

水产养殖工程

〔美〕F.W.惠顿 编著

中国水产科学研究院东海水产研究所
北京自动化系统工程设计院

译

农业出版社

水产养殖工程

〔美〕 F. W. 惠顿 编著

中国水产科学研究院东海水产研究所 译
北京自动化系统工程设计院

农业出版社

Aquacultural engineering
A Wiley Series edited by Michael
E. McCormick
Associate Editor: Rameswar Bhattacharyya
Fredrick W. Wheaton
A Wiley-Interscience publication, 1977.

水产养殖工程

〔美〕 F. W. 惠顿 编著

中国水产科学研究院东海水产研究所 译
北京自动化系统工程设计院

*** * ***

责任编辑 陈力行

农业出版社出版 (北京朝阳区枣营路)

新华书店北京发行所发行 农业出版社印刷厂印刷

850×1168 毫米 32 开本 19.75 印张 550 千字

1987 年 12 月第 1 版 1988 年 3 月北京第 1 次印刷

印数 1—2,380 册 定价 6.15 元

ISBN 7-109-00024-9/S·15

译 者 的 话

《海洋工程》是 M. E. 麦考密克和 R. 巴特查里亚负责编著的一套丛书。内容包括：海洋工程波动力学、海洋腐蚀、海洋运载工具动力学、海岸工程、海上建筑物、水产养殖工程和地质工程或海底工程。其中水产养殖工程由 F. W. 惠顿负责编著。

本书内容丰富，共分两大部分。作者收集了大量的有关水产养殖方面的物理学、化学、生物学以及设计方面的数据。重点介绍水产养殖、渔业以及其他水生环境系统的技术工程方面的问题。第一部分集中介绍环境与水生生物的相互关系。概述了养殖学家和渔民感兴趣的水生环境的物理学和生物学等方面的各种参数。另外从工程师的角度，讨论了这些参数对水生生物的影响及其重要性。第二部分着重叙述养殖工程的一般原理，并提供大量的设计资料。

《水产养殖工程》是一门新的学科，在国外发展较快，本书的出版对发展我国现代化水产养殖事业有一定的参考价值。在翻译的过程中，我们作了删节。

本书可供综合性大学生物系、农林院校农业工程系、海洋院校海洋工程系、水产院校养殖系、从事水产养殖工程研究的科研人员以及实际水产工作者，特别是养殖工作者参考用。

本书是在中国水产科学研究院东海水产研究所和北京市自动化系统工程设计院主持下，由陆忠康、唐小曼、许文苡、李文兰、谢营梁、杨守权、程德保和葛爱芬等同志集体翻译的，并相互校对，最后由陆忠康和程德保共同负责全书的整理工作。在翻译过程中，承蒙刘桂珠、范重山、李集诚、沈金敖和裴国奎等同志对本书部分章节进行校订修改，以及本书第一部分图由郑福麟绘制，谨致衷心感谢。

译 者

一九八一年八月

丛 书 序 言

海洋工程是一门既古老而崭新的学科。所谓古老是人类本身几千年来关心着海洋令人困惑的具体情况，而船舶建造、海滩侵蚀防护以及海上建筑物的建造都是长期以来专家们发展起来的几个专业。然而直至最近，这些成就往往被限止在特定地区。直到最近的十年，从事海洋学研究的技术专家们才在“海洋工程”的领域内进行合作。所以，海洋工程是一门新兴的学科。

海洋工程是一套著名的丛书，将向工程师和科学家们介绍各地区的海洋工程。该丛书便于工程师和科学家们学习本专业外的基本原理和技术。本丛书也可作为大学高年级的教科书和研究生的入门课程。主要内容包括海洋工程波动力学、海洋腐蚀、海岸工程、海洋运载工具动力学、海上建筑物、水产养殖工程和地质工学或海底工程。我们认为该丛书广泛收集了海洋工程方面的文献。

主 编 M. E. 麦考密克

副主编 R. 巴特塔查里亚

一九七二年十一月

序 言

水产养殖工程是把工程原理和方法应用到渔业和水生生物养殖上。水产养殖不是一项新的事业，与水产养殖工程是不同的。最早的养鱼池在二千多年以前就有了。然而水产养殖未得到重视，人们将精力用在农业上或从事其他的实践。因此，水产养殖进展较慢，部分原因是水产养殖中所化力量要比农业少；部分还由于人们认为栖息在水生环境系统中的动物比人类等呼吸空气的动物更难了解。

今天要使农业或水产养殖业的迅速发展，要作长期的努力。需要付出相当大的代价。发达国家能够提供必要的投资，而发展中国家往往把有限的资金集中用在农业上。遗憾的是，大多数高度发达的国家不仅能够提供超过他们所需要的更多的食品，而且允许进口必需的食品。发达国家对增加水产养殖投资的兴趣并不大。许多发展中国家把水产养殖作为蛋白质的一个重要来源，但他们缺少资金来实施庞大的水产养殖研究计划。

生物学方面许多研究表明，传统渔业正接近海洋和主要淡水水域能够提供的最大可捕量。鉴于这一认识，加之世界水产品需要量的增加，激发了人们对水产养殖的兴趣迅速增长，甚至发达国家亦如此。许多国家物质财富的增长导致世界需求量的增长，并且急需更多的蛋白质满足增长者的人口需要。

幸而，许多水生生物的生物学研究的历史悠久，这些研究的结果，成为可行的商业性水产养殖的基础。然而，这种生物学基本数据还很不完善。例如，牡蛎作为生物学科学的研究课题至少有100年了，早在罗马帝国时代之前就已开始采捕牡蛎。尽管历史悠久，但是从未研究过配制饵料，它是为牡蛎苗养成至销售规格的牡蛎提

供的均衡的食料。事实上，我们并不知道牡蛎的均衡饵料应当用什么成分配制。

尽管本书中生物学基础资料感到不足，但是，资料的数量还是相当可观的。然而，根据初步的研究，对现有的知识，用于发展试验性或商业性水产养殖系统是有帮助的。将科学知识运用到实用的和经济上可行的系统中，以生产更多的水产品是工程师和经济学家研究领域。本书重点介绍水产养殖、渔业以及其他水生环境系统的工程技术问题，重点放在利用水产资源生产食品和纤维质的技术问题上。把这种技术应用到经济上可行的企业中时，仅偶尔涉及经济问题。由于水产养殖工程是如此广阔的领域，一本书内不可能尽述无遗，因此特意地作了一些删节。详细地讨论经济方面问题，可能会超出水产养殖工程的领域。同样原因，水产品加工虽然也属于水产养殖工程，但没有包括在内。

本书分两部分介绍水产养殖工程。第一部分集中介绍环境与水生生物的相互关系。讲解各种水生环境的物理和生物学参数（淡水、海水以及咸淡水）。并从工程师的观点，讨论这些参数对水生生物的影响及其重要性。所做的工作，不是详细讲述养殖对象或栖息场所，而是介绍一些基本原理，然而有些情况下，介绍一些具体的数据（如各种水生生物的耐温范围等）。

第二部分着重介绍水产养殖方面的工程，以通俗的语言介绍养殖工程的问题。不仅工程师，还有生物学家、水产养殖学家、学生以及其他学过基础化学和代数的人均易理解。这里只着重介绍基本原理，而不是特殊系统的设计方法。打算对各章标题代表领域内现有的知识加以概述，并尽可能提供设计资料。

本书的某些章节也提供了物理学、生物学以及手册性的设计资料，适合于水产养殖工程师、生物学家、养殖场管理人员、水产养殖学家以及其他有关水生生物养殖或渔业方面工作人员使用。

本书采用国际单位制。不过有两个例外，例如：litre（升）一词有两种拼法，美国使用 litre（升）在单独做单位时，要写整个词，当与另一个词连用时，要缩写（如 10 liters, 10ml）。第二

个例外是本书中采用摄氏温标，不用国际单位制采纳的开氏温标。这样做有助于理解。因为摄氏温标使用较普遍又是线性刻度。

本书写作的准备工作承蒙各位帮助才得以完成的。在此表示感谢。

F. W. 惠顿

一九七七年六月于马里兰大学

目 录

第一篇 天然水生环境系统

第一章 水产养殖的意义.....	1
一、人口	1
二、世界食品的需要量	2
三、农业	4
四、渔业	11
五、水产养殖	17
参考文献	27
第二章 水的特性	30
一、化学结构	30
二、硬度	31
三、盐度	32
四、汽化潜热	34
五、溶解潜热	34
六、比热	36
七、密度	37
八、粘滞度	39
九、热导率	42
十、表面张力	43
十一、氢离子浓度	45
十二、蒸汽压	45
十三、渗透压	48
十四、透明度	50
十五、水色	53
十六、折射率	53
十七、摘要	54

参考文献	55
第三章 水系的能量	58
一、辐射能	58
二、热的特性	69
三、温度和水生生物的相互作用	84
参考文献	103
第四章 氧	107
一、淡水水系	111
二、海水水系	115
三、半咸水水系	117
四、氧和水生生物	118
参考文献	125
第五章 二氧化碳及其他气体	127
一、缓冲系统	127
二、淡水水系	132
三、海水水系	135
四、半咸水水系	137
五、二氧化碳对水生生物的影响	138
六、氮	140
七、甲烷	140
八、硫化氢	141
九、其他气体	142
参考文献	142
第六章 水系中的营养物	144
一、营养物的必要性	144
二、营养物的循环	148
三、淡水水系	159
四、海水水系	170
五、营养物对生物世界的影响	176
参考文献	189

第二篇 水产养殖系统设计

第七章 改进的养殖系统	193
-------------------	-----

一、天然系统	194
二、半封闭系统	203
三、封闭系统	204
参考文献	206
第八章 水产养殖场的供水	207
一、水量	207
二、水质	209
三、水源	211
四、摘要	221
参考文献	222
第九章 流体	223
一、流体静力学	224
二、流体动力学	232
三、明渠水流	245
参考文献	255
第十章 流量和液位检测仪表	257
一、液位传感	257
二、液体流量测量	267
参考文献	310
第十一章 泵	312
一、定义	312
二、泵的分类	315
三、离心泵	315
四、回转泵	330
五、往复泵	342
六、空气扬液泵	347
七、泵的选配	355
八、泵的能源	359
参考文献	361
第十二章 池塘、水槽和其他蓄水结构	364
一、池塘	364
二、长条水池	381

三、水槽	384
四、网箱结构	398
参考文献	405
第十三章 过滤	409
一、机械过滤器	410
二、重力分离	446
三、化学滤器	459
四、生物滤器	491
五、脱氮滤器	527
六、植物性滤器	530
七、提要	531
参考文献	532
第十四章 消毒	545
一、氯化作用	548
二、加热	551
三、紫外线	553
四、臭氧	570
五、消毒方法的比较	576
参考文献	577
第十五章 增氧	583
一、氧气输送过程	583
二、增氧机的类型	586
三、增氧机的选择	611
四、蓄水充氧	612
参考文献	613

第一篇 天然水生环境系统

第一章 水产养殖的意义

水产养殖业是指水生环境系统中生物体的生产、加工和销售。虽然对大家来讲，水产养殖是一个比较新的领域。可是，水产养殖业已有数千年的历史了。在古代中国、日本早已从事养殖业，另外，在远东从事水产养殖的实践已有许多世纪。范蠡著的第一部关于水产养殖的专著早在公元前 475 年已出版 (Milne, 1973)。古代远东著作和文献是水产养殖活动和设备的历史记录。古希腊和罗马的许多学者介绍过牡蛎养殖以及其他水产养殖活动。

今天，可能除南极洲大陆外，世界上每一个国家均从事一些水产养殖实践。那为什么许多国家把水产养殖作为一个新兴发展的事业呢？原因很多，而直接或间接的原因有以下五个：世界人口迅速增长；食品短缺，特别是廉价的高质量蛋白质的不足；渔业生产正接近最高持续产量；农业生产不能满足世界许多地区人口迅速增长的需要；世界上由于许多地区人们的生活水平的提高需要更多的食品。

一、人 口

全世界每年增长人口约 7,500 万 (Demeny, 1974)。目前世界人口增长率为 20%。人口的这个增长率已有数百年的历史。按照目前的增长率，大约在 35 年内，世界人口将成倍地增长 (Coale, 1974)。几个国家的估计表明，到公元二千年时，世界人口将从 1973 年 39 亿增加到 64 亿 (Coale, 1974)。

世界人口统计是不乐观的，但并没有告诉我们全部情况。发展中国家的人口大约 29 亿，或为目前世界人口的 74% (Demeny, 1974)。然而，同样这些国家，每年人口增长数超过 6,000 万，占世界人口增长数的 80% (Demeny, 1974)。因此，每年人口增长主要比率是在不发达的国家，这些国家不大有办法控制人口的增长。

发达国家的人口历史表明，为降低人口增长率提供了希望。发达国家的情况是，在十八世纪特别是十九世纪，人口增长率较高。工业化愈发达，人口增长率愈低。今天，许多发达国家出生率长期来接近于零。这个趋势的原因还不清楚。我们知道提高食品利用率，极大地改进医疗管理，降低死亡率，从而增加人的平均寿命。减少死亡率，看来是由于世界人口迅速增长。发达国家中出生率下降，但若干年后，根据概率统计求得的估计寿命的增长率降低了。看来是由于个人的选择，出生率下降造成的。至少发达国家培养儿童的费用上升，是人口出生率下降的部分原因。

如果目前发展中国家的出生率下降，世界人口增长率则将开始逐渐减慢。然而，这表明，即使所有国家出生率降低到 1980 年人口的增长水平，世界人口将少于 63 亿。到公元 2000 年，如果所有国家达到了补充出生率较实际的目标，到 2050 年，世界人口约为 82 亿。不发达国家将补充 40 亿人口，占发展中国家人口的 90% 以上。不恰当地估计人口的稳定数，世界人口将可能达到 100—150 亿。因而有些短期的普遍灾难性事件，我们必须储备和提供以后 50—100 年内目前人口 2—4 倍的生活必需的食物。

二、世界食品的需要量

“足够的食品”为人们生存提供更多的热量。食物必须与能量、蛋白质、维生素以及矿物质来源保持平衡。一个体重 77kg 成年男人视其活动量，每天大约需要 8.3 和 25MJ 的能量。食物中含有 8.3—10.5MJ，看来是较合理的平均数。对妇女来讲，除了怀孕

和哺乳外，一般需要热量较少。根据 Desrosier (1961) 得出的方程 1.1 和 1.2 分别计算成年男人和妇女基础代谢的近似值。

成年男人：

$$\begin{aligned} \text{每天需要的能量} = & [130 + 11.02 (\text{体重 kg}) \\ & + 4.72 (\text{高度 cm}) - 7 (\text{年龄})] \\ & 4.18 \qquad \qquad \qquad (1.1) \end{aligned}$$

成年妇女

$$\begin{aligned} \text{每天需要的能量} = & [660 + 8.82 (\text{体重 kg}) \\ & + 1.97 (\text{高度 cm}) - 5 (\text{年龄})] \\ & 4.18 \qquad \qquad \qquad (1.2) \end{aligned}$$

因此，一个 35 岁成年男人，身高 172.7cm，体重 72.6kg，如果不活动，每天将需要能量 6.3MJ，刚好维持他生存。同样，一个 35 岁成年妇女，体重 49.9kg，身高 165cm，每天需要能量 5.2MJ 来维持她的基础代谢。

一个成年男人平均体重 57—77kg，每天需要蛋白质 70g，一个妇女平均体重 54—56kg，每天需要大约蛋白质 60g (Desrosier, 1961)。另外，在食物中必须加入必要的维生素和矿物质。

假定平均每个人每天需要 8.3MJ 的能量和 65g 蛋白质，能够算出全世界人口每天食物的需要量。采用 Freedman 和 Berelson (1974) 提供的 38 亿 6 千万人口计算，全世界人口每天需要 $32.2 \times 10^{15} \text{J}$ 的能量和 $2.5 \times 10^8 \text{kg}$ 蛋白质。由于我们每年人口增加 8,000 万 (每天 219,000 人)，每天需要增加 1.83GJ 的能量，蛋白质需要量每天增长率为 $1.4 \times 10^4 \text{kg}$ 。

供给居民的食物和纤维素的利用率，取决于资源的利用率以及是否利用得当。资源利用包括土地、水、营养、能量 (太阳、原子核、动物、人以及矿物燃料)、科学和技术知识等。1798 年当马尔萨斯提出他的人口论 (即人口受到食品供应的限制时，因为人口增长按几何级数，而食品供应按算术级数)，他认为，只有土地和水，人类和动物能作为食品生产资源。其他资源的利用率是一个主要原因，马尔萨斯的极端预示尚未成为事实。

今天，食品生产包括三个主要部分：农业、渔业和水产养殖。农业部分的比重最大，与渔业和水产养殖相比较，可能因为人类需要消耗更多的能量，长时期致力于发展农业。除了原始养殖和为了消遣之外，农业已代替了狩猎业，作为世界食物的主要来源。农业早在大约一万年以前开始耕作。渔业可以追溯到有历史记录的年代之前。很可能渔业生产食品的方式，要比农业更古老。但由于各种原因，没有被人们所重视，而集中力量致力于农业。渔业总产量是高的，但与农业相比较，就规模讲，相对地受到限制。虽然水产养殖至少在公元前 500 年就已问世，但水产养殖仍是食品生产的最新部门。目前水产养殖生产的食品不到世界总食品供应的 1%。

由于食品（和纤维素）生产取决于资源的利用，让我们来看按照每种资源利用的三种食品生产部分。

三、农 业

农业是耕地、生产粮食以及饲养家畜为科学和技术，大约在一万年前就已问世。人们传统生活上在陆地上，集中饲养家畜种植庄稼，农业已受到陆地面积的限制。土地是农业最重要的资源。水约占地球表面 71%，陆地仅占 29%。表 1.1 详述了总陆地面积，并

表 1.1 大陆附近大陆架面积，陆地面积以及陆地面积与陆架面积之比

大 陆	陆地面积($\text{km}^2 \times 10^6$) ^a	大陆架面积($\text{km}^2 \times 10^6$) ^b	陆地面积与陆架面积之比
亚洲 ^c	44.96	9.38	4.79
非洲	30.31	1.28	23.68
欧洲 ^c	9.90	3.11	3.18
南美洲	17.83	2.43	7.34
北美洲	24.25	6.74	3.60
大洋洲	8.51	2.70	3.15
南极洲	15.54	0.36	43.17
世界	151.30	26.00	5.82

a. 资料引自 Information Please Almanac, 1974, p 371 -

b. E. Kossinna, "Die Erdoberfläche", Handbuch der Geophysik, 1933

c. 苏联面积包括亚洲一部分和欧洲一部分

表明其中大陆所占的比例。

亚洲面积最大，顺序是，非洲、北美洲、南美洲、南极洲、欧洲以及大洋洲。令人遗憾的，并不是所有陆地都可用于生产。全世界未利用的和需要改造的可耕地估计有32亿公顷（Science Advisory Committee, 1967）。可耕地约为世界总陆地面积的24%，大约为目前耕地面积的2.3倍。约为特定年份实际收获面积的3倍，因为有相当的土地需要休闲（Revelle, 1974）。

即使可耕地面积有32亿公顷，在一些条件恶劣的地区，约有5亿公顷土地，位于潮湿热带，目前没有适当的技术在这些地区进行精耕细作。由于缺水，第二种生产来源，还有3亿公顷的可耕地的使用受到限制。虽然人们今天主要用水是为灌溉，世界河流量仅有4%左右用来灌溉，已足够于灌溉约16,000万公顷或占世界陆地面积的1%。然而，因为雨量和径流量分布不均匀，地球整个表面上，能实际灌溉的仅为灌溉可耕地的30%左右（大约9,000万公顷）。灌溉，将能使大面积上多收庄稼。因此，用于灌溉的潜在的总播种面积（即潜在的可耕地面积，安排种庄稼，按每年四个月生长季来计算）约11亿公顷（Revelle, 1974）。

考虑到湿润热带陆地和缺乏足够水的陆地，潜在可耕地约25亿公顷。潜在总耕地面积差不多有41亿公顷。Revelle(1974)认为，如果留出10%土地用来从事非食物类生产，如果所有这些土地采用科学方法耕种和获得相当于美国衣阿华玉米田所得到的生产投资，则按1.67—2.09MJ食物计算，这些土地能维持380—480亿人民的生活。显然后一个假定，在目前的技术和经济条件下是不能达到的。许多尚未利用的潜在土地质量很差，可能永远不会达到美国衣阿华玉米田那样高的产量。衣阿华玉米是种植在世界上最肥沃的土地上的。要使这些边沿地区的土地投入生产，需要花费相当大的资金，每公顷约为500—1,000美元（Revelle, 1974）。

图1.1表明，除了目前各大陆尚未耕作的可耕地和世界各大陆人口的百分比。剩余的能进行生产的土地大部分都集中在人口最少的地区。新开发的耕地面积将主要集中在非洲、北美、南美、澳大