

〔日〕 望月重 小林浩 合著

87.52

wyz

342137

海洋建筑物 的设计与实例

HAIYANGJIANZHUWU

DE SHEJI YU SHILI



海洋出版社

海洋建筑物的设计与实例

[日] 望月 重 著
小林 浩

天津大学海工教研室 合 译
大连工学院海工教研室

王 世 勤 校

海 洋 出 版 社

1983年·北 京

内 容 提 要

本书对海洋结构物的基本设计理论有全面阐述,并附有设计实例,内容精湛、构思新颖、设计先进,是海洋工程设计方面很有价值的书籍。

本书主要内容包括:海洋和海洋结构物的基本知识,波浪理论,海洋结构物的静力、动力分析,在随机荷载作用下的动力反应,浮体摇摆,海洋结构物的设计要点、设计程序和实例等。

本书可供从事海洋工程设计和科研的技术人员、高等工业院校海洋工程专业师生使用,亦可供广大工程技术人员参考。

海洋建筑物的设计与实例

[日] 望月 重 著
小林 浩

天津大学海工教研室 合 译
大连工学院海工教研室

王 世 勤 校

海 洋 出 版 社 出 版

(北京复兴门外海贸大楼)

北京景山学校印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1983年2月第1版 1983年2月第1次印刷

开本: 787×1092 1/32 印张: 13 1/16

字数: 250,000 印数: 1—2,300

统一书号: 13193·0112 定 价: 2.60元

译 序

本书系根据日本鹿岛出版会1976年版。望月 重和小林浩合著的《海洋建築物の設計と實際》一书译出的。该书内容丰富实用，对海洋结构物的基本知识、设计基础理论、结构的静力和动力分析、设计要点和设计程序等各方面均有较全面的阐述，并附有设计实例。

当前，我国海洋开发事业正迅速发展，例如海上交通运输、海上油（气）资源的开发和利用等，而这方面的书籍匮乏。能有这样一本书供从事海洋工程方面的设计、科研、教学人员参考，将对我国海洋开发事业有所裨益。

参加本书翻译工作的有：第一、二、三章俞聿修，第四、五章和序言史庆增，第六章石木森，第七、八章李淑琴，第九、十章马良；由马良、史庆增、俞聿修等进行校对，最后由王世勤审校。由于本书涉及的专业面广，译、校者水平有限，如有不当之处，请予指正。

译 者

序 言

近年来，海洋开发事业可以说已经摆脱了过去一段时间内形形色色的幻想，正面临对严酷的现实进行扎扎实实努力的阶段。正因为如此，所以发展技术的任务是艰巨的，其高度进展的形势也是明显的，因而，未来的海洋开发事业无疑将要不断发展，作为工业体系，它将和信息技术、宇宙开发、原子能工业以及城市建设等同样有必要进行大规模的规划，共同成为二十一世纪的课题。

日本本土资源贫乏，由于严重的土地问题和公害问题，使得海洋资源开发、海洋空间的有效利用以及海洋保护，成为海洋开发事业中三个关键问题。其中，如果具体提到海洋空间的有效利用，它就包括海底住所、海洋观光设施、海洋仓库、海上机场、海上城市、海上综合工厂等等。这些结构物无论在设计方面也好，在工艺方面也好，所应用的知识不可否认都属于建筑方面的范畴，因而本书取名为《海洋建筑物的设计与实例》。

海洋建筑物一词，至今尚无明确的定义，本书的组成及其内容是否果真能与书名完全吻合尚属疑问。然而，作者至少力图把本书供作正在学习建筑工程的学生以及专门从事海洋建筑的技术人员进行海洋结构物设计的入门指导。因此，本书力求严格地反映海洋开发中技术发展的重要现实，而不单纯是知识的罗列。为了先从根本上理解而后再灵活应用，故本书以设计理论为重点。这一点，在海洋结构物的设计规范尚未编制出的情况下，更显得特别必要。同时，由于海洋开发专门技术的多

样性，要求从事结构物设计的技术人员具有广泛的专门知识，因而本书内容的涉及面相当广泛，并不特定专门限于建筑、土木、船舶等某一方面。

本书首先在第一章绪论中，叙述了有关海洋结构物和海洋的知识。第二章流体和波浪及第三章海洋的波浪，详细介绍了流体力学及波浪理论。第四章结构分析与第五章动力分析虽然也包括了一般性内容，但都与分析海洋结构物的运动状态有关。第六章浮体的摇摆是漂浮式海洋结构物中与系泊有关的重要问题，该章还特别提出了漂浮式海洋结构物与着底式海洋结构物在动力分析方面的区别。关于受随机自然荷载的结构物动力反应问题，于第七章动力反应分析中解决。在以上知识的基础上，介绍了第八章海洋结构物的设计要点。第九章海洋结构物的设计，参考了日本各种结构物的设计指南、技术规范，并汇总成资料以供查阅。第十章海洋建筑物的设计实例，举出了海中了望塔和海上机场两个实例。

日本在海洋结构物设计方面，以前还没有以建筑工程技术人员为读者对象的书籍。在此之际，将本书作为《海洋建筑物的设计与实例》一书出版，作者一方面怀有一定的期望，另一方面也有些担心，如果本书能对欲学习海洋结构物设计的人们有所帮助的话，作者就喜出望外了。

最后，对于曾和作者一起在哥伦比亚大学(纽约)学习过，并在我们留学期间和以后给予我们许多指导的 M. 萨巴多里教授致以谢意。

望月 重

小林 浩

1976年9月28日

目 录

第一章 绪论	1
1.1 海洋结构物	1
1.1.1 海洋开发	1
1.1.2 海洋结构物的定义	4
1.1.3 海洋结构物的分类	6
1.2 海洋	7
1.2.1 海洋的范围	8
1.2.2 海底的地形	8
1.2.3 海水的性质	9
1.2.4 含盐度和水温的分布	19
1.2.5 海中的环境	21
1.2.6 风	23
1.2.7 波浪	28
1.2.8 海流和潮流	33
第二章 流体和波浪	38
2.1 海水的运动	38
2.1.1 运动的表示	38
2.1.2 连续条件	42
2.1.3 运动的规则	47
2.1.4 运动的种类	52
2.2 波动方程式及其解	57
2.2.1 波动方程式的导入	57
2.2.2 波动方程式的解	60
2.2.3 行进波和立波	62

2.3 浅水波	63
2.3.1 作为浅水波的微幅波	64
2.3.2 斯托克司波	70
2.4 深水波	73
2.4.1 作为深水波的微幅波	73
2.4.2 余摆线波	75
2.5 极浅水波	76
2.5.1 作为极浅水波的微幅波	76
2.5.2 椭圆余弦波和孤立波	77
2.6 波动能量和波群速	79
2.6.1 位能和动能	79
2.6.2 微幅波的能量	80
2.6.3 波群速	81
第三章 海洋的波浪	83
3.1 波浪的产生与发展	83
3.1.1 共振理论和不稳定性理论	83
3.1.2 波的能量谱密度	84
3.2 海面的表示	85
3.2.1 海面的谱	86
3.2.2 频率谱和有效波的关系	89
3.3 波浪推算	89
3.3.1 深水波的推算	90
3.3.2 浅水波的推算	91
3.4 观测资料的统计处理	95
3.4.1 观测资料的表示	95
3.4.2 概率分布函数	99
第四章 结构分析	104
4.1 结构分析的基础	104
4.1.1 应力与应变的关系	104
4.1.2 构件的应变	108

4.2 杆系结构	111
4.2.1 桁架分析	112
4.2.2 由变位法解刚架结构	113
4.2.3 由矩阵法解刚架结构	120
4.2.4 杆系结构的稳定	127
4.3 平板结构	130
4.3.1 矩形板的基本方程式	130
4.3.2 矩形板的分析	134
4.3.3 周边支承的圆板及其分析	143
4.3.4 平板的稳定	147
4.4 壳体结构(曲板结构)	149
4.4.1 薄壳	149
4.4.2 按薄膜理论求解壳体	156
4.4.3 按有矩理论分析圆筒壳	161
4.4.4 壳体的稳定	164
第五章 动力分析	166
5.1 质点系的振动分析	166
5.1.1 质点系的运动方程式	166
5.1.2 自由振动	170
5.1.3 强迫振动	173
5.2 在非压缩性流体中的振动	176
5.2.1 振动系统的运动方程式	177
5.2.2 质点系在水中的振动	182
5.2.3 板在水中的振动	185
5.2.4 球壳在水中的振动	187
5.3 在压缩性流体中的振动	190
5.3.1 流体的速度势	191
5.3.2 球壳的振动	192
第六章 浮体的摇摆	194
6.1 浮体的稳性	194

6.1.1 稳性指标	194
6.1.2 由浮体倾斜而使重心变化的影响	195
6.2 摇摆	196
6.2.1 摇摆的表达式	197
6.2.2 作用于浮体上的力	200
6.2.3 浮体的运动方程式	217
6.2.4 弹性浮体的摇摆	219
第七章 动力反应分析	222
7.1 不规则荷载引起的振动	222
7.1.1 随机过程	223
7.1.2 随机过程的有关定理	222
7.1.3 结构物的反应	225
7.2 风引起的结构物振动	229
7.2.1 风力作用下海洋结构物的运动方程式	229
7.2.2 结构物的反应	230
7.3 波浪引起的结构物振动	232
7.3.1 波浪作用下海洋结构物的运动方程式	232
7.3.2 结构物的反应	233
7.4 动力反应分析的步骤	238
第八章 海洋结构物的设计要点	240
8.1 自然荷载	240
8.1.1 风力	240
8.1.2 水流力	245
8.1.3 波浪力	246
8.1.4 雪荷载	259
8.1.5 冰荷载	259
8.1.6 地震力	260
8.2 典型的基本结构单元	262
8.2.1 桩式结构	262
8.2.2 承受静水压力的壳体结构	272

8.2.3 承受波力的壳体结构	282
8.2.4 浮式结构物	288
8.3 浮体的系泊	299
8.3.1 多点系泊浮体的水平运动	299
8.3.2 多点系泊浮体的垂直运动	305
8.4 基础及海底地基	313
8.4.1 基础	314
8.4.2 挡土墙	325
8.4.3 锚	331
8.4.4 冲刷及海底滑动	333
第九章 海洋结构物的设计	336
9.1 设计条件	336
9.1.1 使用条件	336
9.1.2 自然条件	333
9.2 设计程序	342
9.2.1 结构设计	342
9.2.2 设计荷载	344
9.2.3 施工期荷载	356
9.2.4 荷载组合	356
9.2.5 材料和容许应力	360
9.2.6 结构型式和尺度的确定	364
9.2.7 施工方法的探讨	369
9.3 建设规划	370
第十章 海洋建筑物的设计实例	371
10.1 设计原则	371
10.2 海中了望塔	371
10.2.1 海中了望塔建设的背景	371
10.2.2 足摺海中了望塔	372
10.3 海上机场	380

10.3.1 海上机场的现实性.....	380
10.3.2 “浮莱儿”(FLAIR)海上机场	381

参考文献.....	397
索 引.....	398

第一章 绪 论

1.1 海洋结构物

随着海洋开发事业的进展,目前所建造的海洋结构物的种类和数量正在逐年增加。过去在海洋中,有港湾和海岸的防波堤,还有外海的船舶,这些都是广义的海洋结构物,但随着海洋开发的进展而将要建造的新的海洋结构物究竟是怎样的呢?

1.1.1 海洋开发

(a) 海洋开发的必要性

占地球表面积70.8%的海洋被称为人类残存的宝库。海洋自古以来就被作为渔场和航道,但以前对海洋的利用只限于此而已,远不能与陆地相比。由于文化发展或人口增长而造成的资源不足和空间不足的危机,促使海洋资源开发和海洋空间的开发成为必要。在原子能开发和宇宙开发之后,人类便以进取的精神,着手于海洋的开发。现在除了传统的水产业之外,已经能从海洋中开采以石油为主的矿物资源;除了防波堤以外,能在深至百米的海底设置石油钻井平台和贮油罐。而且还制定了建造海上机场、海上城市等新型海洋结构物的计划,同时,还致力于海洋调查和海洋安全保障工作等。

(b) 活动范围

海洋开发大致可分为资源开发、空间开发以及海洋调查和安全保障等,其活动范围如下:

—资源开发

- 水产物
- 矿物
- 能源

海洋开发——空间开发

- 运输、通讯
- 贮藏、工厂用地
- 娱乐游览
- 生活空间

—调查和安全保障

(1) 资源开发

对鱼贝、海藻等水产物的捕捞不是近代才开始的，但在养殖渔业以及由此发展的海洋牧场等方面，增加人工因素以期提高水产效率，乃是海洋开发活动范围的一部分。

海底油田的产量在 1972 年已占世界石油产量的 14% 和天然气产量的 12%^①。此外，在大洋的海盆底积聚着巨量的锰核瘤 (*manganese nodule*)，对它的开采研究工作也在进行。人们对制盐是非常熟悉的，但从海水中提取所含的各种微量元素，也是目前的活动范畴。在雨水稀少地区，海水淡化 (*desalination*) 正在实施，但在成本方面还有问题。然而，即使在日本，对于因人口向大城市集中而引起的水源不足问题，海水淡化也可考虑作为一种解决的办法。在美国，也有和海上原子能发电站联合的海水淡化工厂的计划^②。

① L. G. ウィークス：海洋石油資源の開発動向と展望（国連提出の報告書に基づく論文），*Chemical Economy & Engineering Review*, Aug. 1973..

② 美国加利福尼亚州普罗什基沿海，造水量为 150,000,000 加仑/日。

海水作为无公害的洁净能源而引人注目，已经部分地实现了潮汐发电、波浪发电^①，利用海水深处与海面附近的海水热交换进行的温差发电亦处于研制阶段。

(2) 空间开发

利用于海洋运输和通讯的，已有船舶作为运输和交通工具，而后有港湾建筑、海岸整治和海底管线等。为管线或通讯用的外海中继基地的建设、深水港口或外海泊位的计划、海上机场，以及潜水油轮的设想等，都是今后空间开发的范畴。

除在海上油田建造海底贮油罐^②外，还有在石油消费地点设置海洋石油中转基地 (*central terminal station, CTS*) 和石油储备基地的计划。由于工厂用地紧张，正拟利用海洋空间建立海上生产或垃圾处理工厂。日本的海上垃圾处理工厂和美国的海上原子能发电站^③的计划就是其例。

为娱乐游览用的海洋空间的开发，是今后要发展的一个活动领域。目前，在这方面的主要内容是作为小艇停泊设施的系船池 (*marina*) 或作为游览设施的海中了望塔以及海上餐厅等。

关于利用海洋作为生活空间，有海上城市的研究^④。对于海底住所，各国正在进行实验，这对于海中水下施工是有用的。因为随着潜水深度的增大，为了防止患潜水病，起浮和到水上所必需的滞留时间要延长，所以每天扣除起浮到水上滞留时间以外的实际作业时间就非常少了。

(3) 调查与安全保障

-
- ① 法国普罗达纽地区拉罗什河口的潮汐发电站，年发电能力为 544×10^6 度。
 - ② 在阿拉伯湾迪拜沿海水深 46 米的 50 万桶贮油罐，在北海水深 70 米的 100 万桶贮油罐等。
 - ③ 美国新泽西州阿塔拉哥斯奇海面，发电能力为 115 万度。
 - ④ 例如夏威夷大学的海上城市的设想。

为使海洋开发活动能持续进行，海洋调查和安全保障工作是必要的，而且随着海洋开发的进展将愈显出其重要性。美国 and 苏联出于军事目的正在积极进行海洋调查，而日本以前由于无此目的，以致这方面相当落后。现在海洋安全保障正引起全世界的注意，日本也表示了极大的关切。可以说，只有推进海洋调查及海洋安全保障工作，才能进行海洋开发。

在包罗万象的海洋开发领域中，不同的国家有着不同的开发重点。在日本可能是由于国土面积窄小，所以主要倾向是空间开发；但在美国主要目标则是以海底石油为主的资源开发。与陆地上相比，对海洋加以最大限度地有效利用，将是海洋开发工作的中心。为海洋开发而建设的海洋结构物的方向也是同样的。海洋结构物是非在海上建设不可、或是比建在陆地上更有利的结构物，其主要倾向亦随时间的推移而变化。

1.1.2 海洋结构物的定义

海洋结构物有各式各样的定义，为海洋开发所建造的结构物都是海洋结构物。但与这样广义的海洋结构物相反，本书却以“在海洋自然环境中使用的位置基本固定的结构物”这种狭义的海洋结构物为对象。

虽然设置在海洋的石油钻井平台与陆地上铁塔类似，但它却是海洋结构物。因为海洋的自然环境与陆地不一样，虽然结构类似，而在设计建造方面却有很大不同之处。具有移动性特点的船舶的设计建造技术已成熟，没有必要将它作为海洋结构物。狭义海洋结构物的“位置基本固定”是相对于船舶的移动性而言的，它包括每隔一定时间移动的、旨在欣赏景色变化而盛行的海上城市，及在沿岸建造后再往海外拖运设置的贮油罐等。

(1) 沿岸结构物

如用离岸距离或一般与它成比例的水深来区分海洋结构物时，可分为沿岸结构物 (*coastal structure*) 和外海结构物 (*offshore structure*)。目前，在日本建造的海洋结构物中，大部分是防波堤、海底管线、海底隧道、外海泊位、取水排水管路等沿岸结构物。除防波堤 (*breakwater*) 外，还有吹填地等的护岸 (*revetment*)、为保护沙滩从海岸伸出的突堤或丁坝 (*jetty, groin*) 和与海岸平行的离岸堤 (*detached breakwater*)、系船岸壁以及防护海岸的堤防等，但把堤防等叫做海洋结构物总觉得不十分确切。这些沿岸结构物的设计和施工技术已经比较成熟，参考文献也不胜枚举。因此，这里将以新的沿岸结构物和外海结构物作为对象。

(2) 外海结构物

外海结构物也可用与沿岸结构物相同的方法进行设计，但它需要研究的问题相当多，并且在施工方面有许多不同之处。虽然作为沿岸结构物也能施工，但在外海往往就不能施工。例如，作为沿岸结构物典型例子的直立堤 (*upright breakwater*)、斜坡堤 (*rubble mound breakwater*)、混合堤 (*composite breakwater*) 等类的防波堤 (图-1.1)，在水深大于 30~40 米的外海，其施工技术将增加困难，施工费用方面将明显增大，甚至缺乏现实性。一般说来，沿岸结构物的技术经过改造也可适用于外海结构物，但由于海洋开发的多样性，与过去的沿岸结构物相比，外海结构物的种类要多得多，涉及的技术和必要的知识范围也将扩大。现在，作为外海结构物的深水港口或深水泊位、石油钻井平台、海洋贮油罐、海上机场和海上城市等不断增多，将来，还可能出现各种各样的结构物，这将使其更加多样化和复杂化。