



全国高等农业院校教材
全国高等农业院校教学指导委员会审定

水产养殖工程学

水产养殖类专业用

黄朝禧 主编



中国农业出版社

全国高等农业院校教材
全国高等农业院校教学指导委员会审定

水产养殖工程学

黄朝禧 主编

水产养殖类专业用

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

水产养殖工程学/黄朝禧主编. —北京: 中国农业出版社, 2005.4

全国高等农业院校教材

ISBN 7-109-09819-2

I. 水... II. 黄... III. 水产养殖 - 高等学校 - 教材 IV. S96

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 035989 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100026)

出版人: 傅玉祥

责任编辑 武旭峰

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2005 年 5 月第 1 版 2005 年 5 月北京第 1 次印刷

开本: 787mm×960mm 1/16 印张: 24.5

字数: 434 千字

定价: 29.70 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

前 言



《水产养殖工程学》是高等农业院校水产类专业的一门主要课程。它的主要内容是介绍水产养殖工程学的基本理论和方法,特别是集约生态型养殖场的规划设计、鱼池系统工程、“三网”养殖工程、设施渔业工程等的技术特点和设计技能。通过本课程的学习,要求学生初步掌握养殖工程的基本理论、设计方法和施工要点,着力培养学生的创新能力。在系统学完本书内容后,基本能够承担水产养殖工程的规划、设计和施工任务,特别是具有设计现代工厂化养殖系统的能力,对工程的运行与管理也有一定认识和了解。

本教材为全国高等农业院校“十五”规划教材,由华中农业大学、大连水产学院、上海水产大学、湛江海洋大学、南京农业大学、山西农业大学、信阳农业高等专科学校等7所大学长期从事水产养殖工程学教学和科研工作的教师编写而成。本教材的编写大纲是在2003年11月召开的编写会议上,经过大家的广泛交流和充分讨论后确定的,基本反映了我国《水产养殖工程学》教学的成功实践和现代水产养殖工程的设计经验,并吸收了国外部分成熟的先进技术。全书由黄朝禧主编,李秀辰担任副主编,具体编写分工如下:第一章、第三章、第七章、第八章、第九章、第十一章的第二节至第五节、第十二章、第十四章的第二节、第十六章的第五节由黄朝禧编写;第二章、第五章、第十四章的第一节、第三节至第七节由陈刚编写;第四章、第六章由潘开宇编

写;第十章由赵凤岐编写;第十一章的第一节、第十三章、第十六章的第三节由刘永彪编写;第十一章的第六节至第八节由刘其根编写;第十五章由李秀辰编写;第十六章的第一节、第二节和第四节由唐衍力编写。

在编写人员中,有几位先后在欧美国家学习或进修过,实地考察了部分发达国家的水产养殖工程设施,学习和交流了经营管理经验。有的已完成了面向21世纪养殖工程学教学与课程改革研究项目,这些对编著本书都有很大的帮助和借鉴作用。

在拟定教材编写大纲时,考虑到各校安排的学时数不一样,在配置教材内容时,适当拓展了授课知识面,其出发点是既照顾到本教材内容全讲的学校,又顾及到只讲工程内容的学校,既适用于淡水养殖专业又适用于海水养殖专业,使之成为一本宽口径复合型的教科书。

本书由华中农业大学水产学院院长谢从新教授审稿,他在审稿过程中提出了许多宝贵的意见和建议,为提升书稿质量起了重要作用,在此深表感谢。

书中多数插图是由华中农业大学的胡小芳、洪建国和大连水产学院的刘洋等同志绘制的,在此表示衷心谢意。

在本教材编写过程中,参考和吸收了大量的已有成果,得到了中国农业出版社教材出版中心、华中农业大学教务处和部分兄弟院校教务处的大力支持与帮助,本书的责任编辑为其出版付出了辛勤的劳动,在此一并致以诚挚的谢意!

我国是一个具有悠久养鱼历史的国家,为世界渔业的技术进步做出了卓越的贡献。现代养殖工程学中的部分工程措施早已付诸实施,但把它作为一门独立学科来加以系统研究的历史还不长,所以这方面的参考资料也少,加之编者学识有限、编写时间仓促,书中不妥之处在所难免,希望读者批评指正,以便重印和再版时予以更改。

黄朝禧

2005年3月

前言

上篇 基础篇

第一章 绪论	1
第一节 水产养殖工程学的概念和内涵	1
第二节 水产养殖工程学的分类	2
第三节 水产养殖工程学的发展概况	3
第四节 水产养殖工程学的教材建设概述	7
习题与思考题	8
第二章 高程测量	9
第一节 概述	9
第二节 水准测量原理	10
第三节 水准仪及配套工具	12
一、DS ₃ 型微倾水准仪的构造	13
二、水准尺与尺垫	14
三、水准仪的使用	14
第四节 水准测量的外业和内业	16
一、水准测量的外业	16
二、水准测量的内业计算	19
第五节 提高高程测量成果质量的措施	21
习题与思考题	22

第三章 角度测量	24
第一节 角度测量的概念	24
第二节 经纬仪及其安置	25
第三节 经纬仪的使用	27
一、安置仪器	27
二、照准目标	29
三、读数	29
第四节 水平角的观测	31
一、测回法	31
二、方向观测法	32
第五节 垂直角观测	34
习题与思考题	35
第四章 距离测量	37
第一节 直线定线	37
一、两点间目测定线	37
二、经纬仪定线	38
第二节 距离测量	39
一、量距工具	39
二、距离丈量	40
三、距离丈量时的注意事项	42
第三节 视距测量	42
第四节 直线定向	45
习题与思考题	47
第五章 控制测量	48
第一节 概述	48
一、平面控制测量	48
二、高程控制测量	49
三、小面积的控制测量	50
第二节 导线测量外业	50
第三节 导线测量的内业计算	52
一、导线坐标计算的基本公式	53
二、闭合导线坐标计算	53
第四节 高程控制测量	57
一、四等水准测量	57
二、三角高程测量	58

习题与思考题	59
第六章 地形图的测绘及应用	61
第一节 地形图的概念	61
一、地形图的比例尺	61
二、等高线及基本地貌	62
三、地形图图式	64
第二节 测图前的准备工作	66
第三节 碎部测量	68
第四节 地形图的绘制	72
一、地貌和地物的勾绘	72
二、地形图的拼接与整饰	73
习题与思考题	74
第七章 养殖工程制图	76
第一节 制图基本知识	76
第二节 投影和视图	79
一、正投影的基本概念	79
二、物体的三视图	81
三、基本形体的三视图	84
四、组合体的视图	84
五、剖视图、剖面图和断面图	88
第三节 曲面及物体表面的交线	95
一、常用曲面	95
二、物体表面的交线	100
第四节 建筑物表面与地面的交线	101
一、坝面与地面的交线	102
二、寻绘填挖边界线	103
三、鱼池与地面的交线	105
习题与思考题	106
第八章 工程材料	108
第一节 砖、石、砂	108
一、砖	108
二、天然石材	109
三、砂	109
第二节 石灰	109
第三节 水泥	110

第四节	砂浆	112
第五节	混凝土	114
第六节	钢材和木材	119
一、	钢材	119
二、	木材	120
第七节	工程塑料	121
习题与思考题		123
第九章	养殖水文	125
第一节	水位测量	125
第二节	水深测量	126
第三节	水温测量	131
第四节	流速、流量的测量与计算	131
第五节	降水、蒸发的观测与计算	135
习题与思考题		137

下篇 应用篇

第十章	养殖场选址及规划设计	138
第一节	概述	138
第二节	地形的选择	139
第三节	土壤的选择	139
一、	土壤分类	140
二、	土壤的性质	140
三、	养殖场地的土壤调查	142
第四节	水的选择	143
一、	水源	143
二、	水质	145
三、	水量	150
第五节	养殖场规划与设计	153
一、	建场步骤	153
二、	规划设计原则	155
三、	山区养殖场的总体规划	157
四、	平湖地区(包括低丘陵)养殖场的总体规划	158
习题与思考题		159
第十一章	供排水工程	161

第一节 养殖用泵	161
一、水泵的类型与型号	161
二、水泵的主要参数与含义	162
三、离心泵	165
四、轴流泵	167
五、混流泵	168
六、潜水电泵	169
七、水泵的选型和配套	170
第二节 渠道断面设计	171
一、渠线选择	171
二、渠道水力计算的基本公式	172
三、渠道水力计算的方法	173
四、渠堤安全超高的确定	178
五、渠道防渗	178
第三节 水闸	180
第四节 倒虹吸管	184
第五节 涵洞	186
第六节 跌水与陡坡	189
一、跌水	190
二、陡坡	190
第七节 渡槽	190
第八节 量水堰	191
习题与思考题	193
第十二章 精养池塘工程	194
第一节 精养池塘的布置和适宜尺度	194
第二节 精养池塘进、出水设施	201
一、进水设施	201
二、排水设施	202
第三节 鱼池经济土方的计算	204
一、平坦地区鱼池经济土方的计算	204
二、坡地鱼池经济土方的计算	208
第四节 回形鱼池设计	214
一、回形鱼池的特点和优点	214
二、回形鱼池与普通鱼池土方工程量的比较	215
三、回形鱼池结构尺寸的优化设计	217
四、回形鱼池经济土方的计算	219

第五节	鱼池开挖	222
第六节	鱼池防渗	224
一、	压实法	224
二、	护盖法	225
三、	淤填法	226
四、	塑膜防渗法	227
五、	施肥防渗法	229
第七节	鱼池改造	232
	习题与思考题	233
第十三章	人工繁殖设施	235
第一节	概述	235
第二节	蓄水池的设计	235
第三节	催产池	236
第四节	孵化环道	240
第五节	孵化槽	247
	习题与思考题	249
第十四章	开放式工厂化养殖系统	250
第一节	概述	250
第二节	流水鱼池系统	252
第三节	育苗和养成系统工程	257
第四节	饵料培育系统	261
第五节	充气增氧系统	264
第六节	供热系统	267
一、	养殖水体加热方式	268
二、	锅炉容量及加热器的计算	269
三、	供热系统的设计	271
第七节	管道计算与施工	273
一、	水头损失的概念与计算	273
二、	管径的计算	275
三、	管道的施工	276
	习题与思考题	279
第十五章	封闭式循环水养殖系统	281
第一节	概述	281
第二节	封闭式循环水养殖系统运转工艺流程	282
第三节	鱼池设计	284

一、鱼池材料	284
二、鱼池结构	285
三、圆形鱼池的设计	286
第四节 固体废弃物去除技术	289
一、固体废弃物的特性	289
二、TSS 去除机理	289
三、典型去除方法	290
第五节 生物净化技术	295
一、生物净化机理	295
二、生物过滤技术	296
第六节 增氧	303
一、氧气向水中的传质	303
二、增氧系统设计	305
第七节 水体消毒	307
一、紫外线消毒	308
二、臭氧消毒	310
第八节 循环水养殖系统在线监控	311
习题与思考题	314
第十六章 天然水域增养殖工程	315
第一节 普通养鱼网箱	315
一、普通养鱼网箱的现状和特点	315
二、网箱系统的设计	317
三、网箱设置的环境条件	324
第二节 深水网箱	328
一、深水网箱的现状和问题	329
二、深水网箱的特点	330
三、深水网箱的种类	331
四、深水网箱的结构组成	334
五、深水网箱的设计	335
第三节 围拦养殖工程	338
一、围拦养殖场地的水域环境选择	339
二、围拦设施的设计	340
三、围拦的型式与结构	341
四、石笼的制作和安置	343
五、围拦的高度和面积	343
六、围拦的形状和网目大小	344

第四节 人工鱼礁	345
一、人工鱼礁的历史及现状	345
二、人工鱼礁集鱼机理	347
三、人工鱼礁的选址	351
四、人工鱼礁的分类	354
五、人工鱼礁的设计、制造和投放	355
第五节 鱼道	361
一、鱼道发展概况	362
二、鱼道的工作特点及修建鱼道的可行性论证	364
三、鱼道的类型	365
四、鱼道设计	369
习题与思考题	373
主要参考文献	374

上篇 基础篇

第一章 绪 论

我国是世界上水产资源最为丰富的国家之一，具有几千年的水产养殖历史，从最初的鲤鱼养殖到主要经济鱼、虾、蟹、贝、藻类的人工繁育和工厂化养殖，创造了精湛的人工增养殖技艺。20 世纪 80 年代以来，我国渔业生产力水平迅速提高，2001 年水产品总量为 4 382 万 t，已占世界总产量的 1/3，水产养殖产量占世界养殖总量的 2/3。水产品人均占有量 35kg，居世界前列，这表明我国水产科技水平总体跨入了世界先进行列。水产养殖工程学（aquacultural engineering）作为水产学（fishery sciences）的重要组成部分，在水产科技进步中无疑起到了重要作用。

第一节 水产养殖工程学的概念和内涵

水产养殖工程学是把生物学、机械学、电子学以及土木工程学的原理和方法结合起来应用到水生动植物养殖上的一门交叉学科，主要进行水产养殖设施、设备的设计与建造以及生产工艺、营渔模式和管理方法的研制和实施，是渔业工程学（fishery engineering）最重要的组成部分之一。水产养殖工程学的主要研究内容，一是重点研究养殖水生经济动植物的适宜生态环境，量化和评价鱼类生活生长的适宜环境参数，为工程设计提供依据；二是着重研究健康养殖和增养殖的工程技术方法与措施，即在养殖技术条件不变的情况下，通过适宜的工程技术来达到养殖对象经济增值的目的。主要研究项目有：养殖工程信

息采集和工程量计算；养殖场的规划设计；鱼池系统工程；人工繁殖设施；开放式、封闭式水循环养殖系统（recirculating aquaculture system）；天然水域养殖工程；拦鱼设备（barricade）；过鱼设施（fish pass structure）；供排水工程；营渔模式等。随着集约化养殖水平的提高，特别是鱼类人工繁殖（artificial propagation）和工厂化养殖（industrial aquaculture）技术的广泛应用，有力地推动了相应配套养殖工程设施和设备的设计与建造技术的发展，并把建筑科学、生物科学和机械工程有机地结合起来，逐渐形成了具有自身内在发展需要和外在学习关联体系的独立学科。在我国，从有淡水渔业专业开始，就开设了养殖工程课，它始于20世纪50年代中叶，历来为水产养殖专业的重要专业基础课。在教学上，水产养殖工程学与其他课程交叉重叠内容少，独立性很强，为其他任何课程所不能替代，但需要继续创新和发展，以增强学科活力。

第二节 水产养殖工程学的分类

根据养殖水域、养殖方式和养殖目的不同，水产养殖工程学可分为以下几类。

（1）内陆水产养殖工程（inland aquacultural engineering）：主要是研究淡水水域，如池塘、河道、湖泊、水库和稻田等的集约养殖工程设施、设备和技术。例如家鱼人工繁殖设施与设备、“三网”（网箱、网拦、网围）养殖工程、综合营渔模式等。

（2）海岸水产养殖工程（coastal aquacultural engineering）：主要研究和开发利用浅海滩涂、港养（港埝）和藻类资源。进行陆上养殖场和近海水域养殖场的规划以及拦海大坝、取水建筑物、育苗场、网箱等的设计与施工。浅海滩涂养殖易于人工管理，若采用精养方式，可获得高产量和高收益。港池养殖主要是利用沿海的港湾、港汊或滩涂低地，筑堤建闸蓄水，通过潮汐涨落，纳苗养殖。

（3）集约化水产养殖工程（intensive aquacultural engineering）：包括精养鱼池系统工程、催产孵化设施和以封闭式循环流水养殖为代表的设施渔业工程。集约化水产养殖工程代表着渔业先进生产力发展的方向。

（4）增养殖保护型水产养殖工程：通过工程措施增殖水产资源，使水域的水生经济生物种群结构得到优化调整和资源总量得到补充、恢复和增加。如过鱼设施、放流增殖、国家水产公园和水族馆、水道水生经济动物附着壁、人工鱼礁等。

第三节 水产养殖工程学的发展概况

(一) 我国的发展概况

水产养殖工程学是一门古老的学科。早在公元前5世纪，范蠡就在迄今已知的世界上最早的养鱼专著《范蠡养鱼经》中，对鱼池结构和构造就做了科学描述。在以后的《史记·货殖列传》、《齐民要术》、《农政全书》等历史文献中，都有关于我国水产养殖工程技术的记载（吴万夫，2000）。到了近代，水产养殖工程科学得到了稳步发展，特别是1958年南海水产研究所钟麟教授突破了家鱼人工繁殖的关键技术以后，给水产养殖工程学增添了崭新内容——催产孵化设施、设备的设计与建造。

20世纪60年代，随着家鱼人工繁殖技术的推广普及，人工孵化设施和设备日臻完善，在技术上使淡水渔业得到快速发展。在流水拦鱼方面，我国第一座生产性交流电试验电栅，在浙江省杨梅岭水库建成运行，拦鱼效果较好，为设计新型流水拦鱼设备积累了经验。另外，1968年广东省江门市水产公司研制成功了稀离子水下发热器，提高了中小水体的加热效率。

进入20世纪70年代，水产养殖工程科学得到了快速发展，仅在受全国科技大会奖励的37项水产科技成果中（1978年3月颁奖），与水产养殖工程密切相关的就有10项之多。有代表性的是部分精典海养品种的人工育苗和养殖，如海带、紫菜、对虾、鲍鱼、扇贝等；还有叶轮增氧机的成功研制和应用，以及试验总结出多种高产集约式综合养鱼模式等。

在这一时期，“三网”养殖工程得到快速发展。大约从1973年开始，在湖泊、水库中进行网箱养鱼（cage fish culture），并利用天然饵料和人工投饵方式进行了成功试验并逐渐推广。在网箱结构形式上，出现了转动式网箱，其定置方法也有创新；江河、湖库、滩涂的网拦和网围养殖方式也有推广，使“三网”养殖工程有了长足的发展，但真正大规模高效益的应用是在20世纪80年代。

工厂化养鱼在20世纪30年代在几个发达国家就有较快的发展，我国则只是在70年代中叶才开始封闭式循环流水养鱼试验研究。这一时期约有30多个单位进行了小规模高密度高产流水养殖试验，积累了一定的高产高效养殖经验，有力地促进了工厂化养殖设施的研制与应用，缩小了与发达国家在流水养鱼技术方面的差距。特别是温排水流水养鱼发展较快，当时有一定规模且养鱼效果较好的有保定热电厂、上海闵行发电厂、济宁电厂、乌鲁木齐市红雁池电厂等。水体单产超过 $60\text{kg}/\text{m}^3$ ，高者达到 $150\text{kg}/\text{m}^3$ 。在这期间，部分水产试验

场和大型养殖场也相继进行了流水养鱼试验，产量平均达到每平方米 50kg 左右。高产模式促进了工厂化养鱼设备和设施的研发。

尽管我国在开放式和封闭式循环流水养鱼方面取得了一定成绩，但从总体上看生产规模小，设施配套不全，运行成本高。在能源供给的保障方面还难以满足全天候工厂化养鱼的生产要求。今后，在工厂化养鱼关键设备的研制，降低成本，提高单产水平以及整体经济效益方面，还有待深入研究和实践。因此，此类养殖方式目前只适宜在具备相应条件的地区逐步开展。但也应看到，我国水产养殖业正在由劳动密集型向技术密集型转变，工厂化养殖模式会逐渐得到推广。

有些地方利用当地的天然水资源优势，如泉水、坝后排水和引用山溪水等，发展自然流水或微流水养鱼，大大降低了生产成本，取得了“两高一优”的效果。此外，在鱼池结构上，为适应平湖地区和荒湖的渔业开发，出现了适应“种青养鱼”模式的回形鱼池（李恒德等，1982），后来在低湖田的改造和荒水、荒滩的渔业开发方面得到了推广应用（张国胜，1990）。湖北监利县 20 世纪 90 年代在沿湖地区采用回形载水农业模式发展避灾农业，取得了明显的综合效益（苏金远等，2001）。“回形载水”模式就是源于回形鱼池模式。中国水产科学研究院上海渔业机械研究所研制的水力挖塘机组也是这一时期的优秀科技成果，较好地解决了低洼湿地开挖鱼池难的问题。

另外，我国从 20 世纪 60 年代中期到 80 年代初期的十几年中，共修建了 40 余座大型过鱼设施，其中部分过鱼效果较好，对增殖和保护江、河、湖、海洄游性的水产资源起了一定作用。同时也为设计过鱼效果更佳的鱼道（fishway）工程积累了经验。

进入 20 世纪 80 年代，改革开放的政策催化了渔业生产力的飞跃发展，无论是在池塘大面积高产试验示范、新型网箱养殖、江河湖库中的网围和网拦设施、池塘养殖机械化，还是在育苗、养成工厂化等设施渔业方面都取得了显著成绩，主要表现在池塘养殖模式的创新上。从部分得奖成果看，在对虾、海湾扇贝、河蟹等的工厂化育苗、湖泊网围养殖、渠道金属网围拦流水养鱼、水库拦鱼、中型水面高产养殖技术等方面都成绩斐然。

到 20 世纪 80 年代末，我国渔业专用池塘面积已达到 81.65 万 hm^2 ，平均单产为 3 060 kg/hm^2 ，其中每公顷产鱼 4 500 kg 以上的淡水精养鱼池达到 25 万 hm^2 ，最高每公顷产量在 45 000 kg 以上。在这以后，由于占用耕地费用的上升比例远大于渔业效益的增长幅度，扩大渔业用地受到经济制约。据此，水产主管部门着重抓了池塘改造和产品结构调整，以加大集约化养殖（intensive aquaculture）和名、特、优品种比例的力度，通过内部挖潜来增加外部效益。仅