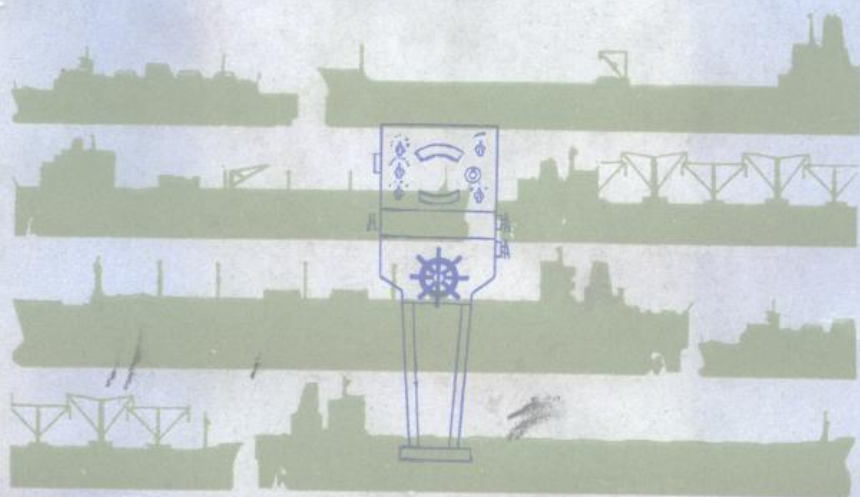


航海业务知识丛书

(航海仪器部分)

自动操舵仪

高百敏 编



人民交通出版社

航海业务知识丛书

(航海仪器部分)

自动操舵仪

Zidong Caoduoyi

高百敏 编

人民交通出版社

内 容 提 要

本书是《航海业务知识丛书》的一个分册。全书共分8章：第一章介绍了自动舵的基本原理；第二章、第三章详细地介绍了红旗-4型自动舵和向阳-3型自动舵的工作原理、技术性能、操作及维护方法，本书文字通俗易懂，适合船舶驾驶员及有关人员学习和参考。

航海业务知识丛书

(航海仪器部分)

自动操舵仪

高百敏 编

人民交通出版社出版

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：2.25 字数：44 千

1985年9月 第1版

1985年9月 第1版 第1次印刷

印数：0001—2,610册 定价：0.58元

前 言

随着交通运输事业的发展，迫切需要有一支与其相适应的、具有一定科学文化水平的职工队伍。搞好全员培训，加强职工技术教育，实为当务之急。当前矛盾是：学习不能都进学校，在职自学又缺少合适的书籍。因此中国航海学会为普及和提高广大海员的航海科学技术水平，以适应航海事业现代化的需要，特倡议组织编写航海知识丛书。中国航海学会编辑委员会与人民交通出版社于1980年在上海组成了航海知识丛书编审委员会，由陈有义、印文甫分别担任正副主任，王世忠、赵国维任秘书。编审委员会开展工作以来，已组织了企事业、学校等专业人员在业余时间分别进行编写，丛书将先后出版，陆续与读者见面。

航海知识丛书根据专业性质分为《航海业务知识丛书》和《轮机业务知识丛书》两套丛书。为了方便海员学习，力求结合实际，通俗易懂，并以小册子形式分专题出版。希望这两套丛书能不断为海员们业务技术学习作出贡献，同时也希望广大海员和航运单位共同来支持它和扶植它，使这两套丛书在不断更新中成为广大海员所喜爱的读物。

《航海知识丛书》编审委员会

目 录

绪 言	1
第一章 自动舵原理	3
§1 操舵概况	3
§2 单动操舵原理	6
§3 随动操舵工作原理	8
§4 自动操舵工作原理	10
§5 对自动舵的要求	13
§6 自动舵分类	15
§7 自动舵的组成	19
§8 自动舵自动调节规律概况	21
§9 自动舵发展趋势	27
第二章 红旗-4型自动舵	28
§1 组成	28
§2 工作原理	30
§3 操作与维护	34
§4 调整	38
§5 简单故障排除	44
第三章 向阳-3型自动舵	48
§1 技术性能	48
§2 系统工作原理	49
§3 主要调节装置	53
§4 操作与维护	56
§5 调试	61

绪 言

船舶自动操舵仪通常称为“自动舵”，也称作自动驾驶仪或自动操舵机等，它是用来自动保持船舶在给定航向上航行的操纵装置。

自动舵将来自陀螺罗经等检测元件的航向信号和预定信号进行比较，将比较后的信号经过运算和放大等处理，从而控制舵机动作，使船舶沿着给定航向航行，即自动地保持航向进行操舵。

自动操舵与人工操舵相比较，有如下优点：

1. 大大减轻了操舵人员的劳动强度；
2. 保持航向的精度比人工操舵要高；
3. 操舵舵角一般比人工舵角要小，所以可以提高航速，减少左右摆动，缩短了航行时间，节约了燃料；
4. 自动舵可以和其他导航设备相结合，组成自动导航系统。

十九世纪末期，就有人提出自动操舵的设想，直到1920年，西德的安修司在自动舵的研究上获得了初步成果。第二次世界大战后，随着科学技术的发展，自动舵逐步完善，目前世界各主要造船国家都有生产自动舵的工厂，各国商船上使用的自动舵类型计有近百种，较著名和常见的有丹麦的阿卡斯型、联邦德国的安修司型、英国的台卡和布朗型、民主德国的 HSH 型、美国的斯伯利型、日本的北辰型、精美型等等。

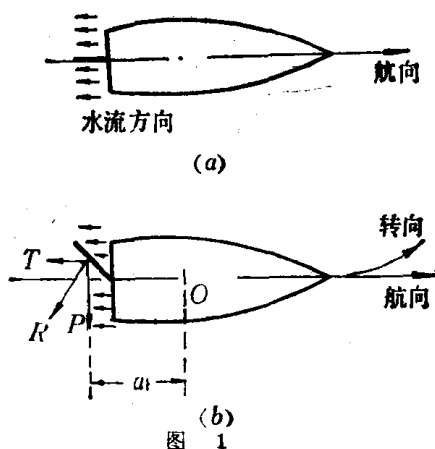
我国自六十年代也开始了自动舵的研究，七十年代初在新船上普遍安装了国产自动舵。主要型号有上海生产的红旗型、大连生产的向阳型，还有 HD-L 型等，不仅产量上已满足造船工业的需要，而且质量上也有显著提高。

第一章 自动舵原理

§1 操舵概况

一、舵的作用

舵是船舶转向的主要装置，如图1(a)所示当舵叶未偏转而处于首尾线上时，船舶推进器转动产生了一股向后的水流，水流的反作用力把船舶推向前进，这时舵面与水流的方向一致，所以只存在舵面和水流的摩擦力，不存在使船舶转动的力矩，船舶向前航行而不转向。当舵叶转过一个角度，如图1(b)所示，迎着水流的一面上的水压力增加，而舵的另一面的水压力减小，这两个大小不等的压力产生了一个与舵面



垂直的合力 R ，而 R 力又可分解成两个互相垂直的分力 T 和 P ，力 T 与船舶运动方向相反，使船舶航行时的阻力增加，船速降低；力 P 相对于船舶重心形成力矩 $Q, Q = P \cdot a$ ，该力矩使船转向。由此可见，当舵叶从首尾线向左偏一个角度时，船舶向左转向；反之，舵叶偏向右舷时，船舶向右转向。在转向同时，还增加船舶航行阻力，减慢航速，并且会使船舶产生微弱横移、横倾和纵倾等。

二、操舵装置

舵的操纵装置如图 2 所示，主要有下列部分组成。

1. 操纵机构：由安装在驾驶室的发送装置和位于舵机房的接收装置组成，这是操舵装置的指令系统。目前，近海及远洋船舶上装备的都是自动控制的远距离操纵机构，一般称为自动操舵仪，简称自动舵。

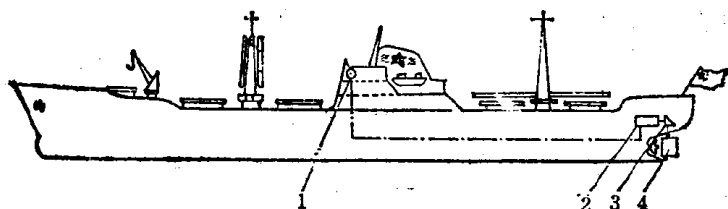


图 2

1-驾驶室操纵装置；2-舵机；3-传动机构；4-舵叶

2. 舵机：它是转舵的动力。根据动力源的不同分为：人力的、汽动的、电动的和电动液压的等等。目前，远洋船舶装备的几乎全部是电动液压舵机。

3. 传动机构：它是用来将舵机所发出的转矩传递给舵柱的设备。

4. 舵叶：这是一块浸在尾部水中的具有固定形状的钢板，可以环绕垂直轴（舵柱）而转动，用它来承受水流的作用力，以产生转船力矩。目前，远洋船舶上广泛应用的是空心结构的流线型平衡舵。

三、人工操舵的一般规律

船舶在海上航行，其航向若为 H ，如图3(a)；由于风、流、浪以及螺旋桨等的影响船舶会产生偏航，如图3(b)；假定船向右偏了一个角度 φ ，于是舵工便根据偏航角的大小，偏航的快慢等操舵，使舵叶向左偏一个角度 β ，于是船在转船力矩的作用下开始返回原航向。这时舵工又要根据船舶转动情况，酌情减小舵角，即回舵。当船舶即将回到原航向时，考虑到船舶惯性作用会使船继续向左偏离原航向，所以要适当地给出一个反方向的舵角 $+\beta'$ ，如图3(c)；这个舵角叫反舵角（或称为稳舵角；制动舵角），主要用来制止船首继续左偏。在船舶正反舵角的作用下，偏航衰减，最后恢复到

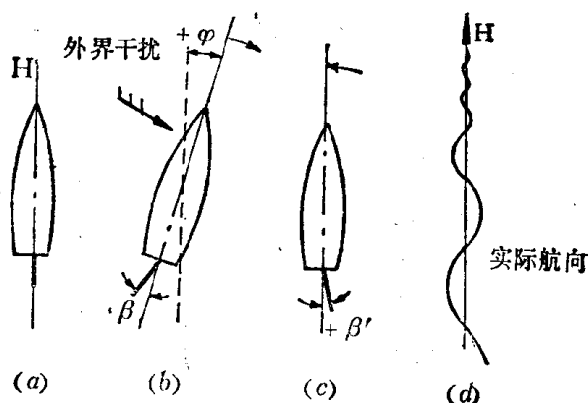


图 3

原航向，如图3(d)。有单向的恒值干扰，如一侧的风流压等使船首总是偏向一个固定的角度，则舵工必须要给出一个固定的舵角，用来加以克服偏航，俗称压舵。

以上便是最简单的人工操舵规律，它是各种操舵装置的设计准则。

§2 单动操舵原理

自动操舵仪上的操舵方式一般分为单动操舵、随动操舵和自动操舵三种。

单动操舵在自动操舵和随动操舵都不能使用的情况下作应急操舵使用，所以也称为应急操舵或手柄操舵等。其结构比自动操舵和随动操舵简单、可靠。操作方法是把操舵手柄向左、右两个方向中的一个方向扳动，或按左右两个按钮中的一个按钮，以此切换电路使向左转舵或向右转舵，同时细心观察舵角复示器的指示。

如图4所示，单动操舵控制线路比较简单。图中 F 为发电机， D 为执行电机， J 为励磁机。 K_1 和 K_2 为操舵手柄或按钮控制的触点， ZD_1 和 ZD_2 为舵机限位开关。

当船舶向左偏航时，可将操舵手柄向右扳，使 K_1 闭合，励磁机得到激发， F 将发

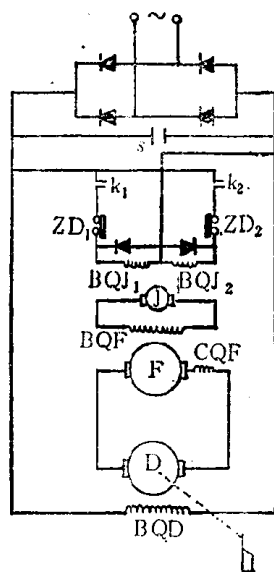


图 4

出某一极性电压，执行电动机向某一方向转动，舵叶开始向右偏转，直到舵角指示器的指针接近所要求的舵角时，将操舵手柄提前扳回零位， K_1 断开励磁机及发电机电压为零，电动机停转。舵叶因惯性继续向右偏转，在制动结束时，舵叶刚好在右舷所要求的角度上。

船舶在偏舵的作用下向原航向恢复时，必须把操舵手柄向左扳， K_2 闭合，励磁机向另一个方向激磁。 F 发出相反极性电压，执行电机 D 反方向旋转，使舵叶向首尾方向回转。同理，当舵角指示器的指针接近零位时，操舵手柄也要提前扳回中间位置，舵叶在惯性作用下恰好停止在首尾线上。

由此可见，单动操舵的特点为：手扳舵转，手放舵停；左舵左扳，回舵右扳；右舵右扳，回舵左扳。

单动操舵的各种线路的型式不同，但一般都有五个部分，如图 5 所示。图中的执行电动机是转舵的动力，通常称它为执行装置，但执行装置不一定是电动机。图中放大器也有各种形式：如继电器、接触器、磁放大器、电子管和晶体管放大器等。

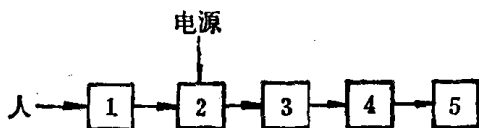


图 5

1-操舵手柄，2-放大器，3-执行电机，4-传动装置，5-舵叶

单动操舵时，舵工根据驾驶员的舵令，扳动操舵手柄，发出控制信号，同时还要不断观察舵角指示器，凭经验选择

适当的提前量，以期实现准确操舵。这种操舵方式，线路虽然简单，但操舵时精力要集中，劳动强度相当大。

§3 随动操舵工作原理

随动操舵也是一种人工操舵的方式，但它和单动操舵方式有所不同。单动操舵时，手扳舵转，手放舵停，舵工根据舵角复示器的指示操纵舵叶，使它达到所要求的偏舵角，所以舵机是人工调节的。而随动操舵时，舵工扳动操舵手轮向某一方向，舵就追随着向该方向偏转，待舵偏转到所要求的偏舵角时，舵叶自动停止转动，即舵机是自动调节的。现在以图 6 所示的以电桥原理工作的随动操舵控制线路为例，说明随动操舵的工作原理及其一般规律。

当操舵手轮在零位，舵叶在首尾线上时，电桥上两个电

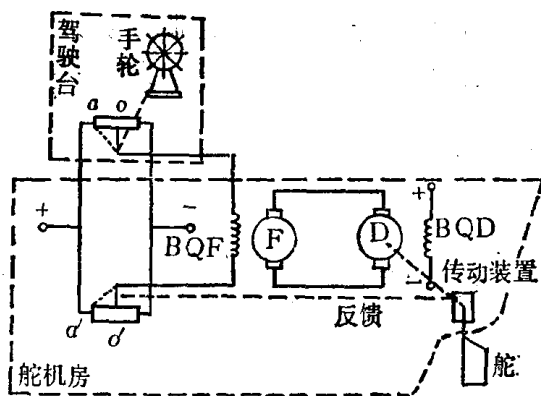


图 6

位器的滑动触点处在等电位点 o 和 o' 位置，发电机 F 无激磁，执行电机 D 停止不动。当手轮转过某一角度时，操纵

电位器上的滑动触点从 o 点移动到 a 点，电桥平衡被破坏，使得 a 点和 o' 点之间电位不一样，在它们之间出现电位差，这一电位差就是输入发电机的控制信号，从而产生一定方向的激磁电流，发电机建立一定极性电压，执行电动机转动，使舵叶向某一方向偏转。在舵叶偏转的同时，又带动反馈电位器的滑动触点从 o' 移向 a' 点，发出反馈信号。由于 a 点和 a' 点是等电位点，电桥又重新处于平衡状态，电动机停止转动，这时舵叶在与操舵手轮相同角度的位置上。

若要回舵，则将操舵手轮扳回零位，操舵电位器滑动触点 a 重新返回 o 点，电桥相对平衡又被破坏，发电机 F 得到相反方向激磁，建立另一极性电压，使执行电动机向另一方向转动，舵叶向首尾线方向偏转，反馈电位器滑动触点也从 a' 点返回 o' 点，电桥又重新平衡，电动机停止转动。改变操舵手轮的转动方向，便可以改变电动机和舵叶的偏转方向。

各种随动操舵的线路、结构各不相同，但都可用如图 7 那样的框图来表示其一般规律。图 6 中的电桥是比较环节、发电机 F 是放大环节、电动机 D 及其传动装置是执行机构，被调节对象是舵，被调节量是舵角。

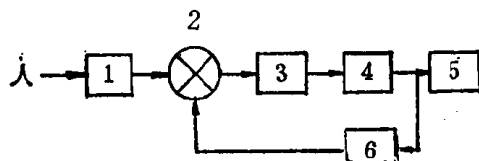


图 7

1-手轮；2-比较环节；3-放大器；4-执行机构；5-舵叶；6-反馈

由方框图可以看出，随动操舵是按偏差原理进行调节的，信号的消除不是通过人而是通过舵叶的偏转来达到。就

是说与舵柱机械地连接一个反馈信号发送器，舵叶转动时，发出反馈信号，加至比较环节，当反馈信号与控制信号相等时，就将给定信号消除，使偏差信号为零，舵叶停止转动。只要向某一方向扳动操舵手轮，舵也向某一方向偏转，待舵偏转到所要求的舵角时，舵自动停止转动。由此可见，在操舵系统中增加了舵角负反馈和比较环节，就能使之从手动调节的单动操舵发展到舵角自动调节的随动操舵。

由单动操舵发展到随动操舵，简化了操舵动作，减轻了舵工的劳动强度，同时又减小了船舶的“S”形航行幅度。

§4 自动操舵工作原理

自动操舵是在随动操舵基础上发展起来的一种全自动调节操舵方式，用来自动维持船舶定向航行。图 8 是自动操舵原理示意图，对比图 7 的随动操舵工作原理图就可知道，随

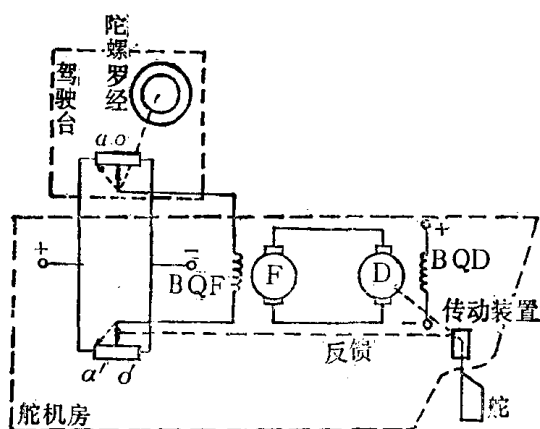


图 8

自动操舵中的电桥操纵电位器由操舵手轮带动，称为随动信号发送器，用来将手轮上指令舵角变为电的控制信号；而自动操舵中的电桥操纵电位器是由分罗经带动的，称为自动信号发送器，将偏航信号变为电的控制信号，使自动舵工作。

自动操舵的简要过程如下：

船舶在给定航向上航行，自动信号发送器的滑动触点在 o 点，反馈信号发送器的滑动触点在 o' 点，电桥输出电压为零，自动操舵系统不工作。

若船舶由于风浪影响而向右偏离一定航向时，分罗经带动自动信号发送器而使滑动触点移向 a 点，此时，电桥输出电压信号，发电机 F 有激磁而发出一定极性的电压，使电动机 D 向一定方向转动，从而带动舵叶向左偏转，当舵叶向左偏转的过程中，舵角反馈发送器滑动触点从 o' 点向 a' 点方向移动，当移至 a' 点时，电桥输出又为零，发电机因无激磁而不能发电，电动机停转，舵也停止偏转。此时，舵叶已在左偏舵一定角度；船首在左偏舵角产生的转船力矩作用下，开始向原给定航向回转。在船首回转过程中，分罗经带动自动信号发送器滑动触点从 a 点向 o 点方向移动，此时，电桥输出反方向电压，发电机有反方向的激磁而发出相反极性的电压，电动机反方向旋转，舵叶使左偏舵向首尾线方向回舵，即船首在回转过程中，舵也回舵；当船首回到原航向而舵叶也回到船首尾线时，两个发送器的滑动触点均分别回到 o 点和 o' 点，电桥平衡，输出为零，发电机无激磁，发电机电压为零，电动机停转，舵叶也停止偏转，此时，船舶在原航向上，舵也在首尾线上，在下一个干扰到来之前，船舶在原航向上航行。

目前实际使用的自动操舵仪往往在船即将返航至原方向

时，给出一个很小的相反方向的偏舵角，称作稳舵角，以防止船舶返回原航向时，由于船的惯性作用而向另一方向偏航。这样，自动操舵时，船与舵的关系如图9所示。

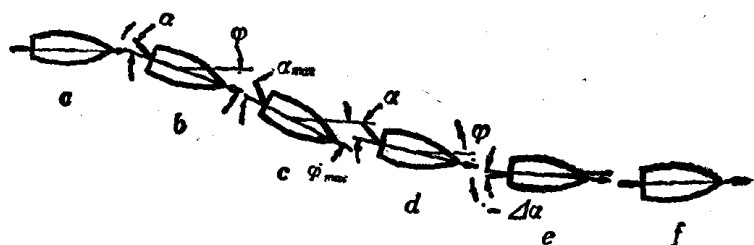


图 9

a: 船在给定航向上，偏航角 $\varphi = 0$ ，偏舵角 $\alpha = 0$ ；

b: 船向右偏航，接着向左偏舵。这时 φ 信号电压大于 α 信号电压，继续偏航；

c: 偏航、偏舵停止。这时 φ 、 α 都达到最大值；

d: 回转、回舵。这时 φ 信号电压小于 α 信号电压；

e: 船接近回到给定航向时，舵向右舷偏一舵角 $\Delta\alpha$ （稳舵角）；

f: 船回转到给定航向（ $\varphi = 0$ ），舵叶也回转到零位（ $\alpha = 0$ ）。

自动操舵仪实际上是一个航向、舵角的自动调节系统，虽然其检测、放大、执行等装置的形式各不相同，但其结构方框图一般都如图10所示。与随动操舵的方框图相比较，可以看出自动操舵仪除了有一个内部的舵角闭环调节系统外，还增加了一个外部的航向闭环调节系统。内部舵角闭环调节系统的组成与随动操舵相同，外部航向闭环调节系统则用陀螺罗经作敏感元件，用它来测量在风浪等外界干扰作用后船舶航向与给定航向的偏差，然后用这个偏差来进行操舵，所