

潜艇装置及系统

张希贤、唐荣庆 编

上海交通大学出版社

386082

0674.760.2
727

潜 艇 装 置 及 系 统

张希贤 唐荣庆 编



0674.760.2

727

上海交通大学出版社

内 容 简 介

本书介绍潜艇装置与系统的基本性能及设计计算的基本方法,全书共分十三章,主要包括锚装置、舵装置、升降装置、救生装置、管路水力计算基础、潜浮系统、液压系统、疏水系统、均衡系统、压缩空气系统等。着重介绍了各装置和系统的作用、组成、结构原理、基本要素以及设计计算方法。为了对潜艇装置系统有一个全面和系统的了解,在第五章和第十三章中还对其他装置和系统作了一定的介绍。

本书可作为高等院校船舶设计与制造专业的教材,也可供从事潜艇设计与制造的技术人员参考。

DN 95/15

潜 艇 装 置 及 系 统

上海交通大学出版社·出版

(上海市华山路1954号 邮政编码200030)

新华书店上海发行所·发行

常熟市印刷二厂·印刷

开本:787×1092(毫米)1/16 印张:18.5 字数:473600

版次:1996年2月 第1版,印次:1996年2月 第1次

印数:1—1000

ISBN7-313-01572-0/U·051 定价:14.60元

序 言

本书是根据上海交通大学船舶设计专业选修课《潜艇装置与系统》的教学大纲编写的。授课时间为36学时。为了给其他潜艇专业人员设计时作参考,本书内容比大纲有所扩充。

本书以原有教材为基础,参考了有关的各种规范、标准,有关的设计规则和指导性文件进行编写,而在具体内容上则主要围绕常规潜艇上所设置的装置系统来编写,对于核潜艇上所特有的装置系统未作介绍。此外,本书只介绍全舰性的装置和系统,属于潜艇动力装置部分的装置系统不作介绍。

潜艇是一种战斗舰艇,为了满足其战斗使用和艇员日常生活的需要,在潜艇上设置了各种各样的装置系统。主要的装置有:锚装置、舵装置、升降装置、救生装置等。此外还有系泊、拖曳、安全索具、水声对抗器材发射装置、模拟太阳光装置以及鱼雷装载和发射装置等直接与武备有关的装置。

主要的系统有潜浮系统、压缩空气系统、疏排水系统、纵倾平衡系统、液压系统,此外还有通风系统、取暖和空气调节系统、淡水和卫生系统、消防系统和全舰燃油系统等。

潜艇装置和系统无论从它们所起的作用来看,还是从它们的基本原理和构造来看,都是各不相同的。尽管在这个与那个系统和装置之间也可能存在着或多或少的联系,但是对每一种装置或系统来说基本上都是独立的,它们各自包含的内容差别甚大。潜艇装置与系统之间联系就更少。即使在潜艇系统中,以其介质来分就有水、油、空气(视为不可压缩)、压缩空气(视为可压缩)、蒸汽等,因此它们的要求、构造、设计计算方法也各有不同。在装置中则更是互不相关。由此可知,多样性和独立性是本课程与潜艇其他专业课相比最为显著的特点。

潜艇装置与系统,内容庞杂,涉及面很广,是一门多学科性的专业课,学习本课程需要有较为广泛的基础知识。鉴于学时数的限制,我们不可能对每个装置和系统都作详细的阐述,只能介绍对保证潜艇具有良好的航海性能、机动性能和保障潜艇战斗力起主要作用的那些装置和系统,并且着重下列诸方面:装置和系统的用途,对它们提出的战斗技术要求,基本结构和工作原理以及主要的设计计算方法。为了使读者对潜艇装置和系统有一个全面系统的了解,我们在第五章和第十三章中,对其他的装置和系统也作了一定的介绍。

本书中所涉及的各种设备部件,凡是有国家标准或部颁标准的,则都采用有关标准,各种设计计算方法也采用相应的设计规范或规则。由于篇幅的限制,书中只列出了部分有关标准。便于学生做作业时参考。

本书的潜艇装置部分由张希贤编写,潜艇系统部分由唐荣庆编写。

由于编者水平所限,错误之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

1995年4月于上海交通大学

目 录

第一章 锚装置.....	(1)
§1.1 锚装置的一般概念.....	(1)
§1.2 抛锚停泊的一般概念.....	(2)
§1.3 锚.....	(7)
§1.4 锚链及其末端抛出装置.....	(14)
§1.5 掣链器、锚链舱、锚穴孔.....	(18)
§1.6 锚机及其传动装置在艇上的布置.....	(21)
§1.7 潜艇锚装置的设计.....	(23)
第二章 舵装置.....	(27)
§2.1 概述.....	(27)
§2.2 舵的分类与结构.....	(31)
§2.3 舵的水动力特性及其计算.....	(37)
§2.4 舵叶参数的确定.....	(47)
§2.5 舵装置的结构设计和强度计算.....	(54)
§2.6 潜艇的操舵装置.....	(64)
第三章 潜艇升降装置.....	(79)
§3.1 概述.....	(79)
§3.2 升降装置的组成.....	(83)
§3.3 升降机及其操纵器.....	(87)
§3.4 潜望镜升降装置.....	(92)
§3.5 通气管升降装置.....	(100)
第四章 潜艇救生装置.....	(111)
§4.1 潜艇救生概述.....	(111)
§4.2 潜艇救生的一般概念.....	(112)
§4.3 潜艇救生装置的组成.....	(114)
§4.4 保障失事艇内艇员生存用的装置、系统和器材.....	(114)
§4.5 保障失事艇内艇员水下脱险用的装置、系统和器材.....	(118)
§4.6 保障救生船对失事潜艇及艇员进行援救用的装置、系统和器材.....	(128)
§4.7 水面救生器材.....	(133)
第五章 潜艇的其他装置.....	(135)
§5.1 系泊装置.....	(135)
§5.2 拖曳装置.....	(143)

§5.3	安全索具	(146)
§5.4	鱼雷发射装置	(147)
§5.5	水声对抗器材发射装置	(158)
§5.6	潜艇用模拟太阳光装置	(165)
第六章	潜艇系统概述	(168)
§6.1	潜艇系统的功用及其分类	(168)
§6.2	设计潜艇系统的一般原则	(169)
§6.3	系统组成	(171)
第七章	管路流体力学计算基础	(183)
§7.1	管路计算中的两个基本方程	(183)
§7.2	管流中的摩擦损失 h_f	(185)
§7.3	管流中的局部损失 h_{fj}	(196)
§7.4	孔口出流及管嘴出流	(198)
§7.5	管路流力计算的方法	(202)
§7.6	管路流力计算例题	(206)
第八章	潜浮系统	(211)
§8.1	潜浮系统的作用、组成和要求	(211)
§8.2	下潜系统	(212)
§8.3	上浮系统	(220)
第九章	液压系统	(234)
§9.1	液压系统的功用和一般要求	(234)
§9.2	液压系统的组成与布置	(235)
§9.3	液压系统工作原理	(237)
§9.4	液压系统的主要设备	(240)
§9.5	潜艇液压系统的选择和设计	(245)
§9.6	全船液压负荷计算举例	(252)
第十章	疏水系统	(255)
§10.1	疏水系统的功用和要求	(255)
§10.2	疏水系统的布置和工作原理	(255)
§10.3	疏水系统的设计与计算	(258)
第十一章	均衡系统	(260)
§11.1	均衡系统概述	(260)
§11.2	浮力平衡系统	(260)
§11.3	纵倾平衡系统	(261)
第十二章	压缩空气系统	(272)
§12.1	高压气系统	(272)
§12.2	中压气系统	(275)
第十三章	其他全舰性系统简介	(278)
§13.1	全舰燃油系统	(278)

§13.2	消防系统	(280)
§13.3	通风系统、空调系统和供暖系统.....	(281)
§13.4	供水系统与卫生系统	(284)

第一章 锚装置

§ 1.1 锚装置的一般概念

锚装置的主要作用在于使潜艇作有效的停泊,使它在停泊期间不因风和水流作用力的影响而发生不良的运动。

在潜艇的整个服役期间,都可以按其动、静状态而分为两个部分,即航行时间和停泊时间。对于潜艇设计人员来说,我们不仅要设计具有优良航行性能的潜艇,而且要保证它在一切可能发生的情况下,都能作牢靠而有效的停泊。

潜艇需要停泊的原因主要有如下几点:

- 1) 进行武备弹药及给养的装卸和艇员的上下;
- 2) 等候码头线或空出码头线;
- 3) 回避大风浪,等候战机;
- 4) 锚地训练。

潜艇停泊的方式主要有:一是抛锚停泊;二是系缆停泊。前者是使用锚装置将潜艇停泊于港内或港外的停泊场中,后者则使用系船装置将潜艇直接系牢在码头上。潜艇除了停泊于军港或码头的水上停泊方式外,有时还有水下状态时之抛锚停泊的方式。

潜艇与水面舰船不同,为了保持其隐蔽性,其战时的基本航态是水下航行和水下待机。此时潜艇需在水下停泊。潜艇在水下停泊,除采取锚泊外,尚可坐沉海底和液体海底;也可调整潜艇的浮力,使其停留在水中一定深度上。

当潜艇欲以抛锚来实现水下停泊时,潜艇必须处于低速航行状态,并操纵水平舵使艇逐渐下降至抛锚深度。当达到锚位时立即停车,并抛出锚和锚链。当锚落到海床上时,潜艇上立即失去了一个重量 W (水中锚重)。此时必须立即向浮力调整舱注水。其水量为 $\left(\frac{3}{5} \sim \frac{4}{5}\right)W$ 。与此同时,为了消除抛锚所引起的纵倾力矩,须由尾纵倾水舱向首纵倾水舱打水以调整倾差,到尾倾保持 $1^\circ \sim 2^\circ$ 为止,以使水流对潜艇有升力作用。这样,使锚通过链受到一个向上的拉力(该拉力等于升力和正浮力之和,但小于锚重),而水流对艇体的水平方向作用力则由海底对锚的作用力所平衡。由此可见,潜艇的水下抛锚停泊是一个比较复杂的操作过程,而且水下抛锚时潜艇的机动性远较坐沉海底或液体海底为差,所以水下抛锚停泊方式很少为现代潜艇所采用。

在停泊期间,艇体所受的外力主要有流力、风力、波浪冲击和潜艇纵横摇动时的惯性力。若以外力的载荷形式来分,可分为非周期性的静载荷和周期性的动载荷两种。为了承受静载荷使潜艇不致发生移动,则停泊设备必须与岸边或水底作牢固可靠的系结,为了能够有效地承受动载荷,停泊设备应具有良好的阻尼作用,也就是说,它必须是能吸收动载荷的柔软而富有弹性的设备。

锚装置就是这样的设备,它依靠锚的抓力而和水底固结起来,通过锚链的传递来平衡艇体所受的外力;同时,依靠锚链来吸收作用在艇体上的动载荷。

抛锚停泊的方式也有多种,视具体情况而定,如船首抛锚,船尾抛锚和首尾抛锚以及单锚泊和双锚泊等。船首抛锚可以使船体所受的风力、流力最小,因而是抛锚停泊的主要方式。潜艇与水面舰船相比在水面上抛锚停泊机会较少,同时由于布置困难和避免重量的增加,故目前一般潜艇只装有单首锚。

优良的锚装置应满足如下要求:

1) 应能使潜艇有效地停泊于锚地上 也就是说,锚装置必须具有足够的抓持力,以抵抗风和水流对潜艇的作用力。如果走锚,则易酿成海损事故。

2) 能迅速地抛锚和起锚 抛锚时,锚应能迅速抛出,并将锚链放至所需长度,锚链在艇内的一端应有牢固的系结;起锚时,要有一定的速度,通常要求 $12\sim 18\text{m/min}$,为了保证在应急情况下迅速离开锚地,设置有锚链末端抛出装置,以实现弃锚启航。

3) 满足潜艇水下活动的需要 潜艇的航态主要为水下航态,为了减少水下航行阻力,要求锚装置不得凸出舰体以外。为了便于艇员在艇内外均能进行锚泊作业,除在上层建筑甲板上设置操纵部位外,在耐压艇体内亦应设置操纵部位,以使操纵正确、可靠。

为了满足上述要求,潜艇锚装置应包括如下主要部分(见图 1-22):

- 1) 锚——是一种形状特殊的金属重物,抛出后它在水底能抓住泥土,用它的抓力来平衡艇体所受的外力。
- 2) 锚索——为链或索,用以联接锚及艇体,传递载荷,并能吸收作用在艇体上的动载荷。
- 3) 锚穴——形状与锚相适应的存放锚的壁龛。
- 4) 掣链器——抛锚停泊时将锚链扣紧的装置。
- 5) 导链轮。
- 6) 锚链末端抛出装置——能将系结于艇体的锚链末端抛出舷外的装置。
- 7) 锚链舱——存放锚链的舱室。
- 8) 起锚机械——将锚收起的装置,水平轴的锚机或立轴的绞盘。

§ 1.2 抛锚停泊的一般概念

抛锚停泊时,锚装置的作用是平衡潜艇所受的外力,其中包括风力、流力、波浪冲击力和艇体摇摆的惯性力。按其作用方式,这些力又可分为定常力和非定常力。前者有稳定的风力、流力(如潮流力、波浪漂移力);后者有周期性的风力、波浪冲击力、艇体摆动时的惯性力以及阵风作用下的突加力。锚索把位于水下的锚和位于水面的艇体连接起来,其主要作用是传递锚的抓力,以平衡作用在艇体上的外力,使艇体不致发生位移。同时,又吸收作用于艇体上的动载荷,以缓和外力对艇体的冲击,这就要求它必须具有充分的弹性。为了便于锚索的收绞和存放,就要求它具有充分的柔软性。因此链就成为最理想的锚索。

1. 锚索的悬垂状态

潜艇抛锚停泊时究竟处于一种什么样的静力平衡状态?下面,我们将对此作一简要分析,见图 1-1。

潜艇抛锚时,艇体一方面受到风力、流力等各种外力的作用,同时在锚链孔 P 处又受到锚索上端张力 T_P 的作用。鉴于锚索是柔性构件,它只能承受张力。当艇体平衡时,在 P 点锚索张力 T_P 水平方向分力 T_{PH} 的大小等于艇体所受的水平外力 Q ,但方向相反。 T_P 垂直方向的分力 T_{PV} 将引起艇吃水的变化,即为浮力的增量所平衡。

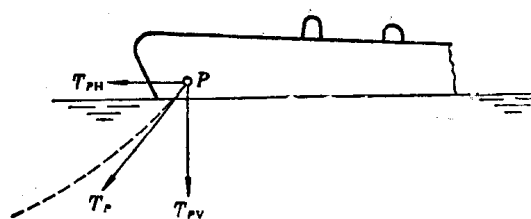


图 1-1 锚索上端的张力

为了进一步了解这种力的平衡作用,我们首先来研究一下当外力变动时锚及锚索的受力情况。在停泊过程中,当作用于艇体上的外力发生变化时,锚索的悬垂状态亦随之发生变化,如图 1-2 所示。图中符号如下:

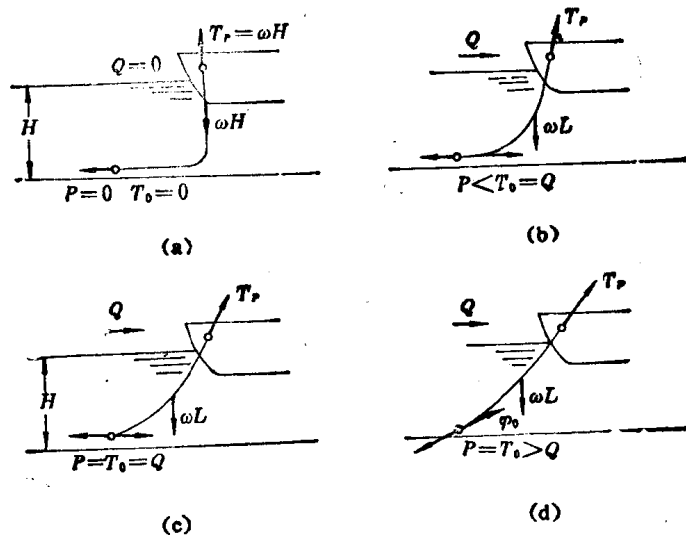


图 1-2 外力变化时锚索悬垂状态之变化

- H ——水深;
 ω ——锚索单位长度水中重量;
 T_P ——锚索上端锚链孔处的张力;
 P ——锚所产生的拉力;
 l ——锚索悬垂部分长度;
 Q ——作用在艇体上的外力;
 T_0 ——锚索下端锚卸口处的张力;
 L ——已放出的锚索长度。

当艇体不受外力作用时,锚索的悬垂长度 l 与水深 H 相等,而其他已经放出的部分则躺在海底上,如图 1-2 (a) 所示。此时锚索上端与艇体连接处的张力 T_P 等于悬垂着的锚索在水中的重量。随着外力 Q 的增加,艇体将沿着外力作用的方向移动,由于锚的抓力 P 使锚索与水底无相对滑动,因而,随着艇体的移动,锚索也逐渐绷紧,其悬垂长度 l 也将随之增加。但当外力 Q 尚小时,仍有一部分锚索躺在海底上,如图 1-2 (b) 所示。当外力 Q 恰好增加到锚索的悬垂长度等于已放出的全部长度 L ,其下端仍保持与海底相切时,亦即锚所产生的抓力 P 仍属水平,如图 1-2 (c) 所示。这种情况下的外力 Q ,就是既定的锚索(长度为 L ,单位长度重力为 ω)在水深 H 时,保证可靠锚泊的前提下,所能承受的最大许可载荷。如果外力再增加,锚索被拉紧,其下端不能保持与海底相切,导致锚干上翘,锚抓力 P 不能保持水平,而与地面成 φ_0 角,如图 1-2 (d) 所示。这时锚爪就易于翻转而丧失抓力,导致走锚的危险。因此,在设计时,我们应按锚索处在图 1-2 (c) 的状态(即锚索的悬垂长度等于所抛出的全部长度 L ,锚索下端仍保持与海底相切的这一典型的悬垂状态)来计算锚索所能平衡的水平外力,这样才

能保证锚泊的可靠性。

2. 锚索的受力分析

水流的速度是沿水深而变化的,故水下锚索所受到的水流作用也是随水深而变化的。与表面水流相比,深水水流的作用要小得多,所以通常在静力计算中,假定锚索所受的水阻力集中作用在最上端,即与艇体所受之流力一并考虑。若不考虑锚索受拉时的弹性伸长,则可以认为锚索在两端的张力 T_0 、 T_P 及其自重 ωL 的作用下保持平衡。可将自重视为集中作用于悬垂长度之中点,如图 1-3(a) 所示。由于锚索下端保持与海床相切,故其下端的张力 T_0 保持水平方向,因此,锚索上端张力的水平分量 T_{PH} 应等于锚索下端的张力 T_0 ,而且其大小应等于艇体在锚索平面内所受之水平外力 Q 。显然,对锚索上任何一点,其张力的水平分量都等于此值。锚索上端张力的垂直分量 T_{PV} 等于其在水中的自重 ωL 。换言之,按静力平衡条件,可得以下关系:

$$\left. \begin{aligned} T_P^2 &= T_{PH}^2 + T_{PV}^2 \\ T_{PH} &= T_0 = Q \\ T_{PV} &= \omega L \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

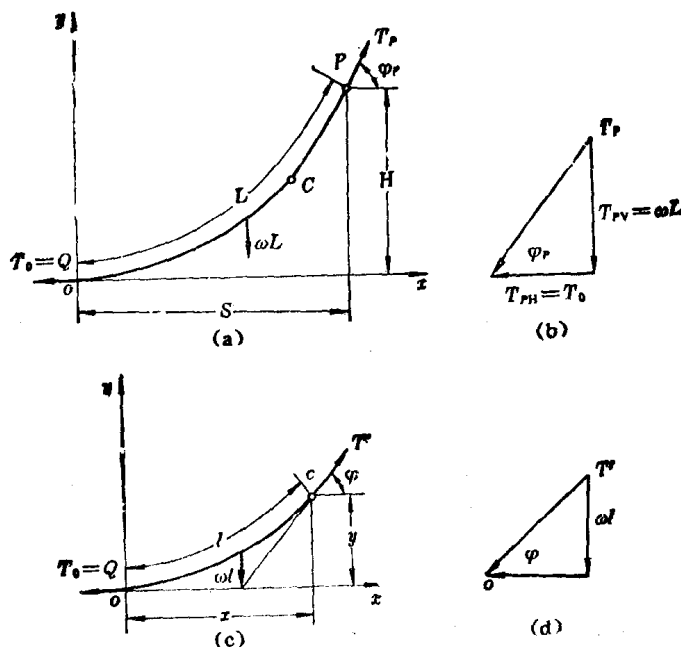


图 1-3 锚索与水底相切时的静力平衡

为了确定作用于锚索上的所有外力以及锚索自身的特性(长度及单位长度之重量)与抛锚深度之间相互关系,我们采用虚位移原理,组成加于锚索上的一切外力的功的方程式。

取沿锚链线微段 δl 为虚位移,如图 1-3,则有:

$$\delta A = T_P \delta l - Q \delta l - \sum \omega \delta l \cdot \delta l \cdot \sin \epsilon = 0. \quad (1-2)$$

上式未计及锚链自身之间的摩擦力,消去 δl ,注意到 $\sum \delta l \sin \epsilon = H$,则有:

$$T_P = Q + \omega H. \quad (1-3)$$

由图 1-3(b) 和式 (1-1) 知:

$$T_P \cos \varphi_P = T_{PH} = T_0 = Q, \quad (1-4)$$

$$T_P \sin \varphi_P = T_{PV} = \omega L. \quad (1-5)$$

将上两式平方相加,得:

$$T_P^2 = Q^2 + \omega^2 L^2. \quad (1-6)$$

由式 (1-3) 平方,得:

$$T_P^2 = Q^2 + 2\omega H Q + \omega^2 H^2. \quad (1-7)$$

比较式 (1-6) 和 (1-7),得:

$$\omega^2 L^2 = 2\omega H Q + \omega^2 H^2.$$

由上式可得到下面一组关系式:

$$\left. \begin{aligned} H &= \sqrt{L^2 + \left(\frac{Q}{\omega}\right)^2} - \frac{Q}{\omega} \\ Q &= \omega \cdot \frac{L^2 - H^2}{2H} \\ L &= \sqrt{H^2 + \frac{2QH}{\omega}} \\ \omega &= \frac{2QH}{(L^2 - H^2)} \end{aligned} \right\} \quad (1-8)$$

上式展示了外力 Q 、锚索单位长度水中重量 ω 、锚索抛出长度 L 和水深 H 这四个量之间为保证锚泊可靠性所必须满足的函数关系。

由上可见,当 ω 、 L 及 H 已知时,则可求得停泊中所能承受的最大许可载荷 Q ;反之,若 Q 、 ω 和 H 已知,锚索所需放出的最短长度 L 亦即确定。

这里也说明,锚索所需放出的长度 L 不仅应随水深 H 的增加而增加,而且亦随外力 Q 的增大而增加。因此在停泊期间,如遭遇到大风浪或涨潮,就得放长锚索,以保证不致发生走锚。

同时还说明,要保证锚干不致有向上的分力,其最大许可载荷 Q 不仅与放出长度 L 及水深 H 有关,且直接与锚索单位长度水中重量 ω 成正比,这就解释了为什么通常采用链子而不采用缆索做锚索的主要原因。因为就同等强度而言,链子的重量为钢索的 6.6 倍,为麻索的 3 倍。

再就锚索所能承受的动载荷而言,亦复如此。锚索对泥底所储存的位能也与单位长度水中重量成正比, ω 愈大,则吸收动载荷的能力愈强。这样使得艇体所受到的动载荷在很大程度上得以吸收,才能实现可靠的停泊。

由图 1-3(a) 可知,锚索上任一点的水平分量均等于 Q ,锚索下端处张力最小, $T_0 = Q$;最大张力出现在上端锚链孔处:

$$T_P = [Q^2 + (\omega L)^2]^{1/2}. \quad (1-9)$$

因此,在锚装置的设计计算中,我们应以锚索最上端的张力来校核锚索的强度和进行锚机功率的计算。下面我们简称为锚索张力,以 T 记之,根据式 (1-8) 可以得到锚索张力的各种表达式:

$$T = \sqrt{Q^2 + \omega^2 L^2} = \frac{L^2 + H^2}{2H} \omega = \frac{L^2 + H^2}{L^2 - H^2} Q = Q + \omega H. \quad (1-10)$$

函数式 $T = Q + \omega H$ 具有明显的物理意义,它表示了锚索张力等于艇体在锚索平面内所受的 水平外力 Q 上加一段长度相当于水深的锚索之水中重量。故当外力一定时,锚索张力也可 视为水深的一种标尺。

由图 1-2 可知, 锚的抓力 P 是被动的, 它随外力 Q 的增大而增大。由上面的讨论可得出: 潜艇实现稳定锚泊的必要条件是外力 Q 不得大于锚的最大抓力 $P_{\max}$, 即:

$$Q \leq P_{\max} \quad (1-11)$$

3. 潜艇锚泊时所受的外力

外力 Q 是潜艇锚泊时风和水流对潜艇作用力的合力。它包括两个部分, 在一般情况下, 是两者之向量和:

$$Q = R_{\text{风}} + R_{\text{水}}.$$

当风和水流作用力相一致时, 其合力最大, 即:

$$Q = R_{\text{风}} + R_{\text{水}}.$$

$R_{\text{风}}$ 表示风对处于锚泊状态的艇体的作用力; $R_{\text{水}}$ 则表示水流对艇体的作用力。上述两力在数值上与潜艇以风速与水流速度运动时空气和水对艇体的阻力相等。因此这两个力的大小可以由有关水面状态时舰船阻力的知识求出。比较精确的方法是模型试验。在船模试验池中求水的作用力; 在风洞中求风的作用力。但仅为了设计锚装置而进行上述试验是不值得的。鉴于潜艇锚泊时水流速度不大(在 4m/s 以下), 此时水流作用力主要是摩擦阻力, 而这是可以通过计算求得的。因此, 外力都是应用关于阻力的理论研究成果及实验数据和实践经验并用一些近似公式进行估算的。下面介绍几个公式供参考。

$$\left. \begin{aligned} (1) \quad R_{\text{风}} &= 0.0625 K_0 v_1^2 S_1 \times 9.8 \quad (\text{N}) \\ R_{\text{水}} &= f \Omega v_2^{1.83} \times 9.8 \quad (\text{N}) \end{aligned} \right\}, \quad (1-12)$$

式中: v_1 ——风速 (m/s); v_2 ——水流速度 (m/s);

S_1 ——挡风面积, 即最大的水上部分横投影面积 (m^2); Ω ——湿表面面积 (m^2);

K_0 ——取决于上层建筑形式的系数, 一般取 0.4~1; f ——水与艇体表面间的摩擦系数, 取 0.17。

$$\left. \begin{aligned} (2) \quad R_{\text{风}} &= K_1 S_1 v_1^2 \times 9.8 \quad (\text{N}) \\ R_{\text{水}} &= K_2 S_2 v_2^2 \times 9.8 \quad (\text{N}) \end{aligned} \right\}, \quad (1-13)$$

式中: S_2 ——挡水面积, 潜艇水下部分在肋骨面上的投影面积 (m^2); K_1 ——系数, 采用气象学中所提出的气象系数, 取为 0.08; K_2 ——系数, 取为 6; 其他符号与上面同。

此外, 也可令:

$$R_{\text{风}} = KS \quad (\text{N}),$$

式中: K ——风压 (Pa), 可由风级表中直接查得。

以上诸式中, S 与 Ω 都可用近似公式求得:

$$S = B(H - T) + \sum b_s h_s,$$

式中: B ——最大艇宽 (m); H ——型深 (m); T ——设计吃水 (m); b_s, h_s ——上层建筑宽度和高度 (m)。

而

$$\Omega \approx 2.58 \sqrt{V_{q\uparrow} L},$$

式中: $V_{q\uparrow}$ ——水上全排水体积 (m^3); L ——设计艇长 (m)。

也可用潜艇原理提出的其他近似公式。

(3) 采用舰船阻力学中所提出的公式:

$$R_{\text{风}} = C \frac{\rho_1 v_1^2}{2} S_1 \quad (\text{N}),$$

式中: C ——阻力系数,一般舰船在风洞中试验所得的平均值为1.25; ρ_1 ——空气密度,可取为 1.205 kg/m^3 。

由此得:

$$\left. \begin{aligned} R_{\text{风}} &= 0.75 v_1^2 S_1 \quad (\text{N}) \\ R_{\text{水}} &= (C_f + C_e) \frac{\rho_2 v_2^2}{2} \cdot \Omega \quad (\text{N}) \end{aligned} \right\}, \quad (1-14)$$

式中: C_f ——摩擦阻力系数; C_e ——形状阻力系数; ρ_2 ——水的密度,取为 1000 kg/m^3 ;

$C = C_f + C_e$, 对于一般中小型潜艇, $C = (2.5 \sim 3.5) \times 10^{-3}$ 。

$$(4) \quad \left. \begin{aligned} R_{\text{风}} &= 0.6 \rho_1 v_1^2 (S_1 + 0.31 S_1') \\ R_{\text{水}} &= f \Omega v_2^{1.83} \end{aligned} \right\}, \quad (1-15)$$

式中: V_1 取 30 m/s ; $\rho_1 = 1.205 \text{ kg/m}^3$; S_1 ——上层建筑在舢剖面上的投影面积 (m^2);

S_1' ——水上部分艇体在舢剖面上的投影面积 (m^2); f ——阻力系数,取 0.18 ;

$\Omega = L \cdot T \cdot \left(2 + \frac{\alpha B}{T}\right)$ ——浸水湿表面积 (m^2)。

式中: L ——艇长 (m); T ——吃水 (m); α ——水线面系数; B ——艇宽 (m); v_2 ——水流速度,取 $1.5 \sim 3 \text{ m/s}$ 。

4. 锚的抓力

锚的抓力或称抓持力由两部分组成。其一为海床对锚表面的摩擦力;其二为海床的变形阻力,这是因为锚抓在海床上,若要使它运动,必迫使海床变形而形成变形阻力。在这两部分力中,后者是主要的。

锚的最大抓力 P_{max} 可用下式表达:

$$P_{\text{max}} = K_1 W + K_2 S,$$

式中: K_1 ——海床对锚的摩擦系数, $K_1 \approx 0.83$; K_2 ——海床的变形阻力系数,它的最大值与海床底质和锚的结构形状有关; W ——锚重; S ——锚爪面积。

P_{max} 很难由理论计算确定。但试验结果表明,同类型的锚,其抓力和重量之间有一定的比例关系,即:

$$P_{\text{max}} = KW. \quad (1-16)$$

由式 (1-11) 可知,稳定锚泊的必要条件为:

$$Q \leq KW. \quad (1-17)$$

系数 K 称为锚的抓重比。关于各种锚的抓重比,我们将在后面再行介绍。

§ 1.3 锚

对于舰船所用的锚来说,如何以最小的锚重而取得最大抓力是具有重要意义的。抓重比(锚的抓力与重力之比)高的锚可以在相同锚重的条件下提高锚泊能力。除此之外,锚还应具有良好的使用性能。优良的锚在抛锚停泊时要能迅速入土,而在起锚时又易于从海床脱出,即要求破土所需之力较小,对于各种质地的海床,均具有良好的适应性。优良的锚还得在航行中

便于收拾和存放,同时也便于抛出,这就要求锚具有足够的重量,使得在抛锚时,锚链能从锚链舱中顺利放出。除此之外,锚还得具有足够的强度,结构要简单,又易于制造且价格低廉。显然,能完全满足上述要求的锚是不存在的,只不过有的锚在这些性能方面好些,而有的锚则在那些性能方面好些而已。因而锚的式样也是繁多的。

1. 锚的分类

若将式样繁多的锚加以分类,其方法也颇不一致。有按锚杆的有无而分(即有杆及无杆锚);有按锚爪数目而分(如单爪锚、二爪锚和四爪锚);有按锚爪能否转动而分(如固定锚爪的和转动锚爪的);也有按锚的使用性质来分的,如停泊锚(航行中停泊用)、固定锚(长期停泊用)、深水锚、定位锚、水锚等。现在,习惯上将锚分成如下四类:

1) 带有固定锚爪的有杆锚 它主要是有杆的二爪锚和独爪锚。它的特征是以一个锚爪抓入泥土中。

2) 无杆锚 这种锚的锚柄可相对其锚爪平面转动一定的角度,它的特征是以两个锚爪同时入土。其中最著名的有霍尔锚。

3) 大抓力锚 一般都属转爪锚,有有杆和无杆之分,唯其式样较新,其特征是锚的抓重比很高,其中比较著名的有 LWT 锚、AC-14 锚,以及石油平台上使用的史蒂芬锚等。

4) 特种锚 主要是一些用途特殊且形状特异的锚,如某些系泊锚、浮筒、菌形锚、螺旋锚和水锚等。

上述四类锚中以(2)、(3)两类的式样最为繁多,使用也最为广泛。

2. 带有固定锚爪的有杆锚

在有杆锚中使用最广泛而最著名者乃是海军锚。它是有杆的两爪锚,它的历史最为悠久,它的结构如图 1-4 所示。

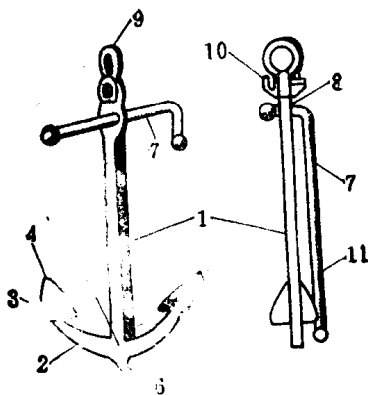


图 1-4 海军锚

1-锚干; 2-锚臂; 3-锚掌; 4-锚爪尖; 5-锚冠; 6-锚冠尖; 7-锚杆; 8-横杆孔; 9-锚卸扣; 10-螺栓; 11-固定销

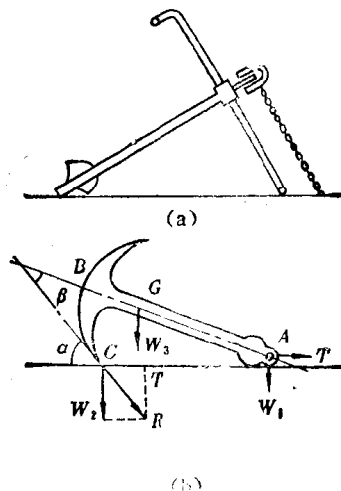


图 1-5 有杆锚的入土过程

(1) 有杆锚的入土过程 如图 1-5 所示,抛锚时锚冠先着地,在锚链水平向拉力的作用下使其翻转,若为锚杆顶端着地,如图 1-5(a)所示,则锚处于不稳定状态,经水平拖曳必翻转

成一爪朝下的状态，如图 1-5(b) 所示。在锚链的拉力及锚的重力作用下，该爪逐渐啮入泥土，直啮到锚干处不能再深入为止。

(2) 带固定锚爪的有杆锚的结构特征 固定锚爪有杆锚的结构特征为：

1) 锚的重心位置 锚的重心位置 G 与其入土性能有关。若重心过份接近锚卸扣一端 A 点，则迫使锚爪入土的垂直分力减小；反之，若重心过份接近锚冠 B 点，则锚不稳定，尤其是遇到海床具有斜坡的时。故在选取重心位置时应兼顾这两方面的要求，通常取 $BG \approx 0.42AB$ 。

2) 锚爪的袭角 α 它是指过锚爪尖端处的切线同底平面的夹角，见图 1-5(b)。 α 愈大，则锚爪愈依赖于锚的重量 W_2 而入土；反之， α 愈小则入土愈依赖于水平拖力 T ，若 T 力不足时则难以入土。显然，若 T 力已知，则锚爪所受的合力 R 亦可知(由 T 和 W_2 合成)。若 α 能与啮入泥土的合力 R 的方向一致，则锚最易入土。然而在实际抛锚过程中，锚链的拉力 T 是变化的，而锚地泥土的性质也不尽相同，各种土质的阻力也不一致，因而袭角 α 的确定，大多凭借于经验，通常在 $60 \sim 80^\circ$ 之间。

3) 锚爪的折角 β 它是通过锚爪尖端处的切线同锚干轴线的夹角，见图 1-5(b)。与 α 一样，它也是影响锚爪啮入泥土的角度因素，其范围一般在 $35^\circ \sim 45^\circ$ 之间。

4) 锚干的长度 锚干的长度影响锚干的位置，锚干越长，则锚杆离开锚冠越远，从而迫使锚爪入土及防止锚翻转的作用也越大。因此锚杆较长者在使用上更为有效，而锚干较短者则便于收藏。

5) 锚爪的面积及其分布 锚爪的面积及其分布情况与锚的抓力大有关系。一般地说，相似的锚其抓力的大小是近乎与爪面积 $3/2$ 次方成正比，而且与面积中心距泥土表面的深度有关，越深则抓力越大。因此，锚爪面积越大，面积分布越靠近爪尖，则抓力就越大。

6) 爪尖的式样 爪尖的式样有多种，大体上宽的爪尖适用于松软的土质，而窄的爪尖适用于坚硬的石质海床。显然，一般采取折衷的办法，以期适应多种不同质地的海床。

海军锚的主要优点在于抓力大，其抓重比为 $4 \sim 8$ ，同时其结构简单，使用可靠，对土质的适应性也较广。它最大的缺点是有锚杆，不便收藏，起抛锚时都要用锚吊杆，操作复杂、费时。它的另一个缺点是一爪入土，而另一爪突出在泥土上方，易使本艇或他船的锚链纠缠其上，在浅水中还有碰及过往船只的危险。因此，目前海军锚只在内河小船、游艇及帆船上采用，或作备用锚。

3. 无杆锚

无杆转爪锚自 1852 年问世以来，已有一百多年历史，式样繁多，仅已获得专利者就在百种以上，目前使用最广者首推霍尔锚，其结构如图 1-6(a) 所示。它的锚干与锚爪是分别制造的，锚干为锻钢，而锚爪和锚冠是用铸钢浇铸成一体。装配时将锚干自下而上穿过锚冠，直到锚干下端的锚轴紧靠在锚冠的窝穴内，然后在锚冠上插入两个插销，以挡住锚轴不使锚干脱出。这样，锚爪即可相对锚干而转动，[它向每侧转的角度大都为 $30 \sim 45^\circ$ 。

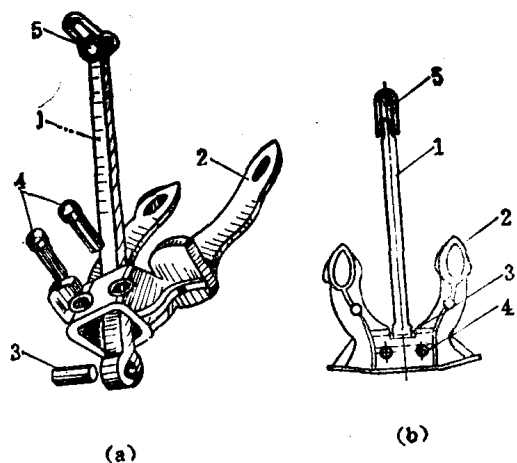


图 1-6 无杆锚

1-锚干； 2-锚爪； 3-锚轴； 4-横销； 5-锚卸扣

霍尔锚不仅制造容易,其最大优点是没有锚杆,收存方便,在起锚时能将锚干收入锚链筒内(水面舰船)或锚穴(潜艇)内,而且锚经常处于待抛状态。霍尔锚的抓重比较小,约为2.5~4。但由于抛起锚方便、省时省力,它的两爪均啮入海床,不会对过往船只造成危害,故不仅广泛用于各种水面船舶上作为主锚,在潜艇上亦普遍得到采用。

霍尔锚锚头的重心位于锚轴轴线之上,锚收起时,两爪就自动向一侧倾斜。如侧向艇体外板一侧,则会擦伤外板,甚至卡住,锚就不能顺利地收至锚穴内。斯贝克锚(见图1-6(b))就避免了上述缺点,它的锚头重心位于锚轴轴线之下,锚收起时,毛爪向上,处于锚干的同一垂直平面内,因此它不会擦伤外板,并顺利地收至锚穴中,因此在潜艇上亦被采用。

霍尔锚和斯贝克锚均已列入国家标准(GB546-76)和部颁标准(CB711-76)。图1-7所示为几种无杆锚的袭角与折角。

(1) 无杆转爪锚的入土过程 无杆转爪锚的入土过程是这样的,锚抛出后,两爪先平躺在

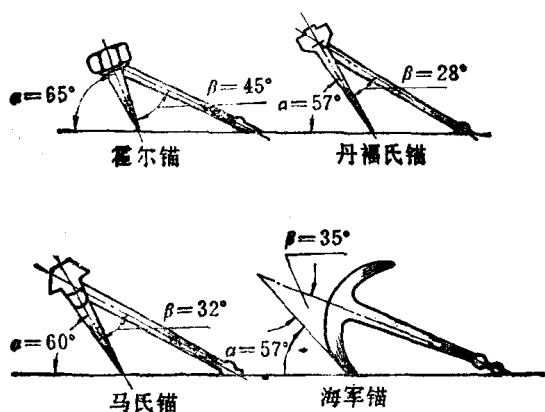


图 1-7 锚的特征数

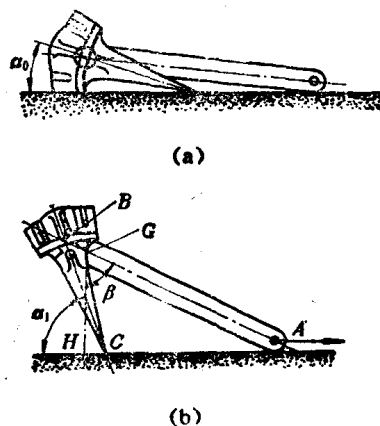


图 1-8 无杆锚入土过程

海床上,如图1-8所示。由于锚冠具有凸缘,迫使锚爪尖转向海床,在锚重和锚链的拉力作用下,锚尖即用以支持在海床上,并迫使锚头由海床上升起,锚即转入到工作位置,如图1-8(b)所示。随着锚链张力的加大,锚爪就逐渐啮入土中,直到抓力与张力达到平衡为止。

(2) 影响无杆锚入土性能的因素 影响无杆锚入土性能的主要因素有:

1) 锚爪袭角 转爪锚的锚爪袭角有二,即锚冠未离开地面时的 α_0 和锚冠升起后行将入土之前的 α_1 ,前者影响锚冠的升起,后者则影响锚爪的入土。近代转爪锚一般取 $\alpha_0 = 18^\circ$,而 α_1 为 $64 \sim 74^\circ$ 。至于锚爪折角,一般则取为 45° 。

2) 突缘的形状、大小与转动轴心B的相对位置 为了迫使爪尖朝向海床一侧,转动轴心B的位置就不能太后,否则就难以保证爪尖朝下和保证其稳定性,通常转动轴心在地面上的投影位置即位于突缘的前缘附近。

3) 锚的重心位置 锚的重心位置是以锚冠升起时的 CH/CA 值(图1-8(b))来表示的。为了使入土时爪尖处具有较大的垂直分力状态下,常使爪尖稍偏于重心之前, CH/CA 之值常取 $0.05 \sim 0.10$ 。此时,爪尖上的压力相应为 $1.05 \sim 1.10W$ (W 为锚重),假定压力平均分配给两个爪,则每一爪尖入土的垂直分力为 $0.53W \sim 0.55W$,仍较海军锚小(海军锚为 $0.66W$)。

(3) 无杆锚的抓重比 无杆锚既以两爪同时啮入泥土,则其抓重比当应比单爪入土的有杆锚为高,但实际却不然,无杆锚的爪重比往往反比有杆锚低。以霍尔锚为例,其抓重比为