

舰艇自动舵

陶乃焘 编

海军工程学院

一九九五年一月



舰艇自动舵

陶乃焯 编

海 军 工 程 学 院

一九九五年一月

舰 艇 自 动 舵

尚乃萍 编

*

海军工程学院教材处 出版

海军工程学院印刷厂 印刷

*

787×1092毫米·1/16开本·11.75印张·284千字

1995年1月第1版第1次印刷 印数 1—250册

院内统一书号 95402.06 定价 18.18元

前 言

本教材是根据“舰船电气设备管理工程”专业教育计划的要求编写的,作为该专业教学用书。

全书共分六章,第一章讲述舰用自动舵的控制原理,后五章讲述在我军水面舰艇上普遍使用的五种型号的自动舵,各章内容具有相对独立性,以便根据情况选取。在介绍安装自动舵时,除讲述其工作原理外,还介绍了一些实际调试、维修和使用方面的知识,以培养学员掌握安装和分析问题、解决问题的能力。教学重点应放在前三章,HD-I、HD-5L_A两种型号的自动舵具有典型性,且在我军舰艇上装备数量较多;在学完前三章后,学员已具有分析自动舵系统的基础和能力,对其他型号的自动舵完全可以通过自学掌握。

本教材在编写过程中,参阅和引用了许多资料和书籍的内容,在此,编者向这些书籍和资料的编著者,以及对在本教材编写和出版过程中,给予热情帮助和支持的同志们和工作人员,表示衷心感谢;向为审阅本教材的张晓峰付教授、校对本教材的周永楨实验师致以诚挚的谢意。

由于编者水平不高,加之编写时间仓促教材中必然存在不少缺点和错误。请读者提出宝贵意见,以便今后修改、补充。

编 者

1995. 3

目 录

第一章 自动舵的控制原理	(1)
第一节 概述	(1)
第二节 舵机的基本知识	(2)
第三节 自动舵的控制原理	(8)
第四节 三种自动舵系统	(18)
第五节 自动舵的主要技术性能	(23)
第二章 HD-I 型自动舵	(25)
第一节 概述	(25)
第二节 系统的基本结构	(25)
第三节 信号检测、变换和比较装置的工作原理	(27)
第四节 放大装置的工作原理	(30)
第五节 执行装置的工作原理	(33)
第六节 校正装置的工作原理	(36)
第七节 特殊环节的工作原理	(46)
第八节 系统的方块图和控制比例	(51)
第九节 系统的工作原理	(54)
第十节 自动操舵仪的调节装置	(62)
第十一节 附属装置的工作原理	(65)
第十二节 系统的调试	(68)
第十三节 使用和保养	(76)
第十四节 故障、损坏及排除方法	(80)
第三章 HD-SL 型自动舵	(89)
第一节 概述	(89)
第二节 系统的结构与组成	(89)
第三节 系统各环节的构成和工作原理	(92)
第四节 舵机液压传动系统	(99)
第五节 系统的中频电源装置	(112)
第六节 系统的工作原理	(114)
第七节 系统的调试、维修及使用	(118)
第四章 HQ-5 型自动舵	(125)
第一节 系统的结构、组成和技术性能	(125)
第二节 信号检测、变换和比较装置	(128)
第三节 放大装置的工作原理	(136)
第四节 执行装置—液压舵机的工作原理	(139)

第五节 附属装置的工作原理.....	(140)
第六节 系统的工作原理.....	(143)
第七节 操作、维护及故障排除	(147)
第五章 DT25—I 型自动舵	(149)
第一节 系统的结构及主要部件的工作原理.....	(149)
第二节 系统的工作原理.....	(152)
第三节 使用保养及故障分析.....	(158)
第六章 HD—5LK 型自动舵	(161)
第一节 系统的结构及主要组成元件.....	(161)
第二节 系统主要环节的工作原理.....	(163)
第三节 系统的工作原理.....	(168)
第四节 使用说明.....	(169)
附 录	(171)
磁放大器的工作原理.....	(171)
主要参考文献.....	(182)

第一章 自动舵的控制原理

第一节 概 述

舰艇自动舵是用来保持舰艇在给定航向上航行的一种自动装置。它利用自动操舵仪来操舵机工作,使舰艇保持在给定的航向上航行。实质上它是一种航向自动控制系统,其被控量是舰艇的实际航向。是自动控制理论在舰艇上应用的一个实例。

舰艇有两种航行状态,即随时改变航向的“机动航行”状态和保持给定航向的“定向航行”状态。平时:远航需用“定向航行”状态,进、出港和窄航道航行需用“机动航行”状态。战时:舰艇在海战中为了“保存自己、消灭敌人”,必须进行机动。例如对目标(敌舰、敌机等)实施攻击时,需要迅速占领有利阵位,迅速进入并保持射击航向,以有效地消灭敌人;在实行规避时,需要迅速地改变航向很快脱离被动恢复主动。这一切都要依靠操舵来实现,所以无论在平时还是战时,操舵装置必须十分可靠地工作,否则将引起舰艇操纵失灵,可能导致严重事故。可见操舵装置是直接影响舰艇战斗力的重要设备。

保持给定航向航行并不是一件很容易的事情,由于风、浪、涌、流的作用,舰艇的惯性及舰体本身的不对称(制造不对称和载重不对称)、螺旋桨推力不对称等原因,使舰艇随时偏离给定航向,要使舰艇保持给定航向就必须经常操舵以纠正偏航。操舵装置,目前有简单操舵、随动操舵和自动操舵装置。简单操舵就是靠人的经验,经常操纵舵轮或手柄,控制舵机左右偏舵来保持或改变航向。随动操舵,操舵人员只要给出一个舵角信号,舵机就能把舵转到给定舵角而自动停下来。它依靠人不断地给出操舵信号来使舵机左右转动,从而使舰艇保持在给定航向上航行。实际上,这是一个舵角随动系统。自动舵:是用电罗经代替人发出偏航信号,只要一次给定航向,再不需要人工经常转动舵轮就能使舰艇自动保持在给定航向上航行。它是一个航向随动系统。一般一台自动舵同时具有以上三种操舵方式,可根据需要选择使用。自动舵的优点是明显的:

1. 大大减轻操舵人员的劳动强度。由于用电罗经或其它敏感元件连续检测航向,并发出操舵信号,从而代替人工在大风大浪中日夜紧张操舵,在给定航向以后,驾驶员只要监视一下航向的情况就可以了,这不但减轻了劳动强度,也可减少人员编制。

2. 能很好地协同武器系统工作,提高武器的命中率。

3. 保持航向精度高,节约了燃料,提高了舰艇的续航力。

当然相对来说,自动舵装置比较复杂,要求使用和维修人员具有一定的理论和实践知识。但通过改进装备,提高可靠性及加强使用、维修人员的技术素质,这些不利因素是完全可以克服的。

自动舵自二十年代初期问世以来,发展很快。它大致可分为三个阶段,产生了三代自动舵,即二十年代初期出现的全机械式自动舵,五十年代前后出现的P-I-D自动舵及七十年代出现的自适应舵。此外,自动舵还可以和导航系统相配合,组成一个自动航行系统使舰艇按预先

给定的航线航行。它和声纳、雷达及导航系统结合,可通过计算机对舰艇运动进行综合控制,以提高舰艇的航行安全及自动化水平。

第二节 舵机的基本知识

舵机是自动舵的执行机构,它带动舵叶转动从而使舰船改变航向或保持航向。本节介绍一些有关舵机的基本知识。

一、转船力矩(回转力矩)

舵机所以能使舰船改变或保持航向,是因为它所带动的舵叶和水流相作用产生一个使舰船回转的力矩——转船力矩。下面我们来分析这个力矩是如何产生的。

现代舰艇一般采用流线型舵,其形如机翼,如图 1-1 所示。设舰艇以速度 V 航行,当舵叶处于艏艉面上时,舵叶与水流方向平行,舵叶两边水压力相等;当舵叶由艏艉面向一舷偏过某一角度 α 时(见图 1-1),舵叶与水流方向相夹一个 α 角,称为攻角(此处攻角=舵角)。这时舵叶两边水压力不再相等,迎着水流冲击的一面压力增强,背着水流冲击的一面压力减低,这个压力差就是水流对舵叶的作用力 R ,它可以分解为与水流方向垂直的力 F_N 和与水流方向平行的力 F_T 。 F_T 与舰艇运动方向相反,是舰艇运动的阻力; F_N 在机翼理论中通常称为升力,这里可称为转船力; F_N 是 R 在垂直于舵叶中心线方向的分量,它产生舵轴上的阻力矩 $M_Z = F_N L$, L 为 F_N 作用点与舵轴中心之间的距离。 F_T 对舰艇重心 G 产生一个力矩 M_H , M_H 就是能使舰艇改变航向的回转力矩(转船力矩)。根据力学原理,在重心 G 处加二个与 F_T 平行的力 F_T' 和 F_T'' ,且这两个力大小相等方向相反,则 F_T 与 F_T' 组成力偶产生回转力矩 M_H ,力 F_T'' 造成舰艇漂移。

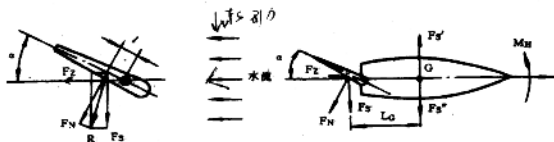


图 1-1

转船力矩可用下式表示

$$M_H = F_T L_G = F_T \frac{l}{2}$$

式中: L_G 是 F_T 的作用点与舰艇重心 G 之间的水平距离,它近似地等于舰长 l 的一半即 $\frac{l}{2}$ 。

转船力 F_T 可用下式表示:

$$F_T = C_S A V^2 \frac{\rho}{2}$$

式中: A ——舵叶面积;

V ——舰艇航速;

ρ ——海水密度;

C_s ——升力系数；

升力系数 C_s ，它随攻角 α 的改变而改变，当然 F_s 与 M_H 也就随 α 改变。由实验知，当 α 增加时， C_s 开始近似成直线增加，当 α 达到某一数值后， C_s 反而急剧下降如图 1-2(a) 所示。这是因当攻角 α 达到临界值之后，舵叶背面的流体边界层发生分裂而形成湍流，从而使舵叶两边的压力差减小，因而表现为升力系数 C_s 的数值急剧下降。这个现象在机翼理论中称为“失速”现象。因为当 α 大于临界值时，回转力矩急剧下降，所以舵机均将最大舵角 $\alpha_{\max}$ 限制在这个临界值以内，它的具体数值与很多因素有关，但主要决定于舵叶的外型和它的截面。通常，海船 $\alpha_{\max} = 30^\circ \sim 35^\circ$ ，河船 $\alpha_{\max} = 40^\circ \sim 45^\circ$ 。

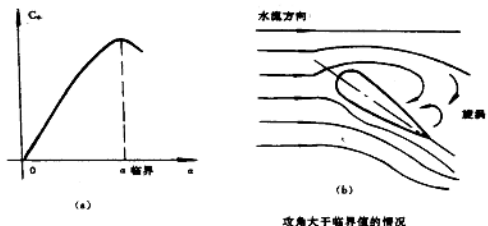


图 1-2

二、舵轴上的阻力矩

要转动舵叶，就要克服水压在舵轴上产生的阻力矩。流线型舵按其结构不同可分为三种，如图 1-3 所示。

(一) 普通舵：它的舵叶全部在舵轴的后面。这种舵的结构比较牢固、舵效大，但转舵所需要的力矩也比较大。一般用于低速舰艇。

(二) 平衡舵：它的舵叶被舵轴分为前后两部分，舵叶的大部分在舵轴的后面、小部分在舵轴的前面。在舵轴的前面的舵叶为舵的平衡部分，这部分约占舵叶总面积的 20%~30%。这种舵转动所需的力矩小些、转动比较灵活，一般用于快速舰艇上。但它的舵效不如普通舵大，结构也不如普通舵牢固。

(三) 半平衡舵：这种舵上半部份和普通舵相同，下半部份和平衡舵相同。其平衡部份较平衡舵小，约占总面积的六分之一。所以它的舵效介于普通舵与平衡舵之间。凡是快速舰艇的舰艏形状不适于安装平衡舵的，都装半平衡舵。

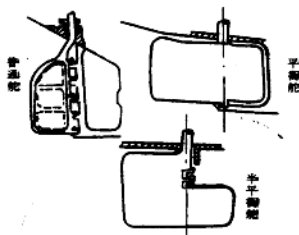


图 1-3

下面先介绍平衡舵的阻力矩与舵角关系曲线如图 1-4 所示，曲线表示方法作了如下规定：

- (1) 舵由艏艉面向任一舷偏转，舵角取正值。
- (2) 舵由任一舷回向艏艉面，即回舵，舵角取负值。

(3) 阻碍舵叶转动的舵轴阻力矩取正值。

(4) 帮助舵叶转动的舵轴阻力矩取负值。

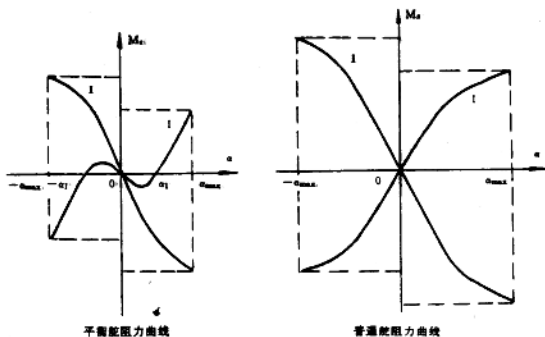


图 1-4

舵轴上阻力矩的数值,等于水压力 R 在垂直于舵叶中心线方向上的分量 F_N 与其力臂 L 的乘积

$$M_z = F_N \cdot L$$

合力 R 的作用点 C (亦即 F_N 的作用点) 一般称为压力中心, 力臂 L 就是这个压力中心至舵轴轴心的距离。如图 1-5 所示, 由于水压力不是均匀分布的, 压力中心随舵角 α 的不同而变化。如图, 若 α 减小, 压力中心向舵叶的前端移动。

现在我们来分析舰艇以速度 V 前进时, 平衡舵的阻力曲线 I 。先看舵转出时的情况。

当 $0 < \alpha < \alpha_1$ 时, 由于压力中心 C 在舵叶的前端, 压力 F_N 在舵轴上产生的力矩是与舵叶转动方向一致, 即帮助舵叶转动, 阻力矩为负值。

当 $\alpha = \alpha_1$ 时, 由于压力中心 C 与舵轴中心重合, 压力 F_N 的力臂 $L = 0$, 不产生力矩, 即阻力矩为零。

当 $\alpha > \alpha_1$ 时, 由于压力中心 C 已移至舵轴的另一边, 设至 C' 。压力 F_N 在舵轴上产生的力矩与舵叶转动方向相反, 阻力矩为正值, 而且随着 α 的增加而增大, 这是因为压力 F_N 与力臂 L 均增大的缘故。由于 F_N 为非线性, 故 M_z 也是非线性的, 再看回舵时的情况。

当舵从一舷的最大舵角回舵开始时, 即 $\alpha = -\alpha_{\max}$, 压力 F_N 在舵轴上产生的力矩与回舵方向相同, 阻力矩为负值。

当回舵至 $-\alpha_1$ 时, 由于压力中心 C 与舵轴中心重合, 不产生力矩, 阻力矩为零。

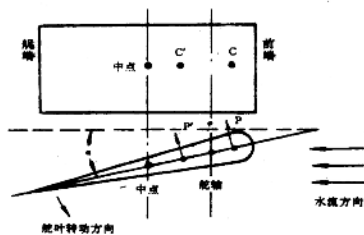


图 1-5

故为平衡舵

当回舵至 $-a_1$ 与“零位”之间时,由于压力中心 C 移至舵叶前端一边,压力 F_N 在舵轴上产生的力矩与回舵方向相反,阻力矩为正。由于压力 F_N 的非线性故 M_z 也是非线性的。

在分析了平衡舵的阻力曲线的基础上,我们不难看出,由于普通舵的舵轴与舵叶前端重合,故压力中心 C 总是在舵轴的一边,不会出现 a_1 与 $-a_1$ 那一段阻力矩的情况,或者说 $a_1=0$,至于半平衡舵,因为它上半部分是普通舵,而下半部分是平衡舵,故它的阻力矩曲线介于此二者之间,即 a_1 既不为零,但也没有平衡舵那样大。普通舵与半平衡舵的阻力矩曲线,可看作是平衡舵的特例。

下面再分析舰艇后退时,阻力曲线 I。

舰艇后退时,一个根本的不同点,就是水流对舵叶的相对速度方向改变了,如图 1-6 所示。因此:

(1) 压力 F_N 的作用方向改变了。

(2) 压力中心位置也变了,它接近舵叶的尾端。所以回舵时,舵轴上的力矩,总是与回舵方向相反,阻力矩为正。舵偏离中线时,阻力矩总是与转舵方向相同,阻力矩为负。如图 1-4 的曲线 I 所示。必须说明,尽管后退时舰艇速度要比前进时小,但由于后退时,压力中心是邻近尾端,因此力臂 L 大大增加了,所以相应于最大舵角的阻力矩要比前进时大。

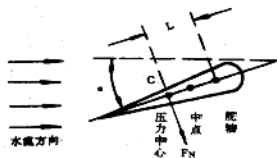


图 1-6

但是它还不能算是最大的转矩。舰艇在战斗中,为了战术上机动的需要,有时要作“之”字运动。舵要反复地从一舷的最大舵角转到另一舷的最大舵角。这时,舵轴上的阻力矩,将比上述情况下最大舵角时的阻力矩要大得多。这是因为,当舰艇在舵的作用下转向时,运动的方向(即舰艇回转时的切线方向)与舰艇艏艉线并不重合,而是相差一角度 φ_K ,称为漂移角。如图 1-7 所示。(此时攻角小于舵角)。因此,当舵由一舷转到另一舷时,舰艇因有惯性,在短暂的时间内,仍认为按原来方向运动。这样,水流相对速度对舵叶的攻角,将比最大舵角增大一漂角 φ_K ,如图 1-8 所示。相当于增大了有效的转舵角,因而舵轴上的阻力矩就增大。这个阻力矩一般称为“支撑力矩”。可达正常情况下,对应于 α_{max} 的最大力矩的(1.2~2.0)倍。实际上,舵机还可能遇到更困难的情况。当舰艇在大风浪中航行时,或在漂冰海区航行,常会因海浪冲击或冰块卡住,而使舵轴阻力矩骤增,并且这些阻力矩的大小是难以预计的。但在这种情况下,舵必须能连续工作而不允许中断工作,所以对这种困难情况,必须预先加以考虑并采取相应的措施。



图 1-7



图 1-8

三、舵机拖动电动机的负载力矩

转动舵叶,可以用电力拖动和液力拖动。采用电力拖动时,当舵轴上阻力矩为正时,电动机轴上负载力矩可由下式决定:

$$M = \frac{M_z}{K\eta}$$

式中: K ——为电动机至舵轴的总传动比。

η ——为传动机构的总效率。

一般舵轴上的阻力矩是比较大的,为吨·米数量级。但因为电动机是经过减速装置传动的,传动比 K 一般比较大,所以电动机轴上的负载力矩要比舵轴上的力矩小得多,是公斤·米数量级。

当舵轴上的阻力矩为负时,此力矩是帮助舵转动的,力矩是反向传动,电动机轴上的力矩应由下式决定:

$$M = \frac{M_z}{K}\eta'$$

式中: η' 为力矩反向传动时的总效率。

$\eta' \neq \eta$, 因一舵机传动机构中,都有带自锁的蜗轮蜗杆,所以虽然舵轴上有帮助舵转动的力矩,但舵叶仍不能转动,要转动舵叶,还要用电动机帮助它克服传动机构的摩擦力矩。也就是说,舵轴上的力矩传不到电动机轴上,传动效率比零还要小,是负的。即 $\eta' < 0$ 。 η 、 η' 数值均随负载不同而稍有变化。电动机轴上的负载力矩曲线如图 1-9 所示。

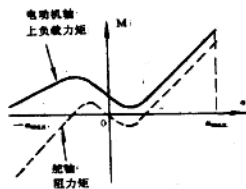


图 1-9

四、舵机的工作状态及对舵机电机容量方面的要求

1. 改变航向时的工作状态

在改变航向时,舵机工作特点是转舵角度较大,电动机要克服较大的阻力矩,而且为了保证舰艇的机动性,对转舵速度还有一定要求。但是工作时间一般是不长的。通常较大的阻力矩,以“支撑力矩”为代表。转舵速度,以舰艇在全速航行条件下,舵从一般的最大舵角转至另一般的最大舵角的转舵时间表示,称为转舵周期,通常在 15 秒~30 秒。

2. 保持航向时的工作状态

在保持航向时,为了纠正航向的偏差,一般只要求左右 5° 的舵角。电动机要克服的阻力矩是不大的,基本上就是传动机构中的摩擦力矩,通常只有最大舵角时的阻力矩的 15%~20%。但是为了要保持航向,就要经常转舵,电动机的接通频率通常达 350~600 次/小时。即电动机要作频繁的起动与制动,基本上在较大的起动与制动电流条件下工作。

3. 在大风浪或浮冰海区航行,舵机在工作中,可能会出现冲击负荷,还可能出现水草杂物缠在舵叶上,使舵轴负载力矩急剧增大。这种力矩一般都超过电动机的过载能力。由于舵机是保证舰艇机动性的重要装置,为了保证工作的不间断性,在出现过负荷时,不允许断开电源。因此,舵机电力拖动的控制线路中,一般不容许采用过电流保护,而是使电动机工作在下坠特性上,当出现过载时,电动转速下降到零,处于“带电停止”状态,以限制电动机的电流和转矩。当

过载消失后又自动恢复正常工作。一般要求：“带电停止”的时间应允许一分钟；“带电停止”的力矩应不小于“支撑力矩”。图 1-10 中两根特性都是带电停止特性。但是有的潜艇的电舵，只作应急舵用，不采用带电停止，而采用最大保护。

综上所述，对舵机电动机的容量方面的要求，可归纳如下：

(1) 在短时过载方面，电动机应能克服“支撑力矩”。并能在大于或等于“支撑力矩”的“带电停止”力矩条件下，带电停止一分钟。

(2) 在转速方面，能满足周期 15 秒~30 秒的要求。

(3) 能在每小时 350~600 次接通频率下作重复短期地工作。

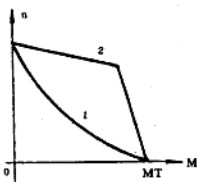


图 1-10

由于舵机电动机的负荷变化范围很大，通常可在额定负荷的 15% 到 200% 范围内变动。因此，短时过载是主要矛盾，目前舵机额定力矩，都是根据短时过载来确定的。而额定转速，则根据转舵周期的要求来确定。这样就可决定电动机的功率。

$$P = \frac{M_n n_n}{975} \quad (\text{KW})$$

式中： M_n 用公斤—米； n_n 用转/分为单位。并按短时工作制选择电动机。可惯选用一小时工作制电机。也就是说，假设舵机左满舵、右满舵，这样连续工作一小时。根据经验，这样选择，一般可保证满足电动机作每小时 350~600 次长期重复短时工作的要求。当然在实际工作中，对改变航向和保持航向这两种工作状态下，电动机的发热情况，还应进行检验。因舵机电动机一般安装在舵机舱中，为了保证在舵机舱进水时，电动机仍然能继续工作，一般舵机电动机的外壳型式采用防水式。

五、对舵机电力拖动控制系统的要求

舵机电力拖动控制系统是用来控制舵机电动机工作的。在工作中，应给以充分的重视，舵机电力拖动控制系统一般应满足下述要求：

1. 具有保证舵机完成正常转舵任务的基本控制环节

(1) 正、反转控制环节。系统能够完成正向和反向的启动。

(2) 制动控制环节。为了保证偏舵角准确，在停车时应制动。

(3) 调速控制环节。在转小舵角时（如在保持航向时），为了保证转舵角的准确性，最好用较低的速度，而在转大舵角时，又要求有较高的速度所以常安排有调速环节。但小容量舵机中，常没有此环节。

2. 具有保证系统正常工作的保护环节

(1) 带电停止保护环节。使舵机能“带电停止”工作一分钟。

(2) 极限舵角保护环节。用来限制舵机的最大舵角。

(3) 正、反转联锁保护环节。如在用接触器控制电动机正反转的系统中，用它防止正反转线路同时接通而造成短路。但有的系统，不存在这一问题，可不设此环节。

3. 具有检测舵角位置的讯号装置

(1) 舵角指示器。用以指示舵角，其准确度应在 1° 以内。

(2) 工作指示灯。安排红、白、绿三信号灯来检测舵机左、中、右三个位置（有了舵角指示

器、工作指示灯可以不设)。

4. 为了保证控制系统的工作可靠性,要求线路简单,电器质量优良。减少可能发生故障的线路、环节。

5. 为了提高舵机的生命力,要求:

(1) 操舵部位,不应少于2个。

(2) 能迅速地转换到人力操舵。

(3) 能有两个以上的电源,它保证在一般网路遭破坏时,舵机仍能不间断地工作。

(4) 易于更换发生故障的电器或部件,易于维护、管理。

第三节 自动舵的控制原理

一、操舵的一般规律

为了了解自动舵工作的物理过程,我们先研究一下人工操舵的规律。

设舰艇在 θ_1 航向上航行,由于某种原因使舰艇向右偏航,操舵人员发现偏航后就操纵舵机向左出舵,在舵产生的回转力矩作用下舰艇回航,此时操舵人员又操纵舵机回舵,最后使舰艇回到原航向 θ_1 ,舵角亦处于零位。在此过程中若偏航快,操舵人员就使出舵速度也快,使回转力矩对偏航阻尼以减小偏航幅度。回航时,操作人员使回舵也快,以减小回航的速度即对回航阻尼。在航向接近原航向时,向反方向打出一个小舵角——稳舵角,使舰艇航向不会反向冲过头。当航向回到原航向时,舵角也收回零位。当舰艇受到某个恒值力矩作用时,操舵人员应把舵打出去使舵产生的回转力矩和外界恒值干扰力矩平衡,从而保持舰艇在原航向上航行,此时的舵角称压舵角。若要向左改变舰艇的航向至 θ_2 ,则操舵人员操纵舵机向左出舵,使舰艇向新航向 θ_2 运动,在接近 θ_2 航向时,迅速回舵并反向(右)打出一个小舵角(即稳舵角防止因舰艇的惯性冲过了 θ_2 航向),当舰艇到达 θ_2 航向时,舵也归零。上述过程简言之:

保持航向的过程可归纳为:

1. 舰艇偏航→转舵→舰艇回航→回舵。

2. 舰艇偏航快→转舵也应快。

3. 舰艇回航时→回舵应快些,并给出稳舵角→舰艇回到原航向时,舵亦归零。

4. 舰艇受恒值定向干扰时→给出压舵角→舰艇在原航向航行,舵角有一定值即压舵角。

改变航向的过程可归纳为:

转舵→舰艇向新航向运动→回舵并给出稳舵角→舰艇到达新航向时,舵亦归零。

自动舵就是用自动操舵仪来操纵舵机工作,自动地完成上述动作,自动地保持或改变舰艇的航向。当然上面分析的人工操舵的一般规律只是大体的,并不全面,实际上一个有经验的操舵人员能根据周围各种干扰因素的变化或变化趋势,结合平常积累的经验来操舵,使舰艇很好地保持在给定的航向上航行,这是目前的P-I-D自动舵无法实现的。

二、符号规定

为了以后分析问题的方便,我们作一些符号规定:

θ_0 ——舰艇的实际航向角。

θ_i ——自动操舵仪的给定航向角。

θ ——航差角, $\theta = \theta_i - \theta_o$ 。

α_i ——自动操舵仪的给定舵角。

α ——舰艇的实际舵角。

$\theta > 0$ ——左偏航。

$\theta < 0$ ——右偏航。

在 0° 左右, 如舰艇航向从 0° 的一侧偏到另一侧时, 在 0° 左侧的航向, 要以其对真北, 即 0° 方向的夹角的负值来计算。

$\alpha > 0$ ——右舵。

$\alpha < 0$ ——左舵。

三、自动舵的基本工作原理

为了具体说明自动舵的基本工作原理, 我们以一个简单自动舵作例子, 如图 1-11 所示。

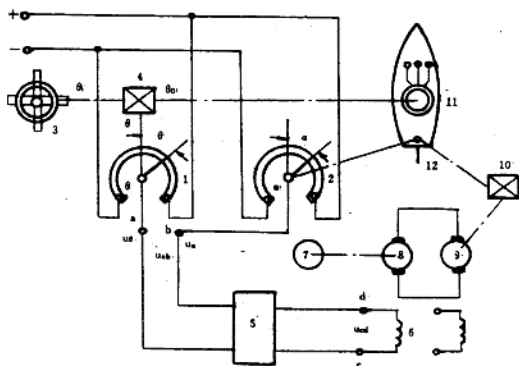


图 1-11

由舵轮给出给定航向信号 θ_i , 通过差动齿轮一个输入轴输入差动齿轮 4; 差动齿轮的另一个输入轴由电罗经(航向接收器)11 带动, 输入实际航向信号 θ_o ; 差动齿轮的输出轴输出航差信号 θ 。即:

$$\theta = \theta_i - \theta_o$$

电位器 1 滑臂由差动齿轮输出轴带动, 其上电压(滑臂对电位器中点的电压)为 u_θ , u_θ 和航差角 θ 成正比:

$$u_\theta = k_w \theta$$

式中, k_w 是电位器的放大系数。电位器 2 的滑臂由舵轴传动, 其臂上的电压(滑臂对于电位器中点的电压) u_α 则与舵角 α 成正比:

$$u_\alpha = k_w \alpha$$

因此两电位器滑臂的电位差即电压 u_{ab} 为:

$$u_{ab} = u_\theta - u_\alpha = k_w \theta - k_w \alpha = k_w (\theta - \alpha)$$

即它是航差信号与舵角信号比较后所得到的偏差信号。这个偏差信号就是舵机的控制信号。

控制信号 u_{ab} 经放大器 5 作电压放大后供给直流发电机的激磁绕组 6。直流发电机的电枢 8 由电动机 7 带动。电动机——发电机组对偏差信号进一步作功率放大后,驱动舵机电动机 9 经减速机构 10 带动舵叶 12 转动。

系统的工作原理如下:

1. 自动保持航向

假定舵轮给出的给定航向 θ_1 , 舰艇的实际航向 $\theta_0 = \theta_1$ 时, 则 $\theta = 0$ 。此时舵角也在零位, $\alpha = 0$, 则 $u_{ab} = 0$ 系统不转舵。

由于某种原因, 舰艇向左偏航, $\theta > 0$, 假定电位器的滑臂顺时针方向转过 θ 角, 滑臂上就有一个与 θ 角成正比的电压 $u_\theta = k_w \theta > 0$ 输出, 而此时 $\alpha = 0$, 所以 $u_\alpha = 0$, 两个电压经比较后, 得到偏差电压

$$u_{ab} = u_\theta = k_w \theta > 0$$

电动机在此控制信号作用下, 就开始向右转舵, $\alpha > 0$; 同时带动电位器 2 的滑臂也向顺时针方向转过 α , 于是便有电压 $u_\alpha = k_w \alpha > 0$ 输出, 只要 $\theta > \alpha$, u_{ab} 总是大于零, 系统就将继续转舵。一直到 $\theta = \alpha$, $u_\theta = u_\alpha$, $u_{ab} = 0$ 时, 系统便停止转舵。

舰艇在此舵角的作用下, 开始回航, 航差角 θ 随之减小便 $\theta < \alpha$, $u_\theta < u_\alpha$, $u_{ab} < 0$, 偏差电压反向, 舵机电机反转, 系统开始回舵。当舰艇回到给定航向时, $\theta_0 = \theta_1$, $\theta = 0$, 舵叶也回到零位, $\alpha = 0$, 偏差电压 $u_{ab} = 0$, 系统便停止转舵。舰艇保持在原航向上航行。

以上过程可参看图 1-12 所示。同理可分析右偏航时保持航向过程。

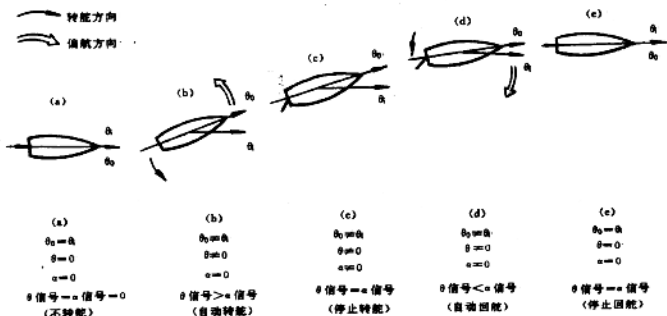


图 1-12

2. 自动改变航向

假定原来系统的给定航向为 θ_1 , 舰艇的实际航向 $\theta_0 = \theta_1$, 舰艇沿给定航向航行。转动舵轮给出一个新的给定航向 θ_2 , 设 $\theta_2 < \theta_1$ (即欲使舰艇向左转到一个新航向 θ_2)。此时便有航差角 θ

<0 , 电位器 1 的滑臂电压 $u_{\theta} < 0$, 而 $\alpha = 0, u_{\alpha} = 0$, 所以 $u_{\alpha\theta} < 0$ 。系统在这个偏差电压作用下, 开始转左舵 ($\alpha < 0$), 并带动电位器 2 的滑臂逆时针方向转动, 于是 $u_{\alpha} < 0$, 只要 $|\theta| > |\alpha|$, 系统将继续转舵, 一直到 $\alpha = \theta, u_{\alpha} = u_{\theta}$ 时, $u_{\alpha\theta} = 0$, 系统才停止转舵。舰艇在此舵角作用下, 开始向左改变航向, 于是 $|\theta|$ 开始减小, $|\theta| < |\alpha|, |u_{\theta}| < |u_{\alpha}|, u_{\alpha\theta} > 0$, 偏差电压反向, 系统开始回航。一直到舰艇转到所要求的新航向上时, $\theta_0 = \theta_2, \theta = 0$, 舵也回到零位, $\alpha = 0$, 系统才停止回航。系统就在新航向上航行。同理可分析向右改变航向时的工作情况。见图 1-13 所示。

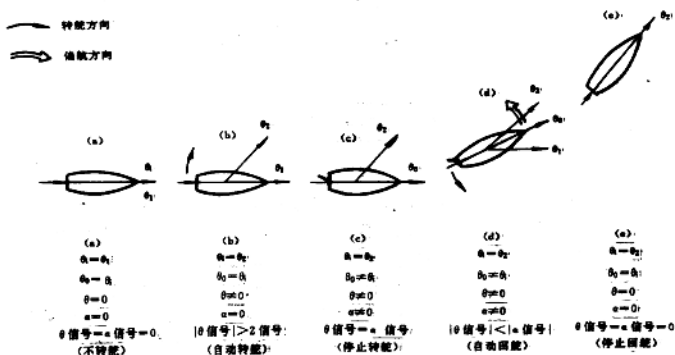


图 1-13

从此实例我们可以看到:

1. 该系统具有自动保持航向和自动改变航向的能力, 可代替人来操舵。简言之:

舰艇偏航 → 系统自动出舵 → 舰艇回航 → 系统自动回舵 → 舰艇回到原航向, 舵也回到零位并停止转动。

给定新航向 → 系统自动转舵 → 舰艇向新航向运动 → 系统自动回舵 → 舰艇到达新航向, 舵也回到零位并停止转动。

2. 自动舵在保持航向时

在舰艇偏离给定航向过程中 $|\theta \text{ 信号}| > |\alpha \text{ 信号}|$, 系统自动转舵; 在舰艇返回给定航向过程中 $|\theta \text{ 信号}| < |\alpha \text{ 信号}|$, 系统自动回舵, 在 $\theta \text{ 信号} = \alpha \text{ 信号}$ 时, 系统不转舵。

3. 自动舵在自动改变航向时

给定一个新航向, 则 $|\theta \text{ 信号}| > |\alpha \text{ 信号}|$, 系统自动转舵。舰艇向新航向运动过程中, 则为 $|\theta \text{ 信号}| < |\alpha \text{ 信号}|$, 系统自动回舵。 $\theta \text{ 信号} = \alpha \text{ 信号}$ 时, 系统不转舵。

可见自动舵的基本工作原理是: 利用航差信号和舵角信号的差来控制舵机转动,

当 $|\theta \text{ 信号}| > |\alpha \text{ 信号}|$ 自动转舵;

当 $|\theta \text{ 信号}| < |\alpha \text{ 信号}|$ 自动回舵;

当 $\theta \text{ 信号} = \alpha \text{ 信号}$ 停舵。