



水利工程 鱼类保护技术

胡亚安 李中华 杨宇 宣国祥 韩昌海 著

水利部



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

水利工程 鱼类保护技术

胡亚安 李中华 杨宇 宣国祥 韩昌海 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

本书对水利工程建设对鱼类的影响及现有的水利工程鱼类保护措施进行了总结；重点就拦河闸坝过鱼关键技术进行了深入细致的讨论，总结了国内外鱼道的研究进展，探讨了隔板式鱼道设计中水力学参数的确定；并结合我国珠江流域、长江中游、东北地区鱼类组成和鱼类行为特征，对适用于我国不同区域的鱼道建设进行了详细阐述；分析了高坝泄洪造成下游气体过饱和问题，及其对下游鱼类的影响，并推荐了泄水建筑物下游气体过饱和消减方法。

本书可供水生态、水环境和水利工程等领域的专业技术人员阅读，也可作为水利工程设计人员、科研人员，以及高校水利专业师生的参考书。

图书在版编目（C I P）数据

水利工程鱼类保护技术 / 胡亚安等著. — 北京：
中国水利水电出版社，2016. 12
ISBN 978-7-5170-4994-4

I. ①水… II. ①胡… III. ①水利工程—影响—鱼道—研究 IV. ①S956.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第312633号

书 名	水利工程鱼类保护技术
作 者	SHUILI GONGCHENG YULEI BAOHU JISHU 胡亚安 李中华 杨宇 宣国祥 韩昌海 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 15.75印张 404千字 20插页
版 次	2016年12月第1版 2016年12月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	68.00元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

序

水是生命之源，生产之要，生态之基。维护河湖健康是生态文明建设的重要内容。党的“十八大”报告首次单篇论述了生态文明，将生态文明建设列入我国社会经济发展“五位一体”的总体布局。水利科研、设计工作者必须全面贯彻中央新时期水利工作方针，系统推进水生态文明建设。

水利工程对水生物，特别是鱼类的影响是不可避免的，其主要表现在两方面：一方面是工程本身对鱼类洄游的物理阻隔；另一方面是工程蓄水调度对鱼类栖息地的环境改变。因此，涉及水利工程的鱼类保护措施也集中在恢复河流连通性和生态调度两个方面。南京水利科学研究院工程人员本着尊重自然、顺应自然、保护自然的理念撰写了本书。

过鱼设施尤其是鱼道，是恢复河流连通性的重要手段。在国外，过鱼设施的研究已经有一百多年的历史，我国在20世纪50年代才开始进行过鱼建筑物的研究工作。随后在江苏、浙江、广东等地的低水头水利工程上建设了多座过鱼建筑物，取得了较好的社会效益和经济效益。但由于过鱼设施存在工程投资高、技术难度大等问题，一些工程放弃了过鱼设施，这一领域的基础研究工作也随之停滞。21世纪初，随着治水理念的发展，过鱼设施的相关研究工作再一次成为国内研究热点。

本书概述了鱼类保护的相关措施，详细阐述了竖缝式鱼道的工作原理、设计流程，提供了竖缝式鱼道典型隔板布置型式和参考尺寸等关键问题，并结合我国珠江流域、长江中下游及北方地区典型河流鱼类特点给出了相关鱼道工程布置实例，为水利工程中鱼道的设计和建设提供了技术参考。大坝下泄水体溶解气体过饱和是工程泄洪调度对下游鱼类栖息地的不利影响之一。本书着重分析了溶解气体过饱和的成因和它对鱼类的影响，并且推荐了消减方案，可为工程设计和调度提供重要参考。

鱼道是南京水利科学研究院的特色学科之一。南京水利科学研究院从20世纪60年代就开始进行鱼道方面的研究工作，是我国最早开展过鱼建筑物研究的专业科研机构。1982年出版了我国第一部过鱼设施专著《鱼道》，是目前

国内唯一关于鱼道方面的专著。编写了《水利水电工程鱼道设计导则》（SL 609—2013）和《水工设计手册》中鱼道章节的主要内容。40年来，南京水利科学研究院参与了全国40多座鱼道的研究和建设工作，包括中国最早的鱼道——江苏斗龙港闸鱼道（1966年）、改革开放前国内最成功的鱼道——湖南洋塘鱼道（1977年）、葛洲坝工程筹建期中华鲟游泳能力试验（1979年）、过鱼示范工程——西江长州鱼道（2004年）等。

本书作者长期从事过鱼设施科学研究和技术咨询工作，在该领域具有较高的学术造诣和丰富的工程实践经验。我相信本书的出版将对我国水利工程护鱼技术起到积极推动作用。

南京水利科学研究院院长
中国工程院院士



2016年12月

前言

随着“尊重自然、顺应自然、保护自然”的生态文明理念的日益深化，水利工程建设过程中对鱼类的保护工作也日益受到社会各界的重视。

建坝河流中的鱼类保护措施主要包括兴建过鱼设施、进行生态调度、人工增殖放流和禁渔、休渔等很多技术和管理手段。通过水利工程本身实现的保护技术，通常只包括过鱼设施和生态调度。我国拥有近 10 万座水库，但 1958—2013 年建成与通过批复的过鱼设施仅有约 80 座，现有的过鱼设施远远不能满足鱼类通过大坝的需求。究其原因，一方面是我国鱼道建设起步较晚，并且在 20 世纪 80 年代后停滞了近 20 年，影响了水电设计行业整体的过鱼设施设计水平；另一方面是过鱼设施和生态调度都属于精细的跨学科工程，都需要大量鱼类基础资料支撑。在鱼类行为、生态环境和工程设计之间存在明显的技术鸿沟。

本书回顾总结了国内外鱼道建设发展现状，重点介绍了 2000 年以来在鱼道数学模型计算和物理模型试验方面的研究成果和经验，阐述了鱼道设计流程及应关注的技术细节，给出了多种竖缝式鱼道典型布置型式和尺寸，并结合国内不同地区河流鱼类的特点，提供了大量典型鱼道的布置实例，可以为类似工程提供设计参考。针对高坝下泄水体造成的下游水体过饱和问题，分析了其产生机理，探讨了对鱼类的影响。通过现场观测获得了国内典型枢纽泄洪下游过饱和水体时空分布规律，为进一步研究枢纽下游生境改善提供了参考。

本书主要成果来自南京水利科学研究院承担的长洲、石虎塘、老龙口等鱼道水工物理模型试验，以及水利行业公益性科研专项经费项目“水利工程对水生物的影响和保护措施研究”（200801105）的部分研究成果，同时包括国家自然科学基金面上项目“高紊态高溶解度水体水气质传模型相界面面积测算机理研究”（51579150）、国家自然科学基金青年项目“鱼类对水动力空间结构的感知域研究”（50909064）、南京水利科学研究院中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金重点项目“TDG 问题中的鱼类耐受性测试方法

及装置研究”(Y116013)等相关研究成果。

本书是笔者在该研究领域多年成果的总结,书中还引用了国内外多位学者专家的成果。全书分为四章:第1章绪论,阐述了鱼类的一般生活史和现有鱼类保护措施;第2章拦河闸坝过鱼关键技术,总结了国内外鱼道的研究进展,深入细致地探讨了隔板式鱼道设计中水力学参数的确定;第3章典型鱼道及鱼类保护系统实例,总结了南京水利科学研究院近年来在长江流域、东北地区和珠江流域完成的鱼道设计咨询和模型试验工作;第4章泄水建筑物下游气体过饱和防治技术,阐述了高坝泄洪造成下游气体过饱和问题的机理,分析了其对下游鱼类的影响,推荐了消减过饱和程度的方法。本书可供从事水利工程设计、科研和管理人员以及鱼类保护相关领域科研人员参考。希望本书的出版有助于提高我国过鱼设施的设计水平和生态调度管理水平,减缓水利工程对鱼类的不利影响。

本书第1~3章由胡亚安、李中华、宣国祥撰写,第4章由杨宇、韩昌海撰写,杨宇对全书进行了统稿。河海大学严忠民教授对本书进行了审校;章艳、郭婷对本书图表等进行了描绘。河海大学陈启慧副教授提供了西江鱼类保护专家系统资料,武汉中科瑞华生态有限公司乔晔研究员、水利部中国科学院水工程生态研究所陶江平副研究员、侯轶群工程师提供了部分照片。本书的出版得到了国家自然科学基金和南京水利科学研究院出版基金的大力支持。在此一并表示感谢!

鱼类保护技术涉及水力学、鱼类生态学、鱼类行为学等多个学科门类,鉴于笔者学识水平和工程实践经验所限,书中难免有不足之处,恳请读者不吝赐教。

作者

2016年12月

目录

序

前言

1 绪论	1
1.1 鱼类资源和生活史概述	2
1.1.1 鱼类的栖息地	2
1.1.2 鱼类的洄游特性及资源分布	4
1.1.3 鱼类的游泳能力	9
1.1.4 鱼类的气泡病	12
1.2 水利工程对鱼类生境的影响	13
1.2.1 有益影响	13
1.2.2 不利影响	13
1.3 水利工程护鱼措施	16
1.3.1 过鱼设施建设	16
1.3.2 枢纽调度	21
1.3.3 优化水轮机设计以改善过鱼效果	22
1.4 其他护鱼措施	25
1.4.1 人工增殖放流	25
1.4.2 栖息地保护和修复	27
1.4.3 开闸纳苗	28
1.4.4 禁渔期制度	28
1.4.5 鱼类保护区	29
2 拦河闸坝过鱼关键技术	31
2.1 概述	32
2.2 鱼道研究简介	34
2.2.1 研究现状	34
2.2.2 鱼道的分类	36
2.3 隔板式鱼道特点	41
2.3.1 隔板式鱼道分类	41
2.3.2 隔板式鱼道设计流程	44

2.3.3	隔板式鱼道工作特点	44
2.3.4	鱼道池室结构及尺寸	45
2.3.5	隔板型式及尺寸	46
2.4	隔板式鱼道设计参数	48
2.4.1	鱼道概化模型	48
2.4.2	三维数学模型	48
2.4.3	池室参数对水力特性的影响	55
2.4.4	带翼板竖缝式鱼道	59
2.4.5	无翼板简单竖缝式鱼道	67
2.5	典型组合式鱼道	73
2.6	鱼道辅助设施	81
2.6.1	拦鱼导鱼设施	81
2.6.2	集鱼系统	89
3	典型鱼道及鱼类保护系统实例	97
3.1	长江流域中下游地区典型鱼道	98
3.1.1	流域简介	98
3.1.2	赣江鱼类资源现状	99
3.1.3	赣江石虎塘枢纽鱼道研究	99
3.2	东北地区典型鱼道	113
3.2.1	图们江流域简介	113
3.2.2	珲春河主要洄游鱼类	114
3.2.3	老龙口枢纽鱼道研究	114
3.3	珠江流域典型鱼道	124
3.3.1	流域简介	124
3.3.2	珠江鱼类资源特点	124
3.3.3	长洲水利枢纽鱼道研究	125
3.3.4	郁江老口枢纽鱼道研究	131
3.3.5	鱼梁枢纽鱼道研究	145
3.4	西江流域鱼类保护专家系统	161
3.4.1	系统的定义与功能	161
3.4.2	流域概况	161
3.4.3	基础数据	162
3.4.4	西江鱼类种群空间分布查询系统	168
3.4.5	西江鱼类过坝方案专家决策系统	171
4	泄水建筑物下游气体过饱和防治技术	175
4.1	过饱和水体的形成	176
4.1.1	水体中气体的溶解度及溶解气体过饱和	177

4.1.2	水利工程造成气体过饱和的关键因素	181
4.2	气体过饱和的实验室模拟与现场观测	187
4.2.1	实验室模拟方法	187
4.2.2	长江三峡及葛洲坝江段总溶解气体观测	190
4.2.3	紫坪铺下游总溶解气体观测	193
4.2.4	二滩下游江段总溶解气体观测	198
4.2.5	黄果树瀑布总溶解气体观测	200
4.3	鱼类对溶解气体过饱和和水体的耐受性	203
4.3.1	溶解气体过饱和对鱼类的影响	203
4.3.2	发生的原因	204
4.3.3	鱼类对气体过饱和环境的耐受性及适应行为	205
4.3.4	实验室人造过饱和和水体的耐受试验	207
4.4	长江鱼类气泡病调查和试验	215
4.4.1	三峡下游生物学调查和试验	215
4.4.2	葛洲坝下游鱼类暂养实验和气泡病调查	218
4.4.3	过饱和水体对葛洲坝江段鱼类种群变动可能的影响分析	222
4.5	泄水建筑物气量控制	231
4.5.1	对已建工程的气量控制技术	231
4.5.2	工程建设气量控制技术	233
附表	书中主要鱼种名录	234
参考文献		236
后记		239



绪 论

鱼类资源和生活史概述

1.1.1 鱼类的栖息地

栖息地或者生境通常指某种生物或某个生态群体生存繁衍的地区或环境类型。广义上的鱼类栖息地是指鱼类能够正常完成其生命史所需要的环境总和，主要包括产卵场、肥育场、洄游路线和越冬场及其中的所有生物和非生物因素。狭义上的栖息地是指鱼类某个生命史阶段所处的空间区域，即物理栖息地。栖息地中的非生物因素主要包括：微生境因素如水深、流速、河床质、遮蔽物等，中生境因素如河道形态（深潭、浅滩、急流等），大生境因素水质、水温、浊度和透光度等。生物因素主要包括食物链的组成和食料种类丰度等。也就是说鱼类栖息地不仅提供鱼类的生存空间，同时还提供满足鱼类生存、生长、繁殖的全部环境因子，如水温、地形、流速、pH 值、饵料生物等。更为复杂的是，在长期自然选择与进化过程中，鱼类各种生命活动的完成，往往还依赖于这些环境因子的细微变化，如许多鱼类性腺最终发育成熟并完成排卵的过程受到水温以及水文条件变化的影响。

1994 年 8 月 18—20 日，在挪威的特隆赫姆（Trondheim）召开了第一届国际生境水力学会议。会议第一次探讨了自然水生生境及其修复。随后在 1996 年 6 月 11—14 日，国际水利与环境工程学会（IAHR）在加拿大的魁北克组织召开了第二届国际 IAHR 生境水力学和生态水力学 2000 会议。会上对生境模型和生境的创建及修复都进行了细致研讨。

对于河流中鱼类栖息地，通常从两个角度来研究：①鱼类栖息地在河流各个位置的分布；②分布在河流不同位置的栖息地受到的局部水流作用。前者是宏观的，属于河流形态学和生物种群地理学研究领域；而后者是微观的，属于水力学和栖息地环境研究范畴。前者是后者的宏观表现；而后者是前者的动力学基础。

在宏观尺度上，河道是一个线性系统，其环境条件、无脊椎动物和鱼群的分布具有明显的纵向梯度。不同鱼类和同种鱼类不同的生活史阶段通常占据河流的不同生物区。对洄游鱼类而言，河流的纵向是到达产卵地的基本途径，如鲟形目和鲑、鳟科的鱼类；对非洄游性鱼类，如鲤科鱼类则在不同的发育期分布在水系横断面上不同的位置。20 世纪中叶就有很多学者提出了河流的纵向带状分布。1963 年，Illies 和 Botoseanu 提出了著名的鱼类分区结构。1975 年，Hawkes 对河流生物分布带与分类进行了总结。通过对欧洲和北美洲不同区域的调查证明了不同区域有特定的鱼类。作为一些鱼类的饵料，无脊椎动物的分布也对鱼类的分区造成重要影响。除了鱼类在河流中的带状分布特点以外，从源头到入海口在大多数情况下鱼类的种类是递增的。Fremling 等（1989）研究发现在密西西比河从

源头到河口三角洲鱼的种类递增。Horwitz (1978) 在对美国 15 条河流进行对比后指出, 种类与河流等级之间存在着直接联系。在欧洲 Blachuta 和 Witkowski 指出种类数量和河流等级之间也存在着正相关。

在微观尺度上, 20 世纪 80 年代开始出现了对栖息地微观尺度的理论研究。Kemp 等提出以生态学定义的功能性栖息地 (functional habitats) 和以水力学定义的水力栖息地 (flow biotopes) 基本概念, 并试图寻找连接生态学和水力学之间的结合点。很多学者借助建立的栖息地性能曲线, 研究功能性栖息地与水流参数的关系。Barmuta (1989) 以河段为尺度, 研究以底质特征区分的栖息地, 并量测了流速、水深、含氧量、温度等多种理化数据, 提出在侵蚀型和沉积型栖息地之间, 种群结构有一个渐变的过程。

从水力学的角度研究鱼类栖息地, 研究方法可分为三类, 即水文法 (流量记录法)、水力学法 (流量-湿周法) 和栖息地法 (综合法)。

(1) 水文法主要是针对历史水文数据进行分析。通过水文统计、频率分析等水文常用方法对被研究区域的最小流量进行估计, 包括最小连续 30 天平均流量法、7Q10 法等。这种方法的优点是以水文数据为背景进行分析, 数据易于获得, 能对大多数河流提出一个量化的指标。但是也正是因为它完全依赖于水文数据, 而基本不包含其他诸如地形、生物等信息, 其结果不一定真的能起到保护栖息地的作用。尤其是对于由于发电、防洪等非引水工程造成的水文周期改变和栖息地面积的时间性萎缩等情况很难发挥真正的作用。因此它更适合一些没有河道和生物资料的干旱性河流, 在这样的河流中以维持河中有一定的流量为目标, 如黄河。

(2) 水力学法指使用传统水力学理论对水体的生态情况进行评价的方法, 历史上这一方法主要是通过流量与湿周的关系确定某一临界流量, 如河道湿周法、R2Cross 法等。湿周法是假设在浅滩急流环境下, 鱼的栖息地和湿周有直接的关系。用湿周来度量一定流量范围的水生栖息地有效面积。湿周法基于湿周和流量关系曲线, 用这个关系来决定保护栖息地所需的流量。R2Cross 法是沿着河流选择一个临界浅滩, 并且假定在浅滩处选择的流量可以满足鱼类和其他生物在整个河道中大多数生命阶段的需要。临界浅滩处主要考虑平均水深、平均流速和湿周三个水力学参数的取值。其优点是两者数据来源都基于现场观测不需要水文站数据, 但是选择合适的浅滩很重要, 不同的浅滩会得到不同的适应流量。随着对水生生物的栖息地认识的深入, 水力学方法中也对水深和流速分布加以考虑。水力学法目前更侧重栖息地流场分析和模拟。现代水力学方法对目标水体的各种水力特征值如地形数据、流场数据以及鱼类喜好等生物学数据要求较高。对栖息地特征考虑比较全面, 对于鱼类保护而言是更加有效的方法。尤其当栖息地受到非引水工程造成的水文周期改变影响时, 可以通过对原始栖息地的水力学分析得出补偿调度方案或工程修复措施, 如三峡工程的补偿调度。

(3) 栖息地法实际上是将水生生物对环境的需求全部集中在栖息地的环境特征上来考虑。鱼类栖息地的研究可以从水文学、水力学、生物学等多个角度展开。随着水力学法和栖息地法研究的深入, 两者开始逐渐走向统一。

IFIM 方法是栖息地法中最具代表性的方法, 它是一个理论体系框架, 通过模拟物种可利用栖息地和流量之间的关系, 为水资源规划提供依据。它并不直接提出适当的流量

值，而是通过多方面协调获得。

1982 年，美国鱼类及野生动物部（FWS）提出了河道内流量增加理论（Instream Flow Increase Method, IFIM）。它主要由制度模型、研究领域和计划、栖息地模型等几部分组成，其中栖息地模型又根据栖息地尺度分为水质模型、水力学模型、河道结构模型、栖息地可利用面积等部分。IFIM 方法流程图见图 1.1。



图 1.1 IFIM 方法流程图

IFIM 法选择鱼类作为指示物种，一方面由于鱼类处于水生生物群落食物链的顶层，对环境的变化最为敏感，作为顶级群落的鱼类，对其他类群的存在和丰度有重要作用；另一方面由于鱼类与人类的关系最为密切。

选择栖息地作为联系水利和鱼类资源的纽带，是由于流量、栖息地与鱼类资源量三者之间的关系十分密切。可以通过建立可利用的栖息地的数量和质量与流量之间的关系，评价流量变化和栖息地管理对鱼类栖息地的影响，进而获得对鱼类的影响。

在 IFIM 方法中，将鱼类栖息地的非生物部分划分为大生境、中生境和微生境。大生境是指沿河流纵向的一个河段，在河段内物理或化学条件比较接近，代表整个研究河段的水生生物的适宜性，近似地与基质含义相当，如水质、水温等。中生境是指以河道几何形状定义的具有相似物理特征（如宽度、深度、坡度和河床质等）的不连续斑块，例如深潭、浅滩和急流等。微生境是指在较大的中生境类型内供水生生物的特定行为（如产卵等）使用的小的、局部区域。微生境由水深、流速、河床质和遮蔽物等组成。总的栖息地是指研究河段的所有可利用的大生境和微生境的集合。

1.1.2 鱼类的洄游特性及资源分布

1.1.2.1 鱼类洄游特性

洄游是鱼类在进化过程中形成的一种特性，是鱼类对环境的一种长期适应，它能使种群获得更有利的生存条件，更好地繁衍后代，洄游距离长的可达几千公里，短的只有几十公里。许多鱼类均有这种习性，如果洄游鱼类不能完成这种洄游或洄游受到阻碍，则这些鱼类的生命周期将遭到破坏，并影响群体的增殖，甚至危及种的生存。

1. 洄游的类别

影响鱼类洄游的因素很多，因而每次洄游的目的也各不相同，根据鱼类生命活动过程中的作用，洄游可划分为生殖洄游、索饵洄游和越冬洄游等洄游类型，三种洄游共同组成鱼类的洄游周期（图 1.2）。

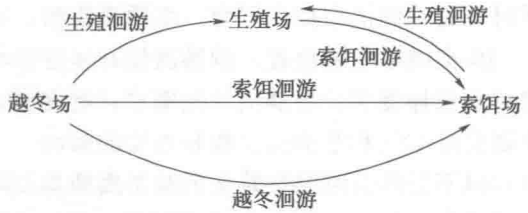


图 1.2 鱼类洄游周期示意图

（1）生殖洄游又称产卵洄游。鱼类的

产卵习性是多种多样的，有的鱼为了寻求适宜的产卵条件，保证鱼卵和幼鱼能在良好的环境中发育，常常要进行由越冬场或肥育场向产卵场的集群移动。生殖洄游是鱼类生命过程中规律性最强的洄游，其显著特点是：洄游路线、方向和时间较固定，距离较远，游速快，分群洄游现象明显，鱼群密度大，鱼群聚集成大群，在一定时期内沿一定路线向一定方向作急速的洄游。

生殖洄游距离有长有短。有些鱼类生殖洄游距离可达数千公里，如生活在淡水中的鳊鱼，要洄游数千公里到海洋深处产卵，而生活在大洋中的大麻哈鱼要反向游动数千公里进入江河上游产卵。而有些鱼类仅作短距离移动，如大黄鱼由浙江东南部海域的洞头洋洄游至江苏海域的吕泗洋；我国淡水中的一些鲤科鱼类，如青鱼、草鱼、鲢、鳙等鱼类由静水湖泊洄游至江河中特定河段的产卵场所产卵，距离长则几百公里，短则几十公里，有的甚至仅从开阔的湖中心区游向沿岸产卵。

（2）索饵洄游又称摄食洄游。越冬后的幼鱼和成鱼，经过生殖洄游或生殖活动的成鱼，需要强烈的摄食以补充营养，集群游向饵料丰富的水域索饵，形成了索饵洄游。

有些鱼类在越冬后先行强烈摄食，形成由越冬场向肥育场地的洄游。例如，在河流深槽中越冬的鲤鱼，在早春气候转暖时，就要洄游到食料丰盛的湖泊中去肥育。摄食洄游也有伴随产卵洄游同时进行的，如金枪鱼在由西沙群岛进行长距离生殖洄游过程，沿途强烈摄食，实际上金枪鱼的生殖洄游也是一种索饵洄游。

有些鱼经过生殖后，在秋季进行一次索饵洄游，为准备越冬和来年生殖积储营养。幼鱼的摄食洄游也是十分明显。如青鱼、草鱼、鲢、鳙等鱼类在江河繁殖后，已经发育到能自由游泳和自由摄食的幼鱼，即沿岸逆水上溯，进入通江的湖泊或小支流中进行肥育，因为这些附属水体中的食物要比江河干流中丰盛得多。

索饵洄游与生殖洄游和越冬洄游不同，有的鱼类在洄游的过程中就往往达到了洄游的目的。索饵洄游的特点是洄游路线、方向和时间随着饵料生物群的分布和密度、索饵鱼群数量多寡和状态而变动。

索饵鱼群较不稳定，也较分散。索饵期的长短主要取决于饵料生物的数量和质量，鱼的丰满度、含脂量以及水温状况等。

（3）越冬洄游亦称季节洄游或适温洄游，是冬季来临前，由于水文环境的变化，尤其是水温下降，鱼类的活动能力将减低，为了保证在寒冷的季节有适宜的栖息条件，鱼类由肥育场所或习居的场所向越冬场进行的洄游。

越冬洄游的特点是洄游方向朝着水温逐步升高的方向，往往由浅水环境向深水环境，方向稳定。在中国近海，主要是朝南、朝东移动，长江中下游流域中许多大型鲤科鱼类，

平时在通江湖泊中摄食肥育,冬季来临前,则纷纷游向干流的河床深处或坑穴中越冬。

鱼类越冬场的位置、洄游路线和速度受水温状况,尤其是受水域等温线分布状况所左右。水温梯度大,鱼群活动范围窄,密度相对就大;降温快,洄游速度相应快。而水温状况则受冷空气和寒潮的次数和强度的影响。

但不是所有洄游性鱼类的洄游周期均相同,有的鱼类只有生殖洄游和索饵洄游,有的鱼类越冬场与索饵场在一起或附近,有的索饵场就在生殖场所附近。鱼类不同生长阶段的洄游周期也不同,幼鱼和成鱼的洄游周期、洄游路线、洄游时间往往也有所不同。

2. 洄游鱼类的类别

按洄游鱼类所处的生态环境不同,可将洄游鱼类分为:海洋洄游鱼类、溯河性洄游鱼类、降海性洄游鱼类和淡水洄游鱼类4种类型,其洄游情况简述如下。

(1) 海洋鱼类的洄游。洄游性的海洋鱼类完全在海中生活和洄游。同种鱼往往分为若干种群,每一种群有各自的洄游路线,彼此间不相混合。如18世纪时人们认为东北大西洋各海区的鲱鱼均由北极游来。到19世纪后期,德国渔业资源学家F.海因克通过对从各海区采来的大量鲱标本的测定分析,才确认各海区的鱼群有不同的变异特征,每个海区都分布有它自己的洄游群体。如东海、黄海的小黄鱼可分为4个种群,分别有其自己的越冬、产卵与索饵的洄游路线。中国近海的小黄鱼、大黄鱼的洄游距离只有几百公里,而带鱼、鲈则有上千公里。

(2) 溯河性鱼类的洄游。溯河性鱼类生活在海洋,而溯至江河的中上游繁殖。这类鱼对栖息地的生态条件,特别是水中的盐度有严格的适应性。

如北太平洋的大麻哈鱼溯河后即不摄食,每天顶着时速几十公里的水流上溯数十公里,有时甚至要跳越具有一定落差的瀑布,因此在洄游过程中体力消耗很大;到达产卵场时,生殖后亲体即相继死亡。幼鱼在当年或第二年入海。中国的远东大麻哈鱼等都进行这一类型的洄游。但某些生活在河口附近的浅海鱼类,生殖时只洄游到河口,溯河洄游的距离较短,如长江口的凤鲚等。

大麻哈鱼是我国著名的鲑鱼。平时生活在太平洋北纬 35° 以北的海域。在海洋里生活3~5年,每年秋季成群渡过鄂霍茨克海,绕过库页岛,进入黑龙江、绥芬河和图们江等水系。9月上旬可以到达乌苏里江口。大麻哈鱼上溯游泳速度极快,每昼夜可达30~50km。10月下旬至11月中旬抵达产卵场,行程约为1500km。产卵后亲鱼即死亡。次年春季仔鱼随江流流入大海。

长江流域中华鲟是我国著名的溯河洄游产卵鱼类。中华鲟在我国黄河、东海和南海均有分布,尤以长江口附近为最多。每年4—6月由海洋入江作溯河生殖洄游。9—11月到达长江上游产卵。产卵后亲鱼降河入海;幼鱼在河川浅水处生活,次年6—7月进入河口区并出海生长。

鲥鱼也是我国著名的溯河产卵洄游鱼类,平时分散栖息在黄海、东海和南海。大部分时间生活在海洋,3~4龄达到性成熟时,于春末夏初做溯河生殖洄游,进入长江、钱塘江、珠江等水系产卵繁殖,产卵后返回海洋肥育。进入珠江的鲥沿西江上溯可达桂平一带;入钱塘江的鲥,建坝前最远可达衢州,建坝后只达七里垄以下;入长江的鲥最远可达宜昌,但主要进入江西赣江中游。鲥鱼幼鱼在江河生长一个时期后,当年秋冬之交即顺流

入海。

鲥鱼，平时分散栖息在黄海、东海和南海，3~4龄性成熟，每年4月上旬入珠江，在广西梧州一带产卵，5月上旬入长江，在鄱阳湖都昌一带产卵，5月中旬入钱塘江桐庐一带产卵。

鲚类也有溯河洄游现象。平时栖息在浅海、大江河口一带，春夏进入淡水，如凤鲚，每年6—7月到达江河淡水区产卵，而刀鲚则最远可上溯到洞庭湖一带。前颌间银鱼平时生活在近海沿岸，大江河口的淡水区域，3月下旬开始进入江河做生殖洄游，4月中旬在江河下游江段中产卵，受精卵随江流到海中发育生长。第二年又来到江河下游产卵。香鱼有不同的生态类群，有的群体终生生活在淡水中，为陆封型。而有的则是溯河鱼类，成鱼在淡水江河中产卵，并在江河中索饵生长，8—9月到达产卵场，生殖后亲鱼一般死亡。

(3) 降海性洄游鱼类（降河性洄游鱼类）。降海性鱼类绝大部分时间生活在淡水里而洄游至海中繁殖，鳊鲂是这类洄游的典型例子。

20世纪初，丹麦施密特曾对大西洋的鳊鲂产卵场作了多年调查，发现平时生活于淡水的欧洲鳊鲂和美洲鳊鲂的产卵场都在西大西洋的藻海，只是前者的产卵场略偏东，后者略偏西，都位于一个高盐度的暖水区。欧洲鳊鲂和美洲鳊鲂降海后不摄食，分别要洄游5000~6000km和1000~2000km后到达产卵场，此时鱼体已消瘦，生殖后亲鱼全部死亡。两种鳊鲂幼体回到各自大陆淡水水域的时间不同，欧洲鳊鲂需要3年，美洲鳊鲂只需要1年。

中国的鳊鲂、松江鲈等的洄游也属于这一类型。每年春季有大批幼鳊自沿海进入江河中，并可以继续上溯到距河口几千公里的上游地区，如长江上游的金沙江、岷江和嘉陵江地区都有鳊鲂的踪迹。它们在江河、湖泊、塘堰、水库中生长、肥育、昼伏夜出。到了性成熟年龄，从秋季开始集群降河入海，进行遥远的产卵洄游。每一尾鳊鲂一生经历5个生长发育阶段：①海洋中浮游性的仔鱼时代；②沿海变态期，从柳叶鳊变为玻璃鳊；③淡水中的黄色鳊生长期；④降海洄游的银色鳊；⑤产卵后死亡。

松江鲈是一种作短距离降海产卵洄游的鱼类。松江鲈分布于黄海和东海沿岸，它们的幼鱼于每年4月下旬至6月中旬，由沿海溯河进入通海的河流中，在淡水中生长、肥育；11月开始至次年2月陆续降河入海进行生殖活动。松江鲈的生长、发育在江河下游及河口处，产卵场一般离海岸不远，一般距大陆海岸仅几海里。

由于海水、淡水盐度不同，渗透压有差异，因此作溯河或降海洄游的鱼类，过河口时往往需要在咸淡水区停留一段时间，以适应这种生理机能的转变。

(4) 淡水鱼类的洄游。淡水鱼类完全在内陆水域中生活和洄游，其洄游距离较短，洄游情况多样。有的鱼生活于流水中，产卵时到静水处；有的则在静水中生活，产卵到流水中去。如中国的青鱼、草鱼、鲢、鳙、鲤等通常在湖中肥育，秋末到江河的中下游越冬，次年春再溯江至中上游产卵。

1.1.2.2 鱼类的地域分布

中国内陆水域总面积约27万km²，约占国土面积的2.8%，根据水产部门的资料，中国内陆水域鱼类（不包括河口区的淡咸水鱼类）共有795种（及亚种），它们分属于15目、43科、228属。东部地区的水系种类较多，如珠江水系有鱼类381种，长江水系约有