

船舶运动力学

[日] 元良誠三 著



国防工业出版社



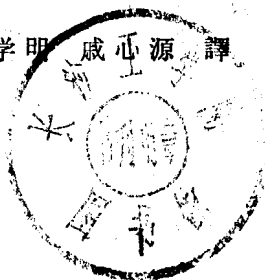
U661.3
y90

40106

船舶运动力学

〔日〕元良誠三 著

楊學明 戚心源 譯



國防工業出版社

1966

內 容 簡 介

本书是日本应用力学讲座丛书之一，原书为日本元良誠三所著，1957年由日本共立出版株式会社出版。

全书共分五章，前二章着重阐述了座标系、附加质量等基本概念以及船舶操纵性的主要内容，后三章论述了海浪、船舶摇摆及减摇等与船舶适航性有关的主要问题。

作者汇总了200多篇参考文献，以运动学为体系，总结了船舶操纵及摇摆的主要成果。本书可供船舶研究人員、設計人員以及大专院校造船系师生参考。

书末列有二百多篇参考文献目录，为讀者进一步研究提供了线索。此外，原书系第一版，错印之处较多，在翻譯中均已更正，但未一一加注，請讀者注意。

船 舶 运 动 力 学

〔日〕元良誠三 著

共立出版株式会社1957

船 舶 运 动 力 学

楊学明 戚心源 譯

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可出字第074号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店經售

国防工业出版社印刷厂印装

850×1168¹/₃₂ 印張5 126千字

1966年5月第一版 1966年5月第一次印刷 印数：0,001—1,000册

統一书号：15034·1113 定价：（科六）0.80元

目 录

原序	3
符号表	4
第一章 緒論	9
1.1 运动的自由度与座标系	9
1.1.1 运动的自由度与运动的名称	9
1.1.2 座标系	10
1.2 水下或水面上的运动特性及附加质量	11
1.2.1 自由表面的影响	11
1.2.2 附加质量效应	13
1.3 一般运动方程式	20
第二章 迴轉运动及操纵性能	24
2.1 运动方程式	24
2.1.1 对重心軌迹的切、法綫方向的运动方程式	24
2.1.2 对固定于船体座标軸的运动方程式	26
2.1.3 迴轉的相似法則与运动的无因次表示	27
2.2 作用于船体上的力	29
2.2.1 由流綫运动产生的力	30
2.2.2 由旋渦及摩擦产生的力	36
2.3 航向稳定性 (或航向保持性)	37
2.3.1 由小振动法得出的稳定性判別式	38
2.3.2 船型与安全性的关系	40
2.3.3 定常迴轉运动的稳定性	43
2.3.4 拖船的稳定性	44
2.3.5 航向稳定性的实验方法	44
2.4 迴轉性	46
2.4.1 操纵舵时船舶运动的概述	46
2.4.2 迴轉性的定义	48
2.4.3 舵	51

2.4.4 舵力的实验公式	54
2.4.5 舵的种类	56
2.4.6 船后的舵	60
2.4.7 迴轉运动的分析	63
2.4.8 各种因素对迴轉运动的影响	66
2.4.9 船首舵及后退时的迴轉运动	69
2.4.10 舵面积的决定法	70
2.5 综合操纵性	71
2.6 自动操纵	73
2.6.1 自动操纵的方式	73
2.6.2 考虑横漂的稳定判定式	75
2.6.3 自动操纵系统中时间滞后的影响	75
2.6.4 最近的自动操纵系统	76
2.7 迴轉时的横倾	76
2.8 强风下的操纵性	78
2.9 两船交错时及有限航道的影响	80
第三章 稳性及横摇	81
3.1 横摇运动方程式及重心的运动	81
3.2 静倾斜及复原力矩	82
3.3 静水中的无阻尼横摇、附加惯性矩及周期	85
3.3.1 横摇周期	85
3.3.2 附加惯性矩的大小	86
3.3.3 大角度横摇及周期的增加	89
3.4 静水中有阻尼时的横摇	91
3.4.1 横摇阻尼与消灭曲线关系	91
3.4.2 运动方程式的解	95
3.4.3 横摇阻尼的物理性质及相似法则	96
3.4.4 航行中的阻尼	100
3.4.5 大角度横摇时的阻尼	101
3.5 波	102
3.5.1 用流体力学观点来研究波的性质	102
3.5.2 风与波的关系和海波的性质	105
3.5.3 海波的不规则性	114

3.5.4 波浪作用于船体上的力(横摇扰动力)	116
3.6 波浪中横摇	121
3.6.1 波浪中无阻尼横摇	121
3.6.2 波浪中有阻尼横摇	124
3.7 由横波以外的波引起的横摇	129
3.7.1 遭遇周期	129
3.7.2 扰动力矩	129
3.7.3 复原力矩随时间的变化	130
3.8 不规则波中的船舶运动	130
3.8.1 过去有关推算最大摇摆角方面的研究	130
3.8.2 最近统计学研究的发展	132
3.9 减摇方法	135
3.9.1 舢龙骨	135
3.9.2 特殊的舢龙骨(月牙形舢龙骨)	137
3.9.3 减摇鳍	137
3.9.4 陀螺减摇器	138
3.9.5 减摇水舱	138
3.10 伴随横摇时的横漂	140
第四章 纵摇和升沉	141
4.1 静水中的纵摇、衰减及周期	141
4.2 静水中的升沉、衰减及周期	142
4.3 波浪产生的扰动力	143
4.4 探求更为正确的扰动力方法	145
4.5 方程式的解及其特性	146
4.6 适航性	148
第五章 合成运动	150
5.1 伴随纵摇而产生的船舶横向不稳定	150
5.2 由横摇引起的艏摇	150
5.3 由进动引起的艏摇	151
参考文献	152

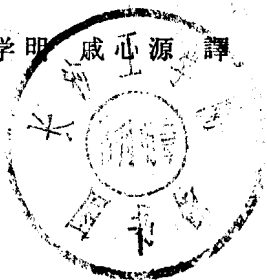
U661.3
y90

40106

船舶运动力学

[日]元良誠三 著

楊學明 戚心源 譯



国防工业出版社

1966

内 容 简 介

本书是日本应用力学讲座丛书之一，原书为日本元良誠三所著，1957年由日本共立出版株式会社出版。

全书共分五章，前二章着重阐述了座标系、附加质量等基本概念以及船舶操纵性的主要内容，后三章论述了海浪、船舶摇摆及减摇等与船舶适航性有关的主要问题。

作者汇总了200多篇参考文献，以运动学为体系，总结了船舶操纵及摇摆的主要成果。本书可供船舶研究人员、设计人员以及大专院校造船系师生参考。

书末列有二百多篇参考文献目录，为读者进一步研究提供了线索。此外，原书系第一版，错印之处较多，在翻译中均已更正，但未一一加注，请读者注意。

船 舶 运 动 力 学

〔日〕元良誠三 著

共立出版株式会社1957

*

船 舶 运 动 力 学

楊学明 戚心源 譯

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可出字第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装

*

850×1168¹/₃₂ 印张5 126千字

1966年5月第一版 1966年5月第一次印刷 印数：0,001—1,000册

统一书号：15034·1113 定价：（科六）0.80元

序 言

船舶运动力学（或称为航海力学），是一门研究水上或水下船舶运动性能的学科，它相当于研究飞机运动的航空力学。

过去，对于船舶运动的性能，由于它不像飞机运动对飞机那样有致命的影响，故其研究较之与船舶安全直接有关的船体强度、推进性能等的研究为迟。近来，强度和推进性能等的研究有了高度的进展，因此渐渐感到运动性能的研究显得落后，又因海难及其它的事故增加，故从船舶安全性的观点来看就不能置之不理了。此外，以往人们一直认为海波的各种性质很复杂，还不可能彻底地用理论来解决它，但现在可与统计理论结合起来处理，于是对船体运动性能的研究，便在国际上盛行起来。

在本书中，笔者试图将历来发展起来的船舶操纵性和摇摆性等作为统一的运动学体系来处理，并力求使本书成为一本简明的入门书。为此，重点放在坐标系、船舶运动的附加质量效应，以及海洋波浪的各种性质上。当然，笔者才疏学浅，实不胜任此项任务；只是由于造船界各位前辈的鼓励和敦促，才将其整理了一个概貌，但总有草草之感，不足之处在所难免，今后如蒙指正，使本书内容得以逐步充实，笔者将不胜感谢。

作者

主 要 符 号

(括号内数字表示章数)

A 舵面积(2)	K 迴轉半徑系数(2)
a 消灭系数(3)	k $2\pi/\lambda$
B 船寬	k_x x 方向的附加质量系数
b 翼寬或舵寬(2)	k_y y 方向的附加质量系数
消灭系数(3)	k_z z 方向的附加质量系数
C κ/B (3)	L 船長, 繞 x 軸的力矩(2)
c 波速(3)	l 水压力的力偶臂(2)
C_L 升力系数	M 繞 y 軸的力矩
C_D 阻力系数	m 船的质量
C_N 垂向力系数	m_x x 方向的附加质量
C_T 切向力系数	m_y y 方向的附加质量
C_m 力矩系数	m_z z 方向的附加质量
C_b 方形系数	N 繞 z 軸的力矩(2), 貝尔登
C_p 棱形系数	(Bertin)系数(3)
C_w 水綫面积系数	O 座标原点, 水綫与船体中心
D 船深, 阻力, 迴轉直徑	綫的交点
d 吃水	P 樞心
E 能量, 累积能量密度	p 压力, 繞 x 軸的角速度
F 力	q 合成速度, 繞 y 軸的角速度
F_L 升力	R 迴轉半徑
F_D 阻力	r 波高的 1/2, 舵力的力偶臂,
F_N 垂向力	繞 z 軸的角速度
F_T 切向力	S 水面下側面积
g 重力加速度	s 位置角速度(2)
H 升沉阻力系数(4)	T 周期
I 慣性矩	T_s 船的周期
I_x 繞 x 軸的慣性矩	T_w 波的周期
I_y 繞 y 軸的慣性矩	T_s 船的橫搖周期
I_z 繞 z 軸的慣性矩	T_e 遭遇周期(3)(4)
I_0 慣性矩(重力单位)	T_0 小角度时的橫搖周期

- T_p 纵摇周期
 T_h 升沉周期
 t 时间, 翼型的厚度(2)
 $t' = t/\sqrt{gL}$ (2)
 u x 方向的速度(2)
 $u' = u/\sqrt{gL}$ (2)
 v 切向速度(2)
 v y 方向的速度
 $v' = v/\sqrt{gL}$ (2)
 W 船的重量 $=mg$
 w z 方向的速度
 $w' = w/\sqrt{gL}$
 X x 方向的外力
 Y y 方向的外力
 Z z 方向的外力
 a 加速度(1), 迎角(2), 阻尼系数(3)
 α_e 修正阻尼系数(3)
- β 水压力的迎角(2)
 γ 有效波倾系数(3)
 δ 舵角(2), 相位角(3), 有效波高系数(4)
 ϵ 相位角(3)
 η 粘性系数, 水平轴
 θ 方位角(1)(2), 横摇角(3)
 θ_a 相对横摇角(3)
 θ_r 稳性临界角
 κ 惯性半径, $\kappa = 2a/\pi$ (3)
 λ 波长(3), 稳定指数(2), 横摇固有频率 $= 2\pi/T$
 ξ 水平轴, 相位角(3)
 σ 比重
 ϕ 横摇角
 ψ 纵摇角(4), 轨迹切线的方位角(2)
 ω 波的频率 $2\pi/T\omega$ (3)

目 录

原序	3
符号表	4
第一章 緒論	9
1.1 运动的自由度与座标系	9
1.1.1 运动的自由度与运动的名称	9
1.1.2 座标系	10
1.2 水下或水面上的运动特性及附加质量	11
1.2.1 自由表面的影响	11
1.2.2 附加质量效应	13
1.3 一般运动方程式	20
第二章 迴轉运动及操纵性能	24
2.1 运动方程式	24
2.1.1 对重心轨迹的切、法綫方向的运动方程式	24
2.1.2 对固定于船体座标軸的运动方程式	26
2.1.3 迴轉的相似法則与运动的无因次表示	27
2.2 作用于船体上的力	29
2.2.1 由流綫运动产生的力	30
2.2.2 由旋渦及摩擦产生的力	36
2.3 航向稳定性 (或航向保持性)	37
2.3.1 由小振动法得出的稳定性判別式	38
2.3.2 船型与安全性的关系	40
2.3.3 定常迴轉运动的稳定性	43
2.3.4 拖船的稳定性	44
2.3.5 航向稳定性的实验方法	44
2.4 迴轉性	46
2.4.1 操纵舵时船舶运动的概述	46
2.4.2 迴轉性的定义	48
2.4.3 舵	51

2.4.4 舵力的实验公式	54
2.4.5 舵的种类	56
2.4.6 船后的舵	60
2.4.7 迴轉运动的分析	63
2.4.8 各种因素对迴轉运动的影响	66
2.4.9 船首舵及后退时的迴轉运动	69
2.4.10 舵面积的决定法	70
2.5 综合操纵性	71
2.6 自动操纵	73
2.6.1 自动操纵的方式	73
2.6.2 考虑横漂的稳定判定式	75
2.6.3 自动操纵系统中时间滞后的影响	75
2.6.4 最近的自动操纵系统	76
2.7 迴轉时的横倾	76
2.8 强风下的操纵性	78
2.9 两船交错时及有限航道的的影响	80
第三章 稳性及横摇	81
3.1 横摇运动方程式及重心的运动	81
3.2 静倾斜及复原力矩	82
3.3 静水中的无阻尼横摇、附加惯性矩及周期	85
3.3.1 横摇周期	85
3.3.2 附加惯性矩的大小	86
3.3.3 大角度横摇及周期的增加	89
3.4 静水中有阻尼时的横摇	91
3.4.1 横摇阻尼与消灭曲线关系	91
3.4.2 运动方程式的解	95
3.4.3 横摇阻尼的物理性质及相似法则	96
3.4.4 航行中的阻尼	100
3.4.5 大角度横摇时的阻尼	101
3.5 波	102
3.5.1 用流体力学观点来研究波的性质	102
3.5.2 风与波的关系和海波的性质	105
3.5.3 海波的不规则性	114

3.5.4 波浪作用于船体上的力(横摇扰动力)	116
3.6 波浪中横摇	121
3.6.1 波浪中无阻尼横摇	121
3.6.2 波浪中有阻尼横摇	124
3.7 由横波以外的波引起的横摇	129
3.7.1 遭遇周期	129
3.7.2 扰动力矩	129
3.7.3 复原力矩随时间的变化	130
3.8 不规则波中的船舶运动	130
3.8.1 过去有关推算最大摇摆角方面的研究	130
3.8.2 最近统计学研究的发展	132
3.9 减摇方法	135
3.9.1 舢龙骨	135
3.9.2 特殊的舢龙骨(月牙形舢龙骨)	137
3.9.3 减摇鳍	137
3.9.4 陀螺减摇器	138
3.9.5 减摇水舱	138
3.10 伴随横摇时的横漂	140
第四章 纵摇和升沉	141
4.1 静水中的纵摇、衰减及周期	141
4.2 静水中的升沉、衰减及周期	142
4.3 波浪产生的扰动力	143
4.4 探求更为正确的扰动力方法	145
4.5 方程式的解及其特性	146
4.6 适航性	148
第五章 合成运动	150
5.1 伴随纵摇而产生的船舶横向不稳定	150
5.2 由横摇引起的艏摇	150
5.3 由进动引起的艏摇	151
参考文献	152

第一章 緒 論

1.1 运动的自由度与坐标系

1.1.1 运动的自由度与运动的名称

在空間运动的物体，其运动的自由度有六个，沿三个垂直相交軸方向的移动及繞各該軸的轉动。通常，取物体的慣性主軸为三个垂直相交的軸，取物体的重心为座标原点。

在本书中，取船的重心 G 为座标原点，船的三个慣性主軸各取为 x 、 y 、 z 軸。由于慣性主軸的方向尙无真正用計算或实验来求得的前例，为方便起见，取通过 G 而位于船舶纵中剖面内的水平綫为 x 軸，过 G 点，取与該軸垂直的水平綫为 y 軸，以及鉛垂綫为 z 軸（见图 1.1）。重心約位于船体中央附近。

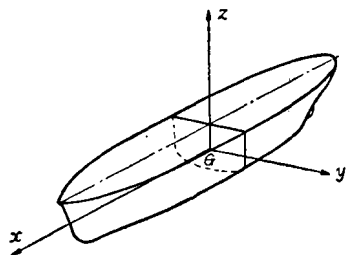


图 1.1

对于上述六个自由度的运动，在造船方面采用的名称如表1.1所載。

表 1.1

	移 动		轉 动	
	单向运动	往复运动	单向运动	往复运动
x 軸	前后 进退	进 退	橫 傾	橫 搖
y 軸	橫 漂	左右搖	纵 傾	纵 搖
z 軸	上下 浮沉	升 沉	迴 轉	艏 搖

以上虽给出了全部运动的名称，但其自由度的大小却有很大的差别。也就是说，如果是水上船舶，虽在 x 、 y 方向上都能移动，但对 z 方向来说，超过船舶干舷时就不能移动，至于转动，绕 z 轴可任意转动，但绕 x 、 y 轴的转动就有一定的限度。所以说各运动方向的约束是颇不相同的。对于某基准位置的复原力，可分为有、无两种情况，有复原力的当然会形成一个振动体系，且具有固有周期；而无复原力的则只是作单向的运动。后者除非受到波或舵的周期性外力作用，否则就不会进行振动性的运动。

有、无复原力的运动的情况如表 1.2 所示。

表 1.2

	移 动		轉 动	
	复 原 力	周 期	复 原 力	周 期
x 轴	无	—	有(中)	3~15秒
y 轴	无	—	有(大)	2~7秒
z 轴	有(大)	2~7秒	一般无	—

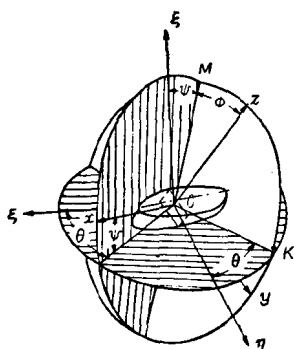


图 1.2
 θ —方位角； ϕ —横摇角；
 ψ —纵摇角。

1.1.2 坐标系

当研究刚体的运动时，一般可用欧拉角来表示任意瞬时的刚体的位置。但对船舶来说，考虑到在各自由度上的约束大小有所不同，故其位置的表示也稍有改变。如图 1.2 所示的坐标系，这种坐标系的取法较为方便。

在水平面上取的固定坐标 $O-xyz$ 与固连于船上的动坐标 $O-x'y'z'$ 之间存在着下表所载的变换规则。

表 1.3

	ξ	η	ζ
x	$\cos \theta \cos \phi$	$\sin \theta \sin \phi$	$\sin \psi$
y	$\cos \theta \sin \phi \sin \psi - \sin \theta \cos \psi$	$\sin \theta \sin \phi \sin \psi + \cos \theta \cos \phi$	$-\sin \theta \cos \psi$
z	$-\cos \theta \cos \phi \sin \psi - \sin \theta \sin \phi$	$-\sin \theta \cos \phi \sin \psi + \cos \theta \sin \phi$	$\cos \phi \cos \psi$

1.2 水下或水面上的运动特性及附加质量

大家知道，船体运动是以船体的一部分或全部浸入水中而进行的，故与真空中或空气中的运动大有不同。现将其中特别重要的几个问题列举于下。

1.2.1 自由表面的影响

由于船是浮在水表面上的，故必受自由表面的影响，但自由表面的影响大小因船速而异。其影响之一是镜面效应，另一为兴波现象。

a) 镜面效应

当物体缓慢运动而几乎没有兴波时，作为边界的自由表面，因无横穿它的流动，故恰与固体壁的作用相同。这种作用如图 1.3 所示，当某一物体在无限深广的水中运动时，在以自由表面为对称面的地方虚设有与该物体形状成对称的物体，并与其沿同一方向运动。于是，我们就可以把自由表面看做为镜面，因其效应与对着镜面照像的情况相同，故称其为镜面效应。

例如对求取船体周围的流场状况或由此而产生的压力等问题

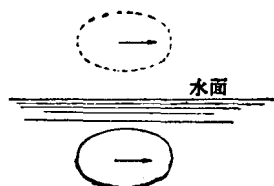


图1.3 镜面效应

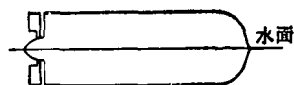


图 1.4