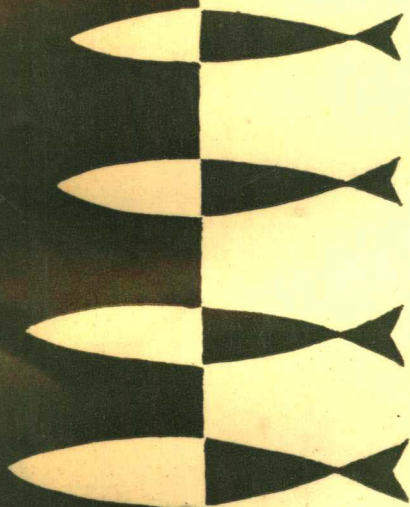


6313

捕捞新技术

——声光电与捕鱼

夏章英 编著



52

海洋出版社

捕 捞 新 技 术

——声光电与捕鱼

夏章英 编著

海 洋 出 版 社

1991年·北京

内 容 提 要

本书由“声与捕鱼”、“光与捕鱼”和“电与捕鱼”三部分组成，在论述鱼对声、光、电行为反应的基础上，详细介绍了声、光、电的各种助渔方法。全书内容丰富，所介绍的助渔方法切实可行，既有理论探讨，又有实际捕捞经验的总结。可供从事海洋捕捞和淡水捕捞人员阅读，也可作为有关大、中专院校的教学参考书。

责任编辑：陈泽卿

捕 捞 新 技 术

——声、光、电与捕鱼

夏章英 编著

海洋出版社出版（北京市复兴门外大街1号）

新华书店发行所发行 北京西三旗印刷厂印刷

开本：787×1092 1/32

印张：8.5

字数：185千字

印数：1~1000

1991年3月第一版

1991年3月第一次印刷

ISBN 7-5027-1419-7/Q·52 定价：6.00元

序 言

在捕捞生产实践中,经常碰到一个需要解决的问题,那就是如何才能不断地提高捕鱼量而又不损坏渔业资源。这个问题,实质上是在捕鱼生产过程中能否达到控制鱼类行为的问题。对此,常规的渔具渔法就无能为力了,而必须应用捕捞新技术。

捕捞新技术,是在水声学、海洋光学、电子学、鱼类生理学以及渔捞学等学科的基础上发展起来的。它的捞鱼原理,是根据捕捞对象对不同声光电参数刺激有各自的行为反应,并利用这些行为特征,选择适当的刺激参数,将分散的个体诱集或驱赶成群,最后配合其它渔具将鱼群捕获。这种新技术,可以大幅度提高捕捞效率、减轻体力劳动、减少季节限制、有利于开发复杂环境水域的鱼类资源、并能控制鱼类行为进行有选择性的捕捞,从而又达到保护资源的作用。确有广泛的发展前途。

正因如此,世界发达的渔业国家十分重视,特别是随着人工渔礁的不断发展,对这一技术愈来愈感到兴趣。目前,日本、苏联、美国、澳大利亚、新西兰、英国、法国、西德等都投入相当多的人力和财力进行试验和研究。其中日本和苏联已取得显著成绩。美国还专门设立了几十个海洋生物场和鱼声研究单位,每年投资几亿美元。对这一新技术,世界渔业组织也很重视,例如1970年第三次世界渔业会议首先讨论了音响渔法和控制鱼类行为等问题;联合国粮农组织还专门出版了《光诱捕鱼》一书,向各国推广这方面的新技术。

我国是世界上应用声光渔法最早的国家，其中敲船渔业就是音响渔法的一例，当时医学家李时珍在本草纲目中对捕捞黄花鱼就有这样记载：每年四月来自海洋，绵亘数里，其声如雷，海人以竹筒探水底，闻其声乃下网截流取之。至于光诱渔法，我国在19世纪末就将此传入美国加利福尼亚，后来又传到日本等国。我国劳动人民自古以来就善于使用光诱捕鱼，很早以前就在内河水域设置火诱虾蛄，在沿海也有火诱乌贼、鱿鱼、鳀鱼等生产，南海渔民在本世纪初就在江河口一带利用煤气灯诱捕公鱼和青鳞鱼。新中国成立后，声光电渔法也取得一定成绩，例如：在声渔法方面，比较突出的是声探鱼技术的发展。50年代末我国就开始试制声探鱼仪器，随后生产了61F、4X型探鱼仪，在捕鱼中发挥了积极作用。六十年代末全晶体管的87型探鱼仪大量生产，及时装备了大批机帆渔船。70年代我国生产探鱼仪，不仅满足了本国渔业生产的需要，而且还有部分提供出口，同时水平探鱼仪的研制和推广也取得显著进展，多波束和电子扫描渔用声呐在捕鱼生产中也使用多年并积累了不少经验。在声诱鱼技术中，我国也曾研制了HYQ-751型音响诱鱼器，以及进行了声诱配合灯光诱捕鱿鱼的试验。在光诱渔法方面，70年代初期我国有突飞猛进的发展，不仅有了一支机轮光诱围网船队，而且群众渔业中也十分发达，如广东、福建、浙江等省光诱围网都已成为本省海洋捕捞的主要作业之一。国家对光诱渔业的新技术开发十分重视，农牧渔业部再三强调指出：发展光诱渔业，捕捞中上层鱼类，具有广阔发展前途，既是适应资源的变化、理顺作业结构、减轻近海捕捞强度、保护和利用资源的需要，同时也是开创我国海洋渔业生产新局面的重要措施之一。另外，我国还进行了鱼类视觉电生理、鱼类趋光、光诱技术、

水下新光源以及无人驾驶遥控灯艇等的试验和研究，都取得可喜成绩。在电渔法方面，50年代后期我国就在内陆水域进行试捕试验，70年代中期又在海洋中进行光电泵捕鱼试验，80年代初又在南海西沙群岛附近海域试验脉冲电镖枪配合延绳钓捕捞金枪鱼，以及脉冲电配合拖网捕虾试验，等等，都取得一定成绩，但与发达的国家相比仍有较大差距。不过就目前国内外总的情况来看，除了声探鱼、光诱鱼、电拦鱼投入生产实用之外，其它方面仍处于试验和研究阶段。对此，我们每位渔业工作者都有责任去促进我国捕捞新技术更快地发展。今天作者就是怀着这种心情编写了《捕捞新技术——声光电与捕鱼》这本书。这里顺便地提一下，也许有人会问：敲船渔业、电捕鱼都禁止了，为什么今天又要重提？这个问题应该这样看：敲船渔业属伤害性捕捞，一定要禁止，这是无可非议的，但从声赶鱼效果的角度而论，还是值得进一步研究的，我们期望从中引出有益的方面来促进捕鱼技术的发展，而且此书有关部分也仅谈敲船渔业中的声赶鱼，而没有介绍如何捕鱼等内容。关于电捕鱼问题，国家是严禁滥用电力捕鱼的，即不加选择地使用电力捕鱼要禁止。但实际上在选择好合理的电参数之后把电力用在渔业上是不会造成破坏资源的，当然这里应该加强技术管理和行政管理，避免由于滥用电力捕鱼而造成的损失。我们对待任何问题，最好不要常用“一刀切”的老办法，因为这样常常会把好的一面都切掉了，这对技术的发展是不利的。

《捕捞新技术——声光电与捕鱼》一书的写作，吸取了《海洋捕捞学——声光电在渔业上应用》（厦门水产学院周应其、崔建章、许天赐，1979年编）、《声光电渔法》（山东海洋学院水产系，1984年编）、《鱼类行为学》（浙江水产

学院蔡厚才，1984年编）、《声光电与捕鱼》（湛江水产学院夏章英，1984年编）四本讲义的有关内容，以及参考了书后列出的许多国内外有关文献，再加上作者经常出海参加海上声探鱼实践和亲自参加的光诱机钓鱿鱼、化学光拖网捕虾、电脉冲赶虾等试验，积累了很多资料而编写成韵。写作中厦门大学何大仁教授、上海水产大学钟为国副教授、上海海洋渔业公司、福建浙江水产局等个人和单位提供了可贵资料，在此一并致谢。但由于资料收集还不够多而且作者水平有限，因此书中一定存在不少缺点或错误，请广大读者批评指正，更希望大家能在此基础上补充和修改，以求这项新技术能在捕鱼生产上发挥更好作用。

作者 夏章英

一九九〇年十二月

于湛江水产学院

目 录

序言

第一章 声与捕鱼	1
1. 鱼与声.....	1
1.1 声在水中的传播.....	1
1.2 鱼的感声器官.....	8
1.3 鱼对声的行为反应.....	13
1.4 鱼的发声.....	17
2. 声助渔.....	23
2.1 声探鱼.....	23
2.2 声诱鱼.....	77
2.3 声赶鱼和声拦鱼.....	85
第二章 光与捕鱼	96
1. 鱼与光.....	96
1.1 光在水中的传播.....	96
1.2 鱼的感光器官.....	102
1.3 鱼对光的行为反应.....	109
1.4 鱼的发光.....	124
2. 光助渔.....	126
2.1 光诱鱼.....	127
2.2 光赶鱼与光拦鱼.....	188
第三章 电与捕鱼	194
1. 鱼与电.....	194
1.1 电在水中的传播.....	194
1.2 鱼的感电器官.....	199
1.3 鱼在电场中的行为反应.....	204

1.4	鱼的发电	208
2.	电助渔	212
2.1	电吸鱼	212
2.2	电击鱼	227
2.3	电赶鱼和电拦鱼	235
参考文献		264

第一章 声 与 捕 鱼

“声与捕鱼”既涉及到声又涉及到鱼，还涉及到鱼对声的反应等问题。因此，在讨论这个问题时，应首先讨论鱼与声的种种关系，然后再研究声助渔的实际应用，只有这样才能把问题讨论得更加深入。

1. 鱼 与 声

水域与陆地一样也是个不平静的世界，有着各种声音在传播。鱼生活在这样一个充满声音的水域中，那么鱼能否听到水中传播的声音呢？最早有人认为，鱼没有耳朵不能听声。后来韦伯发现，鱼类虽然没有外耳和中耳，但它的鳔能起同功器官的作用，因此能听声音。随后，鱼的感声能力逐渐被证实，并认为鱼类对其摄食声具有正反应，趋向声源，而对海豚的叫声呈负反应，背离声源。同时还发现，鱼类本身还具备专用的发声器官，以及游泳时都会发出声音。可见，鱼与声的关系是非常密切的。

1.1 声在水中的传播

声是机械振动或生物发声器官发出的一种扰动。声在水中传播，是个复杂的物理过程。声传播中遇到障碍物后，除了产生反射、折射、散射和绕射之外，还有传播损失。但是，声探鱼是利用声传播中的反射特征，来探测鱼群和其它目标的。然而，海洋噪声对声探鱼又有很大影响。

1.1.1 声波与振动

众所周知，打锣之后，听到锣声，是因为锣被击产生振动。锣是声源，传播锣声的空气是介质。声源振动时，声源处的空气分子受到激励，在自己的平衡位置附近作相应的振动。同时，已振动的空气分子，又激动邻近的空气。依次传递下去，传到听者的耳朵，并使耳中的鼓膜，作出相应于声源频率的振动，经听觉神经传到人脑，于是人们就听到锣声。声音在介质中的传播过程，称为声波。

声振动的传播过程，为一规则的正弦波，如图1.1所示。每秒振动的次数，称为频率，单位为赫兹，简称为赫。频率越高，声调越高。人耳能听到的声频范围，约在20~20000赫。低于20赫的声音，称为次声。在地壳中传播的地震波属于次声；两列火车对开或火车在隧洞中行驶，都会产生强大的次声；敲舷渔业中敲击船板发出的声音，含有一定的次声成分。次声波长很长，如3.5赫时的波长为100米，对人体组织有很强的穿透能力，4至8赫的次声波，能引起人体腹腔危险的共振。而高于20千赫的声音，称为超声，海豚的叫声中有超声成分，频率可达100千赫以上。由于超声波的波长较短，容易产生定向辐射和定向接收，从而获得指向性增益，并可较准确地确定反射目标的位置，同时它对体积较小的鱼和虾，仍有较强的反射。另外，海洋中的海浪声、海水冲击船舶的声音，以及螺旋桨打击海水的声音等，都在声频的范围内。如果探鱼仪的工作频率选择在超声范围内，则可避免受到这些噪声的干扰，所以超声广泛地应用在探测鱼群的侦察技术上。然而，声诱鱼、声赶鱼和声拦鱼方面，主要用声频或次声。大量的试验证明，从次声到超声都能引起鱼虾的行为反应。

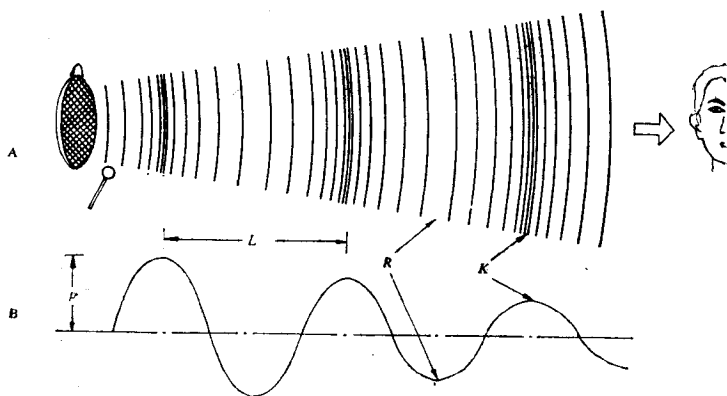


图1.1 声波与振动

L : 波长; K : 波峰;
 R : 波谷; p : 声压.

1.1.2 声波在水中的传播特征

在海水中声波是通过水分子的振动而传播的，传播时具有一定的速度，即声速。海水中的声速约为1,500米/秒，但此速度不是固定不变的，而是随温度、盐度和深度的不同而变化。

声波在水中的传播过程，会遇到障碍物的。如果障碍物具有很大的平面，其尺寸比声波波长大得多时，则声波传到此平面上便产生反射和折射；如果障碍物的大小与波长相差不大时，声波就会产生散射；如果障碍物的尺寸小于波长时，声波就会产生绕射。同时，由于海水温度、盐度、深度的不同，声速发生变化，又会引起声线弯曲，而且声在传播中还会造成各种衰减，从而形成传播损失。

反射与折射：当声波从一种声阻抗为 $\rho_1 c_1$ 的介质，传播到另一种声阻抗为 $\rho_2 c_2$ 的介质时，一部分声能将从分界面上

反射回到原来介质中的这种现象，称为反射。而其余部分的声能，则穿过分界面在第二介质中继续传播的这一现象，称为折射。声波反射与折射的特征，如图1.2所示。

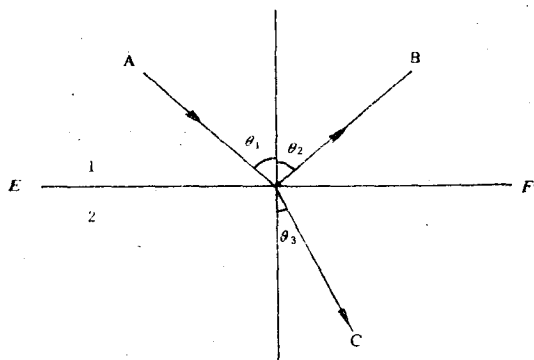


图1.2 声波的反射与折射

A、B、C为入射、反射、折射时声波的波束；

$\theta_1, \theta_2, \theta_3$ 为入射角、反射角、折射角。

声波在水中传播时的反射，是由于分界面两边介质声阻抗的不同而引起的。分界面的反射本领，通常用反射系数表示。反射声压 P_r 与入射声压 P_i 之比，称为声压反射系数 β ，它的大小与两种介质声阻抗 ρc 的关系为

$$\beta = \frac{\rho_2 c_2 - \rho_1 c_1}{\rho_2 c_2 + \rho_1 c_1}$$

除了用声压系数 β 来表示之外，还可声强反射系数 β_r 来表示，它等于反射声强 I_r 与入射声强 I_i 之比，并等于声压反射系数 β 的平方，即

$$\beta_r = \frac{I_r}{I_i} = \frac{P_r^2}{P_i^2} = \beta^2$$

声波在水中传播时的反射和折射，与光波相同，都遵循

反射与折射定律：反射角等于入射角；入射角的正弦对折射角正弦之比，等于两种介质中声速之比，即

$$\theta_1 = \theta_2$$

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{c_1}{c_2}$$

折射声强与入射声强之比，称为声强折射系数，即 $\alpha_r = \frac{I'_r}{I_i}$ 。

根据能量守恒定律，声波的入射声强等于反射声强与折射声强之和。因此，声强折射系数，可表示为

$$\alpha_r = \frac{I'_r}{I_i} = \frac{I_i - I_r}{I_i} = 1 - \beta_r$$

由此可见，当两种介质的性质接近，即 ρc 相当时， $\beta_r \approx 0$ ，而 $\alpha_r \approx 1$ ，此时界面无反射，声波从第一种介质进入第二种介质。而当两种介质的性质相差很大，即 ρc 差别很大时， $\beta_r \approx 1$ 则 $\alpha_r \approx 0$ ，此时声能绝大部分被反射回到第一介质，这种性质，是声探鱼的基础。

声线弯曲：声速与水温、盐度、深度有密切关系，然而温度的变化对声速的影响远比盐度或深度为大。例如当深度为0、盐度为35。水温7℃增至20℃时，声速将由1475米/秒增加到1520米/秒。而温度又是在深度方向上变化最大，特别是冬季和夏季。冬季水面温度比深处低，夏季则相反。因此，声速变化引起声线弯曲对水平方向的声探鱼路径影响极大，如图1.3所示。从图中可看出：

①随深度增加、水温上升（即温度为正梯度情况），声波的传播方向向上弯曲。这种情况，在海面水温低、盐度小，而深层水温高的冬季沿海水域中较常出现。由于声波经海面多次反射后，能在水域上层较远地传播，所以它对于水

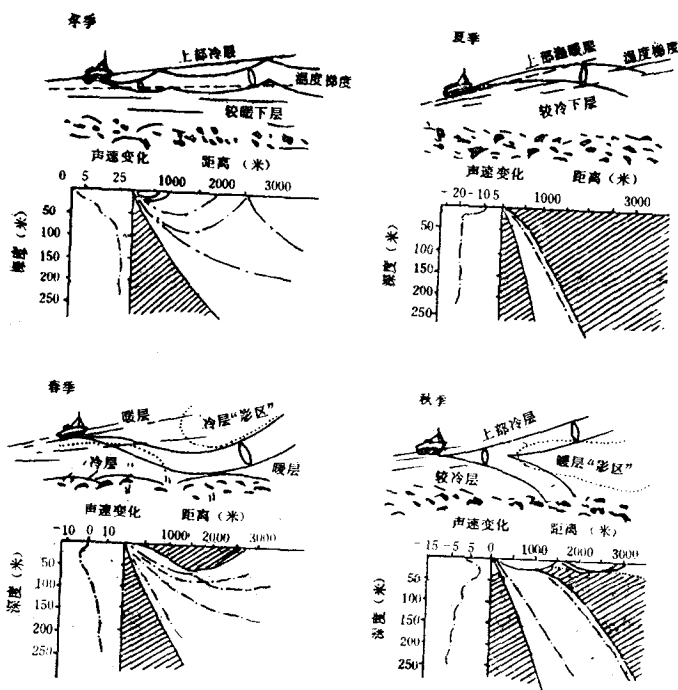


图1.3 水温随季节变化而引起的声线弯曲现象

平方向的声探鱼是有利的。

②随深度增加、水温不断下降(即温度为负梯度情况), 声波传播方向向下弯曲。这种情况, 在海面水温高, 底层水温低的夏季较常出现。由于声波传播距离减小, 所以它对水平方向的声探鱼是不利的。

③在某一深度之前, 温度为负梯度, 随后又变为正梯度, 或者相反。在温度梯度的正、负梯度的交界面上, 声波传播兼有上述两种现象。这种情况, 如表层水温开始上升的春季沿岸水域。此时, 表层声速随深度增加而减小, 而底层

声速随深度而增加。或是表层水温开始下降的秋季沿岸水域。此时，表层有冷的顶层，而后有冷暖层和冷暖交替层。声速先随深度增加而增加，后随深度增加而下降。声束先向上弯曲，后向下弯曲，并出现声束分裂。这种情况的声线弯曲对于水平方向的声探测，常存在声影区的影响，对中等距离目标的探测会丢失。

但是，除了上述三种情况之外，如深度变化而水温不变时，则声速没有变化，声束沿直线传播，声传播距离最远。这是理想的情况，实践中是少见的。

散射与绕射：声波在传播中，在大而平的界面上产生反射的现象是很少的，而实际上反射的界面或障碍物，大多是既不大又不平，如波浪滚滚的海面、贝壳砂石的海底、不同形状鱼类等。如果凹凸不平界面的大小与波长差不很大，声波射到此表面上将产生散射。水体中的悬浮微粒或气泡，也会使声波产生散射。球状的微粒对声波的散射更好理解，它成为二次声源，把截获的声能又对外辐射出去。如果声波传播时碰到障碍物，而障碍物的大小远小于波长时，则声波产生绕射。绕射显著时，声波传播几乎不受障碍物的影响。

传播损失：声波在水中传播时，随着距离的增加，它将逐渐遭受损失而衰减。但它远小于光波在水中的传播损失。声波的传播损失，是描述离声源一定距离声波减弱的物理量。

与声波传播损失有关的因素，主要是扩散损失和吸收损失。前者是声波从声源中心作球面扩散时声强有规律减弱的几何效应，后者除了海水对声能的吸收之外，还包括由于折射而引起的附加扩散、多路传播，以及由于海水的均匀性而产生的绕射和散射等所造成的损失。

扩散损失与吸收损失之和，称为传播损失，即 r_2 米处的

传播损失为

$$TL = 20 \lg r_2 + \alpha r_2 \text{ (分贝)}$$

如果考虑到声波往返时在相同路程上的扩散损失和吸收损失，那么声波往返全程的传播损失为

$$TL_{\text{鱼}} = 40 \lg r_2 + 2\alpha r_2 \text{ (分贝)}$$

如果是声探测海底，并且不考虑海底对声波的衰减，即把海底看成是一个无限大平面的全反射体。根据镜面反射原理，实际声源可由一个位于海底为基准的对称面，与实际声源相距为2倍水深的虚线源来表示，则其全程的传播损失为

$$TL_{\text{底}} = 20 \lg 2r_2 + 2\alpha r_2 \text{ (分贝)}$$

$$= 20 \lg r_2 + 20 \lg 2 + 2\alpha r_2$$

$$= 20 \lg r_2 + 2\alpha r_2 + 6$$

比较声探鱼与声探海底的情况，对于同样深度 r_2 的鱼群与海底，其传播损失之差为

$$TL_{\text{鱼}} - TL_{\text{底}} = 40 \lg r_2 + 2\alpha r_2 - 20 \lg r_2 - 2\alpha r_2 - 6$$

$$= 20 \lg r_2 - 6 \text{ (分贝)}$$

实践中为方便起见，把24、50、200千赫三种频率的往返全程的传播损失，作成曲线，如图1.4所示。

海洋噪声：对声探鱼来说，除了鱼群和海底的回波之外，其它的声波都称为噪声。海中噪声，在声探鱼中，海洋噪声对鱼群信号的接收和判断有很大干扰。这种噪声主要由环境噪声、航行噪声和海洋混响组成，而这三者通常又把它称为背景噪声。

1.2 鱼的感声器官

鱼类有否感声器官？这个问题一直有争论。最早认为，鱼类既没有外耳，也没有能够选择声波的耳蜗，甚至连内耳也残缺不全，所以鱼不能听声。到1820年，韦伯把人类的听