

船用舵

梅琴生 编

人民交通出版社

内 容 提 要

本书主要介绍船用舵的一般概念、基本性能、参数选择和计算方法。并对舵设备的强度校核方法择要介绍。书中除介绍一般常用的船用舵外，还叙述了目前正在推广应用的襟翼舵、横向喷流舵和转动导管、倒车舵等特殊的船用舵。全书共分六章，附有计算实例。

书中内容以符合实用为主，可以供从事船舶设计，修造船工程技术人员、水运工作者工作中参考，也可以供有关院校师生阅读。

船 用 舵

梅琴生 编

人民交通出版社出版
(北京市安定门外和平里)
新华书店北京发行所发行
各地新华书店经售
人民交通出版社印刷厂印

开本：787×1092 1/32 印张：7.125 字数：159千

1981年12月 第1版

1981年12月 第1版 第1次印刷

印数：0001—1,800 定价：1.10元

目 录

第一章 舵与船的运动.....	1
第一节 舵的分类与舵的结构.....	1
第二节 操舵时船舶的运动.....	5
一、回转运动.....	5
二、定常回转直径和定转速率.....	8
三、机敏回旋直径（战术直径）的计算.....	11
第三节 操纵性.....	18
一、操纵性的选择.....	18
二、改善船舶操纵性的措施.....	19
第四节 操舵时船的横倾.....	20
一、船的横倾.....	20
二、船的横倾角.....	21
第五节 船体、螺旋桨对舵效的影响.....	23
一、螺旋桨对舵的影响.....	23
二、船体对舵的影响.....	26
三、斜流对舵的影响.....	28
第六节 与舵功能相似的其他型式.....	28
一、转动导管.....	28
二、Z型推进器.....	29
三、直翼推进器.....	30
四 倒车屏.....	31
五、横向喷流舵.....	32
六、倒车舵.....	33

七、主动舵等	34
第二章 敞水舵的水动力特性	35
第一节 舵上水动力成因	35
第二节 舵的几何特性	38
一、展弦比 λ	38
二、舵的剖面形状	41
三、舵的平衡系数	43
四、舵的外形轮廓	46
第三节 常用的舵剖面	49
第三章 舵的设计	53
第一节 舵面积的选择	53
第二节 各类船舶的舵型及其参数	56
第三节 提高舵效的措施	62
第四节 舵设计性能的实地测试	71
第四章 舵的水动力特性计算	74
第一节 计算时的假设条件	74
第二节 经验公式	75
一、乔塞尔 (Joessel) 公式	75
二、高恩 (R. W. L. Gawn) 公式	76
第三节 利用敞水舵模试验资料	77
一、舵的模型试验资料	78
二、机翼舵的水动力特性系数的换算	81
第四节 水动力特性的近似公式	86
第五节 船后舵的计算	87
一、船体伴流影响	87
二、螺旋桨尾流影响	89
三、舵柱后面的不平衡舵	91
四、从流速上增加计算裕度	92

第六节	倒航时舵的水动力特性计算	94
第七节	舵机功率的计算	97
第八节	计算实例	99
第五章	特殊舵	115
第一节	转动导管	115
一、	转动导管的功能	115
二、	导管的形状参数对导管组合体的影响	117
三、	常见的转动导管组合体	119
四、	转舵扭矩和作用力的计算	122
第二节	襟翼舵	129
一、	襟翼舵的工作原理及其在流体中的 受力情况	130
二、	舵的模型试验及其结果	132
三、	襟翼舵基本参数的选取	132
四、	襟翼舵的传动装置	135
五、	襟翼舵舵杆力矩计算	137
六、	计算实例	140
第三节	横向喷流舵	148
一、	横向喷流舵(侧向推进器)的种类	148
二、	横向喷流舵所需推力的估算	149
三、	横向喷流舵装置尺度的计算	152
四、	船舶单位面积承受的推力	158
五、	计算实例	159
六、	横向喷流舵的装置位置	161
七、	其他	162
第四节	蒂姆舵	162
第五节	希林舵(USR)	168
一、	国外应用情况	168

二、国内的引进和试制研究	171
第六节 倒车舵	175
一、倒车舵组合系统	175
二、倒车舵的工作情况分析	177
三、倒车舵的布置及主要参数选择	178
四、与倒车舵组合的顺车舵	181
五、与倒车舵组合的导管螺旋桨	181
六、倒车舵的计算	187
第六章 舵的强度核算	188
第一节 核算依据	188
第二节 舵杆	191
一、平衡舵	191
二、半悬挂舵 (半平衡舵)	197
三、多支承舵 (普通不平衡舵)	198
四、带有固定舵柱的舵	198
五、舵杆结构形状的布置	200
第三节 舵叶和舵筋	200
一、单板舵的舵叶	200
二、单板舵的舵筋	201
三、机翼舵的舵叶和舵筋	204
第四节 舵针和舵柄等	208
一、舵针 (舵销)	208
二、舵轴	210
三、舵钮	211
四、法兰 (联轴节) 及螺栓	211
五、舵柄和舵扇	212
第五节 计算实例	215

第一章 舵与船的运动

第一节 舵的分类与舵的结构

鱼类能够在水里游动自如，是靠摆动它的尾部。船舶能够按照驾驶者的意图航行，是靠改变装在尾部的舵位置。船的舵是起着鱼尾的功用。据历史记载，我国早在一千多年以前，就模仿鱼类的生态动作，在船上安装舵。

舵通常安装在船的尾部，舵叶浸在水里。当转动舵叶改变其位置时，水压力通过舵叶对船舶产生力矩，这种力矩使船回转达到操纵船航向的目的。早期船用舵有采用升降式的，可以随着需要调节舵叶的浸水深度。现在有些航道的木帆船上，还能看到这种装置

船用舵的外形趋向于矩形，以求有好的工艺性。随着人类对水动力学认识的逐步提高，舵的剖面形式发展很多，但是总的船舵外形，不外乎平板型及机翼型两类。平板舵目前只有内河小型船舶或非机动船上还在使用。

舵由以下几个主要部分组成：

1. 舵叶

舵叶是产生舵作用力的本体，由木材或钢材做成。现在除木帆船外，都是由钢材制成，而且多数焊成空心的机翼型。舵叶的面板称舵板，平板舵的舵叶也就是舵板。

2. 舵臂

舵臂只在平板舵中有。连接舵叶和下舵杆的加强筋称作舵臂。

3. 舵杆

舵杆连接在舵叶上，并且通过舵柄连接舵机，它是促使舵转动的垂直杆件。舵转动轴线往往是舵杆的中心线。

舵杆是舵的重要组成部分，它分上舵杆和下舵杆两个部分。上下舵杆可以分开制造而以法兰连接。在机翼型空心舵中，往往下舵杆插入舵叶很浅，而另外以舵叶及它的竖、横扶强材来代替承受弯矩。

4. 舵头

舵头在上舵杆顶端。它用来与转舵装置连接。舵头上往往有青铜的衬套，它起有耐磨防蚀作用。

5. 舵支承与舵套筒

舵支承按其安装的位置作区别，它可以分为上舵承和下舵承两种。上舵承一般装在操舵设备所在的甲板上；下舵承装在舵套筒下口，它的作用是支承舵杆和舵，它承受舵杆的径向与轴向负荷。支承的衬垫有铜的与白合金的两种。船航行在清洁水域如海船，往往采用硬质木料铁梨木等材料。上下支承都有舵套筒作为舵杆穿通船身处的水密护套。舵套筒除小型船外都是浇铸成型的。舵套筒的上口和甲板连接一起，它的下口和尾壳连接。对于不用海水作润滑剂的舵支承，在尾壳处的套筒有密封装置，防止润滑油外渗。

6. 舵钮

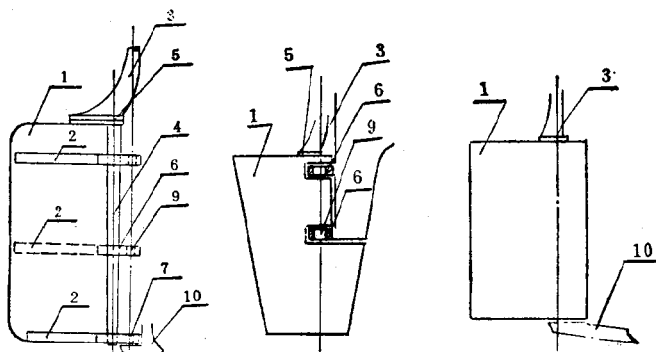
平板舵上的舵钮是指在舵柱上或舵臂上供贯穿舵销的突出部分，通常是指尾框挂舵臂的突出部分。对于在舵柱跟上的舵钮有称为舵托的以便和舵钮区别开来。舵钮上的舵销孔应略呈锥形，如此可使连接螺栓旋紧。

7. 舵轴

嵌在舵叶内的下舵杆称舵轴。舵叶用滑动轴承支承在舵轴上，使舵在转动时能绕这轴旋转。舵轴的两端固结或铰结

在舵柱上，如图2(b)所示。

以上舵的各个结构，分别见图1(a)、(b)、(c)和图2(a)、(b)、(c)各图。

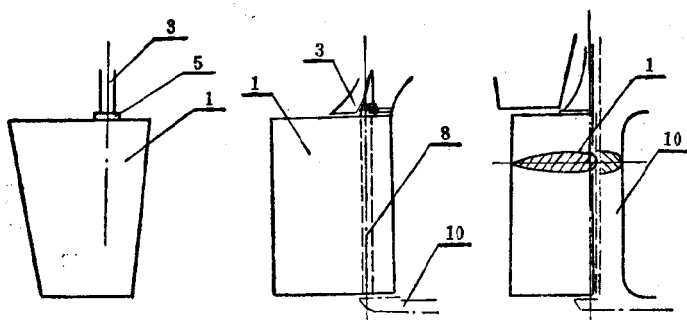


(a)不平衡平板舵

(b)半悬挂平衡舵

(c)双支承平衡舵

图 1



(a)悬挂舵

(b)平衡舵

(c)不平衡舵

图 2

1-舵叶；2-舵臂；3-上舵杆；4-下舵杆；5-舵杆法兰；6-舵钮；7-舵托；8-舵轴；9-舵销孔；10-舵柱

舵的分类在习惯上以旋转轴线的位置，或以与船体的联结型式，或以舵的剖面形状作为标志。随着分类依据的不同，其名称也因而有异。

1. 从旋转轴线位置分:

如图1(a)为不平衡舵; (b)为半平衡舵; (c)为平衡舵。

从图可见, 如何区别舵的平衡性质, 通常视舵叶上的旋转轴线位置而定。如图1(c), 轴线左右都分布有舵面积, 这些舵面积都作用有水压力。水压力形成对舵旋转轴线的转矩。这些扭转力矩方向相反, 对总的扭转力矩起有平衡作用, 所以这种舵称平衡舵。见图1(a), 轴线右侧没有舵面积, 只有在舵轴线的左侧有舵面积, 这就不存在对总扭转力矩起平衡的条件, 所以称不平衡舵。图1(b)的舵, 下半部起有平衡作用, 所以这种舵称为半悬挂平衡舵。

2. 从与船体的联结型式分:

如图2(a)为悬挂舵; 1(b)为半悬挂舵; 1(c)为双支承平衡舵; 三个支承以上的多支承舵见图1(a)。

悬挂舵多数是平衡舵, 半悬挂舵多数是半平衡舵, 双支承舵多数是平衡舵, 多支承舵则多是不平衡舵, 又称普通舵。

3. 从舵叶的剖面形状分:

1) 平板舵——可以是平衡舵、半平衡舵或不平衡舵。

2) 复板舵——多数是平衡舵或半平衡舵。它是由对称的机翼剖面的舵叶构成。过去有舵叶用填充软木等轻质物的实心结构, 现在几乎都是空心的用钢板焊成。不对称剖面的机翼复板舵仅是装置在一些特殊的船舶, 如某些快艇上。平板舵虽然结构简单, 用料省, 造价低, 但是舵效较低, 除此以外, 主要是不利于推进效率。因此目前大部分海洋船舶、江河船舶的舵是采用机翼型的复板舵结构。

不平衡舵由于结构上的限制, 多数是采用平板舵, 除非经过特殊布置, 如将舵叶前面的舵柱, 构成舵的一个组成部分, 虽然舵在转动时舵柱不动, 但能提高舵效, 如图2(c)就是机翼型剖面的不平衡舵。

第二节 操舵时船舶的运动

一、回转运动

操舵时船的回转运动，通常分三个阶段；

1. 转舵阶段——回

转运动中，船舶从开始执行转舵命令起到实现命令舵角止的阶段。

设现有某船在正舵前进，如图 3。因为船体型线左右对称，在纵

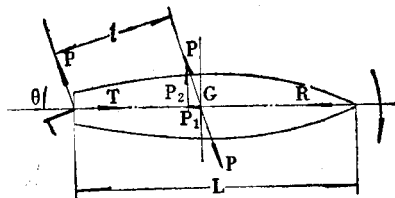


图 3

中平面上必定作用有螺旋桨的推力 T 、水阻力合力 R ，两力方向相反且 T 大于 R 。

这时操舵者将舵从正舵操至 θ 角。由于舵叶上产生水压力 P ， P 对于船的水动力重心 G 产生力偶 Pl ，并产生两个作用分力 P_2 、 P_1 。力偶 Pl 是使船绕通过 G 点的垂直轴线，以船首向操舵方向回转。分力 $P_2 = P \cos \theta$ ，它使船产生向外侧漂航运动，并且还朝着舵所在方面产生倾侧，因此， P_2 又称漂航力；另一个分力 $P_1 = P \sin \theta$ ，它起着减慢航速的作用。

从图上不难看出，作用在 G 点的转船力矩 M 为：

$$M = \frac{1}{2} PL \sin \theta \quad (1)$$

即

$$l = \frac{1}{2} L \cos \theta$$

式中： P ——水压力；

L ——船长；

θ ——操舵角。

P 的大小因为和 $\sin\theta$ 成正比，因而转船力矩可以写成和 $\sin\theta\cos\theta$ ，或和 $\sin 2\theta$ 成正比的关系式。现试以乔塞尔公式（详见本书第四章第二节）为例：

$$P \propto \frac{\sin\theta \cos\theta}{0.2 + 0.3\sin\theta}$$

或 $P = K \frac{\sin\theta \cos\theta}{0.2 + 0.3\sin\theta}$ (K 为比例常数)

$$\frac{P}{K} = \frac{\sin\theta \cos\theta}{0.2 + 0.3\sin\theta}$$

将 $\frac{P}{K}$ 和 θ 绘制成如图 4 的曲线。

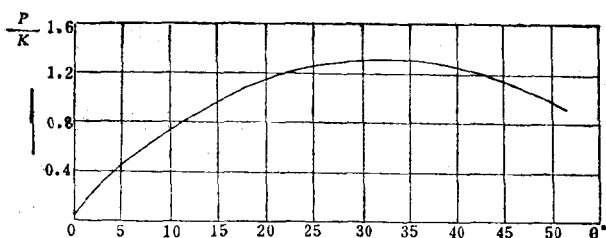


图 4 $\frac{P}{K}-\theta$ 曲线

从图 4 上可以见到，当操舵角 θ 为 35 度时， $\frac{P}{K}$ 为最大值，即作用力最大。从而可知，不一定操舵角越大，转船力矩也越大。通常取 35 度为舵角极限，船上舵角制止器位置亦多数以此为准。但是从理论和实践证明，转船力矩不是仅仅与舵角大小有关，还与舵的数目、舵型、船的尾型、 G 点位置有关，尤其是螺旋桨的尾流对舵的影响。所以在海船的流线型舵上，多数取 32 度为舵角极限，而内河船则取 35 度，甚至有取 45 度的。

2. 过渡阶段——回转运动中，船舶所处转舵阶段和定常阶段间的中间阶段。

操舵以后，船由正航而偏航，这引起阻力 R 不再和螺旋桨推力 T 作用在同一个平面上。 R 和纵平面夹 Φ 角。 R 的作用点 K 开始沿着漂航的一舷，由船头向船尾移动。于是它对船的作用起了变化，即对 G 具有力偶 Rq 及产生了两个作用分力 R_1 、 R_2 ，见图 5 所示。

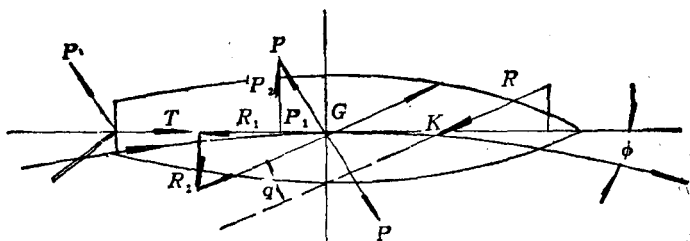


图 5

力偶 Rq 亦促使船首向操舵方向回转。两个分力是： $R_1 = R \cos \phi$ ，它的作用方向恰与 P_1 相同起着减慢船速的作用；另一个分力 $R_2 = R \sin \phi$ ，其作用方向恰和 P_2 相反，起着减弱船的偏航和横倾侧作用。

以上两个阶段为时甚短，船舶仅仅开始有回转趋势，离心力作用不显著。

当船舶航行轨迹的曲度显著形成“S”曲线，此时作用在 G 点的惯性离心力和 P_2 、 R_2 组成合力 E 。 E 和 $(T - R_1)$ 再组成合力 F 。合力 F 和通过 G 点的中线面夹角 β ，即是船的漂航角。船是依照这个漂航角在航行，见图 6。

3. 定常阶段——回转运动中，过渡阶段终了，船舶运动参数开始稳定，达到新的平衡运动后的阶段。

由于船舶航行轨迹曲线的曲度随时在变化，影响水阻力

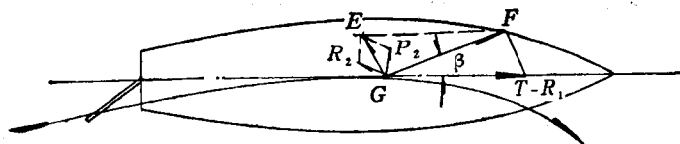


图 6

在船体上的分布亦随着变化不定，促使 β 角亦随时在变化。水阻力 R 的作用点由船首向船尾移动，甚至会越过 G 点而趋向尾部。若 R 作用点在 G 的前面，则 Rq 力偶协助 Pl 使船回转；若 R 作用点越过 G 到后面，则 Rq 对 Pl 的作用起着相反影响，这种抵销作用在开始时因为 q 逐小，即 Rq 作用不显著， Pl 仍起着主导作用。待 Rq 逐渐增大以至等于 Pl 时，作用在船体上的各个作用力相互平衡，于是漂航角 β 成为定值。此时船的航行轨迹由“S”曲线变为圆周见图 7 所示。

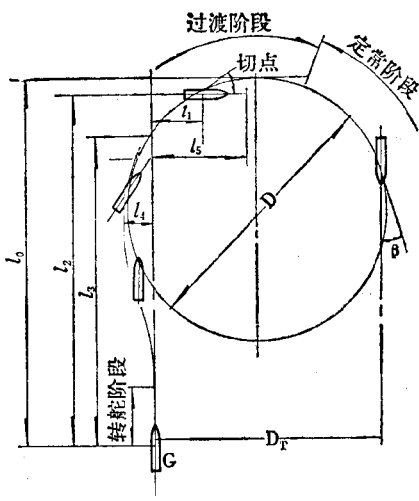


图 7 船的轨迹

l_0 -最大纵距； l_1 -正横距； l_2 -进距； l_3 -前距； l_4 -反横距； l_5 -横距； D -定常回转直径； β -漂航角； D_T -机敏回旋直径（战术直径）

二、定常回转直径和定转速率

操舵开始以后，水阻力作用增大，航速降低很快。稍后，航速降低逐渐缓慢，到船上各作用力达到平衡阶段时，

航速停止降低使航速形成定值。因此，当船的航行轨迹成圆周时，它的圆周直径称定常回转直径，船的运动相应称定转运动，其速率相应称定转速率。

船位由零度开始操舵至船回转90度时，其所行的距离见图7所示，分别称进距与正横距；至船回转到180度时与零度船位的距离称机敏回旋直径，对舰艇称战术直径。它是评定船舶回旋性能优劣的主要标志。对于舰船、内河限制水域航行的船需要小的回转直径，而对水域宽广的海洋船可以有较大的回转直径

1. 定常回转直径和机敏回旋直径

机敏回旋直径 $D_T = 0.9D \sim 1.2D$;

进距 $l_2 = 0.6D \sim 1.2D$;

正横距 $l_1 = 0.5D \sim 0.6D$;

或 l_1, l_2 查图8(a)。

再者当 D_T 已知时，前距 $l_3 = 0.5D \sim 0.6D$;

反向横距 $l_4 = 0.10D$

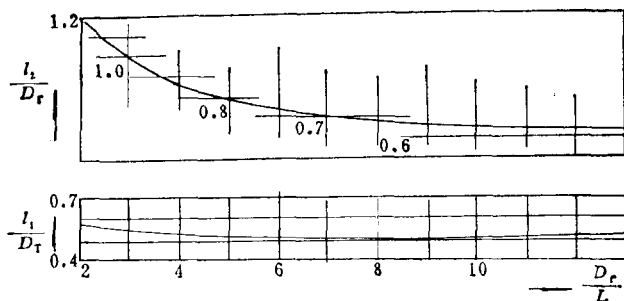


图 8(a)

式中： D ——定常回转直径，见图7。

图8(a)是 $\frac{l_1}{D_T}$ ， $\frac{l_2}{D_T}$ 分别和 $\frac{D_T}{L}$ 的关系曲线， L 是船长，

l_1 、 l_2 和 D_T 分别见图7。

2. 定转速率的计算

1) 对于双螺旋桨有轴支架的船, 桑海尔 (K.E.Schoenherr) 提供如下计算公式:

$$\frac{v}{v_0} = 1 - \frac{\theta A}{KF} \quad (2)$$

式中: v_0 ——操舵前船的直线进速 (米/秒);

v ——定转速率 (米/秒);

A ——舵面积 (米²);

F ——船舶水下纵投影面积 (米²);

θ ——操舵角;

K ——系数, 由 $\frac{V}{FL}$ 查表1而得;

其中: V ——排水体积 (米³);

L ——船舶水线长 (米)。

表 1

$\frac{V}{FL}$	K	$\frac{V}{FL}$	K
0.04	4.25	0.09	2.45
0.05	3.77	0.10	2.27
0.06	3.33	0.11	2.13
0.07	2.97	0.12	2.02
0.08	2.68	0.13	1.94

2) 当机敏回旋直径已知时, 对于 $\frac{v}{v_0}$ 值可以查图8(b)的

台维森 (Davidson, K.) 曲线而得其近似值。

图8(b)上的 D_T 和 L , 其含义同图8(a), 其单位是米。

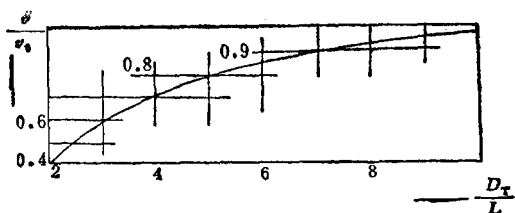


图 8 (b) 台维森 $\frac{v}{v_0}$ 曲线

定转速率的计算，最好取自船模或相似船的实践数据，这样在相同舵角时所得的结果比较正确。

利用上述介绍的计算公式或曲线资料，其结果往往有 10% 以上的误差。因为这些公式或资料都来自一些特定船舶，虽有其代表性，但总有一定的局限程度。为此，供估算用是可以的。

三、机敏回旋直径（战术直径）的计算

经过实践证明，影响机敏回旋直径 D_r 的因素很多，如舵的面积 A 、航速 v 、船宽吃水比 $\frac{B}{T}$ 、船的尾型、船型及舵的支架形式、舵角、螺旋桨尾流、纵倾、船首鳍尾鳍等，但其中主要是 $\frac{v}{FL}$ 、 A 及操舵角 θ 诸因素，它们比较确切的数值只有通过船模或相似船舶的实践资料而得。为此，现在所有计算 D_r 的公式，其结果总是近似的。现将一些常见的经验公式提供如下：

1. K.E. 桑海尔公式

$$\rho = K_1 \frac{V}{C_N \cos \theta A} \quad (3)$$

式中： ρ ——机敏回旋半径 $\frac{D_r}{2}$ （米），