 比 λ 小的, 其升力系数大, 但其失速较早。实际上舵展弦比主要由各类船舶的尾框形状和艉吃水所决定, 在既定的舵面积下, 每艘船的展弦比实际上变化不大。

从推进效率角度考虑, 在相同舵面积下, 如取较高的展弦比可获得较高的推进效率。

内河船和大型船舶由于吃水限制, 舵的展弦比均较小, 一般 $\lambda = 0.5 \sim 1.1$ 。内河船在 C 级航区的最大操舵角可至 45° 。一般海船的展弦比可在 $1.0 \sim 2.5$ 之间(半悬挂舵的展弦比可取得较大); 对于肥大船型、油船可取 $1.3 \sim 1.7$; 汽车渡轮、客轮等双桨单舵船可取 $0.7 \sim 1.1$ 。

(2) 舵剖面: 翼型的选取应考虑在一定 λ 下使舵升力大, 失速迟、阻力小、防空泡性能好以及水动力性能相对稳定等。

目前常用的优良翼型有 NACA、HEX 和 JFS 几种。HEX 翼型尾部是凹形, 因此虽然它有较大升力, 但因尾部结构较弱和施工困难, 使用不及 NACA 普遍。JFS 翼型由汉堡大学造船工程学院发展, 该翼型的前部为 NACA 型, 后部为两侧中凹的 JFS 型, 经试验证明它可有较大的升力系数并使压力中心相对稳定, 但目前在我国使用不多, 我们曾对此翼型做过风洞试验, 比较明显的试验结果是压力中心前移, 可减少舵杆扭矩。

以上三种舵剖面之型值见表 1.4-1、表 1.4-2。

表 1.4-1 NACA 和 HEX 剖面型值表

距导边距离		0	1.25	2.5	5.0	10.0	20.0	30.0	40.0	50.0	60.0	70.0	80.0	90.0	100
厚度(以最大厚度的%计)	NACA	0	31.6	43.6	59.2	78.0	95.6	100	96.7	88.0	76.1	61.0	43.7	24.1	2.1
	HEX	0	33.1	45.2	62.2	81.9	98.0	99.0	94.0	81.7	66.7	48.0	30.0	15.0	0

表 1.4-2 JFS 58 TR₂₆¹⁵ 侧面型值表

距导边距离	0	0.5	1.25	2.5	5.0	7.5	10	15	20	25	31.5
厚度(以最大厚度%计)	0	27.0	41.0	54.5	70.0	80.5	87.5	95.4	99.0	100	98.2
距导边距离	38	44.5	51	57.5	64	70.5	77	83.5	90	100	
厚度(以最大厚度%计)	92.5	82.6	69.5	55.3	42.0	31.1	23.8	20.55	20.0	20.0	

为改善船舶推进性能,往往在螺旋桨中心的延长线之舵剖面处加上梨形整流帽。但必须注意,装在平板舵或小厚度比舵上的整流帽最有效,对于厚度比较大($t/b > 0.2$)而流线型好的舵在结构上加装整流帽并不合适。整流帽的最大直径应为螺旋桨桨毂直径的 1.1~1.4 倍。长度约为其本身直径的 2~3 倍或整个舵宽,对于大毂径比螺旋桨或变螺距螺旋桨加装整流帽也有一定收益。

(3) 厚度比 δ : 一般说, δ 大的舵能使临界舵角和 $C_{y\max}$ 增大,但在小舵角时阻力较大;过小的 δ 使舵失速早而引起 $C_{y\max}$ 减小。舵的厚度比除考虑舵的水动力性能外,还须同时考虑其结构布置的可能性,所以通常舵厚度比在 0.15~0.22 范围内选取。大型船舶 δ 可取小些,悬挂舵由于结构及强度上的需要 δ 可取大些,对于半悬挂舵其 δ 取得很大,有的资料发表可达 27%。

从推进性能考虑厚度比不宜取得过小,一般在桨后的舵的厚度比可取为 15%,但大于 25%也是不合适的。

(4) 舵外形和平衡比: 根据试验结果,舵的侧面形状对舵的水动力性能影响较小,特别当 $\lambda \leq 1.5$ 时,舵外形实际上已经对 C_y 没有影响。从减少诱导阻力的观点出发,梯形舵满足载荷椭圆分布的最佳梯形度和后掠角的选取可参照图 1.4-1

平衡比的选择应使在正倒车工况下,最大舵杆扭矩的绝对值为最小以减少舵机功率,所以,通常舵的平衡比在 0.24~0.29 范围内选取,但从减少振动的观点出发,平衡比 e 不宜取得过大,1978 年 NK 规范中规定 $e > 23\%$,对于使用人力操舵的小船,平衡比应选得较小。

日本藤井齐据装备了各种不同平衡比的单舵自航模试验,推荐下列值作为最佳平衡比:

方形系数 $\delta = 0.6$ 的船, $e = 0.25 \sim 0.255$;

方形系数 $\delta = 0.7$ 的船, $e = 0.26 \sim 0.265$;

方形系数 $\delta = 0.8$ 的船, $e = 0.265 \sim 0.270$ 。

1.5 舵数量的选择及布置

舵数量的选择与布置应考虑以下几种情况:

- (1) 有足够的舵面积以保证满意的操纵性;
 - (2) 舵能产生最大的升力;
 - (3) 最节省的舵机功率;
 - (4) 最佳船舶阻力;
 - (5) 理想的推进效率;
 - (6) 舵的保护。
- 在舵设计时常把舵与艉部船体和螺旋桨作为一个组合体来考虑。以下分别从单桨船、双桨船以及内河船来介绍舵的一般布置。

在单桨船上,为了使舵充分利用螺旋桨的尾流而常布

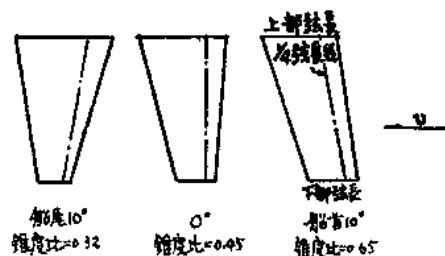
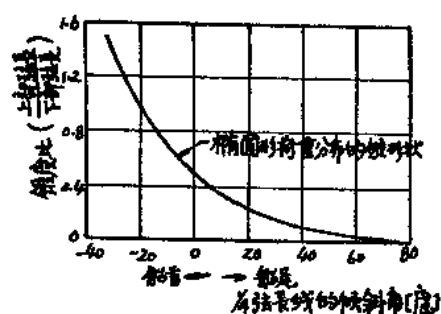


图 1.4-1

置成单桨单舵型。工作在浅水区、而吃水受限制的船上也有布置成单桨双舵的, 这样即保证足够的舵面积, 也使每只舵的展弦比提高而增加了舵的升力系数。单桨双舵船与单桨单舵船的航向稳定性并无很大差异, 也有前者优于后者的情况。

双桨船, 有双桨单舵、双桨双舵、双桨三舵三种型式。近来很多文章提到, 在内河中航行的双桨船上, 除每桨后各配置一个边舵外, 多数还设中舵。由于其不处在螺旋桨尾流中, 且该处船体伴流又很大, 所以其舵效很差。尽管如此, 但具有中舵之船舶航向稳定性一般较好, 另一方面这类船舶作停车惯性航行的机会较多, 所以, 在这种航行状态下, 中舵的来流较边舵的来流大而且和顺, 从而使舵能获得较好的水动力性能, 因此双桨三舵型式的布置一般用于经常需停车惯性航行的内河船舶上。

双桨双舵由于有较好的操纵性而得到普遍采用, 特别对肥大船型, 一般说来肥大船具有较好的回转性能, 而航向稳定性较差, 因此对肥大船型的操纵性在均衡船舶推进效率的基础上考虑双桨双舵较多。但双舵布置由于增大了推力减额而影响了船舶的推进效率, 从保护舵(如冰区航行船舶)和简化结构方面考虑, 也有采用双桨单舵布置的, 为弥补双桨单舵布置的操纵性能不如双桨双舵的缺陷, 目前世界上有一种用于肥大船型的双桨单舵的新颖布置(见图 1.5-1)。在这种布置中, 把双轴尽量接近, 使两螺旋桨的叶梢缝隙略小于舵的最大厚度。这种新布置能使船舶在尽量不降低推进效率的情况下保证有较满意的操纵性。由于螺旋桨的推力中心并不在它的中心线上, 而是偏移在与旋向相同方向外侧的一点上, 所以在双桨船上, 置于螺旋桨尾流后的舵一般也需偏移一段距离(内旋螺旋桨舵向内移, 外旋螺旋桨舵向外移), 这样既使舵避开螺旋桨轴毂处的涡流区而提高了升力, 也便于螺旋桨的拆装, 偏移距离一般为 $0.05 \sim 0.10D$ 。

目前国外也有在瘦型双桨高速集装箱船上采用一般双桨单舵的成功例子。在这类船上采用双桨单舵的理由是: (1) 此类船舶不象汽车渡轮等那样, 在港口频繁作业, 但从推进效率和造价看, 双桨单舵布置是有利的。(2) 据模型试验(图 1.5-2), 就回转性能而言, 单舵比双舵优越; 就航向稳定性和应舵效果看, 则单舵比双舵差。并且采用单舵后会出现临界稳定状态, 但与肥大船零舵角时临界稳定状态相比 L/R 的数值小, 所以即使开始不稳定回转运动其速度也比肥大船来得缓慢, 可以认为还是容易保持航向的。且从试验看出, 除在靠近零舵角的一部分外它是突然进入稳定状态, 而在大洋航行中要保持航向, 需经常采用一定的操舵角, 所以如能在船后加置呆木, 采用双桨单舵其航向稳定性是不存在问题的。(3) 实船比船模的相对伴流要小, 增加了舵效。(4) 在原地回转试验和特殊低速回转试验上采用单舵看不出有特别的性能变化。

内河船舶的操纵性要求较高, 吃水又受到限制, 所以一般均采用多舵布置。有单桨三舵、双桨多舵、多桨多舵等型式。采用多舵后, 可在同等舵面积下提高舵的展弦比。近来据国内外在内河船上的使用经验, 使用差动舵可获得满意的操纵性能。

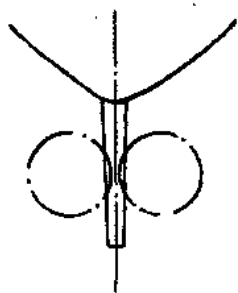


图 1.5-1

在布置舵的时候, 应适当注意舵与桨的相对位置。冈田认为: 舵的横向位置偏离中心 $R_0/3 \sim 2R_0/3$ (R_0 螺旋桨半径), 其舵力与不偏离时差别不大; 纵向位置, 从他对单桨后舵的舵力测量结果可知, 舵杆中心与桨盘面的距离在 $0.6R_0 \sim 1.5R_0$ 范围内时舵力变化不大, 因而他认为没有必要特别去考虑此间距。对双桨双舵船, 有关文献提出为 $(0.75 \sim 1.0)R_0$ 。舵与桨的纵距据现有船舶统计一般为 $(0.75 \sim 1.0)R_0$ 。我院五室对一右旋单桨船模试验得出以下几个结论: (1) 纵距对回转圈有较大影响, 纵距增加, 回转圈也增大。(2) 纵距增大, 左右回转圈的不对称性愈严重。由此认为

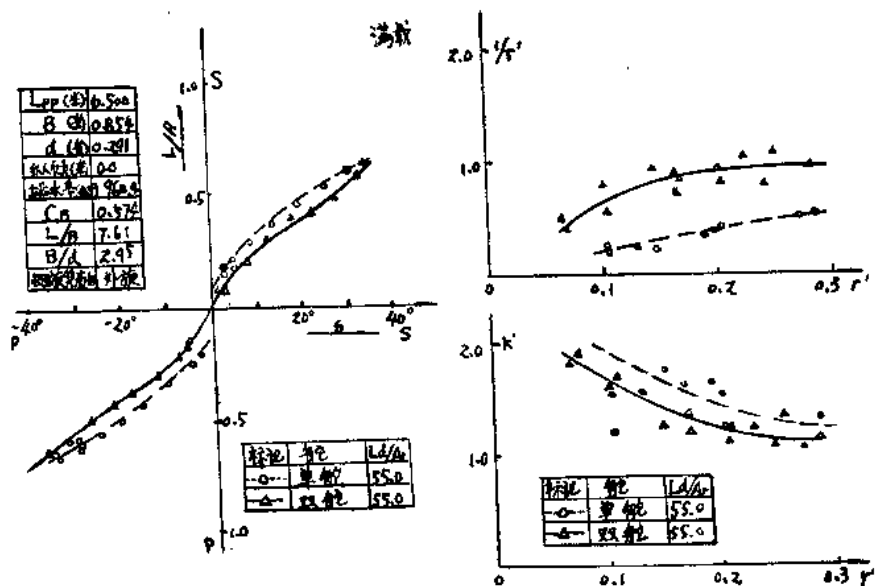


图 1.5-2

舵愈近桨愈好, 国外也有持此观点者。然而从减少桨尾流引起的舵上周期性脉动力和船体振动的角度看, 纵距不能太小, 因此笔者认为冈田的数据还是可用的。对四叶螺旋桨所引起的舵上周期性的脉动力, 舵展对称于螺旋桨轴线布置是有利的, 但对叶片数为奇数的螺旋桨, 此种对称布置最为不利。

舵布置时尚应注意如下几点:

- (1) 舵的位置应尽可能远离船的转动中心以获得较大的转船力矩。
- (2) 当舵位于最大舵角位置时, 舵的任何部分均不应露出满载水线外, 且舵的最下缘距龙骨线应有一定距离 (100~200 毫米), 以防舵的意外损伤。

(3) 舵展应大于螺旋桨直径, 舵叶上缘应高出螺旋桨上缘, 且使它与船体线型适当配合以减少舵叶上端的涡流损失, 有文献认为当舵上缘与船底间隙很小时, 能增大舵的有效展弦比而提高舵的升力。舵叶下端也应低于螺旋桨的下缘。但当舵高与螺旋桨直径相比过大时, 则作用不太显著, 特别在导管螺旋桨后的舵, 上下过多的舵面积不起明显作用, 相反有时会引起不良结果。

(4) 在多舵情况下, 舵与舵之间距离应保持至少大于一只舵的弦长, 否则由于叶栅效应而降低舵的水动力性能。

(5) 为保证良好的推进性能, 舵效以及船体振动, 在我国钢船建造规范 1973 年中对推进器与艉柱、舵之间的最小间隙作了规定。

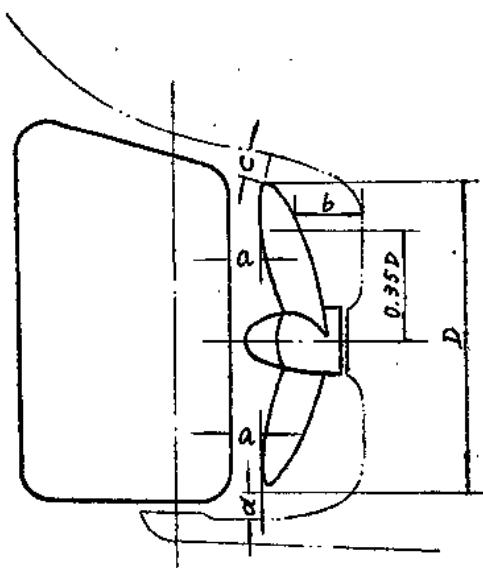


图 1.5-3

$$a = 0.10D \quad b = 0.18D \\ c = 0.01D \quad d = 0.04D$$