

浮标工程



科学出版社

H. O. 贝托 著

浮 标 工 程

H. O. 贝 托 著

蒋 割 荆 译

陈 肆 言 校

1980年 第 1 版

127.2.8.0

内 容 简 介

本书专门阐述海洋工程中有关浮标工程的理论和实际问题。全书分三部分共七章。第一部分是“浮体的力学”，主要内容是自由浮体的动力学和对约束浮体上的水动力的分析。第二部分“系留索的力学”，研究浸没在水中的锚定索的静力学和动力学。第三部分是浮标系统实际方面的问题：浮标分类、浮体材料与制作、金属的和非金属的锚定索、锚等；腐蚀、海洋生物的破坏等环境问题，以及流行的投放和回收方法。

由于海洋工程的特点，本书内容比较广泛，它可供海洋工程科技人员、高等院校有关专业师生和海洋调查工作者参考阅读。

H. O. Berteaux

BUOY ENGINEERING

John Wiley & Sons, Inc., 1976

浮 标 工 程

H. O. 贝 托 著

蒋 割 荆 译

陈 肆 言 校

*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1980 年 9 月第 一 版 开本：287×109 1/32

1980 年 9 月第一次印刷 印张 3 3/4

印数：001—630 字数：242,000

统一书号：13031·1328

本社书号：1846·13—17

定价：1.65 元

译 者 的 话

海洋自动观测浮标系统是六十年代开始出现的一种新型海洋调查工具。它的使用弥补了调查船无法完成的海洋观测工作,使海洋调查技术向长期、连续、定点、综合、自动化方向大大前进了一步。因此,这些年来有许多各种类型的、用途不同的浮标系统投放在世界各海洋上。

本书主要是论述浮标工程的,因而属于海洋工程这个领域。由于海洋工程需要综合许多门学科的知识,所以从事这方面工作的科技人员就需要获得更广博的训练,以适应日益增长的需要。

本书作者根据他自己若干年来在美国伍兹霍尔海洋研究所从事浮标系统设计和投放的经验,按照该所与麻省理工学院的联合教学计划,写成了这本书。在这本从讲义发展而来的书中,作者力图从基础的、有时甚至是初等的原理着手去提出各种理论概念,然后通过实际问题来说明理论,并将力学的一般原理同它在浮标工程中的一些比较重要的技术方面的应用结合起来。除浮标系统实际方面的问题外,书中阐述的自由浮体对海浪激励的动态响应,以及系留索的力学问题,都可以作为课题而进行深入一步的研究。

为了提高我国海洋调查技术的自动化水平,近几年来,我国已开展了海洋自动观测浮标系统的研制工作。可以预见,随着试制的成功,以及更多的浮标系统和浮标阵的投放,不仅能获得许多有价值的水文和气象资料,而且对发展我国海洋调查技术、赶超世界海洋科学先进水平都会起到良好的促进

作用。

本书可供从事海洋工程的科技人员参阅，为深入研究有关问题打下基础。也可作为高等院校有关专业师生和海洋调查工作者的参考书。

本书的翻译得到梁栋材、陈世经同志的支持和帮助。蔡汉敖、杨忠麟、张涤明、蓝昌华、翁昭宇等同志对本书的部分译稿提了不少宝贵意见，谨在此表示谢意。

中国远洋运输公司广州分公司的老船长陈肄言工程师在百忙中承担了全书的审校工作，译者深为感激。

由于水平有限，译文中的错误和不妥之处在所难免，请读者批评指正。

译 者

1978年10月

序

“样样都懂，无一精通”，是句往往含有贬意的古谚。可是，在海洋工程学这个实际领域，不论人们多么经常地希望确定这一专业的范围，实际上仍然是需要对许多学科有适当的了解，而不需对任何一门学科专透研深。

大多数浮标系统的设计、投放和回收等工程计划，都只需要少数几位工程师，他们必须考虑到工作中涉及的许多因素。贝托先生所写的这本书，就是为了适应这项需要。

主要课题——浮体的力学，系留索的力学，以及海洋学浮标系统的设计和投放——都是以刚毕业的工程人员能够迅速理解的水平加以研讨的，这些课题还能够扩大到实际工作的基础上。本书还开列了大量的参考文献，以便在有必要时，可以进行深入的研究。

本书是从麻省理工学院和伍兹霍尔海洋研究所联合计划所讲授的海洋工程学课程发展而来的，因此，《浮标工程》可以作为一本很好的教科书。此外，我也认为，本书将在海洋学和工程学界得到广泛的应用，它既可作为某一些人的补充资料，也可作为多数人的参考书。

EARL E. 海 斯

前 言

在海洋上布设浮动结构的技术,跟人类历史一样地悠久。标识浮标、系留浮标和助航浮标,都是大家在港湾、水道和沿海可以看到和久已熟悉的东西。

近年来,已有大批大型的和复杂的浮标阵列布放在深水区域以适应多种用途。这些约束的或自由浮动的飘浮结构,往往需要综合许多学科的先进的工程知识。电气工程学、工程物理学、机器设计和机械工程学,就是其中的几种。

随着人们对这些海上系统的兴趣的增长,也就越有必要进行这专门领域里的正式训练。1970年,根据麻省理工学院和伍兹霍尔海洋研究所关于海洋工程学的联合毕业生教学计划,开设了“浮标工程”这门为期一个学期的毕业生课程。本书就是从讲授该课程的课堂讲义发展而成的。

本书讨论的内容是浮动结构和锚定索的力学。其目的是为那些没有受过海洋工程学的专门训练和对浮标系统没有经验的研究人员和工程人员,提供一套分析和实际的综合性知识,以便他们能够承担设计和选用浮标系统各组成部分——水面浮标和水下浮标、锚定索、锚、和辅助装置——的工作,并且能够把这些组成部分总装配成为可望经受住浩瀚海洋上恶劣环境的系统装备。

本书共分成三个部分。第一部分是“浮体的力学”。内容包括自由浮体的静力学和动力学,以及对约束浮体上的水动力的研究。在静力学中所讨论的题目有:浸在水中的物体的浮力,阿基米德原理,浮心,吃水线,稳心,以及浸没在水中的

物体和水面浮体的铅直稳定性。在动力学中,首先介绍了平面简谐波的理论。然后提出不规则海浪系列的统计表示法和海浪谱的概念。再其次,就自由浮体对规则海浪和随机海面状况的升沉响应以及横摇响应作了详细的研讨。浸没在水中的和浮在水面的约束浮体的阻力分析,流动相似和比例模型试验的基本原理,以及对由波浪作用引起的水动力阻力的研究,都包括在第一部分中。

第二部分为“系留索的力学”,所研究的内容是浸没在水中的锚定索的静力学和动力学。在静力学中讨论了系留索的稳态负荷和由此引起的构形。首先探讨了有闭合解的简单模型(悬链线)。然后介绍了缆索函数。最后还对二维情况和三维情况的计算机分析方法作了详细论述。在系留索的动力学中,考虑了两种缆索模型。在第一种模型中,将缆索假设为连续的弹性介质,然后从有适当的边界条件的波动方程的解中,求得拉力和位移。在第二种模型中,缆索是用由回复元件和阻尼元件连接的有限个离散的质量来代表。最后论述了多自由度系统的求解方法。

第三部分研究了海洋学浮标系统实际方面的问题:分类;设计逻辑;浮标壳体,浮体材料与制作;金属的和非金属的锚定索以及锚。最后论述了典型的环境问题以及流行的投放和回收方法。

本书自始至终都是努力以循序渐进的方法,从基础的、有时是初等的原理着手去提出各种理论概念。在第一部分和第二部分,还包括了说明这些概念的有关习题。每部分后面都列了参考文献。我们热烈鼓励读者去查阅这些参考文献。这样,读者将能更好地了解浮标工程日益扩大的范围,以及这本书的局限性。

本书的撰写,部分地得到国家海洋和大气局海洋补助金

计划的支持。作者在伍兹霍尔海洋研究所参加浮标系统的设计和投放工作的若干年间,曾得到美国海军研究署的支持,对此作者也在此表示衷心感谢。

作者衷心地感谢伍兹霍尔海洋研究所海洋工程部主任 E. 海斯博士对本书原稿所提的意见。

作者的学生通过他们的提问、意见和反应,对本书的内容和出版都起了积极的作用,对此作者极表感谢。

对 C. Muzzey 夫人、B. Davies 小姐和 A. Henry 夫人为准备原稿所作的文书工作,作者也表示深切的感谢。

H. O. 贝 托

马萨诸塞州伍兹霍尔

目 录

第 I 部分 浮体的力学

第一章	自由浮体的静力学	1
1.1	浮力	1
	阿基米德原理	1
	浮心	2
1.2	完全浸没在流体中的物体的静力平衡	2
	浸没在流体中的物体的合成重力	2
	浸没在流体中的物体的稳定性	3
1.3	水面浮体的静力平衡	4
	吃水线	4
	浮体的水面稳定性	5
第二章	自由浮体的动力学	13
2.1	海浪	13
	简谐波	13
	不规则海浪系列的统计表示法	27
	再述海浪	41
2.2	自由浮体对海浪激励的动态响应	52
	虚质量原理	52
	圆柱形浮标在简谐波中的升沉运动	54
	浮标在简谐波中的无阻尼横摇	61
	浮体对海浪激励的统计响应	65
第三章	约束浮体上的水动力	70
3.1	定常流产生的力	70
	浸没在流体中的物体	70
	水面浮体	76

3.2 波生力	81
固定物体上的惯性力	81
固定物体上的阻力	82
平面重力波产生的力和力矩	83
约束结构上的作用力的统计分析	86
求谐和运动中阻力的线性近似方法	87
练习题	89
参考文献	97

第 II 部分 系留索的力学

第四章 系留索的静力学	100
4.1 单点系留式浮标系统的静力学	100
没有弹性的系留索	100
有弹性的系留索	133
4.2 多腿索系统的静力学	141
想像反作用力的方法	143
三维的缆索方程	149
第五章 系留索的动力学	156
5.1 作为连续介质的系留索	156
纵向激励	156
考虑所有的力的运动矢量方程	167
5.2 作为弹簧-质量系统的系留索	174
关于两个自由度系统的基本概念	174
线性阻尼下的多个自由度系统	186
非线性阻尼	191
练习题	193
参考文献	201

第 III 部分 海洋学浮标系统

第六章 海洋学浮标系统的分类、设计及各组成部分 ...	206
-----------------------------	-----

6.1	海洋学浮标系统的分类及说明	206
	系留式的浮标系统	206
	自由漂移式的浮标系统	216
6.2	浮标系统的设计	218
	设计逻辑	218
	浮标壳体和浮具	220
	锚定索	238
	锚	280
第七章	专题论述	288
7.1	环境问题与改善办法	288
	腐蚀	288
	疲劳	293
	抖动	294
	海洋生物引起的破坏	296
7.2	投放与回收的方法	297
	浮标先行下水投放法	298
	先行投锚法	301
	自由落锚投放法	304
	利用辅助浮标的投放法	304
	涉及铺设海底电缆的浮标投放	306
	复杂的浮标系统的投放	310
	回收	315
	回收深海系留物的备用装置	318
参考文献		323
附录: 中英术语对照表		328

第 I 部分 浮体的力学

第一章 自由浮体的静力学

1.1 浮 力

阿基米德原理

浸入密度为 ρ_F 的流体中的物体，受到一个向上的力的作用，这个力通常称为“浮力”。浮力的表达式在下面推导。现考虑图 1.1 上所示的一个底为 dA 、高为 $h \Rightarrow h_2 - h_1$ 的体积元的受力情况。该体积元受到横向和纵向压力的作用。由于对称，横向力相互抵销。体积元上的纵向合力便为

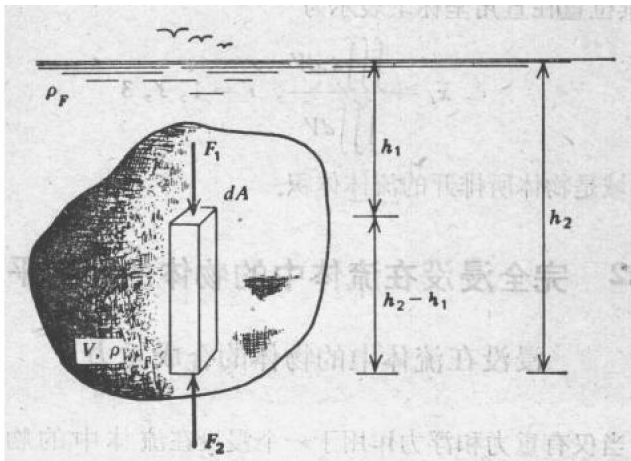


图 1.1

$$\begin{aligned} dF &= F_2 - F_1 \\ &= (p_2 - p_1) dA \end{aligned}$$

其中 p_2 是底面的压强, 大小等于 $g\rho_F h_2$; p_1 是上面的压强, 大小等于 $g\rho_F h_1$; g 是重力加速度. 故

$$\begin{aligned} dF &= g\rho_F (h_2 - h_1) dA \\ &= g\rho_F dV \end{aligned}$$

其中 dV 是棱柱形体积元. 这样, 作用在物体上的合力便为

$$F = \int dF = g\rho_F \iiint dV = g\rho_F V \quad (1.1)$$

这个结果, 就是众所周知的阿基米德 (公元前 282—212 年) 原理. 它表示: 物体所受的浮力等于该物体所排开的流体的重量.

浮 心

浮心 b , 定义为浸没在流体中的物体所排开的流体的重心, 其位置在直角坐标上表示为

$$\bar{x}_i = \frac{\iiint x_i dV}{\iiint dV}, \quad i = 1, 2, 3 \quad (1.2)$$

积分域是物体所排开的流体体积.

1.2 完全浸没在流体中的物体的静力平衡

浸没在流体中的物体的合成重力

当仅有重力和浮力作用于一个浸没在流体中的物体上时, 该物体上的合力就是这两个力的矢量和 (图 1.2). 如果以

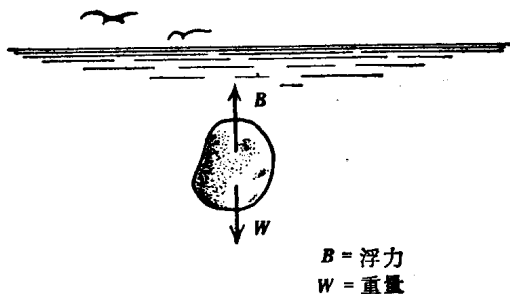


图 1.2

向上作为正方向,并且两力的矢量和为正,那么,该物体便趋于向上加速并浮上来;如果矢量和为负,那么,该物体就趋于向下加速并沉下去。如果矢量和为零,我们就说这是“中和浮力的”,这时,物体处于平衡状态。下面导出一个有用的公式,来表示均匀物体上的这一合力 R :

$$R = B - W$$

$$= \rho_F g V - \rho g V$$

其中 ρ_F = 流体密度 (斯勒格/英尺³), ρ = 物体密度 (斯勒格/英尺³), V = 物体体积 (英尺³)。提出因子 $\rho g V$,

$$R = \rho g V \left(\frac{\rho_F}{\rho} - 1 \right)$$

由于 $\rho g V$ 为重量,合力便表示为

$$R = W \left(\frac{\rho_F}{\rho} - 1 \right) \quad (1.3)$$

浸没在流体中的物体的稳定性

当仅有重力和浮力作用于一个浸没在流体中的物体上时 (图 1.3), 该物体不仅会加速向上或向下, 而且还会绕其重心

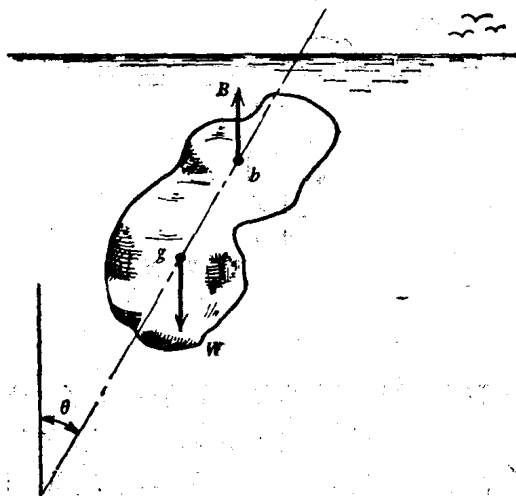


图 1.3

转动,直至力偶(恢复力矩):

$$B \overline{bg} \sin \theta = 0$$

物体所处的状态取决于重心 g 与浮心 b 的相对位置。如果 b 在 g 之上,这力偶将使物体回复到原来的铅直稳定状态,如果 b 在 g 之下,物体会倾覆,而处于底面朝上的稳定状态。

1.3 水面浮体的静力平衡

吃 水 线

浮在水面上的物体的静力平衡条件,可从阿基米德原理导出,其表达式为

$$\iiint \rho_f g dV = \iiint \rho g dV \quad (1.4)$$

等式左边是对排开的流体体积的积分,而等式右边是对物体

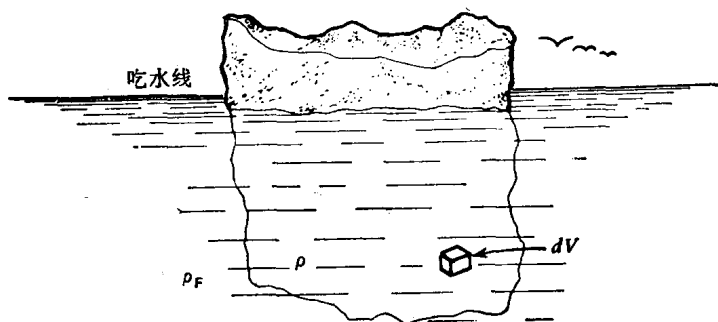


图 1.4

的整个体积的积分 (图 1.4)。水面与处于平衡状态的浮体的交线,叫做吃水线。其位置可从积分结果导出。

浮体的水面稳定性

考虑图 1.5(a) 上所画的那种均匀棱柱形浮体,当仅有重力和浮力作用时,物体是铅直浮动的,如图 1.5(b) 所画的那样。如果有一个外部力偶作用在该物体上,该物体便会倾斜,如图 1.5(c) 所示的一样。当外部力偶撤除,物体便在力矩 M 的作用下转动,力矩 M 由下式给出

$$M = W \overline{gm'} \sin \theta \quad (1.5)$$

其中 $\overline{gm'}$ 是物体的重心到 m' 之间的距离, m' 是过浮心新位置 b' 的垂直线与物体中心轴的交点 (见图 1.5(c)) 如果 m' 在 g 之上,力矩 M 会扶正物体 (正恢复力矩)。如果 m' 在 g 之下,物体便会倾覆。物体铅直时的 m' 点的位置 (如图 1.5(b) 上的 m 点),叫做稳心。

稳距

浮体的稳距定义为