

自动操舵装置

国防工业出版社

自动操舵装置

茂在寅男、小林実 著
徐春举、李德凡 译

国防工业出版社

内 容 简 介

本书译自日本茂在寅男、小林実等著的《コンパスとジャイロの理論と実際》一书的第3篇“自动操舵装置”。

书中主要内容分为两部分，较详细地介绍了自动操舵仪的有关理论问题和基本概念，并对各种产品进行了详细的说明和介绍。这对于了解自动操舵仪的一般原理和有关产品的使用都有一定的参考价值。

本书适用于从事自动操舵仪的科研设计、生产部门的工人、技术人员以及海军、航运部门的有关人员阅读。

コンパスとジャイロの理論と実際 第3篇 自动操舵装置

茂在寅男、小林実 著

海文堂 1971

*

自动操舵装置

茂在寅男、小林実 著

徐春举、李德凡 译

*

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第074号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092¹/₃₂ 印张 7¹³/₁₆ 164千字

1978年3月第一版 1978年3月第一次印刷 印数：0,001—4,800册

统一书号：15034·1630 定价：0.64元

目 录

第一章 自动操舵装置的理论	5
1.1 概述	5
1.2 操舵	6
1.3 采取自动操舵的舵	8
1.4 自动保持航向操舵	22
1.5 运算机构和调整机构	34
1.6 天气调节	44
1.7 补偿舵	49
1.8 自动操舵仪机能	50
1.9 自动操舵仪种类与操舵系统	53
1.10 未来自动操舵仪机能	59
第二章 产品说明	62
2.1 东京计器双装置型角速度陀螺操舵仪	62
2.2 东京计器自动操舵装置 GLT-200 系列	92
2.3 东京计器自动操舵装置 GLT-100 系列	141
2.4 东京计器阻容式操舵仪	149
2.5 东京计器液压阻容式操舵仪 PR-H 型	152
2.6 东京计器 “Hele-shaw阻容式” 操舵仪 PRK-G 型及 RRK-M 型	153
2.7 东京计器磁罗经操舵仪 MCP-1A 型	155
2.8 北辰豪华型自动操舵仪 (PT5 型)	166
2.9 北辰 IPS 1 型及 2 型系列 (带积分的操舵仪系统)	201
2.10 北辰自动操舵仪 IPS 2 型	203

2.11	北辰自动操舵仪 IPS-3K 型	233
2.12	北辰自动操舵仪 PT-7 系列	235
2.13	北辰自动操舵仪 PF-2 型	237
2.14	北辰自动操舵仪 PF-2H 型	239
2.15	北辰·川崎式自动操舵仪-遥控马达 PFC-2 型	239
2.16	北辰 A.E.G 式自动操舵仪	240
2.17	北辰式单组自动操舵仪 PS-4 型	241
2.18	北辰双装置自动操舵仪 (PT-4 型)	243
2.19	北辰·中村式自动操舵仪遥控马达 (PC-2 型)	243
2.20	北辰·中型船舶、渔船用自动操舵仪 (PC-1 型)	245

自动操舵装置

茂在寅男、小林実 著
徐春举、李德凡 译

国防工业出版社

内 容 简 介

本书译自日本茂在寅男、小林実等著的《コンパスとジャイロの理論と実際》一书的第3篇“自动操舵装置”。

书中主要内容分为两部分，较详细地介绍了自动操舵仪的有关理论问题和基本概念，并对各种产品进行了详细的说明和介绍。这对于了解自动操舵仪的一般原理和有关产品的使用都有一定的参考价值。

本书适用于从事自动操舵仪的科研设计、生产部门的工人、技术人员以及海军、航运部门的有关人员阅读。

コンパスとジャイロの理論と実際 第3篇 自动操舵装置

茂在寅男、小林実 著

海文堂 1971

*

自动操舵装置

茂在寅男、小林実 著

徐春举、李德凡 译

*

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第074号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092¹/₃₂ 印张 7¹³/₁₆ 164千字

1978年3月第一版 1978年3月第一次印刷 印数：0,001—4,800册

统一书号：15034·1630 定价：0.64元

目 录

第一章 自动操舵装置的理论	5
1.1 概述	5
1.2 操舵	6
1.3 采取自动操舵的舵	8
1.4 自动保持航向操舵	22
1.5 运算机构和调整机构	34
1.6 天气调节	44
1.7 补偿舵	49
1.8 自动操舵仪机能	50
1.9 自动操舵仪种类与操舵系统	53
1.10 未来自动操舵仪机能	59
第二章 产品说明	62
2.1 东京计器双装置型角速度陀螺操舵仪	62
2.2 东京计器自动操舵装置 GLT-200 系列	92
2.3 东京计器自动操舵装置 GLT-100 系列	141
2.4 东京计器阻容式操舵仪	149
2.5 东京计器液压阻容式操舵仪 PR-H 型	152
2.6 东京计器 “Hele-shaw阻容式” 操舵仪 PRK-G 型及 RRK-M 型	153
2.7 东京计器磁罗经操舵仪 MCP-1A 型	155
2.8 北辰豪华型自动操舵仪 (PT5 型)	166
2.9 北辰 IPS 1 型及 2 型系列 (带积分的操舵仪系统)	201
2.10 北辰自动操舵仪 IPS 2 型	203

2.11	北辰自动操舵仪 IPS-3K 型	233
2.12	北辰自动操舵仪 PT-7 系列	235
2.13	北辰自动操舵仪 PF-2 型	237
2.14	北辰自动操舵仪 PF-2H 型	239
2.15	北辰·川崎式自动操舵仪-遥控马达 PFC-2 型	239
2.16	北辰 A.E.G 式自动操舵仪	240
2.17	北辰式单组自动操舵仪 PS-4 型	241
2.18	北辰双装置自动操舵仪 (PT-4 型)	243
2.19	北辰·中村式自动操舵仪遥控马达 (PC-2 型)	243
2.20	北辰·中型船舶、渔船用自动操舵仪 (PC-1 型)	245

第一章 自动操舵装置的理论

1.1 概 述

自动操舵装置，一般称为自动操舵仪，简称自动舵。斯帕雷(Sperry)公司，作为商品名称叫陀螺操舵仪，其他制造厂家，有的也叫自动驾驶、自动驾驶装置、自动控制台、或自动操舵机等。

自动操舵仪除根据罗经来的方位信号、预定方位信号、舵角信号及给定的各个条件自动地进行必要的操舵运算和操舵工作，从而控制舵机，自动使船舶保持在预定航向上航行，即自动保持航向操舵，自动地按所希望的航向进行操舵，自动改变航向操舵这些主要机能外，按其类型的不同，还可能同时具有手动操舵、远距操舵、应急操舵或人力操舵等机能。

一般来说，自动操舵仪保持航向的精度比人力操舵要好。在人力操舵的情况下，虽短时间操舵保持航向的精度较好，但长时间地持续保持这一航向精度是困难的，而在夜间航行等情况下，尤其困难。一般情况下，自动操舵仪有如下优点：

- 1) 可减轻人的体力劳动；
- 2) 保持航向的精度高；
- 3) 能缩短航海时间；
- 4) 节约燃料。

1920年德国制成“安修茨”(Anschütz)式自动操舵仪，1923年美国制成“斯帕雷”式自动操舵仪。此后，各公司也

都制成了。这些自动操舵仪的压舵方式是利用空回机构。1950年采取用船的回转角速度作为压舵方式，这时所谓速度式的“北辰”自动操舵仪制成了。其后，1952年，“斯帕雷”型的速度式自动操舵仪制成直至现在。

现在各公司制成许多类型的自动操舵仪，除具有各种机能外，可把各种型式的操舵装置同各型舵机组合起来，或者有的还可把操船用的控制台组合进去。

下面来研究第一种机能，即自动保持航向操舵的有关问题。

1.2 操 舵

1. 舵与回转力矩

舵通常可向左右转至 35 度，个别也有能转至 45 度的。

以 μ 表示舵角， V 表示船速， A 表示舵面积。由舵角 μ 对船可产生力矩 T ， T 可近似地以下式表示

$$T = k A V^2 \sin 2 \mu \quad (k \text{ 是常数}) \quad (1-1)$$

因为自动保持航向时，一般采取小舵角， $\sin 2 \mu \approx 2 \mu$ ，(1-1) 式可写成

$$T = 2 k A V^2 \mu \quad \text{或} \quad T = K V^2 \mu \quad (1-2)$$

式中 $K = 2 k A$ ，

即回转力矩与舵角成比例。

2. 回 转 运 动

采取小舵角时船的回转运动，当回转角以 θ 表示时，则回转加速度为 $\frac{d^2 \theta}{dt^2}$ ，围绕回转轴的惯性矩为 I （包括船体、载

荷及吃水等) 可由下方程式表示●

$$I \frac{d^2\theta}{dt^2} = KV^2\mu \quad (1-3)$$

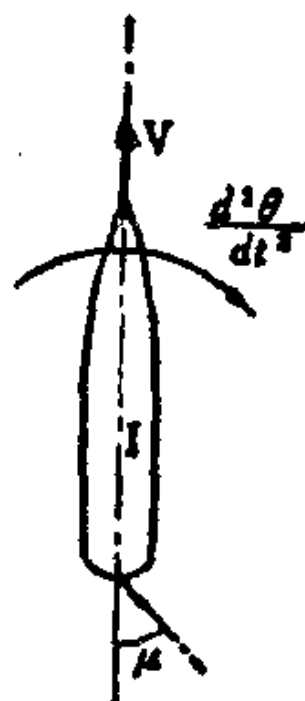


图 1-1

3. 操舵方式 (见图1-2)

按预定航向航行的船, 受到风力或波浪的作用而开始偏离预定航向, 我们来研究使船回到原来航向的操舵过程 (以后航向与舵角的方向以“+”“-”来表示, 这样不管是向左偏还是向右偏都适用)。

船从预定航向向“+”侧偏了一个角度 θ , 则舵先向反方向打一个舵角 μ_1 , 由它产生的力矩起阻止 θ 的增大和使船回到预定航向的作用。因此, 回转速度逐渐减小, 最后等于零, 再进一步使船返回预定航向。因为 μ_1 使角速度 $-\frac{d\theta}{dt}$ 加速。根据回转惯性, 舵在适当的时刻 t_1 回

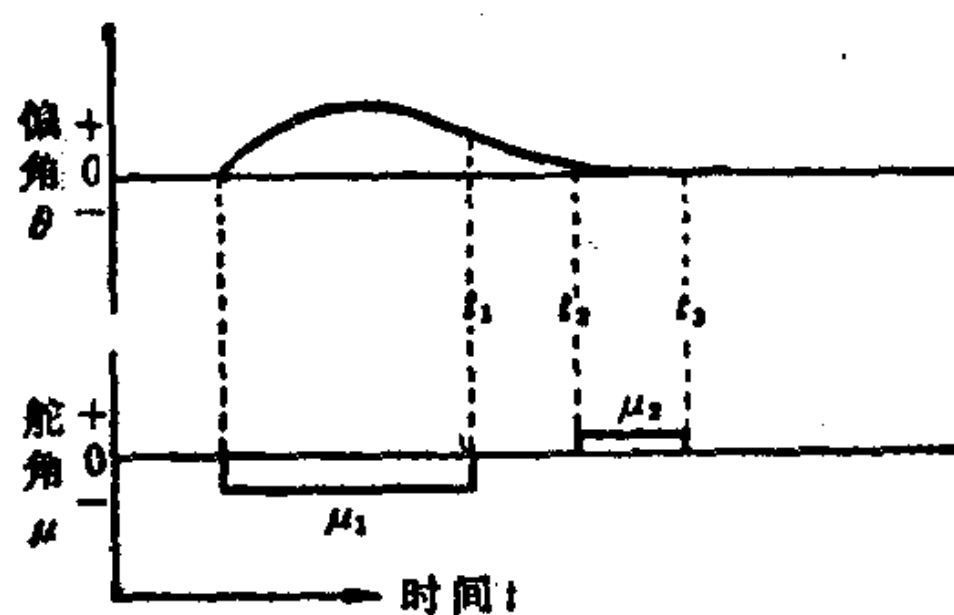


图 1-2

● 以大角度回转时, 水的阻力不能忽略, 而在此省略了。

到中央位置。因为船以惯性运动返回预定航向，为了克服这个惯性，在适当时刻 t_2 在“+”侧打一舵角 μ_2 。此舵角使船的回转惯性逐渐减小。当舵回到预定航向上时，回转角速度为零，这时舵处于零位，以后就沿着预定航向向前航行。根据上述，由于 μ_1 是使船回到预定航向的操舵，所以可称为返回舵或复原舵； μ_2 是阻止回转惯性的操舵，所以可称为压舵或制动舵。采用自动操舵的舵是随时间变化的复原舵与制动舵的综合。

1.3 采取自动操舵的舵

1. 复 原 舵

自动操舵仪的构造，虽然各公司各产品有所不同，但作为自动操舵的复原舵的原理几乎是相同的，即来自陀螺罗经（渔船或游艇、快艇等也有少数用磁罗经的）的方位信号，由方位电动机，如同步电动机，自动同步机、步进电动机等在回转中接收，打一个与偏航角 θ 成比例的复原舵 μ_1 。

$$\mu_1 = -N\theta \quad (1-4)$$

式中 N 是可调整的常数（作为例外，如西德的 A. E. G 公司，与 θ 的“+”“-”相对应取一定大小的舵角“-”“+”）

其次 $\mu_1 = -N\theta$ 的关系中，在操舵时 θ 是随时间变化的，

我们来研究一下 $\frac{d\theta}{dt} (= \dot{\theta})$ ， $\frac{d^2\theta}{dt^2} (= \ddot{\theta})$ 是怎样变化的（图

1-3）。我们把一个时间周期分成 0, 1, 2, …, 8 各个时刻，各时刻的 θ 分别为 $\theta_0, \theta_1, \dots, \theta_8$ ； $\dot{\theta}$ 分别为 $\dot{\theta}_0, \dot{\theta}_1, \dots, \dot{\theta}_8$ ； $\ddot{\theta}$ 分别为 $\ddot{\theta}_0, \ddot{\theta}_1, \dots, \ddot{\theta}_8$ 。

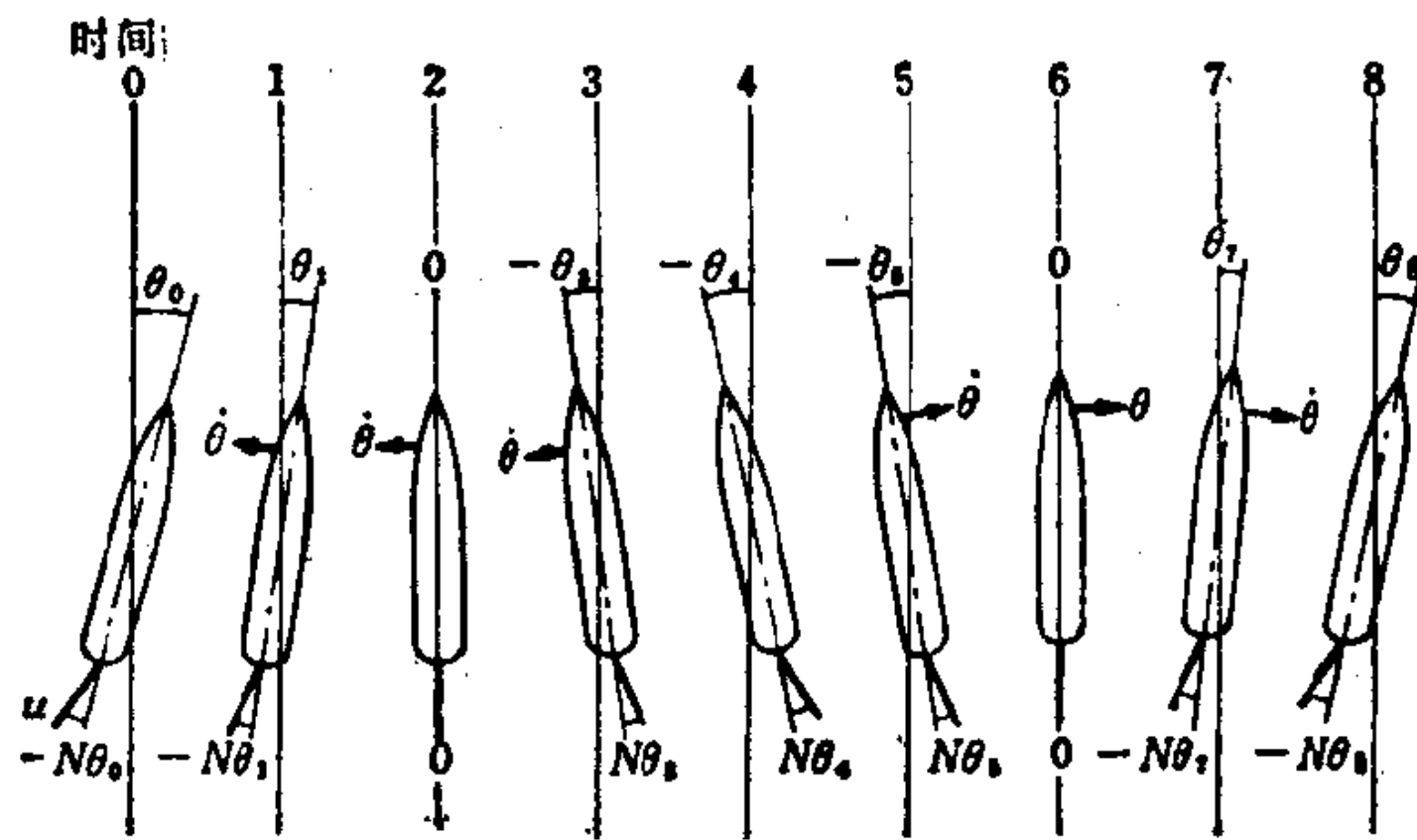


图 1-3

在时刻 0 时, $\theta = \theta_0$, 而 $\dot{\theta} = 0$, 这时的角加速度由(1-5)式得 $\ddot{\theta} = -\frac{KV^2N}{I}\theta_0$, 大小与 θ_0 成比例, 而方向向左, 所以 $\dot{\theta}$ 随时间向左增大。

在时刻 1, θ_1 比 θ_0 小, 但 $\dot{\theta}_1$ 还在向左增大。可是 $\ddot{\theta}_1$ 在减小。时刻 2, 虽 $\theta_2 = 0$, $\dot{\theta}_2$ 是最大的。可是 $\ddot{\theta}_2 = 0$, 没有加速度。

在时刻 3, θ_3 比预定航向偏左, $\dot{\theta}_3$ 向左且大。因为 θ_3 是“—”的, 所以 $\ddot{\theta}_3$ 成为向右的加速度, $\dot{\theta}_3$ 逐渐减速。

在时刻 4, θ_4 为最大, $\theta_4 = -\theta_0$, $\dot{\theta}_4 = 0$, 此后 θ 向右变化。 $\ddot{\theta}_4$ 向右且最大。

在时刻 5, θ_5 比 θ_4 小, $\dot{\theta}_5$ 向右, $\ddot{\theta}_5$ 比 $\ddot{\theta}_4$ 虽小, 但还是向右的加速度。

在时刻 6, $\theta_6 = 0$, 虽在预定航向上, 但 $\dot{\theta}_6$ 最大且向右, $\ddot{\theta}_6 = 0$, 然后向左变化。

在时刻 7, θ_7 是向右的偏航角, $\dot{\theta}_7$ 比 $\dot{\theta}_6$ 小。因为 $\ddot{\theta}_7$ 是向左的, $\dot{\theta}_7$ 在减小。

在时刻 8, θ_8 最大, $\theta_8 = \theta_0$, $\ddot{\theta}_8$ 向左且最大, $\ddot{\theta}_8 = \ddot{\theta}_0$, 即

与 $t = 0$ 时刻的状态完全相同。

上述的一个周期与单摆运动时位移、速度、加速度的变化规律相同。以 $\pm \theta_0$ 为振幅，连续地左右摆动，要使其在 $\theta = 0$ 静止下来，必须加一个其他的力矩。在自动操舵仪里，除了 $\mu_1 = -N\theta$ 这个舵角之外，还要加一个防止这一摆动的舵角，这就是制动舵（压舵）。

由复原舵引起的船的运动的数学分析

$\mu_1 = -N\theta$ (1-4) 式代入 $I \frac{d^2\theta}{dt^2} = KV^2\mu$ (1-3) 式，则

$$I \frac{d^2\theta}{dt^2} + KV^2N\theta = 0 \quad (1-5)$$

设 $\theta = \theta_0 e^{mt}$ 代入 (1-5) 式得

$$\theta_0 e^{mt} \times (Im^2 + KV^2N) = 0$$

$$\therefore m = \pm \sqrt{\frac{KV^2N}{I}} i$$

$$\begin{aligned} \therefore \theta &= \theta_0 e^{\pm \sqrt{\frac{KV^2N}{I}} i t} \\ &= \theta_0 \cos\left(\sqrt{\frac{KV^2N}{I}} t + \eta\right) \end{aligned} \quad (1-6)$$

式中 θ_0 , η 是由初始条件确定的常数。

如果 $t = 0$ 时， $\theta = \theta_0$ ，则

$$\theta = \theta_0 \cos \sqrt{\frac{KV^2N}{I}} t \quad (1-7)$$

将此式代入 (1-4)，于是

$$\mu_1 = -N\theta_0 \cos \sqrt{\frac{KV^2N}{I}} t \quad (1-8)$$

θ 与 μ_1 随时间的变化如图 1-4 所示。即 θ 以 θ_0 为振幅， μ 以 $N\theta_0$ 为振幅， θ ， μ_1 分别用正弦波来表示。

其周期为

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{KV^2N}} \quad (1-9)$$

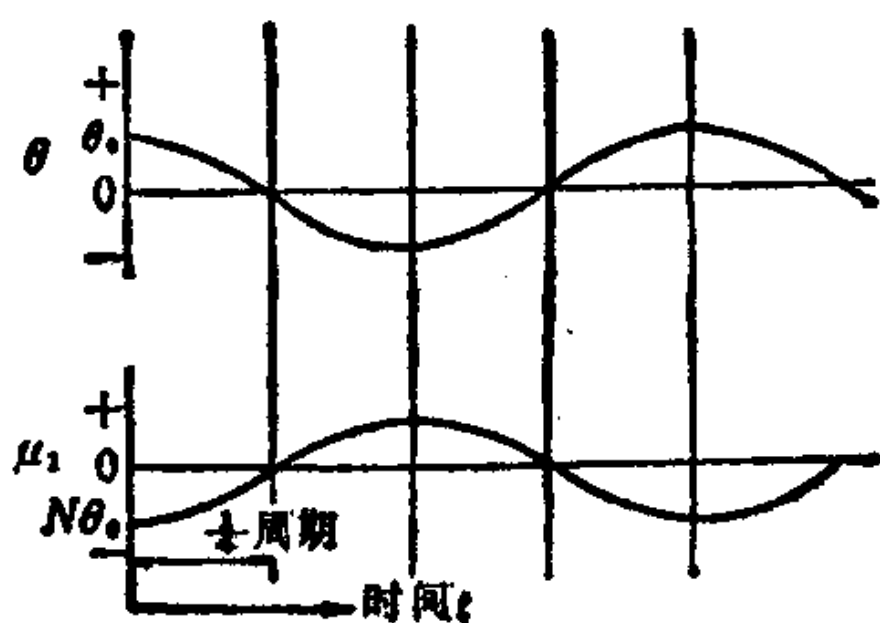


图 1-4

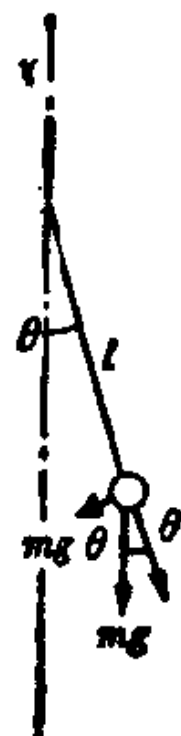


图 1-5

周期长意味着运动迟缓，即舵效应差，转舵后收舵缓慢。载荷增加， I 加大，而且航速变慢，由于 $\frac{1}{V^2}$ 加大，而使周期变长。自动操舵时，使船偏离原航向的波、风、潮流等是强有力的，因为舵力矩不能完全阻止这种偏航运动，所以要使偏航迅速消除，必要的条件是周期短。即载荷增加航速下降时，加大 N 是有效的。下述有关电气的计算式中，把 N 用 P 来表示可以说是相同的。

上述的运动与小锤用线吊起来的摆的运动规律相同。

参考 小锤质量为 m ，线长为 l 的摆，与铅垂线的夹角为 θ 时，小锤返回铅垂线的力为

$-mg \sin \theta \approx -mg\theta$ ，由于小锤的加速度为 $l \frac{d^2\theta}{dt^2}$ ，可得下式

$$ml \frac{d^2\theta}{dt^2} = -mg\theta \quad (1-10)$$

$$I \frac{d^2\theta}{dt^2} + g\theta = 0 \quad (1-11)$$

与 (1-5) 式比较, I 相当于 I , g 相当于 KV^2N , 解 (1-11) 式

$$\theta = \theta_0 \cos\left(\sqrt{\frac{g}{I}} t + \eta\right) \quad (1-12)$$

周期为
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{g}} \quad (1-13)$$

在研究复原舵引起船的运动时参考了摆的运动, 下面在说明制动舵时, 也将参考摆的运动。

2. 传输机构中空回的作用

前项已述的 $\mu_1 = -N\theta$ 的传输机构方框图如下:

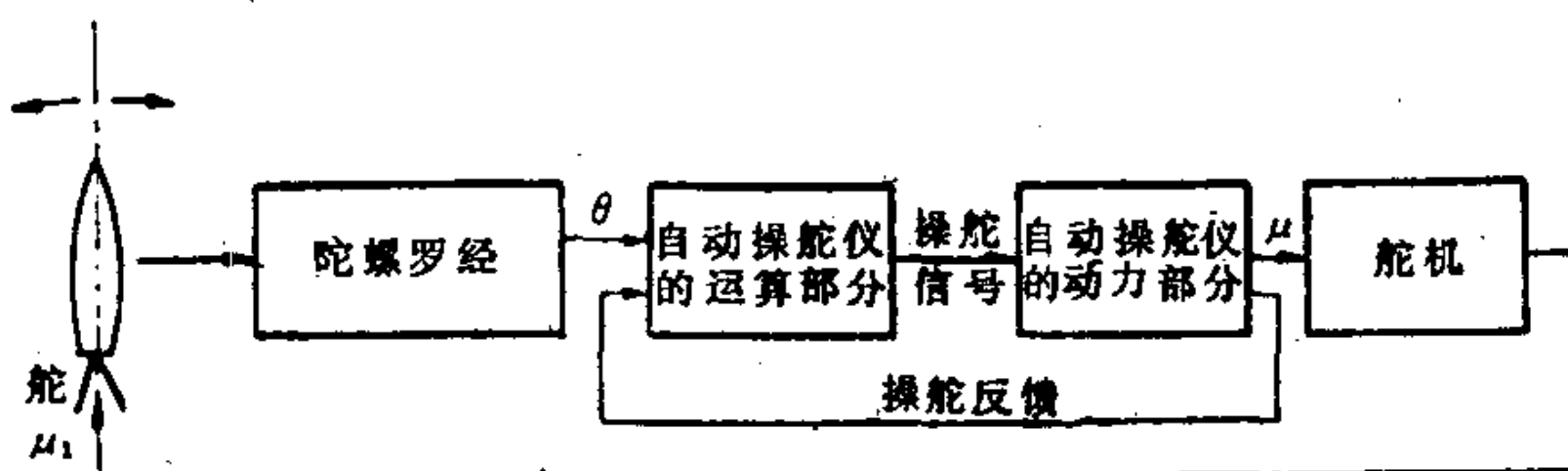


图 1-6

预定航向的偏航从陀螺罗经输到自动操舵仪的运算部, 再从运算部把操舵信号送入动力机组, 再操纵舵机转舵, 舵角发生变化。同时动力机组把操舵量反馈到运算部, 在此把由 θ 来的 $N\theta$ 与 $-\mu_1$ 进行比较或把 θ 与 $-\frac{\mu_1}{N}$ 进行比较。

当 $N\theta \leq \mu_1$ 或 $\theta \leq \frac{\mu_1}{N}$ 时, 发出与偏航值大小相对应的转舵信号。

当 $N\theta = -\mu_1$ 或 $\theta = -\frac{\mu_1}{N}$ 时, 进行随动操舵, 使舵停转。在复原舵 $\mu_1 = -N\theta$ 时, 如前项所述 θ 与 μ_1 的大小随时